

www.mientayvn.com

Khi đọc qua tài liệu này, nếu phát hiện sai sót hoặc nội dung kém chất lượng xin hãy thông báo để chúng tôi sửa chữa hoặc thay thế bằng một tài liệu cùng chủ đề của tác giả khác. Tài liệu này bao gồm nhiều tài liệu nhỏ có cùng chủ đề bên trong nó. Phần nội dung bạn cần có thể nằm ở giữa hoặc ở cuối tài liệu này, hãy sử dụng chức năng Search để tìm chúng.

Bạn có thể tham khảo nguồn tài liệu được dịch từ tiếng Anh tại đây:

http://mientayvn.com/Tai_lieu_da_dich.html

Thông tin liên hệ:

Yahoo mail: thanhlam1910_2006@yahoo.com

Gmail: frbwrthes@gmail.com

Theo yêu cầu của khách hàng, trong một năm qua, chúng tôi đã dịch qua 16 môn học, 34 cuốn sách, 43 bài báo, 5 sổ tay (chưa tính các tài liệu từ năm 2010 trở về trước) Xem ở đây

**DỊCH VỤ
DỊCH
TIẾNG
ANH
CHUYÊN
NGÀNH
NHANH
NHẤT VÀ
CHÍNH
XÁC
NHẤT**

Chỉ sau một lần liên lạc, việc dịch được tiến hành

Giá cả: có thể giảm đến 10 nghìn/1 trang

Chất lượng: Tạo dựng niềm tin cho khách hàng bằng công nghệ 1. Bạn thấy được toàn bộ bản dịch; 2. Bạn đánh giá chất lượng. 3. Bạn quyết định thanh toán.

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ

(Dùng cho sinh viên hệ đào tạo đại học từ xa)

Lưu hành nội bộ

HÀ NỘI - 2007

CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ

Biên soạn : THS. TRẦN THỊ CẨM

LỜI NÓI ĐẦU

Tập giáo trình "Cấu kiện điện tử" được biên soạn để làm tài liệu giảng dạy và học tập cho các sinh viên chuyên ngành kỹ thuật Điện tử - Viễn thông, đồng thời giáo trình cũng có thể được sử dụng cho các sinh viên chuyên ngành Công nghệ thông tin, và làm tài liệu tham khảo cho các kỹ sư chuyên ngành Điện tử - Viễn thông.

Giáo trình được viết theo chương trình đề cương môn học "Cấu kiện điện tử và quang điện tử" của Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông.

Nội dung của giáo trình được trình bày một cách rõ ràng, có hệ thống các kiến thức cơ bản và hiện đại về vật liệu và các cấu kiện điện tử - quang điện tử đang sử dụng trong ngành kỹ thuật điện tử và kỹ thuật viễn thông.

Giáo trình "Cấu kiện điện tử" gồm 8 chương.

+ **Chương 1** Giới thiệu chung về cấu kiện điện tử và vật liệu điện tử. Trong chương này đã đưa ra định nghĩa và các cách phân loại của cấu kiện điện tử, các đặc tính và các tham số kỹ thuật của các loại vật liệu sử dụng trong kỹ thuật điện tử - viễn thông như chất cách điện, chất dẫn điện, chất bán dẫn và vật liệu từ.

+ **Chương 2** trình bày về các cấu kiện điện tử thụ động như điện trở, tụ điện, cuộn dây và biến áp, cùng các đặc tính và tham số cơ bản của các cấu kiện này, cách nhận biết và cách đọc các tham số của các linh kiện thực tế.

+ **Chương 3** trình bày về điốt bán dẫn. Trong chương này, giáo trình đã nêu lên tính chất vật lý đặc biệt của lớp tiếp xúc P - N, đồng thời trình bày chi tiết về cấu tạo và nguyên lý hoạt động cũng như các đặc tuyến, tham số kỹ thuật của điốt bán dẫn. Ngoài ra, trong chương 3 còn trình bày về các chế độ làm việc của điốt bán dẫn và giới thiệu một số loại điốt thông dụng và đặc biệt.

+ **Chương 4** trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của tranzito lưỡng cực (BJT). Đồng thời, trong chương này cũng trình bày cụ thể về ba cách mắc cơ bản của tranzito trong các sơ đồ mạch khuếch đại, các đặc tính và đặc điểm của từng cách mắc. Đồng thời ở chương 4 cũng trình bày về các cách phân cực và các mạch tương đương của tranzito.

+ **Chương 5** giới thiệu chung về tranzito hiệu ứng trường (FET) và phân loại tranzito trường. Trong chương trình bày cụ thể về cấu tạo và nguyên lý hoạt động cũng như các cách phân cực cho tranzito trường loại JFET và MOSFET.

+ **Chương 6** giới thiệu về cấu kiện thuộc họ thyristo như chỉnh lưu silic có điều khiển, triac, diac; nêu cấu tạo và nguyên lý hoạt động cũng như ứng dụng của chúng. Đồng thời, chương 6 cũng trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của tranzito đơn nối (UJT).

+ **Chương 7** đề cập đến sự phát triển tiếp theo của kỹ thuật điện tử là vi mạch tích hợp. Trong chương này trình bày về khái niệm, phân loại cũng như sơ lược về công nghệ chế tạo vi mạch bán dẫn, là loại vi mạch được sản xuất và sử dụng rộng rãi hiện nay. Ngoài ra, trong chương 4 còn trình bày đặc tính và tham số của trình bày về đặc điểm cũng như tham số của hai loại vi mạch: vi mạch tuyến tính và vi mạch số. Trong đó giới thiệu chi tiết về vi mạch khuếch đại thuật toán (OA), đây là loại vi mạch vạn năng được sử dụng rộng rãi ở nhiều chức năng khác nhau.

+ **Chương 8** trình bày về các cấu kiện quang điện tử. Chương này trình bày khá tỉ mỉ và hệ thống về các loại cấu kiện quang điện tử bán dẫn và không bán dẫn đang được sử dụng trong kỹ thuật điện tử và kỹ thuật viễn thông. Ở đây trình bày về các cấu kiện quang điện tử sử dụng trong kỹ thuật điện tử và thông tin quang:

- Các linh kiện phát quang: LED chỉ thị, LED hồng ngoại, LASER, và mặt chỉ thị tinh thể lỏng LCD.

CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ

- Các linh kiện thu quang: điện trở quang, điôt quang, tranzito quang, thyristo quang, tế bào quang điện và pin mặt trời.

Trong tập giáo trình này tác giả đã sử dụng nhiều tài liệu tham khảo và biên soạn theo một trật tự logic nhất định. Tuy nhiên, tập giáo trình không tránh khỏi những thiếu sót và hạn chế. Chúng tôi rất mong nhận được sự góp ý của các nhà chuyên môn, các bạn đồng nghiệp và những ai quan tâm đến chuyên ngành này để bổ sung và hoàn chỉnh tập giáo trình "Cấu kiện điện tử" được tốt hơn.

Các ý kiến đóng góp xin gửi đến bộ môn Kỹ thuật điện tử - Khoa Kỹ thuật điện tử I, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông, km 10 đường Nguyễn Trãi Hà Nội - Hà Đông.

Xin chân thành cảm ơn!



HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG
Km10 Đường Nguyễn Trãi, Hà Đông-Hà Tây
Tel: (04) 5541221; Fax: (04) 5540587
Website: <http://www.e-ptit.edu.vn>; E-mail: dhkx@ptit.edu.vn

CHƯƠNG 1

GIỚI THIỆU CHUNG VỀ CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ

GIỚI THIỆU CHƯƠNG

Chương 1 giới thiệu khái niệm chung về cấu kiện điện tử, giúp cho sinh viên chuyên ngành Điện tử Viễn thông có khái niệm ban đầu bao quát về những linh kiện điện tử được sử dụng trong các mạch điện tử. Đồng thời trong chương 1 cũng giới thiệu về các đặc tính vật lý điện của các vật liệu cơ bản dùng trong kỹ thuật điện tử.

Học xong chương 1, sinh viên phải nắm được khái niệm chung về cấu kiện điện tử, khái niệm sơ bộ về mạch điện tử. Sinh viên cũng phải hiểu được các đặc tính kỹ thuật của các loại vật liệu dùng trong lĩnh vực kỹ thuật điện tử, một số loại vật liệu thông dụng thường dùng và ứng dụng chúng.

NỘI DUNG

1.1. GIỚI THIỆU CHUNG

Cấu kiện điện tử là môn học về cấu tạo, nguyên lý hoạt động và một số ứng dụng của các linh kiện được sử dụng trong các mạch điện tử để thực hiện một chức năng kỹ thuật nào đó của một bộ phận trong một thiết bị điện tử chuyên dụng cũng như thiết bị điện tử dân dụng.

Cấu kiện điện tử có rất nhiều loại thực hiện các chức năng khác nhau trong mạch điện tử. Muốn tạo ra một thiết bị điện tử chúng ta phải sử dụng rất nhiều các linh kiện điện tử, từ những linh kiện đơn giản như điện trở, tụ điện, cuộn dây... đến các linh kiện không thể thiếu được như điốt, tranzito... và các linh kiện điện tử tổ hợp phức tạp. Chúng được đấu nối với nhau theo các sơ đồ mạch đã được thiết kế, tính toán khoa học để thực hiện chức năng của thiết bị thông thường như máy radiocassettes, tivi, máy tính, các thiết bị điện tử y tế... đến các thiết bị thông tin liên lạc như tổng đài điện thoại, các trạm thu - phát thông tin hay các thiết bị vệ tinh vũ trụ v.v... Nói chung cấu kiện điện tử là loại linh kiện tạo ra các thiết bị điện tử do vậy chúng rất quan trọng trong đời sống khoa học kỹ thuật và muốn sử dụng chúng một cách hiệu quả thì chúng ta phải hiểu biết và nắm chắc các đặc điểm của chúng.

1.2. PHÂN LOẠI CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ.

Có nhiều cách phân loại cấu kiện điện tử dựa theo những tiêu chí khác nhau. Ở đây chúng ta kể đến một số cách phân loại thông thường:

1.2.1. Phân loại dựa trên đặc tính vật lý:

Dựa vào các đặc tính vật lý cấu kiện điện tử có thể chia làm 2 loại:

- Các cấu kiện điện tử thông thường: Đây là các linh kiện điện tử có đặc tính vật lý điện - điện tử thông thường. Chúng hoạt động dưới tác dụng của các sóng điện từ có tần số từ cực thấp ($f = 1\text{Khz} \div 10\text{Khz}$) đến tần số siêu cao tần ($f = 10\text{Ghz} \div 100\text{Ghz}$) hoặc sóng milimet.
- Cấu kiện quang điện tử: Đây là các linh kiện điện tử có đặc tính vật lý điện - quang Chúng hoạt động dưới tác dụng của các sóng điện từ có tần số rất cao ($f = 10^8$ đến 10^9 Ghz) thường được gọi là ánh sáng.

1.2.2. Phân loại dựa theo lịch sử phát triển của công nghệ điện tử:

Người ta chia cấu kiện điện tử ra làm 5 loại:

- Cấu kiện điện tử chân không: là các cấu kiện điện tử mà sự dẫn điện xảy ra trong môi trường chân không.

- Cấu kiện điện tử có khí: là các cấu kiện điện tử mà sự dẫn điện xảy ra trong môi trường khí trơ.
- Cấu kiện điện tử bán dẫn: là các cấu kiện điện tử mà sự dẫn điện xảy ra trong môi trường chất bán dẫn.
- Cấu kiện vi mạch: là các chip bán dẫn được tích hợp từ các cấu kiện bán dẫn theo sơ đồ mạch đã thiết kế trước và có một hoặc một số chức năng nhất định.
- Cấu kiện nano: đây là các cấu kiện có kích thước nanomet được chế tạo theo công nghệ nano nên nó có các tính chất cũng như khả năng tiện ích vô cùng đặc biệt, khác hẳn với các cấu kiện có kích thước lớn hơn thông thường (từ µm trở lên).

1.2.3. Phân loại dựa trên chức năng xử lý tín hiệu:

Dựa theo chức năng xử lý tín hiệu người ta chia cấu kiện điện tử thành 2 loại là cấu kiện điện tử tương tự (điện tử analoge) và cấu kiện điện tử số (điện tử digital).

- Cấu kiện điện tử tương tự là các linh kiện có chức năng xử lý các tín hiệu điện xảy ra liên tục theo thời gian.
- Cấu kiện điện tử số là các linh kiện có chức năng xử lý các tín hiệu điện xảy ra rời rạc, không liên tục theo thời gian.

1.2.4. Phân loại dựa vào ứng dụng của cấu kiện điện tử:

Dựa vào ứng dụng của cấu kiện điện tử người ta chia cấu kiện điện tử ra làm 2 loại là các cấu kiện điện tử thụ động và các cấu kiện điện tử tích cực:

- Cấu kiện điện tử thụ động là các linh kiện điện tử chỉ có khả năng xử lý và tiêu thụ tín hiệu điện
- Cấu kiện điện tử tích cực là các linh kiện điện tử có khả năng biến đổi tín hiệu điện, tạo ra và khuếch đại tín hiệu điện.

1.3. KHÁI NIỆM VỀ MẠCH ĐIỆN VÀ HỆ THỐNG ĐIỆN TỬ

1.3.1. Mạch điện:

Mạch điện là một tập hợp gồm có nguồn điện (nguồn áp hoặc nguồn dòng) và các cấu kiện điện tử cùng dây dẫn điện được đấu nối với nhau theo một sơ đồ mạch đã thiết kế nhằm thực hiện một chức năng nào đó của một thiết bị điện tử hoặc một hệ thống điện tử. Ví dụ như mạch tạo dao động hình sin, mạch khuếch đại micro, mạch giải mã nhị phân, mạch đếm xung, hoặc đơn giản chỉ là một mạch phân áp,...

1.3.2. Hệ thống điện tử

Hệ thống điện tử là một tập hợp các mạch điện tử đơn giản có các chức năng kỹ thuật riêng thành một thiết bị điện tử có chức năng kỹ thuật nhất định hoặc một hệ thống điện tử phức tạp có chức năng kỹ thuật riêng như máy thu hình, máy hiện sóng, hệ thống phát thanh truyền hình, trạm truyền dẫn vi ba, hệ thống thông tin quang... Mạch điện tử hay một hệ thống điện tử bao giờ cũng có nguồn điện cung cấp một chiều (DC) để phân cực cho các cấu kiện điện tử hoạt động đúng chế độ và nguồn tín hiệu cần xử lý trong mạch.

1.4. VẬT LIỆU ĐIỆN TỬ.

Các vật liệu sử dụng trong kỹ thuật điện tử rất đa dạng và rất nhiều. Chúng được gọi chung là vật liệu điện tử để phân biệt với các loại vật liệu sử dụng trong các lĩnh vực khác. Tuy theo mục đích sử dụng và yêu cầu kỹ thuật mà lựa chọn vật liệu sao cho thích hợp đảm bảo về các chỉ tiêu kỹ thuật, dễ gia công và giá thành rẻ

- Dựa vào lý thuyết vùng năng lượng người ta chia vật chất ra làm ba loại là chất cách điện, chất bán dẫn và chất dẫn điện. Theo lý thuyết này thì các trạng thái năng lượng của

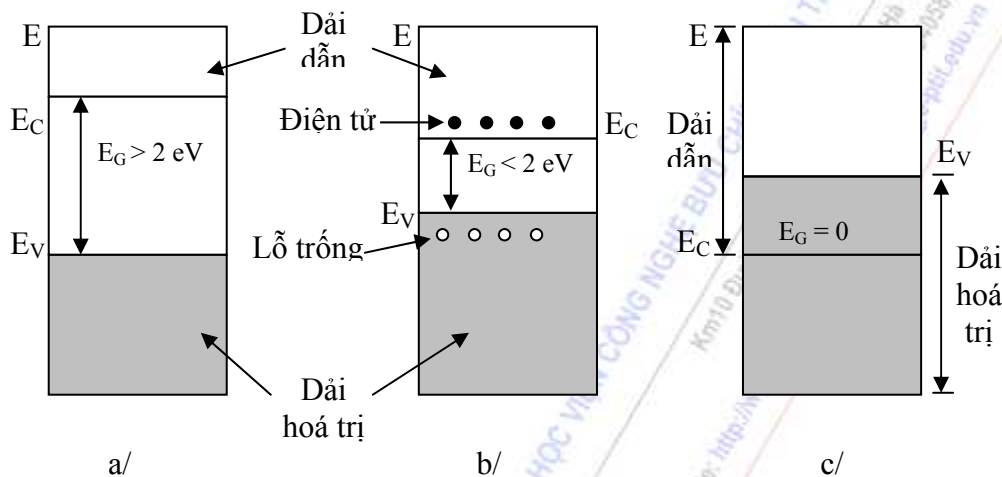
nguyên tử vật chất được phân chia thành ba vùng năng lượng khác nhau là: **vùng hóa trị**, **vùng dẫn** và **vùng cấm**. Mức năng lượng cao nhất của vùng hóa trị ký hiệu là E_V ; mức năng lượng thấp nhất của vùng dẫn ký hiệu là E_C và độ rộng vùng cấm ký hiệu là E_G .

+ Chất cách điện:

Cấu trúc vùng năng lượng của chất cách điện được mô tả trong hình 1-1a. Độ rộng vùng cấm E_G có giá trị đến vài eV ($E_G \geq 2\text{eV}$).

+ Chất bán dẫn:

Chất bán dẫn có độ rộng vùng cấm rất nhỏ ($E_G < 2\text{eV}$), xem hình 1-1b.



Hình 1- 1: Cấu trúc dải năng lượng của vật chất
a- Chất cách điện; b- Chất bán dẫn; c- Kim loại

+ Kim loại:

Cấu trúc vùng năng lượng của tinh thể không có vùng cấm, do đó vùng hóa trị hòa vào vùng dẫn (hình 1-1c) nên điện tử hóa trị chính là các điện tử tự do.

- Dựa vào ứng dụng, các vật liệu điện tử thường được phân chia thành 4 loại là chất cách điện (hay chất điện môi), chất dẫn điện, chất bán dẫn và vật liệu từ.

1.4.1. Chất cách điện (hay chất điện môi).

a. Định nghĩa.

Chất cách điện, hay còn gọi là chất điện môi. Chất cách điện có điện trở suất cao vào khoảng $10^7 \div 10^{17} \Omega\text{m}$ ở nhiệt độ phòng.

Chất cách điện gồm phần lớn các vật liệu vô cơ cũng như hữu cơ. Chúng có thể ở thể khí, thể lỏng và thể rắn.

b. Các tính chất của chất điện môi.

- *Độ thấm thấu điện tương đối (hay còn gọi là hằng số điện môi):*

Hằng số điện môi ký hiệu là ϵ , nó biểu thị khả năng phân cực của chất điện môi và được xác định bằng biểu thức:

$$\epsilon = \frac{C_d}{C_0} \quad (1. 1)$$

Trong đó: C_d là điện dung của tụ điện sử dụng chất điện môi; C_0 là điện dung của tụ điện sử dụng chất điện môi là chân không hoặc không khí.

- Độ tổn hao điện môi (P_a):

Độ tổn hao điện môi là công suất điện chi phí để làm nóng chất điện môi khi đặt nó trong điện trường và được tính theo công thức tổng quát sau:

$$P_a = U^2 \omega C \tan \delta \quad (1.2)$$

Trong đó:

- P_a là độ tổn hao điện môi đo bằng oát (w)
- U là điện áp đặt lên tụ điện đo bằng vôn (V)
- C là điện dung của tụ điện dùng chất điện môi đo bằng Farad (F)
- ω là tần số góc đo bằng rad/s
- $\tan \delta$ là góc tổn hao điện môi

- Độ bền về điện của chất điện môi ($E_{d.t}$):

Nếu ta đặt một chất điện môi vào trong một điện trường mà nó bị mất khả năng cách điện - ta gọi đó là hiện tượng đánh thủng chất điện môi. Trị số điện áp khi xảy ra hiện tượng đánh thủng chất điện môi gọi là điện áp đánh thủng $U_{d.t}$, thường đo bằng KV, và cường độ điện trường tương ứng với điểm đánh thủng gọi là độ bền về điện.

Độ bền về điện ký hiệu là $E_{d.t}$ và được tính theo công thức:

$$E_{d.t} = \frac{U_{d.t}}{d} \quad [KV/mm; KV/cm] \quad (1.3)$$

Trong đó: $U_{d.t}$ - là điện áp đánh thủng chất điện môi

d - là bề dày của chất điện môi bị đánh thủng

- Nhiệt độ chịu đựng:

Là nhiệt độ cao nhất mà ở đó chất điện môi giữ được các tính chất lý hóa của nó.

- Dòng điện trong chất điện môi (I):

Dòng điện trong chất điện môi gồm có 2 thành phần là dòng điện chuyển dịch và dòng điện rò.

- Dòng điện chuyển dịch $I_{C.M}$ (hay gọi là dòng điện phân cực):

Quá trình chuyển dịch phân cực của các điện tích liên kết trong chất điện môi sẽ tạo nên dòng điện phân cực $I_{C.M}$. Khi ở điện áp xoay chiều dòng điện chuyển dịch tồn tại trong suốt thời gian chất điện môi nằm trong điện trường. Khi ở điện áp một chiều dòng điện chuyển dịch chỉ tồn tại ở các thời điểm đóng hoặc ngắt điện áp.

- Dòng điện rò $I_{rò}$:

Dòng điện rò là dòng điện được tạo ra do các điện tích tự do và điện tử phát xạ ra chuyển động dưới tác động của điện trường.

Dòng điện tổng qua chất điện môi sẽ là:

$$I = I_{C.M} + I_{rò}$$

- Điện trở cách điện của chất điện môi:

Điện trở cách điện được xác định theo trị số của dòng điện rò:

$$R_{c.d} = \frac{U}{I - \sum I_{C.M}} \quad (1.4)$$

Trong đó: I - Dòng điện nghiên cứu

$\Sigma I_{C.M.}$ - Tổng các thành phần dòng điện phân cực**c. Phân loại và ứng dụng của chất điện môi.**

Chất điện môi được chia làm 2 loại là chất điện môi thụ động và chất điện môi tích cực.

- Chất điện môi thụ động còn gọi là vật liệu cách điện và vật liệu tụ điện. Bảng 1.1 giới thiệu một số chất điện môi thông dụng và đặc tính của chúng.

- Chất điện môi tích cực là các vật liệu có thể điều khiển được như:

- + Về điện trường có gốm, thủy tinh,..
- + Về cơ học có chất áp điện như thạch anh áp điện
- + Về ánh sáng có chất huỳnh quang
- + Electric hay cái châm điện là vật chất có khả năng giữ được sự phân cực lớn và lâu dài.

Bảng 1.1. Giới thiệu đặc tính của một số chất điện môi thụ động thông dụng

Vật liệu	$E_{d.t}$ KV/mm	ϵ	$tg\delta$	ρ (Ωm)	Tỷ trọng KG/m ³	Ứng dụng
Mi ca	50 ÷ 200	6 ÷ 8	0,0004	10^{15}	$2,8 \cdot 10^3$	Tụ điện, cách điện
Sứ	15 ÷ 30	6,3 ÷ 7,5		$3 \cdot 10^{14}$		Giá đỡ, tụ điện..
Gốm làm tụ		12 ÷ 900 1700 ÷ 4500	0,002 ÷ 0,025 0,0006		$4 \cdot 10^3$	Tụ cao tần, tụ tần thấp..
Nhựa tổng hợp	10 ÷ 40	4 ÷ 4,6	0,05 ÷ 0,12		$1,2 \cdot 10^3$	Cách điện
Bia cách điện	9 ÷ 12	3 ÷ 4	0,15		$1,6 \cdot 10^3$	Cách điện
Giấy	30	3 ÷ 4				Tụ điện, cách điện
Lụa	8 ÷ 60	3,8 ÷ 4,5	0,04 ÷ 0,08		$1,5 \cdot 10^3$	Cách điện
Sáp	20 ÷ 35	2,8 ÷ 2,9				Tấm chống ẩm
Paraphin	20 ÷ 30	2,2 ÷ 2,3	0,0003 ÷ 0,0007.	10^{16}		Tấm chống ẩm
Nhựa thông	10 ÷ 15	3,5	0,01			Làm sạch mối hàn
Polime	15 ÷ 20	2,3 ÷ 2,4	$1 \cdot 10^{-4} \div 5 \cdot 10^{-4}$	$10^{15} \div 10^{17}$	$0,9 \cdot 10^3$	Cách điện ở cao tần
Cao su	20 ÷ 30	3 ÷ 7	0,02 ÷ 0,1	10^{15}	$1,6 \cdot 10^3$	Vỏ dây dẫn
Dầu tụ điện	20	2,2	0,002 ÷ 0,005			Tụ điện, cấp điện

1.4.2. Chất dẫn điện**a. Định nghĩa.**

Chất dẫn điện là vật liệu có độ dẫn điện cao. Điện trở suất của chất dẫn điện nằm trong khoảng $10^{-8} \div 10^{-5} \Omega m$. Trong tự nhiên chất dẫn điện có thể là chất rắn, chất lỏng hoặc chất khí.

b. Các tính chất của chất dẫn điện.

- Điện trở suất:

$$\rho = R \frac{S}{l} \quad [\Omega.m], [\Omega.mm], [\mu\Omega.m] \quad (1.5)$$

trong đó: S - tiết diện ngang của dây dẫn [mm²; m²]

l - chiều dài dây dẫn [mm; m]

R - trị số điện trở của dây dẫn [Ω]

Điện trở suất của chất dẫn điện nằm trong khoảng từ:

$\rho = 0,016 \mu\Omega.m$ (của bạc Ag) đến

$\rho = 10 \mu\Omega.m$ (của hợp kim sắt - crôm - nhôm)

- Hệ số nhiệt của điện trở suất (α):

Hệ số nhiệt của điện trở suất biểu thị sự thay đổi của điện trở suất khi nhiệt độ thay đổi 1⁰C. Khi nhiệt độ tăng thì điện trở suất cũng tăng lên theo quy luật:

$$\rho_t = \rho_0(1 + \alpha t) \quad (1.6)$$

trong đó: ρ_t - điện trở suất ở nhiệt độ t (°C)

ρ_0 - điện trở suất ở nhiệt độ 0⁰C

α - hệ số nhiệt của điện trở suất [K⁻¹]

Đề cho kim loại nguyên chất thì hệ số nhiệt của chúng hầu như đều bằng nhau và bằng: $\alpha = 1/273,15 \text{ K}^{-1} = 0,004 \text{ K}^{-1}$.

- Hệ số dẫn nhiệt : λ

Lượng nhiệt truyền qua diện tích bề mặt S trong thời gian t là:

$$Q = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta l} S t \quad (1.7)$$

Trong đó:

λ - là hệ số dẫn nhiệt [w/ (m.K)].

$\Delta T/\Delta l$ - là gradien nhiệt độ (ΔT là lượng chênh lệch nhiệt độ ở hai điểm cách nhau một khoảng là Δl)

S - là diện tích bề mặt

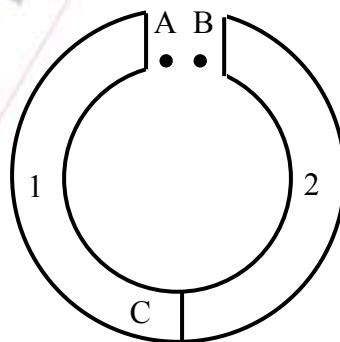
t - là thời gian

- Công thoát của điện tử trong kim loại:

Năng lượng cần thiết cấp thêm cho điện tử để nó thoát ra khỏi bề mặt kim loại được gọi là công thoát của kim loại. E_w

- Điện thế tiếp xúc:

Nghiên cứu hai chất kim loại tiếp xúc với nhau như tiếp xúc C trong hình 1- 2.



Hình 1- 3 : Hai kim loại có tiếp xúc C.

Hiệu điện thế tiếp xúc giữa hai kim loại này được xác định là sự chênh lệch thế năng E_{AB} giữa điểm A và B và được tính theo công thức:

$$E_{AB} = E_{W2} - E_{W1} \quad (1.8)$$

Tương ứng với thế năng E_{AB} (đo bằng eV) ta có điện thế tiếp xúc (đo bằng Vôn), ký hiệu là V_{AB} và có trị số bằng E_{AB} .

Nếu kim loại 1 và 2 giống nhau, điện thế tiếp xúc giữa chúng bằng 0. Nếu hai kim loại khác nhau thì kim loại nào có công thoát thấp hơn trở thành điện tích dương và kim loại có công thoát cao hơn sẽ trở thành điện tích âm.

b. Một số loại vật liệu dẫn điện thường dùng.

Chất dẫn điện được chia làm 2 loại là chất dẫn điện có điện trở suất thấp và chất dẫn điện có điện trở suất cao.

- *Chất dẫn điện có điện trở suất thấp:*

Chất dẫn điện có điện trở suất thấp (hay độ dẫn điện cao) thường dùng làm vật liệu dẫn điện. Bảng 1.2 giới thiệu một số chất dẫn điện có điện trở suất thấp và tham số của chúng.

Bảng 1.2. Chất dẫn điện có điện trở suất thấp và các tính chất điện.

Vật liệu	ρ ($\mu\Omega m$)	α (K^{-1})	$t_{n.c.}$ ($^{\circ}C$)	Tỷ trọng ($10^3 Kg/m^3$)	Ứng dụng
Bạc (Ag)	0,0165	0,0038	960	10,8	Mạ công tắc, bản cực, ống dẫn sóng...
Đồng đỏ (Cu)	0,0175	0,0043	1080	8,96	Dây dẫn, chân cực linh kiện, ống dẫn sóng...
Hợp kim đồng	0,030÷0,06	0,002	900		lá tiếp xúc, dây điện thoại, dây điện trở...
Nhôm (Al)	0,0267	0,0045	660	2,7	Dây dẫn, điện cực, vỏ tụ...
Thiếc (Sn)	0,115	0,0042	230	7,3	hàn
Chì (Pb)	0,21	0,004	330	11,4	Cầu chì, vỏ cáp, acqui axit.
Vonfram (W)	0,055		2500	19,31	Sợi nung, công tắc, điện cực...
Moliden (Mo)	0,057		1500	10.2	Sợi nung, công tắc, điện cực...
Niken (Ni)	0,078		1450	8,9	Sợi nung, công tắc, điện cực...
Vàng (Au)	0,024			19,31	Dây dẫn cao tần, chân vi mạch, ống dẫn sóng... chống ăn mòn
Bạch kim (Pt)	0,105				Tiếp điểm, chất dẫn điện, đồng hồ đo điện...

- *Chất dẫn điện có điện trở suất cao:*

Các hợp kim có điện trở suất cao dùng để chế tạo các dụng cụ đo điện, các điện trở, biến trở, các dây may so, các thiết bị nung nóng bằng điện.

Bảng 1.3. Một số hợp kim thông thường và tính chất điện của chúng.

Vật liệu	ρ ($\mu\Omega m$)	α (K^{-1})	t_{nc} ($^{\circ}C$)	tỷ trọng ($10^3 Kg/m^3$)	Ứng dụng
Manganhin	0,42 ÷ 0,48	0,00005	1200	8,4	Điện trở mẫu, dụng cụ đo điện
Constantan	0,48 ÷ 0,52	0,00005	1270	8,9	Biến trở, sợi đốt
Nicrôm	1 ÷ 1,2	0,00015	1400	8,2	Sợi nung, mỏ hàn, bếp điện, bàn là...
Cacbon (C)	0,28 ÷ 3,5	0,00004	1400		Điện trở, chất bôi trơn, micrôphôn...

1.4.3. Chất bán dẫn

a. Định nghĩa và đặc điểm của chất bán dẫn.

Chất bán dẫn là vật chất có điện trở suất nằm ở giữa trị số điện trở suất của chất dẫn điện và chất điện môi khi ở nhiệt độ phòng: $\rho = 10^{-4} \div 10^7 \Omega.m$

Trong kỹ thuật điện tử chỉ sử dụng một số chất bán dẫn có cấu trúc đơn tinh thể, quan trọng nhất là hai nguyên tố Gecmani và Silic. Thông thường Gecmani và Silic được dùng làm chất chính, còn các chất như Bo, Indi (nhóm 3), photpho, Asen (nhóm 5) làm tạp chất cho các vật liệu bán dẫn chính. Đặc điểm của cấu trúc mạng tinh thể này là độ dẫn điện của nó rất nhỏ khi ở nhiệt độ thấp và nó sẽ tăng theo lũy thừa với sự tăng của nhiệt độ và tăng gấp bội khi có trộn thêm tạp chất.

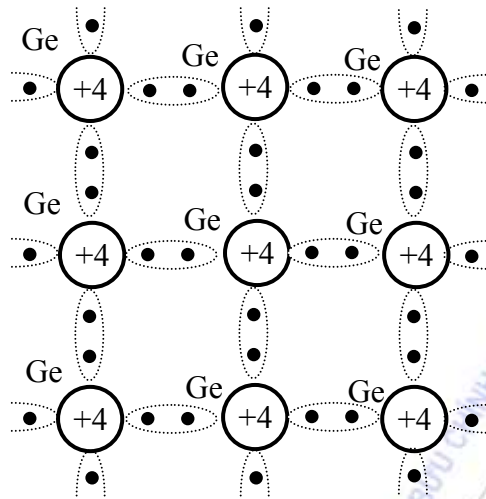
b. Chất bán dẫn nguyên tính.

Chất bán dẫn mà ở mỗi nút của mạng tinh thể của nó chỉ có nguyên tử của một loại nguyên tố thì chất đó gọi là chất bán dẫn nguyên tính (hay chất bán dẫn thuần) và được ký hiệu bằng chỉ số i (Intrinsic).

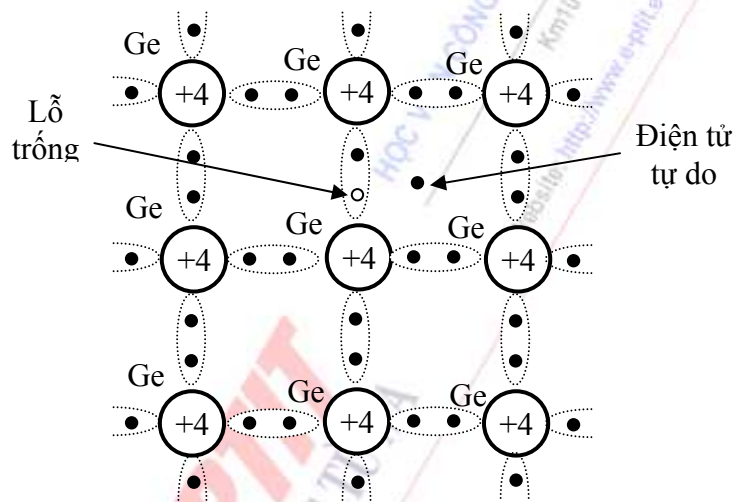
- *Hạt tải điện trong chất bán dẫn thuần:*

Hạt tải điện trong chất bán dẫn là các điện tử tự do trong vùng dẫn và các lỗ trống trong vùng hóa trị

Xét cấu trúc của tinh thể Gecmani hoặc Silic biểu diễn trong không gian hai chiều như trong hình (1- 3): Gecmani (Ge) và Silic (Si) đều có 4 điện tử hóa trị ở lớp ngoài cùng. Trong mạng tinh thể mỗi nguyên tử Ge (hoặc Si) sẽ góp 4 điện tử hóa trị của mình vào liên kết cộng hóa trị với 4 điện tử hóa trị của 4 nguyên tử kế cận để sao cho mỗi nguyên tử đều có hóa trị 4. Hạt nhân bên trong của nguyên tử Ge (hoặc Si) mang điện tích +4. Như vậy các điện tử hóa trị ở trong liên kết cộng hóa trị sẽ có liên kết rất chặt chẽ với hạt nhân. Do vậy, mặc dù có sẵn 4 điện tử hóa trị nhưng tinh thể bán dẫn có độ dẫn điện thấp. Ở nhiệt độ $0^{\circ}K$, cấu trúc lý tưởng như ở hình (1- 3) là gần đúng và tinh thể bán dẫn như là một chất cách điện.



Hình 1- 3 : Cấu trúc tinh thể Ge biểu diễn trong không gian hai chiều



Hình 1- 4 : Tinh thể Gecmani với liên kết cộng hóa trị bị phá vỡ

Tuy nhiên, ở nhiệt độ trong phòng một số liên kết cộng hóa trị bị phá vỡ do nhiệt làm cho chất bán dẫn có thể dẫn điện. Hiện tượng này mô tả trong hình 1- 4. Ở đây, một số điện tử bứt ra khỏi liên kết cộng hóa trị của mình và trở thành điện tử tự do. Năng lượng E_G cần thiết để phá vỡ liên kết cộng hóa trị khoảng 0,72eV cho Ge và 1,1eV cho Si ở nhiệt độ trong phòng. Chỗ thiếu 1 điện tử trong liên kết cộng hóa trị được gọi là lỗ trống. Lỗ trống mang điện tích dương và có cùng độ lớn với điện tích của điện tử. Điều quan trọng là lỗ trống có thể dẫn điện như điện tử tự do.

Trong chất bán dẫn nguyên tính, số lượng các lỗ trống đúng bằng số lượng các điện tử tự do.

$$p_i = n_i$$

p_i - nồng độ hạt dẫn lỗ trống trong bán dẫn nguyên tính

n_i - nồng độ hạt dẫn điện tử trong bán dẫn nguyên tính

Tiếp tục tăng nhiệt độ thì từng đôi điện tử - lỗ trống mới sẽ xuất hiện, ngược lại khi có hiện tượng tái hợp sẽ mất đi từng đôi điện tử- lỗ trống.

- Độ dẫn điện của chất bán dẫn:

Mật độ dòng điện qua chất bán dẫn J sẽ là:

$$J = (n \cdot \mu_n + p \cdot \mu_p) qE = \sigma E \quad (1.9)$$

Trong đó: n- là nồng độ điện tử tự do (điện tích âm)
 p- là nồng độ lỗ trống (điện tích dương)
 σ- là độ dẫn điện
 μ_n- độ linh động của điện tử
 μ_p- độ linh động của lỗ trống

Do đó độ dẫn điện:

$$\sigma = (n\mu_n + p\mu_p)q \quad (1.10)$$

Bảng 1.4 : Các đặc tính của Ge và Si

Các đặc tính	Ge	Si
Số nguyên tử-----	32	14
Nguyên tử lượng-----	72,6	28,1
Tỷ trọng (g/cm ³)-----	5,32	2,33
Hằng số điện môi-----	16	12
Số nguyên tử/cm ³ -----	4,4.10 ²²	5,0.10 ²²
E _{G0} , eV, ở 0 ⁰ K (năng lượng vùng cấm)-----	0,785	1,21
E _G , eV, ở 300 ⁰ K -----	0,72	1,1
n _i ở 300 ⁰ K , cm ⁻³ (nồng độ hạt dẫn điện tử) -----	2,5.10 ¹³	1,5.10 ¹⁰
Điện trở suất nguyên tính ở 300 ⁰ K [Ω.cm] -----	45	230
μ _n , cm ² / V-sec -----	3800	1300
μ _p ,cm ² / V-sec -----	1800	500
D _n , cm ² / sec = μ _n .V _T -----	99	34
D _p , cm ² / sec = μ _p .V _T -----	47	13

Khi tăng nhiệt độ, mật độ các đôi điện tử - lỗ trống tăng và do đó độ dẫn điện tăng. Cho nên, nồng độ điện tử ni của bán dẫn nguyên tính sẽ thay đổi theo nhiệt độ trong quan hệ:

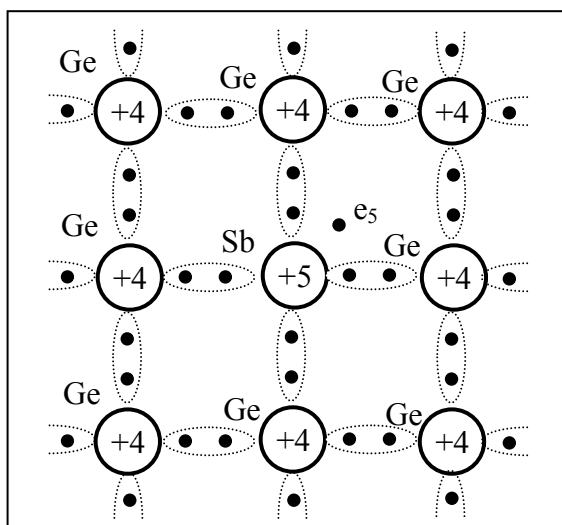
$$n_i^2 = A_0 T^3 e^{-E_{G0}/KT} \quad (1.11)$$

Trong đó: A₀ - là hằng số đo bằng A/(m².⁰K²)
 E_{G0} - là độ rộng vùng cấm ở 0⁰K

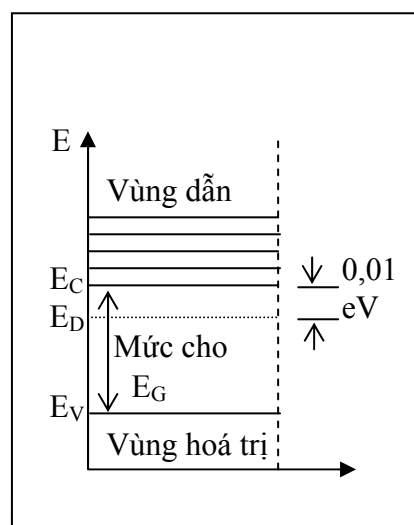
μ_n, μ_p và nhiều đại lượng vật lý quan trọng của Gecmani và Silic cho ở bảng (1.4). Độ dẫn điện của Gecmani hoặc Silic được tính theo công thức (1-11) sẽ tăng xấp xỉ 6% hoặc 8% khi nhiệt độ tăng 1⁰C (tương ứng).

b. Chất bán dẫn tạp loại N (chất bán dẫn tạp loại cho).

Ta thêm một ít tạp chất là nguyên tố thuộc nhóm 5 của bảng tuần hoàn Mendêlêép (thí dụ Antimon - Sb) vào chất bán dẫn Gecmani (Ge) hoặc Silic (Si) nguyên chất. Các nguyên tử tạp chất (Sb) sẽ thay thế một số các nguyên tử của Ge (hoặc Si) trong mạng tinh thể và nó sẽ đưa 4 điện tử trong 5 điện tử hóa trị của mình tham gia vào liên kết cộng hóa trị với 4 nguyên tử Ge (hoặc Si) ở bên cạnh, còn điện tử thứ 5 sẽ thừa ra nên liên kết của nó trong mạng tinh thể là rất yếu, xem hình (1-5) . Muốn giải phóng điện tử thứ 5 này thành điện tử tự do ta chỉ cần cấp một năng lượng rất nhỏ khoảng 0,01eV cho gecmani hoặc 0,05eV cho silic. Các tạp chất hóa trị 5 được gọi là tạp chất cho điện tử (Donor) hay tạp chất N.



Hình 1- 5 : Mạng tinh thể Ge có thêm tạp chất Sb hóa trị 5 (mạng tinh thể của gecmani loại N)



Hình 1- 6 : Đồ thị vùng năng lượng của bán dẫn Ge loại N

Mức năng lượng mà điện tử thứ 5 chiếm đóng là mức năng lượng cho phép được hình thành ở khoảng cách rất nhỏ dưới dải dẫn và gọi là **mức cho**, xem hình (1-6). Và do đó, ở nhiệt độ trong phòng, hầu hết các điện tử thứ 5 của tạp chất cho sẽ nhảy lên dải dẫn, nhưng trong dải hóa trị không xuất hiện thêm lỗ trống. Các nguyên tử tạp chất cho điện tử trở thành các ion dương cố định.

Ở chất bán dẫn tạp loại N: nồng độ hạt dẫn điện tử (n_n) nhiều hơn nhiều nồng độ lỗ trống p_n và điện tử được gọi là hạt dẫn đa số, lỗ trống được gọi là hạt dẫn thiểu số.

$$n_n \gg p_n$$

trong đó: n_n - là nồng độ hạt dẫn điện tử trong bán dẫn tạp loại N

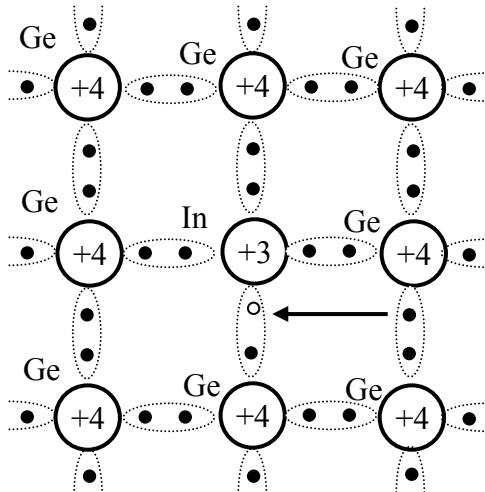
p_n - là nồng độ hạt dẫn lỗ trống trong bán dẫn tạp loại N

c. Chất bán dẫn tạp loại P (chất bán dẫn tạp loại nhận).

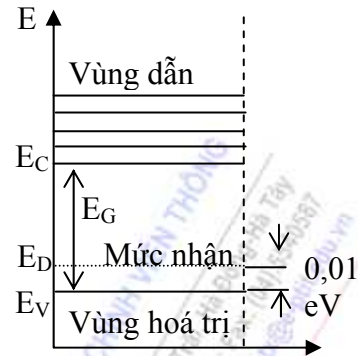
Khi ta đưa một ít tạp chất là nguyên tố thuộc nhóm 3 của bảng tuần hoàn Mendêlêep (thí dụ Indi - In) vào chất bán dẫn nguyên tính Gecmani (hoặc Silic). Nguyên tử tạp chất sẽ đưa 3 điện tử hóa trị của mình tạo liên kết cộng hóa trị với 3 nguyên tử Gecmani (hoặc Silic) bên cạnh còn mỗi liên kết thứ 4 để trống. Trạng thái này được mô tả ở hình (1- 7). Điện tử của mỗi liên kết gần đó có thể nhảy sang để hoàn chỉnh mỗi liên kết thứ 4 còn để dở. Nguyên tử tạp chất vừa nhận thêm điện tử sẽ trở thành ion âm và ngược lại ở nguyên tử chất chính vừa có 1 điện tử chuyển đi sẽ tạo ra một lỗ trống trong dải hóa trị của nó.

Các tạp chất có hóa trị 3 được gọi là tạp chất nhận điện tử (Acceptor) hay tạp chất loại P.

Mức năng lượng để trống của tạp chất trong chất bán dẫn chính sẽ tạo ra một mức năng lượng cho phép riêng nằm ở bên trên dải hóa trị gọi là **mức nhận**, (xem hình 1- 8)



Hình 1- 7 : Mạng tinh thể gecmani với một nguyên tử In hóa trị 3



Hình 1- 8 : Biểu đồ vùng năng lượng của bán dẫn loại P

Nếu tăng nồng độ tạp chất nhận thì nồng độ của các lỗ trống tăng lên trong dải hóa trị, nhưng nồng độ điện tử tự do trong dải dẫn không tăng. Vậy chất bán dẫn loại này có lỗ trống là hạt dẫn đa số và điện tử là hạt dẫn thiểu số và nó được gọi là chất bán dẫn tạp loại P.

$$P_p \gg N_p$$

trong đó: P_p - nồng độ hạt dẫn lỗ trống trong bán dẫn P

N_p - nồng độ hạt dẫn điện tử trong bán dẫn P

Kết luận: Qua đây ta thấy, sự pha thêm tạp chất vào bán dẫn nguyên tính không những chỉ tăng độ dẫn điện, mà còn tạo ra một chất dẫn điện có bản chất dẫn điện khác hẳn nhau: trong bán dẫn tạp loại N điện tử là hạt dẫn điện chính, còn trong bán dẫn tạp loại P, lỗ trống lại là hạt dẫn điện chính.

d. Mật độ điện tích trong chất bán dẫn.

Quan hệ giữa nồng độ hạt dẫn điện tử n và nồng độ hạt dẫn lỗ trống p trong chất bán dẫn theo công thức gọi là luật khối lượng tích cực như sau:

$$n.p = n_i^2 \tag{1. 12}$$

Gọi N_D là nồng độ các nguyên tử chất cho và chúng đều bị ion hóa. Do đó mật độ tổng các điện tích dương sẽ là $N_D + p$.

Tương tự, N_A là nồng độ các ion nhận và tổng mật độ điện tích âm sẽ là $N_A + n$.

Do tính trung hòa về điện trong chất bán dẫn thì mật độ các điện tích dương bằng mật độ các điện tích âm, nên ta có:

$$N_D + p = N_A + n \tag{1. 13}$$

Xét một vật liệu bán dẫn loại N thì sẽ có $N_A = 0$. Số lượng điện tử trong bán dẫn N lớn hơn nhiều so với số lỗ trống, khi đó công thức (1.13) đơn giản còn:

$$n \approx N_D \tag{1. 14}$$

Như vậy, trong bán dẫn N nồng độ điện tử tự do xấp xỉ bằng mật độ các nguyên tử tạp chất cho. Do đó công thức (1.14) được viết:

$$n_n = N_D \tag{1. 15}$$

Nồng độ lỗ trống trong bán dẫn N được viết theo công thức (1.12) ta có:

$$p_n = \frac{n_i^2}{n_n} = \frac{n_i^2}{N_D} \quad (1.16)$$

và $n_n \gg p_n$

Tương tự, đối với bán dẫn tạp loại P ta có:

$$p_p = N_A \quad \text{và} \quad n_p = \frac{n_i^2}{N_A} \quad (1.17)$$

và $p_p \gg n_p$

e. Dòng điện trong chất bán dẫn.

Trong chất bán dẫn có 2 thành phần dòng điện là dòng điện khuếch tán và dòng điện trôi.

- *Dòng điện khuếch tán:*

Sự tồn tại gradient nồng độ hạt dẫn (dp/dx , dn/dx) sẽ dẫn đến hiện tượng khuếch tán của các hạt dẫn từ nơi có nồng độ cao về nơi có nồng độ thấp và tạo ra dòng điện khuếch tán trong chất bán dẫn.

Hiện tượng khuếch tán các lỗ trống tạo nên mật độ dòng điện lỗ trống J_p [ampe/m²] được tính theo công thức sau:

$$J_p = -q \cdot D_p \frac{dp}{dx} \quad (1.18)$$

trong đó: D_p [m²/sec] - là hệ số khuếch tán của lỗ trống.

Tương tự, công thức tính mật độ dòng điện điện tử khuếch tán là:

$$J_n = q \cdot D_n \frac{dn}{dx} \quad (1.19)$$

trong đó: D_n - là hệ số khuếch tán của điện tử.

Cả hai hiện tượng khuếch tán và dịch chuyển (hiện tượng trôi) đều là các hiện tượng nhiệt động học thống kê, D và μ không độc lập, chúng quan hệ với nhau theo công thức:

$$\frac{D_p}{\mu_p} = \frac{D_n}{\mu_n} = V_T \quad (1.20)$$

Trong đó

$$V_T = \frac{KT}{q} = \frac{T}{11600} \quad \text{gọi là điện thế nhiệt.}$$

Tại nhiệt độ phòng (300⁰K) thì $\mu = 39D$. Trong đó, giá trị D cho silic và gecmani cho ở bảng 1-4.

Mật độ dòng điện khuếch tán là: $J_{k.t.} = J_p + J_n$

- *Dòng điện trôi:*

Dòng điện trôi là dòng chuyển động của các hạt dẫn dưới tác dụng của điện trường :

$$J = \sigma \cdot E = q(n\mu_n + p\mu_p) \cdot E \quad (1.21)$$

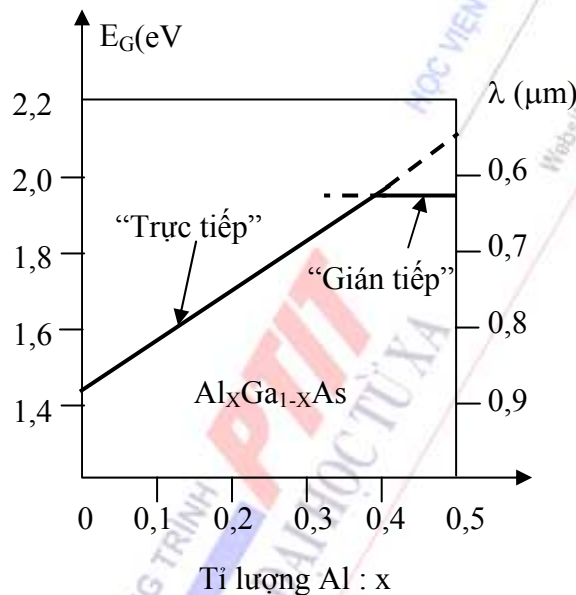
f. Đặc điểm của vật liệu bán dẫn quang.

Chất bán dẫn được dùng để tạo nguồn ánh sáng hầu hết đều có vùng cấm tái hợp trực tiếp. Trong chất bán dẫn các điện tử và lỗ trống có thể tái hợp trực tiếp với nhau qua vùng cấm mà không cần một hạt thứ 3 nào để bảo toàn xung lượng. Chỉ trong các vật liệu có vùng cấm trực tiếp hiện tượng tái hợp bức xạ mới có hiệu suất cao để tạo ra một mức độ phát xạ quang thích hợp. Mặc dù không có một đơn tinh thể bán dẫn nào có vùng cấm tái hợp trực tiếp, nhưng

các hợp chất của các chất thuộc nhóm III và nhóm V có thể cho ta vật liệu có vùng cấm tái hợp trực tiếp. Đây là các vật liệu được tạo nên từ sự liên kết của các nguyên tố nhóm III (như Al, Ga, hoặc In) và các nguyên tố nhóm V (như P, As, hoặc Sb). Sự liên kết ba và bốn thành phần khác nhau của các hợp chất đôi của các nguyên tố này cũng là các vật liệu rất thích hợp cho các nguồn ánh sáng.

Để làm việc ở phổ từ 800 ÷ 900nm, vật liệu được sử dụng thường là hợp kim 3 thành phần $Al_xGa_{1-x}As$. Tỷ lệ x của nhôm (Al) và galium arsenic (GaAs) xác định độ rộng vùng cấm của chất bán dẫn và, tương ứng, xác định bước sóng đỉnh của phát xạ bức xạ đỉnh. Điều này mô tả trong hình (1-9).

Giá trị x để cho vùng hoạt động của vật liệu được lựa chọn thường xuyên đạt được bước sóng là 800nm đến 850nm. Ở các bước sóng dài hơn thì chất 4 thành phần $In_{1-x}Ga_xAs_yP_{1-y}$ là một trong các vật liệu cơ bản được sử dụng. Bằng sự thay đổi tỷ lệ phân tử gam x và y trong vùng hoạt động, các điốt phát quang (LED) có thể tạo ra công suất đỉnh ở bước sóng bất kỳ giữa 1,0 và 1,7 μ m. Để đơn giản ký hiệu $GaAlAs$ và $InGaAsP$ một cách tổng quát khi không cần nói rõ giá trị x và y cũng như các ký hiệu khác như $AlGaAs$; $(AlGa)As$; $(GaAl)As$; $GaInPAs$; và $In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$.



Hình 1-9 : Bề rộng vùng cấm và bước sóng bức xạ ra là hàm của tỉ lượng phân tử gam của Al cho chất $Al_xGa_{1-x}As$ ở nhiệt độ phòng.

Các chất $GaAlAs$ và $InGaAsP$ thường được chọn để tạo chất bán dẫn sử dụng trong các linh kiện nguồn sáng vì nó có thể phù hợp với các tham số mạng tinh thể của giao diện cấu trúc dị thể bằng việc sử dụng một liên kết chính xác các vật liệu 2, 3, và 4 thành phần. Các yếu tố này ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất bức xạ và tuổi thọ của nguồn sáng. Quan hệ cơ học lượng tử giữa năng lượng E và tần số $\nu(f)$:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Bước sóng phát xạ đỉnh λ đo bằng μ m có thể biểu diễn như một hàm của năng lượng vùng cấm E_G đo bằng eV theo công thức:

$$\lambda(\mu\text{m}) = \frac{1,24}{E_G} \quad (1.22)$$

1.5 VẬT LIỆU TỪ

1.5.1 Định nghĩa.

Vật liệu từ là vật liệu khi đặt vào trong một từ trường thì nó bị nhiễm từ.

Quá trình nhiễm từ của các vật liệu sắt từ dưới tác dụng của từ trường ngoài dẫn đến sự tăng nguồn nhiễm từ và quay các vectơ mômen từ theo hướng của từ trường ngoài

1.5.2 Các tính chất đặc trưng cho vật liệu từ.

a. Từ trở và từ thẩm:

Giống như điện trở của một dây dẫn, mạch từ cũng có từ trở R_m . Từ trở là một đại lượng đánh giá sự ngăn cản việc lập nên từ thông của một mạch từ. Từ trở được tính theo công thức sau:

$$R_m = \frac{l}{\mu} \cdot \frac{1}{S} \quad (1.23)$$

trong đó: l - là độ dài của mạch từ
 S - là tiết diện của mạch từ
 μ - là độ từ thẩm của vật liệu trong mạch từ

Số nghịch đảo của μ tương ứng với điện trở suất ρ trong mạch điện. Vậy $1/\mu$ là từ trở suất của 1m^3 vật liệu từ.

Độ từ thẩm là số nghịch đảo của từ trở

$$\mu = \frac{l}{R_m} \cdot \frac{1}{S} = \frac{\Phi}{F_m} \quad (1.24)$$

trong đó: μ là độ từ thẩm của vật liệu từ
 F_m là lực từ động và Φ là từ thông.

Thay các giá trị của R_m và F_m và thay công thức tính mật độ từ thông (độ cảm ứng từ)

$$B = \Phi / S \quad (1.25)$$

ta có công thức tính độ từ thẩm:

$$\mu = \frac{B}{H} \quad [\text{H/m}] \quad (1.26)$$

Vậy độ từ thẩm là tỉ số giữa cảm ứng từ B và cường độ từ trường H và có đơn vị đo bằng Henry/met $[\text{H/m}]$, trong đó H đo bằng Ampe/met.

Độ từ thẩm của không gian tự do μ_0 :

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \quad [\text{H/m}]$$

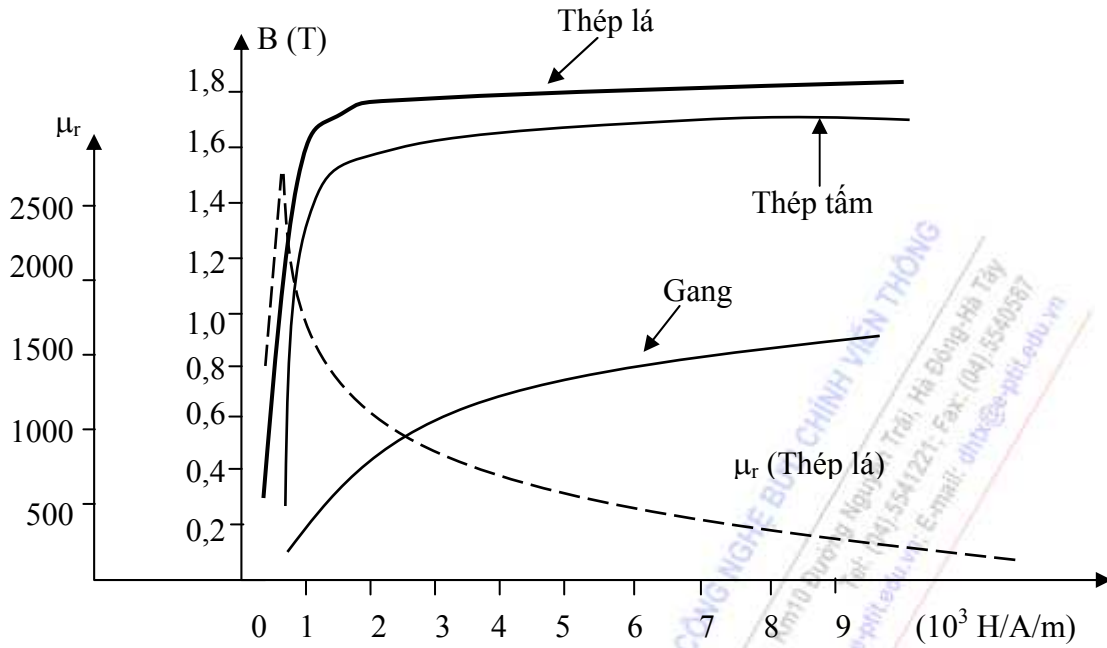
b. Độ từ thẩm tương đối (μ_r):

Sự gia tăng từ thông tổng hợp là độ cảm ứng từ B khi cho sắt hoặc thép vào một mạch điện được tính là độ từ thẩm tương đối μ_r và công thức (1-61) được viết lại thành:

$$\mu_r \cdot \mu_0 = \frac{B}{H} \quad (1.27)$$

Trong trường hợp của không khí và các vật liệu không từ tính khác thì $\mu_r = 1$.

Tùy theo từng loại sắt hoặc thép mà $\mu_r = 400 \div 2500$



Hình 1- 10 : Đường cong từ hóa của gang, thép lá, thép đúc tấm và đường cong từ thẩm của thép lá.

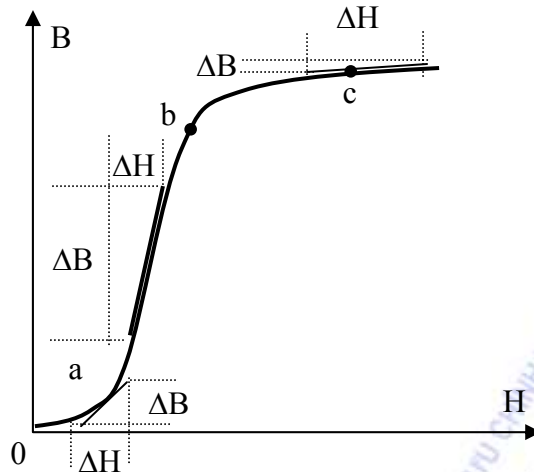
Hình (1- 10) mô tả sự thay đổi của độ cảm ứng từ B khi cường độ từ trường H thay đổi trên các mẫu là mạch sắt từ khép kín và đường cong từ thẩm của thép lá. Đường từ hóa có thể được dùng để xác định độ cảm ứng từ B đối với một giá trị cường độ từ trường đã cho. Từ đó, độ từ thẩm tương đối của mỗi mẫu có thể được tính và vẽ trên đồ thị đường từ hóa này.

Đường đứt nét trong hình (1-10) mô tả độ từ thẩm tương đối μ_r của thép lá. Độ từ thẩm tương đối không phải là đại lượng không đổi, nó phụ thuộc vào cường độ từ trường H . Đối với thép lá độ từ thẩm cực đại đạt được ở cường độ từ trường xấp xỉ 250A/m.

c. Đường cong từ hóa:

Đặc trưng cho tính chất của vật liệu từ ta có đường cong từ hóa $B = f(H)$ biểu thị mối quan hệ giữa độ cảm ứng từ B và cường độ từ trường H (xem hình 1- 11).

Khi độ cảm ứng từ B và cường độ từ trường H trong cuộn dây thay đổi với số gia là ΔB và ΔH thì số gia của độ từ thẩm $\Delta B / \Delta H$ sẽ trở nên quan trọng.



Hình 1- 11 : Độ từ thẩm là tỉ số của B/H.

Điều cần biết ở đây là ta muốn đạt được một giá trị độ từ thẩm lớn nhất khi độ cảm ứng từ B cực đại với cường độ từ trường H có thể nhỏ nhất. Một quan hệ quan trọng khác là các giá trị thay đổi của B và H trong hình (1- 11). Độ nghiêng của đường cong từ hóa tại một điểm bất kỳ được gọi là gia lượng từ thẩm $\Delta\mu$.

$$\Delta\mu = \Delta B / \Delta H$$

Độ gia từ thẩm quan trọng trong ứng dụng mà ở đó yêu cầu sự thay đổi rất nhỏ của cường độ từ trường H và sự thay đổi lớn của cảm ứng từ B.

- *Hiện tượng trễ*: Hình (1- 12)

Đường cong từ hóa biểu thị quan hệ giữa độ cảm ứng từ B và cường độ từ trường H của vật liệu từ khi ta đặt nó trong từ trường.

Như biểu thị trong hình ta có:

B_s - cảm ứng từ bão hòa

B_d - cảm ứng từ dư

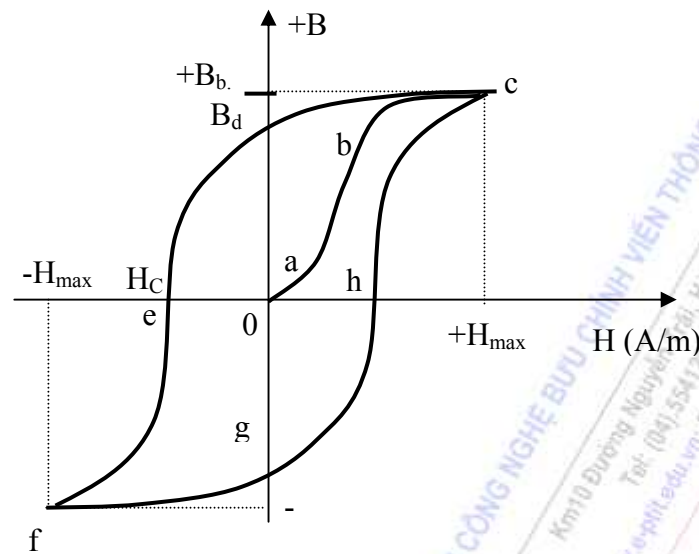
H_c - lực kháng từ

Đường cong 0-a-b-c xảy ra khi vật liệu từ ban đầu là không bị nhiễm từ và cường độ từ trường tăng từ 0 lên. Khi ta giảm cường độ từ trường từ H_{max} xuống đến 0 thì vật liệu từ vẫn còn giữ lại một số từ thông. Độ cảm ứng từ còn lại trong vật liệu từ đã nhiễm từ khi cường độ từ trường giảm xuống đến 0 gọi là độ cảm ứng từ dư (đoạn o-d): (B_d).

Để giảm độ cảm ứng từ dư đến 0, ta cần cung cấp một cường độ từ trường âm. Cường độ từ trường cần thiết (o-e) để giảm độ cảm ứng từ dư đến 0 được gọi là lực kháng từ (H_c). Khi tiếp tục tăng giá trị ngược của cường độ từ trường H, thì độ cảm ứng từ B cũng tăng theo chiều âm đến giá trị bão hòa, ta có đường cong từ hóa mới (đoạn e-f). Một lần nữa, cường độ từ trường ngược lại giảm đến 0 thì độ cảm ứng từ cũng giảm đến giá trị cảm ứng từ dư (đoạn o-g). Và để giảm độ cảm ứng từ đến 0, ta lại phải tăng cường độ từ trường theo chiều dương đến trị số H_c (đoạn o-h) và đây cũng chính là lực kháng từ. Tiếp tục tăng cường độ từ trường theo chiều dương ta được đoạn "h-c" của đồ thị. Như vậy, đồ thị B/H có dạng một vòng khép kín. Vòng này đối xứng với độ lớn $+B_{max} = -B_{max}$, và $+H_{max} = -H_{max}$.

Vòng từ trễ chứng minh rằng, một ít năng lượng được hấp thụ vào trong vật liệu từ để

thăng lực ma sát và làm thay đổi sự sắp xếp thẳng hàng của các đomen từ. Năng lượng này là nguyên nhân làm nóng lõi cuộn dây, và nó chính là năng lượng lãng phí. Diện tích phủ kín vòng từ trở tỉ lệ thuận với năng lượng hao phí này. Hình (1- 13) biểu diễn 3 vòng từ trở tiêu biểu cho 3 loại vật liệu sắt từ.



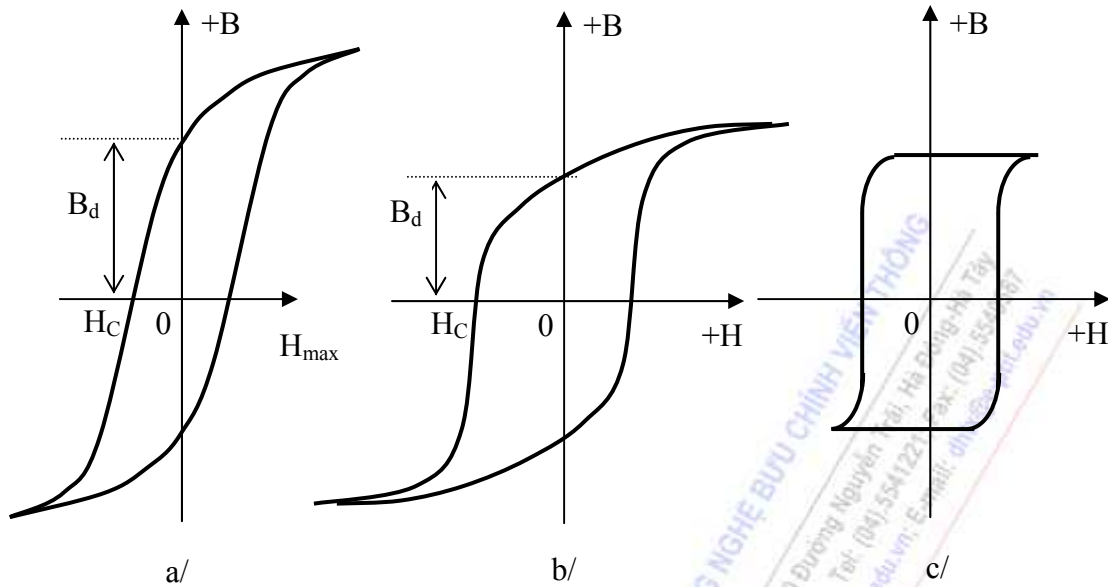
Hình 1- 12 : Vòng từ trễ (Khi cường độ từ trường giảm từ H_{max} đến 0, độ cảm ứng từ còn dư lại. Nếu H đổi hướng thì cảm ứng từ dư cũng đổi hướng).

Vòng từ trễ hình (1- 13a) là của sắt mềm. Vòng từ trễ hình (1- 13b) mô tả vòng từ trễ tiêu biểu của chất thép cứng, và diện tích của nó lớn là nguyên nhân dẫn đến tổn thất của lõi lớn. Tuy nhiên, vì độ cảm ứng từ dư của chất thép cứng lớn nên nó rất thuận lợi cho nam châm vĩnh cửu.

Vòng từ trễ hình (1- 13c) là của Ferit. Đây là một lõi ceramic được làm từ oxit sắt. Vòng từ trễ có hình dạng như vậy sẽ có tổn thất trễ lớn. Đặc tính độ cảm ứng B đạt tới trị số cảm ứng từ dư không đổi trong một hướng này cho phép sử dụng Ferit làm các bộ nhớ từ.

- *Dòng điện xoáy trong lõi sắt từ:*

Như ta đã biết, một từ trường thay đổi sẽ cảm ứng một sức điện động trong một dây dẫn đặt trong từ trường đó. Do vậy, một lõi sắt từ đặt trong một cuộn dây sẽ cảm ứng một sức điện động và tạo ra một dòng điện lưu thông trong lõi sắt từ được gọi là dòng điện xoáy. Dòng điện xoáy làm nóng lõi sắt từ và nó giữ vai trò quan trọng trong tổng tổn thất của cuộn dây. Để hạn chế dòng điện xoáy, lõi sắt từ làm việc với dòng điện xoay chiều luôn được chế tạo từ các lá mỏng. Bề mặt của các lá mỏng này được quét vecni hoặc một lớp sơn cách điện mỏng lên cả hai mặt để tăng điện trở của chúng đối với dòng điện xoáy. Bằng cách này các tổn thất do dòng điện xoáy không còn đáng kể.



Hình 1- 13: Hình dạng của một số vòng từ trễ của các vật liệu

1.5.3 Phân loại và ứng dụng của vật liệu từ.

Dựa vào vòng từ trễ người ta chia vật liệu từ làm 2 loại:

- Vật liệu từ mềm có độ từ thẩm cao và lực kháng từ nhỏ (H_c nhỏ và μ lớn).
- Vật liệu từ cứng có độ từ thẩm nhỏ và lực kháng từ cao (H_c lớn và μ nhỏ).

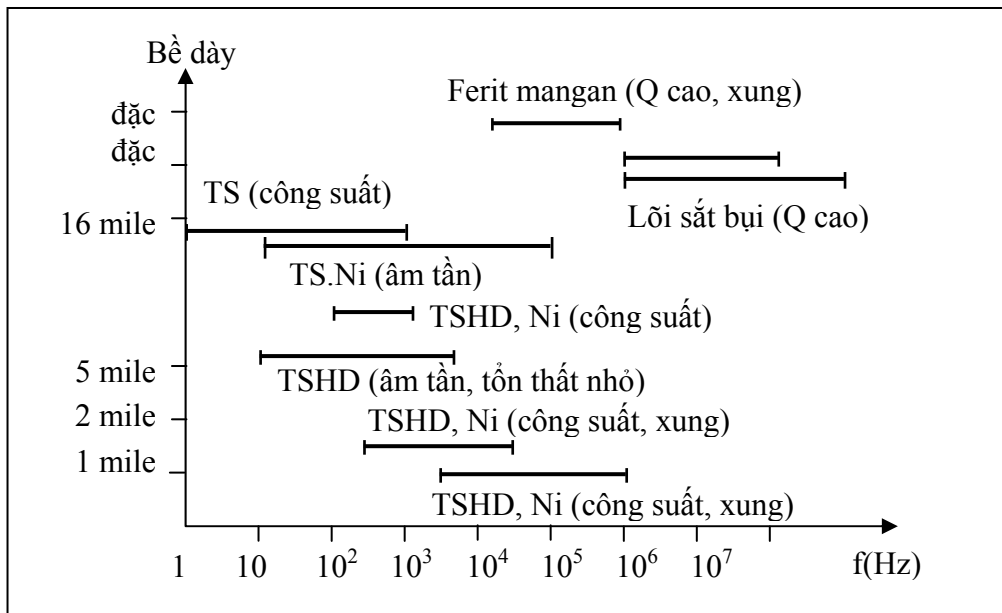
a. Vật liệu từ mềm:

- *Vật liệu từ mềm dùng ở tần số thấp:*

Vật liệu từ mềm làm việc ở tần số thấp thường được dùng rộng rãi là sắt, hợp kim sắt - silic, sắt - niken, lá thép kỹ thuật điện... để làm lõi biến áp, nam châm điện.

Hiện nay hợp kim sắt từ dùng rộng rãi nhất là sắt- silic. Sắt- niken có độ từ thẩm cao hơn. Vật liệu sắt dùng trong các cuộn dây và biến áp thường ở dạng tấm mỏng.

Một cách khác, hợp kim sắt từ được tạo thành bằng cách nung dính một hỗn hợp bột kẽm nguyên chất, sau đó được cán nguội và ủ. Khi cán nguội, nhờ tác động sắp xếp lại trực tinh thể nên tính chất từ theo hướng cán là tốt nhất và được gọi là vật liệu từ có định hướng. Để giảm độ tiêu hao do các dòng điện xoáy trong lõi biến áp người ta dùng vật liệu từ có điện trở suất cao. Để thay đổi tính chất từ và điện trở suất của vật liệu sắt từ ta phải thay đổi tỉ lệ thành phần hợp kim. Các tính chất của vật liệu từ thường cho dưới dạng các đường cong từ hóa và các đường cong độ từ thẩm. Độ dễ từ hóa của một vật liệu từ được đo bằng độ từ thẩm. Với sắt-silic có độ từ thẩm cực đại khoảng 7500H/m, còn sắt -niken khoảng 60000H/m. Các khoảng tần số làm việc của các vật liệu từ thông dụng như biểu diễn trong hình (1- 14).



Hình 1- 14 : Khoảng tần số làm việc của của các vật liệu từ thông dụng

- *Vật liệu từ mềm dùng ở tần số cao:*
(thường ở tần số vài trăm đến vài ngàn KHz).

+ Ferit là vật liệu từ được dùng rộng rãi nhất ở tần số cao.

Ferit là vật liệu từ có độ từ thẩm cao, tổn thất nhỏ. Ferit là hợp chất ôxit sắt 3 (Fe_2O_3) kết hợp với các ôxit kẽm loại hóa trị một hoặc hai (ZnO ; Zn_2O). Nguyên vật liệu sau xử lý được nghiền thành bột mịn, trộn lại và ép định hình theo khuôn thành dạng thanh hay ống, sau đó được thiêu ở nhiệt độ cao trong môi trường thích hợp, Đây là quá trình gia công nhiệt đặc biệt để hợp chất cho điện trở suất cao.

Ferit có nhiều loại nhưng thông dụng nhất là Ferit-Mangan- Kẽm và Ferit -Niken- Kẽm.

Ferit có đặc điểm là điện dẫn suất thấp, độ từ thẩm ban đầu cao và giá trị cảm ứng từ bão hòa thích hợp. Ferit được dùng trong các cuộn dây, có hệ số phẩm chất cao, các biến áp có dải thông tần rộng, các cuộn dây trung tần, thanh anten, các cuộn làm lệch tia điện tử, các biến áp xung, v.v..

Ferit mangan kẽm (MnZn ferit) được chế tạo thành nhiều loại khác nhau tùy theo ứng dụng với những cuộn dây có hệ số phẩm chất cao (Q cao) trong khoảng tần số từ 1 đến 500KHz, có loại tổn thất nhỏ, có hệ số nhiệt của độ từ thẩm thấp và độ ổn định cao. Dùng trong truyền hình có loại thích hợp làm việc với điện cảm ứng từ cao; cũng có loại có độ từ thẩm thích hợp với các biến áp thông tin dải rộng và các biến áp xung.

Ferit niken kẽm (NiZn ferit) cũng có nhiều loại có thành phần oxit niken và oxit kẽm khác nhau, đồng thời chúng đều có điện trở suất cao.

+ Pecmaloi có độ từ thẩm cao (có thể tới hàng trăm ngàn H/m).

Pecmaloi là hợp kim gồm có 50% ÷ 80% là Niken, 18% ÷ 18,5% là Fe còn lại là Mangan, Crôm, Đồng, Silic và còn lại là Moliden.

Pecmaloi thường được dát mỏng. Chúng thường được dùng làm biến áp Micro, đầu từ, biến áp kích thước nhỏ, chất lượng cao. Nhược điểm của Pecmaloi rất dễ vỡ, dễ biến dạng nên

cần thận khi sử dụng và gia công chế tạo.

b. Vật liệu từ cứng:

Theo ứng dụng chia vật liệu từ cứng thành 2 loại:

- Vật liệu để chế tạo nam châm vĩnh cửu.
- Vật liệu từ để ghi âm, ghi hình, giữ âm thanh, v.v..

Theo công nghệ chế tạo, chia vật liệu từ cứng thành:

- Hợp kim thép được tôi thành Martenxit là vật liệu đơn giản và rẻ nhất để chế tạo nam châm vĩnh cửu.
- Hợp kim lá từ cứng.
- Nam châm từ bột.
- Ferit từ cứng: Ferit Bari ($BaO \cdot 6Fe_2O_3$) để chế tạo nam châm dùng ở tần số cao.
- Băng, sợi kim loại và không kim loại dùng để ghi âm thanh.

- *Đặc điểm của nam châm vĩnh cửu là:*

Năng lượng từ cực đại bao quanh không gian xung quanh chất sắt từ được tính bằng Oat (W):

$$W_d = \frac{B_d \cdot H_d}{2} \quad (1.28)$$

nghĩa vậy, năng lượng bao quanh không gian chất sắt từ được tính theo công thức:

$$W = \frac{B \cdot H}{2}$$

Nam châm trong trạng thái khép kín sẽ không truyền năng lượng ra không gian xung quanh. Khi tồn tại 1 khe không khí giữa các cực thì sẽ xuất hiện sự truyền năng lượng vào không gian xung quanh, trị số của nó phụ thuộc nhiều vào chiều dài khe không khí.

Các đặc tính của nam châm vĩnh cửu là các đại lượng:

- Lực kháng từ H_C .
- Độ cảm ứng từ dư B_{dr} .
- Năng lượng cực đại bao quanh không gian xung quanh chất sắt từ W_d .
- Độ từ thẩm của vật liệu từ cứng nhỏ hơn của vật liệu từ mềm và với sự tăng của H_C thì độ từ thẩm giảm.

Đại lượng $H \cdot B / 2$ tỉ lệ với năng lượng cực đại của từ trường bao quanh chất sắt từ.

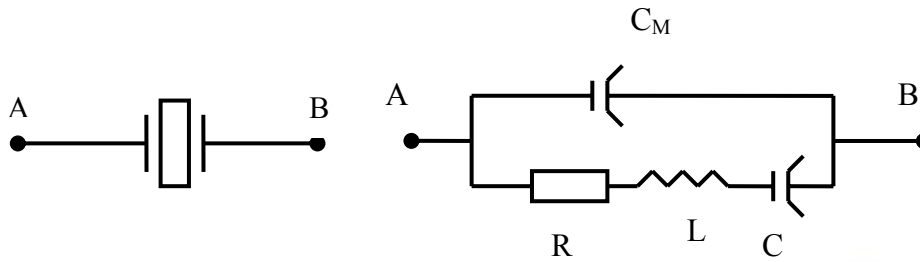
1.4.5. Thạch anh áp điện (SiO_2)

Thạch anh là tinh thể SiO_2 tự nhiên không màu, trong suốt, thường gọi là pha lê tự nhiên; hoặc thạch anh màu (thạch anh khói, thạch anh tím). Tinh thể thạch anh áp điện có thể được gia công bằng phương pháp nhân tạo, khi đó các tính chất của nó gần giống như các tính chất của các tinh thể tự nhiên.

Thạch anh áp điện thường được dùng làm các bộ dao động thạch anh có tần số dao động rất ổn định.

Bộ cộng hưởng thạch anh: Bề mặt của các tấm thạch anh được mài bằng bột mịn và trên chúng được đặt các điện cực bằng kim loại tạo ra bộ cộng hưởng thạch anh.

Ký hiệu và mạch tương đương:



Hình 1-5. Ký hiệu và sơ đồ mạch tương đương của thạch anh trong mạch

Bộ cộng hưởng thạch anh cần có hệ số nhiệt tần số thấp và không được tạo ra các cộng hưởng ký sinh theo cả hai hướng kể từ tần số cộng hưởng chính trong dải tần đã cho của nó.

Điện tích xuất hiện ở hiệu ứng áp điện được xác định bằng công thức:

$$Q = d_{ij} \cdot F \quad (1.29)$$

trong đó: F - là lực gây ra biến dạng

d_{ij} - môđun điện tương ứng với loại tinh thể.

TÓM TẮT NỘI DUNG

Trong chương này chúng ta đã trình bày định nghĩa về cấu kiện điện tử một cách khái quát, đưa ra một số cách phân loại cấu kiện điện tử thông dụng. Thông thường nhất ta chia cấu kiện điện tử dựa theo ứng dụng của nó là cấu kiện điện tử thụ động và cấu kiện điện tử tích cực. Ngoài ra còn phân loại theo lịch sử phát triển công nghệ chế tạo của các cấu kiện mà chúng ta rất quen gọi là cấu kiện điện tử chân không, cấu kiện điện tử có khí, cấu kiện điện tử bán dẫn, vi mạch và cấu kiện điện tử nanô.

Trong chương 1 cũng cho chúng ta một khái quát chung cấu trúc của một mạch điện tử và một hệ thống điện tử. Từ đây chúng ta có thể hình dung được tầm quan trọng của các cấu kiện điện tử và vị trí có thể sử dụng chúng trong các thiết bị điện tử.

Vật liệu điện tử là phần quan trọng của chương 1. Chúng ta đã nghiên cứu về đặc tính vật lý điện của các loại vật liệu sử dụng trong lĩnh vực điện tử và đã được phân ra làm 4 loại theo ứng dụng của nó.

Chất cách điện hay còn gọi là chất điện môi là loại dẫn điện kém, điện trở suất của nó rất cao ($10^7 \div 10^{17}$) Ωm . Khi sử dụng chất cách điện ta phải chú ý đến các tính chất kỹ thuật sau: Hằng số điện môi ϵ , biểu thị khả năng phân cực của chất điện môi; Độ bền về điện $E_{d.t}$, biểu thị khả năng chịu được điện áp cao của chất điện môi; Độ tổn hao điện môi P (hay góc tổn hao điện môi $\text{tg}\delta$) biểu thị chi phí năng lượng điện vô ích của chất điện môi khi có dòng điện chạy qua. Tùy theo mục đích sử dụng mà chúng ta chú ý đến các tính chất đặc trưng này một cách tối ưu để lựa chọn vật liệu thích hợp.

Trong sử dụng, chất cách điện được chia làm 2 loại chính là vật liệu cách điện thụ động và chất cách điện tích cực. Chất cách điện thụ động thường dùng làm vật liệu cách điện và làm tụ điện. Còn chất cách điện tích cực có một số đặc tính cơ-điện đặc biệt như biến cơ năng thành điện năng (gôm xét nhét, muối xét nhét), tính áp điện (muối xét nhét, gôm xét nhét, thạch anh áp điện) hoặc Electret (cái châm điện)...

Chất dẫn điện là vật liệu dẫn điện tốt, thông thường ở thể rắn chúng là kim loại và hợp kim, còn ở thể lỏng chúng là các kim loại nóng chảy và dung dịch điện phân. Khi sử dụng chất

dẫn điện chúng ta phải chú ý đến các tính chất sau của nó: Điện dẫn suất hay điện trở suất ($\sigma = 1/\rho$); Hệ số nhiệt của điện trở suất (α); Nhiệt dẫn suất (λ); Hiệu điện thế tiếp xúc và Giới hạn bền khi kéo.

Trong sử dụng, chất dẫn điện được chia làm 2 loại: chất dẫn điện có điện trở suất thấp, thường dùng làm dây dẫn điện như đồng nguyên chất, nhôm nguyên chất và chất dẫn điện có điện trở suất cao thường được dùng làm các điện trở, các sợi nung nóng...Tùy theo mục đích sử dụng mà chúng ta lựa chọn các vật liệu có tính chất thích hợp.

Chất bán dẫn là vật liệu mà điện trở suất của nó có giá trị ở giữa giá trị của chất cách điện và chất dẫn điện. Trong kỹ thuật điện tử người ta chỉ sử dụng các chất bán dẫn có cấu trúc mạng tinh thể, quan trọng là 2 chất silic và gecmani. Đặc tính dẫn điện quan trọng của chất bán dẫn là độ dẫn điện của nó phụ thuộc rất nhiều vào nhiệt độ và nồng độ tạp chất có trong nó. Chất bán dẫn được chia làm 3 loại chính: chất bán dẫn thuần (nguyên tính), chất bán dẫn tạp loại N và chất bán dẫn tạp loại P. Chất bán dẫn nguyên tính có nồng độ hạt tải điện điện tử và hạt tải điện lỗ trống bằng nhau ($p_i = n_i$); chất bán dẫn tạp loại P có hạt tải điện đa số là lỗ trống, hạt tải điện điện tử là thiểu số ($p_p \gg n_p$); chất bán dẫn tạp loại N có hạt tải điện đa số là điện tử, hạt tải điện thiểu số là lỗ trống ($n_n \gg p_n$).

Chất bán dẫn quang là vật liệu bán dẫn có cấu trúc điện tử đặc biệt để có thể bức xạ quang từ quá trình tái hợp của các hạt dẫn (biến đổi điện sang quang) hoặc hấp thụ quang để tạo ra các hạt dẫn điện (biến đổi quang sang điện).

Vật liệu từ là vật liệu có khả năng nhiễm từ khi đặt trong từ trường. Khi sử dụng vật liệu từ chúng ta phải chú ý các tính chất từ tính sau: Độ từ thẩm tương đối (μ_r), Từ trở (R_M) và Tổn hao từ trễ. Ngoài ra chúng ta còn quan tâm đến tính chất của đường cong từ hoá và vòng từ trễ của vật liệu từ. Người ta thường chia vật liệu từ ra làm 3 loại: Vật liệu từ mềm, vật liệu từ cứng và vật liệu từ có công dụng đặc biệt.

Vật liệu từ mềm có độ từ thẩm cao, lực kháng từ và tổn hao từ trễ nhỏ.

Vật liệu từ cứng là loại có độ từ thẩm thấp, lực kháng từ cao.

Vật liệu từ có công dụng đặc biệt.

CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Hãy cho biết một số cách phân loại cấu kiện điện tử thông thường?
2. Hãy cho biết các tính chất vật lý-điện cơ bản của chất cách điện?
3. Em hãy cho biết thông thường chất cách điện được chia làm mấy loại? Là những loại nào và phạm vi sử dụng chính của từng loại?
4. Hãy cho biết các tính chất vật lý-điện cơ bản của chất dẫn điện?
5. Dựa vào tính dẫn điện, chất dẫn điện được phân chia thành mấy loại? Là những loại nào? Cho ví dụ và nêu ứng dụng của chúng?
6. Hãy cho biết những yếu tố nào ảnh hưởng chính đến độ dẫn điện của chất bán dẫn?
7. Tại sao trong chất bán dẫn thuần, nồng độ hạt tải điện điện tử và hạt tải điện lỗ trống lại bằng nhau?
8. Thế nào là chất bán dẫn tạp loại N? Đặc điểm dẫn điện của nó là gì?
9. Thế nào là chất bán dẫn tạp loại P? Đặc điểm dẫn điện của nó là gì?
10. Chất bán dẫn quang điện tử có đặc điểm gì khác với chất bán dẫn thông thường?
11. Nêu những tính chất cơ bản của vật liệu từ?
12. Hãy cho biết vật liệu từ được phân chia thành mấy loại? Cho ví dụ ứng dụng của từng loại?
13. Cho một miếng bán dẫn Silic được pha thêm photpho nồng độ $10^{15} / cm^{-3}$. Hãy tính nồng

độ hạt dẫn trong miếng bán dẫn tại nhiệt độ $300^0 K$.

14. Hãy cho biết những tính chất đặc biệt của thạch anh áp điện và ứng dụng của nó?
15. Dựa vào cấu trúc vùng năng lượng của vật chất, chất bán dẫn có độ rộng vùng cấm là:
- a. $EG > 2eV$ b. $0eV < EG < 2eV$ c. $EG = 0eV$ d. $3eV < EG < 6eV$
16. Hãy điền vào chỗ trống của mệnh đề một trong những nhóm từ dưới đây:
“Độ bền về điện của chất điện môi là giá trịngoài đặt lên chất điện môi mà làm cho nó mất khả năng cách điện”.
- a. dòng điện; b. điện áp; c. công suất điện; d. cường độ điện trường
17. Độ từ thẩm tương đối của vật liệu từ μ_r là một đại lượng....
- a. không thay đổi.
b. thay đổi theo cường độ từ trường H.
c. thay đổi theo tần số làm việc.
d. thay đổi theo điều kiện môi trường như nhiệt độ, ánh sáng, độ ẩm...

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Giáo trình “Cấu kiện điện tử và quang điện tử” của Trần Thị Cẩm, Học viện Công nghệ BCVT, năm 2002.
2. Vật liệu kỹ thuật điện, của Nguyễn Đình Thắng, nhà xuất bản KHKT Hà Nội, năm 2005.



CHƯƠNG 2

CÁC CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ THỤ ĐỘNG

GIỚI THIỆU CHƯƠNG

Chương 2 giới thiệu về các cấu kiện điện tử thụ động. Đó là cấu kiện điện trở, tụ điện, cuộn cảm và biến áp. Đây là các cấu kiện không thể thiếu được trong các mạch điện. Chúng luôn giữ một vai trò rất quan trọng trong hầu hết các mạch điện. Các cấu kiện này được trình bày một cách cụ thể từ định nghĩa, cấu tạo, ký hiệu trong các sơ đồ mạch, các cách phân loại thông dụng, các tham số cơ bản và các cách nhận biết chúng trên thực tế. Ngoài ra, chương 2 còn cho biết đặc tính của một số cấu kiện điện tử thụ động đặc biệt, sử dụng trong các lĩnh vực khác nhau.

NỘI DUNG

2.1 ĐIỆN TRỞ

2.1.1. Định nghĩa và ký hiệu của điện trở

a. Định nghĩa:

Điện trở là cấu kiện dùng làm phân tử ngăn cản dòng điện trong mạch. Trị số điện trở được xác định theo định luật Ôm:

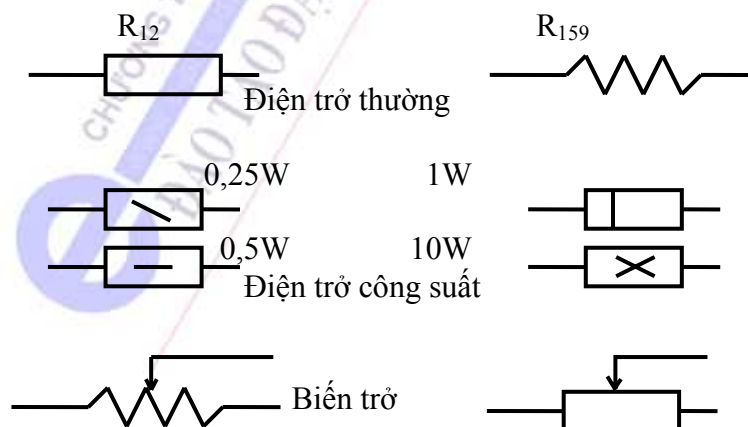
$$R = \frac{U}{I} \quad [\Omega] \quad (2.1)$$

Trong đó: U – hiệu điện thế trên điện trở [V]
 I - dòng điện chạy qua điện trở [A]
 R - điện trở [Ω]

Trên điện trở, dòng điện và điện áp luôn cùng pha và điện trở dẫn dòng điện một chiều và xoay chiều như nhau.

b. Ký hiệu của điện trở trên các sơ đồ mạch điện

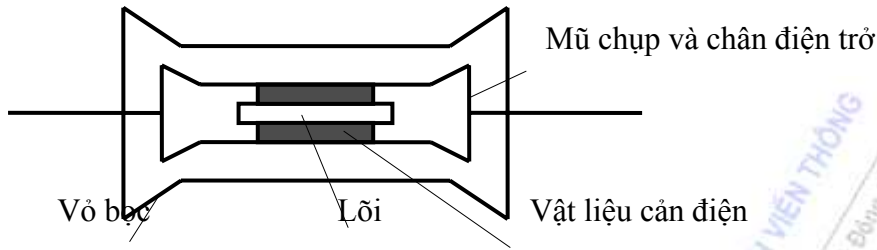
Trong các sơ đồ mạch điện, điện trở thường được mô tả theo các qui ước tiêu chuẩn như trong hình 2-1.



Hình 2-1: Ký hiệu của điện trở trên sơ đồ mạch điện

c. Cấu trúc của điện trở:

Cấu trúc của điện trở có nhiều dạng khác nhau. Một cách tổng quát ta có cấu trúc tiêu biểu của một điện trở như mô tả trong hình 2-2.



Hình 2.2: Kết cấu đơn giản của một điện trở

2.1.2. Các tham số kỹ thuật đặc trưng của điện trở

a. Trị số điện trở và dung sai

+ Trị số của điện trở là tham số cơ bản và được tính theo công thức:

$$R = \rho \frac{l}{S} \tag{2.2}$$

Trong đó: ρ - là điện trở suất của vật liệu dây dẫn cản điện
 l - là chiều dài dây dẫn
 S - là tiết diện của dây dẫn

+ Dung sai hay sai số của điện trở biểu thị mức độ chênh lệch giữa trị số thực tế của điện trở so với trị số danh định và được tính theo %.

Dung sai được tính theo công thức:

$$\frac{R_{t,t} - R_{d,d}}{R_{d,d}} 100\% \begin{cases} R_{t,t} & \text{Trị số thực tế của điện trở} \\ R_{d,d} & \text{Trị số danh định của điện trở} \end{cases}$$

Dựa vào % dung sai, ta chia điện trở ở 5 cấp chính xác:

- Cấp 005: có sai số $\pm 0,5 \%$
- Cấp 01: có sai số $\pm 1 \%$
- Cấp I: có sai số $\pm 5 \%$
- Cấp II: có sai số $\pm 10 \%$
- Cấp III: có sai số $\pm 20 \%$

b. Công suất tiêu tán danh định: ($P_{t,t,max}$)

Công suất tiêu tán danh định cho phép của điện trở $P_{t,t,max}$ là công suất điện cao nhất mà điện trở có thể chịu đựng được trong điều kiện bình thường, làm việc trong một thời gian dài không bị hỏng. Nếu quá mức đó điện trở sẽ nóng cháy và không dùng được.

$$P_{t,t,max} = RI_{max}^2 = \frac{U_{max}^2}{R} \quad [W] \tag{2.3}$$

Với yêu cầu đảm bảo cho điện trở làm việc bình thường thì $P_{tt} < P_{tt,max}$.

c. Hệ số nhiệt của điện trở : TCR

Hệ số nhiệt của điện trở biểu thị sự thay đổi trị số của điện trở theo nhiệt độ môi trường và được tính theo công thức sau:

$$TCR = \frac{1}{R} \cdot \frac{\Delta R}{\Delta T} \cdot 10^6 \quad [\text{ppm}/^\circ\text{C}] \quad (2.4)$$

Trong đó: R- là trị số của điện trở

ΔR - là lượng thay đổi của trị số điện trở khi
nhiệt độ thay đổi một lượng là ΔT .

TCR là trị số biến đổi tương đối tính theo phần triệu của điện trở trên 1°C (viết tắt là ppm/ $^\circ\text{C}$).

Lưu ý: Điện trở than làm việc ổn định nhất ở nhiệt độ 20°C . Khi nhiệt độ tăng lớn hơn 20°C hoặc giảm nhỏ hơn 20°C thì điện trở than đều tăng trị số của nó.

2.1.3. Cách ghi và đọc các tham số trên thân điện trở

Trên thân điện trở thường ghi các tham số đặc trưng cho điện trở như: trị số của điện trở và % dung sai, công suất tiêu tán (thường từ vài phần mười Watt trở lên). Người ta có thể ghi trực tiếp hoặc ghi theo nhiều qui ước khác nhau.

a. Cách ghi trực tiếp:

Cách ghi trực tiếp là cách ghi đầy đủ các tham số chính và đơn vị đo của chúng. Cách ghi này thường dùng đối với các điện trở có kích thước tương đối lớn như điện trở dây quấn.

b. Ghi theo qui ước

Cách ghi theo quy ước có rất nhiều các quy ước khác nhau. ở đây ta xem xét một số cách quy ước thông dụng:

+ Không ghi đơn vị Ôm: Đây là cách ghi đơn giản nhất và nó được qui ước như sau:

$$R \text{ (hoặc E)} = \Omega \quad M = M\Omega \quad K = K\Omega$$

+ Quy ước theo mã: Mã này gồm các chữ số và một chữ cái để chỉ % dung sai. Trong các chữ số thì chữ số cuối cùng chỉ số số 0 cần thêm vào. Các chữ cái chỉ % dung sai qui ước gồm: F = 1 %, G = 2 %, J = 5 %, K = 10 %, M = 20 %.

+ Quy ước màu:

Thông thường người ta sử dụng 4 vòng màu, đôi khi dùng 5 vòng màu (đối với loại có dung sai nhỏ khoảng 1%).

Loại 4 vòng màu được qui ước:

- Hai vòng màu đầu tiên là chỉ số có nghĩa thực của nó
- Vòng màu thứ 3 là chỉ số số 0 cần thêm vào (hay gọi là số nhân).
- Vòng màu thứ 4 chỉ phần trăm dung sai (%).

Loại 5 vạch màu được qui ước:

- Ba vòng màu đầu chỉ các số có nghĩa thực
- Vòng màu thứ tư là số nhân để chỉ số số 0 cần thêm vào
- Vòng màu thứ 5 chỉ % dung sai.

Bảng 2.1 : Bảng qui ước màu

Màu	Hàng chục	Đơn vị	Số nhân	Dung sai
Đen	0	0	1	20%
Nâu	1	1	10	1%
Đỏ	2	2	100	2%
Cam	3	3	1000	-
Vàng	4	4	10000	-
Lục	5	5	100000	-
Lam	6	6	1000000	-
Tím	7	7	10000000	-
Xám	8	8	100000000	-
Trắng	9	9	1000000000	-
Vàng kim	-	-	0,1	5%
Bạch kim	-	-	0,01	10%
Không màu	-	-	-	20%

Thứ tự vòng màu được qui ước như sau:



Hình 2-3: Thứ tự vòng màu

2.1.4. Phân loại và ứng dụng của điện trở

a. Phân loại:

Phân loại điện trở có rất nhiều cách. Thông dụng nhất là phân chia điện trở thành hai loại: điện trở có trị số cố định và điện trở có trị số thay đổi được (hay biến trở). Trong mỗi loại này lại được phân chia theo các chỉ tiêu khác nhau thành các loại nhỏ hơn như sau:

□ Điện trở có trị số cố định.

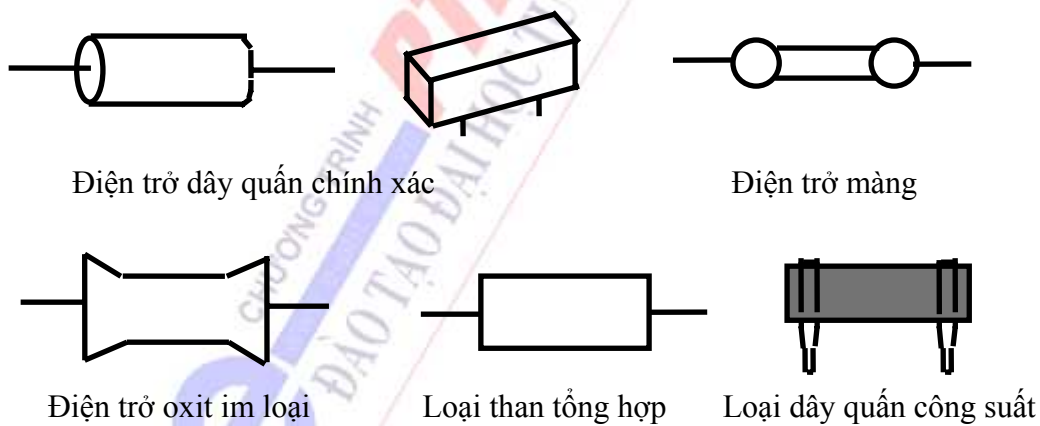
Điện trở có trị số cố định thường được phân loại theo vật liệu cản điện như:

- + Điện trở than tổng hợp (than nén)
- + Điện trở than nhiệt giải hoặc than màng (màng than tinh thể).
- + Điện trở dây quấn gồm sợi dây điện trở dài (dây NiCr hoặc manganin, constantan) quấn trên 1 ống gốm ceramic và phủ bên ngoài là một lớp sứ bảo vệ.
- + Điện trở màng kim, điện trở màng oxit kim loại hoặc điện trở miếng: Điện trở miếng thuộc thành phần vi điện tử. Dạng điện trở miếng thông dụng là được in luôn trên tấm ráp mạch.
- + Điện trở cermet (gốm kim loại).

Dựa vào ứng dụng điện trở được phân loại như liệt kê trong bảng 2.2.

Bảng 2.2: Các đặc tính chính của điện trở cố định tiêu biểu

Loại điện trở	Trị số R	$P_{t.t.max}$ [w]	t^0 làm việc 0C	TCR ppm/ 0C
Chính xác				
Dây quấn	0,1 Ω ÷ 1,2M	1/8 ÷ 3/4 ở 125 0C	-55 ÷ +145	± 10
Màng kim	10 Ω ÷ 5M	1/20 ÷ 1/2 ở 125 0C	-55 ÷ +125	± 25
Bán chính xác				
Oxyt kim loại	10 Ω ÷ 1,5M	1/4 ÷ 2 ở 70 0C	-55 ÷ +150	± 200
Cermet	10 Ω ÷ 1,5M	1/20 ÷ 1/2 ở 125 0C	-55 ÷ +175	± 200
Than màng	10 Ω ÷ 5M	1/8 ÷ 1 ở 70 0C	-55 ÷ +165	± 200;
Đa dụng				± 510
Than tổng hợp	2,7 Ω ÷ 100M	1/8 ÷ 2 ở 70 0C	-55 ÷ +130	± 1500
Công suất				
Dây quấn	0,1 Ω ÷ 180K	1 ÷ 21 ở 25 0C	-55 ÷ +275	± 200
Hình ống	1,0 Ω ÷ 3,8K	5 ÷ 30 ở 25 0C	-55 ÷ +275	± 50
Bất sườn máy	0,1 Ω ÷ 40K	1 ÷ 10 ở 25 0C	-55 ÷ +275	± 20
Chính xác	20 Ω ÷ 2M	7 ÷ 1000 ở 25 0C	-55 ÷ +225	± 500
Màng kim loại				
Điện trở miếng (màng vi điện tử)	1 Ω ÷ 22M		-55 ÷ +125	± 25 đến ± 200

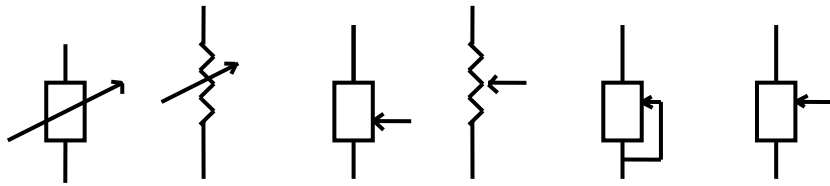


Hình 2-4: Một số hình dạng bên ngoài của một số điện trở cố định

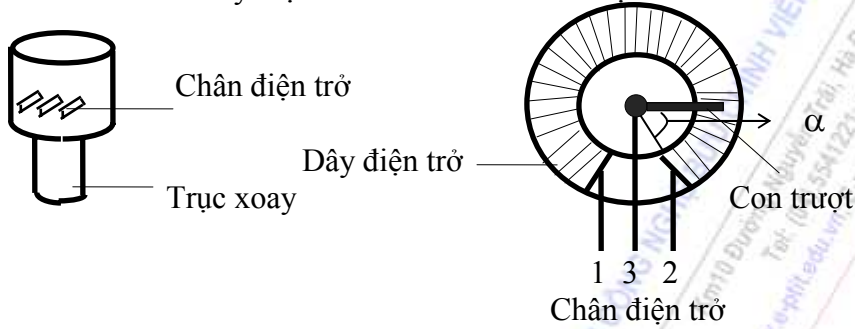
□ Điện trở có trị số thay đổi (hay còn gọi là biến trở)

Biến trở có hai dạng. Dạng kiểm soát dòng công suất lớn dùng dây quấn. Loại này ít gặp trong các mạch điện tử. Dạng thường dùng hơn là chiết áp. Cấu tạo của biến trở so với điện trở cố định chủ yếu là có thêm một kết cấu con chạy gắn với một trục xoay để điều chỉnh trị số

điện trở. Con chạy có kết cấu kiểu xoay (chiết áp xoay) hoặc theo kiểu trượt (chiết áp trượt). Chiết áp có 3 đầu ra, đầu giữa ứng với con trượt còn hai đầu ứng với hai đầu của điện trở.



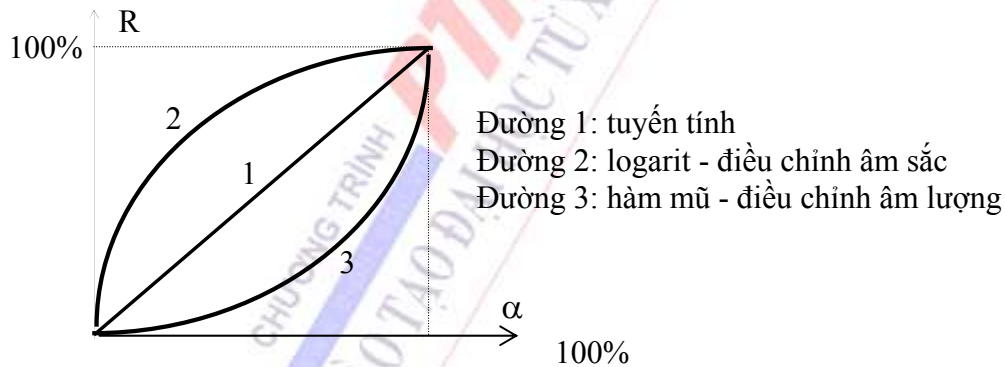
Hình 2-5: Ký hiệu của biến trở trên các mạch



Hình 2-6: Cấu trúc của một chiết áp dây quấn

Theo ứng dụng có thể chia chiết áp thành 3 loại chính: loại đa dụng, loại chính xác và loại điều chuẩn.

Ngoài các đặc tính tương tự như của điện trở cố định, chiết áp còn có các tham số riêng, trong đó cơ bản là luật điện trở. Luật điện trở cho biết trị số của điện trở thay đổi thế nào khi ta thay đổi góc xoay α của con chạy (hình 2-7).



Hình 2.7: Ba luật điện trở thông dụng của chiết áp

b. Ứng dụng:

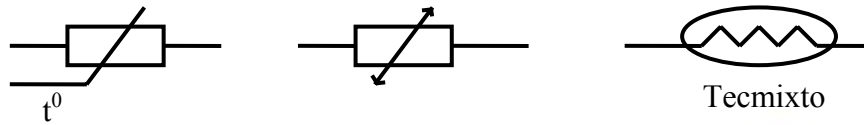
Ứng dụng của điện trở rất đa dạng: để giới hạn dòng điện, tạo sụt áp, dùng để phân cực, làm gánh mạch, chia áp, định hằng số thời gian, v.v..

c. Một số điện trở đặc biệt

□ **Điện trở nhiệt:** Tecmixto

Đây là một linh kiện bán dẫn có trị số điện trở thay đổi theo nhiệt độ. Khi ở nhiệt độ bình thường thì tecmixto là một điện trở, nếu nhiệt độ càng tăng cao thì điện trở của nó càng giảm.

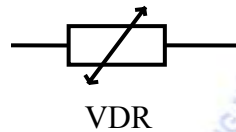
Hệ số nhiệt TCR của điện trở nhiệt tecomixto có giá trị âm lớn. Điện trở nhiệt thường được dùng để ổn định nhiệt cho các mạch của thiết bị điện tử, để đo và điều chỉnh nhiệt độ trong các cảm biến.



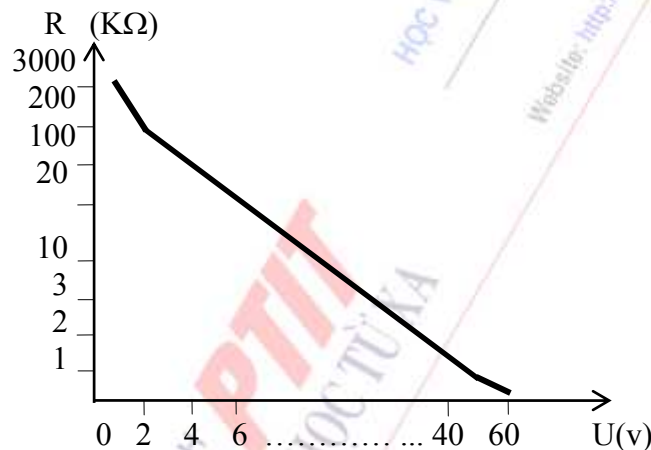
Hình 2-8: Ký hiệu của tecomixto trên sơ đồ mạch

□ Điện trở Varixto:

Đây là linh kiện bán dẫn có trị số điện trở thay đổi được khi ta thay đổi điện áp đặt lên nó.



Hình 2-9: Ký hiệu của varixto trong sơ đồ mạch



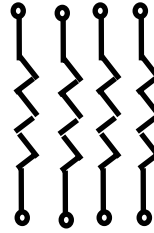
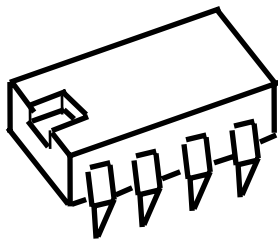
Hình 2-10: Sự thay đổi trị số điện trở của Varixto theo điện áp

Điện áp danh định là đặc tính cơ bản của varixto trong đó dòng điện qua varixto có trị số danh định.

Ứng dụng: Varixto dùng để chia áp trên các lưới điều khiển để ổn định điện áp. Đồng thời, nó còn được mắc song song với các cuộn ra của biến áp quét dòng, quét màng để ổn định điện áp trên các cuộn lái tia điện tử.

- Điện trở Mêgôm: có trị số điện trở từ $10^8 \div 10^{15} \Omega$ (khoảng từ 100 MΩ đến 1000000 GΩ). Điện trở Mêgôm được dùng trong các thiết bị đo thử, trong mạch tế bào quang điện.
- Điện trở cao áp: Là điện trở chịu được điện áp cao từ 5 KV đến 20 KV. Điện trở cao áp có trị số từ 2000 ÷ 1000 MΩ, công suất tiêu tán cho phép từ 5 W đến 20 W. Điện trở cao áp thường dùng làm gánh các mạch cao áp, các bộ chia áp.
- Điện trở chuẩn: Là các điện trở dùng vật liệu dây quấn đặc biệt có độ ổn định cao. Thí dụ, các vật liệu có sự thay đổi giá trị điện trở khoảng 10 ppm/năm, $TCR = 4 \text{ ppm}^{\circ}\text{C}$.

□ *Mạng điện trở*: Mạng điện trở là một loại vi mạch tích hợp có 2 hàng chân.



a. Mạng điện trở: 8 chân 2 hàng

b. Sắp xếp các điện trở ở bên trong RN

Hình 2-11: Cấu trúc của mạng điện trở

2.2 TỤ ĐIỆN

2.2.1. Định nghĩa và ký hiệu của tụ điện

a. Định nghĩa:

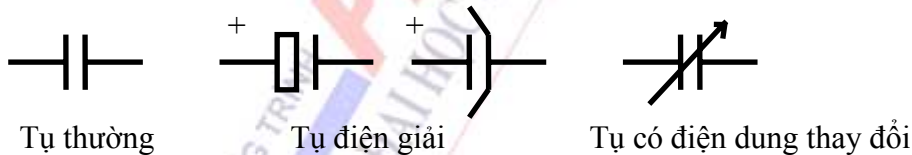
Tụ điện là dụng cụ dùng để chứa điện tích. Một tụ điện lý tưởng có điện tích ở bản cực tỉ lệ thuận với hiệu điện thế đặt ngang qua nó theo công thức:

$$Q = C \cdot U \quad [\text{culông}] \quad (2.5)$$

trong đó: Q - điện tích ở trên bản cực của tụ điện [C]
 U - hiệu điện thế đặt trên tụ điện [v]
 C - điện dung của tụ điện [F]

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{\epsilon\epsilon_0 \cdot S}{d}$$

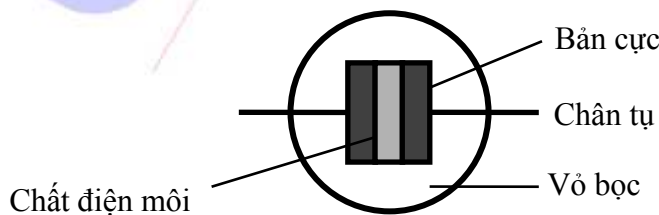
b. Ký hiệu của tụ điện trên các sơ đồ mạch:



Hình 2-12: Các ký hiệu của tụ điện

c. Cấu tạo của tụ điện:

Cấu tạo của tụ điện bao gồm một lớp vật liệu cách điện nằm giữa hai bản cực là 2 tấm kim loại có diện tích S.



Hình 2-13: Cấu tạo của tụ điện

2.2.2. Các tham số cơ bản của tụ điện

a. Trị số dung lượng và dung sai:

+ *Trị số dung lượng (C):*

Trị số dung lượng tỉ lệ với tỉ số giữa diện tích hữu dụng của bản cực S với khoảng cách giữa 2 bản cực. Dung lượng được tính theo công thức:

$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d} \quad [F] \quad (2.6)$$

Trong đó: ϵ_r - hằng số điện môi của chất điện môi

ϵ_0 - hằng số điện môi của không khí hay chân không

S - diện tích hữu dụng của bản cực [m²]

d - khoảng cách giữa 2 bản cực [m]

C - dung lượng của tụ điện [F]

Đơn vị đo dung lượng theo hệ SI là Farad [F], thông thường ta chỉ dùng các ước số của Farad.

+ *Dung sai của tụ điện:* Đây là tham số chỉ độ chính xác của trị số dung lượng thực tế so với trị số danh định của nó. Dung sai của tụ điện được tính theo công thức :

$$\frac{C_{t.t} - C_{d.d}}{C_{d.d}} \cdot 100\% \quad (2.7)$$

Dung sai của điện dung được tính theo %. Dung sai từ $\pm 5\%$ đến $\pm 20\%$ là bình thường cho hầu hết các tụ điện có trị số nhỏ, nhưng các tụ điện chính xác thì dung sai phải nhỏ (Cấp 01: 1%, Cấp 02: 2%).

b. Điện áp làm việc:

Điện áp cực đại có thể cung cấp cho tụ điện thường thể hiện trong thuật ngữ "điện áp làm việc một chiều".

Mỗi một tụ điện chỉ có một điện áp làm việc nhất định, nếu quá điện áp này lớp cách điện sẽ bị đánh thủng và làm hỏng tụ.

c. Hệ số nhiệt:

Để đánh giá sự thay đổi của trị số điện dung khi nhiệt độ thay đổi người ta dùng hệ số nhiệt TCC và tính theo công thức sau:

$$TCC = \frac{1}{C} \frac{\Delta C}{\Delta T} \cdot 10^6 \quad [ppm/^{\circ}C] \quad (2.8)$$

Trong đó: ΔC - là lượng tăng giảm của điện dung khi nhiệt độ thay đổi một lượng là ΔT .

C - là trị số điện dung của tụ điện.

TCC thường tính bằng đơn vị phần triệu trên 1^oC (viết tắt ppm/^oC) và nó đánh giá sự thay đổi cực đại của trị số điện dung theo nhiệt độ.

2.2.3. Tụ điện cao tần và mạch tương đương:

Sơ đồ mạch tương đương của tụ điện được mô tả ở hình 2-14.

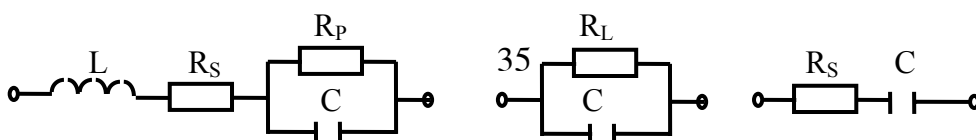
Trong sơ đồ: L - là điện cảm của đầu nối, dây dẫn (ở tần số thấp $L \approx 0$)

R_S - là điện trở của đầu nối, dây dẫn và bản cực (R_S thường rất nhỏ)

R_P - là điện trở rò của chất cách điện và vỏ bọc.

R_L, R_S - là điện trở rò của chất cách điện

C - là tụ điện lý tưởng



a. Sơ đồ tương đương

b. Sơ đồ tương đương

c. Sơ đồ tương đương

Trong đó hình "a" cho tụ bình thường; hình "b" cho tụ có điện trở rò lớn và hình "c" cho tụ có điện trở rò thấp.

Hình 2-14 "c" là sơ đồ tương đương của tụ điện ở tần số cao. Khi tụ làm việc ở tần số cao ta phải chú ý đến tổn hao công suất trong tụ được thể hiện qua hệ số tổn hao DF:

$$DF = \frac{R_s}{X_C} \cdot 100\% \quad (2.9)$$

Trong đó: R_s - là trị số hiệu dụng nối tiếp của tụ điện (điện trở bản cực, dây dẫn...)

X_C - là dung kháng của tụ điện

DF càng nhỏ thì tụ điện càng ít mất mát, tức là phẩm chất càng cao. Khi làm việc ở tần số cao cần tụ có phẩm chất cao. Hệ số phẩm chất của tụ điện được tính:

$$Q = \frac{1}{DF} \quad (2.10)$$

Đối với các tụ điện làm việc ở tần số cao thì tổn hao điện môi sẽ tăng tỉ lệ với bình phương của tần số:

$$P_a = U^2 \omega^2 C^2 R \quad (2.11)$$

Do đó, trên thực tế các tụ điện làm việc ở tần số cao cần phải có điện trở của các bản cực, dây dẫn và tiếp giáp nhỏ nên các chi tiết này thường được tráng bạc.

2.2.3 Các cách ghi và đọc tham số trên thân tụ điện

Hai tham số quan trọng nhất thường được ghi trên thân tụ điện là trị số điện dung (kèm theo dung sai sản xuất) và điện áp làm việc.

a. Cách ghi trực tiếp:

Ghi trực tiếp là cách ghi đầy đủ các tham số và đơn vị đo của chúng. Cách này chỉ dùng cho các loại tụ điện có kích thước lớn.

b. Cách ghi gián tiếp theo qui ước:

Cách ghi gián tiếp là cách ghi theo qui ước. Tụ điện có tham số ghi theo qui ước thường có kích thước nhỏ và điện dung ghi theo đơn vị pF.

Có rất nhiều các qui ước khác nhau như qui ước mã, qui ước màu, v.v.. Sau đây ta chỉ nêu một số qui ước thông dụng:

+ *Ghi theo qui ước số*: Cách ghi này thường gặp ở các tụ Polystylen.

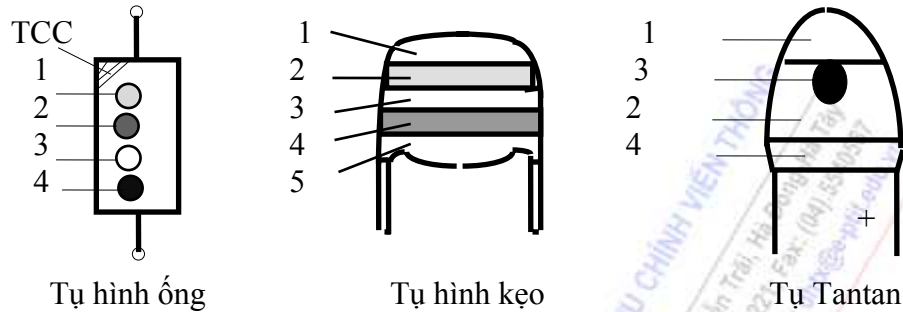
Ví dụ 1: Trên thân tụ có ghi 47/ 630: có nghĩa từ số là giá trị điện dung tính bằng pF, tức là 47 pF, mẫu số là điện áp làm việc một chiều, tức là 630 Vdc.

+ *Quy ước theo mã*: Giống như điện trở, mã gồm các chữ số chỉ trị số điện dung và chữ cái chỉ % dung sai.

Tụ gồm có kích thước nhỏ thường được ghi theo qui ước sau: ví dụ trên tụ ghi là 204 có nghĩa là trị số của điện dung 20.0000 pF Vdc.

Tụ Tantan là tụ điện giải cũng thường được ghi theo đơn vị μF cùng điện áp làm việc và cực tính rõ ràng.

+ Ghi theo quy ước màu: Tụ điện cũng giống như điện trở được ghi theo qui ước màu. Qui ước màu cũng có nhiều loại: có loại 4 vạch màu, loại 5 vạch màu. Nhìn chung các vạch màu qui ước gần giống như ở điện trở.



Hình 2-15: Mã màu của tụ điện

Bảng 2.3: Bảng qui ước mã màu trên tụ điện

	Vạch 1	Vạch 2	Vạch 3	Vạch 4	Vạch 4	Vạch 5
Màu	Số có nghĩa	Số có nghĩa	Số nhân (PF) Tantan(μF)	U_{DC} (V) Tụ Tantan	Dung sai $\leq 10PF$ $> 10PF$	Polyster
Đen	0	0	1 1	- 10	2PF $\pm 20\%$	-
Nâu	1	1	10 10	100 -	0,1PF $\pm 1\%$	-
Đỏ	2	2	100 100	250	- $\pm 2\%$	250w
Cam	3	3	1K -	-	- $\pm 2,5\%$	-
Vàng	4	4	10K -	400 6,3	- -	-
Lục	5	5	100K -	- 16	0,5PF $\pm 5\%$	-
Lam	6	6	- -	630 20	- -	-
Tím	7	7	- -	- -	- -	-
Xám	8	8	0,01 0,01	- 25	0.25PF -	-
Trắng	9	9	0,1 0,1	- 3	1PF $\pm 10\%$	-
Hồng	-	-	- -	- 35		-

2.2.4. Phân loại và ứng dụng.

Có nhiều cách phân loại tụ điện, thông thường người ta phân tụ điện làm 2 loại là:

- Tụ điện có trị số điện dung cố định
- Tụ điện có trị số điện dung thay đổi được.

a. **Tụ điện có trị số điện dung cố định:**

Tụ điện có trị số điện dung cố định thường được gọi tên theo vật liệu chất điện môi và công dụng của chúng như trong bảng 2.4.

Bảng 2.4: Bảng phân loại tụ điện dựa theo vật liệu và công dụng.

Loại tụ	Điện dung	U làm việc (Vdc)	t ⁰ làm việc
+ Chính xác:			
. Mi ca	1 ÷ 91000 PF	100 ÷ 2500	-55 ÷ 125
. Thủy tinh	1 ÷ 10000 PF	300 ÷ 500	-55 ÷ 125
. Gốm	1 ÷ 1100 PF	150 ÷ 500	-55 ÷ 85
. Màng Polystylen	1000 ÷ 220000 PF	200 ÷ 600	-55 ÷ 85
+ Bán chính xác:			
. Màng chất dẻo	1000PF ÷ 10 µF	30 ÷ 1000	-55 ÷ 125
. Màng chất dẻo- giấy (trắng kim loại)	4700PF ÷ 10 µF	50 ÷ 400	-55 ÷ 125
+ Đa dụng:			
. Gốm Li- K	10 ÷ 100000 PF	50 ÷ 200	-55 ÷ 125
. Ta ₂ O ₃ (nung dính, chất điện giải rắn có cực tính)	1 ÷ 580 PF	10 ÷ 300	-55 ÷ 125
. Màng dính ướt có cực	5,6PF ÷ 560 µF	4 ÷ 85	-55 ÷ 125
. Al ₂ O ₃ khô, có cực tính	150PF ÷ 120000 µF	5 ÷ 450	-40 ÷ 85
+ Triệt - nuôi			
. Giấy			
. Mi ca (hình khuy)	10000 PF ÷ 3 µF	100 ÷ 600	-55 ÷ 125
. Gốm	5 ÷ 2400 PF	≈ 500	-55 ÷ 125
+ Thoát	100 ÷ 1500 PF	500 ÷ 1500	-55 ÷ 125
. Giấy	10000 ÷ 35000 PF	100 ÷ 500	-55 ÷ 85

+ Tụ điện giải nhôm: (Thường gọi là tụ hóa) Tính chất quan trọng nhất của tụ điện giải nhôm là chúng có trị số điện dung rất lớn trong một "hộp" nhỏ. Giá trị tiêu chuẩn của các tụ hóa nằm trong khoảng từ 1 µF đến 100000 µF.

Các tụ điện giải nhôm thông dụng thường làm việc với điện áp một chiều lớn hơn 400 Vdc, trong trường hợp này, điện dung không quá 100 µF. Ngoài điện áp làm việc thấp và phân cực thì tụ điện giải nhôm còn một nhược điểm nữa là dòng rò tương đối lớn.

+ Tụ tantan: (chất điện giải Tantan)

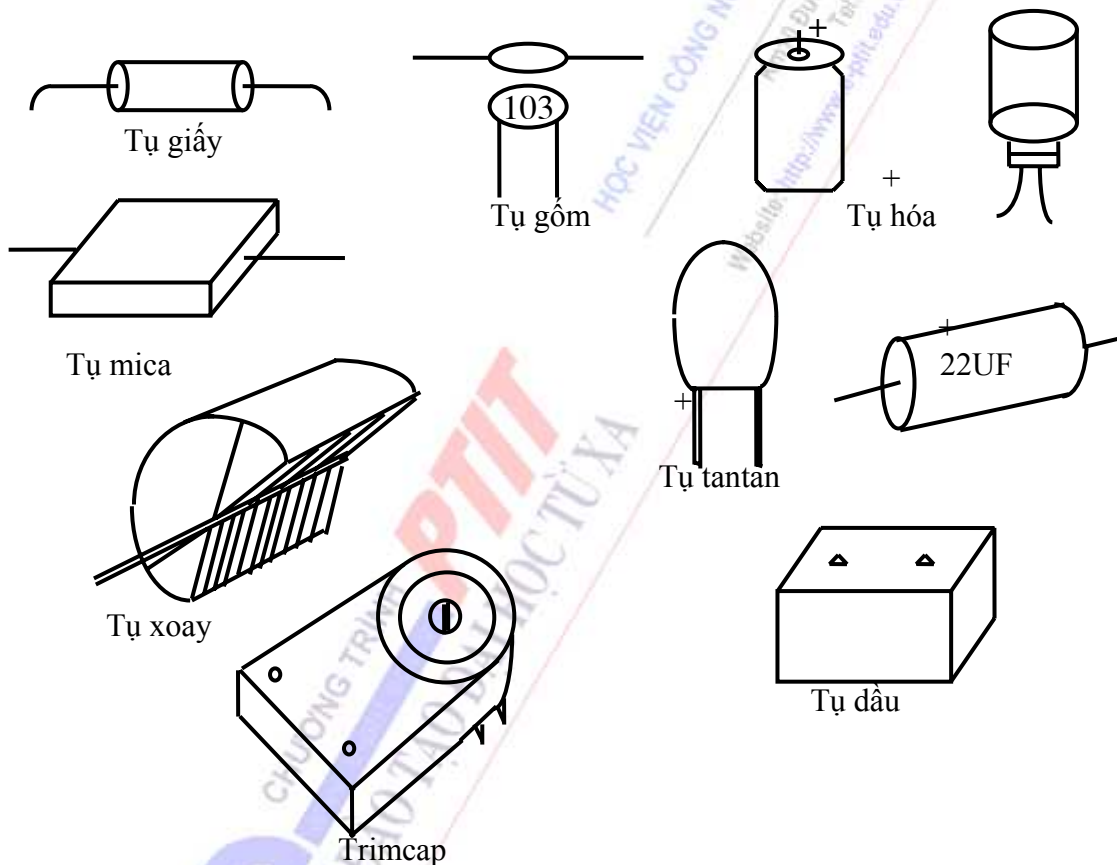
Đây là một loại tụ điện giải. Tụ tantan, cũng giống như tụ điện giải nhôm, thường có một giá trị điện dung lớn trong một khối lượng nhỏ.

. Giống như các tụ điện giải khác, tụ tantan cũng phải được đấu đúng cực tính. Tụ tantan cũng được ghi theo qui ước 4 vòng màu.

b. Tụ điện có trị số điện dung thay đổi

Tụ điện có trị số điện dung thay đổi được là loại tụ trong quá trình làm việc ta có thể điều chỉnh thay đổi trị số điện dung của chúng. Tụ có trị số điện dung thay đổi được có nhiều loại, thông dụng nhất là loại đa dụng và loại điều chuẩn.

- Loại đa dụng còn gọi là tụ xoay: Tụ xoay được dùng làm tụ điều chỉnh thu sóng trong các máy thu thanh, v.v.. Tụ xoay có thể có 1 ngăn hoặc nhiều ngăn. Mỗi ngăn có các lá động xen kẽ, đối nhau với các lá tĩnh, chế tạo từ nhôm. Chất điện môi có thể là không khí, mica, màng chất dẻo, gốm, v.v..
- Tụ vi điều chỉnh (thường gọi tắt là Trimcap)
 Loại tụ này có nhiều kiểu. Chất điện môi cũng dùng nhiều loại như không khí, màng chất dẻo, thủy tinh hình ống... Để thay đổi trị số điện dung ta dùng tuốc-nơ-vit để thay đổi vị trí giữa hai lá động và lá tĩnh



Hình 2 -16: Một số tụ điện thường gặp

c. Ứng dụng:

+ Tụ điện được dùng để tạo phần tử dung kháng ở trong mạch. Dung kháng X_c được tính theo công thức:

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{\omega C} \quad [\Omega] \tag{2.12}$$

Trong đó : f - là tần số của dòng điện (Hz)

C - là trị số điện dung của tụ điện (F)

+ Do tụ không cho dòng điện một chiều qua nhưng lại dẫn dòng điện xoay chiều nên tụ thường dùng để cho qua tín hiệu xoay chiều đồng thời vẫn ngăn cách được dòng một chiều giữa mạch này với mạch khác, gọi là tụ liên lạc.

+ Tụ dùng để triệt bỏ tín hiệu không cần thiết từ một điểm trên mạch xuống đất gọi là tụ thoát.

+ Tụ dùng làm phần tử dung kháng trong các mạch cộng hưởng LC gọi là tụ cộng hưởng.

+ Tụ dùng trong mạch lọc gọi là tụ lọc.

+ Do có tính nạp điện và phóng điện, tụ dùng để tạo mạch định giờ, mạch phát sóng răng cưa, mạch vi phân và tích phân...

2.3. CUỘN CẢM (hay CUỘN DÂY)

2.3.1. Định nghĩa và ký hiệu của cuộn cảm.

a. Định nghĩa:

Cuộn dây, còn gọi là cuộn tự cảm, là cấu kiện điện tử dùng để tạo thành phần cảm kháng trong mạch. Cảm kháng của cuộn dây được xác định theo công thức:

$$X_L = 2 \pi f L = \omega L \text{ (}\Omega\text{)} \quad (2.13)$$

Trong đó: L – điện cảm của cuộn dây (đo bằng Henry), phụ thuộc vào hình dạng, số vòng dây, cách sắp xếp, và cách quấn dây.

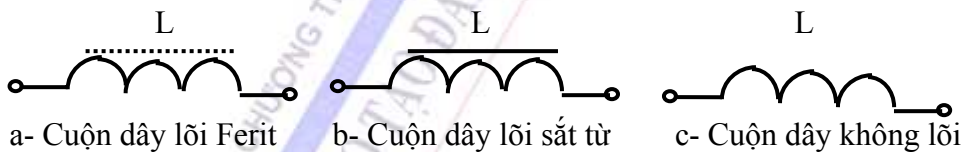
f - tần số của dòng điện chạy qua cuộn dây (Hz)

Các cuộn dây được cấu trúc để có giá trị độ cảm ứng xác định. Ngay cả một đoạn dây dẫn ngắn nhất cũng có sự cảm ứng. Như vậy, cuộn dây cho qua dòng điện một chiều và ngăn cản dòng điện xoay chiều. Đồng thời, trên cuộn dây dòng điện và điện áp lệch pha nhau 90° .

Cuộn dây gồm những vòng dây dẫn điện quấn trên một cốt bằng chất cách điện, có lõi hoặc không có lõi tùy theo tần số làm việc.

b. Ký hiệu các cuộn cảm trong sơ đồ mạch điện:

Trong các mạch điện, cuộn cảm được ký hiệu bằng chữ cái L.



Hình 2- 17: Ký hiệu cuộn dây trong sơ đồ mạch

2.3.2. Các tham số của cuộn cảm.

a. Điện cảm của cuộn dây (L):

Điện cảm của cuộn dây được tính theo công thức (2.14):

$$L = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot N^2 \cdot \frac{S}{l} \quad (2.14)$$

Trong đó : S - là tiết diện của cuộn dây (m^2)

N - là số vòng dây

l - là chiều dài của cuộn dây (m)

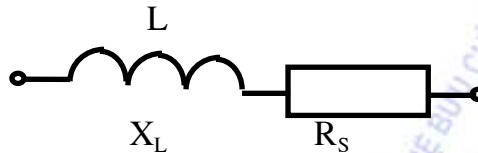
μ_r, μ_0 - là độ từ thẩm của vật liệu lõi sắt từ và của không khí (H/ m)

Qua biểu thức (2.14) ta thấy độ cảm ứng lớn nhất khi có cuộn dây ngắn với tiết diện lớn và có số vòng dây lớn.

b. Hệ số phẩm chất của cuộn cảm (Q):

Một cuộn cảm thực khi có dòng điện chạy qua luôn có tổn thất, đó là công suất điện tổn hao để làm nóng cuộn dây. Các tổn thất này được biểu thị bởi một điện trở R_S nối tiếp với cảm kháng X_L của cuộn dây. Hệ số phẩm chất Q của cuộn dây là tỷ số của cảm kháng X_L trên điện trở R_S này. Trị số Q càng cao thì tổn thất càng nhỏ và ngược lại.

$$Q = \frac{X_L}{R_S} \quad (2.15)$$



Hình 2 -18: Sơ đồ mạch tương đương của cuộn dây khi xét đến tổn thất

2.3.3. Cuộn cảm cao tần số và sơ đồ mạch tương đương.

Cuộn dây thực còn có tần số làm việc bị giới hạn bởi điện dung riêng của nó. Ở tần số thấp, điện dung này được bỏ qua vì dung kháng của nó rất lớn. Nhưng ở tần số đủ cao thì cuộn dây trở thành một mạch cộng hưởng song song. Tần số cộng hưởng của mạch cộng hưởng song song này gọi là tần số cộng hưởng riêng của cuộn dây f_0 . Nếu cuộn dây làm việc ở tần số cao hơn tần số cộng hưởng riêng này thì cuộn dây mang dung tính nhiều hơn. Do đó tần số làm việc cao nhất của cuộn dây phải thấp hơn tần số cộng hưởng riêng của nó.



Hình 2 -19: Sơ đồ tương đương của cuộn dây khi làm việc ở tần số cao

Tần số cộng hưởng riêng của cuộn dây:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad [\text{Hz}] \quad (2.16)$$

Trong đó: L - là điện cảm của cuộn dây [H]

C - là điện dung riêng của cuộn dây [F]

Tần số làm việc cao nhất của cuộn dây phải nhỏ hơn tần số f_0 này.

$$f_{\max} < f_0$$

2.3.4. Phân loại và ứng dụng của cuộn cảm.

□ Dựa theo ứng dụng mà cuộn cảm có một số loại sau:

- Cuộn cộng hưởng là các cuộn dây dùng trong các mạch cộng hưởng LC.

- Cuộn lọc là các cuộn dây dùng trong các bộ lọc một chiều.
- Cuộn chặn dùng để ngăn cản dòng cao tần, v.v..
- Dựa vào loại lõi của cuộn dây, có thể chia các cuộn dây ra một số loại sau. Chúng ta sẽ xem xét cụ thể từng loại một:

a. Cuộn dây lõi không khí hay cuộn dây không có lõi:

Cuộn dây lõi không khí có nhiều ứng dụng, thường gặp nhất là các cuộn cộng hưởng làm việc ở tần số cao và siêu cao.

Các yêu cầu chính của cuộn dây không lõi là:

- Điện cảm phải ổn định ở tần số làm việc.
- Hệ số phẩm chất cao ở tần số làm việc.
- Điện dung riêng nhỏ.
- Hệ số nhiệt của điện cảm thấp.
- Kích thước và giá thành phải hợp lý.

Để có độ ổn định cao, cuộn dây thường được quấn trên một ống cốt bền chắc bằng bìa hoặc sứ. Để giảm điện dung riêng có thể chia cuộn dây thành nhiều cuộn nhỏ nối tiếp.

Dây đồng nói chung được dùng đến tần số khoảng 50 MHz. Ở tần số cao hơn, cuộn dây thường được thay bằng ống đồng hoặc dải đồng tự đỡ (thường được mạ bạc để có điện dẫn xuất bề mặt cao) để tránh tổn thất trong ống quấn.

Các cuộn dây thường được tẩm dung dịch paraffin để chống ẩm, tăng độ bền cơ học, nhất là đối với các cuộn dây dùng sợi nhỏ chập lại hoặc cuộn dây quấn theo kiểu "tổ ong". Ở tần số Radio, các cuộn dây thường được bọc kim (đặt trong vỏ nhôm...) để tránh các nhiễu điện từ không mong muốn.

Muốn tăng điện cảm của cuộn dây mà không cần tăng số vòng dây, người ta dùng các lõi sắt từ

b. Cuộn dây lõi sắt bụi:

Cuộn dây lõi sắt bụi thường được dùng ở tần số cao và trung tần. Cuộn dây lõi sắt bụi có tổn thất thấp, đặc biệt là tổn thất do dòng điện xoáy ngược, và độ từ thẩm thấp hơn nhiều so với loại lõi sắt.

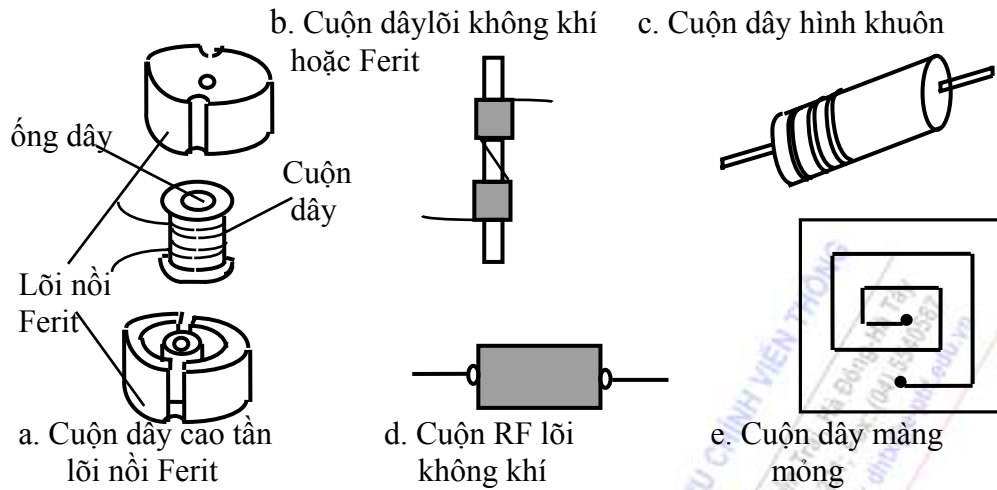
c. Cuộn dây lõi Ferit:

Cuộn dây lõi Ferit là các cuộn dây làm việc ở tần số cao và trung tần.

Lõi Ferit có nhiều hình dạng khác nhau như: thanh, ống, hình chữ E, chữ C, hình xuyên, hình nôi, hạt đậu, v.v.. Trong hình (2-20) mô tả một số loại cuộn dây cao tần và trung tần.

Lõi trong cuộn dây có thể được chế tạo để điều chỉnh đi vào hoặc đi ra khỏi cuộn dây. Như vậy điện cảm của cuộn dây sẽ thay đổi.

Tùy thuộc vào độ dày của sợi dây sử dụng và vào kích thước vật lý của cuộn dây, dòng điện cực đại có thể khoảng từ 50 mA đến 1 A.



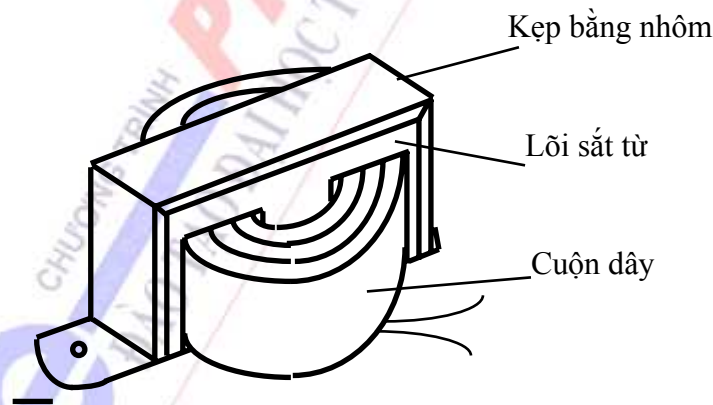
Hình 2 -20: Một số loại cuộn dây cao tần

d. Cuộn dây lõi sắt từ:

Lõi của cuộn dây thường là sắt - silic và sắt silic hạt định hướng, hoặc sắt- niken tùy theo mục đích ứng dụng. Đây là các cuộn dây làm việc ở tần số thấp. Dây quấn là dây đồng đã được tráng men cách điện, quấn thành nhiều lớp có cách điện giữa các lớp và được tẩm chống ẩm sau khi quấn.

Các cuộn chặn tần số thấp được dùng chủ yếu để lọc bỏ điện áp gợn cho nguồn cung cấp một chiều qua chỉnh lưu, làm tải anốt trong các tầng khuếch đại dùng đèn điện tử ghép LC, và trong các ứng dụng một chiều khác.

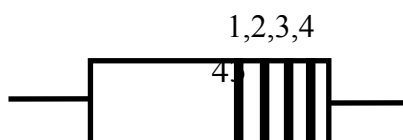
Giá trị cảm ứng của các cuộn dây này nằm trong khoảng từ 50 mH đến 20 H với dòng điện một chiều đến 10 A và điện áp cách điện đến 1000 V.



Hình 2 -21: Cuộn dây lọc nguồn tiêu chuẩn

□ Ký hiệu của lõi Ferit và các cuộn dây: Ký hiệu của lõi và của các cuộn dây được qui định theo từng nước sản xuất.

Qui ước vòng màu cho các cuộn dây kích thước nhỏ. Nhìn chung qui ước màu giống như ở điện trở



Qui ước:

- Vòng màu thứ 1: chỉ số có nghĩa thứ nhất hoặc chấm thập phân
- Vòng màu thứ 2: chỉ số có nghĩa thứ hai hoặc chấm thập phân
- Vòng màu thứ 3: chỉ số 0 cần thêm vào
- Vòng màu thứ 4: chỉ dung sai %.

Trong trường hợp này, đơn vị đo của điện cảm là μH . Thứ tự các vòng màu ngược với điện trở.

Bảng 2.5: Mô tả ký hiệu màu cho các cuộn dây

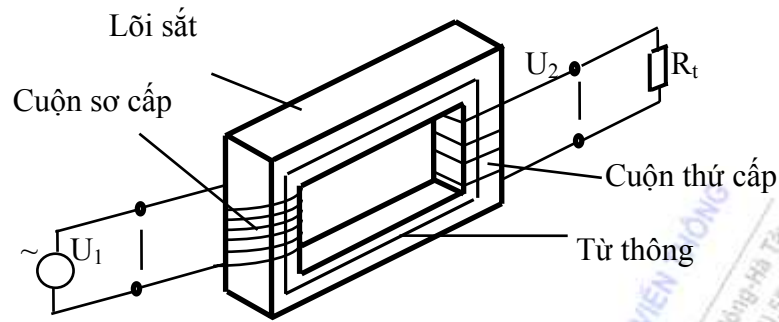
Màu	Giá trị của các số	Dung sai
Đen	0	-
Nâu	1	-
Đỏ	2	-
Cam	3	-
Vàng	4	-
Xanh lá cây	5	-
Xanh lam	6	-
Tím	7	-
Xám	8	-
Trắng	9	-
Bạch kim	-	10%
Vàng kim	Chấm thập phân	5%
Không vạch màu	-	20%

2.4. BIẾN ÁP

2.4.1. Định nghĩa và ký hiệu trong sơ đồ mạch.

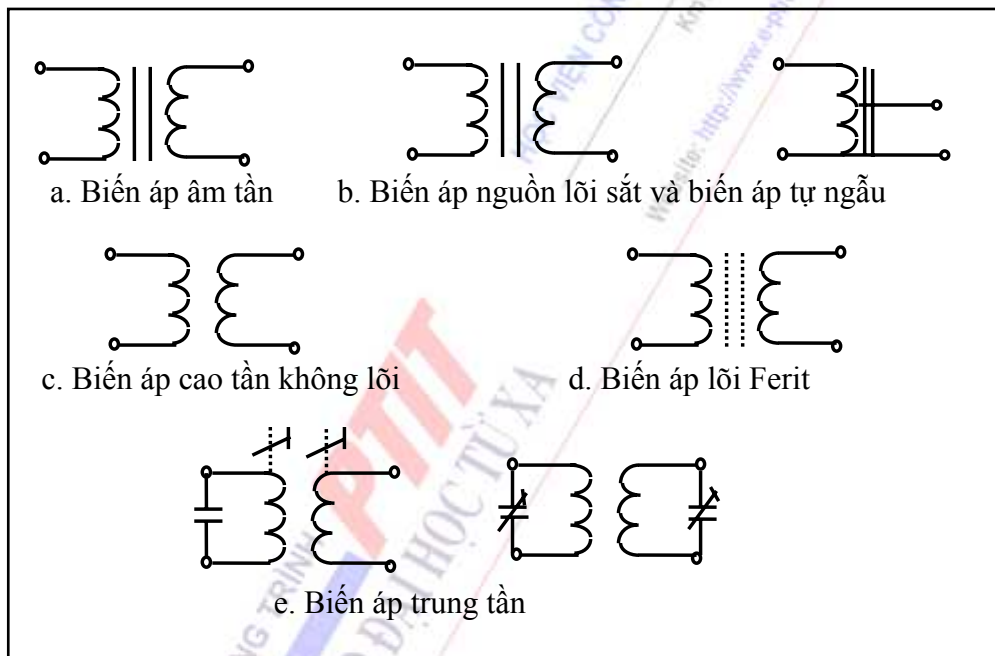
a. Định nghĩa:

Biến áp là thiết bị gồm hai hay nhiều cuộn dây ghép hồ cảm với nhau để biến đổi điện áp. Cuộn dây đầu vào nguồn điện gọi là cuộn sơ cấp, các cuộn dây khác đầu vào tải tiêu thụ năng lượng điện gọi là cuộn thứ cấp.



Hình 2 -23: Cấu tạo cơ bản của biến áp

b. Ký hiệu của biến áp trong các sơ đồ mạch điện:



Hình 2 -24: Các ký hiệu của biến áp trong sơ đồ mạch điện

2.4.2. Các tham số kỹ thuật của biến áp.

a. Hệ số ghép biến áp K:

Số lượng từ thông liên kết từ cuộn sơ cấp sang cuộn thứ cấp được định nghĩa bằng hệ số ghép biến áp K:

$$K = \frac{\text{Từ thông liên kết giữa hai cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp}}{\text{Tổng số từ thông sinh ra do cuộn sơ cấp}}$$

Thông thường hệ số ghép biến áp được tính theo công thức:

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad (2.17)$$

Trong đó: M - hệ số hỗ cảm của biến áp

L_1 và L_2 - hệ số tự cảm của cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp tương ứng.

Khi $K = 1$ là trường hợp ghép lý tưởng, khi đó toàn bộ số từ thông sinh ra do cuộn sơ cấp được đi qua cuộn thứ cấp và ngược lại.

Trên thực tế sử dụng, khi $K \approx 1$ gọi là hai cuộn ghép chặt
khi $K \ll 1$ gọi là hai cuộn ghép lỏng

b. Điện áp cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp:

Điện áp cảm ứng ở cuộn sơ cấp và thứ cấp quan hệ với nhau theo tỉ số:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\text{Do đó} \quad U_2 = U_1 \cdot \frac{N_2}{N_1} \quad (2.18)$$

Trong đó U_1 - điện áp cảm ứng của cuộn dây sơ cấp.

$\frac{N_2}{N_1}$ - Hệ số biến áp là tỉ số giữa số vòng dây cuộn thứ cấp và cuộn sơ cấp.

Do đó nếu: $N_1 = N_2$ thì $U_1 = U_2$ ta có biến áp 1 : 1

$N_2 > N_1$ thì $U_2 > U_1$ ta có biến áp tăng áp

$N_2 < N_1$ thì $U_2 < U_1$ ta có biến áp hạ áp

c. Dòng điện sơ cấp và dòng điện thứ cấp:

Quan hệ giữa dòng điện ở cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp theo tỉ số:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

Và dòng điện ở cuộn thứ cấp bằng:

$$I_2 = I_1 \frac{N_1}{N_2} \quad (2.19)$$

Ta thấy tỉ số dòng điện cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp là tỉ số nghịch đảo của điện áp cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp, nên một biến áp tăng áp cũng chính là một biến áp hạ dòng và ngược lại.

d. Hiệu suất của biến áp:

Các biến áp thực đều có tổn thất nên người ta ra đưa thông số hiệu suất của biến áp. Hiệu suất của biến áp là tỉ số giữa công suất ra và công suất vào tính theo %:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{tổn thất}}} \cdot 100\% \quad (2.20)$$

trong đó P_1 - công suất đưa vào cuộn sơ cấp

P_2 - công suất thu được ở cuộn thứ cấp

$P_{\text{tổn thất}}$ - Công suất điện mất mát do tổn thất của lõi
và tổn thất của dây đồng.

Muốn giảm tổn hao năng lượng trong lõi sắt từ, dây đồng và từ thông rò người ta dùng loại lõi làm từ các lá sắt từ mỏng, có quét sơn cách điện, dùng dây đồng có tiết diện lớn và ghép chặt.

2.4.3. Phân loại và ứng dụng của biến áp.

Biến áp là thiết bị làm việc với dòng điện xoay chiều, còn khi làm việc với tín hiệu xung gọi là biến áp xung.

Ngoài công dụng biến đổi điện áp, biến áp còn được dùng để cách điện giữa mạch này với mạch kia trong trường hợp hai cuộn dây sơ cấp và thứ cấp cách điện với nhau và được dùng để biến đổi tổng trở trong trường hợp biến áp ghép chặt.

Biến áp cao tần dùng để truyền tín hiệu có chọn lọc thì dùng loại ghép lỏng, nhưng biến áp cao tần dùng để biến đổi tổng trở thì dùng loại ghép chặt.

Biến áp ghép chặt lý tưởng có $\eta \approx 100\%$, không có tổn thất của lõi và dây ($K \approx 1$).

Sau đây là một số loại biến áp thông dụng.

a. Biến áp cộng hưởng:

Đây là biến áp cao tần (dùng ở trung tần hoặc cao tần) có lõi không khí hoặc sắt bụi hoặc ferit. Các biến áp này ghép lỏng và có một tụ điện mắc ở cuộn sơ cấp hoặc cuộn thứ cấp để tạo cộng hưởng đơn. Thông thường tần số cộng hưởng được thay đổi bằng cách điều chỉnh vị trí của lõi hoặc bao lõi.

Nếu dùng hai tụ điện mắc ở hai cuộn hai bên thì ta có thể có cộng hưởng kép hoặc cộng hưởng lệch.

Để mở rộng dải thông tần, ta dùng một điện trở đệm mắc song song với mạch cộng hưởng. Lúc đó thì độ chọn lọc tần số của mạch sẽ kém đi.

Thiết kế các biến áp cộng hưởng phải xét đến mạch cụ thể, nhất là đặc tính của các linh kiện tích cực và phải liên hệ đến điện cảm rò và điện dung phân tán của các cuộn dây.

b. Biến áp cấp điện (biến áp nguồn):

Là biến áp làm việc với tần số 50 Hz, 60 Hz. Biến áp nguồn có nhiệm vụ là biến đổi điện áp vào thành điện áp và dòng điện ra theo yêu cầu và ngăn cách thiết bị khỏi khỏi nguồn điện.

Các biến áp thường được ghi giới hạn bằng Vôn- Ampe. Các yêu cầu thiết kế chính của một biến áp cấp điện tốt là:

- Điện cảm cuộn sơ cấp cao để giảm dòng điện không tải xuống giá trị nhỏ nhất.
- Hệ số ghép K cao để điện áp thứ cấp ít sụt khi có tải.
- Tổn thất trong lõi càng thấp càng tốt.
- Kích thước biến áp càng nhỏ càng tốt.

c. Biến áp âm tần:

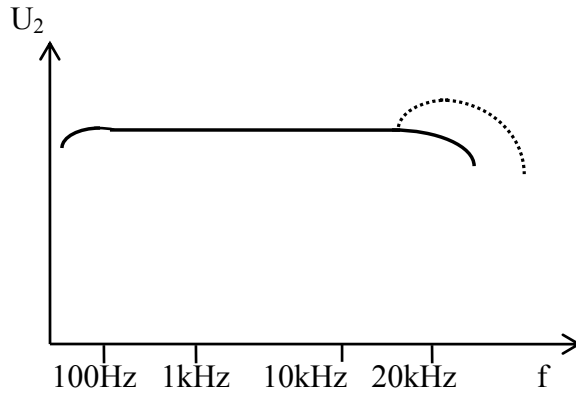
Biến áp âm tần là biến áp được thiết kế để làm việc ở dải tần số âm thanh khoảng từ 20 Hz đến 20000 Hz. Do đó biến áp này được dùng để biến đổi điện áp mà không được gây méo dạng sóng trong suốt dải tần số âm thanh, dùng để ngăn cách điện một chiều trong mạch này với mạch khác, để biến đổi tổng trở, để đảo pha, v.v..

Các yếu tố ảnh hưởng đến biến áp âm tần cần chú ý:

- Đáp ứng tần số:

Ở tần số thấp, công suất ra bị giới hạn chủ yếu bởi điện cảm cuộn sơ cấp.

Đáp ứng tần số bằng phẳng ở khoảng tần số từ 100 Hz đến 10 KHz. Ở khoảng này, sự thay đổi tần số không gây ảnh hưởng đến điện áp ra U_2 .



Hình 2 -25: Đặc tính tần số của biến áp âm tần

Ở tần số đủ cao, sự mất mát năng lượng do lõi sắt tăng đến mức điện áp ra bị giảm xuống. Như vậy ở tần số làm việc cao, ảnh hưởng của điện cảm rò và điện dung phân tán giữa các vòng dây cao hơn.

- Khả năng truyền tải công suất:

Để có thể truyền tải công suất cực đại phải chấp nhận một lượng méo dạng sóng nhất định. Lượng méo này tùy thuộc vào người thiết kế.

Biến áp âm tần có thể dùng lõi sắt từ hoặc lõi ferit, và trên biến áp có ghi công suất (tùy thuộc vào kích thước...), tổng trở cuộn sơ cấp và tổng trở thứ cấp, loại có điểm giữa... Lõi biến áp âm tần cũng thường có khe không khí để chống bão hòa từ do dòng điện một chiều gây ra.

d. Biến áp xung:

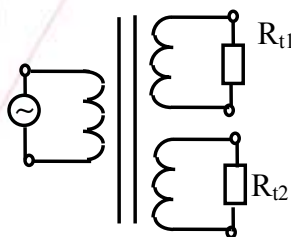
Biến áp xung có hai loại: loại tín hiệu và loại công suất.

Biến áp xung có yêu cầu về dải thông tần khắt khe hơn so với biến áp âm tần. Để hoạt động tốt ở cả tần số thấp (đỉnh và đáy xung) và ở tần số cao (sườn xung), biến áp xung cần phải có điện cảm sơ cấp lớn, đồng thời điện cảm rò nhỏ và điện dung giữa các cuộn dây nhỏ.

Để khắc phục các yêu cầu đối kháng này vật liệu lõi cần có độ từ thẩm cao và kết cấu hình học của cuộn dây thích hợp. Vật liệu lõi của biến áp xung được chọn tùy thuộc vào dải tần hoạt động có thể là sắt từ hoặc ferit.

e. Biến áp nhiều đầu ra:

Biến áp nhiều đầu ra gồm có 1 cuộn sơ cấp và nhiều cuộn thứ cấp. Điện áp ra ở mỗi cuộn phụ thuộc vào số vòng dây của cuộn đó cũng như phụ thuộc vào điện áp cuộn sơ cấp và số vòng dây của cuộn sơ cấp.



Hình 2 -26: Ký hiệu biến áp nhiều đầu ra

Một điều quan trọng cần chú ý là tổng điện áp ra được tính là tổng của các điện áp thứ cấp nếu các cuộn thứ cấp nối ghép theo kiểu trợ giúp và tất cả các điện áp của các cuộn dây đều cùng pha.

Nếu 1 trong các cuộn dây ghép nối theo kiểu ngược lại, sao cho điện áp của nó ngược pha với các điện áp khác thì phải lấy các điện áp khác trừ đi điện áp của nó.

TÓM TẮT NỘI DUNG

Cấu kiện điện tử thụ động thông dụng gồm có điện trở, tụ điện, cuộn cảm và biến áp.

Điện trở (R) được coi là phần tử thông dụng nhất của các mạch điện tử. Đây là cấu kiện được chế tạo từ chất dẫn điện có điện trở suất cao. Trị số của điện trở được tính theo định luật Ôm. Điện trở dẫn dòng một chiều và xoay chiều như nhau. Các tham số kỹ thuật chính của điện trở là:

- Trị số điện trở và dung sai: Trị số điện trở đo bằng đơn vị Ôm (Ω), nó cho biết khả năng cản điện nhiều hay ít của điện trở; Dung sai của điện trở chỉ phần trăm (%) sai số cho phép của điện trở so với giá trị danh định của nó.
- Công suất tiêu tán cho phép là công suất điện cao nhất mà điện trở có thể chịu đựng được, quá trị số này thì điện trở sẽ bị nóng, cháy và hỏng. Tham số này thường được chú ý khi điện trở làm việc ở mạch điện có dòng điện lớn.
- Hệ số nhiệt của điện trở (TCR) biểu thị ảnh hưởng của nhiệt độ lên trị số của điện trở thường tính theo đơn vị phần nghìn trên độ bách phân (ppm/oC).

Điện trở được chế tạo và ghi các tham số cần thiết trên thân của nó để người sử dụng có thể đọc dễ dàng. Có một số cách ghi thông dụng được các nhà sản xuất qui định như ghi trực tiếp, ghi gián tiếp theo qui ước mã, qui ước màu...

Tụ điện (C) là cấu kiện điện tử được dùng làm phần tử tích điện tích trong mạch. Tụ điện ngăn cản dòng điện một chiều và dẫn dòng điện xoay chiều. Dòng điện và điện áp trên tụ điện lệch pha nhau 90 độ. Các tham số kỹ thuật chính của tụ điện là:

- Trị số điện dung và dung sai: Trị số điện dung biểu thị khả năng tích điện của tụ điện và nó được đo bằng đơn vị Farad (F). Tuy nhiên đơn vị này rất lớn nên trong kỹ thuật thường dùng các ước số của nó là Micro Farad (μF), nano Farad (nF), pico Farad (pF). Dung sai của điện dung là sai số cho phép tính theo phần trăm (%) so với giá trị điện dung danh định của tụ điện.
- Điện áp làm việc cho phép (Vdc) là trị số điện áp cao nhất đo bằng vôn mà tụ điện chịu đựng được, quá giá trị này tụ điện sẽ bị “đánh thủng”.
- Hệ số nhiệt của tụ điện (TCC) biểu thị ảnh hưởng của nhiệt độ lên trị số điện dung được tính bằng phần triệu trên độ bách phân (ppm/oC).

Cuộn cảm (L) là cấu kiện điện tử được dùng để tạo thành phần cảm kháng ở trong mạch. Cuộn cảm dẫn dòng điện một chiều và tần số thấp dễ dàng, dòng xoay chiều có tần số càng cao qua càng khó. Cảm kháng của cuộn cảm được tính theo công thức: $X_L = 2\pi fL$. Dòng điện và điện áp trên cuộn cảm lệch pha 90 độ. Khi sử dụng cuộn cảm chúng ta phải chú ý đến các tham số kỹ thuật cơ bản sau:

- Điện cảm của cuộn dây (L) đo bằng henry (H). Điện cảm phụ thuộc vào kích thước của cuộn dây, số vòng dây và cách quấn dây, vào lõi của cuộn dây.
- Hệ số phẩm chất của cuộn cảm (Q). Xét hệ số phẩm chất của cuộn cảm chúng ta phải xét về độ tổn hao của cuộn dây. Độ tổn hao được đặc trưng bằng một điện trở nối tiếp với cuộn dây. Hệ số phẩm chất $Q = X_L/r$ (r- điện trở của các thành phần tạo ra cuộn dây).

- Tần số làm việc giới hạn ($f_{g.h.}$) là tần số cao nhất mà cuộn dây vẫn làm việc bình thường, vẫn đảm bảo các tham số kỹ thuật của cuộn dây.

Chúng ta đã xem xét một số loại cuộn cảm thông dụng:

+ Cuộn cảm không có lõi, đó là các cuộn cảm làm việc ở tần số cao và siêu cao nên yêu cầu về điện dung riêng của cuộn cảm phải rất nhỏ, hệ số phẩm chất cao và chúng thường là các cuộn cộng hưởng.

+ Cuộn cảm lõi fe-rit: là các cuộn cảm làm việc ở tần số cao và trung tần và chúng cũng thường là cuộn cộng hưởng. Cuộn cảm lõi fe rit có thể điều chỉnh điện cảm được và nó có nhiều hình dạng khác nhau.

+ Cuộn cảm lõi sắt từ: là các cuộn cảm làm việc ở tần số thấp, thường là cuộn chặn cao tần, hoặc cuộn lọc nguồn.

Biến áp là cấu kiện dùng để biến đổi điện áp nhờ vào hiện tượng hổ cảm của các cuộn dây đặt gần nhau. Cấu tạo cơ bản của biến áp gồm có cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp. Cuộn sơ cấp có đầu vào thường được đấu với nguồn điện áp cần biến đổi, cuộn thứ cấp thường có đầu ra đấu với tải tiêu thụ. Khi sử dụng biến áp chúng ta cần chú ý các tham số kỹ thuật cơ bản của chúng.

- Tỉ số điện áp giữa cuộn thứ cấp và cuộn sơ cấp: $U_2/U_1 = N_2/N_1$, trong đó N_1 và N_2 là số vòng dây của cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp, tương ứng.
- Tỉ số giữa dòng điện thứ cấp và dòng điện sơ cấp: $I_2/I_1 = N_1/N_2$
- Tỉ số giữa trở kháng vào và trở kháng ra: $Z_2/Z_1 = N_1/N_2$
- Hệ số ghép biến áp K

Biến áp có nhiều loại, thông thường được phân chia theo mục đích sử dụng là biến áp cộng hưởng, biến áp nguồn, biến áp âm tần và biến áp xung. Biến áp cộng hưởng làm việc ở tần số cao và trung tần, thường là loại không có lõi hoặc lõi fe-rit. Biến áp cộng hưởng dùng để biến đổi tổng trở thì thuộc loại ghép chặt, còn dùng để truyền tín hiệu có chọn lọc thì thuộc loại ghép lỏng. Biến áp nguồn dùng để biến đổi điện áp ở tần số công nghiệp (50Hz, 60Hz). Biến áp nguồn thường dùng lõi sắt từ và là loại ghép chặt. Biến áp âm tần làm việc ở dải tần số âm thanh nên yêu cầu về đáp ứng tần số phải tốt trong suốt dải tần công tác. Biến áp xung là loại biến áp làm việc ở chế độ tín hiệu xung nên yêu cầu về đáp ứng tần số còn cao hơn biến áp âm tần vì nó phải làm việc tốt ở tần số cao cũng như ở tần số thấp. Biến áp âm tần có lõi là sắt từ hoặc fe-rit tùy theo yêu cầu mạch điện.

CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Hãy cho biết các tham số cơ bản của điện trở?
2. Trình bày về các cách phân loại điện trở và nêu ứng dụng của chúng?
3. Cho biết các tham số cơ bản của tụ điện?
4. Nêu các cách phân loại tụ điện, cho một vài ví dụ.
5. Định nghĩa về cuộn cảm và nêu các tham số chính của nó.
6. Trình bày về đặc điểm của cuộn cảm lõi không khí và phạm vi sử dụng của chúng?
7. Trình bày các đặc điểm của cuộn cảm lõi fe-rit và ứng dụng của chúng?
8. Hãy cho biết các đặc tính của cuộn cảm lõi sắt từ và ứng dụng?
9. Nêu định nghĩa, cấu trúc và tham số chính của biến áp?
10. Trình bày về biến áp cộng hưởng?
11. Nêu các yêu cầu và đặc điểm chính của biến áp âm tần?
12. Đặc điểm của biến áp nguồn?

13. Dựa vào % dung sai, điện trở được phân chia làm....
a. 3 loại; b. 4 loại; c. 5 loại; d. 6 loại
14. Cấu trúc của biến trở khác với điện trở cố định chủ yếu là do
a. vỏ bọc và lõi b. vật liệu cản điện
c. số chân của cấu kiện. d. có thêm con chạy để điều chỉnh trị số điện trở.
15. Biến áp âm tần được thiết kế để làm việc ở dải tần số....
a. từ 0Hz đến 20.000Hz; b. từ 20KHz đến 1MHz
c. từ 20Hz đến 20.000Hz; d. từ 6MHz đến 1GHz

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Giáo trình “Cấu kiện điện tử và quang điện tử”, Trần Thị Cẩm, Học viện CNBCVT, năm 2002.
2. Fundamentals of electric circuits, David A. Bell, Prentice-Hall International Editions, 1988



CHƯƠNG 3 ĐIỐT BÁN DẪN

GIỚI THIỆU CHƯƠNG

Chương 3 trình bày về các tính chất vật lý điện của lớp tiếp xúc P-N. Lớp tiếp xúc P-N là bộ phận chính của các cấu kiện bán dẫn. Lớp tiếp xúc P-N bao gồm các ion âm và dương cố định, chúng không dẫn điện nên lớp tiếp xúc P-N còn được gọi là lớp điện tích không gian hay lớp nghèo hạt dẫn. Trong chương 3 sẽ trình bày về các tính chất dẫn điện của lớp tiếp xúc P-N khi được phân cực thuận và phân cực ngược. Cũng trong chương này chúng ta sẽ được giới thiệu về một cấu kiện bán dẫn chỉ có một lớp tiếp xúc P-N đó là điốt bán dẫn. Điốt bán dẫn có nguyên lý dẫn điện một chiều và ta cũng nghiên cứu về đặc tuyến vôn-ampe của nó, các tham số tĩnh của điốt và chế độ động của nó. Ngoài ra chương 3 còn giới thiệu một số loại điốt thông dụng.

NỘI DUNG

3.1. LỚP TIẾP XÚC P-N

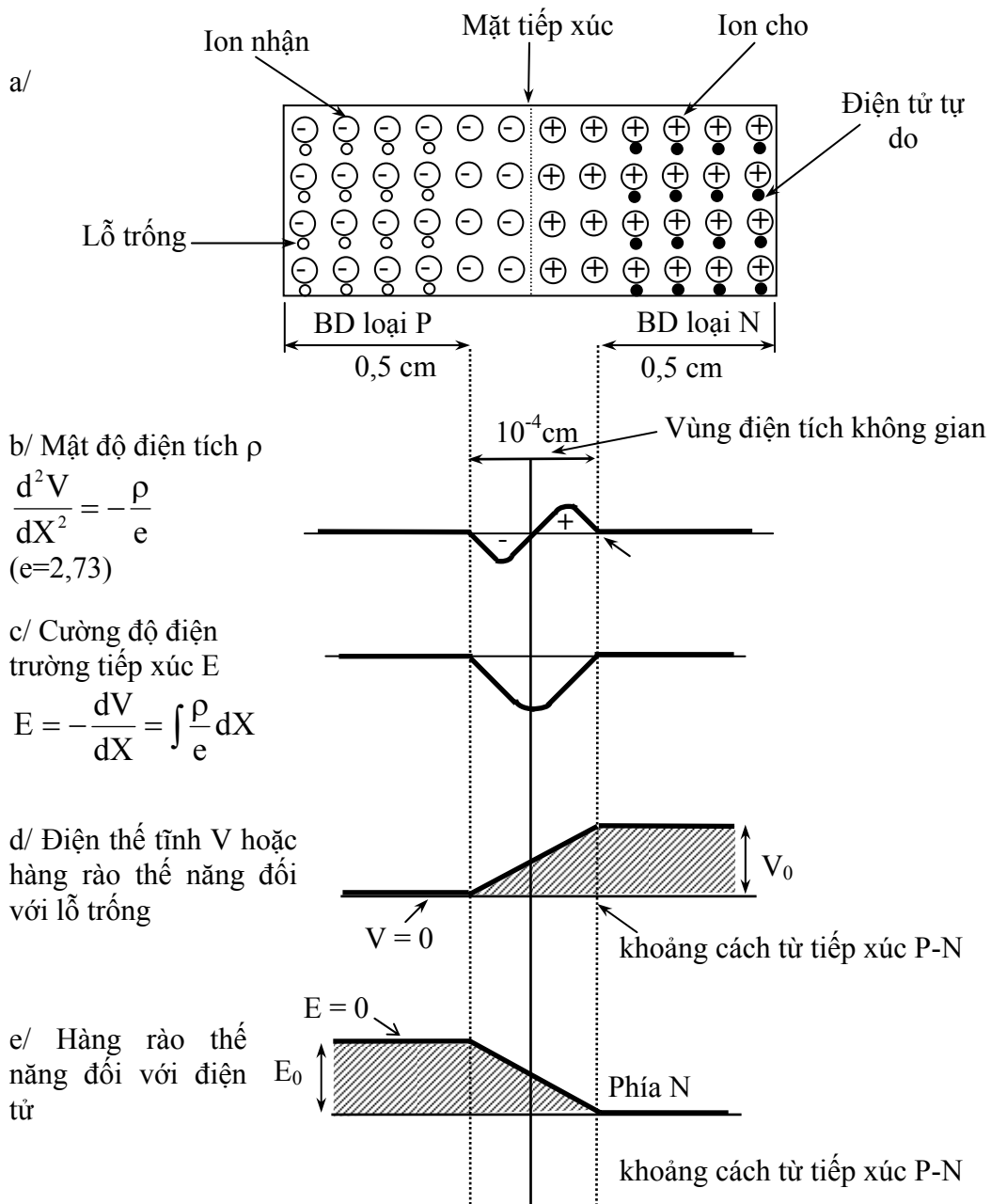
3.1.1 Sự tạo thành lớp tiếp xúc P-N và các tính chất điện.

Nếu trên một miếng bán dẫn đơn tinh thể (bán dẫn nguyên tính), bằng các phương pháp công nghệ, ta tạo ra hai vùng có bản chất dẫn điện khác nhau: một vùng là bán dẫn tạp loại P và một vùng kia là bán dẫn tạp loại N. Như vậy, tại ranh giới tiếp xúc giữa hai vùng bán dẫn P và N này sẽ xuất hiện một lớp có đặc tính vật lý khác hẳn với hai vùng bán dẫn P và N, được gọi là lớp tiếp xúc P-N. Trong lớp tiếp xúc P-N chỉ bao gồm hai khối điện tích trái dấu là các ion âm bên phía bán dẫn P và ion dương bên phía bán dẫn N. Đây là các ion cố định, không dẫn điện, do vậy, lớp tiếp xúc P-N còn gọi là vùng điện tích không gian hay vùng nghèo hạt dẫn. Độ dày của lớp này khoảng $10^{-4} \text{ cm} = 10^{-6} \text{ m} = \text{micron}$.

Hình 3.1 mô tả các tính chất điện của tiếp xúc P-N. Trong lớp tiếp xúc tồn tại một điện trường tiếp xúc hay điện trường khuếch tán (Hình 3-1c) có cường độ là E được tính là tích phân của mật độ điện tích ρ (trong hình 3-1b). Điện trường tiếp xúc này có chiều tác dụng từ bán dẫn N sang bán dẫn P.

Sự thay đổi của điện thế tĩnh ở vùng điện tích không gian được chỉ ra ở hình (3-1d). Đó chính là hàng rào thế năng ngăn cản sự khuếch tán tiếp theo của các lỗ trống qua lớp tiếp xúc.

Hình dạng hàng rào thế năng, hình (3-1e), ngăn cản sự khuếch tán của các điện tử từ bán dẫn N qua lớp tiếp xúc.



Hình 3 - 1 : Đồ thị của tiếp xúc P-N gồm:

- a- cấu trúc tiếp P-N ;
- b- mật độ điện tích
- c- cường độ điện trường
- d, e- hàng rào thế năng ở tiếp xúc P-N

3.1.2. Điều kiện cân bằng động của lớp tiếp xúc P-N

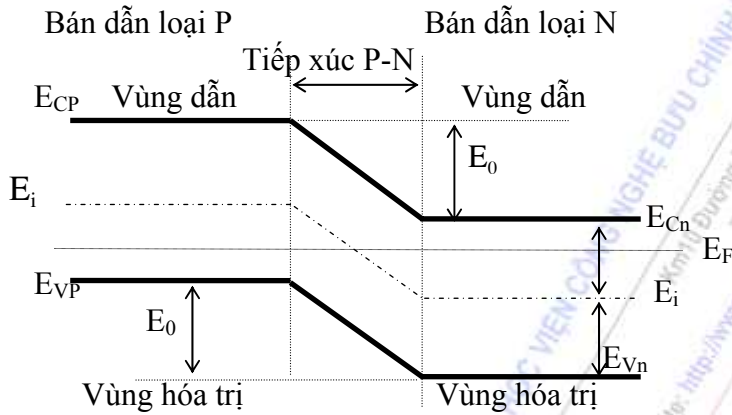
Khi dòng điện do các hạt dẫn chuyển động khuếch tán và các hạt dẫn chuyển động trôi qua tiếp xúc P-N có giá trị bằng nhau thì ta nói tiếp xúc P-N ở trạng thái cân bằng động. Do các dòng điện này ngược chiều nhau nên chúng triệt tiêu lẫn nhau và dòng điện tổng qua lớp tiếp xúc P-N bằng không. Lúc này lớp tiếp xúc có bề dày ký hiệu là d , điện trở lớp tiếp xúc ký hiệu là $R_{P/N}$, cường độ điện trường tiếp xúc ký hiệu là E_0 (hay còn gọi là hàng rào thế năng) và tương ứng với nó có hiệu điện thế tiếp xúc ký hiệu là V_0 . Các đại lượng này ta sẽ tính được qua

các công thức dưới đây. Do lớp tiếp xúc P-N là vùng nghèo hạt dẫn nên điện trở của nó lớn hơn nhiều điện trở của hai vùng bán dẫn P và N ($R_{P/N} \gg R_N$ và R_P).

Điều kiện cân bằng này giúp ta tính được độ cao của hàng rào thế năng V_0 phụ thuộc vào nồng độ tạp chất cho và tạp chất nhận. Giá trị của V_0 khoảng từ vài phần mười vôn.

Theo hình (3- 2) ta thấy mức năng lượng Fecmi của cả hai phần bán dẫn P và N nằm trên một đường thẳng. Mức năng lượng E_0 - thế năng của điện tử hay hàng rào thế năng của điện tử ở tiếp xúc P-N khi nó ở trạng thái cân bằng là:

$$E_0 = E_{Cp} - E_{Cn} = E_{Vp} - E_{Vn} \quad (3.1)$$



Hình 3 - 2: Đồ thị vùng năng lượng của tiếp xúc P-N khi hở mạch (trạng thái cân bằng).

Phác họa này minh họa cho hình 3-1e và biểu thị thế năng của điện tử. Bề rộng vùng cấm E_G [eV].

Hiệu điện thế tiếp xúc V_0 ở tiếp xúc P-N trong trạng thái cân bằng nhiệt động được tính theo công thức sau:

$$V_0 = V_n - V_p = V_T \ln \frac{N_D N_A}{n_i^2} \quad (3.2)$$

Tương ứng với V_0 ta có cường độ điện trường tiếp xúc ở trạng thái cân bằng nhiệt động E_0 là:

$$E_0 = KT \ln \frac{N_D N_A}{n_i^2} \quad (3.3)$$

Trong đó E_0 đo bằng [eV], và V_0 đo bằng [V].

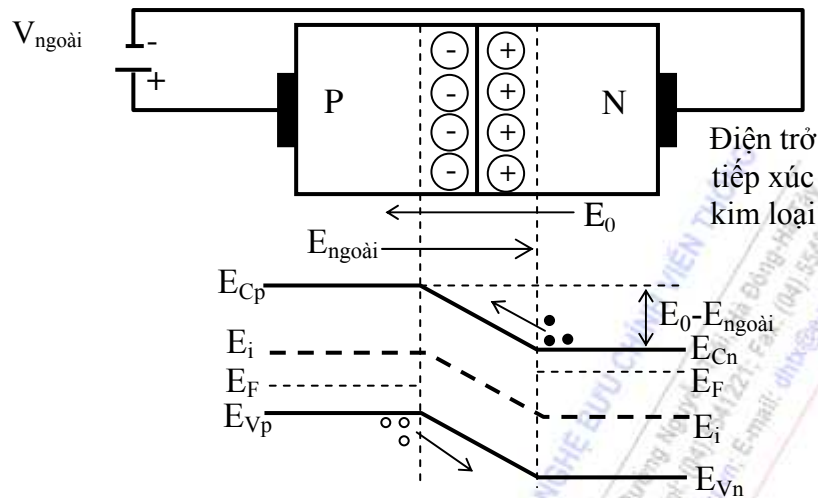
Ngoài ra, hiệu điện thế tiếp xúc E_0 còn được tính theo công thức sau:

$$E_0 = KT \ln \frac{P_{p0}}{P_{n0}} = KT \ln \frac{n_{n0}}{n_{p0}} \quad (3.4)$$

Chỉ số 0 trong công thức trên để biểu thị rằng các nồng độ hạt dẫn này được tính ở điều kiện cân bằng nhiệt động.

3.1.3. Lớp tiếp xúc P-N khi phân cực thuận.

Tiếp xúc P-N được phân cực thuận khi ta đặt một nguồn điện áp bên ngoài lên lớp tiếp xúc P-N có chiều cực dương được nối vào bán dẫn loại P và cực âm nối vào bán dẫn N.



Hình 3 - 3: Tiếp xúc P – N phân cực thuận và đồ thị dải năng lượng của nó

Chiều tác dụng của điện trường ngoài ngược lại với chiều tác dụng của điện trường tiếp xúc trong lớp tiếp xúc P-N nên lúc này lớp tiếp xúc P-N không còn ở trạng thái cân bằng động nữa. Điện trường trong lớp tiếp xúc giảm xuống, hàng rào thế năng giảm xuống một lượng bằng điện trường ngoài:

$$E_{T.X.} = E_0 - E_{ngoài} \quad (3.5)$$

Do đó phần lớn các hạt dẫn đa số dễ dàng khuếch tán qua tiếp xúc P-N, kết quả là dòng điện qua tiếp xúc P-N tăng lên. Dòng điện chạy qua tiếp xúc P-N khi nó phân cực thuận gọi là dòng điện thuận I_{th} .

Khi tăng điện áp thuận lên, tiếp xúc P-N được phân cực thuận càng mạnh, hiệu điện thế tiếp xúc càng giảm, hàng rào thế năng càng thấp xuống, đồng thời điện trở lớp tiếp xúc giảm, bề dày của lớp tiếp xúc cũng giảm, các hạt dẫn đa số khuếch tán qua tiếp xúc P-N càng nhiều nên dòng điện thuận càng tăng và nó tăng theo qui luật hàm số mũ với điện áp ngoài.

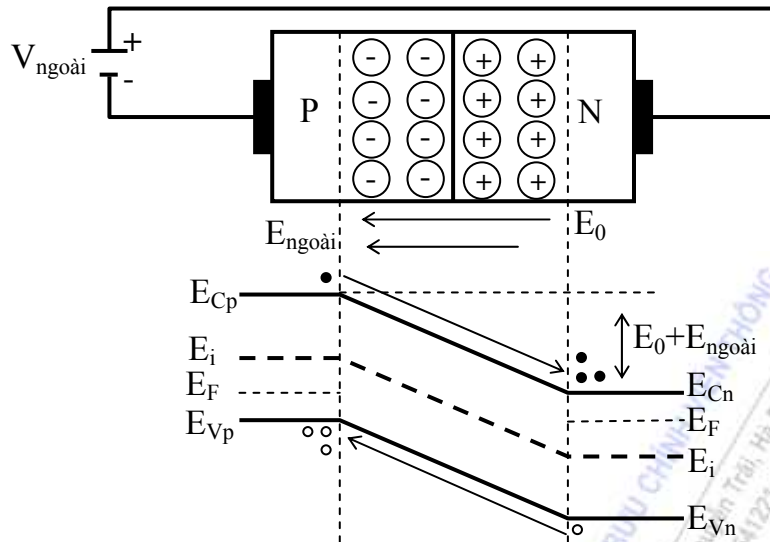
Khi điện áp thuận có giá trị xấp xỉ với V_0 , dòng điện chạy qua tiếp xúc P-N thực sẽ được khống chế bởi điện trở thuận của tiếp xúc kim loại và điện trở khối tinh thể. Do vậy đặc tuyến Vôn-Ampe gần giống một đường thẳng.

3.1.4. Lớp tiếp xúc P-N khi phân cực ngược.

Lớp tiếp xúc P-N được phân cực ngược khi ta đặt một nguồn điện áp ngoài sao cho cực dương của nó nối với phần bán dẫn N, còn cực âm nối với phần bán dẫn P. Khi đó điện áp ngoài sẽ tạo ra một điện trường cùng chiều với điện trường tiếp xúc E_0 , làm cho điện trường trong lớp tiếp xúc tăng lên:

$$E_{T.X.} = E_0 + E_{ngoài} \quad (3.6)$$

Tức là hàng rào thế năng càng cao hơn. Các hạt dẫn đa số khó khuếch tán qua vùng điện tích không gian, làm cho dòng điện khuếch tán qua tiếp xúc P-N giảm xuống so với trạng thái cân bằng.



Hình 3 - 4: Tiếp xúc P – N phân cực ngược và đồ thị dải năng lượng của nó

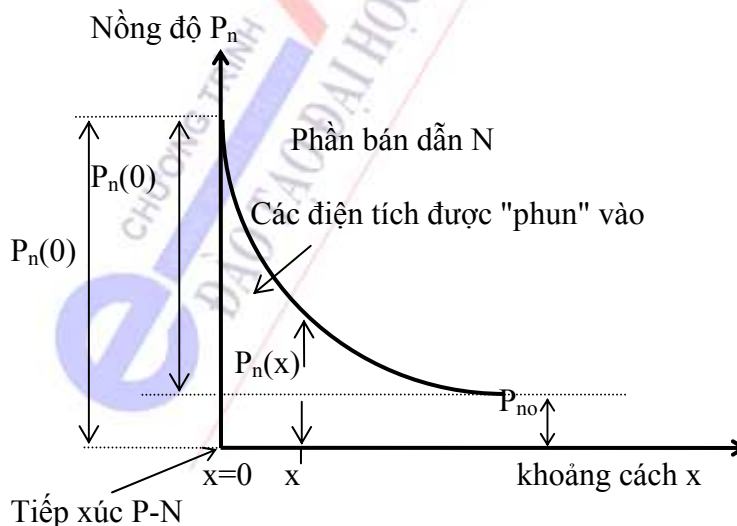
Đồng thời, do điện trường của lớp tiếp xúc tăng lên sẽ thúc đẩy quá trình chuyển động trôi của các hạt dẫn thiểu số và tạo nên dòng điện trôi có chiều từ bán dẫn N sang bán dẫn P và được gọi là dòng điện ngược $I_{ngược}$.

Nếu ta tăng điện áp ngược lên, hiệu điện thế tiếp xúc càng tăng lên làm cho dòng điện ngược tăng lên. Nhưng do nồng độ các hạt dẫn thiểu số có rất ít nên dòng điện ngược nhanh chóng đạt giá trị bão hòa và được gọi là dòng điện ngược bão hòa I_0 có giá trị rất nhỏ khoảng từ vài nA đến vài chục μA .

Dòng điện qua tiếp xúc P-N:

a. Dòng điện thuận:

Khi tiếp xúc P-N phân cực thuận, qua nó có dòng điện thuận. Đó là dòng điện do các hạt dẫn đa số khuếch tán qua tiếp xúc P-N. Ta có:



Hình 3 - 5: Nồng độ lỗ trống trong bán dẫn N khi tiếp xúc P-N phân cực thuận ($P_n(0) \gg P_{no}$)

+ Dòng điện lỗ trống $I_{Pn}(0)$ đi qua tiếp xúc P-N về phía bán dẫn N là (khi $x = 0$)

$$I_{Pn}(0) = \frac{S \cdot q \cdot D_p \cdot P_{no}}{L_p} \left(e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right) \quad (3.7)$$

Trong đó: $I_{Pn}(0)$ - là dòng điện do các lỗ trống khuếch tán qua tiếp xúc P-N.

S - là diện tích mặt tiếp xúc.

q - điện tích của điện tử.

D_p - Hệ số khuếch tán của lỗ trống.

L_p - Độ dài khuếch tán của lỗ trống.

P_{no} - Nồng độ hạt dẫn lỗ trống bên bán dẫn N.

V - Điện áp phân cực thuận.

V_T - Điện thế nhiệt ($V_T = \frac{KT}{q} = \frac{T}{11600}$).

e - số tự nhiên ($= 2,73$)

Ở đó $P_{no}(e^{\frac{V}{V_T}} - 1) = P_n(0)$ gọi là mật độ lỗ trống "phun" vào phía bán dẫn N.

+ Dòng điện điện tử $I_{np}(0)$ khuếch tán qua tiếp xúc P-N vào phía bán dẫn P là:

$$I_{np}(0) = \frac{S \cdot q \cdot D_n \cdot n_{po}}{L_n} \left(e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right) \quad (3.8)$$

Dòng điện qua tiếp xúc P-N là tổng của 2 thành phần dòng điện $I_{Pn}(0)$ và $I_{np}(0)$, vậy ta có:

$$I = I_{Pn}(0) + I_{np}(0) = I_0 \left(e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right) \quad (3.9)$$

Trong đó I_0 gọi là dòng điện ngược bão hòa và có biểu thức:

$$I_0 = \frac{S \cdot q \cdot D_p \cdot P_{no}}{L_p} + \frac{S \cdot q \cdot D_n \cdot n_{po}}{L_n} \quad (3.10)$$

b. Dòng điện ngược bão hòa:

Thay các giá trị $P_{no} = P_n$ và $n_{po} = n_p$ ta có công thức tính dòng điện I_0 :

$$I_0 = S \cdot q \cdot \left(\frac{D_p}{L_p N_D} + \frac{D_n}{L_n N_A} \right) \cdot n_i^2 \quad (3.11)$$

Trong đó:

$$n_i^2 = A_0 T^3 e^{-\frac{E_{G0}}{KT}} = A_0 T^3 e^{-\frac{V_{G0}}{V_T}}$$

Ở đây có V_{G0} là điện áp có cùng đại lượng với E_{G0} (năng lượng vùng cấm ở 0^0K)

Do đó sự phụ thuộc vào nhiệt độ của dòng I_0 là:

$$I_0 = K_1 T^2 e^{-\frac{V_{G0}}{V_T}} \quad (3.12)$$

trong đó K_1 là hệ số phụ thuộc vào nhiệt độ, và dòng điện tổng được tính gần đúng là:

$$I = I_0 \left(e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right) \quad (3.13)$$

3.1.5. Đặc tuyến Vôn-Ampe của tiếp xúc P-N.

Đặc tuyến Vôn-Ampe của tiếp xúc P-N biểu diễn mối quan hệ giữa dòng điện chạy qua tiếp xúc và điện áp ngoài đặt lên tiếp xúc:

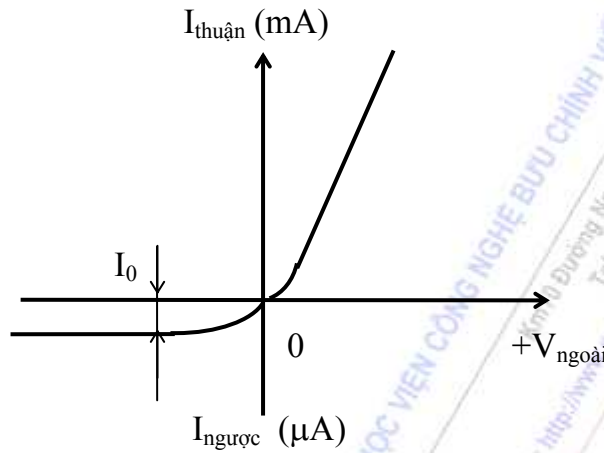
$$I = f(V_{ngoài})$$

Dòng điện liên quan với điện áp theo công thức (3.13):

$$I = I_0 (e^{\frac{V}{V_T}} - 1)$$

V_T -điện thế nhiệt của bán dẫn. Ở nhiệt độ trong phòng $V_T=0,026V= 26mV$.

Dạng đặc tuyến Vôn-Ampe của tiếp xúc P-N mô tả ở hình (3-6):



Hình 3 - 6: Đặc tuyến Vôn-Ampe của tiếp xúc P-N lý tưởng

Kết luận:

Qua đặc tuyến Vôn-Ampe dòng điện thuận đo bằng mA, còn dòng điện ngược chỉ đo bằng μA. Điều này cho thấy tiếp xúc P-N chỉ dẫn điện một chiều khi tiếp xúc P-N được phân cực thuận:

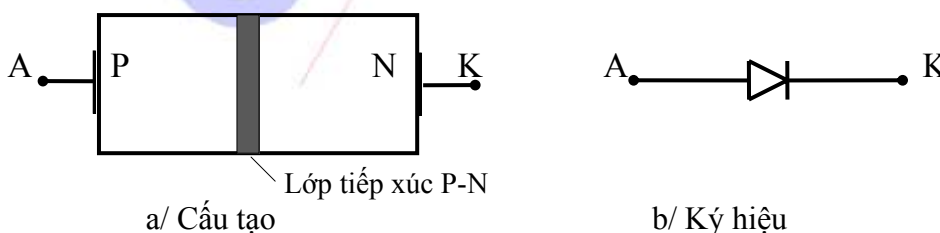
$$I_{thuận} \gg I_{ngược} = - I_0 \quad (\text{vì } I_0 \approx 0)$$

và được gọi là hiệu ứng chỉnh lưu.

3.2. ĐIỐT BÁN DẪN

3.2.1. Cấu tạo của điốt và ký hiệu trong sơ đồ mạch điện.

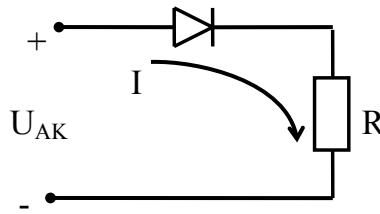
Điốt bán dẫn là cấu kiện gồm có một lớp tiếp xúc P-N và hai chân cực là anốt (ký hiệu là A) và catốt (ký hiệu là K). Anốt được nối tới bán dẫn P, catốt được nối với bán dẫn N được bọc trong vỏ bảo vệ bằng kim loại hoặc nhựa tổng hợp.



Hình 3-7: Cấu tạo và ký hiệu của điốt bán dẫn trên sơ đồ mạch.

3.2.2. Nguyên lý hoạt động của điốt.

Hoạt động của điốt dựa trên tính dẫn điện một chiều của tiếp xúc P-N. Hình 3-8 mô tả sơ đồ nguyên lý đầu điốt.



Hình 3 - 8: Sơ đồ nguyên lý của điốt

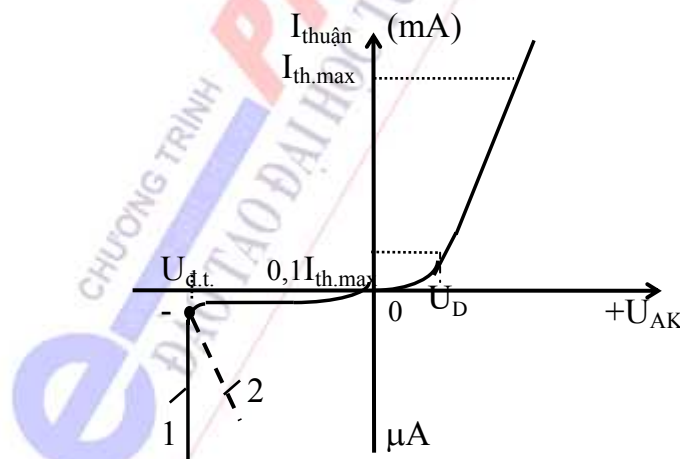
Khi đưa điện áp ngoài có cực dương vào anốt, âm vào catốt ($U_{AK} > 0$) thì điốt sẽ dẫn điện và trong mạch có dòng điện chạy qua vì lúc này tiếp xúc P-N được phân cực thuận.

Khi điện áp ngoài có cực âm đưa vào anốt, cực dương đưa vào catốt ($U_{AK} < 0$) điốt sẽ khóa vì tiếp xúc P-N phân cực ngược, dòng điện ngược rất nhỏ ($I_0 \approx 0$) chạy qua.

3.2.3 Đặc tuyến vôn-ampe của điốt bán dẫn.

Đặc tuyến vôn-ampe của điốt biểu thị mối quan hệ giữa dòng điện qua điốt với điện áp đặt giữa hai chân cực anốt và catốt (U_{AK}). Đây chính là đặc tuyến vôn-ampe của lớp tiếp xúc P-N, do vậy dòng điện chạy qua điốt được tính theo công thức sau:

$$I = I_0 \left(e^{\frac{U_{AK}}{V_T}} - 1 \right)$$



Hình 3 - 9: Đặc tuyến V-A của điốt bán dẫn

Hình 3- 9 mô tả đặc tuyến Vôn-Ampe của một điốt thực. Ta thấy:

- Phần thuận của đặc tuyến (khi $U_{AK} > 0$):

Khi điốt được phân cực thuận thì dòng điện thuận tăng rất nhanh. Ta phải chú ý đến giá trị dòng điện thuận cực đại $I_{\text{thuận max}}$, điốt không được làm việc với dòng điện cao hơn trị số này.

Khi $U_{AK} > 0$ nhưng trị số nhỏ thì dòng điện thuận quá nhỏ nên đi ốt chưa được coi là phân cực thuận. Chỉ khi điện áp thuận $U_{AK} \geq U_D$ thì đi ốt mới được tính là phân cực thuận và điốt mới dẫn điện. Điện áp U_D được gọi là điện áp thuận ngưỡng của điốt. Khi $U_{AK} = U_D$ thì dòng điện thuận có trị số bằng khoảng $0,1I_{\text{th.max}}$. và khi $U_{AK} > U_D$ thì dòng điện thuận tăng nhanh và tăng gần như tuyến tính với điện áp. U_D có giá trị bằng $(0,1 \div 0,3)V$ đối với điốt gecmani và bằng $(0,4 \div 0,8)V$ đối với điốt silic.

□ Phần ngược của đặc tuyến Vôn-Ampe:

Khi $|U_{AK}|$ lớn hơn vài lần V_T thì dòng điện ngược có giá trị bằng I_0 và giữ nguyên giá trị này. Khi $U_{AK} < 0$ tăng lên đến trị số $U_{d.t.}$ thì dòng điện tăng vọt, ta gọi đây là hiện tượng đánh thủng tiếp xúc P-N. Hiện tượng đánh thủng tiếp xúc P-N làm mất khả năng chỉnh lưu của điốt và thông thường nó làm hỏng điốt, trừ điốt Zener là điốt sử dụng hiện tượng đánh thủng để ổn định điện áp. Điện áp tại điểm đánh thủng ta gọi là điện áp đánh thủng và ký hiệu là $U_{d.t.}$.

Có hai hiện tượng đánh thủng:

- Đánh thủng về điện (đường 1)
- Đánh thủng về nhiệt (đường 2)

+ Đánh thủng về nhiệt xảy ra do tác động nhiệt. Hiện tượng đánh thủng về nhiệt thường xảy ra đối với điốt gecmani. Lúc này từng đôi điện tử và lỗ trống được sinh ra do tác dụng của nhiệt năng làm cho dòng điện tăng lên còn sụt áp trên điốt giảm.

+ Đánh thủng về điện hay xảy ra đối với điốt silic và nó có ý nghĩa thực tế hơn. Hiện tượng đánh thủng về điện thường xảy ra theo 2 cơ chế sau:

- *Đánh thủng đường hầm*: là sự đánh thủng xảy ra ở một giá trị điện trường nào đó gọi là giá trị tới hạn $E_{t.h.}$ đặt lên tiếp xúc P-N. Điều kiện để xảy ra hiện tượng đánh thủng đường hầm là:

$$|E|_{\text{max}} = E_{t.h.}$$

Thông thường $E_{t.h.} = 3 \cdot 10^7 \text{ V/m}$ đối với điốt gecmani và $E_{t.h.} = 8 \cdot 10^7 \text{ V/m}$ đối với điốt silic.

- *Đánh thủng thác lũ*: là sự ion hóa các nguyên tử của mạng tinh thể bởi sự va chạm với các hạt tải điện mang năng lượng lớn.

Điện áp đánh thủng: Tùy theo vật liệu mà điện áp đánh thủng có thể từ vài vôn đến hàng chục ngàn vôn.

3.2.4 Các tham số tĩnh của điốt.

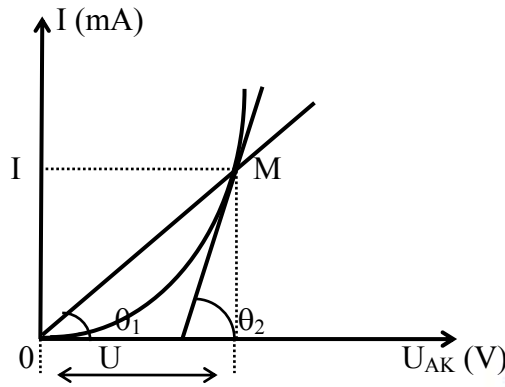
Để đánh giá, lựa chọn và sử dụng điốt chúng ta phải biết các tham số kỹ thuật của nó. Các tham số cơ bản của điốt:

a. Điện trở một chiều hay còn gọi là điện trở tĩnh: R_0

Là điện trở của điốt khi làm việc ở chế độ nguồn một chiều hoặc tại chế độ tĩnh

$$R_0 = \frac{U}{I} \quad [\Omega] \quad (3.14)$$

Điện trở một chiều R_0 chính là nghịch đảo góc nghiêng của đặc tuyến Vôn-Ampe tại điểm làm việc tĩnh M (góc θ_1).



Hình 3 - 10: Xác định điện trở một chiều và điện trở động của điốt.

Thông thường, do tính dẫn điện một chiều của điốt nên $R_{0thuận} \ll R_{0ngược}$.

b. Điện trở động R_i :

Là một tham số quan trọng và R_i tỉ lệ với cotang góc nghiêng của đường tiếp tuyến với đặc tuyến Vôn-Ampe tại điểm làm việc tĩnh M của điốt ($\cotg \theta_2$).

$$R_i = \frac{dU}{dI} \quad [\Omega] \quad (3.15)$$

Do tính dẫn điện một chiều nên $I \gg I_0$ và $\left| \frac{U}{V_T} \right| \gg 1$, do đó:

$$R_i = \frac{V_T}{I} \quad (3.16)$$

Ta thấy rằng tại một điểm làm việc thì $R_0 > R_i$ (vì có góc $\theta_2 > \theta_1$).

c. Điện dung của điốt: C_d (hay điện dung của tiếp xúc P- N)

Điện dung của tiếp xúc P- N gồm có 2 thành phần là điện dung rào thế (ký hiệu C_0) và điện dung khuếch tán (ký hiệu C_{kt}). Ta có:

$$C_d = C_0 + C_{kt} \quad (3.17)$$

+ Điện dung rào thế C_0 :

Sự tăng các điện tích khi đặt điện áp ngược lên tiếp xúc P-N gọi là hiệu ứng điện dung. Độ gia tăng của điện dung này sẽ là:

$$C_0 = \left| \frac{dQ}{dU} \right| \quad (3.18)$$

Trong đó dQ là sự gia tăng của điện tích do sự thay đổi dU của điện áp.

Tham số C_0 không phải là một trị số cố định, nó phụ thuộc vào trị số điện áp ngược đặt vào tiếp xúc P-N và được xác định theo công thức (3.18).

Ngoài ra, mật độ điện tích là một hàm của bề dày lớp tiếp xúc, do đó điện dung C_0 có thể tính theo công thức:

$$C_0 = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d} \quad (3.19)$$

Trong đó S : diện tích mặt tiếp xúc

d : bề dày lớp tiếp xúc

ϵ_r : hằng số điện môi tương đối của chất bán dẫn

ϵ_0 : độ thẩm thấu điện của không khí

Khi tăng điện áp ngược, bề dày lớp tiếp xúc tăng nên trị số C_0 giảm xuống.

+ Điện dung khuếch tán: $C_{k.t}$

Điện dung khuếch tán chỉ xuất hiện khi có hiện tượng khuếch tán xảy ra. Do đó khi điốt phân cực thuận thì $C_{k.t} \gg C_0$, còn khi điốt phân cực ngược thì $C_{k.t} = 0$ và $C_d = C_0$.

Đối với điốt bán dẫn, điện dung tiếp xúc P-N gây nhiều ảnh hưởng xấu cho điốt khi làm việc ở tần số cao. Do đó, để đảm bảo cho điốt làm việc ở cao tần và siêu cao tần thì trị số điện dung phải nhỏ và các điốt này phải là các điốt tiếp điểm để diện tích mặt tiếp xúc nhỏ và tần số làm việc giới hạn khoảng $300 \div 600$ MHz, có loại tới hàng chục GHz.

d. Điện áp ngược cực đại cho phép: $U_{ngược\ max}$

Là giá trị điện áp ngược lớn nhất có thể đặt lên điốt mà nó vẫn làm việc bình thường. Thông thường trị số này được chọn khoảng $0,8U_{d.t}$ [V]; Điện áp ngược cực đại $U_{ng.\ max}$ được xác định bởi kết cấu của điốt và nó nằm trong khoảng vài vôn đến 10 ngàn Vôn.

e. Khoảng nhiệt độ làm việc:

Là khoảng nhiệt độ đảm bảo điốt làm việc bình thường. Tham số này quan hệ với công suất tiêu tán cho phép của điốt.

$$P_{ttmax} = I_{max}U_{AKmax} \quad (3.20)$$

Khoảng nhiệt độ làm việc của điốt gecmani khoảng từ $-60^{\circ}C$ đến $+85^{\circ}C$, cho điốt silic khoảng từ $-60^{\circ}C$ đến $+150^{\circ}C$.

3.2.5 Sự phụ thuộc của đặc tuyến Vôn-Ampe vào nhiệt độ.

Như công thức tính dòng điện qua tiếp xúc P-N:

$$I = I_0 \left(e^{\frac{U}{V_T}} - 1 \right)$$

Ta thấy sự phụ thuộc của dòng điện vào nhiệt độ thông qua tham số điện thế nhiệt V_T và dòng điện ngược bão hòa I_0 . Dòng điện ngược bão hòa phụ thuộc vào nhiệt độ theo công thức được viết gần đúng là:

$$I_0 = K T^m e^{-\frac{V_{G0}}{V_T}} \quad (3.21)$$

Trong đó K - là một hằng số

V_{G0} - là năng lượng vùng cấm đo bằng Jun

Qua thực nghiệm người ta thấy rằng, đối với cả hai loại điốt Ge và Si, dòng điện ngược bão hòa tăng xấp xỉ gấp 2 lần đối với mỗi một sự tăng nhiệt độ lên $10^{\circ}C$.

Để cho dòng điện không đổi khi nhiệt độ thay đổi thì điện áp đặt lên điốt phải giảm với tốc độ là:

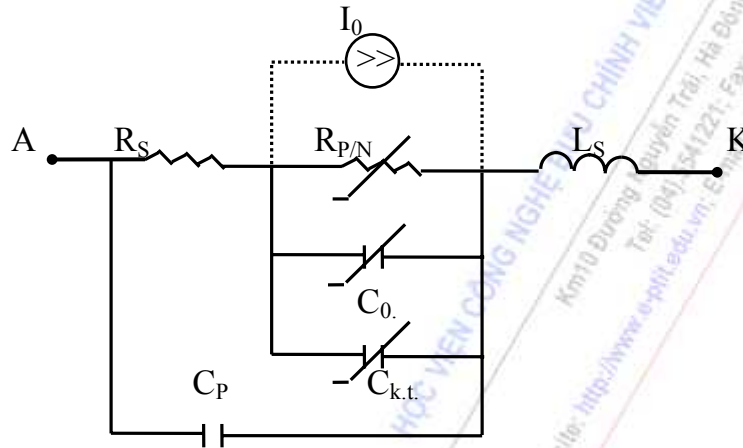
$$\frac{dU}{dT} = -2,1 \text{ mV}/^{\circ}C \text{ cho Ge và bằng } -2,3 \text{ mV}/^{\circ}C \text{ cho Si.}$$

Trong điều kiện điốt làm việc ở nhiệt độ phòng và điện áp ngưỡng $U_D=0,2V$ cho điốt Ge và $U_D = 0,6 V$ cho điốt Si.

3.2.6 Chế độ động của điốt.

Khi điốt làm việc trong các chế độ tín hiệu biến đổi ta gọi đó là chế độ động của điốt. Đối với điốt có các sơ đồ tương đương khi nó phân cực thuận và phân cực ngược.

Sơ đồ tương đương vật lý của một điốt bán dẫn:



Hình 3 - 11: Sơ đồ tương đương vật lý tổng quát của điốt bán dẫn.

Điốt được coi như một mạng hai cực và sơ đồ tương đương của nó như mô tả ở hình 3-11. Trong hình có:

R_S - điện trở nối tiếp, là điện trở tiếp xúc kim loại, chân cực và của hai phần bán dẫn N và P.

C_P - điện dung song song, là điện dung của chân cực và hai phần bán dẫn N và P.

L_S - điện cảm nối tiếp, là điện cảm của chân cực điốt

$R_{P/N}$ - điện trở của tiếp xúc P – N.

C_0 - điện dung rào thế của tiếp xúc P – N.

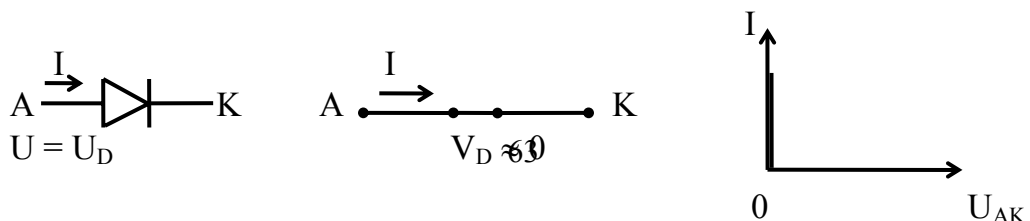
$C_{k.t.}$ - điện dung khuếch tán của tiếp xúc P – N.

I_0 – nguồn dòng

3.2.6.1 Các sơ đồ tương đương khi điốt phân cực thuận.

a. Sơ đồ một khóa điện tử ở trạng thái đóng:

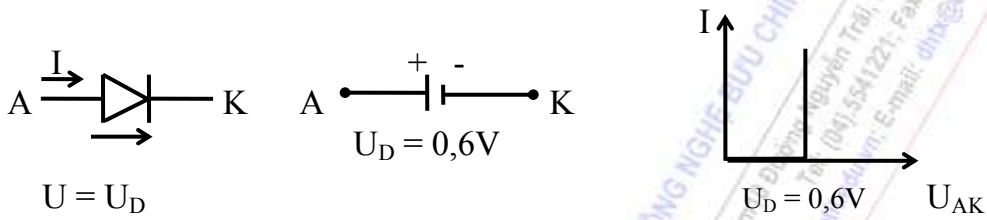
Khi phân cực thuận, điện áp phân cực $U_D = 0,6V$ cho điốt Si, và $U_D = 0,2V$ cho điốt Ge là quá nhỏ so với các điện áp khác nên có thể bỏ qua. Điốt lúc này coi như ngắn mạch.



a/ Mô hình điốt phân cực thuận với $V_D = 0,6V \approx 0V$

b. Sơ đồ một nguồn áp lý tưởng:

Sơ đồ này đúng với nguồn điện áp $V_D = 0,6V$ đối với điốt Si và $V_D = 0,2V$ đối với điốt Ge.

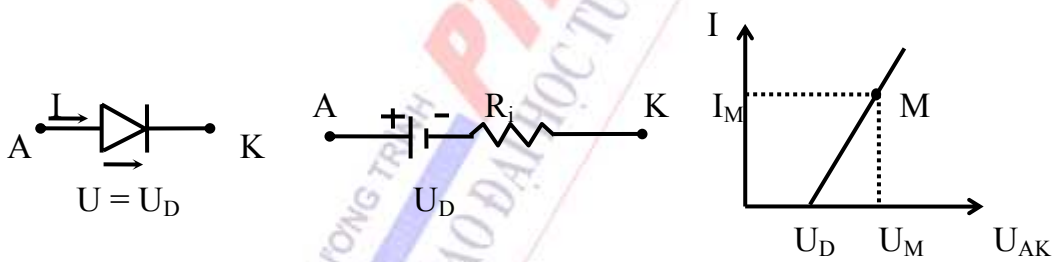


Hình 3 -13: Điốt là một nguồn điện áp lý tưởng

c. Sơ đồ một nguồn điện áp thực:

Trong trường hợp này điốt được coi như một nguồn điện áp thực gồm có nguồn điện áp và nội trở của nó chính là R_i .

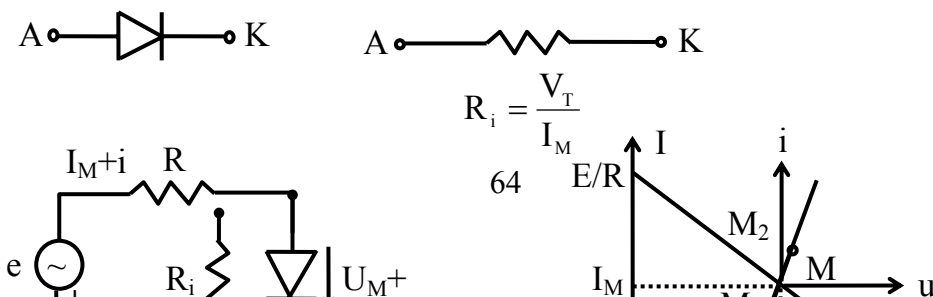
$$R_i = \frac{dV}{dI} = \frac{KT}{qI_M} = \frac{V_T}{I_M} \tag{3.22}$$



Hình 3 -14: Điốt là một nguồn điện áp thực

d. Sơ đồ một điện trở R_i ở chế độ tín hiệu nhỏ tần số thấp:

Ở chế độ này điốt được coi như một phần tử tuyến tính.



□ Chế độ động là chế độ điốt làm việc với nguồn xoay chiều e .

Ở chế độ động thì điểm làm việc M nằm trên đoạn thẳng M_1M_2 , và điốt được coi như một phần tử tuyến tính (điện trở R_i) và xung quanh điểm M ta có thể sử dụng định luật Ôm như sau:

$$u = R_i i = R_i \frac{e}{R + R_i} \quad (3.23)$$

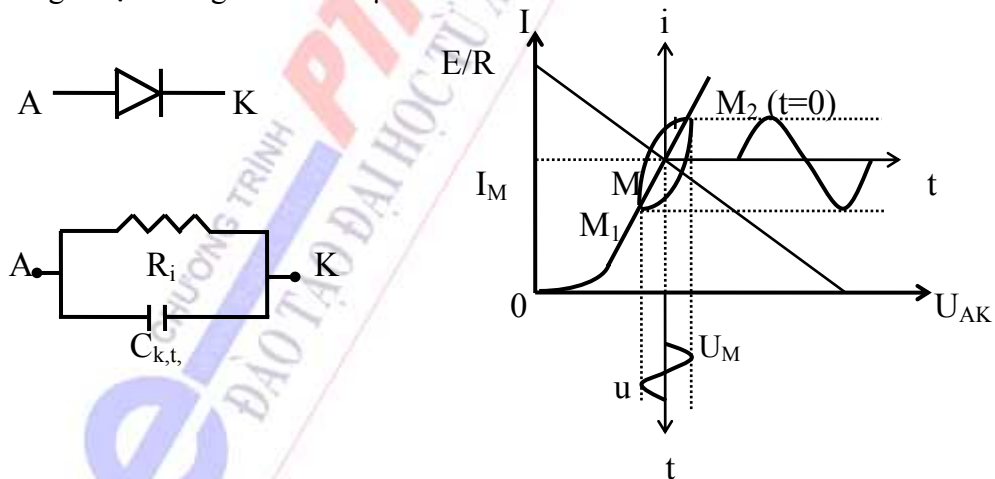
e. Sơ đồ tương đương ở chế độ tín hiệu nhỏ tần số cao:

Ở chế độ này điốt được coi như một điện trở thuần R_i mắc song song với một điện dung khuếch tán $C_{k.t.}$.

Điện dung $C_{k.t.}$ xuất hiện trong khoảng thời gian τ là khoảng thời gian lệch pha giữa i và u . Điện dung $C_{k.t.}$ được xác định:

$$C_{k.t.} = \frac{\tau}{R_i}$$

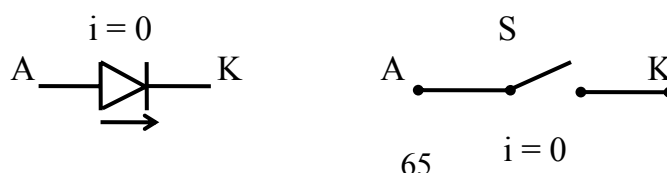
trong đó τ có giá trị khoảng vài ns đến μs .



Hình 3 -16: Điốt ở chế độ tín hiệu nhỏ tần số cao

3.2.6.2 Sơ đồ tương đương của điốt khi phân cực ngược.

a. Sơ đồ một khóa ở trạng thái hở:



Hình 3 -17: Điốt là một khóa hở

b. Sơ đồ một nguồn dòng lý tưởng:



Hình 3 -18: Điốt là một nguồn dòng lý tưởng

c. Sơ đồ một điện dung chuyển tiếp ở chế độ tín hiệu nhỏ:



Hình 3 -19: Điốt như một tụ điện

$C_{t.x}$ - Đây là điện dung có trị số biến thiên cùng với sự biến thiên của điện áp ngược đặt lên nó theo qui luật:

$$C_{t.x} = \frac{C_0}{|V_{ngược}|^{\frac{1}{n}}} \quad \text{Với } n = 2 \div 3$$

So với điện dung thuận $C_{k.t.}$ thì điện dung $C_{t.x.}$ nhỏ hơn từ 100 đến 1000 lần.

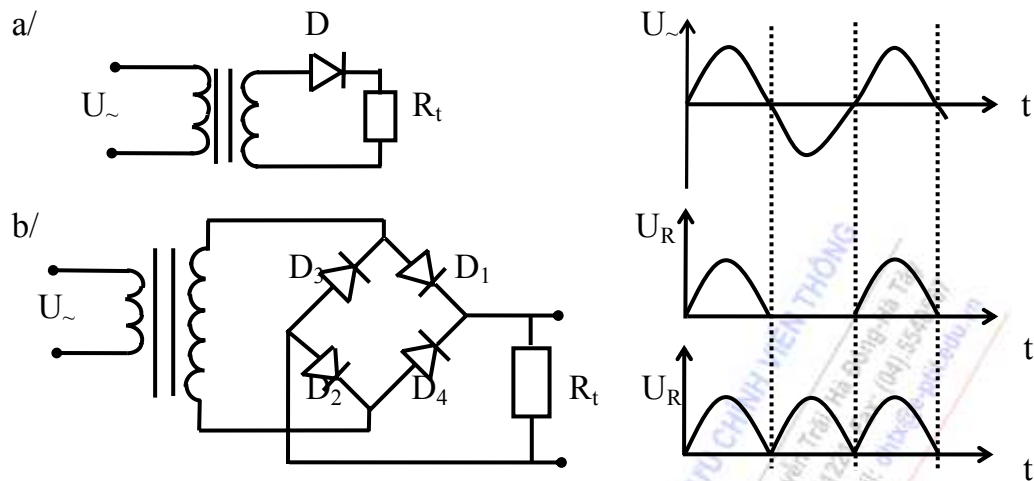
3.2.7 Ứng dụng và phân loại điốt.

Có nhiều cách phân loại điốt: có thể dựa vào vật liệu chế tạo, vào ứng dụng, vào công nghệ chế tạo, v.v.. có các loại điốt tiếp mặt, điốt tiếp điểm, điốt chỉnh lưu, điốt ổn áp, điốt tách sóng, điốt âm tần, điốt cao tần, v.v.. Sau đây ta nói đến một số loại điốt thường sử dụng.

a. Điốt chỉnh lưu:

Điốt chỉnh lưu sử dụng tính dẫn điện một chiều để chỉnh lưu dòng điện xoay chiều thành một chiều.

Đặc tính của điốt chỉnh lưu là các đại lượng dòng điện thuận cực đại I_{max} cho phép xác định dòng chỉnh lưu cực đại và điện áp ngược tối đa cho phép $U_{ng.Max.}$ sẽ xác định điện áp chỉnh lưu lớn nhất. Thông thường ta chọn trị số điện áp ngược cho phép $U_{ng.Max.} = 0,8 U_{d.t.}$



Hình 3 -20 : a. Mạch chỉnh lưu nửa chu kỳ và dạng điện áp trên tải
b. Mạch chỉnh lưu toàn sóng (cả chu kỳ) và dạng điện trên tải

Hiện nay điốt chỉnh lưu phổ biến nhất là điốt Silic vì có nhiệt độ làm việc cao. Điốt chỉnh lưu Geman dùng cho các chỉnh lưu công suất nhỏ. Dòng điện chỉnh lưu và điện áp ngược cho phép phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ môi trường nên các điốt công suất thường được gắn trên các bộ tỏa nhiệt.

Hình 3-20: Giới thiệu một số mạch chỉnh lưu.

- Điốt chỉnh lưu Gecmani: Là điốt chế tạo từ chất bán dẫn Ge.

Điốt chỉnh lưu gecmani có dòng điện ngược bão hòa khá nhỏ khoảng vài trăm microampe. Điện áp ngược tối đa cho phép không vượt quá 400 V. Đặc tuyến phần ngược có đoạn bão hòa và hiện tượng đánh thủng xảy ra thường là đánh thủng về nhiệt nên đặc tuyến có đoạn điện trở âm.

Nhiệt độ làm việc giới hạn của điốt chỉnh lưu Ge là 75°C. Các điốt chỉnh lưu Ge công suất lớn thường phải dùng các phương pháp tỏa nhiệt tốt.

Điện dung của điốt khá lớn (hàng chục pF) nên điốt Ge thường dùng ở tần số thấp.

- Điốt chỉnh lưu Silic: Là các điốt được chế tạo từ chất bán dẫn Si

Phần ngược của đặc tuyến V-A của điốt Si không có đoạn bão hòa rõ rệt. Điện áp ngược tối đa cho phép cao hơn nhiều so với điốt Ge và khi chưa bị đánh thủng thì làm việc khá ổn định. Nhiệt độ làm việc giới hạn của điốt Silic là 125°C.

Điốt Silic có điện áp đánh thủng có thể lên tới 2500 V và hiện tượng đánh thủng về điện là chủ yếu.

- Điốt chỉnh lưu đa tinh thể

Là loại điốt được dùng khá rộng rãi. Thông thường các điốt này được lắp ghép sẵn theo một sơ đồ nhất định tạo thành các cột chỉnh lưu.

Điốt chỉnh lưu đa tinh thể thường gặp là điốt Sêlen, điốt ôxit đồng.

b. Điốt ổn áp (Zêne):

Người ta sử dụng chế độ đánh thủng về điện của chuyển tiếp P-N để ổn định điện áp. Điện áp đánh thủng của điốt phụ thuộc vào bề dày của lớp tiếp xúc P-N, nghĩa là phụ thuộc vào nồng độ tạp chất đưa vào bán dẫn.

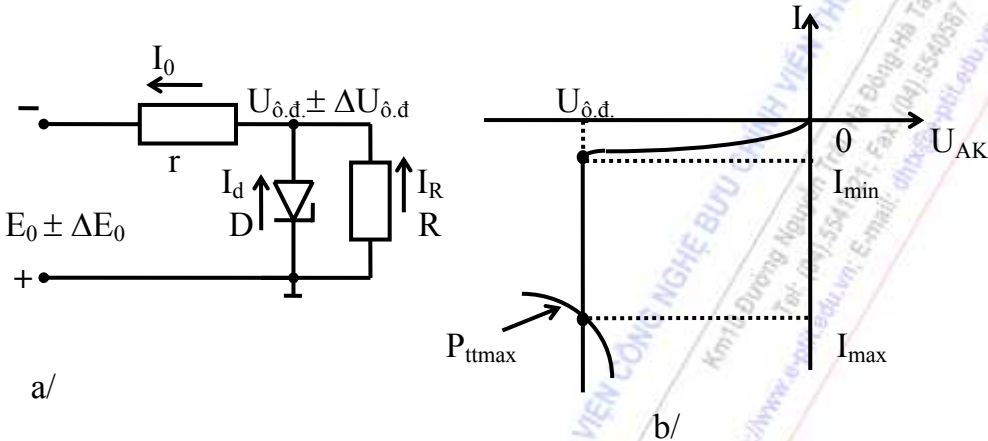
Trong hình 3 -21a là mạch ổn áp dùng điốt Zêne:

E_0 - là điện áp một chiều cần ổn định

r - là điện trở hạn chế để hạn chế dòng điện trong mạch

D - điốt ổn áp

R_t - tải tiêu thụ điện áp đã được ổn áp



Hình 3 -21: Mạch điện ổn áp và đặc tuyến V-A

Độ ổn áp của mạch được tính theo công thức:

$$\Delta U_{\text{ôđ}} = \frac{\Delta E_0}{1 + \frac{r}{R_t} + \frac{r}{R_i}}$$

Các tham số chủ yếu của điốt ổn áp

- Điện áp ổn định $U_{\text{ôđ}} = U_{\text{đánh thủng}}$
- Điện trở trong $R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I}$ (R_i càng nhỏ chất lượng ổn định càng cao)
- I_{min} - trị số dòng điện tại điểm mà hiện tượng đánh thủng ổn định
- I_{max} - trị số dòng điện cực đại qua điốt được xác định bởi công suất tiêu tán cực đại trên điốt (nếu $I > I_{\text{max}}$ điốt bị cháy)

b. Điốt xung:

Ở chế độ xung, điốt được sử dụng như khóa điện tử gồm có hai trạng thái: "dẫn" khi điện trở của điốt rất nhỏ và "khóa" khi điện trở của nó rất lớn.

Điốt xung có các thông số sau:

- Giá trị dòng điện thuận và dòng điện ngược: giá trị dòng điện thuận cực đại của điốt làm việc ở chế độ xung lớn hơn ở chế độ liên tục rất nhiều.
- Thời gian ổn định điện áp thuận t_0 : là khoảng thời gian kể từ thời điểm cấp xung dương vào điốt cho tới khi đạt giá trị 1,1 lần giá trị điện áp thuận ổn định.
- Thời gian phục hồi khả năng ngắt t_p : là khoảng thời gian kể từ thời điểm khi điốt dẫn dòng điện ngược cho tới khi dòng ngược đạt giá trị 0,1 lần giá trị dòng ngược cực đại.

Theo trị số t_p người ta chia điốt xung làm 3 loại chính:

- + Loại tốc độ cao có : $t_p < 10 \text{ nsec}$

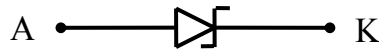
+ Loại tốc độ trung bình có : $10 \text{ nsec} < t_p < 100 \text{ nsec}$

+ Loại tốc độ thấp có : $t_p > 100 \text{ nsec}$

d. Điốt Sôtky (Schottky)

Các điốt xung có các loại điốt hợp kim, điốt mêza, điốt Sôtky. Trong đó điốt Sôtky được dùng rộng rãi nhất. **Điốt Sôtky** sử dụng tiếp xúc bán dẫn - kim loại. Thời gian phục hồi chức năng ngắt của điốt Sôtky có thể đạt tới 100psec. Điện áp phân cực thuận cho điốt Sôtky khoảng $U_D = 0,4V$, tần số làm việc cao đến 100 GHz.

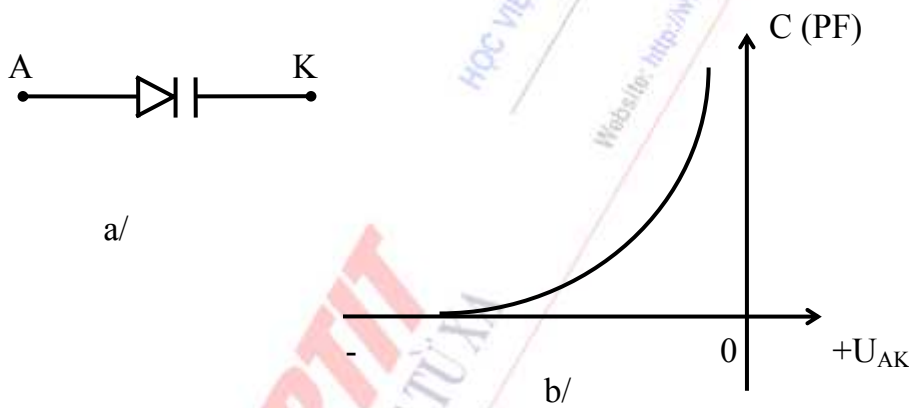
Ký hiệu của điốt Sotky trong các sơ đồ mạch điện:



e. Điốt biến dung (varicap):

Là loại điốt bán dẫn được sử dụng như một tụ điện có trị số điện dung điều khiển được bằng điện áp.

Nguyên lý làm việc của điốt biến dung là dựa vào sự phụ thuộc của điện dung rào thế của tiếp xúc P-N với điện áp ngược đặt vào nó.



Hình 3 -22: a- Ký hiệu của điốt biến dung trong sơ đồ mạch
b- Sự phụ thuộc của điện dung chuyển tiếp P-N theo điện áp ngược đặt lên nó

Trị số điện dung cực đại của điốt biến dung phụ thuộc vào loại điốt và có trị số vào khoảng từ (5 ÷ 300) pF.

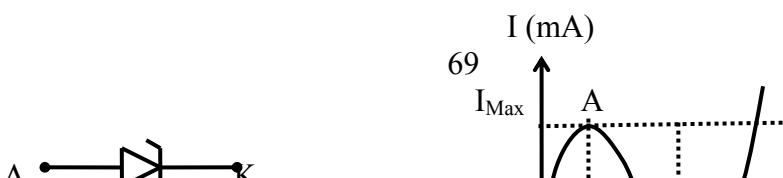
Varicap thường được dùng trong các mạch dao động cần điều khiển tần số cộng hưởng bằng điện áp ở lĩnh vực siêu cao tần.

f. Điốt tunen (hay điốt xuyên hầm):

Điốt được chế tạo từ chất bán dẫn có nồng độ tạp chất rất cao, thông thường $n = (10^{19} ÷ 10^{23})/cm^3$.

Loại điốt này có khả năng dẫn điện cả chiều thuận và chiều ngược. Hiệu ứng tunen là hiện tượng các hạt dẫn chuyển động qua tiếp xúc P-N mà không bị tổn hao năng lượng.

Ký hiệu của điốt tunen và đặc tuyến Vôn-Ampe



HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG
Km10 Đường Nguyễn Trãi, Hà Đông-Hà Tây
Tel: (04) 55405211 Fax: (04) 55405387
Website: http://www.e-ptit.edu.vn E-mail: hinhk@ptit.edu.vn

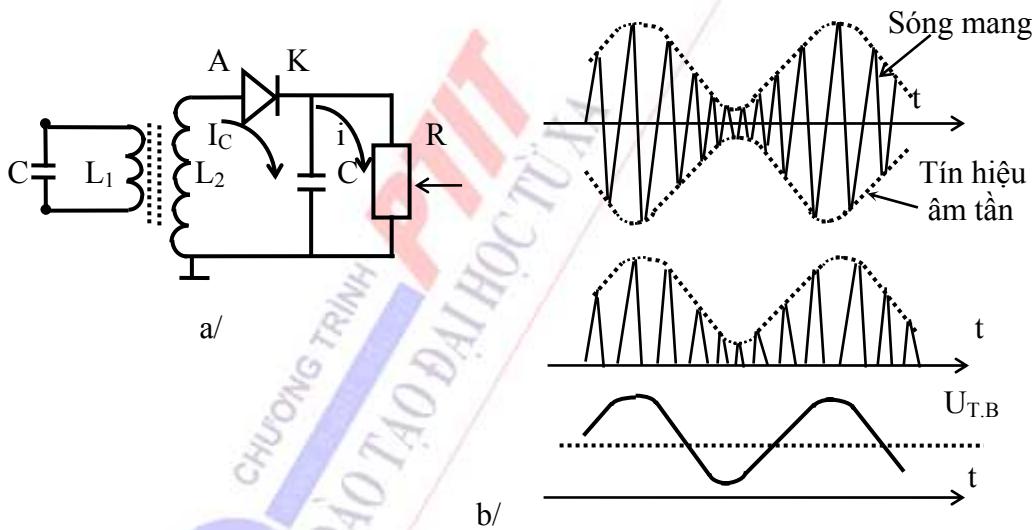
THPT
TRƯỜNG THPT
HỒ MẠNH THỤT

Đặc tuyến V-A của điốt tunen ở phần thuận có đoạn điện trở âm AB. Người ta sử dụng đoạn đặc tuyến AB này để tạo các mạch dao động phóng nạp. Điốt tunen có kích thước nhỏ, độ ổn định cao và tần số làm việc lên tới hàng nghìn MHz.

g. Điốt cao tần:

Các điốt cao tần thường là loại điốt tiếp điểm và thường dùng để xử lý các tín hiệu cao tần như:

- Điốt tách sóng dùng để tách tín hiệu tần thấp từ dao động điều biên.
- Điốt trộn sóng dùng để thay đổi tần số sóng mang của dao động điều biên.
- Điốt điều biến dùng để điều biến các dao động cao tần (sóng mang) theo các tín hiệu âm tần..



Hình 3 -24: a- Mạch tách sóng AM;
b- tín hiệu âm tần
và sóng mang trong quá trình tách sóng

TÓM TẮT NỘI DUNG

Trong chương 3 đã trình bày về sự hình thành của lớp tiếp xúc P-N, các tính chất đặc biệt về điện của lớp tiếp xúc P-N và quan trọng là tính dẫn điện một chiều của nó: chỉ khi tiếp

xúc P-N phân cực thuận thì nó mới dẫn điện. Dòng điện chạy qua tiếp xúc P-N được tạo nên do hai loại hạt dẫn là hạt dẫn điện tử và hạt dẫn lỗ trống.

$$I = I_{pn}(0) + I_{np}(0) = I_0(e^{\frac{V}{V_T}} - 1)$$

Trong đó $I_{pn}(0)$ và $I_{np}(0)$ là dòng điện lỗ trống và dòng điện điện tử, tương ứng, đi qua tiếp xúc P-N; I_0 là dòng điện ngược bão hòa; V – là trị số điện áp ngoài đặt lên tiếp xúc P-N và V_T là điện thế nhiệt của bán dẫn (ở nhiệt độ phòng $V_T \approx 0,026V$).

Đặc tuyến Vôn-Ampe của tiếp xúc P-N biểu diễn mối quan hệ giữa dòng điện chạy qua tiếp xúc và điện áp ngoài đặt lên nó. Qua đây chúng ta thấy rằng: dòng điện khi tiếp xúc P-N được phân cực thuận lớn hơn rất nhiều lần dòng điện khi tiếp xúc được phân cực ngược. Thực tế, dòng điện ngược I_0 rất nhỏ chỉ khoảng từ vài nA đối với bán dẫn silic đến vài chục μA đối với bán dẫn gecmany, nên có thể coi $I_0 \approx 0$.

Trong chương này chúng ta cũng nghiên cứu về điốt bán dẫn. Đây là cấu kiện bán dẫn chỉ có một lớp tiếp xúc P-N. Nguyên lý hoạt động của điốt là dựa vào tính dẫn điện một chiều của tiếp xúc P-N: điốt chỉ dẫn điện khi được phân cực thuận ($U_{AK} > 0$).

Đặc tuyến Vôn-Ampe của đi-ốt cũng giống như đặc tuyến Vôn-Ampe của tiếp xúc P-N, nhưng đây là đặc tuyến Vôn-Ampe của một cấu kiện thực tế nên có một số điểm cần lưu ý. Về phần thuận của đặc tuyến, ta thấy chỉ khi nào $U_{AK} \geq U_D$ thì đi-ốt mới được tính là phân cực thuận. Trong đó U_D gọi là điện áp thuận ngưỡng: đối với đi-ốt gecmany $U_D = 0,1V \div 0,3V$; đối với đi-ốt silic $U_D = 0,4V \div 0,8V$. Ngoài ra, dòng điện thuận tăng nhanh, gần như tuyến tính, với điện áp đặt lên đi ốt nên ta phải chú ý giá trị dòng điện thuận cực đại. Đây là giá trị lớn nhất cho phép đi ốt làm việc, quá giá trị này điốt sẽ bị nóng và hỏng. Về phần ngược, dòng điện ngược gần như không thay đổi khi tăng điện áp ngược đặt lên đi ốt. Nhưng khi điện áp ngược đạt giá trị $U_{đ.t.}$ (gọi là điện áp đánh thủng) thì đi ốt mất tính chỉnh lưu – khả năng dẫn điện một chiều, thì dòng điện ngược tăng vọt đó là hiện tượng đánh thủng đi ốt. Hiện tượng đánh thủng dẫn đến làm hỏng đi ốt trừ đi ốt zener sử dụng chế độ đánh thủng để ổn định điện áp.

Khi sử dụng đi ốt ta phải dựa vào các tham số tĩnh của nó để lựa chọn. Các tham số tĩnh cơ bản của đi ốt gồm có:

- + Điện trở động R_i là điện trở của đi ốt đối với thành phần xoay chiều của tín hiệu.
- + Điện dung của đi ốt C_d là điện dung của tiếp xúc P-N.
- + Điện áp ngược cho phép
- + Dòng điện thuận cực đại
- + Khoảng nhiệt độ làm việc.

Một điều rất quan trọng khi sử dụng các cấu kiện bán dẫn là ta phải chú ý đến sự ảnh hưởng của nhiệt độ lên hoạt động của đi ốt. Sự ảnh hưởng của nhiệt độ lên hoạt động của đi ốt thông qua sự phụ thuộc của dòng điện ngược bão hòa vào nhiệt độ theo hàm mũ và do điện thế nhiệt của chất bán dẫn cũng chịu ảnh hưởng của nhiệt độ. Theo tính toán gần đúng thì giá trị dòng điện ngược tăng gấp 2 lần đối với mỗi một sự tăng nhiệt độ lên $10^0 C$.

Chương 3 còn giới thiệu về chế độ động của đi ốt, các khả năng sử dụng đi ốt trong mạch điện tử và một số loại đi ốt bán dẫn thông dụng. Chúng ta nghiên cứu về sơ đồ mạch tương đương của đi ốt và các chế độ làm việc động của nó. Ngoài ra phần cuối chương cũng giới thiệu một số mạch ứng dụng đi ốt trên thực tế.

CÂU HỎI ÔN TẬP.

1. Hãy nêu các tham số của tiếp xúc P-N khi ở trạng thái cân bằng?
2. Trình bày về các hiện tượng vật lý xảy ra khi tiếp xúc P-N phân cực thuận và phân cực ngược?
3. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của điốt bán dẫn?
4. Hãy giải thích về đặc tuyến Vôn-Ampe của điốt bán dẫn?
5. Nêu các tham số tĩnh của điốt bán dẫn?
6. Trình bày về các chế độ động của điốt bán dẫn?
7. Trình bày các đặc tính chính của điốt xung và cho biết ý nghĩa vật lý của tham số thời gian phục hồi chức năng ngắt của điốt (t_p)?
8. Hãy tính độ cao hàng rào thế năng của một điốt silic phân cực thuận khi ở nhiệt độ $100^\circ C$? (biết rằng ở $25^\circ C$ điốt được phân cực $0,7V$).
9. Trong một tiếp xúc P-N, nồng độ tạp chất trong hai phần bán dẫn P và N là: $N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ và $N_D = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$.
 - a. Hãy tính nồng độ hạt dẫn thiểu số tại biên của lớp nghèo hạt dẫn khi phân cực $U=0,52V$.
 - b. Tính tỉ số dòng điện trôi của điện tử và lỗ trống bên trong vùng N. Giả thiết rằng tiếp xúc P-N làm việc tại nhiệt độ phòng và $n_i = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$
10. Điền vào chỗ trống của mệnh đề dưới một trong các nhóm từ sau:

“Lớp tiếp xúc P-N chỉkhi được phân cực thuận”.

 - a. dẫn điện; b. không dẫn điện; c. là một tụ điện; d. là một điện trở
11. Dòng điện qua lớp tiếp xúc P-N liên quan với điện áp ngoài đặt lên nó theo công thức sau:
 - a. $I = I_0 \left(e^{U_{ng}/V_T} - 1 \right)$; b. $I = I_0 \left(e^{U_{ng}/V_T} + 1 \right)$; c. $I = I_0 \left(e^{U_{ng}/V_T} - 1 \right)^2$; d. $I = I_0 \left(e^{U_{ng}/V_T} + 1 \right)^2$

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Giáo trình “Cấu kiện điện tử và quang điện tử”- Trần Thị Cẩm Học viện công nghệ BCVT, năm 2002.
2. “Electronic Devices and Circuits” – Jacob Millman, Christos C. Halkias, Mc Graw Hill Book 1987.

CHƯƠNG 4 TRANZITO LƯƠNG CỰC (BJT)

GIỚI THIỆU CHƯƠNG.

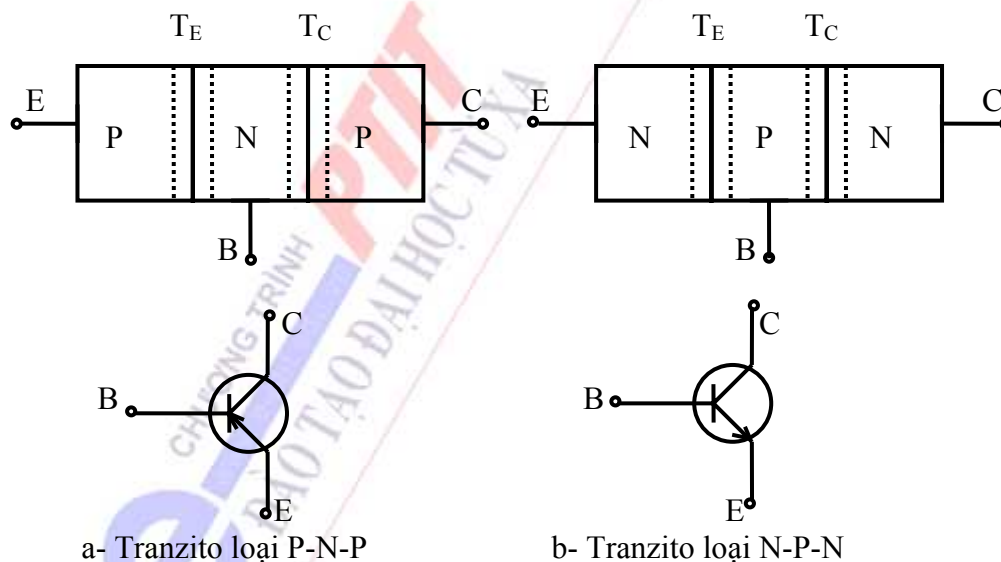
Chương 4 sẽ giới thiệu về tranzito lưỡng cực (Bipolar Junction Transistor – BJT). Đây là cấu kiện bán dẫn quan trọng có 2 lớp tiếp xúc P-N và 3 chân điện cực. Trong chương sẽ trình bày về nguyên lý hoạt động của tranzito lưỡng cực ở 3 chế độ cấp điện phân cực cho nó là chế độ tích cực, chế độ ngắt và chế độ bão hòa. Chương 4 trình bày về các cách mắc cơ bản của tranzito lưỡng cực trong các sơ đồ mạch khuếch đại là cách mắc cực gốc chung, cực phát chung và cực góp chung, đặc điểm của từng cách mắc. Trong chương 4 này còn đề cập đến các phương pháp phân cực cho tranzito như phân cực bằng dòng cực gốc, phân cực bằng phân áp và phân cực bằng hồi tiếp. Đồng thời trong chương này cũng trình bày về các sơ đồ tương đương của tranzito trong chế độ khuếch đại tín hiệu nhỏ và trình bày về chế độ chuyển mạch của tranzito.

NỘI DUNG

4.1. CẤU TẠO VÀ KÝ HIỆU CỦA BJT TRONG SƠ ĐỒ MẠCH.

4.1.1. Cấu tạo của BJT loại P-N-P và N-P-N

Tranzito lưỡng cực gồm có hai tiếp xúc P-N được tạo nên bởi 3 miền bán dẫn loại P và N xếp xen kẽ nhau. Nếu miền bán dẫn ở giữa là bán dẫn loại N thì ta có tranzito lưỡng cực loại P-N-P. Nếu miền bán dẫn ở giữa là bán dẫn loại P thì ta có tranzito lưỡng cực loại N-P-N.



Hình 4 - 1 : a. Tranzito lưỡng cực loại P-N-P (hay tranzito thuận) cấu tạo và ký hiệu trên sơ đồ mạch
b. Tranzito N-P-N (hay tranzito ngược) cấu tạo và ký hiệu

Tranzito có 3 chân cực là:

- Cực Phát ký hiệu là chữ E (Emitter) là nguồn phát ra các hạt tải điện trong tranzito.
- Cực Gốc ký hiệu là chữ B (Base) là cực điều khiển dòng điện..

- Cực Góp ký hiệu là chữ C (Collector) có nhiệm vụ thu nhận tất cả các hạt dẫn từ phần phát E qua phần gốc B tới.
- Hai tiếp xúc P-N là tiếp xúc phát-gốc ký hiệu là T_E (gọi tắt là tiếp xúc phát), và tiếp xúc góp-gốc ký hiệu là T_C (gọi tắt là tiếp xúc góp).

4.1.2. Nguyên lý làm việc của tranzito

Khi chưa cung cấp điện áp ngoài lên các chân cực của tranzito thì hai tiếp xúc phát T_E và góp T_C đều ở trạng thái cân bằng và dòng điện tổng chạy qua các chân cực của tranzito bằng 0.

Muốn cho tranzito làm việc ta phải cung cấp cho các chân cực của nó một điện áp một chiều thích hợp. Có ba chế độ làm việc của tranzito là: chế độ tích cực (hay chế độ khuếch đại), chế độ ngắt và chế độ dẫn bão hòa. Cả hai loại tranzito P-N-P và N-P-N đều có nguyên lý làm việc giống nhau, chỉ có chiều nguồn điện cung cấp vào các chân cực là ngược dấu nhau.

+ *Chế độ ngắt*: Cung cấp nguồn điện sao cho hai tiếp xúc P-N đều phân cực ngược. Tranzito có điện trở rất lớn và chỉ có một dòng điện rất nhỏ chạy qua nên tranzito coi như không dẫn điện.

+ *Chế độ dẫn bão hòa*: Cung cấp nguồn điện sao cho cả hai tiếp xúc P-N đều phân cực thuận. Tranzito có điện trở rất nhỏ và dòng điện qua nó là khá lớn.

Ở chế độ ngắt và chế độ dẫn bão hòa, tranzito làm việc như một phần tử tuyến tính trong mạch điện. Ở chế độ này tranzito như một khóa điện tử và nó được sử dụng trong các mạch xung, các mạch số.

+ *Chế độ tích cực*: Ta cấp nguồn điện sao cho tiếp xúc phát T_E phân cực thuận, và tiếp xúc góp T_C phân cực ngược. Ở chế độ tích cực, tranzito làm việc với quá trình biến đổi tín hiệu dòng điện, điện áp, hay công suất và nó có khả năng tạo dao động, khuếch đại tín hiệu,... Đây là chế độ thông dụng của tranzito trong các mạch điện tử tương tự.

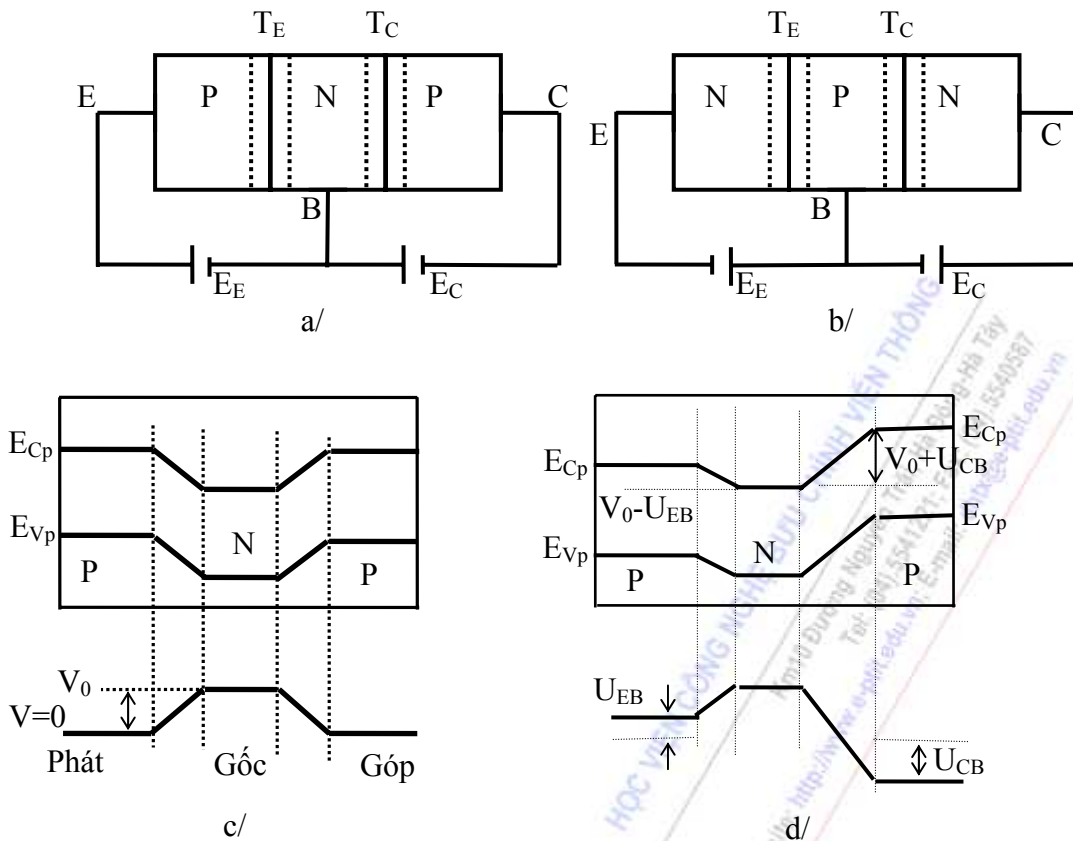
4.2. CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC CỦA TRANZITO BJT.

4.2.1. Chế độ tích cực (hay chế độ khuếch đại):

+ *Nguyên lý hoạt động*:

Ở chế độ tích cực ta phải cung cấp nguồn điện một chiều lên các chân cực sao cho tiếp xúc phát T_E phân cực thuận và tiếp xúc góp T_C phân cực ngược (xem hình 4-2 a,b,c,d).

Ví dụ: Ta xét nguyên lý làm việc của tranzito loại P-N-P còn đối với tranzito loại N-P-N có thể suy ra dựa vào nguyên lý hoạt động của tranzito loại P-N-P.



Hình 4 - 2: a và b: Chiều các nguồn điện cung cấp cho các chân cực của tranzito loại P-N-P và N-P-N để nó làm việc ở chế độ tích cực
 c và d: Đồ thị dải năng lượng của tranzito loại P-N-P

Khi tiếp xúc phát phân cực thuận, các hạt dẫn đa số là lỗ trống sẽ khuếch tán từ phần phát sang phần gốc, còn các điện tử từ phần gốc khuếch tán sang phần phát tạo nên dòng điện cực phát I_E , ta có:

$$I_E = I_{En} + I_{Ep} \tag{4.1}$$

Trong đó: I_{En} - là thành phần dòng điện điện tử cực phát.

I_{Ep} - là thành phần dòng điện lỗ trống cực phát.

Các hạt dẫn này gặp nhau sẽ tái hợp. Để đảm bảo nồng độ các lỗ trống phát ra lớn, người ta chế tạo phần phát có nồng độ tạp chất lớn hơn rất nhiều so với phần gốc. Như vậy ta có:

$$I_{Ep} \gg I_{En}$$

Ở đây người ta đưa ra tham số gọi là hiệu suất của cực phát, ký hiệu là γ và được tính theo công thức sau:

$$\gamma = \frac{I_{Ep}}{I_E} = \frac{I_{Ep}}{I_{Ep} + I_{En}} \approx 0,98 \div 0,995 \tag{4.2}$$

Tham số $\gamma = \frac{I_{Ep}}{I_E}$ chỉ ra rằng đã có bao nhiêu lỗ trống (hay điện tử) chuyển dời từ cực phát E sang cực gốc B.

Các lỗ trống khuếch tán sang phần gốc, một phần nhỏ tái hợp với các điện tử, còn phần lớn chúng tiếp tục khuếch tán qua phần gốc về phía tiếp xúc góp. Đến tiếp xúc góp, các lỗ

trống sẽ chuyển động trôi qua lớp tiếp xúc và tạo nên dòng điện cực góp I_{Cp} . Đồng thời, qua tiếp xúc góp còn có dòng điện ngược I_{CB0} (còn gọi là dòng điện rò). Nên ta có công thức tính dòng điện cực góp tổng là:

$$I_C = I_{Cp} + I_{CB0} \tag{4.3}$$

Để số lỗ trống bị tái hợp ít trong phần gốc, ta chế tạo phần gốc thật mỏng sao cho bề dày của nó $W_B \ll L_{Pn}$ - độ dài khuếch tán. Ở đây người ta đưa ra tham số gọi là hệ số chuyển dời dòng điện I_E ký hiệu là β^* . Tham số này chỉ ra số lỗ trống đến được cực góp mà không bị tái hợp trong phần gốc.

+ Hệ số chuyển dời β^* được xác định:

$$\beta^* = \frac{\text{Dòng điện do các hạt dẫn trích vào đến được tiếp xúc } T_C}{\text{Dòng điện của các hạt dẫn được trích vào tại tiếp xúc } T_E}$$

Do đó, trong trường hợp tranzito loại P-N-P ta có:

$$\beta^* = \frac{I_{Cp}}{I_{Ep}} = 0,98 \div 0,995 \tag{4.4}$$

+ Hệ số khuếch đại dòng điện cực phát α hay còn gọi là hệ số truyền đạt dòng điện cực phát và nó được tính theo công thức sau:

$$\alpha = \frac{I_{Cp}}{I_E} = \frac{I_{Cp}}{I_{Ep}} \frac{I_{Ep}}{I_E} = \beta^* \gamma \tag{4.5}$$

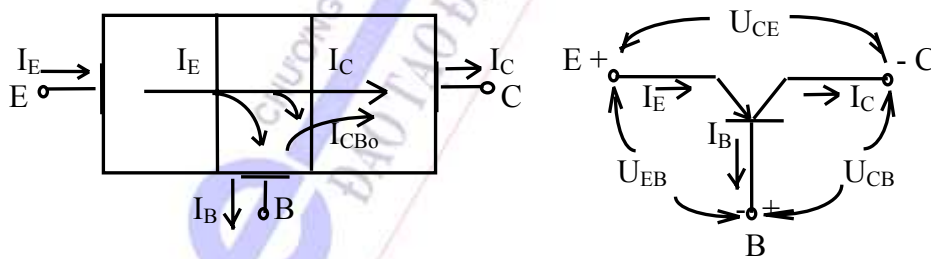
α có giá trị bằng khoảng $0,90 \div 0,995$.

Dòng điện do hiện tượng tái hợp trong lớp tiếp xúc phát và trong phần gốc trừ đi dòng điện ngược của tiếp xúc góp được gọi là dòng điện cực gốc (I_B):

$$I_B = I_{Ep} - I_{Cp} - I_{CB0}$$

Quan hệ giữa 3 thành phần dòng điện trong tranzito là:

$$\begin{aligned} I_C &= \alpha I_E + I_{CB0} \\ I_B &= (1 - \alpha) I_E - I_{CB0} \\ I_E &= I_C + I_B \end{aligned} \tag{4.6}$$

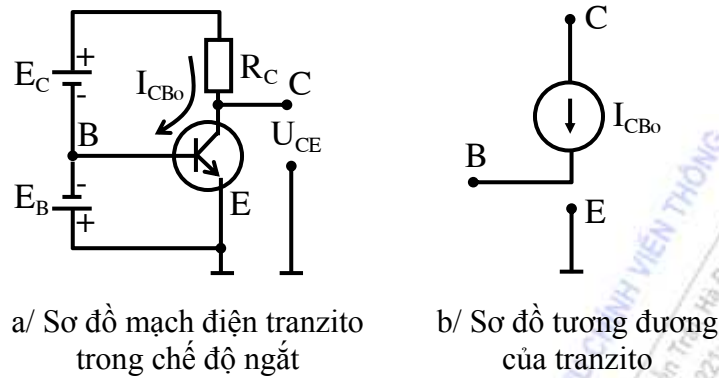


Hình 4 - 3: Các dòng điện và điện áp trên các chân cực của tranzito loại P-N-P.

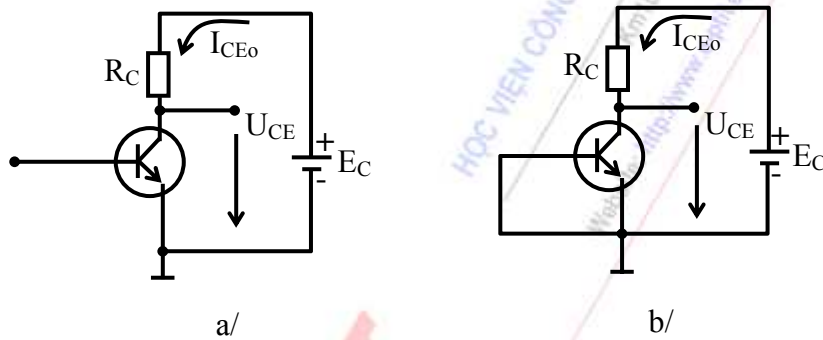
4.2.2. Chế độ ngắt:

Ở chế độ này, ta cung cấp nguồn điện sao cho hai tiếp xúc P-N đều được phân cực ngược nên điện trở của tranzito rất lớn và qua nó chỉ có dòng điện ngược rất nhỏ của tiếp xúc góp I_{CB0} . Do dòng điện ngược của tiếp xúc phát I_{EB0} nhỏ hơn nhiều so với I_{CB0} nên mạch cực

E coi như hở. Dòng điện trong mạch cực gốc B có giá trị bằng dòng I_{CB0} nhưng ngược dấu ($I_B = -I_{CB0}$). Ta có sơ đồ mạch tương đương dưới đây:



Hình 4 - 4: Sơ đồ mạch điện tranzito trong chế độ ngắt



Hình 4 - 5: Các sơ đồ tranzito làm việc ở chế độ ngắt

Trong nhiều trường hợp, chế độ ngắt của tranzito được sử dụng mà không cần nguồn điện áp giữa cực B và E (E_B) như mô tả ở hình 4-5

Như vậy, trong cả hai trường hợp trong hình 4-5, điện áp giữa cực góp và cực phát U_{CE} sẽ được xác định:

$$U_{CE} = E_C - R_C \cdot I_{CE0} \approx E_C$$

và

$$U_{CE} = E_C - R_C \cdot I_{CEs} \approx E_C \quad (4.7)$$

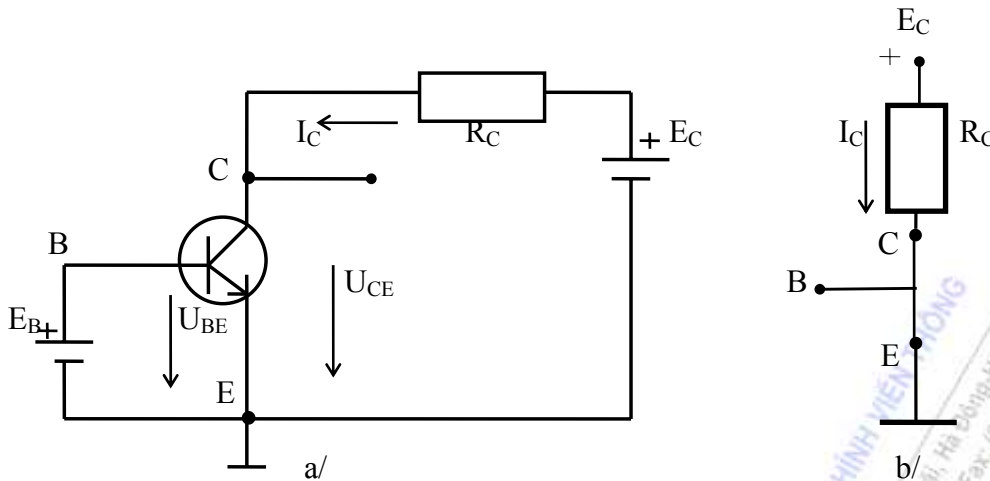
4.2.3. Chế độ dẫn bão hòa:

Ở chế độ này ta cung cấp nguồn điện một chiều sao cho hai tiếp xúc P- N đều phân cực thuận (hình 4-6). Điện trở của hai tiếp xúc T_E và T_C rất nhỏ nên có thể coi như hai cực phát E và cực góp C được nối tắt. Dòng điện qua tranzito I_C khá lớn và không phụ thuộc vào hoạt động của tranzito. Như vậy, điện áp giữa cực góp và cực phát luôn xấp xỉ bằng 0 ($U_{CE} \approx 0$), còn dòng điện chạy qua tranzito được tính bằng:

$$I_{CS} = \frac{E_C}{R_C}$$

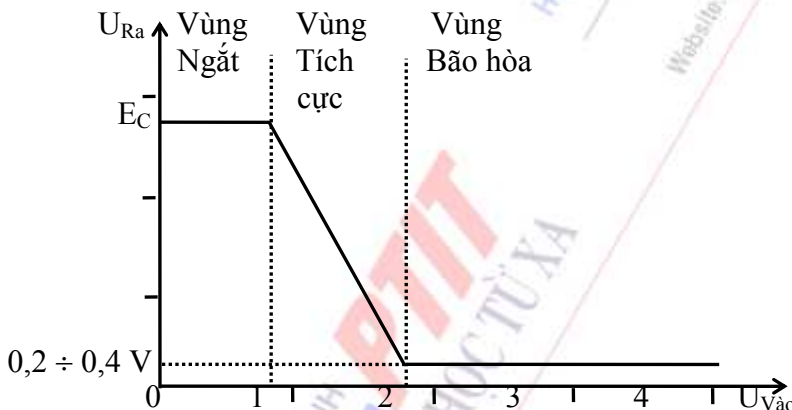
Sơ đồ mạch tương đương của chế độ bão hòa mô tả trong hình (4-6b). Thực tế thì điện áp U_{CE} bằng khoảng 0,2V÷0,4V.

Như vậy, ở hai chế độ ngắt và chế độ dẫn bão hòa, tranzito làm việc như một chuyển mạch điện tử. Khóa đóng khi tranzito dẫn bão hòa, khóa hở khi tranzito ở chế độ ngắt.



Hình 4 - 6 : Chế độ dẫn bão hòa của tranzito
 a. Sơ đồ mạch b. Sơ đồ mạch tương đương

Đặc tuyến truyền đạt của tranzito trong các chế độ làm việc mô tả trong hình 4-7.



Hình 4 - 7: Đặc tuyến truyền đạt của tranzito

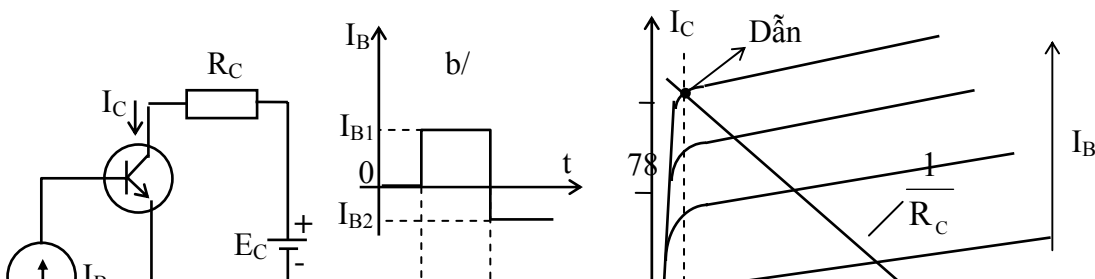
4.3. ĐẶC TÍNH QUÁ ĐỘ CỦA BJT (chế độ chuyển mạch của tranzito).

4.3.1 Nguyên lý làm việc.

Ở chế độ chuyển mạch tranzito làm việc như một khóa điện tử, nghĩa là nó làm việc ở chế độ ngắt và chế độ bão hòa. Sơ đồ nguyên lý của chuyển mạch dùng tranzito mô tả trong hình 4-8.

Dòng điện I_{CS} (bão hoà) được tính theo công thức:

$$I_{CS} = \frac{E_C - U_{CEs} \text{ (bão hòa)}}{R_C} \tag{4.8}$$



Đối với tranzito, U_{CEs} (bão hòa) = $0,2V \div 0,4V$ nên trong biểu thức (4. 8) có thể bỏ qua. Do đó, dòng điện cực gốc nhỏ nhất I_{B1} cần thiết để điều khiển cho tranzito dẫn bão hoà là:

$$I_{B1} \geq \frac{i_{CS}}{\beta_{dc}} \approx \frac{E_C}{\beta_{dc} R_C} \quad (4. 9)$$

4.3.2. Các tham số của BJT chuyển mạch.

Tham số quan trọng của BJT chuyển mạch là thời gian chuyển từ trạng thái “Dẫn” sang trạng thái “Khóa” và gọi là thời gian chuyển mạch. Thời gian chuyển mạch xác định bởi các yếu tố sau:

- Thời gian trễ (t_d): là khoảng thời gian từ khi tác động lên đầu vào một xung cho đến khi dòng điện đầu ra đạt 10% giá trị dòng điện bão hoà của nó. Nghĩa là ($I_C=0,1 I_{CS}$).
- Thời gian lên (t_r) và thời gian xuống (t_f):
 - + Thời gian lên (t_r): là khoảng thời gian để dòng điện ra I_C tăng từ 10% đến 90% dòng điện bão hoà (I_{CS}).
 - + Dòng điện xuống (t_f): là khoảng thời gian để dòng điện ra I_C giảm từ 90% đến còn 10% dòng điện bão hoà (I_{CS}).
- Thời gian tồn đọng: (hay thời gian phục hồi chức năng ngắt) t_p : là khoảng thời gian kể từ khi cấp một dòng điện âm I_B cho đến khi dòng điện ra I_C giảm xuống còn 90% dòng điện bão hoà I_{CS} . Thời gian t_p là tham số cực kỳ quan trọng trong việc giới hạn tốc độ chuyển mạch của tranzito. Nó là thời gian cần thiết để giải toả các hạt dẫn thiểu số trong phần gốc và phân góp.

Gọi dòng I_{BA} là dòng điện cực gốc đã đưa tranzito sang trạng thái bão hoà, ta có:

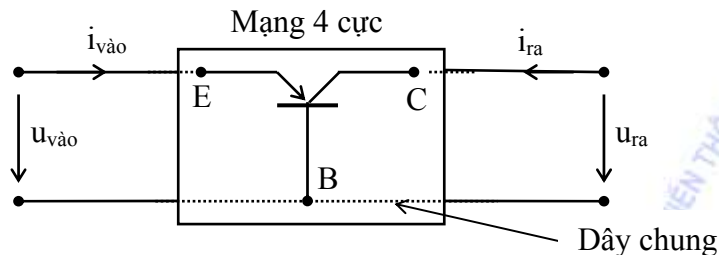
$$I_{BA} = \frac{E_C}{\beta_{dc} \cdot R_C} \quad (4. 10)$$

và thời gian tồn đọng được tính:

$$t_s = \tau_s \ln \frac{I_{B1} - I_{B2}}{I_{BA} - I_{B2}}$$

trong đó: τ_s - thời gian sống của hạt thiểu số trong phần gốc và nó thường được cho đối với từng loại tranzito chuyên mạch.

4.4. CÁC CÁCH MẮC CỦA TRANZITO BJT TRONG SƠ ĐỒ KHUẾCH ĐẠI.



Hình 4 - 9: Tranzito như một mạng 4 cực

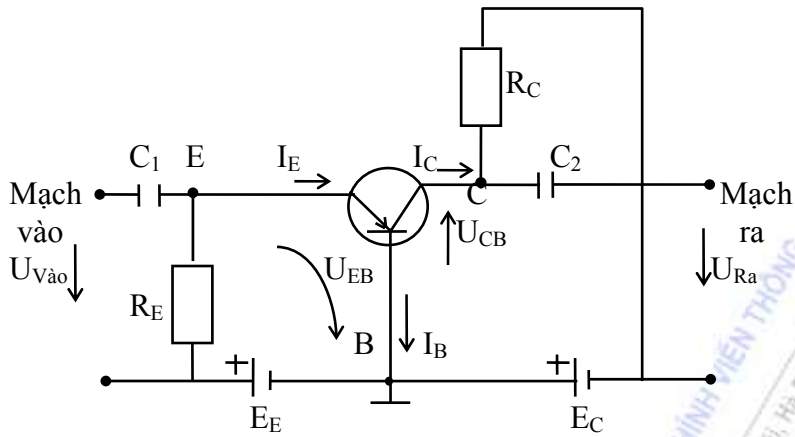
Trong các mạch điện, tranzito được xem như một mạng 4 cực: tín hiệu được đưa vào giữa hai chân cực và tín hiệu lấy ra cũng giữa hai chân cực (xem hình 4-9).

Tranzito là linh kiện bán dẫn có 3 chân cực nên khi sử dụng ta phải đặt một chân cực lên dây chung của mạch vào và mạch ra. Ta có thể chọn một trong 3 chân cực để làm cực chung cho mạch vào và mạch ra. Do đó, tranzito có 3 cách mắc cơ bản là mạch cực phát chung (CE), mạch cực gốc chung (CB), và mạch cực góp chung (CC).

4.4.1. Sơ đồ mắc gốc chung:

Sơ đồ mạch mắc cực gốc chung mô tả trong hình 4-10. Trong sơ đồ mạch có:

- + E_E , E_C là nguồn cung cấp một chiều cho tranzito loại P-N-P trong mạch.
- + R_E - điện trở định thiên cho tranzito. R_E có nhiệm vụ làm sụt bớt một phần điện áp nguồn E_E để đảm bảo cho tiếp xúc phát được phân cực thuận với điện áp phân cực $U_{EB} \approx 0,6$ V cho tranzito Silic, và $U_{EB} \approx 0,2$ V cho tranzito Gecmani. Đồng thời tín hiệu vào sẽ hạ trên R_E để đưa vào tranzito.
- + R_C - điện trở gánh có nhiệm vụ tạo sụt áp thành phần dòng xoay chiều của tín hiệu để đưa ra mạch sau và đưa điện áp từ âm nguồn E_C lên cực góp đảm bảo cho tiếp xúc góp được phân cực ngược.
- + Tụ điện C_1 , C_2 gọi là tụ liên lạc có nhiệm vụ dẫn tín hiệu vào mạch và dẫn tín hiệu ra mạch sau.



Hình 4 - 10: Sơ đồ mắc gốc chung cho tranzito loại P-N-P

Cực gốc B của tranzito trong sơ đồ được nối đất. Như vậy, tín hiệu đưa vào giữa cực phát và cực gốc. Tín hiệu lấy ra giữa cực góp và cực gốc nên cực gốc B là chân cực chung của mạch vào và mạch ra. - Ta gọi là sơ đồ mắc cực gốc chung. Trong mạch có các thành phần dòng điện và điện áp sau:

- I_E gọi là dòng điện trên mạch vào.
- I_C gọi là dòng điện trên mạch ra.
- U_{EB} gọi là điện áp trên mạch vào
- U_{CB} gọi là điện áp trên mạch ra

Mối quan hệ giữa các dòng điện và điện áp trên các chân cực được mô tả thông qua các họ đặc tuyến tĩnh. Có hai họ đặc tuyến chính là :

- Họ đặc tuyến vào: $U_{EB} = f_1(U_{CB}, I_E)$
- Họ đặc tuyến ra: $I_C = f_2(U_{CB}, I_E)$

□ *Họ đặc tuyến vào:*

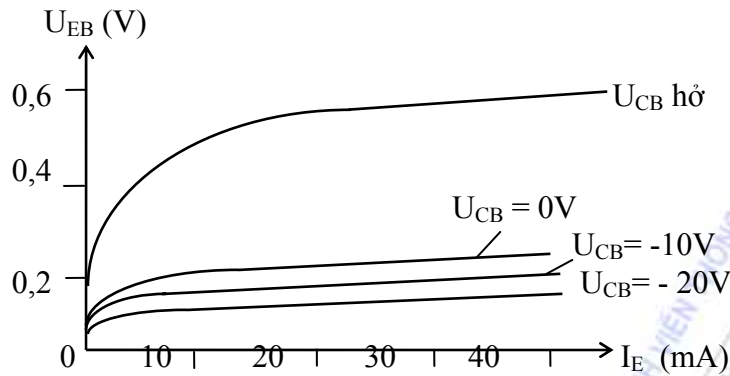
Đặc tuyến vào mô tả mối quan hệ giữa điện áp vào và dòng điện vào như sau:

$$U_{EB} = f_1(I_E) \text{ khi } U_{CB} = \text{const.}$$

Xét trường hợp đối với tranzito lưỡng cực Gecmani loại P-N-P. Khi cực góp hở thì đặc tuyến vào chính là đặc tuyến Vôn-Ampe của tiếp xúc P-N phân cực thuận nên ta có:

$$I_E = I_0 \left(e^{\frac{U_{EB}}{V_T}} - 1 \right)$$

Ta có đường đặc tuyến vào mô tả trong hình 4-11.



Hình 4 - 11: Họ đặc tuyến vào của tranzito gecmani loại P-N-P.

Khi $U_{CB} \leq 0$, đặc tuyến xê dịch rất ít chứng tỏ điện áp trên cực góp ít ảnh hưởng đến dòng điện qua tiếp xúc phát.

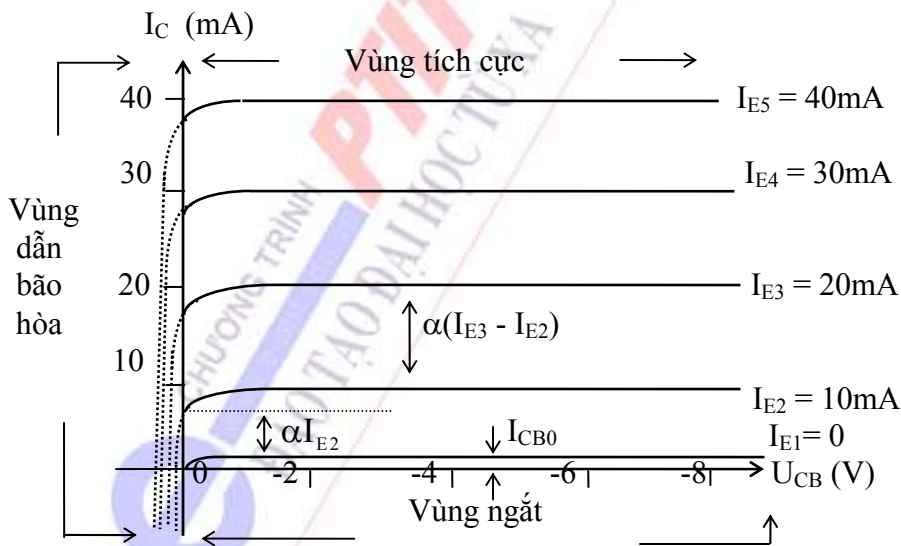
□ *Họ đặc tuyến ra:*

Đặc tuyến ra biểu thị mối quan hệ giữa dòng điện trên mạch cực góp với điện áp trên mạch cực góp. Ta có mối quan hệ sau:

$$I_C = f_2(U_{CB}) \text{ khi } I_E = \text{const.}$$

Biểu thức tính dòng điện trên cực góp I_C như sau:

$$I_C = \alpha I_E + I_{CB0}$$



Hình 4 - 12: Họ đặc tuyến ra của tranzito gecmani loại P-N-P trong sơ đồ mắc cực gốc chung

+ Khi $I_{E1} = 0$ (khi cực phát hở mạch): đặc tuyến ra chính là đặc tuyến Vôn-Ampe của tiếp xúc góp phân cực ngược. Do vậy, dòng điện cực góp $I_C = I_{CB0}$.

+ Khi $I_{E2} > 0$: là khi tiếp xúc phát được phân cực thuận thì dòng điện cực góp sẽ là:

$$I_C = \alpha I_{E2} + I_{CB0}$$

Khi $U_{CB} > 0$ trong khi $U_{EB} > 0$ tranzito làm việc ở chế độ bão hòa nên sẽ có dòng điện thuận của tiếp xúc góp chạy ngược chiều với thành phần dòng điện thuận từ cực phát sang (αI_{E2}), do vậy, dòng điện tổng qua tiếp xúc góp giảm nhanh đến 0 và sau đó tăng nhanh nếu $U_{CB} > 0$ tăng tiếp tục.

□ Các đặc điểm của sơ đồ mắc cực gốc chung:

- Tín hiệu vào và tín hiệu ra đồng pha nhau
- Trở kháng vào Z_V nhỏ khoảng vài chục đến vài trăm Ôm

$$Z_{Vào} = \frac{1}{S} \approx 30 \div 300 \Omega$$

- Trở kháng ra lớn

$$Z_{ra} = R_C = 100 \text{ K}\Omega \div 1 \text{ M}\Omega$$

- Hệ số khuếch đại dòng điện cực phát

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} < 1 \quad (\alpha \approx 0,95 \div 0,999)$$

Như vậy, tranzito trong sơ đồ mắc cực gốc chung không có khuếch đại dòng điện.

- Hệ số khuếch đại điện áp:

$$K_u = \frac{\Delta U_{ra}}{\Delta U_{vao}} = \frac{\Delta I_C Z_{ganh}}{\Delta I_E Z_{vao}} \approx \frac{Z_{ganh}}{Z_{vao}} \quad (4.11)$$

Hệ số khuếch đại điện áp phụ thuộc vào điện trở gánh.

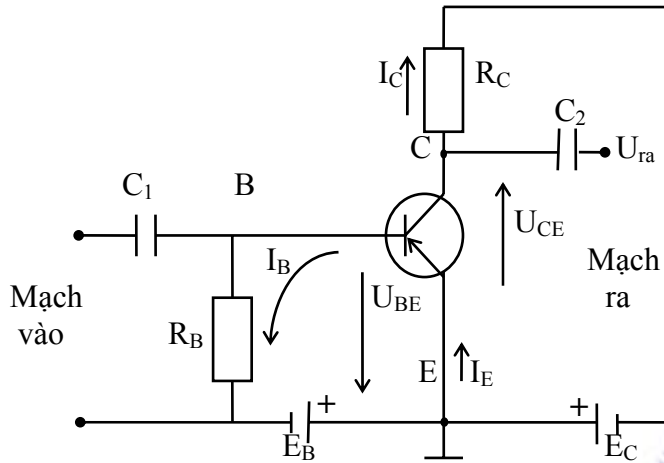
Khi $Z_{gánh} \approx Z_{ra}$ thì K_u có trị số khoảng từ vài trăm ÷ vài nghìn lần.

- Hệ số khuếch đại công suất có thể đạt tới trị số hàng trăm lần.
- Dòng điện rò I_{CB0} nhỏ (khoảng từ vài chục nA đến vài μ A đối với tranzito Silic, và đến vài chục μ A đối với tranzito Gecmani).
- Tần số làm việc giới hạn cao vì có điện dung thông đường nhỏ.

Sơ đồ mạch mắc cực gốc chung có độ ổn định về nhiệt độ cao và tần số làm việc giới hạn cao. Mạch thường được dùng ở dải tần số làm việc cao như các tầng dao động nội của máy thu thanh, các tầng tiền khuếch đại âm tần của máy tăng âm, hoặc ở tầng khuếch đại công suất đẩy kéo.

4.4.2. Sơ đồ mắc cực phát chung:

Sơ đồ mạch: (Xem hình 4-13)



Hình 4 - 13: Sơ đồ mắc cực phát chung của tranzito loại P-N-P.

Trong sơ đồ mạch gồm có các phần tử sau:

- +/ E_E, E_C - Nguồn điện cung cấp một chiều cho tranzito loại P-N-P.
- +/ R_B - Điện trở định thiên
- +/ R_C - điện trở tải
- +/ Tụ điện C_1 và C_2 là tụ liên lạc.

Các cấu kiện này có nhiệm vụ trong mạch điện tương tự như ở sơ đồ mắc cực gốc chung.

Như vậy, tín hiệu đưa vào giữa cực gốc và cực phát, tín hiệu được lấy ra từ giữa cực góp và cực phát. Do đó, cực phát là chân cực chung của mạch vào và mạch ra và ta có sơ đồ mắc cực phát chung. Chiều của các thành phần dòng điện và điện áp trên các chân cực của tranzito được mô tả ở hình 4-13.

Trong sơ đồ mắc phát chung có dòng vào là I_B , dòng ra là I_C , điện áp vào là U_{BE} , điện áp ra là U_{CE} .

Đặc điểm của sơ đồ mắc cực phát chung:

- Tín hiệu vào và tín hiệu ra ngược pha nhau
- Trở kháng vào nhỏ nhưng lớn hơn so với trở kháng vào trong sơ đồ mắc cực gốc chung:

$$Z_{\text{vào}} = r_{BE} = 200 \div 2000\Omega$$
- Trở kháng ra lớn nhưng nhỏ hơn so với trở kháng ra trong sơ đồ mắc cực gốc chung:

$$Z_{\text{ra}} = R_C // r_{CE} = 20K\Omega \div 100K\Omega$$
- Hệ số khuếch đại dòng điện cực gốc là tỉ số giữa dòng điện ra với dòng điện vào, ta có:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha I_E}{(1-\alpha)I_E} = \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad (4.12)$$

β có trị số từ vài chục ÷ vài trăm lần (còn ký hiệu là h_{FE}).

- Hệ số khuếch đại điện áp:

$$K_u = \frac{\Delta U_{\text{ra}}}{\Delta U_{\text{vao}}} = - S (R_C // r_{CE}) \quad (4.13)$$

K_u có thể đạt tới trị số từ hàng ngàn ÷ chục ngàn lần.

- Hệ số khuếch đại công suất:

$$K_p = \frac{P_{ra}}{P_{vao}}$$

K_u có thể có trị số từ vài ngàn lần đến chục ngàn lần.

- Dòng điện rò cực góp I_{CE0} nhỏ nhưng lớn hơn trong sơ đồ mắc cực gốc chung
- Tần số làm việc giới hạn tương đối cao nhưng thấp hơn so với sơ đồ mắc cực gốc chung vì điện dung thông đường lớn hơn.
- Sơ đồ mạch mắc cực phát chung được sử dụng rộng rãi do có hệ số khuếch đại β , K_u , K_p rất lớn. Đồng thời mạch khá ổn định về nhiệt độ và có tần số làm việc giới hạn khá cao. Ngoài ra, mạch có trở kháng vào và trở kháng ra không chênh lệch nhiều nên trong việc ghép các mạch với nhau, ta có thể dùng kiểu ghép bằng điện trở và tụ điện (ghép RC) rất đơn giản trong tính toán lại đơn giản trong lắp ráp và giá thành rẻ.

Các đặc trưng tĩnh và các tham số trong chế độ tín hiệu nhỏ:

Để nghiên cứu mối quan hệ giữa các dòng điện và điện áp trên các điện cực của tranzito trong sơ đồ mắc cực phát chung, ta có các họ đặc tuyến như sau:

Họ đặc tuyến vào: $U_{BE} = f_1(U_{CE}, I_B)$

Họ đặc tuyến ra: $I_C = f_2(U_{CE}, I_B)$

- *Họ đặc tuyến vào tĩnh:*

Đặc tuyến vào tĩnh mô tả mối quan hệ giữa điện áp vào U_{BE} với dòng điện vào I_B .

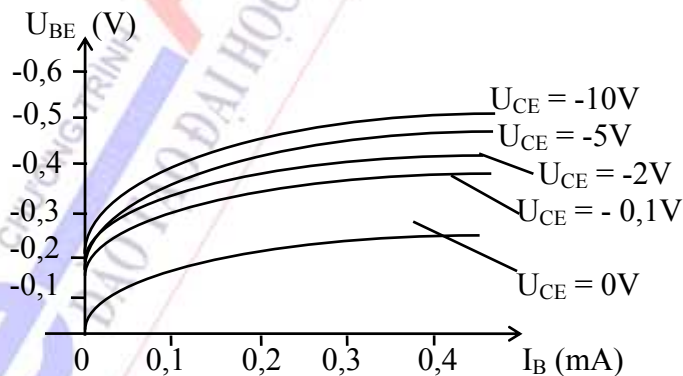
$$U_{BE} = f_1(I_B) \quad \text{khi } U_{CE} = \text{const.}$$

Ta có công thức tính dòng điện vào I_B bằng:

$$I_B = (1 - \alpha)I_E - I_{CB0}$$

và họ đặc tuyến vào được mô tả trong hình (4 - 14)

Do dòng điện I_E tăng theo qui luật hàm số mũ với điện áp U_{BE} nên dòng điện cực gốc I_B cũng sẽ tăng theo qui luật hàm số mũ với điện áp U_{BE} . Trên họ đặc tuyến vào ta thấy điện áp U_{CE} ít ảnh hưởng lên dòng điện I_B .



Hình 4 - 14: Đặc tuyến vào tĩnh của tranzito Ge loại P-N-P trong sơ đồ cực phát chung

- *Họ đặc tuyến ra tĩnh:*

Đặc tuyến ra biểu thị mối quan hệ giữa dòng điện trên mạch ra I_C và điện áp trên mạch ra U_{CE} . Ta có hàm biểu thị quan hệ này:

$$I_C = f(U_{CE}) \quad \text{khi dòng điện vào } I_B = \text{const.}$$

Và công thức tính dòng điện cực góp là:

$$I_C = \alpha I_E + I_{CB0}$$

Thay giá trị $I_E = I_C + I_B$, và biến đổi biểu thức trên, ta có:

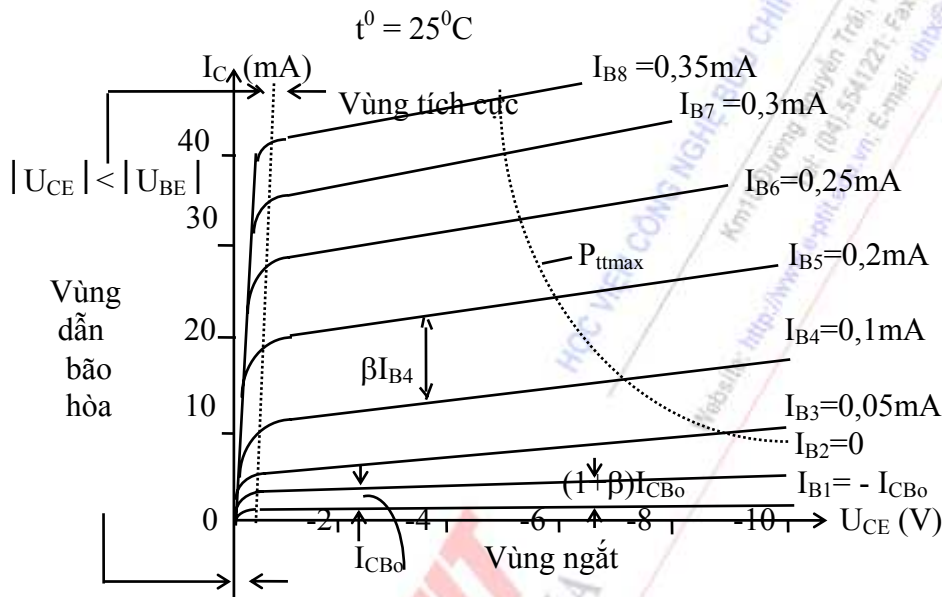
$$I_C = \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right) I_B + \left(\frac{1}{1-\alpha} \right) I_{CB0} \tag{4.14}$$

Thay $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$, và $\frac{1}{1-\alpha} = \beta + 1$ ta có công thức tính dòng điện cực góp là:

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CB0} \tag{4.15}$$

Trong đó β gọi là hệ số khuếch đại dòng điện cực gốc (thường có ký hiệu là h_{FE}).

Đây là biểu thức biểu thị mối quan hệ giữa dòng điện điều khiển và dòng điện bị điều khiển trong sơ đồ mắc cực phát chung.



Hình 4 - 15: Họ đặc tuyến ra của tranzito gecmani loại P-N-P với nguồn $E_C = 10\text{ V}$ và điện trở $R_C = 500\ \Omega$

Ta thấy dòng điện I_C có giá trị cực tiểu khi cả hai tiếp xúc phát T_E và tiếp xúc góp T_C đều phân cực ngược, dòng điện $I_B = -I_{CB0}$ nên $I_C = I_{CB0}$ và tranzito hoạt động trong vùng ngắt.

Khi $I_B > 0$, dòng điện ra được tính theo công thức:

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CB0} \tag{4.16}$$

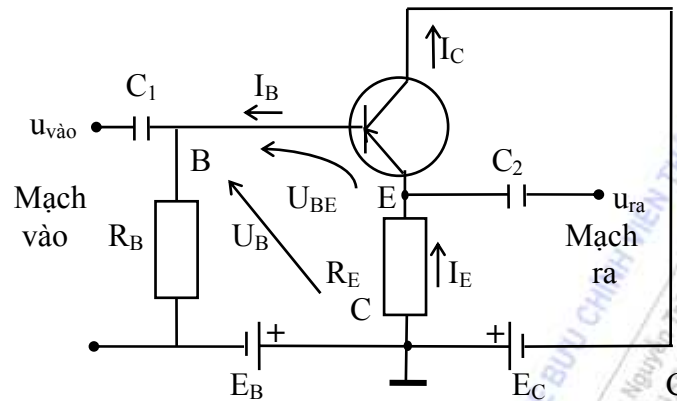
Nếu tăng điện áp trên mạch ra $|U_{CE}|$ lên thì đặc tuyến ra không nằm ngang mà hơi dốc nghiêng. Khi giảm giá trị điện áp trên mạch ra $|U_{CE}| < |U_{BE}|$ thì tiếp xúc góp T_C cũng được phân cực thuận. Lúc này tranzito làm việc ở chế độ bão hòa.

4.4.3. Sơ đồ mắc cực góp chung (hay còn gọi là bộ lặp cực phát):

Sơ đồ mạch mô tả trong hình 4- 16:

Trong sơ đồ gồm có: E_B, E_C - Nguồn cung cấp một chiều; R_B - điện trở định thiên; R_E - điện trở gánh và được mắc ở mạch cực phát; tụ điện C_1, C_2 là tụ liên lạc. Nhiệm vụ của các linh kiện trong mạch cũng giống như ở sơ đồ mắc gốc chung.

Trong mạch, tín hiệu đưa vào giữa cực gốc và cực góp, tín hiệu lấy ra trên R_E đặt giữa cực phát và cực góp, nên cực góp là chân cực chung của mạch vào và mạch ra. Vì vậy, ta có sơ đồ mắc cực góp chung.



Hình 4 - 16: Sơ đồ mắc cực góp chung của tranzito loại P-N-P

Khi cấp nguồn, dòng điện I_E xuất phát từ dương nguồn E_B qua điện trở tải R_E về cực phát và đến lớp tiếp xúc phát T_E . Tại đây, nó chia thành hai thành phần là dòng điện cực gốc I_B chạy qua R_B về đất và thành phần dòng điện cực góp I_C chạy qua cực góp xuống đất.

Đặc điểm của sơ đồ mắc cực góp chung:

- Tín hiệu vào và tín hiệu ra đồng pha
- Trở kháng vào lớn $Z_{vào} = \beta R_E = 20\text{ K}\Omega \div 500\text{ K}\Omega$ (4 . 17)
(có thể tới hàng $M\Omega$)

- Trở kháng ra nhỏ

$$Z_{ra} = R_E // \left(\frac{1}{S} - \frac{R_{nguồn}}{\beta} \right) = 50\Omega \div 5\text{K}\Omega \quad (4 . 18)$$

- Hệ số khuếch đại điện áp:

$$K_u = \frac{\Delta U_{ra}}{\Delta U_{vào}} = \frac{\Delta U_{ra}}{\Delta U_{BC}} = \frac{\Delta U_{BC} - U_{BE}}{\Delta U_{BC}} < 1 \quad (4 . 19)$$

Thông thường ta lấy giá trị $K_u \approx 1$. Mạch mắc cực góp chung không có khuếch đại điện áp.

- Hệ số khuếch đại dòng điện cực gốc:

$$K_i = \frac{I_E}{I_B} = \frac{1}{1 - \alpha} = \beta + 1 \approx \beta \quad (4 . 20)$$

Vì $\beta \gg 1$ nên hệ số khuếch đại dòng điện trong sơ đồ mắc cực góp chung tương đương với hệ số khuếch đại dòng điện của sơ đồ mắc cực phát chung.

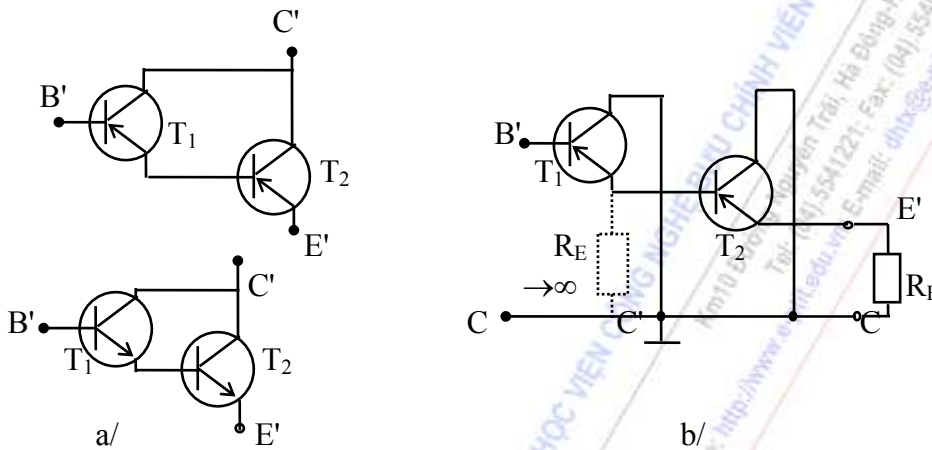
- Hệ số khuếch đại công suất K_p có trị số từ vài chục lần đến vài trăm lần.
- Dòng điện rò có trị số tương đương như ở sơ đồ mắc cực phát chung.
- Tần số làm việc giới hạn cũng có giá trị giống như ở sơ đồ mắc cực phát chung.

Đặc điểm cơ bản của sơ đồ mắc cực góp chung là có trở kháng vào rất lớn và trở kháng ra rất nhỏ ($\frac{Z_{vào}}{Z_{ra}} =$ hàng ngàn lần) nên nó được dùng như một bộ biến đổi trở kháng.

Trên thực tế, sơ đồ mắc góp chung ít được dùng, người ta chỉ sử dụng mạch này để phối hợp trở kháng giữa một mạch có trở kháng ra cao với mạch có trở kháng vào thấp. Các đặc tuyến và tham số của sơ đồ mắc cực góp chung cũng tương tự như ở sơ đồ mắc cực phát chung, do vậy ta sẽ không xem xét thêm nữa.

4.4.4. Sơ đồ Dacling- ton :

Sơ đồ Dacling- ton gồm có 2 tranzito đấu theo kiểu cực góp chung (CC) và nó được coi như một tranzito mới với các chân cực: E' , B' , C' (xem hình 4-17).



Hình 4 - 17: Sơ đồ Dacling- ton: (a). Sơ đồ mạch; (b). Sơ đồ thay thế

Các tham số của sơ đồ:

- Hệ số khuếch đại dòng điện:

$$\beta' = \beta_{T1} * \beta_{T2} \tag{4.21}$$

- Trở kháng vào:

$$Z_{vào} = r_{B'E'} = 2r_{BE1} = 2\beta' \frac{V_T}{I_{C'}} \tag{4.22}$$

- Độ hỗ dẫn:

$$S' = \frac{I_{C'}}{2V_T} \tag{4.23}$$

- Trở kháng ra:

$$Z_{ra} = r_{C'E'} = \frac{2}{3} r_{CE2} \tag{4.24}$$

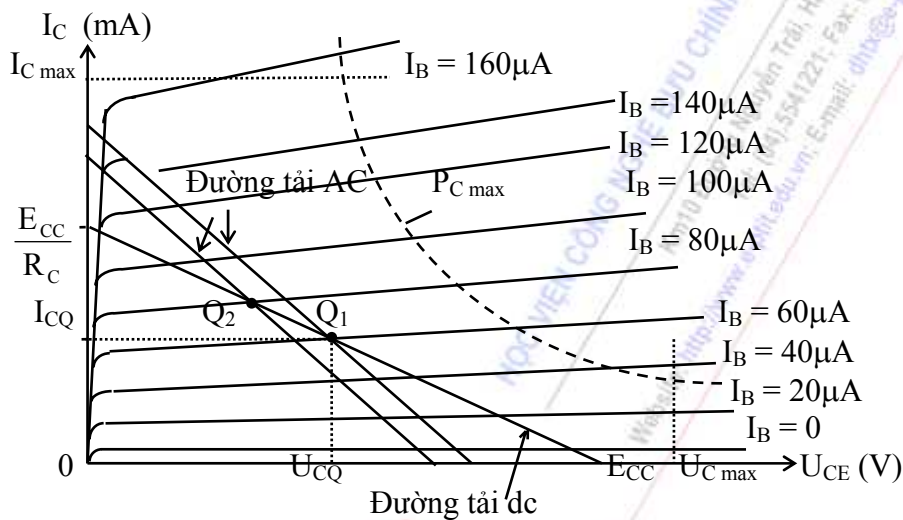
4.5. PHÂN CỰC CHO TRANZITO LƯƠNG CỰC.

4.5.1. Khái niệm phân cực cho các chế độ làm việc của tranzito:

Phân cực cho tranzito là việc cung cấp nguồn điện một chiều vào các chân cực sao cho tranzito làm việc đúng chế độ (ngắt, bão hòa hay tích cực) và các tham số của tranzito không vượt quá các giá trị giới hạn (I_{Cmax} , U_{CEmax} , U_{CBmax} , U_{EBmax} , P_{ttmax} , tần số giới hạn) như chỉ ra ở hình 4-18. Ở chế độ ngắt, ta chỉ cần cấp nguồn điện sao cho hai tiếp xúc P-N của tranzito đều phân cực ngược. Ở chế độ bão hòa, cấp điện sao cho hai tiếp xúc P-N đều phân cực thuận hoặc

sao cho điện áp $U_{CE} = (0,2 \div 0,4)V$. Chỉ ở chế độ tích cực là việc phân cực cho tranzito phức tạp và cần chú ý hơn. Chúng ta sẽ làm quen với một số khái niệm trong việc phân cực cho tranzito như điểm làm việc tĩnh, đường tải một chiều (dc), đường tải xoay chiều (ac)...

Điểm làm việc tĩnh trên các họ đặc tuyến của tranzito là điểm mà tại đó các hàm của tranzito hầu như tuyến tính khi nó làm việc trong vùng chế độ tích cực. Để xác lập điểm làm việc nhất thiết phải cung cấp cho tranzito một nguồn điện áp một chiều và dòng điện một chiều từ bên ngoài. Ta chọn điểm làm việc tĩnh Q sao cho khi tín hiệu xoay chiều thay đổi theo thời gian (u_t) được đặt lên lối vào (cực B) thì trên lối ra (cực C) ta nhận được một tín hiệu (điện áp hoặc dòng điện) có cùng dạng sóng với tín hiệu trên lối vào đó.



Hình 4 - 18: Họ đặc tuyến ra của sơ đồ cực phát chung và các đường tải một chiều (dc) và xoay chiều (ac).

Nếu tín hiệu ra không tái tạo lại một cách trung thực tín hiệu vào thì điểm làm việc đã chọn không thích hợp và cần phải di chuyển đến một vị trí mới trên họ đặc tuyến ra.

□ Các đường tải một chiều (dc) và xoay chiều (ac):

Giả sử rằng chúng ta chọn điện trở R_C sao cho đường tải một chiều (dc) như chỉ ra trong hình vẽ 4-18 và nếu $R_{tái} = \infty$ ta có thể chọn điểm làm việc tĩnh Q_1 ở trung tâm của đường tải dc với các giá trị điện áp và dòng tĩnh là U_{CQ} , I_{CQ} và I_{BQ} . Nếu $R_{tái} \neq \infty$ thì ta có một đường tải xoay chiều (ac) đáp ứng cho một tải là $R'_{tái} = R_{tái} // R_C$ được vẽ đi qua điểm làm việc Q_1 .

Khi có tín hiệu xoay chiều đưa đến lối vào và trên mạch ra có đầu tải, thì điểm làm việc động sẽ xoay xung quanh điểm làm việc tĩnh Q và các giá trị dòng điện xoay chiều và điện áp xoay chiều sẽ dao động xung quanh giá trị dòng điện và điện áp một chiều đó.

Để phân cực cho các tranzito làm việc ta có thể dùng hai nguồn điện một chiều hoặc dùng một nguồn để mạch đơn giản và kinh tế hơn. Thực tế người ta thường dùng một nguồn điện cung cấp và sử dụng các điện trở dẫn điện áp về các chân cực của tranzito để phân cực mà ta hay gọi là mạch định thiên.

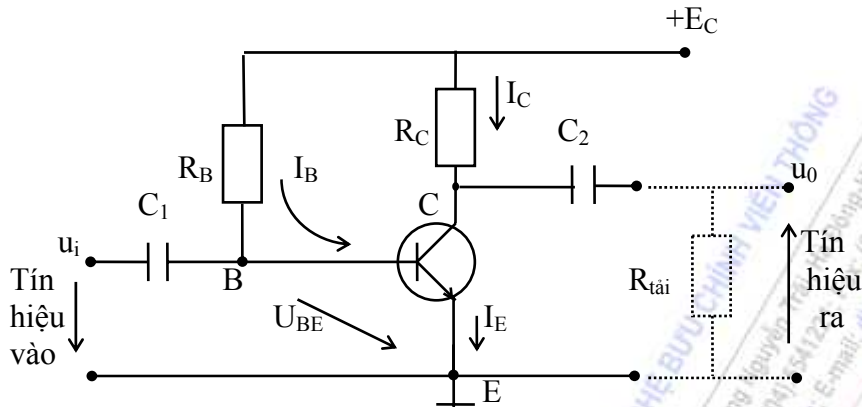
4.5.2. Phân cực kiểu cố định (hay mạch định thiên bằng dòng cực gốc) :

Sơ đồ mạch điện như hình 4-19. Trong sơ đồ dùng tranzito loại N-P-N nên có:

- Điện trở R_B , gọi là điện trở định thiên, được đấu từ dương nguồn E_C về cực gốc để phân cực thuận cho tiếp xúc phát - gốc.

- Điện trở R_C , gọi là tải, có nhiệm vụ dẫn điện áp từ dương nguồn E_C về cực góp sao cho tiếp xúc góp - gốc phân cực ngược.

Dòng điện I_C chạy từ dương nguồn E_C qua R_C về âm nguồn E_C . Dòng điện I_B chạy từ dương nguồn E_C qua R_B về âm nguồn E_C .



Hình 4 - 19: Mạch định thiên cố định

Trên đường tải dc ta chọn điểm làm việc thích hợp với điều kiện tín hiệu đầu vào có giá trị dòng điện cực gốc không vượt quá giá trị dòng điện I_B được tính theo công thức sau:

$$I_B = \frac{E_C - U_{BE}}{R_B} \quad (4.25)$$

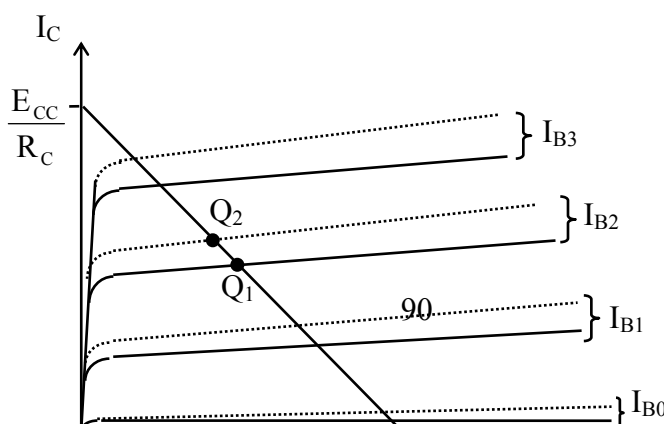
Theo công thức trên, có nguồn điện E_{CC} là cố định, điện áp U_{BE} chọn bằng 0,2V cho tranzito gecmani và 0,6V cho tranzito silic nên dòng I_B là cố định. Trong trường hợp muốn thay đổi dòng điện I_B , tức là thay đổi điểm làm việc tĩnh Q thì ta thay đổi trị số điện trở R_B .

Vì dòng I_B đã chọn là một hằng số nên sơ đồ mạch ở trên (hình 4-19) được gọi là mạch phân cực kiểu cố định hay mạch phân cực nhờ dòng cực gốc. Dòng I_B được gọi là dòng điện định thiên.

□ Độ ổn định của mạch định thiên.

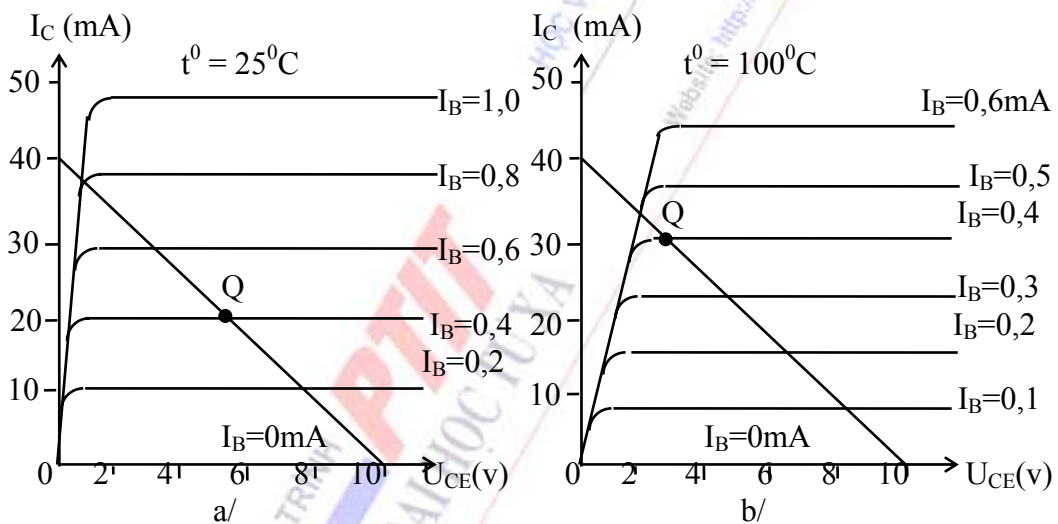
Khi tranzito hoạt động, các tham số của mạch sẽ thay đổi do nhiều nguyên nhân, đặc biệt là do nhiệt độ môi trường thay đổi. Vì vậy, việc ổn định điểm làm việc Q đã chọn là rất cần thiết.

Ta giả thiết rằng tranzito trong hình (4-19) được thay bằng một tranzito khác cùng loại nhưng có hệ số khuếch đại β lớn hơn như chỉ ra trong hình (4-20), và vì I_B giữ không đổi tại I_{B2} bằng mạch phân cực bên ngoài, sẽ dẫn đến việc điểm làm việc Q_1 phải di chuyển đến Q_2 . Điểm làm việc mới này có thể không thỏa mãn hoàn toàn. Đặc biệt nó có thể làm cho tranzito chuyển sang chế độ bão hòa. Lúc này chúng ta phải thay đổi dòng điện I_B để đảm bảo chế độ làm việc cần thiết cho tranzito.



□ Ổn định nhiệt cho tranzito:

Vấn đề quan trọng thứ hai gây ảnh hưởng đến sự phân cực của tranzito là sự thay đổi nhiệt độ. Như ta đã biết dòng điện ngược bão hòa I_{CB0} phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ, điều này có thể gây khó khăn cho việc sử dụng tranzito. Ngay cả khi điểm làm việc tĩnh đã được xác định ở vùng chế độ tích cực thì do ảnh hưởng của nhiệt độ nó vẫn có thể chuyển sang chế độ bão hòa. Trong hình (4- 21) chỉ ra họ đặc tuyến ra của tranzito 2N708 tại nhiệt độ $+25^{\circ}\text{C}$ và $+100^{\circ}\text{C}$. Ta thấy rõ rằng hầu như nó làm việc ở chế độ bão hòa tại nhiệt độ $+100^{\circ}\text{C}$ mặc dù nó đã được phân cực ở giữa vùng chế độ tích cực tại $+25^{\circ}\text{C}$.



Hình 4- 21: Họ đặc tuyến ra ở $t^0 = +25^{\circ}\text{C}$ (a) và $+100^{\circ}\text{C}$ (b) của tranzito loại N-P-N 2N708

• Hệ số ổn định S:

Hệ số ổn định S là tốc độ thay đổi của dòng điện cực góp so với sự thay đổi của dòng điện ngược bão hòa để giữ cho hệ số khuếch đại β và điện áp U_{BE} không đổi, ta có:

$$S = \frac{\partial I_C}{\partial I_{CB0}} \approx \frac{\Delta I_C}{\Delta I_{CB0}} \quad (4.26)$$

Trong chế độ tích cực, mối quan hệ cơ bản giữa I_C và I_B được cho bởi công thức:

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CB0}$$

Nếu lấy đạo hàm công thức trên theo I_C và xem xét β là hằng số theo I_C , thì ta có:

$$1 = \frac{1 + \beta}{S} + \beta \frac{dI_B}{dI_C}$$

$$S = \frac{1 + \beta}{1 - \beta \left(\frac{dI_B}{dI_C} \right)} \quad (4.27)$$

Đối với sơ đồ mạch định thiên kiểu cố định, I_B không phụ thuộc vào I_C , nên hệ số ổn định được tính:

$$S = \beta + 1 \quad (4.28)$$

Giá trị S càng lớn có nghĩa là mạch càng không ổn định về nhiệt. Theo định nghĩa ở đây thì hệ số ổn định S không thể nhỏ hơn 1.

Muốn duy trì sự ổn định điểm làm việc tĩnh Q ta phải giữ cho dòng điện I_{CQ} và điện áp U_{CEQ} không đổi. Kỹ thuật thường được sử dụng để ổn định điểm làm việc tĩnh có thể phân chia thành 2 loại:

- Kỹ thuật ổn định
- Kỹ thuật bù

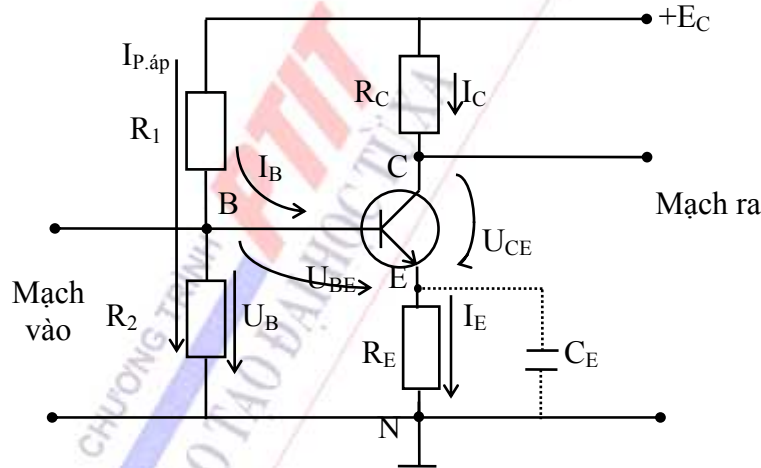
Kỹ thuật ổn định là ta sử dụng các mạch phân cực điện trở mà ở đó cho phép I_B thay đổi sao cho giữ được I_C là không đổi một cách tương đối với sự thay đổi của I_{CBO} , β và U_{BE} .

Kỹ thuật bù là sử dụng các linh kiện nhạy nhiệt như điôt, tranzito, tecmixto, v.v.. Các linh kiện này cung cấp một điện áp bù và dòng điện bù để giữ cho điểm làm việc ổn định.

Trong các phần tiếp theo, kỹ thuật ổn định cho mạch định thiên được thể hiện để sao cho giá trị hệ số S giảm xuống và do đó tạo ra dòng điện cực góp I_C ít phụ thuộc vào dòng điện I_{CBO} .

4.5.3. Mạch định thiên phân áp :

Sơ đồ mạch cho trên hình 4-22.



Hình 4 - 22: Sơ đồ mạch định thiên phân áp

Trong mạch, hai điện trở R_1 và R_2 nối tiếp nhau và đầu trực tiếp giữa hai cực của nguồn cung cấp E_C sẽ tạo nên mạch phân áp, dòng điện phân áp $I_{p. áp}$ chạy qua R_1 và R_2 không phụ thuộc vào sự biến đổi theo nhiệt độ của các dòng điện và điện áp trên các chân cực của tranzito. Do đó, sụt áp do dòng phân áp tạo ra trên R_2 cũng không phụ thuộc vào hoạt động của tranzito.

Điện áp trên cực gốc chính là sụt áp trên điện trở R_2 do dòng điện phân áp tạo nên, vậy ta có:

$$U_B = I_{p. áp} R_2$$

$$U_B = \frac{E_C \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (4.29)$$

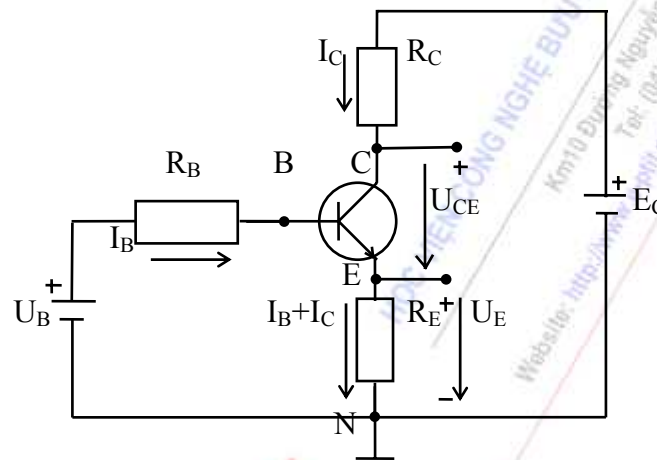
Nếu ta thay sơ đồ mạch phân cực ở hình (4- 22) bằng sơ đồ mạch phân cực dùng hai nguồn cung cấp một chiều là U_B cho mạch cực gốc và E_C cho mạch cực góp như ở hình (4- 23) thì điện trở R_B là điện trở tương đương của hai điện trở R_1 và R_2 mắc song song, ta có:

$$R_B = \frac{R_2 R_1}{R_2 + R_1} \quad (4.30)$$

- *Hệ số ổn định S :*

Trên sơ đồ mạch hình 4- 23, theo định luật điện áp vòng của Kiếc xốp ở mạch cực gốc, ta có:

$$U_B = I_B R_B + U_{BE} + (I_B + I_C)R_E \quad (4.31)$$



Hình 4 - 23: Mạch thay thế tương đương với mạch định thiên phân áp ở hình 4- 22

Nếu xét U_B và U_{BE} không phụ thuộc vào dòng điện I_C , ta có thể tính đạo hàm công thức (4.31) theo I_C để có:

$$\frac{dI_B}{dI_C} = - \frac{R_E}{R_E + R_B} \quad (4.32)$$

Thay (4.32) vào công thức (4.27) kết quả ta có:

$$S = \frac{1 + \beta}{1 + \beta \frac{R_E}{R_E + R_B}} = (1 + \beta) \frac{1 + \frac{R_B}{R_E}}{1 + \beta + \frac{R_B}{R_E}} \quad (4.33)$$

Qua công thức (4.33) ta thấy giá trị R_B càng nhỏ thì độ ổn định càng cao.

- *Phân tích mạch định thiên phân áp:*

+ Nếu giá trị của các linh kiện trong sơ đồ mạch đã cho trước, thì điểm làm việc tĩnh được xác định như sau: Theo định luật Kiết Xốp cho mạch cực góp ta có:

$$- E_C + I_C (R_C + R_E) + I_B R_E + U_{CE} = 0 \quad (4.34)$$

Từ công thức (4.34) ta có thể xác định được điểm làm việc tĩnh Q với các giá trị dòng điện I_C và U_{CE} tương ứng.

+ Nếu các linh kiện trong sơ đồ mạch không cho trước thì việc xác định điểm làm việc tĩnh của tranzito được thực hiện như trường hợp mạch phân cực dùng hai nguồn cung cấp độc lập với các trị số:

$$U_B = \frac{E_C R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{và} \quad R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Giả sử dòng điện $I_B \ll I_{P.áp}$ và coi như $I_B \approx 0$ thì:

$$I_{P.áp} = \frac{E_C}{R_1 + R_2}$$

$$U_E = I_E R_E = U_B - U_{BE} - I_B R_B$$

và dòng điện cực góp là:

$$I_C \approx I_E = \frac{U_B - U_{BE}}{R_E}$$

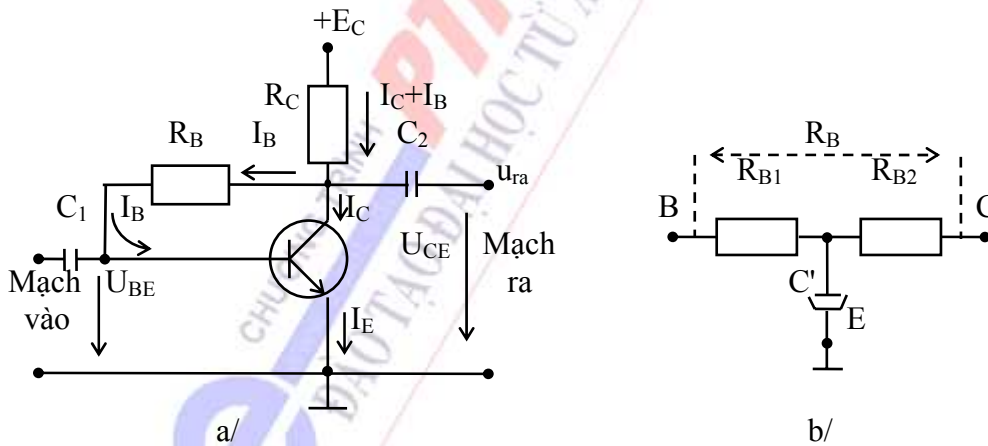
Điện áp giữa cực góp và cực phát là:

$$U_{CE} = E_C - I_C R_C - I_E R_E$$

4.5.4. Mạch phân cực bằng hồi tiếp:

- *Sơ đồ mạch:* Hình 4-24.

Trong sơ đồ, điện trở R_B được gọi là điện trở định thiên hoặc điện trở hồi tiếp. Nó dẫn một phần điện áp từ mạch ra về mạch vào để phân cực cho tiếp xúc phát T_E , và điện áp phân cực là: $U_{BE} = U_{CE} - I_B R_B$.



Hình 4 - 24: a- Sơ đồ mạch định thiên hồi tiếp âm điện áp

Hệ số ổn định S của sơ đồ hình (4-24) được tìm từ phương trình sau:

$$- E_C + (I_B + I_C) R_C + I_B R_B + U_{BE} = 0 \quad (4.35)$$

Từ đó có:

$$I_B = \frac{E_C - I_C R_C - U_{BE}}{R_C + R_B} \quad (4.36)$$

Vì điện áp U_{BE} không phụ thuộc vào dòng điện I_C , do đó ta có:

$$\frac{dI_B}{dI_C} = -\frac{R_C}{R_C + R_B} \quad (4.37)$$

Thay (4.37) vào công thức (4.27), ta được công thức tính hệ số ổn định S:

$$S = \frac{\beta + 1}{1 + \beta \frac{R_C}{R_B + R_C}} \quad (4.38)$$

Giá trị này của hệ số S sẽ nhỏ hơn $(\beta + 1)$ trong sơ đồ mạch định thiên kiểu cố định, vì vậy đã cải thiện được hệ số ổn định của mạch.

- *Phân tích sơ đồ mạch:*

Nếu giá trị của các linh kiện trong sơ đồ mạch đã được biết, thì điểm làm việc tĩnh Q được xác định như sau:

Ứng với mỗi một giá trị của dòng điện I_B đã cho, ta có thể tính được điện áp trên cực góp theo công thức sau:

$$U_{CE} = I_B R_B + U_{BE} \quad (4.36)$$

Dòng điện cực góp I_C có thể xác định bằng công thức:

$$I_C = \frac{\beta [E_C - U_{BE} + (R_C + R_B) I_{CB0}]}{\beta R_C + R_B} \quad (4.37)$$

- *Phương pháp loại bỏ hiện tượng hồi tiếp thành phần tín hiệu:*

Theo sơ đồ mạch định thiên bằng hồi tiếp âm điện áp này, thì trên điện trở R_B không chỉ có thành phần một chiều được hồi tiếp mà có cả thành phần xoay chiều của tín hiệu. Để khắc phục hiện tượng này ta thay điện trở R_B bằng 2 điện trở R_{B1} và R_{B2} đấu nối tiếp với nhau, và điểm nối giữa chúng được đấu qua một tụ điện C' xuống đất (hình 4-24b). Như vậy, tại tần số làm việc thành phần tín hiệu hồi tiếp về sẽ qua tụ C' xuống đất nên không gây ảnh hưởng cho mạch.

Trong bảng 4.1 và 4.2 cho ta biết một số các tham số của tranzito silic và gecmani ở các nhiệt độ khác nhau.

Bảng 4.1: Các tham số của tranzito silic tiêu biểu.

T (°C)	- 65	+25	+175
I _{CB0} (nA)	1,95 . 10 ⁻³	1,0	33.000
β	25	55	100
U _{BE} (V)	0,78	0,60	0,225

Bảng 4.2: Các tham số của tranzito gecmani tiêu biểu.

T (°C)	- 65	+25	+75
I _{CB0} (μA)	1,95 . 10 ⁻³	1,0	32
β	20	55	90
U _{BE} (V)	0,38	0,20	0,10

4.5.5. So sánh 3 phương pháp phân cực

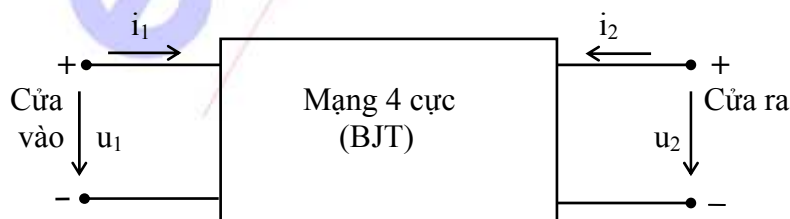
Trong 3 phương pháp phân cực vừa nghiên cứu ta thấy phương pháp phân cực cố định có sơ đồ mạch và tính toán các tham số của mạch đơn giản nhưng độ ổn định điểm làm việc tĩnh của mạch kém nhất. Phương pháp phân cực dùng hồi tiếp đã cải thiện được độ ổn định chế độ làm việc của mạch nhưng do mạch hồi tiếp có thể hồi tiếp cả thành phần tín hiệu, làm hệ số khuếch đại của mạch giảm. Đồng thời, nếu điện trở R_C có trị số nhỏ thì hầu như mạch không cải thiện được độ ổn định so với phương pháp cố định. Phương pháp phân cực phân áp là phương pháp có độ ổn định tốt nhất, ngay cả khi điện trở R_C = 0. Do vậy đây là phương pháp được sử dụng nhiều nhất.

4.6. SƠ ĐỒ TƯƠNG ĐƯƠNG CỦA BJT Ở CHẾ ĐỘ KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ TẦN SỐ THẤP.

Để giải các bài toán có liên quan đến các linh kiện tích cực, ta phải đưa chúng về các dạng mạch điện tương đương. Có nhiều khả năng xây dựng sơ đồ mạch tương đương, ở đây chúng ta sẽ xem xét một sơ đồ thông dụng nhất đó là sơ đồ tương đương kiểu hỗn hợp.

4.6.1. Sơ đồ mạng 4 cực dùng cho BJT.

Hình 4-25 biểu diễn một mạng 4 cực dùng cho tranzito lưỡng cực: trên mạch vào có dòng điện vào i_1 và điện áp vào u_1 ; trên mạch ra có dòng điện ra i_2 và điện áp ra u_2 . Chúng ta có thể chọn 2 trong 4 đại lượng này là các biến độc lập và biểu diễn 2 biến còn lại theo các biến độc lập đã chọn.

**Hình 4 - 25:** Mạng 4 cực

Nếu chọn dòng điện i_1 và điện áp u_2 là các biến độc lập và nếu 2 mạch vào và ra là tuyến tính thì ta có thể viết:

$$u_1 = h_{11} i_1 + h_{12} u_2 \quad (4.38)$$

$$i_2 = h_{21} i_1 + h_{22} u_2 \quad (4.39)$$

Các đại lượng h_{11} , h_{12} , h_{21} , h_{22} được gọi là các tham số h hoặc các tham số hỗn hợp vì tất cả chúng không có cùng thứ nguyên.

Từ các công thức (4.38) và (4.39) ta xác định các tham số h như sau:

$$h_{11} = \left. \frac{u_1}{i_1} \right|_{u_2=0} \quad : \text{Trở kháng vào khi ngắn mạch ra } (\Omega).$$

$$h_{12} = \left. \frac{u_1}{u_2} \right|_{i_1=0} \quad : \text{Độ khuếch đại điện áp nghịch đảo}$$

(không thứ nguyên).

$$h_{21} = \left. \frac{i_2}{i_1} \right|_{u_2=0} \quad : \text{Hệ số khuếch đại dòng điện.}$$

(không thứ nguyên).

$$h_{22} = \left. \frac{i_2}{u_2} \right|_{i_1=0} \quad : \text{Độ hỗ dẫn lồi ra khi hở mạch vào } (\text{mA/V}).$$

Ký hiệu: Các ký hiệu thêm vào dưới đây được qui ước theo tiêu chuẩn của IEEE:

$i = 11 =$ đầu vào

$o = 22 =$ đầu ra

$f = 21 =$ truyền dẫn thuận

$r = 12 =$ truyền dẫn ngược

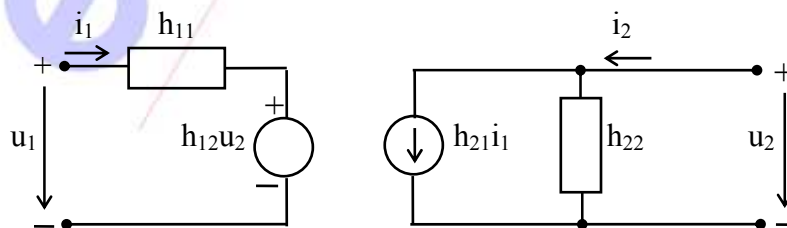
Trong trường hợp của tranzito, có thêm các ký hiệu (b, e, hoặc c) vào để chỉ các kiểu sơ đồ mắc tranzito. Ví dụ:

$h_{ib} = h_{11b} =$ Trở kháng vào ở sơ đồ mắc góc chung.

$h_{fe} = h_{21e} =$ Hệ số khuếch đại thuận dòng điện ngắn mạch trong sơ đồ mắc cực phát chung.

Vì linh kiện mô tả bằng công thức (4.38) và (4.39) được giả thiết là không chứa các phần tử kháng, nên 4 tham số h_{11} , h_{12} , h_{21} , h_{22} là các số thực và các điện áp cũng như dòng điện u_1 , u_2 , i_1 , i_2 là các hàm của thời gian.

Mạch hỗn hợp cho một linh kiện bất kỳ đặc trưng bằng công thức (4.38) và (4.39) được biểu diễn ở hình 4-26.



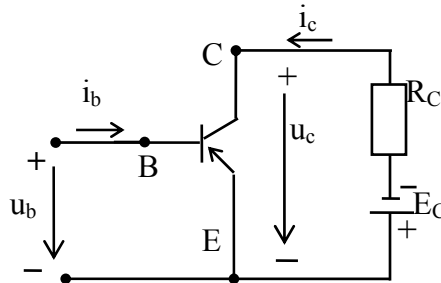
Hình 4 - 26: Sơ đồ tương đương hỗn hợp cho mạng 2 cửa của hình (4-25).

Các tham số h_{21} và h_{12} không có thứ nguyên.

4.6.2. Sơ đồ vật lý tương đương của BJT.

Mô hình tương đương của tranzito ở đây được cho trong mối quan hệ của các tham số h. Các tham số h đã được các nhà sản xuất xác định cho các tranzito.

Để nhận được mô hình tương đương hỗn hợp cho tranzito, ta nghiên cứu sơ đồ mắc cực E chung như hình 4- 27.



Hình 4 - 27: Mạch mắc cực E chung đơn giản.

Các biến i_b , i_c , u_b , và u_c biểu thị tổng các dòng điện và điện áp tức thời. Ở đây ta chọn dòng điện i_b và điện áp u_c là các biến độc lập và u_b , i_c là các hàm như sau:

$$u_b = f_1(i_b, u_c) \tag{4.40}$$

$$i_c = f_2(i_b, u_c) \tag{4.41}$$

Mở rộng công thức (4.40) và (4.41) bao quanh điểm làm việc tĩnh I_B , U_C , tương tự ta có:

$$\Delta u_B = \left. \frac{\partial f_1}{\partial i_B} \right|_{U_C} \Delta i_B + \left. \frac{\partial f_1}{\partial u_C} \right|_{I_B} \Delta u_C \tag{4.42}$$

$$\Delta i_C = \left. \frac{\partial f_2}{\partial i_B} \right|_{U_C} \Delta i_B + \left. \frac{\partial f_2}{\partial u_C} \right|_{I_B} \Delta u_C \tag{4.43}$$

Như sự biểu thị ở các chỉ số của hai công thức trên, điện áp cực góp U_C hoặc dòng điện cực gốc I_B phải giữ là hằng số.

Các đại lượng Δu_B , Δu_C , Δi_B và Δi_C biểu thị các tín hiệu nhỏ của điện áp và dòng điện trên cực gốc và cực góp. Dựa vào các ký hiệu ta có thể viết:

$$u_b = h_{ie}i_b + h_{re}u_c \tag{4.44}$$

$$i_c = h_{fe}i_b + h_{oe}u_c \tag{4.45}$$

Trong đó: i_b , u_b , u_c và i_c : là dòng điện và điện áp tức thời trên các chân cực B và C của tranzito. Ta có:

$$h_{ie} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial i_B} \right|_{U_C} = \left. \frac{\partial u_B}{\partial i_B} \right|_{U_C} \qquad h_{re} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial u_C} \right|_{I_B} = \left. \frac{\partial u_B}{\partial u_C} \right|_{I_B} \tag{4.46}$$

$$h_{fe} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial i_B} \right|_{U_C} = \left. \frac{\partial i_C}{\partial i_B} \right|_{U_C} \qquad h_{oe} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial u_C} \right|_{I_B} = \left. \frac{\partial i_C}{\partial u_C} \right|_{I_B} \tag{4.47}$$

Xuất phát từ công thức (4.46) và (4.47) ta xác định các tham số h của tranzito trong sơ đồ mắc E chung.

- Ba sơ đồ mắc tranzito:

Trong bảng 4.3 trình bày tóm tắt ba cách mắc tranzito cùng các sơ đồ tương đương hỗn hợp và các công thức tính dòng điện i và điện áp u thích hợp với từng sơ đồ.

Mạch điện và công thức trong bảng (4.3) có giá trị cho cả tranzito loại N-P-N và cả P-N-P và không phụ thuộc vào loại của tải hoặc cách phân cực.

Bảng 4.3: Các cách mắc tranzito và mô hình tương đương hỗn hợp của chúng

Sơ đồ mạch	Mô hình tương đương hỗn hợp	Công thức u, i
		<p>CE</p> $u_b = h_{ie} i_b + h_{re} u_c$ $i_c = h_{fe} i_b + h_{oe} u_c$
		<p>CC</p> $u_b = h_{ic} i_b + h_{rc} u_e$ $i_e = h_{fc} i_b + h_{oc} u_e$
		<p>CB</p> $u_e = h_{ib} i_e + h_{rb} u_c$ $i_c = h_{fb} i_e + h_{ob} u_c$

a. Các công thức biến đổi các tham số h giữa ba cách mắc của tranzito:

Bảng 4.4: Các công thức chuyển đổi gần đúng cho các tham số h của tranzito
(Các số liệu cho trong bảng là đối với một tranzito tiêu chuẩn).

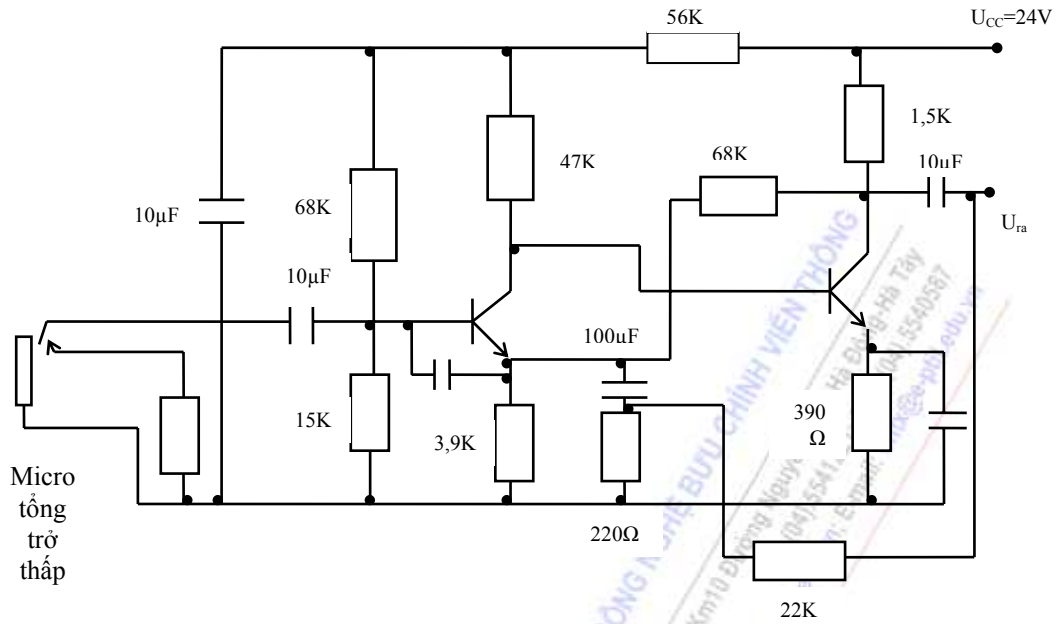
	CE	CC	CB
h_{ie}	1100 Ω	h_{ic}	$\frac{h_{ib}}{1 - h_{fb}}$
h_{re}	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$1 - h_{rc}$	$\frac{h_{ib} h_{ob}}{1 + h_{fb}} - h_{rb}$
h_{fe}	50	$-(1 - h_{fc})$	$-\frac{h_{fb}}{1 + h_{fb}}$
h_{oe}	25 $\mu A/V$	h_{oc}	$\frac{h_{ob}}{1 + h_{fb}}$
h_{ib}	$\frac{h_{ie}}{1 + h_{fe}}$	$-\frac{h_{ic}}{h_{fc}}$	21,6 Ω
h_{rb}	$\frac{h_{ie} h_{oe} - h_{re}}{1 - h_{fe}}$	$h_{rc} - \frac{h_{ic} h_{oc}}{h_{fc}} - 1$	$2,9 \cdot 10^{-4}$
h_{fb}	$-\frac{h_{fe}}{1 + h_{fe}}$	$-\frac{1 + h_{fc}}{h_{fc}}$	- 0,98
h_{ob}	$\frac{h_{oe}}{1 + h_{fe}}$	$-\frac{h_{oc}}{h_{fc}}$	0,49 $\mu A/V$
h_{ic}	h_{ie}	1100 Ω	$\frac{h_{ib}}{1 + h_{fb}}$
h_{rc}	$1 - h_{re} \approx 1$	1	1
h_{fc}	$-(1 + h_{fe})$	- 51	$-\frac{1}{1 + h_{fb}}$
h_{oc}	h_{oe}	25 $\mu A/V$	$\frac{h_{ob}}{1 + h_{fb}}$

4.7. MỘT SỐ ỨNG DỤNG CỦA BJT

Tranzito lưỡng cực là phần tử tích cực được sử dụng rộng rãi trong các mạch điện tử. Chúng được dùng trong hầu hết các mạch điện tử và giữ nhiều chức năng chủ yếu của mạch. Những ứng dụng thông thường của tranzito lưỡng cực là khuếch đại, tạo dao động hình sin, xung, ổn áp, chuyển mạch điện tử... Ở đây ta sẽ xem xét một số ví dụ về ứng dụng của chúng.

- *Khuếch đại:* Tranzito được dùng trong các mạch khuếch đại một chiều (dc), khuếch đại tín hiệu (ac), mạch khuếch đại vi sai, các mạch khuếch đại đặc biệt, mạch ổn áp...

Ví dụ: mạch khuếch đại micro dùng cho máy tăng âm như ở hình 4-28



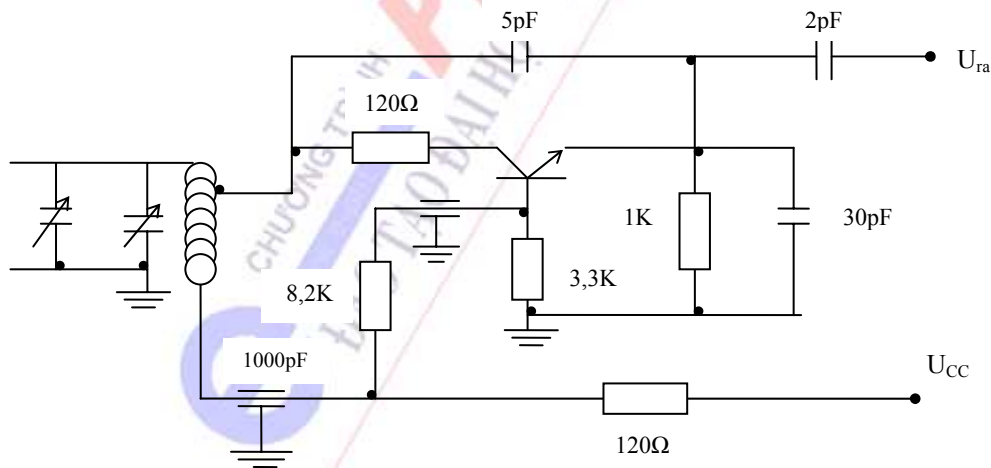
Hình 4 - 28: Mạch khuếch đại dùng BJT - C631A

Trong mạch các điện trở hồi tiếp $R=22K$, $R=68K$ (hồi tiếp từ cực góp T_2 về) và $R=220\Omega$ xác định hệ số khuếch đại của mạch:

$$K_U = \frac{68K // 22K}{220\Omega} = \frac{16,7K}{0,22K} = 75$$

Các điện trở hồi tiếp một chiều $R = 3,9K$ và $R = 68K$ từ T_2 về để ổn định chế độ làm việc của mạch.

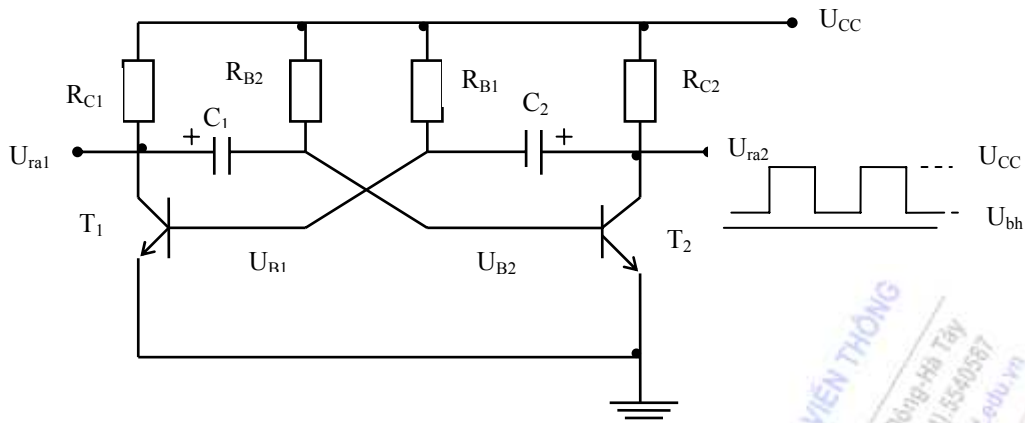
- Mạch tạo dao động sóng hình sin dùng trong radio (Hình 4-29)



Hình 4 – 29: Mạch tạo dao động hình sin dùng BJT-SE3001

Do tần số hoạt động của mạch trên 100MHz nên tranzito được mắc theo sơ đồ cực gốc chung. Khung cộng hưởng gồm có một cuộn cảm và hai tụ điện. tụ điện 5pF là tụ hồi tiếp để duy trì dao động.

- Mạch đa hài:



Hình 4 – 30: Mạch đa hài tự dao động dùng tranzito lưỡng cực

Mạch đa hài tự dao động tạo xung vuông. Trạng thái cân bằng của mạch (một tranzito mở và một tranzito khóa) chỉ ổn định trong một thời gian hạn chế nào đó, rồi tự động lật sang trạng thái kia và ngược lại (hai tranzito thay nhau thông, tắt). Trên lối ra ta lấy được chuỗi xung vuông có tần số dao động được tính gần đúng theo công thức:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,69R_{B2}C_1 + 0,69R_{B1}C_2} \tag{4.48}$$

TÓM TẮT

Chương 4 đã trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của tranzito lưỡng cực (BJT). Tranzito lưỡng cực có 2 tiếp xúc P-N và 3 chân cực là cực phát (E), cực gốc (B) và cực góp (C). Có 2 loại tranzito là P-N-P và N-P-N. Nguyên lý hoạt động của chúng giống nhau chỉ có chiều của nguồn điện cung cấp vào các chân cực của tranzito là ngược dấu nhau.

Tranzito có 3 chế độ làm việc tùy theo sự phân cực cho 2 tiếp xúc P-N: chế độ tích cực, chế độ ngắt, chế độ bão hòa. Chế độ tích cực là khi ta cấp điện một chiều sao cho tiếp xúc phát-gốc phân cực thuận và tiếp xúc góp-phát phân cực ngược. Ở chế độ tích cực, tín hiệu ra biến thiên theo sự biến thiên của tín hiệu vào nên ta còn gọi là chế độ khuếch đại. Tranzito làm việc ở chế độ ngắt là khi ta cấp điện cho các chân cực sao cho 2 tiếp xúc P-N đều phân cực ngược. Ở chế độ ngắt tranzito không dẫn điện, cực góp coi như được nối tắt với nguồn cung cấp và tranzito như một chuyển mạch ở trạng thái hở. Tranzito hoạt động ở chế độ bão hòa khi ta cung cấp điện áp vào các chân cực sao cho cả 2 tiếp xúc P-N đều phân cực thuận. Ở trạng thái này, cực phát và cực góp của tranzito coi như được nối tắt, dòng điện qua tranzito khá lớn, sụt áp giữa cực góp-phát gần bằng không vôn và tranzito như một chuyển mạch ở trạng thái đóng.

Trong chương 4 trình bày về các thành phần dòng điện trong tranzito gồm có: dòng điện cực phát I_E , dòng điện cực góp I_C , dòng điện cực gốc I_B , về các hệ số khuếch đại dòng điện cực phát α và hệ số khuếch đại dòng điện cực gốc β . Đồng thời, trong phần này cũng nêu mối quan hệ giữa các dòng điện thông qua các hệ số khuếch đại:

+ Đối với hệ số α :

$$I_C = \alpha I_E + I_{CB0}$$

$$I_B = (1 - \alpha) I_E - I_{CB0}$$

$$I_E = I_C + I_B$$

+ Đối với hệ số β :

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1)I_{CB0}$$

$$I_B \approx I_C / \beta$$

Chương 4 còn trình bày về 3 cách mắc tranzito trong các sơ đồ mạch khuếch đại là: mạch cực gốc chung, mạch cực phát chung, mạch cực góp chung; về mối quan hệ giữa các dòng điện trên tranzito với điện áp trên các chân cực của nó thông qua các họ đặc tuyến vào và ra. Trong phần này, chúng ta đã xem xét đến các đặc điểm của từng cách mắc và phạm vi ứng dụng của chúng trong các mạch điện tử.

Muốn tranzito làm việc đúng chế độ, các tham số của mạch không vượt quá các giá trị giới hạn thì chúng ta phải xác định điểm làm việc tĩnh cho tranzito và các phương pháp ổn định điểm làm việc đã chọn. Thông thường người ta sử dụng một số phương pháp phân cực cho tranzito như:

- Mạch phân cực cố định: Mạch này đơn giản, dễ tính toán nhưng độ ổn định thấp.
- Mạch phân cực phân áp: Đây là mạch có nhiều ưu điểm nhất so với các phương pháp phân cực khác. Mạch có độ ổn định cao ngay cả khi điện trở tải $R_C = 0$, nên mạch được sử dụng rộng rãi.
- Mạch phân cực dùng hồi tiếp: Mạch đã cải thiện được độ ổn định điểm làm việc tĩnh, nhưng còn hạn chế do điện trở hồi tiếp đưa cả thành phần tín hiệu về mạch vào làm giảm khả năng khuếch đại của mạch.

Trong chương 4 còn đưa ra sơ đồ tương đương hỗn hợp của tranzito trong các mạch khuếch đại và các tham số của nó.

Nhìn chung, chương 4 có nội dung rất quan trọng của chương trình môn học về cấu kiện điện tử vì tranzito lưỡng cực là một cấu kiện chủ đạo của các mạch điện tử khác nhau.

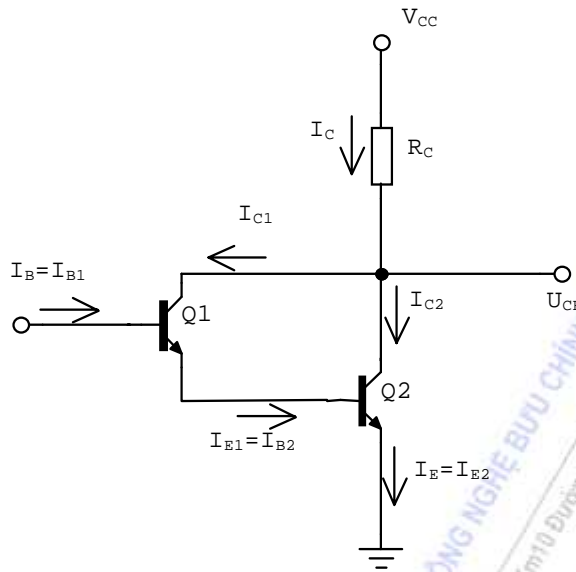
CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Nêu cấu tạo và các ký hiệu của 2 loại tranzito lưỡng cực.
2. Trình bày nguyên lý làm việc của BJT ở chế độ tích cực.
3. Trình bày nguyên lý làm việc của BJT ở chế độ ngắt và chế độ bão hòa.
4. Trình bày về sơ đồ mắc cực gốc chung và các đặc điểm của cách mắc này?
5. Trình bày về cách mắc cực phát chung và đặc điểm của cách mắc này?
6. Trình bày về cách mắc cực góp chung và đặc điểm của sơ đồ này?
7. Trình bày về sơ đồ Darlington.
8. Nêu khái niệm và sự cần thiết của việc phân cực cho tranzito.
9. Trình bày về mạch phân cực cố định.
10. Hãy cho biết về độ ổn định và hệ số ổn định của mạch định thiên cho BJT?
11. Trình bày về mạch phân cực phân áp.
12. Trình bày về mạch phân cực hồi tiếp.
13. Sơ đồ tương đương của BJT ở chế độ khuếch đại tín hiệu nhỏ và các tham số hỗn hợp của mạch.
14. Trình bày nguyên lý làm việc của BJT ở chế độ chuyển mạch và tham số cơ bản của nó.
15. Cho sơ đồ mạch như hình vẽ :

Cho biết $\alpha_1=0,98$, $\alpha_2=0,96$, $V_{cc}=24V$, $R_C=120\Omega$, $I_E=100mA$ Bỏ qua dòng điện ngược bão hoà ($I_{CB0}=0$).

Xác định :

- a. Các dòng điện I_{C1} , I_{B1} , I_{E1} , I_{C2} , I_{B2} .
- b. U_{CE} .



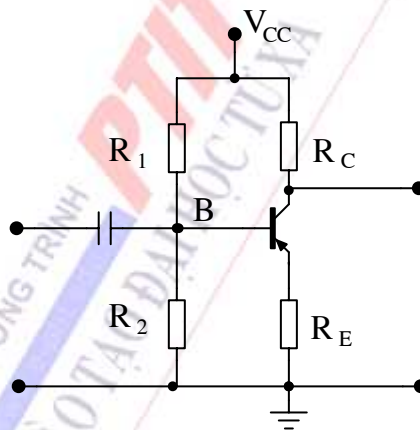
16. Cho sơ đồ mạch và dùng tranzito Gecmani và các giá trị trong mạch :

$V_{CC} = -20V$, $R_C = 2k\Omega$, $R_E = 0,1k\Omega$, $R_1 = 100k\Omega$, $R_2 = 5k\Omega$, $\beta = 50$.

Hãy xác định:

Các dòng điện tĩnh I_B , I_C , I_E và điện áp U_{CE} .

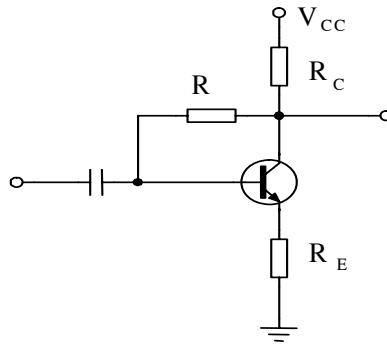
Hệ số ổn định S.



17. Cho sơ đồ mạch như hình vẽ và các giá trị :

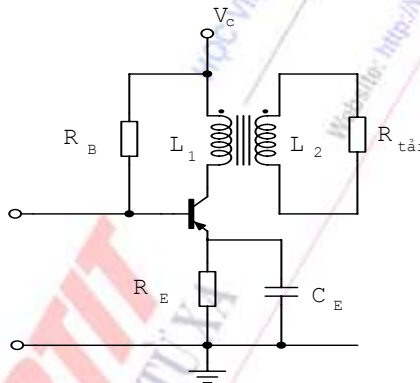
$V_{CC} = 24V$, $R_C = 10k\Omega$, $R_E = 270\Omega$. Tranzito silic có hệ số $\beta = 45$ và làm việc tại điểm làm việc tĩnh là $U_{CE} = 5V$ hãy xác định:

- a. Trị số R
- b. Hệ số ổn định S



18. Cho mạch khuếch đại công suất dùng tranzito loại P-N-P

- a. Hãy cho biết tranzito được mắc theo cách nào ? Kiểu mạch định thiên ?
- b. Nêu nhiệm vụ của các linh kiện mắc trong mạch
- c. Cho biết $V_C = -40V$, $R_E = 5\Omega$, $I_{CBO} = -5mA$, cho dòng điện tĩnh $I_C = -1A$, hệ số khuếch đại dòng $\beta = 100$, điện trở cuộn sơ cấp L_1 là 10Ω . Hãy xác định giá trị R_B và hệ số ổn định S.



19. Tranzito lưỡng cực làm việc ở chế độ tích cực thuận khi được phân cực với...
 - a. hai tiếp xúc P-N đều phân cực ngược
 - b. hai tiếp xúc P-N đều phân cực thuận
 - c. tiếp xúc phát phân cực thuận, tiếp xúc góp phân cực ngược
 - d. tiếp xúc phát phân cực ngược, tiếp xúc góp phân cực thuận
20. Tranzito lưỡng cực làm việc ở chế độ ngắt khi nó được phân cực với...
 - a. hai tiếp xúc P-N đều phân cực ngược
 - b. hai tiếp xúc P-N đều phân cực thuận
 - c. tiếp xúc phát phân cực thuận, tiếp xúc góp phân cực ngược
 - d. tiếp xúc phát phân cực ngược, tiếp xúc góp phân cực thuận
21. Ở chế độ khóa điện tử Tranzito lưỡng cực làm việc ở
 - a. chế độ tích cực và chế độ ngắt;
 - b. chế độ bão hòa và chế độ tích cực
 - c. chế độ bão hòa và chế độ ngắt;
 - d. chế độ tích cực
22. Trong sơ đồ mạch khuếch đại, tranzito lưỡng cực làm việc ở
 - a. chế độ tích cực và chế độ ngắt;
 - b. chế độ bão hòa và chế độ tích cực
 - c. chế độ bão hòa và chế độ ngắt;
 - d. chế độ tích cực

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Giáo trình “Cấu kiện điện tử và quang điện tử”, Trần Thị Cẩm, Học viện CNBCVT, năm 2002.
2. Giáo trình “Kỹ thuật điện tử”, Đỗ Xuân Thu, NXB GD 1997



CHƯƠNG 5 TRANZITO TRƯỜNG (FET)

GIỚI THIỆU CHƯƠNG

Chương 5 giới thiệu về một loại tranzito có nguyên lý làm việc hoàn toàn khác với nguyên lý làm việc của BJT, đó là tranzito hiệu ứng trường viết tắt là FET. Trong FET việc điều khiển dòng điện trên mạch ra do điện áp trên mạch vào quyết định. Trong chương 5 trình bày về cấu tạo và nguyên lý làm việc của các loại tranzito trường: JFET, MOSFET. Trong chương này còn trình bày về các cách mắc và phân cực cho tranzito trường, các sơ đồ tương đương của FET trong mạch khuếch đại tín hiệu nhỏ và chế độ chuyển mạch của nó.

NỘI DUNG.

5.1. GIỚI THIỆU CHUNG VỀ FET.

5.1.1. Nguyên lý hoạt động cơ bản

Khác với tranzito lưỡng cực, hoạt động của tranzito trường dựa trên nguyên lý hiệu ứng trường nghĩa là độ dẫn điện của đơn tinh thể bán dẫn do điện trường bên ngoài điều khiển. Dòng điện trong tranzito trường do một loại hạt dẫn tạo nên: lỗ trống hoặc điện tử nên nó còn được gọi là cấu kiện đơn cực.

Nguyên lý hoạt động cơ bản của tranzito trường là dòng điện đi qua một môi trường bán dẫn có tiết diện dẫn điện thay đổi dưới tác dụng của điện trường vuông góc với lớp bán dẫn đó. Khi thay đổi cường độ điện trường sẽ làm thay đổi điện trở của lớp bán dẫn và do đó làm thay đổi dòng điện đi qua nó. Lớp bán dẫn này được gọi là kênh dẫn điện.

5.1.2. Phân loại:

Tranzito trường có hai loại chính là:

- Tranzito trường điều khiển bằng tiếp xúc P-N (hay gọi là tranzito trường mối nối): Junction field-effect transistor - viết tắt là JFET.
- Tranzito có cực cửa cách điện: Insulated-gate field effect transistor - viết tắt là IGFET. Thông thường lớp cách điện được dùng là lớp oxit nên còn gọi là metal-oxide-semiconductor transistor (viết tắt là MOSFET).

Trong loại tranzito trường có cực cửa cách điện được chia làm 2 loại là MOSFET kênh sẵn và MOSFET kênh cảm ứng.

Mỗi loại FET lại được phân chia thành loại kênh N và loại kênh P.

Tranzito trường có ba chân cực là cực Nguồn ký hiệu là chữ S (source); cực Cửa ký hiệu là chữ G (gate); cực Máng ký hiệu là chữ D (drain).

Cực nguồn (S): cực nguồn mà qua đó các hạt dẫn đa số đi vào kênh và tạo ra dòng điện nguồn I_S .

Cực máng (D): là cực mà ở đó các hạt dẫn đa số rời khỏi kênh.

Cực cửa (G): là cực điều khiển dòng điện chạy qua kênh.

5.1.3. Một số ưu nhược điểm của tranzito trường so với tranzito lưỡng cực:

Một số ưu điểm:

+ Dòng điện qua tranzito chỉ do một loại hạt dẫn đa số tạo nên. Do vậy FET là loại cấu kiện đơn cực (unipolar device).

+ FET có trở kháng vào rất cao.

+ Tiếng ồn trong FET ít hơn nhiều so với tranzito lưỡng cực.

+ Nó không bù điện áp tại dòng $I_D = 0$ và do đó nó là cái ngắt điện tốt.

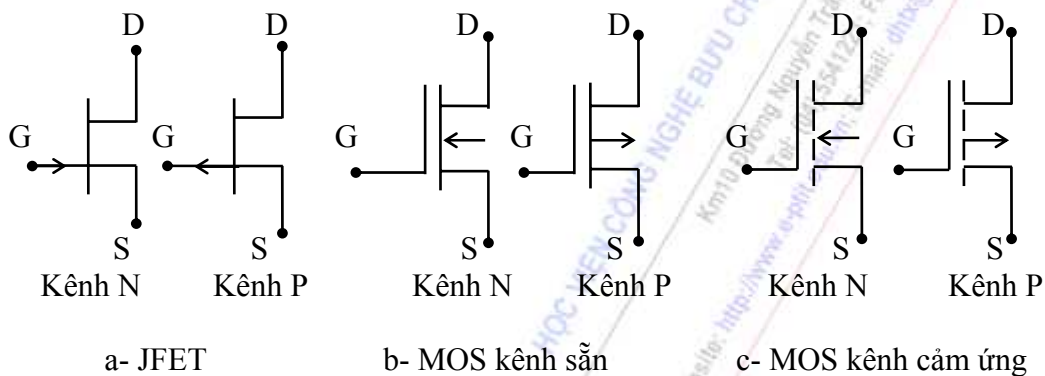
+ Có độ ổn định về nhiệt cao.

+ Tần số làm việc cao.

Một số nhược điểm:

Nhược điểm chính của FET là hệ số khuếch đại thấp hơn nhiều so với tranzito lưỡng cực.

5.1.4. Ký hiệu của FET trong các sơ đồ mạch:



Hình 5-1 : Ký hiệu của các FET trong sơ đồ mạch.

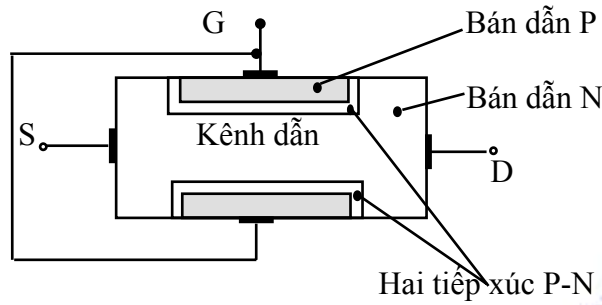
5.2. TRANZITO TRƯỜNG LOẠI ĐIỀU KHIỂN BẰNG TIẾP XÚC P-N. (viết tắt là JFET - Junction Field Effect Transistor)

5.2.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của JFET

a. Cấu tạo của JFET:

Tranzito JFET cấu tạo gồm có một miếng bán dẫn mỏng loại N (gọi là kênh loại N) hoặc loại P (gọi là kênh loại P) ở giữa hai tiếp xúc P-N và được gọi là kênh dẫn điện. Hai đầu của miếng bán dẫn đó được đưa ra hai chân cực gọi là cực máng (ký hiệu là D) và cực nguồn (ký hiệu là S). Hai miếng bán dẫn ở hai bên của kênh được nối với nhau và đưa ra một chân cực gọi là cực cửa (ký hiệu là G). Cho nên, cực cửa được tách khỏi kênh bằng các tiếp xúc P-N.

Các tranzito trường JFET hầu hết đều là loại đối xứng, có nghĩa là khi đầu trong mạch có thể đổi chỗ hai chân cực máng và nguồn cho nhau thì các tính chất và tham số của tranzito không hề thay đổi.



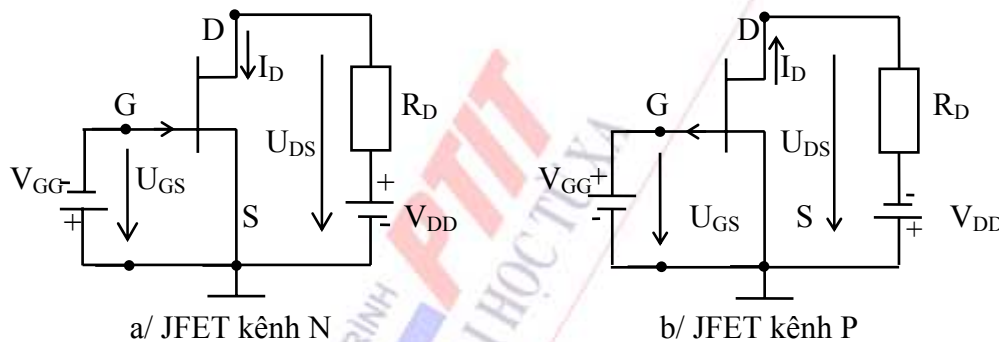
Hình 5-2 : Cấu tạo của tranzito trường loại JFET kênh dẫn loại N.

b. Nguyên lý hoạt động của JFET:

Nguyên lý hoạt động của tranzito trường JFET kênh loại N và kênh loại P giống nhau. Chúng chỉ khác nhau về chiều của nguồn điện cung cấp vào các chân cực.

Để cho tranzito trường làm việc ở chế độ khuếch đại phải cung cấp nguồn điện U_{GS} có chiều sao cho cả hai tiếp xúc P-N đều được phân cực ngược. Còn nguồn điện U_{DS} có chiều sao cho các hạt dẫn đa số chuyển động từ cực nguồn S, qua kênh, về cực máng D để tạo nên dòng điện trong mạch cực máng I_D . Ta có các sơ đồ nguyên lý như hình 5-3.

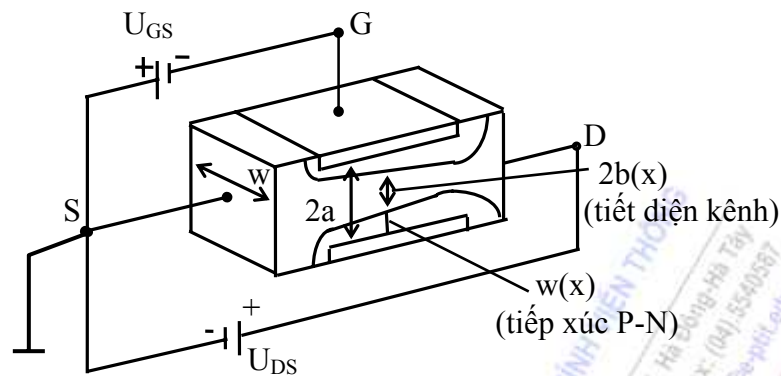
Trong phần này trình bày về nguyên lý hoạt động của tranzito JFET kênh N.



Hình 5-3 : Sơ đồ nguyên lý làm việc của JFET.

Xét sơ đồ hình 5-3(a): Để cho hai tiếp xúc P-N đều phân cực ngược ta phải cung cấp nguồn V_{GG} có cực dương vào chân cực nguồn S, cực âm vào chân cực của G. Để cho các hạt dẫn điện tử chuyển động từ cực nguồn về cực máng thì nguồn điện V_D có chiều dương vào cực máng, chiều âm vào cực nguồn.

Khi $U_{DS} > 0$, thì điện thế tại mỗi điểm dọc theo kênh sẽ tăng dần từ cực nguồn S đến cực máng D. Do vậy, tiếp xúc P-N sẽ bị phân cực ngược mạnh dần về phía cực máng. Bề dày lớp tiếp xúc tăng dần về phía cực máng và tiết diện của kênh sẽ hẹp dần về phía cực máng (xem hình 5-4).



Hình 5-4 : Mô hình đấu nối nguồn cung cấp cho JFET kênh N.

- Xét khả năng điều khiển của điện áp trên cực cửa U_{GS} đối với dòng điện I_D và đặc tuyến truyền đạt của FET:

Muốn xét khả năng điều khiển dòng điện I_D của điện áp trên cực cửa phải đặt lên cực máng một điện áp $U_{DS1} > 0$ và giữ cố định.

Khi điện áp trên cực cửa $U_{GS} = 0V$, hai tiếp xúc P-N sẽ được phân cực ngược mạnh dần từ cực nguồn về phía cực máng, và do đó kênh cũng sẽ hẹp dần về phía cực máng. Tuy nhiên, ở trường hợp này, tiết diện của kênh là lớn nhất nên dòng điện chạy qua kênh là lớn nhất, ký hiệu là I_{D0} .

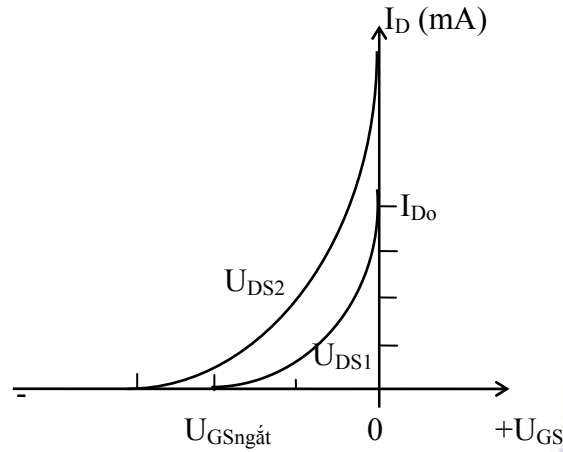
Khi đặt điện áp trên cực cửa có trị số âm ($U_{GS} < 0$), thì tiếp xúc P-N được phân cực ngược càng mạnh hơn, và tiết diện của kênh càng hẹp lại, điện trở của kênh càng tăng, kéo theo dòng điện I_D giảm xuống. Khi điện áp trên cực cửa giảm xuống đến một trị số gọi là điện áp ngắt: $U_{GS} = U_{GSngắt}$ thì hai lớp tiếp xúc P-N phủ trùm lên nhau và kênh hoàn toàn biến mất, dòng điện chạy qua kênh bằng 0 ($I_D = 0$).

Quan hệ giữa dòng điện I_D với điện áp U_{GS} thể hiện bằng đường đặc tuyến điều khiển hay còn gọi là đặc tuyến truyền đạt và có hàm là $I_D = f(U_{GS})$ khi U_{DS} không đổi.

Dòng điện I_D được tính bằng công thức Shockley:

$$I_D = I_{D0} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GSngắt}} \right)^2 \quad (5.1)$$

Đây là một phương trình bậc 2 và biểu diễn bằng đường cong có dạng parabol, ta có đặc tuyến truyền đạt như mô tả trong hình (5-5).



Hình 5-5 : Đặc tuyến truyền đạt của JFET kênh loại N.

Đặt hệ số
$$K = \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GSngat}} \right)^2$$
 ta có thể viết lại công thức (5.1) như sau:

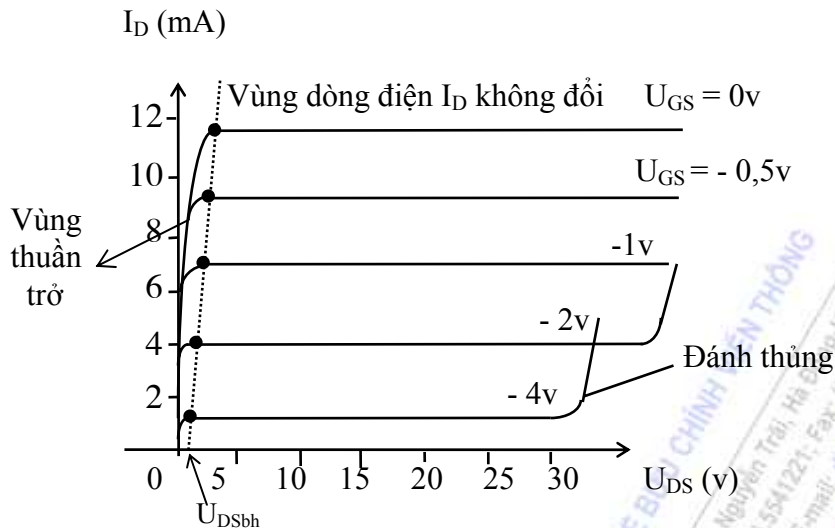
$$I_D = K I_{D0} \tag{5.2}$$

□ Đặc tuyến ra của JFET.

Đặc tuyến ra chỉ mối quan hệ giữa dòng điện I_D và điện áp máng U_{DS} .

Đối với JFET kênh loại N, đặt một trị số $U_{GS} \leq 0$ (giả sử đặt $U_{GS} = U_{GS1} < 0$) và giữ cố định, sau đó thay đổi trị số điện áp U_{DS} . Khi điện áp $U_{DS} = 0V$ thì hai tiếp xúc P-N được phân cực ngược đồng đều từ cực nguồn đến cực máng, tiết diện của kênh là lớn nhất nhưng dòng điện bằng 0 ($I_D = 0$). Đặt $U_{DS} > 0$ và có giá trị nhỏ, điện thế tại mỗi điểm dọc theo kênh sẽ tăng dần từ cực nguồn đến cực máng, làm cho tiếp xúc P-N được phân cực ngược mạnh dần về phía cực máng, đồng thời, các hạt dẫn điện tử sẽ chuyển động về cực máng tạo nên dòng điện cực máng I_D . Tăng dần điện áp U_{DS} cho càng dương hơn, hai tiếp xúc P-N càng được phân cực ngược mạnh hơn về phía cực máng, tiết diện của kênh càng bị hẹp dần về phía cực máng, nhưng dòng điện I_D lại càng tăng và tăng tuyến tính với sự tăng của điện áp U_{DS} . Ta có đoạn đặc tuyến dốc đứng gọi là vùng thuận trở.

Khi điện áp U_{DS} tăng đến trị số mà tại đó hai tiếp xúc P-N chạm nhau, tạo ra "điểm thắt" của kênh, thì trị số điện áp đó ta gọi là điện áp U_{DS} bão hòa (U_{DSbh}) hay còn gọi là điện áp "thắt". Lúc này dòng điện I_D đạt tới trị số dòng điện bão hòa I_{Dh} . Nếu tiếp tục tăng điện áp cực máng càng dương hơn thì cường độ dòng điện I_D không tăng nữa mà chỉ có tiếp xúc P-N được phân cực ngược mạnh hơn và chúng trùm phủ lên nhau làm cho một đoạn kênh bị lấp và chiều dài của kênh bị ngắn lại. Lúc này, quan hệ giữa dòng điện I_D với điện áp U_{DS} không theo định luật Ôm nữa, I_D gần như không đổi khi điện áp U_{DS} tiếp tục tăng, ta có vùng dòng điện I_D không đổi.



Hình 5-6 : Họ đặc tuyến ra của JFET kênh loại N.

Nếu tăng trị số điện áp U_{DS} lên quá cao có thể xảy ra hiện tượng đánh thủng tiếp xúc P-N và dòng điện I_D sẽ tăng vọt lên gọi là vùng đánh thủng.

Thay đổi trị số điện áp trên cực cửa và thực hiện lại các bước như trên sẽ thu được họ đặc tuyến ra như mô tả trong hình 5- 6.

5.2.2. Các cách mắc của JFET trong sơ đồ mạch

Như các tranzito lưỡng cực, tranzito trường cũng có 3 cách mắc trong các sơ đồ mạch khuếch đại là: sơ đồ mắc cực nguồn chung, sơ đồ mắc cực máng chung, sơ đồ mắc cực cửa chung.

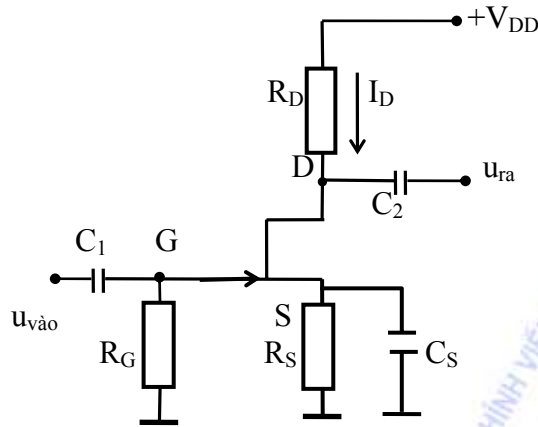
a. Sơ đồ cực nguồn chung:

Trong sơ đồ hình (5-7), nguồn cung cấp một chiều V_{DD} , điện trở định thiên R_G , tải R_D . Sơ đồ mắc cực nguồn chung giống như sơ đồ mắc cực phát chung đối với các tranzito lưỡng cực, có điểm khác là dòng vào I_G thực tế bằng 0 và trở kháng vào rất lớn.

Đặc điểm của sơ đồ cực nguồn chung:

- Tín hiệu vào và tín hiệu ra ngược pha nhau.
- Trở kháng vào rất lớn $Z_{vào} = R_{GS} \approx \infty$
- Trở kháng ra $Z_{ra} = R_D // r_d$
- Hệ số khuếch đại điện áp $\mu \approx S r_d > 1$

Đối với tranzito JFET kênh N thì hệ số khuếch đại điện áp khoảng từ 150 lần đến 300 lần, còn đối với tranzito JFET kênh loại P thì hệ số khuếch đại chỉ bằng một nửa là khoảng từ 75 lần đến 150 lần.



Hình 5- 7: Sơ đồ mắc cực nguồn chung của JFET kênh loại N

b. Sơ đồ mắc cực máng chung:

Sơ đồ mạch mô tả trong hình 5-8. Sơ đồ mắc cực máng chung giống như sơ đồ mắc cực góp chung của tranzito lưỡng cực. Tải R_S được đấu ở mạch cực nguồn và sơ đồ còn được gọi là mạch lặp cực nguồn.

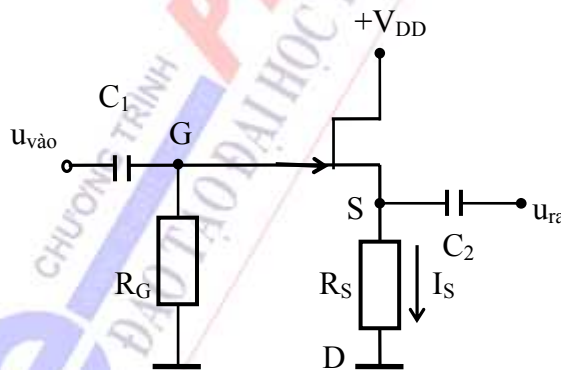
Đặc điểm của sơ đồ này có:

- Tín hiệu vào và tín hiệu ra đồng pha nhau.
- Trở kháng vào rất lớn

$$Z_{vào} = R_{GD} = \infty$$

- Trở kháng ra rất nhỏ $Z_{ra} = R_S // \frac{1}{g_m}$

- Hệ số khuếch đại điện áp $\mu < 1$



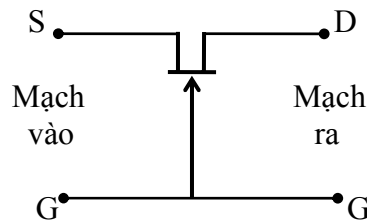
Hình 5-8 : Sơ đồ mắc cực máng chung của JFET kênh loại N

Sơ đồ cực máng chung được dùng rộng rãi hơn, cơ bản là do nó giảm được điện dung vào của mạch, đồng thời có trở kháng vào rất lớn. Sơ đồ này thường được dùng để phối hợp trở kháng giữa các mạch.

c. Sơ đồ mắc cực cửa chung:

Sơ đồ này theo nguyên tắc không được sử dụng do có trở kháng vào nhỏ, trở kháng ra lớn.

Sơ đồ mạch nguyên lý trong hình 5-9:



Hình 5-9 : Sơ đồ mắc cực cửa chung của JFET kênh N.

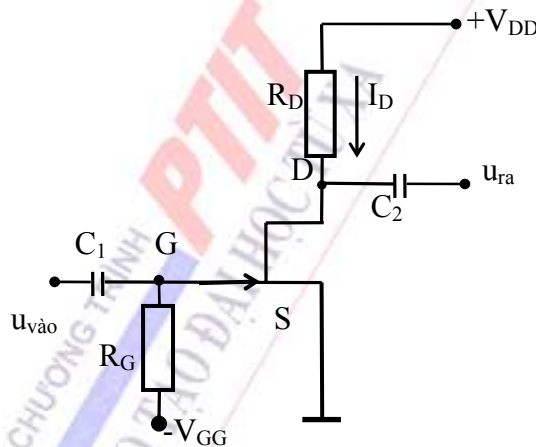
5.2.3. Phân cực cho JFET

Giống như tranzito lưỡng cực, tranzito trường cũng có các cách phân cực như: phân cực cố định, phân cực phân áp và phân cực hồi tiếp.

a. Phân cực cố định.

Sơ đồ phân cực cố định mô tả trong hình (5-10):

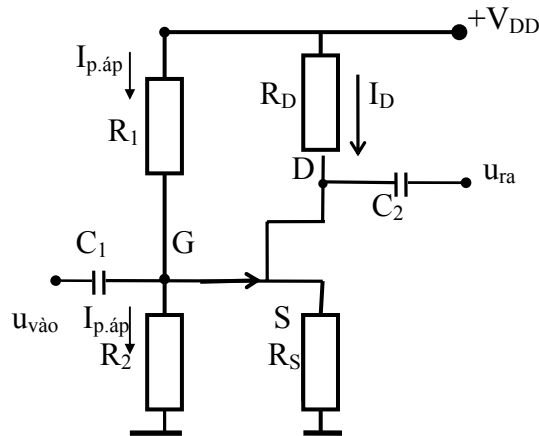
Trong cách phân cực này nguồn điện V_{GG} được đặt vào cực cửa và mạch được gọi là phân cực cố định vì có $U_{GS} = -U_{GG}$ có giá trị cố định. Như vậy, muốn xác định điểm làm việc Q thích hợp ta phải dùng 2 nguồn cung cấp. Đây là điều bất lợi của phương pháp phân cực này.



Hình 5-10: Mạch phân cực cố định của JFET kênh loại N

b. Phân cực phân áp

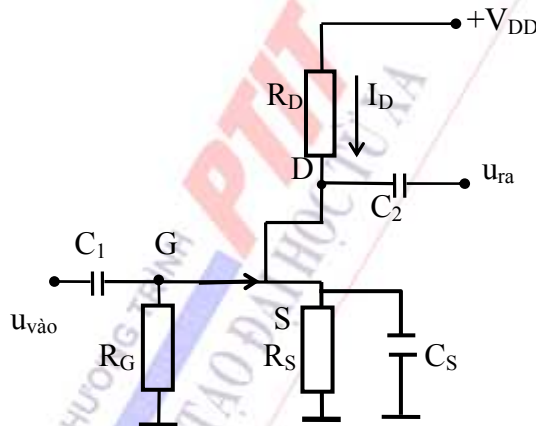
Sơ đồ mạch phân cực phân áp mô tả ở hình 5-11. Phương pháp này rất hữu hiệu cho tranzito lưỡng cực nhưng đối với JFET thì không tiện lợi khi sử dụng.



Hình 5-11: Mạch phân cực phân áp của JFET kênh loại N

c. Phân áp tự cấp (còn gọi là tự phân cực)

Sơ đồ tự phân cực của JFET mô tả trong hình 5-12. Đây là cách phân cực không giống như đối với BJT và nó là cách phân cực hữu hiệu nhất đối với JFET, trong cách phân cực này thì điện áp $U_{GS} = -I_D R_S$.



Hình 5-12: Phân cực tự cấp cho JFET kênh loại N

5.2.4. Các tham số của tranzito trường ở chế độ tín hiệu nhỏ.

Các tham số cơ bản của FET trong chế độ tín hiệu nhỏ thường có: độ hở dẫn, trở kháng ra, trở kháng vào và hệ số khuếch đại điện áp.

Sơ đồ mạch tương đương của FET ở chế độ tín hiệu nhỏ cũng giống như của tranzito lưỡng cực. Ở chế độ này, dòng điện cực máng i_D là một hàm của điện áp trên cực cửa u_{GS} và điện áp trên cực máng u_{DS} , ta có:

$$i_D = f(u_{GS}, u_{DS})$$

Khi cả hai điện áp trên cực cửa và cực máng đều biến đổi thì dòng điện cực máng sẽ thay đổi theo:

$$\Delta i_D = \left. \frac{\partial i_D}{\partial u_{GS}} \right|_{U_{DS}=\text{const.}} \Delta u_{GS} + \left. \frac{\partial i_D}{\partial u_{DS}} \right|_{U_{GS}=\text{const.}} \Delta u_{DS} \quad (5.3)$$

Trong chế độ tín hiệu nhỏ các đại lượng $\Delta i_D = i_d$; $\Delta u_{GS} = u_{gs}$; $\Delta u_{DS} = u_{ds}$, như vậy công thức (5.3) được viết:

$$i_d = g_m u_{gs} + \frac{1}{r_d} u_{ds} \quad (5.4)$$

Trong đó:

- *Độ hỗ dẫn* (ký hiệu là g_m):

$$g_m = \left. \frac{\partial i_D}{\partial u_{GS}} \right|_{U_{DS}=\text{const.}} \approx \frac{\Delta i_D}{\Delta u_{GS}} \Big|_{U_{DS}=\text{const.}} = \left. \frac{i_d}{u_{gs}} \right|_{U_{DS}=\text{const.}} \quad (5.5)$$

Độ hỗ dẫn của FET biểu thị khả năng điều khiển của điện áp cực cửa u_{GS} lên dòng điện xoay chiều cực máng i_D .

Giá trị độ hỗ dẫn của FET nằm trong khoảng: $S = 3 \div 20 \text{ mA/V}$.

- *Trở kháng ra hay còn gọi là điện trở máng* (ký hiệu là r_d):

Điện trở máng r_d biểu thị sự ảnh hưởng của điện áp cực máng u_{DS} tới dòng điện cực máng i_D ta có công thức:

$$r_d = \left. \frac{\partial u_{DS}}{\partial i_D} \right|_{U_{GS}=\text{const.}} \approx \frac{\Delta u_{DS}}{\Delta i_D} \Big|_{U_{GS}=\text{const.}} = \left. \frac{u_{ds}}{i_d} \right|_{U_{GS}=\text{const.}} \quad (5.6)$$

- *Hệ số khuếch đại điện áp* μ :

Hệ số khuếch đại điện áp chỉ số lần điện áp trên cực cửa tác động lên dòng điện cực máng mạnh hơn so với điện áp trên cực máng. Ta có công thức:

$$\mu = \left. \frac{\partial u_{DS}}{\partial u_{GS}} \right|_{I_D=\text{const.}} \approx \frac{\Delta u_{DS}}{\Delta u_{GS}} \Big|_{I_D=\text{const.}} = \left. \frac{u_{ds}}{u_{gs}} \right|_{I_D=\text{const.}} \quad (5.7)$$

So sánh các công thức tính độ hỗ dẫn g_m , điện trở máng r_d và hệ số khuếch đại điện áp μ , ta có công thức sau:

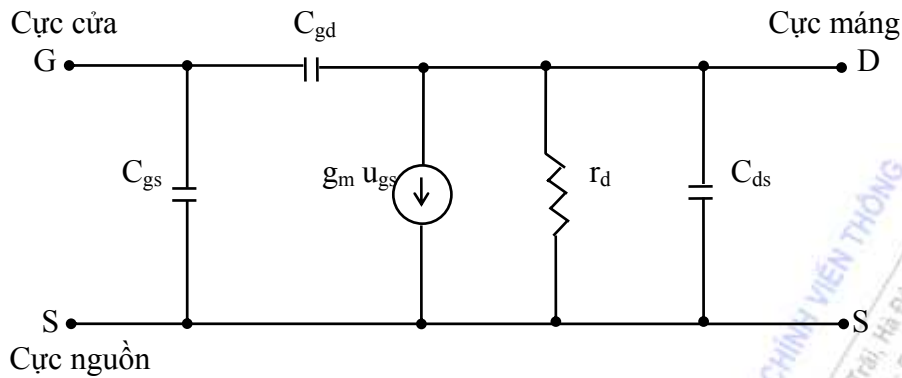
$$\mu = g_m r_d \quad (5.8)$$

Hệ số khuếch đại có trị số khoảng vài trăm lần.

5.2.5. Sơ đồ tương đương của JFET trong chế độ tín hiệu nhỏ.

Sơ đồ tương đương của FET ở chế độ tín hiệu nhỏ được mô tả trong hình 5-13. Trong sơ đồ này tồn tại các điện dung giữa ba chân cực. Tụ điện C_{gs} biểu thị điện dung rào thế của tiếp xúc P-N giữa cực cửa và cực nguồn, và tụ điện C_{gd} là điện dung rào thế của tiếp xúc P-N giữa cực cửa và cực máng. Tụ điện C_{ds} là điện dung máng-nguồn của kênh dẫn. Đây là các điện dung ký sinh của FET. Khi tranzito làm việc ở tần số thấp thì chúng không gây ảnh hưởng gì cho mạch, nhưng khi ở tần số cao chúng có thể gây ngắn mạch giữa các chân cực của tranzito.

Vì tiếp xúc P-N của cực cửa phân cực ngược nên các điện trở giữa cực cửa - cực nguồn r_{gs} và giữa cực cửa - máng r_{gd} rất lớn, do đó trong sơ đồ ở hình 5- 13 hai điện trở này được bỏ qua.



Hình 5- 13: Sơ đồ mạch tương đương của FET trong chế độ tín hiệu nhỏ

Từ công thức (5. 4) và (5. 1) ta tính được:

$$g_m = g_{mo} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GSng\frac{1}{4}}}} \right) \tag{5. 9}$$

trong đó g_{mo} là giá trị độ dẫn khi $U_{GS} = 0$ và được xác định:

$$g_{mo} = \frac{-2I_{Do}}{U_{GSng\frac{1}{4}}} \tag{5.10}$$

Vì I_{Do} và $U_{GSng\frac{1}{4}}$ ngược pha nhau nên g_{mo} luôn dương.

5.3. TRANZITO TRƯỜNG LOẠI CỰC CỬA CÁCH LY (IGFET)

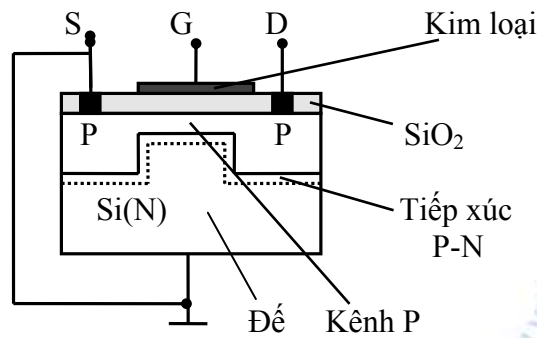
Đây là loại tranzito trường có cực cửa cách điện với kênh dẫn điện bằng một lớp cách điện mỏng. Lớp cách điện thường dùng là chất oxit nên ta thường gọi tắt là tranzito trường loại MOS. Tên gọi MOS được viết tắt từ ba từ tiếng Anh là: Metal - Oxide - Semiconductor.

Tranzito trường MOS có hai loại: tranzito MOSFET có kênh sẵn và tranzito MOSFET kênh cảm ứng. Trong mỗi loại MOSFET này lại có hai loại là kênh dẫn loại P và kênh loại N.

5.3.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của MOSFET kênh sẵn:

a. Cấu tạo:

Tranzito trường MOSFET kênh sẵn còn gọi là MOSFET-chế độ nghèo (Depletion-Mode MOSFET viết tắt là DMOSFET). Ta có mô hình mô phỏng cấu tạo của MOSFET trong hình 5 – 14. Tranzito trường loại MOS có kênh sẵn là loại tranzito mà khi chế tạo người ta đã chế tạo sẵn kênh dẫn.



Hình 5- 14 : Cấu tạo của MOSFET kênh sẵn loại P

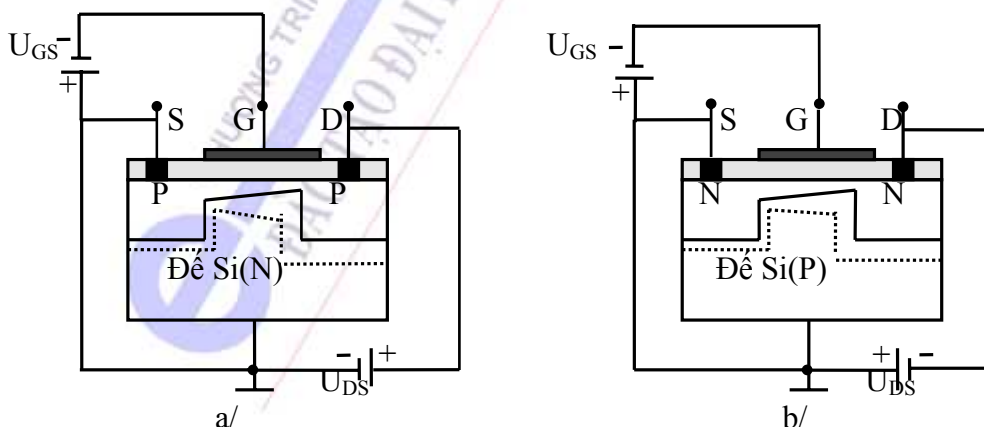
b. Nguyên lý hoạt động:

Tranzito loại MOSFET kênh sẵn có hai loại là kênh loại P và kênh loại N. (ví dụ trong hình 5-14 là MOSFET có kênh sẵn loại P).

Khi tranzito làm việc, thông thường cực nguồn S được nối với đế và nối đất nên $U_S = 0$. Các điện áp đặt vào các chân cực cửa G và cực máng D là so với chân cực S. Nguyên tắc cung cấp nguồn điện cho các chân cực sao cho hạt dẫn đa số chạy từ cực nguồn S qua kênh về cực máng D để tạo nên dòng điện I_D trong mạch cực máng. Còn điện áp đặt trên cực cửa có chiều sao cho MOSFET làm việc ở chế độ giàu hạt dẫn hoặc ở chế độ nghèo hạt dẫn.

Nguyên lý làm việc của hai loại tranzito kênh P và kênh N giống nhau chỉ có cực tính của nguồn điện cung cấp cho các chân cực là trái dấu nhau. Sơ đồ nguyên lý đầu nối MOSFET kênh sẵn như trong hình 5- 15.

Ví dụ: Xét nguyên lý hoạt động của tranzito MOSFET kênh sẵn loại P.



Hình 5 - 15 : Sơ đồ nguyên lý của MOSFET:

a- MOSFET kênh sẵn loại P.

b- MOSFET kênh sẵn loại N

- Xét khả năng điều khiển của MOSFET kênh sẵn loại P (Hình 5-15a):

Khả năng điều khiển dòng điện I_D của điện áp trên cực cửa U_{GS} chính là đặc tuyến truyền đạt của MOSFET, nói cách khác, đó là mối quan hệ giữa dòng điện I_D với điện áp U_{GS} , ta có hàm sau:

$$I_D = f(U_{GS}) \text{ khi } U_{DS} = \text{const.}$$

Để các hạt dẫn lỗ trống chuyển động từ cực nguồn S về cực máng D, ta đặt một điện áp trên cực máng $U_{DS} = U_{DS1} < 0$ và giữ không đổi. Sau đó thay đổi điện áp trên cực cửa U_{GS} theo chiều dương hoặc theo chiều âm. Khi $U_{GS} = 0$ thì dưới tác dụng của điện áp U_{DS} các lỗ trống chuyển động từ cực nguồn về cực máng tạo nên dòng điện I_D

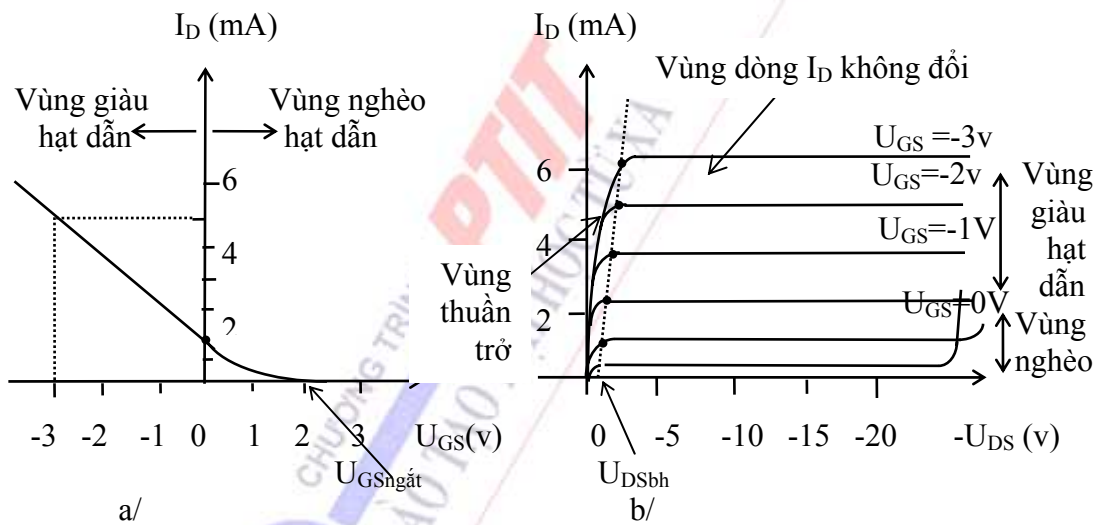
Nếu $U_{GS} < 0$, nhiều lỗ trống được hút về kênh làm nồng độ hạt dẫn trong kênh tăng lên, độ dẫn điện của kênh tăng và dòng điện chạy trong kênh I_D tăng lên. Chế độ làm việc này gọi là chế độ giàu hạt dẫn.

Nếu $U_{GS} > 0$, các lỗ trống bị đẩy ra xa kênh làm mật độ hạt dẫn trong kênh giảm xuống, độ dẫn điện của kênh giảm và dòng điện chạy qua kênh I_D giảm xuống. Chế độ làm việc này gọi là chế độ nghèo hạt dẫn. Mối quan hệ này được thể hiện trên hình 5-16a.

- Xét họ đặc tuyến ra (hay quan hệ giữa dòng điện I_D và điện áp U_{DS}):

$$I_D = f(U_{DS}) \text{ khi } U_{GS} = \text{const.}$$

Hình 5- 16b thể hiện họ đặc tuyến ra của MOSFET kênh sẵn loại P. Đây là các đường biểu diễn mối quan hệ giữa dòng điện I_D với điện áp U_{DS} ứng với từng giá trị của điện áp U_{GS} khác nhau.



Hình 5 - 16 : Các họ đặc tuyến của MOSFET kênh sẵn loại P:

- a. Họ đặc tuyến điều khiển $I_D = f(U_{GS})$ khi U_{DS} không đổi
- b. Họ đặc tuyến ra $I_D = f(U_{DS})$ khi U_{GS} không đổi

Trên họ đặc tuyến ra, khi điện áp $U_{DS} = 0V$ thì dòng điện qua kênh $I_D = 0$, do đó đặc tuyến xuất phát từ gốc tọa độ. Điều chỉnh cho U_{DS} âm dần, với trị số còn nhỏ thì dòng điện I_D tăng tuyến tính với sự tăng trị số của điện áp U_{DS} và mối quan hệ này được tính theo định luật Ôm. Ta có vùng thuần trở của đặc tuyến.

Khi điện áp U_{DS} đạt tới trị số bão hòa ($U_{DSb.h.}$) thì dòng điện cực máng cũng đạt tới một trị số gọi là dòng điện bão hòa $I_{Db.h.}$. Trong trường hợp này, lớp tiếp xúc P-N chạm vào đáy của lớp oxit và kênh có điểm "thắt" tại cực máng, nên $U_{DSb.h.}$ còn được gọi là điện áp "thắt".

Nếu cho $|U_{DS}| > |U_{DSb.h.}|$ thì dòng điện không thay đổi và giữ nguyên trị số bão hòa $I_{Db.h.}$. Đồng thời, tiếp xúc P-N bị phân cực ngược càng mạnh về phía cực máng, làm cho chiều dài của phần kênh bị "thắt" tăng lên. Độ chênh lệch của điện áp $\Delta U_{DS} = |U_{DS}| - |U_{DSb.h.}|$ được đặt lên đoạn kênh bị "thắt" và làm cho cường độ điện trường ở đây tăng, giúp cho số các lỗ trống vượt qua đoạn kênh bị "thắt" không thay đổi, do vậy dòng $I_{Db.h.}$ giữ không đổi. Ta có vùng dòng điện I_D bão hòa.

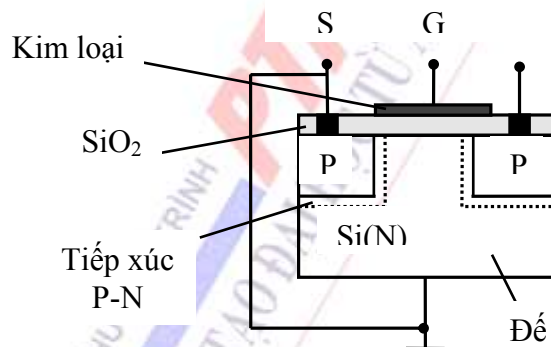
Trường hợp, nếu đặt U_{DS} quá lớn sẽ dẫn đến hiện tượng đánh thủng tiếp xúc P-N ở phía cực máng, dòng điện I_D tăng vọt. Lúc này tranzito chuyển sang vùng đánh thủng.

Qua các họ đặc tuyến của MOSFET kênh sẵn ta thấy nó làm việc ở cả 2 chế độ nghèo và giàu hạt dẫn. MOSFET kênh sẵn có mức ồn nhỏ nên nó thường được dùng trong các tầng khuếch đại đầu tiên của thiết bị cao tần. Độ hỗ dẫn g_m của nó phụ thuộc vào điện áp U_{GS} nên hệ số khuếch đại điện áp thường được tự động điều khiển.

5.3.2. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của MOSFET kênh cảm ứng.

a. Cấu tạo:

Tranzito trường loại MOS kênh cảm ứng còn gọi là MOSFET chế độ giàu (Enhancement-Mode MOSFET viết tắt là E-MOSFET). Khi chế tạo MOSFET kênh cảm ứng người ta không chế tạo kênh dẫn. Do công nghệ chế tạo đơn giản nên MOSFET kênh cảm ứng được sản xuất và sử dụng nhiều hơn. Hình 5-17 mô phỏng cấu tạo của MOSFET kênh cảm ứng loại P



Hình 5 – 17: Cấu tạo của MOSFET kênh cảm ứng loại P

b. Nguyên lý hoạt động

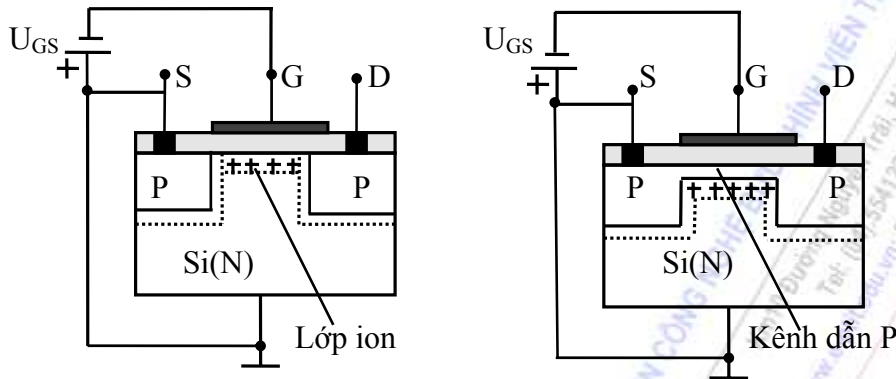
Nguyên lý làm việc của loại kênh P và kênh N giống hệt nhau chỉ khác nhau về cực tính của nguồn cung cấp đặt lên các chân cực. Trước tiên, nối cực nguồn S với đế và nối đất, sau đó cấp điện áp giữa cực cửa và cực nguồn để tạo kênh dẫn.

- Tạo kênh dẫn và khả năng điều khiển của tranzito:

Vi dụ: Ta trình bày nguyên lý hoạt động của MOSFET kênh cảm ứng loại P.

Theo nguyên tắc cấp nguồn điện cho các chân cực, ta cấp nguồn điện $U_{GS} < 0$ để tạo kênh, còn $U_{DS} < 0$ để tác động cho các lỗ trống chuyển động từ cực nguồn về cực máng tạo nên dòng điện I_D . (Xem hình 5 -18)

Khi ta đặt một điện áp lên cực cửa âm hơn so với cực nguồn ($U_{GS} < 0$) đến một giá trị gọi là điện áp ngưỡng (ký hiệu là U_{GSth}) thì một số các lỗ trống được hút về tạo thành một lớp mỏng các lỗ trống trên bề mặt của lớp bán dẫn đế Si(N), nối liền cực nguồn S với cực máng D và kênh dẫn điện được hình thành.



Hình 5 - 18 : Sự hình thành kênh dẫn của MOSFET loại P

Khi kênh đã xuất hiện, dưới tác dụng của điện trường cực máng các lỗ trống sẽ di chuyển từ cực nguồn, qua kênh, về cực máng và tạo nên dòng điện trong tranzito I_D .

Tiếp tục cho U_{GS} càng âm hơn, nghĩa là $|U_{GS}| > |U_{GSth}|$, thì số lỗ trống được hút về kênh càng nhiều, mật độ hạt dẫn trong kênh càng tăng lên, độ dẫn điện của kênh càng tăng dẫn đến cường độ dòng điện chạy qua kênh cũng tăng lên. Qui luật tăng của dòng điện I_D theo điện áp U_{GS} biểu diễn theo công thức sau:

$$I_D = k (U_{GS} - U_{GSth})^2 \tag{5.11}$$

Đây là phương trình của đặc tuyến truyền đạt biểu diễn trong hình 5-19. Hệ số k là hằng số và được tính theo công thức:

$$k = \frac{I_{D(on)}}{(U_{GS(on)} - U_{GSth})^2} \tag{5.12}$$

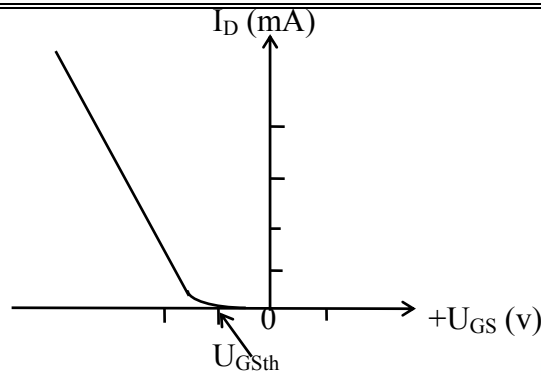
Trong đó $I_{D(on)}$ và $U_{GS(on)}$ là trị số dòng điện và điện áp tương ứng được xác định trên họ đặc tuyến ra của MOSFET.

Thay công thức (5.12) vào công thức (5.11) ta có:

$$I_D = \frac{I_{D(on)}}{(U_{GS(on)} - U_{GSth})^2} (U_{GS} - U_{GSth})^2 \tag{5.13}$$

Đặt $K = \left(\frac{U_{GS} - U_{GSth}}{U_{GS(on)} - U_{GSth}} \right)^2$ ta có:

$$I_D = KI_{D(on)} \tag{5.14}$$



Hình 5 - 19 : Đặc tuyến điều khiển của MOSFET kênh cảm ứng loại P

- Họ đặc tuyến ra:

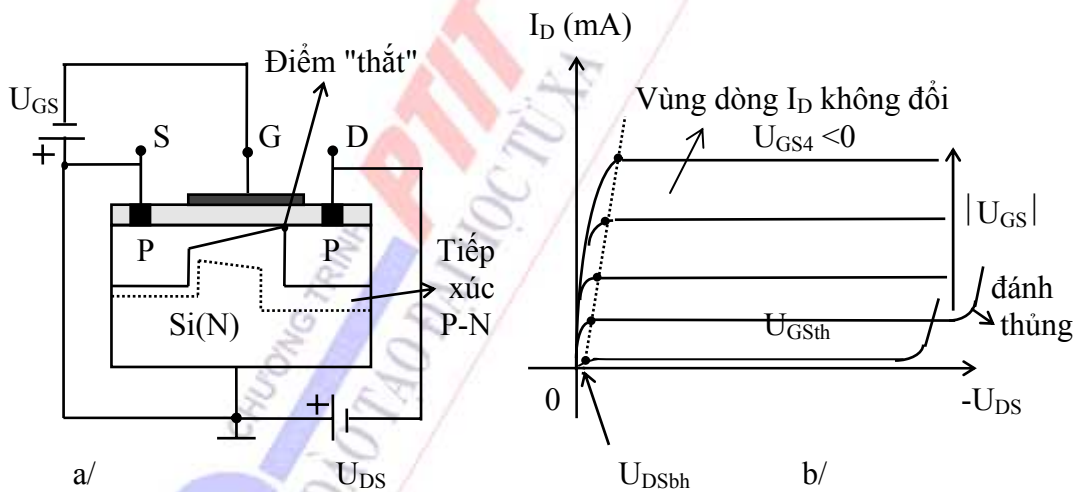
Họ đặc tuyến ra biểu thị mối quan hệ giữa dòng điện I_D và điện áp U_{DS} . Trong sơ đồ mắc cực nguồn chung thì I_D là dòng điện ra và điện áp U_{DS} là điện áp ra, ta có hàm biểu thị mối quan hệ này:

$$I_D = f(U_{DS}) \text{ khi } U_{GS} \text{ giữ không đổi}$$

Điện áp đặt lên cực cửa yêu cầu phải đủ lớn để kênh dẫn đã được hình thành. Sau đó, ta thay đổi điện áp U_{DS} và theo dõi sự thay đổi của dòng I_D theo điện áp U_{DS} . Ta có sơ đồ mạch nguyên lý đầu nối MOSFET kênh P mô tả trong hình 5- 20a.

Xét đường cong đặc tuyến ra ứng với trị số $U_{GS} < 0$, ví dụ U_{GS4} như trong hình 5- 20b, ta thấy:

Nếu $U_{DS} = 0$, thì các lỗ trống không chuyển động về cực máng nên dòng $I_D = 0$.



Hình 5- 20 : a - Sơ đồ nguyên lý của MOSFET kênh cảm ứng loại P.

b- Họ đặc tuyến ra của MOSFET kênh cảm ứng loại P.

Khi đặt $U_{DS} < 0$ có trị số nhỏ, thì điện thế tại mỗi điểm dọc theo kênh sẽ giảm dần cực nguồn S đến cực máng. Dưới tác dụng của điện áp U_{DS} các lỗ trống sẽ di chuyển từ cực nguồn đến cực máng tạo nên dòng điện I_D . Tiếp tục cho điện áp U_{DS} càng âm thì dòng I_D tăng nhanh và tăng tuyến tính với sự tăng của điện áp âm U_{DS} . Đồng thời, tiếp xúc P-N cũng được phân cực ngược tăng dần từ cực nguồn đến cực máng, bề dày lớp tiếp xúc tăng dần về phía cực máng và

kênh hẹp dần về phía cực máng, điện trở kênh tăng lên. Ta có đoạn dốc của đặc tuyến gọi là vùng thuận trở.

Khi trị số điện áp trên cực máng đạt trị số, mà tại đó bề dày của tiếp xúc P-N tăng lên chạm vào đáy của lớp oxit ở phía cực máng, thì ta gọi là điện áp cực máng bão hòa (U_{DSbh}). Lúc này dòng điện I_D đạt trị số bão hòa I_{Dbh} . Tiếp tục cho điện áp U_{DS} càng âm hơn, thì bề dày của tiếp xúc P-N càng tăng về phía cực máng, phần kênh bị "thắt" lại càng tăng lên và chiều dài của kênh bị ngắn lại, nhưng dòng điện không đổi và $I_D = I_{Dbh}$. Trong trường hợp này, độ gia tăng của điện áp cực máng $\Delta U_{DS} = |U_{DS}| - |U_{DSbh}|$ sẽ được đặt lên đoạn kênh bị "thắt". Và nó tác dụng trực tiếp lên phần kênh còn lại, kích thích sự chuyển dịch của các hạt lỗ trống từ cực nguồn vượt qua đoạn kênh bị "thắt" để về cực máng làm cho dòng điện I_D không đổi. ta có vùng dòng I_D không đổi.

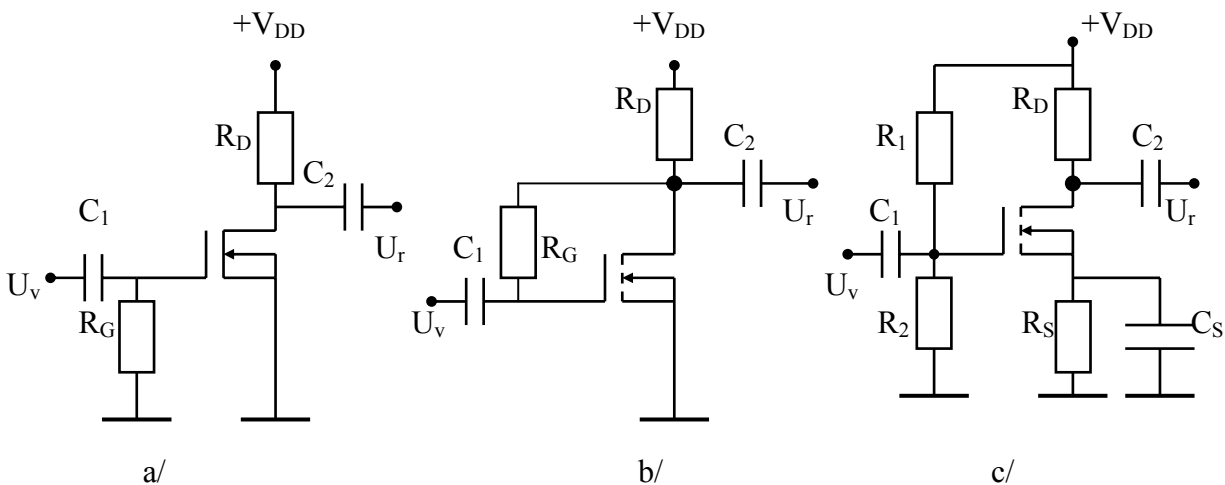
Nếu trị số âm của U_{DS} quá lớn thì có thể xảy ra hiện tượng đánh thủng lớp tiếp xúc P-N ở phía cực máng, làm cho dòng điện I_D tăng vọt lên.

5.3.3. Các cách mắc MOSFET trong các sơ đồ mạch khuếch đại

Giống như JFET, tranzito loại MOSFET cũng có 3 cách mắc cơ bản là cực nguồn chung, cực máng chung và cực cửa chung. Trong 3 cách mắc này thì cách mắc cực cửa chung không được sử dụng trên thực tế. Do vậy, thông thường ta sử dụng hai cách mắc nguồn chung và máng chung.

5.3.4. Phân cực cho MOSFET

Cũng như BJT và JFET, thông thường có 3 cách phân cực cho MOSFET như chỉ ra ở hình 5-21 là: a/ phân cực cố định, b/ phân cực hồi tiếp và c/ phân cực phân áp.

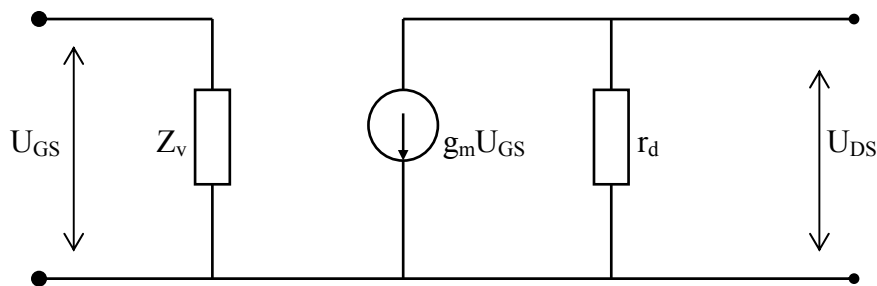


Hình 5 – 21: Các cách phân cực thông thường cho MOSFET

phân cực zero và $I_D = I_{D0}$. Đây là cách phân cực đơn giản nhất. Sơ đồ hình 5-21b là cách phân cực hồi tiếp cực máng cho MOSFET kênh cảm ứng. Do dòng $I_G = 0$ nên $U_{RG} = 0V$ và $U_r = U_v$. Sơ đồ hình 5-21c là mạch phân cực phân áp. Ở cách phân áp này có trở kháng vào $Z_v = R_1 // R_2$; $U_{GS} = U_G - I_D R_S$.

5.3.4. Sơ đồ mạch tương đương của MOSFET

Sơ đồ tương đương của MOSFET mô tả trong hình 5-22



Hình 5 – 22: Sơ đồ tương đương của MOSFET kênh cảm ứng

Trong sơ đồ, điện trở Z_v rất lớn ($Z_v = R_{GS} \approx \infty$) nên trong các sơ đồ mạch tương đương mạch vào gần như hở mạch. Điện trở r_d là trở kháng ra và nó là điện trở của kênh đối với thành phần xoay chiều.

□ *Ưu điểm của tranzito trường so với tranzito lưỡng cực:*

- Trở kháng vào của FET rất lớn: loại điều khiển bằng tiếp xúc P-N khoảng $10^{10} \div 10^{13} \Omega$; loại MOS khoảng $10^{13} \div 10^{15} \Omega$.
- Dòng điện qua cực cửa rất nhỏ:

$$\text{Loại JFET: } I_{G(\text{JFET})} = 1 \text{ PA} \div 1 \text{ nA}$$

$$\text{Loại MOS: } I_{G(\text{MOS})} = \left(\frac{1}{10} \div \frac{1}{20} \right) I_{G(\text{JFET})}$$

- Tính ổn định về nhiệt cao
- Tần số làm việc cao như ở đèn điện tử chân không có thể đến vài trăm MHz.
- Tạp âm nhỏ

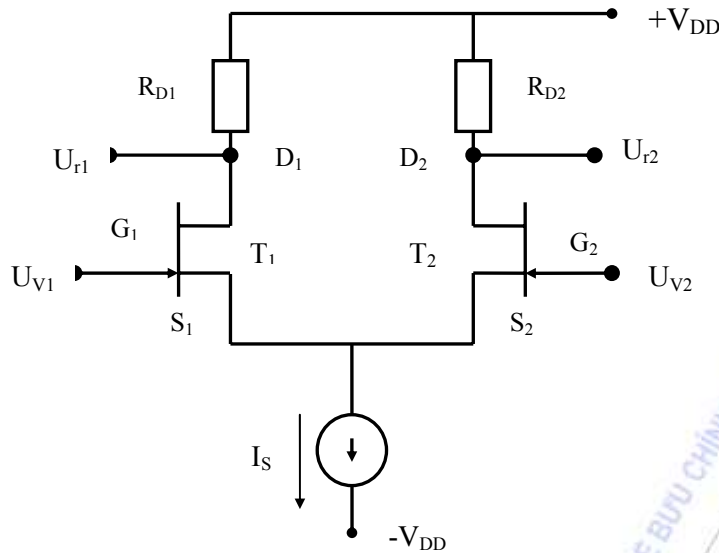
Tranzito trường được sử dụng giống như tranzito lưỡng cực nhưng do hệ số khuếch đại điện áp của nó nhỏ hơn nhiều nên chúng thường được dùng ở những mạch có yêu cầu về ổn định nhiệt độ cao, độ nhạy cao và tần số làm việc cao.

5.3.6. Một số ứng dụng của FET

Trong kỹ thuật điện tử, tranzito trường được sử dụng gần giống như tranzito lưỡng cực. Tuy nhiên, do một số các ưu nhược điểm của FET so với BJT đã nói ở trên, đặc biệt là hệ số khuếch đại thấp, mà tranzito trường thường được sử dụng ở những mạch thể hiện được ưu thế của chúng. Đặc biệt trong việc tích hợp IC thì tranzito trường được ứng dụng rất hiệu quả vì cho phép tạo ra các IC có độ tích hợp rất cao (LSI và VLSI). Sau đây ta sẽ xem xét một vài mạch ứng dụng của FET.

1. Tầng khuếch đại vi sai dùng FET.

Để tăng trở kháng vào (tới hàng chục $M\Omega$) người ta sử dụng tranzito trường như hình 5-23. Về nguyên lý hoạt động của mạch khuếch đại vi sai không có gì khác với mạch dùng tranzito lưỡng cực, chỉ có trở kháng vào của mạch dùng FET thì lớn hơn nhiều (có thể tới hàng trăm lần cao hơn so với dùng BJT).



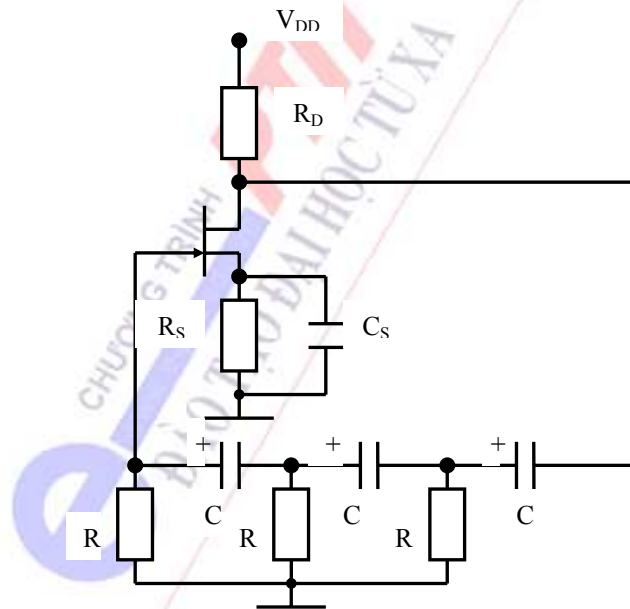
Hình 5 – 23: Mạch khuếch vi sai dùng FET

2. Mạch phát sóng RC dùng FET.(Hình 5-24)

Ở tầng khuếch đại có hệ số khuếch đại $K = g_m \cdot R_L$, trong đó g_m là độ dẫn của FET và

R_L là điện trở tải của mạch. $R_L = \frac{R_D r_d}{R_D + r_d}$

Tần số dao động của mạch: $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{6RC}}$



Hình 5 – 24: Mạch tạo dao động RC dùng FET

Mạch tạo dao động RC cho dao động có tần số đủ thấp. Trong khối khuếch, tín hiệu ra ngược pha với tín hiệu vào (FET mắc Nguồn chung) nên mạch hồi tiếp RC phụ thuộc tần số phải dịch pha tín hiệu 180° ở tần số phát sóng.

TÓM TẮT NỘI DUNG

Tranzito trường (FET) là loại tranzito đơn cực, dòng điện chạy trong cấu kiện do một loại hạt dẫn tạo nên. Việc điều khiển dòng điện ra do điện trường trên cực cửa quyết định. Khi thay đổi điện áp trên cực cửa sẽ làm thay đổi tiết diện kênh dẫn điện, và làm thay đổi mật độ hạt dẫn trong kênh dẫn đến sự thay đổi cường độ dòng điện chạy qua kênh.

Tranzito trường chia làm 2 loại chính: tranzito trường mối nối JFET và tranzito trường có cực cửa cách điện IGFET- thông thường gọi là MOSFET.

JFET có kênh dẫn nằm giữa 2 tiếp xúc P-N và 3 chân cực là cực Nguồn (S), cực Cửa (G), cực Máng (D). Có hai loại JFET là loại kênh N và loại kênh P. Hai loại này nguyên lý hoạt động giống nhau chỉ có chiều nguồn điện cung cấp cho các chân cực là ngược dấu nhau. Nguyên tắc cấp điện phân cực cho JFET sao cho hai tiếp xúc P-N phân cực ngược và hạt dẫn phải chuyển động từ cực nguồn về cực máng để tạo ra dòng điện cực máng. Khi thay đổi điện áp trên cực cửa thì dòng điện qua tranzito thay đổi theo qui luật hàm mũ như sau:

$$I_D = I_{D0} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GSngat}} \right)^2$$

Trong đó: I_D là dòng điện cực máng

I_{D0} là dòng điện máng khi $U_{GS} = 0V$

U_{GS} là điện áp đặt lên cực cửa

$U_{GS\ ngat}$ là điện áp ngắt.

Và ta có đường đặc tuyến điều khiển biểu diễn mối quan hệ này.

Khi điện áp đặt lên cực máng thay đổi sẽ làm cho dòng điện máng thay đổi theo một cách tuyến tính khi U_{DS} còn nhỏ ($U_{DS} < U_{DS\ bão\ hòa}$). Tranzito làm việc trong vùng thuần trở. Khi $U_{DS} > U_{DS\ bão\ hòa}$ thì tranzito chuyển sang hoạt động ở vùng bão hòa hay vùng có dòng điện không đổi (I_D bão hòa). Lúc này, khi điện áp trên cực máng thay đổi thì dòng điện qua tranzito không thay đổi.

MOSFET là tranzito trường có cực cửa cách điện với lớp cách điện là oxit silic. Có hai loại tranzito trường có cực cửa cách điện là loại có kênh sẵn và loại kênh cảm ứng. Mỗi loại lại có 2 loại là kênh loại N và kênh loại P. Nguyên lý hoạt động của loại kênh N và kênh P giống nhau chỉ có chiều của nguồn cung cấp vào các chân cực là ngược dấu nhau.

MOSFET kênh sẵn hoạt động ở hai chế độ: nghèo hạt dẫn và chế độ giàu hạt dẫn. Do khi chế tạo người ta đã chế tạo sẵn kênh, nên khi đặt điện áp lên cực cửa và cực máng thì tranzito có thể dẫn điện ($U_{GS} > U_{GSth}$).

MOSFET kênh cảm ứng là tranzito trường không chế tạo kênh dẫn điện, mà kênh sẽ được hình thành trong quá trình tranzito làm việc. Muốn tranzito dẫn điện, ta phải cấp điện lên cực cửa để tạo kênh. Khi $U_{GS} = U_{GSth}$ thì kênh mới hình thành. Sau khi có kênh thì dòng điện trong tranzito do các hạt dẫn điện chạy từ cực nguồn về cực máng sẽ chịu sự điều khiển của điện áp đặt lên cực cửa và cực máng. Mối quan hệ này được thể hiện qua công thức tính dòng điện cực máng sau:

$$I_D = k(U_{GS} - U_{GSth})^2$$

Trong đó k là hằng số và được tính bằng công thức:

$$K = \frac{I_{D(on)}}{(U_{GS(on)} - U_{GSth})^2}$$

Đặc tuyến truyền đạt của MOSFET kênh cảm ứng không xuất phát từ gốc tọa độ mà xuất phát từ giá trị U_{GSth} và cũng có đường cong hàm mũ bậc 2.

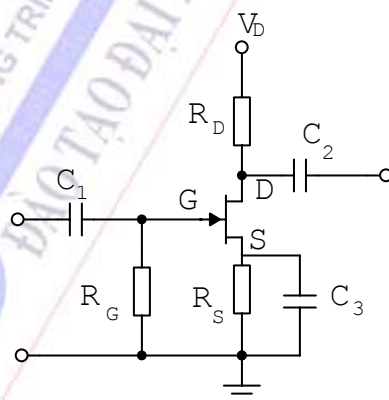
Đặc tuyến ra của MOSFET kênh cảm ứng cũng có 2 vùng hoạt động cơ bản là vùng thuận trở và vùng dòng điện không đổi.

Trong các sơ đồ mạch, tranzito trường cũng được phân cực như các tranzito lưỡng cực, và các phương pháp phân cực cũng tương tự. Trong phần này, chúng ta cần chú ý sử dụng các phương pháp tối ưu cho từng loại tranzito trường như đã trình bày trong mục 5.2.3 và 5.3.4.

So với tranzito lưỡng cực, tranzito trường có một số đặc điểm: Trở kháng vào rất lớn, dòng vào rất nhỏ ($I_G = 0$); điều khiển dòng điện bằng điện áp; tần số làm việc cao; tạp âm thấp; nhưng hệ số khuếch đại điện áp nhỏ hơn.

CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của JFET?
2. Nêu các tham số cơ bản của tranzito trường JFET?
3. Trình bày về các cách mắc cơ bản của JFET trong các sơ đồ mạch khuếch đại?
4. Trình bày cách phân cực cố định của JFET?
5. Trình bày phương pháp tự phân cực của JFET?
6. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của MOSFET kênh sẵn?
7. Giải thích các họ đặc tuyến điều khiển và họ đặc tuyến ra của MOSFET kênh sẵn?
8. Trình bày về cách phân cực cố định cho MOSFET kênh sẵn?
9. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của MOSFET kênh cảm ứng?
10. Nhận xét và giải thích các họ đặc tuyến điều khiển và họ đặc tuyến ra của MOSFET kênh cảm ứng?
11. Trình bày về phương pháp phân cực phân áp cho MOSFET?
12. Trình bày về cách phân cực hồi tiếp cho MOSFET?
13. So sánh ưu nhược điểm của các phương pháp phân cực cho FET.
14. Cho biết các ưu nhược điểm của FET so với BJT?
15. Cho sơ đồ mạch như hình vẽ:



Hình bài 15

- a. Hãy cho biết tranzito được mắc theo cách nào? Mạch định thiên kiểu gì?
- b. Nêu nhiệm vụ của các linh kiện trong mạch?

- c. Cho biết $V_D=30V$, điện áp ngắt $U_{GSngắt} = -2V$, dòng điện $I_{D0}=2mA$ (tại $U_{GS}=0V$), điểm làm việc tĩnh được chọn có dòng $I_D=1mA$.

Hãy tính:

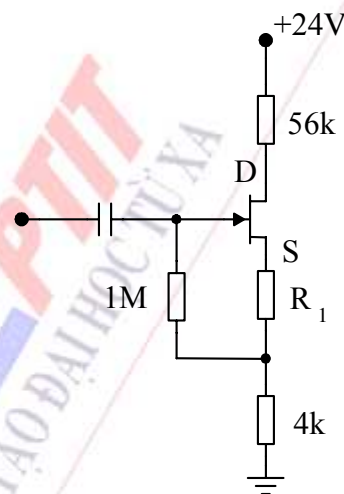
- Điện áp U_{GS} tại điểm làm việc tĩnh ?
- Trị số điện trở R_S (cho C_S rất lớn).

16. Cho bộ khuếch đại (như ở hình bài 15) sử dụng FET kênh N với

- Điện áp ngắt $U_{GSngắt} = -2V$
- Độ hỗ dẫn $g_{mo}=1,6mA/V$ (khi $U_{GS}=0V$)
- Dòng điện bão hòa $I_{D0}=1,65mA$ (ứng với khi $U_{GS}=0V$). Nguồn cung cấp $V_D=24V$.
- Tranzito làm việc với dòng điện tĩnh $I_D=0,8mA$.
- Giả sử $r_d \geq R_D$

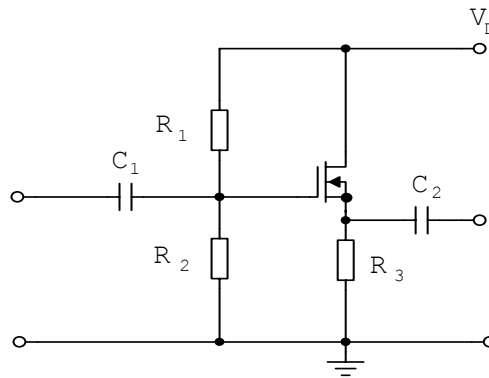
Hãy tính giá trị điện áp tĩnh U_{GS} , độ hỗ dẫn g_m , điện trở R_S , R_D nếu hệ số khuếch đại điện áp thấp nhất là 20dB (cho C_S rất lớn)

17. Tầng khuếch đại dùng tranzito FET kênh N có $I_{D0} = 1mA$, $U_{GSngắt} = -1V$. Nếu điện áp tĩnh $U_{DS} = 10V$, tính R_1



Hình bài 17

18. Cho sơ đồ mạch dùng tranzito trường MOS kênh cảm ứng loại N.



Hình bài 18

- a. Hãy cho biết tranzito được mắc theo cách nào ?
- b. Mạch định thiên kiểu gì ?
- c. Nêu nhiệm vụ của các linh kiện trong sơ đồ mạch.

19. Sơ đồ mạch cho như bài 18.

- Nếu cấp nguồn $V_D = 30V$; Điện áp ngưỡng $U_{GS} = 1,0V$; Dòng điện máng tại $U_{GS} = 2U_{GS\text{ngưỡng}}$ là $I_{D0} = 1,5mA$; $R_1 = 23k\Omega$; $R_2 = 7k\Omega$; Điểm làm việc tĩnh được chọn có $U_{GS} = 5V$.

Hãy tính: Trị số dòng điện tĩnh I_D

 Trị số điện trở R_3

20. Trong FET việc điều khiển dòng điện máng là do.....quyết định.

- a. dòng điện trên cực cửa; b. Điện áp trên cực cửa
- c. điện áp trên cực máng; d. dòng điện cực cửa và điện áp cực cửa

21. Trong FET dòng điện trên cực cửa có giá trị bằng:

- a. $I_G \approx 0mA$; b. $I_G = (50 \div 100)mA$; c. $I_G = \infty$; d. $0mA < I_G < 10mA$

22. Quan hệ giữa dòng điện I_D và điện áp U_{GS} trong JFET được thể hiện qua công thức sau:

- a. $I_D = I_{D0} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS\text{ngat}}} \right)^2$
- b. $I_D = I_{D0} \left(1 + \frac{U_{GS}}{U_{GS\text{ngat}}} \right)^2$
- c. $I_D = I_{D0} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS\text{ngat}}} \right)$
- d. $I_D = I_{D0} \left(1 + \frac{U_{GS}}{U_{GS\text{ngat}}} \right)$

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Giáo trình “Cấu kiện điện tử và quang điện tử”, Trần Thị Cẩm, Học viện CNBCVT, năm 2002.
2. “Electronic Principles”- Firth Edition, Albert Paul Malvino, Ph.D., E.E. McGraw-Hill.
3. Giáo trình “Kỹ thuật mạch điện tử”, Đỗ Xuân Thụ, NXB KHKT, năm 1999

CHƯƠNG 6: CẤU KIỆN THYRISTO

GIỚI THIỆU CHƯƠNG

Chương 6 giới thiệu về các cấu kiện có 4 lớp bán dẫn. Đây là các cấu kiện thuộc họ thyristo. Thyristo là cấu kiện bán dẫn khóa mở mạch mà tác động ở 2 trạng thái bền (khóa và mở) của nó tùy thuộc vào tính hồi tiếp dương của 4 lớp bán dẫn P-N-P-N.

Thyristo có thể là cấu kiện 2 chân cực, 3 chân cực hoặc 4 chân cực, có thể dẫn điện một chiều hoặc cả hai chiều. Trong họ thyristo quan trọng nhất là đèn chỉnh lưu Silic có điều khiển (SCR), Triac, Diac, v.v... Phần đầu tiên của chương sẽ giới thiệu về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của cấu kiện chỉnh lưu silic có điều khiển (SCR), về các đặc tính và tham số của nó. Cấu kiện thứ hai là triac, đây là cấu kiện dẫn điện hai chiều, các đặc tính và tham số của triac, đây là linh kiện quan trọng được dùng nhiều trong các mạch điều khiển nguồn điện. Cấu kiện Diac: cấu tạo và nguyên lý hoạt động, cũng như ứng dụng của nó.

Ngoài ra, trong chương 6 còn giới thiệu về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của tranzito đơn nối (UJT). Đây là cấu kiện có 3 chân cực nhưng chỉ có 1 lớp tiếp xúc P-N và do vậy nó cũng có các đặc tính và tham số rất khác với các tranzito thông thường.

NỘI DUNG

6.1. CHỈNH LƯU SILIC CÓ ĐIỀU KHIỂN (SCR).

6.1.1. Cấu tạo:

Chỉnh lưu silic có điều khiển, gọi tắt là SCR, gồm có 4 lớp bán dẫn P và N sắp xếp theo kiểu P-N-P-N. Ba chân cực được ký hiệu bằng các chữ A - anốt, K - catốt, và G - cực điều khiển. Cực anốt nối với phần bán dẫn P₁ trước, còn catốt nối với phần bán dẫn N₂ sau; cực điều khiển G thường được nối với phần bán dẫn P₂.

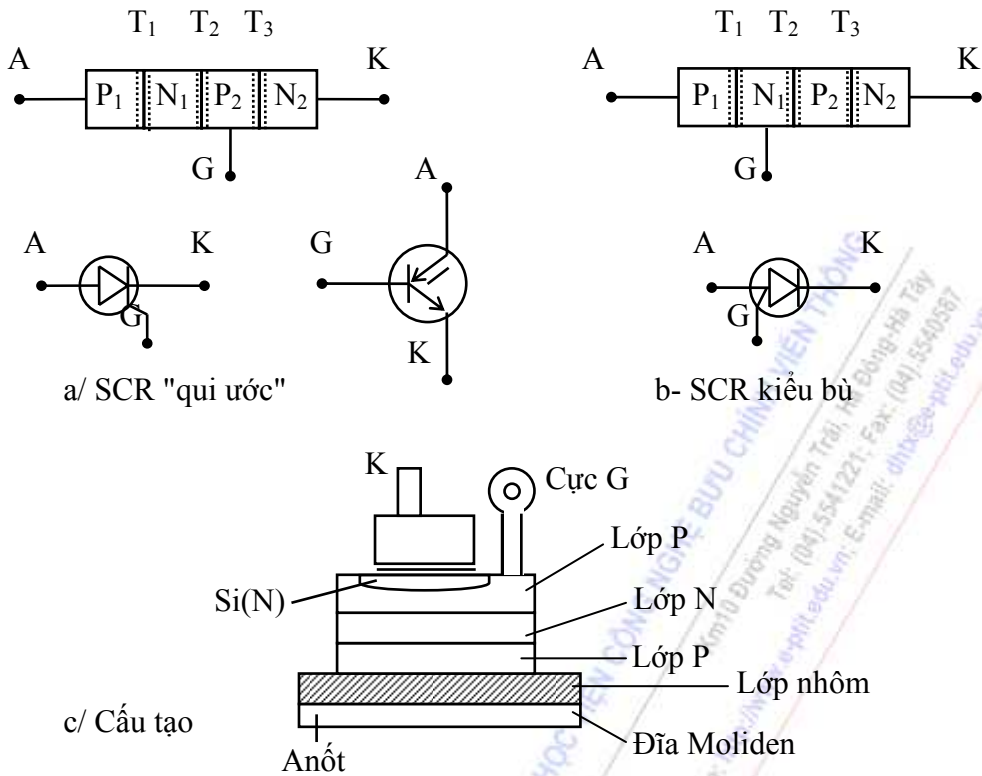
Đèn chỉnh lưu silic có điều khiển chỉ dẫn điện một chiều.

Mô hình cấu tạo và ký hiệu của SCR trong sơ đồ mạch mô tả trong hình 6- 1a,b,c.

Có hai loại SCR là:

- + SCR điều khiển theo catốt hay còn gọi là SCR theo qui ước (đơn giản gọi là SCR). Loại này cực điều khiển G được nối với phần bán dẫn P₂ sau.
- + SCR điều khiển theo anốt hay còn gọi là SCR kiểu bù. Loại này cực điều khiển G được nối với phần bán dẫn N₁ trước.

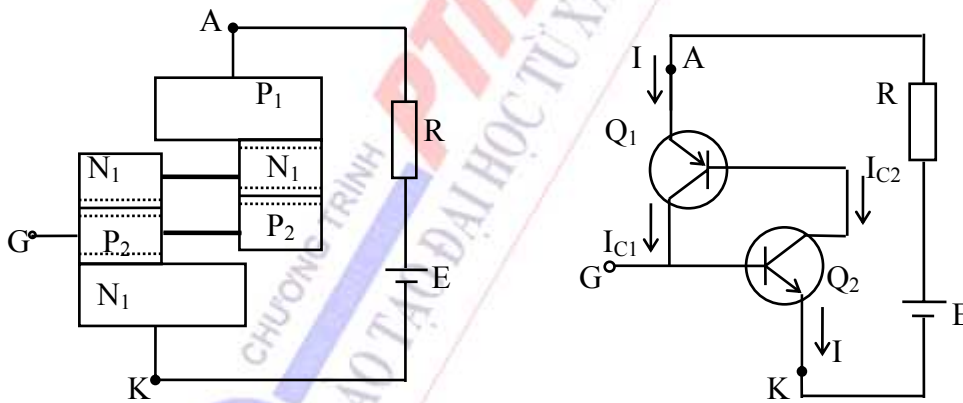
Thông thường người ta sử dụng loại SCR qui ước. Các SCR kiểu bù công suất thấp ít được dùng vì công suất tiêu thụ của nó cao hơn loại SCR qui ước. Sau đây, chúng ta nghiên cứu về nguyên lý làm việc của SCR qui ước, gọi tắt là SCR.



Hình 6- 1: Ký hiệu và cấu tạo của SCR.

6.1.2. Nguyên lý làm việc:

Sơ đồ mạch tương đương của SCR:



Hình 6- 2: Sơ đồ mạch tương đương của SCR

Theo cấu tạo, SCR có 3 tiếp xúc P- N được ký hiệu $T_1, T_2,$ và T_3

□ Khi cực điều khiển G để hở ($I_G = 0$):

Đặt điện áp nguồn cung cấp U_{AK} vào giữa anốt và catốt để phân cực cho SCR và lúc này nó được coi như 1 điốt:

+ Khi phân cực ngược ($U_{AK} < 0$) thì tiếp xúc T_1 và T_3 phân cực ngược, T_2 phân cực thuận nên qua SCR chỉ có dòng điện ngược rất nhỏ. Nếu tăng $|U_{AK}|$ lên cao đến điện áp đánh

thùng tiếp xúc T_1 và T_3 thì đây là hiện tượng đánh thủng kiểu thác lũ hay đánh thủng zener với điện áp đánh thủng $U_{đ.t.} = U_{đ.t.T1} + U_{đ.t.T3}$. Nếu xảy ra hiện tượng này thì coi như SCR hỏng.

+ Khi phân cực thuận ($U_{AK} > 0$) thì các tiếp xúc T_1 và T_3 phân cực thuận, tiếp xúc T_2 phân cực ngược và qua SCR cũng chỉ có dòng điện ngược rất nhỏ (hay SCR ở chế độ trở kháng cao).

Nếu tăng dần điện áp phân cực thuận $U_{AK} > 0$ lên đến điện áp đánh thủng tiếp xúc T_2 thì dòng điện qua SCR tăng vọt. Lúc này cả 3 tiếp xúc P-N đều coi như được phân cực thuận, điện trở của chúng rất nhỏ làm cho sụt áp trên SCR giảm hẳn xuống còn khoảng từ 1 ÷ 2 V. Trị số điện áp mà tại đó xảy ra đánh thủng tiếp xúc T_2 được gọi là điện áp đỉnh khuỷu U_{BO} . Trị số U_{BO} này thường vào khoảng từ 200 ÷ 400V. Vùng điện áp này ta gọi là vùng chặn thuận.

Như vậy, khi SCR đã dẫn điện thì dòng điện qua nó không thể khống chế được trong SCR mà nó được hạn chế nhờ điện trở mắc ở mạch ngoài.

Theo sơ đồ mạch tương đương ở hình 6- 2 của SCR ta thấy, khi SCR dẫn điện thì qua nó có dòng điện I chạy từ A đến K và giữa các tiếp xúc P-N của 2 tranzito Q_1 và Q_2 có các dòng điện vào và ra là:

$$I_{C1} = I_{B2} \text{ và } I_{C2} = I_{B1} \quad (6.1)$$

Trong đó:

$$I_{C1} = \alpha_1 I + I_{CB01}$$

$$I_{C2} = \alpha_2 I + I_{CB02}$$

Và α_1, α_2 là hệ số khuếch đại thác lũ alpha (hay số nhân thác lũ).

Dòng điện tổng qua SCR là:

$$I = I_{C1} + I_{C2} = I(\alpha_1 + \alpha_2) + I_{CB01} + I_{CB02} \quad (6.2)$$

Thay:

$$I_{CB01} + I_{CB02} = I_{CB0}$$

I_{CB0} là dòng điện ngược bão hòa của tiếp xúc P-N.

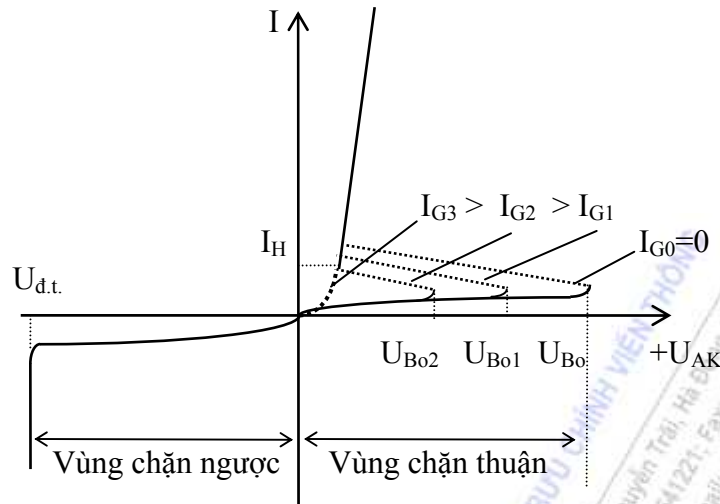
Vậy ta có:

$$I = \frac{I_{CB0}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)} \quad (6.3)$$

Như vậy, khi $(\alpha_1 + \alpha_2) = 1$ thì dòng điện tăng vọt và không giới hạn được, nó tương ứng với tiếp xúc T_2 được phân cực thuận. Lúc này, SCR dẫn điện và có nghĩa là cả hai tranzito Q_1 và Q_2 đều dẫn bão hòa. Lúc này, SCR ở chế độ "ON": đóng mạch, hệ số khuếch đại α của hai tranzito trở nên nhỏ và đạt được điều kiện $(\alpha_1 + \alpha_2) = 1$.

□ Khi ta đưa dòng điện điều khiển vào cực điều khiển G ($I_G \neq 0$):

Khi cho một dòng điện vào cực điều khiển G, nó có thể làm tăng hệ số α mà không phụ thuộc vào điện áp và dòng điện. Như vậy, dòng I_G có tác dụng gia tăng hạt dẫn thiểu số cho lớp bán dẫn P_2 để cho tiếp xúc T_2 thông sớm hơn. Tùy theo trị số của dòng I_G mà điện áp đánh thủng tiếp xúc T_2 và trị số dòng điện duy trì I_H thay đổi. Khi I_G có giá trị càng lớn thì U_{BO} càng nhỏ và I_H càng nhỏ. Quan hệ này được thể hiện qua đặc tuyến Vôn-Ampe của SCR biểu diễn trong hình 6-3.



Hình 6-3 : Đặc tuyến vôn-ampe của SCR

Trong trường hợp này dòng điện qua SCR có biểu thức tính là:

$$I = \frac{\alpha_2 I_G + I_{CBo}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)} \tag{6.4}$$

Điện áp, mà tại đó SCR chuyển từ chế độ ngắt sang chế độ dẫn được điều khiển bằng tín hiệu rất nhỏ trên cực điều khiển. Ở các SCR công suất lớn, để kích thích cho SCR hoạt động ta dùng dòng điện I_G có hiệu ứng nhỏ. Còn ở các SCR công suất thấp, dòng I_G được sử dụng để bật và tắt SCR.

Khi SCR đã dẫn thì dù ta cắt dòng điện điều khiển I_G , nó vẫn tiếp tục dẫn điện. Khi SCR dẫn điện ta gọi là nó đã được khởi động. SCR chỉ ngừng dẫn khi dòng điện bị giảm xuống dưới mức I_H hoặc điện áp đặt lên SCR ở nửa chu kỳ âm.

Khi SCR ngừng dẫn, muốn nó hoạt động trở lại ta phải kích khởi động cho nó.

Như vậy ta thấy, trên thực tế, khi đặt điện áp U_{AK} nào đó lên SCR thì chỉ có dòng điện ngược chạy qua SCR, còn dòng điều khiển I_G sẽ tạo ra một thành phần dòng điện kích thích sao cho tổng các hệ số khuếch đại kiểu thác lũ của dòng điện $(\alpha_1 + \alpha_2) \rightarrow 1$ thì SCR sẽ khởi động.

Khi U_{AK} thuận tăng lên thì dòng điều khiển cần thiết để khởi động SCR sẽ giảm xuống.

Đặc điểm của SCR:

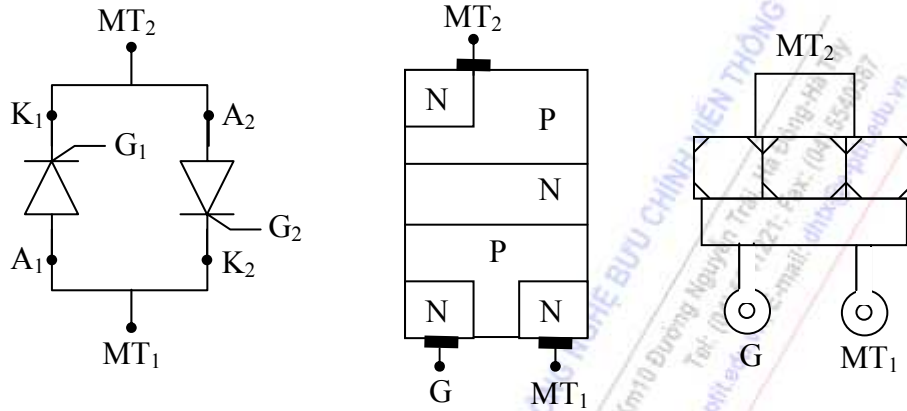
- Thời gian mở và tắt (hay thời gian phục hồi t_p) rất nhanh (vài μs đến vài chục μs).
- Cường độ dòng điện cao (hàng nghìn ampe).
- Điện áp cao (hàng nghìn Vôn).
- Sụt áp giữa 2 cực nhỏ (từ 1 ÷ 2V).
- Khả năng điều khiển lớn

6.2. TRIAC (Triode Alternative Current).

Là một cấu kiện thuộc họ Thyristo. Triac có 3 chân cực và có khả năng dẫn điện hai chiều khi có tín hiệu kích khởi động (dương hoặc âm).

6.2.1. Cấu tạo của triac:

Do tính dẫn điện hai chiều nên hai đầu ra chính của triac dùng để nối với nguồn điện được gọi là đầu ra MT_1 và MT_2 . Giữa hai đầu ra MT_1 và MT_2 có năm lớp bán dẫn bố trí theo thứ tự P-N-P-N như SCR theo cả 2 chiều. Đầu ra thứ ba gọi là cực điều khiển G. Như vậy triac được coi như hai SCR đấu song song ngược chiều với nhau, xem hình 6-4.

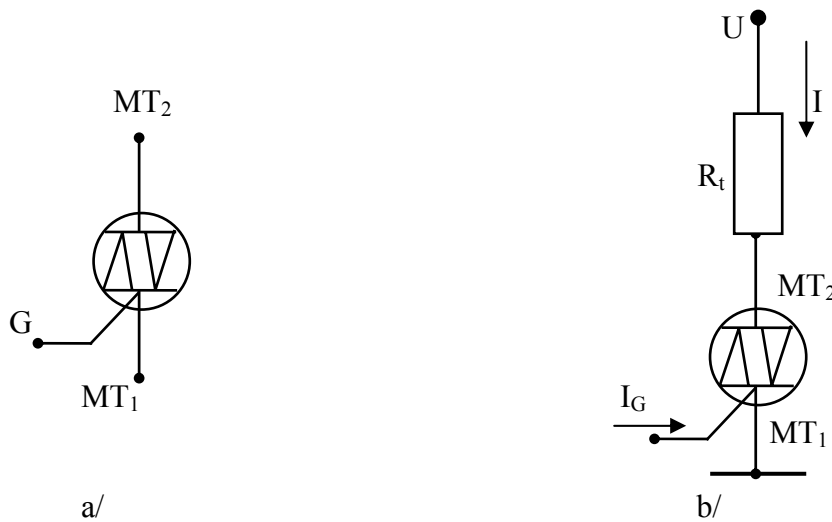


Hình 6- 4: Cấu tạo của triac

6.2.2. Nguyên lý làm việc:

Theo quy ước, tất cả các điện áp và dòng điện đều quy ước theo đầu ra chính MT_1 .

Như vậy, điện áp nguồn cung cấp cho MT_2 phải dương (hoặc âm) hơn so với MT_1 . Còn tín hiệu điều khiển được đưa vào giữa hai chân cực G và chân cực MT_1 . Ký hiệu và sơ đồ nguyên lý đầu triac trong mạch mô tả trong hình 6-5a,b.



Hình 6 – 5: Ký hiệu (a) và sơ đồ nguyên lý (b) của triac

Đặc tuyến Vôn-Ampe của triac được biểu diễn trong hình 6- 6. Đặc tuyến thể hiện khả năng dẫn điện hai chiều của triac.

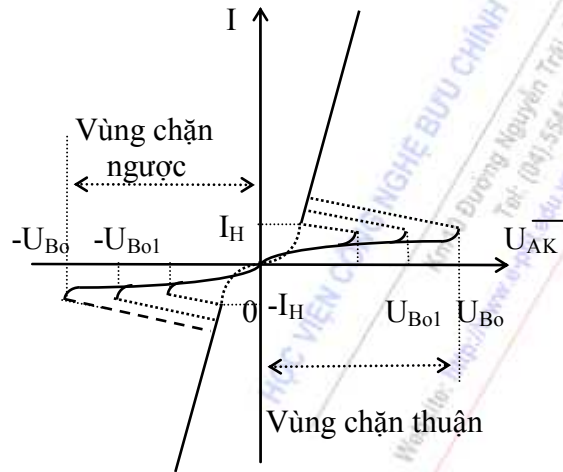
Phương pháp kích công của triac cũng giống như SCR chỉ khác là có thể dùng cả dòng dương hay dòng âm cho cả phần tư thứ I và phần tư thứ III của đặc tuyến Vôn- Ampe của triac.

Có hai phương pháp kích khởi động cho triac hoạt động nhạy nhất là:

- Cực công G dương và cực MT₂ dương so với MT₁
- Cực công G âm và cực MT₂ âm so với MT₁

Trong mạch điện, một triac cho qua 2 nửa chu kỳ của một điện áp xoay chiều và điều khiển bằng một cực điều khiển G.

Khác với SCR, triac tắt trong một khoảng thời gian rất ngắn lúc dòng điện tải đi qua điểm O. Nếu mạch điều khiển của triac có gánh là điện trở thuần thì việc ngắt mạch không có gì khó khăn. Nhưng nếu tải là một cuộn cảm thì vấn đề làm tắt triac trở nên khó khăn vì dòng lệch pha trễ. Thông thường để tắt Thyristo người ta sử dụng cái ngắt điện hoặc mạch đảo lưu dòng điện trong mạch.



Hình 6- 6 : Đặc tuyến Vôn- Ampe của triac

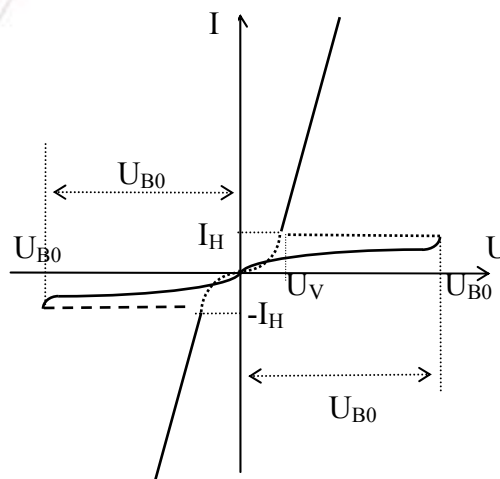
6.3. DIAC

6.3.1. Cấu tạo và ký hiệu của diac

Diac là cấu kiện 4 lớp bán dẫn có 2 chân cực A₁ và A₂. Cấu trúc của diac giống như triac nhưng không có cực điều khiển G nên diac cũng dẫn điện hai chiều.. Hình 6-7 giới thiệu ký hiệu của diac trong các sơ đồ mạch.



Hình 6 – 7: Ký hiệu của diac



Hình 6- 8 : Đặc tuyến Vôn- Ampe của diac

6.3.2. Nguyên lý hoạt động của diac

Do không có cực điều khiển nên việc kích mở cho diac thực hiện bằng cách nâng cao điện áp đặt vào hai cực. Khi điện áp nguồn đạt đến giá trị U_{B0} thì diac dẫn điện và điện áp trên nó sụt xuống chỉ còn 1 đến 2 vôn (U_V).

Trong ứng dụng, diac thường dùng làm phần tử mở cho triac dẫn. Khi diac dẫn điện, độ sụt áp trên nó là:

$$\Delta U = U_{B0} - U_V$$

được đưa vào cực điều khiển của triac như là xung kích để làm cho triac dẫn điện. Thông thường, trên thực tế ứng dụng, diac và triac được tổ hợp thành một linh kiện duy nhất.

6.3.3. Ứng dụng của Thyristo.

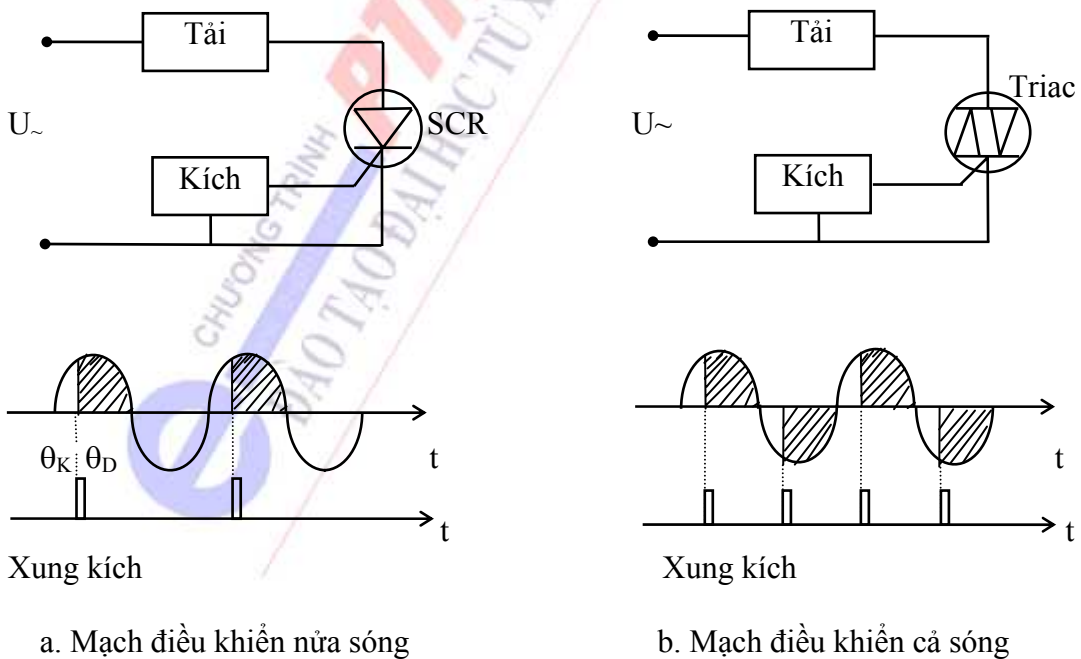
Thyristo được dùng như một chuyển mạch điện tử. Nó thường được dùng để điều khiển nguồn điện, điều khiển công suất cho lò nung, điều khiển tốc độ ô tô, điều khiển đèn tắt - sáng, điều khiển mô tơ điện một chiều v.v... Sau đây chúng ta xem xét một thí dụ về mạch kiểm soát pha (hay còn gọi là mạch điều khiển nguồn):

Đây là quá trình tắt mở dùng để nối nguồn điện xoay chiều cho tải trong một phần của mỗi chu kỳ xem hình 6-8: a/ mạch điều khiển nửa chu kỳ dùng SCR và b/ mạch điều khiển cả chu kỳ dùng triac.

Trong đó: Điểm A là thời điểm kích

Góc θ_K là góc kích và θ_D là góc dẫn (thực tế $\theta_K + \theta_D = 180^\circ$)

Bằng cách thay đổi góc kích hoặc góc dẫn chúng ta sẽ kiểm soát được công suất tiêu thụ của tải. Góc dẫn cực đại $\theta_{Dmax} = 180^\circ$; góc dẫn cực tiểu $\theta_{Dmin} = 90^\circ$



a. Mạch điều khiển nửa sóng

b. Mạch điều khiển cả sóng

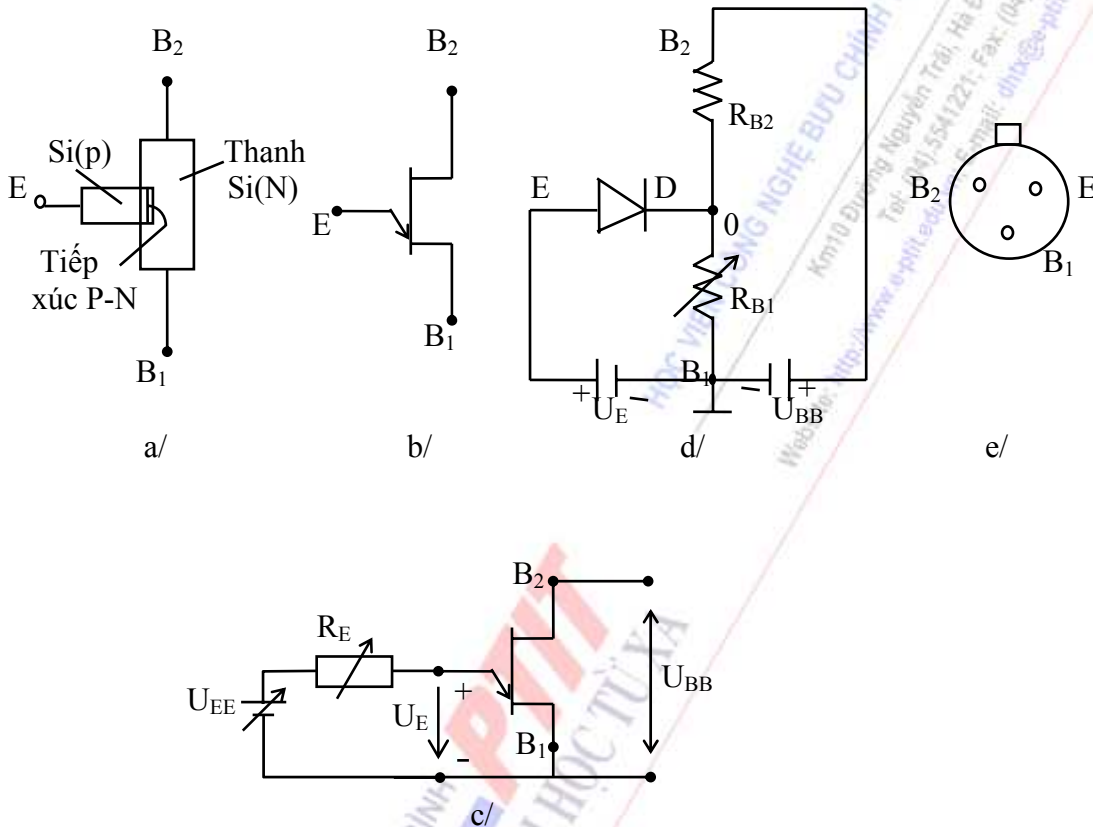
Hình 6 - 9 : Mạch điều khiển nguồn

6.4. TRANZITO ĐƠN NÓI (UJT - UNITJUNCTION TRANSISTOR)

6.4.1. Cấu tạo của tranzito đơn nói.

UJT là linh kiện bán dẫn có một tiếp xúc P-N và 3 chân cực. Nó gồm một thanh bán dẫn Silic loại N có gắn thêm 1 miếng bán dẫn Silic loại P để tạo thành một tiếp xúc P-N.

Chân cực nối với mẫu bán dẫn P gọi là cực phát E. Hai đầu còn lại của thanh Silic loại N được đưa ra 2 chân cực gọi là Nền 1 (ký hiệu B₁) và Nền 2 (ký hiệu B₂).



Hình 6- 10: a- Cấu tạo; b- ký hiệu;
 c/ Sơ đồ nguyên lý; d- sơ đồ tương đương của UJT
 e- bố trí chân cực của UJT

6.4.2. Nguyên lý làm việc của UJT.

Trong sơ đồ tương đương, diốt được thay thế cho tiếp xúc P-N; R_{B1} là điện trở của phần bán dẫn nền 1; R_{B2} là điện trở của phần bán dẫn nền 2.

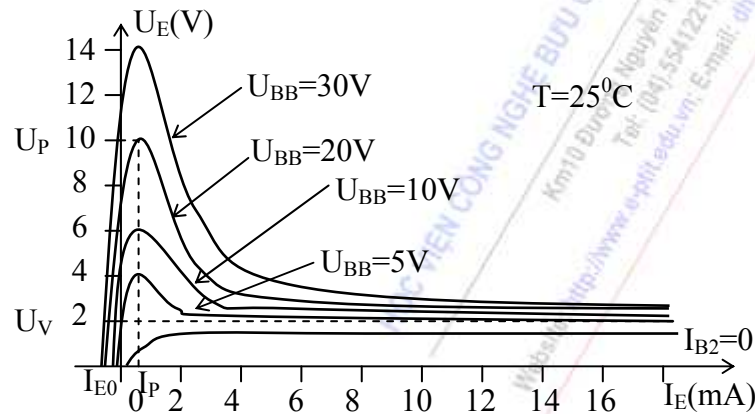
Để cho tranzito đơn nói hoạt động ta phân cực cho nó như hình 6- 9c. Cung cấp điện áp dương cho B₂ so với B₁ (U_{BB} > 0). Như vậy, nếu hở mạch cực phát thì R_{B1} và R_{B2} là bộ phân áp cho nguồn U_{BB}. Do đó, điện áp tại điểm O sẽ là:

$$U_O = \frac{U_{BB} R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} = \eta U_{BB} \tag{6.5}$$

Trong đó $\eta = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}}$ gọi là hệ số thuần khiết

- Nếu $U_E < \eta U_{BB}$ ($U_E < U_O$) thì tiếp xúc P-N (điốt D) được phân cực ngược và qua nó chỉ có dòng điện ngược I_{EO} rất nhỏ. Ta có vùng ngắt của đặc tuyến vôn- ampe của UJT.
- Khi $U_E > \eta U_{BB}$, tiếp xúc P-N được phân cực thuận, dòng I_E tăng dần. Khi $U_E > U_P$ (U_P gọi là điện áp kích khởi cho UJT hoạt động hay gọi là điện áp đỉnh) thì dòng I_E tăng nhanh. Dưới tác dụng của điện trường, các lỗ trống chuyển động từ cực phát E xuống Nền 1 (B_1), còn các điện tử chuyển động từ Nền 1 đến phần phát tạo nên dòng điện I_E . Do sự gia tăng ồ ạt của các hạt dẫn trong Nền 1 nên điện trở R_{B1} giảm trong khi dòng điện I_E tăng và điện áp U_E giảm nên ta có vùng điện trở âm của đặc tuyến vôn- ampe.

Ta có đặc tuyến vôn- ampe của UJT mô tả trong hình 6 -10:



Hình 6-11: Đặc tuyến Vôn – Ampe của UJT

Đặc tuyến Vôn- Ampe biểu thị quan hệ giữa dòng điện cực phát I_E với điện áp trên cực phát U_E . Mối quan hệ này được biểu diễn bằng hàm sau:

$$I_E = f(U_E)$$

Nếu cực nền 2 (B_2) hở mạch, nghĩa là dòng $I_{B2}=0$ thì quan hệ Vôn-Ampe lõi vào là đặc tuyến Vôn-Ampe của tiếp xúc P-N:

$$I_E = I_{EO} \left(e^{\frac{U_E}{V_T}} - 1 \right)$$

và ta có đường đặc tuyến ứng với $I_{B2}=0$ trong hình

Qua hình 6-10 ta thấy, khi thay đổi điện áp đặt lên giữa nền 1 và nền 2 (U_{BB}) thì điện áp đỉnh (U_P) cũng thay đổi theo và đưa đặc tuyến dịch lên trên.

Tại vùng điện trở âm, dòng điện chỉ bị giới hạn bởi các linh kiện mắc ở mạch ngoài, do đó mạch ngoài phải bảo đảm để dòng điện $I_E < I_{E_{max}}$

Khi I_E tăng đến I_V , muốn tăng thêm dòng I_E lên nữa ta buộc phải tăng U_E vì số lượng lỗ trống và điện tử đã đạt đến tình trạng di chuyển bão hòa, đặc tuyến chuyển sang vùng điện trở dương.

Bảng 6.1 : Biến thiên của điện trở nền 1 (R_{B1}) theo I_E của một UJT tiêu biểu.

I_E (mA)	0	1	2	5	10	20	50
R_{B1} (Ω)	4600	2000	900	240	150	90	40

6.4.3. Các tham số của tranzito đơn nối.

- Điện trở liên nền $R_{BB} = R_{B1} + R_{B2} = 4K\Omega \div 12K\Omega$ tùy thuộc vào loại UJT và phụ thuộc vào nhiệt độ.
- Hệ số thuần khiết $\eta = \frac{R_{B1}}{R_{BB}} = 0,45 \div 0,82$ không phụ thuộc nhiệt độ. Nó phụ thuộc vào vật liệu chế tạo linh kiện.
- Điện áp đỉnh: $U_P = \eta U_{BB} + U_D = \eta U_{BB} + 0,7V$ (6.6)
 Trong đó: U_{BB} - điện áp đặt vào giữa 2 Nền B_1 và B_2 .
 U_D - điện áp ngang qua điôt ($U_D = 0,7V$).
 Điện áp đỉnh là trị số điện áp đặt lên cực phát để UJT bắt đầu dẫn.
- Dòng điện đỉnh I_P là dòng điện chạy qua UJT tương ứng với trị số điện áp đỉnh U_P đặt lên cực phát E (hay còn gọi là dòng điện kích khởi). Trị số của I_P chỉ vài μA .
- Điện áp trung $U_V \approx 2V$ là điện áp thấp nhất nối vùng điện trở âm với vùng điện trở dương của đặc tuyến.
- Dòng điện trung I_V là trị số dòng điện tương ứng với điện áp $U_E = U_V$.
- Điện áp bão hòa U_{Ebh} là điện áp ứng với dòng $I_E = 50mA$ và điện áp $U_{BB} = 10v$.

6.4.4. Ứng dụng.

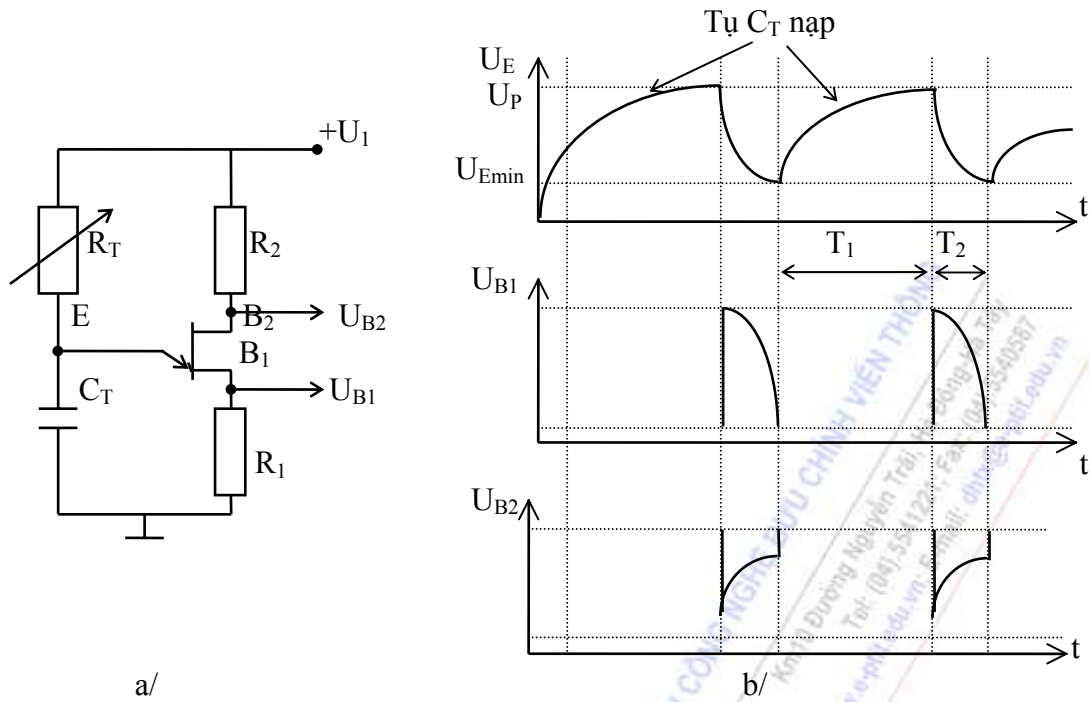
Người ta thường sử dụng đoạn đặc tuyến điện trở âm để tạo các mạch dao động. Cho nên UJT thường được dùng trong các mạch phóng nạp tạo xung, trong mạch định thời các mạch báo động và quan trọng nhất là dùng để kích khởi cho đèn chỉnh lưu Silic có điều khiển hoạt động.

Ví dụ: UJT sử dụng trong mạch dao động phóng nạp (hình 6- 11)

Trong sơ đồ có nguồn cung cấp U_1 , tải R_T , tụ phóng nạp C_T , trên R_1 ta lấy xung ra, R_2 là điện trở bù nhiệt. Ta có thể tính điện trở R_2 theo công thức sau:

$$R_2 = \frac{0,7 R_{BB}}{U_1} \quad (6.7)$$

Ngoài ra, điện trở R_2 còn có nhiệm vụ giới hạn dòng khi điện áp U_1 quá lớn.



Hình 6- 12 : a- Sơ đồ mạch tạo dao động phóng nạp dùng UJT.
 b- Dạng sóng tại các chân cực E, B₁ và B₂ .

Tần số của dao động lấy ra trên R₁ (hoặc trên R₂):

$$f = \frac{1}{T_1 + T_2} \approx \frac{1}{T_1} \quad (6. 8)$$

(vì $T_1 \gg T_2$)

Trong đó: T₁ - thời gian UJT ngừng dẫn (thời gian tụ C_T nạp điện)
 T₂ - thời gian UJT dẫn điện (thời gian tụ C_T phóng điện)

Điều kiện để mạch hoạt động tốt như sau:

+ Đường tải R_T phải cắt đặc tuyến tại một điểm ở vùng điện trở âm hay nói cách khác dòng điện chạy qua UJT phải có trị số:

$$I_V > I > I_P$$

hoặc tải có giá trị là $\frac{U_{BB} - U_P}{I_P} > R_T > \frac{U_{BB} - U_V}{I_V}$

+ Để không làm giảm U_E cần có C_T ≥ 0,01μF

+ Nếu C_T > 1μF, nên thêm điện trở nối tiếp với C_T để bảo vệ cực phát.

TÓM TẮT NỘI DUNG

Thyristo là các cấu kiện có 4 lớp bán dẫn được sắp xếp theo trật tự P-N-P-N. Chúng là cấu kiện có 2 chân cực, 3 chân cực hoặc 4 chân cực; có khả năng dẫn điện một chiều hoặc hai chiều. Đây là các cấu kiện điện tử đóng ngắt mạch mà hai trạng thái đóng và ngắt mạch của nó phụ thuộc vào tính hồi tiếp dương của 4 lớp bán dẫn trên.

Họ thyristo gồm có các cấu kiện như chỉnh lưu silic có điều khiển (SCR), triac, diac, chuyển mạch silic có điều khiển...

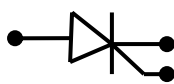
Chỉnh lưu silic có điều khiển (SCR) là cấu kiện có 4 lớp bán dẫn được sắp xếp theo thứ tự P₁-N₁-P₂-N₂ và hai ba chân cực: A-nốt đấu vào bán dẫn P₁, Ka-tốt đấu vào bán dẫn N₂, cực điều khiển G đấu vào bán dẫn P₂. SCR chỉ dẫn điện một chiều khi cấp điện áp thuận vào giữa 2 cực A-K (U_{AK}>0). Tùy vào dòng điện điều khiển I_G lớn hay nhỏ mà vùng chặn thuận có các giá trị khác nhau. Nếu I_G càng lớn thì giá trị điện áp đỉnh khuỷu (hay điện áp khởi động) của SCR càng nhỏ. Đặc tuyến Vôn-Ampe của SCR có đoạn chặn thuận và đoạn chặn ngược. Nếu điện áp đặt lên SCR bằng hoặc vượt vùng chặn ngược thì cấu kiện bị đánh thủng và bị hỏng; còn bằng hoặc vượt vùng chặn thuận thì cấu kiện sẽ dẫn điện và SCR được kích khởi động, dòng điện chạy qua SCR tăng vọt và nó chỉ bị khống chế bởi điện trở mắc ở mạch ngoài. Điều kiện để SCR dẫn điện là hệ số nhân thác lũ α₁α₂=1. Khi SCR đã dẫn điện nếu ta ngắt dòng điều khiển thì nó vẫn dẫn điện. SCR chỉ ngừng dẫn khi điện áp nguồn chuyển sang nửa chu kỳ âm hoặc dòng điện giảm xuống dưới giá trị dòng điện duy trì I_H. Khi muốn SCR dẫn điện ta lại phải kích cho nó dẫn điện.

Triac là cấu kiện cũng có 3 chân cực nhưng dẫn điện hai chiều. Các chân cực được gọi là các đầu ra MT₁, MT₂ và cực điều khiển G. Triac được cấu tạo từ 5 lớp bán dẫn sắp xếp theo trật tự N-P-N-P-N sao cho tạo ra được cấu trúc như là 2 SCR đấu song song và ngược chiều nhau. Việc kích cho triac dẫn điện có thể được thực hiện bằng 4 cách nhưng thông thường người ta sử dụng 2 cách nhạy nhất là MT₂ dương hơn MT₁ và cực G dương hơn MT₁ hoặc MT₂ và cực G cùng âm hơn MT₁. Khi triac đã dẫn điện, muốn nó ngừng dẫn ta phải giảm dòng điện qua nó xuống dưới giá trị dòng điện duy trì I_H hoặc dùng cái ngắt điện. Việc cho triac ngừng dẫn khó khăn hơn so với SCR vì nó dẫn điện cả hai chiều.

Tranzito đơn nối (UJT) là tranzito chỉ có một lớp tiếp xúc P-N và ba chân cực là cực Phát (E), Nền 1 (B₁) và Nền 2 (B₂). Nguyên lý hoạt động của UJT khác hẳn với các tranzito khác đã học. Khi điện áp đặt lên cực phát phải bằng hoặc lớn hơn giá trị điện áp đỉnh (U_P) thì UJT mới dẫn điện, nhưng sụt áp trên nó giảm và đặc tuyến Vôn-Ampe có đoạn điện trở âm. Điện áp đỉnh U_P = ηU_{BB} + 0,7V; trong đó η là hệ số thuần khiết, U_{BB} là điện áp giữa Nền2 và Nền1. Khi dòng điện đạt đến giá trị I_V –dòng điện trưng thì sụt áp trên UJT giảm đến trị số điện áp trưng U_V. Từ giá trị này UJT chuyển sang vùng điện trở dương của đặc tuyến. Người ta sử dụng đoạn điện trở âm để lắp các mạch tạo xung phóng nạp.

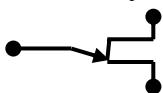
CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Trình bày cấu tạo, ký hiệu và nguyên lý hoạt động của SCR?
2. Hãy giải thích về đặc tuyến Vôn-Ampe của SCR?
3. Trình bày về điều kiện để SCR dẫn điện?
4. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của triac?
5. Hãy vẽ đặc tuyến Vôn-Ampe và chỉ ra các vùng kích nhạy nhất cho triac trên đồ thị?
6. Trình bày về cấu tạo, ký hiệu và đặc tuyến Vôn-Ampe của diac?
7. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của UJT?
8. Nêu các tham số của UJT và ứng dụng của nó?
9. Ký hiệu sau đây là của cấu kiện nào?



- a. SCR; b. Triac; c. Diac; d. UJT

10. Ký hiệu sau đây là của cấu kiện nào?



- a. SCR; b. Triac; c. UJT; d. FET

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- 1- Giáo trình “Cấu kiện điện tử và quang điện tử” – Trần Thị Cẩm, Học viện CNBCVT, năm 2002.
- 2- “Các linh kiện bán dẫn thông dụng”- Nguyễn Như Anh và nhóm tác giả, NXB KHKT, năm 1988.



CHƯƠNG 7 VI MẠCH TÍCH HỢP

GIỚI THIỆU CHƯƠNG

Các điốt và tranzito tuy rất nhỏ nhưng khi ghép với nhiều linh kiện thụ động để thực hiện một chức năng nào đó thì nó vẫn thành một khối lớn. Ngoài ra, do chế tạo rời rạc nên các tham số của tranzito cũng không giống nhau tuy cùng ký hiệu. Do đó, khi ghép nhiều linh kiện rời rạc sẽ không bảo đảm độ tin cậy cao và không kinh tế. Vì vậy hướng phát triển của kỹ thuật điện tử sau bán dẫn là kỹ thuật vi điện tử.

Chương 7 này sẽ giới thiệu về khái niệm và phân loại vi mạch tích hợp, về các phương pháp chế tạo mạch tích hợp bán dẫn như qui trình quang khắc, qui trình plana và qui trình công nghệ epitaxi-plana. Trong chương này cũng trình bày về các phương pháp chế tạo các cấu kiện điện tử trong vi mạch bán dẫn: điện trở, tụ điện, cuộn cảm, tranzito và điốt cũng như các chi tiết khác. Đồng thời, chương 7 cũng trình bày về đặc điểm và các tính chất của một số loại vi mạch tích hợp hiện đang được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực kỹ thuật điện tử như vi mạch tuyến tính, vi mạch số.

NỘI DUNG:

7.1. KHÁI NIỆM VÀ PHÂN LOẠI VI MẠCH TÍCH HỢP

7.1.1. Định nghĩa vi mạch và các ưu khuyết điểm.

a. Định nghĩa:

Một vi mạch tích hợp bao gồm một chip đơn tinh thể silic có chứa các linh kiện tích cực và linh kiện thụ động cùng dây nối giữa chúng. Các linh kiện này được chế tạo bằng công nghệ giống như công nghệ chế tạo điốt và tranzito riêng rẽ. Quá trình công nghệ này gồm việc nuôi cấy lớp epitaxi, khuếch tán tạp chất mặt nạ, nuôi cấy lớp oxit, và khắc oxit, sử dụng ảnh in li tô để định rõ các giản đồ...

Vậy, vi mạch tích hợp (Integrated circuits - viết tắt là IC) là sản phẩm của kỹ thuật vi điện tử bán dẫn. Nó gồm các linh kiện tích cực như tranzito, điốt..., các linh kiện thụ động như điện trở, tụ điện, cuộn cảm, và các dây dẫn, tất cả được chế tạo trong một qui trình công nghệ thống nhất, trong một thể tích hay trên một bề mặt của vật liệu nền. Mỗi một loại vi mạch tích hợp chỉ giữ một hoặc vài chức năng nhất định nào đó.

b. Ưu nhược điểm của vi mạch điện tử:

So với các mạch rời rạc vi mạch tích hợp có nhiều ưu điểm, tuy nhiên cũng có một số nhược điểm.

□ Ưu điểm:

Vi mạch tích hợp có độ tin cậy rất cao, kích thước nhỏ, chứa được nhiều phần tử (IC bậc 1 chứa 10 linh kiện, IC bậc 2 chứa $11 \div 100$ linh kiện, IC bậc 3 chứa $101 \div 1000$ linh kiện, IC bậc 4 chứa đến 10000 linh kiện hoặc lớn hơn), giá thành hạ, tiêu thụ ít năng lượng điện.

□ Nhược điểm:

- Do sử dụng năng lượng nhỏ nên hạn chế tốc độ làm việc.
- Yêu cầu về độ ổn định nguồn cung cấp cao.

7.1.2. Phân loại vi mạch tích hợp.

Mạch tổ hợp, hay còn gọi là vi mạch tích hợp, là một bước tiến vượt khác hẳn với các mạch rời rạc, các linh kiện của mạch được kết hợp với nhau tùy theo các phương pháp chế tạo.

Có rất nhiều cách phân loại vi mạch tích hợp. Ta xét một số cách phân loại vi mạch thông dụng:

a. Phân loại theo tính chất dữ liệu được xử lý bằng IC : chia thành 2 loại sau:

- *IC tuyến tính*: Là loại IC có khả năng xử lý các dữ liệu xảy ra liên tục.
- *IC số*: Là loại IC có khả năng xử lý các dữ liệu xảy ra rời rạc.

b. Phân loại theo công nghệ chế tạo: chia thành 4 loại sau:

- *Vi mạch bán dẫn* (hay còn gọi là vi mạch đơn khối): Trong các vi mạch bán dẫn, các phần tử tích cực và thụ động được chế tạo trên một đơn tinh thể bán dẫn (Si (N) hoặc Si (P)) làm chất nền. Việc chế tạo vi mạch bán dẫn chủ yếu dựa trên quá trình quang khắc theo các phương pháp Plana, Plana- epitaxi hay siloc.
- *Vi mạch màng mỏng*: Trong đó chỉ tích hợp các linh kiện thụ động trên đế là thủy tinh cách điện hay Ceramic bằng phương pháp bốc hơi và lắng đọng trong chân không, còn các phần tử tích cực được hàn gắn vào mạch như các linh kiện rời rạc. Ưu điểm của loại này là chế tạo được các điện trở và tụ điện có chất lượng cao và sai số nhỏ.
- *Vi mạch màng dày*: Trong đó chỉ tích hợp các linh kiện thụ động trên đế là chất bán dẫn bằng phương pháp quang khắc qua khuôn còn các linh kiện tích cực được hàn vào như linh kiện rời rạc.
- *Vi mạch lai*: Trong đó tích hợp cả các linh kiện tích cực và các linh kiện thụ động trên một đế là thủy tinh hoặc Ceramic theo cả hai công nghệ chế tạo vi mạch bán dẫn và vi mạch màng mỏng. Vi mạch lai có độ tin cậy cao hơn loại vi mạch bán dẫn. Tuy nhiên, công nghệ chế tạo vi mạch lai còn phức tạp nên giá thành của nó cao hơn, điều này hạn chế việc sử dụng công nghệ này.

c. Phân loại theo loại tranzito có trong IC: chia thành 2 loại như sau:

- *Vi mạch lưỡng cực*: Trong đó các tranzito được tích hợp là các tranzito lưỡng cực. Vi mạch lưỡng cực có tốc độ chuyển mạch cao (cỡ 5 ns đến 20 ns), công suất tiêu tán nhiệt từ vài μ W đến vài trăm mW, nhưng mức độ tích hợp thấp khoảng ≤ 100 phần tử trong một vi mạch vì kích thước của các tranzito và các phần tử thụ động lớn.
- *Vi mạch MOS*: Là các vi mạch, trong đó các tranzito được tích hợp là loại tranzito trường, thông thường là các tranzito trường loại MOS. Vi mạch MOS có độ tích hợp bậc 3, bậc 4 (cỡ 10000 phần tử hoặc hơn nữa trong một IC). Các vi mạch MOS không cần tích hợp điện trở vì có thể dùng tranzito MOS làm điện trở. Vi mạch MOS có khả năng chống nhiễu cao nhưng thời gian chuyển mạch chậm, công suất tiêu thụ thấp hơn IC lưỡng cực nhiều.

d. Dựa theo số phần tử được tích hợp trong IC: chia thành 4 loại sau:

- *Vi mạch loại SSI*: số phần tử được tích hợp < 12
- *Vi mạch loại MSI*: số phần tử được tích hợp từ $12 \div 100$
- *Vi mạch loại LSI*: số phần tử được tích hợp từ $100 \div 1000$

- *Vi mạch loại VLSI*: số phần tử được tích hợp > 1000

Trong các loại vi mạch này thì vi mạch đơn khối được sản xuất và sử dụng nhiều nhất do công nghệ chế tạo đơn giản, giá thành rẻ, thời gian chuyển mạch nhanh và số phần tử tích hợp khá cao.

7.2. CÁC PHƯƠNG PHÁP CHẾ TẠO MẠCH TÍCH HỢP BÁN DẪN

7.2.1. Quá trình quang khắc.

Trước tiên ta phải tạo một khuôn gọi là khuôn ánh sáng. Sau đó trên bề mặt tấm bán dẫn Si để ta tạo một lớp oxit silic SiO_2 bằng phương pháp gia công nhiệt ở nhiệt độ 1000°C đến 1200°C trong hơi nước. Tiếp theo là phủ lớp cảm quang và sau đó đặt khuôn ánh sáng lên trên lớp cảm quang, rồi chiếu ánh sáng vào khuôn ánh sáng. Ánh sáng sẽ tác động lên lớp cảm quang theo đúng cấu hình của khuôn ánh sáng. Sau đó bỏ khuôn ánh sáng ra và tiến hành hiện hình và định hình. Tiếp theo là quá trình ăn mòn bằng các dung dịch hóa học những chỗ có ánh sáng chiếu vào. Sau đó ta loại bỏ lớp cảm quang và kết quả được tấm bán dẫn trên có phủ một lớp bảo vệ bằng SiO_2 theo cấu hình yêu cầu.

Mỗi lớp phủ bảo vệ bằng SiO_2 theo cấu hình yêu cầu được gọi là một mask (mặt nạ), mỗi lần tạo ra một mask phải được lặp lại đầy đủ các bước đã nêu ở trên, nên khi chế tạo vi mạch điện tử mà số mask càng giảm thì sẽ càng kinh tế.

7.2.2. Quá trình plana.

Đây là loại công nghệ cho phép gia công các phần tử của mạch điện tử trên bề mặt của một phiến đơn tinh thể bán dẫn silic. Công nghệ plana là công nghệ kết hợp hai quá trình quang khắc và khuếch tán. Sau khi tạo ra mask ta sẽ tiến hành khuếch tán tạp chất vào để bán dẫn theo cấu hình của mask. Khi chế tạo tranzito lưỡng cực thì số mặt nạ (mask) sẽ nhiều nhất. Các điôt, điện trở, tụ điện cũng được chế tạo đồng thời cùng với quá trình chế tạo tranzito.

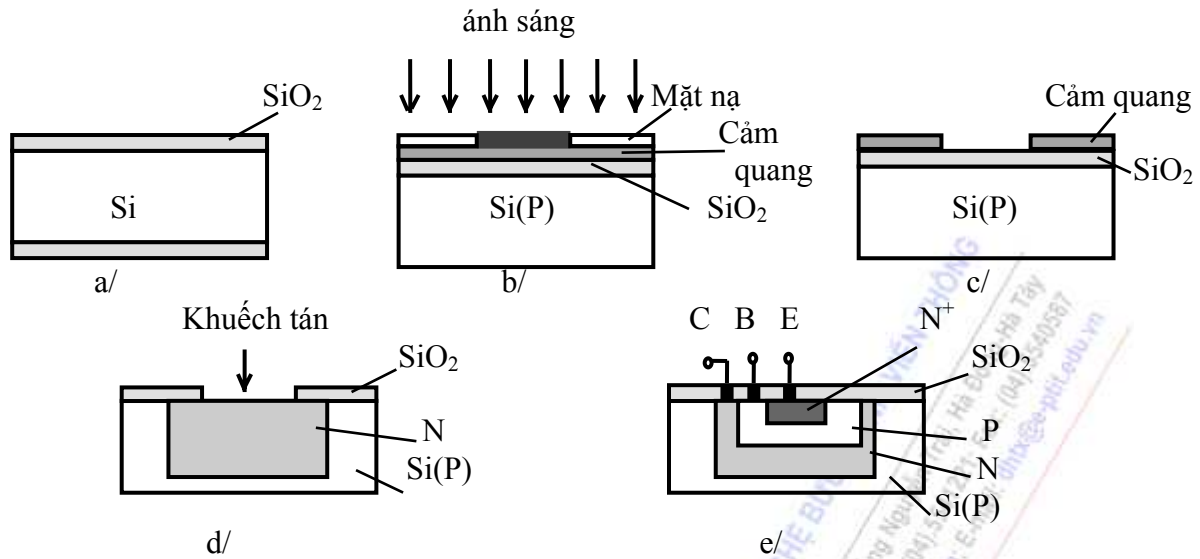
Trình tự của quá trình plana như sau (xem hình 7-1):

1. Gia công tấm bán dẫn silic tinh khiết:

Từ một chất silic tự nhiên qua công nghệ làm sạch để tạo ra một chất silic tinh khiết có độ sạch ít nhất đạt 99,99999%. Tấm silic được cưa cắt đúng kích thước và gia công bề mặt. Tấm bán dẫn này được dùng làm đế và thường có bề dày khoảng $100\mu\text{m}$.

2. Oxy hóa tấm bán dẫn đế: hình 7-1a

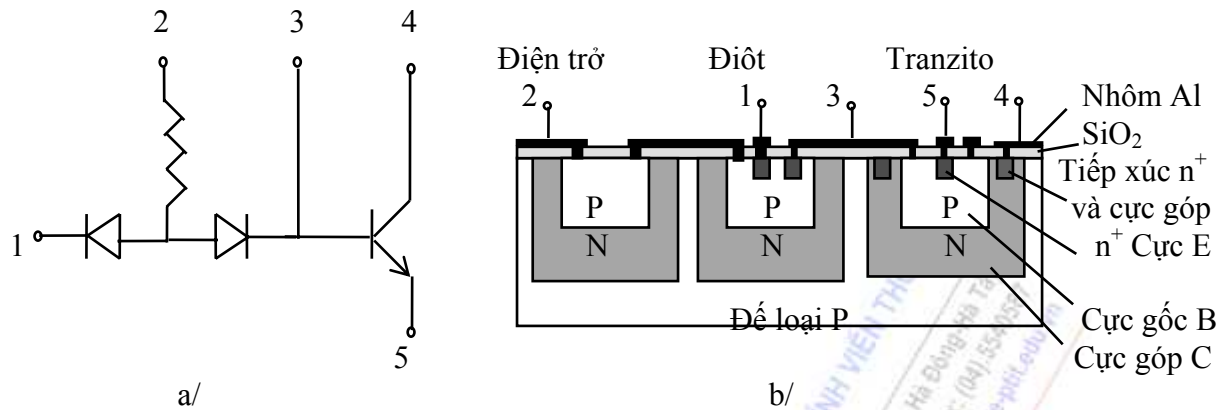
Qua quá trình oxy hóa tạo ra trên hai mặt của tấm silic hai lớp SiO_2 . Bề dày lớp SiO_2 có thể khống chế một cách chính xác nhờ thời gian oxy hóa, nồng độ oxy thổi vào lò và tốc độ di chuyển của tấm bán dẫn trong lò.



Hình 7 - 1 : Trình tự của công nghệ Plana

3. Cho ăn mòn lớp SiO₂ ở phía dưới để tiến hành khuếch tán tạp chất vào (ví dụ loại P), vì để là bán dẫn tinh khiết.
4. Phủ lớp cảm quang: hình 7-1b,c
 Chất cảm quang là một hợp chất hóa học có đặc điểm là nó sẽ trở nên bền vững hoặc không bền vững trong một dung môi đã được xác định trước khi nó được chiếu sáng.
5. Quang khắc và ăn mòn chọn lọc lớp SiO₂ theo cấu hình của khuôn ánh sáng, ta sẽ thu được mặt nạ đầu tiên. Xem hình 7-1c. Tiếp tục cho ăn mòn bằng cách ngâm vào dung dịch axit flohydric HF, sau đó bỏ lớp cảm quang đi ta sẽ tạo ra được một lỗ thủng qua lớp SiO₂ đến tinh thể silic. Kích thước của lỗ thủng tùy thuộc vào mặt nạ.
6. Khuếch tán tạp chất loại N (nguyên tố nhóm 5 - tạp chất cho) vào để để tạo vùng colectơ khi chế tạo tranzito loại N-P-N. Xem hình 7-1d
7. Sau đó oxy hóa lần thứ hai để tạo lớp SiO₂.
8. Phủ lớp cảm quang, che mặt nạ, chiếu sáng và cho ăn mòn ta thu được mặt nạ thứ hai.
9. Khuếch tán bán dẫn loại P (nguyên tố nhóm 3- tạp chất nhận) để tạo vùng bazo
10. Oxy hóa tạo lớp SiO₂.
11. Quang khắc và ăn mòn chọn lọc ta thu được mặt nạ thứ ba và tiến hành khuếch tán tạo vùng N⁺ của Emitơ.
12. Oxy hóa + quang khắc và ăn mòn ta có mặt nạ thứ tư để gắn các điện cực E,B,C. Xem hình 7-1e

7.2.3. Quy trình công nghệ epitaxi- plana.



Hình 7 - 2 : a- Một mạch điện gồm một điện trở, hai điốt và một tranzito.
b- Mặt cắt của vi mạch thể hiện sơ đồ mạch (a).

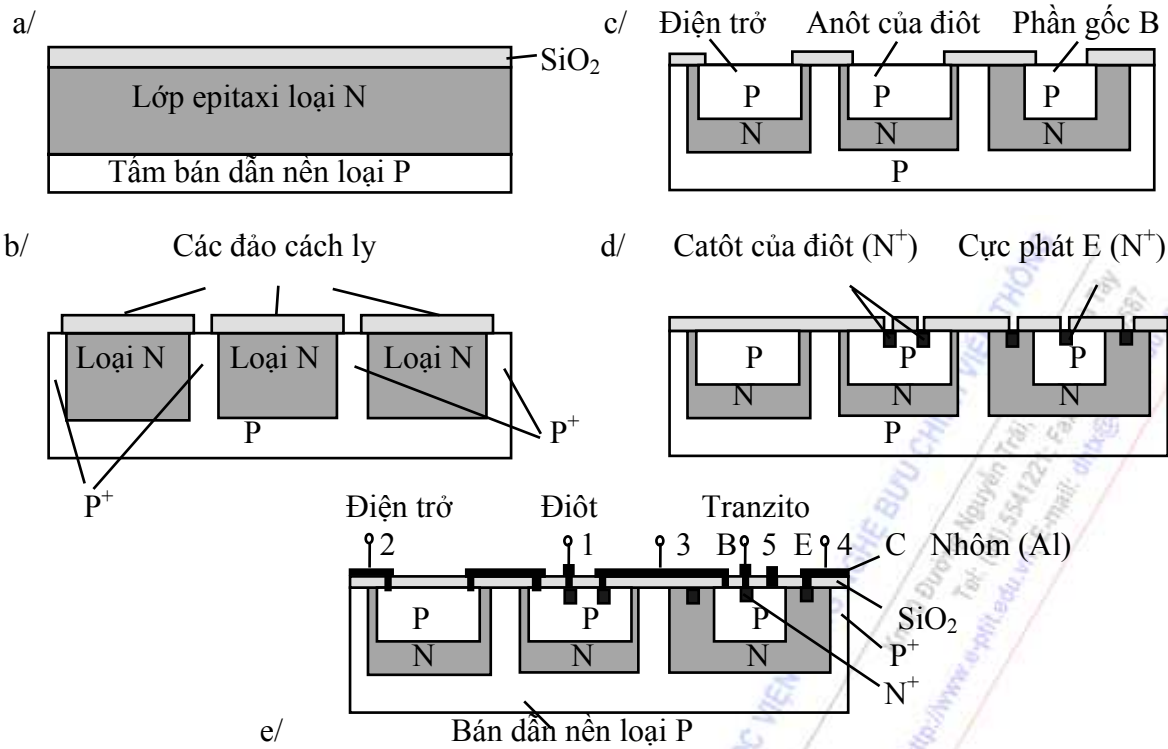
Công nghệ epitaxi- plana tương tự như công nghệ plana. Epitaxi là quá trình nuôi một lớp đơn tinh thể mỏng bên trên một đế tinh thể khác. Lớp đơn tinh thể mỏng này được gọi là lớp epitaxi.

Quá trình công nghệ epitaxi- plana được mô tả qua ví dụ một mạch tích hợp như ở hình 7-2a,b.

a. Nuôi lớp epitaxi:

Một lớp epitaxi loại N dày khoảng 25 micron ($1 \text{ micron} = 10^4 \text{ Angstrom}$) được nuôi bên trên một lớp nền bán dẫn loại P. Lớp bán dẫn nền này có điện trở suất khoảng $10 \Omega \cdot \text{cm}$, tương đương $N_A = 1,4 \cdot 10^{15}$ nguyên tử/cm³. Lớp epitaxi loại N có thể chọn điện trở suất từ 0,1 đến $0,5 \Omega \cdot \text{cm}$. Trên lớp epitaxi phủ một lớp cách điện SiO₂ mỏng khoảng 0,5 micron. Lớp SiO₂ được tạo nên nhờ quá trình oxy hóa trong lò nung nóng khoảng 1000°C . (Xem hình 7- 3a).

b. Khuếch tán cách ly:



Hình 7 - 3 : Quá trình công nghệ epitaxi - plana chế tạo vi mạch theo sơ đồ hình 7-2.

Trong hình 7 - 3b chỉ ra kết quả của quá trình khuếch tán cách ly. Bằng phương pháp quang khắc và ăn mòn lớp SiO₂ ở 4 vị trí, để tạo ra ba vùng cách điện nhau. Các phần SiO₂ còn lại là một mặt nạ để tiến hành khuếch tán tạp chất nhận vào. Các vùng N trong hình 7- 3b được gọi là các đảo cách ly vì chúng được phân chia bằng hai tiếp xúc P-N kiểu lưng- đối- lưng. Cần chú ý là nồng độ tạp chất nhận N_A khoảng 5.10²⁰/cm³ trong vùng giữa các đảo cách ly và ta sẽ tạo được vùng P⁺ có nồng độ hạt dẫn cao hơn nhiều so với nền P để ngăn chặn vùng nghèo hạt dẫn của tiếp xúc phân cực ngược giữa nền và vùng cách ly.

c. Khuếch tán phần góc B và phần phát E:

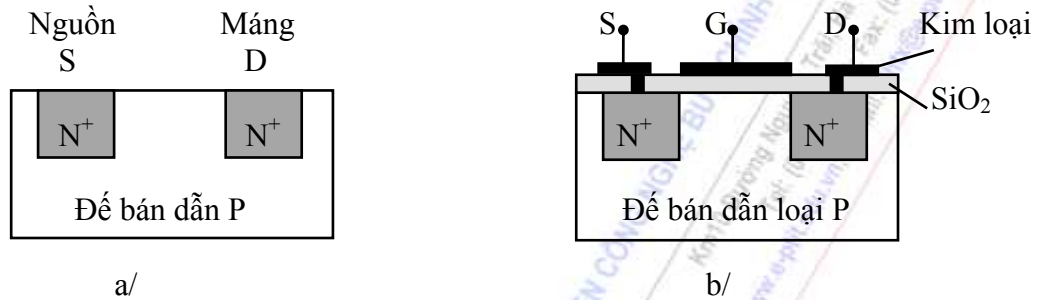
Tiếp theo là các quá trình của công nghệ plana để tạo ra phần bán dẫn P của điện trở, anôt của điôt và cực góc của tranzito. Cần chú ý là phần bán dẫn P này có điện trở suất lớn hơn nhiều điện trở suất của các vùng cách ly. Để tạo ra phần bán dẫn N⁺ của phần phát của tranzito, catôt của điôt thì ta cho khuếch tán tạp chất loại N với nồng độ tạp chất cao.

d. Quá trình kim loại hóa nhôm:

Các phần tử của sơ đồ mạch điện ở hình 7-2 đã được tích hợp, chúng hoàn toàn cách ly nhau. Bây giờ ta phải nối ghép chúng theo sơ đồ mạch điện yêu cầu. Lớp đầu nối giữa các linh kiện được thực hiện bằng việc lắng đọng trong chân không một màng mỏng kim loại nhôm lên trên cùng, sau đó sử dụng kỹ thuật quang khắc để loại bỏ các phần nhôm không cần nối giữa điện trở, điôt và tranzito. Cuối cùng là bước gắn các chân cực cho các phần tử của IC.

7.2.4. Phương pháp chế tạo vi mạch tích hợp tranzito trường.

Tranzito trường tích hợp loại MOS chỉ chiếm khoảng 5% diện tích bề mặt yêu cầu bởi một tranzito hai lớp epitaxi trong các mạch tích hợp thông thường. Chỉ cần một bước khuếch tán trong quy trình chế tạo tranzito trường loại MOS kênh cảm ứng. Trong bước này hai vùng bán dẫn loại N nồng độ cao được khuếch tán vào bán dẫn đế loại P có nồng độ tạp chất thấp để tạo cực nguồn và cực máng. Một lớp cách điện SiO₂ được nuôi cấy, và các lỗ hở được khắc axit để gắn điện cực nguồn và cực máng. Kim loại cho các tiếp xúc này được bốc hơi đồng thời cùng với cực cửa để hoàn thành linh kiện là tốt nhất. Xem hình 7-4a,b.



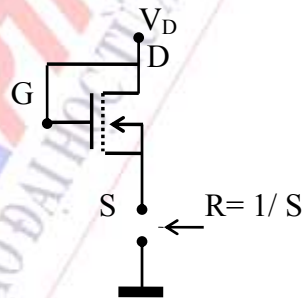
Hình 7 - 4 : FET - MOS kênh cảm ứng loại N.

a- Cực nguồn và cực máng được khuếch tán vào bán dẫn đế.

b- Linh kiện đã hoàn thiện.

Ngoài ra, trong các vi mạch, tranzito MOS là một điện trở có trị số xác định bằng điện áp đặt ngang qua kênh dẫn ($R = 1/S$ có thể tới hàng trăm KΩ).

Công nghệ chế tạo FET cũng sử dụng hai công nghệ plana và epitaxi- plana.



Hình 7 - 5: Tranzito MOS như một điện trở

7.2.5. Phương pháp cách điện trong vi mạch.

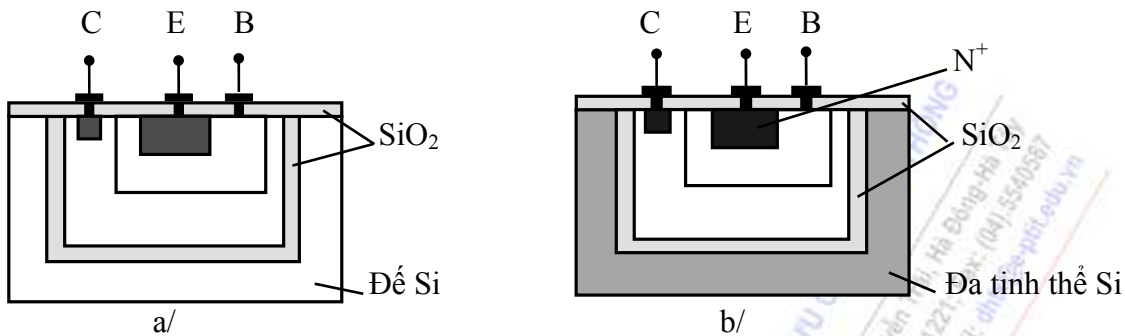
Trong các vi mạch tích hợp người ta thường dùng 2 phương pháp cách điện là cách điện bằng tiếp xúc P-N và cách điện bằng điện môi.

a. Cách điện bằng tiếp xúc P-N.

Tiếp xúc P-N khi được phân cực ngược thì điện trở của nó rất lớn. Do vậy, trong vi mạch điện tử người ta sử dụng tiếp xúc góp - để phân cực ngược để cách điện

b. Cách điện bằng chất điện môi.

Trong phương pháp này các phần tử sẽ cách điện với nhau bằng lớp điện môi, lớp điện môi này bao quanh phần góp ngăn cách phần góp với đế. Xem hình 7-6a.



Hình 7 -6 : Phương pháp cách điện bằng chất điện môi:
 a- với đế là tinh thể Si; b- với đế là đa tinh thể Si.

Một phương pháp cách điện dễ dàng hơn là dùng đế là bán dẫn đa tinh thể vì quá trình nuôi lớp đa tinh thể không đòi hỏi chặt chẽ như khi nuôi lớp đơn tinh thể. Xem hình 7-6b.

7.3. CÁC CẤU KIỆN ĐƯỢC TÍCH HỢP TRONG VI MẠCH

7.3.1. Điện trở.

a. Điện trở bán dẫn

- Đây là điện trở đơn khối bán dẫn loại P hoặc loại N. Giá trị điện trở của khối bán dẫn được xác định bằng điện trở suất, độ dài và diện tích tiết diện của vùng vật liệu:

$$R = \rho \frac{L}{S} \tag{7.1}$$

Trong đó: L- độ dài của khối bán dẫn
 S- diện tích tiết diện của khối bán dẫn
 ρ- điện trở suất của chất bán dẫn

- Điện trở khuếch tán là các điện trở được cấy trên một đế bán dẫn. Điện trở khuếch tán được tính theo công thức (7.2):

Nếu điện trở khuếch tán pha tạp chất cho N_D thì điện trở được xác định:

$$R_{KT} = \frac{L}{q\mu_n N_D S} \quad (\Omega) \tag{7.2}$$

Trong đó : L- Độ dài của lớp điện trở khuếch tán
 S- Diện tích tiết diện của lớp điện trở.

Nếu điện trở khuếch tán được pha tạp chất nhận N_A thì ta chỉ việc thay các giá trị độ linh động của lỗ trống và nồng độ N_A vào công thức 7.2.

Trong các vi mạch tranzito trường, người ta sử dụng điện trở là tranzito trường với trị số phụ thuộc vào điện áp đặt lên cực cửa và cực máng.

b. Điện trở màng mỏng.

Điện trở màng mỏng được chế tạo bằng phương pháp bốc hơi và lắng đọng trong chân không ở nhiệt độ cao lên trên một đế là chất điện môi. Vật liệu dùng làm điện trở thường dùng là hợp kim Nicrôm. Điện trở chế tạo theo phương pháp này có độ chính xác rất cao (khoảng 1%). Đây là ưu điểm đặc biệt của linh kiện màng mỏng.

7.3.2. Tụ điện trong vi mạch.

Trong vi mạch tích hợp sử dụng ba loại tụ điện cơ bản sau:

- Tụ điện dùng điện dung của tiếp xúc P-N khi phân cực ngược
- Tụ điện dùng ba lớp Kim loại- Oxit- bán dẫn, gọi là tụ điện MOS
- Tụ điện màng mỏng

a. Tụ điện dùng tiếp xúc P-N.

Tụ điện dùng tiếp xúc P-N được chế tạo đồng thời cùng với quá trình chế tạo tranzito. Giá trị điện dung của loại tụ này khi điện áp đặt lên nhỏ được tính theo công thức 7.3:

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d} \quad (7.3)$$

Trong đó: S- diện tích mặt tiếp xúc
d- bề dày lớp tiếp xúc

Tuy vậy, trong công nghệ chế tạo vi mạch người ta rất hạn chế chế tạo tụ điện vì nó chiếm diện tích lớn trên bề mặt đế silic.

b. Tụ điện MOS.

Tụ được hình thành từ ba lớp: Kim loại- Oxit (SiO_2) - Bán dẫn có nồng độ tạp chất cao. Thông thường lớp điện môi SiO_2 dày cỡ 0,08 đến 0,1 μm cho trị số điện dung nhỏ nhưng điện áp đánh thủng lớn: Trị số điện dung khoảng từ 300 ÷ 650pF/mm² với điện áp đánh thủng khoảng từ 7v đến 50v.

c. Tụ điện màng mỏng.

Tụ điện màng mỏng được chế tạo theo công nghệ màng mỏng. Tụ gồm hai má là kim loại và lớp điện môi mỏng ở giữa, tất cả được đặt lên một đế là chất điện môi. Bề dày của lớp điện môi khoảng từ 100 đến 200 Angstrom. Giá trị điện dung có thể tính theo công thức 7.3 với S là diện tích má tụ và d là bề dày của chất điện môi.

7.3.3. Cuộn cảm trong vi mạch.

Trong vi mạch bán dẫn các mạch thường được thiết kế không có cuộn cảm trừ trường hợp không thể bỏ qua được. Trong trường hợp bắt buộc phải có cuộn cảm thì dùng loại điôt đặc biệt gọi là điôt cảm ứng hoặc loại cuộn cảm màng mỏng.

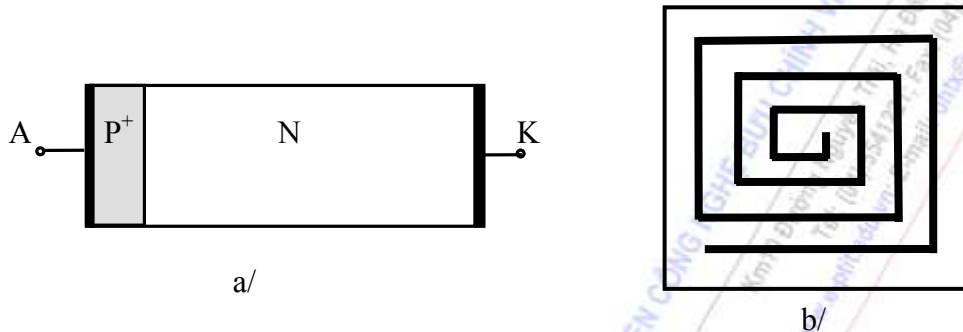
a. Cuộn cảm là điôt cảm ứng.

Loại điôt này cho điện cảm khoảng vài milihenry (mH). Điôt cảm ứng gồm có vùng bán dẫn P có nồng độ pha tạp lớn hơn, còn vùng bán dẫn N có nồng độ tạp chất rất nhỏ, gần như bán dẫn nguyên tính (xem hình 7-7a). Khi đặt lên điôt một điện áp thuận, các lỗ trống phun

vào bán dẫn N, một số ít bị tái hợp, số còn lại sẽ cần một khoảng thời gian để khuếch tán tiếp vào bán dẫn N. Như thế dòng điện thuận có xu hướng chậm pha so với điện áp. Do vậy, nó đã thực hiện chức năng của một cuộn cảm. Vùng bán dẫn N càng dài thì dòng hạt dẫn bay qua nó càng lâu và trị số điện cảm càng lớn.

b. Cuộn cảm màng mỏng.

Cuộn cảm màng mỏng được chế tạo dưới dạng đường xoắn tròn hoặc xoắn vuông màng mỏng. Xem hình 7-7b. Cuộn cảm này có thể đạt giá trị cỡ 0,1mH khi hệ số phẩm chất $Q = 10$.



Hình 7-7 : a- Cuộn cảm dùng điốt cảm ứng.
b- Cuộn cảm màng mỏng.

7.3.4. Tranzito trong vi mạch

Trong vi mạch tích hợp người ta dùng tất cả các loại tranzito thường sử dụng trong mạch rời. Hai loại thông dụng nhất là tranzito lưỡng cực và tranzito trường.

a. Tranzito lưỡng cực.

Trong vi mạch tích hợp người ta thường dùng tranzito loại N-P-N vì:

- Khi khuếch tán tạp chất loại N thì nó rất dễ hòa tan vào silic.
- Độ linh động của điện tử lớn gấp hai lần độ linh động của lỗ trống. Vì vậy thời gian tác động của vi mạch nhanh hơn.

b. Tranzito trường.

Trong vi mạch tích hợp thường dùng JFET và MOSFET kênh có sẵn trong kỹ thuật tương tự như tạo ra tầng khuếch đại vi sai, các tầng tải Emitơ... Còn MOSFET kênh cảm ứng thường được dùng trong kỹ thuật số.

Khi chỉ cần dùng MOSFET một loại kênh thì người ta thường dùng loại kênh P vì nó cho độ tin cậy cao hơn, tính chống nhiễu cao hơn và nó chỉ sử dụng logic âm.

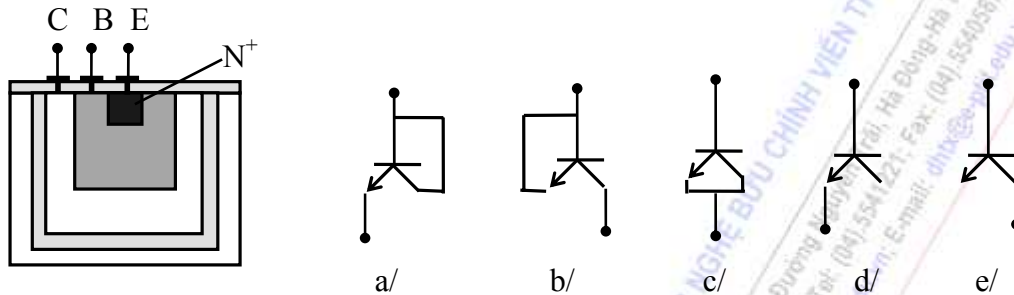
Khi yêu cầu dùng cả hai loại kênh P và kênh N, phải chế tạo chúng trên cùng một đế silic và được gọi là MOSFET kiểu bù và ký hiệu là CMOSFET.

7.3.5. Điốt trong vi mạch

Trong các mạch vi điện tử thường không chế tạo trực tiếp điốt mà thường chế tạo tranzito rồi sau đó nối tắt các chân cực để tạo ra điốt. Thông thường có hai cách nối tắt tranzito thành điốt sau đây.

a. Nối tắt tranzito thành điốt trong mạch cách điện bằng chất điện môi.

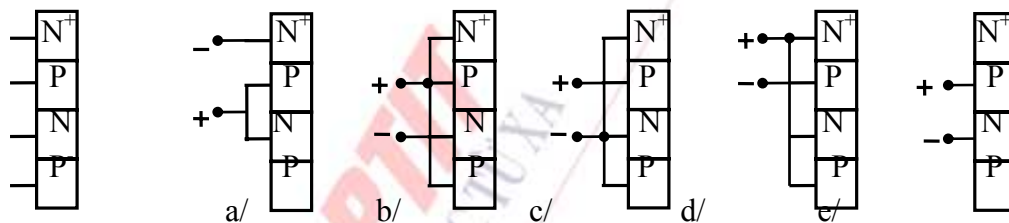
Có 5 cách nối tắt tranzito thành điốt, xem hình 7-8a,b,c,d,e. Mỗi cách nối sẽ cho một loại điốt với các tham số riêng của nó.



Hình 7- 8 : Các cách nối tranzito thành điốt trong mạch cách điện bằng điện môi

b. Nối tắt tranzito thành điốt trong mạch cách điện bằng tiếp xúc P-N.

Tranzito trong mạch vi điện tử cách điện bằng tiếp xúc P-N là cấu trúc 4 lớp bán dẫn nên có thể lấy bốn đầu ra: E,B,C và Đé. Và ta có 5 cách đấu nối tranzito thành điốt. Xem hình 7-9a,b,c,d,e.



Hình 7-9 : Các cách nối tranzito thành điốt trong mạch cách điện bằng tiếp xúc P-N

7.4. VI MẠCH TUYẾN TÍNH

7.4.1. Giới thiệu chung và phân loại vi mạch tuyến tính

Vi mạch tuyến tính được hiểu là các tổ hợp vi mạch có các tín hiệu trên lối ra tỷ lệ với tín hiệu trên lối vào theo quy luật đường thẳng.

Các vi mạch tuyến tính thường đòi hỏi các phần tử mắc thêm ở mạch ngoài nhiều hơn so với các IC số để hoàn thành một chức năng nào đó. Điều này khiến cho các sơ đồ sử dụng vi mạch tuyến tính nhạy cảm với nhiễu bên ngoài hơn và bởi vậy khó sử dụng hơn.

Vi mạch tuyến tính thường được phân thành 2 loại chính là: tổ hợp vi mạch tranzito-điốt và vi mạch sử dụng chuyên dụng, và vi mạch khuếch đại thuật toán.

a. Tổ hợp vi mạch tranzito - điốt và vi mạch sử dụng chuyên dụng:

Gồm tổ hợp các điốt hay tranzito có những chỉ tiêu kỹ thuật giống nhau. Ví dụ: tổ hợp điốt CA3039, tổ hợp tranzito CA3813B, tổ hợp hỗn hợp tranzito điốt CA3093E - ta có thể sử dụng như các điốt và tranzito rời rạc.

Loại vi mạch này được sử dụng trong các bộ khuếch đại trung tần trong máy thu hình, thu thanh và các máy thu phát chuyên dụng khác, trong các bộ điều khiển của hệ thống điều khiển tự động, trong các bộ khuếch đại âm tần, các mạch ổn áp và mạch điều chỉnh công suất, loại vi mạch này có thể dùng làm một chức năng hoặc nhiều chức năng.

b. Vi mạch khuếch đại thuật toán:

Mạch khuếch đại thuật toán là mạch khuếch đại tín hiệu điện để thực hiện các phép tính và thuật toán khác nhau trên các đại lượng tương tự, trong sơ đồ mạch có hồi tiếp âm sâu. Hiện nay các bộ khuếch đại thuật toán đóng vai trò quan trọng và được ứng dụng rộng rãi trong kỹ thuật khuếch đại, tạo tín hiệu hình sin và xung, trong bộ ổn áp và bộ lọc tích cực, v.v... Tuy nhiên, trong các bộ khuếch đại thông thường những tính chất và tham số hoàn toàn được xác định bởi sơ đồ mạch của nó, còn trong bộ khuếch đại thuật toán thì các tính chất và tham số của nó được xác định bởi các tham số của mạch hồi tiếp. Các bộ khuếch đại thuật toán được thực hiện theo sơ đồ khuếch đại dòng một chiều với giá trị thiên áp vào ra bằng không. Chúng cũng được đặc trưng bởi hệ số khuếch đại lớn, trở kháng vào cao và trở kháng ra thấp.

Một bộ khuếch đại thuật toán lý tưởng phải đạt được các tiêu chuẩn sau:

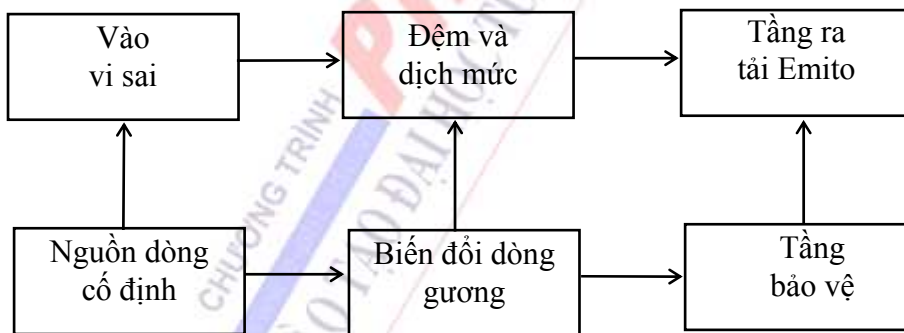
- Hệ số khuếch đại điện áp $K_u \rightarrow \infty$
- Trở kháng vào $Z_{vào} \rightarrow \infty$
- Trở kháng ra $Z_{ra} \rightarrow 0$
- Dải tần số làm việc $\Delta f \rightarrow \infty$

7.4.2. Cấu trúc bên trong của vi mạch khuếch đại thuật toán:

a. Cấu trúc của vi mạch khuếch đại thuật toán

- Sơ đồ khối của bộ khuếch đại thuật toán tích hợp:

Hình 7-12 trình bày sơ đồ khối của bộ khuếch đại thuật toán.



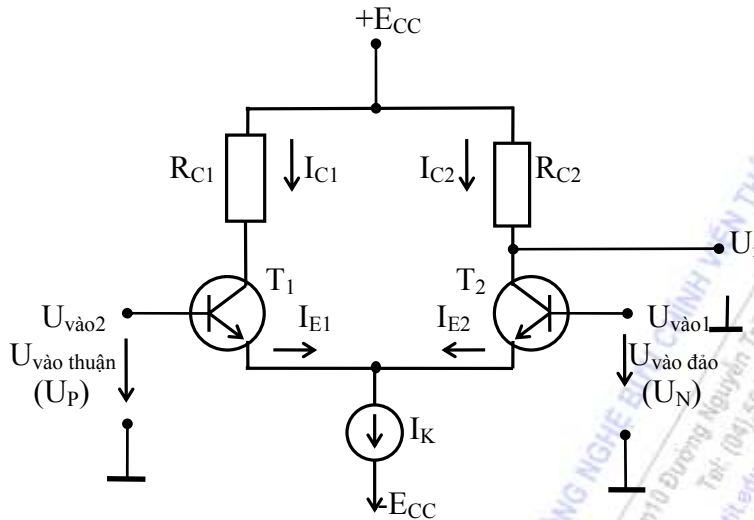
Hình 7 -12 : Sơ đồ khối của một bộ khuếch đại thuật toán

Bộ khuếch đại thuật toán bao gồm tầng vào khuếch đại vi sai để đảm bảo có hệ số khuếch đại cao, sau đó là mạch dịch mức và mạch ra cho phép nhận được tín hiệu ra cần thiết và trở kháng ra yêu cầu.

+ Tầng vào vi sai:

Cấu trúc điển hình của một tầng khuếch đại vi sai làm việc theo nguyên lý cầu cân bằng song song mô tả trong hình 7 -13: Hai nhánh cầu là R_{C1} và R_{C2} , còn hai nhánh kia là các tranzito T_1 và T_2 được chế tạo trong cùng một điều kiện sao cho $R_{C1} = R_{C1}$ và hai tranzito T_1 , T_2 có các tham số giống hệt nhau. Điện áp ra U_{ra} lấy trên một cực góp, còn I_K là nguồn dòng ổn

định có thể tạo ra từ một điện trở đầu với âm nguồn, hoặc tạo ra nhờ các tranzito đầu theo mạch nguồn dòng. Như vậy $I_K = I_{E1} + I_{E2} = \text{const}$.



Hình 7 - 13 : Sơ đồ tầng vào khuếch đại vi sai.

Trong hình, tranzito T_2 được mắc theo sơ đồ cực phát chung, do đó $U_{vào1}$ sẽ là lối vào đảo của mạch khuếch đại thuật toán; còn tranzito T_1 được mắc theo sơ đồ cực góp chung nên $U_{vào2}$ sẽ là lối vào không đảo (hay lối vào thuận) của mạch khuếch đại thuật toán.

Hệ số khuếch đại điện áp của tầng vào vi sai:

$$K_U = \frac{U_{ra}}{U_{vào2} - U_{vào1}} \quad (7.4)$$

Hệ số K_U rất lớn, khoảng từ 10^4 đến 10^5 .

Công thức tính trở kháng vào:

$$Z_{vào} = \frac{U_{vào}}{I_{vào2} - I_{vào1}} \quad (7.5)$$

Do vậy, khi $Z_{vào} = \infty$ thì $I_{vào} = 0$, và như vậy ta có $I_{vào2} = I_{vào1}$

Để đảm bảo $I_{vào2} = I_{vào1}$ thì $I_{E1} = I_{E2} = I_K/2$ và I_K phải ổn định nên phải chọn hai tranzito T_1 và T_2 giống hệt nhau.

+ Nguồn dòng ổn định : Để I_K ổn định thường dùng một nguồn dòng ổn định.

+ Tầng ra mắc tải Emitter (cực góp chung).

Bộ khuếch đại thuật toán yêu cầu có trở kháng ra Z_{ra} nhỏ, nghĩa là dòng điện ra là lớn nhất, nên tranzito ở tầng ra phải mắc theo sơ đồ cực góp chung. Như vậy, hệ số khuếch đại điện áp của tầng ra $K_U \approx 1$. Và điều này có nghĩa là hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại thuật toán chủ yếu ở tầng vào vi sai và ở các tầng trung gian.

+ Tầng đệm và dịch mức:

Từ đầu vào tới đầu ra, ngoài tầng vào vi sai cần có các tầng khuếch đại trung gian để khuếch đại công suất cho tầng ra. Số lượng các tầng khuếch đại trung gian này tùy thuộc vào hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại thuật toán.

+ Tầng bảo vệ:

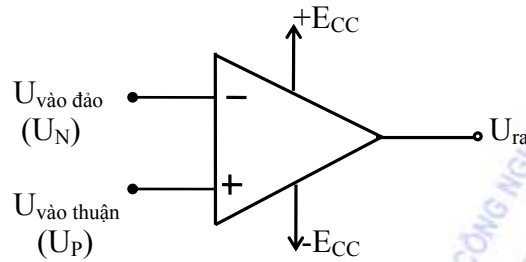
Khi bộ khuếch đại làm việc với dòng điện lớn ở tầng ra, sẽ dễ làm hỏng các tranzito, do đó phải dùng tầng bảo vệ để phân dòng cho tầng cuối.

+ Bộ biến đổi dòng gương:

Bộ biến đổi dòng gương dùng để biến đổi một nguồn dòng ổn định thành nhiều nguồn dòng ổn định nhằm cung cấp cho các tầng khác. Mạch này thường dùng ở các mạch có yêu cầu chất lượng cao.

+ Hai nguồn nuôi (gọi là nguồn lưỡng cực) $\pm E_{CC}$: Các IC khuếch đại thuật toán tiêu chuẩn làm việc với điện áp nguồn nuôi bằng $\pm 15V$.

b. Ký hiệu của IC khuếch đại thuật toán trong sơ đồ mạch: Xem hình 7-14.

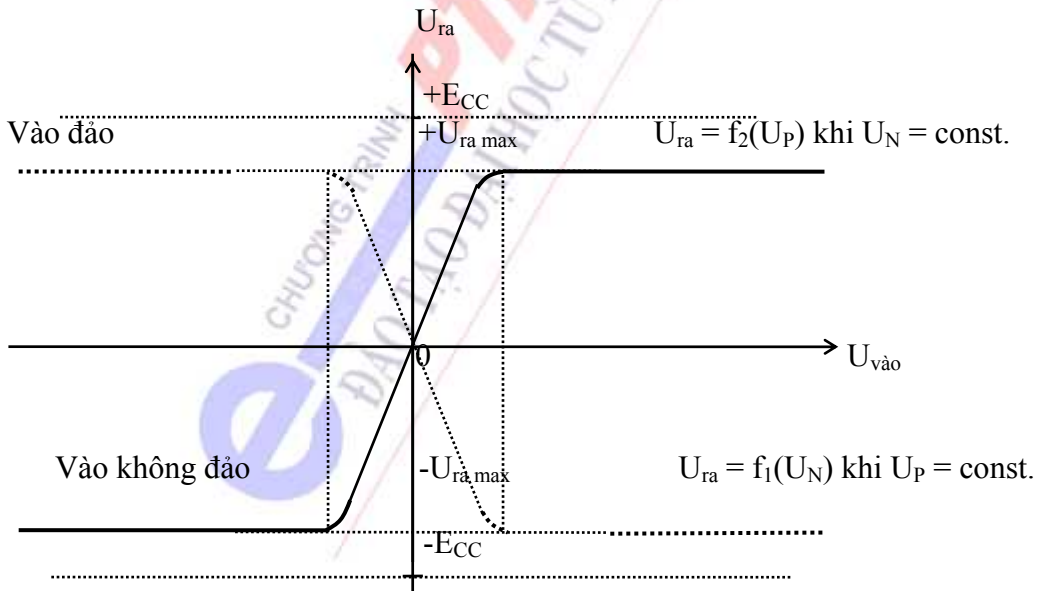


Hình 7 - 14 : Ký hiệu bộ khuếch đại thuật toán

c. Các tham số và đặc tuyến của bộ khuếch đại thuật toán.

1. Đặc tuyến truyền đạt điện áp:

Đặc tuyến truyền đạt điện áp là đặc tuyến quan trọng nhất của bộ khuếch đại thuật toán biểu thị mối quan hệ giữa điện áp ra và điện áp vào của mạch : $U_{ra} = f(U_P, U_N)$



Hình 7 -15 : Đặc tuyến truyền đạt điện áp của bộ KĐTT.

Đặc tuyến truyền đạt điện áp được biểu diễn bằng hai đường ứng với các lối vào đảo và lối vào không đảo. Mỗi đường đặc tuyến gồm có các đoạn nằm ngang và một đoạn dốc. Xem hình (7 - 15).

- Đoạn nằm ngang tương ứng với chế độ tranzito ở tầng ra thông bão hòa hoặc ngắt dòng. Tại đây, khi thay đổi điện áp tín hiệu trên lối vào thì điện áp ra không đổi và được xác định bằng các giá trị $\pm U_{ra \max}$ gọi là giá trị điện áp ra cực đại. Trong các IC khuếch đại thuật toán giá trị $U_{ra \max}$ thấp hơn điện áp nguồn cung cấp E_{CC} khoảng từ 1vôn đến 3vôn.
- Đoạn dốc của đặc tuyến truyền đạt biểu thị sự phụ thuộc tỉ lệ của điện áp ra với điện áp vào. Đây là một đường thẳng với góc nghiêng xác định hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại thuật toán khi không có hồi tiếp ngoài.

Đường đặc tuyến lý tưởng sẽ đi qua gốc tọa độ, tức là khi $U_{vào} = 0$ thì $U_{ra} = 0$ và được gọi là trạng thái cân bằng của bộ khuếch đại thuật toán. Trên thực tế trạng thái cân bằng khó thực hiện hoàn toàn, có nghĩa là khi $U_{vào} = 0$ thì $U_{ra} \neq 0$. Vì vậy, muốn cho điện áp ra bằng không, ta cần phải đặt tới lối vào bộ khuếch đại thuật toán một hiệu điện áp nào đó gọi là thiên áp không U_0 (khoảng vài mV).

2. Hệ số khuếch đại điện áp vi sai được tính theo công thức:

$$K_U = \frac{\Delta U_{ra}}{\Delta U_{vào}} = 10^4 \div 10^5 \quad (7.6)$$

Giá trị của K_U lớn cho phép thực hiện hồi tiếp âm sâu nhằm cải thiện nhiều tính chất quan trọng của bộ khuếch đại thuật toán.

Trong giới hạn miền khuếch đại, điện áp ra tỷ lệ với điện áp vào theo công thức:

$$U_{ra} = K_U \cdot U_V = K_U (U_P - U_N) \quad (7.7)$$

Hệ số khuếch đại đồng pha: Nếu trên đầu vào thuận và đảo đặt cùng một điện áp U_{G1} đồng pha thì $U_{vào} = 0$, và như vậy điện áp U_{ra} cũng cần phải bằng không. Nhưng thực tế điều này không hoàn toàn đúng, tức là hệ số khuếch đại tín hiệu đồng pha K_{G1} không bằng 0.

$$K_{G1} = \frac{\Delta U_{ra}}{\Delta U_{G1}} \neq 0.$$

Đối với một bộ khuếch đại thuật toán tốt thì cần phải có K_U lớn và K_{G1} nhỏ.

Sự phụ thuộc vào nhiệt độ của các tham số của bộ khuếch đại thuật toán sẽ gây nên độ trôi thiên áp đầu vào và điện áp đầu ra theo nhiệt độ. Để cân bằng ban đầu cho bộ khuếch đại thuật toán, người ta đưa vào một trong các đầu vào của nó một điện áp phụ thích hợp hoặc một điện trở để điều chỉnh dòng thiên áp ở mạch vào.

3. Trở kháng ra:

Trở kháng ra là một trong các tham số quan trọng của bộ khuếch đại thuật toán nó có trị số nhỏ (khoảng từ vài chục Ω đến vài trăm Ω).

4. Trở kháng vào của bộ khuếch đại thuật toán:

Trở kháng vào của bộ khuếch đại thuật toán thường được phân biệt trở kháng vào đối với tín hiệu vi sai và trở kháng vào đối với tín hiệu đồng pha.

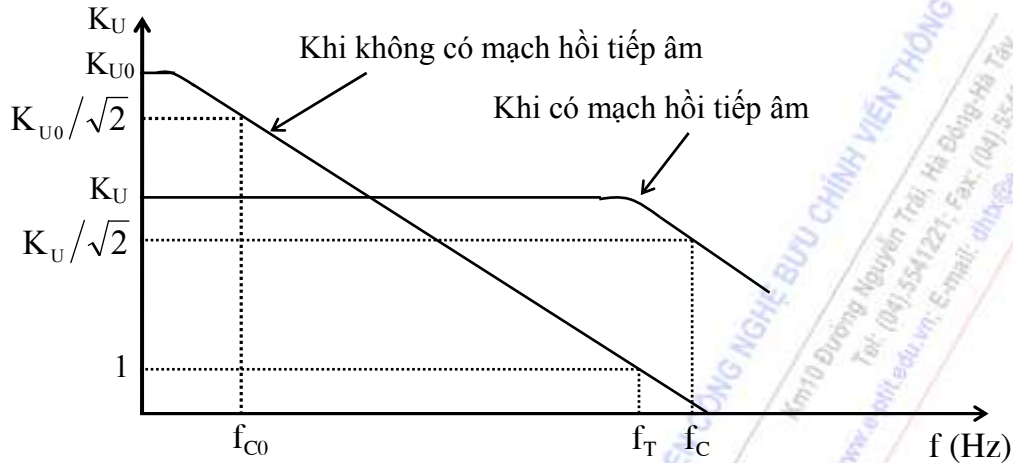
Đối với các bộ khuếch đại thuật toán dùng tranzito lưỡng cực ở lối vào, trở kháng vào đối với tín hiệu vi sai R_V vào khoảng vài $M\Omega$, còn trở kháng vào đối với tín hiệu đồng pha R_{G1}

bằng vài GΩ. Dòng vào ban đầu của các bộ khuếch đại thuật toán lưỡng cực tiêu chuẩn giới hạn từ 20 đến 200 nA, còn các bộ khuếch đại thuật toán dùng tranzito trường khoảng vài nA.

5. Đặc tuyến tần số :

Đặc tính tần số biểu thị sự phụ thuộc của hệ số khuếch đại vào dải tần số làm việc.

Hình 7 - 16 chỉ ra đặc tuyến biên độ tần số của bộ khuếch đại thuật toán $K_U = \psi(f)$.



Hình 7 - 16 : Đặc tuyến biên độ tần số của bộ khuếch đại thuật toán

Qua đồ thị hình (7 -16) ta thấy hệ số khuếch đại điện áp K_U bị giảm xuống khi ở tần số cao. Bắt đầu từ tần số cắt f_C với độ dốc đều -20dB/decac của trục tần số.

Tần số f_T ứng với trường hợp khi hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại thuật toán bằng 1 nên gọi là tần số khuếch đại đơn vị.

Tần số cắt f_C (hay tần số biên) ứng với trường hợp khi hệ số khuếch đại điện áp bị giảm đi $\sqrt{2}$ lần so với hệ số khuếch đại ở tần số thấp và được gọi là dải thông tần. Khi không có mạch hồi tiếp âm thì f_C rất thấp, cỡ vài chục Hz.



Hình 7 - 17 : Sơ đồ chân của bộ khuếch đại thuật toán 741

- | | |
|------------------------------|---------------------|
| 1. Điều chỉnh điện thế không | 2. Lối vào đảo |
| 3. Lối vào thuận | 4. Điện áp nguồn âm |
| 5. Điều chỉnh điện thế không | 6. Lối ra |

Sơ đồ chân của bộ khuếch đại thuật toán loại 741 với các loại vỏ khác nhau được mô tả ở hình 7 -17.

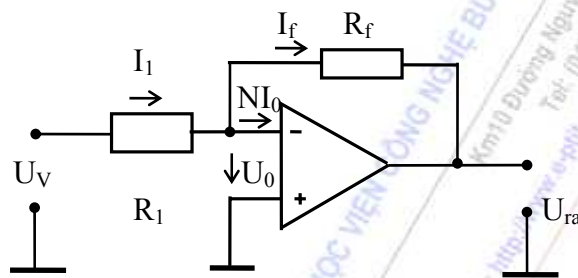
Nhằm tăng trở kháng vào lên tới hàng chục $M\Omega$ người ta thường dùng tầng vào vi sai là các tranzito trường, và trở kháng ra nhỏ nhờ tầng ra đầu theo sơ đồ đaling- ton, ví dụ như bộ khuếch đại thuật toán kiểu LF356.

6. Một số ứng dụng của bộ khuếch đại thuật toán

Một số mạch ứng dụng cơ bản dùng bộ khuếch đại thuật toán làm việc ở trong miền tuyến tính của đặc tuyến truyền đạt và có sử dụng hồi tiếp âm để điều khiển các tham số cơ bản của mạch.

+ Bộ khuếch đại đảo.

Bộ khuếch đại đảo cho trên hình 7 - 18.



Hình 7 - 18 : Sơ đồ đầu bộ khuếch đại đảo của bộ khuếch đại thuật toán

Bộ khuếch đại đảo trong hình có hồi tiếp âm điện áp song song qua điện trở hồi tiếp R_f . Đầu vào không đảo nối với đất. Tín hiệu vào qua R_1 đặt lên lối vào đảo. Nếu coi bộ khuếch đại thuật toán là lý tưởng thì điện trở vào vô cùng lớn và dòng điện vào vô cùng bé:

$$Z_{\text{vào}} \rightarrow \infty$$

$$I_0 \approx 0$$

Khi đó, tại nút N trong sơ đồ có phương trình nút dòng điện và ta có:

$$I_1 \approx I_f \quad (7.9)$$

Khi hệ số khuếch đại $K \rightarrow \infty$ thì điện áp lối vào $U_0 = \frac{U_{ra}}{K} \rightarrow 0$, do đó:

$$\frac{U_v}{R_1} = -\frac{U_{ra}}{R_f} \quad (7.10)$$

Từ đây có hệ số khuếch đại điện áp của bộ khuếch đại đảo:

$$K_U = \frac{U_{ra}}{U_v} = -\frac{R_f}{R_1} \quad (7.11)$$

Dấu "-" trong biểu thức để biểu thị tín hiệu vào và ra ngược pha nhau.

+ Bộ khuếch đại không đảo.

Sơ đồ bộ khuếch đại không đảo mô tả trong hình 7 -19.

Bộ khuếch đại không đảo gồm có mạch hồi tiếp âm điện áp đặt vào lối vào đảo, còn tín hiệu vào đặt tới lối vào không đảo của bộ khuếch đại thuật toán.

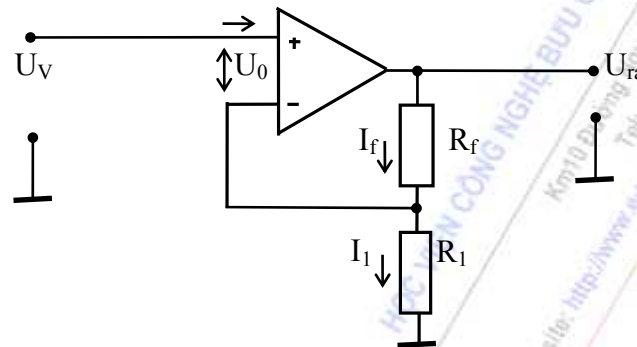
Vì điện áp giữa các đầu vào của bộ khuếch đại thuật toán $U_0 = 0$ nên quan hệ giữa điện áp U_V và U_{ra} được xác định bằng công thức sau:

$$U_V = U_{ra} \frac{R_1}{R_1 + R_f} \quad (7 - 12)$$

Hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại không đảo là:

$$K_U = \frac{U_{ra}}{U_{vao}} = \frac{R_1 + R_f}{R_1} = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad (7.13)$$

Khi sử dụng bộ khuếch đại thuật toán để khuếch đại tín hiệu người ta thường dùng bộ khuếch đại đảo vì mạch ổn định hơn.



Hình7 - 19 : Bộ khuếch đại không đảo.

7.4.3. Vi mạch ổn áp

Vi mạch ổn áp nhận ở lối vào một điện áp không ổn định và tạo ra ở lối ra một điện áp ổn định. Vi mạch ổn áp gồm có 2 loại là vi mạch cho điện áp ra ổn định cố định và vi mạch ổn áp cho điện áp ra ổn định có thể điều chỉnh được.

- Vi mạch ổn áp điện áp ra ổn định cố định thường có 2 họ thông dụng:

Họ 78XX ổn định điện áp dương; Họ 79XX ổn định điện áp âm. Ví dụ:

7805: điện áp ra cố định + 5V, 7905 có điện áp ra cố định - 5V

7812: điện áp ra cố định + 12V, 7909 có điện áp ra cố định - 9V

7809: điện áp ra cố định + 9V, 7912 có điện áp ra cố định - 12V

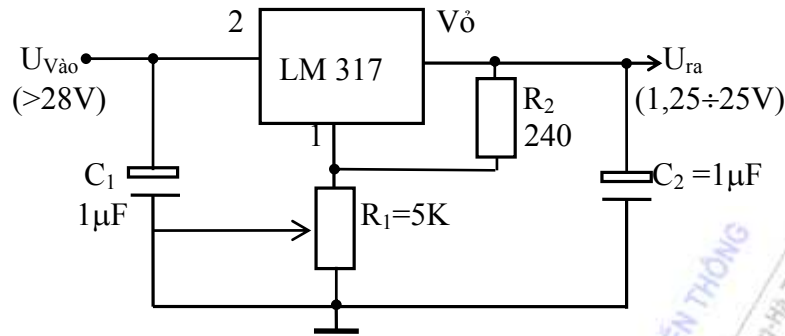
- Vi mạch ổn áp có điện áp ra ổn định có thể điều chỉnh được như:

LM317: điện áp ra điều chỉnh từ 1,2V đến 37V

LM337T: điện áp ra điều chỉnh từ - 1,2V đến - 37V

A723C: điện áp ra điều chỉnh từ 2V đến 37V

Ví dụ: Bộ ổn áp từ 1,25vôn đến 25vôn: Vi mạch LM 317 có thể cung cấp cho đầu ra một dòng điện đến 15A trong dải điện áp từ 1,2vôn đến 37vôn. Vi mạch LM có chân số 1 là đầu vào, chân số 2 là chân điều chỉnh và vỏ là chân thứ 3 và là đầu ra. Trong hình 7 -20, điện áp vào cần phải lọc trước khi đưa vào LM 317. Có thể bỏ tụ C_1 nếu điện áp vào được cung cấp từ một nguồn đặt rất gần LM 317. Điện trở R_1 dùng để điều chỉnh điện áp ra.



Hình 7 - 20 : Vi mạch ổn áp loại LM 317

7.5. VI MẠCH SỐ

7.5.1. Giới thiệu và phân loại vi mạch số

a. Giới thiệu.

Vi mạch số gồm các mạch logic cơ bản để thực hiện các thuật toán logic và các hàm logic khác nhau.

Các vi mạch số là các thiết bị 2 trạng thái, một trạng thái gần với 0 vôn hoặc đất (gọi là mức thấp hoặc ký hiệu là L), và trạng thái kia gần với điện áp cung cấp cho mạch (gọi là mức cao hoặc ký hiệu là H). Các mạch tích hợp số có thể xử lý các bit nhị phân riêng lẻ hoặc các từ nhiều bit nhị phân.

Hầu hết các vi mạch số được sử dụng hiện nay là các vi mạch số chế tạo trên cơ sở các tranzito lưỡng cực và tranzito trường. Mỗi một vi mạch số hầu như đều có thể thực hiện được một chức năng hoàn chỉnh, nên chúng cần rất ít linh kiện mắc thêm ở bên ngoài.

Các tham số cơ bản của vi mạch số:

- Mức logic: mức logic 0 và mức logic 1

Các mức logic này là các trị số điện áp tương ứng với mức logic thấp và mức logic cao, tùy từng loại mà nó có trị số điện áp khác nhau

- Nguồn nuôi: nguồn cung cấp phải đảm bảo độ ổn định cao.
- Khả năng ghép tải: biểu thị khả năng ghép được bao nhiêu lối vào của cổng logic tới một lối ra của một cổng cho trước.
- Tốc độ chuyển mạch hay còn gọi là độ tác động nhanh của vi mạch:

Loại cực nhanh	$t_{tb} \leq 5 \text{ nsec}$
Loại nhanh	$t_{tb} = 5 \div 10 \text{ nsec}$
Loại trung bình	$t_{tb} = 10 \div 100 \text{ nsec}$
Loại chậm	$t_{tb} > 100 \text{ nsec}$

- Công suất tiêu thụ: công suất tiêu thụ của vi mạch số phụ thuộc vào tín hiệu đặt lên nó.
- Dải nhiệt độ làm việc: mỗi hãng sản xuất có một chỉ tiêu nhiệt độ khác nhau.

b. Phân loại

Các vi mạch hàm logic cơ bản trên tranzito lưỡng cực và tranzito trường gồm các loại: Tranzito logic với liên kết trực tiếp (TL); Điện trở - tranzito logic (RTL); Điốt - tranzito logic (DTL); Tranzito - tranzito logic (TTL); Logic MOS; Logic CMOS (complementary MOS).

Hai họ vi mạch số quan trọng nhất và được sử dụng nhiều nhất là họ TTL/LS và họ CMOS. Họ TTL là các vi mạch trong đó tích hợp các tranzito lưỡng cực với một tranzito nhiều tiếp xúc góc- phát. Mỗi một tiếp xúc BE là một lối vào. Còn họ CMOS trong đó tích hợp các tranzito trường MOS kênh cảm ứng loại P và N đấu bù nhau.

Họ TTL có tốc độ chuyển mạch cao ($t_{tb} = 6 \div 15$ nsec), công suất tiêu thụ thấp ($45 \div 15$ μ W) và khả năng chịu tải lớn (hệ số tải $n > 10$)

Dòng vào của MOS rất nhỏ vì thế điện trở lối vào của tranzito MOS rất lớn cho phép chế tạo vi mạch có khả năng chịu tải cao ($n = 10 \div 20$), có độ chống nhiễu cao và công suất tiêu thụ rất nhỏ.

7.6. VI MẠCH NHỚ

7.6.1. Giới thiệu và phân loại bộ nhớ.

a. Định nghĩa: Bộ nhớ là cấu kiện có khả năng lưu trữ dữ liệu và các chương trình điều khiển dưới dạng số nhị phân (0;1). Khả năng nhớ dữ liệu có thể lâu dài (bộ nhớ cố định) nhưng cũng có thể tạm thời (bộ nhớ tạm thời).

Phần tử nhỏ nhất để nhớ được 1 bit nhị phân gọi là *tế bào nhớ* (memory ceel).

Tin tức trữ trong bộ nhớ gồm một số bit gọi là *Từ nhớ*. Từ nhớ có độ dài 8 bit gọi là *1 byte*; độ dài 16bit gọi là *1 từ nửa lời*; độ dài 32 bit gọi là *Từ một lời*.

Quá trình đưa dữ liệu vào bộ nhớ gọi là “*viết*”; quá trình lấy dữ liệu ra gọi là “*đọc*”. Thao tác Viết và Đọc được tiến hành từng Từ có độ dài tùy vào từng loại máy theo một chu kỳ khép kín gọi là Chu kỳ viết hoặc Chu kỳ đọc.

Thời gian truy cập bộ nhớ là khoảng thời gian kể từ lúc bắt đầu chu kỳ viết hoặc đọc đến khi dữ liệu được ghi vào tế bào nhớ hoặc xuất hiện trên đầu ra.

Bộ nhớ chỉ viết một lần gọi là *bộ nhớ chỉ đọc*. Bộ nhớ có thể viết đi viết lại nhiều lần gọi là *bộ nhớ viết và đọc*.

b. Phân loại bộ nhớ

Tùy theo vật liệu, cấu trúc, công nghệ mà bộ nhớ được chia làm nhiều loại. Dựa vào vật liệu chế tạo ta có bộ nhớ bán dẫn và bộ nhớ từ.

Bộ nhớ bán dẫn rất thông dụng hiện nay vì có thời gian truy cập nhỏ, hay nói cách khác là tốc độ đọc-viết cao.

Bộ nhớ từ có tốc độ truy cập thấp nhưng khả năng trữ dữ liệu lớn, không tiêu thụ năng lượng trong quá trình trữ tin.

7.6.2. Các tham số chính của bộ nhớ.

- *Dung lượng bộ nhớ (C)*: biểu thị khả năng trữ tin của bộ nhớ tính bằng bits, bytes, Kbytes, Mbytes, hoặc theo số Từ, KTừ trên một chip nhớ. Dung lượng bộ nhớ liên quan đến số lối vào địa chỉ. Dung lượng bộ nhớ được tính theo công thức:

$$C = 2 \text{ lũy thừa } N, \text{ trong đó } N - \text{ số bit của lối vào địa chỉ}$$

Ví dụ: Bộ nhớ có dung lượng 64×4 bit nghĩa là bộ nhớ chứa 64 Từ 4 bit.

Bộ nhớ $2K \times 8$ bit nghĩa là bộ nhớ chứa 2Kbyte.

- *Thời gian truy cập (t_a)*: Đặc trưng cho tốc độ hoạt động của bộ nhớ tính theo đơn vị ns. Thông thường t_a có trị số từ vài chục đến 1000ns tùy loại bộ nhớ.

- *Công suất tiêu thụ (P_o)*: Đặc trưng mức tiêu thụ công suất của bộ nhớ tính theo μ W/bit. Tham số này chỉ có đối với bộ nhớ bán dẫn.

- *Giá thành*: tính theo đơn vị tiền/bit.
- *Điện thế nguồn nuôi (E_{CC} hoặc V_{DD})*: họ TTL có $E_{CC} = +5V$; họ CMOS có $V_{DD} = 3V$ đến $15V$.

7.6.3. Vi mạch nhớ.

a. Định nghĩa

Vi mạch nhớ là các bộ nhớ bán dẫn, trong đó các tế bào nhớ được tạo ra từ các linh kiện bán dẫn hoặc mạch có khả năng tích trữ điện tích.

b. Phân loại vi mạch nhớ.

- *Phân loại theo công nghệ chế tạo*: vi mạch nhớ chia làm 2 loại là bộ nhớ lưỡng cực và bộ nhớ MOS/CMOS.

+ Bộ nhớ lưỡng cực: các tế bào nhớ được tạo thành từ các tranzito lưỡng cực.

+ Bộ nhớ MOS/CMOS: các tế bào nhớ được tạo thành từ các tranzito trường MOS.

- *Phân loại theo đặc thù lưu trữ dữ liệu*: vi mạch nhớ chia làm 2 loại chính là bộ nhớ cố định- ROM và bộ nhớ tạm thời- RAM.

+ ROM (Read Only Memory) là bộ nhớ chỉ đọc, nghĩa là chỉ có thể lấy dữ liệu ra. Ở đây các dữ liệu được lưu trữ vĩnh viễn ở mỗi tế bào nhớ, nên khi mất nguồn điện cũng không mất dữ liệu. Việc ghi dữ liệu vào do nhà sản xuất thực hiện.

Ngoài ra, bộ nhớ cố định còn có PROM, EPROM và EAPROM. PROM giống như ROM, dữ liệu chỉ được ghi vào một lần nhưng do người sử dụng thực hiện. EPROM là bộ nhớ có thể xóa đi và viết lại. Muốn xóa ta dùng tia cực tím. EAPROM là bộ nhớ cố định có thể xóa và viết lại. Việc xóa được thực hiện nhờ dòng điện.

+ RAM (Random Access Memory)- bộ nhớ tạm thời, là bộ nhớ đọc/viết. Mỗi tế bào nhớ là một Flip-Flop nên khi mất nguồn điện cung cấp thì tin tức trong RAM bị xóa ngay. RAM có 2 loại là RAM tĩnh (SRAM) và RAM động (DRAM).

SRAM: Tế bào nhớ là Flip-Flop (tranzito lưỡng cực hoặc tranzito MOS). Dữ liệu được ghi vào SRAM sẽ được duy trì trong nó chừng nào còn nguồn cung cấp cho chip.

DRAM: Dùng điện tích nạp vào linh kiện MOS để nhớ 1 bit tin trong tế bào nhớ. Vì điện tích nạp vào không duy trì được lâu nên định kỳ phải nạp lại điện tích gọi là "làm tươi" bộ nhớ (refresh).

Cả hai loại SRAM và DRAM đều thuộc loại bộ nhớ xóa ngay khi mất nguồn điện cung cấp.

d. Cấu trúc và hoạt động của RAM:

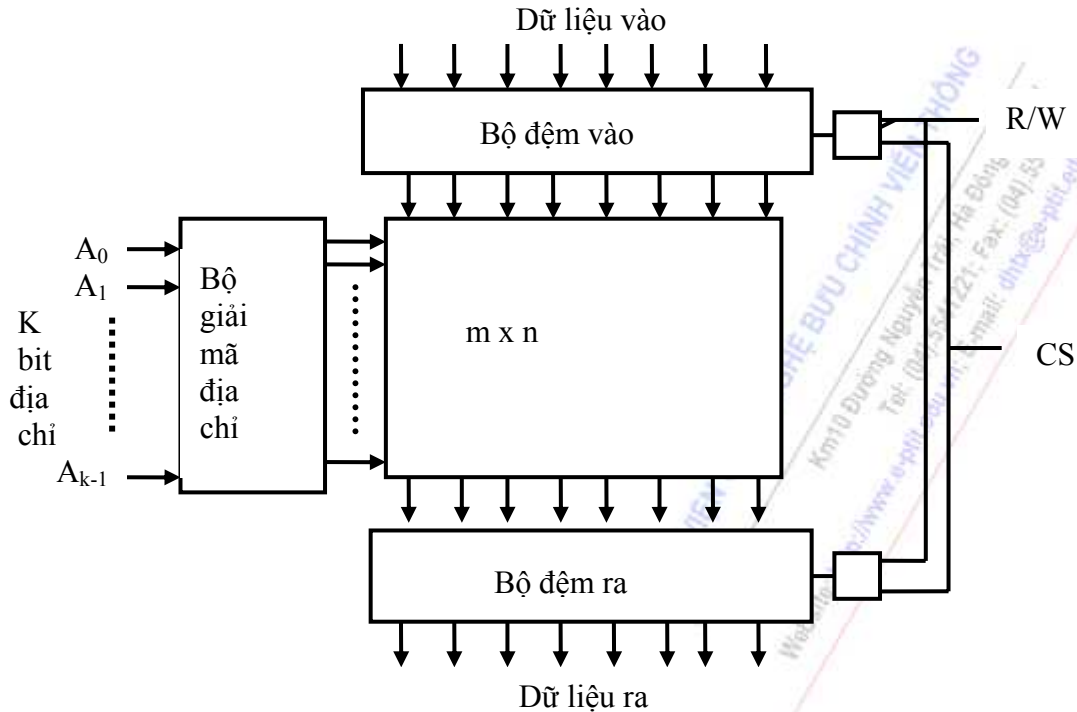
- *Cấu trúc của RAM*: các tế bào nhớ được bố trí dưới dạng ghép ma trận $m \times n$ (m hàng và n cột) và có bộ giải mã địa chỉ để xác định vị trí ô nhớ. Xem hình 7-21. Bộ giải mã địa chỉ có K bit, do vậy sẽ có 2 lũy thừa k địa chỉ hay dung lượng bộ nhớ là 2 lũy thừa k . Các dữ liệu vào và ra được đưa qua các bộ đệm vào/ ra để điều khiển việc viết và đọc của bộ nhớ thông qua chân điều khiển R/W; chân CS là chân chọn chip.

- *Nguyên lý hoạt động*: Khi CPU đưa tới một tổ hợp địa chỉ, bộ giải mã địa chỉ xác định vị trí của Từ nhớ, sau đó chờ tác động của các lối vào R/W và CS, bộ nhớ sẽ thực hiện chức năng đọc hoặc viết.

+ Đọc: đặt $R/W = 1$ và $CS = 1$: Bộ đệm vào được khóa lại, bộ đệm ra được mở. Nhờ vậy dữ liệu ở địa chỉ đã chọn sẽ đi qua bộ đệm ra để ra BUS dữ liệu.

+ Viết: đặt $R/W = 0$ và $CS = 1$: Bộ đệm vào mở, bộ đệm ra bị khóa. Các dữ liệu vào từ BUS dữ liệu sẽ đi qua bộ đệm vào để đến vị trí ô nhớ đã được xác định.

Các bộ đệm thường là các cổng logic 3 trạng thái. Khi không có tác động đọc hoặc viết, nhờ logic ở lối vào CS các bộ đệm đều ở trạng thái trở kháng cao (Zcao). Các lối vào CS còn giúp ta ghép nhiều chip nhớ với nhau để tăng dung lượng nhớ.

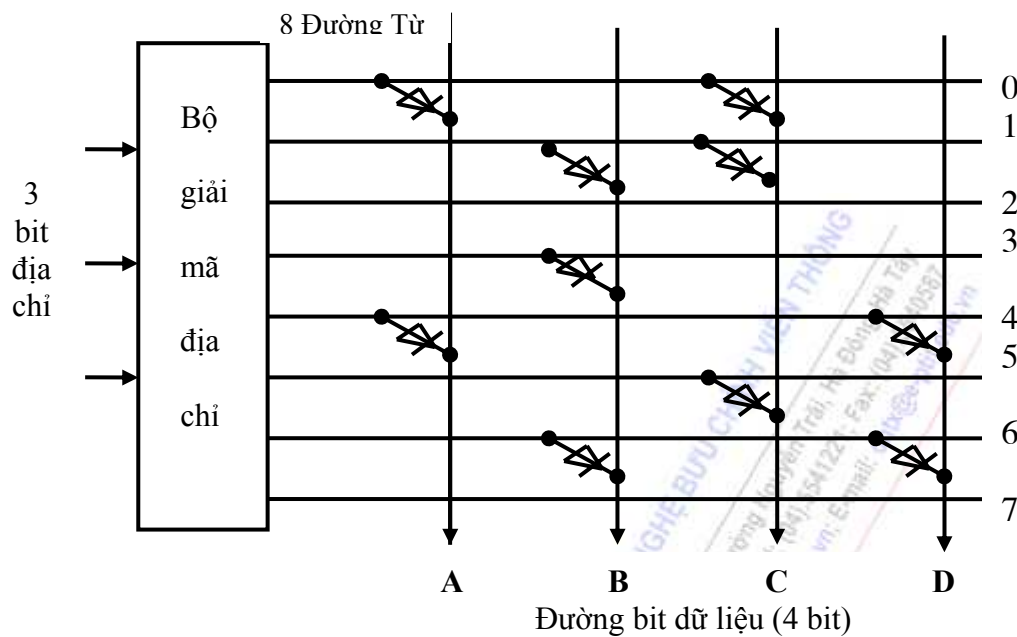


Hình 7 – 21: Cấu trúc của RAM

d. Cấu trúc của ROM bán dẫn

- ROM là bộ nhớ chứa sẵn dữ liệu, khi cần ta chỉ đọc mà không viết ngay vào được. Trong ROM bán dẫn mỗi tế bào nhớ có thể sử dụng điốt hoặc tranzito để trữ dữ liệu. Thời gian truy cập của bộ nhớ lưỡng cực khoảng $50\text{ns} \div 90\text{ns}$, còn đối với MOSFET thì chậm hơn 10 lần.

Ví dụ: Ta có cấu trúc của ROM dùng điốt: trên giao điểm của đường Từ (hàng) và đường Bit (cột) nếu có điốt thì tương ứng là bit 1, nếu không có điốt thì tương ứng là bit 0. Xem hình7-22.



Hình 7 – 22: Cấu trúc của ROM 8Tù x 4bit dùng điốt

- PROM: là bộ nhớ ROM chỉ viết một lần do người sử dụng thực hiện. Trong PROM tất cả các giao điểm giữa đường Tù và đường Bit người ta đều nối tiếp một điốt với một cầu chì. Khi viết dữ liệu vào bộ nhớ người ta chỉ cần phóng vào bộ nhớ một dòng điện đủ lớn để làm đứt cầu chì tại giao điểm đã chọn và như vậy giao điểm này được viết bit 0. Còn các giao điểm nào không bị đứt cầu chì sẽ là bit 1. Su khi viết xong không thay đổi được nữa.

7.7. NHỮNG ĐIỂM CẦN CHÚ Ý KHI SỬ DỤNG VI MẠCH TÍCH HỢP.

Các vi mạch được sử dụng rất rộng rãi trong kỹ thuật tương tự (vi mạch tuyến tính) và kỹ thuật số (vi mạch số). Khi sử dụng vi mạch tích hợp cần lưu ý một số điểm chính sau:

- Phải đọc được ký hiệu của vi mạch: Trên thân vi mạch thường ghi tên hãng sản xuất, ký hiệu chức năng của vi mạch, ký hiệu sản phẩm có là thương phẩm, ngày tháng năm sản xuất.
- Biết tra cứu vi mạch trong sổ tra cứu để biết chức năng IC và chức năng các chân của IC.
- Chú ý chân nguồn cung cấp cho IC làm việc.
- Khi đấu vào mạch phải đấu chân nguồn cung cấp trước, sau mới cho tín hiệu vào mạch.
- Nguồn cung cấp phải có độ ổn định cao.
- Hàn nối IC vào mạch phải chú ý dùng mỏ hàn nhọn, có công suất thấp khoảng 30w đến 60w, tránh làm nóng IC.

Đặc biệt đối với các IC số cần chú ý một số điểm sau:

Các vi mạch số thường gặp là các họ vi mạch TTL, CMOS, MOS, v.v.. đây là các IC thực hiện một chức năng hoàn chỉnh như cổng, hệ đếm, giải mã, ghi dịch, hệ nhớ, hệ vi xử lý.

- Khi chọn một vi mạch cần quan tâm tới các tham số sau: công suất tiêu thụ, khả năng chịu tải, thời gian chuyển mạch, khả năng chống nhiễu, điện áp nguồn nuôi, mức logic...

- Xung nhịp: tốc độ chuyển mạch của vi mạch số cần đủ lớn. Để mạch điện làm việc ổn định thì xung nhịp cần có độ dốc sườn 400 ns, nếu không đạt tiêu chuẩn này cần tạo lại dạng xung nhịp.
- Bất kỳ ở chế độ làm việc nào, điện áp tại lối vào của vi mạch không được cao hơn điện áp của chân nguồn (V_{CC} hoặc V_{DD}) và không thấp hơn đất

Đối với vi mạch loại TTL/LS cần lưu ý:

- Điện áp cung cấp V_{CC} không vượt qua 5,25vôn.
- Các đầu vào không dùng đến của họ TTL/LS được coi như ở trạng thái cao (H)... Nhưng nếu một đầu vào nào được giả thiết là cố định ở mức cao thì phải nối tới V_{CC} .
- Đặt các đầu ra của cổng không dùng đến ở mức cao để tiết kiệm điện.
- Dùng ít nhất một tụ khử ghép đối với mỗi nhóm từ 5 đến 10 cổng, từ 2 đến 5 bộ đếm và thanh ghi...
- Tránh sử dụng các dây dẫn dài trong mạch. Nếu dây dẫn dài quá 25 cm phải dùng dây bọc kim hoặc cáp đồng trục.

Đối với vi mạch MOS và CMOS:

- Điện áp đầu vào không vượt quá V_{DD} (trừ hai IC 4049 và 4050).
- Điện áp cung cấp V_{DD} nằm trong khoảng $(+3V \div +15V) \pm 5\%$
- Tất cả các đầu vào không dùng đến phải nối với V_{DD} hoặc đất.
- Phải chú ý tránh hiện tượng tích điện tĩnh trên lối vào của vi mạch CMOS và MOS bằng cách: Không nên cất vi mạch CMOS trong các hộp không có tính dẫn điện; nên đặt các chân IC xuống các khay nhôm khi chưa đấu chúng vào mạch; mở hàn nên dùng nguồn acqui, không dùng mỏ hàn điện xoay chiều.

Khi lắp ráp các vi mạch số ta cần lưu ý: Lắp đặt vi mạch số: có hai cách:

+ Lắp IC trên đế cắm: ưu điểm là IC không bị nóng nhưng dễ gây hiệu ứng tiếp xúc kém ở đế cắm vì IC có nhiều chân, làm giảm độ tin cậy của mạch.

+ Hàn trực tiếp IC vào mạch: ưu điểm của phương pháp này là đảm bảo tiếp xúc tốt song dễ làm nóng IC trong quá trình hàn, do đó sẽ làm thay đổi các tham số của IC.

Các IC số thường có vỏ là thanh nhựa đẹp và có 14, 16 hoặc 24 chân. Khi vẽ mạch in phải chú ý đến vị trí tương đối giữa mạch dẫn nguồn với dây chung và phải chú ý tụ lọc giữa nguồn và dây chung. Điện dung của các tụ này tùy thuộc vào từng họ IC.

Khi hàn chân vi mạch vào mạch in nên hàn chân nối nguồn trước sau mới hàn các chân tiếp theo.

Khi ngắt mạch, phải ngắt tín hiệu vào, sau đó cắt nguồn và nghiêm cấm việc đưa tín hiệu vào trước khi nối nguồn cung cấp.

Khi nối ghép các vi mạch khác loại với nhau phải chú ý điện áp nguồn cung cấp, các mức logic, và nên sử dụng các mạch đệm để bảo đảm việc nối ghép tốt nhất.

TÓM TẮT NỘI DUNG

Vi mạch tích hợp là một chip bán dẫn, trong đó tích hợp các cấu kiện điện tử bán dẫn trên một dây chuyền công nghệ được tự động hóa từ khâu thiết kế mạch đến khi cho ra một cấu kiện. Mỗi vi mạch có một hoặc một số chức năng nhất định.

Có nhiều cách phân loại vi mạch, trong đó thông thường người ta dựa vào 4 tiêu chí để phân loại:

- Dựa vào khả năng xử lý dữ liệu vi mạch chia làm 2 loại là vi mạch tuyến tính và vi mạch số.
- Dựa vào công nghệ chế tạo vi mạch chia làm 4 loại: vi mạch bán dẫn, vi mạch màng mỏng, vi mạch màng dày và vi mạch lai.
- Dựa vào loại tranzito được tích hợp vi mạch chia làm 2 loại: vi mạch lưỡng cực và vi mạch MOS/CMOS.
- Dựa vào số lượng phần tử được tích hợp vi mạch được chia làm 4 loại: SSI, MSI, LSI và VLSI.

Công nghệ chế tạo vi mạch rất phức tạp. Hiện nay công nghệ này gồm một số quá trình sau: quá trình quang khắc, quá trình plana, quá trình epitaxi-plana.

○ Quá trình quang khắc: là quá trình tạo ra trên tấm bán dẫn các lớp phủ bảo vệ theo các cấu hình cần thiết bằng phương pháp quang hóa.

○ Quá trình plana là công nghệ chế tạo các phần tử của mạch điện trên bề mặt của phiến đơn tinh thể bán dẫn silic. Quá trình plana là công nghệ kết hợp quá trình quang khắc và quá trình khuếch tán để tạo ra các cấu kiện điện tử như điện trở, tụ điện, điốt, tranzito...

○ Công nghệ epitaxi-plana là quá trình nuôi cấy một lớp đơn tinh thể mỏng gọi là lớp epitaxi bên trên một đế tinh thể bán dẫn khác. Sau đó là quá trình plana để tạo ra các cấu kiện điện tử trên bề mặt của lớp epitaxi trên.

Việc chế tạo các cấu kiện điện tử trong vi mạch được thực hiện từ cấu trúc cơ bản của tranzito như điốt, tranzito; còn điện trở và tụ điện thì có thể tạo ra từ các lớp tiếp xúc P-N hoặc một số công nghệ khác được trình bày trong chương 7 này.

Về ứng dụng, trong chương này đưa ra hai lĩnh vực sử dụng IC cơ bản là vi mạch tuyến tính và vi mạch số. Vi mạch tuyến tính là các vi mạch xử lý các dữ liệu xảy ra liên tục theo thời gian. Ở các cấu kiện này, quan hệ vào/ra là quan hệ đường thẳng. Vi mạch tuyến tính quan trọng là IC khuếch đại thuật toán (OA). Đây là một loại IC vạn năng, nó có thể thực hiện nhiều chức năng trong mạch điện tùy thuộc vào các linh kiện đấu ở mạch ngoài.

IC số là các vi mạch thực hiện các hàm logic. Trong vi mạch số các mức điện áp vào ra đều thể hiện 2 giá trị logic là 0 và 1. Các tham số chính của vi mạch số gồm có nguồn nuôi, mức logic vào/ra, hệ số ghép tải, độ phòng vệ nhiễu, trễ truyền lan, công suất tiêu thụ, dòng vào/ra.

Trong chương 7 cũng nêu những điều cần chú ý khi sử dụng IC.

CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Định nghĩa về vi mạch tích hợp?
2. Nêu các cách phân loại vi mạch tích hợp?
3. Trình bày về công nghệ plana?
4. Trình bày về công nghệ plana-epitaxi
5. Hãy cho biết các cách chế tạo điện trở trong vi mạch?
6. Hãy cho biết các cách chế tạo tụ điện trong vi mạch?

7. Trình bày về cách tạo ra điốt trong vi mạch?
8. Vẽ ký hiệu và giải thích nhiệm vụ các chân của vi mạch khuếch đại thuật toán?
9. Trình bày về đặc tính truyền đạt và đặc tính tần số của OA?
10. Nêu các tham số cơ bản của IC OA?
11. Trình bày về vi mạch số và nêu các tham số chính của chúng?
12. Nêu những điểm cần chú ý chính khi sử dụng IC?
13. Vi mạch tích hợp được sản xuất và sử dụng nhiều nhất hiện nay là loại nào?
 - a. Vi mạch bán dẫn;
 - b. Vi mạch màng mỏng;
 - c. Vi mạch màng dày;
 - d. Vi mạch lai
14. Điện trở trong vi mạch MOS được tích hợp là.....
 - a. điện trở màng kim.
 - b. điện trở đơn khối bán dẫn.
 - c. điện trở của tiếp xúc P-N.
 - d. một MOSFET có cực cửa nối với cực máng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Giáo trình “Cấu kiện điện tử và quang điện tử”, Trần Thị Cầm, Học viện CNBCVT, năm 2002.
2. Nguyễn Quốc Trung – “Vi điện tử số” NXB KHKT năm 1997.



CHƯƠNG 8 CẤU KIỆN QUANG ĐIỆN TỬ

GIỚI THIỆU CHƯƠNG

Chương 8 trình bày về các cấu kiện bán dẫn dùng để biến đổi tín hiệu điện sang tín hiệu quang và các cấu kiện biến đổi tín hiệu quang sang tín hiệu điện. Các cấu kiện biến đổi điện sang quang (còn được gọi là cấu kiện phát quang) được nghiên cứu trong chương này gồm có các loại điốt phát quang, laser bán dẫn; còn các cấu kiện biến đổi quang sang điện (còn gọi là các cấu kiện thu quang) gồm có điện trở quang, điốt quang, tranzito quang, thyristo quang. Nội dung chính của phần này sẽ trình bày về cấu tạo, ký hiệu và nguyên lý hoạt động cũng như các đặc tính và tham số của các cấu kiện bán dẫn quang được đề cập đến trong chương. Ngoài ra chương 8 còn trình bày về cấu trúc và tham số của các bộ ghép quang, các bộ lọc quang và các CCD

NỘI DUNG

8.1. GIỚI THIỆU CHUNG

Do yêu cầu đòi hỏi ngày càng nhanh và phức tạp của công nghệ thông tin, do những ưu điểm của các hệ thống thông tin quang, mà các thiết bị điện tử hiện nay đang sử dụng rất nhiều các linh kiện quang như LED, LCD, quang trở, photodiốt, tranzito quang, LASER, sợi quang dẫn, các bộ ghép quang... Tiêu biểu cho sự tiến bộ nhanh chóng của công nghệ chế tạo linh kiện bán dẫn quang là sự phát hiện chất bán dẫn được liên kết từ các nguyên tố ở nhóm III và nhóm V của bảng tuần hoàn Mendelêep.

Trong chương này sẽ trình bày về cấu tạo và nguyên lý làm việc cũng như các tham số cơ bản của các linh kiện quang điện tử thường được sử dụng trong kỹ thuật thông tin hiện nay. Đồng thời trình bày một số sơ đồ mạch ứng dụng của chúng.

8.1.1. Khái niệm chung về kỹ thuật quang điện tử.

a. Định nghĩa về kỹ thuật quang điện tử:

Quang điện tử là những hiệu ứng tương hỗ giữa bức xạ ánh sáng và mạch điện tử. Bức xạ ánh sáng là một dạng của bức xạ điện từ có dải tần số dao động rất cao, $10^{14} \div 10^{15} \text{ Hz}$, hoặc độ dài bước sóng từ khoảng 50nm đến khoảng 100 μm .

b. Các bức xạ quang được chia ra thành ba vùng là:

- Vùng cực tím có độ dài bước sóng từ 50nm đến 380nm.
- Vùng ánh sáng nhìn thấy có bước sóng từ 380nm đến 780nm.
- Vùng hồng ngoại có bước sóng từ 780nm đến 100 μm .

Đặc điểm của mắt người là nhìn thấy các sóng điện từ thuộc vùng ánh sáng nhìn thấy. Mắt người không chỉ phân biệt được độ sáng yếu hay mạnh, mà còn phân biệt được từng bước sóng riêng biệt gọi là độ cảm màu của mắt. Nhưng trong kỹ thuật chỉ dùng khái niệm bước sóng chứ không dùng khái niệm màu sắc, và ngay cả tần số cũng ít dùng. Các bước sóng trong thông tin quang hiện nay nằm ở vùng hồng ngoại nên khái niệm màu sắc càng không có ý nghĩa.

c. Phân loại linh kiện quang điện tử:

Linh kiện quang điện tử gồm có linh kiện bán dẫn quang điện tử và linh kiện không bán dẫn quang điện tử.

- *Linh kiện bán dẫn quang điện tử*: là những linh kiện được chế tạo từ vật liệu bán dẫn như điện trở quang, điốt quang, tranzito quang, LED, LASER bán dẫn, v.v..
- *Linh kiện không phải bán dẫn quang điện tử*: như sợi quang dẫn, mặt chỉ thị tinh thể lỏng LCD, ống nhân quang v.v..

8.1.2. Hệ thống truyền dẫn quang.

a. Sơ đồ khối của các hệ thống thông tin:

Sơ đồ khối cơ bản nhất của hệ thống thông tin điện và quang được mô tả trên hình 8-1a,b. Trong hình :

Nguồn tín hiệu: là các dạng thông tin thông thường như tiếng nói, hình ảnh, số liệu, văn bản...

Mạch điện tử : có nhiệm vụ xử lý nguồn thông tin để tạo ra các tín hiệu điện dưới dạng analog hoặc digital.

Khối E/O: là mạch biến đổi điện - quang có nhiệm vụ điều biến tín hiệu điện thành cường độ bức xạ ánh sáng để phát đi (biến đổi tín hiệu điện thành tín hiệu quang).

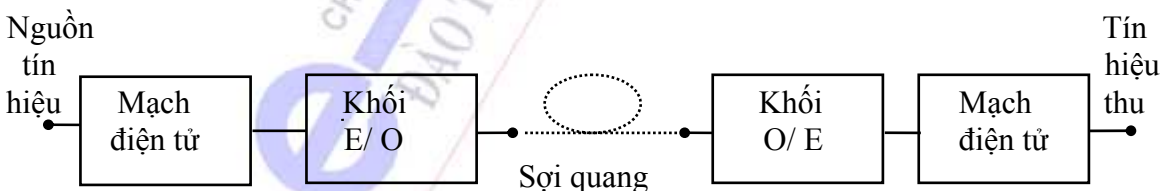
Sợi quang có nhiệm vụ truyền dẫn tín hiệu quang từ nơi phát đến nơi thu.

Khối O/E : mạch biến đổi quang - điện còn gọi là bộ thu quang có nhiệm vụ tiếp nhận ánh sáng từ sợi quang đưa đến và biến đổi trở lại thành tín hiệu điện như tín hiệu điện đã phát đi.

Tải tin : Trong hệ thống điện thì tải tin là các sóng điện từ cao tần, trong hệ thống quang tải tin là ánh sáng và cũng là sóng điện từ song có tần số rất cao ($10^{14} \div 10^{15}$ Hz) do vậy tải tin quang rất thuận lợi cho tải các tín hiệu băng rộng.



a. Hệ thống thông tin điện



b. Hệ thống thông tin quang

Hình 8-1: a. Hệ thống thông tin điện .
b. Hệ thống thông tin quang.

b. Ưu điểm của hệ thống truyền dẫn quang:

Qua hình (8-1a,b) ta thấy hai hệ thống đều có các phần tử và tín hiệu tương đồng, chỉ có môi trường truyền dẫn là khác nhau. So với hệ thống thông tin điện, hệ thống thông tin quang có một số ưu điểm sau:

+ Sợi quang nhỏ, nhẹ hơn dây kim loại, dễ uốn cong, tốn ít vật liệu.

+ Sợi quang chế tạo từ thủy tinh thạch anh không bị ảnh hưởng của nước, axit, kiềm nên không bị ăn mòn. Đồng thời, sợi là chất điện môi nên cách điện hoàn toàn, tín hiệu truyền trong sợi quang không bị ảnh hưởng của nhiễu bên ngoài tới và cũng không gây nhiễu ra môi trường xung quanh.

+ Đảm bảo bí mật thông tin, không sợ bị nghe trộm.

+ Khả năng truyền được rất nhiều kênh trong một sợi quang có đường kính rất nhỏ. Tiêu hao nhỏ và không phụ thuộc tần số nên cho phép truyền dẫn băng rộng và tốc độ truyền lớn hơn nhiều so với sợi kim loại.

+ Giá thành rất rẻ.

8.2. CÁC CẤU KIỆN BIẾN ĐỔI ĐIỆN – QUANG (Cấu kiện phát quang)

8.2.1. Sự tương tác giữa ánh sáng và vật chất.

Như đã biết, theo lý thuyết dải năng lượng của vật chất, thì thông thường các hạt đều tồn tại ở mức cơ bản (E_k) vì mức này có năng lượng thấp nhất nên cũng bền vững nhất. Chỉ cần kích thích một năng lượng nào đó, ví dụ như quang năng, điện năng, nhiệt năng... thì các hạt ở mức cơ bản sẽ di chuyển lên mức năng lượng cao hơn, gọi là các mức kích thích (E_i). Các hạt chỉ tồn tại ở các mức kích thích một thời gian rất ngắn khoảng 10^{-8} giây rồi nó lại dịch chuyển về các mức năng lượng thấp hơn và phát ra ánh sáng, hay còn gọi là các photon. Photon phát ra theo định luật bảo toàn năng lượng:

$$h\nu = E_i - E_k \quad (8.1)$$

và ta có tần số bức xạ của ánh sáng tính theo công thức (8.1):

$$\nu = \frac{E_i - E_k}{h} \quad (8.2)$$

trong đó: ν - tần số bức xạ của ánh sáng ($\nu = \frac{c}{\lambda}$).

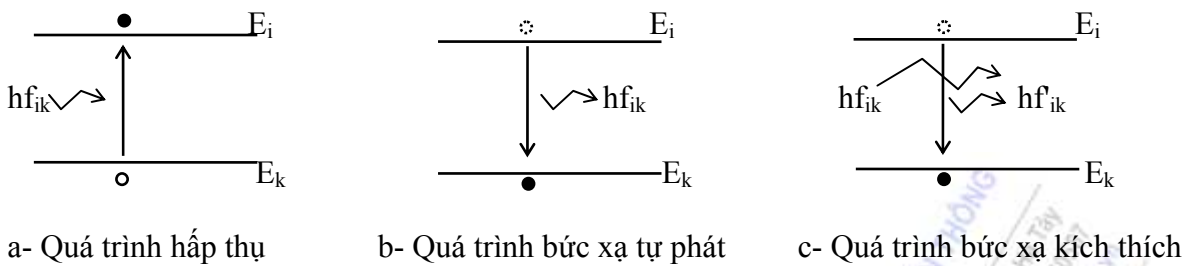
h - hằng số Plank ($h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J.s} = 4,16 \cdot 10^{-15} \text{ eV.s}$).

c - vận tốc của ánh sáng ($c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$).

λ - độ dài bước sóng của bức xạ ánh sáng phát ra.

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{c}{\frac{E_i - E_k}{h}} = \frac{1240}{(E_i - E_k)} \left[\frac{\text{eV.nm}}{\text{eV}} \right] = \frac{1240}{E_G} \left[\frac{\text{eV.nm}}{\text{eV}} \right]$$

Sự tương tác giữa ánh sáng và vật chất gồm có 3 quá trình: quá trình hấp thụ, quá trình bức xạ tự phát và quá trình bức xạ kích thích (Xem hình 8- 2a,b,c).



Hình 8- 2 : Ba quá trình chủ yếu của sự tương tác giữa ánh sáng và vật chất

a. Quá trình hấp thụ:

Quá trình hấp thụ (hình 8-2a) là quá trình mà tại đó khi có một photon tương tác với vật chất thì một điện tử ở mức năng lượng cơ bản E_k sẽ nhận thêm năng lượng của photon (quang năng) và nhảy lên mức năng lượng kích thích E_i .

b. Quá trình bức xạ tự phát:

Bức xạ tự phát (hình 8-2b) là quá trình mà các điện tử nhảy lên mức năng lượng kích thích E_i , nhưng chúng nhanh chóng trở về mức năng lượng cơ bản E_k và phát ra photon có năng lượng $h\nu$. Mỗi một bức xạ tự phát ta thu được một photon.

Hiện tượng này xảy ra không có sự kích thích bên ngoài nào và được gọi là quá trình bức xạ tự phát. Bức xạ này đẳng hướng và có pha ngẫu nhiên.

c. Quá trình bức xạ kích thích:

Nếu có một photon có năng lượng $h\nu$ tới tương tác với vật chất mà trong lúc đó có một điện tử đang còn ở trạng thái kích thích E_i , thì điện tử này được kích thích và ngay lập tức nó di chuyển trở về mức năng lượng cơ bản E_k và bức xạ ra một photon khác có năng lượng cũng đúng bằng $h\nu$. Photon mới bức xạ ra này có cùng pha với photon đi đến và được gọi là bức xạ kích thích (hay bức xạ cảm ứng). Xem hình 8-2c.

8.2.2. Điốt phát quang (LED) chỉ thị.

Điốt phát quang là linh kiện bán dẫn quang điện tử. Nó có khả năng phát ra ánh sáng khi có hiện tượng tái hợp xảy ra trong tiếp xúc P-N. Điốt phát quang thường được gọi tắt là LED do viết tắt từ các từ tiếng Anh: Light- Emitting Diode. Tùy theo vật liệu chế tạo mà ta có ánh sáng bức xạ ra ở các vùng bước sóng khác nhau.

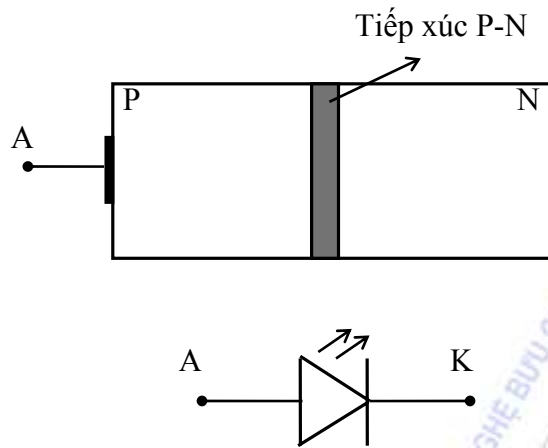
Trong mục này ta sẽ trình bày trước hết về LED bức xạ ra ánh sáng nhìn thấy gọi là LED chỉ thị. LED chỉ thị có ưu điểm là tần số hoạt động cao, kích thước nhỏ, công suất tiêu hao nhỏ, không sụt áp khi bắt đầu làm việc. LED không cần kính lọc mà vẫn cho ra màu sắc. LED chỉ thị rất rõ khi trời tối. Tuổi thọ của LED khoảng 100 ngàn giờ.

a. Cấu tạo và ký hiệu của LED:

□ Cấu tạo:

Điốt phát quang gồm có một lớp tiếp xúc P-N và hai chân cực anốt (A), catốt (K). Anốt được nối với bán dẫn loại P, còn catốt được nối với bán dẫn loại N.

Hình 8-3 mô tả mô hình cấu tạo của LED và ký hiệu trong các sơ đồ mạch.

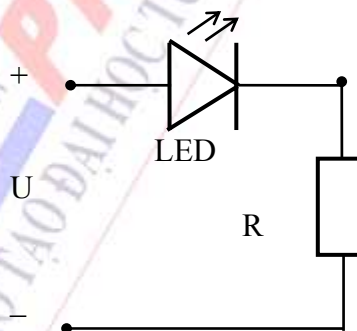


Hình 8- 3 : Mô hình cấu tạo và ký hiệu của LED.

Vật liệu chế tạo điốt phát quang đều là các liên kết của các nguyên tố thuộc nhóm 3 và nhóm 5 của bảng tuần hoàn Mendêlêep như GaAs, hoặc liên kết 3 nguyên tố như GaAsP v.v.. Đây là các vật liệu tái hợp trực tiếp, có nghĩa là sự tái hợp xảy ra giữa các điện tử ở sát đáy dải dẫn và các lỗ trống ở sát đỉnh dải hóa trị.

b. Nguyên lý làm việc:

Sơ đồ nguyên lý đầu LED mô tả trong hình 8- 4.



Hình 8- 4 : Sơ đồ nguyên lý của LED.

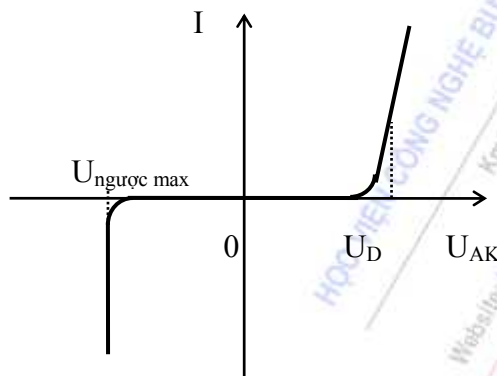
Khi LED phân cực thuận, các hạt dẫn đa số khuếch tán ồ ạt qua tiếp xúc P-N, chúng gặp nhau sẽ tái hợp và các photon được phát sinh. Tốc độ tái hợp trong quá trình bức xạ tự phát này tỉ lệ với nồng độ điện tử trong phần bán dẫn P và nồng độ lỗ trống trong phần bán dẫn N. Đây là các hạt dẫn thiểu số trong chất bán dẫn. Như vậy, để tăng số photon bức xạ ra cần phải gia tăng nồng độ hạt dẫn thiểu số trong các phần bán dẫn. Cường độ dòng điện của điốt tỉ lệ với nồng độ hạt dẫn được "chích" vào các phần bán dẫn, do đó cường độ phát quang của LED tỉ lệ với cường độ dòng điện qua điốt.

Như vậy LED có khả năng biến đổi tín hiệu điện thành tín hiệu quang, nên nó được coi là dụng cụ phát quang.

Điện áp phân cực cho LED gần bằng độ rộng vùng cấm của vật liệu, do đó, các LED bức xạ ở các bước sóng khác nhau sẽ được chế tạo từ các vật liệu bán dẫn có độ rộng vùng cấm khác nhau và điện áp phân cực cho chúng cũng khác nhau. Tuy nhiên LED có điện áp phân cực thuận tương đối cao (khoảng từ 1,6 v đến 3 v) và có điện áp ngược cho phép tương đối thấp (khoảng từ 3 v đến 5 v).

c. Đặc tuyến Vôn - Ampe của LED:

Đặc tuyến Vôn - Ampe của điốt phát quang biểu diễn mối quan hệ giữa dòng điện quang với điện áp đặt lên LED.



Hình 8- 5: Đặc tuyến Vôn - Ampe của LED

Khi điện áp thuận thay đổi (dù rất nhỏ) sẽ làm cho dòng điện qua điốt tăng đáng kể và kéo theo sự tăng cường độ bức xạ quang, do vậy cần xác định vùng làm việc cho điốt tương đối ổn định và dùng nguồn dòng để cung cấp.

Điốt phát quang rất nhạy với nhiệt độ. Khi nhiệt độ làm việc thay đổi, cực đại phổ bức xạ có thể thay đổi cả về độ dài bước sóng lẫn cường độ: khi nhiệt độ làm việc tăng thì độ dài bước sóng bức xạ ngắn lại (khoảng $0,02 \mu\text{m}/^{\circ}\text{C}$ đến $0,009 \mu\text{m}/^{\circ}\text{C}$) và điện áp phân cực cho điốt có thể bị giảm (khoảng từ $1,3 \text{ mV}$ đến $2,3 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$).

Để đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ lên giá trị điện áp phân cực, người ta sử dụng hệ số nhiệt cho điốt: S_{TV} :

$$S_{TV} = \left. \frac{\Delta U}{\Delta T} \right|_{I=\text{const}} \quad (8.3)$$

Hệ số nhiệt của LED có giá trị âm nên khi sử dụng trong hệ thống có nhiều các linh kiện điện tử cần chú ý đến tham số này. Khoảng nhiệt độ hoạt động của LED khoảng từ -60°C đến $+85^{\circ}\text{C}$. Công suất của LED khoảng từ vài trăm μW đến vài watt.

Bảng 8-1 cho biết độ rộng vùng cấm của các vật liệu càng lớn thì năng lượng được giải phóng ra càng lớn và bức xạ được phát ra có bước sóng càng ngắn.

Bảng 8.1: Tham số của một số loại LED

Vật liệu	E_G (ev)	λ_p (nm)	vùng bức xạ	U_D (v) ở $I=20mA$	$U_{ngược}$ Max	t_r (nsec)	Loại tái hợp
Ge	0,66	-	-	-	-	-	G.tiếp
Si	1,09	-	-	-	-	-	G.tiếp
GaAs	1,43	910	Hồng ngoại	1,6 ÷ 1,8	5	50	T. tiếp
GaAsP	1,9	660	Đỏ	1,6 ÷ 1,8	5		T. tiếp
GaAlAs	1,91	650	Đỏ	1,6 ÷ 1,8	5		T. tiếp
GaAsP	2,0	635	Cam	2,0 ÷ 2,2	5	100	T. tiếp
GaAsP	2,1	585	Vàng	2,2 ÷ 2,4	5	100	T. tiếp
GaAsP	2,2	565	Lá cây	2,4 ÷ 2,7	5	400	T. tiếp
GaP	2,24	560	Lá cây	2,7 ÷ 3,0	5	-	G. tiếp
SiC	2,5	490	Da trời	3,0	-	900	G.tiếp
Gallium-Nitrit	3,1	400	Tím	3,0	-	-	G. tiếp

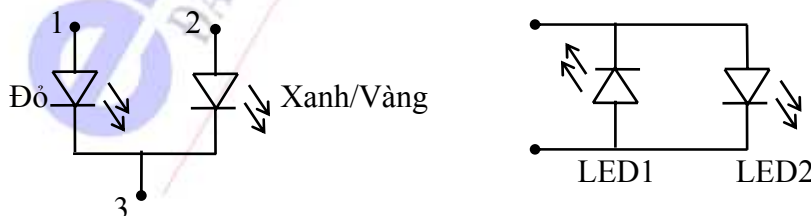
d. Ứng dụng và một số loại LED chỉ thị:

LED chỉ thị được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực quảng cáo, trong xe hơi, máy bay, trò chơi trẻ em, âm nhạc, máy ảnh... vì thể tích nhỏ, công suất tiêu tán thấp và thích hợp với các mạch logic. Khi sử dụng LED cần phải mắc nối tiếp với một điện trở hạn chế dòng. Trị số của điện trở nối tiếp được tính theo công thức (8. 4):

$$R_T = \frac{U_{CC} - U_D}{I} \tag{8. 4}$$

Trong đó: U_{CC} - Điện áp nguồn cung cấp
 U_D - Điện áp phân cực cho LED
 I - Dòng điện chạy qua LED
 (có trị số danh định khoảng từ 10mA đến 30mA)

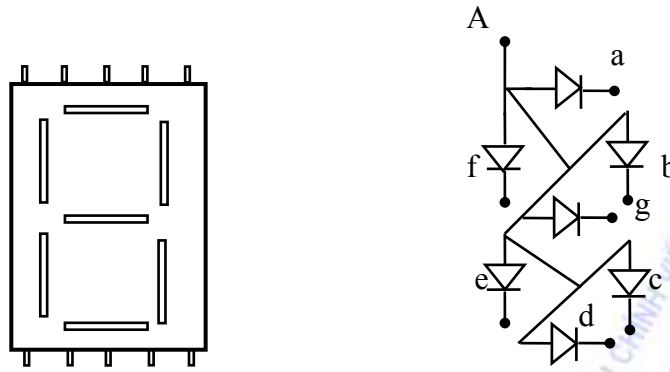
- Một số loại LED chỉ thị:
- LED đơn: Đây là linh kiện một LED.
- LED đôi: Để dùng cho những ứng dụng đặc biệt:



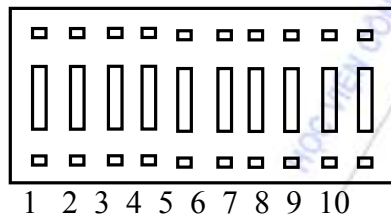
Hình 8- 6 : LED đôi.

- LED bảy đoạn sáng: Đây là một tổ hợp gồm có 7 LED được đấu nối với nhau theo hình số 8 dùng để hiển thị các số thập phân từ 0 đến 9. (Xem hình 8- 7).

- Băng chiếu sáng LED: Đây là tập hợp nhiều LED thành một chuỗi với mạch tổ hợp hoặc không có mạch tổ hợp bên trong, (xem hình 8- 8).



Hình 8- 7: Cấu trúc của một LED 7 đoạn sáng đầu kiểu Anốt chung.
20 19 18 17 16 15 14 13 12 11



Hình 8- 8: Băng chiếu sáng LED

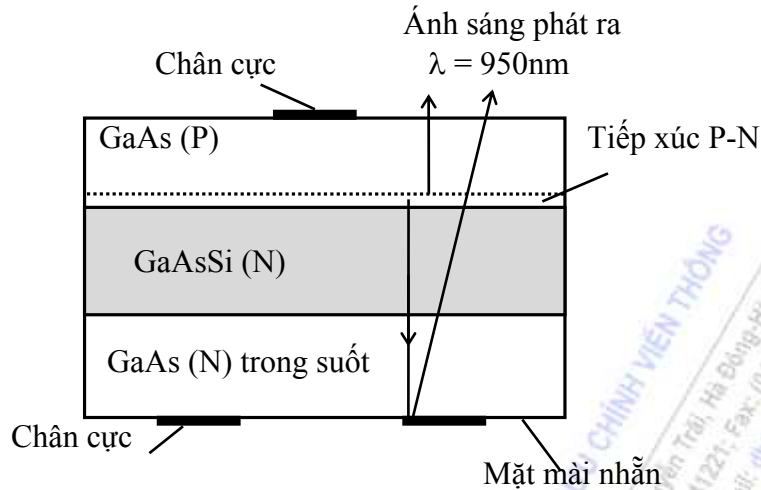
8.2.3. LED hồng ngoại.

Đối với các hệ thống thông tin quang yêu cầu tốc độ bit xấp xỉ 100 đến 200Mbit/s cùng sợi quang đa mode với công suất quang khoảng vài chục μW , các điốt phát quang bán dẫn thường là các nguồn sáng tốt nhất.

a. Cấu tạo:

Cấu tạo của LED hồng ngoại cơ bản là giống các LED chỉ thị. Để bức xạ ánh sáng hồng ngoại, LED hồng ngoại được chế tạo từ vật liệu Galium Asenit (GaAs) với độ rộng vùng cấm $E_G = 1,43 \text{ eV}$ tương ứng với bức xạ bước sóng khoảng 900nm.

Hình 8- 9 mô tả cấu trúc của một LED hồng ngoại bức xạ ánh sáng 950nm.

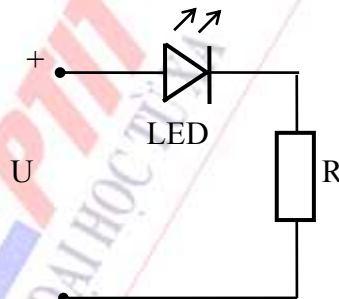


Hình 8- 9 : Cấu trúc của LED hồng ngoại bức xạ bước sóng 950nm.

Trong phần epitaxy lỏng trong suốt GaAs (N) tạo một lớp tinh thể có tính chất lưỡng tính với tạp chất Silic là GaAsSi (N) và một tiếp xúc P-N được hình thành. Với sự pha tạp chất Silic ta có bức xạ với bước sóng 950 nm Mặt dưới của LED được mài nhẵn tạo thành một gương phản chiếu tia hồng ngoại phát ra từ lớp tiếp xúc P-N.

b. Nguyên lý làm việc:

Hình 8- 10 mô tả sơ đồ nguyên lý đấu nối LED hồng ngoại trong mạch điện.



Hình 8- 10 : Sơ đồ nguyên lý của LED hồng ngoại

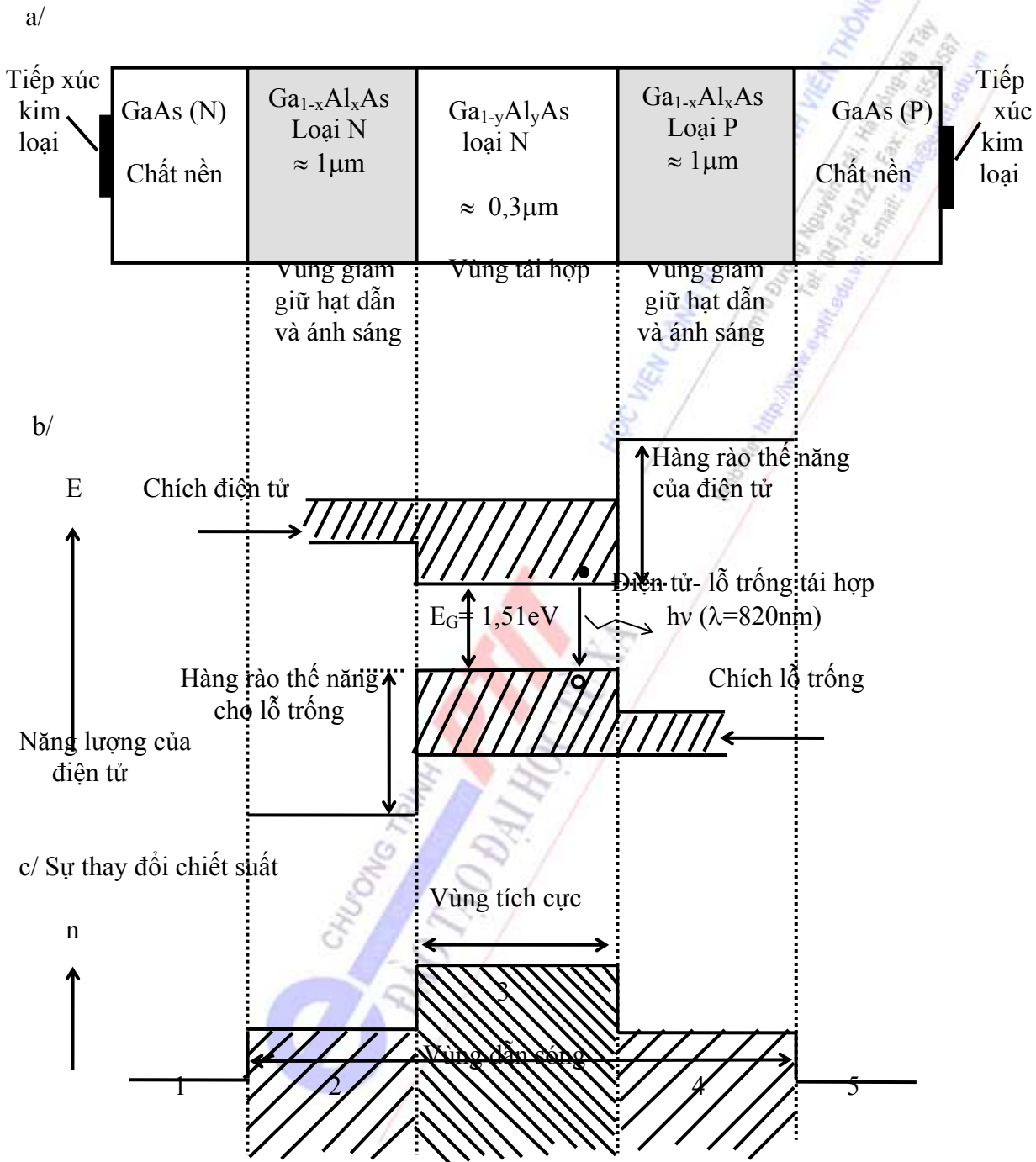
Khi phân cực thuận cho điôt, các hạt dẫn đa số sẽ khuếch tán qua tiếp xúc P-N, chúng tái hợp với nhau và phát ra bức xạ hồng ngoại. Các tia hồng ngoại bức xạ ra theo nhiều hướng khác nhau. Những tia hồng ngoại có hướng đi vào trong các lớp chất bán dẫn, gặp gương phản chiếu sẽ được phản xạ trở lại để đi ra ngoài theo cùng hướng với các tia khác. Điều này làm tăng hiệu suất của LED.

Ánh sáng hồng ngoại có đặc tính quang học giống như ánh sáng nhìn thấy, nghĩa là nó có khả năng hội tụ, phân kỳ qua thấu kính, có tiêu cự.... Tuy nhiên, ánh sáng hồng ngoại rất khác ánh sáng nhìn thấy ở khả năng xuyên suốt qua vật chất, trong đó có chất bán dẫn. Điều này giải thích tại sao LED hồng ngoại có hiệu suất cao hơn LED chỉ thị vì tia hồng ngoại không bị yếu đi khi vượt qua các lớp bán dẫn để ra ngoài.

Tuổi thọ của LED hồng ngoại dài đến 100000 giờ. LED hồng ngoại không phát ra ánh sáng nhìn thấy nên rất có lợi trong các thiết bị kiểm soát vì không gây sự chú ý.

c. LED hồng ngoại cấu trúc đặc biệt:

Để truyền dẫn trong sợi quang đạt hiệu quả người ta sử dụng các loại LED hồng ngoại có độ sáng phát ra cao, có thời gian đáp ứng nhanh và hiệu suất lượng tử cao, đó là LED cấu trúc dị thể kép. Đây là cấu trúc được sử dụng rất rộng rãi hiện nay.



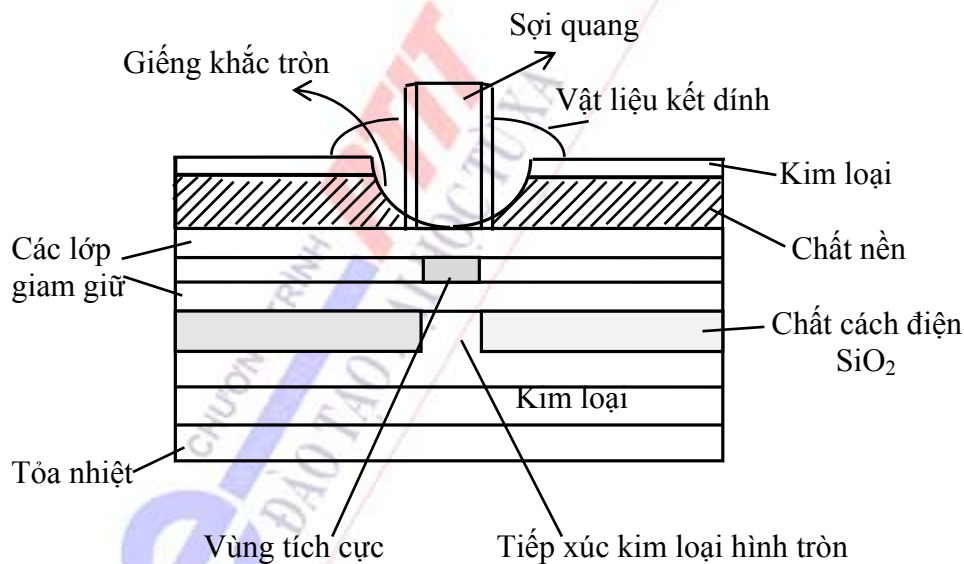
Hình 8- 11 : a/ Mặt cắt của LED cấu trúc dị thể kép loại GaAlAs với $x > y$
 b/ Giản đồ năng lượng của vùng tích cực và hàng rào thế năng của điện tử và lỗ trống
 c/ Sự thay đổi chiết suất trong các lớp dị thể

Hình 8- 11 biểu diễn một LED cấu trúc dị thể kép (double heterostructure) bởi vì có hai lớp hợp kim $Ga_{1-x}Al_xAs$ loại N và P đều có độ rộng vùng cấm lớn hơn độ rộng vùng cấm của lớp tích cực $Ga_{1-y}Al_yAs$ loại N, cũng có nghĩa là chiết suất của hai lớp này nhỏ hơn chiết suất của lớp tích cực (trong đó % phân tử lượng $x > y$). Bằng phương pháp cấu trúc Sandwich của các lớp hợp kim tổng hợp khác nhau, cả 2 loại hạt dẫn và trường ánh sáng được giam giữ lại trong trung tâm của lớp tích cực, (xem hình 8- 11b). Đồng thời sự khác nhau về chiết suất của các lớp kề cận này đã giam giữ trường ánh sáng trong lớp tích cực ở trung tâm, (xem hình 8- 11c). Sự giam giữ hạt dẫn và ánh sáng ở trong lớp tích cực đã làm tăng độ bức xạ và hiệu suất quang lượng tử.

Hai dạng cơ bản của LED được dùng cho sợi quang là bức xạ bề mặt (còn gọi là bức xạ Burrus) và bức xạ cạnh.

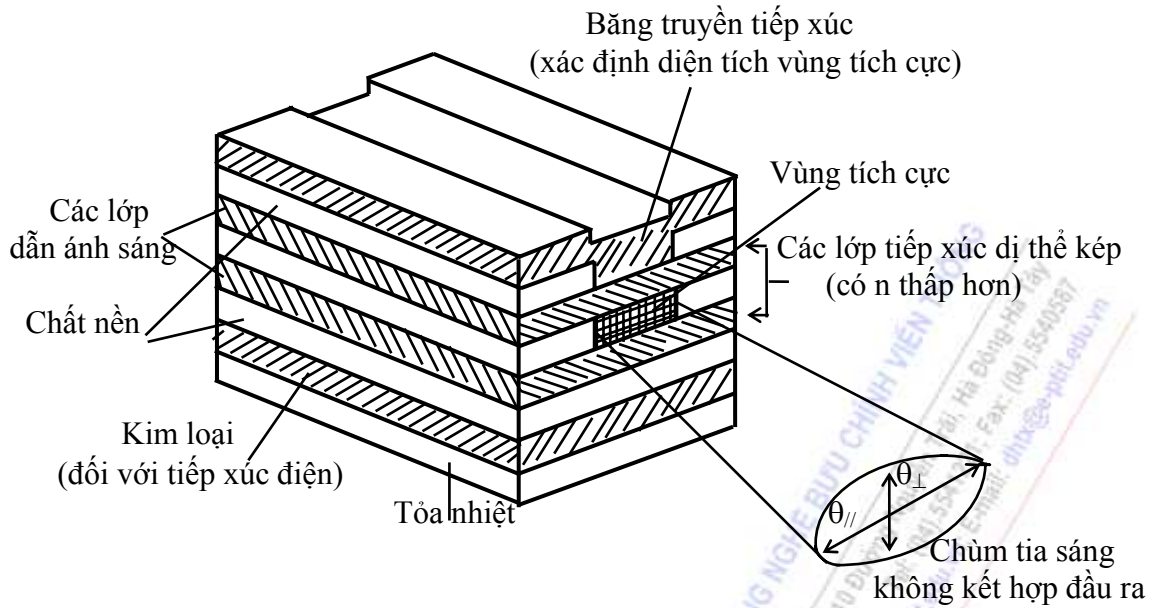
- Trong bức xạ bề mặt, mặt phẳng của vùng tích cực bức xạ ánh sáng vuông góc với trục x của sợi quang như mô tả trong hình 8- 12. Trong cấu trúc này một "cái giếng" được khắc qua phần chất nền của LED, sau đó sợi quang được gắn chặt vào để nhận ánh sáng bức xạ ra. Diện tích vòng tròn tích cực trong bề mặt bức xạ trên thực tế có đường kính $50\mu m$ và bề dày đến $2,5\mu m$. Phổ bức xạ cơ bản là đẳng hướng với độ rộng chùm tia nửa công suất 120° .

Phổ đẳng hướng này từ một bức xạ bề mặt được gọi là phổ Lambe, trong đó độ phát sáng ở mọi hướng đều bằng nhau, nhưng công suất giảm đi theo hàm $\cos\theta$, với θ là góc giữa hướng chiếu ánh sáng và đường vuông góc với bề mặt. Do vậy công suất giảm xuống 50% so với trị số đỉnh của nó khi $\theta = 60^\circ$, để tổng độ rộng chùm tia nửa công suất là 120° .



Hình 8- 12: Mặt cắt của LED bức xạ bề mặt.

Vùng tích cực được giới hạn bởi một đường tròn có diện tích tương ứng với mặt cắt đầu lõi của sợi quang



Hình 8- 13 : Cấu trúc của LED dị thể kép bức xạ cạnh.
 Chùm tia ra là Lambe ở bề mặt của tiếp xúc P-N ($\theta_{//} = 120^0$)
 và hướng vuông góc với tiếp xúc P-N là $\theta_{\perp} = 30^0$.

- LED bức xạ cạnh được mô tả ở hình 8- 13 gồm một vùng tiếp xúc tích cực và hai lớp dẫn ánh sáng. Cả hai lớp dẫn quang đều có chiết suất thấp hơn của vùng tích cực nhưng cao hơn chiết suất của các vật liệu xung quanh. Cấu trúc này tạo ra một kênh dẫn sóng hướng bức xạ ánh sáng theo hướng lõi sợi quang. Để ghép khít lõi sợi quang đường kính từ 50 μ m đến 100 μ m, băng truyền tiếp xúc đối với bức xạ cạnh có chiều rộng là 50 μ m đến 70 μ m. Chiều dài của vùng tích cực khoảng từ 100 μ m đến 150 μ m. Phổ bức xạ của LED bức xạ cạnh định hướng tốt hơn so với bức xạ bề mặt, như biểu diễn trong hình (8- 13). Ở bề mặt song song với tiếp xúc, mà tại đó không có hiệu ứng dẫn sóng, thì chùm tia bức xạ là phổ Lambe với độ rộng nửa- công suất của $\theta_{//} = 120^0$. Trong bề mặt vuông góc với tiếp xúc, bằng việc chọn độ dày của ống dẫn sóng, độ rộng chùm tia nửa- công suất θ_{\perp} được tạo ra nhỏ hơn 25 đến 35 0 .

8.2.3. Điốt LASER.

a. Định nghĩa về LASER:

LASER là một linh kiện quang học dùng để tạo ra và khuếch đại ánh sáng đơn sắc có tính liên kết về pha từ bức xạ tự phát của ánh sáng.

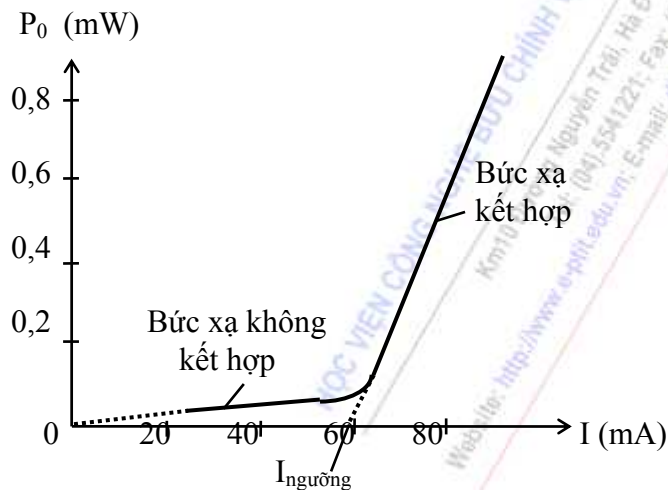
LASER là từ viết tắt của tên gọi bằng tiếng Anh: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

Nguyên lý hoạt động cơ bản của LASER là kết quả của 3 quá trình chủ yếu là quá trình hấp thụ photon, quá trình bức xạ tự phát và quá trình bức xạ kích thích.

Quá trình bức xạ kích thích sẽ chỉ trội hơn quá trình hấp thụ nếu độ chiếm giữ của các trạng thái kích thích lớn hơn độ bị chiếm giữ của các trạng thái cơ bản. Điều kiện này được gọi

là sự đảo mật độ chiếm giữ trong chất bán dẫn. Trong LASER bán dẫn, sự đảo mật độ chiếm giữ xảy ra trong trường hợp các hạt dẫn đa số khuếch tán ồ ạt qua tiếp xúc P-N. Điều này chỉ xảy ra khi dòng điện thuận qua điôt phải vượt quá trị số dòng điện ngưỡng như chỉ ra ở hình 8-14. Hình 8-14 biểu thị sự phụ thuộc của công suất phát của LASER vào dòng điện chạy qua điôt.

Vật liệu bán dẫn của điôt LASER phải là bán dẫn có sự tái hợp trực tiếp và năng lượng photon gần bằng độ rộng vùng cấm ($h\nu \approx E_G$). Để tăng độ phát sáng của LASER phải sử dụng chất bán dẫn được pha tạp với nồng độ tạp chất rất cao (hay còn gọi là sự pha tạp suy biến).



Hình 8-14: Đặc tuyến bức xạ của LASER bán dẫn.

Trong thông tin quang, các LASER phải bức xạ ra ánh sáng thuộc 3 cửa sổ công tác của sợi quang là $\lambda = 850$ nm, 1300 nm, và 1550 nm. Vật liệu bán dẫn thường được chọn trên nền GaAs. Chất Galium Asenid cho bức xạ ở nhiệt độ 300^0K với $\lambda = 900$ nm, muốn có bức xạ $\lambda = 800$ nm ta cần phải thay đổi độ rộng vùng cấm của nó bằng cách pha thêm nhôm vào để có chất bán dẫn GaAlAs. Để có bức xạ bước sóng từ $\lambda = 1200$ nm đến 1600 nm thì sử dụng hợp chất 4 thành phần InGaAsP.

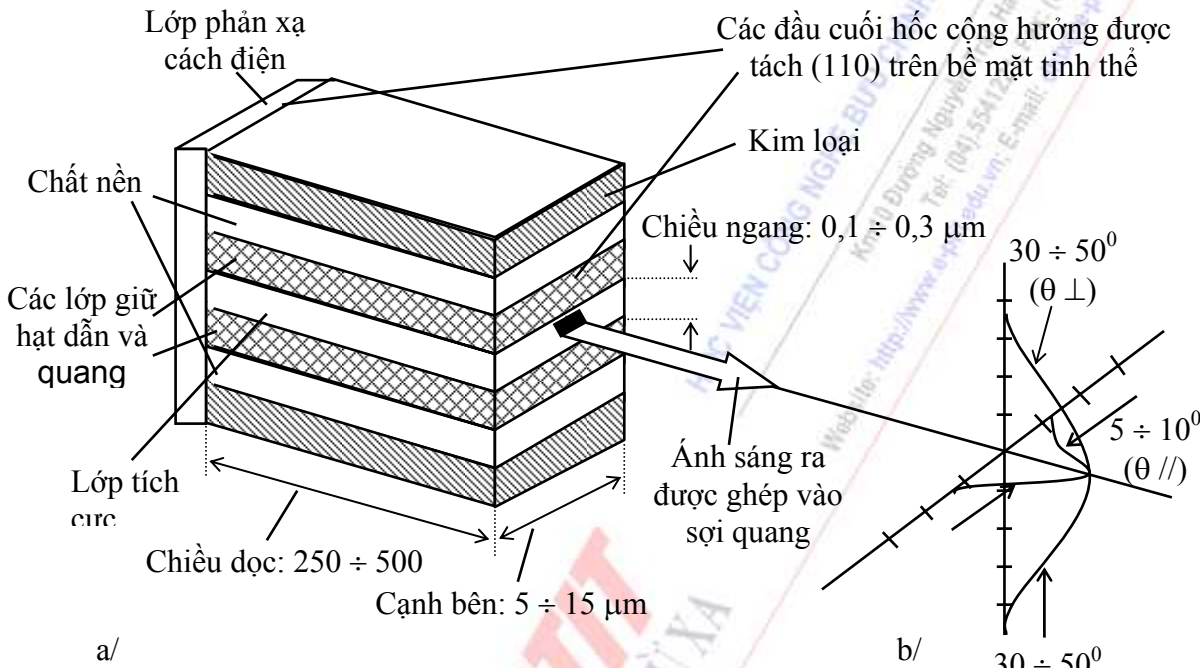
Đối với các hệ thống thông tin cáp sợi quang yêu cầu độ rộng băng tần lớn hơn 200MHz, điôt LASER có thể đạt được yêu cầu này hơn LED. Các điôt LASER tiêu chuẩn có thời gian đáp ứng thấp hơn 1ns, có độ rộng phổ bức xạ quang khoảng 2nm hoặc nhỏ hơn, và nói chung, các điôt LASER có khả năng liên kết lỗi và các khẩu độ số nhỏ. Thực tế, tất cả các điôt LASER đang sử dụng hiện nay là các linh kiện nhiều lớp tiếp xúc dị thể.

b. Cấu trúc của điôt LASER:

Cấu trúc của LASER tương tự như LED nhưng phức tạp hơn, phần lớn vì yêu cầu thêm về việc giam giữ dòng điện trong một hốc cộng hưởng nhỏ.

Bức xạ kích thích trong LASER bán dẫn được sinh ra bên trong một hốc cộng hưởng Fabry- Perot. Hình 8-15 mô tả một cấu trúc cơ bản của hầu hết các loại điôt LASER. Tuy nhiên hốc cộng hưởng rất nhỏ, kích thước chiều dài khoảng từ 250 đến 500 μm , chiều rộng khoảng từ 5 đến 15 μm và bề dày khoảng từ 0,1 đến 0,2 μm . Các kích thước này được gọi chung là kích thước chiều dọc, cạnh bên và chiều ngang của hốc cộng hưởng.

Trong hốc cộng hưởng Fabry Perot của điôt LASER, có một bộ phận các gương phản chiếu được định hướng. Các mặt gương được tạo ra bằng 2 mặt chẻ tách tự nhiên của tinh thể bán dẫn (mặt 110). Mục đích của các gương này là để cung cấp sự hồi tiếp quang theo hướng chiều dài, và sẽ biến cấu kiện thành một máy phát với hệ số tăng ích để bù lại sự tổn thất quang trong hốc cộng hưởng. Hốc cộng hưởng của LASER có thể có nhiều tần số cộng hưởng. Cấu kiện sẽ phát ra ánh sáng tại các tần số cộng hưởng mà tại đó hệ số tăng ích của nó đủ để vượt qua được sự mất mát. Các cạnh bên của hốc cộng hưởng được hình thành bởi các cạnh thô, xù xì của cấu kiện để hạn chế các bức xạ không mong muốn trong các hướng này.



Hình 8- 15 : a/ Cấu trúc của một điôt LASER với hốc cộng hưởng Fabry- Perot:

Các đầu cuối tách bóc tinh thể như là gương phản chiếu.

Đầu cuối không sử dụng có thể bọc bằng tấm phản xạ cách điện để giảm mất mát quang trong hốc cộng hưởng

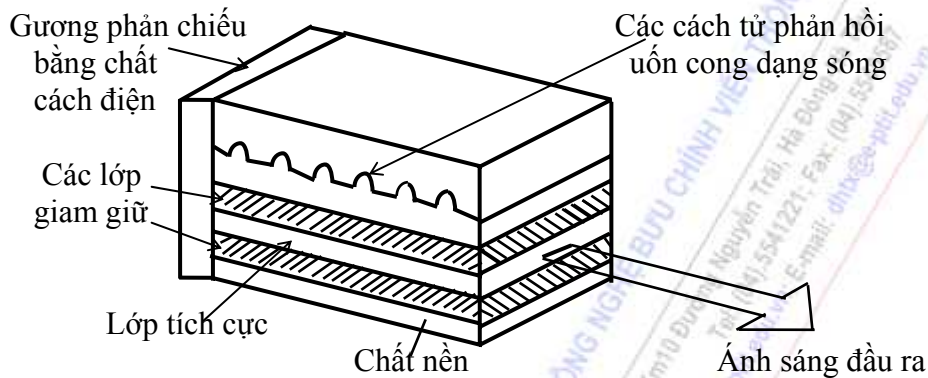
b/ Đồ thị phân bố trường xa của bức xạ

Chú ý : Chùm tia sáng từ LASER tạo thành một hình elip đứng ngay cả khi vùng phát quang tại điện tích mặt tích cực là một elip ngang.

□ **Điôt LASER hồi tiếp - phân bố (DFB):**

Đây là một loại điôt LASER không cần các mặt tách bóc tinh thể để tạo gương phản xạ quang. Ở DFB gần như tạo được độ chọn lọc một ánh sáng rất tốt dựa trên sự lan truyền sóng trong một cấu trúc tuần hoàn. Một điôt LASER loại DFB tiêu biểu được mô tả trong hình 8-16. Cấu tạo của LASER loại này cũng giống như loại Fabry Perot nhưng sự hoạt động bức xạ được thực hiện nhờ bộ gương phản chiếu Bragg, đó là các cách tử tuần hoàn, hoặc nhờ sự thay đổi theo chu kỳ của chiết suất mà nó được hợp thành trong cấu trúc nhiều lớp dọc theo chiều dài của điôt laser.

Nói chung, tín hiệu quang hoàn toàn lấy ra từ mặt trước của LASER, có nghĩa là, một mặt của nó được đặt thẳng hàng với sợi quang. Trong trường hợp này, một gương phản chiếu bằng chất cách điện có thể được lắng đọng trên mặt sau của LASER để giảm sự mất mát quang trong hốc cộng hưởng, để giảm mật độ dòng điện ngưỡng, và để tăng hiệu suất lượng tử ngoài. Với gương phản chiếu 6 lớp, độ phản xạ có thể đạt tới trên 98% .



Hình 8- 16 : Cấu trúc của một điôt LASER phản hồi- phân bố (DFB)

c. Hoạt động của điôt LASER: Cấp nguồn cho LD hoạt động phân cực thuận

Khi dòng điện cung cấp $I \geq I_{ngưỡng}$ sẽ xảy ra bức xạ laser. Sự bức xạ quang bên trong hốc cộng hưởng của điôt LASER tạo ra một phổ của các đường điện trường và từ trường gọi là các mốt (modes) của hốc cộng hưởng. Các mốt này có thể phân chia thành 2 bộ mốt độc lập. Mỗi bộ mốt được mô tả trong các thuật ngữ là các biến đổi nửa hình sin ngang, bên và dọc của trường điện từ dọc theo hệ trục chính của hốc cộng hưởng. Trong đó, mốt dọc có quan hệ với chiều dài L của hốc cộng hưởng và xác định cấu trúc nguyên lý của phổ tần số của bức xạ ánh sáng phát ra. Vì chiều dài L của hốc cộng hưởng lớn hơn nhiều lần độ dài bước sóng ($\lambda \approx 1\mu m$) nên có rất nhiều mốt dọc có thể tồn tại trong hốc cộng hưởng.

Mốt bên cạnh nằm trong bề mặt của tiếp xúc P-N. Các mốt này phụ thuộc vào sự chế tạo các mặt bên và độ rộng của hốc cộng hưởng; nó xác định hình dạng của mặt cắt cạnh bên của chùm tia laser. Các mốt này rất quan trọng vì chúng xác định một cách phong phú các đặc tính của LASER như phổ bức xạ và mật độ dòng điện ngưỡng.

Để xác định các điều kiện laser và tần số cộng hưởng, ta biểu diễn sự lan truyền sóng điện từ theo hướng dọc (dọc theo trục chuẩn cho các gương):

$$E(z,t) = I(z) \exp [j(\omega t - \beta z)] \tag{8. 5}$$

- Trong đó:
- I(z)- là mật độ trường quang theo hướng dọc (z)
 - z - khoảng cách theo hướng dọc của hốc cộng hưởng
 - ω - là tần số góc của ánh sáng
 - β - là hệ số lan truyền

Bức xạ laser là điều kiện mà tại đó sự khuếch đại ánh sáng có thể thắng được sự hấp thụ ở trong điôt LASER. Yêu cầu đòi hỏi để cho phát laser là phải đạt được sự đảo mật độ chiếm giữ trong chất bán dẫn. Điều kiện này có thể được giải thích bằng mối quan hệ giữa mật độ trường sáng I, hệ số hấp thụ α_λ , và hệ số khuếch đại g trong hốc cộng hưởng Fabry Perot. Tốc

độ bức xạ kích thích trong một môi trường đã cho tỉ lệ thuận với mật độ bức xạ trong môi trường đó. Mật độ bức xạ ứng với các photon có năng lượng $h\nu$ thay đổi theo qui luật hàm mũ với khoảng cách z , dọc theo trục cộng hưởng tính theo công thức sau:

$$I(z) = I(0) \exp\{[I'g(h\nu) - \alpha'(h\nu)]z\} \quad (8.6)$$

Trong đó: α' - là hệ số hấp thụ hữu ích của vật liệu trong đường quang.

I' - là hệ số giam giữ ánh sáng.

$I(0)$ - mật độ trường quang ban đầu

g - hệ số khuếch đại quang

Sự khuếch đại quang của các môi trường đã chọn đạt được bằng cơ chế phản hồi của hốc cộng hưởng quang. Trong sự lặp đi lặp lại nhiều lần giữa 2 tấm gương phản chiếu đặt song song, một phần nhỏ của bức xạ liên kết với các môi trường có hệ số khuếch đại quang cao nhất được duy trì và khuếch đại trong mỗi một lượt đi qua hốc cộng hưởng.

Bức xạ Laser xuất hiện khi độ khuếch đại của một hoặc một số môi trường đủ để trội hơn sự mất mát ánh sáng trong suốt một lượt đi vòng quanh qua hốc cộng hưởng, nghĩa là $z = 2L$. Trong suốt lượt đi vòng quanh này chỉ có một phần nhỏ R_1 và R_2 của bức xạ quang được phản xạ từ hai đầu 1 và 2, tương ứng, của LASER; ở đó, R_1 và R_2 là độ phản xạ của gương. Do vậy công thức (8.6) được viết thành:

$$I(2L) = I(0)R_1R_2 \exp\{2L[I'g(h\nu) - \alpha'(h\nu)]\} \quad (8.7)$$

Tại ngưỡng phát laser, một dao động trạng thái bền chiếm giữ và độ lớn cũng như pha của sóng phản hồi có thể bằng các sóng gốc tạo ra nó. Điều này cho ta các điều kiện phát laser:

$$I(2L) = I(0) \quad \text{Đối với biên độ} \quad (8.8)$$

và
$$e^{-j\beta 2L} = 1 \quad \text{Đối với pha} \quad (8.9)$$

Công thức (8.9) cho thông tin về tần số cộng hưởng của hốc Fabry Perot.

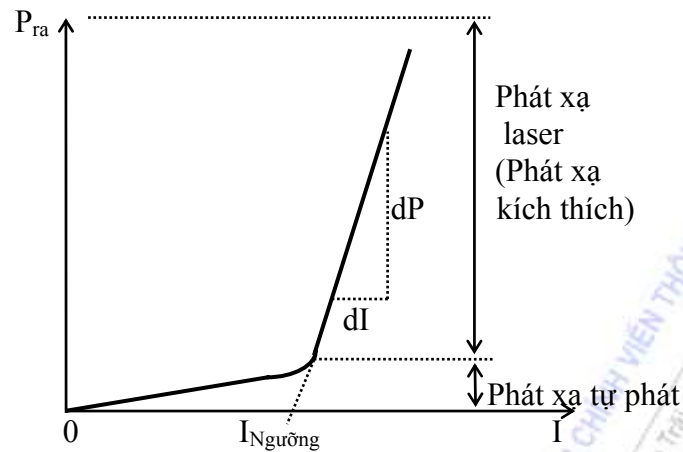
Từ công thức (8.8) chúng ta có thể tìm thấy các môi trường có độ khuếch đại đủ lớn để dẫn đến sự phát quang và chúng ta có thể tìm được biên độ của các môi trường này. Do vậy, từ công thức (8.8), điều kiện để đạt được độ khuếch đại quang ngưỡng-lasing g_{th} : là một điểm mà tại đó độ khuếch đại g lớn hơn hoặc bằng tổng mất mát α_t ở trong hốc cộng hưởng

$$I'g_{th} \geq \alpha_t$$

$$\alpha_t = \alpha' + \frac{1}{2L} \ln\left(\frac{1}{R_1R_2}\right) \quad (8.10)$$

Nếu một môi trường thỏa mãn công thức (8.10) đạt tới ngưỡng đầu tiên, thì theo lý thuyết, tại điểm đạt của điều kiện ngưỡng này, tất cả năng lượng tổng được đưa vào trong LASER sẽ tăng độ lớn của riêng một môi trường này. Trên thực tế, tín hiệu ra luôn tồn tại nhiều hơn một môi trường. Các yếu tố quan trọng cho các điều kiện hoạt động đơn môi trường dọc là các vùng tích cực mỏng và có độ ổn định nhiệt cao.

Quan hệ giữa công suất quang phát ra với dòng điện điều khiển điốt được thể hiện ở hình 8-17. gọi là đặc tuyến bức xạ.



Hình 8- 17: Đặc tuyến bức xạ P-I

Khi dòng điện có trị số thấp ($I < I_{Ngưỡng}$) trong điốt chỉ có bức xạ tự phát. Cả khoảng phổ và độ rộng chùm tia bên cạnh bức xạ này giống như của LED. Sự tăng đột ngột và rất nhanh của công suất ra xuất hiện tại ngưỡng lasing. Điểm chuyển đổi đột ngột này dẫn đến việc khoảng phổ và độ rộng chùm tia hẹp lại theo độ tăng của dòng điện điều khiển. Độ rộng phổ xấp xỉ 1nm và độ rộng chùm tia cạnh bên hẹp hoàn toàn đến chuẩn $5^0 \div 10^0$ ngay khi vượt qua điểm ngưỡng. Dòng điện ngưỡng I_{th} thường được xác định bằng phép ngoại suy của vùng lasing ở đường cong đồ thị sự phụ thuộc của công suất phát quang vào dòng điện điều khiển, như ở hình (8- 17).

d. Các đặc tính và tham số của LASER:

□ *Đặc tuyến bức xạ:*

Đặc tuyến bức xạ biểu thị quan hệ giữa công suất ánh sáng phát ra và dòng điện điều khiển chạy qua điốt LASER (xem hình 8- 17).

Qua hình vẽ ta thấy:

Khi dòng điện $I < I_{Ngưỡng}$: Ánh sáng phát ra là bức xạ tự phát của LED.

Khi dòng điện $I \geq I_{Ngưỡng}$: Sự đảo điện xuất hiện và ánh sáng phát ra là bức xạ kích thích cho ta ánh sáng kết hợp.

□ *Hiệu suất lượng tử vi phân ngoài:* η_{ext}

Hiệu suất lượng tử vi phân ngoài xác định số lượng photon bức xạ ra trên đơn vị điện tử - lỗ trống tái hợp trên mức ngưỡng.

$$\eta_{ext} = \frac{q}{E_G} \frac{dP}{dI} = 0,8065 \lambda \frac{dP}{dI} \left[\mu m. \frac{mW}{mA} \right] \quad (8. 11)$$

Trong đó:

E_G - độ rộng vùng cấm đo bằng eV.

q - điện tích của điện tử.

dP - lượng thay đổi công suất bức xạ ra đo bằng [mW].

khi gia lượng dòng điện cung cấp là dI đo bằng mA.

λ - độ dài bước sóng bức xạ ra đo bằng μm .

Với các LASER bán dẫn thông dụng thì $\eta_{ext} = (15 \div 20)\%$; còn đối với các linh kiện chất lượng cao có $\eta = 30 \div 40)\%$.

□ *Tần số cộng hưởng:*

Theo công thức (8. 9) ta có thể xét các tần số cộng hưởng của LASER. Điều kiện để thực hiện được công thức (8. 9) là khi có:

$$2\beta L = 2\pi \cdot m \tag{8. 12}$$

trong đó: m- là một số nguyên

β - hằng số lan truyền với:

$$\beta = 2\pi \cdot n / \lambda \tag{8. 13}$$

n - chiết suất của chất bán dẫn.

Từ đây ta có:

$$L = m \cdot \frac{\lambda}{2n} = m \cdot \frac{C}{2n\nu} \tag{8. 14}$$

Trong đó C là vận tốc ánh sáng trong môi trường chân không. Điều này có nghĩa là chiều dài hộp cộng hưởng bằng một số nguyên lần nửa bước sóng ánh sáng trong chất bán dẫn. Như vậy trong hốc cộng hưởng tồn tại các thành phần sóng đứng khi một số nguyên m nửa sóng trải rộng trong vùng giữa các gương.

Vì trong các LASER, hệ số khuếch đại là một hàm của tần số, do đó sẽ có một khoảng tần số được duy trì theo công thức (8. 14). Mỗi một tần số này đáp ứng một dao động của LASER. Do vậy sẽ có một số LASER đơn một và một số LASER đa một. Mối quan hệ giữa hệ số khuếch đại và tần số sẽ có dạng Gauss:

$$g(\lambda) = g(o) \exp \left[-\frac{(\lambda - \lambda_0)^2}{2\sigma^2} \right] \tag{8. 15}$$

Trong đó: λ_0 - là độ dài bước sóng tại trung tâm của phổ

σ - là độ rộng phổ khuếch đại

và hệ số khuếch đại cực đại $g(o)$ tỉ lệ thuận với sự đảo điện.

Xét tần số, hoặc độ dài bước sóng, khoảng cách giữa các một của một LASER đa một. Để tìm khoảng cách tần số $\Delta\nu$, nghiên cứu 2 một liên tiếp nhau của tần số ν_{m-1} và ν_m biểu diễn bằng các số nguyên (m-1) và m. Từ công thức (8. 14), ta có:

$$m - 1 = \frac{2Ln}{C} \nu_{m-1}$$

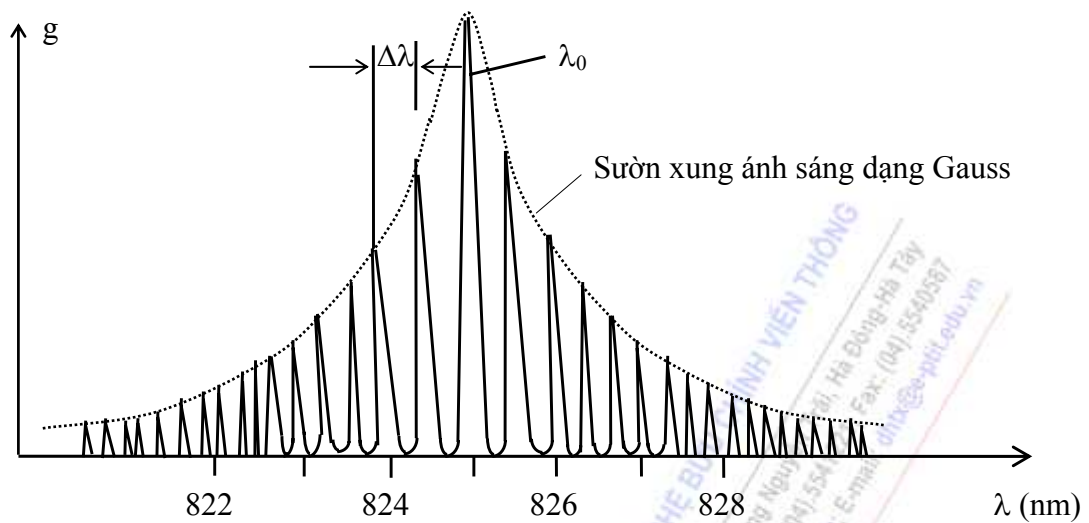
và
$$m = \frac{2Ln}{C} \nu_m$$

Trừ hai công thức này cho nhau ta có:

$$1 = \frac{2Ln}{C} (\nu_m - \nu_{m-1}) = \frac{2Ln}{C} \Delta\nu \tag{8. 16}$$

Từ đây ta có khoảng cách tần số:

$$\Delta\nu = \frac{C}{2Ln} \tag{8. 17}$$



Hình 8 - 18 : Phổ tiêu biểu của một điốt LASER GaAlAs/ GaAs

Ta biết bước sóng và tần số có quan hệ với nhau như sau (vì $v\lambda = C$):

$$\Delta v/v = \Delta \lambda/\lambda$$

ta có:

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda^2}{2Ln} \tag{8.18}$$

Như vậy công thức (8.15) và (8.18) cho ta quang phổ bức xạ của một LASER đa mốt và đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của độ khuếch đại vào tần số và khoảng cách tần số phụ thuộc vào cấu trúc của LASER, (xem hình 8-18).

8.2.4. Mặt chỉ thị tinh thể lỏng (LCD: Liquid Crystal Display).

a. Khái niệm:

Mặt chỉ thị tinh thể lỏng- LCD- không phải là linh kiện bán dẫn quang điện tử. LCD được chế tạo dưới dạng thanh và chấm- ma trận. LCD là cấu kiện thụ động, nó không phát sáng nên càng dễ đọc nếu xung quanh càng sáng. LCD có tuổi thọ khá cao từ 10000 giờ đến 100000 giờ và ngày nay nó thay thế dần các mặt chỉ thị loại LED, Plasma hay huỳnh quang.

LCD: dùng làm mặt chỉ thị cho đồng hồ, máy tính con, các thiết bị đo số, đồ chơi trẻ em, màn hình ti vi.

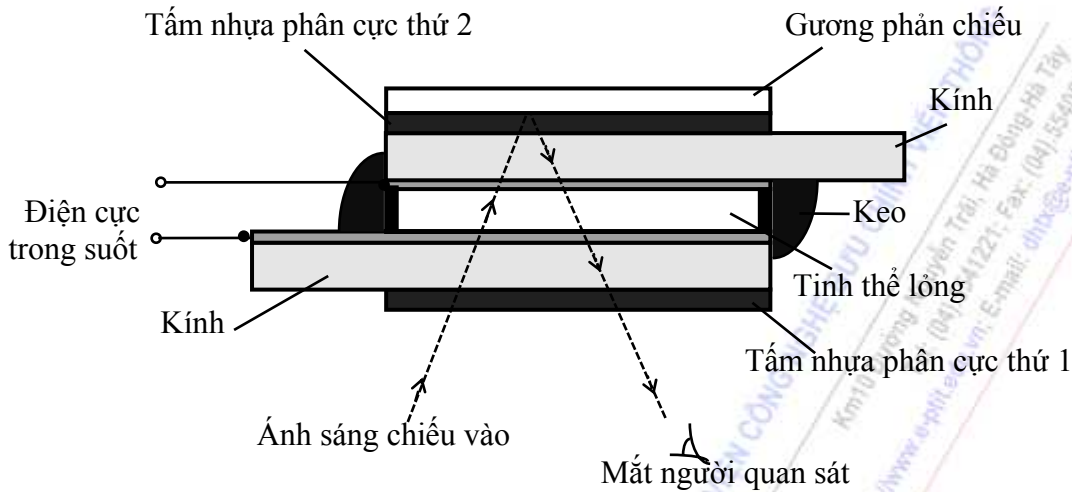
Vật liệu:

Tinh thể lỏng sử dụng trong LCD là những hợp chất hữu cơ. Các phân tử của tinh thể lỏng này được phân bố sao cho các trục dọc của chúng nằm song song với nhau.

Hiệu ứng quang học dùng cho LCD chỉ hạn chế trong khoảng "không đẳng hướng", do vậy dải nhiệt độ làm việc của LCD bị hạn chế và xác định bởi hai điểm nhiệt độ nóng chảy và nhiệt độ trong suốt.

b. Cấu tạo của thanh LCD:

Cấu tạo của LCD gồm có 2 tấm kính đặt cách nhau khoảng 10µm. Mặt phía trong của 2 tấm kính tráng một lớp oxit kẽm (ZnO) trong suốt làm hai điện cực. Xung quanh bên cạnh hai tấm kính được hàn kín, sau đó đổ tinh thể lỏng vào khoảng giữa 2 tấm kính và gắn kín lại. Hai tấm nhựa có tính phân cực ánh sáng được dán bên ngoài hai tấm kính sao cho hình ảnh phản chiếu của mặt chỉ thị được nhìn từ một phía nhờ gương phản chiếu.



Hình 8- 19 : Cấu tạo của một thanh LCD

c. Nguyên lý làm việc:

□ Chế độ phản chiếu:

+ Khi chưa có điện áp đặt vào, các thanh LCD không làm việc thì ánh sáng sẽ đi qua tấm nhựa phân cực thứ nhất, qua chất tinh thể lỏng, qua tấm nhựa phân cực thứ 2 đến gương phản chiếu và phản chiếu trở về phía người quan sát và thanh LCD không nhìn thấy - Mặt chỉ thị trong suốt.

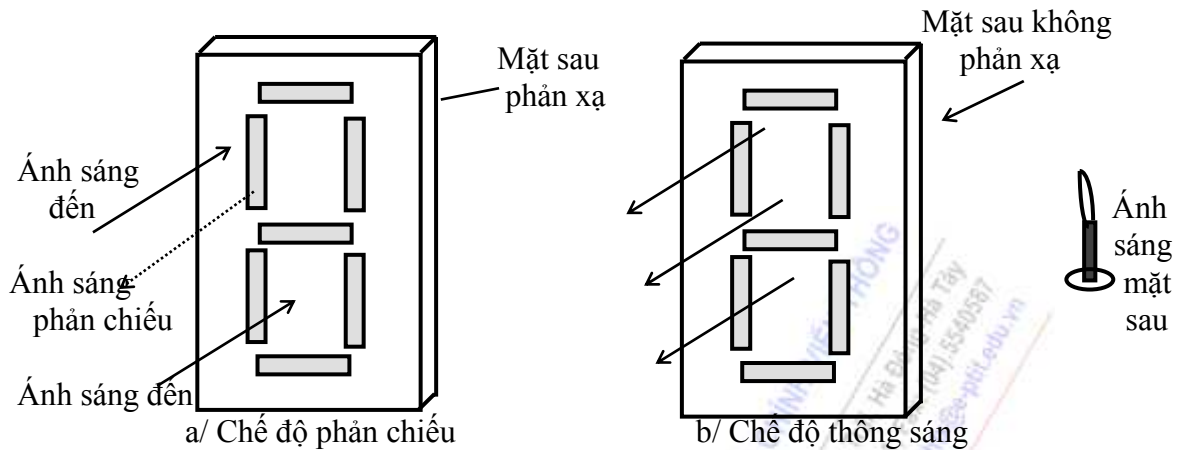
+ Khi có điện áp cung cấp cho thanh LCD, trục dài của các phân tử chất tinh thể lỏng được định hướng theo hướng của điện trường. Như vậy, ánh sáng đi qua tấm nhựa phân cực thứ nhất sẽ bị thay đổi do chất tinh thể đã hoạt hóa, do đó, ánh sáng không thể đi qua tấm phân cực thứ 2 để phản chiếu lại bằng gương phản chiếu. Như thế thanh tinh thể lỏng chịu tác động của điện trường sẽ bị tối đi.

Với 2 màng lọc phân cực 90⁰ ta có nền của mặt chỉ thị trong suốt và những chữ, số, dấu hiệu tối đen. Đây là mặt chỉ thị hoạt động ở chế độ phản chiếu.

Nhược điểm của chế độ phản chiếu là mặt chỉ thị phải dựa vào một nguồn sáng từ bên ngoài. Nếu không có ánh sáng ngoài hay trong một phòng tối thì mặt chỉ thị sẽ không nhìn thấy.

□ Chế độ thông sáng:

Nếu 2 màng lọc phân cực song song thì ta có mặt chỉ thị có nền tối và các chữ, số và dấu hiệu sẽ trong suốt. Loại này thích hợp với việc chiếu sáng từ phía sau mặt chỉ thị và ta gọi là chế độ thông sáng.



Hình 8 - 20 : Chế độ làm việc của LCD

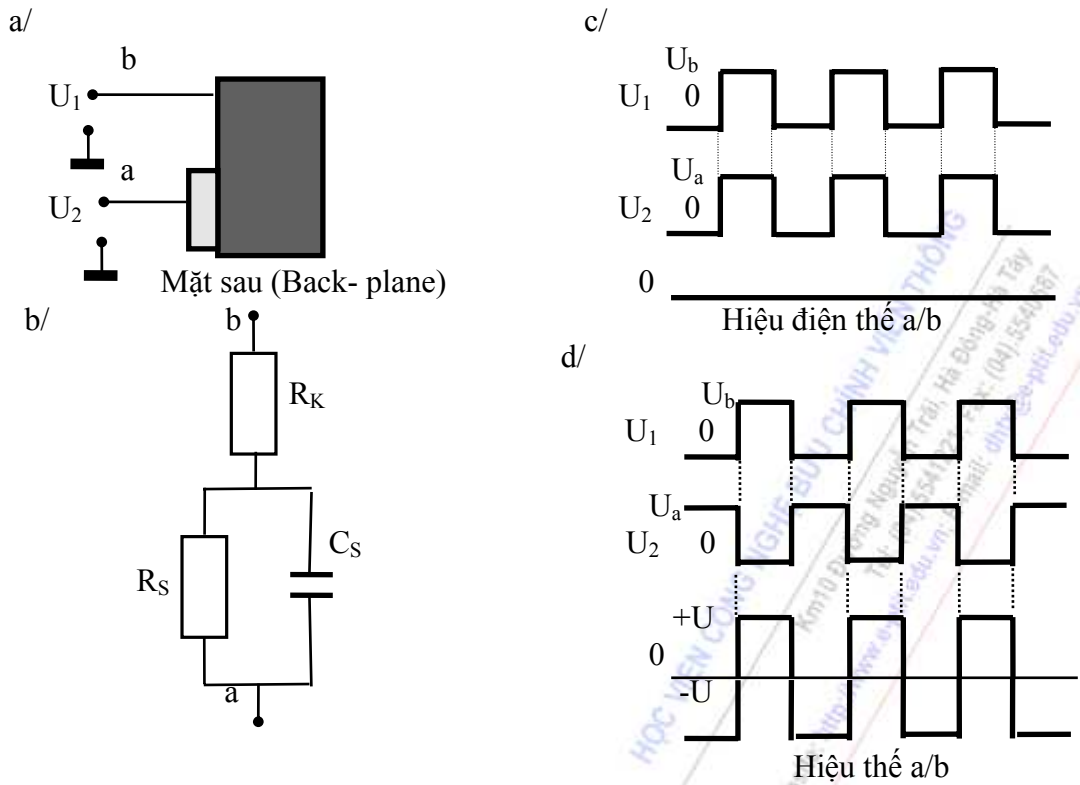
Ở chế độ này, ánh sáng đi qua các phần không hoạt hóa nhưng được gò vào khuôn bằng các thanh hoạt hóa. Vì vậy chữ số đã chọn sẽ nhìn thấy. Để ánh sáng chiếu đều, cần có một tấm kính tán xạ đặt giữa LCD và nguồn sáng.

Hầu hết các đồng hồ số hiển thị đều kết hợp cả hai chế độ phản chiếu và thông sáng. Loại LCD này cần có điện áp xoay chiều từ 3V đến 8V, thời gian hiện số là 100 msec và thời gian tắt từ 200 msec đến 300 msec.

d. Mạch điện điều khiển LCD:

Phân đoạn tinh thể lỏng và mạch điện tương đương của nó được mô tả trong hình 8-21a,b. Trong hình 8- 21 có:

- a: là điện cực của một phân đoạn;
- b: là điện cực chung.
- R_K : là điện trở của các vật liệu giữa nguồn điện và phân đoạn tinh thể lỏng (khoảng vài $K\Omega$).
- R_S : là điện trở của tinh thể lỏng (khoảng vài $M\Omega$)
- C_S : là điện dung giữa hai cực điện của một phân đoạn tinh thể lỏng (khoảng từ $100pF \div 200pF$, $300pF$ cho LCD loại lớn).



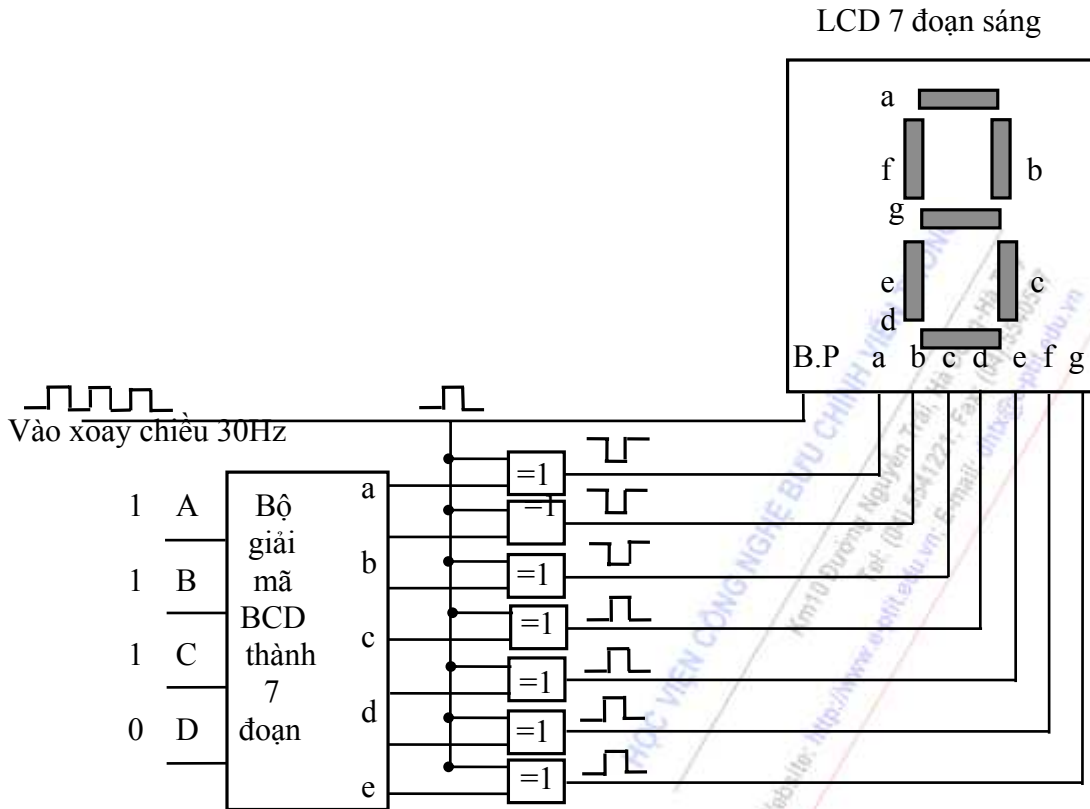
Hình 8- 21: a- Phân đoạn LCD với các chân điện cực.
 b- Mạch điện tương đương của một phân đoạn LCD.
 c- Hai điện cực a và b có điện áp cùng pha.
 d- Hai điện cực a và b có điện áp ngược nhau.

Điện dung C_s không gây ảnh hưởng ở tần số làm việc từ 30 Hz đến 150 Hz, hoặc 200 Hz. Với các tần số < 30 Hz các chữ số bị chậm chờ; và với tần số > 100 Hz và với điện áp khá cao các phân đoạn không có điện áp cũng bị chậm chờ. Để hạn chế hiện tượng này, các phân đoạn không sử dụng phải nối với điện cực mặt sau (Back -plane).

Trong hình (8- 21c) cho ta thấy, khi điện áp trên hai điện cực a và b của phân đoạn LCD cùng pha thì hiệu thế của phân đoạn là 0V nên nó không có kích hoạt.

Trong hình (8-21d): Khi hai điện cực a và b có điện áp ngược nhau thì hiệu thế giữa điện cực a và điện cực b là một điện áp xoay chiều với biên độ bằng $2U_b$ và phân đoạn LCD được kích thích hoạt động.

Như đã biết, để LCD làm việc ta cần một điện áp xoay chiều không có lần điện áp một chiều. Với điện áp một chiều lớn, màng điện cực trong suốt từ chất Indium/ oxit kẽm bị khử thành Indium/kẽm. Màng điện cực sẽ tối đi và LCD bị mù.



Hình 8- 22 : Hoạt động của LCD với bộ giải mã 7 đoạn sáng và cổng X-OR (CMOS).

LCD thông thường yêu cầu điện áp một chiều lần vào < 100mV; còn LCD màu yêu cầu điện áp một chiều lần vào < 50mV. Do vậy, ta nên dùng mạch điều khiển với IC họ CMOS sẽ cho ta một điện áp ít méo nhất. Vì LCD có công suất thấp nên dùng các cổng CMOS điều khiển là tốt nhất. Hình 8- 22 mô tả hoạt động của mặt chỉ thị LCD 7 đoạn với bộ giải mã BCD thành 7 đoạn.

Theo như hình (8- 22), một phân đoạn trên mặt chỉ thị LCD sẽ trở nên đen nếu nó ngược pha với B.P.; nó sẽ trở nên trong suốt nếu điện áp trên nó cùng pha với điện áp trên B.P.

e. Các tham số chính của LCD:

Bảng 8.2 chỉ ra một số tham số của LCD.

Bảng 8.2 : Tham số của LCD

Tham số	Đơn vị	min	Loại tiêu chuẩn	max
Khoảng nhiệt độ làm việc	$^{\circ}\text{C}$	- 10		+60
Khoảng nhiệt độ dự trữ	$^{\circ}\text{C}$	- 25		+70
Điện áp làm việc	$V_{T.B.}$	3	4,5	6
Thành phần dc	mV			100
Tần số điều khiển	Hz	30		200
Dòng tiêu thụ năng lượng	nA/mm ²		15	30
Thời gian lên	ms		40	
Thời gian tắt	ms		80	
Thời gian lên + thời gian tắt	ms			250

8.3.CÁC CẤU KIỆN CHUYỂN ĐỔI QUANG – ĐIỆN (cấu kiện thu quang).

Tại đầu ra của đường truyền dẫn quang cần phải có cấu kiện thu quang để chuyển đổi các tín hiệu quang thành tín hiệu điện. Cấu kiện thu quang còn được gọi là các bộ tách quang. Vì tín hiệu quang rất yếu và bị biến dạng khi nó xuất hiện ở đầu sợi quang nên bộ tách quang cần phải có độ nhạy cao, tạp âm của hệ thống thấp nhất, có tốc độ đáp ứng nhanh hoặc độ rộng băng đủ để thỏa mãn tốc độ dữ liệu. Đồng thời, bộ tách quang không được nhạy với sự thay đổi của nhiệt độ, có độ bền cao và giá thành phải chăng so với các bộ phận khác của hệ thống.

Một số các cấu kiện thu quang thường sử dụng như điện trở quang, điốt quang, tranzito quang, thyristo quang...

8.3.1. Điện trở quang.

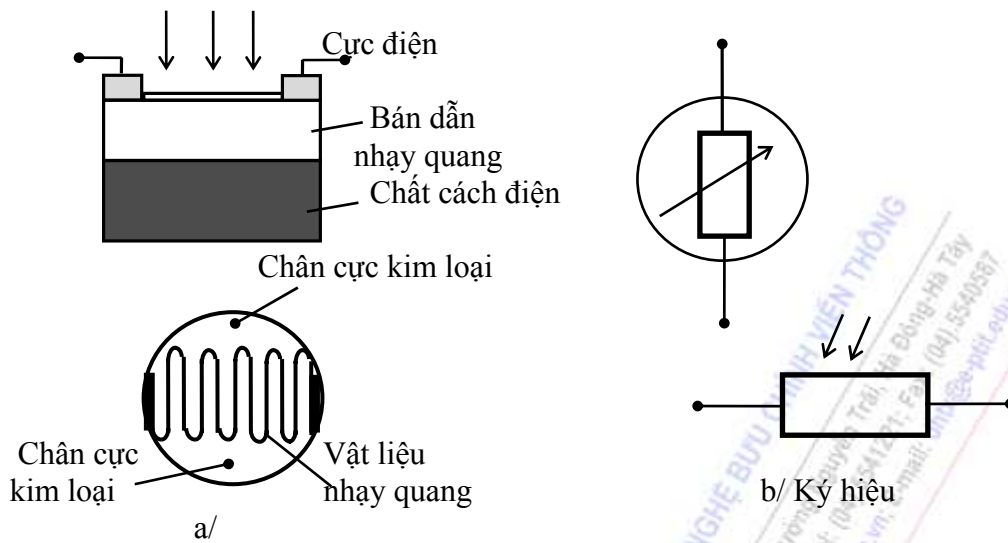
Điện trở quang là một cấu kiện bán dẫn thụ động, không có lớp tiếp xúc P-N.

Vật liệu dùng để chế tạo điện trở quang thường là Cadmium Sulfid (CdS), Cadmium Selenid (CdSe), Sulfid kẽm (ZnS) hoặc các tinh thể hỗn hợp khác. Tất cả các vật liệu này được gọi là vật liệu bán dẫn nhạy quang.

a. Cấu tạo:

Điện trở quang gồm một lớp vật liệu bán dẫn nhạy quang rải lên một tấm vật liệu cách điện và 2 chân dẫn điện. Để chống ẩm người ta bọc bên ngoài quang trở một lớp sơn chống ẩm trong suốt với vùng ánh sáng hoạt động của nó. Tất cả được bọc trong một vỏ bằng chất dẻo có cửa sổ cho ánh sáng đi qua.

Hình 8- 23a,b mô tả cấu tạo và ký hiệu của điện trở quang.



Hình 8- 23: a- Cấu tạo của điện trở quang
b- Ký hiệu của điện trở quang trong sơ đồ mạch

b. Nguyên lý làm việc:

Mạch điện đầu điện trở quang trình bày ở hình 8- 24.

Khi chiếu ánh sáng vào vật liệu bán dẫn nhạy quang với năng lượng photon lớn hơn hoặc bằng độ rộng vùng cấm của vật liệu, do quá trình hấp thụ quang năng, từng cặp điện tử- lỗ trống mới xuất hiện. Do vậy, nồng độ hạt dẫn trong chất bán dẫn tăng lên, làm độ dẫn điện của nó tăng, hay nói cách khác là điện trở của chất bán dẫn giảm xuống.

Độ dẫn điện được tạo ra khi được chiếu ánh sáng là:

$$\sigma = \sigma_0 + \sigma_F$$

trong đó: σ_0 - là độ dẫn điện khi chưa chiếu sáng.

σ_F - độ dẫn điện được tạo ra do ánh sáng.

$$\sigma_F = q(\mu_n + \mu_p)\Delta p \tag{8. 19}$$

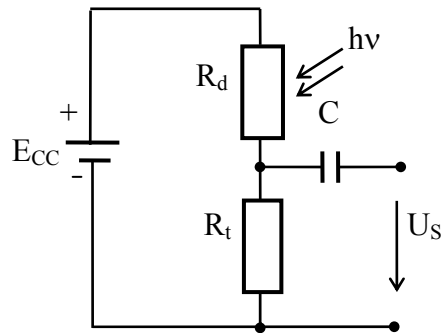
ở đây: $\Delta n = \Delta p$ - nồng độ điện tử bằng nồng độ lỗ trống mới sinh ra.

Dòng điện quang được tính theo công thức:

$$I_{ph} = q.\Delta p.(\mu_n + \mu_p).E.w.d \tag{8. 20}$$

trong đó w.d là tiết diện của lớp bán dẫn nhạy quang, E là cường độ điện trường.

Qua công thức trên ta thấy độ dẫn điện của vật liệu bán dẫn có thể thay đổi được khi ta thay đổi nồng độ hạt dẫn và độ linh động hiệu dụng của điện tử và lỗ trống. Như vậy, khi ta thay đổi cường độ chiếu sáng lên điện trở quang thì cường độ dòng điện trong mạch cũng thay đổi theo.



Hình 8- 24: Sơ đồ đầu điện trở quang trong các mạch.

Hệ số khuếch đại của điện trở quang (K) xác định như là tỉ số của các hạt dẫn thu được trên chôn cực và các hạt dẫn được sinh ra trên đơn vị thời gian:

$$K = \frac{\tau_p (\mu_n + \mu_p) U_{CC}}{l^2} \tag{8. 21}$$

trong đó: τ_p - thời gian sống của hạt dẫn, U_{CC} là điện áp cung cấp.

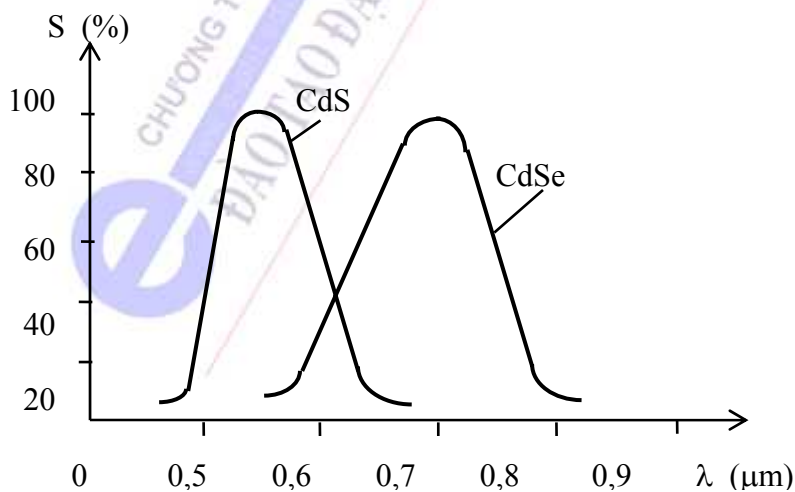
l - chiều dài cửa sổ của điện trở quang

Trong hình (8- 24), để điện trở quang hoạt động cần cấp cho nó một nguồn điện áp U_{CC} . Quang trở R_d mắc nối tiếp với một tải R_t và tụ điện C dùng để dẫn tín hiệu điện đưa ra lối ra.

Khi bị chiếu sáng, điện trở R_d của điện trở quang thay đổi với trị số là ΔR . Dòng điện trong mạch tăng lên một lượng ΔI và sụt áp trên tải R_t cũng tăng lên một lượng là u_s , ta có:

$$u_s = U_{CC} \frac{R_t \Delta R}{(R_t + R_d - \Delta R)(R_t + R_d)} \tag{8. 22}$$

và tín hiệu này được đưa vào một bộ khuếch đại qua tụ điện C.



Hình 8- 25 : Đặc tuyến phổ của điện trở quang

Các điện trở quang có khả năng khuếch đại dòng điện lên đến 10^5 lần hoặc hơn nữa. Tuy nhiên, các giá trị này chỉ phù hợp khi cường độ ánh sáng không thay đổi theo thời gian hoặc thay đổi chậm. Khi tần số biến điệu, cường độ ánh sáng tăng thì hệ số khuếch đại của điện trở quang giảm. Khả năng đáp ứng tần số của điện trở quang thấp, thường đạt từ vài chục Hz đến vài KHz.

Đặc tuyến phổ của một số loại điện trở quang mô tả trong hình 8- 25. Đây là đồ thị biểu diễn sự biến đổi của độ nhạy tương đối của điện trở quang theo quang phổ.

c. Các tham số chính của điện trở quang:

+ Điện dẫn suất σ_p : là hàm số của mật độ năng lượng quang ρ_λ khi độ dài bước sóng không đổi.

$$\sigma_p(\rho_\lambda) \quad \text{khi } \lambda = \text{const}$$

+ Độ nhạy tương đối của điện trở quang $S(\lambda)$: là tỉ số giữa điện dẫn suất thay đổi theo bước sóng $\sigma_p(\lambda)$ và điện dẫn suất cực đại $\sigma_{p,\text{max}}$ khi mật độ năng lượng quang ρ_λ không đổi:

$$S(\lambda) = \frac{\sigma_p(\lambda)}{\sigma_{p,\text{max}}} \Big|_{\rho_\lambda} \quad (8.23)$$

+ Vận tốc làm việc: là thời gian hồi đáp của một điện trở quang khi có sự thay đổi từ sáng sang tối hay từ tối sang sáng. Với cường độ ánh sáng mạnh, điện trở quang làm việc nhanh hơn. Điện trở quang làm việc chậm hơn khi trời lạnh và cất giữ trong bóng tối.

+ Hệ số nhiệt của điện trở quang: Hệ số nhiệt của điện trở quang tỉ lệ nghịch với cường độ chiếu sáng. Do đó, để giảm bớt sự thay đổi trị số của điện trở quang theo nhiệt độ, điện trở quang cần được cho hoạt động ở mức chiếu sáng tối đa.

+ Điện trở tối R_d : Điện trở tối là điện trở trong bóng tối của điện trở quang. Điện trở tối là tham số quan trọng, nó cho ta biết "dòng điện rò" lớn nhất đối với một điện thể trên điện trở quang.

+ Điện thế hoạt động: Tuỳ theo cấu trúc mặt nạ của điện trở quang mà có các điện thế làm việc khác nhau. Điện thế này có thể lên tới 0,5 Kv/mm. Điện thế hoạt động cao nhất đo được khi điện trở quang hoạt động trong bóng tối. Khi sử dụng điện trở quang cần chọn giá trị điện áp cung cấp sao cho tối ưu đối với mạch điện mà không làm hỏng điện trở quang.

+ Công suất tiêu tán cao nhất: Khi điện trở quang hoạt động cần phải giữ cho nhiệt độ của nó thấp hơn một nhiệt độ cho phép. Nhiệt độ cho phép của điện trở quang thường giới hạn từ -40°C đến $+75^{\circ}\text{C}$.

8.3.2. Điốt quang.

a. Khái niệm chung:

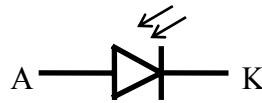
Khi chiếu sáng một tiếp xúc P-N thì trên nó sẽ xuất hiện một điện áp. Tuỳ theo chức năng và cấu trúc có thể chia điốt quang thành nhiều loại như sau:

- Điốt quang loại tiếp xúc P-N.
- Điốt quang loại PIN.
- Điốt quang thác (APD).

Một số đặc điểm của điốt quang là rất tuyến tính, ít nhiễu, dải tần số làm việc rộng, nhẹ, có độ bền cơ học cao và tuổi thọ cao.

Điốt quang không nhạy bằng điện trở quang loại CdS nhưng nó làm việc nhanh gấp nhiều lần.

□ *Ký hiệu của điốt quang trong sơ đồ mạch: như hình 8- 26.*



Hình 8- 26 : Ký hiệu của điốt quang.

□ *Vật liệu cơ bản:*

Hiện nay, để truyền dẫn tín hiệu quang theo 3 cửa sổ suy hao nhỏ nhất của sợi quang, người ta chú ý đến các điốt quang làm việc ở hai vùng bước sóng:

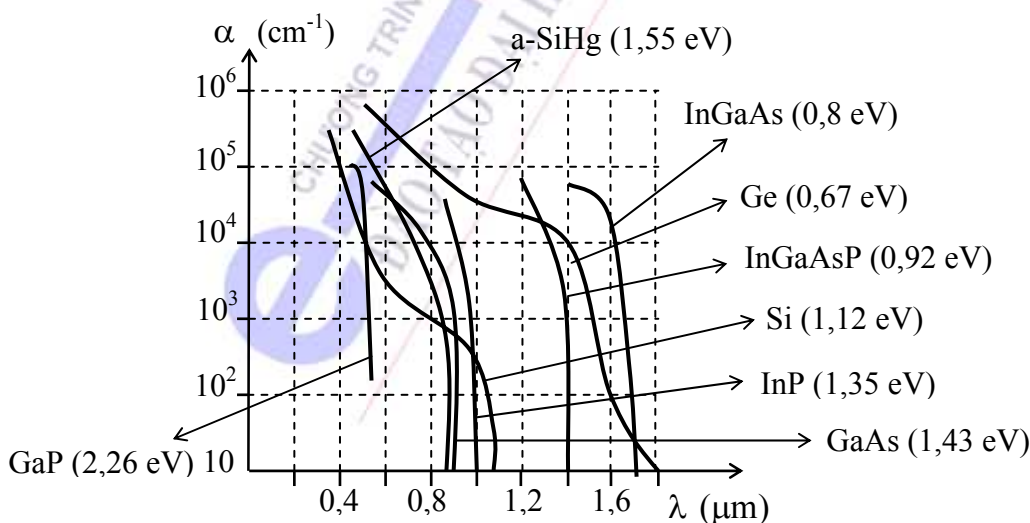
- Vùng bước sóng từ 0,85 đến 0,9 μm .
- Vùng bước sóng từ 1,3 đến 1,6 μm .

Trong vùng bước sóng thứ nhất từ 0,85 đến 0,9 μm , thì vật liệu chế tạo điốt quang được chọn là Silic vì Silic có độ nhạy cao với bước sóng quanh 0,85 μm . Độ rộng vùng cấm của silic là $E_G = 1,1\text{eV}$ và bằng năng lượng quang cần hấp thụ, ta có:

$$E_G = hv = h \frac{C}{\lambda} \tag{8. 24}$$

và sẽ có bước sóng cắt là: $\lambda_p = 1,1\mu\text{m}$.

Trong vùng bước sóng thứ hai từ 1,3 đến 1,6 μm cần sử dụng chất bán dẫn có độ rộng vùng cấm hẹp hơn với $E_G < 0,95\text{ eV}$ người ta thường chọn vật liệu bán dẫn được chế tạo từ các liên kết III-V như GaAs, InP, InAs và GaSb... Ngoài ra, người ta cũng chú ý đến liên kết II-VI như PbSnSe và CdHgTe. Nhờ thay đổi hàm lượng phù hợp trong cấu trúc $\text{Hg}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ có thể chế tạo được các điốt quang làm việc ở bước sóng 1,3 μm đến 1,55 μm . Thực tế đã có loại điốt quang thác APD thử nghiệm chế tạo từ vật liệu $\text{Hg}_{0,4}\text{Cd}_{0,6}\text{Te}$.

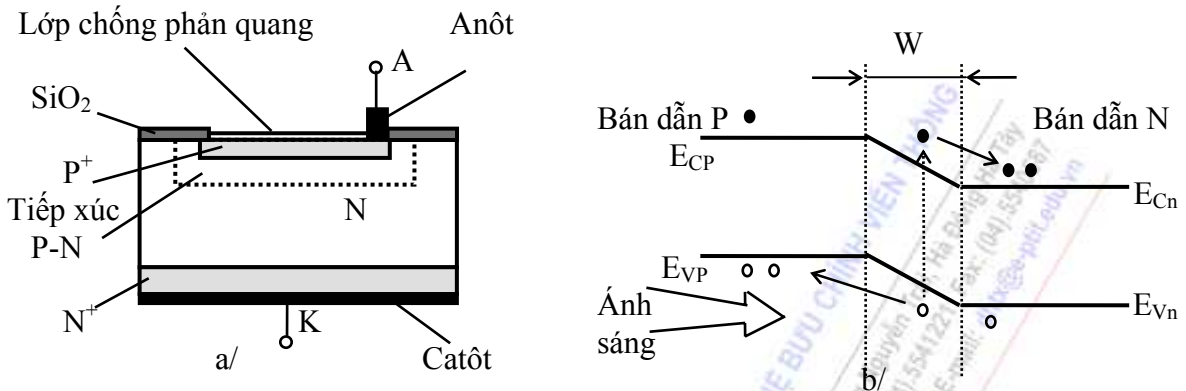


Hình 8- 27: Hệ số hấp thụ của một số chất bán dẫn quan trọng

Trong hình, năng lượng vùng cấm được chỉ ra dọc theo độ dài bước sóng.

Chú ý rằng, hệ số hấp thụ giảm nhanh tại vùng năng lượng cấm, đồng thời sự hấp thụ là không đáng kể đối với năng lượng photon $< E_G$. Như vậy, Silic hấp thụ photon với $\lambda \leq 1,1 \mu m$ và GaAs hấp thụ photon với $\lambda \leq 0,9 \mu m$.

b. Điốt quang loại tiếp xúc P-N:



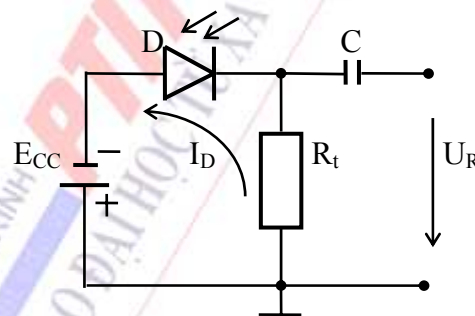
Hình 8- 28 : Cấu tạo của điốt quang loại tiếp xúc P-N (a) và phân bố dải năng lượng của tiếp xúc P-N (b).

• *Cấu tạo:*

Điốt quang gồm có một tiếp xúc P-N. Bề dày của lớp tiếp xúc là w . Hai phần bán dẫn P^+ và N^+ có nồng độ tạp chất cao. Điốt có một cửa sổ để chiếu ánh sáng vào. Hai chân anôt A và catôt K là kim loại được nối tới các phần bán dẫn. (Xem hình 8- 28)

• *Nguyên lý làm việc:*

Sơ đồ nguyên lý đấu điốt quang trong mạch điện mô tả trong hình 8-29:



Hình 8- 29: Sơ đồ nguyên lý đấu nối điốt quang

Như trong sơ đồ hình 8- 29, điốt quang được cấp nguồn E_{CC} sao cho tiếp xúc P-N phân cực ngược để tạo ra một điện trường dịch chuyển các hạt dẫn thiểu số sẽ được sinh ra dưới tác dụng của ánh sáng. Do đó, khi chưa có tác dụng ánh sáng thì trong điốt thu quang chỉ có dòng điện ngược (dòng điện tối hay dòng rò) rất nhỏ.

Khi cho ánh sáng chiếu vào, (xem hình 8- 28b), do quá trình hấp thụ, trong bán dẫn xuất hiện từng cặp điện tử - lỗ trống. Các điện tử và lỗ trống này dưới tác động của điện trường ở tiếp xúc P-N phân cực ngược sẽ chuyển động trôi qua tiếp xúc P-N và tạo nên dòng điện gọi là dòng quang điện.

Nếu quang thông của ánh sáng đi tới là F_{ph} . Và quang thông của ánh sáng bị phản xạ là RF_{ph} . Thì dòng điện quang do hạt dẫn điện tử – lỗ trống sinh ra trong lớp nghèo có thể tính theo công thức:

$$I_1 = q \int_0^w F_{ph} \cdot \alpha_\lambda \cdot e^{-\alpha_\lambda \cdot x} dx = q \cdot F_{ph} (1 - e^{-\alpha_\lambda \cdot w}) \quad (8.25)$$

Vì quá trình tái hợp bên trong lớp nghèo hạt dẫn phân cực ngược là không đáng kể, tất cả các điện tử và lỗ trống vừa sinh ra được thu nhận và hiệu suất sẽ gần đạt 100%.

Dòng điện do các hạt dẫn sinh ra trong lớp N^+ có thể là:

$$I_2 = q \cdot F_{ph} \frac{\alpha_\lambda \cdot L_p}{1 + \alpha_\lambda \cdot L_p} e^{-\alpha_\lambda \cdot w} \quad (8.26)$$

Trong vùng N^+ , một số hạt dẫn bị tái hợp nên hiệu suất < 100%.

Dòng điện quang tổng là:

$$I_{ph} = I_1 + I_2 = q \cdot F_{ph} \left(1 - \frac{e^{-\alpha_\lambda \cdot w}}{1 + \alpha_\lambda \cdot L_p} \right)$$

$$I_{ph} = q \cdot \frac{P_0}{h\nu} \left(1 - \frac{e^{-\alpha_\lambda \cdot w}}{1 + \alpha_\lambda \cdot L_p} \right) \quad (8.27)$$

Trong đó:

q - điện tích của điện tử.

$h\nu$ - năng lượng của photon.

P_0 - công suất quang đi tới điốt quang.

α_λ - hệ số hấp thụ ánh sáng tại bước sóng λ .

w - bề dày của tiếp xúc P-N.

L_p – Độ dài khuếch tán của lỗ trống.

Hiệu suất lượng tử là:

$$\eta = \frac{I_{ph}/q}{F_{ph}} = 1 - \frac{e^{-\alpha_\lambda \cdot w}}{1 + \alpha_\lambda \cdot L_p} \quad (8.28)$$

trong đó $F_{ph} = \frac{P_0}{h\nu}$ và P_0 là công suất quang sau khi đã bị phản xạ bề mặt linh kiện.

Độ nhạy của điốt quang:

$$S = \frac{I_{ph}}{P_0} = \frac{q \cdot \eta}{h \cdot \nu} = \frac{\eta \cdot \lambda}{1,24} [A/W] \quad (8.29)$$

trong đó λ [μm].

Linh kiện cần có độ nhạy cao vì nó sẽ cho dòng điện quang cao hơn đối với cùng công suất quang chiếu vào.

Tần số và cường độ của dòng quang điện hoàn toàn do tần số và cường độ của ánh sáng kích thích quyết định.

Điốt quang loại tiếp xúc P-N có vùng điện tích không gian hẹp, ánh sáng được hấp thụ phần lớn ở trong vùng bán dẫn loại P và N. Như vậy hiệu suất lượng tử thấp và tốc độ đáp ứng thấp. Để tăng hiệu suất lượng tử hóa và độ nhạy người ta chế tạo điốt quang có vùng điện tích không gian rộng hơn. Đó là điốt quang loại PIN và điốt quang thác APD.

c. Điốt quang loại PIN:

□ Cấu tạo:

Điốt quang loại PIN gồm một lớp bán dẫn N^+ có nồng độ tạp chất cao làm nền, trên đó phủ một lớp bán dẫn nguyên tính I (Intrinsic), rồi đến lớp bán dẫn loại P^+ có nồng độ tạp chất cao. Do đó điốt có tên gọi là điốt P-I-N. Bên trên bề mặt của lớp bán dẫn P^+ là điện cực vòng Anốt để ánh sáng có thể thâm nhập vào miền bán dẫn I. Trên lớp bán dẫn P có phủ một lớp mỏng chống phản xạ quang để tránh tổn thất ánh sáng chiếu vào.

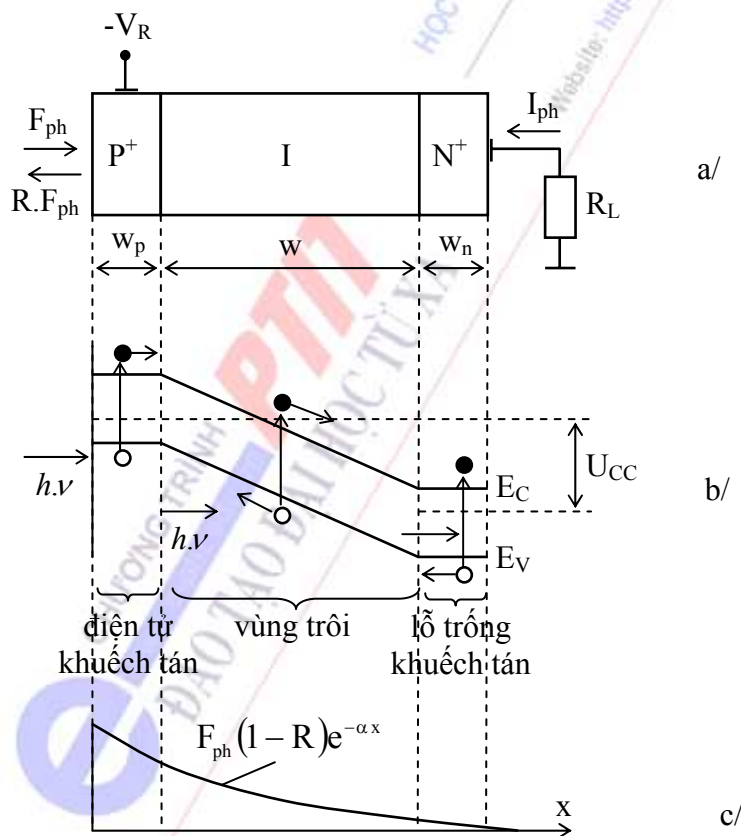
□ Nguyên lý hoạt động:

Điện áp cung cấp cho điốt phân cực ngược dọc theo linh kiện, vì vậy lớp I bị nghèo hoàn toàn trong suốt thời gian hoạt động của nó.

Khi ánh sáng đi vào lớp bán dẫn P^+ , trường hợp lý tưởng mỗi photon sẽ sinh ra trong miền P^+ , I hoặc N^+ một cặp điện tử- lỗ trống. Các điện tử và lỗ trống vừa sinh ra sẽ được điện trường mạnh hút về hai phía điện cực, tạo ra một dòng điện ở mạch ngoài và trên tải R_L thu được một điện áp U_{Ra} .

Trên thực tế, một phần ánh sáng vào bị tổn thất do phản xạ. Lớp chống phản xạ tạo cho linh kiện có thể đạt hiệu suất tới 80%. Nếu ta tính đến độ phản xạ R_f tại bề mặt của điốt quang thì dòng điện quang sơ cấp I_{ph} tính theo công thức (8.27) được viết lại như sau:

$$I_{ph} = q \cdot \frac{P_0}{h\nu} \left(1 - \frac{e^{-\alpha_\lambda w}}{1 + \alpha_\lambda \cdot L_p} \right) (1 - R_f) \quad (8.30)$$



Hình 8- 30: Hoạt động của điốt quang PIN

a/ Mô hình cấu tạo của điốt PIN

b/ Giản đồ năng lượng khi phân cực ngược

c/ Đặc tính phát sinh hạt dẫn

Đối với silic, hệ số phản xạ ánh sáng hầu như là 30%.

Khả năng thâm nhập ánh sáng vào các lớp bán dẫn thay đổi theo bước sóng. Vì thế lớp bán dẫn P⁺ không được quá dày. Xác suất tạo ra các cặp điện tử - lỗ trống trong miền I tăng lên theo độ dày của miền này, do đó miền I càng dày càng đạt hiệu suất lượng tử hóa cao. Nhưng nếu độ rộng của lớp I tăng lên thì thời gian trôi qua nó chậm hơn và làm chậm tốc độ chuyển mạch.

Trong điốt PIN không có khuếch đại và hiệu suất cực đại là đơn vị, độ rộng băng tần có thể giới hạn bởi hằng số thời gian điện dung - điện trở ngoài. Trên thực tế, độ rộng băng tần có thể đạt 10 GHz. Điốt quang loại PIN có dòng điện tối rất nhỏ nên tiếng ồn thấp hơn so với điện trở quang. Vì nguyên nhân này, điốt PIN là bộ tách quang thông dụng trong các hệ thống thông tin quang.

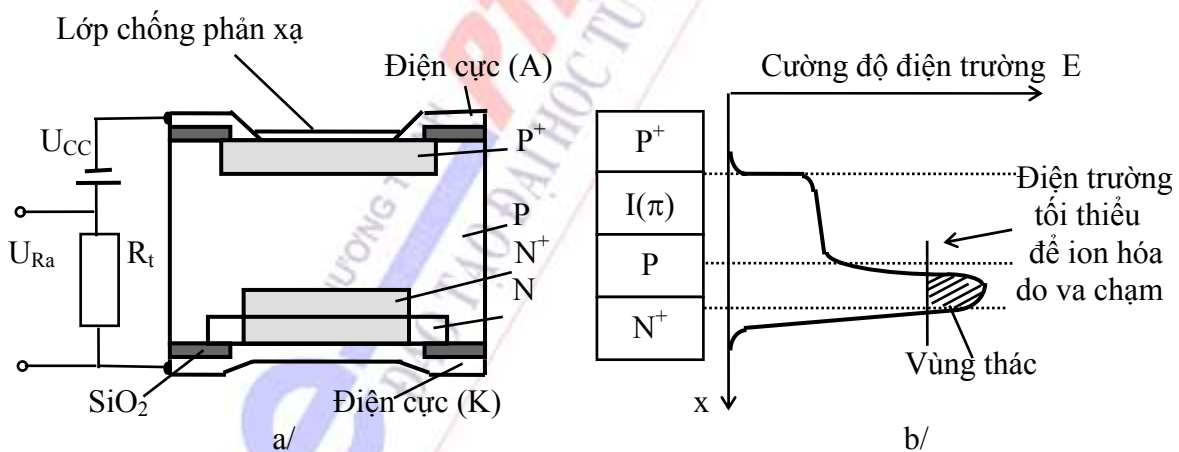
d. Điốt quang thác (APD):

Để tăng độ nhạy của điốt quang, người ta có thể sử dụng hiệu ứng giống như hiệu ứng nhân điện tử trong các bộ nhân quang điện. Cấu tạo của điốt quang sẽ có dạng đặc biệt đó là điốt quang với hiệu ứng quang thác APD - Avalanche Photodiodes.

Điốt quang thác giống như điốt PIN trừ điện áp phân cực lớn hơn nhiều để tạo ra sự nhân thác lũ về hạt dẫn và như vậy APD có khuếch đại dòng điện bởi sự ion hoá do va chạm và nhân hạt dẫn.

□ *Cấu tạo:*

Hình (8- 31a,b) mô tả cấu tạo và sự phân bố điện trường trong điốt quang thác APD. Như hình vẽ, lớp bán dẫn nguyên tính I trong điốt P-I-N được thay bằng một lớp bán dẫn P có nồng độ tạp chất thấp. Như vậy, miền bán dẫn P tạo thành miền trôi và là nơi sinh ra các cặp điện tử- lỗ trống.



Hình 8- 31 : Cấu tạo của APD và phân bố điện trường trong điốt APD.

Điện trường do điện áp phân cực ngược bên ngoài đặt vào thay đổi theo các lớp bán dẫn dọc theo điốt được mô tả như hình (8- 31b): Trong vùng trôi điện trường tăng chậm, nhưng trong vùng tiếp xúc P-N⁺ thì tăng nhanh và tạo ra miền thác tại vùng này.

□ *Nguyên lý hoạt động:*

Nguyên lý hoạt động của APD cơ bản giống như điốt P-I-N.

Sơ đồ nguyên lý được mô tả trong hình (8- 31a). Theo sơ đồ này, điốt quang thác được phân cực ngược nhờ nguồn U_{CC} , và tín hiệu điện được lấy ra trên tải R_t .

Khi chiếu ánh sáng vào, sẽ xuất hiện thêm các cặp điện- lỗ trống mới trong miền trôi (bán dẫn P). Dưới tác động của điện trường, các điện tử trong miền P sẽ dịch chuyển đến vùng thác của tiếp xúc P-N⁺ và rơi vào vùng có điện trường mạnh nên được tăng tốc. Các điện tử có tốc độ lớn này sẽ va chạm vào các nguyên tử khác để tạo ra các cặp điện tử- lỗ trống mới. Hiện tượng này được gọi là hiện tượng ion hóa do va chạm. Do đó, dòng điện qua điốt APD tăng nhanh như được khuếch đại lên với hệ số khuếch đại M. Hệ số khuếch đại (hay còn gọi là hệ số nhân) phụ thuộc vào điện áp phân cực cho điốt và nó có thể đạt tới 200 lần. Xem hình 8 -32

Hệ số nhân M cũng có thể tính theo công thức:

$$M_{ph} = \frac{I_M}{I_{ph}} = \frac{1}{1 - (V/V_{dt})^n} \quad (8.31)$$

Trong đó: I_M - là giá trị trung bình của dòng điện nhân tổng tại đầu ra.

I_{ph} - là dòng quang điện sơ cấp chưa được nhân, xác định theo công thức (8. 30).

V_{dt} - điện áp đánh thủng tại giá trị M xác định.

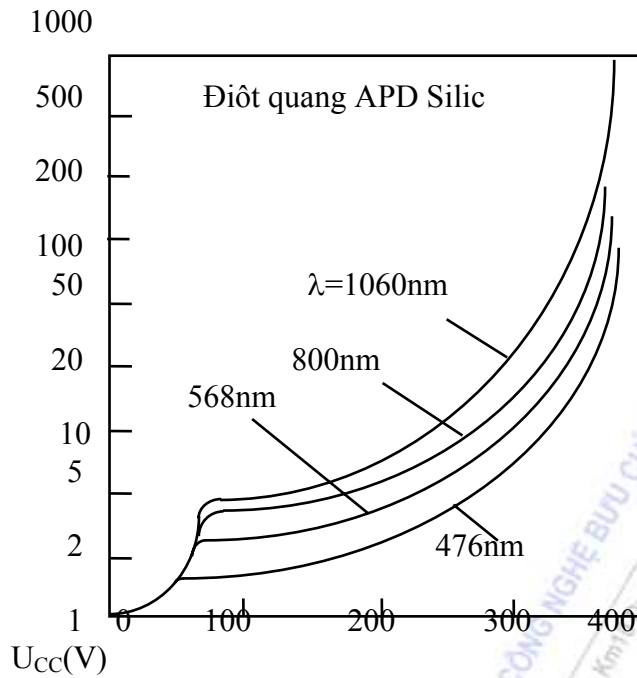
n - lũy thừa, là hằng số vật liệu có giá trị từ 2,5 đến 7.

$V = V_0 - I_M R_M$ với V_0 là điện áp phân cực ngược cho điốt; R_M là điện trở nối tiếp của điốt quang và điện trở tải của mạch tách quang và I_M là dòng điện nhân ở đầu ra của APD.

Qua hình 8- 32 ta thấy điốt APD cần có điện áp phân cực lớn hơn nhiều so với điốt loại P-I-N. Nếu thời gian cho quá trình ion hóa trong miền thác càng dài thì hệ số khuếch đại M càng lớn, song tốc độ trôi qua miền thác sẽ chậm đi. Các xung cũng sẽ bị giãn rộng ra và hạn chế độ rộng băng tần B. Để đánh giá khả năng làm việc của APD, người ta định nghĩa tích số độ khuếch đại và độ rộng băng do quá trình thác là:

$$M_{ph} \cdot B = \frac{1}{2\pi\tau} \quad (8.32)$$

Trong đó: τ là thời gian giữa 2 quá trình va chạm của điện tử với các nguyên tử.



Hình 8- 32 : Sự phụ thuộc của hệ số khuếch đại dòng điện M của điôt quang APD silic vào điện áp phân cực U_{CC} ở các bước sóng khác nhau tại nhiệt độ trong phòng.

Sự tăng hệ số khuếch đại có thể đạt được khi tích hệ số khuếch đại - độ rộng băng tần đạt 100 GHz hoặc hơn. Thông thường, các APD cho phép đạt độ rộng băng trên 1GHz với giá trị M_{ph} lớn. Để ổn định giá trị M_{ph}, ta cần cấp một điện áp nguồn lớn và ổn định về nhiệt do đó chi phí để đảm bảo chế độ làm việc cho APD lớn hơn nhiều so với điôt loại P-I-N.

Trong điôt APD silic, ion hoá do va chạm bởi điện tử khoảng 50 lần lớn hơn lỗ trống và do đó nó cho tỉ lệ tín hiệu / tiếng ồn tốt nhất.

□ Các đặc tính và tham số của điôt quang:

- **Hiệu suất lượng tử hóa** η là tỉ số giữa số lượng các đôi điện tử- lỗ trống sinh ra trên số photon có năng lượng hν đi đến và nó được tính theo công thức sau:

$$\eta = \frac{\text{Số cặp điện tử - lỗ trống sinh ra}}{\text{Số photon đi đến}} = \frac{I_{ph} / q}{P_0 / h\nu} \quad (8.33)$$

Trong đó : I_{ph} là dòng quang điện trung bình sinh ra do công suất quang trung bình P₀ đi tới điôt quang.

Trên điôt thực tế hiệu suất lượng tử hóa η = (30 ÷ 95)%.

- **Độ nhạy của điôt quang S:** (hay hệ số chuyển đổi)

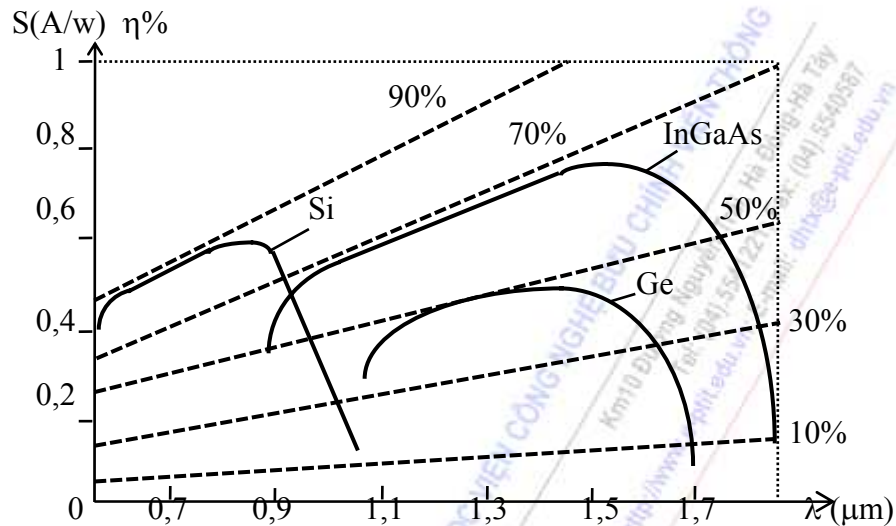
Độ nhạy chỉ rõ giá trị dòng quang điện sinh ra trên đơn vị công suất ánh sáng đi đến điôt.

Nó liên hệ với hiệu suất lượng tử hóa theo công thức:

$$S = \frac{I_{ph}}{P_0} = \frac{\eta q}{h\nu} \quad [A/w] \quad (8.34)$$

Trong các điôt quang loại P-I-N, độ nhạy là hàm của bước sóng được mô tả ở hình 8- 33.

Trong hầu hết các photodiôt, độ nhạy là một hàm tuyến tính với công suất quang. Có nghĩa là, dòng quang điện I_{ph} tỉ lệ thuận trực tiếp với công suất quang P_0 chiếu vào cấu kiện tách quang, cũng như vậy, độ nhạy S là hằng số tại một bước sóng đã cho. Tuy nhiên, hiệu suất lượng tử hóa không phải là hằng số tại tất cả các bước sóng vì nó thay đổi theo năng lượng photon. Dẫn đến độ nhạy là hàm của bước sóng và vật liệu bán dẫn, xem hình 8- 33.



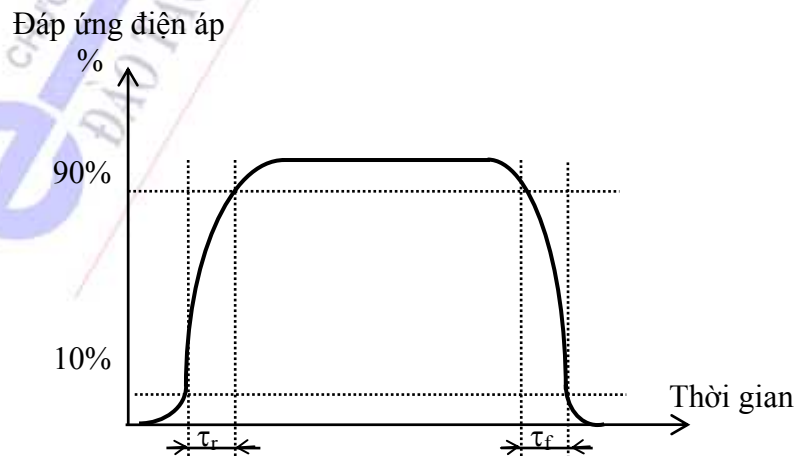
Hình 8- 33 : So sánh giữa hiệu suất lượng tử và độ nhạy như một hàm của bước sóng cho điôt quang loại P-I-N đối với các vật liệu khác nhau.

- Tạp âm của bộ tách quang:

Trong các hệ thống thông tin sợi quang, nhìn chung photodiôt được yêu cầu để tách các tín hiệu quang rất yếu. Việc tách các tín hiệu quang yếu nhất có thể yêu cầu bộ tách quang và mạch khuếch đại tiếp theo của nó phải tối ưu sao cho tỉ số tín hiệu trên tạp âm (S/N) được duy trì. Tỉ số tín hiệu trên tạp âm (S/N) tại đầu ra của một bộ thu quang được xác định như sau:

$$\frac{S}{N} = \frac{\text{Công suất tín hiệu dòng quang điêien}}{\text{Công suất tạp âm của điôt quang} + \text{Công suất tạp âm mạch khuêch đại}}$$

- Thời gian hồi đáp:



Hình 8- 34 : Thời gian lên τ_r và thời gian xuống τ_f của đáp ứng điện áp lỗi ra của điôt quang.

Thời gian hồi đáp của điốt quang được biểu thị bằng thời gian lên và thời gian xuống của tín hiệu tách quang trên lối ra khi điốt quang được chiếu sáng bằng bức xạ quang đầu vào. Thời gian lên được đo từ 10% đến 90% sườn lên của xung ra và thời gian xuống cũng được đo như vậy, xem hình 8- 34:

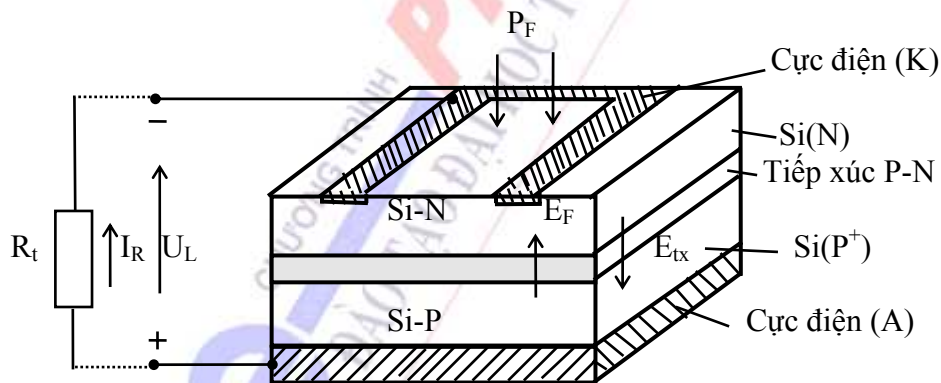
8.3.3. Tế bào quang điện và pin mặt trời.

a. Cấu tạo:

Tế bào quang điện thường được chế tạo từ các vật liệu: Ge, Si, CdS, ZnS,... Cấu tạo của tế bào quang điện gồm phần nhạy quang là tấm bán dẫn loại N với các cửa sổ trong suốt cho tín hiệu quang chiếu vào. Phía đối diện với lớp bán dẫn N là lớp bán dẫn loại P. Tất cả được bọc trong vỏ bảo vệ với 2 điện cực dẫn ra ngoài.

b. Nguyên lý làm việc:

Khi chiếu sáng lên lớp bán dẫn N, do quá trình lượng tử hóa sẽ sinh ra từng đôi điện tử - lỗ trống. Dưới tác dụng của điện trường trong lớp tiếp xúc E_{tx} các lỗ trống sẽ di chuyển từ phần bán dẫn N sang bán dẫn P, còn các điện tử thì chuyển động về bề mặt của lớp bán dẫn N và làm xuất hiện ở hai đầu cực hiệu điện thế có hướng điện trường từ bán dẫn P sang bán dẫn N (E_F) và ngược chiều với chiều của điện trường tiếp xúc. Do đó, điện trường tiếp xúc giảm, các hạt dẫn đa số sẽ khuếch tán qua tiếp xúc P-N. Hiện tượng này tiếp tục đến một trị số E_F nào đó mà tại đó trạng thái cân bằng động trong tiếp xúc P-N được xác lập, hiệu điện thế U_F ở hai đầu cực điện ổn định. Như vậy, tế bào quang điện đã chuyển năng lượng ánh sáng sang năng lượng điện. Đây là điện thế hở mạch của tế bào quang điện U_L . Nếu nối kín mạch ngoài bằng tải R_t sẽ có dòng điện chạy qua là I_R (trường hợp ngắn mạch ngoài ta sẽ có dòng điện ngắn mạch $I_{Phot.}$). Hệ số có ích của tế bào quang silic khá cao nên được sử dụng làm pin mặt trời. Tế bào quang silic có thể hoạt động ở cả chế độ có nguồn và chế độ chế biến tín hiệu.



Hình 8- 35 : Cấu tạo và cơ chế hoạt động của tế bào quang điện từ Si.

c. Đặc tuyến vôn-ampe và tham số:

Dòng điện qua tế bào quang khi chưa chiếu sáng chính là dòng điện của điốt bán dẫn theo phương trình của Shockley:

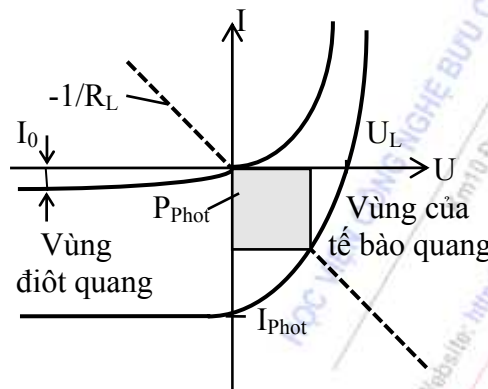
$$I = I_0[\exp(U/V_T) - 1]$$

Khi tế bào quang được chiếu sáng, thì đặc tuyến dịch chuyển theo chiều âm của trục I. Khoảng dịch này bằng dòng quang điện ngắn mạch I_{Phot} . Lúc này dòng điện qua tế bào quang sẽ có biểu thức:

$$I = I_0[\exp(U_L/V_T) - 1] - I_{Phot} \quad (8.35)$$

- Trong đó:
- I_{Phot} là dòng quang điện ngắn mạch.
 - U_L là điện thế quang điện hở mạch
 - P_{Phot} là công suất quang điện hiệu dụng

Hai tham số quan trọng của tế bào quang hay pin mặt trời là hiệu suất biến đổi và công suất hiệu dụng. Khác với pin mặt trời, các tế bào quang điện được cấu tạo với những cấu trúc bé cho công suất nhỏ và không tối ưu cho phổ mặt trời.



Hình 8- 36: Đặc tuyến vôn -ampe của tế bào quang điện

Hiệu suất biến đổi quang- điện là tỉ số giữa công suất hiệu dụng lớn nhất với hệ số mặt trời S và tính theo công thức:

$$\eta = (IU)_{Max}/S \quad (8.36)$$

Hệ số mặt trời S tùy thuộc vào sự suy giảm của ánh sáng mặt trời qua tầng khí quyển và được đo bằng đơn vị AM.

Dòng điện do ánh sáng tạo ra trên tải cùng hướng với dòng điện ngược bão hoà của tiếp xúc P-N. Do vậy, dòng điện tổng của tiếp xúc P-N khi chiếu sáng được tính:

$$I = I_{Phot} + I_0 \left(1 - e^{\frac{U}{V_T}} \right) \quad (8.37)$$

Với I_{Phot} được tính theo công thức:

$$I_{Phot} = q \cdot G_L (L_n + L_p) \cdot A \quad (8.38)$$

- trong đó:
- G_L - tốc độ phát sinh hạt dẫn.
 - A - diện tích mặt tiếp xúc

Đặc tính Vôn – Ampe theo công thức (8.37) ở hình 8- 37

Hệ số mặt trời AM1 được xác định là mặt trời chiếu tại đỉnh điểm và cấu kiện tại mặt biển dưới điều kiện AM1 là cao hơn 100 mW/cm^2 một chút. Phổ mặt trời ngoài không khí được hiểu là AM0, ở đó năng lượng mặt trời là 135 mW/cm^2 . Đặt $I=0$ trong công thức (8.37) để tính điện áp hở mạch là:

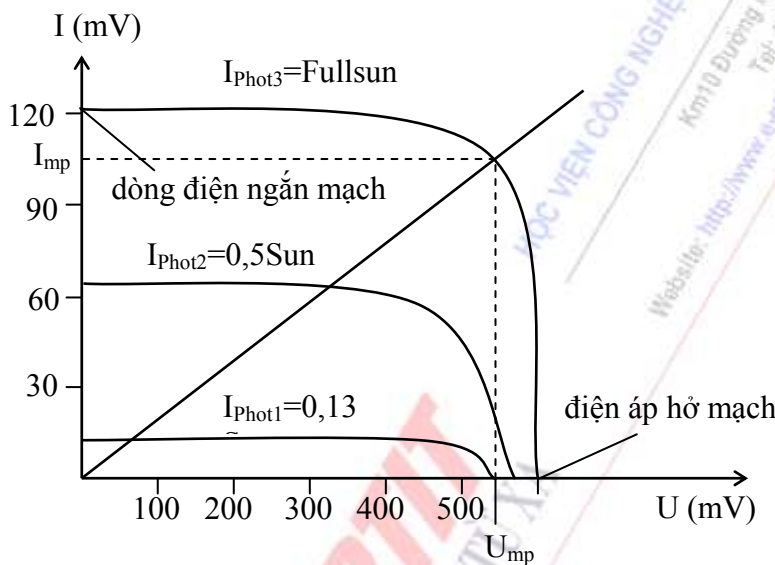
$$U_L = V_T \ln\left(1 + \frac{I_L}{I_0}\right) \tag{8.39}$$

Công suất lớn nhất có thể nhận được từ một pin mặt trời tùy thuộc vào khoảng đặc tuyến nằm giữa dòng điện ngắn mạch và điện thế hở mạch.

d. Vật liệu:

Vật liệu thường dùng để chế tạo pin mặt trời có Si, GaAs, CdS.... Silic có độ rộng vùng cấm $E_G = 1,1\text{eV}$ cho ta điện thế hở mạch $U_L = 0,5\text{V}$, và dòng ngắn mạch $I_{\text{Phot.}} = 50\text{mA/cm}^2$ và hiệu suất biến đổi η trên thực tế khoảng từ 10% đến 11%. Vật liệu GaAs có độ rộng vùng cấm $E_G = 1,43\text{eV}$ cho ta điện thế hở mạch $U_L = 0,7\text{V}$, dòng điện ngắn mạch $I_{\text{Phot.}}$ khá nhỏ khoảng 10mA/cm^2 và hiệu suất biến đổi thực tế khoảng $\eta = 21\%$.

Mỗi một tế bào pin mặt trời cho điện thế khoảng 0,4V đến 0,5V. Khi sử dụng, các tế bào pin mặt trời thường được đấu thành modul pin mặt trời để cho điện áp cao hơn.

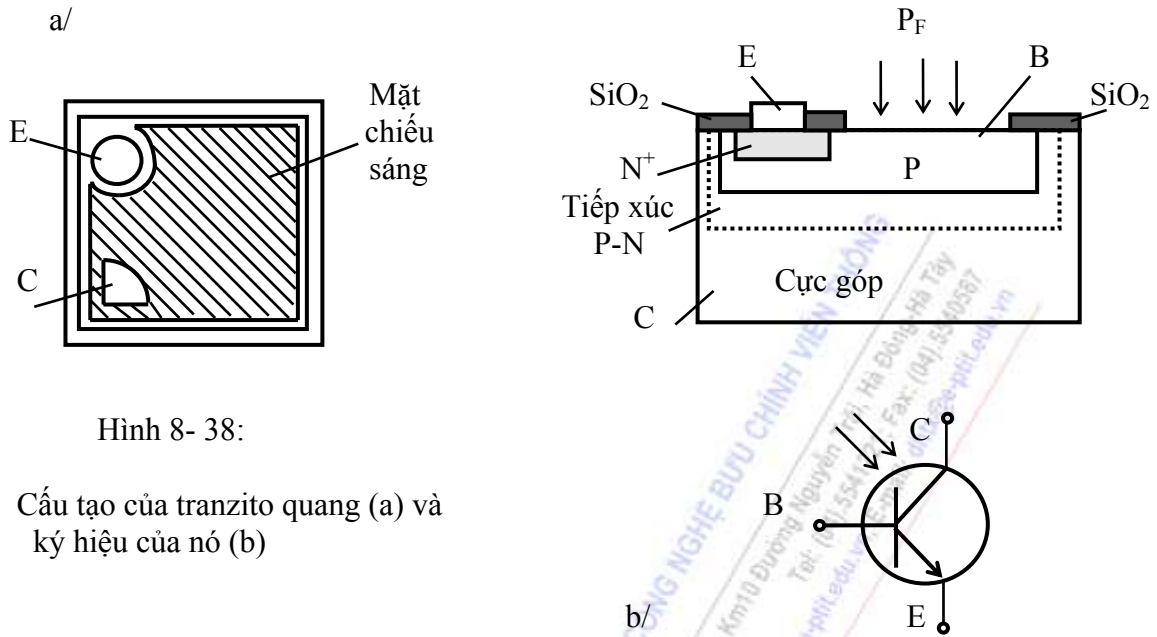


Hình 8- 37: Đặc tuyến Vôn – Ampe của tế bào pin mặt trời dưới độ chiếu sáng AM1 (air - mass), nghĩa là năng lượng mặt trời tại mặt biển dưới bầu trời trong sáng với ánh nắng mặt trời đỉnh điểm

8.3.4. Tranzito quang lưỡng cực.

a. Cấu tạo:

Cấu tạo và ký hiệu của tranzito quang mô tả trong hình 8- 38. Giống như tranzito thường, tranzito quang có 2 loại PNP và NPN. Ba chân cực: cực phát E, cực gốc B, và cực góp C. Cực gốc là bề mặt được ánh sáng chiếu vào, nó được chế tạo rất mỏng để có điện trở nhỏ.



Hình 8- 38:

Cấu tạo của tranzito quang (a) và ký hiệu của nó (b)

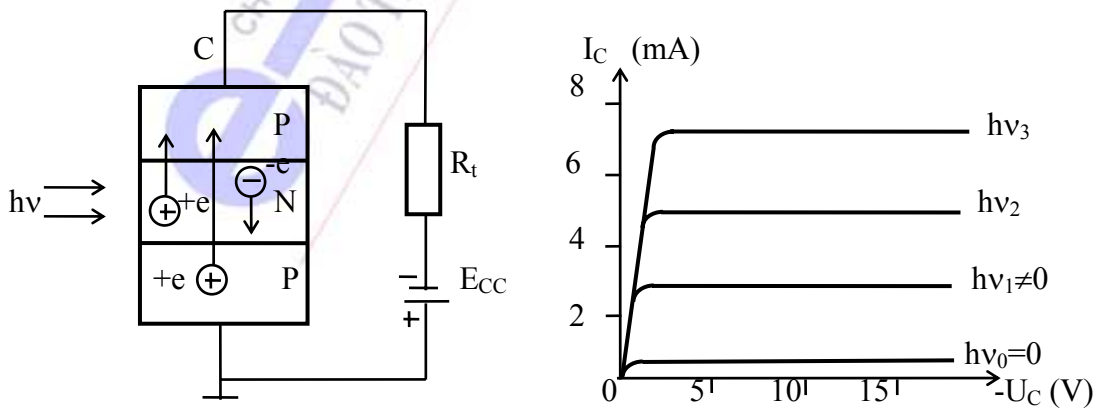
Hình 8- 38 : Cấu tạo và ký hiệu của tranzito quang

b. Nguyên lý hoạt động:

Sơ đồ nguyên lý đầu tranzito quang mô tả ở hình 8- 39.

Trong hình, nguồn cung cấp E_{CC} tạo cho tiếp xúc phát phân cực thuận và tiếp xúc góp phân cực ngược. Tải R_t để sụt bớt một phần điện áp phân cực cho tranzito, và lấy tín hiệu điện ra.

- Khi không có tín hiệu quang ($h\nu = 0$ hay $I_B = I_{\text{phot}} = 0$) trong mạch chỉ có dòng điện tới $I_{C\text{ tối}}$. Đây là dòng điện do các lỗ trống khuếch tán từ phần phát sang tới cực góp và nó có trị số nhỏ.
- Khi có tín hiệu quang đến ($h\nu \neq 0$ hay $I_B = I_{\text{phot}} \neq 0$), ở phần gốc sẽ xuất hiện các cặp điện tử- lỗ trống. Các lỗ trống sẽ di chuyển về cực góp tạo nên thành phần dòng quang điện I_{phot} , còn các điện tử chuyển động về phía tiếp xúc phát, kích thích cho sự khuếch tán của các hạt dẫn tại đây dễ dàng hơn..



Hình 8- 39: Sơ đồ nguyên lý đầu tranzito quang và đặc tuyến Vôn -Ampe của nó

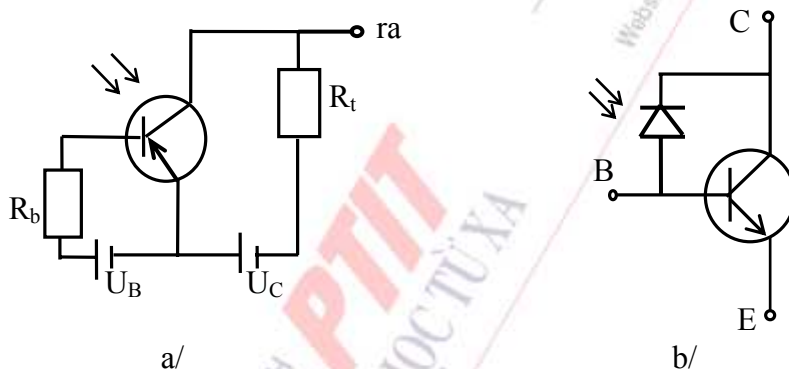
Với sơ đồ mắc cực phát chung như hình vẽ, ta có thể tính gần đúng dòng điện cực góp khi tranzito quang được chiếu sáng I_{Cs} :

- Do cực gốc để hở và có ánh sáng chiếu đến nên dòng điện cực gốc chính là dòng tín hiệu quang $I_{Phot.}$.
- Hệ số khuếch đại dòng quang chính bằng hệ số khuếch đại của tranzito trong sơ đồ mắc cực phát chung ($M = \beta$).

Vậy, tổng dòng điện trong tranzito quang khi được chiếu sáng:

$$I_{Cs} = \beta I_{Phot.} + I_{Pphot} + I_{C\ tối} \tag{8.40}$$

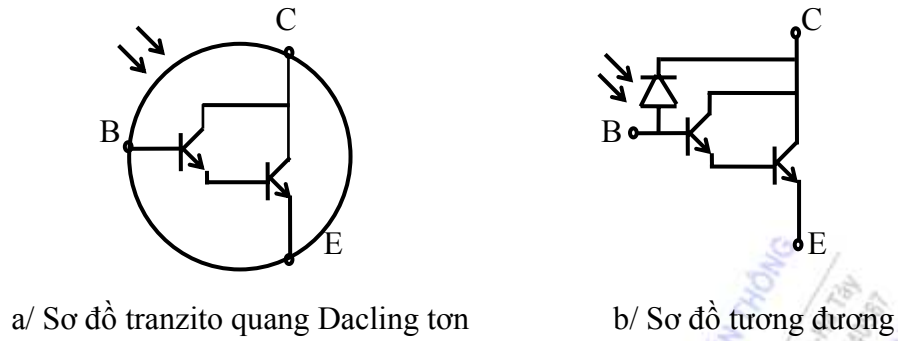
Thành phần dòng điện tối $I_{C\ tối}$ sẽ hạn chế khả năng khuếch đại tín hiệu quang của tranzito. Để khắc phục hạn chế này người ta dùng tranzito quang 3 chân cực để giảm dòng điện tối và tăng trở kháng ra của mạch. Sơ đồ đấu tranzito 3 chân cực như trong hình 8- 40. Với cách mắc này các tham số của mạch phụ thuộc vào dòng điện cực gốc rõ rệt. Tại giá trị dòng cực gốc tối ưu nào đó sẽ cho các thông số tối ưu: dòng điện tối có thể giảm xuống 10 lần, trở kháng ra tăng lên khoảng 10 lần, và các hệ số khuếch đại dòng điện và điện áp tăng lên đáng kể so với mạch để hở cực gốc. Trong các mạch, tranzito quang cũng có thể mắc theo 3 cách mắc. Đó là các sơ đồ: cực gốc chung, cực phát chung và cực góp chung như tranzito thường chỉ có khác tín hiệu điều khiển là tín hiệu quang.



Hình 8- 40: a- Sơ đồ mắc tranzito quang 3 chân cực để tối ưu các thông số
b- Sơ đồ tương đương của tranzito quang: điốt quang là tiếp xúc gốc- góp.

Về mặt cấu trúc có thể coi tranzito quang như một mạch tích hợp đơn giản gồm một điốt quang làm nhiệm vụ biến đổi tín hiệu quang sang tín hiệu điện và một tranzito có nhiệm vụ khuếch đại (xem hình 8- 40b).

Để có hệ số khuếch đại dòng quang lớn, người ta dùng sơ đồ Dacling- ton đối với các tranzito quang, xem hình 8- 41. Tranzito quang Dacling-ton được chế tạo như chỉ ra trong hình.



Hình 8- 41: Sơ đồ tranzito quang Dacling-ton

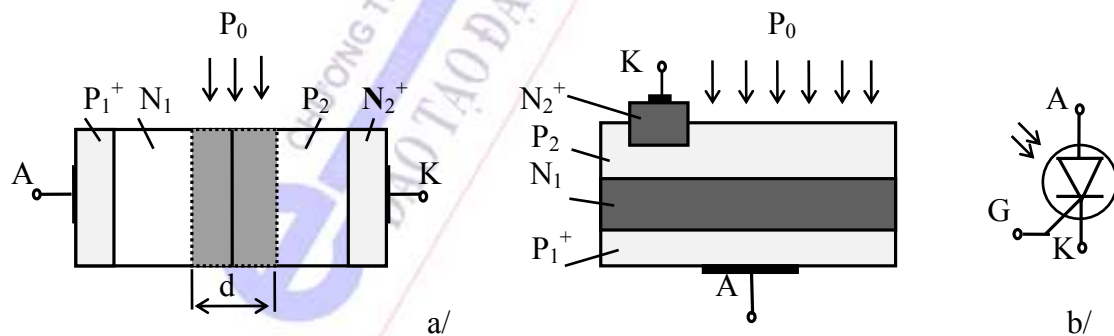
Từ sơ đồ tương đương ta thấy độ nhạy phổ của tranzito quang cũng giống như đối với các điôt quang tương ứng, tuy nhiên vì tranzito quang có khả năng khuếch đại nên độ nhạy của nó cao hơn điôt quang khoảng vài trăm lần. Tần số làm việc của tranzito quang thấp hơn điôt quang. Tranzito quang làm việc với tần số đến vài trăm KHz (khoảng 300KHz, còn sơ đồ Dacling- ton chỉ khoảng 30KHz) trong khi điôt quang làm việc đến vài chục MHz.

8.3.5. Thyristo quang.

a. Cấu tạo:

Cũng như các thyristo thường, trong họ thyristo quang cũng có các dạng thyristo 4 lớp, 5 lớp bán dẫn với 3 hoặc 4 chân cực. Các thyristo quang đều có vỏ bọc với cửa sổ trong suốt cho các tín hiệu quang đi đến. Hình 8- 42 mô tả cấu tạo và ký hiệu của thyristo quang.

Anôt (A) là một lớp bán dẫn loại P có nồng độ tạp chất cao và Catôt (K) là lớp bán dẫn loại N có nồng độ tạp chất cao. Còn hai vùng bán dẫn N và P ở giữa có nồng độ tạp chất thấp nên bề rộng (d) của tiếp xúc P-N giữa chúng (T₂) lớn hơn nhiều so với hai tiếp xúc P-N ở anôt (T₁) và ở catôt (T₃).



Hình 8- 42: Cấu tạo (a) và ký hiệu (b) của SCR quang.

b. Nguyên lý làm việc:

Nguyên lý làm việc của SCR quang giống như của các SCR thường, chỉ khác tín hiệu điều khiển là tín hiệu quang:

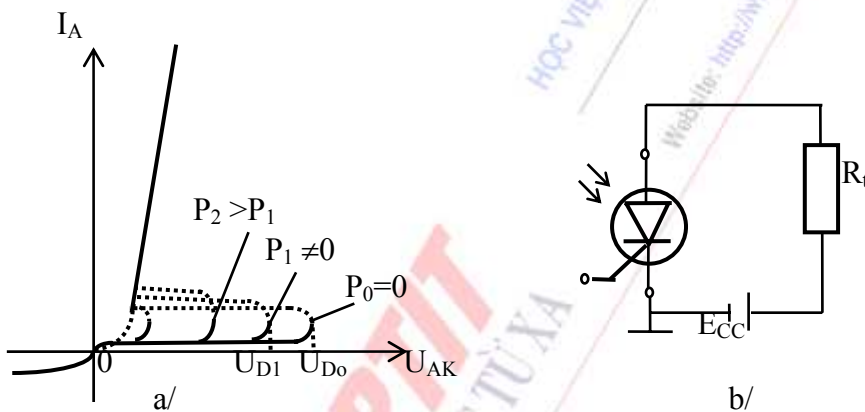
Khi chưa chiếu sáng SCR, ta đặt điện áp dương vào anôt ($U_{AK} > 0$) thì SCR không dẫn điện chỉ có vùng điện tích không gian T_2 lan rộng. Khi chiếu ánh sáng vào SCR, do quá trình quang lượng tử sẽ xuất hiện các đôi điện tử- lỗ trống mới làm mật độ hạt dẫn trong vùng này tăng lên dẫn đến dòng điện giữa anôt và catôt tăng. Khi hệ số chuyển tải dòng điện gia tăng đến 1 (nghĩa là $\alpha_p + \alpha_n = 1$) thì SCR dẫn điện.

Khi cường độ tín hiệu quang tăng, giá trị điện áp dẫn U_D (hay điện áp đỉnh khuỷu) giảm và giá trị dòng điện qua SCR được tính theo công thức sau:

$$I_{A.S.} = \frac{I_{t\grave{e}i} + I_{phot}}{1 - (\alpha_p + \alpha_n)} \quad (8.41)$$

- Trong đó:
- $I_{t\grave{e}i}$ là dòng điện ngược của tiếp xúc T_2 .
 - α_p và α_n là hệ số chuyển tải dòng điện qua nền bán dẫn P và nền bán dẫn N.
 - I_{phot} là dòng quang điện

Độ nhạy của thyristo phụ thuộc vào điện áp thuận đặt lên anôt, vào nhiệt độ và cấu trúc của nó. Để tăng độ nhạy, thyristo quang thường có kích thước mỏng, nhỏ nên nó chỉ làm việc với điện áp thấp và dòng điện bé.



Hình 8- 43 : Đặc tuyến Vôn -Ampe (a) và sơ đồ nguyên lý (b) của SCR quang.

Vậy ở thyristo quang, tín hiệu quang chỉ làm nhiệm vụ kích cho thyristo dẫn điện chứ không điều khiển được giá trị dòng điện anôt. Cường độ tín hiệu quang chỉ có tác dụng làm thay đổi thời gian đóng mở của thyristo (xem hình 8- 43).

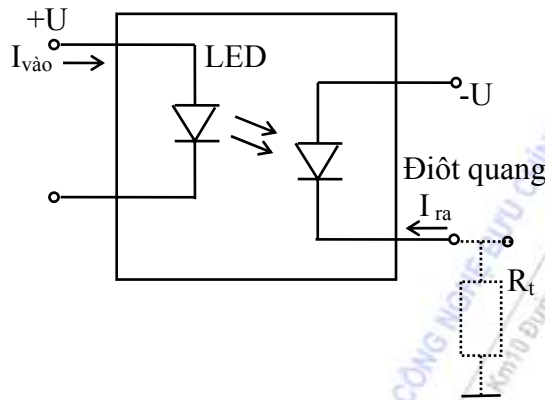
8.4. CÁC BỘ GHÉP QUANG (OPTO- COUPLERS).

8.4.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động.

Bộ ghép quang còn gọi là bộ cách ly quang (Photo coupled isolators), còn thông thường ta gọi là bộ ghép quang (Opto- Coupler). Bộ ghép quang dùng để cách điện giữa các mạch điện có sự khác biệt về điện thế khá lớn mà vẫn truyền dẫn được tín hiệu điện giữa chúng. Ngoài ra nó còn được dùng để tránh các vòng đất gây nhiễu trong mạch điện.

a. Cấu tạo và nguyên lý làm việc:

Cấu tạo của bộ ghép quang gồm có một điốt phát quang (LED) có nhiệm vụ phát ra ánh sáng có đáp ứng nhanh với sự thay đổi của dòng điện đi qua nó, và một linh kiện thu quang (ví dụ như điốt quang, tranzito quang, thyristo quang...). Hai linh kiện này đặt cạnh nhau tạo thành bộ ghép quang, trong đó dòng điện đầu vào của một mạch điện sẽ tạo ra một dòng điện thích ứng ở đầu ra của một mạch điện khác.



Hình 8- 44 : Cấu tạo và sơ đồ nguyên lý của bộ ghép quang dùng điốt quang.

Khi LED được phân cực thuận, với dòng điện thuận, LED sẽ phát ra ánh sáng. Ánh sáng này được chiếu trực tiếp lên cấu kiện thu quang hoặc chiếu gián tiếp qua sợi quang dẫn và cấu kiện thu quang sẽ biến tín hiệu quang thành tín hiệu điện. Như vậy, đầu tiên tín hiệu điện được LED biến thành tín hiệu quang, sau đó tín hiệu quang được cấu kiện thu quang biến đổi lại thành tín hiệu điện.

b. Tính chất cách điện :

- *Điện trở cách điện:*

Điện trở cách điện là điện trở với dòng điện một chiều giữa đầu vào và đầu ra của bộ ghép quang. Điện trở cách điện có trị số bé nhất khoảng $10^{11}\Omega$.

- *Điện dung cách điện:*

Cấu trúc của bộ ghép quang gồm có LED và photodiode hoặc phototransistor nên có thể tạo ra một điện dung từ 0,3 đến 2pF giữa đầu vào và đầu ra. Do đó với điện trường thay đổi nhanh ($500V/\mu S$) điện dung ký sinh này có thể truyền và tạo ra trên lối ra xung điện có các gai nhọn. Để giảm ảnh hưởng này ta nên dùng bộ ghép quang không có chân nổi ở cực gốc của transistor quang, và nối một tụ điện giữa lối vào và lối ra để giảm gai nhọn ở xung ra.

- *Điện thế cách ly:*

Điện thế cách ly là điện thế cao nhất mà bộ ghép quang có thể chịu đựng được. Điện thế cách ly phụ thuộc vào cấu trúc của bộ ghép quang, không khí,...

- *Hệ số truyền đạt dòng điện (CTR):*

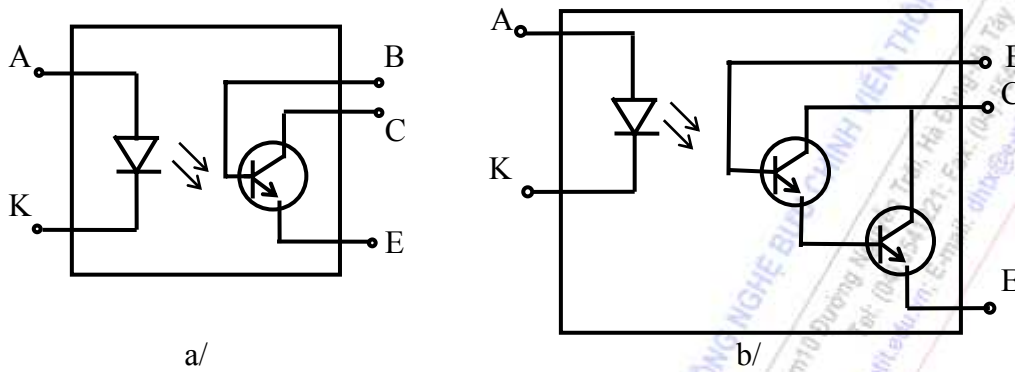
Hệ số truyền đạt là tham số quan trọng nhất của bộ ghép quang. Hệ số truyền đạt được tính theo % cho biết dòng điện ra lớn hơn so với dòng điện vào của LED trong một bộ ghép quang:

$$CTR = \frac{I_{ra}}{I_{vào}} \tag{8. 42}$$

5.5.2 Một số loại bộ ghép quang.

a. Bộ ghép quang với phototranzito:

Bộ ghép quang này gồm có một LED hồng ngoại và một tranzito quang như hình 8- 45a.



Hình 8- 45: a- Bộ ghép quang với tranzito quang lưỡng cực.
b- Bộ ghép quang với tranzito quang Dacling- ton.

b. Bộ ghép quang với tranzito quang Dacling- ton:

Bộ ghép quang với tranzito quang Dacling- ton được dùng để tăng hệ số truyền đạt nhờ sự khuếch đại của một tranzito (xem hình 8- 50b).

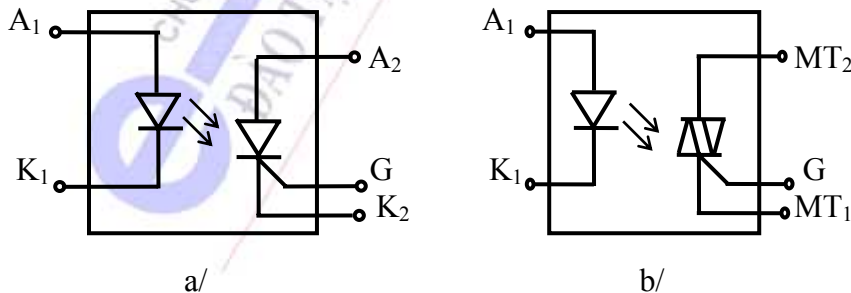
c. Bộ ghép quang với thyrixto quang:

Bộ ghép quang này gồm có một LED hồng ngoại và một thyrixto quang làm việc với ánh sáng hồng ngoại, xem hình 8- 46a.

Bộ ghép quang với thyrixto quang được dùng để điều khiển một thyrixto công suất khác làm việc.

d. Bộ ghép quang với Triac quang:

Bộ ghép quang với triac quang (xem hình 8-46b) được dùng để điều khiển một triac công suất khác làm việc.



Hình 8- 46: a- Bộ ghép quang với Thyrixto quang.

e. Bộ ghép quang có khe hở (Slotted Opto- Coupler):

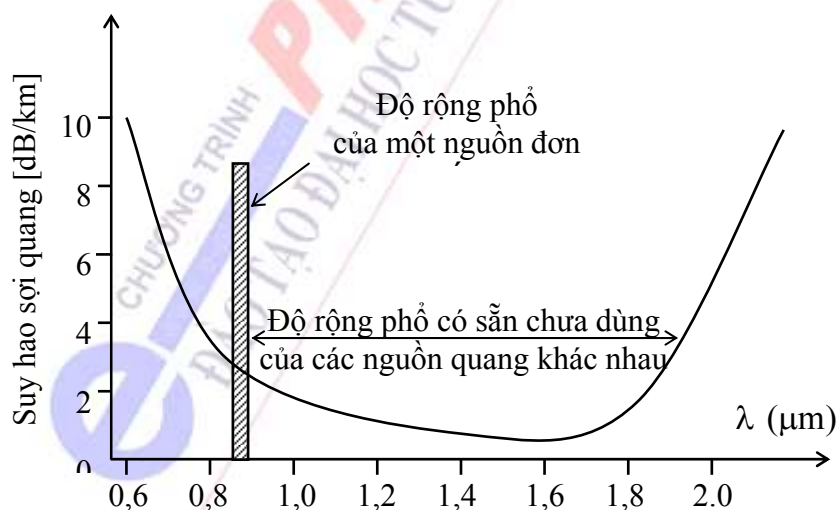
Bộ ghép quang với khe hở thường được sử dụng để kiểm tra sự xuất hiện của các vật thể. Hình 8- 47 mô tả một bộ ghép quang với khe hở. Trong mạch, LED phát ra ánh sáng liên tục

và tranzito quang sẽ kiểm tra sự xuất hiện của bất kỳ vật thể nào cản trở sự chiếu sáng ở trong khe.

8.5. CẤU KIỆN QUANG HÌNH HỌC DÙNG TRONG THÔNG TIN QUANG (Bộ lọc quang)

8.5.1. Khái niệm về kỹ thuật thông tin quang.

Bộ lọc quang liên quan đến kỹ thuật ghép kênh phân chia theo bước sóng -WDM. Vì mỗi một nguồn sáng đơn sắc có độ rộng phổ hẹp, nên trong truyền dẫn nó chỉ sử dụng một phần rất nhỏ băng truyền dẫn của một sợi quang. Ghép kênh phân chia theo bước sóng sẽ tạo ra rất nhiều kênh phổ sử dụng đồng thời.

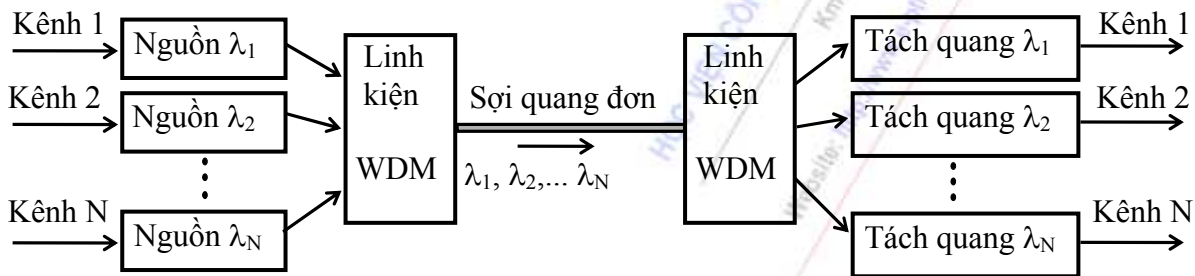


Hình 8- 48: Một nguồn quang đơn sử dụng một phần rất nhỏ băng truyền dẫn của phổ có sẵn của sợi quang ghép kênh phân chia theo bước sóng (WDM) tạo ra rất nhiều kênh phổ sử dụng đồng thời.

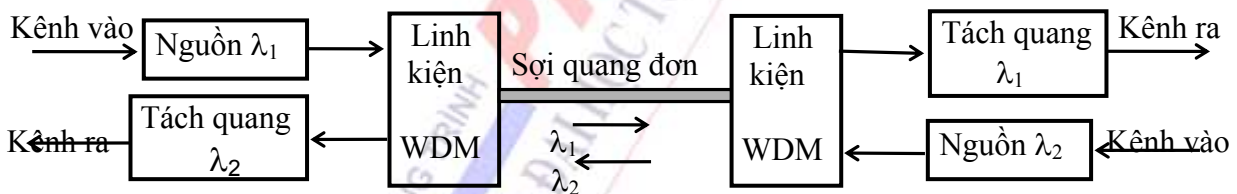
Từ hình 8- 48 ta thấy có rất nhiều vùng hoạt động phổ có thể thêm vào. Một cách lý tưởng, sự tăng đột biến dung lượng thông tin của một sợi quang có thể đạt được bằng việc truyền dẫn đồng thời các tín hiệu quang trên cùng một sợi quang từ nhiều nguồn ánh sáng khác nhau có các bước sóng định bức xạ đặt cách nhau một cách chính xác. Bởi mỗi nguồn sáng hoạt động tại một bước sóng định khác nhau, tính toàn vẹn của các tín tức độc lập từ mỗi nguồn được duy trì để việc chuyển đổi tuần tự sang tín hiệu điện ở đầu thu. Đây là cơ sở của ghép kênh phân chia theo bước sóng (WDM).

Hai cơ cấu WDM khác nhau mô tả trong hình 8- 49 và hình 8- 50. Trong hình 8-49, linh kiện WDM đơn hướng được sử dụng để kết hợp các bước sóng mang tín hiệu khác nhau trên một sợi quang đơn tại một đầu và để tách chúng vào bộ tách quang thích hợp tại đầu kia.

Sơ đồ hệ thống WDM hai hướng được mô tả trong hình 8- 50. Sơ đồ này gồm việc gửi tín tức trong một hướng tại một bước sóng λ_1 và đồng thời trong hướng ngược lại tại bước sóng λ_2 .



Hình 8- 49 : Hệ thống WDM đơn hướng kết hợp N tín hiệu độc lập để truyền trên 1 sợi quang đơn.

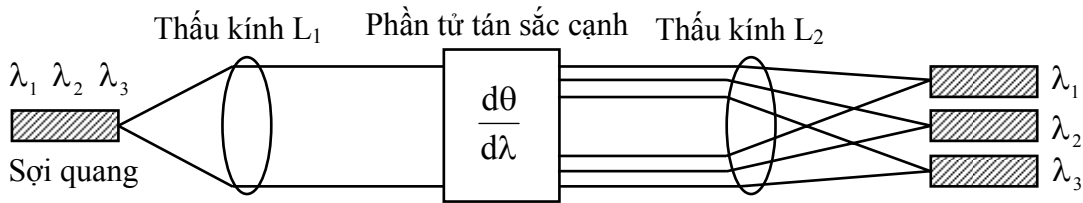


Hình 8- 50: Hệ thống WDM hai hướng, trong đó, hai bước sóng hoặc nhiều hơn được truyền đồng thời trong các hướng ngược nhau trên cùng một sợi quang.

Trong các hệ thống thông tin quang trong hai hình trên, các bộ ghép kênh phân chia theo bước sóng có hai loại được sử dụng rộng rãi nhất là các linh kiện tán sắc cạnh như các lăng kính hoặc các cách tử, và các bộ lọc màng mỏng hoặc các linh kiện tích hợp quang đơn một.

8.5.2. Bộ lọc quang bằng các linh kiện tán sắc (hay bộ ghép kênh tán sắc cạnh).

Sơ đồ của một bộ ghép kênh tán sắc cạnh được mô tả trong hình 8- 51 đối với hệ thống 3 bước sóng sử dụng, ở đó $\frac{d\theta}{d\lambda}$ là độ tán sắc cạnh của linh kiện.



Hình 8- 51:Sơ đồ biểu diễn một phần tử WDM tán sắc cạnh cho 3 bước sóng. Nhiều bước sóng có thể kết hợp hoặc phân chia với loại linh kiện này.

Khi linh kiện sử dụng như một bộ phân kênh, ánh sáng từ sợi quang đi ra được chuẩn trực bằng thấu kính L_1 (gọi là thấu kính chuẩn trực) và đi qua phần tử tán sắc cạnh và nó được phân chia thành các kênh có bước sóng đi vào các chùm tia có định hướng không gian khác nhau. Thấu kính L_2 (thấu kính hội tụ) sẽ hội tụ các tia đầu ra vào các sợi quang thu thích hợp hoặc các bộ tách quang thích hợp. Sự tán sắc tuyến tính $\frac{dx}{d\lambda}$ tại các sợi quang thu được xác định:

$$\frac{dx}{d\lambda} = f \cdot \frac{d\theta}{d\lambda} \tag{8.43}$$

ở đây f là chiều dài tiêu cự của thấu kính L_2 .

Trong trường hợp lý tưởng không có quang sai, độ rộng phổ nguồn zero, tổn hao chèn nguyên tính và xen tiếng zero nếu các tín hiệu ra được phân chia lớn hơn đường kính của nó (d_k), nghĩa là:

$$\frac{dx}{d\lambda} \cdot \Delta\lambda \geq d_k \tag{8.44}$$

với: $\Delta\lambda$ - khoảng cách phổ giữa các kênh (khoảng cách bước sóng).

d_k - đường kính của sợi quang

Ở đây giả thiết rằng tất cả các sợi quang (phát và thu) đều có cùng đường kính d_k và khẩu độ số NA.

Để thu nhận tất cả ánh sáng từ sợi quang phát, thấu kính chuẩn trực L_1 cần có đường kính b thoả mãn điều kiện:

$$b > 2f \frac{NA}{n'} \tag{8.45}$$

trong đó n' là chiết suất của môi trường giữa thấu kính L_1 và linh kiện tán sắc cạnh.

Kết hợp công thức (8.43), (8.44) và (8.45), ta có:

$$b \geq \frac{2 \left(\frac{NA}{n'} \right) d_k}{\Delta\lambda \left(\frac{d\theta}{d\lambda} \right)} \tag{8.46}$$

Trong các hệ thống thực tế, chùm tia ra bị trải rộng ra ngoài bởi kích thước hữu hạn của nguồn sáng và kết quả tán sắc cạnh do sự trải rộng bước sóng của độ rộng phổ của nguồn. Độ tăng tỉ lượng S của đường kính chùm tia được tính gần đúng bằng:

$$S = \frac{b'-b}{b} \approx (1+m) \frac{w \cdot d_k (NA)}{b^2 \cdot n'} \tag{8.47}$$

trong đó: m – số lượng các kênh bước sóng
 b' - đường kính của thấu kính L_2 .
 w - độ dài tuyến tổng từ đầu ra của thấu kính L_1 đến đầu vào của thấu kính L_2

Để loại bỏ hiện tượng tràn đầy độ mở số của sợi quang thu, độ trải rộng tia sáng tổng cần phải là một phần nhỏ đường kính của thấu kính chuẩn trực, nghĩa là $S < 1$.

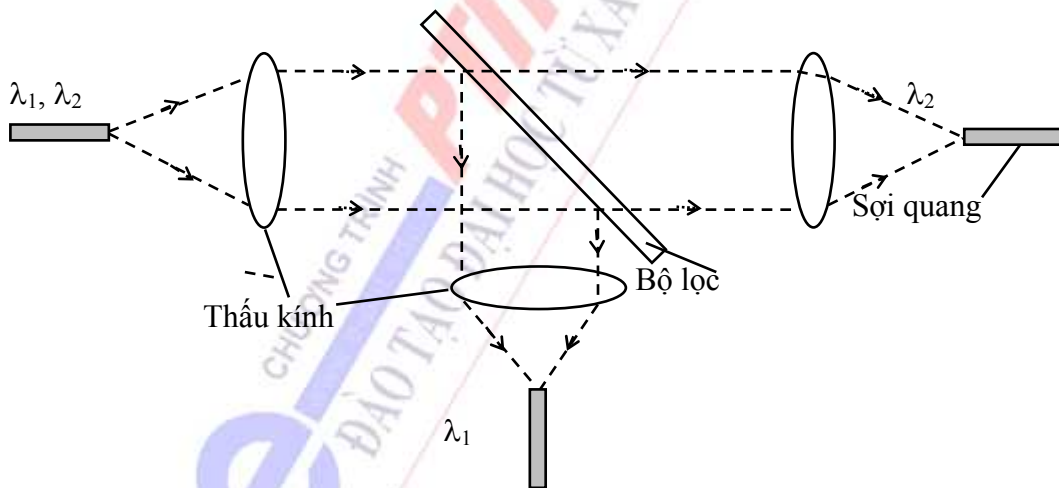
Một số lớn các kênh có thể được kết hợp và phân chia với các phần tử ghép kênh tán sắc cạnh. Hầu hết các linh kiện này sử dụng liên hợp thấu kính – cộng – cách tử (grating – plus – lens). Đôi khi người ta dùng lăng kính làm phần tử tán sắc cạnh. Các tổn thất chèn tiêu biểu khoảng từ 1 ÷ 3 dB, và mức tiếng xen vào khoảng từ -20 dB đến -30 dB.

8.5.3. Bộ lọc quang màng mỏng .

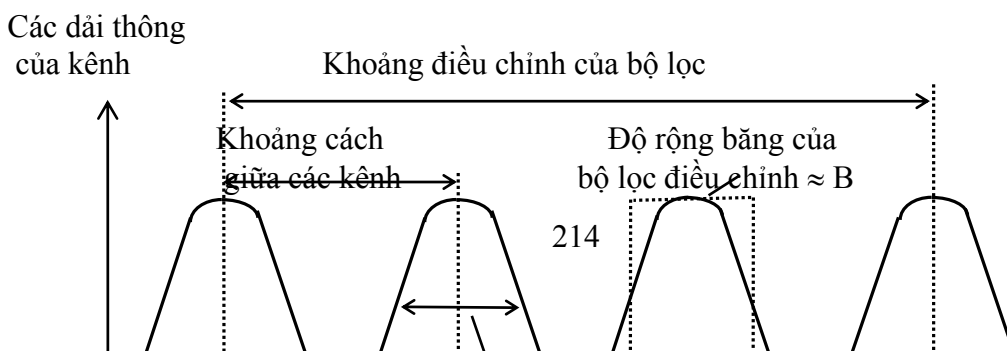
Trong phần này chúng ta sẽ nghiên cứu về bộ lọc quang màng mỏng. Hoạt động của một phần tử ghép kênh loại bộ lọc được mô tả trong hình 8- 52 cho hoạt động của hai bước sóng. Các bộ lọc được thiết kế để truyền ánh sáng cho một bước sóng cụ thể và để hoặc hấp thụ, hoặc phản xạ tất cả các bước sóng khác.

Các bộ lọc loại phản xạ thường được sử dụng vì tổn hao của các bộ lọc loại hấp thụ có xu hướng tăng cao hơn (cao hơn 1dB).

Bộ lọc phản xạ gồm một tấm kính phẳng, bên trên nó nhiều lớp màng mỏng chất cách điện khác nhau được lắng đọng tùy theo tính chọn lọc của bước sóng. Các bộ lọc này có thể sử dụng nối tiếp thành chuỗi để phân chia thêm các kênh bước sóng. Sự phức tạp cũng tăng theo số lượng các bộ lọc nối tiếp và sự tăng tổn hao tín hiệu cũng xảy ra với việc tăng thêm các bộ ghép kênh nối tiếp. Nhìn chung chỉ nên hạn chế hoạt động đến 2 hoặc 3 bộ lọc (có nghĩa là hoạt động 3 hoặc 4 kênh).



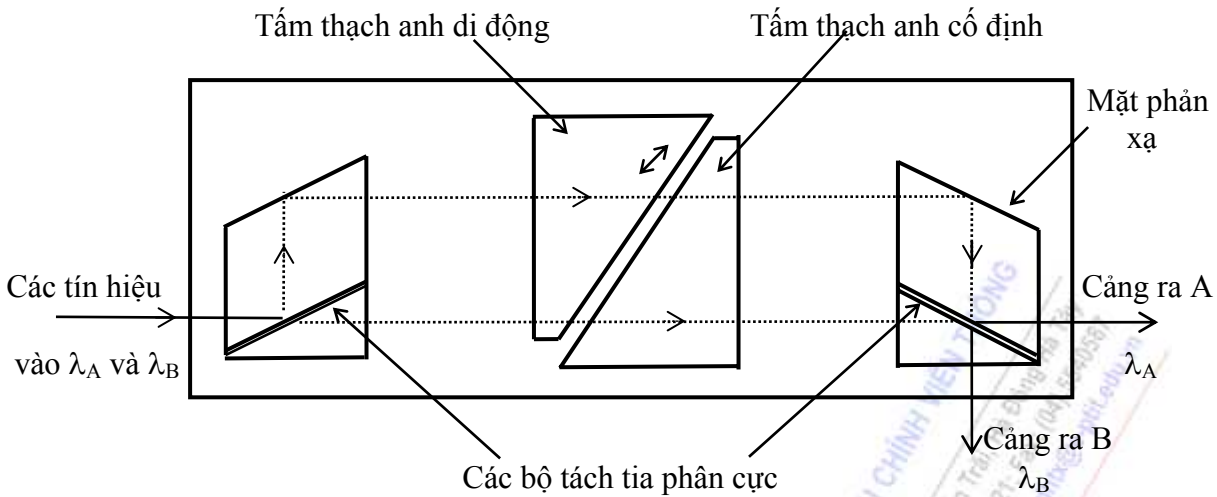
Hình 8- 52 : Bộ lọc màng mỏng nhiều lớp phản xạ sử dụng cho WDM. Linh kiện này trong suốt tại bước sóng λ_2 và phản xạ tại bước sóng λ_1 .



Trong thiết kế các hệ thống WDM, cần phải chú ý làm giảm đến mức thấp nhất các yếu tố gây ra sự giảm sút phẩm chất ngoài biên của đường truyền. Trên đây là các linh kiện WDM thụ động, độ chọn lọc bước sóng của chúng được cố định. Người ta cũng phát minh ra các phần tử WDM tích cực, các phần tử này được chuyển một cách tích cực hoặc được điều chỉnh theo bước sóng. Giữa các phần tử WDM tích cực là nguồn đa bước sóng và các tổ hợp tách quang, các laser có khả năng điều chỉnh bước sóng, và các bộ lọc có thể điều chỉnh bước sóng.

Khái niệm về việc bộ lọc có thể điều chỉnh được mô tả trong hình 8-54. Trong phương pháp này, các tín hiệu tin tức khác nhau được gửi vào các kênh tần số riêng của độ rộng băng B. Bằng việc sử dụng một bộ lọc với dải thông có độ rộng B mà nó có thể điều chỉnh trên khoảng tần số của các kênh này, người ta có thể chọn được kênh theo yêu cầu.

Hình 8-54 mô tả một ví dụ về một bộ lọc có thể điều chỉnh bước sóng (a wavelength-tunable filter). Ở đây, một phần tử đa cấp lưỡng chiết suất cấu tạo từ hai ống dẫn sóng bằng thạch anh (a birefringent multiple-order element) được đặt giữa hai bộ tách tia phân cực (polarizing beam splitters).



Hình 8- 54 : Ví dụ về bộ lọc điều chỉnh bước sóng.
 Một tấm thạch anh di động thay đổi độ dài tuyến đường đi qua tinh thể để thay đổi phổ ra hình sin.

Công suất ra P của ánh sáng tại các cảng ra A và B liên hệ với công suất vào P₀ bằng công thức:

$$P = \frac{P_0}{2} \left(1 \pm \cos \frac{2\pi\Delta n L}{\lambda} \right) \tag{8.48}$$

- Trong đó:
- Δn : độ chênh lệch giữa chiết suất thông thường và chiết suất khác thường của vật liệu lưỡng chiết.
 - λ : độ dài bước sóng.
 - dấu ± liên quan đến các cảng A (dấu +) và cảng B (dấu -).

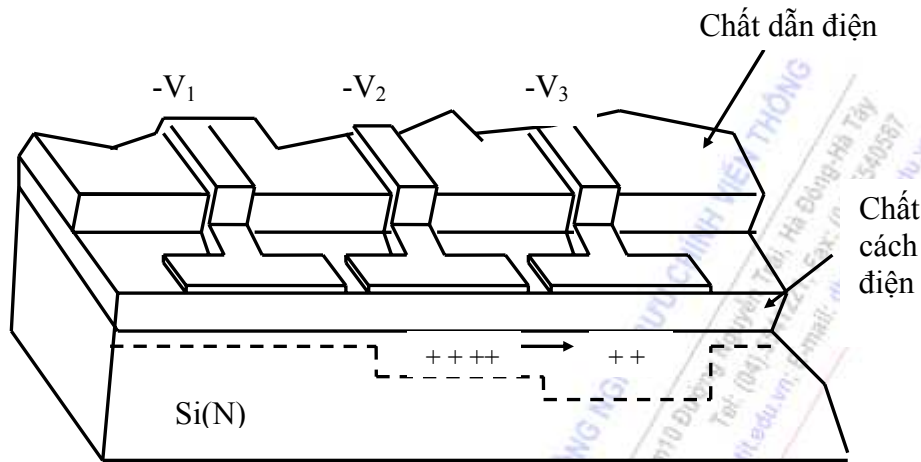
Sự biến đổi hình sin của phổ ra có thể được thay đổi bằng cách thay đổi độ dài đường truyền L đi qua tinh thể. Điều này đạt được bằng cách di chuyển một trong các tấm thạch anh lên trên hoặc xuống dưới. Sự thay đổi chiều dài theo cấp bậc chu kỳ quay phân cực sẽ xác định vị trí của kênh, còn các thay đổi lớn hơn sẽ sửa đổi sự đặt cách của các kênh. Vì tuyến quang là thuận nghịch, linh kiện này có thể được sử dụng như là bộ ghép kênh và hoặc như là bộ phân kênh đều được.

8.6. CẤU KIỆN CCD (Tổ hợp các detector quang)

CCD là mạch tổ hợp các detector quang. CCD được viết tắt từ tiếng Anh Charge-Coupled Devices (các cấu kiện liên kết tích điện). Kỹ thuật CCD được sử dụng trong các ống thu hình màu, các sensor quang học đọc các văn bản trên máy FAX...

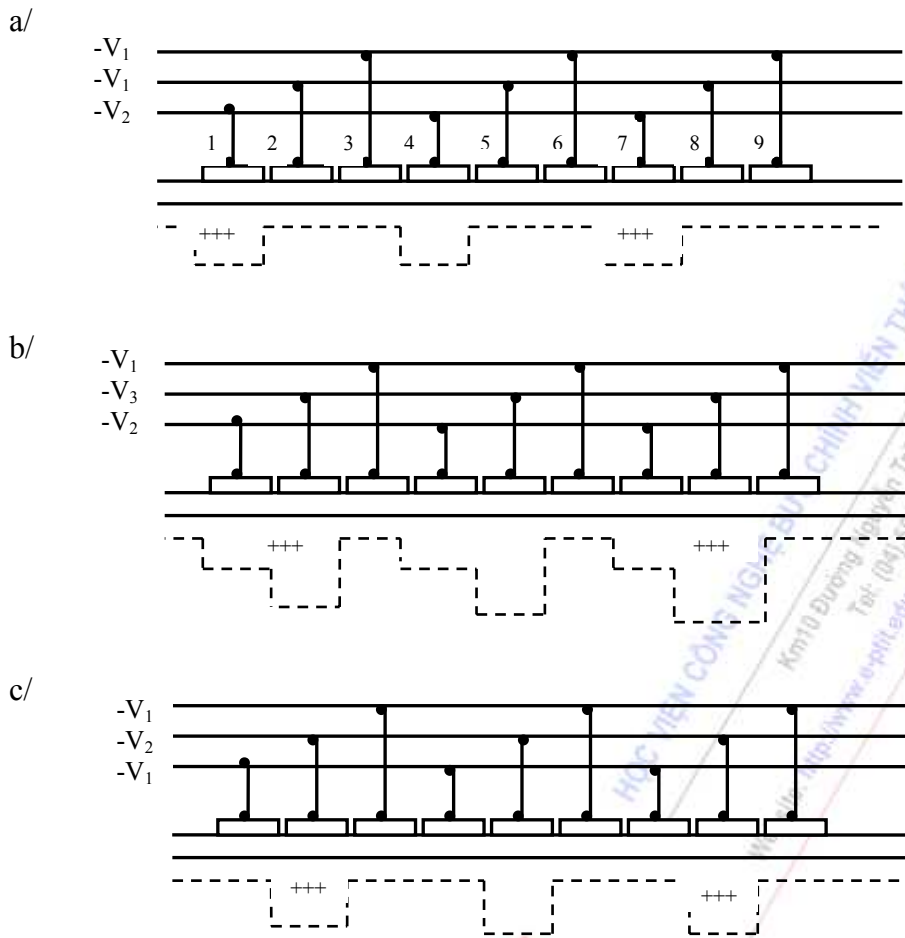
Tổ hợp các detector dùng trong thu hình màu được thực hiện trên vật liệu silic. Tùy theo ứng dụng mà các detector được tổ hợp trên cùng một hàng hay trên cùng một mặt phẳng. Tổ hợp trên cùng một hàng với khoảng cách giữa các sensor từ 10 đến 15μm thì cần từ vài trăm đến vài nghìn detector (mạch tổ hợp LSI). Đối với mạch tổ hợp trên cùng một mặt phẳng, các detector được sắp xếp theo một ma trận. Để có một hình ảnh rõ cho máy video, độ rộng băng tần 3MHz, người ta cần từ 200.000 đến 250.000 detector. Đó là mạch tổ hợp loại VLSI và kỹ thuật Si-MOS được chọn. Theo công nghệ này, mỗi detector có thể là một N⁺ - P điốt plana hoặc một tụ điện loại MOS.

Một CCD thực chất là một bộ dịch chuyển tín hiệu. Tính chất của nó được xác định bởi cách thức tín hiệu từ các detector được dịch chuyển ra ngoài như thế nào để ta có tín hiệu video ở đầu ra. Bộ dịch chuyển có thể hoạt động theo phương pháp analog hoặc digital. Ta sẽ xét về hoạt động của một CCD cấu tạo từ các tụ điện MOS nằm kề bên nhau (xem hình 8-55).



Hình 8 – 55: Cấu trúc của một CCD từ các tụ điện MOS.

Các tụ điện có thể thu, tích trữ và tùy theo điện áp thích ứng có thể dịch chuyển các điện tích từ tụ điện này sang tụ điện khác. Khi thu hình, trong thời gian tích phân, các điện tích được sinh ra do việc hấp thụ ánh sáng và khi đọc, các điện tích này được đẩy ra theo xung đồng bộ để ta có một tín hiệu video ở đầu ra (xem hình 8-56). Ngay sau khi đặt một điện thế thích hợp lên điện cực kế tiếp để có hố điện thế sâu hơn, các điện tích được đẩy vào hố đó. Mỗi điện cực thứ 3 (chân 1, 4, 7...) có điện thế giống nhau. Với điện thế $-V_1 > -V_2 > -V_3$ thì các điện tích sẽ dịch chuyển về phía bên phải theo cách thức của CCD loại 3 pha. Cho ống thu hình màu cần 3 chip CCD cho 3 màu là màu đỏ, xanh lá cây và xanh da trời. Trên thực tế, các ống hình màu được chế tạo chỉ có 1 chip với bộ lọc để sắp xếp sao cho kênh xanh lá cây có số điểm gấp 2 lần số điểm màu đỏ và xanh da trời vì mắt người nhạy với màu xanh lá cây tốt nhất. Để thu hình màu cần có khoảng 400 điểm hình cho một hàng sẽ cho ta một ảnh màu tốt. Ví dụ: Đối với ống thu hình màu dùng 1 chip theo tiêu chuẩn của NTSC cần khoảng 484x400 đơn vị detector, còn của PAL cần tới 580x400 đơn vị detector.



Hình 8 – 56: Hoạt động của một CCD với $-V_1 > -V_2 > -V_3$

Tùy theo sự sắp xếp giữa phần detector và phần nhớ mà ta có các loại CCD khác nhau như: IT (Interline Transfer); FT (Frame Transfer); XY (Cấu trúc với bộ dịch chuyển digital).

TÓM TẮT

Cấu kiện quang điện tử nghiên cứu trong chương 8 gồm các cấu kiện phát quang (cấu kiện biến đổi điện – quang) như LED, LASER và các cấu kiện thu quang (cấu kiện biến đổi quang-điện) như điện trở quang, điốt quang, tranzito quang, thyristo quang...

Điốt phát quang- LED là linh kiện phổ thông của quang điện tử, có tần số hoạt động rất cao, thể tích nhỏ, công suất tiêu hao bé và không sụt áp khi hoạt động. Điốt phát quang được sử dụng rộng rãi ở hai lĩnh vực là LED bức xạ ánh sáng nhìn thấy gọi là LED chỉ thị và LED bức xạ ánh sáng hồng ngoại gọi là LED hồng ngoại. Hai loại LED này có cấu tạo và nguyên lý hoạt động gần giống nhau, chỉ có bước sóng bức xạ ra ở các vùng khác nhau do vật liệu bán dẫn có độ rộng vùng cấm khác nhau theo mối quan hệ:

$$\lambda = \frac{hc}{E_G}$$

Trong đó: h- hằng số Plank ($h = 4,16.10^{-15}$ eV)

c- vận tốc ánh sáng ($c = 3.10^8$ m/s)

E_G - độ rộng vùng cấm, (eV)

Cấu tạo của LED chỉ thị gồm có một lớp tiếp xúc P-N, hai chân cực anốt và catốt. Vật liệu bán dẫn là liên kết của các nguyên tố thuộc nhóm 3 và nhóm 5 của bảng tuần hoàn Mendeleev.

Nguyên lý hoạt động là dựa vào quá trình tái hợp của các hạt dẫn khi điốt được phân cực thuận để bức xạ quang. Điện áp phân cực cho LED gần bằng độ rộng vùng cấm, do đó, đối với các LED bức xạ ở các bước sóng khác nhau sẽ có điện áp phân cực khác nhau. Để cường độ bức xạ cao, các vật liệu chế tạo LED có độ pha tạp lớn, do vậy điện trở của chúng rất nhỏ. Do vậy, khi đấu LED trong mạch ta phải đấu nối tiếp với một điện trở và đấu nối tiếp với nguồn điện. Điện áp phân cực cho LED nằm trong khoảng từ $1,6V \div 3V$. Điện áp phân cực ngược giới hạn cho điốt cũng giới hạn khoảng từ $3V \div 5V$. LED rất nhạy với nhiệt độ, hệ số nhiệt của nó có giá trị âm. Như vậy, khi nhiệt độ tăng thì cường độ bức xạ quang của LED giảm (khoảng $1\%/^{\circ}C$).

LED hồng ngoại có cấu trúc đặc biệt để tạo ra ánh sáng có cường độ cao, thời gian đáp ứng nhanh và hiệu suất quang lượng tử cao. LED cấu trúc dị thể kép gồm 5 lớp bán dẫn có vật liệu và nồng độ pha tạp khác nhau để tạo ra các lớp giam giữ hạt dẫn và giam giữ ánh sáng. Nhờ các lớp giam giữ hạt dẫn mà hiệu suất quang lượng tử được nâng cao và cũng chính nhờ các lớp này mà tập trung được bức xạ quang theo một hướng nhất định. Tuy nhiên, ánh sáng bức xạ ra trong LED đều đẳng hướng và đều là ánh sáng không kết hợp, có cường độ bức xạ không cao và phổ bức xạ lớn.

LASER bán dẫn là một cấu kiện bán dẫn quang dùng để tạo ra và khuếch đại ánh sáng đơn sắc có tính liên kết về pha từ bức xạ tự phát của ánh sáng nên cường độ bức xạ của Laser rất lớn và có phổ bức xạ rất nhỏ (khoảng vài nm).

Cấu tạo của Laser gần giống như LED nhưng phức tạp hơn do yêu cầu về độ giam giữ hạt dẫn và ánh sáng trong một hốc cộng hưởng.

Trong LASER, ba quá trình quang điện đều xảy ra: quá trình hấp thụ photon, quá trình bức xạ tự phát và quá trình bức xạ kích thích. Muốn LASER bức xạ thì ta phải cung cấp cho nó một dòng điện có cường độ lớn hơn giá trị ngưỡng nào đó ($I_{CC} \geq I_{CC \text{ ngưỡng}}$). Lúc đó trạng thái “đảo điện” sẽ xảy ra trong các lớp bán dẫn. Điều kiện để có bức xạ Laser là sự khuếch đại ánh sáng thắng được sự hấp thụ quang trong buồng cộng hưởng của điốt laser. Sự lan truyền ánh sáng dọc theo chiều dài L của hốc cộng hưởng được viết theo công thức sau:

$$E(z,t) = I(z).e^{j(\omega t - \beta z)}$$

Trong đó $I(z)$ - mật độ trường quang theo hướng dọc (z)
 z- khoảng cách theo hướng dọc của hốc cộng hưởng
 ω - tần số góc của ánh sáng
 β - hệ số lan truyền

Mật độ bức xạ quang ứng với các photon có năng lượng $h\nu$ được tính theo công thức:

$$I(z) = I(0)R_1R_2.e^{[I'g(h\nu) - \alpha'(h\nu)]z}$$

Trong đó: α' - hệ số hấp thụ hữu ích của vật liệu
 I' - hệ số giam giữ ánh sáng
 $I(0)$ - mật độ trường quang ban đầu
 g- hệ số khuếch đại quang
 R_1 và R_2 - độ phản xạ của 2 gương phản xạ trong hốc cộng hưởng

Điều kiện để có lasing là một dao động trạng thái bền chiếm giữ và độ lớn cũng như pha của sóng phản hồi có thể bằng các sóng gốc tạo ra nó, đó chính là:

về biên độ: $I(2L) = I(0)$

về pha: $e^{-j\beta 2L} = 1$

Để đạt được điều kiện này thì độ khuếch đại tại ngưỡng lasing g_{th} phải lớn hơn hoặc bằng tổng mất mát α_t trong hốc cộng hưởng.

Đặc tính và tham số của Laser:

Đặc tuyến phát xạ biểu thị quan hệ giữa công suất bức xạ quang và dòng điện cung cấp cho Laser. Để có lasing thì $I_{CC} \geq I_{CC \text{ ngưỡng}}$

Hiệu suất lượng tử vi phân ngoài xác định số photon bức xạ ra trên đơn vị điện tử-lỗ trống:

$$\eta_{ext} = \frac{qdP}{E_0 dI} = 0,806\lambda \frac{dP}{dI}$$

Khoảng cách tần số $\Delta\nu = \frac{C}{2Ln}$

Khoảng cách bước sóng $\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2Ln}$

Trong đó n – chiết suất của vật liệu bán dẫn chế tạo Laser.

Cấu kiện thu quang có nhiệm vụ biến đổi tín hiệu quang sang tín hiệu điện. Điện trở quang là cấu kiện bán dẫn không có tiếp xúc P-N. Hiện tượng biến đổi quang –điện được thực hiện nhờ hiện tượng hấp thụ quang để tạo ra các đôi điện tử-lỗ trống. Những hạt dẫn mới xuất hiện sẽ chuyển động dưới tác dụng của điện trường và tạo nên dòng quang điện và việc chuyển đổi quang-điện được thực hiện.

Điốt quang là cấu kiện thu quang có tần số làm việc rất cao. Điốt quang có một tiếp xúc P-N và quá trình hấp thụ quang xảy ra cơ bản trong lớp tiếp xúc P-N. Điốt quang loại tiếp xúc P-N cho dòng điện rò nhỏ nhất nhưng có độ nhạy thấp vì lớp tiếp xúc P-N quá hẹp, nên hiệu suất quang lượng tử thấp. Để tăng độ nhạy của điốt quang người ta chế tạo điốt quang loại P-I-N và điốt quang thác APD. Điốt quang loại P-I-N có vùng tích cực là lớp bán dẫn nguyên tính (Intrinsic) dày hơn lớp tiếp xúc P-N nhiều. Do vậy, hiệu suất quang lượng tử được nâng cao dẫn đến cường độ dòng điện quang tăng lên rõ rệt. Dòng điện quang được tính theo công thức:

$$I_{phot} = q \frac{P_0}{h\nu} \left[1 - \frac{e^{-\alpha_\lambda w}}{1 + \alpha_\lambda L_p} \right] (1 - R_f)$$

Trong đó: q - điện tích của điện tử
 P_0 – công suất quang đi tới điốt quang
 $h\nu$ – năng lượng photon
 α_λ – hệ số hấp thụ ánh sáng tại bước sóng λ
 w – bề dày của lớp bán dẫn nguyên tính
 R_f – độ phản xạ tại bề mặt của điốt quang

Hiệu suất lượng tử là: $\eta = \frac{I_{phot} / q}{P_0 / h\nu} = 1 - \frac{e^{-\alpha_\lambda w}}{1 + \alpha_\lambda L_p}$

Độ nhạy của điốt quang: $S = \frac{I_{phot}}{P_0} = \frac{q\eta}{h\nu} = \frac{\eta\lambda}{1,24} \quad [A/w]$

Điốt quang thác (APD) có cấu trúc đặc biệt để tạo ra trong nó một vùng có biến đổi điện áp nhanh và đó chính là vùng thác. Khi các hạt dẫn di chuyển đến vùng thác sẽ được tăng tốc và chúng va chạm với các nguyên tử trung hòa trong vùng này, gây ra hiện tượng i-on hóa

do va chạm. Do vậy, số các hạt dẫn được tăng lên theo cấp số nhân dẫn đến cường độ dòng điện quang của điốt tăng lên như được khuếch đại với hệ số nhân M được tính theo công thức:

$$M = \frac{I_M}{I_{phot}}$$

Trong đó I_M là giá trị trung bình của dòng quang điện nhân tổng đầu ra.

Tế bào quang điện và pin mặt trời là các cấu kiện biến đổi năng lượng quang thành năng lượng điện.

Điốt APD cho độ nhạy cao nhất nhưng nó yêu cầu nguồn cung cấp cao và ổn định.

Tranzito quang là cấu kiện biến đổi tín hiệu quang sang tín hiệu điện và khuếch đại chúng. Tranzito quang có cấu tạo như tranzito thường nhưng cực gốc của nó có diện tích bề mặt lớn để chiếu ánh sáng vào. Khi được chiếu sáng, trong phần gốc sẽ xuất hiện các đôi điện tử-lỗ trống mới. Những hạt dẫn này chuyển động dưới tác dụng của điện trường tạo nên thành phần dòng điện quang. Tổng dòng điện sáng trong tranzito:

$$I_{CS} = \beta I_{phot} + I_{pphot} + I_{Ctối}$$

Tranzito quang có độ nhạy cao hơn so với điốt quang nhưng tần số làm việc thấp hơn nhiều.

Thyristo quang là cấu kiện đóng ngắt mạch. Ánh sáng chỉ có tác dụng mở cho thyristo dẫn chứ không có tác dụng biến đổi tín hiệu trong cấu kiện.

Các bộ ghép quang có nhiệm vụ cách điện giữa các mạch điện có sự khác biệt về điện thế khá lớn mà vẫn truyền dẫn được tín hiệu giữa chúng. Cấu tạo của bộ ghép quang gồm có một linh kiện phát quang (LED) và một linh kiện thu quang đặt gần nhau. Khi đó dòng điện đầu vào của một mạch điện sẽ tạo ra một dòng điện thích ứng ở đầu ra của một mạch điện khác với hệ số truyền đạt CTR được tính theo công thức:

$$CTR = \frac{I_{ra}}{I_{vào}}$$

Cấu kiện hình học trong thông tin quang là những bộ lọc quang. Đó là các bộ lọc quang dùng các linh kiện tán sắc và bộ lọc quang màng mỏng. Bộ lọc quang bằng linh kiện tán sắc (hay còn gọi là bộ ghép kênh tán sắc cạnh) như một bộ phân kênh, ánh sáng đi qua bộ lọc quang sẽ được phân chia thành các kênh có bước sóng đi vào các chùm tia có định hướng không gian khác nhau. Bộ lọc quang màng mỏng được thiết kế để truyền ánh sáng trong một bước sóng cụ thể và để hoặc hấp thụ, hoặc phản xạ tất cả các bước sóng khác. Bộ lọc loại phản xạ thường được sử dụng vì tổn hao của chúng thấp.

Mạch tổ hợp các detector- CCD là một bộ dịch chuyển tín hiệu. CCD có thể được tạo ra từ các điốt hoặc các tụ điện MOS. Các điện tích được tích trữ trong các CCD và dịch chuyển điện tích giữa các tụ điện được thực hiện khi cấp cho chúng những điện áp thích ứng. Các CCD được sử dụng trong các ống thu hình màu, trong các máy video, máy FAX,... để đọc các dữ liệu ra ngoài.

CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của LED chỉ thị?
2. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của LED hồng ngoại dị thể kép?
3. Hãy cho biết các tham số cơ bản của LED?
4. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của mặt chỉ thị tinh thể lỏng LCD loại phản xạ?

5. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của LASER có buồng cộng hưởng cấu trúc dị thể kép?
6. Hãy cho biết các tham số cơ bản của Laser?
7. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của điện trở quang?
8. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của điốt quang loại P-I-N?
9. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của điốt APD?
10. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của tranzito quang?
11. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của thyristo quang?
12. Hãy trình bày về bộ ghép quang và các tham số kỹ thuật của chúng?
13. Trình bày về bộ lọc quang màng mỏng?
14. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của bộ CCD dùng tụ MOS?
15. Năng lượng của ánh sáng có bước sóng 820nm và 1,3 μ m là bao nhiêu electron vôn (eV)?
16. Một laser chế tạo từ Ga_{1-x}Al_xAs với x = 0,07 thì có E_G = 1,5 eV. Hãy tính độ dài bước sóng bức xạ ra?
17. Một laser hoạt động ở bước sóng $\lambda = 850\text{nm}$ có chiều dài hốc cộng hưởng L = 500 μ m và chiết suất n = 3,7.
Hỏi khoảng cách tần số và khoảng cách bước sóng là bao nhiêu ?
18. Hãy điền vào chỗ trống của mệnh đề dưới một trong các nhóm từ sau:
“Độ dài bước sóng bức xạ được quyết định bởi.....của chất bán dẫn.
a. độ dẫn điện; b. nồng độ hạt dẫn
c. loại tạp chất pha tạp; d. độ rộng vùng cấm
19. Nguồn sáng trong LED là do quá trình.....
a. bức xạ tự phát. b. bức xạ tự phát và bức xạ kích thích.
c. bức xạ kích thích. d. hấp thụ và bức xạ kích thích
20. Nguồn sáng trong LASER là do quá trình.....
a. bức xạ tự phát. b. bức xạ tự phát và bức xạ kích thích.
c. bức xạ kích thích. d. hấp thụ và bức xạ kích thích

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Giáo trình “Cấu kiện điện tử và quang điện tử”- Trần Thị Cẩm, Học viện CNBCVT, năm 2003.
2. “Cấu kiện quang điện tử” - Dương Minh Trí, NXB KHKT năm 1998.
3. “Optical fiber communications” – Gerd Keiser, Mc Graw Hill Inc. 1991.

ĐÁP ÁN BÀI TẬP

- Chương 1: Câu 13: $n_n = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ và $p_n = 2,25 \cdot 10^5 \cdot \text{cm}^{-3}$
- Chương 3: Câu 8: $U_D = 0,53\text{V}$;
 Câu 9: a/ $P_n(0) = 10^{14} \text{ cm}^{-3}$; $n_p(0) = 10^{11} \text{ cm}^{-3}$; b/Tỉ số = $3 \cdot 10^4$.
- Chương 4: Câu 15: $I_{C2} = 96\text{mA}$; $I_{B2} = 4\text{mA}$; $I_{C1} = 3,92\text{mA}$; $I_{B1} = 0,08\text{mA}$; $U_{CE} = 12\text{V}$
 Câu 16: $I_E = 7,5\text{mA}$; $I_B = 1,47\text{mA}$; $I_C = 7,35\text{mA}$; $U_{CE} = 4,55\text{V}$; $S = 24,88$.
 Câu 17: $R = 110\text{K}\Omega$; $S = 9,5$; Câu 18: $R_B = 7\text{K}\Omega$; $S = 94,3$.
- Chương 5: Câu 15: a/ sơ đồ mắc SC; định thiên tự cấp; c/ $U_{GS} = -0,6\text{V}$; $R_S = 600\Omega$.
 Câu 16: $U_{GS} = -0,62\text{V}$; $g_m = 1,11\text{mA/V}$; $R_S = 770\Omega$; $R_D \geq 9\text{K}\Omega$.
 Câu 17: $R_1 = 2\text{K}\Omega$
 Câu 18: a/ FET đầu DC; b/ phân cực kiểu phân áp; c/ trong tài liệu.
 Câu 19: $I_D = 24\text{mA}$; $R_3 = 83\Omega$
- Chương 8: Câu 15: $E_{G1} = 1,5\text{eV}$; $E_{G2} = 0,95\text{eV}$.
 Câu 16: $\lambda = 0,826\mu\text{m}$
 Câu 17: $\Delta\nu = 81\text{GHz}$; $\Delta\lambda = 0,2\text{nm}$



MỤC LỤC

Chương 1: Giới thiệu chung về cấu kiện điện tử	3
Giới thiệu chương	3
Nội dung	3
1.1 Giới thiệu chung	3
1.2 Phân loại cấu kiện điện tử	3
1.3 Khái niệm về mạch điện và hệ thống điện tử	4
1.4 Vật liệu điện tử	4
1.5 Vật liệu từ	5
Tóm tắt nội dung	24
Câu hỏi ôn tập	25
Tài liệu tham khảo	26
Chương 2: Cấu kiện điện tử thụ động	27
Giới thiệu chương	27
Nội dung	27
2.1 Điện trở	27
2.2 Tụ điện	34
2.3 Cuộn cảm	40
2.4 Biến áp	44
Tóm tắt nội dung	49
Câu hỏi ôn tập	50
Tài liệu tham khảo	51
Chương 3: Diot bán dẫn	52
Giới thiệu chương	52
Nội dung	52
3.1 Lớp tiếp xúc P-N	52
3.2 Diot bán dẫn	58
Tóm tắt nội dung	70
Câu hỏi ôn tập	72
Tài liệu tham khảo	72
Chương 4: Tranzitor lưỡng cực (BJT)	73
Giới thiệu chương	73
Nội dung	73
4.1 Cấu tạo và ký hiệu của BJT trong sơ đồ mạch	73
4.2 Các chế độ làm việc của Tranzitor BJT	74
4.3 Đặc tính quá độ của BJT	78
4.4 Các cách mắc của Tranzitor BJT trong sơ đồ khuếch đại	80
4.5 Phân cực cho Tranzitor lưỡng cực	88
4.6 Sơ đồ tương đương ở chế độ khuếch đại tín hiệu nhỏ tần số thấp	96
Tóm tắt nội dung	102
Câu hỏi ôn tập	103
Tài liệu tham khảo	105
Chương 5: Tranzitor trường FET	106
Giới thiệu chương	106

Nội dung.....	106
5.1 Giới thiệu chung về FET	106
5.2 Tranzitor trường loại điều khiển bằng tiếp xúc P-N.....	107
5.3 Tranzitor trường loại cực cửa cách ly.....	116
Tóm tắt nội dung	125
Câu hỏi ôn tập	126
Tài liệu tham khảo.....	128
Chương 6: Cấu kiện Thyristor.....	129
Giới thiệu chương	129
Nội dung.....	129
6.1 Chỉnh lưu Silic có điều khiển	129
6.2 Triac.....	132
6.3 Diac.....	134
6.4 Tranzitor đơn nốt	136
Tóm tắt nội dung	139
Câu hỏi ôn tập	140
Tài liệu tham khảo.....	140
Chương 7: Vi mạch tích hợp	141
Giới thiệu chương	141
Nội dung.....	141
7.1 Khái niệm và phân loại vi mạch tích hợp	141
7.2 Các phương pháp chế tạo mạch tích hợp bán dẫn	143
7.3 Các cấu kiện được tích hợp trong vi mạch	148
7.4 Vi mạch tuyến tính.....	151
7.5 Vi mạch số.....	159
7.6 Vi mạch nhớ.....	160
7.7 Những điểm cần chú ý khi sử dụng vi mạch tích hợp	163
Tóm tắt nội dung	164
Câu hỏi ôn tập	165
Tài liệu tham khảo.....	166
Chương 8: Cấu kiện quang điện tử.....	167
Giới thiệu chương	167
Nội dung.....	167
8.1 Giới thiệu chung	167
8.2 Các cấu kiện biến đổi điện - quang.....	169
8.3 Các cấu kiện biến đổi quang - điện.....	190
8.4 Các bộ ghép quang.....	204
8.5 Cấu kiện quang hình học dùng trong thông tin quang	211
8.6 Cấu kiện CCD	216
Tóm tắt nội dung	221
Câu hỏi ôn tập	221
Tài liệu tham khảo.....	222
Đáp án bài tập	223

CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ

Mã số: 492CKT220

Chịu trách nhiệm bản thảo

TRUNG TÂM ĐÀO TẠO BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG 1



TRUNG TÂM ĐÀO TẠO BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG
Số 10 Đường Nguyễn Trãi, Hà Đông-Hà Tây
Tel: (04).5541221; Fax: (04).5540587
Website: <http://www.ptth.edu.vn>; E-mail: dhkx@ptth.edu.vn

Phạm Thanh Huyền



BÀI GIẢNG

CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ

Chuyên ngành: KTVT, KTTT, ĐKH-THGT

HÀ NỘI 5/ 2005

LỜI NÓI ĐẦU

Cấu kiện Điện tử là môn học nghiên cứu cấu tạo, nguyên tắc làm việc cũng như là những ứng dụng điển hình của các linh kiện điện tử cơ bản. Đây được coi là một môn cơ sở quan trọng trước khi tiếp cận sâu hơn vào phần kỹ thuật điện tử. Môn học trang bị kiến thức nền tảng để sinh viên tiếp thu kiến thức các môn học tiếp theo như Kỹ thuật mạch điện tử, Kỹ thuật xung, Kỹ thuật đo lường ...và thực tập tại phòng thí nghiệm.

Bài giảng Cấu kiện Điện tử được biên soạn với mục đích như trên và dựa trên các giáo trình và tài liệu tham khảo mới nhất hiện nay, được dùng làm tài liệu tham khảo cho sinh viên chính qui các chuyên ngành: Kỹ thuật Viễn thông, Kỹ thuật Thông tin, Tự động hoá, Trang thiết bị điện, Điều khiển học và Tín hiệu Giao thông. Ngoài ra, đây cũng là tài liệu tham khảo bổ ích cho sinh viên ngành Cơ khí và sinh viên hệ tại chức khi cần tìm hiểu sâu hơn về điện tử cơ bản.

Mặc dù đã được kiểm tra cẩn thận nhưng tài liệu chắc chắn còn có sai sót. Tác giả xin gửi lời cảm ơn chân thành tới các đồng nghiệp trong bộ môn Kỹ thuật Điện tử đã đóng góp nhiều ý kiến quý báu cho tài liệu này.

Rất mong nhận được các ý kiến đóng góp của bạn đọc. Các ý kiến đóng góp xin gửi về Bộ môn Kỹ thuật Điện tử - Khoa Điện Điện tử - ĐH. GTVT.

Hà Nội tháng 5 năm 2005

Tác giả

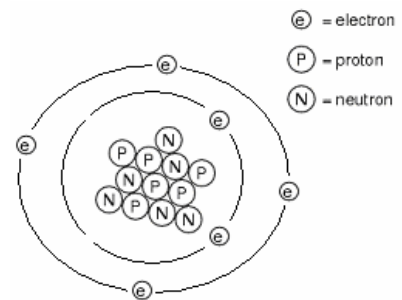
Chương I

CƠ SỞ VẬT LÝ CỦA VẬT LIỆU LINH KIỆN

I. KHÁI NIỆM VỀ LÝ THUYẾT VÙNG NĂNG LƯỢNG

1. Bản chất của nguyên tử

Tất cả các vật chất đều hình thành từ các hạt nhỏ li ti. Những hạt này có mật độ dày đặc và làm cho vật chất dường như là liên tục vì chúng quá nhỏ và di chuyển với tốc độ cực nhanh. Các nhà khoa học đã nhận biết được 92 loại vật chất cơ bản trong tự nhiên, chúng được gọi là các nguyên tố. Sau này có một vài nguyên tố do con người tạo ra. Mỗi một nguyên tố đều có cấu trúc hạt của riêng nó, gọi là các nguyên tử. Cho tới cuối thế kỷ 19 người ta vẫn cho rằng nguyên tử là một phần tử vật chất không có cấu trúc và không thể phân chia. Tuy nhiên, sau hàng loạt những nghiên cứu, tới nay người ta đã đưa ra mô hình đúng đắn của nguyên tử dù rằng vẫn chưa thực sự biết được có hạt vật chất nào nhỏ nhất hay không. Dưới đây là một số kết quả của lý thuyết nguyên tử đã được thừa nhận rộng rãi, nó giải thích đặc tính của vật chất tốt hơn bất cứ lý thuyết nào khác.



Tất cả các nguyên tử đều bao gồm một hạt nhân nhỏ tập trung hầu hết khối lượng của nguyên tử. Quay xung quanh hạt nhân này là các điện tử (electron) mang điện tích âm, nhỏ và nhẹ hơn nhiều.

Hạt nhân bao gồm các hạt proton và notron, proton mang điện tích dương còn notron không mang điện.

$$q_p = -q_e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Khi nguyên tử ở trạng thái bình thường số proton = số điện tử nên nguyên tử trung hoà về điện.

Một sự thay đổi nhỏ trong cấu tạo của nguyên tử cũng có thể tạo nên một sự khác biệt cực kỳ lớn về tính chất của nó. Ví dụ, chúng ta chỉ có thể sống được nếu thở bằng oxy thuần túy nhưng không thể sống nếu chỉ có khí nito. Oxy có thể làm kim loại bị ăn mòn nhưng nito thì không. Mặc dù ở điều kiện bình thường cả oxy và nito đều không màu, không mùi, không vị và trọng lượng nguyên tử gần bằng nhau. Chúng khác nhau vì oxy có 8 proton trong khi nito chỉ có 7.

Mô hình lượng tử của nguyên tử

Điện tử ở những quỹ đạo lượng tử xác định, nó quay quanh hạt nhân nhờ sự cân bằng giữa 2 lực:

- Lực điện giữa điện tích (-) của điện tử và điện tích (+) của hạt nhân .
- Lực hấp dẫn (lực hướng tâm) giữa 2 thực thể có khối lượng là điện tử và hạt nhân.

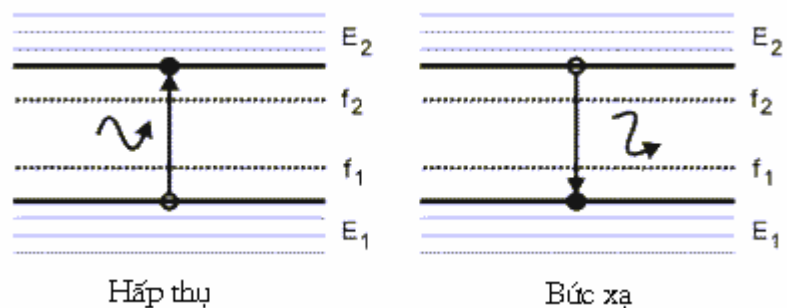
Các điện tử liên kết với hạt nhân không phải ở những mức năng lượng bất kỳ mà chỉ ở những mức năng lượng rời rạc xác định theo những quỹ đạo cho phép. Những mức năng lượng này gọi là mức năng lượng tử. Các mức năng lượng này không cách đều nhau.

Các điện tử càng ở xa hạt nhân liên kết với hạt nhân càng yếu.

Mỗi nguyên tử có vô số những quỹ đạo có thể nhưng không phải tất cả các quỹ đạo này đều có điện tử.

Bohr cho rằng:

Các e không chuyển động trong nguyên tử theo những quỹ đạo bất kỳ mà chỉ theo một quỹ đạo xác định gọi là quỹ đạo lượng tử. Khi chuyển động trong quỹ đạo này e không bị mất đi năng lượng. Chỉ khi e nhảy từ quỹ đạo này sang quỹ đạo khác thì trạng thái năng lượng của nó mới thay đổi. Khi đó lượng tử ánh sáng – photon – bị bức xạ hay hấp thụ.



Hai tiên đề của Bohr:

+ **Tiên đề về trạng thái dừng:** nguyên tử chỉ tồn tại trong những trạng thái có năng lượng xác định gọi là trạng thái dừng. Trong các trạng thái dừng nguyên tử không bức xạ.

+ **Tiên đề về sự bức xạ và hấp thụ năng lượng của nguyên tử:** trạng thái dừng có năng lượng càng thấp thì càng bền vững. Khi nguyên tử ở trạng thái dừng có năng lượng lớn bao giờ cũng có xu hướng chuyển sang trạng thái dừng có năng lượng nhỏ. Khi này nó bức xạ ra 1 photon có năng lượng đúng bằng hiệu 2 mức năng lượng đó.

Số điện tử tối đa trên mỗi quỹ đạo là 1 số xác định: $(2n^2)$

n = 1	lớp K	2 điện tử
n = 2	lớp L	8 điện tử
n = 3	lớp M	18 điện tử
n = 4	lớp N	32 điện tử
n = 5	lớp O	50 điện tử

Các điện tử ở lớp ngoài cùng được gọi là các **điện tử hoá trị**

- Điện tử hóa trị sẽ xác định tính chất vật lý cũng như hoá học của nguyên tố
- Số điện tử hoá trị lớn nhất là 8 (với khí trơ)
- Số điện tử hoá trị nhỏ nhất là 1 (với kiềm)

Bán kính quỹ đạo lượng tử

$$r = n^2 \cdot \frac{1}{Z} \cdot \frac{\hbar^2}{m_e \cdot e^2 \cdot K_0}$$

Chương I: Cơ sở vật lý của vật liệu linh kiện

trong đó:

$n = 1, 2, 3, \dots$ là số lượng tử

Z : số thứ tự của nguyên tố trong bảng tuần hoàn (số proton trong hạt nhân)

$m_e = 9,1 \times 10^{-31}$ kg là khối lượng của điện tử

$e = -1,6 \times 10^{-19}$ C là điện tích của điện tử

$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,054 \cdot 10^{-34}$ Js là momen góc của điện tử (hằng số Plank rút gọn)

$h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Js là hằng số Plank

$K_0 = 9 \cdot 10^9$ Nm²/C là hệ số tỉ lệ

* Năng lượng của điện tử trên quỹ đạo (còn gọi là năng lượng ở trạng thái dừng hay năng lượng ở trạng thái nghỉ)

$$W_n = -\frac{1}{n^2} \cdot Z^2 \cdot \frac{m_e \cdot e^4}{2 \cdot (4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^2} = -R \cdot h \cdot Z^2 \cdot \frac{1}{n^2}$$

Với R là hằng số Ritbe $R = \frac{m_e \cdot e^4}{4\pi(4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^3} = 3,27 \cdot 10^{15} \cdot s^{-1}$

* Tần số photon bức xạ khi điện tử nhảy từ quỹ đạo có mức năng lượng W_K sang mức năng lượng W_i được tính theo công thức:

$$f = \frac{W_K - W_i}{h} = R \cdot Z^2 \cdot \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_K^2} \right)$$

n_K, n_i là 2 số lượng tử ứng với trạng thái dừng W_K và W_i

Người ta gọi dãy phổ bức xạ ra khi điện tử nhảy:

+ Từ quỹ đạo ngoài về quỹ đạo thứ nhất là dãy vạch phổ Lyman

+ Từ quỹ đạo ngoài về quỹ đạo thứ hai là dãy vạch phổ Banme

+ Từ quỹ đạo ngoài về quỹ đạo thứ ba là dãy vạch phổ Paschen

+ Từ quỹ đạo ngoài về quỹ đạo thứ tư là dãy vạch phổ Bracket

....

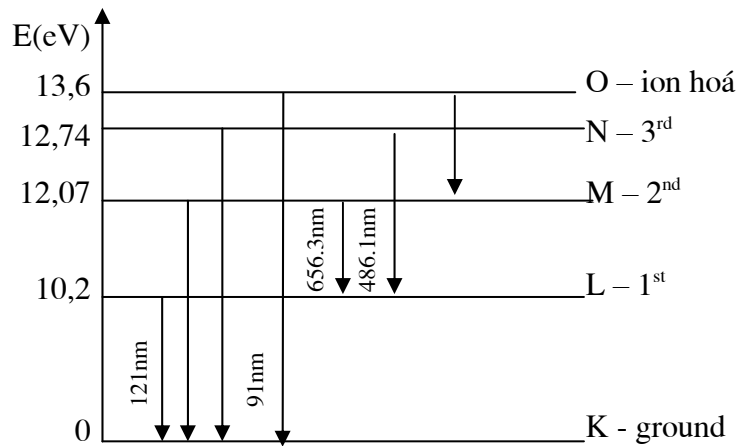
2. Các mức năng lượng của nguyên tử

Theo công thức:

$$W_n = -\frac{1}{n^2} \cdot Z^2 \cdot \frac{m_e \cdot e^4}{2 \cdot (4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^2} = -R \cdot h \cdot Z^2 \cdot \frac{1}{n^2}$$

Ta thấy ứng với mỗi giá trị của n sẽ có một mức năng lượng tương ứng. Tập hợp các mức năng lượng này cho ta giản đồ năng lượng của nguyên tử.

Dưới đây là giản đồ năng lượng của nguyên tử Hidro



Người ta chọn mức năng lượng thấp nhất là mức 0 (mức đất- ground) còn các mức khác gọi là mức kích thích.

Khi nhận năng lượng thì điện tử sẽ chuyển lên mức năng lượng cao ở xa hạt nhân hơn và sẽ bứt khỏi nguyên tử nếu năng lượng nhận được đủ lớn, đó chính là giá trị lớn nhất trong giản đồ năng lượng (năng lượng ion hoá).

Nguyên tử chỉ tồn tại ở trạng thái kích thích (có năng lượng W_2) trong khoảng từ $10^{-10} \div 10^{-7}$ s sau đó nó trở về trạng thái tĩnh (năng lượng W_1). Khi đó, nó bức xạ ra 1 photon có tần số:

$$f = \frac{W_2 - W_1}{h} \text{ [Hz]} \text{ với } W_2 > W_1 \text{ và tính bằng đơn vị [J]}$$

$$\text{hay photon có bước sóng } \lambda = \frac{12400}{E_2 - E_1} \text{ với E đơn vị [eV] và } \lambda \text{ [Å]}$$

1 eV là năng lượng được tính bằng công của 1e chuyển dời trong điện trường giữa 2 điểm có hiệu điện thế là 1V.

$$1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \times 1\text{V} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

3. Các phương pháp cung cấp năng lượng cho nguyên tử

a. Sự va chạm của điện tử với nguyên tử:

Gia tốc cho điện tử trong 1 ống phóng để cung cấp cho điện tử một năng lượng lớn với vận tốc cao. Khi điện tử này va đập với nguyên tử, nó truyền năng lượng cho nguyên tử làm cho các điện tử (chủ yếu là điện tử hoá trị) nhảy lên mức năng lượng cao hơn. Khi năng lượng cung cấp này đủ lớn điện tử hoá trị của nguyên tử có thể bị bật ra khỏi nguyên tử, năng lượng này gọi là thế năng ion hoá.

Mọi vật chất đều có thế năng ion hoá từ $4 \div 25$ eV.

Năng lượng dư thừa sẽ tồn tại dưới dạng động năng của 2 điện tử và một ion dương

Chương I: Cơ sở vật lý của vật liệu linh kiện

b. Sự va chạm của quang tử với nguyên tử

Kích thích loại này chỉ thực hiện được khi photon có năng lượng **đúng bằng** độ chênh lệch năng lượng giữa 2 mức năng lượng tĩnh W_1 và W_2 của nguyên tử. Nói cách khác, photon chỉ bị hấp thụ khi năng lượng của nó bằng: $h.f = W_2 - W_1$

Nếu tần số ánh sáng chiếu vào đủ lớn để ion hoá nguyên tử thì năng lượng hf có thể lớn hơn hoặc bằng thế năng ion hoá. Năng lượng dư thừa sẽ tồn tại dưới dạng động năng của điện tử phát ra và ion dương vừa hình thành.

Chú ý: Nguyên tử bị kích thích có thể trở về trạng thái ban đầu trong một lần hoặc một vài lần nhảy (bức xạ một hoặc một vài photon)

4. Lý thuyết dải năng lượng trong chất rắn

Hầu hết các kim loại và bán dẫn đều có cấu trúc mạng tinh thể, nghĩa là các nguyên tử bố trí theo một quy luật nhất định hình thành nên mạng tinh thể.

Khi tạo nên mạng tinh thể các điện tử chịu sự ảnh hưởng và ràng buộc lẫn nhau. Đặc biệt là các điện tử hoá trị, khi đó chúng không còn liên kết chỉ với một nguyên tử riêng lẻ mà chúng thuộc về một hệ các nguyên tử như là một hệ thống nhất.

Kết quả là hình thành nên dải năng lượng thay cho mức năng lượng như ở nguyên tử độc lập.

Giải thích: Xét cấu trúc của một khối tinh thể gồm N nguyên tử (khoảng 10^{23} nguyên tử)

Si: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$ (14 điện tử)

Ge: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^2$ (32 điện tử)

Như vậy, khi khoảng cách giữa các nguyên tử khá lớn (đủ để coi chúng không gây ảnh hưởng tới nhau), có 2N điện tử chiếm hết 2N trạng thái s có thể và tất cả có cùng mức năng lượng; có 2N điện tử chiếm 2N trạng thái trong số 6N trạng thái p có thể và tất cả cùng mức năng lượng.

Khi khoảng cách giữa các nguyên tử giảm xuống hình thành nên mạng tinh thể thì theo quy tắc hạn chế Pauli các điện tử trên sẽ không thể có cùng mức năng lượng, do đó mà chúng hình thành nên số lượng lớn các mức năng lượng tách rời nhưng rất gần nhau gọi là vùng năng lượng.

Tiếp tục giảm khoảng cách giữa các nguyên tử thì các dải năng lượng này sẽ gối phủ lên nhau và như thế có 4N điện tử chiếm 4N trạng thái trong số 8N trạng thái có thể có. Như vậy, mỗi nguyên tử đã bỏ ra 4 điện tử đóng góp vào mạng tinh thể, dải năng lượng mà chúng chiếm gọi là dải hoá trị (*valance band*)

4N trạng thái còn lại không có điện tử chiếm giữ gọi là dải dẫn (*conduction band*), phân cách giữa dải dẫn và dải hoá trị gọi là dải cấm, nó không cho phép tồn tại bất cứ mức năng lượng nào trong đó.

Cấu trúc dải năng lượng phụ thuộc vào hướng tác động của nguyên tử với nhau và số nguyên tử trong mạng.

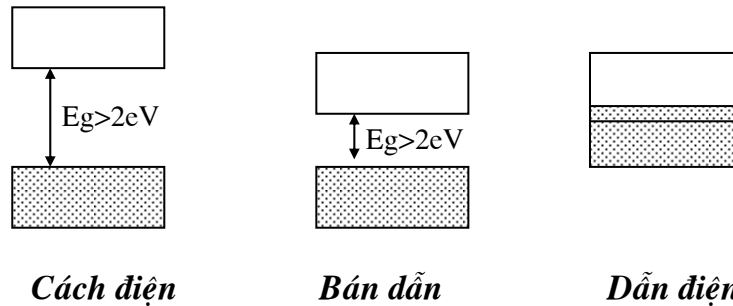
Dựa vào cấu trúc vùng năng lượng người ta phân loại chất rắn thành 3 loại:

$E_g > 2 \text{ eV} \quad \Rightarrow$ cách điện

$E_g < 2 \text{ eV}$ \Rightarrow bán dẫn

không có E_g \Rightarrow dẫn điện

Chú ý : Độ rộng dải cấm phụ thuộc vào nhiệt độ, E_g giảm khi nhiệt độ tăng với tốc độ



giảm là $3,6 \cdot 10^{-4} \text{ eV/K}$

Vật liệu	E_g tại 0 K	E_g tại 300 K
Ge	0,785 eV	0,72 eV
Si	1,21 eV	1,1 eV

5. Sự phân bố năng lượng của điện tử – hàm Fecmi

Ở nhiệt độ 0 tuyệt đối, tất cả các điện tử đều ở trạng thái năng lượng thấp nhất có thể và tuân theo nguyên lý loại trừ Pauli. Vùng hoá trị được điền đầy hoàn toàn còn vùng dẫn thì trống hoàn toàn.

Khi nhiệt độ tăng thì dưới tác dụng kích thích nhiệt một số điện tử ở vùng hoá trị sẽ nhảy lên vùng dẫn và để lại một lỗ trống (trạng thái không có điện tử chiếm giữ) trong vùng hoá trị.

Theo các định luật cơ học thống kê thì ở điều kiện cân bằng nhiệt xác suất điền đầy của điện tử trên các mức năng lượng sẽ được xác định bởi hàm Fecmi:

$$f(E) = \frac{1}{1 + e^{(E-E_F)/KT}}$$

với $K = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \sim 8,625 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K}$ (hằng số Bozman)

tương tự có hàm phân bố lỗ trống: $1 - f(E) = \frac{1}{1 + e^{(E_F-E)/KT}}$

Khi $E - E_F > 3KT$ thì $f(E) = e^{-(E-E_F)/KT}$

Định nghĩa mức Fecmi: ở nhiệt độ 0 độ tuyệt đối, tất cả các mức năng lượng ở dưới một mức nào đó đều bị điện tử chiếm đầy còn những mức năng lượng cao hơn đều bỏ trống, người ta gọi mức năng lượng ở ranh giới giữa các mức được chiếm đầy và mức còn trống là mức năng lượng Fecmi ở 0 K.

Nói cách khác, mức Fecmi là mức năng lượng mà xác suất xuất hiện điện tử ở đó là 1/2. E_F là thước đo xác suất chiếm đóng các trạng thái năng lượng cho phép.

$E_F = 3,64 \cdot 10^{-19} \cdot n^{2/3}$ với n là mật độ điện tử tự do / m^3

Chương I: Cơ sở vật lý của vật liệu linh kiện

Nhân xét:

Tại $T = 0\text{ K}$

+ $f(E) = 0$ khi $E > E_F$, nghĩa là không có trạng thái lượng tử nào cao hơn E_F có xuất hiện điện tử.

+ $f(E) = 1$ khi $E < E_F$, nghĩa là tất cả các trạng thái lượng tử có năng lượng nhỏ hơn E_F đều bị điện tử chiếm đóng.

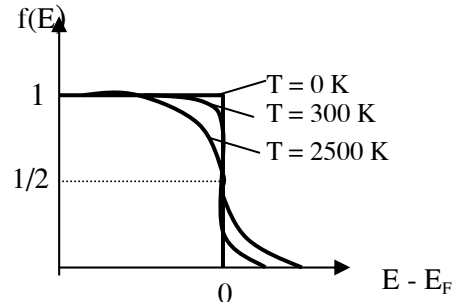
Xác suất tại vùng chiếm đóng khi $T \neq 0$ đều luôn bằng $1/2$ khi $E = E_F$, không phụ thuộc vào T .

Hàm phân bố Fermi $f(E)$ đối xứng qua E_F nghĩa là xác suất điện tử chiếm đóng mức năng lượng $(E_F - \Delta E)$ bằng xác suất điện tử chiếm đóng mức năng lượng $(E_F + \Delta E)$

Vị trí của mức Fermi trong giản đồ năng lượng cho phép xác định tính chất của vật liệu.

Nếu mức Fermi thuộc:

Dải dẫn	\Rightarrow	chất dẫn điện
Dải hoá trị	\Rightarrow	chất cách điện
Giữa vùng cấm	\Rightarrow	bán dẫn nguyên tính
Gần đáy vùng dẫn E_c	\Rightarrow	bán dẫn loại N
Gần đỉnh vùng hoá trị E_v	\Rightarrow	bán dẫn loại P



II. CHẤT CÁCH ĐIỆN (DIELECTRIC)

1. Định nghĩa

Chất cách điện (còn gọi là chất khử điện) là các chất ngăn không cho dòng điện lưu thông.

Tuy nhiên, trên thực tế người ta có thể coi chất cách điện là các chất có điện trở suất rất cao vào khoảng $10^7 \div 10^{17} \Omega\text{m}$ ở nhiệt độ bình thường.

Hầu hết các chất khí đều là các chất cách điện tốt, thuỷ tinh, giấy khô, gỗ khô và các chất dẻo cũng là các chất cách điện. Nước thuần tuý là một chất cách điện tốt nhưng khi bị ô nhiễm, dù là rất nhỏ, nó sẽ cho phép dòng điện chạy qua. Oxit kim loại là chất cách điện mặc dầu kim loại ở dạng thuần tuý lại là chất dẫn điện.

Trong kỹ thuật điện tử, chất cách điện được sử dụng là chất điện môi, dưới đây ta chỉ xét tới chất điện môi.

2. Các tham số cơ bản của chất điện môi

a. Độ thẩm thấu tương đối ϵ (hằng số điện môi)

Có thể nói trong chất điện môi chỉ có những hạt mang điện ràng buộc. Dưới tác dụng của điện trường các điện tử ràng buộc (liên kết) tiếp nhận năng lượng điện và dịch khỏi vị trí cân bằng hình thành nên những lưỡng cực điện, người ta gọi đó là hiện tượng phân cực của điện môi. Mức độ thay đổi điện dung của tụ điện khi thay đổi chân không

hay không khí giữa hai bản cực của nó bằng chất điện môi sẽ biểu diễn độ phân cực của chất điện môi. Thông số này gọi là độ thẩm thấu tương đối của chất điện môi, độ thẩm thấu điện hay hằng số điện môi.

ϵ được tính như sau:

$$\epsilon = \frac{C_d}{C_0}$$

Với C_d : điện dung của tụ khi sử dụng điện môi

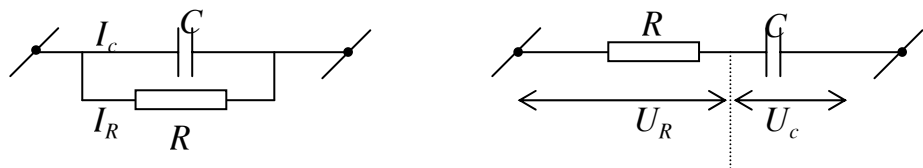
C_0 : điện dung của tụ khi sử dụng chân không hoặc không khí

ϵ biểu thị khả năng phân cực của chất điện môi. Chất điện môi dùng làm tụ điện cần có hằng số điện môi ϵ lớn còn chất điện môi dùng làm chất cách điện cần ϵ nhỏ. ϵ càng lớn thì khả năng tích lũy năng lượng điện của tụ càng lớn.

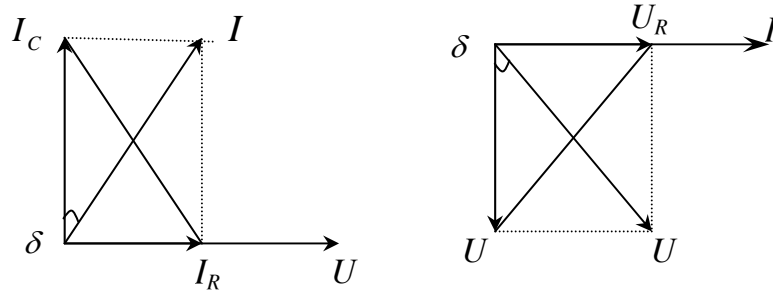
b. Độ tổn hao điện môi P_a

Độ tổn hao điện môi được đặc trưng bằng trị số công toả ra trên một đơn vị thể tích chất điện môi, gọi là suất tổn hao điện môi. Ngoài ra, để đặc trưng cho khả năng toả nhiệt của chất điện môi khi đặt nó trong điện trường người ta sử dụng tham số góc tổn hao điện môi.

Giả sử một tụ điện có tính đến tổn hao thông qua điện trở R thì sơ đồ tương đương có thể coi như sau:



Và giản đồ vectơ tương ứng là:



Do đó: $tg \delta = \frac{I_R}{I_C}$ với sơ đồ bên trái hoặc $tg \delta = \frac{U_R}{U_C}$ với sơ đồ bên phải

Khi đó độ tổn hao được tính:

$$P_a = U^2 \cdot \omega \cdot C \cdot tg \delta$$

Trong đó:

P_a : công suất điện làm nóng chất điện môi

U: điện áp đặt trên tụ

ω : tần số góc (rad/s)

Chương I: Cơ sở vật lý của vật liệu linh kiện

$\text{tg } \delta$: góc tổn hao điện môi

Nhận xét:

- + $\text{tg} \delta$ càng nhỏ thì P_a càng nhỏ
- + Dải tần làm việc của tụ càng rộng thì tổn hao càng lớn.
- + Với tụ cao tần có thể tính P_a như sau:

$$P_a = U^2 \omega^2 C^2 R$$

c. Độ bền về điện (E_{dt})

Độ bền về điện của chất điện môi E_{dt} là cường độ điện trường tương ứng với điểm đánh thủng. Nghĩa là khi đặt vào điện môi một điện trường bằng điện áp đánh thủng U_{dt} thì chất điện môi không còn khả năng cách điện.

$$E_{dt} = \frac{U_{dt}}{d} \quad [\text{KV/mm ; KV/cm}]$$

với d là bề dày của chất điện môi bị đánh thủng

Hiện tượng đánh thủng chất điện môi như trên gọi là hiện tượng đánh thủng do điện. Tuy nhiên, việc này sẽ đi kèm với việc làm nóng chất điện môi và gây phá huỷ thực sự chất điện môi. Ngoài ra, chất điện môi có thể bị đánh thủng do quá trình điện hoá.

d. Nhiệt độ chịu đựng

Là nhiệt độ cao nhất mà chất điện môi vẫn còn giữ được tính chất lý hóa của nó.

e. Dòng điện trong chất điện môi

Trong chất điện môi có 2 thành phần dòng là dòng điện dịch chuyển (hay dòng cảm ứng) và dòng điện rò.

Dòng điện dịch chuyển $I_{C.M}$ xuất hiện khi chất điện môi nằm trong điện trường của điện áp xoay chiều hay chỉ tồn tại ở thời điểm ngắt điện áp một chiều.

Dòng điện rò I_{r0} là dòng luôn tồn tại trong chất điện môi, nó được tạo ra do điện tích tự do và điện tử phát xạ chuyển động dưới tác động của điện trường. Nếu dòng rò lớn thì sẽ làm mất tính chất cách điện của chất điện môi. Dòng tổng sẽ là:

$$I = I_{C.M} + I_{r0}$$

f. Độ dẫn điện của chất điện môi

Điện trở của chất điện môi ở giữa hai bản cực khi ta đặt một điện áp một chiều lên chúng. Điện trở cách điện được xác định theo trị số của dòng điện rò:

$$R_{cd} = \frac{U}{I - \sum I_{C.M}}$$

$\sum I_{C.M}$: tổng các thành phần dòng điện phân cực

Để đánh giá độ dẫn điện của chất điện môi người ta dùng tham số điện trở suất khối ρ và điện trở bề mặt ρ_s

$$\rho = R \frac{S}{d} (\Omega.m)$$

ρ : điện trở trong một thể tích điện môi

R: điện trở của khối điện môi
S: diện tích của bản cực
d: bề dày của khối điện môi

3. Phân loại và ứng dụng của chất điện môi

Có hai loại chất điện môi:

a. Chất điện môi thụ động

Là vật chất được dùng làm chất cách điện và chất điện môi trong tụ điện như: mica, gốm, thuỷ tinh, cao su, giấy,

+ Mica: chịu được điện áp cao, độ bền về điện $E_{dt} = (50-200)kV/mm$, nhiệt độ chịu đựng có thể lên tới $600^{\circ}C$, hằng số điện môi $\epsilon = 6-8$, góc tổn hao nhỏ $tg\delta = 0,0004$. điện trở suất rất lớn $\rho = 10^7 \Omega m$. Mica thường được sử dụng để làm tụ điện, làm màn cách điện của đèn điện tử, làm cuộn cảm ...

+ Gốm: là đất nung có khả năng chịu nhiệt tốt, hằng số điện môi lớn từ vài chục, vài trăm tới vài nghìn. Góc tổn hao nhỏ ở tần số lớn hơn 1MHz và dưới 100Hz. Ngoài ra, có thể chế tạo từ vật liệu gốm các linh kiện với hình dạng rất khác nhau và thay đổi dễ dàng. Gốm thường được sử dụng để chế tạo tụ điện có kích thước nhỏ, điện dung lớn, tụ cao tần hoặc tần thấp, tụ cao áp hoặc áp thấp

+ Giấy làm tụ điện: có độ bền về điện khá cao (khoảng 30kV/mm), nhiệt độ chịu đựng $100^{\circ}C$ (ở nhiệt độ lớn hơn giấy sẽ bị oxy hoá và độ bền cơ học giảm), hằng số điện môi khá nhỏ $\epsilon = 3-4$. Giấy sử dụng làm tụ hoặc cách điện cho cáp điện thoại phải rất mỏng (0,007 - 0,05mm) để quấn được nhiều lớp mà vẫn đảm bảo kích thước nhỏ gọn.

+ Sơn cách điện: là dung dịch keo khi khô tạo thành lớp mỏng có tính chất cách điện, có 3 nhóm cơ bản:

. Sơn để tẩm: dùng để tẩm cách điện các chất cách điện có bề mặt xộp như giấy, bìa, sợi, lụa ... làm vỏ bọc cho cuộn dây, biến áp ...

. Sơn để phủ: phủ lên bề mặt sợi dây, bề mặt dụng cụ để tăng độ cách điện và chống va đập.

. Sơn để dính: dùng để dính các chất cách điện với nhau hoặc chất cách điện với kim loại.

b. Chất điện môi tích cực

Là các vật liệu có thể điều khiển bằng điện trường (gốm, thuỷ tinh ...), cơ học (vật liệu có tính chất áp điện như thạch anh ...) hay quang học (huỳnh quang ...)

+ Thạch anh áp điện (SiO_2): thạch anh là tinh thể SiO_2 thiên nhiên trong suốt hoặc có màu thường gọi là pha lê thiên nhiên. Tinh thể thạch anh áp điện có thể kéo dài bằng phương pháp nhân tạo, khi đó các tính chất của nó gần giống như của tính chất của tinh thể thiên nhiên. Khi đưa vào sử dụng người ta phải sử dụng lưỡi cưa kim cương để tạo ra được các tấm đơn tinh thể. Góc cắt khác nhau sẽ cho tính chất khác nhau. Dưới tác dụng của biến dạng cơ học ta có thể nhận được các điện tích trên các mặt đối diện của tấm thạch anh. Trị số điện tích lớn nhất có thể được tạo nên khi tấm thạch anh bị cắt vuông góc với trục điện X và khi tác động một lực dọc theo trục X thì hiện tượng áp điện gọi là áp điện theo hướng dọc. Nếu đặt một lực vào các cạnh bên của tấm thạch anh thì trên các cạnh đó xuất hiện các điện tích và hiệu ứng này gọi là hiệu ứng áp điện ngang. Khi

Chương I: Cơ sở vật lý của vật liệu linh kiện

thay đổi hướng lực tác dụng, dấu của các điện tích trên các mặt sẽ thay đổi. Thạch anh được sử dụng để tạo bộ dao động cộng hưởng có tần số dao động rất ổn định hay làm bộ chọn lọc tần số ...

+ Chất phát quang (huỳnh quang): loại bột phát sáng khi điện tử đập vào (ví dụ như ZnS) dùng để phủ lên màn của đèn ống, màn hình ...

III. CHẤT DẪN ĐIỆN (CONDUCTOR)

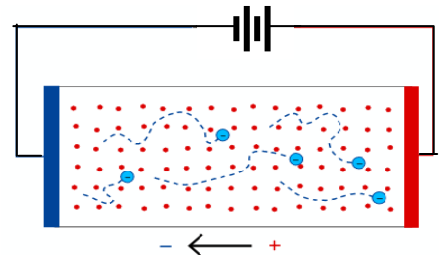
1. Định nghĩa

Chất dẫn điện là một chất mà ở đó các electron có thể dễ dàng di chuyển từ nguyên tử này sang nguyên tử khác.

Chất dẫn điện có độ dẫn điện cao. Trị số điện trở suất của nó nhỏ nhất so với các loại vật liệu khác ($10^{-8} \div 10^{-5} \Omega\text{m}$). Trong tự nhiên, chất dẫn điện có thể ở thể rắn (kim loại, hợp kim), lỏng (thuỷ ngân, kim loại nóng chảy, dung dịch điện phân) hay khí (chất khí và hơi khí dưới cường độ điện trường cao).

Chất dẫn điện tốt nhất tại nhiệt độ phòng là bạc. Đồng và nhôm cũng là các chất dẫn điện cực kỳ tốt. Trong hầu hết các mạch điện tử và các hệ thống điện người ta sử dụng dây đồng, nhôm, thiếc ... còn bạc hay vàng chỉ được sử dụng trong các trường hợp đặc biệt do giá thành của chúng rất cao.

Electron di chuyển trong chất dẫn điện không theo một dòng đều đặn mà di chuyển từ nguyên tử này sang nguyên tử khác kế cận. Số lượng electron di chuyển là một số cực lớn và chiều chuyển động của chúng ngược với chiều quy ước của dòng điện.



2. Các tham số cơ bản của vật liệu dẫn điện

a. Điện trở suất:

$$\rho = R \cdot \frac{S}{l}$$

ρ : điện trở suất [Ωm , Ωmm]

R : trị số điện trở của dây dẫn [Ω]

S : tiết diện ngang của dây dẫn [m^2 , mm^2]

l : chiều dài dây dẫn [m, mm]

Điện trở suất của vật liệu dẫn điện nằm trong khoảng $0,016 \mu\Omega\text{m}$ (của Ag) đến $10 \mu\Omega\text{m}$ (của hợp kim Fe, Cr, Al)

b. Hệ số nhiệt của điện trở suất α

Là hệ số biểu thị sự thay đổi của điện trở suất khi nhiệt độ thay đổi 1°C

Khi nhiệt độ tăng thì điện trở suất cũng tăng theo quy luật:

$$\rho_T = \rho_0 (1 + \alpha.T)$$

ρ_T : điện trở suất tại nhiệt độ T [K]

ρ_0 : điện trở suất tại 0 [K]

α : hệ số nhiệt của điện trở suất [K^{-1}]

Nếu kim loại nguyên chất thì hệ số nhiệt là như nhau và bằng: $\alpha = 0,004 K^{-1}$

c. Hệ số dẫn nhiệt λ

Là lượng nhiệt truyền qua một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian khi gradien nhiệt độ bằng một đơn vị.

Sự dẫn nhiệt là quá trình truyền nhiệt do sự chuyển động hỗn loạn của các nguyên tử hay phân tử tạo nên.

Lượng nhiệt Q truyền qua bề mặt S trong thời gian t là: $Q = \lambda \cdot \frac{\Delta T}{\Delta l} \cdot S \cdot t$

λ : hệ số dẫn nhiệt [W/(m.K)]

ΔT : lượng chênh lệch nhiệt độ ở hai điểm cách nhau Δl

$\Delta T/\Delta l$: gradien nhiệt độ

S: diện tích bề mặt

t: thời gian

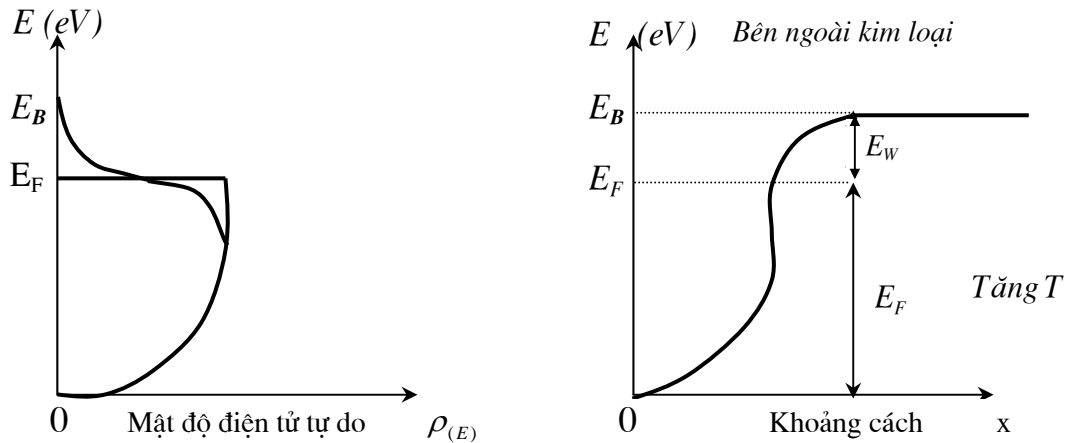
d. Công thoát của điện tử trong kim loại

Biểu thị năng lượng tối thiểu cần cung cấp cho điện tử đang chuyển động nhanh nhất ở 0 [K] để điện tử này có thể thoát khỏi bề mặt kim loại.

Ở 0 [K] mức năng lượng lớn nhất mà điện tử có thể đạt được là E_F và năng lượng cần thiết để điện tử thoát khỏi kim loại là E_B mà $E_F < E_B$ nên để điện tử có thể thoát ra khỏi bề mặt kim loại thì cần cung cấp cho nó một năng lượng là:

$E_W = E_B - E_F$ gọi là công thoát của điện tử trong kim loại

Đồ thị năng lượng dùng để tính công thoát



Khi cung cấp năng lượng cho điện tử trong mạng tinh thể dưới dạng nhiệt thì sự phân bố năng lượng của điện tử thay đổi và dựa vào công thức phát xạ nhiệt hay còn gọi là công thức Bushman hay Richardson để tính dòng điện nhiệt.

$$I_{th} = S \cdot A_0 \cdot T^2 \cdot e^{\frac{-E_W}{KT}}$$

S: diện tích sợi kim loại [m^2]

Chương I: Cơ sở vật lý của vật liệu linh kiện

A_0 : hằng số [$A/(m.K)^2$]

T : nhiệt độ [K]

K : hằng số Bozman [eV/K] $K = 6,625.10^{-5} eV/K$

E_w : công thoát của điện tử [eV]

e. Điện thế tiếp xúc

Cho hai kim loại khác nhau tiếp xúc khi đó xuất hiện hiệu điện thế tiếp xúc giữa hai kim loại này. Khi tiếp xúc nhau các điện tử sẽ chảy từ kim loại có công thoát thấp hơn sang kim loại có công thoát cao. Quá trình này tiếp diễn đến khi kim loại 2 nhận nhiều điện tử đến mức tạo nên 1 trường cản lại sự dịch chuyển điện tử từ kim loại 1 sang kim loại 2. Và sự chênh lệch thế năng được tính:

$$E_{AB} = E_{w2} - E_{w1}$$

Sự chênh lệch điện thế tiếp xúc giữa hai kim loại bằng hiệu hai công thoát của chúng. Tương ứng với thế năng E_{AB} có điện thế tiếp xúc V_{AB} [V] có trị số bằng E_{AB}

Người ta đã dựa vào hiện tượng này để chế tạo cặp nhiệt điện.

3. Phân loại và ứng dụng

Có 2 loại vật liệu dẫn điện là vật liệu dẫn điện có điện trở suất thấp và vật liệu dẫn điện có điện trở suất cao.

a. Vật liệu dẫn điện có điện trở suất thấp

Chất dẫn điện có điện trở suất thấp thường được dùng làm vật liệu dẫn điện.

Bạc (Ag) có độ dẫn điện cao nhất với $\rho = 1,65 \times 10^{-8} \Omega m$ được dùng trong kỹ thuật điện tử ở những phần quan trọng yêu cầu độ dẫn điện cao, do là kim loại quý hiếm nên người ta thường chỉ tráng bạc lên các vật liệu phổ biến hơn như đồng hay nhôm.

Đồng (đồng nguyên chất, đồng đỏ) (Cu) với $\rho = 1,75 \times 10^{-8} \Omega m$ có độ bền cao, dễ gia công do đó được sử dụng rộng rãi trong kỹ thuật điện và điện tử làm dây dẫn, anot, ống dẫn sóng... Hợp chất của Cu có $\rho = 0,03 \div 0,06 \mu\Omega m$. Nói chung là có độ dẫn điện kém đồng nguyên chất nhưng có độ bền cơ học rất cao, ví dụ như đồng thau (hợp kim với Zn), đồng trắng (hợp kim với Zn, Ni), đồng Bronza (hợp kim với Al, Sn)

Nhôm (Al) có độ dẫn điện tốt thứ 3 sau Ag, Cu với $\rho = 0,0267 \mu\Omega m$. Nhôm có tính chất dẻo, chắc, hệ số phản xạ cao, chống ăn mòn tốt.

Thiếc Sn với $\rho = 0,115 \mu\Omega m$ dẫn điện tốt nhưng tính chất cơ học rất kém nên chỉ được dùng làm vật liệu để hàn dây dẫn.

b. Chất dẫn điện có điện trở suất cao

Dùng để chế tạo các dụng cụ đo điện, điện trở, biến trở, dây mayxô và các thiết bị nung nóng bằng điện

IV. VẬT LIỆU TỪ

1. Định nghĩa

Vật liệu từ là vật liệu khi đặt vào trong một từ trường thì nó bị nhiễm từ

Khi không có từ trường ngoài thì bản thân trong vật liệu từ tồn tại các vùng nhiễm từ tự phát gọi là nguồn từ. Tuy nhiên từ thông của các vật liệu từ trong không gian ngoài đều bằng 0 vì hướng của các momen từ của từng nguồn riêng biệt trong nó khác nhau.

2. Tính chất

a. Từ trở và từ thẩm

Một số chất có thể làm cho các đường từ thông trở nên xa nhau hơn trong không khí. Một số chất khác lại có thể làm cho những đường từ thông lại gần nhau hơn so với trong không khí.

Từ trở là một đại lượng đánh giá sự ngăn cản việc lập nên từ thông của một mạch từ. Nó được tính theo công thức sau:

$$R_m = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{S}$$

μ : độ từ thẩm của vật liệu trong mạch từ

l : độ dài của mạch từ

S : diện tích tiết diện của mạch từ

Chú ý: Hệ số điện môi trong chân không ϵ_0 [F/m] và độ từ thẩm trong chân không μ_0 [H/m] nhưng ϵ và μ tương đối thì không có thứ nguyên.

$1/\mu$ gọi là từ trở suất của 1m^3 vật liệu từ

Độ từ thẩm có thể tính theo công thức sau:

$$\mu = \frac{B}{H} \text{ [H/m]}$$

với B là cảm ứng từ [Tesla] và H là cường độ từ trường [A/m]

Độ từ thẩm của chân không, không khí hay vật liệu không từ tính bất kỳ luôn là một hằng số, được gọi là độ từ thẩm của không gian tự do và có giá trị bằng:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ [H/m]} .$$

b. Độ từ thẩm tương đối μ_r

Độ từ thẩm được đo một cách tương đối với chân không, chân không được gán độ từ thẩm bằng 1.

Hiện tượng: khi đưa vật liệu có từ tính vào trong lòng cuộn dây dẫn điện thì mật độ từ thông tổng hợp qua cuộn dây tăng lên nhiều lần. Đó là vì các vật liệu từ này có khả năng dẫn từ tốt. Sự gia tăng từ thông tổng hợp là độ cảm ứng từ B khi cho vật liệu từ vào mạch điện được gọi là độ từ thẩm tương đối μ_r

$$\mu = \mu_r \times \mu_0 = B/H$$

μ_r không có thứ nguyên

Chương I: Cơ sở vật lý của vật liệu linh kiện

Ngược lại, nếu cần làm cho nam châm điện yếu đi thì cho len khô hoặc sáp ong để làm vật liệu lõi, người ta gọi đây là các chất nghịch từ.

Bảng hệ số từ thẩm tương đối của một số vật liệu thông dụng được cho ở dưới đây:

Vật liệu	Độ từ thẩm tương đối
Bạc	< 1
Len khô	< 1
Không khí	1
Nhôm	> 1
Niken	50 – 60
Cobalt	60 – 70
Thép	60 - 100
Ferit	100 - 3000
Sắt luyện	3000 – 8000
Permalloy	3,000 – 30,000
Permalloy đặc biệt	100,000 – 1,000,000

c. Độ từ dư

Độ từ dư là phép đo một chất sẽ “nhớ” từ tính tốt như thế nào và vì thế trở thành nam châm vĩnh cửu.

Độ dư từ được diễn đạt bằng phần trăm. Nếu mật độ từ thông trong vật liệu là X (Tesla) khi nó được đưa vào một từ trường có cường độ cao nhất (nghĩa là dòng điện có tiếp tục tăng thì thanh kim loại cũng không bị từ hoá thêm, nó đã bão hoà) và chỉ còn Y (Tesla) khi ngắt dòng điện thì độ từ dư được tính bằng $(Y / X).100\%$

Mỗi chất có độ từ dư khác nhau. Các chất có độ từ dư cao được sử dụng để làm nam châm vĩnh cửu. Trong khi các chất có độ từ dư rất thấp được sử dụng để làm nam châm điện (đặc biệt là nam châm điện xoay chiều) vì nếu độ từ dư cao vật liệu sẽ trở nên “chậm chạp”, tức là khả năng chuyển đổi cực tính khó khăn.

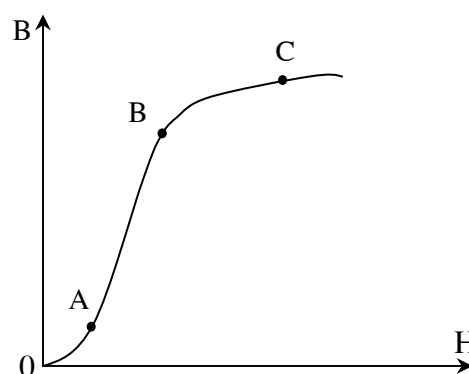
d. Đường cong từ hoá $B = f(H)$

Đường cong từ hoá được biểu diễn trong hình bên, nó biểu thị sự tương quan giữa độ cảm ứng từ B và cường độ trường H. Từ đường cong này có thể xác định đường cong từ thẩm tương đối theo công thức trên.

0-A : do H yếu nên các domen từ không sắp xếp thẳng hàng \Rightarrow B tăng chậm

A-B : H mạnh hơn và các domen từ sắp xếp thẳng hàng theo một hướng \Rightarrow B tăng mạnh gần như tuyến tính với H

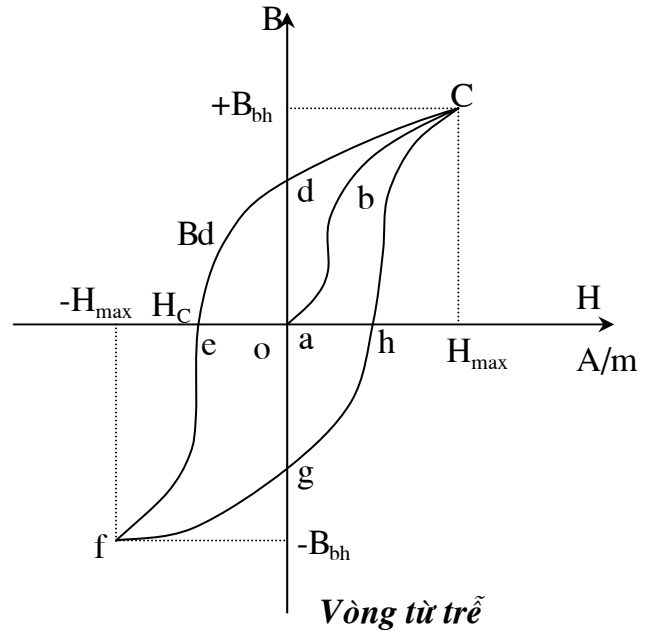
B-C : các domen gần như thẳng hàng và C gọi là điểm bão hoà và khi đó vật liệu gọi là đã bão hoà.



Các vật liệu từ khác sẽ có đường cong từ hóa khác và qua đó xác định được đường cong từ thẩm tương đối.

Hiện tượng từ trễ

Ban đầu khi vật liệu chưa nhiễm từ, tăng H ta có đoạn O-a-b-c tới c thì đạt H_{max}, giảm H tới 0 thì độ cảm ứng từ còn trong vật liệu đã nhiễm từ là B_d (gọi là độ cảm ứng từ dư) đoạn Cd. Để giảm độ cảm ứng từ dư tới 0 thì cần cung cấp một cường độ từ trường âm và khi bằng 0 thì cường độ từ trường cần thiết là H_c gọi là lực kháng từ. Tiếp tục tăng giá trị ngược của cường độ từ trường thì B cũng tăng theo giá trị âm đến giá trị B_{bh}, ta có đoạn cong từ hoá e-f. Giảm cường độ từ trường ngược lại giảm

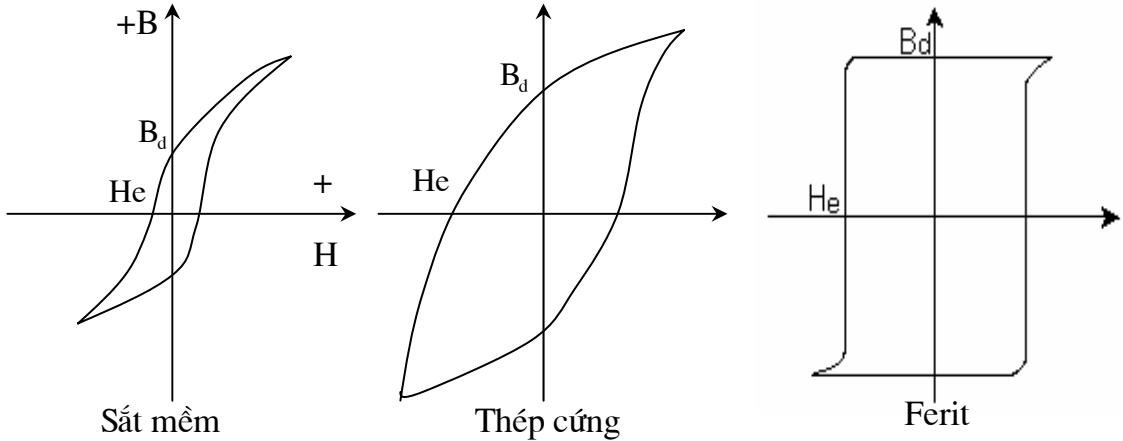


đến 0 thì độ cảm ứng từ B cũng giảm đến giá trị độ cảm ứng từ dư, đoạn o-g. Để giảm độ cảm ứng từ đến 0 ta lại phải tăng cường độ từ trường theo chiều dương đến trị số H_c, đoạn o-h và đây cũng chính là lực kháng từ. Tiếp tục tăng cường độ từ trường theo chiều dương ta được đoạn h-c của đồ thị.

Như vậy, đồ thị B/H có dạng vòng khép kín đối xứng.

Xét 3 loại vật liệu với 3 kiểu vòng từ trễ điển hình như hình dưới đây

Sắt mềm:



+ Độ trễ nhỏ nhất

+ Làm việc ở điều kiện mà ở đó cường độ từ trường bị thay đổi đảo ngược lớn. Ví dụ như nam châm điện, lõi cuộn dây cao tần ...

Thép cứng:

+ Độ trễ trong lõi lớn => tổn hao

+ Độ cảm ứng từ dư lớn => được sử dụng làm nam châm vĩnh cửu, hoặc các thiết

Chương I: Cơ sở vật lý của vật liệu linh kiện

bị khác nhưng không nên làm việc ở nơi cường độ H đổi hướng nhanh

Ferit:

+ Tổn thất trễ lớn

+ B đạt trị số Bd không đổi cho đến khi H tăng đến cực đại ở hướng ngược lại => làm bộ nhớ từ.

Dòng điện xoáy trong lõi sắt từ:

Khi tạo một lõi sắt từ đặt trong một cuộn dây thì từ trường biến đổi trên cuộn dây sẽ tạo ra một sức điện động cảm ứng và tạo ra dòng điện lưu thông trong lõi sắt từ gọi là dòng điện xoáy hay dòng Foucault (chiều của dòng điện này có xu hướng chống lại sự thay đổi của từ trường). Dòng điện này sẽ làm nóng lõi sắt từ và gây hao phí năng lượng. Để hạn chế dòng điện xoáy người ta tạo lõi sắt từ từ các lá thép mỏng được sơn cách điện để tăng điện trở của chúng đối với dòng điện xoáy. Ví dụ: lõi biến áp luôn được làm theo cách này.

Tuy nhiên, trong một số trường hợp thì dòng điện xoáy này lại có lợi vì nó có xu hướng chống lại sự biến thiên, tức là góp phần ổn định. Ví dụ như dụng cụ đo lường kiểu từ điện lợi dụng dòng điện xoáy để làm cho kim chỉ thị nhanh chóng đạt trạng thái cân bằng.

3. Phân loại và ứng dụng của vật liệu từ

Người ta chia vật liệu từ thành 2 loại là: vật liệu từ mềm có độ từ thẩm cao và lực kháng từ nhỏ và vật liệu từ cứng có độ từ thẩm nhỏ và lực kháng từ cao

a. Vật liệu từ mềm

+ Vật liệu từ mềm dùng ở tần số thấp

Ví dụ như là: Sắt, hợp kim sắt-silic, sắt-niken... để làm lõi biến áp, nam châm điện. Đây là các vật liệu có độ thẩm từ rất cao nhưng độ từ dư lại thấp.

+ Vật liệu từ mềm dùng ở tần số cao vài trăm KHz ÷ vài MHz

Ferit có đặc điểm: độ dẫn điện cao, độ từ thẩm rất cao, Ferit thích hợp dùng làm lõi của các linh kiện như: cuộn dây có hệ số phẩm chất cao, biến áp dải tần rộng, cuộn dây trung tần, anten, biến áp xung, cuộn làm lệch tia điện tử. ..

Permalloy là hợp kim của Ni, Fe, Mn, Cr, Cu, Si, ...

Đặc điểm: độ từ thẩm cao cỡ vài ngàn tới vài trăm ngàn H/m, dùng làm biến áp micro, đầu từ, biến áp nhỏ chất lượng cao.

b. Vật liệu từ cứng

+ Nếu phân chia theo ứng dụng thì có các loại sau:

. **Vật liệu từ:** để chế tạo nam châm vĩnh cửu. Người ta sử dụng các vật liệu từ có đặc tính kháng từ lớn và độ từ dư lớn, tức là có khả năng “nhớ” từ tốt, với hình dạng hợp lý như hình móng ngựa để chế tạo nam châm vĩnh cửu. Khi bị một nam châm vĩnh cửu hoặc dòng điện một chiều từ hoá thì vật trên sẽ trở thành một nam châm vĩnh cửu.

Vật liệu từ để ghi âm, ghi hình. Từ trường có thể được sử dụng để lưu trữ dữ liệu ở các trạng thái khác nhau. Các môi trường lưu trữ dữ liệu thông dụng bao gồm băng từ, đĩa từ và bộ nhớ bọt từ.

. **Băng từ:** đó chính là các băng ghi âm trong các máy cassette hay ghi hình cho

máy video. Bản thân băng từ chứa hàng triệu các hạt oxit sắt được gắn trên một dây bằng mylar hay bằng nhựa. Từ trường dao động tại đầu ghi sẽ phân cực những hạt này. Khi từ trường thay đổi cường độ trong khi băng chạy với một tốc độ đều đặn sẽ tạo ra các vùng mà trong đó các hạt oxit sắt được phân cực tương ứng. Khi băng chạy với cùng tốc độ qua một máy cassette ở chế độ playback, các từ trường xung quanh các hạt đơn gây ra một từ trường dao động được nhận dạng bởi đầu đọc. Từ trường này có cùng kiểu biến thiên giống như trường từ gốc ở đầu ghi. Băng từ có nhiều dạng với độ rộng và độ dày khác nhau cho các ứng dụng khác nhau. Tốc độ của băng từ quyết định độ trung thực của việc ghi băng. Tốc độ cao là dành cho âm nhạc và video còn tốc độ thấp dành cho tiếng nói. Dữ liệu trên một băng từ có thể bị biến dạng hay bị xoá bởi các từ trường bên ngoài và nhiệt độ.

. Đĩa từ: Một đĩa từ có thể ở dạng cứng hay mềm. Các đĩa này có nhiều kích thước khác nhau. Các đĩa cứng lưu trữ hầu hết dữ liệu và nói chung là nằm bên trong máy tính. Đĩa mềm thường có kích thước 5 1/4inch và 3 1/2inch đường kính, có thể được đưa vào hay lấy ra từ một máy ghi/phát gọi là ổ đĩa mềm. Nguyên tắc của các đĩa từ cũng tương tự như băng từ. Tuy nhiên, ở đây thông tin được lưu trữ dưới dạng số, tức là chỉ có hai cách từ hoá các hạt khác nhau. Điều này sẽ tạo ra những bộ lưu trữ hoàn hảo không lỗi. Thêm nữa, đĩa từ hoạt động khác với băng từ do khác biệt về mặt hình học. Trên một băng từ, thông tin được trải ra trên một dây dài và rộng, đầu ghi hay đọc đứng yên trong khi băng từ quay. Ngược lại, trên đĩa từ không có hai bit nào nằm xa hơn đường kính của đĩa. Điều này có nghĩa là dữ liệu có thể được lưu trữ và sử dụng nhanh hơn nhiều so với một băng từ. Ngày nay, với sự phát triển không ngừng của khoa học kỹ thuật, người ta đã tạo ra được các ổ đĩa cứng bao gồm nhiều đĩa từ xếp chồng lên nhau, giữa chúng có khe hở nhỏ để các đầu ghi/đọc có thể di chuyển dễ dàng trên mặt đĩa từ đang quay ở tốc độ cao.

. Bộ nhớ bọt từ: đây là phương pháp lưu trữ dữ liệu phức tạp mà không cần phải di chuyển các thành phần như trong máy phát băng từ hay các ổ đĩa. Bộ nhớ bọt từ là sự kết hợp hoàn hảo của kỹ thuật lưu trữ dữ liệu từ cũng như kỹ thuật lưu trữ dữ liệu điện tử. Số bit dữ liệu được lưu trên các từ trường nhỏ trong một phương tiện được tạo ra từ phim từ và vật liệu bán dẫn. Ưu điểm của bộ nhớ bọt từ là mật độ cao, khả năng phục hồi dữ liệu nhanh, tuổi thọ dài và chi phí thấp.

+ Phân loại theo công nghệ chế tạo

Hợp kim thép được tôi thành Martenxit là vật liệu đơn giản và rẻ

Hợp kim lá từ cứng

Nam châm từ bột

Ferit từ cứng: $BaO.6Fe_2O_3$ để chế tạo nam châm ở tần số cao

Băng, sợi kim loại và không kim loại dùng để ghi âm

V. CHẤT BÁN DẪN (SEMICONDUCTOR)

1. Định nghĩa và tính chất

Bắt đầu từ những năm 60 chất bán dẫn trở nên không thể thiếu đối với ngành kỹ thuật điện tử, nó có mặt ở tất cả các thiết bị điện tử.

Vật liệu bán dẫn là vật liệu mà trong một số điều kiện nó trở thành cách điện và trong một số điều kiện khác nó lại dẫn điện. Tính đa năng này nằm ở chỗ sự dẫn điện có

Chương I: Cơ sở vật lý của vật liệu linh kiện

thể được điều khiển để tạo ra các hiệu ứng như sự khuếch đại âm thanh, sự chỉnh lưu dòng điện, chuyển đổi và trộn lẫn tín hiệu ...

Xét về đặc tính dẫn điện thì vật liệu bán dẫn có điện trở suất lớn hơn vật liệu dẫn điện nhưng nhỏ hơn vật liệu cách điện.

Điện trở suất ρ (Ωm)	Loại vật liệu
$10^{-8} \div 10^{-5}$	Dẫn điện
$10^{-6} \div 10^8$	Bán dẫn
$10^7 \div 10^{17}$	Cách điện

Đặc điểm nổi bật của vật liệu bán dẫn là điện trở suất của nó phụ thuộc rất nhiều vào nhiệt độ, điện trở suất giảm khi nhiệt độ tăng. Ngoài ra nó còn phụ thuộc vào loại chất pha tạp, nồng độ tạp chất, ánh sáng chiếu vào, thế năng ion hoá ...

Trong kỹ thuật điện tử, một số chất bán dẫn được sử dụng rộng rãi là Silicon (Si), Germani (Ge) và Galium Arsenide (GaAs). Germani (Ge) được sử dụng trong những năm đầu của công nghệ bán dẫn còn hiện nay chỉ xuất hiện trong những ứng dụng đặc biệt.

Điện trở suất của Si và Ge có giá trị trong khoảng: $0.01 \div 10 \Omega\text{m}$

Có hai loại chất bán dẫn là bán dẫn thuần (còn gọi là bán dẫn rỗng hay bán dẫn nguyên tính) và bán dẫn tạp (hay bán dẫn ngoại tính).

Hạt tải điện trong chất bán dẫn (carrier)

Ở nhiệt độ 0[K] Si và Ge có 4 điện tử ở lớp ngoài cùng nhưng cả 4 điện tử này đều tham gia vào 4 liên kết cộng hoá trị với 4 nguyên tử Si và Ge khác để sao cho chúng đều có 8 điện tử ở lớp ngoài cùng. Như vậy, mạng tinh thể không có điện tử tự do.

Khi nhiệt độ tăng các điện tử bứt khỏi liên kết và di chuyển trong mạng tinh thể, khi này hình thành các lỗ trống và di chuyển nhưng theo hướng ngược lại.

Cơ chế để lỗ trống tham gia vào độ dẫn điện:

Khi có một liên kết không hoàn chỉnh tức là có một lỗ trống xuất hiện thì điện tử hoá trị của liên kết bên cạnh có thể rời khỏi nguyên tử của nó để lấp đầy vào lỗ trống đó. Khi chuyển từ một liên kết hoàn chỉnh sang lỗ trống bên cạnh thì điện tử đã để lại một lỗ trống. Lỗ trống này lại được lấp đầy bởi một điện tử hoá trị của một liên kết khác và cứ như vậy có thể coi lỗ trống đã di chuyển theo hướng ngược với điện tử. Theo chiều dòng điện thì lỗ trống mang điện tích dương và có cùng độ lớn với điện tích của điện tử.

Do đó trong chất bán dẫn *hạt tải điện là điện tử và lỗ trống*. (điều này hoàn toàn khác với kim loại vì kim loại chỉ có hạt tải điện là điện tử)

Nồng độ hạt tải điện

Trên thực tế các điện tử và lỗ trống phân bố trong mạng theo phân bố xác suất của cơ học lượng tử.

$$n = N_C \cdot e^{-(E_C - E_F) / KT}$$

$$p = N_V \cdot e^{-(E_F - E_V) / KT}$$

$$N_C = 2 \cdot \left(\frac{2\pi m_n KT}{h^2} \right)^{3/2}$$

$$N_V = 2 \cdot \left(\frac{2\pi m_p KT}{h^2} \right)^{3/2}$$

Với n, p : nồng độ điện tử và lỗ trống trong vùng dẫn và vùng hóa trị
 N_C, N_V : mật độ trạng thái hiệu dụng của vùng dẫn và vùng hóa trị
 m_n, m_p : là khối lượng hiệu dụng của điện tử và lỗ trống. Các giá trị này phụ thuộc vào vùng năng lượng mà chúng chiếm giữ. Trong điều kiện nhiệt độ phòng có thể coi $m_n = m_p$

Mật độ trạng thái hiệu dụng (tại 300K)	Ge	Si	GaAs
N_C (cm ⁻³)	$1,02 \cdot 10^{19}$	$2,82 \cdot 10^{19}$	$4,35 \cdot 10^{17}$
N_V (cm ⁻³)	$5,65 \cdot 10^{18}$	$1,83 \cdot 10^{19}$	$7,57 \cdot 10^{18}$

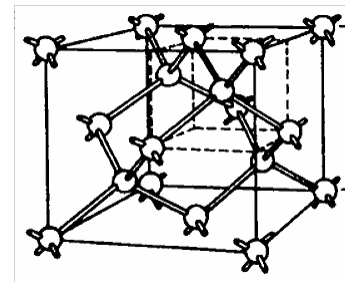
2. Bán dẫn thuần (bán dẫn nguyên tính – Intrinsic)

a. Định nghĩa và tính chất

Chất bán dẫn thuần là chất bán dẫn mà trong cấu trúc mạng tinh thể tại mỗi nút mạng chỉ có nguyên tử của một nguyên tố.

ví dụ: Si nguyên chất và Ge nguyên chất

Cấu trúc tinh thể của Si được cho ở hình bên



Ở nhiệt độ rất thấp (0 độ tuyệt đối), các điện tử hoá trị có liên kết chặt chẽ với lõi ion do đó độ dẫn điện thấp, điện trở suất cao. Chúng được coi như chất cách điện

Khi nhiệt độ tăng cao hơn, các điện tử hoá trị nhận năng lượng dưới dạng nhiệt. Liên kết giữa điện tử này và ion có thể bị phá vỡ và điện tử tách ra khỏi nguyên tử trở thành điện tử tự do. Các điện tử tự do vừa tách ra có thể di chuyển tự do trong mạng tinh thể do đó độ dẫn điện của chất bán dẫn tăng. Năng lượng cần thiết để bẻ gãy liên kết của điện tử với lõi ion chính là độ rộng dải cấm E_g (đó chính là năng lượng để kích thích điện tử nhảy từ dải hoá trị lên dải dẫn)

Khi điện tử thoát ra khỏi liên kết thì nó tạo ra một lỗ trống. Lỗ trống có đặc tính tương tự điện tử và mang điện tích dương. (Trên thực tế lỗ trống chính là mức năng lượng bị bỏ trống). Dưới tác động của điện trường thì cả điện tử và lỗ trống đều di chuyển trong mạng tinh thể.

Trong bán dẫn thuần nồng độ điện tử bằng nồng độ lỗ trống

$$n_i = p_i = (N_C \cdot N_V)^{1/2} \cdot e^{-E_g / 2KT}$$

Nồng độ (tại 300K)	Ge	Si	GaAs
n_i (cm ⁻³)	$2,8 \cdot 10^{13}$	$1,0 \cdot 10^{10}$	$2,0 \cdot 10^6$

b. Một số chất bán dẫn thông dụng

* Silicon

Silicon (Si) thường được sử dụng rộng rãi để chế tạo diode, mạch tích hợp. Tuy nhiên, để có tính chất mong muốn người ta phải pha các chất khác vào trong Si. Si có thể được khai thác trong tự nhiên hoặc để có chất lượng cao nhất thì tạo ra bằng cách nuôi các tinh thể trong điều kiện phòng thí nghiệm, sau đó sẽ được đưa vào trong các chip.

* Selenium

Chương I: Cơ sở vật lý của vật liệu linh kiện

Selenium (Se) có trở kháng phụ thuộc rất mạnh vào cường độ ánh sáng tác động vào nó. Đây là tính chất chung của vật liệu bán dẫn nhưng thể hiện rõ nhất ở Se, vì vậy Se được sử dụng để chế tạo các tế bào quang điện. Ngoài ra, Se được dùng để chế tạo các thiết bị chỉnh lưu ở khu vực điện áp không ổn định do khả năng chịu được điện áp cao bất thường của Se tốt hơn nhiều so với Si.

* Germanium

Germanium (Ge) nguyên chất là một chất dẫn điện kém. Nó trở thành chất bán dẫn khi thêm một số tạp chất vào. Germanium được sử dụng rộng rãi trong thời kỳ đầu nhưng vì Ge dễ bị hư hỏng bởi nhiệt độ nên sau đó người ta ít dùng loại vật liệu này, trừ những trường hợp đặc biệt.

3. Bán dẫn pha tạp (bán dẫn ngoại tính – Extrinsic)

Bán dẫn tạp là bán dẫn mà trong mạng tinh thể ở một số nút mạng được thay thế bởi nguyên tử của một nguyên tố khác. Quá trình thêm tạp chất vào được gọi là quá trình pha tạp và việc này làm cho tính chất của vật liệu thay đổi rất nhiều tùy vào chất pha tạp và nồng độ của chất đó. Mức độ pha tạp được tính bằng đơn vị ppm (đơn vị phần triệu)

Khi này nồng độ của điện tử và lỗ trống không còn cân bằng nữa. Nếu bán dẫn có hạt tải điện chủ yếu là điện tử thì người ta gọi đó bán dẫn loại N và nếu hạt tải điện chủ yếu là lỗ trống thì gọi là bán dẫn loại P.

a. Bán dẫn loại N (bán dẫn loại cho, pha tạp chất donor)

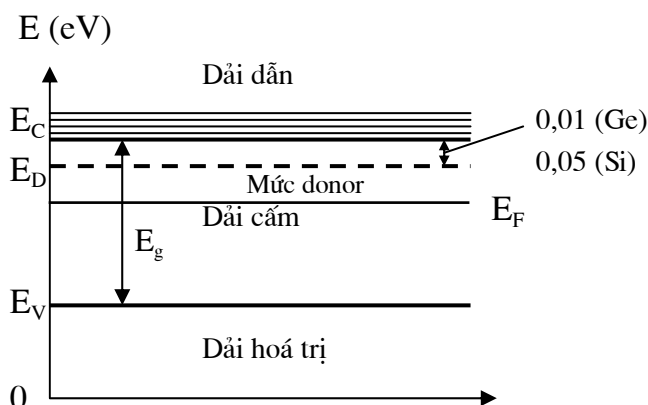
Là bán dẫn hình thành khi pha tạp chất nhóm V vào bán dẫn thuần.

Ví dụ: pha tạp chất As, P, Sn (nhóm V) vào bán dẫn nền Si (nhóm IV)

Nguyên tử tạp chất có 5 điện tử hoá trị ở lớp ngoài cùng nên nó sẽ dùng 4 điện tử cho 4 liên kết cộng hoá trị với 4 nguyên tử Si (hoặc Ge) ở bên cạnh. Điện tử thứ 5 sẽ thừa ra và có liên kết rất yếu với nguyên tử tạp chất. Để giải phóng điện tử này chỉ cần cung cấp một năng lượng rất nhỏ vào khoảng 0,01 eV đối với Ge và 0,05 eV đối với Si.

Khi tách khỏi nguyên tử thì điện tử thứ 5 sẽ trở thành điện tử tự do và nguyên tử tạp chất trở thành ion dương cố định. Như vậy số điện tử tự do chính bằng số nguyên tử pha tạp vào. Tạp chất nhóm V vì vậy được gọi là *tạp chất cho* (hay *tạp chất donor*)

Ở nhiệt độ khoảng 30 – 500K các điện tử thứ 5 đều được giải phóng thành điện tử tự do, nghĩa là nhảy lên vùng dẫn mà trong vùng hoá trị vẫn không có lỗ trống (người ta còn gọi chế độ này là chế độ ion hoá hết donor). Sở dĩ vậy là do nguyên tử của bán dẫn tạp có cấu trúc tinh thể khác nhiều so với cấu trúc tinh thể của bán dẫn nền và các mức năng lượng cho phép được hình thành ở khoảng cách rất nhỏ dưới dải dẫn (mức năng lượng này gọi là mức donor E_D , xem hình bên). Khi được cung cấp năng lượng chúng sẽ dễ dàng nhảy lên vùng dẫn (năng lượng này chưa đủ lớn



Giản đồ dải năng lượng của bán dẫn loại N

để điện tử ở vùng hoá trị nhảy lên vùng dẫn).

Rõ ràng là ở bán dẫn loại N nồng độ hạt dẫn điện tử nhiều hơn nhiều so với nồng độ lỗ trống. Điện tử được gọi là hạt dẫn đa số (majority) và lỗ trống được gọi là hạt dẫn thiểu số (minority).

$$n_N \gg p_N$$

b. Bán dẫn loại P (bán dẫn loại nhận, pha tạp chất acceptor)

Khi đưa tạp chất là nguyên tử của nguyên tố nhóm III vào bán dẫn thuần thì ta có bán dẫn loại P.

Ví dụ: pha Ga, In, B (nhóm III) vào bán dẫn nền Ge (nhóm IV)

Nguyên tử tạp chất có 3 điện tử ở lớp ngoài cùng nhưng chúng lại phải thiết lập 4 mối liên kết cộng hoá trị với 4 nguyên tử Si hoặc Ge bên cạnh. Do đó mỗi liên kết thứ 4 có một lỗ trống. Các điện tử bên cạnh sẽ nhảy sang để lấp đầy vào lỗ trống này và nguyên tử tạp chất sẽ trở thành ion âm còn nguyên tử có điện tử vừa rời đi trở thành ion dương cố định. Tạp chất nhóm III vì vậy được gọi là *tạp chất nhận (hay tạp chất acceptor)*.

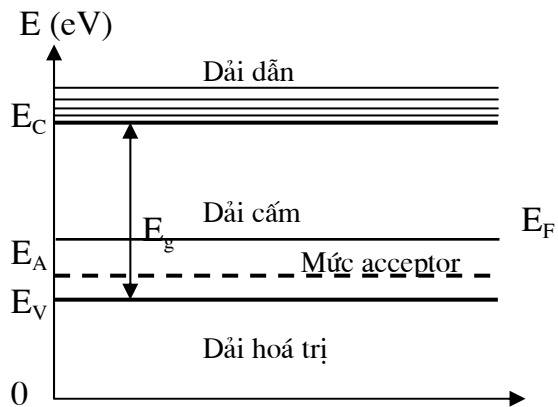
Tạp chất pha vào sẽ tạo ra một mức năng lượng riêng E_A nằm trên đỉnh vùng hoá trị, gọi đó là mức acceptor E_A cách E_V một đoạn rất nhỏ, xem hình bên. Do vậy, chỉ cần cung cấp một năng lượng nhỏ đã đủ kéo điện tử khỏi vùng hoá trị để chiếm đóng mức năng lượng này của tạp chất nhận, kéo theo sự tạo ra lỗ trống trong dải hoá trị nhưng trên dải dẫn vẫn không có điện tử.

Nếu tiếp tục tăng nồng độ tạp chất nhận thì nồng độ của các lỗ trống tăng lên đáng kể trong dải hoá trị nhưng nồng độ điện tử tự do trên dải dẫn vẫn không tăng. Như vậy, nồng độ lỗ trống lớn hơn nhiều so với nồng độ điện tử và lỗ trống được gọi là hạt dẫn đa số và điện tử được gọi là hạt dẫn thiểu số.

$$p_p \gg n_p$$

KL: Quá trình pha tạp chất vào bán dẫn nguyên tính không chỉ làm tăng độ dẫn điện mà còn tạo ra một chất dẫn điện có điện tử chiếm ưu thế (loại N) hay lỗ trống chiếm ưu thế (loại P).

* Ngoài các loại bán dẫn kể trên, hiện nay người ta quan tâm nhiều tới một số hợp chất oxit kim loại cũng có những tính chất như các chất bán dẫn thuần túy. Đó chính là công nghệ MOS (metal-oxide semiconductor) và CMOS (complementary metal-oxide semiconductor). Đặc điểm nổi trội của các thiết bị MOS và CMOS là chúng hầu như không cần bất cứ năng lượng nào để hoạt động. Chúng cần ít năng lượng đến nỗi mà một viên pin ở trên thiết bị MOS hay CMOS sẽ kéo dài thời gian sử dụng cho đến khi nào nó còn nằm trên giá của nó. Thêm nữa, các thiết bị MOS và CMOS có tốc độ rất cao. Điều này cho phép nó hoạt động ở tần số cao và có khả năng thực hiện nhiều phép tính trên giây. Ngày càng có nhiều transistor và mạch tích hợp sử dụng công nghệ MOS và



Giản đồ dải năng lượng của bán dẫn loại P

Chương I: Cơ sở vật lý của vật liệu linh kiện

CMOS vì nó cho phép một số lượng lớn diode và transistor riêng biệt nằm trên một chip đơn. Nói cách khác, công nghệ MOS/CMOS có mật độ tích hợp cao hơn. Tuy nhiên, vấn đề lớn nhất đối với MOS và CMOS đó là các thiết bị dễ bị hư hỏng vì tĩnh điện.

4. Mức Fecmi trong chất bán dẫn (Fecmi energy level)

Trong bán dẫn nguyên tính mức Fecmi nằm ở giữa vùng cấm, điều này để chứng tỏ rằng nồng độ của điện tử tự do và lỗ trống là cân bằng nhau.

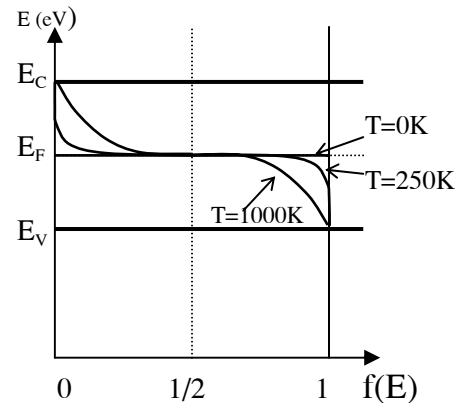
Hình bên là hàm phân bố Fecmi và giản đồ dải năng lượng của chất bán dẫn nguyên tính ở các nhiệt độ khác nhau

Khi pha tạp chất vào và ở nhiệt độ đã cho giả thiết là tất cả các nguyên tử tạp chất đều bị ion hoá thì mức Fecmi sẽ phải di chuyển vì mức Fecmi biểu thị xác suất chiếm đóng các trạng thái năng lượng cho phép.

Với bán dẫn loại N mức Fecmi sẽ di chuyển lên phía trên về phía đáy dải dẫn để biểu thị rằng có rất nhiều trạng thái năng lượng trong dải dẫn được các điện tử donor chiếm đầy. Với bán dẫn loại P thì ngược lại, mức Fecmi di chuyển xuống phía dưới về phía dải hoá trị để biểu thị một số lượng lớn điện tử tập trung ở mức năng lượng acceptor rất gần đỉnh vùng hoá trị.

Chú ý: Nếu nồng độ tạp chất pha vào rất cao ($> 10^{17}$ nguyên tử/cm³) thì mức Fecmi có thể trùng với đáy vùng dẫn hoặc đỉnh vùng hoá trị, người ta gọi đó là bán dẫn suy biến. Ngoài ra có một định nghĩa chính xác hơn là khi $E_c - E_F < 3KT$ thì đó là bán dẫn suy biến. Nhóm chất bán dẫn suy biến được sử dụng để chế tạo các loại linh kiện có tính chất điện – quang đặc biệt như diode tunen, LED, LASER ...

Hơn nữa, hàm Fecmi còn là một hàm của nhiệt độ.



5. Dòng điện trong chất bán dẫn

Dòng điện trong chất bán dẫn gồm 2 thành phần là dòng khuếch tán và dòng trôi.

a. Dòng điện khuếch tán (diffusion current)

Dòng điện khuếch tán là dòng điện xuất hiện khi có sự chênh lệch nồng độ hạt dẫn ở các vùng khác nhau trong khối chất. Khi đó hạt dẫn sẽ chuyển từ nơi có nồng độ cao xuống nơi có nồng độ thấp.

Hiện tượng này mang tính chất thống kê:

+ Mật độ dòng lỗ trống:

$$J_p = -e \cdot D_p \cdot \frac{dp}{dx}$$

+ Mật độ dòng điện tử:

$$J_n = e \cdot D_n \cdot \frac{dn}{dx}$$

Với dn/dx và dp/dx là gradien nồng độ của điện tử và lỗ trống

D_p , D_n là hệ số khuếch tán của lỗ trống và điện tử

Trong đó hệ số khuếch tán D và độ linh động μ quan hệ với nhau theo hệ thức

sau:

$$\frac{D_p}{\mu_p} = \frac{D_n}{\mu_n} = V_T \text{ với } V_T = \frac{KT}{e} \text{ gọi là điện thế nhiệt (} V_T = 26\text{mV tại } T = 300\text{K)}$$

Hệ số khuếch tán (cm ² /s)	Ge	Si
D _n	99	34
D _p	47	13

b. Dòng điện trôi (drift current)

Dòng điện trôi là dòng chuyển động của hạt dẫn dưới tác dụng của điện trường. Trong chất bán dẫn có 2 loại hạt tải điện là điện tử với điện tích âm, độ linh động μ_n , nồng độ n và lỗ trống với điện tích dương, độ linh động μ_p , nồng độ p . Khi thiết lập một điện trường E thì các hạt tải điện này sẽ chuyển động theo 2 hướng ngược nhau nhưng chiều dòng điện của 2 loại hạt này sẽ cùng một hướng.

Do đó mật độ dòng trôi J_{tr} được tính:

$$J_{tr} = J_n + J_p = (\sigma_n + \sigma_p).E = \sigma.E$$

với $\sigma = (n. \mu_n + p. \mu_p).e$ / độ dẫn điện (conductivity)

Độ linh động (tại 300K)	Ge	Si	GaAs
μ_n (cm ² /V-s)	3900	1400	8800
μ_p (cm ² /V-s)	1900	450	400

Từ công thức của độ dẫn điện ta thấy nồng độ pha tạp chất càng cao độ dẫn điện càng lớn, điện trở suất càng giảm. Nhưng khi đó độ linh động của hạt dẫn lại giảm. Vậy, mật độ dòng điện tổng trong chất bán dẫn là:

$$J = J_{kt} + J_{tr}$$

Chương II

CÁC LINH KIỆN THỤ ĐỘNG

Trạng thái điện của một phần tử được thể hiện qua hai thông số trạng thái là điện áp u giữa 2 đầu và dòng điện i chảy qua nó, khi phần tử tự nó tạo được các thông số này thì nó được gọi là **phần tử tích cực** (có thể đóng vai trò như một nguồn điện áp hay nguồn dòng điện). Ngược lại, phần tử không tự tạo được điện áp hay dòng điện trên nó thì cần phải được nuôi từ một nguồn sức điện động bên ngoài. Người ta gọi đó là các **phần tử thụ động**, cụ thể trong mạch điện và thiết bị điện tử là điện trở, tụ điện và cuộn dây. Chương này sẽ đề cập đến một số tính chất quan trọng của các loại linh kiện đó.

I. ĐIỆN TRỞ (RESISTOR)

1 - Định nghĩa và ký hiệu

a - Định nghĩa

Điện trở là linh kiện dùng để ngăn cản dòng điện trong mạch. Nói một cách khác là nó điều khiển mức dòng và điện áp trong mạch.

Để đạt được một giá trị dòng điện mong muốn tại một điểm nào đó của mạch điện hay giá trị điện áp mong muốn giữa hai điểm của mạch người ta phải dùng điện trở có giá trị thích hợp. Tác dụng của điện trở không khác nhau trong mạch điện một chiều và cả mạch xoay chiều, nghĩa là chế độ làm việc của điện trở không phụ thuộc vào tần số của tín hiệu tác động lên nó.

Hầu hết điện trở đều làm từ chất cách điện và nó có mặt ở hầu khắp các mạch điện. Có thể xác định giá trị điện trở theo định luật Ohm như sau:

$$\text{Trong chế độ tĩnh: } R = \frac{U}{I} \quad [\Omega]$$

$$\text{Trong chế độ tín hiệu nhỏ: } r = \frac{\Delta U}{\Delta I} \text{ hay } \frac{\partial u}{\partial i} \text{ gọi là điện trở vi phân}$$

Với U : sụt áp trên điện trở [V]

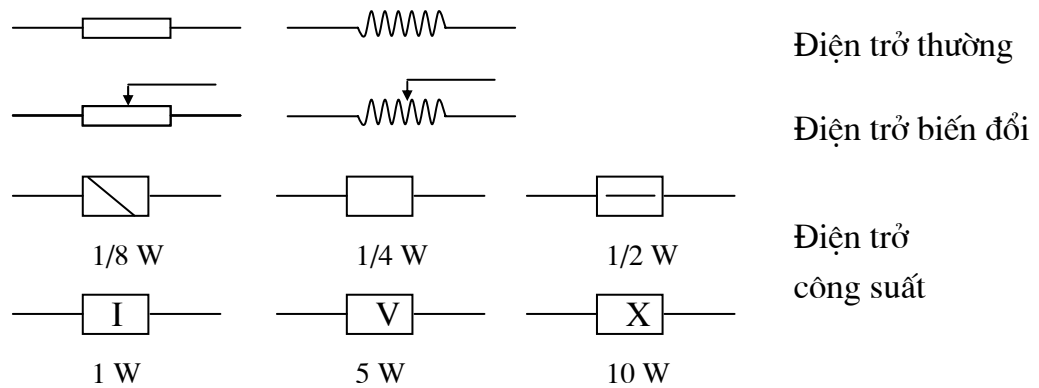
I : dòng điện chạy qua điện trở [A]

Các giá trị của R thường là : $m\Omega$, Ω , $k\Omega$, $M\Omega$, $G\Omega$.

Điện trở dẫn cả dòng một chiều và xoay chiều. Điện áp và dòng điện trên điện trở thuần có độ lệch pha bằng 0 (cùng pha).

b - Ký hiệu của điện trở trong mạch điện

Chương II: Linh kiện thụ động

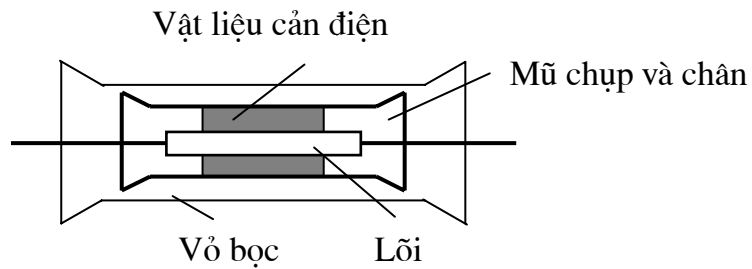


Hình dáng thực tế:



c - Cấu trúc của điện trở

Điện trở có nhiều dạng kết cấu khác nhau tùy theo loại nhưng nói chung có thể biểu diễn cấu trúc tổng quát của một điện trở như sau:



2- Các tham số kỹ thuật đặc trưng cho điện trở.

Khi sử dụng một điện trở thì các tham số cần quan tâm là: giá trị điện trở tính bằng Ohm (Ω); sai số hay dung sai là mức thay đổi tương đối của giá trị thực so với giá trị sản xuất danh định ghi trên nó tính theo phần trăm (%); công suất tối đa cho phép tính bằng oát (W) và đôi khi cả tham số về đặc điểm cấu tạo và loại vật liệu được dùng để chế tạo điện trở.

a - Trị số điện trở và dung sai

Trị số của điện trở là tham số cơ bản, yêu cầu đối với trị số là ít thay đổi theo nhiệt

Chương II: Linh kiện thụ động

độ, độ ẩm, thời gian... Nó đặc trưng cho khả năng cản điện của điện trở.

Trị số của điện trở phụ thuộc vào vật liệu cản điện, kích thước của điện trở và nhiệt độ môi trường.

Công thức:
$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

Trong đó:

ρ : điện trở suất của vật liệu cản điện [Ωm]

l : chiều dài dây dẫn [m]

S : tiết diện dây dẫn [m^2]

Dung sai (sai số) biểu thị mức độ chênh lệch trị số thực tế của điện trở so với trị số danh định và được tính theo %.

Dung sai được tính:
$$\frac{R_{tt} - R_{dd}}{R_{dd}} \cdot 100\%$$

Với R_{tt} và R_{dd} là giá trị điện trở thực tế và danh định

Dựa vào đó người ta sản xuất điện trở theo 5 cấp chính xác

Cấp 005 : có sai số $\pm 0.5\%$ } Dùng trong mạch yêu cầu độ

Cấp 001 : có sai số $\pm 0.1\%$ } chính xác cao

Cấp I : có sai số $\pm 5\%$ } Dùng trong kỹ thuật

Cấp II : có sai số $\pm 10\%$ } mạch điện tử thông thường

Cấp III : có sai số $\pm 20\%$ }

b - Công suất tiêu tán cho phép ($P_{tt\max}$)

Khi có dòng điện chạy qua điện trở sẽ tiêu tán năng lượng điện dưới dạng nhiệt, với công suất là:

$$P_{tt} = \frac{U^2}{R} = I^2 \cdot R \text{ [W]}$$

Tùy theo vật liệu cản điện được dùng mà điện trở chỉ chịu được tới một nhiệt độ nào đó. Vì vậy số W chính là thông số cho biết khả năng chịu nhiệt của điện trở.

Công suất tiêu tán cho phép là công suất điện cao nhất mà điện trở có thể chịu đựng được, nếu quá ngưỡng đó thì điện trở sẽ nóng lên và có thể bị cháy.

$$P_{tt\max} = \frac{U_{\max}^2}{R} = I_{\max}^2 \cdot R$$

Để điện trở làm việc bình thường thì:

$$P_{tt} < P_{tt\max}$$

Thông thường người ta sẽ chọn công suất của điện trở theo công thức:

$$P_R \geq 2P_{tt}$$

Trong đó 2 là hệ số an toàn. Trường hợp đặc biệt có thể chọn hệ số an toàn lớn hơn.

Điện trở than có công suất tiêu tán thấp trong khoảng 0.125; 0.25; 0.5; 1.2W

Điện trở dây quấn có công suất tiêu tán từ 1W trở lên và công suất càng lớn thì yêu cầu điện trở có kích thước càng to (để tăng khả năng tỏa nhiệt).

Trong tất cả các mạch điện, tại khu vực cấp nguồn tập trung dòng mạnh nên các điện trở phải có kích thước lớn. Ngược lại, tại khu vực xử lý tín hiệu, nơi có dòng yếu nên các điện trở có kích thước nhỏ bé.

Chương II: Linh kiện thụ động

c - Hệ số nhiệt của điện trở: TCR (temperature co-efficient of resistor)

Hệ số nhiệt của điện trở biểu thị sự thay đổi trị số của điện trở theo nhiệt độ môi trường và được tính theo công thức:

$$TCR = \frac{1}{R} \cdot \frac{\Delta R}{\Delta T} \cdot 100\% \text{ [ppm/}^\circ\text{C]}$$

ΔR : lượng thay đổi của trị số điện trở khi nhiệt thay đổi một lượng ΔT .

TCR là trị số biến đổi tương đối tính theo phần triệu của điện trở trên 1°C . TCR càng bé tức độ ổn định nhiệt độ càng cao.

Điện trở than làm việc ổn định nhất ở nhiệt độ 20°C . Khi nhiệt độ tăng hay giảm thì trị số của điện trở than đều tăng.

Điện trở dây cuốn có sự thay đổi điện trở theo nhiệt độ như chất dẫn điện thông thường, nghĩa là trị số của điện trở tăng giảm theo sự giảm tăng của nhiệt độ.

Có thể tính sự thay đổi của trị số điện trở theo TCR và ΔT như sau:

$$\Delta R = \pm \frac{R}{10^6} \cdot TCR \cdot \Delta T \text{ [}\Omega\text{]}$$

\Rightarrow TCR càng nhỏ càng tốt. Để TCR $\rightarrow 0$ thì người ta thường dùng vật liệu cảm điện có $\rho \approx 0.5\mu\Omega\text{m}$ và có hệ số nhiệt của điện trở nhỏ.

Ví dụ: Bột than nén, màng than tinh thể, màng kim loại (Ni Cr), màng oxit kim loại...

d - Tap âm của điện trở

Có 2 loại tap âm là tap âm xáo động nhiệt và tap âm dòng điện.

+ Tap âm xáo động nhiệt là loại tap âm chung cho tất cả các trở kháng, trở tĩnh dưới ảnh hưởng của nhiệt độ.

+ Tap âm dòng điện là do các thay đổi bên trong của điện trở khi có dòng điện chạy qua nó.

Mức tap âm chủ yếu phụ thuộc vào vật liệu cảm điện.

Bột than nén có mức tap âm cao nhất.

Màng kim loại và dây quấn có mức tap âm thấp nhất.

3- Cách ghi và đọc tham số trên thân điện trở

Trên thân điện trở thường ghi các tham số đặc trưng để tiện cho việc sử dụng, như là: trị số điện trở, dung sai, công suất tiêu tán (nếu có). Có thể ghi trực tiếp trên thân điện trở hoặc theo qui ước.

a - Cách ghi trực tiếp

Nếu thân điện trở đủ lớn (ví dụ như điện trở dây quấn) thì người ta ghi đầy đủ giá trị và đơn vị đo

Ví dụ: 220K 1W

(điện trở có trị số 220Ω , dung sai 10%, công suất tiêu tán cho phép là 1W).

b - Ghi theo qui ước

Không ghi đơn vị Ohm. Quy ước như sau:

+ Các chữ cái biểu thị đơn vị: R (hoặc E) = Ω ; M = $M\Omega$; K = $K\Omega$.

+ Vị trí của chữ cái biểu thị dấu thập phân

Chương II: Linh kiện thụ động

+ Chữ số cuối biểu thị hệ số nhân

Ví dụ: 6R8 = 6.8Ω

R3 = 0.3Ω

K47 = 0.47KΩ

150 = 150Ω

2M2 = 2.2MΩ

4R7 = 4E7 = 4.7Ω

332R = 33.100 Ω

Qui ước theo mã

Gồm các số để chỉ thị trị số (chữ số cuối chỉ hệ số nhân hay số số 0 thêm vào) và chữ cái để chỉ % dung sai.

F = 1%; G = 2%; J = 5%; K = 10%; M = 20%

Ví dụ: 681J = 680Ω 5%

153K = 15000Ω 10%

4703G = 470 KΩ 2%

Qui ước màu

Khi các điện trở có kích thước nhỏ (ví dụ như điện trở than) thì người ta không thể ghi số và chữ lên được. Người ta sử dụng các vạch màu để ghi tham số. Có 2 loại vòng màu là loại 4 màu và 5 màu.

4 vòng màu

Hai vòng đầu chỉ số có nghĩa thực

Vòng ba chỉ số số 0 thêm vào

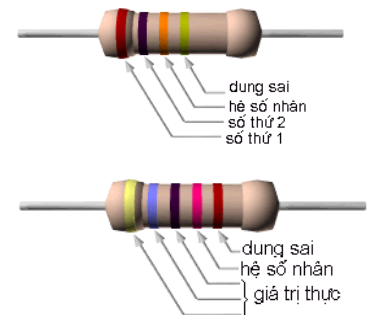
Vòng bốn chỉ dung sai

5 vòng màu

Ba vòng đầu chỉ số có nghĩa thực

Vòng bốn chỉ số số 0 thêm vào

Vòng năm chỉ dung sai



Bảng quy ước màu cho điện trở

Màu	Trị số thực Vạch 1,2 (3)	Hệ số nhân Vạch 3 (4)	Dung sai Vạch 4 (5)
Đen	0	10^0	
Nâu	1	10^1	1 %
Đỏ	2	10^2	2%
Cam	3	10^3	-
Vàng	4	10^4	-
Lục	5	10^5	-
Lam	6	10^6	-
Tím	7	10^7	-
Xám	8	10^8	-
Trắng	9	10^9	-

Chương II: Linh kiện thụ động

Vàng kim	-	10^{-1}	5 %
Bạch kim	-	10^{-2}	10%

Chú ý:

+ Vòng 1 là vòng gần đầu điện trở hơn vòng cuối cùng. Tuy nhiên, có nhiều điện trở có kích thước nhỏ nên khó phân biệt đầu nào gần đầu điện trở hơn, khi đó ta xem vòng nào được tráng nhũ thì vòng đó là vòng cuối. Nên để điện trở ra xa và quan sát bằng mắt, khi đó ta sẽ không nhìn thấy vòng tráng nhũ, nghĩa là dễ dàng nhận ra được vòng nào là vòng 1.

+ Trường hợp chỉ có 3 vòng màu thì sai số là $\pm 20\%$

+ Người ta không chế tạo điện trở có đủ các trị số từ nhỏ nhất đến lớn nhất mà chỉ chế tạo điện trở có trị số theo tiêu chuẩn (xem bảng dưới đây). Do vậy nếu cần những giá trị đặc biệt phải chọn giá trị gần trong bảng nhất hoặc phải đấu nối kết hợp nhiều điện trở với nhau để có giá trị thích hợp.

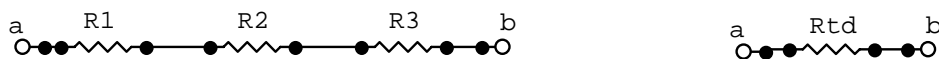
Bảng các giá trị sản xuất thực của điện trở

<10 Ω	Ω		K Ω		M Ω	
0,33	10	180	1	18,0	0,27	6,5
0,5	12	220	1,2	22,0	0,33	8,2
1	15	270	1,5	27,0	0,39	10,0
1,5	18	330	1,8	33,0	0,47	12,0
2	22	390	2,2	39,0	0,56	15,0
3	27	470	2,7	47,0	0,68	18,0
3,3	33	560	3,3	56,0	0,82	22,0
3,9	39	680	3,9	68,0	1,0	
4	47	820	4,7	82,0	1,2	
4,7	56		5,6	100	1,8	
5	68		6,8	120	2,2	
5,6	82		8,2	150	2,7	
6	100		10,0	180	3,3	
6,5	120		12,0	220	4,7	
8	150		15,0		5,6	

4. Các kiểu mắc điện trở

a. Mắc nối tiếp

Giả sử mắc 3 điện trở nối tiếp nhau như hình vẽ, khi đó 3 điện trở này sẽ tương đương với 1 điện trở R_{td} .



Khi sử dụng điện trở thì cần quan tâm tới hai thông số kỹ thuật là trị số điện trở R và công suất tiêu tán P của nó. Bằng cách mắc nối tiếp nhiều điện trở ta sẽ có điện trở

Chương II: Linh kiện thụ động

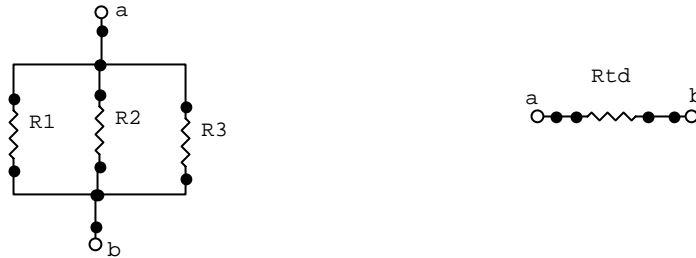
tương đương có tham số như sau:

$$\begin{aligned} R_{td} &= R_1 + R_2 + R_3 \\ P &= P_1 + P_2 + P_3 \end{aligned} \quad (1)$$

Như vậy cách ghép nối tiếp sẽ làm tăng trị số điện trở và tăng công suất tiêu tán.

b. Mắc song song

Giả sử mắc 3 điện trở song song, khi đó coi như ta có 1 điện trở tương đương R_{td}



R_{td} có trị số điện trở và công suất tiêu tán như sau:

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{td}} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \\ P &= P_1 + P_2 + P_3 \end{aligned} \quad (2)$$

Như vậy cách ghép song song làm tăng công suất tiêu tán nhưng làm giảm trị số điện trở.

Nếu mắc điện trở kiểu hỗn hợp (vừa nối tiếp, vừa song song) thì ta tính điện trở tương đương theo các công thức (1) và (2) còn công suất tiêu tán thì bằng tổng công suất tiêu tán của các điện trở thành phần.

Chú ý: Khi ghép nối điện trở nên chọn loại có cùng công suất nhiệt để tránh hiện tượng có một điện trở chịu nhiệt lớn. Khi thay thế điện trở cũng cần phải thay bằng điện trở không chỉ cùng trị số mà còn phải cùng công suất nhiệt.

5- Phân loại và ứng dụng của điện trở

a - Phân loại

Có nhiều cách phân loại điện trở. Thông thường người ta chia thành 2 loại là điện trở có trị số cố định và điện trở có trị số biến đổi (biến trở).

Trong mỗi loại lại được chia nhỏ hơn theo những chỉ tiêu khác nhau

Điện trở có trị số cố định thường được phân loại:

+ Theo vật liệu cản điện

1. Điện trở than ép dạng thanh hoặc trụ chế tạo từ bột than (cacbon, chất dẫn điện rất tốt) trộn với chất liên kết (thường là pheno, chất không dẫn điện). Nung nóng để làm hoá thể rắn hỗn hợp trên theo dạng hình trụ và được bảo vệ bằng một lớp vỏ giấy phủ gốm hay lớp sơn. Trở kháng của sản phẩm cuối cùng phụ thuộc vào tỉ lệ của cacbon so với chất không dẫn điện cũng như khoảng cách giữa các đầu dây. Điện trở hợp chất carbon có độ ổn định cao, là loại điện trở phổ biến nhất, có công suất danh định từ 1/8W đến 1W hoặc 2W. Loại điện trở này có trị số có thể rất nhỏ hoặc rất lớn, giá trị từ 10Ω đến $20M\Omega$. Mặt khác, nó mang tính thuận trở, các yếu tố điện dung cũng như điện cảm hầu như

Chương II: Linh kiện thụ động

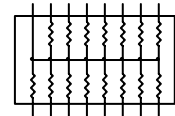
không đáng kể. Điều này làm cho điện trở hợp chất carbon được sử dụng rộng rãi trong các bộ xử lý tín hiệu radio.

3. Điện trở màng kim loại (còn gọi là điện trở dạng phim – film resistor) chế tạo theo cách kết lắng màng Ni-Cr trên thân gốm có xẻ rãnh xoắn sau đó phủ lớp sơn, loại này có độ ổn định cao hơn loại than nhưng giá thành cũng cao hơn vài lần.

4. Điện trở oxit kim loại: kết lắng màng oxit thiếc trên thanh SiO₂, có khả năng chống nhiệt và chống ẩm tốt, công suất danh định 1/2W

5. Điện trở dây quấn thường dùng khi yêu cầu giá trị điện trở rất thấp, chịu dòng lớn và công suất từ 1W đến 25W (trường hợp đặc biệt chúng chính là bộ đốt nóng bằng điện và có công suất lên tới hàng ngàn oát). Nó được cấu tạo bằng cách sử dụng một đoạn dây dẫn làm từ chất không dẫn điện tốt, ví dụ như nicrome. Dây dẫn sẽ quấn quanh một vật hình trụ giống như một cuộn dây (nên còn được gọi là điện trở cuộn dây). Trở kháng khi đó phụ thuộc vào vật liệu làm dây dẫn, đường kính và chiều dài dây dẫn. Nhược điểm chính của điện trở loại này là nó hoạt động như một bộ cảm ứng điện từ, nghĩa là không phù hợp với các mạch tần số cao.

6. Điện trở mạch tích hợp là các điện trở được chế tạo ngay trên một chip bán dẫn tạo thành một IC. Độ dài, loại vật liệu và độ tập trung của các chất pha trộn thêm vào sẽ quyết định giá trị của điện trở.



+ Theo công dụng

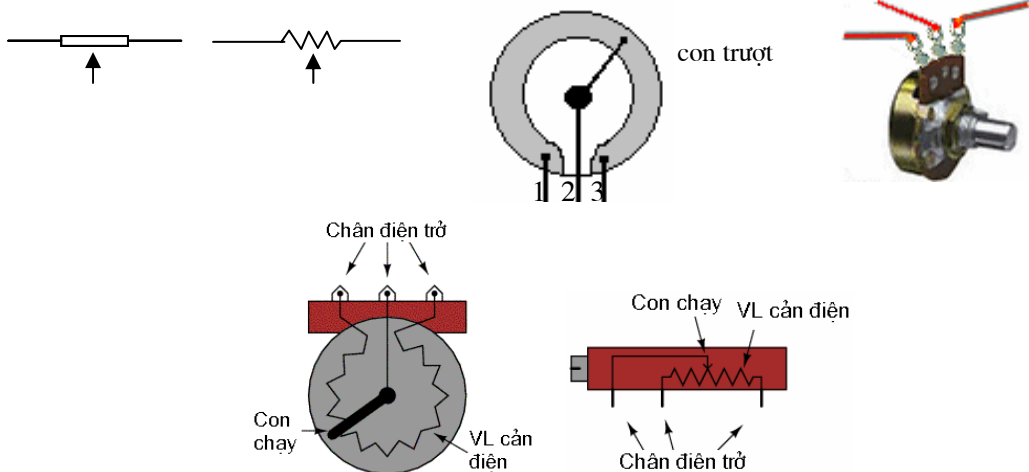
Loại chính xác

Loại bán chính xác

Loại đa dụng

Loại công suất

Điện trở có trị số thay đổi (biến trở – VR – Variable Resistor) có ký hiệu, hình dáng và cấu tạo như hình dưới đây.



Trong nhiều trường hợp khi muốn thay đổi giá trị trở kháng một cách linh hoạt và thuận tiện người ta phải sử dụng các linh kiện có trở kháng thay đổi, sự thay đổi này phụ thuộc vào vị trí của con trượt (gọi là potentiometer)

Biến trở còn được gọi là chiết áp được cấu tạo gồm một điện trở màng than hay dây quấn có dạng hình cung góc quay 270°. Chiết áp có một trục xoay ở giữa nối với một con trượt làm bằng than (cho biến trở dây quấn) hay làm bằng kim loại cho biến trở

Chương II: Linh kiện thụ động

than, con trượt sẽ ép lên mặt điện trở để tạo kiểu nối tiếp xúc làm thay đổi trị số điện trở khi xoay trục.

Biến trở dây quấn là loại biến trở tuyến tính có trị số điện trở tỉ lệ với góc xoay. Biến trở than là loại biến trở phi tuyến có trị số điện trở thay đổi theo hàm logarit với góc xoay (tức là ban đầu tăng nhanh sau con chạy càng dịch ra xa giá trị điện trở sẽ càng tăng chậm lại). Loại than có công suất danh định thấp từ 1/4 – 1/2 W với giá trị điện hình: 100, 220, 470, 1K, 2.2K, 4.7K, 10K, 22K, 47K, 100K, 220K, 470K, 1M, 2.2M và 4.7M. Loại dây quấn có công suất danh định cao hơn từ 1W đến 3W với các giá trị điện hình: 10, 20, 47, 100, 220, 470, 1K, 2.2K, 4.7K, 10K, 22K và 47K.

Có 3 loại biến trở: đa dụng, chính xác và điều chuẩn (loại này còn gọi là trimơ, nó không có trục xoay mà phải điều chỉnh bằng cái vặn vít với độ chính xác rất cao)

b - Ứng dụng của điện trở

Trong sinh hoạt, điện trở được dùng để chế tạo các loại dụng cụ điện như bàn là, bếp điện, bóng đèn sợi đốt ...

Trong công nghiệp, điện trở được dùng để chế tạo các thiết bị sấy, sưởi, giới hạn dòng điện khởi động của động cơ ...

Trong lĩnh vực điện tử, điện trở được sử dụng để giới hạn dòng điện, tạo sụt áp, phân áp, định hằng số thời gian, phối hợp trở kháng, tiêu thụ năng lượng ...

c - Một số điện trở đặc biệt

+ Điện trở nhiệt (Th – Thermistor)

Là một linh kiện có trị số điện trở thay đổi theo nhiệt độ. Có 2 loại nhiệt trở là nhiệt trở âm và nhiệt trở dương. Trị số của nhiệt trở ghi trong sơ đồ là trị số đo được ở 25⁰ C.

Ký hiệu và hình dáng của nhiệt trở:

Nhiệt trở có hệ số nhiệt dương là loại điện trở khi nhận nhiệt độ cao hơn thì trị số



của nó tăng lên và ngược lại. Nếu nhiệt trở làm bằng vật liệu kim loại thì nó có hệ số nhiệt dương. Điều này được giải thích là khi nhiệt độ tăng các nguyên tử ở các nút mạng sẽ dao động mạnh và làm cản trở quá trình di chuyển của điện tử.

Nhiệt trở có hệ số nhiệt âm là loại nhiệt trở khi nhận nhiệt độ cao hơn thì điện trở của nó giảm xuống và ngược lại khi nhiệt độ thấp hơn thì điện trở của nó tăng lên.

Các chất bán dẫn thường có hiệu ứng nhiệt âm (NTC). Trong chất bán dẫn không chỉ có vận tốc của hạt dẫn, mà quan trọng hơn, cả số lượng hạt dẫn cũng thay đổi theo nhiệt độ. Tại nhiệt độ thấp, các điện tử và lỗ trống không đủ năng lượng để nhảy từ vùng hoá trị lên vùng dẫn. Khi tăng nhiệt độ khiến các hạt dẫn đủ năng lượng để vượt qua vùng cấm, bởi thế độ dẫn sẽ gia tăng cùng với nhiệt độ. Nói cách khác khi nhiệt độ tăng thì trở kháng chất bán dẫn giảm. Với các chất NTC thì quan hệ giữa điện trở và nhiệt độ theo luật:

$$\frac{R_1}{R_2} = e^{B \cdot (1/T_1 - 1/T_2)}$$

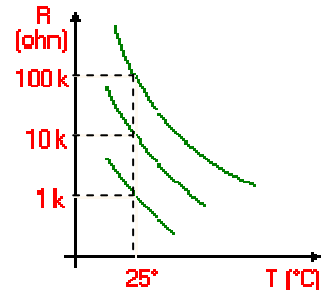
trong đó:

- $B = E_g / K$ là hệ số nhiệt trở
- $R_1 ; R_2$ là điện trở chất bán dẫn tại nhiệt độ T_1 và T_2 .
- E_g là độ rộng vùng cấm.
- K là hằng số Boltzmann.

Biến đổi công thức trên ta được:

$$B = \frac{\ln(R_1 / R_2)}{1/T_1 - 1/T_2}$$

Hình trên thể hiện sự phụ thuộc của điện trở vào nhiệt độ của chất NTC với các giá trị khác nhau của R .



Tuy nhiên, các chất nhạy cảm nhiệt có thể có hiệu ứng nhiệt dương, bởi thế chúng được gọi là các chất PTC.

Nhiệt trở thường được sử dụng để ổn định nhiệt cho các mạch của thiết bị điện tử (đặc biệt là tầng khuếch đại công suất) để điều chỉnh nhiệt độ hay làm linh kiện cảm biến trong các hệ thống tự động điều khiển theo nhiệt độ.

Ví dụ: Trong các bộ ampli, khi hoạt động lâu các sò công suất sẽ nóng lên, nhờ sử dụng nhiệt trở mà sự thay đổi của nhiệt độ được thể hiện ở sự thay đổi của trị số điện trở làm cho dòng điện qua sò công suất yếu đi, tức là bớt nóng hơn.

+ Điện trở tùy áp (VDR – Voltage Dependent Resistor)

VDR còn gọi là varistor là một linh kiện bán dẫn có trị số điện trở thay đổi khi điện áp đặt lên nó thay đổi.

Ký hiệu và hình dáng của VDR như hình sau:

Khi điện áp giữa hai cực ở dưới trị số quy định thì VDR có trị số điện trở rất lớn



coi như hở mạch. Khi điện áp này tăng lên thì VDR sẽ có trị số giảm xuống để ổn định điện áp ở hai đầu nó. Giá trị điện áp mà VDR ổn định được cho trước bởi nhà sản xuất, đây chính là thông số đặc trưng cho VDR.

VDR thường được mắc song song với các cuộn dây có hệ số tự cảm lớn để dập tắt các điện áp cảm ứng quá cao khi cuộn dây bị mất dòng điện đột ngột tránh làm hỏng các linh kiện trong mạch.

+ Điện trở quang (Photo Resistor)

Điện trở quang hay còn gọi là quang trở là thiết bị bán dẫn nhạy cảm với bức xạ điện từ quanh phổ ánh sáng nhìn thấy (có bước sóng từ 380 và 780 nm).

Quang trở được tạo nên từ một lớp vật liệu bán dẫn mỏng, thường là CdS (Cadmi sulfua). Bức xạ ánh sáng ngẫu nhiên sẽ truyền một phần năng lượng của nó cho các cặp điện tử-lỗ trống, các cặp này có thể đạt mức năng lượng đủ lớn để nhảy lên vùng dẫn. Kết quả hình thành nhiều cặp hạt dẫn tự do, khiến độ dẫn tăng và trở kháng giảm. Số lượng các hạt dẫn tạo ra sẽ tỷ lệ với cường độ bức xạ ánh sáng. Độ chiếu sáng càng

Chương II: Linh kiện thụ động

mạnh thì điện trở có trị số càng nhỏ và ngược lại. Khi quang trở bị che tối điện trở của nó khoảng vài trăm $K\Omega$ đến vài $M\Omega$. Khi được chiếu sáng thì giá trị điện trở này khoảng vài trăm Ω đến vài $K\Omega$.

Trong ứng dụng thực tế một điện áp ngoài sẽ được đấu vào các cực của quang trở. Cho ánh sáng chiếu vào, khi đó dòng có thể chảy qua quang trở và chảy trong mạch ngoài với cường độ tùy thuộc vào cường độ sáng.

Quang trở thường được sử dụng trong các mạch tự động điều khiển bằng ánh sáng như: phát hiện người qua cửa, tự động mở đèn khi trời tối, điều chỉnh độ sáng và độ nét tự động ở màn hình LCD, camera ...

(các thông số cụ thể của quang trở xem chi tiết ở chương 4 – Linh kiện quang điện tử)

II. TỤ ĐIỆN (CAPACITOR)

Tụ điện là phân tử có giá trị dòng điện i qua nó tỉ lệ với tốc độ biến đổi điện áp u trên nó theo thời gian với công thức:

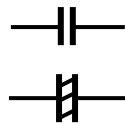
$$i = C \frac{du}{dt}$$

Tụ điện dùng để tích và phóng điện.

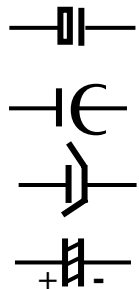
1. Ký hiệu và cấu tạo của tụ điện

a. Ký hiệu và hình dáng của tụ điện

Tụ thường
(Tụ không phân cực)



Tụ phân cực



Tụ biến đổi

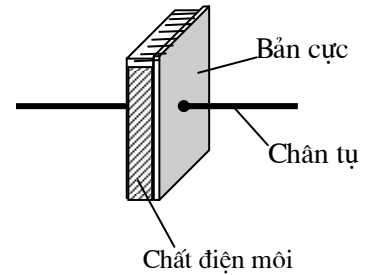


b. Cấu tạo

Tụ thường

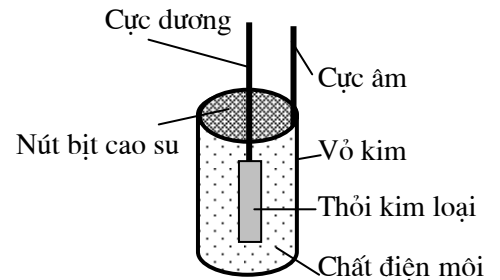
Về cấu tạo, tụ không phân cực gồm các lá kim loại xen kẽ với các lá làm bằng chất cách điện gọi là chất điện môi. Tên của tụ được đặt theo tên chất điện môi như tụ giấy, tụ gốm, tụ mica, tụ dầu ...

Giá trị của tụ thường có điện dung từ 1,8pF tới 1μF, khi giá trị điện dung lớn hơn thì kích thước của tụ khá lớn nên khi đó chế tạo loại phân cực tính sẽ giảm được kích thước đi một cách đáng kể.



Tụ điện phân

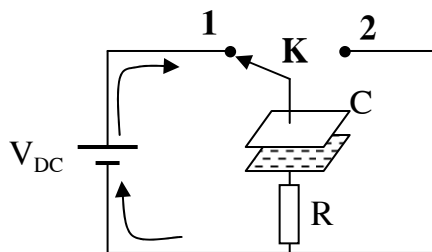
Tụ điện phân có cấu tạo gồm 2 điện cực tách rời nhau nhờ một màng mỏng chất điện phân, khi có một điện áp tác động lên hai điện cực sẽ xuất hiện một màng oxit kim loại không dẫn điện đóng vai trò như lớp điện môi. Lớp điện môi càng mỏng kích thước của tụ càng nhỏ mà điện dung lại càng lớn. Đây là loại tụ có cực tính được xác định và đánh dấu trên thân tụ, nếu nối ngược cực tính lớp điện môi có thể bị phá huỷ và làm hỏng tụ (nổ tụ), loại này dễ bị rò điện do lượng điện phân còn dư.



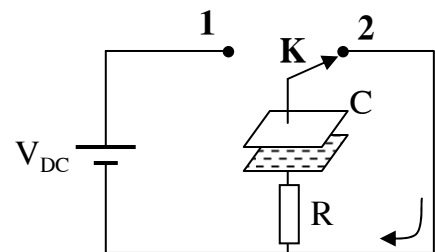
Ví dụ: Tụ hoá có cấu tạo đặc biệt, vỏ ngoài bằng nhôm làm cực âm, bên trong vỏ nhôm có thỏi kim loại (đồng hoặc nhôm) làm cực dương. Giữa cực dương và cực âm là chất điện phân bằng hoá chất (thường là axitboric) nên gọi là tụ hoá.

2. Đặc tính nạp và xả điện của tụ

Tụ điện hoạt động dựa trên nguyên tắc nạp và xả điện được minh hoạ trong hình dưới đây:



Tụ nạp điện (hình bên trái)



Khi khoá K ở vị trí 1 tụ được nạp điện với bản cực phía trên mang điện tích dương, bản cực phía dưới mang điện tích âm. Điện áp trên tụ tăng dần từ 0 V đến điện áp nguồn

Chương II: Linh kiện thụ động

V_{DC} theo hàm mũ với thời gian t . Điện áp tức thời trên hai bản tụ được tính theo công thức :

$$v_C(t) = V_{DC} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

trong đó : t : thời gian tụ nạp, đơn vị là giây (s)

$$e = 2,71828$$

$\tau = RC$ là hằng số thời gian nạp của tụ, đơn vị là giây (s)

Sau khoảng thời gian $t = \tau$ tụ nạp được $0,63V_{DC}$ và sau $t = 5\tau$ tụ nạp được $0,99V_{DC}$ và coi như tụ được nạp đầy.

Trong khi điện áp trên tụ tăng theo hàm mũ như phân tích ở trên thì dòng điện nạp cho tụ lại giảm dần từ trị số cực đại ban đầu $I = \frac{V_{DC}}{R}$ xuống trị số cuối cùng là 0A.

Dòng điện nạp tức thời được tính theo công thức:

$$i_C(t) = \frac{V_{DC}}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Tụ xả điện (hình bên phải)

Sau khi tụ được nạp đầy, điện áp trên tụ là $V_C \approx V_{DC}$, chuyển khoá K sang vị trí 2 tụ xả điện qua điện trở R, dòng và áp trên tụ giảm dần từ giá trị lớn nhất về 0 theo hàm mũ với thời gian (nếu sử dụng bóng đèn thay cho điện trở R sẽ thấy bóng đèn sáng lên và yếu dần rồi tắt hẳn). Dòng điện do tụ xả chính là nhờ năng lượng đã được nạp trong tụ. Năng lượng này được tính theo công thức :

$$W = \frac{1}{2} C \cdot V^2$$

với W : điện năng tính bằng Jun (J)

C : điện dung của tụ tính bằng Fara (F)

V : điện áp trên tụ tính bằng Vôn (V)

Điện áp và dòng điện tức thời trên tụ được tính theo công thức:

$$v_C(t) = V_{DC} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$i_C(t) = \frac{V_{DC}}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Sau một khoảng thời gian $t = \tau$ tụ xả, điện áp trên tụ còn $0,37V_{DC}$ và khi $t = 5\tau$ coi như tụ xả hết, điện áp trên tụ bằng 0

3. Đặc tính của tụ điện đối với dòng điện xoay chiều

Đối với tụ điện, điện tích tụ nạp được tính theo công thức:

$$Q = C \cdot V = I \cdot t$$

$$\Rightarrow V = \frac{1}{C} \cdot I \cdot t$$

Như vậy điện áp trên tụ chính là sự tích tụ của dòng điện nạp vào tụ theo thời gian

Chương II: Linh kiện thụ động

t (trong toán học biểu diễn bởi phép tính tích phân). Một cách tổng quát có thể viết như sau:

$$v_C(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(t) \cdot dt$$

Nếu dòng điện có dạng xoay chiều hình sin có trị số tức thời là:

$$i(t) = I_m \cdot \sin(\omega t)$$

$$\Rightarrow v_C(t) = \frac{1}{\omega C} \cdot I_m \cdot \sin(\omega t - 90^\circ) = V_m \cdot \sin(\omega t - 90^\circ)$$

Nghĩa là, điện áp trên tụ cũng là một trị số thay đổi theo dòng điện nhưng trễ pha đi 90° .

Ngoài ra, nếu áp dụng định luật Ohm cho tụ ta có:

$$V_m = \frac{1}{\omega C} \cdot I_m \Rightarrow \frac{V_m}{I_m} = \frac{1}{\omega C}$$

Như vậy, $\frac{1}{\omega C}$ có ý nghĩa như là điện trở, đối với tụ điện người ta gọi đó là dung kháng và ký hiệu là X_C

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} \quad \text{đơn vị tính là Ohm } (\Omega)$$

4. Các tham số cơ bản của tụ điện

a. Trị số điện dung và dung sai

Để đặc trưng cho khả năng nạp, xả điện của tụ ít hay nhiều người ta đưa ra khái niệm điện dung (dung lượng điện) để ước lượng.

Điện dung của tụ được tính theo công thức:

$$C = \varepsilon \cdot \frac{S}{d} \quad [\text{F}]$$

với ε là hằng số điện môi của chất cách điện
 S là diện tích hiệu dụng của bản cực [m^2]
 d là khoảng cách giữa hai bản cực [m]

Hằng số điện môi của một số chất cách điện thông dụng để làm tụ điện có trị số như sau:

Không khí khô	$\varepsilon = 1$
Parafin	$\varepsilon = 2$
Nhựa ebonit	$\varepsilon = 2,7 \div 2,9$
Giấy tẩm dầu	$\varepsilon = 3,6$
Gốm	$\varepsilon = 5,5$
Mica	$\varepsilon = 4 \div 5$

Trị số của điện dung được tính bằng F (fara) nhưng trên thực tế đơn vị này rất lớn nên không sử dụng mà thường dùng ước số của fara

$$\text{Microfara} \quad 1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$$

Chương II: Linh kiện thụ động

Nanofara	$1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$
Picofara	$1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$

Dung sai của tụ điện biểu thị độ chính xác của trị số điện dung thực tế so với giá trị điện dung danh định của tụ điện và được tính bằng:

$$\frac{C_{tt} - C_{dd}}{C_{dd}} 100\%$$

Tùy theo yêu cầu của mạch mà cần tụ có độ chính xác tương ứng, có tụ có dung sai 0,001% nhưng cũng có tụ có dung sai 150%. Với tụ sử dụng trong kỹ thuật điện tử thông thường thì tụ có dung sai từ 5 – 20%

b. Trở kháng của tụ điện

Tụ điện là một linh kiện có tác dụng ngăn dòng một chiều chảy qua nó (ở trạng thái xác lập ổn định). Trở kháng của tụ điện được xác định một cách tổng quát như sau:

$$Z_C = \frac{1}{j2\pi f \cdot C} = \frac{1}{j} \cdot X_C$$

với f là tần số của tín hiệu xoay chiều tác dụng lên tụ

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \text{ gọi là dung kháng của tụ}$$

Nhận xét:

- + Tụ điện không cho thành phần một chiều qua
- + Khi tần số tín hiệu tác động lên tụ càng tăng, trở kháng của tụ càng giảm. Nghĩa là, tín hiệu tần số càng cao càng dễ qua tụ. Hơn nữa, tụ có trị số điện dung càng lớn càng dễ cho tín hiệu tần số thấp qua.

c. Điện áp làm việc

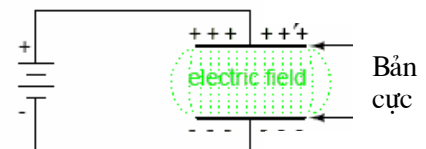
Khi nạp điện cho tụ tức là đặt vào các chân tụ một điện áp, người ta gọi điện áp làm việc của tụ chính là điện áp một chiều lớn nhất mà tụ có thể chịu được, tức là nếu quá giá trị này thì tụ bị nổ (nên còn gọi là điện áp đánh thủng).

Điều này được giải thích như sau: khi đặt vào tụ một điện áp lớn thì sẽ sinh ra một lực điện trường mạnh làm cho các điện tử trong nguyên tử chất điện môi bị bức xạ thành các điện tử tự do và sẽ có dòng điện chạy qua chất điện môi, lúc này chất điện môi bị đánh thủng. Do vậy khi sử dụng tụ điện để nạp và xả điện thì cần chọn tụ có điện áp đánh thủng lớn hơn điện áp đặt vào tụ vài lần.

Điện áp đánh thủng của điện môi phụ thuộc vào tính chất của lớp điện môi và bề dày của nó nên các tụ chịu được điện áp lớn thường là tụ có kích thước lớn và làm bằng chất điện môi tốt (ví dụ như mica, gốm hay ebonit)

d. Hệ số nhiệt

Mỗi loại tụ chỉ làm việc trong một môi trường làm việc có dải nhiệt độ nhất định.
Ví dụ: $-20^{\circ}\text{C} - +65^{\circ}\text{C}$



-40°C - +65°C
-55°C - +125°C

Tương tự như với điện trở người ta dùng hệ số nhiệt TCC để đánh giá sự biến đổi của trị số điện dung khi nhiệt độ thay đổi

$$TCC = \frac{1}{C} \cdot \frac{\Delta C}{\Delta T} \cdot 10^6 \text{ [ppm/}^\circ\text{C]}$$

ΔC là lượng tăng giảm của điện dung khi nhiệt độ thay đổi một lượng ΔT
TCC càng nhỏ càng tốt vì khi đó giá trị điện dung C sẽ càng ổn định

e. Dòng điện rò

Dòng điện rò là dòng chạy qua giữa 2 bản cực của tụ điện, nó phụ thuộc vào điện trở cách điện của chất điện môi.

Khi đặt một điện áp lên tụ thì dung kháng của tụ được tính bằng:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} \text{ với } f \text{ [Hz] là tần số của điện áp đặt lên tụ}$$

Như vậy dung kháng của tụ phụ thuộc vào tần số và giảm khi tần số tăng, đối với thành phần một chiều ($f=0$) có thể coi dung kháng của tụ là lớn vô cùng, nghĩa là không có dòng rò nhưng trên thực tế, thành phần này luôn tồn tại và phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ.

Tụ điện giải có dòng rò lớn nhất (cỡ vài mA khi điện áp đặt lên tụ lớn hơn 10V). Tụ điện mica và tụ gốm có dòng rò nhỏ nhất.

5. Cách ghi và đọc tham số trên tụ điện

Các tham số ghi trên thân tụ điện là điện dung (có kèm theo dung sai) và điện áp làm việc.

Có hai cách ghi là ghi trực tiếp và ghi theo quy ước.

a. Cách ghi trực tiếp

Cách ghi này áp dụng cho tụ có kích thước lớn như tụ hoá, tụ mica

Ví dụ: trên thân tụ hoá có ghi 100 μF , 50V, +85°C nghĩa là tụ có điện dung 100 μF , điện áp một chiều lớn nhất mà tụ chịu được là 50V và nhiệt độ cao nhất mà nó không bị hỏng là 85°C.

b. Cách ghi theo quy ước

Cách ghi này dùng cho tụ có kích thước nhỏ, gồm các số và chữ với một số kiểu quy ước như sau:

Với loại tụ ký hiệu bằng 3 chữ số và 1 chữ cái

+ Đơn vị là pF

+ Chữ số cuối cùng chỉ số số 0 thêm vào

Chương II: Linh kiện thụ động

+ Chữ cái chỉ dung sai

Bảng ý nghĩa của chữ số thứ 3

Chữ số	Hệ số nhân
0	1
1	10
2	100
3	1000
4	10.000
5	100.000
6	Không sử dụng
7	Không sử dụng
8	0,01
9	0,1

Bảng quy ước dung sai cho chữ cái cuối cùng

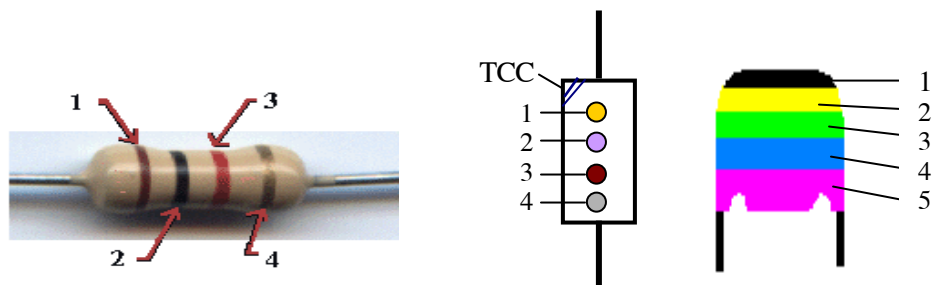
Chữ cái	Dung sai	Chữ cái	Dung sai
B	+/- 0.10%	J	+/- 5%
C	+/- 0.25%	K	+/- 10%
D	+/- 0.5%	M	+/- 20%
E	+/- 0.5%	N	+/- 0.05%
F	+/- 1%	P	+100% , -0%
G	+/- 2%	Z	+80% , -20%
H	+/- 3%		

ví dụ:

Cách ghi	Ý nghĩa
0.047 200 VDC	Tụ có điện dung 0,047 μF , điện áp một chiều lớn nhất mà tụ chịu được là 200 V (tụ màng mỏng)
2.2 / 35	Tụ có điện dung 2,2 μF , điện áp chịu đựng là 35V (tụ tantan)
102J	Tụ có điện dung 1000 pF = 1 nF, dung sai 5%
.22K	Tụ có điện dung 0,22 μF , dung sai 10%
474F	Tụ có điện dung 0,47 μF , dung sai 1%

Trong kỹ thuật điện tử thông thường tụ điện thường có dung sai từ $\pm 5\%$ đến $\pm 20\%$

Ghi theo quy ước vạch màu (gần giống như điện trở)



Chương II: Linh kiện thụ động

Loại 4 vạch màu

- Vạch 1, 2 là số thực có nghĩa
- Vạch 3 là chỉ số số 0 thêm vào (với đơn vị pF)
- Vạch 4 chỉ điện áp làm việc

Loại 5 vạch màu

- Vạch 1, 2 là số thực có nghĩa
- Vạch 3 là chỉ số số 0 thêm vào (với đơn vị pF)
- Vạch 4 chỉ dung sai
- Vạch 5 chỉ điện áp làm việc

Bảng quy ước màu cho tụ điện

Màu	Trị số thực	Hệ số nhân	Dung sai	Điện áp làm việc [V]	
				Nhôm	Tantan
Đen	0	10^0	-	-	10
Nâu	1	10^1	$\pm 1\%$	100	-
Đỏ	2	10^2	$\pm 2\%$	250	-
Cam	3	10^3	-	-	-
Vàng	4	10^4	-	400	6,3
Lục	5	10^5	$\pm 0,5\%$	-	16
Lam	6	10^6	$\pm 0,2\%$	630	20
Tím	7	10^7	$\pm 0,1\%$	-	-
Xám	8	10^8	-	-	25
Trắng	9	10^9	+ 5%, -20%	-	3
Vàng kim	-	10^{-1}	$\pm 5\%$	-	-
Bạch kim	-	10^{-2}	$\pm 10\%$	-	-
Hồng	-	-	-	-	35

Bảng mã màu TCC

Màu	TCC [ppm/°C]	Màu	TCC [ppm/°C]
Đen	0	Vàng	220
Đỏ	75	Xanh lá cây	330
Đỏ tím	100	Xanh lam	430
Cam	150	Tím	750

Tương tự như điện trở, tụ điện chỉ được sản xuất với các trị số điện dung tiêu chuẩn với các số thứ nhất và thứ 2 như sau:

10	27	68
12	33	75
15	39	82
18	47	
22	56	

Chương II: Linh kiện thụ động

Do vậy để có trị số điện dung mong muốn cần mắc tụ theo kiểu nối tiếp, song song hay hỗn hợp.

6. Các kiểu ghép tụ

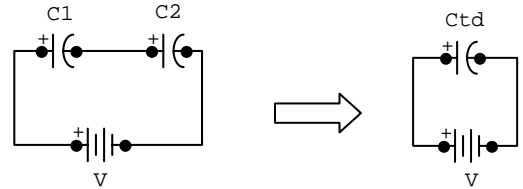
a. Tụ điện ghép nối tiếp

Khi ghép các tụ nối tiếp ta sẽ có trị số điện dung và điện áp làm việc của tụ tương đương như sau:

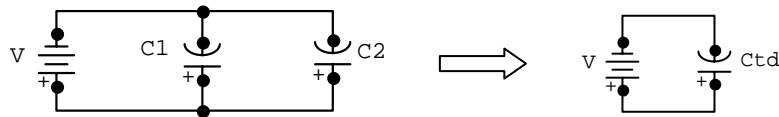
$$\frac{1}{C_{td}} = \frac{1}{C1} + \frac{1}{C2}$$

$$U = U1 + U2$$

Như vậy ghép nối tiếp tụ điện sẽ làm tăng điện áp làm việc nhưng làm giảm trị số điện dung.



b. Tụ điện mắc song song



Công thức tính điện dung và điện áp làm việc của tụ tương đương như sau:

$$C_{td} = C1 + C2$$

$$U = \min(U1, U2)$$

Như vậy ghép song song cho làm tăng giá trị điện dung còn điện áp làm việc bằng điện áp làm việc nhỏ nhất của các tụ thành phần (do đó nên chọn các tụ có điện áp làm việc bằng nhau nếu ghép song song).

7. Phân loại tụ điện

Người ta thường phân loại tụ điện thành loại tụ có trị số không đổi và tụ có trị số biến đổi. Trong các loại tụ này người ta lại tiếp tục phân chia theo chất điện môi làm tụ đó.

Tụ có trị số điện dung không đổi

a. Tụ oxit hoá (gọi tắt là tụ hoá)

Ký hiệu và hình dáng của tụ hoá



Tụ hoá (hay còn gọi là tụ điện phân, tụ điện giải) có điện dung lớn từ 1 µF đến 10.000 µF là loại tụ có phân loại cực tính dương và âm, điện áp làm việc nhỏ hơn 500V.

Chương II: Linh kiện thụ động

Tụ hoá được chế tạo với bản cực nhôm và bề mặt cực dương có một lớp oxit nhôm và lớp bột khí có đặc tính cách điện để làm chất điện môi. Do lớp oxit nhôm rất mỏng nên điện dung của tụ lớn và điện áp đánh thủng nhỏ. Tụ có kích thước càng lớn thì điện dung càng lớn. Khi sử dụng tụ cần chú ý cực tính của tụ để tránh làm hỏng tụ. Do có kích thước lớn nên các giá trị điện dung, điện áp làm việc, nhiệt độ, đánh dấu cực tính đều được ghi rất rõ ràng trên thân tụ hoá.

Do có điện dung lớn nên tụ hoá thường được sử dụng làm tụ san phẳng điện áp trong các mạch nguồn (tụ có điện dung càng lớn càng tốt) hay tụ lọc khu vực tần số thấp.

b. Tụ gốm (ceramic)

Tụ gốm có điện dung từ 1 pF đến 1 μ F là loại tụ không có cực tính và điện áp làm việc lớn đến vài trăm vôn nhưng dòng điện rò khá lớn. Tụ gốm có thường có dạng đĩa, dạng phẳng, đơn khối hoặc dạng ống.

Tụ gốm được cấu tạo bằng cách lắng đọng màng kim loại trên hai mặt của một đĩa

Ký hiệu và hình dáng của tụ gốm



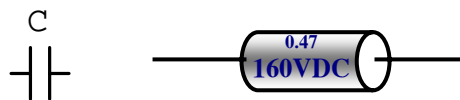
gốm mỏng. Dây dẫn nối tới màng kim loại và tất cả được bọc trong vỏ chất dẻo. Về hình dáng tụ gốm có nhiều dạng và nhiều cách ghi trị số khác nhau.

Tụ gốm thường được sử dụng để nối tắt tín hiệu cao tần xuống đất. Do tính ổn định không cao, gây nhiễu cho tín hiệu nên tụ gốm không được dùng cho các mạch gia công tín hiệu tương tự.

c. Tụ giấy

Tụ giấy là loại tụ không có cực tính gồm có hai bản cực là các băng kim loại dài, ở giữa có lớp cách điện là giấy tẩm dầu và cuộn lại thành ống. Điện áp làm việc của tụ giấy có thể lên tới 1000V với giá trị điện dung từ 0,001 μ F – 0,1 μ F. Loại tụ này càng ngày càng ít được sử dụng do kích thước lớn.

Ký hiệu và hình dáng của tụ giấy

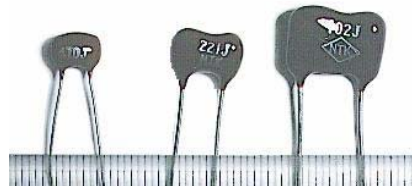
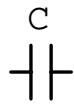


d. Tụ mica

Tụ mica tráng bạc là loại tụ không có cực tính, điện dung từ 2,2pF - 10nF, điện áp làm việc rất cao, trên 1000V.

Ký hiệu và hình dáng của tụ mica

Chương II: Linh kiện thụ động



Tụ mica được cấu tạo từ các lá kim loại đặt xen kẽ với các lá mica, một chân tụ là dây nối các lá kim loại chẵn và chân tụ kia là dây dẫn nối các lá kim loại lẻ, tất cả được bọc trong vỏ chất dẻo. Thông thường người ta dùng phương pháp lắng đọng kim loại lên các lớp mica để tăng hệ số phẩm chất của tụ.

Tụ mica đắt tiền hơn tụ gốm vì ít sai số, đáp tuyến tần số cao tốt, độ bền cao. Cách ghi và đọc thông số của tụ mica giống như tụ gốm nhưng với một số loại kích thước quá nhỏ thì người ta sử dụng các chấm màu để ghi trị số điện dung và đọc như điện trở.

e. Tụ màng mỏng

Là loại tụ không có cực tính có chất điện dung là polyeste, polyetylen, polystyrene hay polypropylene Tụ màng mỏng có điện dung từ vài trăm pF đến vài chục μF , điện áp làm việc từ hàng trăm đến hàng chục ngàn vôn.

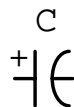
Ký hiệu và hình dáng của tụ màng mỏng



f. Tụ tantan

Tụ tantan là **loại tụ có phân biệt cực tính** với điện cực làm bằng tantan, điện dung của tụ có thể rất cao từ 0,1 μF đến 100 μF nhưng kích thước cực nhỏ. Điện áp làm việc của tụ tantan thấp chỉ vài chục vôn.

Ký hiệu và hình dáng của tụ tantan



Xét về mặt ổn định nhiệt và đặc tuyến tần số ở khu vực tần số cao thì tụ tantan tốt hơn nhiều so với tụ nhôm, do vậy với các mạch yêu cầu độ ổn định trị số điện dung cao

Chương II: Linh kiện thụ động

thì người ta phải sử dụng tụ tantan thay cho tụ nhôm dù tụ này có đắt hơn tụ nhôm.

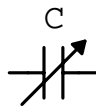
Tụ có trị số điện dung biến đổi

Đây là loại tụ mà trong quá trình làm việc ta có thể điều chỉnh trị số điện dung của chúng.

g. Tụ xoay

Tụ xoay (hay còn gọi là tụ đa dụng) được cấu tạo bởi 2 má kim loại đặt song song với nhau, trong đó có một má tĩnh và một má động. Chất điện môi có thể là không khí, mica, gốm hay màng chất dẻo ...

Ký hiệu và hình dáng của tụ xoay



Khi xoay trục của tụ xoay các lá động sẽ di chuyển giữa các lá tĩnh để làm thay đổi trị số điện dung của tụ.

Tụ xoay thường được sử dụng trong các mạch cộng hưởng chọn sóng để dò kênh trong máy thu thanh (với điện dung thay đổi từ 0 đến 270 pF).

h. Tụ vi chỉnh (trimcap)

Tụ vi chỉnh (hay còn gọi là tụ điều chuẩn) có cấu tạo tương tự như tụ xoay nhưng kích thước nhỏ hơn rất nhiều, không có núm vặn điều chỉnh mà chỉ có rãnh điều chỉnh bằng tuoclovit.

Ký hiệu và hình dáng của trimcap

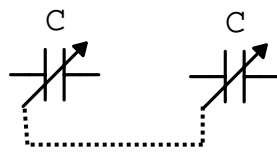


Trị số của tụ vi chỉnh thường nhỏ từ 0 đến vài chục pF. Loại tụ này thường được mắc kết hợp với tụ xoay và dùng chủ yếu để cân chỉnh mạch.

i. Tụ đồng trục chỉnh

Đây là loại tụ có một lá tĩnh và nhiều lá động cùng gắn trên một trục, khi xoay trục sẽ cùng lúc thay đổi giá trị của nhiều tụ. Ứng dụng này thường gặp trong các mạch chọn đài của máy radio, chọn cộng hưởng ...

Ký hiệu và hình dáng thực tế của tụ đồng trục chỉnh



8. Các ứng dụng của tụ điện

a. Tụ dẫn điện ở tần số cao

Dung kháng của tụ được tính theo công thức

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC}$$

Như vậy dung kháng của tụ tỉ lệ nghịch với tần số f của dòng điện qua nó. Ở tần số càng cao thì dung kháng X_c càng nhỏ nên dòng điện qua dễ dàng, ngược lại tần số thấp qua tụ khó hơn và có thể coi tụ chặn thành phần một chiều (khi $f = 0, X_c = \infty$). Hơn nữa, nếu ở cùng một tần số thì tụ có điện dung lớn sẽ có dung kháng nhỏ hơn tụ có điện dung nhỏ.

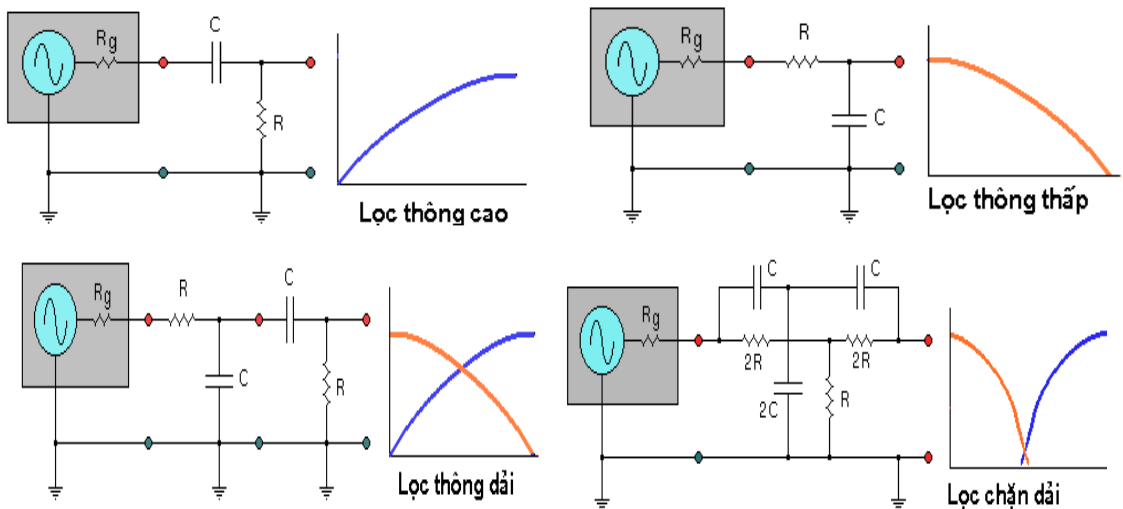
Dựa vào đặc tính dẫn điện phụ thuộc vào tần số người ta sử dụng tụ cho các mục đích:

+ Tụ liên lạc: để dẫn tín hiệu xoay chiều đồng thời chặn thành phần một chiều qua các tầng. (nếu tín hiệu xoay chiều tần số cao có thể sử dụng cả tụ phân cực và tụ thường nhưng nếu ở tín hiệu tần số thấp thì phải sử dụng tụ phân cực vì loại tụ này có điện dung lớn)

+ Tụ thoát: dùng để loại bỏ tín hiệu không cần thiết (thường là tạp âm) xuống đất

+ Tụ lọc: dùng trong các mạch lọc để phân chia dải tần (lọc thông cao, thông thấp hay lọc dải). Khi này có thể kết hợp tụ với điện trở hoặc với cuộn dây để tạo ra các mạch lọc thụ động.

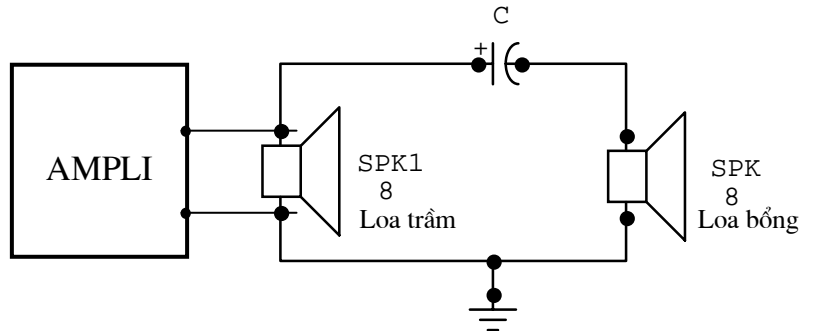
Dưới đây là một số ví dụ về sơ đồ mạch lọc thụ động RC



Chương II: Linh kiện thụ động

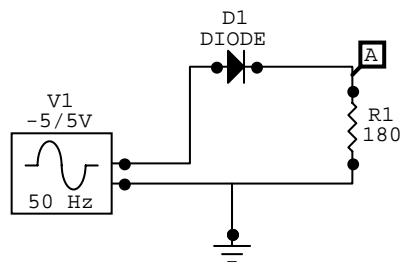
+ **Tụ cộng hưởng:** dùng trong các mạch cộng hưởng LC để bắt tín hiệu hay triệt tín hiệu ở tần số cộng hưởng của mạch.

Ví dụ: Đối với tín hiệu âm thanh thì âm bổng thuộc loại tần số cao nên tín hiệu âm bổng sẽ qua được tụ để đưa vào loa bổng còn âm trầm tần số thấp sẽ bị chặn lại và đi vào loa trầm.

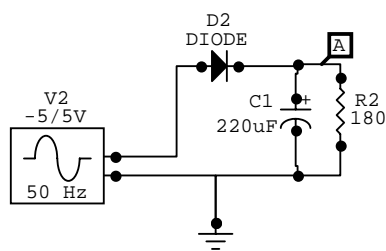
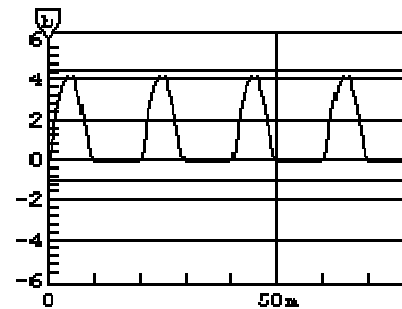


b. Tụ nạp xả điện trong mạch lọc nguồn

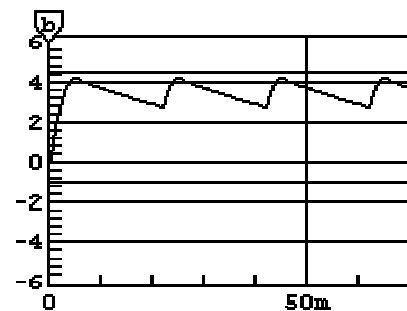
Giả sử có mạch nắn điện sử dụng một diode như hình vẽ dưới đây. Diode có tác dụng chỉ cho bán kỳ dương của dòng điện xoay chiều đi qua và chặn lại bán kỳ âm. Dòng điện qua tải sẽ có dạng là những bán kỳ dương gián đoạn (hình a). Nếu mắc thêm tụ song song với tải thì tụ sẽ nạp điện ở bán kỳ dương và xả điện ở bán kỳ âm, như vậy nhờ có tụ mà dòng điện qua tải được liên tục và giảm bớt hệ số đập mạch của dòng điện xoay chiều hình sin (hình b).



(a)



(b)



Chương II: Linh kiện thụ động

III. CUỘN CẢM

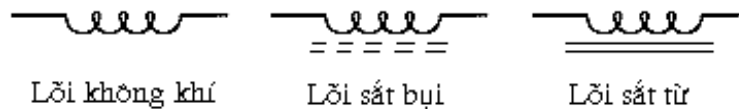
Cuộn cảm cùng với tụ điện là hai loại linh kiện chống lại dòng điện xoay chiều bằng cách lưu trữ tạm thời một số lượng điện. Cuộn cảm sẽ lưu trữ một lượng điện như một từ trường. Hoạt động của thành phần này gọi là tự cảm.

Các cuộn cảm thường bao gồm các cuộn dây, đôi khi là một đoạn dây hay một cặp dây. Độ tự cảm có thể có ở nhiều nơi và trở nên đáng quan tâm khi tần số của dòng xoay chiều tăng lên. Phần này chúng ta sẽ đi sâu tìm hiểu các đặc tính và hoạt động của cuộn cảm ở dạng cuộn dây.

1. Cấu tạo và ký hiệu của cuộn dây

Cuộn dây là một dây dẫn điện có bọc bên ngoài lớp sơn cách điện (thường được gọi là dây điện từ) quấn nhiều vòng liên tiếp trên một lõi. Lõi có thể có từ tính hoặc không có từ tính (tương ứng với khả năng gia tăng mật độ thông lượng từ hay không)

Tùy vào loại lõi mà cuộn dây có ký hiệu như sau:



Cuộn dây có lõi sắt lá dùng cho các dòng điện xoay chiều tần số thấp, lõi sắt bụi cho tần số cao và lõi không khí cho tần số rất cao.

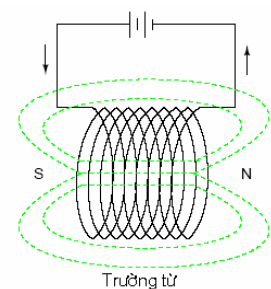
Hình dáng thực tế của cuộn dây



* Tạo cảm ứng điện từ

Cuộn dây được dùng để tạo ra cảm ứng điện từ. Cho dòng điện một chiều cường độ I chạy qua cuộn dây thì cuộn dây sẽ tương đương như một nam châm với cực tính được xác định theo chiều dòng điện I chạy trong cuộn dây đó (quy tắc vụn nút chai), khi đó ta nói cuộn dây là một nam châm điện.

Nếu đặt thêm một cuộn dây thứ 2 di chuyển một cách tương đối với cuộn dây trên thì trên cuộn thứ 2 này



Chương II: Linh kiện thụ động

xuất hiện một dòng điện, người ta nói có sự cảm ứng điện từ truyền từ cuộn 1 sang cuộn 2 và trên cuộn 2 có dòng điện cảm ứng. Tốc độ dịch chuyển càng nhanh thì cảm ứng từ càng mạnh.

Khi cho dòng điện xoay chiều cường độ i chạy qua cuộn dây L1 thì cuộn dây sẽ tương đương một nam châm biến thiên, do đó tạo ra từ trường biến thiên xung quanh nó. Nếu đặt gần cuộn L1 một cuộn dây L2 thì 2 đầu cuộn dây L2 sẽ xuất hiện dòng điện. Ta nói rằng có sự cảm ứng về điện từ truyền từ L1 sang L2. Như vậy tác dụng của dòng xoay chiều cũng giống như tác dụng của dòng một chiều với điều kiện cuộn dây phải di chuyển, nghĩa là, từ trường biến thiên sẽ sinh ra cảm ứng điện từ với cuộn dây đặt trong khu vực đó. Khi dòng điện i_1 trên cuộn L1 và i_2 trên cuộn L2 cùng chiều thì gọi là cảm ứng thuận, ngược lại gọi là cảm ứng nghịch. Sau khi xuất hiện dòng điện trên cuộn L2 thì bản thân dòng điện này cũng sẽ sinh ra một từ trường biến thiên gây cảm ứng ngược trở lại cuộn L1, người ta gọi đó là hiện tượng cảm ứng tương hỗ hay hồ cảm.

2. Các tham số của cuộn dây

a. Hệ số tự cảm

Khi cuộn dây do nhiều vòng dây quấn lại thì rõ ràng phải mất một khoảng thời gian nhất định để dòng điện di chuyển dọc theo dây và khi dòng điện chạy quanh toàn bộ cuộn dây, từ trường đạt đến mức cực đại. Như vậy, một năng lượng nhất định được lưu lại trong cuộn dây. Khả năng của cuộn dây lưu năng lượng bằng cách này là đặc điểm của độ tự cảm, viết tắt bằng L. Độ tự cảm L là một hàm phụ thuộc vào số lượng vòng dây, đường kính cuộn dây, chiều dài của cuộn dây và vật liệu làm lõi.

+ Với cuộn dây không có lõi

$$L = \mu_0 \cdot \frac{n^2}{l} \cdot S$$

+ Với cuộn dây có lõi

$$L = \mu_r \mu_0 \cdot \frac{n^2}{l} \cdot S$$

μ_0 : hệ số từ thẩm của chân không
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$

Trong đó:

L: hệ số tự cảm [H]

l: chiều dài lõi [m]

S: diện tích lõi [m²]

n: số vòng dây

μ_r : hệ số từ thẩm tương đối của vật liệu làm lõi đối với chân không

Khi cho dòng điện I qua cuộn dây n vòng sẽ tạo ra từ thông Φ . Để tính quan hệ giữa dòng điện I và từ thông Φ người ta đưa ra hệ thức:

$$L = n \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta I} \text{ gọi là hệ số tự cảm của cuộn dây, đơn vị là henry [H]}$$

Khi đó có thể tính sức điện động cảm ứng theo công thức:

$$e = -n \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (\text{dấu “-” biểu thị tác dụng chống lại sự biến thiên})$$

“Đơn vị của độ tự cảm là tỉ số giữa tỉ lệ thay đổi của dòng điện và điện áp qua một cuộn cảm. Một độ tự cảm là một Henry (H), đại diện cho hiệu điện thế một volt qua một cuộn cảm trong đó dòng điện tăng lên hoặc giảm xuống một ampe mỗi giây”.

Trên thực tế, đơn vị H là một giá trị khá lớn và hiếm khi gặp, thông thường người ta sử dụng đơn vị mH và μ H.

Chương II: Linh kiện thụ động

b. Trở kháng của cuộn dây

Một cuộn dây có tác dụng như một điện trở dây quấn bình thường đối với thành phần dòng một chiều, nhưng với thành phần dòng xoay chiều thì hiện tượng tự cảm có xu thế đối lập lại dòng điện ban đầu chảy qua và sự cản trở này được đặc trưng bởi thông số cảm kháng của cuộn dây X_L .

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L \quad [\Omega]$$

với f là tần số của dòng xoay chiều và L là độ tự cảm của cuộn dây

Khi đó trở kháng của cuộn dây là:

$$Z_L = R_L + jX_L$$

Và modun của hệ thức trên được tính bằng:

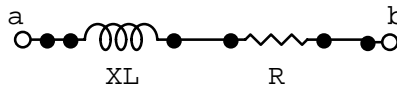
$$|Z_L| = \sqrt{R_L^2 + X_L^2} \quad [\Omega]$$

Nhận xét:

- + Tần số dòng xoay chiều qua cuộn dây càng lớn thì điện kháng càng tăng
- + Nếu tín hiệu có chứa cả thành phần một chiều và xoay chiều cao tần thì khi tác động vào cuộn dây nó sẽ dễ dàng cho qua thành phần 1 chiều (hay tần số thấp) và chặn thành phần cao tần. (như vậy phản ứng của cuộn dây với tín hiệu ngược với phản ứng của tụ điện)

c. Hệ số phẩm chất Q của cuộn dây

Khi dòng điện chạy qua cuộn dây thì trên thực tế cuộn dây sẽ nóng lên, nghĩa là có tổn hao năng lượng. Người ta biểu thị tổn hao này bằng một điện trở mắc nối tiếp với cuộn dây như sau:



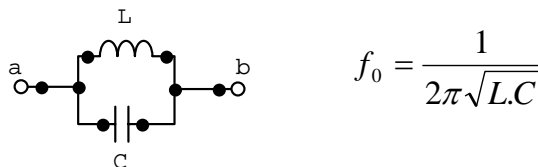
Với R là điện trở của dây dẫn làm cuộn dây, X_L là cảm kháng của cuộn dây. Hệ số phẩm chất Q là tỷ số giữa thành phần cảm và thành phần trở của cuộn dây.

$$Q = \frac{X_L}{R} \quad \text{với } X_L = 2\pi fL$$

Q càng cao chứng tỏ tổn thất trên cuộn dây càng nhỏ, có thể giảm R để tăng Q bằng cách sử dụng dây quấn là kim loại có độ dẫn điện tốt.

d. Tần số làm việc giới hạn của cuộn dây

Trên thực tế cuộn dây có tần số làm việc bị giới hạn bởi điện dung riêng là điện dung phân tán giữa các vòng dây. Vì vật liệu làm dây dẫn là kim loại đóng vai trò như bản cực tụ còn chất cách điện giữa các vòng dây đóng vai trò như chất điện môi nên có thể coi các cặp vòng dây có vai trò như một tụ điện.



$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}}$$

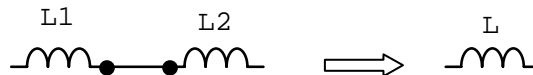
Chương II: Linh kiện thụ động

Ở khu vực tần số thấp thành phần điện dung này có thể bỏ qua nhưng ở khu vực tần số cao thì cuộn dây lúc này trở thành một mạch cộng hưởng song song có tần số làm việc bị giới hạn bởi tần số riêng của mạch.

Nếu cuộn dây làm việc ở khu vực tần số cao hơn f_0 thì nó mang tính dung nhiều hơn tính cảm, do đó tần số làm việc của cuộn dây phải nhỏ hơn f_0 .

3. Các cách ghép cuộn dây

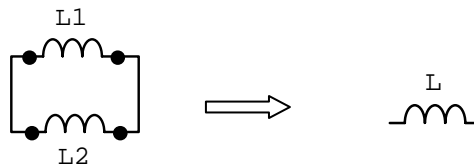
a. Ghép nối tiếp



Các cuộn dây ghép nối tiếp sẽ có hệ số tự cảm tương đương bằng tổng các hệ số tự cảm của các cuộn dây thành phần (tính như điện trở nối tiếp)

$$L = L1 + L2 \text{ [H]}$$

b. Ghép song song



Các cuộn dây mắc song song sẽ có hệ số tự cảm tương đương được tính như điện trở mắc song song.

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L1} + \frac{1}{L2}$$

4. Phân loại và ứng dụng của cuộn dây

Có nhiều cách phân loại cuộn dây

a. Theo lõi của cuộn dây

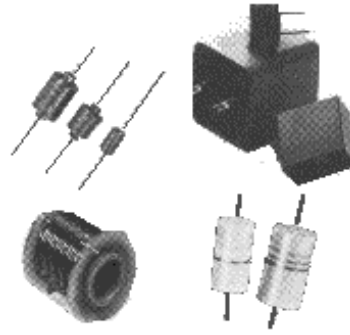
Cuộn dây lõi không khí (hay không lõi) là cuộn dây được quấn trên cốt bằng bìa, sứ hoặc không có cốt. Loại cuộn dây này có hệ số tự cảm nhỏ ($< 1\text{mH}$) và thường được sử dụng ở khu vực tần số cao hoặc siêu cao. Cuộn dây lõi không khí được sử dụng phần lớn trong các thiết bị thu phát tần số vô tuyến và các hệ thống anten. Vì không khí không tiêu thụ nhiều năng lượng ở dạng nhiệt nên có thể coi cuộn dây lõi rỗng có độ hao phí bằng 0 và có khả năng dẫn điện không hạn chế miễn là có kích cỡ lớn và đường kính sợi dây lớn.

Cuộn dây lõi sắt bụi là cuộn dây có lõi làm bằng bột sắt nguyên chất trộn với chất dính không có từ tính. Loại cuộn dây này có hệ số tự cảm lớn hơn loại không lõi nhưng nhỏ hơn loại lõi sắt từ tùy vào hỗn hợp được sử dụng. Chúng thường được sử dụng ở khu vực tần số cao và trung tần.

Cuộn dây lõi ferit thường được sử dụng ở khu vực tần số cao và trung tần, có khi cả ở khu vực tần thấp như âm tần vì ferit có độ từ thẩm cao hơn bột sắt rất nhiều. Lõi

Chương II: Linh kiện thụ động

ferit có nhiều hình dạng khác nhau như: dạng thanh, hình ống, hình xuyên, chữ E, chữ C, hình nổi ... xem hình dưới đây:



Một số hình dạng lõi ferit và cuộn dây lõi ferit

Cuộn dây lõi sắt từ sử dụng ở khu vực tần số thấp (âm tần). Loại này được làm từ lõi sắt cacbon, sắt silic hay sắt niken ... dây dẫn là dây đồng tráng men cách điện quấn thành nhiều lớp, các lớp được chống ẩm và cách điện với nhau. Do lõi bằng sắt từ có độ từ thẩm lớn nên cuộn dây lõi sắt từ có hệ số tự cảm cao nhưng kích thước và trọng lượng cũng rất lớn.

Chú ý:

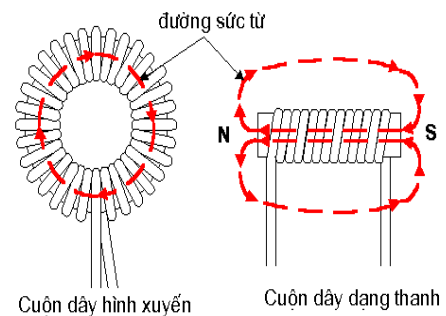
- . Các cuộn dây có lõi sắt từ khi chịu dòng lớn có thể làm cho lõi bị bão hoà. Điều này xảy ra khi lõi bằng vật liệu sắt từ không thể tạo ra từ thông tăng khi dòng điện tăng, kết quả là làm độ tự cảm thay đổi, làm giảm dòng điện của cuộn dây.
- . Bản thân lõi sắt từ tiêu tốn một lượng điện khá lớn dưới dạng nhiệt và nếu lõi bị nóng đến một mức nào đó nó sẽ bị gãy, nghĩa là làm hỏng cuộn dây và hạn chế khả năng quản lý dòng điện của nó.

b. Theo hình dáng

Cuộn dây dạng thanh, trụ (solenoid): loại được sử dụng đầu tiên và phổ biến nhất do dễ chế tạo và dễ điều chỉnh độ từ thẩm.

Cuộn dây hình xuyên (toroid): loại này nhiều ưu điểm hơn loại solenoid vì cần ít cuộn dây hơn để có được độ tự cảm nhất định và kích thước cũng nhỏ hơn. Nhưng ưu điểm hơn cả là tất cả thông lượng trong một cuộn cảm toroid được chứa bên trong vật liệu lõi, nghĩa là không có hồ cảm không mong muốn với các thành phần xung quanh. Tuy nhiên, nó cũng có nhược điểm là khó điều chỉnh độ từ thẩm và khó quấn hơn cuộn solenoid.

Xem hình bên.



Chương II: Linh kiện thụ động

Cuộn dây hình nõi: loại này có ưu điểm như toroid ở chỗ lõi có khuynh hướng ngăn chặn từ thông vượt ra ngoài kết cấu vật lý. Độ tự cảm của cuộn dây lõi nõi được tăng lên một cách đáng kể với một kích thước nhỏ. Nhược điểm chính là việc điều chỉnh rất khó khăn và phải chuyển đổi số vòng dây nhờ các van tại các điểm khác nhau của cuộn dây.



c. Theo sự thay đổi của hệ số tự cảm

Cuộn dây có hệ số tự cảm không đổi là cuộn dây không điều chỉnh được hệ số tự cảm.

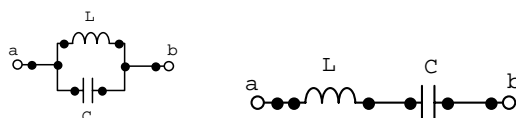
Cuộn dây có hệ số tự cảm thay đổi là cuộn dây có thể thay đổi hệ số tự cảm bằng cách điều chỉnh lõi hay số vòng dây của nó. Việc di chuyển vào ra của lõi sẽ làm thay đổi độ từ thẩm bên trong cuộn dây. Chuyển động vào của lõi làm độ tự cảm tăng lên còn khi lõi chuyển động ra độ tự cảm sẽ giảm.

d. Theo khu vực tần số làm việc

- Cuộn cao tần
- Cuộn trung tần
- Cuộn âm tần

e. Theo ứng dụng

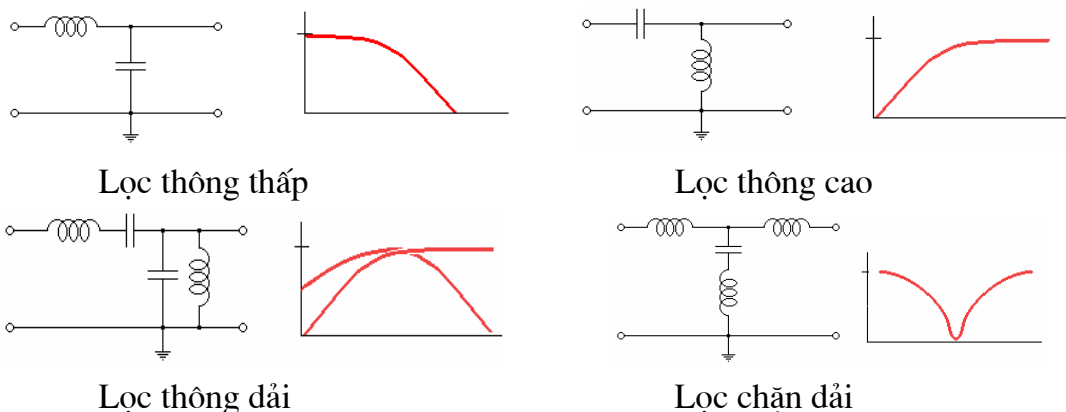
Cuộn cộng hưởng là cuộn dây cùng với tụ điện kết hợp thành một mạch cộng hưởng để tạo dao động, chọn sóng, bẫy nhiễu ...



Mạch cộng hưởng LC song song và nối tiếp

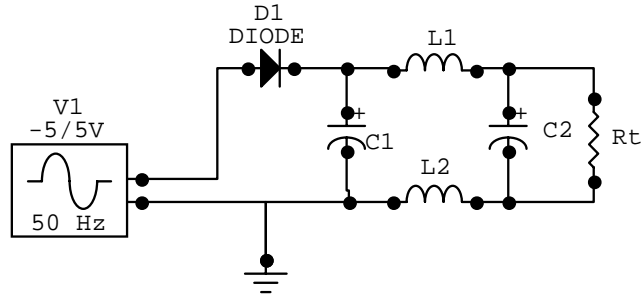
Cuộn lọc là cuộn dây kết hợp với tụ điện để tạo thành các mắt lọc để phân chia dải tần.

Dưới đây là một số mạch lọc LC thụ động và đáp ứng tần số – biên độ của chúng.

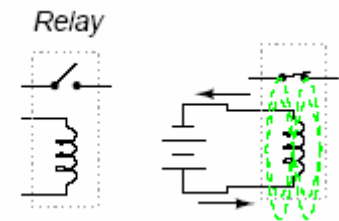


Chương II: Linh kiện thụ động

Cuộn chặn thường là cuộn có lõi sắt từ để chặn thành phần cao tần, lọc phẳng điện áp nguồn cung cấp, tránh cho dòng một chiều có biến động bất thường. Những cuộn cảm làm nhiệm vụ này phải có trị số lớn (vài H)



Role điện từ đây là một ứng dụng rất phổ biến của cuộn dây cho phép điều khiển công tắc bằng điện thay vì đóng mở bằng tay. Hoạt động của role điện từ dựa vào hiện tượng cảm ứng từ của cuộn dây khi có dòng điện đi qua. Như đã biết, dòng điện qua cuộn dây sẽ làm cho cuộn dây hoạt động như một nam châm điện có khả năng hút lá kim loại chạm vào tiếp điểm. Khi sử dụng role cần chú ý điện áp hoạt động và dòng chịu đựng của các tiếp điểm, các thông số này đều được ghi trên thân của role



Liên lạc vô tuyến. Anten của đài phát thanh hay truyền hình ... thực chất cũng là một cuộn dây tạo nên sóng điện từ có từ trường biến thiên lan toả trong không gian. Từ trường biến thiên này sẽ cảm ứng sang các anten (cũng là những cuộn dây) ở máy thu và như vậy ta thu được thông tin từ xa mà không cần truyền tải qua đường dây.

Máy phát điện được cấu tạo với bộ phận chính là các cuộn dây bố trí trong lòng của một nam châm. Khi cho các cuộn dây quay hoặc cho nam châm quay (nhờ thuỷ lực, khí nóng, gió hay năng lượng mặt trời ...) sẽ có từ trường biến thiên và do đó sinh ra cảm ứng điện từ sang các cuộn dây, nghĩa là tạo ra các dòng điện (một pha hoặc ba pha)

Biến áp là một trường hợp đặc biệt khi mắc song song hai cuộn dây qua một lõi sắt từ hay lõi ferit, phần tiếp theo đây sẽ trình bày cụ thể về biến áp.

IV. BIẾN ÁP

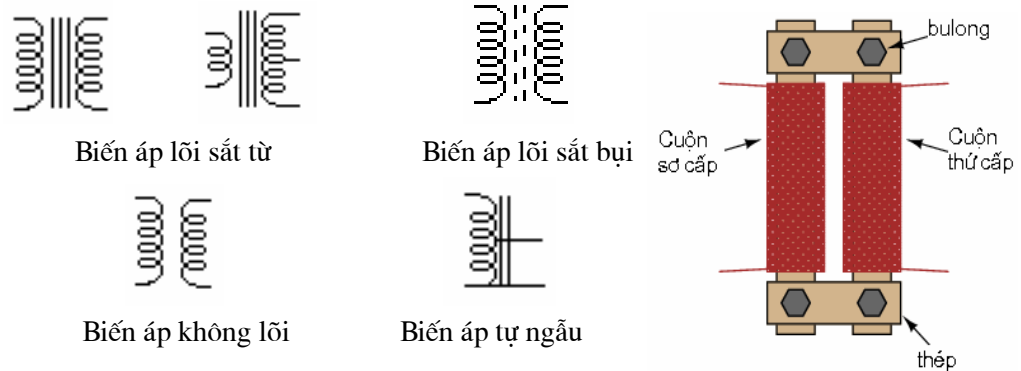
Biến áp là linh kiện dùng để ngăn dòng một chiều giữa hai cuộn dây và biến đổi giá trị điện áp (hoặc cường độ) của các dòng xoay chiều từ cuộn nọ sang cuộn kia nhưng vẫn giữ nguyên tần số.

1. Ký hiệu và cấu tạo của biến áp

Biến áp gồm hai hay nhiều cuộn dây tráng sơn cách điện quấn chung trên một lõi thép (mạch từ)

Lõi của biến áp có thể là sắt lá, sắt bụi hay không khí

Cuộn dây đầu vào nguồn cung cấp gọi là cuộn sơ cấp, cuộn đầu ra tải tiêu thụ gọi là cuộn thứ cấp.



Năng lượng từ cuộn sơ cấp sang cuộn thứ cấp thông qua cảm ứng điện từ, biến áp có tác dụng biến đổi từ một điện áp vào thành nhiều điện áp ra khác nhau.

Khi hai cuộn dây cùng được quấn trên một lõi thì biến áp gọi là biến áp tự ngẫu hay biến áp không được cách ly về điện.

2. Nguyên tắc hoạt động của máy biến áp

Khi cho dòng điện xoay chiều vào cuộn dây sơ cấp thì dòng điện sẽ tạo ra từ trường biến thiên chạy trong mạch từ (chính là lõi hình chữ nhật rỗng hoặc hình xuyên) và sang cuộn dây thứ cấp, cuộn dây thứ cấp nhận được từ trường biến thiên và trong nó sẽ xuất hiện một dòng cảm ứng xoay chiều cùng tần số.

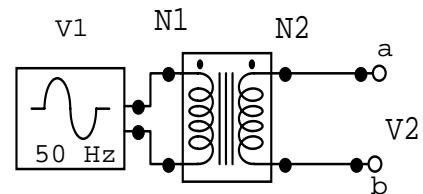
Ở cuộn sơ cấp ta có:

$$u_1 = e_1 = -N_1 \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

Ở cuộn thứ cấp ta có:

$$u_2 = e_2 = -N_2 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

trong đó N_1 là số vòng dây của cuộn sơ cấp và N_2 là số vòng dây của cuộn thứ cấp.



3. Các tham số kỹ thuật của biến áp

a. Hệ số ghép biến áp K

Hệ số ghép biến áp K là tỉ số giữa từ thông liên kết giữa hai cuộn dây và tổng từ thông sinh ra bởi cuộn sơ cấp.

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}$$

với M là hệ số hồ cảm được tính bằng công thức:

$$M = -\frac{e_L}{\Delta i / \Delta t}$$

với $\Delta i / \Delta t$ là tốc độ thay đổi của dòng điện chạy trong cuộn sơ cấp

Chương II: Linh kiện thụ động

Hỗ cảm M là thông số biểu thị sự liên hệ về từ giữa hai cuộn dây.

Hệ số K tùy thuộc vào cách ghép hai cuộn dây. Hệ số ghép biến áp $K = 1$ là trường hợp lý tưởng khi toàn bộ số từ thông sinh ra do cuộn sơ cấp đều được đi qua cuộn thứ cấp và ngược lại. Khi hai cuộn dây không có liên hệ với nhau về từ trường thì $K = 0$

$K \ll 1$ gọi là ghép lỏng

$K \approx 1$ gọi là ghép chặt

b. Các tỉ lệ của biến áp

Tỉ lệ về điện áp:
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = n$$

Như vậy, muốn tăng điện áp ra cần tăng số vòng dây cuộn thứ cấp hoặc giảm số vòng dây cuộn sơ cấp và ngược lại, khi muốn giảm điện áp ra cần giảm số vòng cuộn thứ cấp hoặc tăng số vòng cuộn sơ cấp.

Tỉ lệ về dòng điện:
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{n}$$

Hệ thức trên cho thấy một biến áp tăng áp bao giờ cũng làm hạ dòng và ngược lại, biến áp hạ áp sẽ làm tăng dòng.

Tỉ lệ về công suất: $P_1 = P_2$

Một biến áp lý tưởng coi như không có tổn hao trên hai cuộn dây và mạch từ sẽ có công suất ở sơ cấp và thứ cấp bằng nhau.

Tuy nhiên trên thực tế công suất tiêu thụ ở bên thứ cấp luôn nhỏ hơn công suất của nguồn cung cấp cho sơ cấp. Nguyên nhân là do các cuộn sơ cấp và thứ cấp có điện trở của dây dẫn nên tiêu hao năng lượng dưới dạng nhiệt. Thêm vào đó, lõi từ có dòng điện cảm ứng do từ thông thay đổi sẽ tự kín mạch trong lõi (gọi là dòng Fuco) cũng tiêu thụ năng lượng dưới dạng nhiệt.

Vì những tổn hao trên người ta đưa ra thông số hiệu suất của biến áp là tỉ số giữa công suất ra và công suất vào tính theo % như sau:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{tổn hao}}} \cdot 100\%$$

với: P_1 là công suất của cuộn sơ cấp

P_2 là công suất thu được ở cuộn thứ cấp

$P_{\text{tổn hao}}$ là công suất mất mát do tổn hao trên cuộn dây và mạch từ

Khi hở mạch tải trên mạch bên thứ cấp thì vẫn có tổn hao trên biến áp gọi là tổn hao không tải, nó thường chiếm khoảng 5% công suất danh định của biến áp. Khi biến áp có tải lớn nhất theo công suất danh định (gọi là đầy tải) thì hiệu suất cao nhất khoảng 80% đến 90%.

Để tăng hiệu suất của biến áp phải giảm tổn hao bằng cách dùng lõi làm bằng các lá sắt từ mỏng có quét sơn cách điện, dây quấn dùng loại có tiết diện lớn và ghép chặt.

Tỉ lệ về tổng trở:

Có: $U_1 = n \cdot U_2$ và $I_1 = \frac{1}{n} \cdot I_2$

$$\Rightarrow R_1 = \frac{U_1}{I_1} = n^2 \cdot \frac{U_2}{I_2} = n^2 \cdot R_2 \qquad \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 = n^2$$

với R_2 là tải thứ cấp và R_1 được gọi là điện trở tải phản ánh về sơ cấp.

Khi có tải với trở kháng Z_2 nối tới cuộn thứ cấp, trở kháng của cuộn sơ cấp lúc đó là $Z_1 = n^2 \cdot Z_2$, từ đó có thể xác định n theo hệ thức:

$$n = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}} \approx \sqrt{\frac{R_1}{R_2 + R_t}} \approx \sqrt{\frac{R_1}{R_t}}$$

đây chính là hệ thức để xác định loại biến áp dùng để phối hợp trở kháng giữa mạch sơ cấp R_1 và mạch thứ cấp R_t ($\gg R_2$)

4. Phân loại và ứng dụng của biến áp

Biến áp là linh kiện dùng để biến đổi điện áp, biến đổi dòng, ngăn cách thành phần dòng một chiều giữa các mạch khi hai cuộn dây được cách điện với nhau và có khi là phối hợp trở kháng giữa các tầng.

Người ta thường phân loại biến áp theo ứng dụng của chúng.

Một số loại biến áp thường gặp:

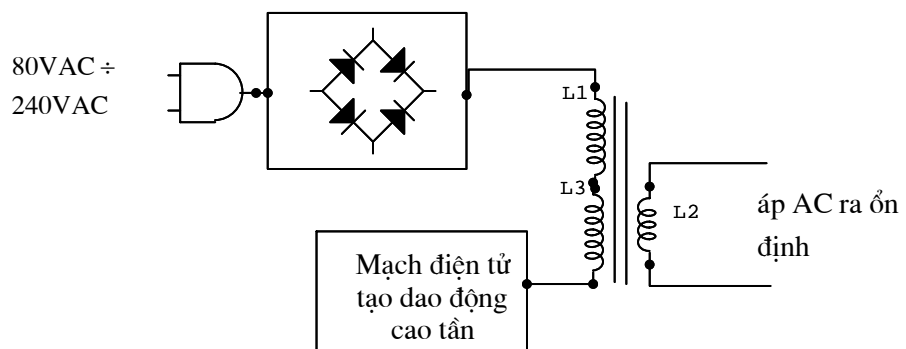
a. Biến áp nguồn (biến áp cấp điện)

Biến áp nguồn là biến áp làm việc ở tần số 50 đến 60 Hz để biến đổi điện áp lưới (thường là 110V – 60 Hz hoặc 220V – 50Hz) thành điện áp và dòng điện đầu ra theo yêu cầu đồng thời ngăn cách thiết bị khỏi nguồn điện cao áp.

Các biến áp nguồn thường có 3 đầu vào (0V, 110V và 220V) và nhiều đầu ra (0V, 1.5V, 3V, 4.5V, 6V ... 12V ... 24V)

Các thông số chính để chọn biến áp nguồn là trị số điện áp đầu ra và dòng điện lớn nhất qua được biến áp. Hai thông số này sẽ quyết định tới kích thước và giá thành của biến áp.

Các yêu cầu đối với một biến áp nguồn tốt là tổn hao trong lõi nhỏ, hệ số ghép cao, kích thước nhỏ gọn.



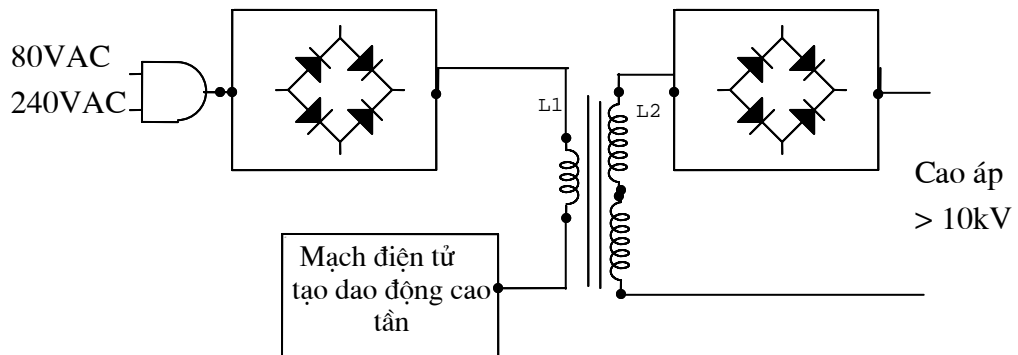
Hiện nay, với một số thiết bị yêu cầu nguồn cung cấp có độ ổn định cao như máy tính, màn hình, tivi, VCR ... người ta sử dụng mạch ổn áp dải rộng gọi là autovolt với sơ đồ như hình trên.

Sơ đồ trên có nguyên tắc hoạt động như sau: Nguồn điện lưới không ổn định được

Chương II: Linh kiện thụ động

đưa vào mạch nắn điện để tạo ra điện áp một chiều. Dòng dc này chạy qua cuộn dây bên sơ cấp rồi qua mạch điện tử tạo dao động cao tần. Dao động cao tần làm ức chế dòng dc, lúc có lúc mất, do đó tạo nên dòng i (ac) biến đổi nhanh, tạo ra sức điện động tự cảm rất lớn do di/dt lớn. Sức điện động này có thể lên tới 1kVAC và như vậy sự không ổn định của điện lưới ban đầu (80VAC – 240VAC) có thể coi như không ảnh hưởng tới sức điện động của cuộn thứ cấp, tức là cũng chẳng ảnh hưởng tới cuộn sơ cấp, đầu ra ac của mạch được ổn định.

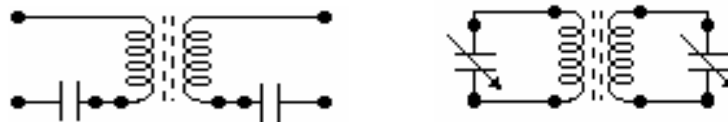
Dưới đây là mạch tạo cao áp cho đèn hình của tivi hoặc monitor máy tính cũng với nguyên tắc hoạt động giống như trên nhưng số vòng dây của L2 lớn hơn nhiều số vòng dây của L1 và bộ nắn điện thứ 2 đồng thời là bộ bội áp và đầu ra ta sẽ có cao áp có thể lên tới 20 – 30kV.



b. Biến áp cộng hưởng

Đây là biến áp cao tần có lõi không khí, sắt bụi hoặc ferit được ghép lỏng để có thể điều chỉnh lõi. Các tụ được mắc với các cuộn sơ cấp và thứ cấp để tạo thành các mạch cộng hưởng. Nếu chỉ có một tụ gọi là mạch cộng hưởng đơn, nếu có hai tụ gọi là cộng hưởng kép hoặc cộng hưởng lệch (nếu tần số cộng hưởng lệch nhau)

Biến áp cộng hưởng thường được sử dụng làm tải cho các tầng khuếch đại trộn tần, chọn lọc tần số ...



c. Biến áp âm tần

Biến áp âm tần làm việc ở dải tần số âm tần từ 20 Hz đến 20 kHz. Biến áp này cho phép biến đổi điện áp mà không gây méo dạng sóng, ngăn cách thành phần một chiều giữa các tầng, biến đổi pha ...

Do làm việc ở tần số thấp nên các biến áp âm tần thường có lõi sắt từ, kích thước và trọng lượng lớn. Chính vì lý do này mà biến áp âm tần càng ngày càng ít được sử dụng.

Chương III

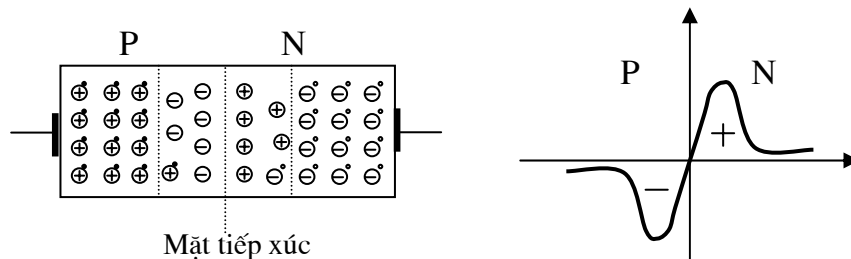
LINH KIỆN TÍCH CỰC

I. LỚP CHUYỂN TIẾP P-N

1. Sự hình thành lớp chuyển tiếp P-N và tính chất của nó

Trên một phiến tinh thể đơn bằng phương pháp công nghệ nào đó (plana khuếch tán – epitaxi) ta nhận được 2 miền: một miền chứa tạp chất acceptor (miền P) và một miền chứa tạp chất donor (miền N). Ranh giới tiếp xúc của 2 miền P và N được gọi là lớp tiếp xúc công nghệ hay lớp tiếp xúc luyện kim hay lớp chuyển tiếp P-N. Nghĩa là, để nhận được chuyển tiếp P-N trên thực tế không thể lấy 2 phiến bán dẫn P và N ghép với nhau một cách đơn giản mà người ta phải tiến hành pha tạp chất vào bán dẫn thuần sau đó pha tiếp tạp chất khác loại để nó chuyển từ loại P sang loại N hoặc ngược lại. Tại nơi chuyển đặc tính điện hình thành chuyển tiếp P-N và đó chính là sự quá độ từ bán dẫn P sang N hoặc ngược lại.

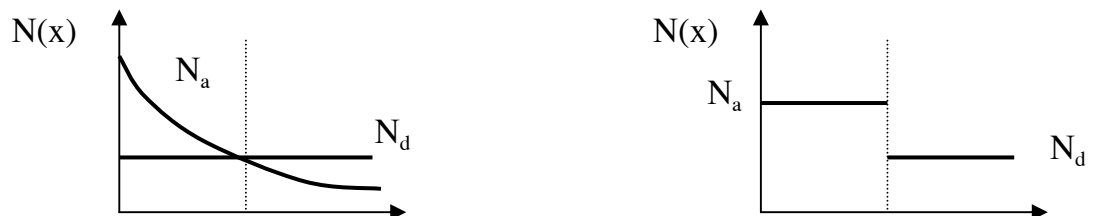
Mật tiếp xúc chỉ nơi nồng độ donor bằng nồng độ acceptor.



Cấu trúc của tiếp xúc P-N và phân bố điện tích âm/dương trong vùng điện tích không gian

Tùy theo sự phân bố tạp chất tại miền gần bề mặt tiếp xúc, người ta chia chuyển tiếp P-N thành 2 loại chính là:

- + Chuyển tiếp P-N nhảy bậc nếu sự biến đổi nồng độ tạp chất xảy ra đột ngột
 - + Chuyển tiếp P-N tuyến tính nếu sự biến đổi nồng độ tạp chất xảy ra từ từ
- Hình dưới đây biểu diễn kiểu pha tạp tuyến tính và nhảy bậc



Chương III: Linh kiện tích cực

Tuy nhiên đặc tính của cả 2 loại này giống nhau nên trong quá trình nghiên cứu chuyển tiếp P - N ta không cần chú ý tới chuyển tiếp P - N thuộc loại nào.

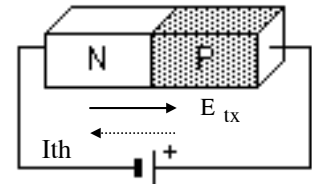
Chuyển tiếp P-N là một dạng tiếp xúc phi tuyến có tính chất dẫn điện không đối xứng theo hai chiều điện áp đặt vào.

Khi chưa có điện áp ngoài đặt vào chuyển tiếp P-N ở dạng cân bằng nhiệt động và không có dòng qua nó. Các ion âm bên P và ion dương bên N tạo nên một điện trường trong gọi là điện trường tiếp xúc E_{tx} hướng từ N sang P làm cân bằng dòng khuếch tán của các hạt dẫn đa số (do sự chênh lệch nồng độ) và dòng trôi của các hạt thiểu số (do được E_{tx} gia tốc). Chính vì vậy, trạng thái này của chuyển tiếp P-N gọi là trạng thái cân bằng động (có hai dòng ngược nhau qua chuyển tiếp nhưng dòng tổng bằng 0).

Miền được tạo thành từ các khối ion âm và dương gọi là miền điện tích không gian (SCR) hay miền nghèo vì hầu như không có hạt dẫn tự do ở đây. Đặc tính điện của miền này sẽ quyết định đặc tính điện của chuyển tiếp P-N.

2. Lớp chuyển tiếp P - N phân cực thuận (Forward Bias)

Khi đặt một điện trường ngoài lên lớp chuyển tiếp P - N theo chiều cực dương nối với P và cực âm nối với N thì chuyển tiếp P - N được gọi là phân cực thuận. Xem hình bên



Điện trường ngoài ngược chiều với điện trường tiếp xúc và phá vỡ trạng thái cân bằng của chuyển tiếp P - N. Cực dương của nguồn điện áp ngoài sẽ đẩy các lỗ trống từ bên P về phía bên N và bị hút về cực âm của nguồn.

Ngược lại, cực âm của nguồn đẩy electron bên N về phía bên P và bị hút về dương nguồn tạo thành mạch kín. Như vậy, nguồn điện áp ngoài đã làm cho các hạt dẫn đa số dễ dàng di chuyển qua chuyển tiếp tạo thành dòng thuận I_{th} . Thực chất đây là dòng tổng của dòng khuếch tán và dòng trôi nhưng dòng khuếch tán lớn hơn nhiều so với dòng trôi.

Dòng điện thuận tăng theo quy luật hàm mũ cùng với sự tăng của điện áp ngoài theo chiều thuận:

$$i_p(0) = \frac{q.S}{L_p} . D_p . p^{(N)} . \left[\exp\left(\frac{q.E_{ng}}{KT}\right) - 1 \right]$$

Trong đó:

q : điện tích của điện tử ($q = 1,6.10^{-19}$ C)

S : diện tích tiếp xúc

L_p : độ dài khuếch tán của lỗ trống

D_p : hệ số khuếch tán của lỗ trống

$p^{(N)}$: nồng độ lỗ trống ở bán dẫn lại N

E_{ng} : điện áp ngoài (+)

$i_p^{(0)}$: mật độ dòng lỗ trống đi qua chuyển tiếp

Những hạt dẫn đa số sau khi vượt qua chuyển tiếp P - N sang phía bán dẫn bên kia gọi là các hạt thiểu số trôi và hiện tượng này gọi là hiện tượng tiêm hạt dẫn thiểu số trôi qua miền điện tích không gian.

3. Lớp chuyển tiếp P-N phân cực ngược (Reverse Bias)

Đặt một điện áp ngoài lên chuyển tiếp P - N với cực dương đặt lên N và cực âm đặt lên P ta có chuyển tiếp P - N phân cực ngược. Xem hình bên

Hiện tượng hoàn toàn ngược với trường hợp phân cực thuận. Nghĩa là do điện áp ngoài cùng chiều với điện trường trong nên điện trường tổng trong miền điện tích không gian tăng lên, kéo theo sự gia tăng của độ cao rào thế và độ rộng của miền này. Dòng khuếch tán bị giảm còn dòng trôi được tăng cường.

Tiếp tục tăng điện áp ngược thì dòng ngược tăng nhưng do nồng độ các hạt thiểu số rất ít nên ban đầu dòng ngược tăng theo quy luật hàm mũ theo sự tăng của điện áp ngoài sau đó nó nhanh chóng đạt tới giá trị bão hoà (i_s) và không tăng nữa cho dù vẫn tăng điện áp ngược.

$$i_n(0) = \frac{q.S}{L_n} \cdot D_n \cdot n^{(P)} \cdot \left[\exp\left(\frac{q.E_{ng}}{KT}\right) - 1 \right]$$

Có thể tính i_s như sau:

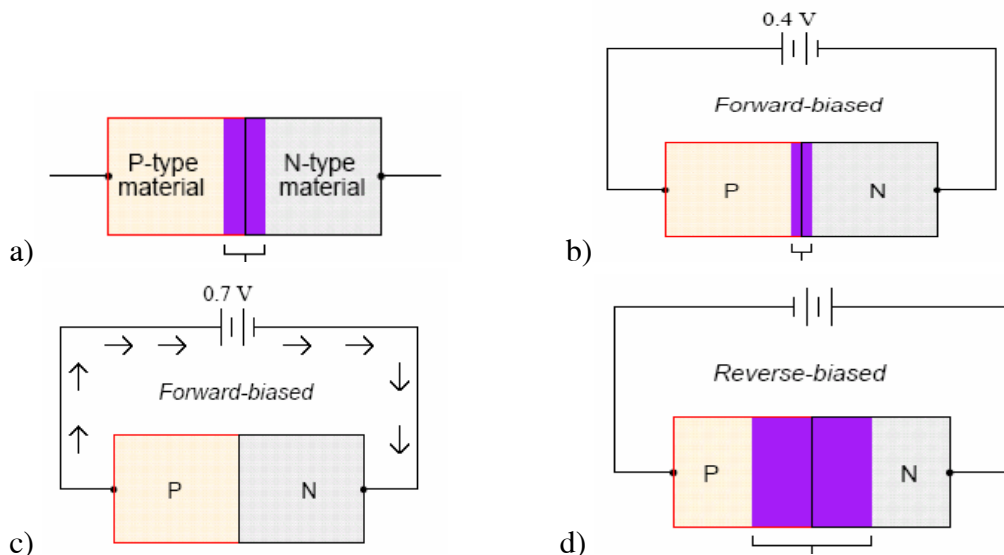
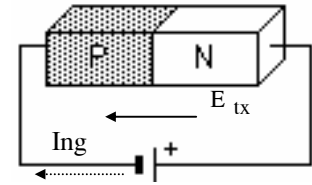
$$i_s = q.S \cdot \left(\frac{D_n}{L_n} \cdot n^{(P)} + \frac{D_p}{L_p} \cdot p^{(N)} \right)$$

$n^{(P)}$: nồng độ điện tử ở bán dẫn loại P

$p^{(N)}$: nồng độ lỗ trống ở bán dẫn loại N

Chú ý: Đối với bán dẫn Ge: $i_s \sim 100\text{nA}$; với bán dẫn Si: $i_s \sim 10\text{ pA}$

Tóm lại, các chế độ phân cực cho diode và độ rộng tương ứng của vùng nghèo được minh họa ở hình dưới đây.



- trong đó:
- a). Chưa phân cực (không có dòng, độ rộng của vùng nghèo không đổi)
 - b). Phân cực thuận nhỏ hơn điện áp ngưỡng (dòng thuận rất nhỏ, vùng

Chương III: Linh kiện tích cực

nghèo thu hẹp dần)

c). Phân cực thuận ở mức ngưỡng (dòng thuận lớn, vùng nghèo biến mất)

d). Phân cực ngược (không có dòng, vùng nghèo rộng ra)

4. Đặc tuyến Von - Ampe của chuyển tiếp P - N

Đặc tuyến Von-ampe biểu thị mối quan hệ giữa dòng điện chạy qua chuyển tiếp P - N với điện áp đặt lên nó.

$$I = f(U_{\text{ngoài}})$$

Dòng điện tổng qua chuyển tiếp được tính:

$$i = i_S \cdot \left[\exp\left(\frac{q \cdot E_{ng}}{KT}\right) - 1 \right]$$

$$\text{với } i_S = q \cdot S \cdot \left(\frac{D_n}{L_n} \cdot n^{(P)} + \frac{D_p}{L_p} \cdot p^{(N)} \right)$$

Khi E_{ng} là điện thế phân cực ngược và $E_{ng} \gg KT/q$ ta có:

$$i \approx i_S \cdot \exp\left(\frac{q \cdot E_{ng}}{KT}\right)$$

Từ phương trình này có thể vẽ được đặc tuyến Von-ampe của chuyển tiếp P - N như hình bên.

Đoạn đặc tuyến thuận:

$$i_{th} = i_S \cdot \left[\exp\left(\frac{V_{ng}}{V_T}\right) - 1 \right] \quad \text{với } V_T = KT/q \text{ là}$$

điện thế nhiệt, $V_T \sim 26 \text{ mV}$ ở nhiệt độ phòng $T = 300\text{K}$; $K = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$; $e = 2,73$;

Qua đặc tuyến có thể thấy dòng điện thuận $\sim \text{mA}$ trong khi dòng điện ngược chỉ $\sim \mu\text{A}$. Như vậy, $i_{th} \gg i_{ng}$ chứng tỏ chuyển tiếp P - N có đặc tính dẫn điện gần như 1 chiều nên được gọi là **lớp chuyển tiếp chỉnh lưu**.

Dòng tổng qua chuyển tiếp được tính theo công thức:

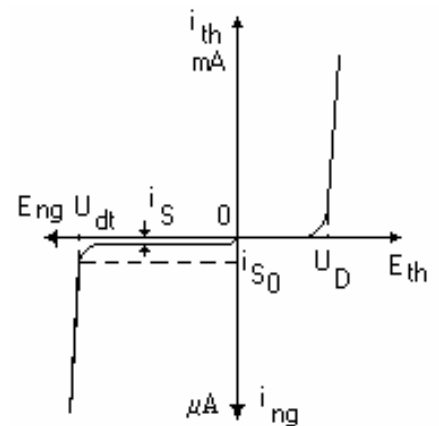
$$I = I_S \cdot \left[\exp\left(\frac{V_{ng}}{\eta \cdot V_T}\right) - 1 \right]$$

$$\eta = 1 \text{ với Ge (dòng điện lớn)} \quad \eta = 2 \text{ với Si (dòng điện nhỏ)}$$

Đoạn đặc tuyến ngược :

Khi điện áp ngược nhỏ, dòng ngược nhỏ và tăng chậm do số hạt dẫn thiểu số ở 2 phía bán dẫn ít. Ở đoạn này dòng điện ngược là một hằng số không phụ thuộc vào điện áp ngược và được gọi là dòng điện ngược bão hoà (I_S)

Khi điện áp ngược đạt giá trị lớn xác định nào đó thì dòng điện ngược tăng đột ngột gây ra hiện tượng đánh thủng chuyển tiếp P - N.



Chương III: Linh kiện tích cực

Nguyên nhân: do điện trường lớn nên các hạt chuyển động qua vùng điện tích không gian có tốc độ cao và do đó làm ion hoá các nguyên tử bán dẫn nên để tạo ra các cặp điện tử- lỗ trống mới. Quá trình tiếp diễn nhanh và mạnh nên dòng ngược rất lớn và hiện tượng này gọi là đánh thủng thác lũ (ion hoá do va chạm). Ngoài ra, nếu điện trường đủ lớn để ion hoá trực tiếp nguyên tử bán dẫn thì chuyển tiếp P-N cũng bị đánh thủng theo hiệu ứng xuyên hầm (hiệu ứng zene). (xem phân tích chi tiết trong phân diode)

II. DIODE

“Diode” nghĩa là “hai nguyên tố”. Trong những năm đầu của điện tử và vô tuyến, hầu hết các diode là các ống chân không hai cực. Catot phát ra các electron và anốt sẽ thu các electron đó. Trong các ống chân không này điện áp của catot và anốt lên tới hàng trăm thậm chí hàng ngàn Volt một chiều.

Ngày nay, khi nói tới diode chúng ta hình dung đó là không phải là ống chân không nặng nề mà chỉ là các mẫu nhỏ làm từ silicon hoặc các vật liệu bán dẫn khác, người ta gọi đó là diode bán dẫn. Diode bán dẫn có những đặc tính tuyệt vời mà ống chân không không thể có và chúng được ứng dụng rất rộng rãi trong ngành kỹ thuật điện tử. Phần dưới đây sẽ giới thiệu chi tiết diode bán dẫn.

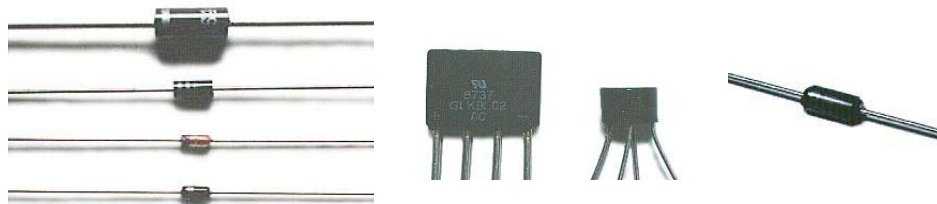
1. Cấu tạo và ký hiệu



Cấu tạo, ký hiệu diode

Diode bán dẫn là một linh kiện điện tử gồm 1 chuyển tiếp P - N và 2 chân cực anốt nối với bán dẫn P và catốt nối với bán dẫn N.

Hình dạng thực tế của một số loại diode:

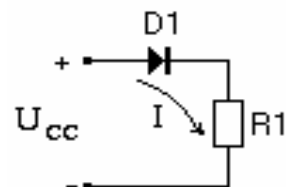


2. Nguyên tắc làm việc, đặc tuyến Von-ampe của diode

+ Nguyên tắc làm việc của diode

Dựa trên tính chất dẫn điện một chiều của chuyển tiếp P - N. Hình bên là sơ đồ cấp nguồn cho diode.

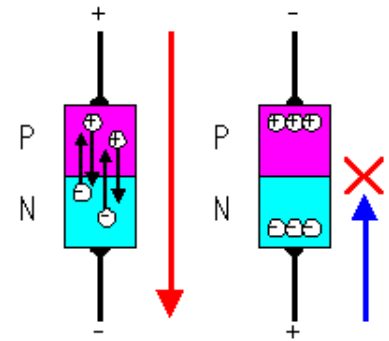
Khi đưa điện áp ngoài có cực dương nối vào anốt, cực âm nối vào catốt ($U_{AK} > 0$) thì diode sẽ dẫn điện và trong mạch có dòng điện chạy qua (coi như ngắn mạch). Khi electron dịch chuyển từ bên N (catot) sang bên P (anot) do sự chênh lệch nồng độ thì sự thiếu hụt này sẽ được cực âm



Chương III: Linh kiện tích cực

của nguồn pin cung cấp. Đồng thời, cực dương của nguồn cũng thu lại các electron này từ bên P. Khi này người ta nói chuyển tiếp P - N được phân cực thuận và diode như một khoá đóng làm ngắt mạch.

Khi điện áp ngoài có cực âm nối vào anốt, dương nối vào catốt ($U_{AK} < 0$) diode sẽ bị khoá (coi như làm hở mạch). Sở dĩ vậy là do các điện cực hút electron bên N về phía cực dương còn lỗ trống bên P lại bị hút về phía cực âm, nghĩa là các hạt dẫn điện bị kéo về hai đầu cực. Điều này làm cho số hạt dẫn trong vùng nghèo giảm đi rõ rệt và hoạt động như một chất cách điện. Ta nói chuyển tiếp P - N phân cực ngược và diode như một khoá mở làm ngắt mạch (thực chất là chỉ có dòng điện ngược rất nhỏ chạy qua)



+ Đặc tuyến Von-ampe của diode

Đặc tuyến Von-ampe của diode biểu thị mối quan hệ giữa dòng điện qua diode và điện áp đặt giữa 2 chân cực anốt và catốt (U_{AK}). Đây chính là đặc tuyến Von-ampe của lớp chuyển tiếp P - N vì bộ phận chính của diode là lớp chuyển tiếp P - N.

$$I = f(U_{AK})$$

Dòng điện chạy qua diode được tính theo công thức tính dòng điện qua chuyển tiếp P - N. Trong biểu thức này ta chỉ việc thay U_{AK} vào vị trí của $V_{ngoài}$ và ta sẽ có:

$$I = I_S \cdot \left[\exp\left(\frac{V_{AK}}{\eta \cdot V_T}\right) - 1 \right]$$

$\eta = 2$ với dòng điện nhỏ (Si) và $\eta = 1$ với dòng điện lớn (Ge)

Phần thuận của đặc tuyến (khi $U_{AK} > 0$)

+ Khi $U_{AK} < U_D$: dòng điện tăng chậm theo quy luật hàm mũ là: $\left[\exp\left(\frac{V_{AK}}{2 \cdot V_T}\right) - 1 \right]$

(thông thường khi này $I_{th} < 1\% I_{thmax}$)

+ Khi $U_{AK} > U_D$: dòng điện tăng nhanh hơn theo quy luật hàm mũ là:

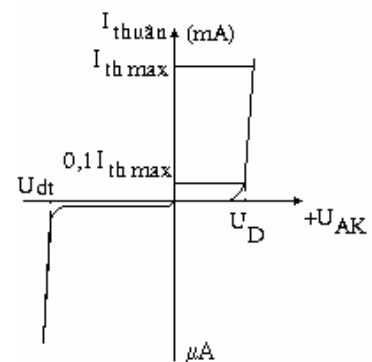
$$\left[\exp\left(\frac{V_{AK}}{V_T}\right) - 1 \right] \quad (\text{tăng gần như tuyến tính với điện áp})$$

Trong đó U_D được gọi là điện áp ngưỡng của diode. Khi $U_{AK} = U_D$ thì diode mới bắt đầu được tính là phân cực thuận, lúc này dòng điện thuận mới đủ lớn và bằng $0,1 I_{thmax}$

I_{thmax} là dòng điện thuận cực đại cho phép của diode, diode không được làm việc với dòng điện cao hơn trị số này. Điện áp ứng với giá trị I_{thmax} được gọi là U_{bh} , nó có giá trị khoảng 0,8V đối với diode Ge và khoảng 1,2V đối với diode Si.

Với diode Ge giá trị $U_D \approx 0,3V$ và với diode Si giá trị $U_D \approx 0,7V$

Vùng phân cực thuận có đặc trưng là dòng lớn (mA), điện áp nhỏ và điện trở nhỏ (Ω)



Phần ngược của đặc tuyến Von-ampe

Vùng phân cực ngược (hay còn gọi là vùng khoá của diode) với đặc trưng là dòng nhỏ có giá trị I_{S0} (μA) gần như không đổi, áp lớn (hàng chục cho tới hàng trăm V tùy từng loại diode) và điện trở lớn (hàng chục nghìn Ω)

Khi U_{AK} tăng tới một giá trị U_{dt} thì dòng điện ngược tăng vọt, người ta gọi đó là **hiện tượng đánh thủng** chuyển tiếp P - N. Hiện tượng này làm mất khả năng chỉnh lưu của diode (trừ diode Zene là diode sử dụng đoạn đánh thủng của đặc tuyến để ổn định điện áp). Điện áp tại điểm đánh thủng gọi là điện áp đánh thủng và ký hiệu là U_{dt} .

U_{dt} có giá trị khoảng 12V đối với diode tách sóng và khoảng 100V đối với diode nắn điện.

Có 2 hiện tượng đánh thủng: đánh thủng vì điện và đánh thủng vì nhiệt

+ **Đánh thủng vì nhiệt** thường xảy ra với Ge khi nhiệt lượng thoát ra nhỏ hơn nhiệt lượng sinh ra trong chuyển tiếp. Nói cách khác, có sự tích lũy nhiệt trong quá trình hoạt động của diode. Khi đó dòng ngược tăng nhanh, dòng ngược tăng lại làm nhiệt độ tăng Quá trình liên tục theo một chu trình và tới một giới hạn nào đó thì dòng ngược lớn sẽ đánh thủng chuyển tiếp (đánh thủng vĩnh viễn).

Nguyên nhân: nhiệt năng được cung cấp trực tiếp cho nguyên tử bán dẫn nên và làm bật ra các điện tử, người ta gọi đây là hiện tượng phát xạ cặp điện tử - lỗ trống do nhiệt. Khi này số điện tử và lỗ trống trội hơn hẳn so với hạt dẫn sinh ra do quá trình ion hoá tạp chất.

+ **Đánh thủng vì điện** thường xảy ra với diode Si. Có 2 cơ chế là đánh thủng xuyên hầm và đánh thủng thác lũ

Đánh thủng xuyên hầm (đánh thủng Zene) là hiện tượng đánh thủng lớp chuyển tiếp P - N theo cơ chế xuyên hầm. Sự đánh thủng sẽ xảy ra khi điện trường đặt lên chuyển tiếp đạt giá trị tới hạn nào đó. Khi này **điện trường ion hoá chính những nguyên tử chất bán dẫn nên** và làm số hạt dẫn tăng đột ngột, kéo theo dòng ngược tăng đột ngột.

Thông thường giá trị tới hạn của cường độ điện trường đặt lên chuyển tiếp P - N là $3.10^7 V/m$ với diode Ge và $8.10^7 V/m$ với diode Si.

Đánh thủng thác lũ là hiện tượng đánh thủng lớp chuyển tiếp P - N theo cơ chế thác lũ, nghĩa là **sự ion hoá các nguyên tử của mạng tinh thể bởi sự va chạm với các hạt tải điện mạng năng lượng lớn**. Khi này điện trường gia tốc cho điện tử và lỗ trống làm cho chúng chuyển động nhanh và va chạm với các nguyên tử trong mạng gây ra hiện tượng ion hoá do va chạm. Như vậy số cặp điện tử và lỗ trống tăng lên và kết quả là dòng điện qua chuyển tiếp tăng mạnh.

Chú ý:

+ Điện áp đánh thủng tỉ lệ nghịch với nồng độ pha tạp chất trong chất bán dẫn. Chất bán dẫn pha tạp càng nhiều thì điện áp đánh thủng càng nhỏ. Tùy theo vật liệu mà điện áp đánh thủng có thể từ vài V tới vài chục ngàn V.

+ Đánh thủng xuyên hầm là quá trình xảy ra tức thời. Đánh thủng thác lũ cần có một thời gian để gia tốc cho hạt dẫn.

+ Độ rộng miền điện tích không gian càng rộng thì đánh thủng thác lũ càng xảy ra mãnh liệt (do đoạn tăng tốc cho hạt dẫn dài nên tốc độ hạt dẫn lớn) còn đánh thủng zene không bị ảnh hưởng.

+ Có thể làm quá trình thác lũ xảy ra mạnh hơn nếu tăng số hạt dẫn bằng một

Chương III: Linh kiện tích cực

phương pháp bên ngoài nào đó (chiếu sáng hoặc bắn phá ion...) nhưng điều này không làm ảnh hưởng tới đánh thủng zene.

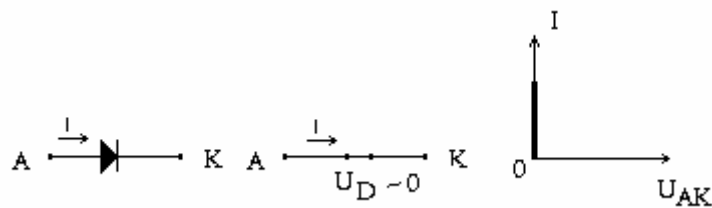
3. Mô hình gần đúng và tham số của diode

Mô hình tương đương gần đúng của diode đưa ra nhằm thay thế diode trong mạch điện để dễ tính toán hay xác định các tính chất của nó.

a. Sơ đồ tương đương khi diode phân cực thuận

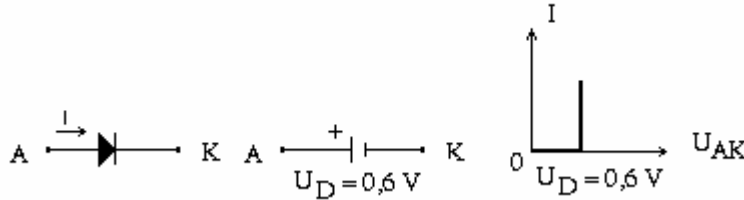
+ Khi điện áp trong mạch lớn hơn nhiều điện áp ngưỡng U_D ($U_D \sim 0,6V$ với Si và $0,2V$ với Ge). Lúc này coi diode như một khoá điện tử ở trạng thái đóng và đặc tuyến Von-ampe coi như trường hợp ngắn mạch

+ Khi điện áp đúng bằng U_D . Đặc tuyến Von-ampe là một đường thẳng song



Diode như một khoá điện tử đóng

song với trục I tại U_D và diode được coi là nguồn điện áp lý tưởng.

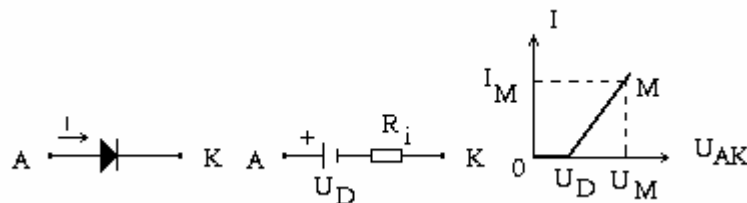


Diode như một nguồn điện áp lý tưởng

+ Khi diode có điện trở trong là một điện trở thuần. Trường hợp này diode được coi như một nguồn điện áp thực.

Điện áp thuận của diode lúc này được tính bằng :

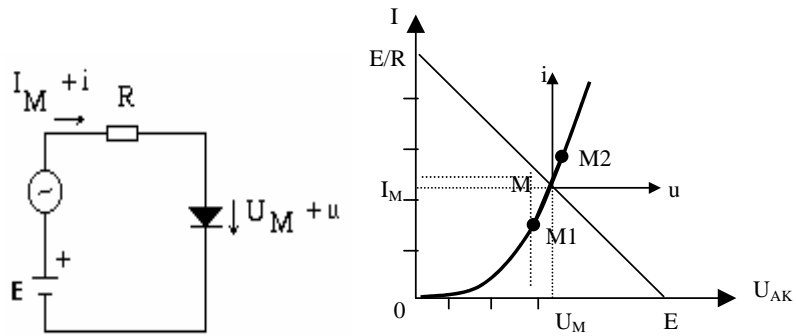
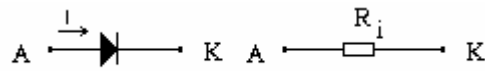
$$U_{th} = U_D + I_{th}.R_i$$



Diode là một nguồn điện áp thực

Chương III: Linh kiện tích cực

+ Sơ đồ tương đương ở chế độ tín hiệu nhỏ tần số thấp



Diode được coi như một phần tử tuyến tính

Chế độ tĩnh là chế độ diode làm việc với nguồn một chiều E

Chế độ động là chế độ diode làm việc với nguồn xoay chiều $U \sim$

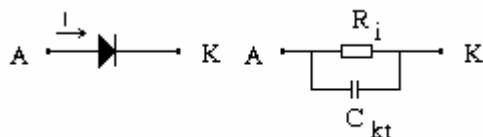
Ở chế độ tĩnh diode là một phần tử phi tuyến vì điểm làm việc có thể di chuyển theo các giá trị khác nhau của đặc tuyến Von-ampe.

Ở chế độ động sự biến thiên của tín hiệu là nhỏ để giới hạn điểm M chỉ trên đoạn M1M2. Do đó, diode được coi là một phần tử tuyến tính và điện trở động của diode được

tính như sau :

$$R_i = \frac{26mV}{I_M}$$

+ Sơ đồ tương đương ở chế độ tín hiệu nhỏ tần số cao



Diode ở chế độ tín hiệu nhỏ tần số cao

Khi này có thể coi diode như là một điện trở thuận R_i mắc song song với một điện dung khuếch tán C_{kt} .

Điện dung C_{kt} xuất hiện trong khoảng thời gian τ là khoảng thời gian lệch pha giữa i và u . Có thể tính C_{kt} như sau:

$$C_{kt} = \frac{\tau}{R_i} \text{ trong đó } \tau \text{ có giá trị từ vài ns đến } \mu s$$

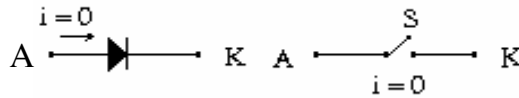
b. Sơ đồ tương đương khi diode phân cực ngược

+ Sơ đồ tương đương như một khoá ở trạng thái hở

Khi bị phân cực ngược, diode hầu như không cho dòng đi qua, do đó có thể coi

Chương III: Linh kiện tích cực

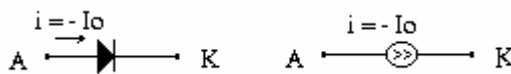
như một khoá điện tử mở.



Diode là một khoá điện tử mở

+ Sơ đồ tương đương như một nguồn dòng lý tưởng

Khi đặt một điện áp ngược nằm trong khoảng cho phép (nhỏ hơn điện áp đánh thủng) lên diode, dòng qua diode lúc này là dòng ngược có giá trị gần như không đổi (dòng ngược bão hoà) nên có thể coi nó như một nguồn dòng lý tưởng.



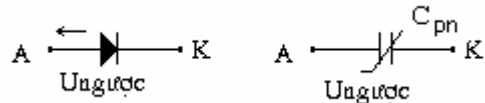
Diode là như một nguồn dòng lý tưởng

+ Sơ đồ tương đương như một tụ điện ở chế độ tín hiệu nhỏ

Lớp chuyển tiếp P-N của diode khi bị phân cực ngược có thể coi như một tụ điện với giá trị điện dung tiếp giáp C_{pn} .

C_{pn} có trị số biến thiên theo điện áp ngược đặt lên diode theo quy luật:

$$C_{pn} = \frac{C_0}{|U_{ngược}|^{1/n}} \text{ với } n = 2 \div 3$$



Diode như một tụ điện

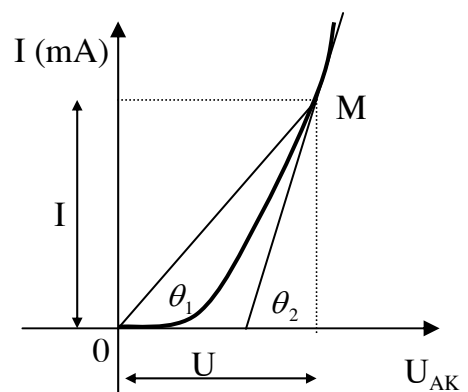
Tuy nhiên, khi điện áp thuận đảo cực thì cũng làm xuất hiện điện dung, gọi là điện dung khuếch tán C_{kt} . So với điện dung khuếch tán C_{kt} thì C_{pn} nhỏ hơn từ 100 tới 1000 lần

4. Các tham số tĩnh của diode

Để đánh giá, lựa chọn và sử dụng đúng diode ta cần biết các tham số kỹ thuật của nó, để từ đó có thể xác định các chế độ làm việc với các đại lượng đặc trưng là dòng điện, điện áp và công suất.

a. Điện trở tĩnh R_0

Điện trở tĩnh hay điện trở một chiều là điện trở của diode khi làm việc ở chế độ nguồn một chiều.



Xác định điện trở một chiều và điện trở động của diode

$$R_0 = \frac{U}{I}$$

$$\operatorname{tg} \theta_1 = \frac{I}{U} = \theta_1 = \frac{1}{R_0}$$

R_0 chính là nghịch đảo góc nghiêng của đặc tuyến Von-ampe tại điểm làm việc tĩnh (góc θ_1). Như vậy R_0 không phải là một giá trị cố định, nó phụ thuộc vào trị số điện áp và dòng điện.

b. Điện trở động R_i

R_i là nghịch đảo của góc nghiêng của tiếp tuyến với đặc tuyến Von-ampe, nghĩa là tỉ lệ với cotg góc nghiêng của đường tiếp tuyến Von-ampe tại điểm làm việc của diode, góc θ_2 .

$$R_i = \frac{dU}{dI} = \frac{\eta \cdot V_T}{I_0 \cdot e^{\frac{U}{\eta \cdot V_T}}} = \frac{\eta \cdot V_T}{I + I_0} = \cot g \theta_2$$

Do đặc tính dẫn điện một chiều của diode nên $I \gg I_0$ và $\left| \frac{U}{\eta \cdot V_T} \right| \gg 1$, do đó

$$R_i = \frac{\eta \cdot V_T}{I}$$

Do $\theta_2 > \theta_1$ nên $R_0 > R_i$

c. Hệ số chỉnh lưu k

Hệ số chỉnh lưu là thông số đặc trưng cho độ phi tuyến của diode và xác định bằng biểu thức sau:

$$k = \frac{I_{th}}{I_0} = \frac{R_{0nguoc}}{R_{0thuan}} \text{ khi } U_{AK} = \pm 1V$$

d. Điện dung C_d của diode

Điện dung của chuyển tiếp P - N gồm 2 thành phần:

$$C_d = C_{pn} + C_{kt}$$

Với: C_{pn} là điện dung bản thân hay điện dung rào thế của chuyển tiếp P - N

C_{kt} là điện dung khuếch tán của chuyển tiếp P - N

+ Điện dung rào thế C_{pn}

Khi ta đặt một điện áp ngược lên chuyển tiếp P - N, các hạt dẫn đa số sẽ di chuyển ra xa mặt tiếp xúc và ở đó chỉ còn lại các ion cố định. Khi này nếu biến đổi điện áp phân cực ngược thì số lượng điện tích trong miền điện tích không gian cũng biến đổi, kéo theo sự biến đổi của điện áp rơi trên 2 bờ miền điện tích không gian. Vậy, chuyển tiếp P - N khi phân cực ngược có hiệu ứng điện dung và người ta gọi đó là điện dung rào thế C_{pn} . Tham số C_{pn} không phải là một trị số cố định, nó phụ thuộc vào điện áp ngược đặt lên chuyển tiếp và được xác định theo công thức:

Chương III: Linh kiện tích cực

$$C_{pn} = \left| \frac{dQ}{dU} \right| \Rightarrow C_{pn} = \frac{\epsilon \cdot \epsilon_0}{X_m} \cdot A \text{ với } A \text{ là diện tích mặt tiếp xúc và } X_m \text{ là}$$

bề dày lớp tiếp xúc

Giá trị điện dung rào thế C_{pn} là hàm của điện áp ngược và sự biến thiên của C_{pn} ngược chiều với sự biến thiên của điện áp ngược. Lợi dụng tính chất này người ta chế tạo loại diode đặc biệt gọi là diode biến dung (*xem chi tiết ở phần sau*)

+ Điện dung khuếch tán C_{kt}

C_{kt} chỉ xuất hiện khi hiện tượng khuếch tán xảy ra (phân cực thuận). Khi chuyển tiếp phân cực thuận, qua chuyển tiếp P - N có dòng I_{th} chảy. Nếu đổi cực tính của chuyển tiếp dòng thuận sẽ ngừng chảy, tại thời điểm đó các hạt dẫn do dòng thuận mang tới chưa thể đi ra khỏi vùng này và do vậy tạo ra sự tích tụ điện tích. Các điện tích này sẽ phóng ra theo chiều ngược với dòng thuận đưa chúng tới, thời gian phóng hết các hạt dẫn này chính là bằng thời gian thiết lập lại trạng thái cân bằng ban đầu trước khi chuyển sang phân cực ngược. Như vậy, I_{ng} ban đầu bằng I_{th} sau giảm xuống bằng I_{S0} . Giá trị điện dung khuếch tán tỷ lệ thuận với dòng thuận I_{th} . Dòng này càng lớn, số điện tích lưu trong chuyển tiếp P - N càng lớn và do đó giá trị C_{kt} càng lớn.

Chú ý:

+ Cả 2 đại lượng C_{pn} và C_{kt} đều gây ảnh hưởng lớn tới đặc tính tần số và đặc tính quá độ của dụng cụ bán dẫn, đặc biệt là ở khu vực tần số cao.

+ Khu vực tần số thấp điện dung có thể coi như không đáng kể nhưng ở khu vực tần số cao dung kháng giảm nên có thể coi diode bị nối tắt. Người ta giảm điện dung bằng cách giảm diện tích tiếp xúc, do vậy diode cao tần còn gọi là diode tiếp điểm còn diode nắn dòng cần có mặt tiếp xúc lớn để có khả năng chịu tải nên gọi là diode tiếp mặt.

e. Điện áp ngược cực đại cho phép

$U_{ng\max}$ là giá trị điện áp ngược lớn nhất có thể đặt lên diode mà nó vẫn làm việc bình thường. Trị số này thường được chọn là $0,8U_{dt}$ với U_{dt} là điện áp đánh thủng diode.

Tùy theo cấu tạo của diode mà $U_{ng\max}$ có thể nằm trong khoảng từ vài V tới 10 ngàn V.

f. Khoảng nhiệt độ làm việc

Đây là khoảng nhiệt độ bảo đảm cho diode làm việc bình thường. Tham số này quan hệ với công suất tiêu tán cho phép của diode. Khi diode làm việc, dòng điện chạy qua nó sẽ làm cho diode nóng lên, điện năng biến thành nhiệt năng. Công suất cực đại mà diode có thể chịu được là:

$$P_{tt\max} = I_{\max} \cdot U_{AK\max}$$

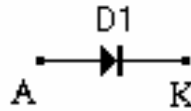
$$\text{hoặc là: } P_{tt\max} = P_{\max}(20^0) \cdot \frac{t_{\max}^0 - t_0^0}{t_{\max}^0 - 20^0} \text{ với } t_{\max}^0 \text{ là nhiệt độ cho phép cực đại của}$$

chuyển tiếp P - N và t_0^0 là nhiệt độ môi trường

Như vậy nhiệt độ môi trường tăng thì $P_{tt\max}$ sẽ giảm. Khoảng nhiệt độ làm việc của diode Ge là -60^0C đến $+85^0\text{C}$; Si là -60^0C đến 150^0C

5. Phân loại và ứng dụng

a. Diode chỉnh lưu (nắn điện – Rectifier)



Ký hiệu của diode chỉnh lưu

Diode chỉnh lưu sử dụng đặc tính dẫn điện một chiều để chỉnh lưu dòng điện xoay chiều thành dòng điện một chiều. Nghĩa là nó chỉ chuyển dòng điện theo một hướng thuận khi anốt có điện áp dương hơn catốt (dương hơn một giá trị điện áp nhất định tùy thuộc loại diode, đó chính là điện áp ngưỡng)

Cần quan tâm tới 2 tham số quan trọng sau khi sử dụng diode chỉnh lưu:

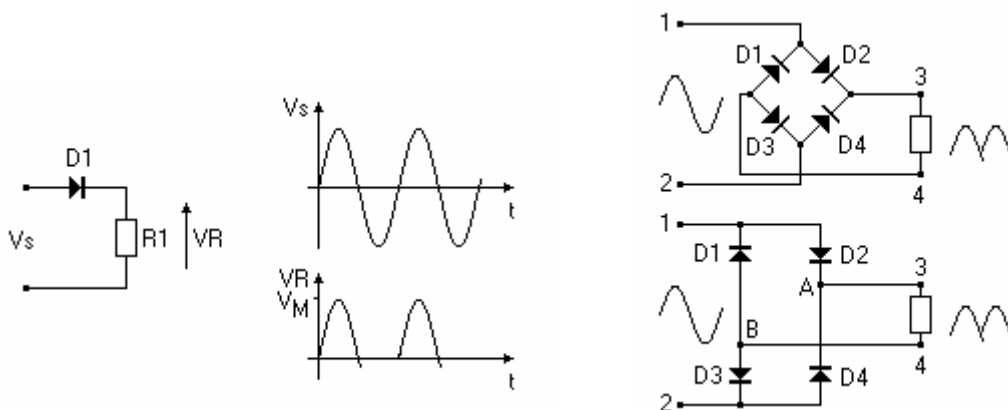
+ Dòng điện thuận cực đại I_{max} là dòng điện cho phép xác định dòng chỉnh lưu cực đại.

+ Điện áp ngược tối đa cho phép $U_{ngược\ max}$ sẽ xác định điện áp chỉnh lưu lớn nhất. Người ta thường chọn $U_{ngược\ max} = 0,8 U_{dt}$.

Trong trường hợp chỉnh lưu công suất nhỏ, nhiệt độ thấp (khoảng $75^{\circ}C$) người ta dùng Ge và công suất lớn nhiệt độ cao (khoảng $125^{\circ}C$) dùng Si. Do dòng điện chỉnh lưu và điện áp ngược cực đại phụ thuộc vào nhiệt độ môi trường nên các diode công suất thường được gắn trên các bộ tản nhiệt.

Diode chỉnh lưu dùng để biến đổi dòng điện xoay chiều thành dòng điện một chiều. Có 2 kiểu chỉnh lưu là chỉnh lưu nửa chu kỳ và chỉnh lưu cả chu kỳ.

Hiện nay người ta sản xuất sẵn cầu diode nhưng lắp 4 diode theo kiểu cầu cho chất lượng mạch tốt hơn và dễ sửa chữa hơn dù mạch có công kênh hơn.

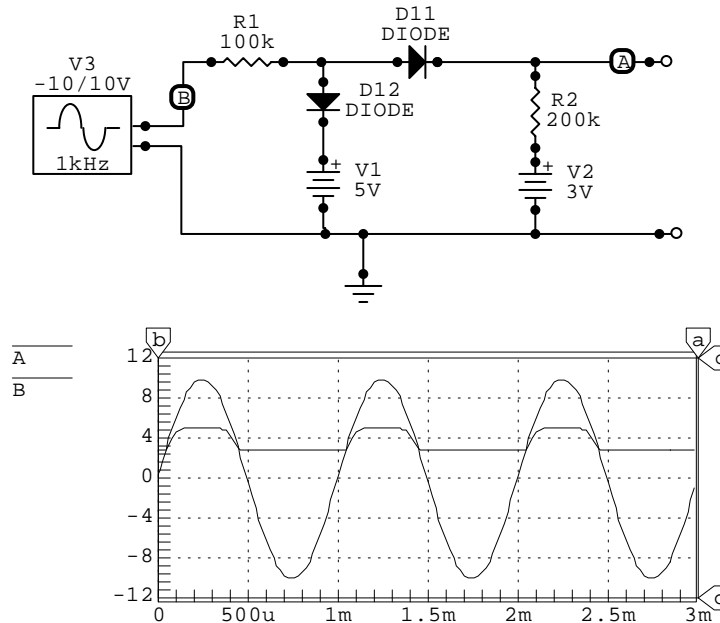


Mạch chỉnh lưu nửa chu kỳ và mạch chỉnh lưu cả chu kỳ

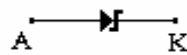
Ngoài ứng dụng làm mạch chỉnh lưu như trên người ta còn lợi dụng các điện áp ngưỡng của diode (0,3V cho diode Ge và 0,6V cho diode Si) để hạn chế biên độ của tín hiệu.

Chương III: Linh kiện tích cực

hiệu. Cơ chế này đôi khi được áp dụng trong các thiết bị nhận sóng radio để ngăn chặn tiếng ồn khi một tín hiệu lớn đến. Với một số mạch âm thanh để bảo vệ mạch khỏi sự vượt quá ngưỡng người ta cũng sử dụng diode để hạn biên mặc dù điều này có thể làm biến dạng chất lượng âm thanh. Dưới đây là ví dụ về một mạch hạn biên với các dạng sóng đầu vào (B) và đầu ra (A)



b. Diode ổn áp (Zene)



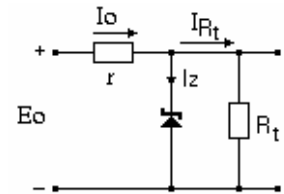
Ký hiệu của diode Zene

Cấu tạo: Diode Zene có cấu tạo tương đối đặc biệt ở chỗ nó có nồng độ pha tạp chất rất cao, có vỏ bằng thủy tinh trong suốt và kích thước khá nhỏ.

Nguyên tắc làm việc: diode ổn áp làm việc trên đoạn đặc tuyến ngược. Người ta lợi dụng chế độ đánh thủng về điện của chuyển tiếp P - N để ổn định điện áp (từ 3V đến 300V). Giá trị điện áp đánh thủng này phụ thuộc vào bề dày lớp tiếp xúc, tức là phụ thuộc vào nồng độ pha tạp chất.

Đa số các diode ổn áp đều được chế tạo từ Si và là diode tiếp mặt (do phải chịu dòng lớn)

Khi phân cực thuận diode Zene hoạt động như một diode bình thường. Khi phân cực ngược và làm việc ở chế độ đánh thủng thì nó không bị hỏng như diode khác. Từ sơ đồ trên ta thấy khi điện áp thấp hơn điện áp ngưỡng diode coi như làm hở mạch, khi điện áp vượt quá điện áp ngược điện trở của diode bắt đầu giảm. Điện áp càng tăng dòng qua diode càng lớn, nghĩa là nó ngăn chặn một cách hiệu quả điện áp đảo vượt quá điện áp



cho phép trên hai đầu điện trở tải.

Độ ổn định của mạch được tính:

$$\Delta U_{od} = \frac{\Delta E_0}{1 + \frac{r}{R_t} + \frac{r}{R_i}}$$

với r là điện trở để hạn dòng chạy trong mạch;

$R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I}$ là điện trở trong, R_i càng nhỏ thì chất lượng ổn định càng cao.

Các tham số quan trọng của diode ổn áp là:

+ Điện áp ổn định U_Z

+ Điện trở trong R_i

+ Công suất định mức P_Z , nó là công suất tiêu tán trên diode khi có dòng I_Z chảy qua

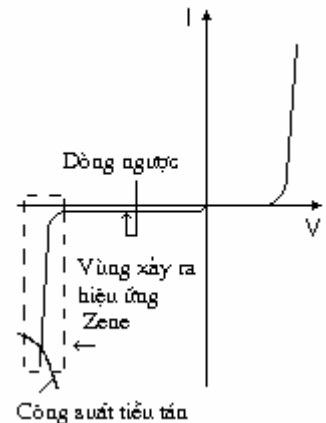
$$P_Z = U_Z \cdot I_Z$$

+ I_{min} là trị số dòng điện nhỏ nhất tại điểm mà hiện tượng đánh thủng ổn định

+ I_{max} là trị số dòng điện cực đại qua diode được xác định bởi công suất tiêu tán cực đại trên diode (nếu $I > I_{max}$ diode sẽ bị cháy)

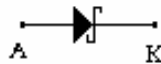
Diode Zene có đặc tuyến Von-ampe gần như của diode thường nhưng vùng làm việc ở đoạn đặc tuyến ngược với hiệu ứng đánh thủng Zene.

Diode Zene được sử dụng trong các mạch nguồn và các mạch có yêu cầu độ ổn định điện áp cao.



Đặc tuyến Von-ampe của diode Zene

c. Diode xung



Ký hiệu của diode xung

Khi này diode được sử dụng như một khoá điện tử ở một trong 2 trạng thái:

“dẫn” khi điện trở trong của diode rất nhỏ

“ngắt” khi điện trở trong của diode rất lớn

Thời gian chuyển trạng thái của diode xung yêu cầu phải nhanh và nó xác định tốc độ hoạt động của diode và do đó xác định tốc độ làm việc của thiết bị.

Diode xung có các loại là diode hợp kim, diode meza và diode Sotky. Trong đó diode Sotky được sử dụng rộng rãi nhất với $U_D \sim 0,4V$ và $t_p \sim 100 ps$.

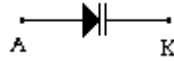
Diode xung có thể đóng vai trò làm công tắc tốt hơn bất cứ một công tắc cơ khí nào với tần số làm việc lên tới 30MHz. Để thực hiện được vai trò đó, thông thường người ta thêm một tầng bán dẫn thuận (i) kẹp giữa bán dẫn N và P, do đó còn gọi là PiN diode.

Diode xung thường được sử dụng trong các mạch kỹ thuật số, logic để làm nhiệm vụ đóng ngắt.

Chương III: Linh kiện tích cực

d. Diode biến dung (Varicap)

Diode biến dung (diode varicap) làm từ silicon hoặc galium arsenide là loại diode



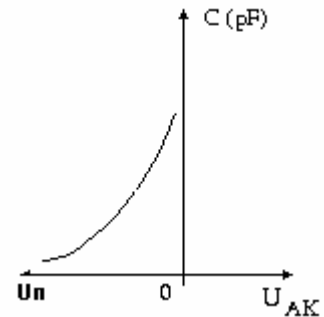
Ký hiệu của diode biến dung

được sử dụng như một tụ điện có trị số điện dung điều khiển được bằng điện áp.

Nguyên tắc làm việc của diode biến dung là dựa vào sự phụ thuộc của điện dung rào thế của chuyển tiếp P - N với điện áp ngược đặt vào nó.

Trị số của diode biến dung tùy thuộc vào cấu tạo của nó và tỉ lệ nghịch với căn bậc hai của điện áp ngược đặt lên nó. Xem hình bên

Varicap thường được sử dụng trong các mạch dao động cần điều khiển tần số cộng hưởng bằng điện áp ở khu vực siêu cao tần như: mạch tự động điều chỉnh tần số AFC (automatic frequency controller), các mạch điều tần và thông dụng nhất là các bộ dao động khống chế bằng điện áp VCO (Voltage Controlled Oscillator)



e. Diode tunen (diode xuyên hầm hay diode esaki)



Ký hiệu của diode tunen

Diode tunen được chế tạo từ bán dẫn có nồng độ pha tạp rất cao ($n = 10^{19}$ đến 10^{23} nguyên tử / cm^3). Khi này bán dẫn bị suy biến, nghĩa là mức Fermi đi vào vùng hoá trị của bên P và vùng dẫn của bên N.

Diode này có khả năng dẫn theo cả 2 chiều thuận và ngược.

Hiện tượng tunen (xuyên hầm) là hiện tượng các hạt dẫn chuyển động qua chuyển tiếp P - N mà không bị tổn hao năng lượng do mức năng lượng Fermi không nằm trong vùng cấm mà đi vào dải dẫn của N và dải hoá trị của P, tức là hạt dẫn không cần vượt qua hàng rào thế năng. Sự di chuyển này mới đầu là rất lớn (khi U_{AK} còn nhỏ) sau đó U_{AK} tăng dần làm cho số hạt dẫn di chuyển xuyên qua chuyển tiếp P - N giảm (lúc này độ chênh lệch mức năng lượng giữa hai bên giảm hơn nên cản trở quá trình xuyên hầm của điện tử). Do vậy đặc tuyến Von-ampe của diode tunen có đoạn điện trở âm (điện áp tăng nhưng dòng điện lại giảm), người ta sử dụng đoạn đặc tuyến này để tạo các mạch dao động phóng nạp.

Diode tunen có kích thước nhỏ, độ ổn định cao và tần số làm việc lên tới hàng nghìn MHz. Chúng được sử dụng trong các mạch khuếch đại tín hiệu cao tần.

f. Diode cao tần

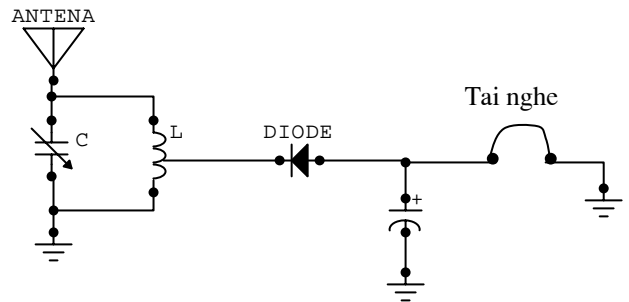
Diode cao tần được dùng để xử lý các tín hiệu cao tần. Chúng thường là các diode tiếp điểm để giảm thiểu trị số điện dung.

Ký hiệu của diode cao tần giống như diode chỉnh lưu. Kích thước của chúng nhỏ hơn diode chỉnh lưu và thường có vỏ bằng thủy tinh.

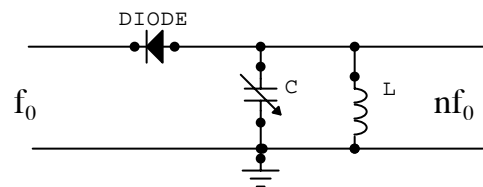
Các loại diode cao tần thường dùng:

+ Diode tách sóng để tách tín hiệu tần thấp từ dao động cao tần.

Hình bên là sơ đồ minh họa của một máy thu vô tuyến tinh thể. Diode làm nhiệm vụ khôi phục lại tín hiệu vô tuyến, gọi là tách sóng. Để bộ tách sóng làm việc hiệu quả diode phải có điện dung thấp để hoạt động như một bộ chỉnh lưu tần số vô tuyến.



+ Diode nhân tần dùng để thay đổi tần số của các sóng. Do tính không tuyến tính của đặc tuyến diode nên sóng vào và ra khỏi diode rất khác nhau, nói cách khác ở sóng ra đã xuất hiện các thành phần hài mới là bội của tần số sóng ở đầu thu. Hình bên là một mạch nhân tần đơn để lấy ra tần số hài bậc n nhờ mạch cộng hưởng LC



$$\text{(với } n.f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \text{)}$$

+ Diode trộn tần. Khi hai sóng có tần số khác nhau được kết hợp trong một mạch không tuyến tính thì sẽ tạo ra các tần số mới. Hiện tượng này gọi là tạo phách (heterodyne), các tần số mới được tạo ra gọi là các tần số nhịp. Một ứng dụng rất phổ biến của diode trong trường hợp này là để điều biến các dao động cao tần (sóng mang) theo tín hiệu âm tần. (sẽ được trình bày chi tiết trong giáo trình Kỹ thuật mạch điện tử)

g. Diode phát sáng (LED – Light emitting Diode)



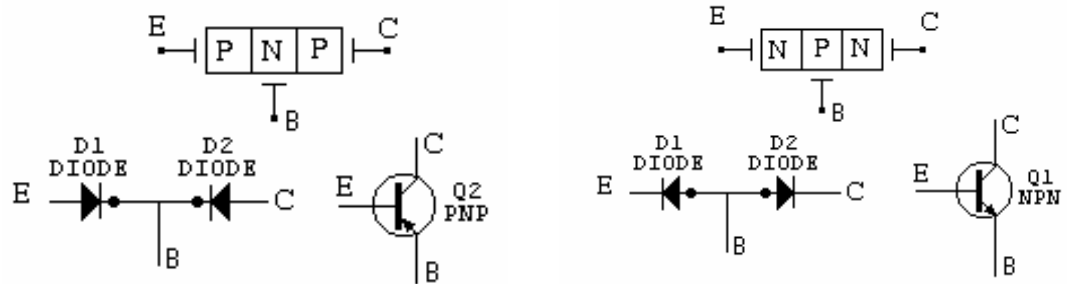
Đây là loại diode có khả năng phát ra ánh sáng nhìn thấy hoặc các bước sóng khác tùy theo vật liệu cấu tạo khi được phân cực thuận. LED có ký hiệu và hình dạng thực tế như hình trên. Loại diode này sẽ được thảo luận chi tiết ở chương 4.

Chương III: Linh kiện tích cực

transistor hợp kim; transistor khuếch tán; transistor plana ...

Dưới đây ta sẽ xét tới transistor lưỡng cực – BJT và gọi tắt là transistor. (các loại khác sẽ nói tới ở phần IV, V)

1. Cấu tạo và ký hiệu BJT



Cấu tạo và ký hiệu của transistor loại PNP và NPN

Transistor được tạo thành bởi 2 chuyển tiếp P - N ghép liên tiếp trên 1 phiến đơn tinh thể. Nghĩa là về mặt cấu tạo transistor gồm các miền bán dẫn P - N xếp xen kẽ nhau. Do trình tự sắp xếp các miền P - N mà ta có 2 loại cấu trúc transistor là PNP (transistor thuận) và NPN (transistor ngược).

Miền thứ nhất gọi là miền phát (emitor), điện cực nối với miền này gọi là cực emitor. Miền ở giữa gọi là miền bazo (miền gốc) điện cực nối với miền này gọi là cực bazo. Miền còn lại gọi là miền góp (miền collector) điện cực nối với nó gọi là cực góp (cực collector).

Chuyển tiếp P - N giữa emitor và bazo gọi là chuyển tiếp E-B hay là chuyển tiếp emitor. Ký hiệu là T_E

Chuyển tiếp P - N giữa bazo và collector gọi là chuyển tiếp C-B hay chuyển tiếp collector. Ký hiệu là T_C

Về mặt cấu tạo có thể xem transistor được tạo thành từ 2 diode mắc ngược nhưng không có nghĩa là cứ ghép 2 diode thì sẽ tạo ra được transistor.

3 miền của transistor được pha tạp với nồng độ khác nhau và có độ rộng cũng khác nhau. Điều này cho phép các miền thực hiện được chức năng của mình là:

+ Emitor đóng vai trò phát xạ hạt dẫn có điều khiển trong transistor (pha tạp nhiều). Nên Emitor có nồng độ pha tạp nhiều nhất.

+ Bazo đóng vai trò truyền đạt hạt dẫn từ E sang C nên có nồng độ pha tạp ở mức trung bình để số lượng hạt từ E sang ít bị tái hợp.

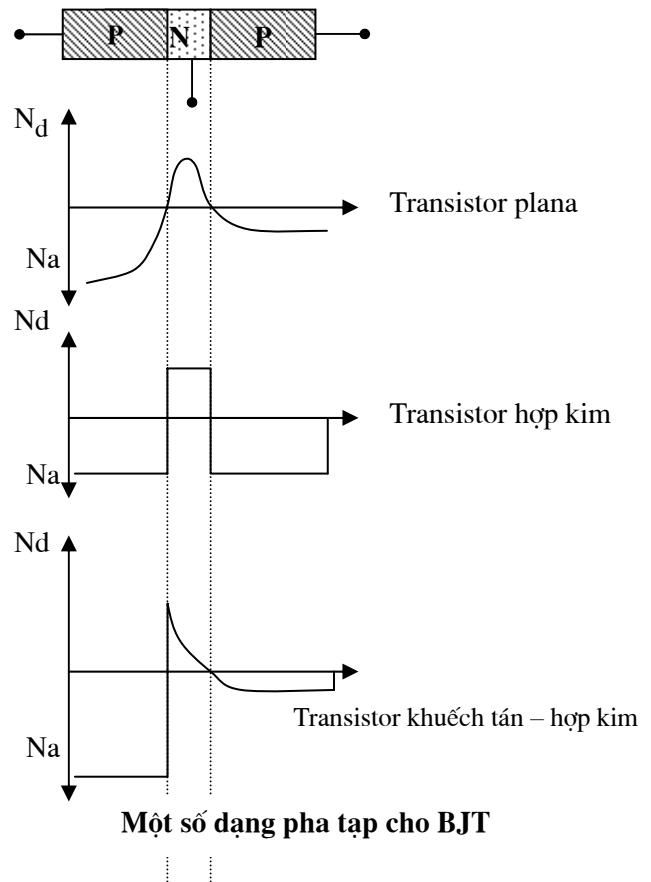
+ Collector đóng vai trò thu góp hạt dẫn từ E qua B, do đó có nồng độ pha tạp ít nhất để điện trở của vùng này là lớn nhất.

Để tạo ra các vùng P - N xen kẽ nhau trong tinh thể bán dẫn người ta áp dụng các công nghệ khác nhau để đưa tạp chất acceptor (tạo bán dẫn loại P) và donor (tạo bán dẫn loại N) vào bán dẫn nền. Tùy theo công nghệ sử dụng mà sự phân bố nồng độ tạp chất trong các miền của transistor đồng đều hay không đồng đều.

Một số kiểu pha tạp chất trong transistor được cho ở hình sau:

Chương III: Linh kiện tích cực

Sự phân bố tạp chất này (đặc biệt là trong miền E và B) ảnh hưởng rất lớn đến tham số điện của transistor.



Tùy vào chiều điện áp phân cực cho chuyển tiếp emitor và chuyển tiếp collector mà có thể phân biệt 4 miền làm việc của transistor như sau:

T_E	T_c	Miền làm việc	Ứng dụng
Phân cực thuận	Phân cực thuận	Miền bão hoà	Khoá điện tử
Phân cực thuận	Phân cực ngược	Miền tích cực	Khuếch đại
Phân cực ngược	Phân cực ngược	Miền cắt	Khoá
Phân cực ngược	Phân cực thuận	Miền tích cực ngược	

Các cách kí hiệu trên thân transistor

Ký hiệu của transistor phụ thuộc vào tiêu chuẩn của mỗi nước sản xuất

+ Ký hiệu theo tiêu chuẩn SNG

. Ký tự thứ nhất (hoặc chữ số) để chỉ vật liệu làm transistor

Γ (hay 1): Ge; K (hay 2): Si; A (hay 3): GaAs

. Ký tự thứ hai chỉ loại linh kiện

Δ : diode; T: transistor; B: varicap; A: diode siêu cao tần; Φ : linh kiện điện quang

. Các ký hiệu tiếp theo chỉ số series của sản phẩm

Chương III: Linh kiện tích cực

Ví dụ: 1T403A: transistor loại Ge; KT312B: transistor loại Si

+ Ký hiệu theo tiêu chuẩn của Nhật

. Ký tự đầu chỉ hai loại linh kiện

1 là diode ; 2 là transistor

. Ký tự thứ 2 là chữ S (semiconductor) chỉ linh kiện bán dẫn

. Ký tự thứ 3 chỉ chức năng

A- tần số cao ($f > 5$ MHz) loại PNP

B- tần số thấp loại PNP

C- tần số cao loại NPN

D- tần số thấp loại NPN

F- linh kiện chuyển mạch PNPN cổng P

H- linh kiện 4 cực

G- linh kiện chuyển mạch NPNP cổng N

. Các ký tự tiếp chỉ số series của sản phẩm

Ví dụ: 2SB405 :transistor bán dẫn tần số thấp loại PNP

+ Ký hiệu theo tiêu chuẩn Mỹ

. Ký tự đầu chỉ số lớp tiếp xúc P - N của linh kiện

1- một tiếp xúc P - N (diode)

2- hai tiếp xúc P - N (transistor)

3- ba tiếp xúc P - N (thyristor,diac,triac,diode,diode 4 lớp)

. Ký tự thứ 2 là chữ N

Ví dụ: 2N2222 transistor Si loại NPN có ký hiệu 2222

+ Ký hiệu theo tiêu chuẩn châu Âu

. Ký tự đầu chỉ vật liệu bán dẫn

A- Ge

D- SbIn

B- Si

C- GaAs

. Ký tự thứ 2 chỉ công dụng của linh kiện

A- diode tách sóng

B- varicap

C- transistor tần số thấp, công suất nhỏ

D- transistor tần số thấp, công suất

lớn

E- diode tunen

F- transistor tần số cao, công suất

nhỏ

L- transistor tần số cao, công suất cao P- linh kiện quang

Y- diode nắn điện

Z- diode ổn áp

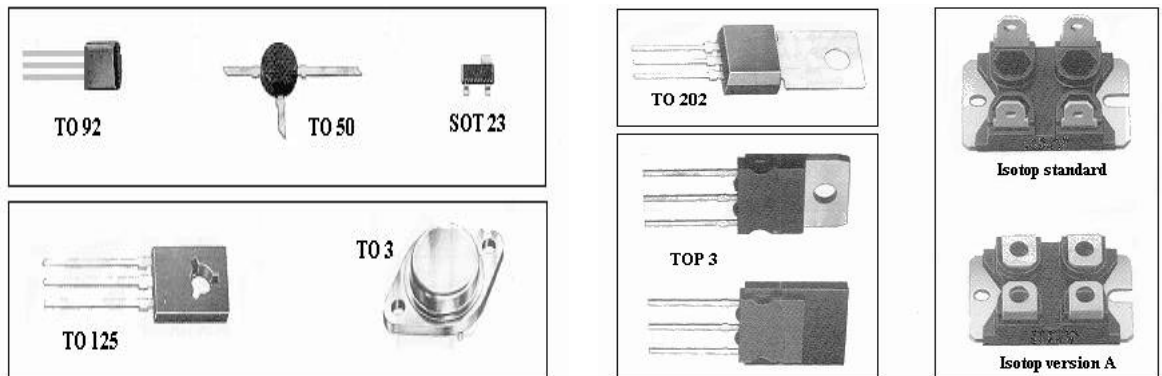
Ví dụ: AF240 transistor Ge loại tần số cao

Tuy nhiên để biết các thông số cụ thể của linh kiện như công suất lớn nhất, tần số giới hạn, nhiệt độ chịu đựng, hệ số khuếch đại, vật liệu ... thì ta cần tra bảng của nhà sản xuất.

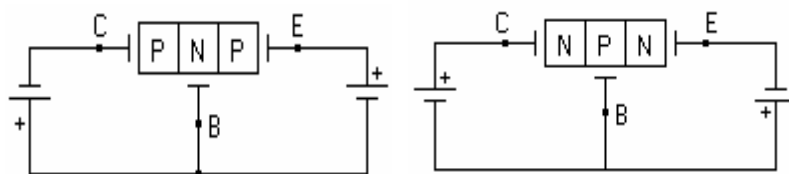
Khi sử dụng transistor điều rất quan trọng là phải xác định chính xác vị trí các chân của transistor, việc này có thể thực hiện theo quy ước của nhà sản xuất (như hình dưới đây) hoặc xác định bằng ohm kế.

Dưới đây là một số hình dạng thực tế của một số loại BJT mà qua đó có thể xác định được các cực theo quy ước của nhà sản xuất.

Chương III: Linh kiện tích cực



2. Nguyên tắc làm việc của transistor ở chế độ tích cực (chế độ khuếch đại)



Sơ đồ phân cực cho transistor PNP và NPN ở chế độ tích cực

Đây là chế độ làm việc thông dụng nhất của transistor. Khi này transistor đóng vai trò là phần tử tích cực có khả năng khuếch đại hay nói cách khác, trong transistor có quá trình điều khiển dòng, điện áp hay công suất.

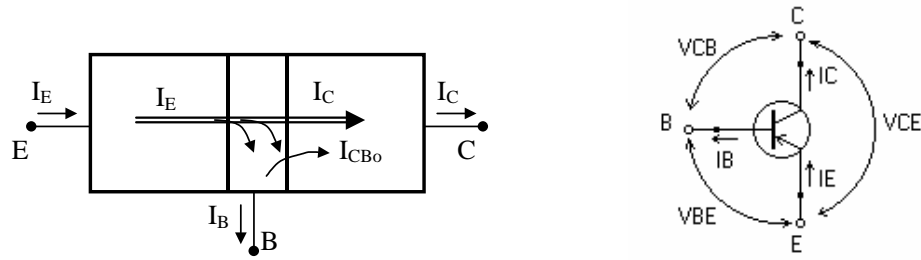
Như đã nói, để transistor làm việc ở chế độ tích cực cần cấp nguồn điện một chiều sao cho T_E phân cực thuận và T_C phân cực ngược.

Nói chung, các transistor PNP và NPN có thể hoạt động như nhau trong các mạch điện tử nhưng có điểm khác biệt là đảo chiều sự phân cực điện áp và hướng của dòng điện. Do vậy, ở đây ta chỉ cần xét hoạt động của loại PNP như sau:

+ Trong trường hợp chưa có điện áp ngoài đặt vào các chuyển tiếp emitor và collector thì qua các cực của transistor không có dòng điện, hai chuyển tiếp ở trạng thái cân bằng. Hiện tượng không có dòng chảy qua transistor cũng xảy ra khi đặt điện áp lên cực C và E nhưng cực B để hở.

+ Khi phân cực cho transistor, trạng thái cân bằng ban đầu bị phá vỡ. T_E được phân cực thuận nên các hạt đa số trong emitor (là lỗ trống) tăng cường khuếch tán sang base. Khi này hạt đa số trong base (là điện tử) cũng khuếch tán sang emitor nhưng do nồng độ pha tạp trong base ít nên thành phần ngược này không đáng kể. Các hạt đa số của emitor phun vào base và trở thành các hạt thiểu số trội. Do chênh lệch nồng độ mà chúng sẽ khuếch tán tới bờ miền điện tích không gian của chuyển tiếp T_C . Tại đây do chuyển tiếp T_C phân cực ngược nên sẽ cuốn trôi các hạt thiểu số sang miền collector. Nếu sự phân cực vẫn tiếp tục được duy trì thì rõ ràng trên 3 cực của transistor sẽ xuất hiện dòng điện.

Có thể biểu diễn các thành phần dòng điện và điện áp trong transistor như sau:



Các thành phần dòng điện và điện áp trên các chân cực của transistor loại PNP

Dòng điện cực emitor I_E khi đi vào miền base, một phần tái hợp với điện tử, phần còn lại sẽ qua T_C sang miền collector và tạo nên dòng cực góp I_C . Khi đó ta có:

$$I_C = \alpha \cdot I_E$$

với α là hệ số truyền đạt dòng điện (hay hệ số khuếch đại dòng điện cực phát)

$\alpha =$ số lỗ trống không bị tái hợp / tổng số lỗ trống xuất phát từ cực emitor

$$\alpha \approx 0,95 \div 0,999$$

Ngoài ra, qua chuyển tiếp T_C còn có thành phần dòng điện ngược do bản thân T_C phân cực ngược. Đây là dòng của hạt thiểu số của miền base chuyển động dưới tác động của điện trường. Dòng điện ngược này còn gọi là dòng rò cực base I_{CB0} . I_{CB0} không phụ thuộc vào dòng I_E nên không điều khiển được, nó phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ và là thành phần dòng không cần thiết.

Vậy dòng tổng qua cực góp thực chất là: $I_C = \alpha \cdot I_E + I_{CB0}$

Dòng điện cực gốc I_B là dòng lỗ trống và điện tử tái hợp nhau trừ đi thành phần dòng ngược I_{CB0}

$$I_B = (1 - \alpha)I_E - I_{CB0}$$

Như vậy quan hệ giữa các thành phần dòng trong transistor là:

$$I_E = I_C + I_B$$

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad \text{gọi là hệ số truyền đạt của transistor}$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad \text{gọi là hệ số khuếch đại của transistor (giá trị từ vài chục}$$

tới vài trăm, giá trị điển hình 50 – 150)

β là thông số đánh giá tác dụng điều khiển của dòng I_B tới dòng I_C

2 tham số α và β có giá trị xác định đối với mỗi loại transistor và được ghi trong bảng thông số kỹ thuật.

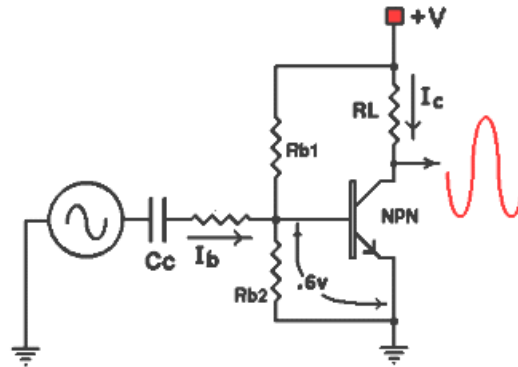
Khả năng khuếch đại của transistor :

Khi đặt giữa cực emito và bazo một nguồn tín hiệu U_{\sim} thì điện áp phân cực cho T_E sẽ thay đổi, tức là làm thay đổi dòng phun từ emito sang bazo (I_E). Tuy điện áp phân cực cho T_C không đổi nhưng do số hạt thiểu số trội trong miền bazo thay đổi nên dòng ngược qua chuyển tiếp T_C (dòng I_C) cũng thay đổi theo đúng quy luật của tín hiệu đầu vào.

Nếu mắc điện trở tải ở cực collector thì điện áp rơi trên điện trở này cũng có quy luật biến thiên như điện áp tín hiệu đặt ở đầu vào. Thêm vào đó, trong khi điện trở của E-B không đáng kể thì điện trở của B-C lại rất lớn và dòng I_C xấp xỉ dòng I_E nên theo

Chương III: Linh kiện tích cực

định luật Ohm điện áp của tín hiệu ở lối ra lớn hơn rất nhiều lần điện áp của tín hiệu ở lối vào. Đây chính là khả năng khuếch đại của transistor. Xem hình dưới đây



Trong kĩ thuật điện tử người ta còn gọi hệ số khuếch đại cực phát α là hệ số truyền đạt vì phân dòng cực phát

$$\alpha = \frac{dI_C}{dI_E} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} \quad | \quad U_C = \text{const}$$

$$\alpha = 0,95 \div 0,99$$

Dòng cực góp I_C tạo ra trên tải R_L một điện áp thay đổi theo sự thay đổi của điện áp tín hiệu

$$U_{R_L} = I_C \cdot R_L = \alpha \cdot I_E \cdot R_L = \beta \cdot I_B \cdot R_L$$

Khi đó hệ số khuếch đại được tính:

$$K_U = \frac{U_{R_L}}{U_{\sim}} \approx \frac{R_L}{R_v} > 1$$

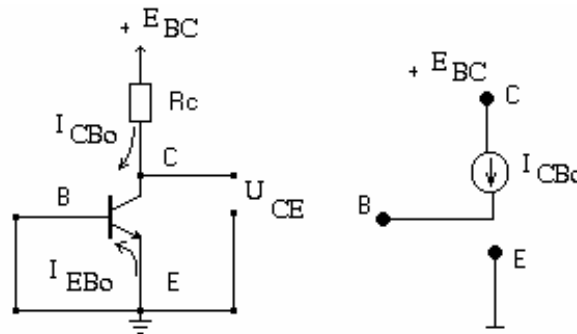
3. Transistor làm việc như khoá điện tử

Đây là chế độ làm việc thông dụng thứ 2 của transistor, chế độ làm việc này của transistor còn gọi là chế độ đóng mở. Khi này nó chỉ có 2 trạng thái ổn định: hoặc đóng (nối mạch cho dòng qua transistor) hoặc mở (ngắt mạch không cho dòng chảy qua transistor).

Đôi khi transistor chuyên dụng làm việc ở chế độ đóng mở còn gọi là transistor xung vì có thể coi chúng làm việc ở chế độ xung.

Trong kĩ thuật điều khiển tự động và kĩ thuật số nói chung các transistor hầu hết đều hoạt động như khoá điện tử.

a. Chế độ ngắt

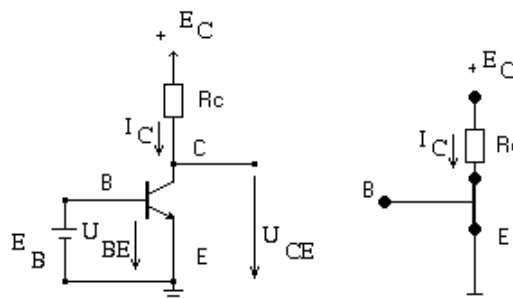


Sơ đồ mạch điện transistor trong chế độ ngắt và sơ đồ tương đương

Ở chế độ ngắt nguồn một chiều được cấp cho transistor sao cho cả 2 chuyển tiếp T_E và T_C đều phân cực ngược. Lúc này qua 2 chuyển tiếp chỉ có dòng điện ngược I_{EBo} và I_{CB0} nên có thể coi mạch cực phát hở và coi điện trở của transistor rất lớn, dòng qua transistor bằng 0. Như vậy transistor như 1 khoá ở trạng thái mở. Khi đó điện áp U_{CE} được tính bằng:

$$U_{CE} \approx E_{BC}$$

b. Chế độ dẫn bão hoà



Sơ đồ mạch và sơ đồ tương đương của transistor ở chế độ bão hoà

Transistor được phân cực sao cho chuyển tiếp T_E và T_C đều phân cực thuận. Khi đó điện trở của cả 2 chuyển tiếp đều nhỏ nên có thể coi 2 cực phát và góp được nối tắt.

Dòng qua transistor I_C khi này khá lớn và chỉ phụ thuộc vào điện áp nguồn cung cấp E_C và không phụ thuộc vào transistor. Khi này:

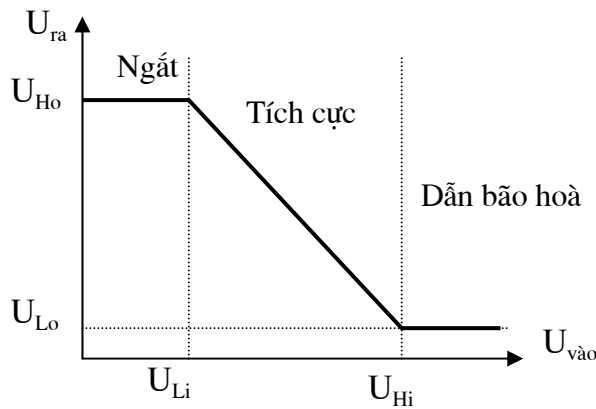
$$I_C = \frac{E_C}{R_C} \quad \text{và} \quad U_{CE} \approx 0 \quad (\text{thực tế thường lấy } = 0,3 \text{ V})$$

Hai chế độ ngắt và bão hoà của transistor được sử dụng trong kĩ thuật xung và kĩ thuật mạch logic. Ở đây điện áp đặt lên lối vào chỉ có 2 mức là mức cao và mức thấp

Nếu $U_{BE} =$ mức thấp thì transistor ngắt lối ra có $U_{CE} \approx E_C$

Chương III: Linh kiện tích cực

U_{BE} = mức cao thì transistor dẫn bão hoà lối ra có $U_{CE} = 0$
 Như vậy transistor làm việc như 1 phần tử tuyến tính không có khả năng biến đổi



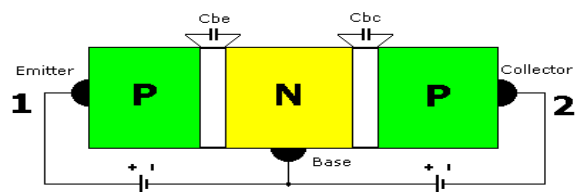
Đặc tuyến truyền đạt của transistor làm việc ở chế độ đóng mở

tín hiệu và làm việc như 1 khoá điện tử

4. Đặc tính tần số của Transistor

Khi đưa một tín hiệu có tần số cao vào transistor thì khả năng khuếch đại của transistor đối với tín hiệu này bị giảm đi so với tín hiệu có tần số thấp hơn. Hiện tượng này là do ảnh hưởng của một số thông số sau:

- + Điện dung của các chuyển tiếp T_E và T_C đáng kể
- + Trở kháng của các miền bán dẫn (base và collector)
- + Thời gian chuyển dời các hạt dẫn thiểu số qua base



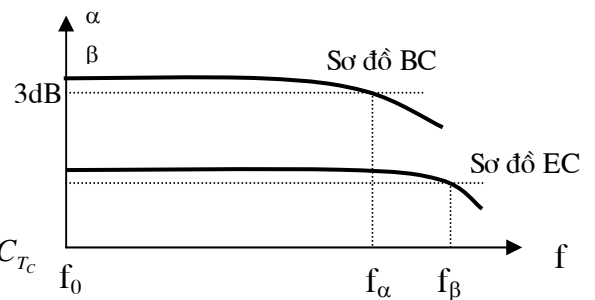
Để đánh giá đặc tính tần số của transistor người ta sử dụng tham số f_α gọi là tần số giới hạn của transistor. Tần số giới hạn f_α là tần số mà tại tần số này độ khuếch đại của transistor trong sơ đồ góc chung BC giảm đi 3dB.

Sự phụ thuộc của hệ số khuếch đại vào tần số được thể hiện trong hình sau:

f_β là tần số giới hạn đối với sơ đồ mắc emito chung EC

Có thể tính f_α theo công thức sau:

$$\frac{1}{2\pi f_\alpha} = R_E \cdot C_{T_E} + \frac{W^2}{2.48 D_{pB}} + \frac{d}{2V_C} + R_C \cdot C_{T_C}$$



Đặc tính tần số của Transistor

với: R_E là điện trở của miền bán dẫn cực phát

C_{T_E} là điện dung của lớp chuyển tiếp T_E
 W là bề dày của miền base

D_{pB} là độ dài khuếch tán của lỗ trống trong miền base

d là bề dày lớp chuyển tiếp T_C

V_C là vận tốc chuyển dời các hạt dẫn qua chuyển tiếp T_C

R_C là điện trở miền góp collector

C_{TC} là điện dung của lớp chuyển tiếp T_C

Như vậy nếu tăng một trong các thông số R, C, W và d thì đều làm giảm f_α

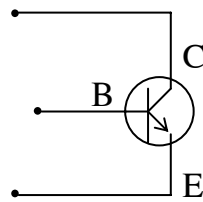
$$f_\beta = K_\theta(1 - \alpha).f_\alpha \text{ với } K_\theta \text{ là hằng số công nghệ } (0,5 \div 1)$$

5. Phân cực và định điểm làm việc cho Transistor

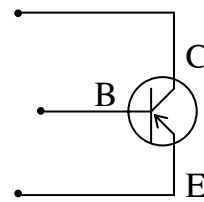
a. Nguyên tắc chung

Để Transistor làm việc cần đặt điện áp ngoài lên chuyển tiếp emito và colecto với cực tính và trị số thích hợp, việc này gọi là phân cực (hay phân áp, định thiên) cho transistor hay xác định điểm làm việc tĩnh cho transistor. Vị trí của điểm công tác tĩnh quyết định chế độ làm việc của mạch, vì vậy tùy vào mục đích sử dụng mà phân cực cho phù hợp.

Trong trường hợp transistor làm việc ở chế độ khuếch đại cần đặt điện áp một chiều lên các chân cực sao cho chuyển tiếp T_E phân cực thuận và chuyển tiếp T_C phân cực ngược.



$$V_C > V_B > V_E$$



$$V_C < V_B < V_E$$

Nguyên tắc phân cực cho Transistor loại NPN và PNP ở chế độ khuếch đại

Đường tải tĩnh và điểm công tác tĩnh

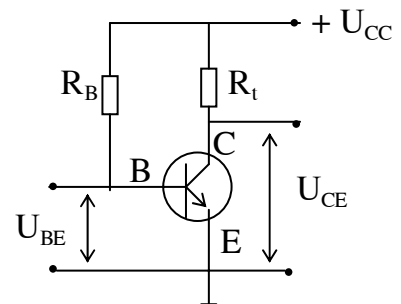
Xét một sơ đồ phân cực cho transistor như hình bên:

Khi này phương trình biểu diễn mối quan hệ giữa dòng và áp ra một chiều gọi là đường tải tĩnh.

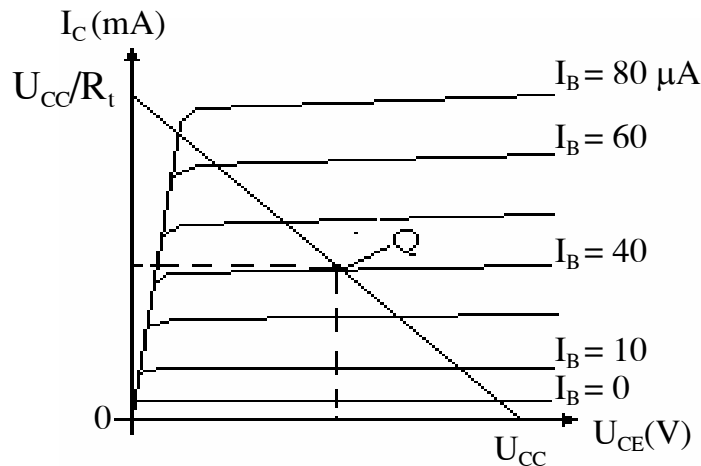
Cụ thể ở đây là phương trình giữa I_C và U_{CE} . Ta có:

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C.R_t$$

Vẽ đường tải tĩnh trên đặc tuyến ra ta có hình dưới đây:



Chương III: Linh kiện tích cực



Đường tải tĩnh và điểm công tác Q

Giao điểm của đường tải tĩnh và đường đặc tuyến ra gọi là điểm công tác tĩnh Q.

Việc chọn Q có ý nghĩa rất lớn đối với chế độ làm việc của transistor (sẽ được xem xét cụ thể trong giáo trình Kỹ thuật mạch điện tử), thông thường người ta chọn Q nằm giữa đường tải tĩnh để tín hiệu đầu ra có thể có biên độ lớn nhất mà không bị méo. Khi Q dịch khỏi vị trí giữa thì để tín hiệu ra không bị méo thì tín hiệu phải có biên độ nhỏ.

Dưới đây là một sơ đồ phân cực phổ biến nhất. (sơ đồ phân cực cho NPN hay PNP là hoàn toàn tương tự như nhau nhưng đảo chiều nguồn cung cấp)

b. Mạch phân dòng cố định

Hình bên là sơ đồ mạch phân dòng cố định cho transistor loại NPN

Trong đó:

E_C là nguồn cung cấp một chiều

R_B đấu từ dương nguồn E_C về cực gốc để dẫn điện áp dương về cực gốc.

R_C dẫn điện áp từ dương nguồn E_C về cực góp.

Dòng điện I_B chạy từ dương nguồn E_C qua R_B , qua BJT về âm nguồn.

Dòng điện I_C chạy từ dương nguồn E_C qua R_C , qua BJT về âm nguồn.

Đây là sơ đồ lấy tín hiệu ra trên cực C (sơ đồ emito chung) nên phương trình đường tải tĩnh chính là phương trình thể hiện mối quan hệ giữa dòng điện và điện áp đầu ra, tức là giữa I_C và U_{CE}

$$U_{CE} = E_C - I_C \cdot R_C$$

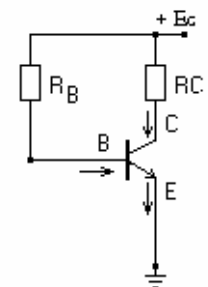
Vậy đường tải tĩnh chính là đường nối 2 điểm $(0, E_C/R_C)$ và $(E_C, 0)$

Khi này vị trí của điểm làm việc tĩnh được xác định tại Q (U_{CEQ}, I_{CQ}) như sau:

- Xác định $I_{CQ} = \alpha \cdot I_B$ với $I_B = \frac{E_C - U_{BE}}{R_B}$.

- Thay I_{CQ} vào phương trình đường tải tĩnh tính được U_{CEQ} .

Trong sơ đồ trên dòng I_B có giá trị cố định nên độ ổn định của sơ đồ này không tốt.



c. Mạch hồi tiếp âm điện áp

Sơ đồ như ở hình bên.

Hồi tiếp âm điện áp là hiện tượng một phần điện áp ra được đưa ngược trở lại đầu vào sao cho tác dụng của nó ngược pha với điện áp vào.

E_C là nguồn cung cấp một chiều

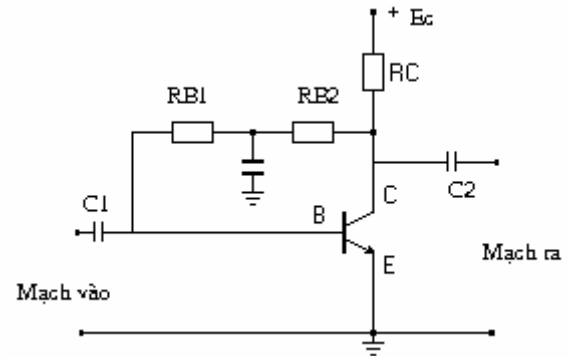
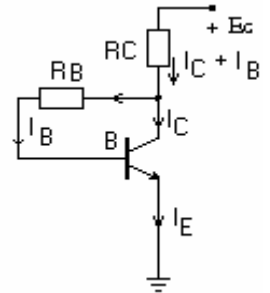
R_C dẫn điện áp từ dương nguồn E_C về cực góp.

Trong sơ đồ này điện trở R_B không nối trực tiếp với nguồn E_C mà nối giữa cực C và cực B. Nghĩa là cực B được cấp nguồn từ R_C , qua R_B .

Sơ đồ này có độ ổn định tốt hơn sơ đồ trên do sự thay đổi của I_C được hồi tiếp trở lại đầu vào làm cho dòng I_B thay đổi theo hướng ngược lại để giữ ổn định cho dòng I_C . Cụ thể như sau:

Nếu vì một lý do nào đó dòng I_C tăng lên (có thể do nhiệt độ tăng) thì sụt áp trên R_C tăng, do vậy điện áp tại cực C là V_C giảm xuống. Mặt khác, $V_B = V_C - I_B \cdot R_B$ do đó V_B cũng giảm xuống, làm cho góc mở U_{BE} nhỏ lại, BJT dẫn yếu đi, tức là các dòng qua BJT giảm (I_C giảm chống lại sự thay đổi ban đầu). Quá trình hoàn toàn ngược lại khi I_C giảm. Như vậy, nhờ điện trở hồi tiếp âm R_B mà điểm làm việc tĩnh của mạch sẽ ổn định hơn.

Để loại bỏ thành phần xoay chiều của tín hiệu hồi tiếp trở lại đầu vào làm giảm hệ số khuếch đại của mạch người ta mắc thêm tụ như hình bên.



d. Mạch hồi tiếp âm dòng điện (mạch tự phân cực)

Sơ đồ cho ở hình bên.

R_1, R_2 tạo thành mạch phân áp để cấp điện áp cho cực B

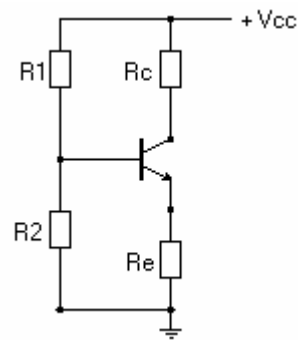
R_C dẫn điện áp dương nguồn về cực C.

R_E tạo điện áp trên cực E tùy vào giá trị dòng I_E đi qua BJT (do vậy gọi là tự phân cực)

Đây là sơ đồ có độ ổn định tốt nhất so với các sơ đồ trên.

Dòng điện trên R_E sẽ tạo một sụt áp trên nó có xu hướng chống lại sự phân cực thuận của lớp tiếp xúc phát.

Sự ổn định dòng I_C như sau: nếu vì lý do nào đó dòng chảy qua các cực của transistor tăng lên (ví dụ nhiệt độ tăng), trong đó sự gia tăng của dòng I_C là nguy hiểm nhất. Dòng I_E tăng làm cho sụt áp trên R_E (là U_E) tăng. Mà ta lại có $U_{BE} = U_B - U_E$ khi đó U_E tăng thì U_{BE} giảm, nghĩa là transistor dẫn yếu đi và I_C sẽ giảm theo. Hiện tượng ngược lại khi I_C giảm. Như vậy dòng I_C đã được ổn định.



Chú ý: Trên thực tế, người ta thường sử dụng phương pháp bù để ổn định điểm làm việc.

Chương III: Linh kiện tích cực

Phương pháp này sử dụng diode để bù lại sự biến thiên của điện áp U_{BE} và dòng I_{CB0} (do diode có hệ số nhiệt âm). Ưu điểm của phương pháp bù là không làm mất mát hệ số khuếch đại nhưng tác động của chúng không tức thì như phương pháp hồi tiếp âm.

6. Ổn định điểm công tác tĩnh

Như đã nói, vị trí của điểm làm việc tĩnh rất quan trọng trong hoạt động của BJT. Nguyên nhân dẫn đến sự thay đổi vị trí của điểm Q có khá nhiều như nhiệt độ thay đổi, sự hoá già của linh kiện theo thời gian hoạt động, sự không ổn định của nguồn cung cấp ... Trong đó yếu tố về nhiệt độ là yếu tố thường xuyên tác động và có thể hạn chế được. Do tính chất chung của bán dẫn là đặc tính điện phụ thuộc vào nhiệt độ nên dòng điện và điện áp trên transistor phụ thuộc rất nhiều vào nhiệt độ. Nghĩa là điểm làm việc tĩnh sẽ bị di chuyển khi nhiệt độ thay đổi.

Xét về nguyên nhân sâu xa ảnh hưởng của nhiệt độ chính là ảnh hưởng tới hai tham số là dòng ngược I_{CB0} và điện áp U_{BE} .

- U_{BE} biến đổi $-2,2\text{mV}/^\circ\text{C}$ đối với transistor loại Si và $-1,8\text{mV}/^\circ\text{C}$ đối với transistor Ge.
- I_{CB0} tăng gấp 2 lần khi nhiệt độ tăng 10°C

Kết quả của việc thăng giáng 2 tham số trên sẽ làm cho dòng I_C thay đổi rất nhiều (nghĩa là Q dịch chuyển vị trí). Để thể hiện ảnh hưởng của I_{CB0} và U_{BE} tới dòng I_C người ta đưa ra 2 tham số s và s' . Trong đó, s là hệ số ổn định nhiệt của dòng I_C theo I_{CB0} và s' là hệ số ổn định nhiệt của dòng I_C theo U_{BE} .

$$s = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_{CB0}} \quad \text{và} \quad s' = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{BE}}$$

Có:

$$\begin{aligned} I_C &= h_{21e} \cdot I_B + (1 + h_{21e}) \cdot I_{CB0} \\ \Rightarrow \Delta I_C &= h_{21e} \cdot \Delta I_B + (1 + h_{21e}) \cdot \Delta I_{CB0} \\ \Rightarrow 1 &= h_{21e} \cdot \frac{\Delta I_B}{\Delta I_C} + (1 + h_{21e}) \cdot \frac{\Delta I_{CB0}}{\Delta I_C} \\ \Rightarrow s &= \frac{\Delta I_C}{\Delta I_{CB0}} = \frac{1 + h_{21e}}{1 - h_{21e} \cdot \frac{\Delta I_B}{\Delta I_C}} \end{aligned}$$

Với h_{21e} là hệ số khuếch đại dòng trong sơ đồ EC

Nếu dòng I_B không đổi thì $s = 1 + h_{21e}$

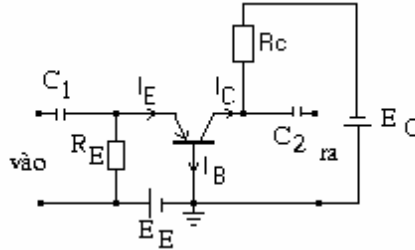
Muốn ổn định nhiệt các giá trị s và s' càng nhỏ càng tốt.

7. Các cách mắc cơ bản của transistor làm việc ở chế độ khuếch đại

Khi mắc transistor vào trong mạch về nguyên tắc có 6 sơ đồ (coi transistor có 3 chân như một mạng 4 cực với 2 đầu vào và hai đầu ra) nhưng trên thực tế chỉ có 3 cách mắc EC, BC và CC là có thể khuếch đại công suất, 3 cách còn lại không có ý nghĩa trong thực tế.

a. Sơ đồ mắc cực gốc chung (BC - base common)

E_E, E_C là điện áp một chiều cung cấp cho T



Sơ đồ mắc cực gốc chung cho transistor PNP

R_E là điện trở định thiên có nhiệm vụ tạo sụt áp của E_E để phân cực thuận cho T_E và đưa tín hiệu vào.

R_C là điện trở tải để tạo sụt áp dòng xoay chiều của tín hiệu và đưa điện áp âm từ E_C lên cực collector để T_C phân cực ngược

C_1, C_2 là tụ ghép tầng có nhiệm vụ dẫn tín hiệu vào mạch và dẫn tín hiệu ra

Tín hiệu xoay chiều được đưa vào cực emitor và base. Tín hiệu sau khi khuếch đại được lấy ra giữa collector và base nên sơ đồ này được gọi là sơ đồ mắc base chung.

Các họ đặc tuyến tĩnh

+ Họ đặc tuyến vào

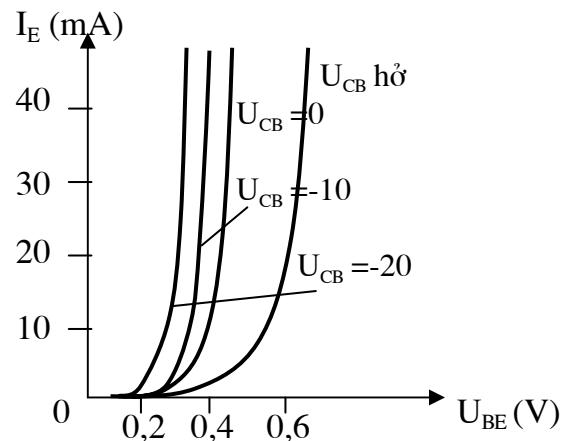
Họ đặc tuyến vào mô tả mối quan hệ giữa dòng điện vào I_E và điện áp vào U_{EB}

$$U_{EB} = f(I_E) | U_{CB} = const$$

Để vẽ được đặc tuyến này người ta giữ U_{CB} ở giá trị không đổi, thay đổi giá trị U_{EB} sau đó ghi lại giá trị I_E . Kết quả là ta được các đường đặc tuyến ứng với mỗi giá trị của U_{CB} .

T_E luôn phân cực thuận nên họ đặc tuyến vào của sơ đồ BC giống như phân đặc tuyến thuận của diode.

Điện áp U_{CB} càng lớn thì T_C được phân cực càng mạnh làm cho độ rộng hiệu dụng của miền base càng hẹp và do đó dòng I_E tăng lên.



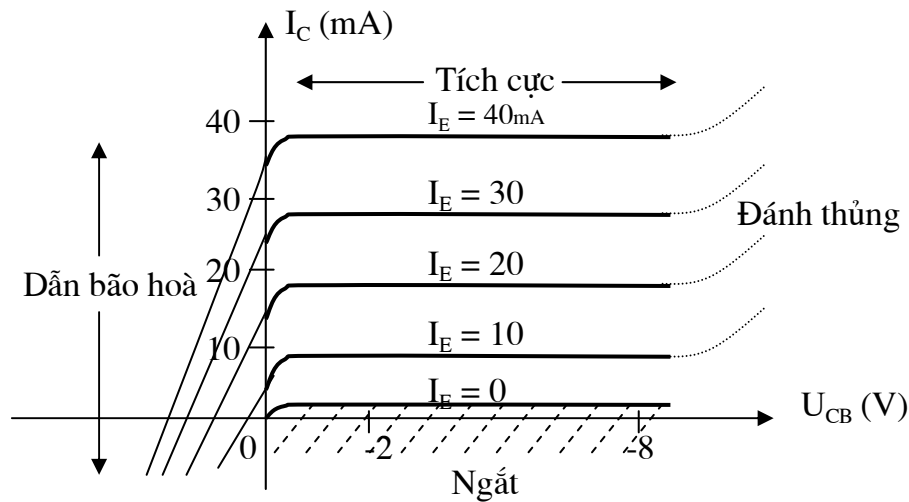
Họ đặc tuyến vào của transistor Ge loại PNP trong sơ đồ BC

+ Họ đặc tuyến ra

Họ đặc tuyến ra biểu thị mối quan hệ giữa dòng điện và điện áp cực góp. Để khảo sát mối quan hệ này cần loại bỏ ảnh hưởng của dòng I_E bằng cách giữ I_E ở giá trị xác định trong quá trình khảo sát (mỗi giá trị cố định này cho một đường đặc tuyến ra và tập

Chương III: Linh kiện tích cực

hợp của nhiều đặc tuyến ra cho ta họ đặc tuyến ra ứng với các giá trị của I_E khác nhau).



Họ đặc tuyến ra của transistor Ge loại PNP trong sơ đồ BC

Khi U_{CB} còn nhỏ, đoạn đặc tuyến ra gần như nằm ngang thể hiện giá trị $I_C \approx I_E$

Khi U_{CB} tăng mạnh làm miền SCR của chuyển tiếp T_C rộng ra tới mức tiếp xúc với miền SCR của chuyển tiếp $T_E \Rightarrow I_C$ bị tăng đột ngột và gây ra hiện tượng đánh thủng làm hư hỏng BJT.

Đặc điểm của sơ đồ BC:

- + Tín hiệu vào và tín hiệu ra đồng pha
- + Trở kháng vào nhỏ: $30 \div 300 \Omega$
- + Trở kháng ra lớn: $100k \div \mu\Omega$

+ Hệ số khuếch đại cực phát $\alpha = \frac{I_C}{I_E} = 0,95 : 0,99$

+ Hệ số khuếch đại điện áp K_U

$$K_U = \frac{\Delta U_{ra}}{\Delta U_{vao}} = \frac{\Delta I_C \cdot Z_t}{\Delta I_E \cdot Z_{vao}} \approx \frac{Z_t}{Z_{vao}} = (10^2 \div 10^3) \text{ (phụ thuộc vào điện trở tải)}$$

+ Hệ số khuếch đại công suất K_p

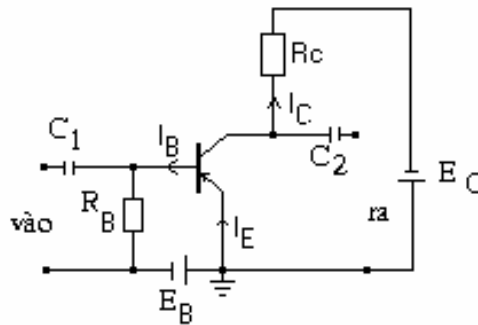
Từ các biểu thức trên có thể thấy rằng mặc dù không có khả năng khuếch đại dòng điện nhưng do có khuếch đại điện áp nên vẫn có hệ số khuếch đại công suất cỡ vài trăm lần

- + Dòng rò I_{CB0} nhỏ với BJT loại Si : từ vài nA tới vài μA
Ge : vài chục μA

+ Tần số làm việc giới hạn cao do điện dung tiếp giáp nhỏ

+ Sơ đồ BC có độ ổn định nhiệt cao, tần số làm việc cao. Thường sử dụng ở các mạch cao tần, tầng dao động nội cho máy thu thanh, tầng tiền khuếch đại cho máy tăng âm hay tầng khuếch đại cơ sở kiểu đẩy kéo cho máy tăng âm.

b. Sơ đồ mắc cực phát chung (EC - Emitter Common)



Sơ đồ mắc cực phát chung của transistor loại PNP

E_B, E_C là điện áp một chiều cung cấp cho T

R_B là điện trở định thiên có nhiệm vụ tạo sụt áp của E_B để phân cực thuận cho T_E và đưa tín hiệu vào.

R_C là điện trở tải để tạo sụt áp dòng xoay chiều của tín hiệu đưa ra mạch sau và đưa điện áp âm từ E_C lên cực collector để T_C phân cực ngược

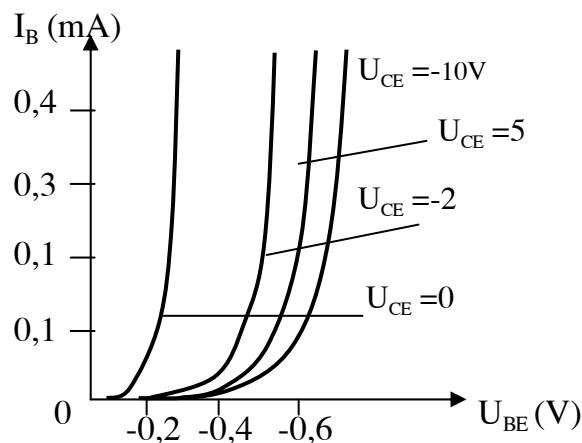
C_1, C_2 là tụ ghép tầng có nhiệm vụ dẫn tín hiệu vào mạch và dẫn tín hiệu ra, đồng thời ngăn cản thành phần dòng một chiều từ tầng này sang tầng kia.

Điện áp tín hiệu xoay chiều cần khuếch đại được đưa vào giữa cực gốc và cực phát. Tín hiệu sau khi khuếch đại được lấy ra giữa cực góp và cực phát

Các họ đặc tuyến tĩnh:

+ Họ đặc tuyến vào mô tả mối quan hệ giữa điện vào U_{BE} với dòng điện I_B .

$$U_{BE} = f(I_B) | U_{CE} const$$



Họ đặc tuyến vào của transistor Ge loại PNP trong sơ đồ EC

Chương III: Linh kiện tích cực

Nhận xét:

Khi điện áp $U_{BE} > 0$ thì tiếp xúc phát T_E phân cực ngược, $I_E \sim 0$ nên $I_B \sim 0$

Khi điện áp $U_{BE} < 0$ thì T_E phân cực thuận và lúc đó có hiện tượng chích các hạt dẫn vào miền gốc và do đó có hiện tượng tái hợp trong miền gốc và trong mạch cực gốc sẽ có thành phần dòng điện tái hợp nên I_B được tính như sau:

$$I_B = (1 - \alpha)I_E - I_{CB0}$$

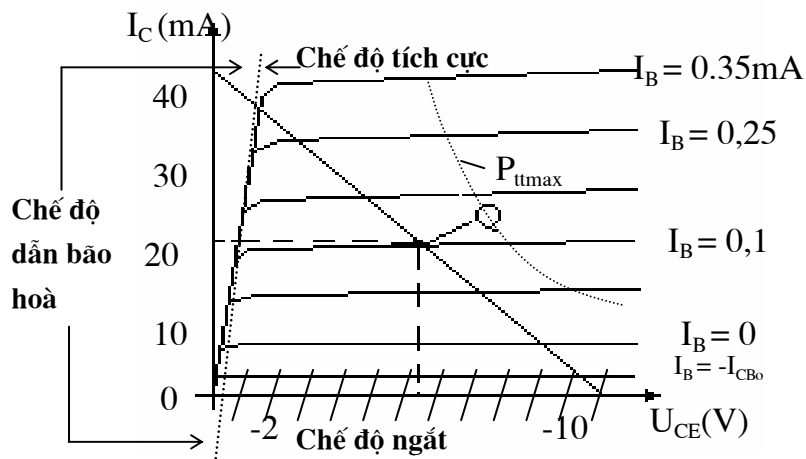
Do dòng điện I_E tăng theo quy luật hàm số mũ với U_{BE} nên I_B cũng tăng theo quy luật hàm mũ với U_{BE}

Khi thay đổi điện áp trên mạch ra U_{CE} thì dòng điện vào I_B thay đổi rất ít. Khi U_{CE} càng âm thì dòng I_B giảm một chút do I_{CB0} tăng.

+ Họ đặc tuyến ra biểu thị mối quan hệ giữa dòng điện trên mạch ra I_C và điện áp trên mạch ra U_{CE}

$$I_C = f(U_{CE})|_{I_B = const}$$

có thể tính I_C như sau:
$$I_C = \frac{\alpha}{1 - \alpha} I_B + \frac{1}{1 - \alpha} I_{CB0} = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CB0}$$



Đây chính là biểu thức biểu thị mối quan hệ giữa dòng điện điều khiển (I_B) và dòng điện bị điều khiển (I_C) trong sơ đồ mắc cực phát chung.

Nhận xét:

I_C có giá trị cực tiểu khi cả T_E và T_C đều phân cực ngược, transistor làm việc ở chế độ ngắt. Lúc này $I_C = I_{CB0}$

Khi $I_B = 0$ tức là điện áp U_{BE} bắt đầu phân cực thuận cho T_E , $I_C = (\beta + 1)I_{CB0}$

Khi tăng điện áp trên mạch ra (U_{CE} âm hơn) thì dòng điện cực góp I_C không giữ nguyên mà tăng lên do T_C bị phân cực mạnh hơn nên độ rộng miền base giảm, dòng tái hợp giảm, do vậy hệ số khuếch đại dòng điện cực phát α tăng và hệ số khuếch đại dòng điện cực gốc β cũng tăng.

Đặc điểm của sơ đồ mắc cực phát chung

- . Tín hiệu vào và ra ngược pha nhau
- . Trở kháng vào bé (nhưng lớn hơn trong sơ đồ BC) $200 \div 2000 \Omega$
- . Trở kháng ra lớn (nhưng nhỏ hơn trong sơ đồ BC) $20k \div 100k \Omega$
- . Hệ số khuếch đại dòng cực gốc

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \text{ (vài chục đến vài}$$

trăm lần)

- . Hệ số khuếch đại K_U

$$K_U = \frac{\Delta U_{ra}}{\Delta U_{vao}} = -S(R_C // r_{CE}) \text{ (có giá}$$

trị từ $10^3 \div 10^4$ lần)

- . Hệ số khuếch đại công suất $K_P = \frac{P_{ra}}{P_{vao}}$ vài chục

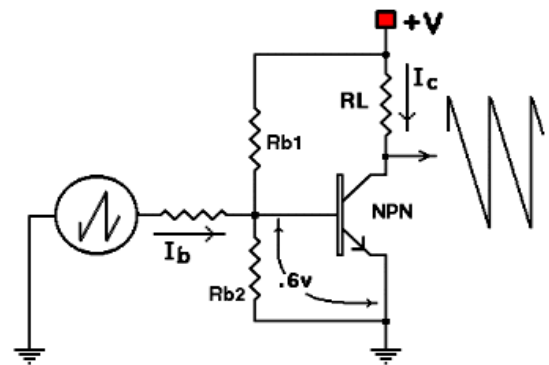
- . Dòng điện rò I_{Ceo} (lớn hơn ở BC)

Si: vài μ : vài chục μA

Ge: vài trăm μA

- . Tần số làm việc khá cao (thấp hơn BC) do điện dung nhỏ

Sơ đồ này được sử dụng rộng rãi do có β , K_U , K_P rất lớn. Mạch làm việc ổn định về nhiệt, trở kháng đầu vào/ra chênh lệch ít.



c. Sơ đồ mắc cực góp chung (CC – Collector common) (còn gọi là sơ đồ lập cực phát)

Hình bên là một sơ đồ mắc transistor kiểu colecto chung.

Trong đó:

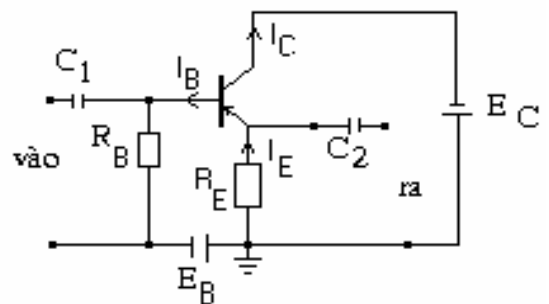
E_B , E_C là điện áp một chiều cung cấp cho transistor

R_B là điện trở định thiên có nhiệm vụ tạo sụt áp của E_B để phân cực thuận cho T_E và đưa tín hiệu vào.

R_E là điện trở phân cực cho cực E và là điện trở tải để tạo sụt áp dòng xoay chiều của tín hiệu đưa ra mạch sau

C_1 , C_2 là tụ ghép tầng có nhiệm vụ dẫn tín hiệu vào mạch và dẫn tín hiệu ra

Như thế tín hiệu cần khuếch đại được đưa vào giữa cực gốc và cực góp, tín hiệu sau khi khuếch đại được lấy ra trên R_E đặt giữa cực phát và cực góp. Cực góp chính là cực chung của mạch vào và ra nên sơ đồ được gọi là mắc cực góp chung.



Chương III: Linh kiện tích cực

Đặc điểm của sơ đồ mắc cực góp chung:

. Tín hiệu vào và tín hiệu ra đồng pha

. Trở kháng vào lớn

$$Z_{vao} = \beta R_E = 20K\Omega \div 500K\Omega$$

. Trở kháng ra nhỏ $Z_{ra} = 50\Omega \div 5K\Omega$

. Hệ số khuếch đại điện áp

$$K_u = \frac{\Delta U_{ra}}{\Delta U_{vao}} = \frac{\Delta U_{BC} - \Delta U_{BE}}{\Delta U_{BC}} < 1$$

thường lấy $K_u \sim 1$.

. Hệ số khuếch đại dòng điện cực gốc

$$K_i = \frac{I_E}{I_B} = \frac{1}{1 - \alpha} = \beta + 1 \approx \beta$$

vì $\beta \gg 1$ nên hệ số khuếch đại dòng điện

trong sơ đồ mắc cực góp chung tương đương với hệ số khuếch đại dòng điện của sơ đồ mắc cực phát chung.

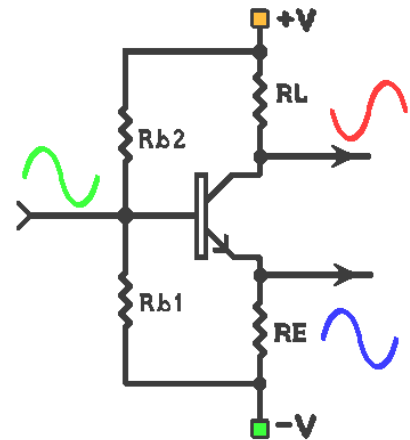
. Hệ số khuếch đại công suất K_p có trị số từ vài chục đến vài trăm lần

. Dòng điện rò nhỏ và có trị số tương đương như trong sơ đồ mắc cực phát chung

. Tần số làm việc giới hạn cũng có giá trị giống như ở sơ đồ mắc cực phát chung

Do có trở kháng vào rất lớn nhưng trở kháng ra lại rất nhỏ nên sơ đồ này thường được dùng như một bộ biến đổi trở kháng, tức là phối hợp trở kháng giữa một mạch có trở kháng ra cao và một mạch có trở kháng vào thấp.

Đặc tuyến và tham số của sơ đồ mắc cực góp chung cũng tương tự như ở sơ đồ mắc cực phát chung.



IV. TRANSISTOR HIỆU ỨNG TRƯỜNG (FET – Field effect Transistor)

1. Khái niệm chung

a. Nguyên tắc hoạt động

Nguyên tắc hoạt động cơ bản của FET là làm cho dòng điện cần điều khiển đi qua một môi trường bán dẫn có tiết diện dẫn điện thay đổi dưới tác dụng của điện trường vuông góc với lớp bán dẫn đó. Sự thay đổi cường độ điện trường sẽ làm thay đổi điện trở của lớp bán dẫn và do đó làm thay đổi dòng điện đi qua nó. Lớp bán dẫn này được gọi là kênh dẫn điện. Đây là điểm khác biệt so với BJT vì BJT dùng dòng điện cực gốc để điều khiển.

Trong FET, dòng điện hình thành do một loại hạt dẫn duy nhất, hoặc là điện tử hoặc là lỗ trống.

b. Phân loại

Transistor trường có 2 loại là:

+ Transistor trường có điều khiển bằng tiếp xúc P - N (hay còn gọi là transistor mối nối – JFET- Junction field effect transistor)

+ Transistor có cực cửa cách điện (IGFET – insulated gate field effect transistor)

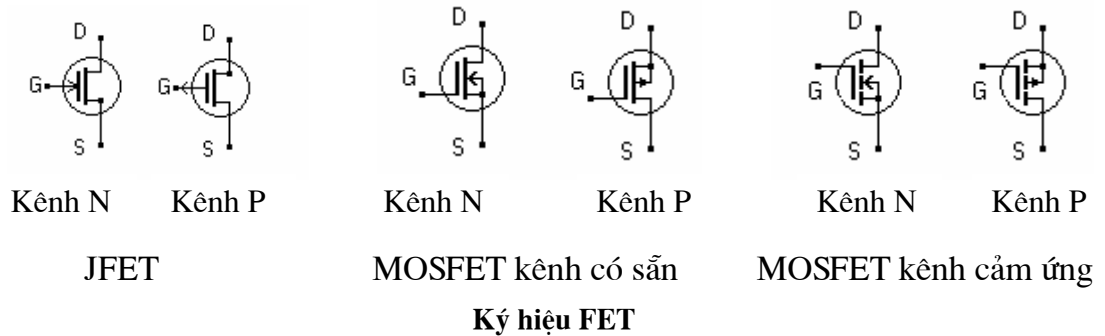
Chương III: Linh kiện tích cực

hay MOSFET (metal oxide semiconductor field effect transistor).

MOSFET được chia làm 2 loại là MOSFET kênh có sẵn và MOSFET kênh cảm ứng

Mỗi loại FET ở trên lại được chia thành loại kênh N hoặc kênh P (tùy theo hạt dẫn điện là điện tử hay lỗ trống)

c. Ký hiệu FET trong sơ đồ mạch



S: source – cực nguồn mà qua đó các hạt đa số đi vào kênh và tạo ra dòng điện nguồn I_s

D: drain – cực máng là cực mà ở đó các hạt dẫn đa số rời khỏi kênh dẫn

G: gate – cực cửa là cực điều khiển dòng điện chạy qua kênh dẫn

d. Ưu điểm và nhược điểm của FET

Ưu điểm:

- + Trở kháng vào rất cao
- + Tạp âm ít hơn nhiều so với transistor lưỡng cực
- + Độ ổn định nhiệt cao
- + Tần số làm việc cao

Nhược điểm:

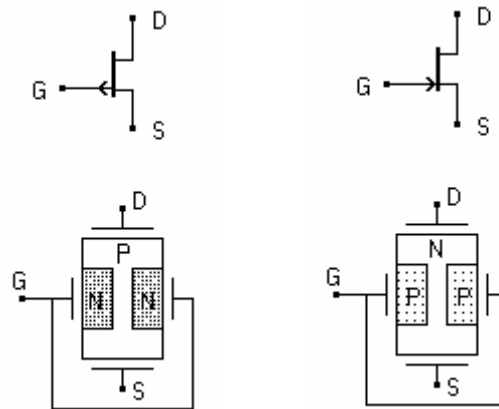
- + Công nghệ chế tạo phức tạp nên khó sản xuất hơn BJT
- + Hệ số khuếch đại thấp hơn nhiều so với BJT

2. Transistor trường điều khiển bằng tiếp xúc P - N (JFET)

a. Cấu tạo và nguyên tắc hoạt động

JFET có cấu tạo gồm có một miếng bán dẫn mỏng loại N (ta có JFET kênh loại N) hoặc loại P (ta có JFET kênh loại P) ở giữa 2 tiếp xúc P - N và được gọi là kênh dẫn điện. Hai đầu của miếng bán dẫn được đưa ra 2 chân cực gọi là cực máng (D) và cực nguồn (S). Hai miếng bán dẫn ở 2 bên của kênh được nối với nhau và đưa ra một chân cực gọi là cực cửa (G)

Chương III: Linh kiện tích cực

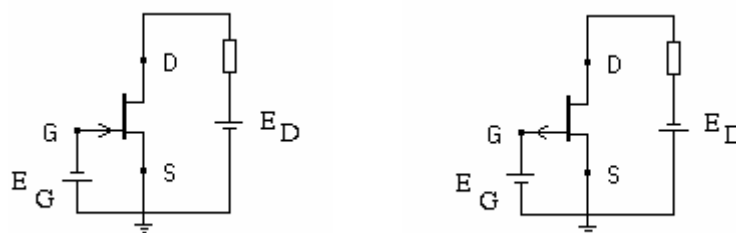
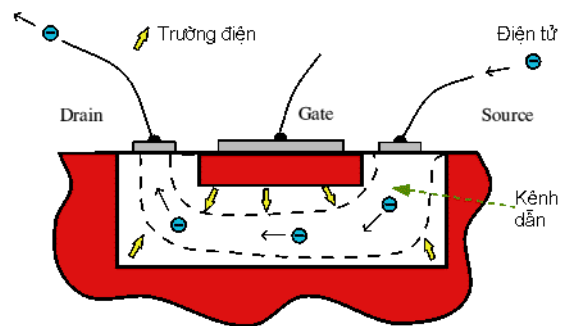


Cấu tạo của JFET kênh dẫn loại P và N

Các JFET hầu hết là loại có cấu trúc đối xứng, nghĩa là khi đấu trong mạch có thể đổi chỗ 2 chân cực máng và nguồn mà tính chất và tham số của FET không thay đổi.

Nguyên tắc làm việc:

Muốn JFET làm việc ở chế độ khuếch đại cần phải cung cấp nguồn điện một chiều giữa cực cửa và cực xúc P - N đều được phân cực ngược còn nguồn điện cung cấp giữa cực máng và cực nguồn U_{DS} có chiều sao cho các hạt dẫn đa số phải chuyển động từ cực nguồn S đi qua kênh về cực máng để tạo nên dòng điện cực máng I_D .



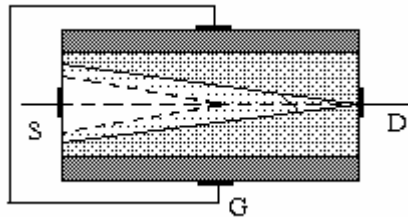
Sơ đồ phân cực cho JFET kênh N và kênh P

JFET kênh N và kênh P có nguyên tắc hoạt động giống nhau. Chúng chỉ khác nhau về chiều của nguồn điện cung cấp là ngược chiều nhau. Ở đây ta xét trường hợp JFET kênh loại N.

Với JFET kênh loại N cần mắc nguồn cung cấp sao cho:

$U_{GS} < 0$ để 2 chuyển tiếp P và N phân cực ngược

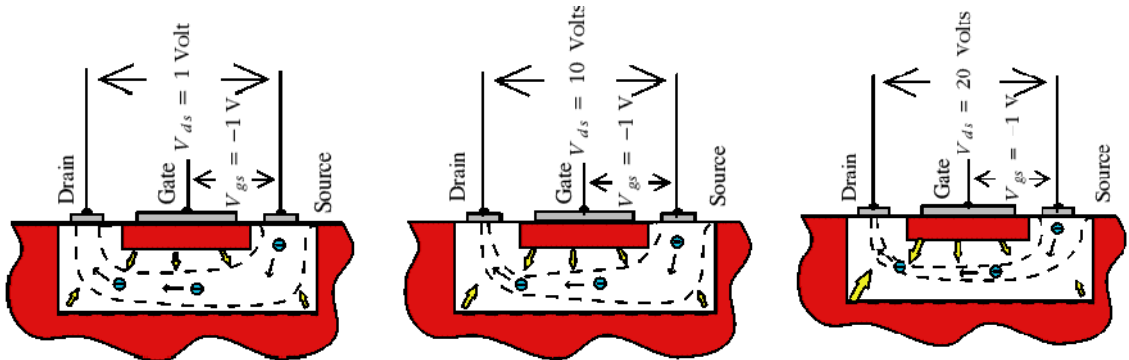
$U_{DS} > 0$ để điện tử di chuyển từ S tới D



Điểm thắt kênh dịch chuyển về phía S khi tăng U_{DS}

Khi $U_{DS} > 0$ thì điện thế tại mỗi điểm dọc theo kênh từ cực nguồn S đến cực máng D sẽ tăng từ 0V tới U_{DS} ở cực máng D, do đó chuyển tiếp P - N phân cực ngược mạnh dần về phía cực máng làm cho bề dày lớp chuyển tiếp tăng dần về phía D và tiết diện của kênh sẽ hẹp dần về phía cực máng D. (càng tăng U_{DS} thì điểm thắt càng dịch về phía S, nghĩa là hiện tượng thắt kênh dẫn sớm xảy ra).

Hình dưới đây minh họa hình ảnh kênh dẫn bị thắt khi tăng U_{DS} .

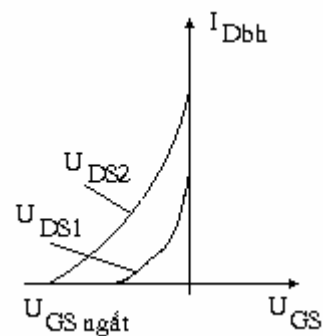


b. Đặc tuyến truyền đạt, đặc tuyến ra

U_{GS} ngắt là điện áp ngược lớn nhất mà tại đó $I_D = 0$, hai miền điện tích không gian của 2 chuyển tiếp P - N phủ trùm lên nhau, kênh dẫn biến mất, dòng qua kênh bằng 0.

Qua đường đặc tuyến truyền đạt ta thấy: khi thay đổi điện áp trên cực cửa thì bề dày của lớp tiếp xúc P - N sẽ thay đổi làm cho tiết diện của kênh cũng thay đổi theo, kéo theo điện trở của kênh thay đổi và cường độ dòng điện qua kênh cũng thay đổi. Như vậy điện áp trên cực cửa U_{GS} đã điều khiển được dòng điện ở cực máng I_D .

Khi đặt điện áp U_{DS} lên giữa cực máng D và cực nguồn S thì sẽ có một dòng điện I_D chạy qua kênh. Vì dòng điện không chảy trong vùng nghèo hạt dẫn nên ta có thể tính như sau:



Đặc tuyến truyền đạt của JFET kênh loại N

Chương III: Linh kiện tích cực

$$I_D = S \cdot q \cdot N_D \cdot \mu_n \cdot E = 2b \cdot w \cdot q \cdot N_D \cdot \mu_n \frac{U_{DS}}{L}$$

$S = 2bw$ là tiết diện của kênh dẫn

$2b$ là độ rộng của kênh tương ứng với khi dòng điện $I_D = 0$

w là kích thước vuông góc với hướng b của kênh

L là chiều dài kênh dẫn

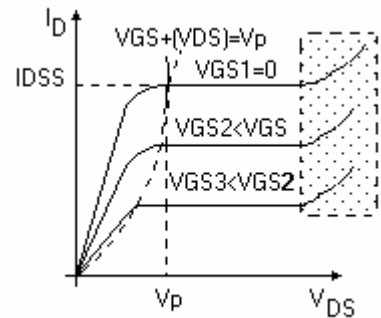
U_{DS} là điện áp đặt giữa cực máng và cực nguồn

Nhận xét đặc tuyến ra:

. Vùng gần gốc: I_D tỉ lệ tuyến tính theo U_{DS} . JFET giống như một điện trở thuần

. Vùng thắt (vùng bão hoà): I_D phụ thuộc vào U_{GS} , JFET hoạt động như phần tử khuếch đại, dòng I_D được điều khiển bằng điện áp U_{GS} . Điểm A được gọi là điểm thắt của kênh, tại đó 2 tiếp xúc P - N chạm nhau và trị số điện áp U_{DS} đạt giá trị bão hoà.

. Vùng đánh thủng: khi trị số U_{DS} tăng quá cao tiếp xúc P - N bị đánh thủng, dòng điện I_D tăng vọt. Điểm B được gọi là điểm đánh thủng. Trên thực tế hiện tượng này hiếm khi xảy ra.



Đặc tuyến ra của JFET kênh loại N

Chú ý: U_{GS} càng âm thì điểm A và B càng gần gốc, nghĩa là quá trình bão hoà và đánh thủng sớm xảy ra khi tăng dần U_{DS} .

Bảng: Giá trị một số tham số của FET

Tham số	JFET	MOSFET
Độ dẫn S	0,1 ÷ 10 mA/V	0,1 ÷ 20 mA/V
Điện trở cực máng r_d	0,1 ÷ 1 MΩ	1 ÷ 50 KΩ
Điện dung giữa cực máng và cực nguồn C_{ds}	0,1 ÷ 1 pF	0,1 ÷ 1 pF
Điện dung giữa cực cửa và các cực nguồn, máng C_{gs}, C_{gd}	1 ÷ 10 pF	1 ÷ 10 pF
Điện trở giữa cực cửa và cực nguồn r_{gs}	$> 10^8 \Omega$	$> 10^{10} \Omega$
Điện trở giữa cực cửa và cực máng r_{gd}	$> 10^8 \Omega$	$> 10^{14} \Omega$

3. Transistor trường loại MOSFET

Đây là loại transistor trường có cực cửa cách điện với kênh dẫn điện bằng một lớp cách điện mỏng. Lớp cách điện thường được dùng là chất oxit nên transistor trường loại này còn được gọi là transistor MOS.

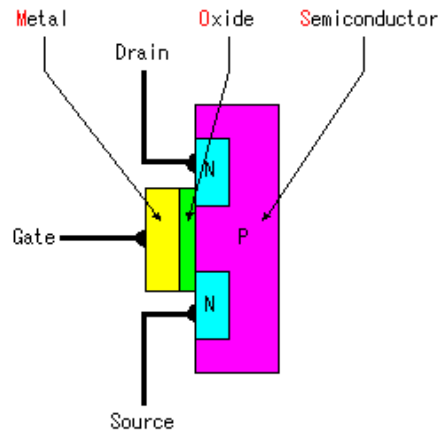
a. Cấu tạo của MOSFET

Điện cực của của MOSFET được cách điện đối với kênh dẫn điện bằng một màng điện môi mỏng thường là oxit silic (SiO_2). Đế của linh kiện là một chất bán dẫn khác loại với chất bán dẫn làm cực S và D. (MOS – Metal – oxit – semiconductor)

MOSFET có 2 loại là MOSFET kênh có sẵn (còn gọi là DMOSFET - Depleted MOSFET - loại nghèo) và MOSFET kênh cảm ứng (còn gọi là EMOSFET – Enhanced MOSFET - loại giàu). Trong mỗi loại này lại có 2 loại là kênh dẫn loại N và kênh dẫn loại P.

MOSFET kênh có sẵn là loại transistor mà khi chế tạo người ta đã chế tạo sẵn kênh dẫn. Loại này có nhược điểm là có dòng rò lớn nên hiện nay người ta sử dụng loại này rất ít.

Ký hiệu của loại DMOSFET như sau:



Kênh N



Kênh P

MOSFET kênh cảm ứng là loại transistor khi chế tạo người ta không chế tạo sẵn kênh dẫn mà kênh dẫn được hình thành trong quá trình transistor làm việc. Ký hiệu của EMOSFET như sau:

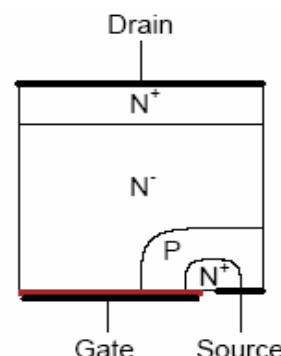
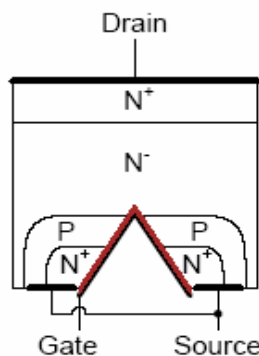


Kênh N



Kênh P

Dưới đây là một số hình ảnh pha tạp thực tế để tạo EMOSFET loại N.



Chương III: Linh kiện tích cực

b. Nguyên tắc làm việc

Nguyên tắc hoạt động của MOSFET kênh loại P và MOSFET kênh loại N giống nhau nhưng cực tính nguồn cung cấp ngược nhau.

MOSFET kênh có sẵn (loại N)

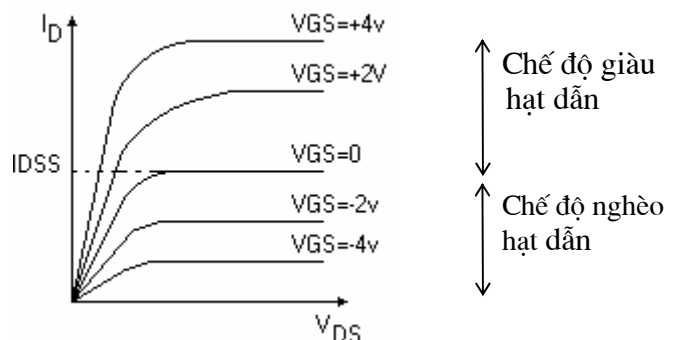
Khi transistor làm việc thông thường cực nguồn S được nối với đế của linh kiện và nối đất nên $U_S = 0$. Các điện áp đặt vào các chân cực cửa G và cực máng D là so với chân cực S.

Các chân cực được cấp nguồn sao cho dòng điện chạy từ cực S tới cực D, điện áp trên cực cửa sẽ quyết định MOSFET làm việc ở chế độ giàu hạt dẫn hay nghèo hạt dẫn.

Khi $U_{GS} = 0$ trong mạch vẫn có dòng điện cực máng (dòng các hạt điện tử) nối giữa cực S và cực D

Khi $U_{GS} > 0$ điện tử bị hút vào vùng kênh đối diện với cực cửa làm giàu hạt dẫn cho kênh, tức là làm giảm điện trở của kênh do đó tăng dòng cực máng I_D . Chế độ làm việc này gọi là chế độ giàu của MOSFET

Khi $U_{GS} < 0$ quá trình xảy ra ngược lại, tức là điện tử bị đẩy ra xa kênh dẫn làm điện trở của kênh tăng lên, do vậy dòng cực máng I_D giảm. Chế độ này gọi là chế độ nghèo hạt dẫn của MOSFET.



Họ đặc tuyến ra của MOSFET kênh có sẵn loại N

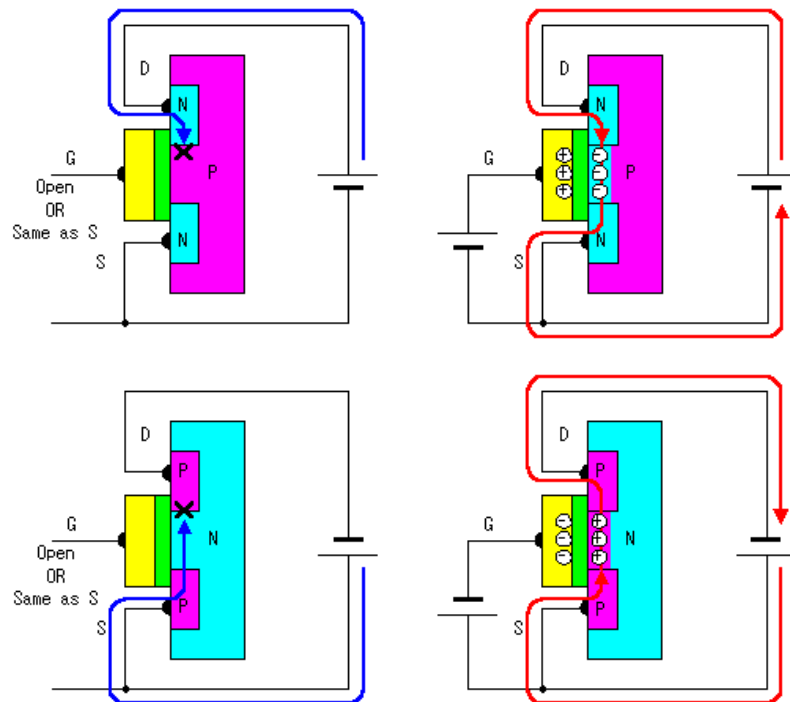
MOSFET kênh cảm ứng (loại N)

Loại MOSFET này kênh dẫn chỉ xuất hiện trong quá trình làm việc

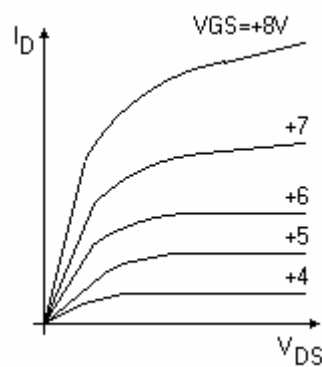
Khi $U_{GS} \leq 0$, kênh dẫn không tồn tại, dòng $I_D = 0$

Khi $U_{GS} > 0$ tại vùng đế đối diện cực cửa xuất hiện các điện tử tự do và hình thành kênh dẫn nối giữa nguồn và máng. Độ dẫn điện của kênh phụ thuộc vào U_{GS} . Như vậy, MOSFET kênh cảm ứng chỉ làm việc với một loại cực tính của U_{GS} và chỉ ở chế độ giàu.

Dưới đây là hình minh họa cho các trường hợp trên với từng loại EMOSFET.



Họ đặc tuyến đầu ra của EMOSFET



Họ đặc tuyến ra của MOSFET kênh cảm ứng loại N

c. Các sơ đồ mắc FET

Cũng như BJT, FET có 3 cách mắc cơ bản trong các sơ đồ khuếch đại: sơ đồ mắc cực nguồn chung, mắc cực máng chung và mắc cực cửa chung.

Sơ đồ mắc cực nguồn chung (SC – source common)

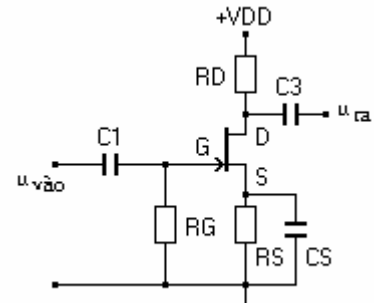
Sơ đồ mắc cực nguồn chung của FET giống như sơ đồ mắc cực phát chung đối với BJT nhưng có điểm khác là dòng I_G thực tế bằng 0 và trở kháng vào rất lớn.

Đặc điểm của sơ đồ SC:

- + Tín hiệu vào và tín hiệu ra ngược pha
- + Trở kháng vào vô cùng lớn $Z_{vao} = R_{GS} \approx \infty$

Chương III: Linh kiện tích cực

- + Trở kháng ra $Z_{ra} = R_D // r_d$
- + Hệ số khuếch đại điện áp $\mu \sim (150 \div 300 \text{ lần đối với JFET kênh N và } 75 \div 150 \text{ lần đối với JFET kênh P})$



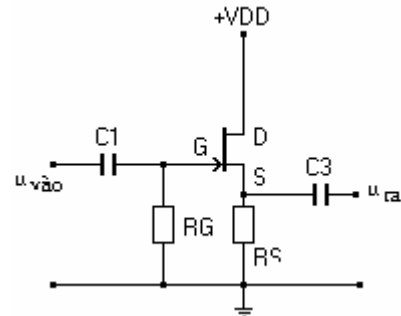
Sơ đồ mắc nguồn chung của JFET kênh loại N

Sơ đồ mắc cực máng chung (DC – drain common)

- Sơ đồ mắc cực cửa chung giống như sơ đồ mắc cực góp chung của BJT
- Đặc điểm của sơ đồ DC:
 - + Tín hiệu vào và tín hiệu ra đồng pha
 - + Trở kháng vào cực lớn (lớn hơn cả trong sơ đồ SC)
 - + Trở kháng ra rất nhỏ $Z_{vào} = R_S //$

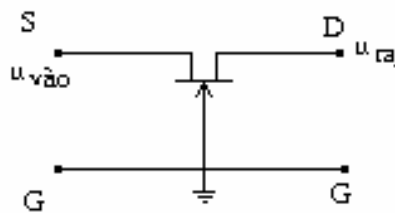
$$\frac{1}{S}$$

- + Hệ số khuếch đại điện áp $\mu < 1$



Sơ đồ mắc cực máng chung của JFET kênh N

Sơ đồ mắc cực cửa chung (GC – gate common)



Sơ đồ mắc cực cửa chung của JFET kênh N

Sơ đồ này không được dùng trên thực tế do có trở kháng vào rất nhỏ còn trở kháng ra rất lớn nên không sử dụng được lợi thế của FET.

V. MỘT SỐ LOẠI LINH KIỆN TÍCH CỰC KHÁC

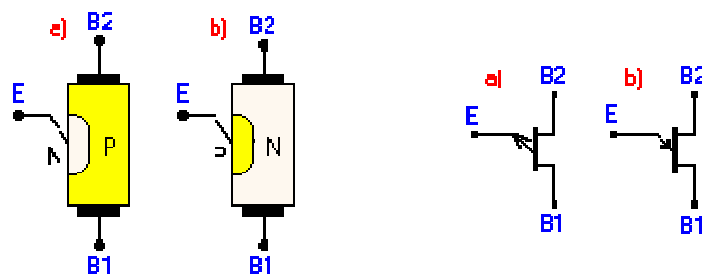
1. Transistor một tiếp giáp (UJT)

a. Cấu tạo và ký hiệu

UJT là transistor một tiếp giáp (Uni-junction Transistor) tức UJT là một linh kiện có một chuyển tiếp đơn, giống như Diode. Tuy nhiên, cấu trúc chi tiết của nó lại khác. Nó gồm một phiến bán dẫn silic loại N (hay P) hai đầu gắn điện cực gọi là cực base 1 và base 2. Trên phiến bán dẫn này, gần hơn với base 2 có một chuyển tiếp P-N như chỉ ra ở hình dưới đây. Điện cực thứ 3 được gọi là “emitter”.

Ký hiệu của Transistor một tiếp giáp UJT (hình a là cấu tạo và ký hiệu của UJT loại P, hình b biểu diễn loại N)

Trở kháng giữa base 1 và base 2 được đo khi dòng emitter = 0 được gọi là “trở



kháng giữa các base” R_{BB} và có giá trị điển hình khoảng $5K - 10 K\Omega$.

b. Nguyên tắc hoạt động

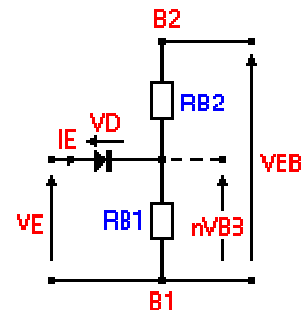
Hình bên chỉ ra mạch tương đương đơn giản của UJT với cực Base loại N. Trở kháng R_{BB} được phân đôi bởi chuyển tiếp P-N (biểu thị bởi diode) thành 2 điện trở R_{B1} và R_{B2} , mà tổng của nó bằng R_{BB} .

Trong chế độ hoạt động thông thường, điện áp V_{BB} được cung cấp cho base 1 và base 2, với base 2 dương hơn so với 1. Khi không có dòng I_E , phiến bán dẫn sẽ hoạt động giống như một bộ phân áp đơn giản và có một phần điện áp xác định của V_{BB} xuất hiện trên R_{B1} . Tỷ số n được gọi là “tỷ số cân bằng nội” và giá trị của nó khoảng 0,5 đến 0,9. Tỷ số này được cho bởi:

$$n = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

Điện áp V_{BB} khiến cathode của diode của dương hơn so với B1 và có giá trị điện thế $n \cdot V_{BB}$. Nếu điện áp emitter V_E nhỏ hơn giá trị này, chuyển tiếp sẽ được phân cực ngược và chỉ có một dòng emitter ngược nhỏ chảy qua.

Nếu V_E lớn hơn $(nV_{BB} + V_D)$, với V_D là điện áp ngưỡng của chuyển tiếp, thì diode sẽ được phân cực ngược và có một dòng emitter thuận I_E chảy qua. Dòng này do các lỗ trống “khuếch tán” vào phần thấp hơn của thanh bán dẫn và làm tăng độ dẫn (do số lượng các hạt dẫn tự do tăng). Điều này khiến cho điện trở R_{B1} giảm. Khi R_{B1} giảm, điện áp $n \cdot V_{BB}$ cũng giảm, bởi thế có sự gia tăng điện áp thuận qua diode và tất nhiên dòng qua diode cũng tăng. Quá trình tích lũy này tiếp tục cho đến khi đạt đến giá trị dòng I_E



Pham Thanh Huyen_GTVT

Chương III: Linh kiện tích cực

tức đạt đến trạng thái bão hoà của thanh bán dẫn tại miền R_{B1} . Bắt đầu từ các điều kiện này, điện áp V_E , mà có giá trị nhỏ nhất V_v (điện áp điểm trũng), bắt đầu tăng khi dòng tăng, giống như đặc tuyến thông thường của diode.

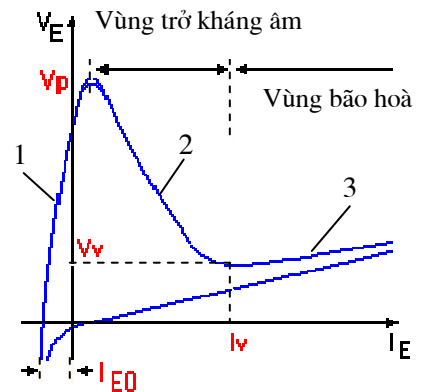
Đặc trưng của đặc tuyến dòng/áp của UJT như chỉ ra ở hình bên.

Đường cong này, có 3 miền làm việc:

Vùng 1: $0 < V_E < V_p$: dòng I_E là rất nhỏ và trở kháng vào rất cao.

Vùng 2: $V_p < V_E < V_v$: trở kháng vào là âm, có nghĩa một sự gia tăng dòng sẽ khiến cho điện áp giảm.

Vùng 3: $V_E > V_v$: trở kháng vào lại trở nên dương và có giá trị tương tự với trở kháng của diode khi dẫn.



Các điểm đặc trưng:

V_p được gọi là điện áp đỉnh và bằng:

$$V_p = n \cdot V_{B2B1} + V_D = n \cdot V_{BB} + V_D.$$

V_v : điện áp điểm trũng.

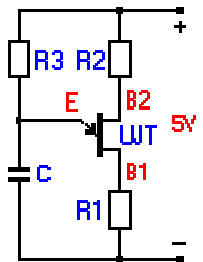
I_v : dòng điện điểm trũng.

Transistor UJT được dùng chủ yếu trong các mạch chuyển mạch, định thời, mạch trigger và mạch tạo xung.

c. Một số mạch ứng dụng của UJT

Mạch tạo xung răng cưa.

Giả thiết tại thời điểm bắt đầu của chu kỳ, tụ C đã phóng hết điện. Khi này chuyển tiếp emitter bị phân cực ngược do điện áp trên $R_1 > 0$. Vì vậy, tụ sẽ nạp qua R_3 với hằng số thời gian $R_3 \cdot C$. Khi điện áp trên C đạt tới điện áp đỉnh của UJT, UJT bắt đầu dẫn, cho phép tụ điện phóng qua R_{B1} và R_1 và giảm xuống điện áp nhỏ nhất rất gần điện áp điểm trũng. Tại thời điểm này, UJT lại khoá (ngắt) và bắt đầu chu kỳ kế tiếp.

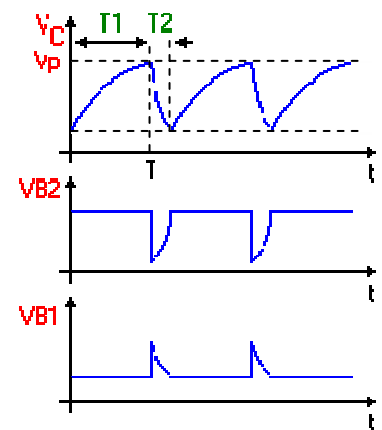


Các tín hiệu tại các điểm khác nhau của mạch được chỉ ra ở hình bên.

Như thấy trong hình, tụ điện phóng tạo nên xung dương qua R_1 và xung âm qua R_2 , mà chu kỳ của xung phụ thuộc hằng số thời gian $(R_1 + R_{B1}) \cdot C$.

Thành phần điện áp 1 chiều dc của V_{R1} và V_{R2} được xác định bởi dòng “tĩnh”, dòng này chảy qua 2 điện trở này khi không có tín hiệu vào trên Emitter. Biên độ của xung V_{B1} và V_{B2} có thể khác nhau vì chúng được xác định bởi các điện trở R_1, R_2, R_{B2} .

Tần số f của tín hiệu (nếu hằng số thời gian phóng là rất nhỏ so với hằng số nạp) sẽ được biểu diễn bởi (chú ý $T = T_1 + T_2 \approx T_1$):



$$f = \frac{-1}{R_3 \cdot C \cdot \ln(1-n)}$$

Từ quan hệ này có thể thấy tần số sẽ không phụ thuộc điện áp nguồn cung cấp.

Bộ tạo xung vuông.

Mạch bên có thể được sử dụng để tạo ra xung vuông.

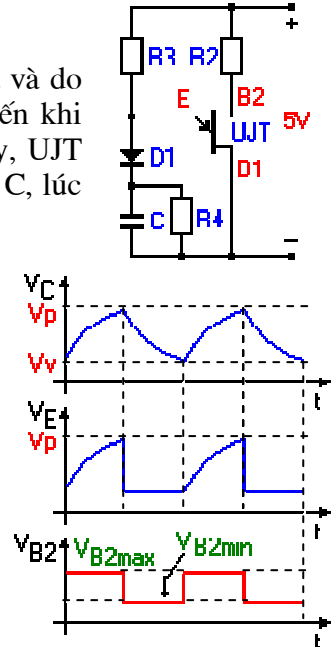
Tại thời điểm bắt đầu của chu kỳ, giả thiết C phóng hết và do vậy UJT ngắt. Sau đó tụ C sẽ nạp điện qua R3 và D1 cho đến khi điện áp trên nó đạt tới giá trị điện áp đỉnh. Tại thời điểm này, UJT bắt đầu dẫn và được nối với nguồn cung cấp qua R3. Tụ điện C, lúc này cách ly với UJT do D1, sẽ phóng điện qua R4.

Khi điện áp qua R4//C rơi xuống mức điện áp trũng, UJT sẽ ngắt và chu kỳ lại bắt đầu. Tín hiệu tại các điểm khác nhau được vẽ ở hình bên.

Chu kỳ T của tín hiệu là hàm của hằng số thời gian phóng và nạp của tụ C. Bởi thế, nó phụ thuộc vào C, R3, R4 như sau:

$$T = R_3 \cdot C \cdot \ln\left(\frac{E - V_V}{E - V_P}\right) + R_4 \cdot C \cdot \ln\left(\frac{V_P}{V_V}\right)$$

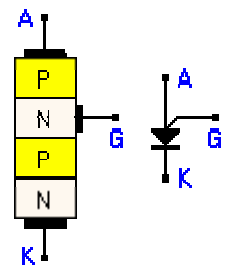
$$\approx R_3 \cdot C \cdot \ln\left(\frac{1}{1-n}\right) + R_4 \cdot C \cdot \ln\left(\frac{V_P}{V_V}\right)$$



2. PUT (Programmable UJT - UJT điều khiển được)

a. Cấu tạo và ký hiệu

PUT gồm 3 chuyển tiếp và 3 cực: anode A; cathode K và cực cửa gate G. Cấu trúc bên trong và ký hiệu của PUT được thể hiện như hình bên.

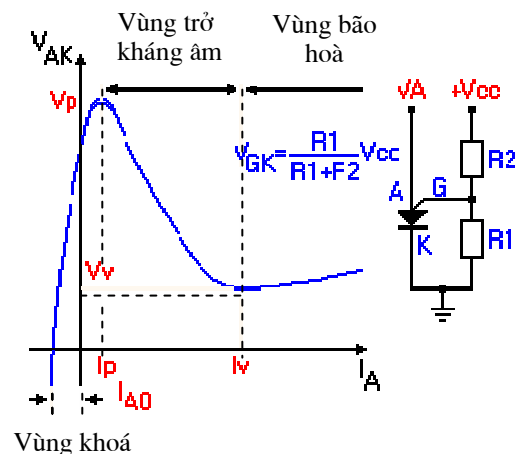


b. Nguyên tắc hoạt động

Điều kiện dẫn của PUT hay là dòng dẫn giữa anode và cathode sẽ phụ thuộc vào điện áp trên cực cửa G. Cực cửa là cực điều khiển của PUT. PUT hoạt động giống như một UJT, nhưng khác ở điểm là : dòng bắt đầu của PUT có thể được thiết lập nhờ các linh kiện bên ngoài.

Trong chế độ hoạt động thông thường của PUT, sẽ có một điện áp cố định V_{GK} giữa cực G và Cathode. Khi điện áp anode V_{AK} thay đổi sẽ có 3 vùng hoạt động sau:

Vùng khoá: V_{AK} nhỏ hơn điện áp V_P - điện áp “đỉnh” ($V_P \approx V_{GK} - 0.5 V$) Trong miền này, dòng anode rất nhỏ.



Chương III: Linh kiện tích cực

Vùng điện trở âm: nếu $V_{AK} > V_P$; I_A sẽ tăng; điện trở giữa A và K giảm và V_{AK} cũng giảm.

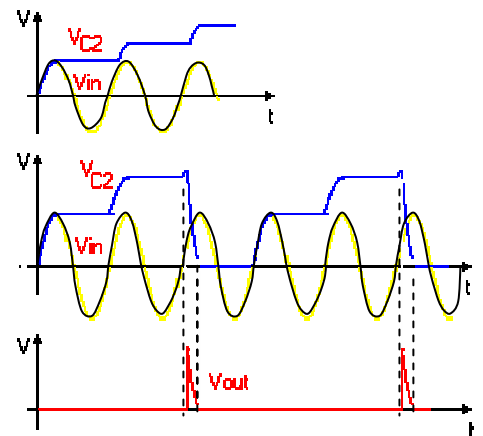
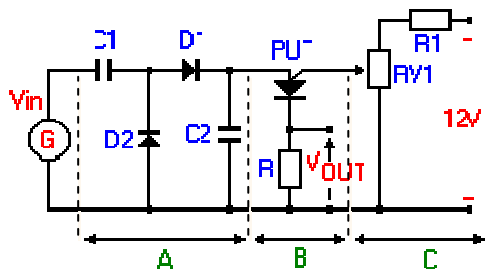
Vùng bão hoà: lúc này, V_{AK} cao hơn điện áp “trùng” V_V ; trở kháng giữa A và K có giá trị dương. PUT duy trì dẫn cho đến khi dòng anode I_A giảm thấp hơn dòng “điểm trùng” I_V .

c. Các ứng dụng của PUT.

Các ứng dụng điển hình của PUT tương tự như UJT. Ta chỉ xét ứng dụng tạo mạch chia tần.

Xét mạch trong hình dưới đây. Đoạn A là thể hiện mạch bội áp. Điện áp trên C2 sẽ gấp đôi điện áp vào. Khi nối một PUT vào mạch (đoạn B) cho phép C2 có thể phóng điện khi đạt đến điện áp ngưỡng của PUT. Do sự phóng điện sẽ có một xung điện áp trên R và tần số của xung điện áp ra này tỷ lệ với tần số của tín hiệu vào.

3. Chỉnh lưu có điều khiển SCR (Silicon Controlled Rectifier)



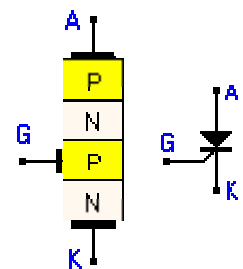
a. Cấu tạo và ký hiệu

SCR gồm 3 chuyển tiếp và có 3 cực: Anode A; cathode K; cực cửa G.

SCR (chỉnh lưu có điều khiển) còn được gọi là *thyristor*. SCR là một linh kiện điện tử có hai trạng thái hoạt động ổn định.

Trạng thái ngắt *OFF*, dòng qua là rất nhỏ và SCR có thể xem như hở mạch.

Trạng thái bật *ON*, dòng rất lớn (giới hạn bởi điện trở ngoài), và SCR thực chất là ngắn mạch.



b. Nguyên tắc hoạt động

Hoạt động của SCR được mô tả như sau:

Một xung dòng điện trên cực cửa G sẽ điều khiển trạng thái bắt đầu dẫn giữa anode và cathode.

Để giữ SCR ở trạng thái dẫn, cần một dòng nhỏ trên anode được gọi là dòng “duy trì”.

Giảm dòng anode xuống dưới giá trị ngưỡng “duy trì”, hay đảo ngược phân cực

Chương III: Linh kiện tích cực

giữa anode và cathode sẽ đưa SCR vào trạng thái ngắt.

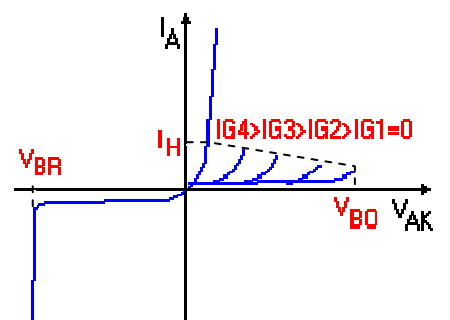
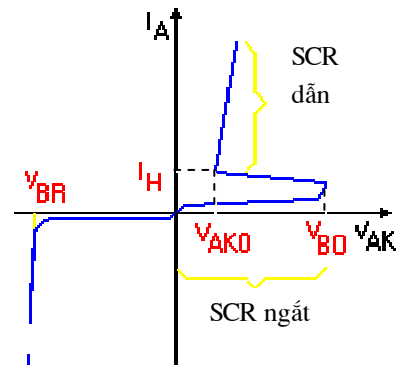
Hình bên chỉ ra đặc tuyến dòng/áp cho 1 SCR khi không có tín hiệu trên cực cửa G.

Ta có thể thấy rằng, trong miền phân cực ngược SCR sẽ hoạt động giống như một Diode.

Trong miền phân cực thuận (anode dương hơn so với cathode), ban đầu chỉ có một dòng điện nhỏ chảy qua SCR trong trạng thái mở thông. Khi điện áp phân cực thuận tăng lên và đạt đến giá trị “ngưỡng thủng” V_{BO} (break-over) thì dòng bắt đầu tăng nhanh, điện áp V_{AK} qua SCR giảm đột ngột xuống một giá trị thấp gọi là điện áp “ngưỡng thuận” V_{AK0} . Khi mà SCR dẫn, nó sẽ có mức trở kháng rất nhỏ và điện áp qua nó rất nhỏ (khoảng vài Volt), ít phụ thuộc vào dòng điện.

Tác dụng của cực cửa G là điều khiển điện áp “ngưỡng đánh thủng” V_{BO} .

Hình bên chỉ ra điện áp ngưỡng thủng phụ thuộc vào dòng cực cửa I_G .



4. DIAC và TRIAC.

a. DIAC

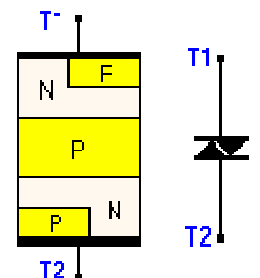
DIAC là một linh kiện gồm 2 phần PNPN kết nối song song-đối nhau, xem hình bên.

Có hai điểm khác biệt của DIAC so với SCR là:

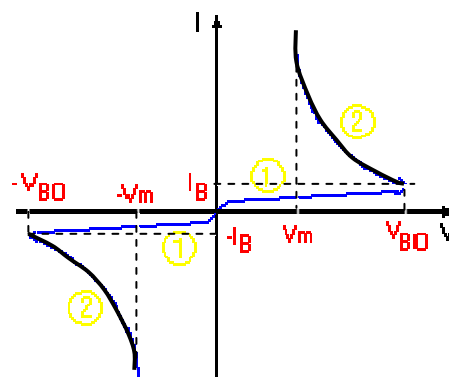
DIAC dẫn không cần điện áp đưa vào cực cửa mà chỉ cần đạt điện áp ngưỡng giữa cực T1 và T2.

DIAC có thể dẫn theo cả hai hướng.

Những đặc trưng này được chỉ ra trên đường cong dòng/áp của hình dưới đây.



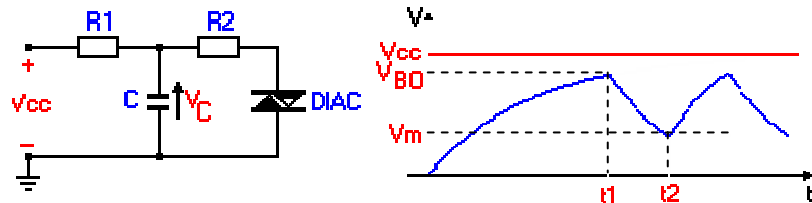
Trong đoạn (1) của đặc tuyến ($-V_{BO} \div V_{BO}$), DIAC sẽ hoạt động



như một chuyển mạch với cả hai chiều phân cực thuận và nghịch. Khi điện áp vượt qua giá trị “ngưỡng đánh thủng” V_{BO} , dòng bắt đầu tăng nhanh và điện áp giảm xuống giá trị V_m .

Chương III: Linh kiện tích cực

Trong đoạn (2) của đặc tuyến ($-V_{B0} \div -V_m$ hoặc $V_m \div V_{B0}$), điện áp sụt xuống trong khoảng thời gian ngắn, trong khoảng thời gian này, DIAC có điện trở âm. Nếu điện áp đặt vào DIAC giảm xuống nhỏ hơn V_m , DIAC sẽ quay trở lại trạng thái hở mạch (ngắt).

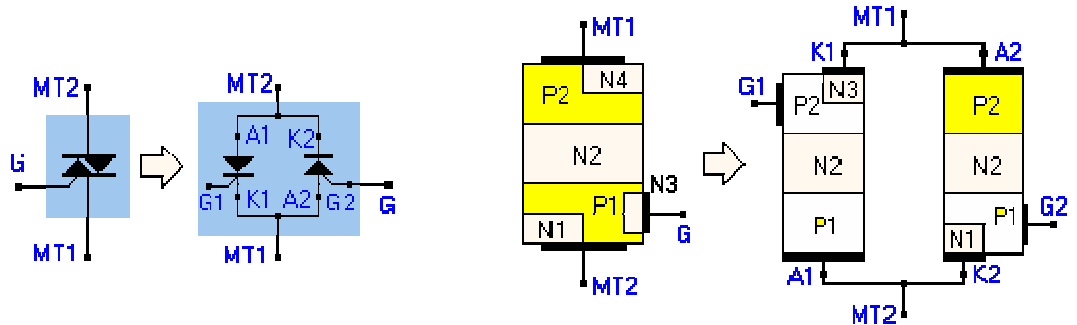


Hình trên là sơ đồ một bộ tạo dao động đơn giản sử dụng DIAC.

Với mạch này, tụ sẽ nạp qua R1 trong khoảng t_1 . Khi điện áp trên tụ bằng với V_{B0} DIAC sẽ bắt đầu dẫn. Lúc này, tụ sẽ phóng qua R2 và DIAC; điện áp trên tụ giảm xuống giá trị V_m . Khi này, DIAC chuyển về trạng thái hở mạch (ngắt). Chu kỳ lại tiếp tục.

b. TRIAC

Cấu tạo và ký hiệu



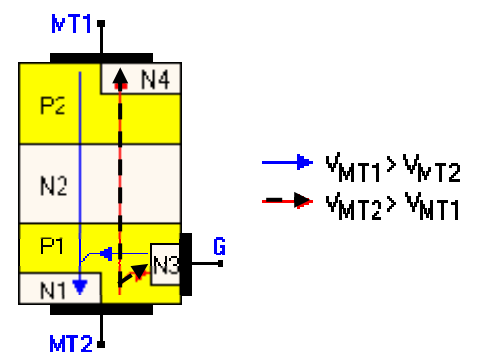
Hình bên cho thấy TRIAC về mặt cấu tạo tương đương như 2 SCR mắc song song, một kiểu P và một kiểu N.

Tuy nhiên, TRIAC khác biệt so với SCR ở khả năng dẫn theo hai hướng.

Nguyên tắc hoạt động

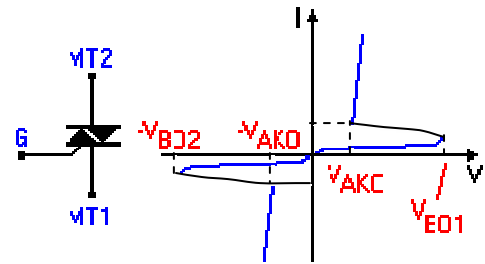
Đặc tuyến dòng/áp được thể hiện ở hình bên

Khi không có tín hiệu vào cực cửa G, TRIAC sẽ luôn ngắt, vì luôn có một diode phân cực ngược: nếu $V_{MT2} > V_{MT1}$, chuyển tiếp N2P1 sẽ đảm bảo trạng thái ngắt; còn nếu $V_{MT1} > V_{MT2}$ chuyển tiếp N2 P2 sẽ đảm bảo cho trạng thái ngắt.

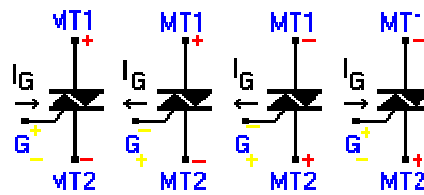


Chương III: Linh kiện tích cực

TRIAC sẽ dẫn khi điện áp giữa MT1 và MT2 vượt quá giá trị ngưỡng V_{B0} . Cũng giống như SCR, giá trị ngưỡng V_{B0} có thể được điều khiển bởi dòng trên cực cửa G. Sự dẫn có thể theo hai hướng: khi MT1 dương hơn MT2 thì P2N2P1N1 sẽ tạo đường dẫn, còn khi MT2 dương hơn so với MT1 thì dòng sẽ chảy qua P1N2P2N4



TRIAC sẽ dẫn khi có các điện áp phân cực và dòng điều khiển có chiều như hình dưới đây.



Chương IV

LINH KIỆN QUANG ĐIỆN TỬ

I. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ KỸ THUẬT QUANG ĐIỆN TỬ

1. Định nghĩa

Quang điện tử là những hiệu ứng tương hỗ giữa bức xạ ánh sáng và mạch điện tử. Bức xạ ánh sáng là 1 dạng của bức xạ điện từ có dải bước sóng từ 0,001 nm đến 1cm. Sự thay đổi trạng thái năng lượng trong nguyên tử và phân tử là nguồn gốc của các bức xạ ánh sáng đó.

Các bức xạ quang được chia thành 3 vùng là:

Vùng cực tím	Độ dài bước sóng từ 100 nm đến 380 nm
Vùng ánh sáng nhìn thấy	Độ dài bước sóng từ 380 đến 780 nm
Vùng hồng ngoại	Độ dài bước sóng từ 780 nm đến 1 mm

2. Phân loại linh kiện quang điện tử

Gồm 2 loại linh kiện là linh kiện bán dẫn và linh kiện không bán dẫn.

* Linh kiện bán dẫn quang điện tử là những linh kiện thể rắn được chế tạo từ vật liệu bán dẫn như điện trở quang, diode quang, transistor quang, LED, PiN, Laser, APD ...

* Linh kiện không bán dẫn quang điện tử là sợi quang, mặt chỉ thị tinh thể lỏng LCD, ống nhân quang ...

II. CÁC LINH KIỆN PHÁT QUANG

1. Nguyên lý bức xạ

Hai tiên đề của Bohr:

* Tiên đề về trạng thái dừng: nguyên tử chỉ tồn tại ở những trạng thái có mức năng lượng xác định, gọi là các trạng thái dừng. Trong các trạng thái dừng nguyên tử không bức xạ.

* Tiên đề về sự bức xạ và hấp thụ năng lượng của nguyên tử: trạng thái dừng có mức năng lượng càng thấp thì càng bền vững. Khi nguyên tử ở các trạng thái dừng có năng lượng lớn bao giờ cũng có xu hướng chuyển sang trạng thái dừng có mức năng

lượng nhỏ hơn.

Hệ quả rút ra từ hai tiên đề trên là: trong trạng thái dừng của nguyên tử, điện tử chỉ chuyển động quang hạt nhân theo những quỹ đạo có bán kính hoàn toàn xác định gọi là các quỹ đạo dừng.

Điều này cho thấy khi cung cấp cho nguyên tử một năng lượng nào đó thì điện tử sẽ hấp thụ năng lượng này và nhảy lên mức năng lượng cao hơn. Tuy nhiên, nếu quỹ đạo càng xa hạt nhân thì thời gian tồn tại ở quỹ đạo này càng ngắn và có xu hướng trở về quỹ đạo gần hạt nhân theo cách nhảy thẳng hoặc nhảy từng bước.

a. Sự bức xạ ánh sáng không kết hợp (bức xạ tự phát)

Như đã nói ở trên nếu các điện tử trở về mức năng lượng cơ bản từ các mức năng lượng cao theo cách nhảy thẳng hoặc nhảy từng bước qua các trạng thái dừng trung gian thì ánh sáng do chúng bức xạ ra sẽ là ánh sáng tổng hợp. Nghĩa là các xung ánh sáng này không cùng pha và tần số, ta nói nguyên tử đã bức xạ ra ánh sáng không kết hợp (*đây chính là nguyên tắc hoạt động của LED*).

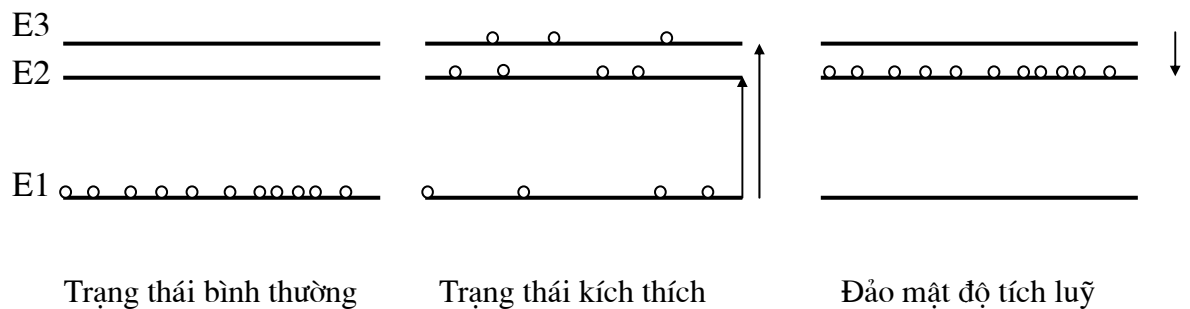
b. Sự bức xạ ánh sáng kết hợp (bức xạ kích thích)

Khi các nguyên tử tồn tại trong cùng một mạng tinh thể thì chúng ảnh hưởng lẫn nhau, do đó khái niệm mức năng lượng có thể thay bằng khái niệm dải năng lượng. Sự dịch chuyển từ trạng thái năng lượng này sang trạng thái năng lượng khác có thể bị cấm nhiều, cấm ít hay cấm hẳn.

Xét trường hợp của Laser hồng ngọc

Các điện tử có 3 mức năng lượng E1, E2, E3. Trong đó E1 là mức năng lượng cơ bản. E2 là mức năng lượng ổn định (thời gian tồn tại điện tử ở mức này là 10^{-2} s). E3 là mức năng lượng cao (thời gian điện tử tồn tại ở đây chỉ là 10^{-8} s) nên khi bị kích thích lên mức này thì điện tử nhanh chóng nhảy xuống E2.

Như vậy khi có năng lượng cung cấp thích hợp đưa vào mạng tinh thể thì điện tử



sẽ tập trung ở mức E2 ($E1 \rightarrow E2$; $E1 \rightarrow E3 \rightarrow E2$). Nghĩa là trong nguyên tử xảy ra hiện tượng đảo mật độ tích lũy (điện tử bình thường tập trung ở E1 nay chuyển sang tập trung ở E2)

Nếu ngẫu nhiên xảy ra một quá trình bức xạ của một điện tử bị kích thích nào đó thì sẽ có hiệu ứng dây chuyền xảy ra. Sở dĩ vậy là do khi chuyển từ E2 về E1 điện tử này sẽ bức xạ ra một dao động ngắn, dao động này lan truyền và tác động tới các điện tử khác và làm chúng cũng bức xạ. Tần số của bức xạ được xác định bởi mức chênh lệch năng lượng giữa E2 và E1. Do đó có thể coi rằng các điện tử nằm cùng mức năng lượng

Chương IV: Linh kiện quang điện tử

E2 được điều hưởng ở cùng một tần số và pha trùng với tần số và pha của ánh sáng kích thích. Tức là ánh sáng phát ra là ánh sáng kết hợp. Người ta gọi đây là hiện tượng khuếch đại ánh sáng nhờ bức xạ cưỡng bức. Nguyên lý này còn gọi là nguyên lý Fabry – Perot, và LASER chính là linh kiện có nguyên tắc hoạt động dựa vào nguyên lý này.

Trên thực tế năng lượng dùng để kích thích cho các quá trình đã phân tích ở trên là năng lượng điện trường và người ta gọi đó là **nguyên lý biến đổi điện / quang**. Nghĩa là từ năng lượng điện chuyển thành năng lượng quang nhờ các hiện tượng bức xạ.

2. Diode phát quang - LED (Light Emitting Diode)

LED là linh kiện bán dẫn quang có khả năng phát ra ánh sáng khi có hiện tượng tái hợp xảy ra trong chuyển tiếp P – N.

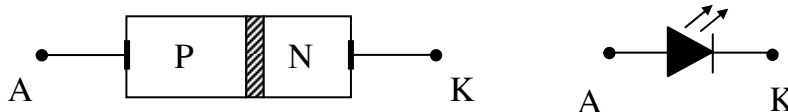
Ánh sáng do LED phát ra là ánh sáng không kết hợp, tự phát và đẳng hướng.

Tùy theo vật liệu chế tạo mà ánh sáng bức xạ của LED có thể ở những vùng bước sóng khác nhau.

LED bức xạ ra ánh sáng nhìn thấy (gọi là LED màu) được sử dụng trong các hệ thống chiếu sáng hoặc quang báo.

LED bức xạ hồng ngoại (LED hồng ngoại) được sử dụng trong hệ thống bảo vệ, sản xuất, thông tin quang....

a. Cấu tạo và ký hiệu LED



Vật liệu chế tạo LED là các nguyên tử nhóm III và V: GaAs, GaP, GaAsP ... đây là những vật liệu tái hợp trực tiếp.

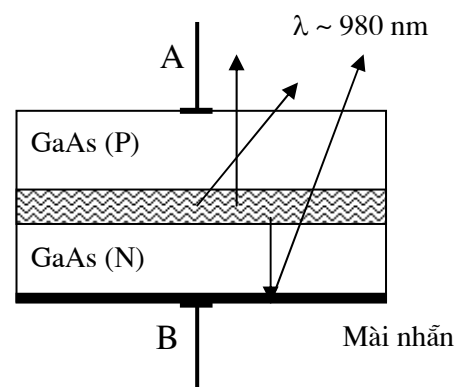
Nồng độ hạt dẫn của P và N rất cao nên điện trở của chúng rất nhỏ. Do đó khi mắc LED phải mắc nối tiếp với một điện trở hạn dòng.

Cấu tạo của LED hồng ngoại tương tự như của LED màu. Chỉ có một điểm khác biệt là một mặt của bán dẫn được mài nhẵn làm gương phản chiếu để đưa ánh sáng ra khỏi LED theo một chiều với độ tập trung cao.

b. Nguyên tắc làm việc của LED

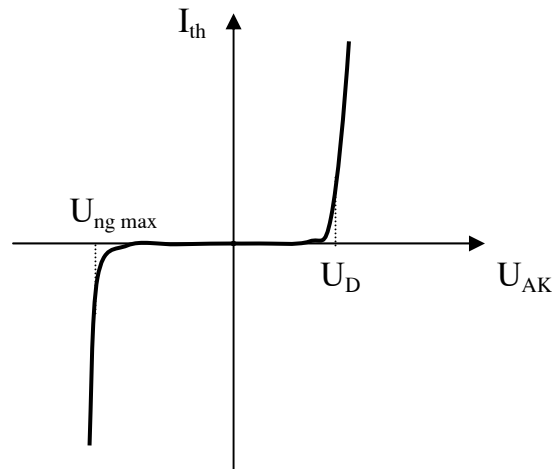
Dựa trên hiệu ứng phát sáng khi có hiện tượng tái hợp điện tử và lỗ trống ở vùng chuyển tiếp P – N. LED sẽ phát quang khi được phân cực thuận, nghĩa là biến đổi năng lượng điện thành năng lượng quang. Cường độ phát quang tỉ lệ với dòng qua LED.

Khi phân cực thuận các hạt dẫn đa số sẽ di chuyển về phía bán dẫn bên kia. Điện tử từ bên N sẽ khuếch tán sang P và lỗ trống bên P sẽ khuếch tán sang N. Trong quá trình di chuyển chúng sẽ tái hợp với nhau và phát ra các photon.



Đặc tuyến Von-Ampe của LED

Đặc tuyến V- A của LED giống như của diode thông thường.



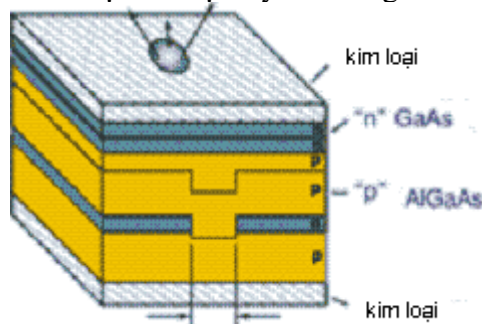
Điện áp phân cực thuận U_D : 1,6 – 3 V; điện áp phân cực ngược: 3 – 5 V; dòng I_D khoảng vài chục mA

Chú ý:

Do đặc điểm cấu tạo đặc biệt nên LED hồng ngoại tạo ra ánh sáng nằm trong vùng hồng ngoại. Ngoài ra, những tia có hướng đi vào trong lớp bán dẫn sẽ gặp gương phản chiếu và bị phản xạ trở lại để đi ra ngoài theo cùng một hướng. Việc này sẽ tăng hiệu suất một cách đáng kể cho LED.

Tia hồng ngoại có khả năng xuyên qua chất bán dẫn tốt hơn so với ánh sáng nhìn thấy nên hiệu suất phát của LED hồng ngoại cao hơn rất nhiều so với LED phát ánh sáng màu.

Để tăng cường tính định hướng cho LED, người ta thường cấu tạo LED với một lỗ cho ánh sáng đi qua. Có hai loại LED là SLED (LED phát xạ mặt) và ELED (LED phát xạ cạnh). Dưới đây là hình minh họa cho việc lấy ánh sáng ra của một SLED.



c. Tham số của LED

* Vật liệu:

Về nguyên tắc tất cả các chuyển tiếp P – N đều có khả năng phát ra ánh sáng khi được phân cực thuận nhưng chỉ có một số loại vật liệu tái hợp trực tiếp mới cho hiệu suất tái hợp cao.

Một số loại LED thông dụng:

Chương IV: Linh kiện quang điện tử

Vật liệu	E_g (eV)	Bước sóng λ (nm)	Vùng bức xạ	U_D (I=20mA)	U_{ng}
GaAs	1,43	910	Hồng ngoại	1,6 – 1,8	5
GaAsP	1,9	660	đỏ	1,6 – 1,8	5
GaAlAs	1,91	650	đỏ	1,6 – 1,8	5
GaAsP	2	635	Cam	2 - 2,2	5
GaAsP	2,1	585	Vàng	2,2 – 2,4	5
GaAsP	2,2	565	Xanh lá cây	2,4 – 2,7	5
GaP	2,24	560	Xanh lá cây	2,7 – 3	5
SiC	2,5	490	Xanh da trời	3	5
GaNO ₂	3,1	400	Tím	3	5

* Nhiệt độ

Khoảng nhiệt độ làm việc của LED : - 60°C đến + 80°C

LED rất nhạy với nhiệt độ:

Nhiệt độ càng tăng bước sóng của LED càng ngắn (bước sóng giảm 0,02 – 0,09 $\mu\text{m}/^\circ\text{C}$).

Nhiệt độ tăng cường độ bức xạ quang giảm (1% / °C)

* **Công suất phát xạ:** vài trăm μW đến vài mW

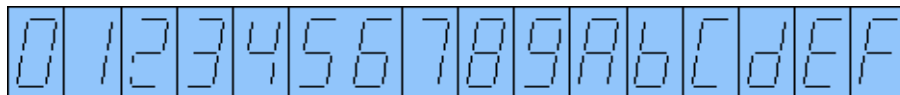
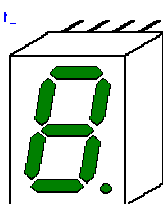
d. Phân loại và ứng dụng của LED

LED bức xạ ánh sáng nhìn thấy được sử dụng trong báo hiệu, màn hình, quảng cáo ... còn LED bức xạ ánh sáng trong vùng hồng ngoại dùng trong các hệ thống thông tin quang hoặc các hệ thống tự động điều khiển hoặc bảo mật.

Để việc sử dụng được đơn giản và gọn nhẹ người ta thường ghép nhiều LED với nhau, nếu ghép các cực anốt với nhau thì các đầu điều khiển đi vào các catốt (điều khiển bằng xung âm) và LED gọi là anốt chung. Nếu ghép các cực catốt với nhau thì cực điều khiển đi vào anốt (điều khiển bằng xung dương) và LED gọi là catốt chung. Người ta thường tạo LED theo các cấu trúc sau:

- LED đơn
- LED đôi
- LED 7 thanh .

Hình dưới đây biểu diễn các ký tự hiển thị của LED 7 thanh



- LED băng
- Ma trận LED
-

3. LASER

Như đã nói ở phần trên, LED không thể đáp ứng được những yêu cầu của hệ thống yêu cầu tốc độ cao, công suất phát lớn, tính định hướng tốt ... Trong trường hợp này người ta phải sử dụng nguồn LASER với những tính năng vượt trội so với LED. Xét về bản chất cả LED và LASER đều có nguyên tắc hoạt động dựa trên nguyên lý biến đổi điện / quang và có cấu trúc đơn giản nhất như một diode.

LASER là một linh kiện quang học dùng để tạo ra và khuếch đại ánh sáng đơn sắc có tính liên kết về pha từ bức xạ kích thích của ánh sáng.

Môi trường bức xạ có thể là chất khí, chất lỏng, tinh thể cách điện hay chất bán dẫn.

Bức xạ của các loại LASER đều có tính chất giống nhau là có tính kết hợp về không gian và thời gian, nghĩa là ánh sáng bức xạ ra ngoài là ánh sáng đơn sắc có tính định hướng cao.

Nguyên tắc hoạt động

LASER hoạt động dựa trên 3 hiệu ứng:

Hiệu ứng chích động tử: khi cho hai khối bán dẫn suy biến khác loại tiếp xúc nhau thì tại lớp tiếp xúc điều kiện đảo mật độ tích lũy được hình thành. Các phân tử mang điện khuếch tán sang nhau nhưng chỉ trong một thời gian ngắn sau khi hình thành thế cân bằng quá trình này sẽ mất đi. Để tạo ra việc đảo mật độ tích lũy thì phải đặt một điện trường ngược với điện trường tiếp xúc, nghĩa là phân cực thuận cho diode. Khi này ta nói các động tử được chích vào miền hoạt tính và chúng sẽ tham gia vào quá trình tái hợp tạo thành bức xạ LASER.

Đảo mật độ tích lũy bằng cách chiếu ánh sáng lạ hoặc cung cấp một điện trường ngoài. Khi này số trạng thái kích thích bị chiếm giữ nhiều hơn số trạng thái cơ bản bị chiếm giữ. Hiện tượng đảo mật độ tích lũy xảy ra khi có hiện tượng phun hạt dẫn và dòng bơm vượt quá dòng ngưỡng.

Phát xạ kích thích: khi điện tử chuyển từ mức năng lượng cao xuống mức năng lượng thấp thì sẽ bức xạ ra photon. Quá trình LASER là quá trình bức xạ kích thích, nó xuất hiện khi hệ số khuếch tán quang trong bộ cộng hưởng lớn hơn tổn hao bức xạ. Khi đó các photon được bức xạ ra sẽ có tần số và pha đúng bằng tần số và pha của photon đến.

III. CÁC LINH KIỆN THU QUANG

Bộ thu quang là phần tử có nhiệm vụ biến đổi tín hiệu quang thành tín hiệu điện dựa trên **nguyên lý biến đổi quang / điện**. Nghĩa là, biến đổi năng lượng quang thành năng lượng điện. Khi các nguyên tử được cung cấp năng lượng dưới dạng năng lượng quang thích hợp, các điện tử ở lớp ngoài cùng của chúng có thể bật ra thành điện tử tự do, người ta gọi đó là hiện tượng phát xạ cặp điện tử - lỗ trống. Bằng cách dùng điện trường ngoài để thu nhận các điện tử và lỗ trống này ta sẽ có dòng điện ở mạch ngoài gọi là dòng quang điện có độ lớn phụ thuộc vào cường độ của ánh sáng chiếu vào.

Tùy theo mục đích sử dụng và cấu trúc mà có nhiều loại bộ thu quang khác nhau, vì thế đặc tính của chúng cũng khác nhau.

Có thể lấy một số ví dụ điển hình như sau:

Chương IV: Linh kiện quang điện tử

Loại	Hệ số đáp ứng [A/W]	Thời gian tăng sườn xung [μs]	Dòng tối [nA]
Phototransistor (Si)	18	2,5	25
Photodarlington (Si)	500	40	100
PiN photodiode (Si)	0,5	0,1 – 5	10
PiN photodiode (InGaAs)	0,8	0,01 – 5	0,1 – 3
APD (Ge)	0,6	0,3 – 1	400
APD (InGaAs)	0,75	0,3	30
PiN FET (Si)	15000V/W	10	
PiN FET (InGaAs)	5000V/W	1 - 10	

1. Các thông số cơ bản của bộ thu quang

Hiệu suất lượng tử hoá: là tỉ số giữa số lượng các đôi điện tử – lỗ trống sinh ra trên số photon có năng lượng hf đi đến

$$\eta = \frac{I_p / q}{P_0 / hf} \quad (30 - 95 \%)$$

Độ nhạy S

Đây là thông số liên quan tới khả năng đáp ứng của bộ thu đối với tín hiệu. Nó phụ thuộc vào bản thân bộ tách sóng, các mạch khuếch đại và các mạch xử lý tín hiệu điện.

Độ nhạy S là tỉ số giữa dòng quang điện sinh ra trên công suất ánh sáng đi đến diode

$$S = \frac{I_p}{P_0} = \eta \cdot \frac{q}{hf}$$

Các tham số của bộ tách sóng ảnh hưởng tới độ nhạy là:

+ *Hệ số đáp ứng* là tỉ số giữa năng lượng điện đầu ra và năng lượng quang đầu vào

$$R = \eta \cdot \frac{P}{hf}$$

+ *Hiệu suất lượng tử hoá*

+ *Độ khuếch đại của mạch.* Có thể sử dụng các bộ khuếch đại điện cũng như khuếch đại quang để làm tăng công suất tín hiệu nhưng chúng sẽ khuếch đại cả nhiễu và tín hiệu.

+ *Vật liệu chế tạo bộ tách sóng quang.* Đây là thông số sẽ quyết định bước sóng công tác, nghĩa là dải bước sóng mà bộ tách sóng sẽ làm việc tốt nhất.

Một số giá trị độ nhạy của PiN

Vật liệu	Bước sóng	Độ nhạy [μA/μW]
Si	900	0,65
Ge	1300	0,45
InGaAs	1300	0,6

Bước sóng hoạt động và vật liệu chế tạo

Vật liệu bán dẫn nền và thành phần pha tạp sẽ quyết định dải bước sóng hoạt động của bộ thu quang. Ví dụ, GaAlAs làm việc ở dải 800 – 900 nm; Ge, InGaAs, In GaAsP làm việc ở dải 1300 – 1500 nm. Bằng cách thay đổi chỉ số của In, Ga, As, P sẽ được các bước sóng khác nhau trong dải trên. Thêm vào đó, ứng với mỗi loại vật liệu này sẽ có hiệu suất lượng tử khác nhau.

2. Một số linh kiện thu quang

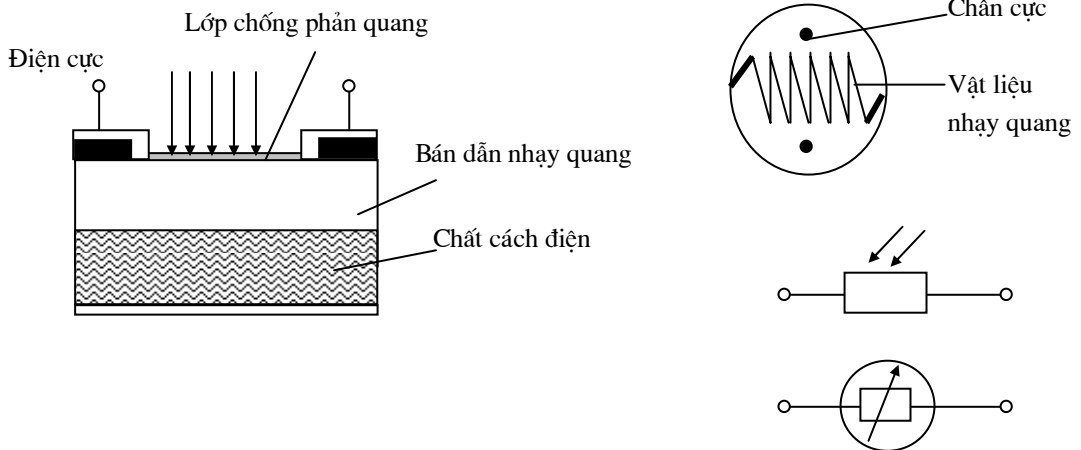
a. Điện trở quang

Điện trở quang là một linh kiện quang thụ động, không có tiếp xúc P – N. Nó hoạt động dựa trên tính chất của bán dẫn là điện trở của bán dẫn phụ thuộc vào nồng độ hạt dẫn điện. Khi vật liệu hấp thụ ánh sáng, nồng độ hạt dẫn điện của nó tăng lên, do vậy điện trở của nó giảm xuống. Hàm của điện trở phụ thuộc vào cường độ ánh sáng chiếu vào.

Cấu tạo và ký hiệu

Điện trở quang thường được chế tạo bằng vật liệu CdS, CdSe, ZnS hoặc các hỗn hợp tinh thể khác, nói chung là các vật liệu nhạy quang.

Điện trở quang gồm :



- + Một lớp vật liệu bán dẫn nhạy quang (có bề dày từ 1 μm đến 0,1 mm, tùy theo vật liệu sử dụng và công nghệ chế tạo)
- + Đế là chất cách điện
- + Tất cả được phủ một lớp chống ẩm trong suốt đối với vùng ánh sáng hoạt động của quang trở.
- + Vỏ bọc bằng chất dẻo có cửa sổ cho ánh sáng đi qua

Nguyên tắc làm việc:

Khi chiếu ánh sáng vào lớp vật liệu nhạy quang thì các cặp điện tử – lỗ trống sẽ xuất hiện làm cho nồng độ hạt dẫn điện tăng lên, nói cách khác là điện trở của khối bán dẫn giảm xuống.

Độ dẫn điện của vật liệu bán dẫn nhạy quang được tính theo công thức:

$$\sigma = q(n\mu_n + p\mu_p)$$

Chương IV: Linh kiện quang điện tử

với μ_n, μ_p là độ linh động của điện tử và lỗ trống

n, p là nồng độ hạt dẫn của điện tử và lỗ trống

Như vậy, điện trở của quang trở phụ thuộc vào cường độ ánh sáng chiếu vào, nghĩa là cường độ dòng qua điện trở thay đổi. Nói cách khác, sự biến đổi cường độ ánh sáng đã chuyển thành sự biến đổi của cường độ dòng điện trong mạch, hay tín hiệu quang đã được chuyển thành tín hiệu điện.

Các tham số chính của quang trở

+ Điện dẫn suất σ_p là hàm số của mật độ quang khi độ dài bước sóng thay đổi.

+ Độ nhạy tương đối của quang trở $S(\lambda)$ là tỉ số giữa điện dẫn suất thay đổi theo bước sóng và điện dẫn suất cực đại khi mật độ năng lượng quang không thay đổi.

$$S(\lambda) = \frac{\sigma_p(\lambda)}{\sigma_{p \max}(\lambda)} \rho_p(\lambda) = const$$

+ Thời gian đáp ứng là thời gian hồi đáp của quang trở khi có sự thay đổi cường độ sáng

Thông thường khi cường độ ánh sáng mạnh quang trở làm việc nhanh hơn.

+ Hệ số nhiệt của quang trở

Hệ số này tỉ lệ nghịch với cường độ chiếu sáng. Do vậy quang trở cần làm việc ở mức chiếu sáng tốt nhất để giảm thiểu sự thay đổi trị số theo nhiệt độ.

+ Điện trở tối R_d

R_d là điện trở trong điều kiện không được chiếu sáng của quang trở, nó sẽ cho biết dòng tối (hay dòng rò) lớn nhất.

+ Công suất tiêu tán lớn nhất

Khi hoạt động cần giữ cho nhiệt độ của quang trở nhỏ hơn nhiệt độ cho phép. Kích thước của quang trở càng lớn thì khả năng tiêu tán nhiệt càng tốt.

Vật liệu chế tạo sẽ giới hạn dải nhiệt độ của quang trở từ $40 - 75^\circ\text{C}$

b. Tế bào quang điện

Cấu tạo

Vật liệu dùng để chế tạo tế bào quang điện có thể là Ge, Si, CdS, ZnS ...

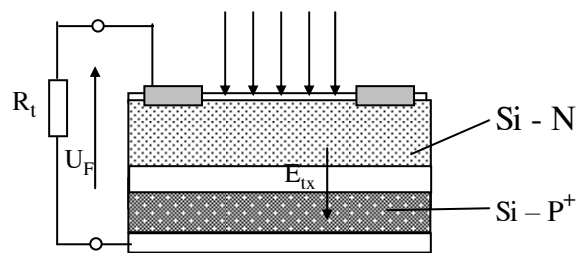
Phần nhạy quang là tấm bán dẫn loại N với các cửa sổ trong suốt cho ánh sáng đi vào (thường được phủ thêm chất chống phản xạ quang).

Phía đối diện với bán dẫn N là lớp bán dẫn loại P⁺

Tất cả được bọc trong lớp vỏ bảo vệ có 2 điện cực nối ra ngoài.

Nguyên tắc làm việc

Khi chiếu sáng lên lớp bán dẫn N, do quá trình lượng tử hoá các cặp điện tử – lỗ trống sẽ được sinh ra. Dưới tác dụng của điện trường tiếp xúc chúng sẽ di chuyển về 2 điện cực. Lỗ trống di chuyển về phía N còn điện tử di chuyển về phía P. Việc di chuyển này của các hạt dẫn đã hình thành một hiệu điện thế giữa 2 đầu điện cực có chiều từ P



Chương IV: Linh kiện quang điện tử

sang N. Khi trạng thái cân bằng được thiết lập thì giá trị hiệu điện thế này ổn định và nếu mắc điện trở tải thì sẽ có dòng qua điện trở này. Như vậy năng lượng quang đã được chuyển thành năng lượng điện.

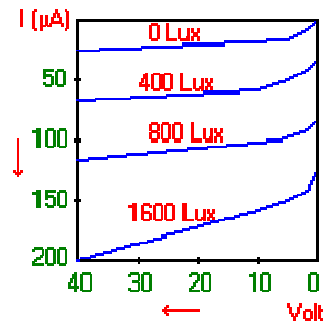
c. Diode quang (Photodiode)

Diode quang tương tự như một diode bán dẫn thông thường. Nó được chế tạo sao cho, khi có ánh sáng ngẫu nhiên rơi trên chất bán dẫn, ánh sáng này có thể tiếp cận tới vùng chuyển tiếp. Năng lượng ánh sáng ngẫu nhiên sẽ phá huỷ liên kết của cặp điện tử-lỗ trống, do vậy các điện tử tự do sẽ bị hút về miền N và các lỗ trống bị hút về miền P. Dòng quang điện do đó được tạo ra trong diode phụ thuộc vào cường độ ánh sáng. Hướng của dòng quang điện này từ cathode đến anode; vì thế, trong các ứng dụng thông thường, diode được phân cực ngược.

Khi diode không được chiếu sáng (0 lux), vẫn có một **dòng tối** I_d qua chuyển tiếp P-N, bằng với dòng rò của diode thông thường được phân cực ngược. Khi photodiode được chiếu sáng, dòng tổng I_t của nó bằng tổng của dòng tối I_d và dòng quang I_p tức là:

$$I_t = I_d + I_p.$$

Hình bên chỉ ra đặc tuyến dòng/áp của diode quang tại các giá trị khác nhau của năng lượng quang ngẫu nhiên chiếu vào.



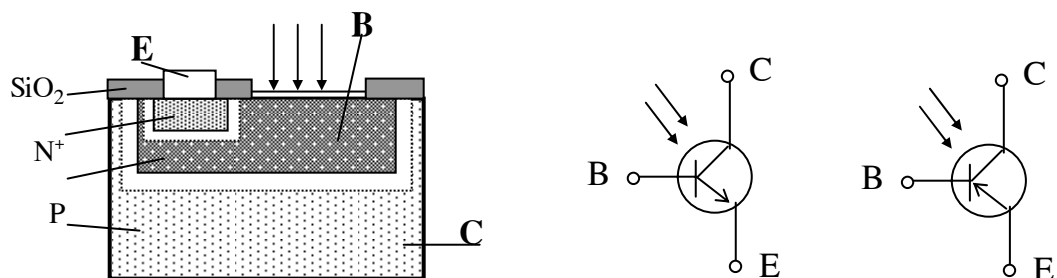
Trong các hệ thống yêu cầu cao về độ nhạy thu người ta sử dụng hai loại diode quang là diode quang qua miền tự dẫn (PIN) và diode quang thác (APD). Hai loại này được ứng dụng đặc biệt trong các hệ thống thông tin quang nên không trình bày chi tiết ở đây.

d. Transistor quang lưỡng cực (Phototransistor)

Transistor quang có nhiệm vụ biến đổi tín hiệu quang thành tín hiệu điện, ngoài ra chúng còn có khả năng khuếch đại các tín hiệu này lên.

Cấu tạo và ký hiệu của transistor quang

Cũng giống như transistor lưỡng cực thông thường, transistor quang được chế tạo từ chất bán dẫn Si, Ge. Nó có 2 chuyển tiếp P-N, có 2 hoặc 3 chân cực.

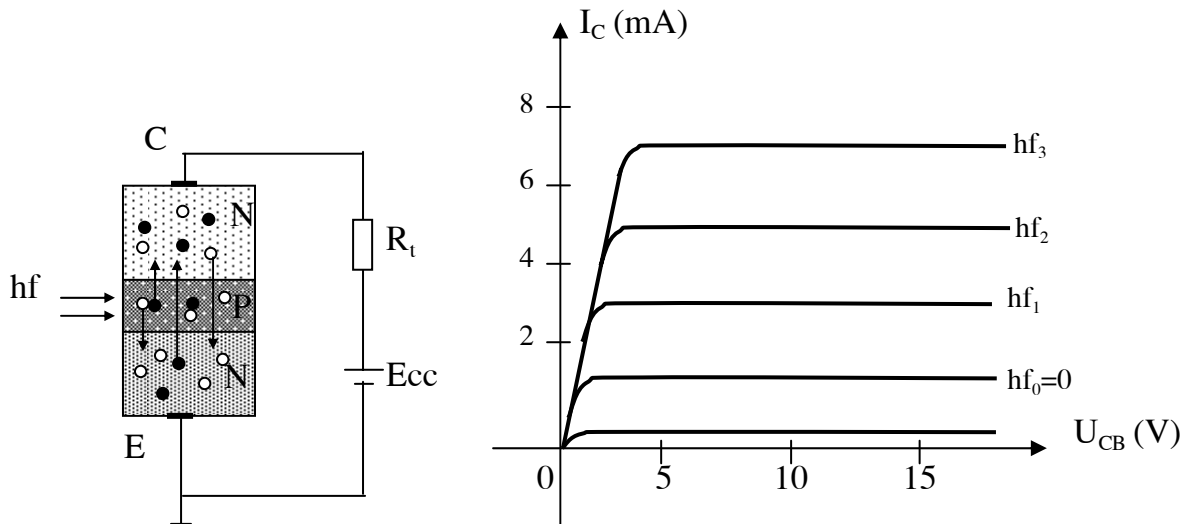


Transistor quang có 2 loại là PNP và NPN. Trên hình vẽ là cấu tạo của transistor loại NPN, còn loại PNP cũng có cấu tạo tương tự như vậy.

Chương IV: Linh kiện quang điện tử

Cực gốc B có bề mặt được ánh sáng chiếu vào, nó được chế tạo rất mỏng để có điện trở nhỏ và thường để trống (phủ lớp phản quang).

Nguyên tắc hoạt động:



Nguồn cung cấp E_{cc} tạo cho chuyển tiếp phát phân cực thuận và chuyển tiếp góp phân cực ngược.

Tải R_t để sụt bớt một phần điện áp phân cực cho C và lấy tín hiệu điện ra.

Khi không có ánh sáng chiếu vào (không có tín hiệu quang hay $hf = 0$, $I_B = 0$) trong mạch chỉ có dòng tối $I_{C_{tối}}$. Đây là dòng điện do điện tử khuếch tán từ phần phát sang phần góp và có trị số nhỏ.

Khi có tín hiệu quang đến, trong phần gốc sẽ xuất hiện các cặp điện tử – lỗ trống. Các điện tử sẽ di chuyển về cực góp, lỗ trống di chuyển về phía cực phát tạo thành dòng quang điện I_p . Các lỗ trống tập trung ở tiếp giáp phát làm cho tiếp giáp phát phân cực thuận càng mạnh, mặt khác điện tử tập trung ở tiếp giáp góp làm cho nó phân cực ngược càng mạnh. Kết quả là điện tử dễ dàng đi từ E, qua B và sang C làm cho dòng điện cực góp I_C tăng rõ rệt.

Nhận xét:

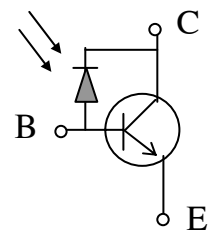
Dòng cực gốc để hở và có ánh sáng chiếu vào nên dòng điện cực gốc chính là dòng tín hiệu quang.

Hệ số khuếch đại dòng quang điện chính là hệ số khuếch đại của transistor trong sơ đồ mắc cực phát chung.

Transistor cũng có 3 cách mắc là BC, EC và CC với dòng điều khiển là dòng tín hiệu quang.

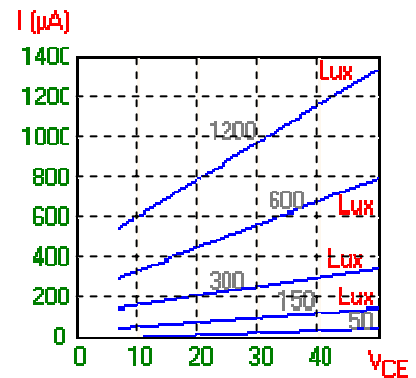
Về mặt cấu trúc có thể coi transistor quang như là một mạch gồm một diode quang làm nhiệm vụ biến đổi tín hiệu quang thành tín hiệu điện và một transistor có nhiệm vụ khuếch đại.

Khi này độ nhạy tăng lên vài trăm lần so với diode quang đơn nhưng dải tần làm việc lại bị hạn chế đi rất nhiều. Transistor quang có dải tần làm việc rộng 300 kHz còn diode quang có dải



tần làm việc cỡ vài chục MHz.

Hình bên chỉ ra đường cong biểu diễn mối quan hệ giữa dòng emitter và điện áp collector-emitter của transistor quang NPN với các giá trị khác nhau của cường độ sáng. Nếu cực B được nối vào mạch, sẽ có dòng base I_b và dòng collector được tăng thêm một lượng là $\beta \cdot I_b$.



IV. MẶT CHỈ THỊ TINH THỂ LỎNG LCD

1. Khái niệm

LCD là linh kiện quang thụ động được chế tạo dưới dạng thanh và chấm ma trận. Hiện nay LCD được sử dụng làm bảng hiển thị và màn hình

Ưu điểm:

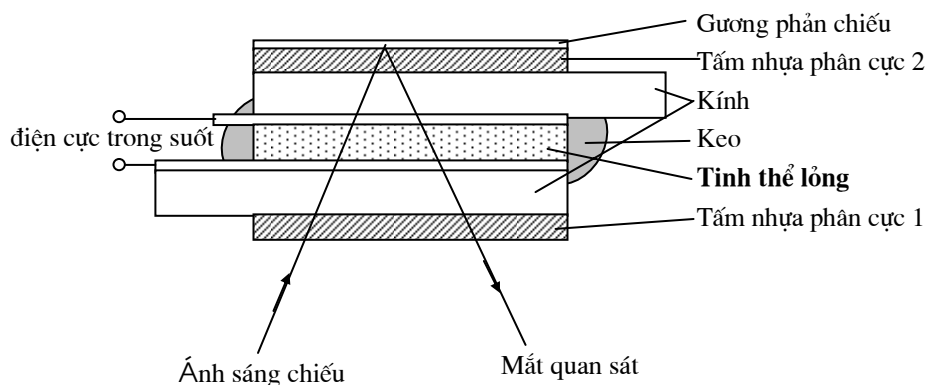
- Công suất tiêu thụ thấp, kích thước nhỏ gọn
- LCD không phát sáng nên dễ đọc nếu môi trường xung quanh sáng
- Cấu trúc phẳng dẹt có độ bền cơ học cao
- Có thể điều khiển trực tiếp bằng linh kiện bán dẫn TTL và CMOS

Nhược điểm:

- Tuổi thọ ngắn hơn LED
- Chỉ có thể đọc được với nguồn sáng bên ngoài
- Thời gian tắt mở tương đối chậm
- Khoảng nhiệt độ làm việc khá hẹp

2. Cấu tạo của thanh LCD

LCD gồm 2 tấm kính đặt cách nhau 10 μm , mặt trong tráng một lớp ZnO trong suốt làm điện cực.



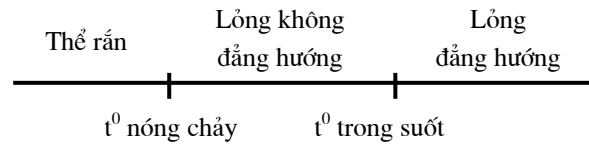
Xung quanh 2 bên tấm kính hàn kín sau khi đổ đầy tinh thể lỏng vào.

Hai tấm nhựa có tính phân cực ánh sáng được dán bên ngoài tấm kính sao cho

Chương IV: Linh kiện quang điện tử

hình ảnh được nhìn từ một phía nhờ một gương phản xạ lại.

Vật liệu làm tinh thể lỏng là những hợp chất hữu cơ. Tùy theo nhiệt độ làm việc mà những tinh thể lỏng này ở trạng thái khác nhau



Nhiệt độ thấp: tinh thể lỏng ở thể rắn

Nhiệt độ nóng chảy: tinh thể lỏng ở thể lỏng không đẳng hướng

Nhiệt độ trong suốt: tinh thể lỏng ở thể lỏng đẳng hướng

Hiệu ứng quang học dùng cho mặt chỉ thị LCD chỉ hạn chế ở khoảng nhiệt độ mà tinh thể lỏng ở dạng không đẳng hướng.

3. Nguyên tắc làm việc

a. Chế độ phản chiếu

Khi chưa có điện áp đặt vào, các thanh LCD không làm việc, ánh sáng xuyên qua mặt chỉ thị và bị phản chiếu ở gương rồi quay trở về mắt người quan sát. Lúc này mặt chỉ thị trong suốt.

Khi có điện áp cung cấp, trục dài của các phân tử chất tinh thể lỏng được định hướng theo hướng của điện trường. Như vậy, ánh sáng đi qua tấm nhựa phân cực thứ nhất sẽ bị thay đổi do chất tinh thể đã hoạt hoá, ánh sáng không thể đi qua tấm thứ 2. Thanh tinh thể lỏng chịu tác động của điện trường sẽ bị tối đi do ánh sáng không quay trở lại mắt người quan sát.

Ở chế độ phản chiếu này nên chỉ thị trong suốt còn những ký tự hiển thị thì bị tối đen. Khi này nếu không có nguồn ánh sáng ngoài thì mặt chỉ thị sẽ không nhìn thấy.

Màn hình hiển thị của máy tính cá nhân, máy điện thoại di động hiện nay chủ yếu là LCD hoạt động ở chế độ phản chiếu.

b. Chế độ thông sáng

Chế độ này ngược với chế độ trên, khi đó 2 màng lọc phân cực song song và ta có mặt chỉ thị có nền tối còn các ký tự hiển thị trong suốt. Loại này thích hợp cho chiếu sáng từ phía sau.

Loại LCD này cần có điện áp xoay chiều từ 3 – 8 VAC.

Thời gian hiện số là 100 ms và thời gian tắt là 200 – 300 ms.

Hầu hết các loại đồng hồ hiển thị số đều kết hợp cả hai chế độ phản chiếu và thông sáng.

Chú ý:

Để LCD làm việc ta cần một điện áp xoay chiều không có lần điện áp một chiều. Nếu điện áp một chiều lớn màng điện cực trong suốt ZnO sẽ bị khử thành Zn có màu tối. Khi đó màn LCD không hiển thị được nữa, người ta gọi hiện tượng này là hiện tượng mù của LCD.

LCD thông thường yêu cầu điện áp một chiều nhỏ hơn 100 mV còn LCD màu yêu cầu điện áp một chiều nhỏ hơn 50 mV.

3. Một số loại LCD tiêu biểu

- LCD loại thông sáng
- LCD loại phản chiếu
- LCD loại thông sáng + phản chiếu
- LCD màu
- LCD ghép kênh

3 loại LCD đầu tiên là LCD hoạt động ở chế độ phản chiếu, thông sáng và phản chiếu + thông sáng

LCD màu:

Để chế tạo LCD màu các hạt màu được trộn lẫn với tinh thể lỏng.

Khi không có điện áp các tinh thể lỏng nằm song song với các phân tử màu.

Khi điện áp xoay chiều đặt vào đủ lớn các phân tử màu và tinh thể lỏng sẽ được sắp xếp lại để tạo thành màu sắc khác nhau.

LCD loại ghép kênh:

LCD có cấu trúc theo kiểu ma trận m x n nhằm giảm thiểu số dây điều khiển trong các LCD có điểm chỉ thị.

4. Tham số của LCD

Tham số	Đơn vị	Giá trị nhỏ nhất	Giá trị tiêu chuẩn	Giá trị lớn nhất
Khoảng nhiệt độ làm việc	⁰ C	- 10		+ 60
Khoảng nhiệt độ dự trữ	⁰ C	- 25		+ 70
Điện áp làm việc	VAC	3	4,5	8
Thành phần một chiều	mV			100
Tần số điều khiển	Hz	30		200
Dòng tiêu thụ năng lượng	nA/mm ²		15	30
Thời gian lên hình	ms		40	
Thời gian tắt hình	ms		80	
Thời gian lên + tắt	ms			250

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Kỹ thuật điện tử - Đỗ Xuân Thụ
2. Kỹ thuật mạch điện tử – Phạm Minh Hà
3. Linh kiện bán dẫn và vi mạch – Hồ Văn Sung
4. Electronic Devices and Circuits – Mac Grar Hill
5. Sơ Đồ Linh Kiện-Tạp chí điện tử

BẢNG MỘT SỐ HẰNG SỐ VẬT LÝ

Stt	Hằng số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Tốc độ của ánh sáng trong chân không	c	299792458	m s ⁻¹
2	Độ từ thẩm của chân không	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$	N A ⁻²
3	Hằng số điện môi của chân không	ϵ_0	8.854187817E-12	F m ⁻¹
4	Hằng số Planck	h	6.6260755E-34 ± 4E - 40	J s
5	Hằng số Planck theo đơn vị eV	h	4.1356692E-15 ± 1.2E-21	eV s
6	Hằng số Boltzmann	k	1.380658E-23 ± 1.2E-28	J K ⁻¹
7	Hằng số Boltzmann tính theo đơn vị eV	k	8.617385e-05 ± 7.3e-10	eV K ⁻¹
8	Hằng số Boltzmann tính theo đơn vị Hz	k	20836740000 ± 180000	K ⁻¹ s ⁻¹
9	Khối lượng của electron	m _e	9.1093897E-31 ± 5.4E-37	kg
10	Electron volt	eV	1.60217733E-19 ± 4.9E-26	J
11	Điện tích của electron	e	1.60217733E-19 ± 4.9E-26	C
12	Bán kính Bohr	a ₀	5.29177249E-11 ± 2.4E-18	m
13	Khối lượng Proton	m _p	1.6726231E-27 ± 1.0E-33	kg

MỤC LỤC

CHƯƠNG I	4
----------------	---

CƠ SỞ VẬT LÝ CỦA VẬT LIỆU LINH KIỆN

I. KHÁI NIỆM VỀ LÝ THUYẾT VÙNG NĂNG LƯỢNG.....	4
1. Bản chất của nguyên tử.....	4
2. Các mức năng lượng của nguyên tử.....	6
3. Các phương pháp cung cấp năng lượng cho nguyên tử.....	7
<i>a. Sự va chạm của điện tử với nguyên tử:</i>	<i>7</i>
<i>b. Sự va chạm của quang tử với nguyên tử</i>	<i>8</i>
4. Lý thuyết dải năng lượng trong chất rắn	8
5. Sự phân bố năng lượng của điện tử – hàm Fecmi.....	9
II. CHẤT CÁCH ĐIỆN (DIELECTRIC)	10
1. Định nghĩa.....	10
2. Các tham số cơ bản của chất điện môi.....	10
<i>a. Độ thẩm thấu tương đối ϵ (hằng số điện môi).....</i>	<i>10</i>
<i>b. Độ tổn hao điện môi P_a.....</i>	<i>11</i>
<i>c. Độ bền về điện ($E_{đ}$).....</i>	<i>12</i>
<i>d. Nhiệt độ chịu đựng</i>	<i>12</i>
<i>e. Dòng điện trong chất điện môi.....</i>	<i>12</i>
<i>f. Độ dẫn điện của chất điện môi.....</i>	<i>12</i>
3. Phân loại và ứng dụng của chất điện môi.....	13
<i>a. Chất điện môi thụ động.....</i>	<i>13</i>
<i>b. Chất điện môi tích cực.....</i>	<i>13</i>
III. CHẤT DẪN ĐIỆN (CONDUCTOR)	14
1. Định nghĩa.....	14
2. Các tham số cơ bản của vật liệu dẫn điện	14
<i>a. Điện trở suất:</i>	<i>14</i>
<i>b. Hệ số nhiệt của điện trở suất α.....</i>	<i>14</i>
<i>c. Hệ số dẫn nhiệt λ.....</i>	<i>15</i>
<i>d. Công thoát của điện tử trong kim loại.....</i>	<i>15</i>
<i>e. Điện thế tiếp xúc</i>	<i>16</i>
3. Phân loại và ứng dụng.....	16
<i>a. Vật liệu dẫn điện có điện trở suất thấp.....</i>	<i>16</i>
<i>b. Chất dẫn điện có điện trở suất cao</i>	<i>16</i>
IV. VẬT LIỆU TỪ	17
1. Định nghĩa.....	17
2. Tính chất	17
<i>a. Từ trở và từ thẩm</i>	<i>17</i>
<i>b. Độ từ thẩm tương đối μ_r</i>	<i>17</i>
<i>c. Độ từ dư.....</i>	<i>18</i>
<i>d. Đường cong từ hoá $B = f(H)$</i>	<i>18</i>

Mục lục

3. Phân loại và ứng dụng của vật liệu từ.....	20
a. Vật liệu từ mềm.....	20
b. Vật liệu từ cứng	20
V. CHẤT BÁN DẪN (SEMICONDUCTOR)	21
1. Định nghĩa và tính chất.....	21
2. Bán dẫn thuần (bán dẫn nguyên tính – Intrinsic)	23
a. Định nghĩa và tính chất	23
b. Một số chất bán dẫn thông dụng	23
3. Bán dẫn pha tạp (bán dẫn ngoại tính – Extrinsic)	24
a. Bán dẫn loại N (bán dẫn loại cho, pha tạp chất donor)	24
b. Bán dẫn loại P (bán dẫn loại nhận, pha tạp chất acceptor).....	25
4. Mức Fecmi trong chất bán dẫn (Fecmi energy level).....	26
5. Dòng điện trong chất bán dẫn.....	26
a. Dòng điện khuếch tán (diffusion current)	26
b. Dòng điện trôi (drift current)	27

CHƯƠNG II	28
-----------------	----

CÁC LINH KIỆN THỤ ĐỘNG

I. ĐIỆN TRỞ (RESISTOR).....	28
1 - Định nghĩa và ký hiệu	28
a - Định nghĩa.....	28
b - Ký hiệu của điện trở trong mạch điện	28
c - Cấu trúc của điện trở.....	29
2 - Các tham số kỹ thuật đặc trưng cho điện trở.	29
a - Trị số điện trở và dung sai	29
b - Công suất tiêu tán cho phép ($P_{tt\ max}$)	30
c - Hệ số nhiệt của điện trở: TCR (temperature co-efficient of resistor) ...	31
d - Tạp âm của điện trở	31
3 - Cách ghi và đọc tham số trên thân điện trở.....	31
a - Cách ghi trực tiếp.....	31
b - Ghi theo qui ước	31
4. Các kiểu mắc điện trở	33
a. Mắc nối tiếp	33
b. Mắc song song	34
5 - Phân loại và ứng dụng của điện trở.....	34
a - Phân loại.....	34
b - Ứng dụng của điện trở	36
c - Một số điện trở đặc biệt	36
II. TỤ ĐIỆN (CAPACITOR)	38
1. Ký hiệu và cấu tạo của tụ điện	38
a. Ký hiệu và hình dáng của tụ điện	38
b. Cấu tạo	39

2. Đặc tính nạp và xả điện của tụ	39
3. Đặc tính của tụ điện đối với dòng điện xoay chiều	40
4. Các tham số cơ bản của tụ điện.....	41
<i>a. Trị số điện dung và dung sai</i>	41
<i>b. Trở kháng của tụ điện</i>	42
<i>c. Điện áp làm việc</i>	42
<i>d. Hệ số nhiệt</i>	42
<i>e. Dòng điện rò</i>	43
5. Cách ghi và đọc tham số trên tụ điện	43
<i>a. Cách ghi trực tiếp</i>	43
<i>b. Cách ghi theo quy ước</i>	43
6. Các kiểu ghép tụ	46
<i>a. Tụ điện ghép nối tiếp</i>	46
<i>b. Tụ điện mắc song song</i>	46
7. Phân loại tụ điện.....	46
<i>a. Tụ oxit hoá (gọi tắt là tụ hoá)</i>	46
<i>b. Tụ gốm (ceramic)</i>	47
<i>c. Tụ giấy</i>	47
<i>d. Tụ mica</i>	47
<i>e. Tụ màng mỏng</i>	48
<i>f. Tụ tantan</i>	48
<i>g. Tụ xoay</i>	49
<i>h. Tụ vi chỉnh (trimcap)</i>	49
<i>i. Tụ đồng trục chỉnh</i>	49
8. Các ứng dụng của tụ điện	50
<i>a. Tụ dẫn điện ở tần số cao</i>	50
<i>b. Tụ nạp xả điện trong mạch lọc nguồn</i>	51
III. CUỘN CẢM.....	52
1. Cấu tạo và ký hiệu của cuộn dây	52
2. Các tham số của cuộn dây	53
<i>a. Hệ số tự cảm</i>	53
<i>b. Trở kháng của cuộn dây</i>	54
<i>c. Hệ số phẩm chất Q của cuộn dây</i>	54
<i>d. Tần số làm việc giới hạn của cuộn dây</i>	54
3. Các cách ghép cuộn dây.....	55
<i>a. Ghép nối tiếp</i>	55
<i>b. Ghép song song</i>	55
4. Phân loại và ứng dụng của cuộn dây	55
<i>a. Theo lõi của cuộn dây</i>	55
<i>b. Theo hình dáng</i>	56
<i>c. Theo sự thay đổi của hệ số tự cảm</i>	57
<i>d. Theo khu vực tần số làm việc</i>	57
<i>e. Theo ứng dụng</i>	57
IV. BIẾN ÁP	58
1. Ký hiệu và cấu tạo của biến áp.....	58
2. Nguyên tắc hoạt động của máy biến áp.....	59

Mục lục

3. Các tham số kỹ thuật của biến áp	59
a. Hệ số ghép biến áp K	59
b. Các tỉ lệ của biến áp	60
4. Phân loại và ứng dụng của biến áp	61
a. Biến áp nguồn (biến áp cấp điện)	61
b. Biến áp cộng hưởng	62
c. Biến áp âm tần	62
CHƯƠNG III	63

LINH KIỆN TÍCH CỰC

I. LỚP CHUYỂN TIẾP P-N	63
1. Sự hình thành lớp chuyển tiếp P – N và tính chất của nó	63
2. Lớp chuyển tiếp P – N phân cực thuận (Forward Bias)	64
3. Lớp chuyển tiếp P – N phân cực ngược (Reverse Bias)	65
4. Đặc tuyến Von - Ampe của chuyển tiếp P – N	66
II. DIODE	67
1. Cấu tạo và ký hiệu	67
2. Nguyên tắc làm việc, đặc tuyến Von-ampe của diode	67
3. Mô hình gần đúng và tham số của diode	70
a. Sơ đồ tương đương khi diode phân cực thuận	70
b. Sơ đồ tương đương khi diode phân cực ngược	71
4. Các tham số tĩnh của diode	72
a. Điện trở tĩnh R_0	72
b. Điện trở động R_i	73
c. Hệ số chỉnh lưu k	73
d. Điện dung C_d của diode	73
e. Điện áp ngược cực đại cho phép	74
f. Khoảng nhiệt độ làm việc	74
5. Phân loại và ứng dụng	75
a. Diode chỉnh lưu (nắn điện – Rectifier)	75
b. Diode ổn áp (Zene)	76
c. Diode xung	77
d. Diode biến dung (Varicap)	78
e. Diode tunen (diode xuyên hầm hay diode esaki)	78
f. Diode cao tần	79
g. Diode phát sáng (LED – Light emitting Diode)	79
h. Diode thu sáng (Photo diode)	80
i. Tế bào quang điện	80
III. TRANSISTOR LUỖNG CỰC - BJT	80
1. Cấu tạo và ký hiệu BJT	81
2. Nguyên tắc làm việc của transistor ở chế độ tích cực (chế độ khuếch đại)	84

3.	Transistor làm việc như khoá điện tử.....	86
a.	Chế độ ngắt.....	87
b.	Chế độ dẫn bão hoà.....	87
4.	Đặc tính tần số của Transistor.....	88
5.	Phân cực và định điểm làm việc cho Transistor.....	89
a.	Nguyên tắc chung.....	89
b.	Mạch phân dòng cố định.....	90
c.	Mạch hồi tiếp âm điện áp.....	91
d.	Mạch hồi tiếp âm dòng điện (mạch tự phân cực).....	91
6.	Ổn định điểm công tác tĩnh.....	92
7.	Các cách mắc cơ bản của transistor làm việc ở chế độ khuếch đại.....	92
a.	Sơ đồ mắc cực gốc chung (BC - base common).....	93
b.	Sơ đồ mắc cực phát chung (EC - Emitter Common).....	95
c.	Sơ đồ mắc cực góp chung (CC - Collector common).....	97
IV.	TRANSISTOR HIỆU ỨNG TRƯỜNG (FET - Field effect Transistor).....	98
1.	Khái niệm chung.....	98
a.	Nguyên tắc hoạt động.....	98
b.	Phân loại.....	98
c.	Ký hiệu FET trong sơ đồ mạch.....	99
d.	Ưu điểm và nhược điểm của FET.....	99
2.	Transistor trường điều khiển bằng tiếp xúc P - N (JFET).....	99
a.	Cấu tạo và nguyên tắc hoạt động.....	99
b.	Đặc tuyến truyền đạt, đặc tuyến ra.....	101
3.	Transistor trường loại MOSFET.....	102
a.	Cấu tạo của MOSFET.....	103
b.	Nguyên tắc làm việc.....	104
c.	Các sơ đồ mắc FET.....	105
V.	MỘT SỐ LOẠI LINH KIỆN TÍCH CỰC KHÁC.....	107
1.	Transistor một tiếp giáp (UJT).....	107
a.	Cấu tạo và ký hiệu.....	107
b.	Nguyên tắc hoạt động.....	107
c.	Một số mạch ứng dụng của UJT.....	108
2.	PUT (Programmable UJT - UJT điều khiển được).....	109
a.	Cấu tạo và ký hiệu.....	109
b.	Nguyên tắc hoạt động.....	109
c.	Các ứng dụng của PUT.....	110
3.	Chỉnh lưu có điều khiển SCR (Silicon Controlled Rectifier).....	110
a.	Cấu tạo và ký hiệu.....	110
b.	Nguyên tắc hoạt động.....	110
4.	DIAC và TRIAC.....	111
a.	DIAC.....	111
b.	TRIAC.....	112

CHƯƠNG IV 114

LINH KIỆN QUANG ĐIỆN TỬ

I. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ KỸ THUẬT QUANG ĐIỆN TỬ..... 114

1. Định nghĩa..... 114

2. Phân loại linh kiện quang điện tử 114

II. CÁC LINH KIỆN PHÁT QUANG..... 114

1. Nguyên lý bức xạ 114

a. Sự bức xạ ánh sáng không kết hợp (bức xạ tự phát) 115

b. Sự bức xạ ánh sáng kết hợp (bức xạ kích thích) 115

2. Diode phát quang - LED (Light Emitting Diode)..... 116

a. Cấu tạo và ký hiệu LED 116

b. Nguyên tắc làm việc của LED..... 116

c. Tham số của LED..... 117

d. Phân loại và ứng dụng của LED 118

3. LASER 119

Nguyên tắc hoạt động..... 119

III. CÁC LINH KIỆN THU QUANG..... 119

1. Các thông số cơ bản của bộ thu quang 120

2. Một số linh kiện thu quang..... 121

a. Điện trở quang 121

b. Tế bào quang điện 122

c. Diode quang (Photodiode)..... 123

d. Transistor quang lưỡng cực (Phototransistor) 123

IV. MẶT CHỈ THỊ TINH THỂ LỎNG LCD 125

1. Khái niệm..... 125

2. Cấu tạo của thanh LCD 125

3. Nguyên tắc làm việc..... 126

a. Chế độ phản chiếu 126

b. Chế độ thông sáng 126

3. Một số loại LCD tiêu biểu..... 127

4. Tham số của LCD..... 127

TÀI LIỆU THAM KHẢO

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ

(Dùng cho sinh viên hệ đào tạo đại học từ xa)

Lưu hành nội bộ

HÀ NỘI - 2007

CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ

Biên soạn : THS. TRẦN THỊ CẨM

LỜI NÓI ĐẦU

Tập giáo trình "Cấu kiện điện tử" được biên soạn để làm tài liệu giảng dạy và học tập cho các sinh viên chuyên ngành kỹ thuật Điện tử - Viễn thông, đồng thời giáo trình cũng có thể được sử dụng cho các sinh viên chuyên ngành Công nghệ thông tin, và làm tài liệu tham khảo cho các kỹ sư chuyên ngành Điện tử - Viễn thông.

Giáo trình được viết theo chương trình đề cương môn học "Cấu kiện điện tử và quang điện tử" của Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông.

Nội dung của giáo trình được trình bày một cách rõ ràng, có hệ thống các kiến thức cơ bản và hiện đại về vật liệu và các cấu kiện điện tử - quang điện tử đang sử dụng trong ngành kỹ thuật điện tử và kỹ thuật viễn thông.

Giáo trình "Cấu kiện điện tử" gồm 8 chương.

+ **Chương 1** Giới thiệu chung về cấu kiện điện tử và vật liệu điện tử. Trong chương này đã đưa ra định nghĩa và các cách phân loại của cấu kiện điện tử, các đặc tính và các tham số kỹ thuật của các loại vật liệu sử dụng trong kỹ thuật điện tử - viễn thông như chất cách điện, chất dẫn điện, chất bán dẫn và vật liệu từ.

+ **Chương 2** trình bày về các cấu kiện điện tử thụ động như điện trở, tụ điện, cuộn dây và biến áp, cùng các đặc tính và tham số cơ bản của các cấu kiện này, cách nhận biết và cách đọc các tham số của các linh kiện thực tế.

+ **Chương 3** trình bày về điốt bán dẫn. Trong chương này, giáo trình đã nêu lên tính chất vật lý đặc biệt của lớp tiếp xúc P - N, đồng thời trình bày chi tiết về cấu tạo và nguyên lý hoạt động cũng như các đặc tuyến, tham số kỹ thuật của điốt bán dẫn. Ngoài ra, trong chương 3 còn trình bày về các chế độ làm việc của đi ốt bán dẫn và giới thiệu một số loại đi ốt thông dụng và đặc biệt.

+ **Chương 4** trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của tranzito lưỡng cực (BJT). Đồng thời, trong chương này cũng trình bày cụ thể về ba cách mắc cơ bản của tranzito trong các sơ đồ mạch khuếch đại, các đặc tính và đặc điểm của từng cách mắc. Đồng thời ở chương 4 cũng trình bày về các cách phân cực và các mạch tương đương của tranzito.

+ **Chương 5** giới thiệu chung về tranzito hiệu ứng trường (FET) và phân loại tranzito trường. Trong chương trình bày cụ thể về cấu tạo và nguyên lý hoạt động cũng như các cách phân cực cho tranzito trường loại JFET và MOSFET.

+ **Chương 6** giới thiệu về cấu kiện thuộc họ thyristo như chỉnh lưu silic có điều khiển, triac, diac; nêu cấu tạo và nguyên lý hoạt động cũng như ứng dụng của chúng. Đồng thời, chương 6 cũng trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của tranzito đơn nối (UJT).

+ **Chương 7** đề cập đến sự phát triển tiếp theo của kỹ thuật điện tử là vi mạch tích hợp. Trong chương này trình bày về khái niệm, phân loại cũng như sơ lược về công nghệ chế tạo vi mạch bán dẫn, là loại vi mạch được sản xuất và sử dụng rộng rãi hiện nay. Ngoài ra, trong chương 4 còn trình bày đặc tính và tham số của trình bày về đặc điểm cũng như tham số của hai loại vi mạch: vi mạch tuyến tính và vi mạch số. Trong đó giới thiệu chi tiết về vi mạch khuếch đại thuật toán (OA), đây là loại vi mạch vạn năng được sử dụng rộng rãi ở nhiều chức năng khác nhau.

+ **Chương 8** trình bày về các cấu kiện quang điện tử. Chương này trình bày khá tỉ mỉ và hệ thống về các loại cấu kiện quang điện tử bán dẫn và không bán dẫn đang được sử dụng trong kỹ thuật điện tử và kỹ thuật viễn thông. Ở đây trình bày về các cấu kiện quang điện tử sử dụng trong kỹ thuật điện tử và thông tin quang:

- Các linh kiện phát quang: LED chỉ thị, LED hồng ngoại, LASER, và mặt chỉ thị tinh thể lỏng LCD.

CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ

- Các linh kiện thu quang: điện trở quang, điôt quang, tranzito quang, thyristo quang, tế bào quang điện và pin mặt trời.

Trong tập giáo trình này tác giả đã sử dụng nhiều tài liệu tham khảo và biên soạn theo một trật tự logic nhất định. Tuy nhiên, tập giáo trình không tránh khỏi những thiếu sót và hạn chế. Chúng tôi rất mong nhận được sự góp ý của các nhà chuyên môn, các bạn đồng nghiệp và những ai quan tâm đến chuyên ngành này để bổ sung và hoàn chỉnh tập giáo trình "Cấu kiện điện tử" được tốt hơn.

Các ý kiến đóng góp xin gửi đến bộ môn Kỹ thuật điện tử - Khoa Kỹ thuật điện tử I, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông, km 10 đường Nguyễn Trãi Hà Nội - Hà Đông.

Xin chân thành cảm ơn!



HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG
Km10 Đường Nguyễn Trãi, Hà Đông-Hà Tây
Tel: (04) 5541221; Fax: (04) 5540587
Website: <http://www.e-ptit.edu.vn>; E-mail: dhkx@ptit.edu.vn

CHƯƠNG 1

GIỚI THIỆU CHUNG VỀ CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ

GIỚI THIỆU CHƯƠNG

Chương 1 giới thiệu khái niệm chung về cấu kiện điện tử, giúp cho sinh viên chuyên ngành Điện tử Viễn thông có khái niệm ban đầu bao quát về những linh kiện điện tử được sử dụng trong các mạch điện tử. Đồng thời trong chương 1 cũng giới thiệu về các đặc tính vật lý điện của các vật liệu cơ bản dùng trong kỹ thuật điện tử.

Học xong chương 1, sinh viên phải nắm được khái niệm chung về cấu kiện điện tử, khái niệm sơ bộ về mạch điện tử. Sinh viên cũng phải hiểu được các đặc tính kỹ thuật của các loại vật liệu dùng trong lĩnh vực kỹ thuật điện tử, một số loại vật liệu thông dụng thường dùng và ứng dụng chúng.

NỘI DUNG

1.1. GIỚI THIỆU CHUNG

Cấu kiện điện tử là môn học về cấu tạo, nguyên lý hoạt động và một số ứng dụng của các linh kiện được sử dụng trong các mạch điện tử để thực hiện một chức năng kỹ thuật nào đó của một bộ phận trong một thiết bị điện tử chuyên dụng cũng như thiết bị điện tử dân dụng.

Cấu kiện điện tử có rất nhiều loại thực hiện các chức năng khác nhau trong mạch điện tử. Muốn tạo ra một thiết bị điện tử chúng ta phải sử dụng rất nhiều các linh kiện điện tử, từ những linh kiện đơn giản như điện trở, tụ điện, cuộn dây... đến các linh kiện không thể thiếu được như điốt, tranzito... và các linh kiện điện tử tổ hợp phức tạp. Chúng được đấu nối với nhau theo các sơ đồ mạch đã được thiết kế, tính toán khoa học để thực hiện chức năng của thiết bị thông thường như máy radiocassettes, tivi, máy tính, các thiết bị điện tử y tế... đến các thiết bị thông tin liên lạc như tổng đài điện thoại, các trạm thu - phát thông tin hay các thiết bị vệ tinh vũ trụ v.v... Nói chung cấu kiện điện tử là loại linh kiện tạo ra các thiết bị điện tử do vậy chúng rất quan trọng trong đời sống khoa học kỹ thuật và muốn sử dụng chúng một cách hiệu quả thì chúng ta phải hiểu biết và nắm chắc các đặc điểm của chúng.

1.2. PHÂN LOẠI CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ.

Có nhiều cách phân loại cấu kiện điện tử dựa theo những tiêu chí khác nhau. Ở đây chúng ta kể đến một số cách phân loại thông thường:

1.2.1. Phân loại dựa trên đặc tính vật lý:

Dựa vào các đặc tính vật lý cấu kiện điện tử có thể chia làm 2 loại:

- Các cấu kiện điện tử thông thường: Đây là các linh kiện điện tử có đặc tính vật lý điện - điện tử thông thường. Chúng hoạt động dưới tác dụng của các sóng điện từ có tần số từ cực thấp ($f = 1\text{Khz} \div 10\text{Khz}$) đến tần số siêu cao tần ($f = 10\text{Ghz} \div 100\text{Ghz}$) hoặc sóng milimet.
- Cấu kiện quang điện tử: Đây là các linh kiện điện tử có đặc tính vật lý điện - quang Chúng hoạt động dưới tác dụng của các sóng điện từ có tần số rất cao ($f = 10^8$ đến 10^9 Ghz) thường được gọi là ánh sáng.

1.2.2. Phân loại dựa theo lịch sử phát triển của công nghệ điện tử:

Người ta chia cấu kiện điện tử ra làm 5 loại:

- Cấu kiện điện tử chân không: là các cấu kiện điện tử mà sự dẫn điện xảy ra trong môi trường chân không.

- Cấu kiện điện tử có khí: là các cấu kiện điện tử mà sự dẫn điện xảy ra trong môi trường khí trơ.
- Cấu kiện điện tử bán dẫn: là các cấu kiện điện tử mà sự dẫn điện xảy ra trong môi trường chất bán dẫn.
- Cấu kiện vi mạch: là các chip bán dẫn được tích hợp từ các cấu kiện bán dẫn theo sơ đồ mạch đã thiết kế trước và có một hoặc một số chức năng nhất định.
- Cấu kiện nano: đây là các cấu kiện có kích thước nanomet được chế tạo theo công nghệ nano nên nó có các tính chất cũng như khả năng tiện ích vô cùng đặc biệt, khác hẳn với các cấu kiện có kích thước lớn hơn thông thường (từ µm trở lên).

1.2.3. Phân loại dựa trên chức năng xử lý tín hiệu:

Dựa theo chức năng xử lý tín hiệu người ta chia cấu kiện điện tử thành 2 loại là cấu kiện điện tử tương tự (điện tử analoge) và cấu kiện điện tử số (điện tử digital).

- Cấu kiện điện tử tương tự là các linh kiện có chức năng xử lý các tín hiệu điện xảy ra liên tục theo thời gian.
- Cấu kiện điện tử số là các linh kiện có chức năng xử lý các tín hiệu điện xảy ra rời rạc, không liên tục theo thời gian.

1.2.4. Phân loại dựa vào ứng dụng của cấu kiện điện tử:

Dựa vào ứng dụng của cấu kiện điện tử người ta chia cấu kiện điện tử ra làm 2 loại là các cấu kiện điện tử thụ động và các cấu kiện điện tử tích cực:

- Cấu kiện điện tử thụ động là các linh kiện điện tử chỉ có khả năng xử lý và tiêu thụ tín hiệu điện
- Cấu kiện điện tử tích cực là các linh kiện điện tử có khả năng biến đổi tín hiệu điện, tạo ra và khuếch đại tín hiệu điện.

1.3. KHÁI NIỆM VỀ MẠCH ĐIỆN VÀ HỆ THỐNG ĐIỆN TỬ

1.3.1. Mạch điện:

Mạch điện là một tập hợp gồm có nguồn điện (nguồn áp hoặc nguồn dòng) và các cấu kiện điện tử cùng dây dẫn điện được đấu nối với nhau theo một sơ đồ mạch đã thiết kế nhằm thực hiện một chức năng nào đó của một thiết bị điện tử hoặc một hệ thống điện tử. Ví dụ như mạch tạo dao động hình sin, mạch khuếch đại micro, mạch giải mã nhị phân, mạch đếm xung, hoặc đơn giản chỉ là một mạch phân áp,...

1.3.2. Hệ thống điện tử

Hệ thống điện tử là một tập hợp các mạch điện tử đơn giản có các chức năng kỹ thuật riêng thành một thiết bị điện tử có chức năng kỹ thuật nhất định hoặc một hệ thống điện tử phức tạp có chức năng kỹ thuật riêng như máy thu hình, máy hiện sóng, hệ thống phát thanh truyền hình, trạm truyền dẫn vi ba, hệ thống thông tin quang... Mạch điện tử hay một hệ thống điện tử bao giờ cũng có nguồn điện cung cấp một chiều (DC) để phân cực cho các cấu kiện điện tử hoạt động đúng chế độ và nguồn tín hiệu cần xử lý trong mạch.

1.4. VẬT LIỆU ĐIỆN TỬ.

Các vật liệu sử dụng trong kỹ thuật điện tử rất đa dạng và rất nhiều. Chúng được gọi chung là vật liệu điện tử để phân biệt với các loại vật liệu sử dụng trong các lĩnh vực khác. Tùy theo mục đích sử dụng và yêu cầu kỹ thuật mà lựa chọn vật liệu sao cho thích hợp đảm bảo về các chỉ tiêu kỹ thuật, dễ gia công và giá thành rẻ

- Dựa vào lý thuyết vùng năng lượng người ta chia vật chất ra làm ba loại là chất cách điện, chất bán dẫn và chất dẫn điện. Theo lý thuyết này thì các trạng thái năng lượng của

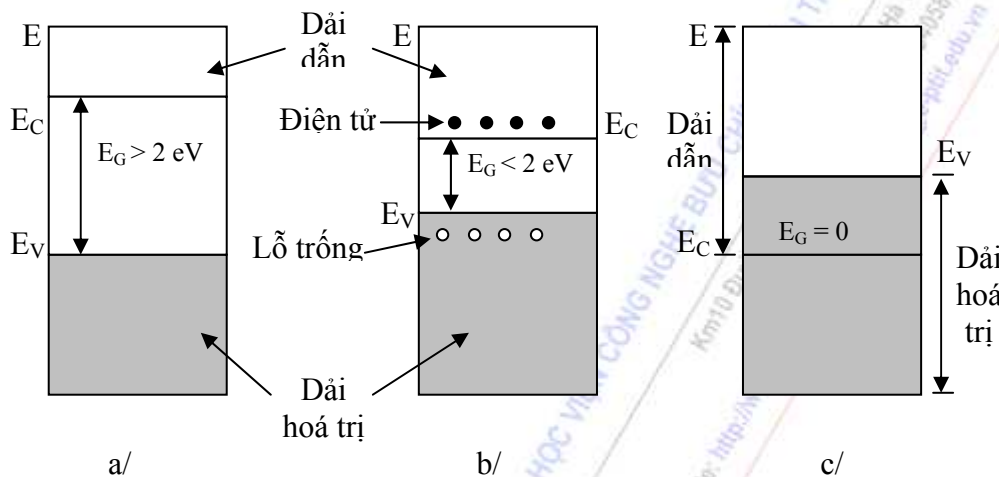
nguyên tử vật chất được phân chia thành ba vùng năng lượng khác nhau là: **vùng hóa trị**, **vùng dẫn** và **vùng cấm**. Mức năng lượng cao nhất của vùng hóa trị ký hiệu là E_V ; mức năng lượng thấp nhất của vùng dẫn ký hiệu là E_C và độ rộng vùng cấm ký hiệu là E_G .

+ Chất cách điện:

Cấu trúc vùng năng lượng của chất cách điện được mô tả trong hình 1-1a. Độ rộng vùng cấm E_G có giá trị đến vài eV ($E_G \geq 2\text{eV}$).

+ Chất bán dẫn:

Chất bán dẫn có độ rộng vùng cấm rất nhỏ ($E_G < 2\text{eV}$), xem hình 1-1b.



Hình 1- 1: Cấu trúc dải năng lượng của vật chất
a- Chất cách điện; b- Chất bán dẫn; c- Kim loại

+ Kim loại:

Cấu trúc vùng năng lượng của tinh thể không có vùng cấm, do đó vùng hóa trị hòa vào vùng dẫn (hình 1-1c) nên điện tử hóa trị chính là các điện tử tự do.

- Dựa vào ứng dụng, các vật liệu điện tử thường được phân chia thành 4 loại là chất cách điện (hay chất điện môi), chất dẫn điện, chất bán dẫn và vật liệu từ.

1.4.1. Chất cách điện (hay chất điện môi).

a. Định nghĩa.

Chất cách điện, hay còn gọi là chất điện môi. Chất cách điện có điện trở suất cao vào khoảng $10^7 \div 10^{17} \Omega\text{m}$ ở nhiệt độ phòng.

Chất cách điện gồm phần lớn các vật liệu vô cơ cũng như hữu cơ. Chúng có thể ở thể khí, thể lỏng và thể rắn.

b. Các tính chất của chất điện môi.

- *Độ thẩm thấu điện tương đối (hay còn gọi là hằng số điện môi):*

Hằng số điện môi ký hiệu là ϵ , nó biểu thị khả năng phân cực của chất điện môi và được xác định bằng biểu thức:

$$\epsilon = \frac{C_d}{C_0} \quad (1. 1)$$

Trong đó: C_d là điện dung của tụ điện sử dụng chất điện môi; C_0 là điện dung của tụ điện sử dụng chất điện môi là chân không hoặc không khí.

- Độ tổn hao điện môi (P_a):

Độ tổn hao điện môi là công suất điện chi phí để làm nóng chất điện môi khi đặt nó trong điện trường và được tính theo công thức tổng quát sau:

$$P_a = U^2 \omega C \tan \delta \quad (1.2)$$

Trong đó:

- P_a là độ tổn hao điện môi đo bằng oát (w)
- U là điện áp đặt lên tụ điện đo bằng vôn (V)
- C là điện dung của tụ điện dùng chất điện môi đo bằng Farad (F)
- ω là tần số góc đo bằng rad/s
- $\tan \delta$ là góc tổn hao điện môi

- Độ bền về điện của chất điện môi ($E_{d.t}$):

Nếu ta đặt một chất điện môi vào trong một điện trường mà nó bị mất khả năng cách điện - ta gọi đó là hiện tượng đánh thủng chất điện môi. Trị số điện áp khi xảy ra hiện tượng đánh thủng chất điện môi gọi là điện áp đánh thủng $U_{d.t}$, thường đo bằng KV, và cường độ điện trường tương ứng với điểm đánh thủng gọi là độ bền về điện.

Độ bền về điện ký hiệu là $E_{d.t}$ và được tính theo công thức:

$$E_{d.t} = \frac{U_{d.t}}{d} \quad [KV/mm; KV/cm] \quad (1.3)$$

Trong đó: $U_{d.t}$ - là điện áp đánh thủng chất điện môi

d - là bề dày của chất điện môi bị đánh thủng

- Nhiệt độ chịu đựng:

Là nhiệt độ cao nhất mà ở đó chất điện môi giữ được các tính chất lý hóa của nó.

- Dòng điện trong chất điện môi (I):

Dòng điện trong chất điện môi gồm có 2 thành phần là dòng điện chuyển dịch và dòng điện rò.

- Dòng điện chuyển dịch $I_{C.M}$ (hay gọi là dòng điện phân cực):

Quá trình chuyển dịch phân cực của các điện tích liên kết trong chất điện môi sẽ tạo nên dòng điện phân cực $I_{C.M}$. Khi ở điện áp xoay chiều dòng điện chuyển dịch tồn tại trong suốt thời gian chất điện môi nằm trong điện trường. Khi ở điện áp một chiều dòng điện chuyển dịch chỉ tồn tại ở các thời điểm đóng hoặc ngắt điện áp.

- Dòng điện rò $I_{rò}$:

Dòng điện rò là dòng điện được tạo ra do các điện tích tự do và điện tử phát xạ ra chuyển động dưới tác động của điện trường.

Dòng điện tổng qua chất điện môi sẽ là:

$$I = I_{C.M} + I_{rò}$$

- Điện trở cách điện của chất điện môi:

Điện trở cách điện được xác định theo trị số của dòng điện rò:

$$R_{c.d} = \frac{U}{I - \sum I_{C.M}} \quad (1.4)$$

Trong đó: I - Dòng điện nghiên cứu

$\Sigma I_{C.M.}$ - Tổng các thành phần dòng điện phân cực**c. Phân loại và ứng dụng của chất điện môi.**

Chất điện môi được chia làm 2 loại là chất điện môi thụ động và chất điện môi tích cực.

- Chất điện môi thụ động còn gọi là vật liệu cách điện và vật liệu tụ điện. Bảng 1.1 giới thiệu một số chất điện môi thông dụng và đặc tính của chúng.

- Chất điện môi tích cực là các vật liệu có thể điều khiển được như:

- + Về điện trường có gốm, thủy tinh,..
- + Về cơ học có chất áp điện như thạch anh áp điện
- + Về ánh sáng có chất huỳnh quang
- + Electric hay cái châm điện là vật chất có khả năng giữ được sự phân cực lớn và lâu dài.

Bảng 1.1. Giới thiệu đặc tính của một số chất điện môi thụ động thông dụng

Vật liệu	$E_{d.t}$ KV/mm	ϵ	$tg\delta$	ρ (Ωm)	Tỷ trọng KG/m ³	Ứng dụng
Mi ca	50 ÷ 200	6 ÷ 8	0,0004	10^{15}	$2,8 \cdot 10^3$	Tụ điện, cách điện
Sứ	15 ÷ 30	6,3 ÷ 7,5		$3 \cdot 10^{14}$		Giá đỡ, tụ điện..
Gốm làm tụ		12 ÷ 900 1700 ÷ 4500	0,002 ÷ 0,025 0,0006		$4 \cdot 10^3$	Tụ cao tần, tụ tần thấp..
Nhựa tổng hợp	10 ÷ 40	4 ÷ 4,6	0,05 ÷ 0,12		$1,2 \cdot 10^3$	Cách điện
Bìa cách điện	9 ÷ 12	3 ÷ 4	0,15		$1,6 \cdot 10^3$	Cách điện
Giấy	30	3 ÷ 4				Tụ điện, cách điện
Lụa	8 ÷ 60	3,8 ÷ 4,5	0,04 ÷ 0,08		$1,5 \cdot 10^3$	Cách điện
Sáp	20 ÷ 35	2,8 ÷ 2,9				Tấm chống ẩm
Paraphin	20 ÷ 30	2,2 ÷ 2,3	0,0003 ÷ 0,0007.	10^{16}		Tấm chống ẩm
Nhựa thông	10 ÷ 15	3,5	0,01			Làm sạch mối hàn
Polime	15 ÷ 20	2,3 ÷ 2,4	$1 \cdot 10^{-4} \div 5 \cdot 10^{-4}$	$10^{15} \div 10^{17}$	$0,9 \cdot 10^3$	Cách điện ở cao tần
Cao su	20 ÷ 30	3 ÷ 7	0,02 ÷ 0,1	10^{15}	$1,6 \cdot 10^3$	Vỏ dây dẫn
Dầu tụ điện	20	2,2	0,002 ÷ 0,005			Tụ điện, cấp điện

1.4.2. Chất dẫn điện**a. Định nghĩa.**

Chất dẫn điện là vật liệu có độ dẫn điện cao. Điện trở suất của chất dẫn điện nằm trong khoảng $10^{-8} \div 10^{-5} \Omega m$. Trong tự nhiên chất dẫn điện có thể là chất rắn, chất lỏng hoặc chất khí.

b. Các tính chất của chất dẫn điện.

- Điện trở suất:

$$\rho = R \frac{S}{l} \quad [\Omega.m], [\Omega.mm], [\mu\Omega.m] \quad (1.5)$$

trong đó: S - tiết diện ngang của dây dẫn [mm²; m²]

l - chiều dài dây dẫn [mm; m]

R - trị số điện trở của dây dẫn [Ω]

Điện trở suất của chất dẫn điện nằm trong khoảng từ:

$\rho = 0,016 \mu\Omega.m$ (của bạc Ag) đến

$\rho = 10 \mu\Omega.m$ (của hợp kim sắt - crôm - nhôm)

- Hệ số nhiệt của điện trở suất (α):

Hệ số nhiệt của điện trở suất biểu thị sự thay đổi của điện trở suất khi nhiệt độ thay đổi 1⁰C. Khi nhiệt độ tăng thì điện trở suất cũng tăng lên theo quy luật:

$$\rho_t = \rho_0(1 + \alpha t) \quad (1.6)$$

trong đó: ρ_t - điện trở suất ở nhiệt độ t (°C)

ρ_0 - điện trở suất ở nhiệt độ 0⁰C

α - hệ số nhiệt của điện trở suất [K⁻¹]

Đề cho kim loại nguyên chất thì hệ số nhiệt của chúng hầu như đều bằng nhau và bằng: $\alpha = 1/273,15 \text{ K}^{-1} = 0,004 \text{ K}^{-1}$.

- Hệ số dẫn nhiệt : λ

Lượng nhiệt truyền qua diện tích bề mặt S trong thời gian t là:

$$Q = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta l} S t \quad (1.7)$$

Trong đó:

λ - là hệ số dẫn nhiệt [w/ (m.K)].

$\Delta T/\Delta l$ - là gradien nhiệt độ (ΔT là lượng chênh lệch nhiệt độ ở hai điểm cách nhau một khoảng là Δl)

S - là diện tích bề mặt

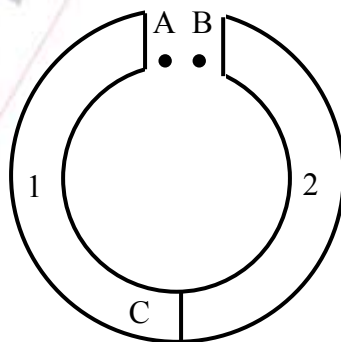
t - là thời gian

- Công thoát của điện tử trong kim loại:

Năng lượng cần thiết cấp thêm cho điện tử để nó thoát ra khỏi bề mặt kim loại được gọi là công thoát của kim loại. E_w

- Điện thế tiếp xúc:

Nghiên cứu hai chất kim loại tiếp xúc với nhau như tiếp xúc C trong hình 1- 2.



Hình 1- 3 : Hai kim loại có tiếp xúc C.

Hiệu điện thế tiếp xúc giữa hai kim loại này được xác định là sự chênh lệch thế năng E_{AB} giữa điểm A và B và được tính theo công thức:

$$E_{AB} = E_{W2} - E_{W1} \quad (1.8)$$

Tương ứng với thế năng E_{AB} (đo bằng eV) ta có điện thế tiếp xúc (đo bằng Vôn), ký hiệu là V_{AB} và có trị số bằng E_{AB} .

Nếu kim loại 1 và 2 giống nhau, điện thế tiếp xúc giữa chúng bằng 0. Nếu hai kim loại khác nhau thì kim loại nào có công thoát thấp hơn trở thành điện tích dương và kim loại có công thoát cao hơn sẽ trở thành điện tích âm.

b. Một số loại vật liệu dẫn điện thường dùng.

Chất dẫn điện được chia làm 2 loại là chất dẫn điện có điện trở suất thấp và chất dẫn điện có điện trở suất cao.

- *Chất dẫn điện có điện trở suất thấp:*

Chất dẫn điện có điện trở suất thấp (hay độ dẫn điện cao) thường dùng làm vật liệu dẫn điện. Bảng 1.2 giới thiệu một số chất dẫn điện có điện trở suất thấp và tham số của chúng.

Bảng 1.2. Chất dẫn điện có điện trở suất thấp và các tính chất điện.

Vật liệu	ρ ($\mu\Omega m$)	α (K^{-1})	$t_{n.c.}$ ($^{\circ}C$)	Tỷ trọng ($10^3 Kg/m^3$)	Ứng dụng
Bạc (Ag)	0,0165	0,0038	960	10,8	Mạ công tắc, bản cực, ống dẫn sóng...
Đồng đỏ (Cu)	0,0175	0,0043	1080	8,96	Dây dẫn, chân cực linh kiện, ống dẫn sóng...
Hợp kim đồng	0,030÷0,06	0,002	900		lá tiếp xúc, dây điện thoại, dây điện trở...
Nhôm (Al)	0,0267	0,0045	660	2,7	Dây dẫn, điện cực, vỏ tụ...
Thiếc (Sn)	0,115	0,0042	230	7,3	hàn
Chì (Pb)	0,21	0,004	330	11,4	Cầu chì, vỏ cáp, acqui axit.
Vonfram (W)	0,055		2500	19,31	Sợi nung, công tắc, điện cực...
Moliden (Mo)	0,057		1500	10.2	Sợi nung, công tắc, điện cực...
Niken (Ni)	0,078		1450	8,9	Sợi nung, công tắc, điện cực...
Vàng (Au)	0,024			19,31	Dây dẫn cao tần, chân vi mạch, ống dẫn sóng... chống ăn mòn
Bạch kim (Pt)	0,105				Tiếp điểm, chất dẫn điện, đồng hồ đo điện...

- *Chất dẫn điện có điện trở suất cao:*

Các hợp kim có điện trở suất cao dùng để chế tạo các dụng cụ đo điện, các điện trở, biến trở, các dây may so, các thiết bị nung nóng bằng điện.

Bảng 1.3. Một số hợp kim thông thường và tính chất điện của chúng.

Vật liệu	ρ ($\mu\Omega m$)	α (K^{-1})	t_{nc} ($^{\circ}C$)	tỷ trọng ($10^3 Kg/m^3$)	Ứng dụng
Manganhin	0,42 ÷ 0,48	0,00005	1200	8,4	Điện trở mẫu, dụng cụ đo điện
Constantan	0,48 ÷ 0,52	0,00005	1270	8,9	Biến trở, sợi đốt
Nicrôm	1 ÷ 1,2	0,00015	1400	8,2	Sợi nung, mỏ hàn, bếp điện, bàn là...
Cacbon (C)	0,28 ÷ 3,5	0,00004	1400		Điện trở, chất bôi trơn, micrôphôn...

1.4.3. Chất bán dẫn

a. Định nghĩa và đặc điểm của chất bán dẫn.

Chất bán dẫn là vật chất có điện trở suất nằm ở giữa trị số điện trở suất của chất dẫn điện và chất điện môi khi ở nhiệt độ phòng: $\rho = 10^{-4} \div 10^7 \Omega.m$

Trong kỹ thuật điện tử chỉ sử dụng một số chất bán dẫn có cấu trúc đơn tinh thể, quan trọng nhất là hai nguyên tố Gecmani và Silic. Thông thường Gecmani và Silic được dùng làm chất chính, còn các chất như Bo, Indi (nhóm 3), photpho, Asen (nhóm 5) làm tạp chất cho các vật liệu bán dẫn chính. Đặc điểm của cấu trúc mạng tinh thể này là độ dẫn điện của nó rất nhỏ khi ở nhiệt độ thấp và nó sẽ tăng theo lũy thừa với sự tăng của nhiệt độ và tăng gấp bội khi có trộn thêm tạp chất.

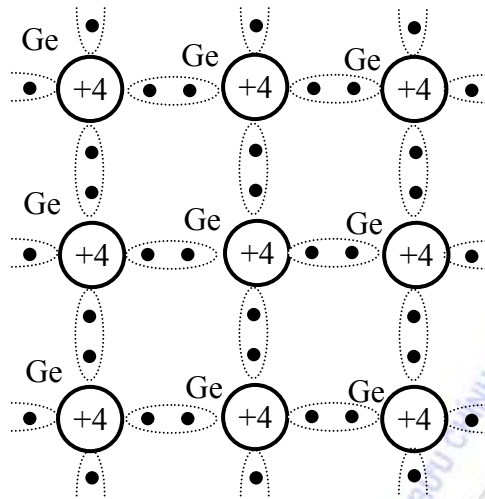
b. Chất bán dẫn nguyên tính.

Chất bán dẫn mà ở mỗi nút của mạng tinh thể của nó chỉ có nguyên tử của một loại nguyên tố thì chất đó gọi là chất bán dẫn nguyên tính (hay chất bán dẫn thuần) và được ký hiệu bằng chỉ số i (Intrinsic).

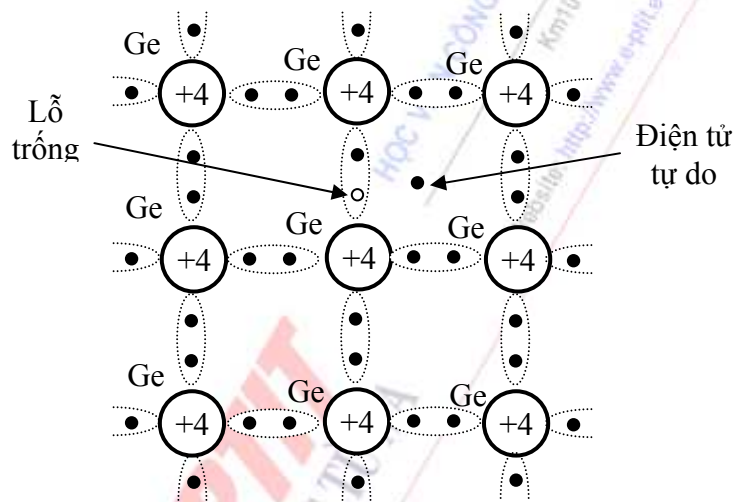
- *Hạt tải điện trong chất bán dẫn thuần:*

Hạt tải điện trong chất bán dẫn là các điện tử tự do trong vùng dẫn và các lỗ trống trong vùng hóa trị

Xét cấu trúc của tinh thể Gecmani hoặc Silic biểu diễn trong không gian hai chiều như trong hình (1- 3): Gecmani (Ge) và Silic (Si) đều có 4 điện tử hóa trị ở lớp ngoài cùng. Trong mạng tinh thể mỗi nguyên tử Ge (hoặc Si) sẽ góp 4 điện tử hóa trị của mình vào liên kết cộng hóa trị với 4 điện tử hóa trị của 4 nguyên tử kế cận để sao cho mỗi nguyên tử đều có hóa trị 4. Hạt nhân bên trong của nguyên tử Ge (hoặc Si) mang điện tích +4. Như vậy các điện tử hóa trị ở trong liên kết cộng hóa trị sẽ có liên kết rất chặt chẽ với hạt nhân. Do vậy, mặc dù có sẵn 4 điện tử hóa trị nhưng tinh thể bán dẫn có độ dẫn điện thấp. Ở nhiệt độ $0^{\circ}K$, cấu trúc lý tưởng như ở hình (1- 3) là gần đúng và tinh thể bán dẫn như là một chất cách điện.



Hình 1- 3 : Cấu trúc tinh thể Ge biểu diễn trong không gian hai chiều



Hình 1- 4 : Tinh thể Gecmani với liên kết cộng hóa trị bị phá vỡ

Tuy nhiên, ở nhiệt độ trong phòng một số liên kết cộng hóa trị bị phá vỡ do nhiệt làm cho chất bán dẫn có thể dẫn điện. Hiện tượng này mô tả trong hình 1- 4. Ở đây, một số điện tử bứt ra khỏi liên kết cộng hóa trị của mình và trở thành điện tử tự do. Năng lượng E_G cần thiết để phá vỡ liên kết cộng hóa trị khoảng 0,72eV cho Ge và 1,1eV cho Si ở nhiệt độ trong phòng. Chỗ thiếu 1 điện tử trong liên kết cộng hóa trị được gọi là lỗ trống. Lỗ trống mang điện tích dương và có cùng độ lớn với điện tích của điện tử. Điều quan trọng là lỗ trống có thể dẫn điện như điện tử tự do.

Trong chất bán dẫn nguyên tính, số lượng các lỗ trống đúng bằng số lượng các điện tử tự do.

$$p_i = n_i$$

p_i - nồng độ hạt dẫn lỗ trống trong bán dẫn nguyên tính

n_i - nồng độ hạt dẫn điện tử trong bán dẫn nguyên tính

Tiếp tục tăng nhiệt độ thì từng đôi điện tử - lỗ trống mới sẽ xuất hiện, ngược lại khi có hiện tượng tái hợp sẽ mất đi từng đôi điện tử- lỗ trống.

- Độ dẫn điện của chất bán dẫn:

Mật độ dòng điện qua chất bán dẫn J sẽ là:

$$J = (n\mu_n + p\mu_p)qE = \sigma E \tag{1.9}$$

Trong đó: n- là nồng độ điện tử tự do (điện tích âm)
 p- là nồng độ lỗ trống (điện tích dương)
 σ- là độ dẫn điện
 μ_n- độ linh động của điện tử
 μ_p- độ linh động của lỗ trống

Do đó độ dẫn điện:

$$\sigma = (n\mu_n + p\mu_p)q \tag{1.10}$$

Bảng 1.4 : Các đặc tính của Ge và Si

Các đặc tính	Ge	Si
Số nguyên tử-----	32	14
Nguyên tử lượng-----	72,6	28,1
Tỷ trọng (g/cm ³)-----	5,32	2,33
Hằng số điện môi-----	16	12
Số nguyên tử/cm ³ -----	4,4.10 ²²	5,0.10 ²²
E _{G0} , eV, ở 0 ⁰ K (năng lượng vùng cấm)-----	0,785	1,21
E _G , eV, ở 300 ⁰ K -----	0,72	1,1
n _i ở 300 ⁰ K , cm ⁻³ (nồng độ hạt dẫn điện tử) -----	2,5.10 ¹³	1,5.10 ¹⁰
Điện trở suất nguyên tính ở 300 ⁰ K [Ω.cm] -----	45	230
μ _n , cm ² / V-sec -----	3800	1300
μ _p ,cm ² / V-sec -----	1800	500
D _n , cm ² / sec = μ _n .V _T -----	99	34
D _p , cm ² / sec = μ _p .V _T -----	47	13

Khi tăng nhiệt độ, mật độ các đôi điện tử - lỗ trống tăng và do đó độ dẫn điện tăng. Cho nên, nồng độ điện tử ni của bán dẫn nguyên tính sẽ thay đổi theo nhiệt độ trong quan hệ:

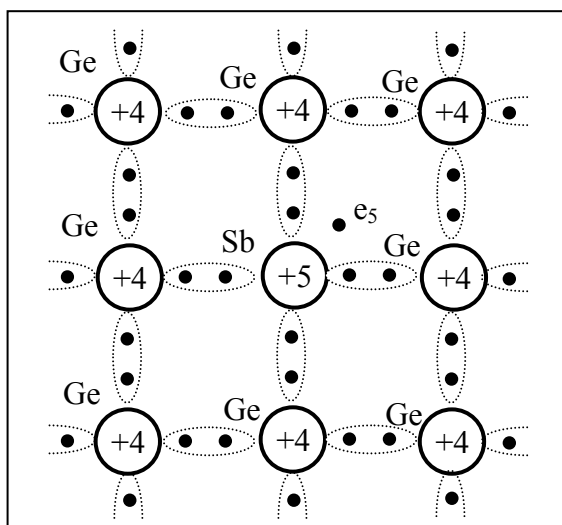
$$n_i^2 = A_0 T^3 e^{-E_{G0}/KT} \tag{1.11}$$

Trong đó: A₀ - là hằng số đo bằng A/(m².⁰K²)
 E_{G0} - là độ rộng vùng cấm ở 0⁰K

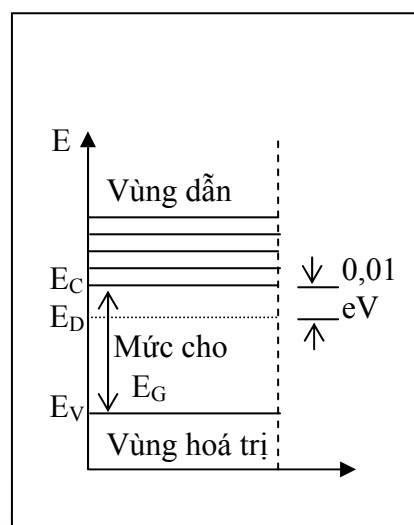
μ_n, μ_p và nhiều đại lượng vật lý quan trọng của Gecmani và Silic cho ở bảng (1.4). Độ dẫn điện của Gecmani hoặc Silic được tính theo công thức (1-11) sẽ tăng xấp xỉ 6% hoặc 8% khi nhiệt độ tăng 1⁰C (tương ứng).

b. Chất bán dẫn tạp loại N (chất bán dẫn tạp loại cho).

Ta thêm một ít tạp chất là nguyên tố thuộc nhóm 5 của bảng tuần hoàn Mendêlêép (thí dụ Antimon - Sb) vào chất bán dẫn Gecmani (Ge) hoặc Silic (Si) nguyên chất. Các nguyên tử tạp chất (Sb) sẽ thay thế một số các nguyên tử của Ge (hoặc Si) trong mạng tinh thể và nó sẽ đưa 4 điện tử trong 5 điện tử hóa trị của mình tham gia vào liên kết cộng hóa trị với 4 nguyên tử Ge (hoặc Si) ở bên cạnh, còn điện tử thứ 5 sẽ thừa ra nên liên kết của nó trong mạng tinh thể là rất yếu, xem hình (1-5) . Muốn giải phóng điện tử thứ 5 này thành điện tử tự do ta chỉ cần cấp một năng lượng rất nhỏ khoảng 0,01eV cho gecmani hoặc 0,05eV cho silic. Các tạp chất hóa trị 5 được gọi là tạp chất cho điện tử (Donor) hay tạp chất N.



Hình 1- 5 : Mạng tinh thể Ge có thêm tạp chất Sb hóa trị 5 (mạng tinh thể của gecmani loại N)



Hình 1- 6 : Đồ thị vùng năng lượng của bán dẫn Ge loại N

Mức năng lượng mà điện tử thứ 5 chiếm đóng là mức năng lượng cho phép được hình thành ở khoảng cách rất nhỏ dưới dải dẫn và gọi là **mức cho**, xem hình (1-6). Và do đó, ở nhiệt độ trong phòng, hầu hết các điện tử thứ 5 của tạp chất cho sẽ nhảy lên dải dẫn, nhưng trong dải hóa trị không xuất hiện thêm lỗ trống. Các nguyên tử tạp chất cho điện tử trở thành các ion dương cố định.

Ở chất bán dẫn tạp loại N: nồng độ hạt dẫn điện tử (n_n) nhiều hơn nhiều nồng độ lỗ trống p_n và điện tử được gọi là hạt dẫn đa số, lỗ trống được gọi là hạt dẫn thiểu số.

$$n_n \gg p_n$$

trong đó: n_n - là nồng độ hạt dẫn điện tử trong bán dẫn tạp loại N

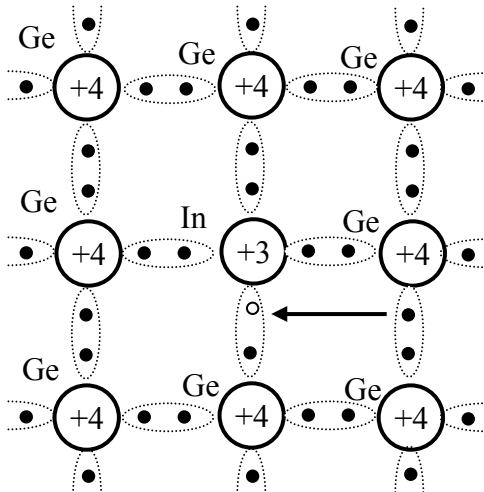
p_n - là nồng độ hạt dẫn lỗ trống trong bán dẫn tạp loại N

c. Chất bán dẫn tạp loại P (chất bán dẫn tạp loại nhận).

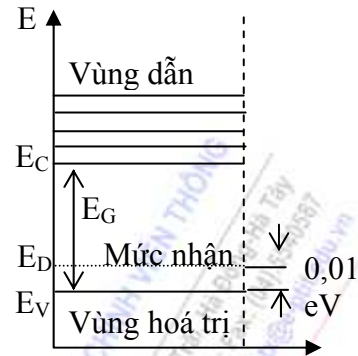
Khi ta đưa một ít tạp chất là nguyên tố thuộc nhóm 3 của bảng tuần hoàn Mendêlêep (thí dụ Indi - In) vào chất bán dẫn nguyên tính Gecmani (hoặc Silic). Nguyên tử tạp chất sẽ đưa 3 điện tử hóa trị của mình tạo liên kết cộng hóa trị với 3 nguyên tử Gecmani (hoặc Silic) bên cạnh còn mỗi liên kết thứ 4 để trống. Trạng thái này được mô tả ở hình (1- 7). Điện tử của mỗi liên kết gần đó có thể nhảy sang để hoàn chỉnh mỗi liên kết thứ 4 còn để dờ. Nguyên tử tạp chất vừa nhận thêm điện tử sẽ trở thành ion âm và ngược lại ở nguyên tử chất chính vừa có 1 điện tử chuyển đi sẽ tạo ra một lỗ trống trong dải hóa trị của nó.

Các tạp chất có hóa trị 3 được gọi là tạp chất nhận điện tử (Acceptor) hay tạp chất loại P.

Mức năng lượng để trống của tạp chất trong chất bán dẫn chính sẽ tạo ra một mức năng lượng cho phép riêng nằm ở bên trên dải hóa trị gọi là **mức nhận**, (xem hình 1- 8)



Hình 1- 7 : Mạng tinh thể gecmani với một nguyên tử In hóa trị 3



Hình 1- 8 : Biểu đồ vùng năng lượng của bán dẫn loại P

Nếu tăng nồng độ tạp chất nhận thì nồng độ của các lỗ trống tăng lên trong dải hóa trị, nhưng nồng độ điện tử tự do trong dải dẫn không tăng. Vậy chất bán dẫn loại này có lỗ trống là hạt dẫn đa số và điện tử là hạt dẫn thiểu số và nó được gọi là chất bán dẫn tạp loại P.

$$P_p \gg N_p$$

trong đó: P_p - nồng độ hạt dẫn lỗ trống trong bán dẫn P

N_p - nồng độ hạt dẫn điện tử trong bán dẫn P

Kết luận: Qua đây ta thấy, sự pha thêm tạp chất vào bán dẫn nguyên tính không những chỉ tăng độ dẫn điện, mà còn tạo ra một chất dẫn điện có bản chất dẫn điện khác hẳn nhau: trong bán dẫn tạp loại N điện tử là hạt dẫn điện chính, còn trong bán dẫn tạp loại P, lỗ trống lại là hạt dẫn điện chính.

d. Mật độ điện tích trong chất bán dẫn.

Quan hệ giữa nồng độ hạt dẫn điện tử n và nồng độ hạt dẫn lỗ trống p trong chất bán dẫn theo công thức gọi là luật khối lượng tích cực như sau:

$$n.p = n_i^2 \tag{1.12}$$

Gọi N_D là nồng độ các nguyên tử chất cho và chúng đều bị ion hóa. Do đó mật độ tổng các điện tích dương sẽ là $N_D + p$.

Tương tự, N_A là nồng độ các ion nhận và tổng mật độ điện tích âm sẽ là $N_A + n$.

Do tính trung hòa về điện trong chất bán dẫn thì mật độ các điện tích dương bằng mật độ các điện tích âm, nên ta có:

$$N_D + p = N_A + n \tag{1.13}$$

Xét một vật liệu bán dẫn loại N thì sẽ có $N_A = 0$. Số lượng điện tử trong bán dẫn N lớn hơn nhiều so với số lỗ trống, khi đó công thức (1.13) đơn giản còn:

$$n \approx N_D \tag{1.14}$$

Như vậy, trong bán dẫn N nồng độ điện tử tự do xấp xỉ bằng mật độ các nguyên tử tạp chất cho. Do đó công thức (1.14) được viết:

$$n_n = N_D \tag{1.15}$$

Nồng độ lỗ trống trong bán dẫn N được viết theo công thức (1.12) ta có:

$$p_n = \frac{n_i^2}{n_n} = \frac{n_i^2}{N_D} \quad (1.16)$$

và $n_n \gg p_n$

Tương tự, đối với bán dẫn tạp loại P ta có:

$$p_p = N_A \quad \text{và} \quad n_p = \frac{n_i^2}{N_A} \quad (1.17)$$

và $p_p \gg n_p$

e. Dòng điện trong chất bán dẫn.

Trong chất bán dẫn có 2 thành phần dòng điện là dòng điện khuếch tán và dòng điện trôi.

- *Dòng điện khuếch tán:*

Sự tồn tại gradient nồng độ hạt dẫn (dP/dx , dn/dx) sẽ dẫn đến hiện tượng khuếch tán của các hạt dẫn từ nơi có nồng độ cao về nơi có nồng độ thấp và tạo ra dòng điện khuếch tán trong chất bán dẫn.

Hiện tượng khuếch tán các lỗ trống tạo nên mật độ dòng điện lỗ trống J_p [ampe/m²] được tính theo công thức sau:

$$J_p = -q \cdot D_p \frac{dP}{dx} \quad (1.18)$$

trong đó: D_p [m²/sec] - là hệ số khuếch tán của lỗ trống.

Tương tự, công thức tính mật độ dòng điện điện tử khuếch tán là:

$$J_n = q \cdot D_n \frac{dn}{dx} \quad (1.19)$$

trong đó: D_n - là hệ số khuếch tán của điện tử.

Cả hai hiện tượng khuếch tán và dịch chuyển (hiện tượng trôi) đều là các hiện tượng nhiệt động học thống kê, D và μ không độc lập, chúng quan hệ với nhau theo công thức:

$$\frac{D_p}{\mu_p} = \frac{D_n}{\mu_n} = V_T \quad (1.20)$$

Trong đó

$$V_T = \frac{KT}{q} = \frac{T}{11600} \quad \text{gọi là điện thế nhiệt.}$$

Tại nhiệt độ phòng (300⁰K) thì $\mu = 39D$. Trong đó, giá trị D cho silic và gecmani cho ở bảng 1-4.

Mật độ dòng điện khuếch tán là: $J_{k.t.} = J_p + J_n$

- *Dòng điện trôi:*

Dòng điện trôi là dòng chuyển động của các hạt dẫn dưới tác dụng của điện trường :

$$J = \sigma \cdot E = q(n\mu_n + p\mu_p) \cdot E \quad (1.21)$$

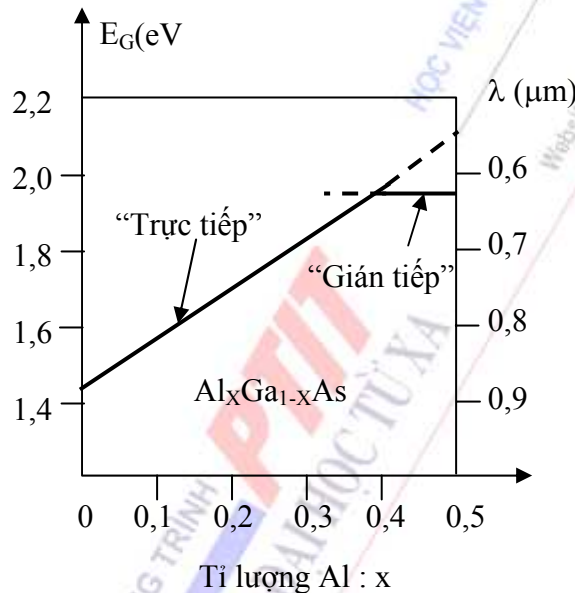
f. Đặc điểm của vật liệu bán dẫn quang.

Chất bán dẫn được dùng để tạo nguồn ánh sáng hầu hết đều có vùng cấm tái hợp trực tiếp. Trong chất bán dẫn các điện tử và lỗ trống có thể tái hợp trực tiếp với nhau qua vùng cấm mà không cần một hạt thứ 3 nào để bảo toàn xung lượng. Chỉ trong các vật liệu có vùng cấm trực tiếp hiện tượng tái hợp bức xạ mới có hiệu suất cao để tạo ra một mức độ phát xạ quang thích hợp. Mặc dù không có một đơn tinh thể bán dẫn nào có vùng cấm tái hợp trực tiếp, nhưng

các hợp chất của các chất thuộc nhóm III và nhóm V có thể cho ta vật liệu có vùng cấm tái hợp trực tiếp. Đây là các vật liệu được tạo nên từ sự liên kết của các nguyên tố nhóm III (như Al, Ga, hoặc In) và các nguyên tố nhóm V (như P, As, hoặc Sb). Sự liên kết ba và bốn thành phần khác nhau của các hợp chất đôi của các nguyên tố này cũng là các vật liệu rất thích hợp cho các nguồn ánh sáng.

Để làm việc ở phổ từ 800 ÷ 900nm, vật liệu được sử dụng thường là hợp kim 3 thành phần $Al_xGa_{1-x}As$. Tỷ lệ x của nhôm (Al) và galium arsenic (GaAs) xác định độ rộng vùng cấm của chất bán dẫn và, tương ứng, xác định bước sóng đỉnh của phát xạ bức xạ đỉnh. Điều này mô tả trong hình (1-9).

Giá trị x để cho vùng hoạt động của vật liệu được lựa chọn thường xuyên đạt được bước sóng là 800nm đến 850nm. Ở các bước sóng dài hơn thì chất 4 thành phần $In_{1-x}Ga_xAs_yP_{1-y}$ là một trong các vật liệu cơ bản được sử dụng. Bằng sự thay đổi tỷ lệ phân tử gam x và y trong vùng hoạt động, các điốt phát quang (LED) có thể tạo ra công suất đỉnh ở bước sóng bất kỳ giữa 1,0 và 1,7 μ m. Để đơn giản ký hiệu $GaAlAs$ và $InGaAsP$ một cách tổng quát khi không cần nói rõ giá trị x và y cũng như các ký hiệu khác như $AlGaAs$; $(AlGa)As$; $(GaAl)As$; $GaInPAs$; và $In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$.



Hình 1-9 : Bề rộng vùng cấm và bước sóng bức xạ ra là hàm của tỉ lệ phân tử gam của Al cho chất $Al_xGa_{1-x}As$ ở nhiệt độ phòng.

Các chất $GaAlAs$ và $InGaAsP$ thường được chọn để tạo chất bán dẫn sử dụng trong các linh kiện nguồn sáng vì nó có thể phù hợp với các tham số mạng tinh thể của giao diện cấu trúc dị thể bằng việc sử dụng một liên kết chính xác các vật liệu 2, 3, và 4 thành phần. Các yếu tố này ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất bức xạ và tuổi thọ của nguồn sáng. Quan hệ cơ học lượng tử giữa năng lượng E và tần số $\nu(f)$:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Bước sóng phát xạ đỉnh λ đo bằng μ m có thể biểu diễn như một hàm của năng lượng vùng cấm E_G đo bằng eV theo công thức:

$$\lambda(\mu\text{m}) = \frac{1,24}{E_G} \quad (1.22)$$

1.5 VẬT LIỆU TỪ

1.5.1 Định nghĩa.

Vật liệu từ là vật liệu khi đặt vào trong một từ trường thì nó bị nhiễm từ.

Quá trình nhiễm từ của các vật liệu sắt từ dưới tác dụng của từ trường ngoài dẫn đến sự tăng nguồn nhiễm từ và quay các vectơ mômen từ theo hướng của từ trường ngoài

1.5.2 Các tính chất đặc trưng cho vật liệu từ.

a. Từ trở và từ thẩm:

Giống như điện trở của một dây dẫn, mạch từ cũng có từ trở R_m . Từ trở là một đại lượng đánh giá sự ngăn cản việc lập nên từ thông của một mạch từ. Từ trở được tính theo công thức sau:

$$R_m = \frac{l}{\mu} \cdot \frac{1}{S} \quad (1.23)$$

trong đó: l - là độ dài của mạch từ
 S - là tiết diện của mạch từ
 μ - là độ từ thẩm của vật liệu trong mạch từ

Số nghịch đảo của μ tương ứng với điện trở suất ρ trong mạch điện. Vậy $1/\mu$ là từ trở suất của 1m^3 vật liệu từ.

Độ từ thẩm là số nghịch đảo của từ trở

$$\mu = \frac{l}{R_m} \cdot \frac{1}{S} = \frac{\Phi}{F_m} \quad (1.24)$$

trong đó: μ là độ từ thẩm của vật liệu từ
 F_m là lực từ động và Φ là từ thông.

Thay các giá trị của R_m và F_m và thay công thức tính mật độ từ thông (độ cảm ứng từ)

$$B = \Phi / S \quad (1.25)$$

ta có công thức tính độ từ thẩm:

$$\mu = \frac{B}{H} \quad [\text{H/m}] \quad (1.26)$$

Vậy độ từ thẩm là tỉ số giữa cảm ứng từ B và cường độ từ trường H và có đơn vị đo bằng Henry/met $[\text{H/m}]$, trong đó H đo bằng Ampe/met.

Độ từ thẩm của không gian tự do μ_0 :

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \quad [\text{H/m}]$$

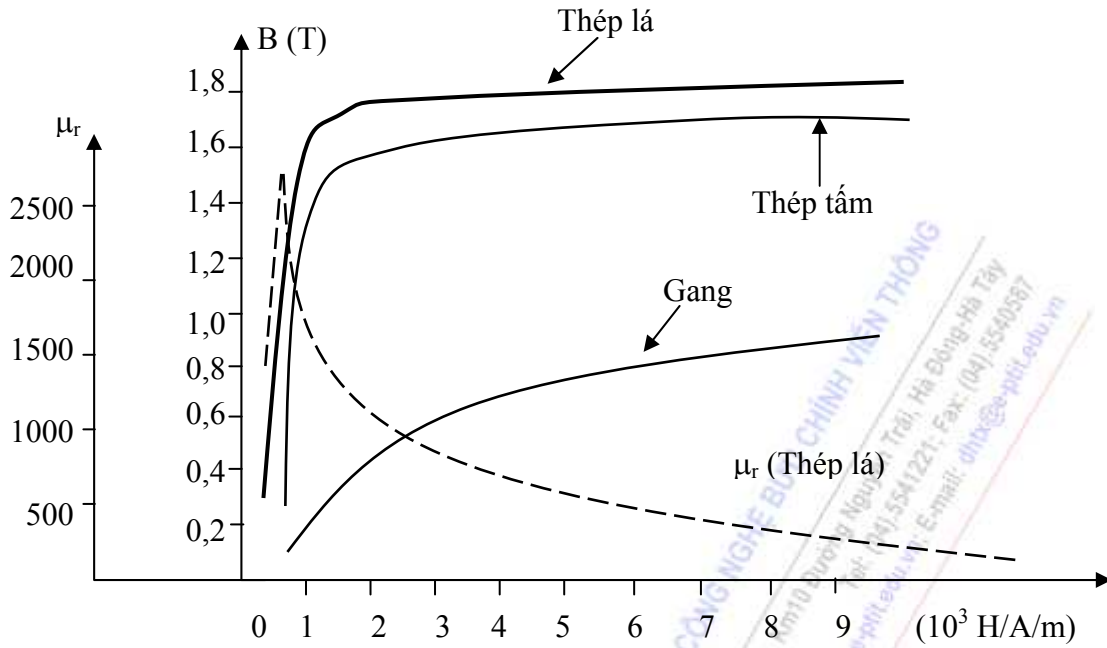
b. Độ từ thẩm tương đối (μ_r):

Sự gia tăng từ thông tổng hợp là độ cảm ứng từ B khi cho sắt hoặc thép vào một mạch điện được tính là độ từ thẩm tương đối μ_r và công thức (1-61) được viết lại thành:

$$\mu_r \cdot \mu_0 = \frac{B}{H} \quad (1.27)$$

Trong trường hợp của không khí và các vật liệu không từ tính khác thì $\mu_r = 1$.

Tùy theo từng loại sắt hoặc thép mà $\mu_r = 400 \div 2500$



Hình 1- 10 : Đường cong từ hóa của gang, thép lá, thép đúc tấm và đường cong từ thắm của thép lá.

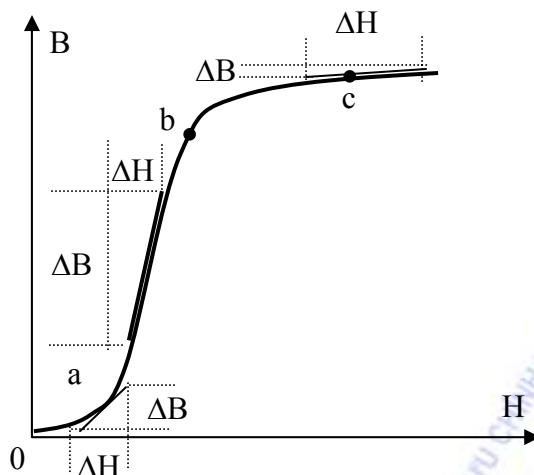
Hình (1- 10) mô tả sự thay đổi của độ cảm ứng từ B khi cường độ từ trường H thay đổi trên các mẫu là mạch sắt từ khép kín và đường cong từ thắm của thép lá. Đường từ hóa có thể được dùng để xác định độ cảm ứng từ B đối với một giá trị cường độ từ trường đã cho. Từ đó, độ từ thắm tương đối của mỗi mẫu có thể được tính và vẽ trên đồ thị đường từ hóa này.

Đường đứt nét trong hình (1-10) mô tả độ từ thắm tương đối μ_r của thép lá. Độ từ thắm tương đối không phải là đại lượng không đổi, nó phụ thuộc vào cường độ từ trường H . Đối với thép lá độ từ thắm cực đại đạt được ở cường độ từ trường xấp xỉ 250A/m.

c. Đường cong từ hóa:

Đặc trưng cho tính chất của vật liệu từ ta có đường cong từ hóa $B = f(H)$ biểu thị mối quan hệ giữa độ cảm ứng từ B và cường độ từ trường H (xem hình 1- 11).

Khi độ cảm ứng từ B và cường độ từ trường H trong cuộn dây thay đổi với số gia là ΔB và ΔH thì số gia của độ từ thắm $\Delta B / \Delta H$ sẽ trở nên quan trọng.



Hình 1- 11 : Độ từ thẩm là tỉ số của B/H.

Điều cần biết ở đây là ta muốn đạt được một giá trị độ từ thẩm lớn nhất khi độ cảm ứng từ B cực đại với cường độ từ trường H có thể nhỏ nhất. Một quan hệ quan trọng khác là các giá trị thay đổi của B và H trong hình (1- 11). Độ nghiêng của đường cong từ hóa tại một điểm bất kỳ được gọi là gia lượng từ thẩm $\Delta\mu$.

$$\Delta\mu = \Delta B / \Delta H$$

Độ gia từ thẩm quan trọng trong ứng dụng mà ở đó yêu cầu sự thay đổi rất nhỏ của cường độ từ trường H và sự thay đổi lớn của cảm ứng từ B.

- *Hiện tượng trễ*: Hình (1- 12)

Đường cong từ hóa biểu thị quan hệ giữa độ cảm ứng từ B và cường độ từ trường H của vật liệu từ khi ta đặt nó trong từ trường.

Như biểu thị trong hình ta có:

B_s - cảm ứng từ bão hòa

B_d - cảm ứng từ dư

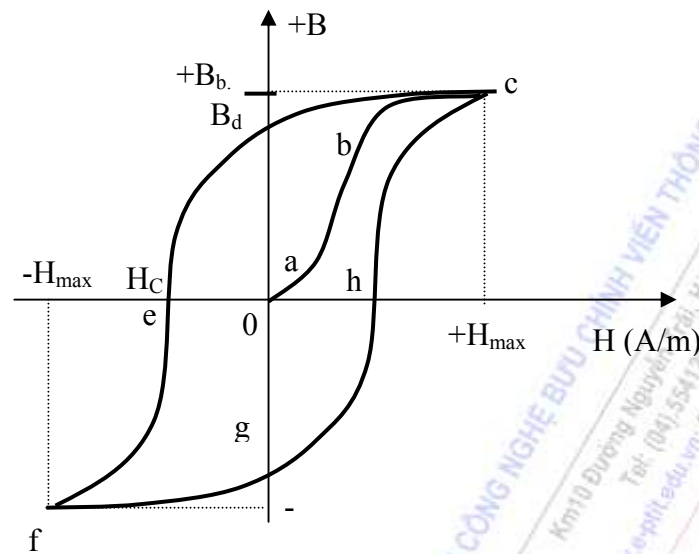
H_c - lực kháng từ

Đường cong 0-a-b-c xảy ra khi vật liệu từ ban đầu là không bị nhiễm từ và cường độ từ trường tăng từ 0 lên. Khi ta giảm cường độ từ trường từ H_{max} xuống đến 0 thì vật liệu từ vẫn còn giữ lại một số từ thông. Độ cảm ứng từ còn lại trong vật liệu từ đã nhiễm từ khi cường độ từ trường giảm xuống đến 0 gọi là độ cảm ứng từ dư (đoạn o-d): (B_d).

Để giảm độ cảm ứng từ dư đến 0, ta cần cung cấp một cường độ từ trường âm. Cường độ từ trường cần thiết (o-e) để giảm độ cảm ứng từ dư đến 0 được gọi là lực kháng từ (H_c). Khi tiếp tục tăng giá trị ngược của cường độ từ trường H, thì độ cảm ứng từ B cũng tăng theo chiều âm đến giá trị bão hòa, ta có đường cong từ hóa mới (đoạn e-f). Một lần nữa, cường độ từ trường ngược lại giảm đến 0 thì độ cảm ứng từ cũng giảm đến giá trị cảm ứng từ dư (đoạn o-g). Và để giảm độ cảm ứng từ đến 0, ta lại phải tăng cường độ từ trường theo chiều dương đến trị số H_c (đoạn o-h) và đây cũng chính là lực kháng từ. Tiếp tục tăng cường độ từ trường theo chiều dương ta được đoạn "h-c" của đồ thị. Như vậy, đồ thị B/H có dạng một vòng khép kín. Vòng này đối xứng với độ lớn $+B_{max} = -B_{max}$, và $+H_{max} = -H_{max}$.

Vòng từ trễ chứng minh rằng, một ít năng lượng được hấp thụ vào trong vật liệu từ để

thăng lực ma sát và làm thay đổi sự sắp xếp thẳng hàng của các đomen từ. Năng lượng này là nguyên nhân làm nóng lõi cuộn dây, và nó chính là năng lượng lãng phí. Diện tích phủ kín vòng từ trở tỉ lệ thuận với năng lượng hao phí này. Hình (1- 13) biểu diễn 3 vòng từ trở tiêu biểu cho 3 loại vật liệu sắt từ.



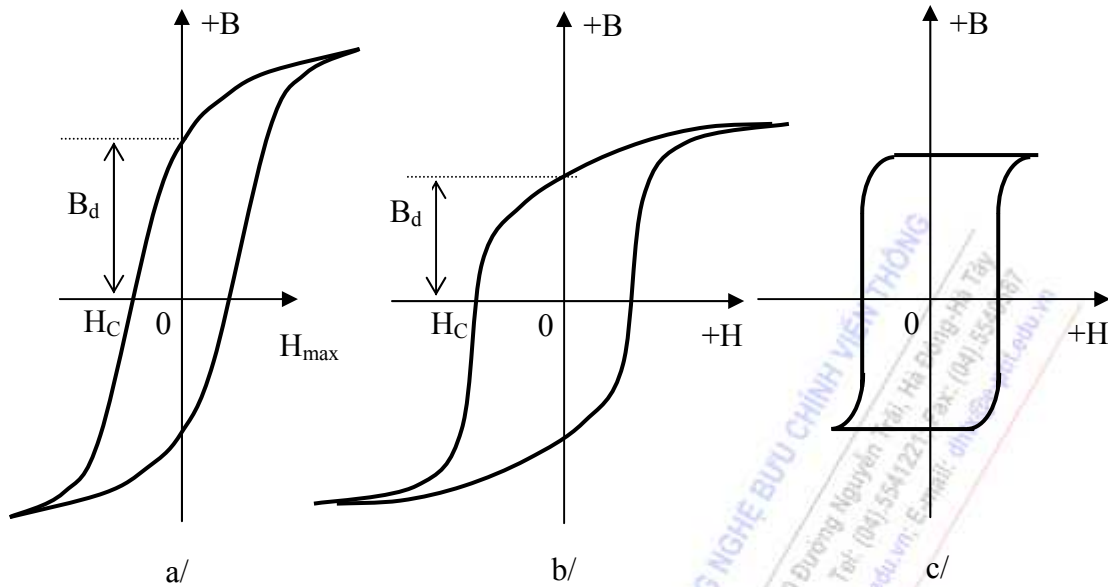
Hình 1- 12 : Vòng từ trễ (Khi cường độ từ trường giảm từ H_{max} đến 0, độ cảm ứng từ còn dư lại. Nếu H đổi hướng thì cảm ứng từ dư cũng đổi hướng).

Vòng từ trễ hình (1- 13a) là của sắt mềm. Vòng từ trễ hình (1- 13b) mô tả vòng từ trễ tiêu biểu của chất thép cứng, và diện tích của nó lớn là nguyên nhân dẫn đến tổn thất của lõi lớn. Tuy nhiên, vì độ cảm ứng từ dư của chất thép cứng lớn nên nó rất thuận lợi cho nam châm vĩnh cửu.

Vòng từ trễ hình (1- 13c) là của Ferit. Đây là một lõi ceramic được làm từ oxit sắt. Vòng từ trễ có hình dạng như vậy sẽ có tổn thất trễ lớn. Đặc tính độ cảm ứng B đạt tới trị số cảm ứng từ dư không đổi trong một hướng này cho phép sử dụng Ferit làm các bộ nhớ từ.

- *Dòng điện xoáy trong lõi sắt từ:*

Như ta đã biết, một từ trường thay đổi sẽ cảm ứng một sức điện động trong một dây dẫn đặt trong từ trường đó. Do vậy, một lõi sắt từ đặt trong một cuộn dây sẽ cảm ứng một sức điện động và tạo ra một dòng điện lưu thông trong lõi sắt từ được gọi là dòng điện xoáy. Dòng điện xoáy làm nóng lõi sắt từ và nó giữ vai trò quan trọng trong tổng tổn thất của cuộn dây. Để hạn chế dòng điện xoáy, lõi sắt từ làm việc với dòng điện xoay chiều luôn được chế tạo từ các lá mỏng. Bề mặt của các lá mỏng này được quét vecni hoặc một lớp sơn cách điện mỏng lên cả hai mặt để tăng điện trở của chúng đối với dòng điện xoáy. Bằng cách này các tổn thất do dòng điện xoáy không còn đáng kể.



Hình 1- 13: Hình dạng của một số vòng từ trễ của các vật liệu

1.5.3 Phân loại và ứng dụng của vật liệu từ.

Dựa vào vòng từ trễ người ta chia vật liệu từ làm 2 loại:

- Vật liệu từ mềm có độ từ thẩm cao và lực kháng từ nhỏ (H_c nhỏ và μ lớn).
- Vật liệu từ cứng có độ từ thẩm nhỏ và lực kháng từ cao (H_c lớn và μ nhỏ).

a. Vật liệu từ mềm:

- *Vật liệu từ mềm dùng ở tần số thấp:*

Vật liệu từ mềm làm việc ở tần số thấp thường được dùng rộng rãi là sắt, hợp kim sắt - silic, sắt - niken, lá thép kỹ thuật điện... để làm lõi biến áp, nam châm điện.

Hiện nay hợp kim sắt từ dùng rộng rãi nhất là sắt- silic. Sắt- niken có độ từ thẩm cao hơn. Vật liệu sắt dùng trong các cuộn dây và biến áp thường ở dạng tấm mỏng.

Một cách khác, hợp kim sắt từ được tạo thành bằng cách nung dính một hỗn hợp bột kẽm nguyên chất, sau đó được cán nguội và ủ. Khi cán nguội, nhờ tác động sắp xếp lại trực tinh thể nên tính chất từ theo hướng cán là tốt nhất và được gọi là vật liệu từ có định hướng. Để giảm độ tiêu hao do các dòng điện xoáy trong lõi biến áp người ta dùng vật liệu từ có điện trở suất cao. Để thay đổi tính chất từ và điện trở suất của vật liệu sắt từ ta phải thay đổi tỉ lệ thành phần hợp kim. Các tính chất của vật liệu từ thường cho dưới dạng các đường cong từ hóa và các đường cong độ từ thẩm. Độ dễ từ hóa của một vật liệu từ được đo bằng độ từ thẩm. Với sắt-silic có độ từ thẩm cực đại khoảng 7500H/m, còn sắt -niken khoảng 60000H/m. Các khoảng tần số làm việc của các vật liệu từ thông dụng như biểu diễn trong hình (1- 14).

cần thận khi sử dụng và gia công chế tạo.

b. Vật liệu từ cứng:

Theo ứng dụng chia vật liệu từ cứng thành 2 loại:

- Vật liệu để chế tạo nam châm vĩnh cửu.
- Vật liệu từ để ghi âm, ghi hình, giữ âm thanh, v.v..

Theo công nghệ chế tạo, chia vật liệu từ cứng thành:

- Hợp kim thép được tôi thành Martenxit là vật liệu đơn giản và rẻ nhất để chế tạo nam châm vĩnh cửu.
- Hợp kim lá từ cứng.
- Nam châm từ bột.
- Ferit từ cứng: Ferit Bari ($BaO.6Fe_2O_3$) để chế tạo nam châm dùng ở tần số cao.
- Băng, sợi kim loại và không kim loại dùng để ghi âm thanh.

- *Đặc điểm của nam châm vĩnh cửu là:*

Năng lượng từ cực đại bao quanh không gian xung quanh chất sắt từ được tính bằng Oat (W):

$$W_d = \frac{B_d \cdot H_d}{2} \quad (1.28)$$

như vậy, năng lượng bao quanh không gian chất sắt từ được tính theo công thức:

$$W = \frac{B \cdot H}{2}$$

Nam châm trong trạng thái khép kín sẽ không truyền năng lượng ra không gian xung quanh. Khi tồn tại 1 khe không khí giữa các cực thì sẽ xuất hiện sự truyền năng lượng vào không gian xung quanh, trị số của nó phụ thuộc nhiều vào chiều dài khe không khí.

Các đặc tính của nam châm vĩnh cửu là các đại lượng:

- Lực kháng từ H_C .
- Độ cảm ứng từ dư B_{dr} .
- Năng lượng cực đại bao quanh không gian quanh chất sắt từ W_d .
- Độ từ thẩm của vật liệu từ cứng nhỏ hơn của vật liệu từ mềm và với sự tăng của H_C thì độ từ thẩm giảm.

Đại lượng $H.C/2$ tỉ lệ với năng lượng cực đại của từ trường bao quanh chất sắt từ.

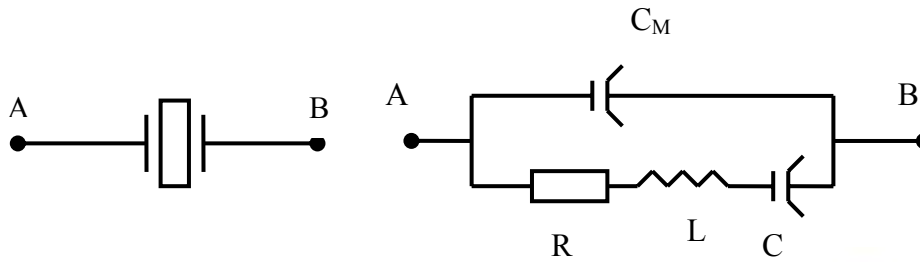
1.4.5. Thạch anh áp điện (SiO_2)

Thạch anh là tinh thể SiO_2 tự nhiên không màu, trong suốt, thường gọi là pha lê tự nhiên; hoặc thạch anh màu (thạch anh khói, thạch anh tím). Tinh thể thạch anh áp điện có thể được gia công bằng phương pháp nhân tạo, khi đó các tính chất của nó gần giống như các tính chất của các tinh thể tự nhiên.

Thạch anh áp điện thường được dùng làm các bộ dao động thạch anh có tần số dao động rất ổn định.

Bộ cộng hưởng thạch anh: Bề mặt của các tấm thạch anh được mài bằng bột mịn và trên chúng được đặt các điện cực bằng kim loại tạo ra bộ cộng hưởng thạch anh.

Ký hiệu và mạch tương đương:



Hình 1-5. Ký hiệu và sơ đồ mạch tương đương của thạch anh trong mạch

Bộ cộng hưởng thạch anh cần có hệ số nhiệt tần số thấp và không được tạo ra các cộng hưởng ký sinh theo cả hai hướng kể từ tần số cộng hưởng chính trong dải tần đã cho của nó.

Điện tích xuất hiện ở hiệu ứng áp điện được xác định bằng công thức:

$$Q = d_{ij} \cdot F \quad (1.29)$$

trong đó: F - là lực gây ra biến dạng

d_{ij} - môđun điện tương ứng với loại tinh thể.

TÓM TẮT NỘI DUNG

Trong chương này chúng ta đã trình bày định nghĩa về cấu kiện điện tử một cách khái quát, đưa ra một số cách phân loại cấu kiện điện tử thông dụng. Thông thường nhất ta chia cấu kiện điện tử dựa theo ứng dụng của nó là cấu kiện điện tử thụ động và cấu kiện điện tử tích cực. Ngoài ra còn phân loại theo lịch sử phát triển công nghệ chế tạo của các cấu kiện mà chúng ta rất quen gọi là cấu kiện điện tử chân không, cấu kiện điện tử có khí, cấu kiện điện tử bán dẫn, vi mạch và cấu kiện điện tử nanô.

Trong chương 1 cũng cho chúng ta một khái quát chung cấu trúc của một mạch điện tử và một hệ thống điện tử. Từ đây chúng ta có thể hình dung được tầm quan trọng của các cấu kiện điện tử và vị trí có thể sử dụng chúng trong các thiết bị điện tử.

Vật liệu điện tử là phần quan trọng của chương 1. Chúng ta đã nghiên cứu về đặc tính vật lý điện của các loại vật liệu sử dụng trong lĩnh vực điện tử và đã được phân ra làm 4 loại theo ứng dụng của nó.

Chất cách điện hay còn gọi là chất điện môi là loại dẫn điện kém, điện trở suất của nó rất cao ($10^7 \div 10^{17}$) Ωm . Khi sử dụng chất cách điện ta phải chú ý đến các tính chất kỹ thuật sau: Hằng số điện môi ϵ , biểu thị khả năng phân cực của chất điện môi; Độ bền về điện $E_{d.t}$, biểu thị khả năng chịu được điện áp cao của chất điện môi; Độ tổn hao điện môi P (hay góc tổn hao điện môi $\text{tg}\delta$) biểu thị chi phí năng lượng điện vô ích của chất điện môi khi có dòng điện chạy qua. Tùy theo mục đích sử dụng mà chúng ta chú ý đến các tính chất đặc trưng này một cách tối ưu để lựa chọn vật liệu thích hợp.

Trong sử dụng, chất cách điện được chia làm 2 loại chính là vật liệu cách điện thụ động và chất cách điện tích cực. Chất cách điện thụ động thường dùng làm vật liệu cách điện và làm tụ điện. Còn chất cách điện tích cực có một số đặc tính cơ-điện đặc biệt như biến cơ năng thành điện năng (gôm xét nhét, muối xét nhét), tính áp điện (muối xét nhét, gôm xét nhét, thạch anh áp điện) hoặc Electret (cái châm điện)...

Chất dẫn điện là vật liệu dẫn điện tốt, thông thường ở thể rắn chúng là kim loại và hợp kim, còn ở thể lỏng chúng là các kim loại nóng chảy và dung dịch điện phân. Khi sử dụng chất

dẫn điện chúng ta phải chú ý đến các tính chất sau của nó: Điện dẫn suất hay điện trở suất ($\sigma = 1/\rho$); Hệ số nhiệt của điện trở suất (α); Nhiệt dẫn suất (λ); Hiệu điện thế tiếp xúc và Giới hạn bền khi kéo.

Trong sử dụng, chất dẫn điện được chia làm 2 loại: chất dẫn điện có điện trở suất thấp, thường dùng làm dây dẫn điện như đồng nguyên chất, nhôm nguyên chất và chất dẫn điện có điện trở suất cao thường được dùng làm các điện trở, các sợi nung nóng...Tùy theo mục đích sử dụng mà chúng ta lựa chọn các vật liệu có tính chất thích hợp.

Chất bán dẫn là vật liệu mà điện trở suất của nó có giá trị ở giữa giá trị của chất cách điện và chất dẫn điện. Trong kỹ thuật điện tử người ta chỉ sử dụng các chất bán dẫn có cấu trúc mạng tinh thể, quan trọng là 2 chất silic và gecmani. Đặc tính dẫn điện quan trọng của chất bán dẫn là độ dẫn điện của nó phụ thuộc rất nhiều vào nhiệt độ và nồng độ tạp chất có trong nó. Chất bán dẫn được chia làm 3 loại chính: chất bán dẫn thuần (nguyên tính), chất bán dẫn tạp loại N và chất bán dẫn tạp loại P. Chất bán dẫn nguyên tính có nồng độ hạt tải điện điện tử và hạt tải điện lỗ trống bằng nhau ($p_i = n_i$); chất bán dẫn tạp loại P có hạt tải điện đa số là lỗ trống, hạt tải điện điện tử là thiểu số ($p_p \gg n_p$); chất bán dẫn tạp loại N có hạt tải điện đa số là điện tử, hạt tải điện thiểu số là lỗ trống ($n_n \gg p_n$).

Chất bán dẫn quang là vật liệu bán dẫn có cấu trúc điện tử đặc biệt để có thể bức xạ quang từ quá trình tái hợp của các hạt dẫn (biến đổi điện sang quang) hoặc hấp thụ quang để tạo ra các hạt dẫn điện (biến đổi quang sang điện).

Vật liệu từ là vật liệu có khả năng nhiễm từ khi đặt trong từ trường. Khi sử dụng vật liệu từ chúng ta phải chú ý các tính chất từ tính sau: Độ từ thẩm tương đối (μ_r), Từ trở (R_M) và Tổn hao từ trễ. Ngoài ra chúng ta còn quan tâm đến tính chất của đường cong từ hoá và vòng từ trễ của vật liệu từ. Người ta thường chia vật liệu từ ra làm 3 loại: Vật liệu từ mềm, vật liệu từ cứng và vật liệu từ có công dụng đặc biệt.

Vật liệu từ mềm có độ từ thẩm cao, lực kháng từ và tổn hao từ trễ nhỏ.

Vật liệu từ cứng là loại có độ từ thẩm thấp, lực kháng từ cao.

Vật liệu từ có công dụng đặc biệt.

CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Hãy cho biết một số cách phân loại cấu kiện điện tử thông thường?
2. Hãy cho biết các tính chất vật lý-điện cơ bản của chất cách điện?
3. Em hãy cho biết thông thường chất cách điện được chia làm mấy loại? Là những loại nào và phạm vi sử dụng chính của từng loại?
4. Hãy cho biết các tính chất vật lý-điện cơ bản của chất dẫn điện?
5. Dựa vào tính dẫn điện, chất dẫn điện được phân chia thành mấy loại? Là những loại nào? Cho ví dụ và nêu ứng dụng của chúng?
6. Hãy cho biết những yếu tố nào ảnh hưởng chính đến độ dẫn điện của chất bán dẫn?
7. Tại sao trong chất bán dẫn thuần, nồng độ hạt tải điện điện tử và hạt tải điện lỗ trống lại bằng nhau?
8. Thế nào là chất bán dẫn tạp loại N? Đặc điểm dẫn điện của nó là gì?
9. Thế nào là chất bán dẫn tạp loại P? Đặc điểm dẫn điện của nó là gì?
10. Chất bán dẫn quang điện tử có đặc điểm gì khác với chất bán dẫn thông thường?
11. Nêu những tính chất cơ bản của vật liệu từ?
12. Hãy cho biết vật liệu từ được phân chia thành mấy loại? Cho ví dụ ứng dụng của từng loại?
13. Cho một miếng bán dẫn Silic được pha thêm photpho nồng độ $10^{15} / cm^{-3}$. Hãy tính nồng

độ hạt dẫn trong miếng bán dẫn tại nhiệt độ $300^0 K$.

14. Hãy cho biết những tính chất đặc biệt của thạch anh áp điện và ứng dụng của nó?
15. Dựa vào cấu trúc vùng năng lượng của vật chất, chất bán dẫn có độ rộng vùng cấm là:
- a. $EG > 2eV$ b. $0eV < EG < 2eV$ c. $EG = 0eV$ d. $3eV < EG < 6eV$
16. Hãy điền vào chỗ trống của mệnh đề một trong những nhóm từ dưới đây:
“Độ bền về điện của chất điện môi là giá trịngoài đặt lên chất điện môi mà làm cho nó mất khả năng cách điện”.
- a. dòng điện; b. điện áp; c. công suất điện; d. cường độ điện trường
17. Độ từ thẩm tương đối của vật liệu từ μ_r là một đại lượng....
- a. không thay đổi.
b. thay đổi theo cường độ từ trường H.
c. thay đổi theo tần số làm việc.
d. thay đổi theo điều kiện môi trường như nhiệt độ, ánh sáng, độ ẩm...

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Giáo trình “Cấu kiện điện tử và quang điện tử” của Trần Thị Cẩm, Học viện Công nghệ BCVT, năm 2002.
2. Vật liệu kỹ thuật điện, của Nguyễn Đình Thắng, nhà xuất bản KHKT Hà Nội, năm 2005.



CHƯƠNG 2

CÁC CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ THỤ ĐỘNG

GIỚI THIỆU CHƯƠNG

Chương 2 giới thiệu về các cấu kiện điện tử thụ động. Đó là cấu kiện điện trở, tụ điện, cuộn cảm và biến áp. Đây là các cấu kiện không thể thiếu được trong các mạch điện. Chúng luôn giữ một vai trò rất quan trọng trong hầu hết các mạch điện. Các cấu kiện này được trình bày một cách cụ thể từ định nghĩa, cấu tạo, ký hiệu trong các sơ đồ mạch, các cách phân loại thông dụng, các tham số cơ bản và các cách nhận biết chúng trên thực tế. Ngoài ra, chương 2 còn cho biết đặc tính của một số cấu kiện điện tử thụ động đặc biệt, sử dụng trong các lĩnh vực khác nhau.

NỘI DUNG

2.1 ĐIỆN TRỞ

2.1.1. Định nghĩa và ký hiệu của điện trở

a. Định nghĩa:

Điện trở là cấu kiện dùng làm phân tử ngăn cản dòng điện trong mạch. Trị số điện trở được xác định theo định luật Ôm:

$$R = \frac{U}{I} \quad [\Omega] \quad (2.1)$$

Trong đó: U – hiệu điện thế trên điện trở [V]

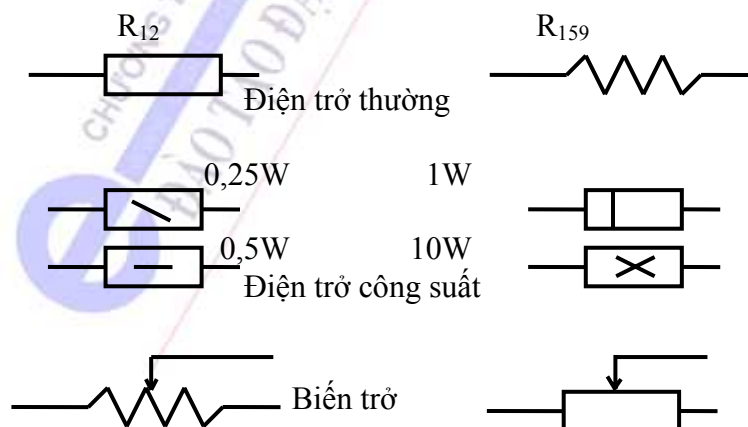
I - dòng điện chạy qua điện trở [A]

R - điện trở [Ω]

Trên điện trở, dòng điện và điện áp luôn cùng pha và điện trở dẫn dòng điện một chiều và xoay chiều như nhau.

b. Ký hiệu của điện trở trên các sơ đồ mạch điện

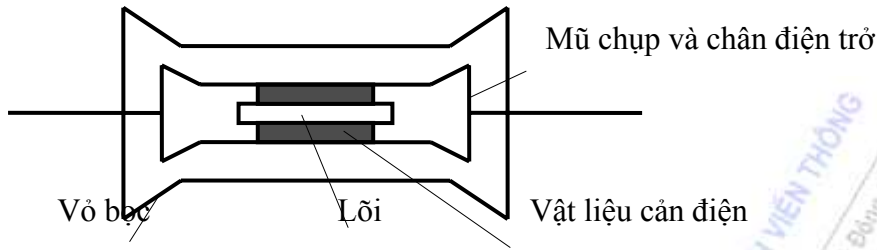
Trong các sơ đồ mạch điện, điện trở thường được mô tả theo các qui ước tiêu chuẩn như trong hình 2-1.



Hình 2-1: Ký hiệu của điện trở trên sơ đồ mạch điện

c. Cấu trúc của điện trở:

Cấu trúc của điện trở có nhiều dạng khác nhau. Một cách tổng quát ta có cấu trúc tiêu biểu của một điện trở như mô tả trong hình 2-2.



Hình 2.2: Kết cấu đơn giản của một điện trở

2.1.2. Các tham số kỹ thuật đặc trưng của điện trở

a. Trị số điện trở và dung sai

+ Trị số của điện trở là tham số cơ bản và được tính theo công thức:

$$R = \rho \frac{l}{S} \tag{2.2}$$

Trong đó: ρ - là điện trở suất của vật liệu dây dẫn cản điện
 l - là chiều dài dây dẫn
 S - là tiết diện của dây dẫn

+ Dung sai hay sai số của điện trở biểu thị mức độ chênh lệch giữa trị số thực tế của điện trở so với trị số danh định và được tính theo %.

Dung sai được tính theo công thức:

$$\frac{R_{t,t} - R_{d,d}}{R_{d,d}} 100\% \begin{cases} R_{t,t} & \text{Trị số thực tế của điện trở} \\ R_{d,d} & \text{Trị số danh định của điện trở} \end{cases}$$

Dựa vào % dung sai, ta chia điện trở ở 5 cấp chính xác:

- Cấp 005: có sai số $\pm 0,5 \%$
- Cấp 01: có sai số $\pm 1 \%$
- Cấp I: có sai số $\pm 5 \%$
- Cấp II: có sai số $\pm 10 \%$
- Cấp III: có sai số $\pm 20 \%$

b. Công suất tiêu tán danh định: ($P_{t,t,max}$)

Công suất tiêu tán danh định cho phép của điện trở $P_{t,t,max}$ là công suất điện cao nhất mà điện trở có thể chịu đựng được trong điều kiện bình thường, làm việc trong một thời gian dài không bị hỏng. Nếu quá mức đó điện trở sẽ nóng cháy và không dùng được.

$$P_{t,t,max} = RI_{max}^2 = \frac{U_{max}^2}{R} \quad [W] \tag{2.3}$$

Với yêu cầu đảm bảo cho điện trở làm việc bình thường thì $P_{tt} < P_{tt,max}$.

c. Hệ số nhiệt của điện trở : TCR

Hệ số nhiệt của điện trở biểu thị sự thay đổi trị số của điện trở theo nhiệt độ môi trường và được tính theo công thức sau:

$$TCR = \frac{1}{R} \cdot \frac{\Delta R}{\Delta T} \cdot 10^6 \quad [\text{ppm}/^\circ\text{C}] \quad (2.4)$$

Trong đó: R- là trị số của điện trở

ΔR - là lượng thay đổi của trị số điện trở khi
nhiệt độ thay đổi một lượng là ΔT .

TCR là trị số biến đổi tương đối tính theo phần triệu của điện trở trên 1°C (viết tắt là ppm/ $^\circ\text{C}$).

Lưu ý: Điện trở than làm việc ổn định nhất ở nhiệt độ 20°C . Khi nhiệt độ tăng lớn hơn 20°C hoặc giảm nhỏ hơn 20°C thì điện trở than đều tăng trị số của nó.

2.1.3. Cách ghi và đọc các tham số trên thân điện trở

Trên thân điện trở thường ghi các tham số đặc trưng cho điện trở như: trị số của điện trở và % dung sai, công suất tiêu tán (thường từ vài phần mười Watt trở lên). Người ta có thể ghi trực tiếp hoặc ghi theo nhiều qui ước khác nhau.

a. Cách ghi trực tiếp:

Cách ghi trực tiếp là cách ghi đầy đủ các tham số chính và đơn vị đo của chúng. Cách ghi này thường dùng đối với các điện trở có kích thước tương đối lớn như điện trở dây quấn.

b. Ghi theo qui ước

Cách ghi theo quy ước có rất nhiều các quy ước khác nhau. ở đây ta xem xét một số cách quy ước thông dụng:

+ Không ghi đơn vị Ôm: Đây là cách ghi đơn giản nhất và nó được qui ước như sau:

$$R \text{ (hoặc E)} = \Omega \quad M = M\Omega \quad K = K\Omega$$

+ Quy ước theo mã: Mã này gồm các chữ số và một chữ cái để chỉ % dung sai. Trong các chữ số thì chữ số cuối cùng chỉ số số 0 cần thêm vào. Các chữ cái chỉ % dung sai qui ước gồm: F = 1 %, G = 2 %, J = 5 %, K = 10 %, M = 20 %.

+ Quy ước màu:

Thông thường người ta sử dụng 4 vòng màu, đôi khi dùng 5 vòng màu (đối với loại có dung sai nhỏ khoảng 1%).

Loại 4 vòng màu được qui ước:

- Hai vòng màu đầu tiên là chỉ số có nghĩa thực của nó
- Vòng màu thứ 3 là chỉ số số 0 cần thêm vào (hay gọi là số nhân).
- Vòng màu thứ 4 chỉ phần trăm dung sai (%).

Loại 5 vạch màu được qui ước:

- Ba vòng màu đầu chỉ các số có nghĩa thực
- Vòng màu thứ tư là số nhân để chỉ số số 0 cần thêm vào
- Vòng màu thứ 5 chỉ % dung sai.

Bảng 2.1 : Bảng qui ước màu

	Vạch màu thứ 1	Vạch màu thứ 2	Vạch màu thứ 3	Vạch màu thứ 4
Màu	Hàng chục	Đơn vị	Số nhân	Dung sai
Đen	0	0	1	20%
Nâu	1	1	10	1%
Đỏ	2	2	100	2%
Cam	3	3	1000	-
Vàng	4	4	10000	-
Lục	5	5	100000	-
Lam	6	6	1000000	-
Tím	7	7	10000000	-
Xám	8	8	100000000	-
Trắng	9	9	1000000000	-
Vàng kim	-	-	0,1	5%
Bạch kim	-	-	0,01	10%
Không màu	-	-	-	20%

Thứ tự vòng màu được qui ước như sau:

**Hình 2-3:** Thứ tự vòng màu

2.1.4. Phân loại và ứng dụng của điện trở

a. Phân loại:

Phân loại điện trở có rất nhiều cách. Thông dụng nhất là phân chia điện trở thành hai loại: điện trở có trị số cố định và điện trở có trị số thay đổi được (hay biến trở). Trong mỗi loại này lại được phân chia theo các chỉ tiêu khác nhau thành các loại nhỏ hơn như sau:

Điện trở có trị số cố định.

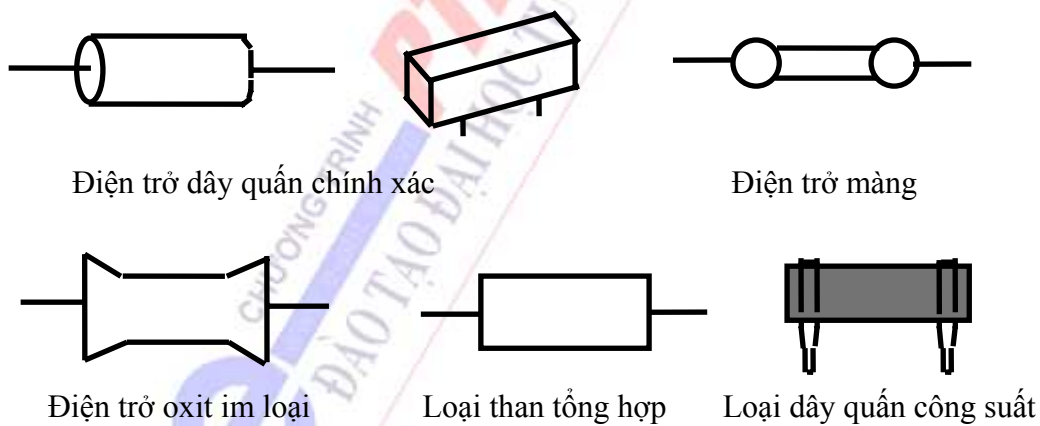
Điện trở có trị số cố định thường được phân loại theo vật liệu cản điện như:

- + Điện trở than tổng hợp (than nén)
- + Điện trở than nhiệt giải hoặc than màng (màng than tinh thể).
- + Điện trở dây quấn gồm sợi dây điện trở dài (dây NiCr hoặc manganin, constantan) quấn trên ống gốm ceramic và phủ bên ngoài là một lớp sứ bảo vệ.
- + Điện trở màng kim, điện trở màng oxit kim loại hoặc điện trở miếng: Điện trở miếng thuộc thành phần vi điện tử. Dạng điện trở miếng thông dụng là được in luôn trên tấm ráp mạch.
- + Điện trở cermet (gốm kim loại).

Dựa vào ứng dụng điện trở được phân loại như liệt kê trong bảng 2.2.

Bảng 2.2: Các đặc tính chính của điện trở cố định tiêu biểu

Loại điện trở	Trị số R	$P_{t.t.max}$ [w]	t^0 làm việc 0C	TCR ppm/ 0C
Chính xác				
Dây quấn	0,1 Ω ÷ 1,2M	1/8 ÷ 3/4 ở 125 0C	-55 ÷ +145	± 10
Màng kim	10 Ω ÷ 5M	1/20 ÷ 1/2 ở 125 0C	-55 ÷ +125	± 25
Bán chính xác				
Oxyt kim loại	10 Ω ÷ 1,5M	1/4 ÷ 2 ở 70 0C	-55 ÷ +150	± 200
Cermet	10 Ω ÷ 1,5M	1/20 ÷ 1/2 ở 125 0C	-55 ÷ +175	± 200
Than màng	10 Ω ÷ 5M	1/8 ÷ 1 ở 70 0C	-55 ÷ +165	± 200;
Đa dụng				± 510
Than tổng hợp	2,7 Ω ÷ 100M	1/8 ÷ 2 ở 70 0C	-55 ÷ +130	± 1500
Công suất				
Dây quấn	0,1 Ω ÷ 180K	1 ÷ 21 ở 25 0C	-55 ÷ +275	± 200
Hình ống	1,0 Ω ÷ 3,8K	5 ÷ 30 ở 25 0C	-55 ÷ +275	± 50
Bất sườn máy	0,1 Ω ÷ 40K	1 ÷ 10 ở 25 0C	-55 ÷ +275	± 20
Chính xác	20 Ω ÷ 2M	7 ÷ 1000 ở 25 0C	-55 ÷ +225	± 500
Màng kim loại				
Điện trở miếng (màng vi điện tử)	1 Ω ÷ 22M		-55 ÷ +125	± 25 đến ± 200

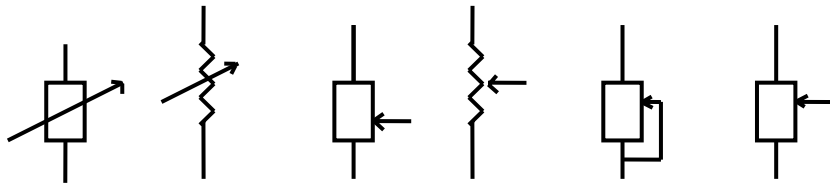


Hình 2-4: Một số hình dạng bên ngoài của một số điện trở cố định

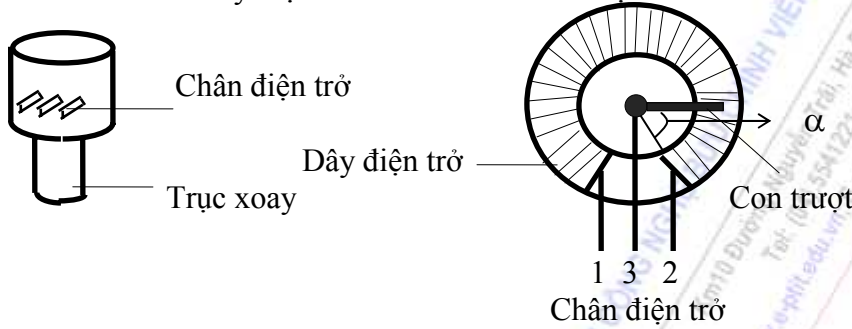
□ Điện trở có trị số thay đổi (hay còn gọi là biến trở)

Biến trở có hai dạng. Dạng kiểm soát dòng công suất lớn dùng dây quấn. Loại này ít gặp trong các mạch điện tử. Dạng thường dùng hơn là chiết áp. Cấu tạo của biến trở so với điện trở cố định chủ yếu là có thêm một kết cấu con chạy gắn với một trục xoay để điều chỉnh trị số

điện trở. Con chạy có kết cấu kiểu xoay (chiết áp xoay) hoặc theo kiểu trượt (chiết áp trượt). Chiết áp có 3 đầu ra, đầu giữa ứng với con trượt còn hai đầu ứng với hai đầu của điện trở.



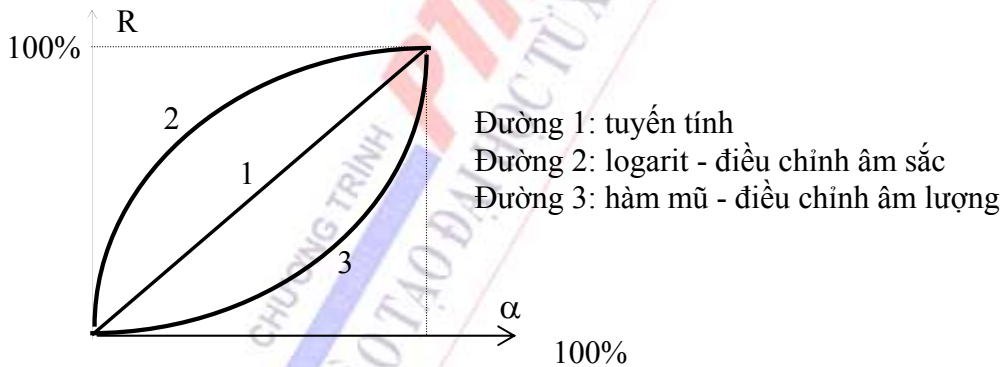
Hình 2-5: Ký hiệu của biến trở trên các mạch



Hình 2-6: Cấu trúc của một chiết áp dây quấn

Theo ứng dụng có thể chia chiết áp thành 3 loại chính: loại đa dụng, loại chính xác và loại điều chuẩn.

Ngoài các đặc tính tương tự như của điện trở cố định, chiết áp còn có các tham số riêng, trong đó cơ bản là luật điện trở. Luật điện trở cho biết trị số của điện trở thay đổi thế nào khi ta thay đổi góc xoay α của con chạy (hình 2-7).



Hình 2.7: Ba luật điện trở thông dụng của chiết áp

b. Ứng dụng:

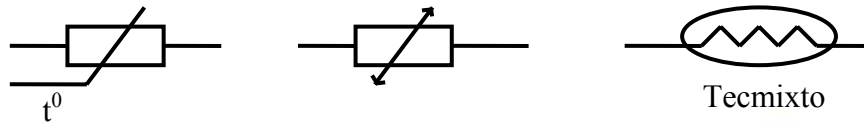
Ứng dụng của điện trở rất đa dạng: để giới hạn dòng điện, tạo sụt áp, dùng để phân cực, làm gánh mạch, chia áp, định hằng số thời gian, v.v..

c. Một số điện trở đặc biệt

□ **Điện trở nhiệt:** Tecmixto

Đây là một linh kiện bán dẫn có trị số điện trở thay đổi theo nhiệt độ. Khi ở nhiệt độ bình thường thì tecmixto là một điện trở, nếu nhiệt độ càng tăng cao thì điện trở của nó càng giảm.

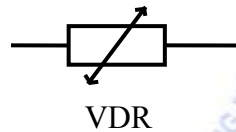
Hệ số nhiệt TCR của điện trở nhiệt tecomixto có giá trị âm lớn. Điện trở nhiệt thường được dùng để ổn định nhiệt cho các mạch của thiết bị điện tử, để đo và điều chỉnh nhiệt độ trong các cảm biến.



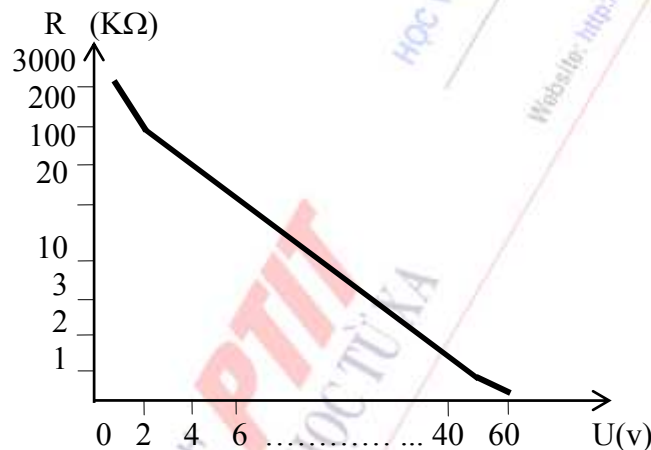
Hình 2-8: Ký hiệu của tecomixto trên sơ đồ mạch

□ Điện trở Varixto:

Đây là linh kiện bán dẫn có trị số điện trở thay đổi được khi ta thay đổi điện áp đặt lên nó.



Hình 2-9: Ký hiệu của varixto trong sơ đồ mạch



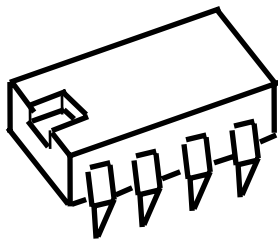
Hình 2-10: Sự thay đổi trị số điện trở của Varixto theo điện áp

Điện áp danh định là đặc tính cơ bản của varixto trong đó dòng điện qua varixto có trị số danh định.

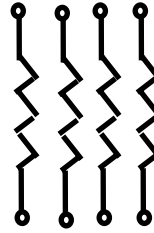
Ứng dụng: Varixto dùng để chia áp trên các lưới điều khiển để ổn định điện áp. Đồng thời, nó còn được mắc song song với các cuộn ra của biến áp quét dòng, quét màng để ổn định điện áp trên các cuộn lái tia điện tử.

- Điện trở Mêgôm: có trị số điện trở từ $10^8 \div 10^{15} \Omega$ (khoảng từ 100 MΩ đến 1000000 GΩ). Điện trở Mêgôm được dùng trong các thiết bị đo thử, trong mạch tế bào quang điện.
- Điện trở cao áp: Là điện trở chịu được điện áp cao từ 5 KV đến 20 KV. Điện trở cao áp có trị số từ 2000 ÷ 1000 MΩ, công suất tiêu tán cho phép từ 5 W đến 20 W. Điện trở cao áp thường dùng làm gánh các mạch cao áp, các bộ chia áp.
- Điện trở chuẩn: Là các điện trở dùng vật liệu dây quấn đặc biệt có độ ổn định cao. Thí dụ, các vật liệu có sự thay đổi giá trị điện trở khoảng 10 ppm/năm, $TCR = 4 \text{ ppm}^{\circ}\text{C}$.

□ *Mạng điện trở*: Mạng điện trở là một loại vi mạch tích hợp có 2 hàng chân.



a. Mạng điện trở: 8 chân 2 hàng



b. Sắp xếp các điện trở ở bên trong RN

Hình 2-11: Cấu trúc của mạng điện trở

2.2 TỤ ĐIỆN

2.2.1. Định nghĩa và ký hiệu của tụ điện

a. Định nghĩa:

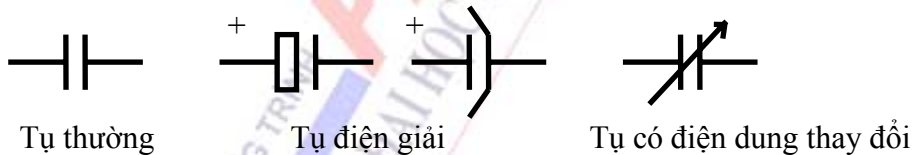
Tụ điện là dụng cụ dùng để chứa điện tích. Một tụ điện lý tưởng có điện tích ở bản cực tỉ lệ thuận với hiệu điện thế đặt ngang qua nó theo công thức:

$$Q = C \cdot U \quad [\text{culông}] \quad (2.5)$$

trong đó: Q - điện tích ở trên bản cực của tụ điện [C]
 U - hiệu điện thế đặt trên tụ điện [v]
 C - điện dung của tụ điện [F]

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{\epsilon\epsilon_0 \cdot S}{d}$$

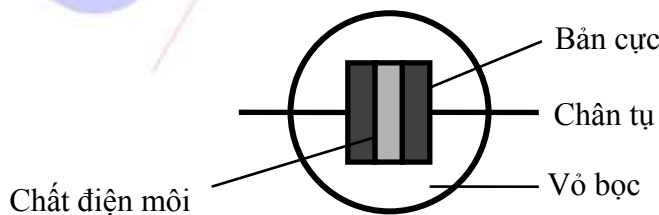
b. Ký hiệu của tụ điện trên các sơ đồ mạch:



Hình 2-12: Các ký hiệu của tụ điện

c. Cấu tạo của tụ điện:

Cấu tạo của tụ điện bao gồm một lớp vật liệu cách điện nằm giữa hai bản cực là 2 tấm kim loại có diện tích S.



Hình 2-13: Cấu tạo của tụ điện

2.2.2. Các tham số cơ bản của tụ điện

a. Trị số dung lượng và dung sai:

+ *Trị số dung lượng (C):*

Trị số dung lượng tỉ lệ với tỉ số giữa diện tích hữu dụng của bản cực S với khoảng cách giữa 2 bản cực. Dung lượng được tính theo công thức:

$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d} \quad [F] \quad (2.6)$$

Trong đó: ϵ_r - hằng số điện môi của chất điện môi

ϵ_0 - hằng số điện môi của không khí hay chân không

S - diện tích hữu dụng của bản cực [m²]

d - khoảng cách giữa 2 bản cực [m]

C - dung lượng của tụ điện [F]

Đơn vị đo dung lượng theo hệ SI là Farad [F], thông thường ta chỉ dùng các ước số của Farad.

+ *Dung sai của tụ điện:* Đây là tham số chỉ độ chính xác của trị số dung lượng thực tế so với trị số danh định của nó. Dung sai của tụ điện được tính theo công thức :

$$\frac{C_{t.t} - C_{d.d}}{C_{d.d}} \cdot 100\% \quad (2.7)$$

Dung sai của điện dung được tính theo %. Dung sai từ $\pm 5\%$ đến $\pm 20\%$ là bình thường cho hầu hết các tụ điện có trị số nhỏ, nhưng các tụ điện chính xác thì dung sai phải nhỏ (Cấp 01: 1%, Cấp 02: 2%).

b. Điện áp làm việc:

Điện áp cực đại có thể cung cấp cho tụ điện thường thể hiện trong thuật ngữ "điện áp làm việc một chiều".

Mỗi một tụ điện chỉ có một điện áp làm việc nhất định, nếu quá điện áp này lớp cách điện sẽ bị đánh thủng và làm hỏng tụ.

c. Hệ số nhiệt:

Để đánh giá sự thay đổi của trị số điện dung khi nhiệt độ thay đổi người ta dùng hệ số nhiệt TCC và tính theo công thức sau:

$$TCC = \frac{1}{C} \frac{\Delta C}{\Delta T} \cdot 10^6 \quad [ppm/^{\circ}C] \quad (2.8)$$

Trong đó: ΔC - là lượng tăng giảm của điện dung khi nhiệt độ thay đổi một lượng là ΔT .

C - là trị số điện dung của tụ điện.

TCC thường tính bằng đơn vị phần triệu trên 1^oC (viết tắt ppm/^oC) và nó đánh giá sự thay đổi cực đại của trị số điện dung theo nhiệt độ.

2.2.3. Tụ điện cao tần và mạch tương đương:

Sơ đồ mạch tương đương của tụ điện được mô tả ở hình 2-14.

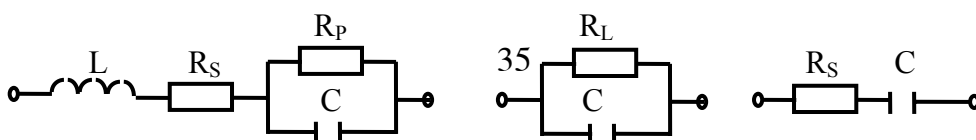
Trong sơ đồ: L - là điện cảm của đầu nối, dây dẫn (ở tần số thấp $L \approx 0$)

R_S - là điện trở của đầu nối, dây dẫn và bản cực (R_S thường rất nhỏ)

R_P - là điện trở rò của chất cách điện và vỏ bọc.

R_L, R_S - là điện trở rò của chất cách điện

C - là tụ điện lý tưởng



a. Sơ đồ tương đương

b. Sơ đồ tương đương

c. Sơ đồ tương đương

Trong đó hình "a" cho tụ bình thường; hình "b" cho tụ có điện trở rò lớn và hình "c" cho tụ có điện trở rò thấp.

Hình 2-14 "c" là sơ đồ tương đương của tụ điện ở tần số cao. Khi tụ làm việc ở tần số cao ta phải chú ý đến tổn hao công suất trong tụ được thể hiện qua hệ số tổn hao DF:

$$DF = \frac{R_s}{X_C} \cdot 100\% \quad (2.9)$$

Trong đó: R_s - là trị số hiệu dụng nối tiếp của tụ điện (điện trở bản cực, dây dẫn...)

X_C - là dung kháng của tụ điện

DF càng nhỏ thì tụ điện càng ít mất mát, tức là phẩm chất càng cao. Khi làm việc ở tần số cao cần tụ có phẩm chất cao. Hệ số phẩm chất của tụ điện được tính:

$$Q = \frac{1}{DF} \quad (2.10)$$

Đối với các tụ điện làm việc ở tần số cao thì tổn hao điện môi sẽ tăng tỉ lệ với bình phương của tần số:

$$P_a = U^2 \omega^2 C^2 R \quad (2.11)$$

Do đó, trên thực tế các tụ điện làm việc ở tần số cao cần phải có điện trở của các bản cực, dây dẫn và tiếp giáp nhỏ nên các chi tiết này thường được tráng bạc.

2.2.3 Các cách ghi và đọc tham số trên thân tụ điện

Hai tham số quan trọng nhất thường được ghi trên thân tụ điện là trị số điện dung (kèm theo dung sai sản xuất) và điện áp làm việc.

a. Cách ghi trực tiếp:

Ghi trực tiếp là cách ghi đầy đủ các tham số và đơn vị đo của chúng. Cách này chỉ dùng cho các loại tụ điện có kích thước lớn.

b. Cách ghi gián tiếp theo quy ước:

Cách ghi gián tiếp là cách ghi theo quy ước. Tụ điện có tham số ghi theo quy ước thường có kích thước nhỏ và điện dung ghi theo đơn vị pF.

Có rất nhiều các quy ước khác nhau như quy ước mã, quy ước màu, v.v.. Sau đây ta chỉ nêu một số quy ước thông dụng:

+ *Ghi theo quy ước số*: Cách ghi này thường gặp ở các tụ Polystylen.

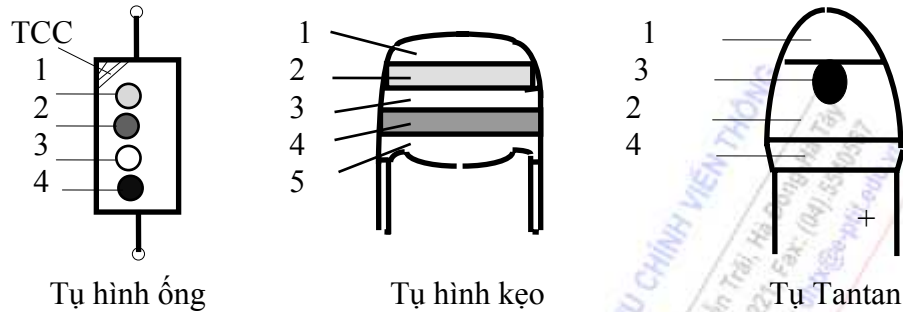
Ví dụ 1: Trên thân tụ có ghi 47/ 630: có nghĩa trị số là giá trị điện dung tính bằng pF, tức là 47 pF, mẫu số là điện áp làm việc một chiều, tức là 630 Vdc.

+ *Quy ước theo mã*: Giống như điện trở, mã gồm các chữ số chỉ trị số điện dung và chữ cái chỉ % dung sai.

Tụ gồm có kích thước nhỏ thường được ghi theo quy ước sau: ví dụ trên tụ ghi là 204 có nghĩa là trị số của điện dung 20.0000 pF Vdc.

Tụ Tantan là tụ điện giải cũng thường được ghi theo đơn vị μF cùng điện áp làm việc và cực tính rõ ràng.

+ Ghi theo quy ước màu: Tụ điện cũng giống như điện trở được ghi theo qui ước màu. Qui ước màu cũng có nhiều loại: có loại 4 vạch màu, loại 5 vạch màu. Nhìn chung các vạch màu qui ước gần giống như ở điện trở.



Hình 2-15: Mã màu của tụ điện

Bảng 2.3: Bảng qui ước mã màu trên tụ điện

	Vạch 1	Vạch 2	Vạch 3	Vạch 4	Vạch 4	Vạch 5
Màu	Số có nghĩa	Số có nghĩa	Số nhân (PF) Tantan(μF)	U_{DC} (V) Tụ Tantan	Dung sai $\leq 10PF$ $> 10PF$	Polyster
Đen	0	0	1 1	- 10	2PF $\pm 20\%$	-
Nâu	1	1	10 10	100 -	0,1PF $\pm 1\%$	-
Đỏ	2	2	100 100	250	- $\pm 2\%$	250w
Cam	3	3	1K -	-	- $\pm 2,5\%$	-
Vàng	4	4	10K -	400 6,3	- -	-
Lục	5	5	100K -	- 16	0,5PF $\pm 5\%$	-
Lam	6	6	- -	630 20	- -	-
Tím	7	7	- -	- -	- -	-
Xám	8	8	0,01 0,01	- 25	0.25PF -	-
Trắng	9	9	0,1 0,1	- 3	1PF $\pm 10\%$	-
Hồng	-	-	- -	- 35		-

2.2.4. Phân loại và ứng dụng.

Có nhiều cách phân loại tụ điện, thông thường người ta phân tụ điện làm 2 loại là:

- Tụ điện có trị số điện dung cố định
- Tụ điện có trị số điện dung thay đổi được.

a. **Tụ điện có trị số điện dung cố định:**

Tụ điện có trị số điện dung cố định thường được gọi tên theo vật liệu chất điện môi và công dụng của chúng như trong bảng 2.4.

Bảng 2.4: Bảng phân loại tụ điện dựa theo vật liệu và công dụng.

Loại tụ	Điện dung	U làm việc (Vdc)	t ⁰ làm việc
+ Chính xác:			
. Mi ca	1 ÷ 91000 PF	100 ÷ 2500	-55 ÷ 125
. Thủy tinh	1 ÷ 10000 PF	300 ÷ 500	-55 ÷ 125
. Gốm	1 ÷ 1100 PF	150 ÷ 500	-55 ÷ 85
. Màng Polystylen	1000 ÷ 220000 PF	200 ÷ 600	-55 ÷ 85
+ Bán chính xác:			
. Màng chất dẻo	1000PF ÷ 10 μF	30 ÷ 1000	-55 ÷ 125
. Màng chất dẻo- giấy (trắng kim loại)	4700PF ÷ 10 μF	50 ÷ 400	-55 ÷ 125
+ Đa dụng:			
. Gốm Li- K	10 ÷ 100000 PF	50 ÷ 200	-55 ÷ 125
. Ta ₂ O ₃ (nung dính, chất điện giải rắn có cực tính)	1 ÷ 580 PF	10 ÷ 300	-55 ÷ 125
. Màng dính ướt có cực	5,6PF ÷ 560 μF	4 ÷ 85	-55 ÷ 125
. Al ₂ O ₃ khô, có cực tính	150PF ÷ 120000 μF	5 ÷ 450	-40 ÷ 85
+ Triệt - nuôi			
. Giấy			
. Mi ca (hình khuy)	10000 PF ÷ 3 μF	100 ÷ 600	-55 ÷ 125
. Gốm	5 ÷ 2400 PF	≈ 500	-55 ÷ 125
+ Thoát	100 ÷ 1500 PF	500 ÷ 1500	-55 ÷ 125
. Giấy			
	10000 ÷ 35000 PF	100 ÷ 500	-55 ÷ 85

+ Tụ điện giải nhôm: (Thường gọi là tụ hóa) Tính chất quan trọng nhất của tụ điện giải nhôm là chúng có trị số điện dung rất lớn trong một "hộp" nhỏ. Giá trị tiêu chuẩn của các tụ hóa nằm trong khoảng từ 1 μF đến 100000 μF.

Các tụ điện giải nhôm thông dụng thường làm việc với điện áp một chiều lớn hơn 400 Vdc, trong trường hợp này, điện dung không quá 100 μF. Ngoài điện áp làm việc thấp và phân cực thì tụ điện giải nhôm còn một nhược điểm nữa là dòng rò tương đối lớn.

+ Tụ tantan: (chất điện giải Tantan)

Đây là một loại tụ điện giải. Tụ tantan, cũng giống như tụ điện giải nhôm, thường có một giá trị điện dung lớn trong một khối lượng nhỏ.

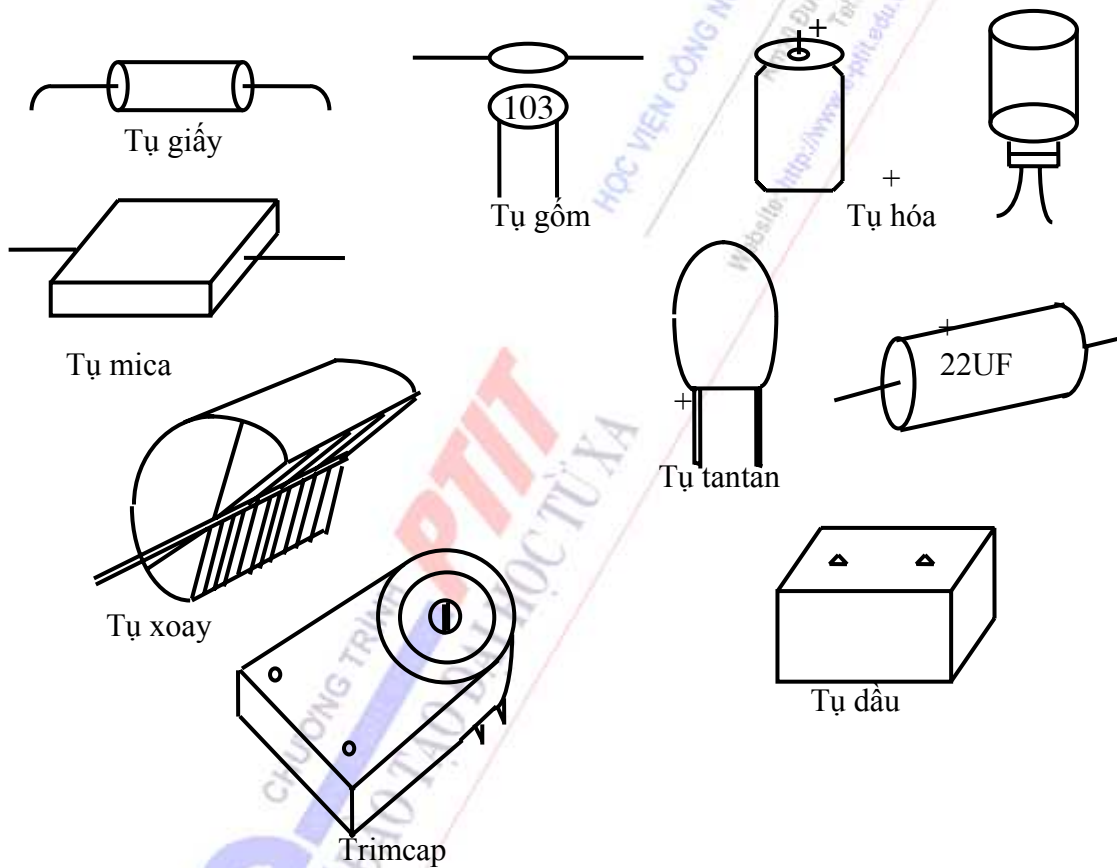
. Giống như các tụ điện giải khác, tụ tantan cũng phải được đấu đúng cực tính. Tụ tantan cũng được ghi theo qui ước 4 vòng màu.

b. Tụ điện có trị số điện dung thay đổi

Tụ điện có trị số điện dung thay đổi được là loại tụ trong quá trình làm việc ta có thể điều chỉnh thay đổi trị số điện dung của chúng. Tụ có trị số điện dung thay đổi được có nhiều loại, thông dụng nhất là loại đa dụng và loại điều chuẩn.

- Loại đa dụng còn gọi là tụ xoay: Tụ xoay được dùng làm tụ điều chỉnh thu sóng trong các máy thu thanh, v.v.. Tụ xoay có thể có 1 ngăn hoặc nhiều ngăn. Mỗi ngăn có các lá động xen kẽ, đối nhau với các lá tĩnh, chế tạo từ nhôm. Chất điện môi có thể là không khí, mica, màng chất dẻo, gốm, v.v..
- Tụ vi điều chỉnh (thường gọi tắt là Trimcap)

Loại tụ này có nhiều kiểu. Chất điện môi cũng dùng nhiều loại như không khí, màng chất dẻo, thủy tinh hình ống... Để thay đổi trị số điện dung ta dùng tuốc-nơ-vit để thay đổi vị trí giữa hai lá động và lá tĩnh



Hình 2 -16: Một số tụ điện thường gặp

c. Ứng dụng:

+ Tụ điện được dùng để tạo phần tử dung kháng ở trong mạch. Dung kháng X_c được tính theo công thức:

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{\omega C} \quad [\Omega] \tag{2.12}$$

Trong đó : f - là tần số của dòng điện (Hz)

C - là trị số điện dung của tụ điện (F)

+ Do tụ không cho dòng điện một chiều qua nhưng lại dẫn dòng điện xoay chiều nên tụ thường dùng để cho qua tín hiệu xoay chiều đồng thời vẫn ngăn cách được dòng một chiều giữa mạch này với mạch khác, gọi là tụ liên lạc.

+ Tụ dùng để triệt bỏ tín hiệu không cần thiết từ một điểm trên mạch xuống đất gọi là tụ thoát.

+ Tụ dùng làm phần tử dung kháng trong các mạch cộng hưởng LC gọi là tụ cộng hưởng.

+ Tụ dùng trong mạch lọc gọi là tụ lọc.

+ Do có tính nạp điện và phóng điện, tụ dùng để tạo mạch định giờ, mạch phát sóng răng cưa, mạch vi phân và tích phân...

2.3. CUỘN CẢM (hay CUỘN DÂY)

2.3.1. Định nghĩa và ký hiệu của cuộn cảm.

a. Định nghĩa:

Cuộn dây, còn gọi là cuộn tự cảm, là cấu kiện điện tử dùng để tạo thành phần cảm kháng trong mạch. Cảm kháng của cuộn dây được xác định theo công thức:

$$X_L = 2 \pi f L = \omega L \text{ (}\Omega\text{)} \quad (2.13)$$

Trong đó: L – điện cảm của cuộn dây (đo bằng Henry), phụ thuộc vào hình dạng, số vòng dây, cách sắp xếp, và cách quấn dây.

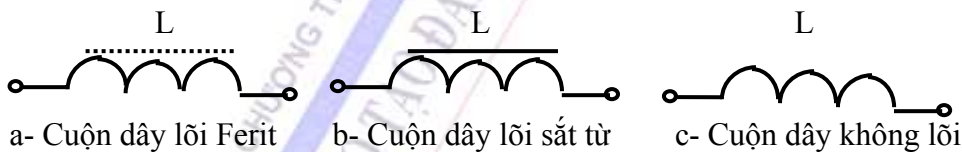
f - tần số của dòng điện chạy qua cuộn dây (Hz)

Các cuộn dây được cấu trúc để có giá trị độ cảm ứng xác định. Ngay cả một đoạn dây dẫn ngắn nhất cũng có sự cảm ứng. Như vậy, cuộn dây cho qua dòng điện một chiều và ngăn cản dòng điện xoay chiều. Đồng thời, trên cuộn dây dòng điện và điện áp lệch pha nhau 90° .

Cuộn dây gồm những vòng dây dẫn điện quấn trên một cốt bằng chất cách điện, có lõi hoặc không có lõi tùy theo tần số làm việc.

b. Ký hiệu các cuộn cảm trong sơ đồ mạch điện:

Trong các mạch điện, cuộn cảm được ký hiệu bằng chữ cái L.



Hình 2- 17: Ký hiệu cuộn dây trong sơ đồ mạch

2.3.2. Các tham số của cuộn cảm.

a. Điện cảm của cuộn dây (L):

Điện cảm của cuộn dây được tính theo công thức (2.14):

$$L = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot N^2 \cdot \frac{S}{l} \quad (2.14)$$

Trong đó : S - là tiết diện của cuộn dây (m^2)

N - là số vòng dây

l - là chiều dài của cuộn dây (m)

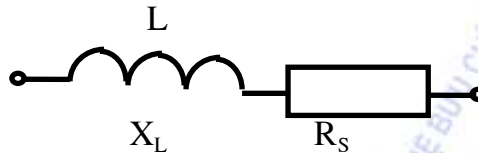
μ_r, μ_0 - là độ từ thẩm của vật liệu lõi sắt từ và của không khí (H/ m)

Qua biểu thức (2.14) ta thấy độ cảm ứng lớn nhất khi có cuộn dây ngắn với tiết diện lớn và có số vòng dây lớn.

b. Hệ số phẩm chất của cuộn cảm (Q):

Một cuộn cảm thực khi có dòng điện chạy qua luôn có tổn thất, đó là công suất điện tổn hao để làm nóng cuộn dây. Các tổn thất này được biểu thị bởi một điện trở R_S nối tiếp với cảm kháng X_L của cuộn dây. Hệ số phẩm chất Q của cuộn dây là tỷ số của cảm kháng X_L trên điện trở R_S này. Trị số Q càng cao thì tổn thất càng nhỏ và ngược lại.

$$Q = \frac{X_L}{R_S} \quad (2.15)$$



Hình 2 -18: Sơ đồ mạch tương đương của cuộn dây khi xét đến tổn thất

2.3.3. Cuộn cảm cao tần số và sơ đồ mạch tương đương.

Cuộn dây thực còn có tần số làm việc bị giới hạn bởi điện dung riêng của nó. Ở tần số thấp, điện dung này được bỏ qua vì dung kháng của nó rất lớn. Nhưng ở tần số đủ cao thì cuộn dây trở thành một mạch cộng hưởng song song. Tần số cộng hưởng của mạch cộng hưởng song song này gọi là tần số cộng hưởng riêng của cuộn dây f_0 . Nếu cuộn dây làm việc ở tần số cao hơn tần số cộng hưởng riêng này thì cuộn dây mang dung tính nhiều hơn. Do đó tần số làm việc cao nhất của cuộn dây phải thấp hơn tần số cộng hưởng riêng của nó.



Hình 2 -19: Sơ đồ tương đương của cuộn dây khi làm việc ở tần số cao

Tần số cộng hưởng riêng của cuộn dây:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad [\text{Hz}] \quad (2.16)$$

Trong đó: L - là điện cảm của cuộn dây [H]

C - là điện dung riêng của cuộn dây [F]

Tần số làm việc cao nhất của cuộn dây phải nhỏ hơn tần số f_0 này.

$$f_{\max} < f_0$$

2.3.4. Phân loại và ứng dụng của cuộn cảm.

□ Dựa theo ứng dụng mà cuộn cảm có một số loại sau:

- Cuộn cộng hưởng là các cuộn dây dùng trong các mạch cộng hưởng LC.

- Cuộn lọc là các cuộn dây dùng trong các bộ lọc một chiều.
- Cuộn chặn dùng để ngăn cản dòng cao tần, v.v..
- Dựa vào loại lõi của cuộn dây, có thể chia các cuộn dây ra một số loại sau. Chúng ta sẽ xem xét cụ thể từng loại một:

a. Cuộn dây lõi không khí hay cuộn dây không có lõi:

Cuộn dây lõi không khí có nhiều ứng dụng, thường gặp nhất là các cuộn cộng hưởng làm việc ở tần số cao và siêu cao.

Các yêu cầu chính của cuộn dây không lõi là:

- Điện cảm phải ổn định ở tần số làm việc.
- Hệ số phẩm chất cao ở tần số làm việc.
- Điện dung riêng nhỏ.
- Hệ số nhiệt của điện cảm thấp.
- Kích thước và giá thành phải hợp lý.

Để có độ ổn định cao, cuộn dây thường được quấn trên một ống cốt bền chắc bằng bìa hoặc sứ. Để giảm điện dung riêng có thể chia cuộn dây thành nhiều cuộn nhỏ nối tiếp.

Dây đồng nói chung được dùng đến tần số khoảng 50 MHz. Ở tần số cao hơn, cuộn dây thường được thay bằng ống đồng hoặc dải đồng tự đỡ (thường được mạ bạc để có điện dẫn xuất bề mặt cao) để tránh tổn thất trong ống quấn.

Các cuộn dây thường được tẩm dung dịch paraffin để chống ẩm, tăng độ bền cơ học, nhất là đối với các cuộn dây dùng sợi nhỏ chập lại hoặc cuộn dây quấn theo kiểu "tổ ong". Ở tần số Radio, các cuộn dây thường được bọc kim (đặt trong vỏ nhôm...) để tránh các nhiễu điện từ không mong muốn.

Muốn tăng điện cảm của cuộn dây mà không cần tăng số vòng dây, người ta dùng các lõi sắt từ

b. Cuộn dây lõi sắt bụi:

Cuộn dây lõi sắt bụi thường được dùng ở tần số cao và trung tần. Cuộn dây lõi sắt bụi có tổn thất thấp, đặc biệt là tổn thất do dòng điện xoáy ngược, và độ từ thẩm thấp hơn nhiều so với loại lõi sắt.

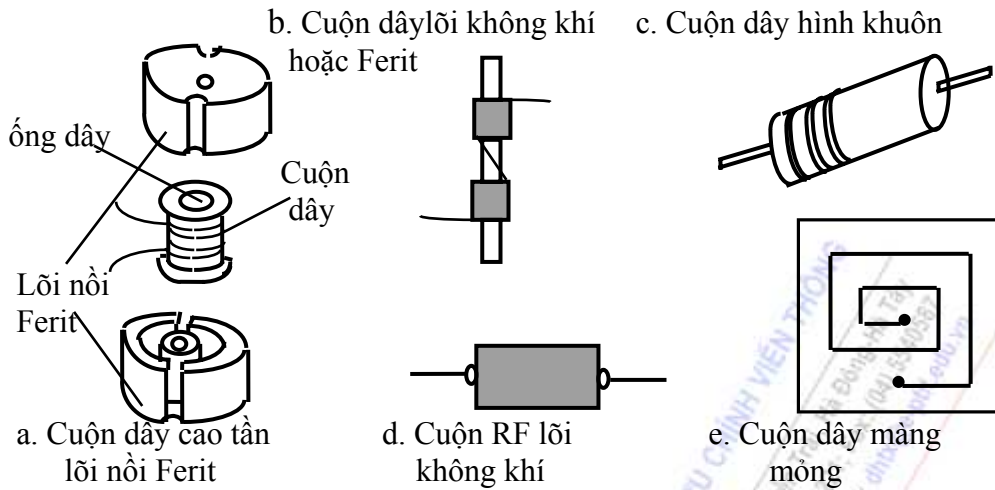
c. Cuộn dây lõi Ferit:

Cuộn dây lõi Ferit là các cuộn dây làm việc ở tần số cao và trung tần.

Lõi Ferit có nhiều hình dạng khác nhau như: thanh, ống, hình chữ E, chữ C, hình xuyên, hình nôi, hạt đậu, v.v.. Trong hình (2-20) mô tả một số loại cuộn dây cao tần và trung tần.

Lõi trong cuộn dây có thể được chế tạo để điều chỉnh đi vào hoặc đi ra khỏi cuộn dây. Như vậy điện cảm của cuộn dây sẽ thay đổi.

Tùy thuộc vào độ dày của sợi dây sử dụng và vào kích thước vật lý của cuộn dây, dòng điện cực đại có thể khoảng từ 50 mA đến 1 A.



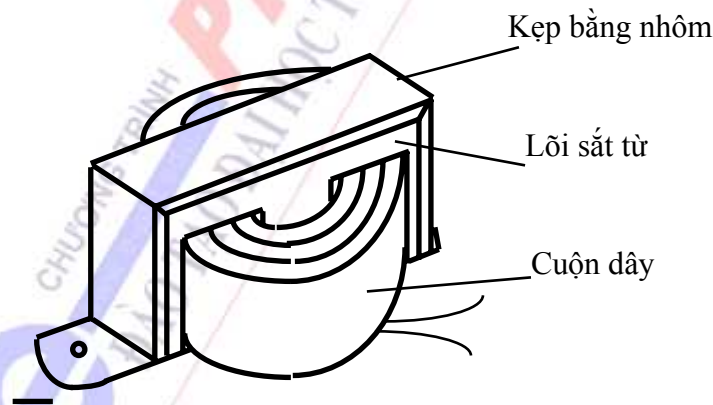
Hình 2 -20: Một số loại cuộn dây cao tần

d. Cuộn dây lõi sắt từ:

Lõi của cuộn dây thường là sắt - silic và sắt silic hạt định hướng, hoặc sắt- niken tùy theo mục đích ứng dụng. Đây là các cuộn dây làm việc ở tần số thấp. Dây quấn là dây đồng đã được tráng men cách điện, quấn thành nhiều lớp có cách điện giữa các lớp và được tẩm chống ẩm sau khi quấn.

Các cuộn chặn tần số thấp được dùng chủ yếu để lọc bỏ điện áp gợn cho nguồn cung cấp một chiều qua chỉnh lưu, làm tải anốt trong các tầng khuếch đại dùng đèn điện tử ghép LC, và trong các ứng dụng một chiều khác.

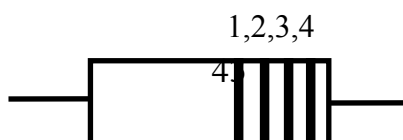
Giá trị cảm ứng của các cuộn dây này nằm trong khoảng từ 50 mH đến 20 H với dòng điện một chiều đến 10 A và điện áp cách điện đến 1000 V.



Hình 2 -21: Cuộn dây lọc nguồn tiêu chuẩn

□ Ký hiệu của lõi Ferit và các cuộn dây: Ký hiệu của lõi và của các cuộn dây được qui định theo từng nước sản xuất.

Qui ước vòng màu cho các cuộn dây kích thước nhỏ. Nhìn chung qui ước màu giống như ở điện trở



Qui ước:

- Vòng màu thứ 1: chỉ số có nghĩa thứ nhất hoặc chấm thập phân
- Vòng màu thứ 2: chỉ số có nghĩa thứ hai hoặc chấm thập phân
- Vòng màu thứ 3: chỉ số 0 cần thêm vào
- Vòng màu thứ 4: chỉ dung sai %.

Trong trường hợp này, đơn vị đo của điện cảm là μH . Thứ tự các vòng màu ngược với điện trở.

Bảng 2.5: Mô tả ký hiệu màu cho các cuộn dây

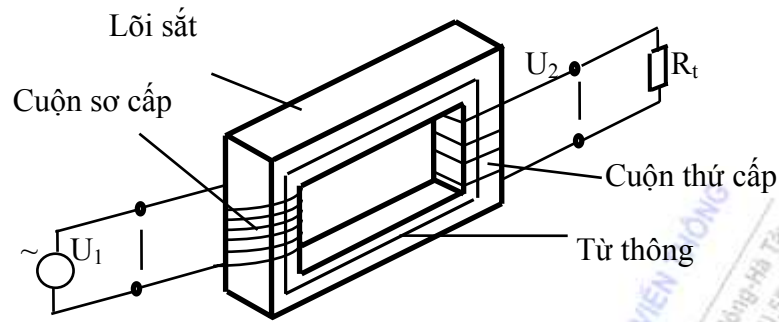
Màu	Giá trị của các số	Dung sai
Đen	0	-
Nâu	1	-
Đỏ	2	-
Cam	3	-
Vàng	4	-
Xanh lá cây	5	-
Xanh lam	6	-
Tím	7	-
Xám	8	-
Trắng	9	-
Bạch kim	-	10%
Vàng kim	Chấm thập phân	5%
Không vạch màu	-	20%

2.4. BIẾN ÁP

2.4.1. Định nghĩa và ký hiệu trong sơ đồ mạch.

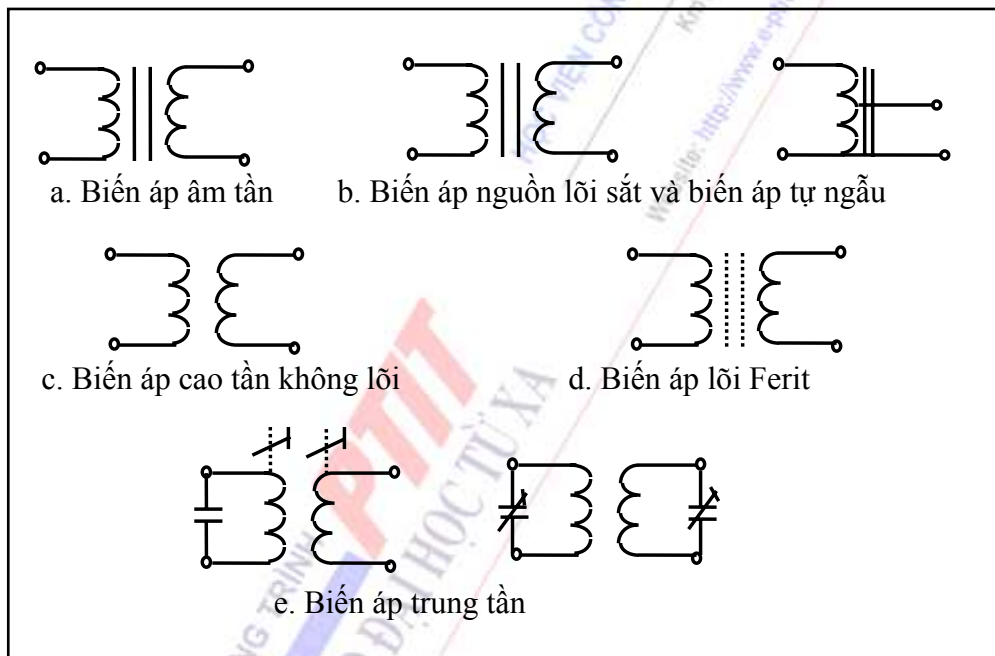
a. Định nghĩa:

Biến áp là thiết bị gồm hai hay nhiều cuộn dây ghép hồ cảm với nhau để biến đổi điện áp. Cuộn dây đầu vào nguồn điện gọi là cuộn sơ cấp, các cuộn dây khác đầu vào tải tiêu thụ năng lượng điện gọi là cuộn thứ cấp.



Hình 2 -23: Cấu tạo cơ bản của biến áp

b. Ký hiệu của biến áp trong các sơ đồ mạch điện:



Hình 2 -24: Các ký hiệu của biến áp trong sơ đồ mạch điện

2.4.2. Các tham số kỹ thuật của biến áp.

a. Hệ số ghép biến áp K:

Số lượng từ thông liên kết từ cuộn sơ cấp sang cuộn thứ cấp được định nghĩa bằng hệ số ghép biến áp K:

$$K = \frac{\text{Từ thông liên kết giữa hai cuộn sơ cấp và cuộn thứ}}{\text{Tổng số từ thông sinh ra do cuộn sơ cấp}}$$

Thông thường hệ số ghép biến áp được tính theo công thức:

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad (2.17)$$

Trong đó: M - hệ số hỗ cảm của biến áp

L_1 và L_2 - hệ số tự cảm của cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp tương ứng.

Khi $K = 1$ là trường hợp ghép lý tưởng, khi đó toàn bộ số từ thông sinh ra do cuộn sơ cấp được đi qua cuộn thứ cấp và ngược lại.

Trên thực tế sử dụng, khi $K \approx 1$ gọi là hai cuộn ghép chặt
khi $K \ll 1$ gọi là hai cuộn ghép lỏng

b. Điện áp cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp:

Điện áp cảm ứng ở cuộn sơ cấp và thứ cấp quan hệ với nhau theo tỉ số:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\text{Do đó} \quad U_2 = U_1 \cdot \frac{N_2}{N_1} \quad (2.18)$$

Trong đó U_1 - điện áp cảm ứng của cuộn dây sơ cấp.

$\frac{N_2}{N_1}$ - Hệ số biến áp là tỉ số giữa số vòng dây cuộn thứ cấp và cuộn sơ cấp.

Do đó nếu: $N_1 = N_2$ thì $U_1 = U_2$ ta có biến áp 1 : 1

$N_2 > N_1$ thì $U_2 > U_1$ ta có biến áp tăng áp

$N_2 < N_1$ thì $U_2 < U_1$ ta có biến áp hạ áp

c. Dòng điện sơ cấp và dòng điện thứ cấp:

Quan hệ giữa dòng điện ở cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp theo tỉ số:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

Và dòng điện ở cuộn thứ cấp bằng:

$$I_2 = I_1 \frac{N_1}{N_2} \quad (2.19)$$

Ta thấy tỉ số dòng điện cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp là tỉ số nghịch đảo của điện áp cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp, nên một biến áp tăng áp cũng chính là một biến áp hạ dòng và ngược lại.

d. Hiệu suất của biến áp:

Các biến áp thực đều có tổn thất nên người ta ra đưa thông số hiệu suất của biến áp. Hiệu suất của biến áp là tỉ số giữa công suất ra và công suất vào tính theo %:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{tổn thất}}} \cdot 100\% \quad (2.20)$$

trong đó P_1 - công suất đưa vào cuộn sơ cấp

P_2 - công suất thu được ở cuộn thứ cấp

$P_{\text{tổn thất}}$ - Công suất điện mất mát do tổn thất của lõi
và tổn thất của dây đồng.

Muốn giảm tổn hao năng lượng trong lõi sắt từ, dây đồng và từ thông rò người ta dùng loại lõi làm từ các lá sắt từ mỏng, có quét sơn cách điện, dùng dây đồng có tiết diện lớn và ghép chặt.

2.4.3. Phân loại và ứng dụng của biến áp.

Biến áp là thiết bị làm việc với dòng điện xoay chiều, còn khi làm việc với tín hiệu xung gọi là biến áp xung.

Ngoài công dụng biến đổi điện áp, biến áp còn được dùng để cách điện giữa mạch này với mạch kia trong trường hợp hai cuộn dây sơ cấp và thứ cấp cách điện với nhau và được dùng để biến đổi tổng trở trong trường hợp biến áp ghép chặt.

Biến áp cao tần dùng để truyền tín hiệu có chọn lọc thì dùng loại ghép lỏng, nhưng biến áp cao tần dùng để biến đổi tổng trở thì dùng loại ghép chặt.

Biến áp ghép chặt lý tưởng có $\eta \approx 100\%$, không có tổn thất của lõi và dây ($K \approx 1$).

Sau đây là một số loại biến áp thông dụng.

a. Biến áp cộng hưởng:

Đây là biến áp cao tần (dùng ở trung tần hoặc cao tần) có lõi không khí hoặc sắt bụi hoặc ferit. Các biến áp này ghép lỏng và có một tụ điện mắc ở cuộn sơ cấp hoặc cuộn thứ cấp để tạo cộng hưởng đơn. Thông thường tần số cộng hưởng được thay đổi bằng cách điều chỉnh vị trí của lõi hoặc bao lõi.

Nếu dùng hai tụ điện mắc ở hai cuộn hai bên thì ta có thể có cộng hưởng kép hoặc cộng hưởng lệch.

Để mở rộng dải thông tần, ta dùng một điện trở đệm mắc song song với mạch cộng hưởng. Lúc đó thì độ chọn lọc tần số của mạch sẽ kém đi.

Thiết kế các biến áp cộng hưởng phải xét đến mạch cụ thể, nhất là đặc tính của các linh kiện tích cực và phải liên hệ đến điện cảm rò và điện dung phân tán của các cuộn dây.

b. Biến áp cấp điện (biến áp nguồn):

Là biến áp làm việc với tần số 50 Hz, 60 Hz. Biến áp nguồn có nhiệm vụ là biến đổi điện áp vào thành điện áp và dòng điện ra theo yêu cầu và ngăn cách thiết bị khỏi khỏi nguồn điện.

Các biến áp thường được ghi giới hạn bằng Vôn- Ampe. Các yêu cầu thiết kế chính của một biến áp cấp điện tốt là:

- Điện cảm cuộn sơ cấp cao để giảm dòng điện không tải xuống giá trị nhỏ nhất.
- Hệ số ghép K cao để điện áp thứ cấp ít sụt khi có tải.
- Tổn thất trong lõi càng thấp càng tốt.
- Kích thước biến áp càng nhỏ càng tốt.

c. Biến áp âm tần:

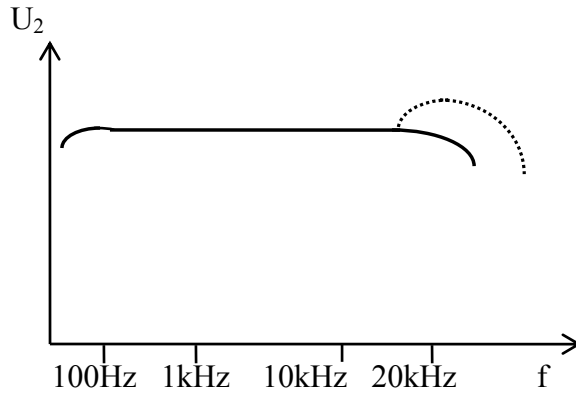
Biến áp âm tần là biến áp được thiết kế để làm việc ở dải tần số âm thanh khoảng từ 20 Hz đến 20000 Hz. Do đó biến áp này được dùng để biến đổi điện áp mà không được gây méo dạng sóng trong suốt dải tần số âm thanh, dùng để ngăn cách điện một chiều trong mạch này với mạch khác, để biến đổi tổng trở, để đảo pha, v.v..

Các yếu tố ảnh hưởng đến biến áp âm tần cần chú ý:

- Đáp ứng tần số:

Ở tần số thấp, công suất ra bị giới hạn chủ yếu bởi điện cảm cuộn sơ cấp.

Đáp ứng tần số bằng phẳng ở khoảng tần số từ 100 Hz đến 10 KHz. Ở khoảng này, sự thay đổi tần số không gây ảnh hưởng đến điện áp ra U_2 .



Hình 2 -25: Đặc tính tần số của biến áp âm tần

Ở tần số đủ cao, sự mất mát năng lượng do lõi sắt tăng đến mức điện áp ra bị giảm xuống. Như vậy ở tần số làm việc cao, ảnh hưởng của điện cảm rò và điện dung phân tán giữa các vòng dây cao hơn.

- Khả năng truyền tải công suất:

Để có thể truyền tải công suất cực đại phải chấp nhận một lượng méo dạng sóng nhất định. Lượng méo này tùy thuộc vào người thiết kế.

Biến áp âm tần có thể dùng lõi sắt từ hoặc lõi ferit, và trên biến áp có ghi công suất (tùy thuộc vào kích thước...), tổng trở cuộn sơ cấp và tổng trở thứ cấp, loại có điểm giữa... Lõi biến áp âm tần cũng thường có khe không khí để chống bão hòa từ do dòng điện một chiều gây ra.

d. Biến áp xung:

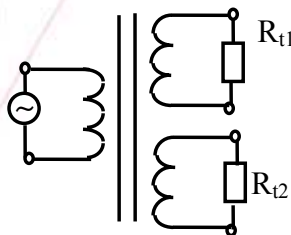
Biến áp xung có hai loại: loại tín hiệu và loại công suất.

Biến áp xung có yêu cầu về dải thông tần khắt khe hơn so với biến áp âm tần. Để hoạt động tốt ở cả tần số thấp (đỉnh và đáy xung) và ở tần số cao (sườn xung), biến áp xung cần phải có điện cảm sơ cấp lớn, đồng thời điện cảm rò nhỏ và điện dung giữa các cuộn dây nhỏ.

Để khắc phục các yêu cầu đối kháng này vật liệu lõi cần có độ từ thẩm cao và kết cấu hình học của cuộn dây thích hợp. Vật liệu lõi của biến áp xung được chọn tùy thuộc vào dải tần hoạt động có thể là sắt từ hoặc ferit.

e. Biến áp nhiều đầu ra:

Biến áp nhiều đầu ra gồm có 1 cuộn sơ cấp và nhiều cuộn thứ cấp. Điện áp ra ở mỗi cuộn phụ thuộc vào số vòng dây của cuộn đó cũng như phụ thuộc vào điện áp cuộn sơ cấp và số vòng dây của cuộn sơ cấp.



Hình 2 -26: Ký hiệu biến áp nhiều đầu ra

Một điều quan trọng cần chú ý là tổng điện áp ra được tính là tổng của các điện áp thứ cấp nếu các cuộn thứ cấp nối ghép theo kiểu trợ giúp và tất cả các điện áp của các cuộn dây đều cùng pha.

Nếu 1 trong các cuộn dây ghép nối theo kiểu ngược lại, sao cho điện áp của nó ngược pha với các điện áp khác thì phải lấy các điện áp khác trừ đi điện áp của nó.

TÓM TẮT NỘI DUNG

Cấu kiện điện tử thụ động thông dụng gồm có điện trở, tụ điện, cuộn cảm và biến áp.

Điện trở (R) được coi là phần tử thông dụng nhất của các mạch điện tử. Đây là cấu kiện được chế tạo từ chất dẫn điện có điện trở suất cao. Trị số của điện trở được tính theo định luật Ôm. Điện trở dẫn dòng một chiều và xoay chiều như nhau. Các tham số kỹ thuật chính của điện trở là:

- Trị số điện trở và dung sai: Trị số điện trở đo bằng đơn vị Ôm (Ω), nó cho biết khả năng cản điện nhiều hay ít của điện trở; Dung sai của điện trở chỉ phần trăm (%) sai số cho phép của điện trở so với giá trị danh định của nó.
- Công suất tiêu tán cho phép là công suất điện cao nhất mà điện trở có thể chịu đựng được, quá trị số này thì điện trở sẽ bị nóng, cháy và hỏng. Tham số này thường được chú ý khi điện trở làm việc ở mạch điện có dòng điện lớn.
- Hệ số nhiệt của điện trở (TCR) biểu thị ảnh hưởng của nhiệt độ lên trị số của điện trở thường tính theo đơn vị phần nghìn trên độ bách phân (ppm/oC).

Điện trở được chế tạo và ghi các tham số cần thiết trên thân của nó để người sử dụng có thể đọc dễ dàng. Có một số cách ghi thông dụng được các nhà sản xuất qui định như ghi trực tiếp, ghi gián tiếp theo qui ước mã, qui ước màu...

Tụ điện (C) là cấu kiện điện tử được dùng làm phần tử tích điện tích trong mạch. Tụ điện ngăn cản dòng điện một chiều và dẫn dòng điện xoay chiều. Dòng điện và điện áp trên tụ điện lệch pha nhau 90 độ. Các tham số kỹ thuật chính của tụ điện là:

- Trị số điện dung và dung sai: Trị số điện dung biểu thị khả năng tích điện của tụ điện và nó được đo bằng đơn vị Farad (F). Tuy nhiên đơn vị này rất lớn nên trong kỹ thuật thường dùng các ước số của nó là Micro Farad (μF), nano Farad (nF), pico Farad (pF). Dung sai của điện dung là sai số cho phép tính theo phần trăm (%) so với giá trị điện dung danh định của tụ điện.
- Điện áp làm việc cho phép (Vdc) là trị số điện áp cao nhất đo bằng vôn mà tụ điện chịu đựng được, quá giá trị này tụ điện sẽ bị “đánh thủng”.
- Hệ số nhiệt của tụ điện (TCC) biểu thị ảnh hưởng của nhiệt độ lên trị số điện dung được tính bằng phần triệu trên độ bách phân (ppm/oC).

Cuộn cảm (L) là cấu kiện điện tử được dùng để tạo thành phần cảm kháng ở trong mạch. Cuộn cảm dẫn dòng điện một chiều và tần số thấp dễ dàng, dòng xoay chiều có tần số càng cao qua càng khó. Cảm kháng của cuộn cảm được tính theo công thức: $X_L = 2\pi fL$. Dòng điện và điện áp trên cuộn cảm lệch pha 90 độ. Khi sử dụng cuộn cảm chúng ta phải chú ý đến các tham số kỹ thuật cơ bản sau:

- Điện cảm của cuộn dây (L) đo bằng henry (H). Điện cảm phụ thuộc vào kích thước của cuộn dây, số vòng dây và cách quấn dây, vào lõi của cuộn dây.
- Hệ số phẩm chất của cuộn cảm (Q). Xét hệ số phẩm chất của cuộn cảm chúng ta phải xét về độ tổn hao của cuộn dây. Độ tổn hao được đặc trưng bằng một điện trở nối tiếp với cuộn dây. Hệ số phẩm chất $Q = X_L/r$ (r- điện trở của các thành phần tạo ra cuộn dây).

- Tần số làm việc giới hạn ($f_{g.h.}$) là tần số cao nhất mà cuộn dây vẫn làm việc bình thường, vẫn đảm bảo các tham số kỹ thuật của cuộn dây.

Chúng ta đã xem xét một số loại cuộn cảm thông dụng:

+ Cuộn cảm không có lõi, đó là các cuộn cảm làm việc ở tần số cao và siêu cao nên yêu cầu về điện dung riêng của cuộn cảm phải rất nhỏ, hệ số phẩm chất cao và chúng thường là các cuộn cộng hưởng.

+ Cuộn cảm lõi fe-rit: là các cuộn cảm làm việc ở tần số cao và trung tần và chúng cũng thường là cuộn cộng hưởng. Cuộn cảm lõi fe rit có thể điều chỉnh điện cảm được và nó có nhiều hình dạng khác nhau.

+ Cuộn cảm lõi sắt từ: là các cuộn cảm làm việc ở tần số thấp, thường là cuộn chặn cao tần, hoặc cuộn lọc nguồn.

Biến áp là cấu kiện dùng để biến đổi điện áp nhờ vào hiện tượng hổ cảm của các cuộn dây đặt gần nhau. Cấu tạo cơ bản của biến áp gồm có cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp. Cuộn sơ cấp có đầu vào thường được đấu với nguồn điện áp cần biến đổi, cuộn thứ cấp thường có đầu ra đấu với tải tiêu thụ. Khi sử dụng biến áp chúng ta cần chú ý các tham số kỹ thuật cơ bản của chúng.

- Tỉ số điện áp giữa cuộn thứ cấp và cuộn sơ cấp: $U_2/U_1 = N_2/N_1$, trong đó N_1 và N_2 là số vòng dây của cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp, tương ứng.
- Tỉ số giữa dòng điện thứ cấp và dòng điện sơ cấp: $I_2/I_1 = N_1/N_2$
- Tỉ số giữa trở kháng vào và trở kháng ra: $Z_2/Z_1 = N_1/N_2$
- Hệ số ghép biến áp K

Biến áp có nhiều loại, thông thường được phân chia theo mục đích sử dụng là biến áp cộng hưởng, biến áp nguồn, biến áp âm tần và biến áp xung. Biến áp cộng hưởng làm việc ở tần số cao và trung tần, thường là loại không có lõi hoặc lõi fe-rit. Biến áp cộng hưởng dùng để biến đổi tổng trở thì thuộc loại ghép chặt, còn dùng để truyền tín hiệu có chọn lọc thì thuộc loại ghép lỏng. Biến áp nguồn dùng để biến đổi điện áp ở tần số công nghiệp (50Hz, 60Hz). Biến áp nguồn thường dùng lõi sắt từ và là loại ghép chặt. Biến áp âm tần làm việc ở dải tần số âm thanh nên yêu cầu về đáp ứng tần số phải tốt trong suốt dải tần công tác. Biến áp xung là loại biến áp làm việc ở chế độ tín hiệu xung nên yêu cầu về đáp ứng tần số còn cao hơn biến áp âm tần vì nó phải làm việc tốt ở tần số cao cũng như ở tần số thấp. Biến áp âm tần có lõi là sắt từ hoặc fe-rit tùy theo yêu cầu mạch điện.

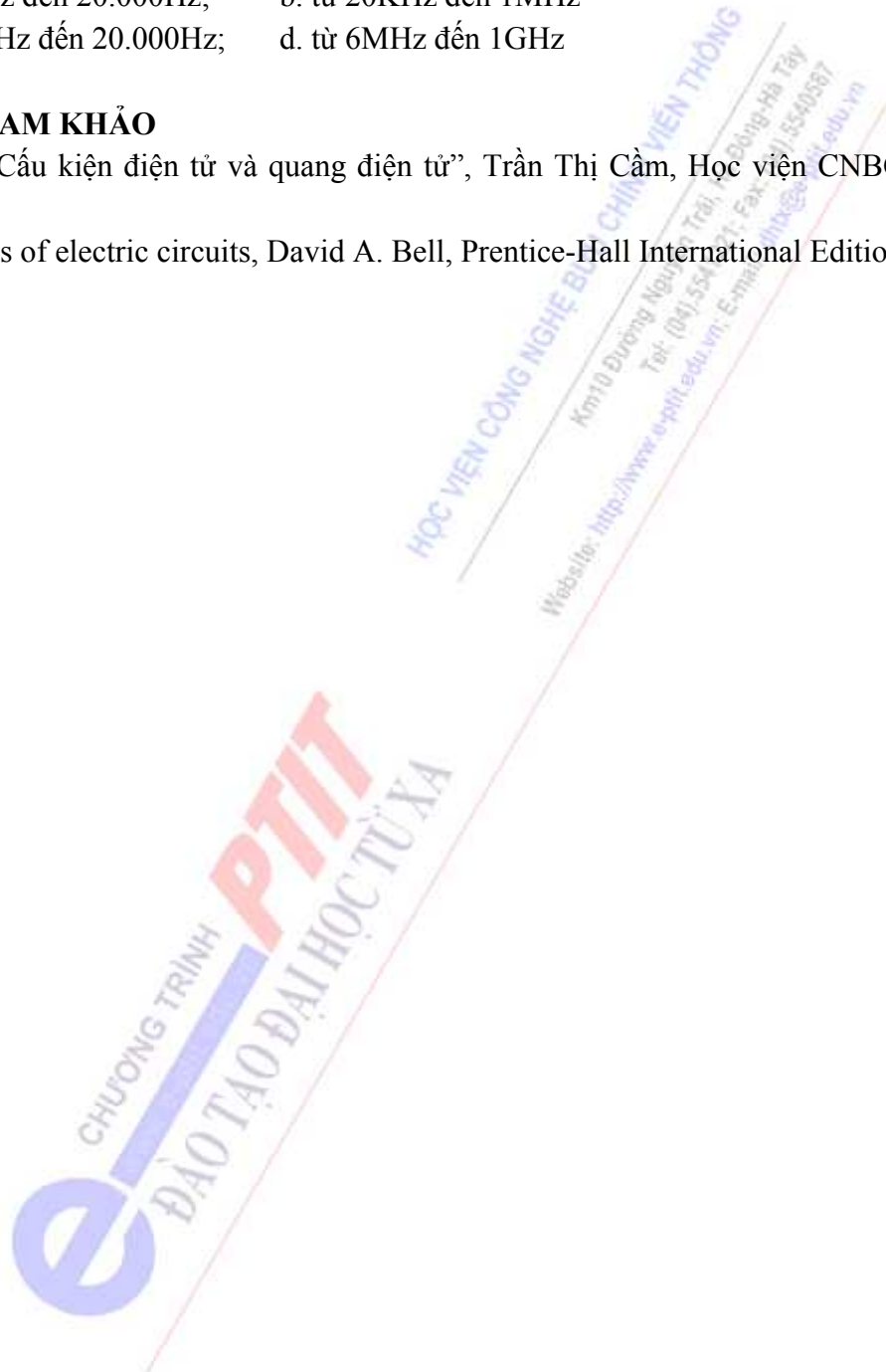
CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Hãy cho biết các tham số cơ bản của điện trở?
2. Trình bày về các cách phân loại điện trở và nêu ứng dụng của chúng?
3. Cho biết các tham số cơ bản của tụ điện?
4. Nêu các cách phân loại tụ điện, cho một vài ví dụ.
5. Định nghĩa về cuộn cảm và nêu các tham số chính của nó.
6. Trình bày về đặc điểm của cuộn cảm lõi không khí và phạm vi sử dụng của chúng?
7. Trình bày các đặc điểm của cuộn cảm lõi fe-rit và ứng dụng của chúng?
8. Hãy cho biết các đặc tính của cuộn cảm lõi sắt từ và ứng dụng?
9. Nêu định nghĩa, cấu trúc và tham số chính của biến áp?
10. Trình bày về biến áp cộng hưởng?
11. Nêu các yêu cầu và đặc điểm chính của biến áp âm tần?
12. Đặc điểm của biến áp nguồn?

13. Dựa vào % dung sai, điện trở được phân chia làm....
a. 3 loại; b. 4 loại; c. 5 loại; d. 6 loại
14. Cấu trúc của biến trở khác với điện trở cố định chủ yếu là do
a. vỏ bọc và lõi b. vật liệu cản điện
c. số chân của cấu kiện. d. có thêm con chạy để điều chỉnh trị số điện trở.
15. Biến áp âm tần được thiết kế để làm việc ở dải tần số....
a. từ 0Hz đến 20.000Hz; b. từ 20KHz đến 1MHz
c. từ 20Hz đến 20.000Hz; d. từ 6MHz đến 1GHz

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Giáo trình “Cấu kiện điện tử và quang điện tử”, Trần Thị Cẩm, Học viện CNBCVT, năm 2002.
2. Fundamentals of electric circuits, David A. Bell, Prentice-Hall International Editions, 1988



CHƯƠNG 3 ĐIỐT BÁN DẪN

GIỚI THIỆU CHƯƠNG

Chương 3 trình bày về các tính chất vật lý điện của lớp tiếp xúc P-N. Lớp tiếp xúc P-N là bộ phận chính của các cấu kiện bán dẫn. Lớp tiếp xúc P-N bao gồm các ion âm và dương cố định, chúng không dẫn điện nên lớp tiếp xúc P-N còn được gọi là lớp điện tích không gian hay lớp nghèo hạt dẫn. Trong chương 3 sẽ trình bày về các tính chất dẫn điện của lớp tiếp xúc P-N khi được phân cực thuận và phân cực ngược. Cũng trong chương này chúng ta sẽ được giới thiệu về một cấu kiện bán dẫn chỉ có một lớp tiếp xúc P-N đó là điốt bán dẫn. Điốt bán dẫn có nguyên lý dẫn điện một chiều và ta cũng nghiên cứu về đặc tuyến vôn-ampe của nó, các tham số tĩnh của điốt và chế độ động của nó. Ngoài ra chương 3 còn giới thiệu một số loại điốt thông dụng.

NỘI DUNG

3.1. LỚP TIẾP XÚC P-N

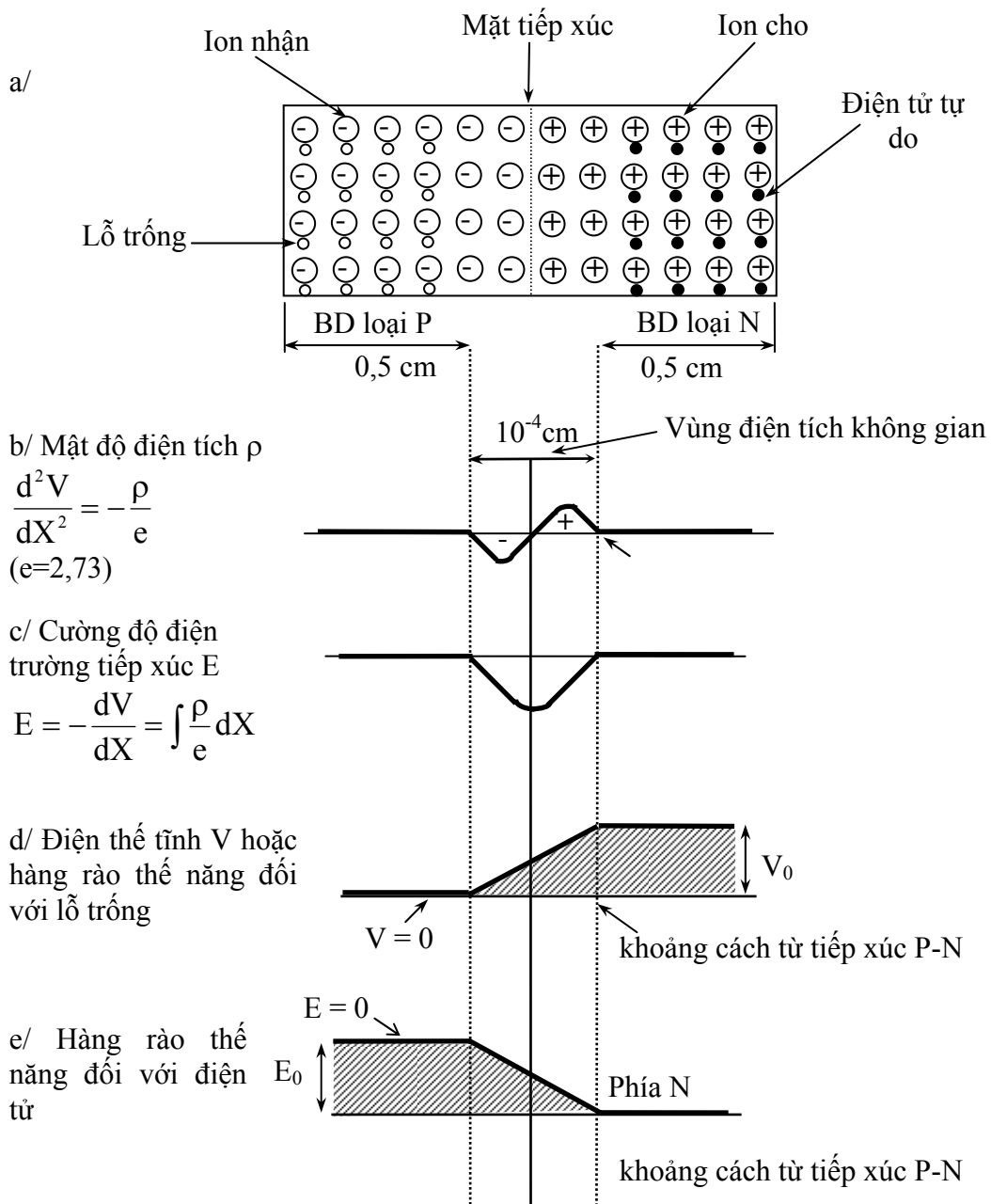
3.1.1 Sự tạo thành lớp tiếp xúc P-N và các tính chất điện.

Nếu trên một miếng bán dẫn đơn tinh thể (bán dẫn nguyên tính), bằng các phương pháp công nghệ, ta tạo ra hai vùng có bản chất dẫn điện khác nhau: một vùng là bán dẫn tạp loại P và một vùng kia là bán dẫn tạp loại N. Như vậy, tại ranh giới tiếp xúc giữa hai vùng bán dẫn P và N này sẽ xuất hiện một lớp có đặc tính vật lý khác hẳn với hai vùng bán dẫn P và N, được gọi là lớp tiếp xúc P-N. Trong lớp tiếp xúc P-N chỉ bao gồm hai khối điện tích trái dấu là các ion âm bên phía bán dẫn P và ion dương bên phía bán dẫn N. Đây là các ion cố định, không dẫn điện, do vậy, lớp tiếp xúc P-N còn gọi là vùng điện tích không gian hay vùng nghèo hạt dẫn. Độ dày của lớp này khoảng $10^{-4} \text{ cm} = 10^{-6} \text{ m} = \text{micron}$.

Hình 3.1 mô tả các tính chất điện của tiếp xúc P-N. Trong lớp tiếp xúc tồn tại một điện trường tiếp xúc hay điện trường khuếch tán (Hình 3-1c) có cường độ là E được tính là tích phân của mật độ điện tích ρ (trong hình 3-1b). Điện trường tiếp xúc này có chiều tác dụng từ bán dẫn N sang bán dẫn P.

Sự thay đổi của điện thế tĩnh ở vùng điện tích không gian được chỉ ra ở hình (3-1d). Đó chính là hàng rào thế năng ngăn cản sự khuếch tán tiếp theo của các lỗ trống qua lớp tiếp xúc.

Hình dạng hàng rào thế năng, hình (3-1e), ngăn cản sự khuếch tán của các điện tử từ bán dẫn N qua lớp tiếp xúc.



Hình 3 - 1 : Đồ thị của tiếp xúc P-N gồm:

- a- cấu trúc tiếp P-N ;
- b- mật độ điện tích
- c- cường độ điện trường
- d, e- hàng rào thế năng ở tiếp xúc P-N

3.1.2. Điều kiện cân bằng động của lớp tiếp xúc P-N

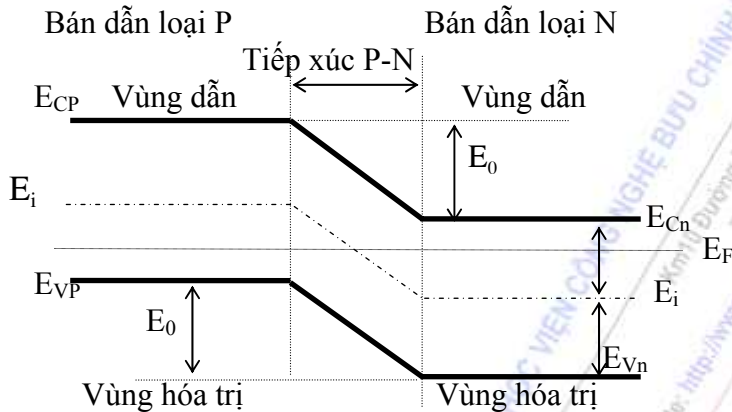
Khi dòng điện do các hạt dẫn chuyển động khuếch tán và các hạt dẫn chuyển động trôi qua tiếp xúc P-N có giá trị bằng nhau thì ta nói tiếp xúc P-N ở trạng thái cân bằng động. Do các dòng điện này ngược chiều nhau nên chúng triệt tiêu lẫn nhau và dòng điện tổng qua lớp tiếp xúc P-N bằng không. Lúc này lớp tiếp xúc có bề dày ký hiệu là d , điện trở lớp tiếp xúc ký hiệu là $R_{P/N}$, cường độ điện trường tiếp xúc ký hiệu là E_0 (hay còn gọi là hàng rào thế năng) và tương ứng với nó có hiệu điện thế tiếp xúc ký hiệu là V_0 . Các đại lượng này ta sẽ tính được qua

các công thức dưới đây. Do lớp tiếp xúc P-N là vùng nghèo hạt dẫn nên điện trở của nó lớn hơn nhiều điện trở của hai vùng bán dẫn P và N ($R_{P/N} \gg R_N$ và R_P).

Điều kiện cân bằng này giúp ta tính được độ cao của hàng rào thế năng V_0 phụ thuộc vào nồng độ tạp chất cho và tạp chất nhận. Giá trị của V_0 khoảng từ vài phần mười vôn.

Theo hình (3- 2) ta thấy mức năng lượng Fecmi của cả hai phần bán dẫn P và N nằm trên một đường thẳng. Mức năng lượng E_0 - thế năng của điện tử hay hàng rào thế năng của điện tử ở tiếp xúc P-N khi nó ở trạng thái cân bằng là:

$$E_0 = E_{Cp} - E_{Cn} = E_{Vp} - E_{Vn} \quad (3.1)$$



Hình 3 - 2: Đồ thị vùng năng lượng của tiếp xúc P-N khi hở mạch (trạng thái cân bằng).

Phác họa này minh họa cho hình 3-1e và biểu thị thế năng của điện tử. Bề rộng vùng cấm E_G [eV].

Hiệu điện thế tiếp xúc V_0 ở tiếp xúc P-N trong trạng thái cân bằng nhiệt động được tính theo công thức sau:

$$V_0 = V_n - V_p = V_T \ln \frac{N_D N_A}{n_i^2} \quad (3.2)$$

Tương ứng với V_0 ta có cường độ điện trường tiếp xúc ở trạng thái cân bằng nhiệt động E_0 là:

$$E_0 = KT \ln \frac{N_D N_A}{n_i^2} \quad (3.3)$$

Trong đó E_0 đo bằng [eV], và V_0 đo bằng [V].

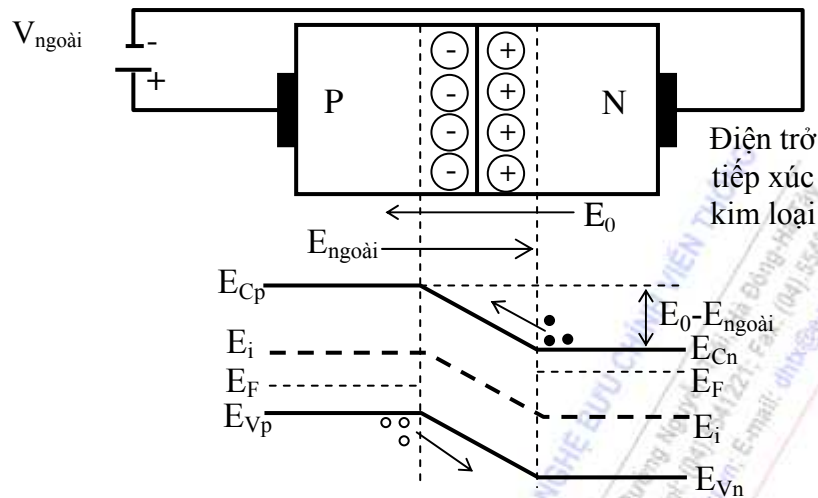
Ngoài ra, hiệu điện thế tiếp xúc E_0 còn được tính theo công thức sau:

$$E_0 = KT \ln \frac{P_{p0}}{P_{n0}} = KT \ln \frac{n_{n0}}{n_{p0}} \quad (3.4)$$

Chỉ số 0 trong công thức trên để biểu thị rằng các nồng độ hạt dẫn này được tính ở điều kiện cân bằng nhiệt động.

3.1.3. Lớp tiếp xúc P-N khi phân cực thuận.

Tiếp xúc P-N được phân cực thuận khi ta đặt một nguồn điện áp bên ngoài lên lớp tiếp xúc P-N có chiều cực dương được nối vào bán dẫn loại P và cực âm nối vào bán dẫn N.



Hình 3 - 3: Tiếp xúc P – N phân cực thuận và đồ thị dải năng lượng của nó

Chiều tác dụng của điện trường ngoài ngược lại với chiều tác dụng của điện trường tiếp xúc trong lớp tiếp xúc P-N nên lúc này lớp tiếp xúc P-N không còn ở trạng thái cân bằng động nữa. Điện trường trong lớp tiếp xúc giảm xuống, hàng rào thế năng giảm xuống một lượng bằng điện trường ngoài:

$$E_{T.X.} = E_0 - E_{ngoài} \quad (3.5)$$

Do đó phần lớn các hạt dẫn đa số dễ dàng khuếch tán qua tiếp xúc P-N, kết quả là dòng điện qua tiếp xúc P-N tăng lên. Dòng điện chạy qua tiếp xúc P-N khi nó phân cực thuận gọi là dòng điện thuận I_{th} .

Khi tăng điện áp thuận lên, tiếp xúc P-N được phân cực thuận càng mạnh, hiệu điện thế tiếp xúc càng giảm, hàng rào thế năng càng thấp xuống, đồng thời điện trở lớp tiếp xúc giảm, bề dày của lớp tiếp xúc cũng giảm, các hạt dẫn đa số khuếch tán qua tiếp xúc P-N càng nhiều nên dòng điện thuận càng tăng và nó tăng theo qui luật hàm số mũ với điện áp ngoài.

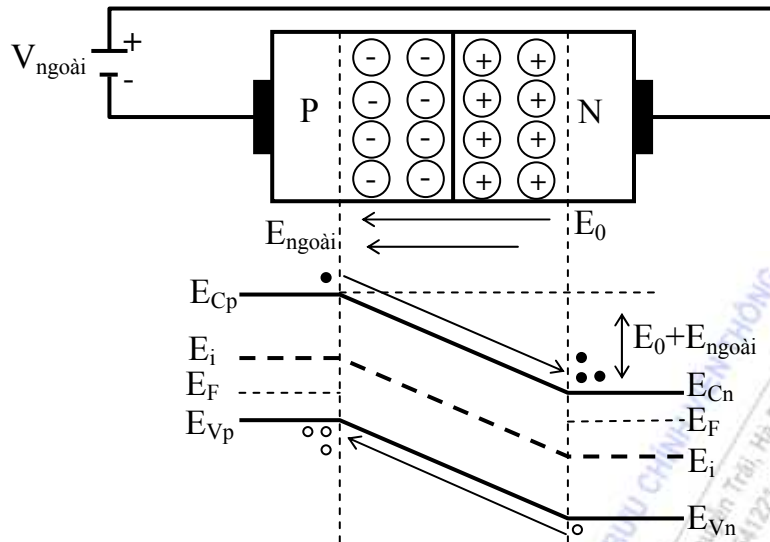
Khi điện áp thuận có giá trị xấp xỉ với V_0 , dòng điện chạy qua tiếp xúc P-N thực sẽ được khống chế bởi điện trở thuận của tiếp xúc kim loại và điện trở khối tinh thể. Do vậy đặc tuyến Vôn-Ampe gần giống một đường thẳng.

3.1.4. Lớp tiếp xúc P-N khi phân cực ngược.

Lớp tiếp xúc P-N được phân cực ngược khi ta đặt một nguồn điện áp ngoài sao cho cực dương của nó nối với phần bán dẫn N, còn cực âm nối với phần bán dẫn P. Khi đó điện áp ngoài sẽ tạo ra một điện trường cùng chiều với điện trường tiếp xúc E_0 , làm cho điện trường trong lớp tiếp xúc tăng lên:

$$E_{T.X.} = E_0 + E_{ngoài} \quad (3.6)$$

Tức là hàng rào thế năng càng cao hơn. Các hạt dẫn đa số khó khuếch tán qua vùng điện tích không gian, làm cho dòng điện khuếch tán qua tiếp xúc P-N giảm xuống so với trạng thái cân bằng.



Hình 3 - 4: Tiếp xúc P – N phân cực ngược và đồ thị dải năng lượng của nó

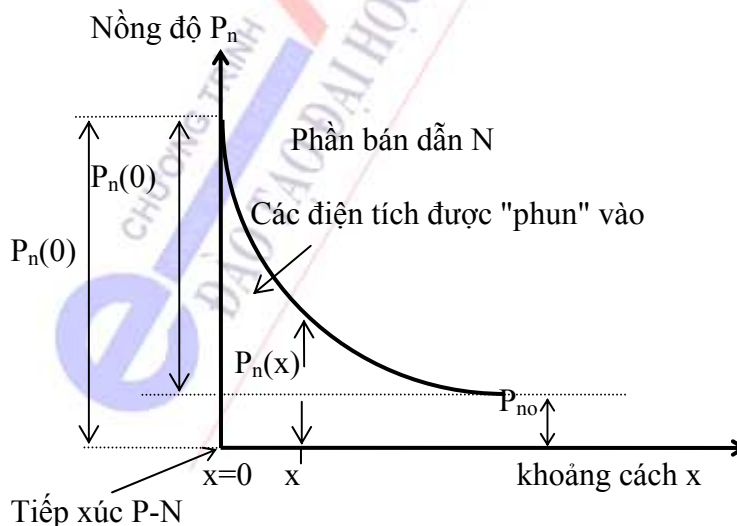
Đồng thời, do điện trường của lớp tiếp xúc tăng lên sẽ thúc đẩy quá trình chuyển động trôi của các hạt dẫn thiểu số và tạo nên dòng điện trôi có chiều từ bán dẫn N sang bán dẫn P và được gọi là dòng điện ngược $I_{ngược}$.

Nếu ta tăng điện áp ngược lên, hiệu điện thế tiếp xúc càng tăng lên làm cho dòng điện ngược tăng lên. Nhưng do nồng độ các hạt dẫn thiểu số có rất ít nên dòng điện ngược nhanh chóng đạt giá trị bão hòa và được gọi là dòng điện ngược bão hòa I_0 có giá trị rất nhỏ khoảng từ vài nA đến vài chục μA .

Dòng điện qua tiếp xúc P-N:

a. Dòng điện thuận:

Khi tiếp xúc P-N phân cực thuận, qua nó có dòng điện thuận. Đó là dòng điện do các hạt dẫn đa số khuếch tán qua tiếp xúc P-N. Ta có:



Hình 3 - 5: Nồng độ lỗ trống trong bán dẫn N khi tiếp xúc P-N phân cực thuận ($P_n(0) \gg P_{no}$)

+ Dòng điện lỗ trống $I_{Pn}(0)$ đi qua tiếp xúc P-N về phía bán dẫn N là (khi $x = 0$)

$$I_{Pn}(0) = \frac{S \cdot q \cdot D_p P_{no}}{L_p} \left(e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right) \quad (3.7)$$

Trong đó: $I_{Pn}(0)$ - là dòng điện do các lỗ trống khuếch tán qua tiếp xúc P-N.

S - là diện tích mặt tiếp xúc.

q - điện tích của điện tử.

D_p - Hệ số khuếch tán của lỗ trống.

L_p - Độ dài khuếch tán của lỗ trống.

P_{no} - Nồng độ hạt dẫn lỗ trống bên bán dẫn N.

V - Điện áp phân cực thuận.

V_T - Điện thế nhiệt ($V_T = \frac{KT}{q} = \frac{T}{11600}$).

e - số tự nhiên ($= 2,73$)

Ở đó $P_{no}(e^{\frac{V}{V_T}} - 1) = P_n(0)$ gọi là mật độ lỗ trống "phun" vào phía bán dẫn N.

+ Dòng điện điện tử $I_{np}(0)$ khuếch tán qua tiếp xúc P-N vào phía bán dẫn P là:

$$I_{np}(0) = \frac{S \cdot q \cdot D_n n_{po}}{L_n} \left(e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right) \quad (3.8)$$

Dòng điện qua tiếp xúc P-N là tổng của 2 thành phần dòng điện $I_{Pn}(0)$ và $I_{np}(0)$, vậy ta có:

$$I = I_{Pn}(0) + I_{np}(0) = I_0 \left(e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right) \quad (3.9)$$

Trong đó I_0 gọi là dòng điện ngược bão hòa và có biểu thức:

$$I_0 = \frac{S \cdot q \cdot D_p P_{no}}{L_p} + \frac{S \cdot q \cdot D_n n_{po}}{L_n} \quad (3.10)$$

b. Dòng điện ngược bão hòa:

Thay các giá trị $P_{no} = P_n$ và $n_{po} = n_p$ ta có công thức tính dòng điện I_0 :

$$I_0 = S \cdot q \cdot \left(\frac{D_p}{L_p N_D} + \frac{D_n}{L_n N_A} \right) \cdot n_i^2 \quad (3.11)$$

Trong đó:

$$n_i^2 = A_0 T^3 e^{-\frac{E_{G0}}{KT}} = A_0 T^3 e^{-\frac{V_{G0}}{V_T}}$$

Ở đây có V_{G0} là điện áp có cùng đại lượng với E_{G0} (năng lượng vùng cấm ở 0^0K)

Do đó sự phụ thuộc vào nhiệt độ của dòng I_0 là:

$$I_0 = K_1 T^2 e^{-\frac{V_{G0}}{V_T}} \quad (3.12)$$

trong đó K_1 là hệ số phụ thuộc vào nhiệt độ, và dòng điện tổng được tính gần đúng là:

$$I = I_0 \left(e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right) \quad (3.13)$$

3.1.5. Đặc tuyến Vôn-Ampe của tiếp xúc P-N.

Đặc tuyến Vôn-Ampe của tiếp xúc P-N biểu diễn mối quan hệ giữa dòng điện chạy qua tiếp xúc và điện áp ngoài đặt lên tiếp xúc:

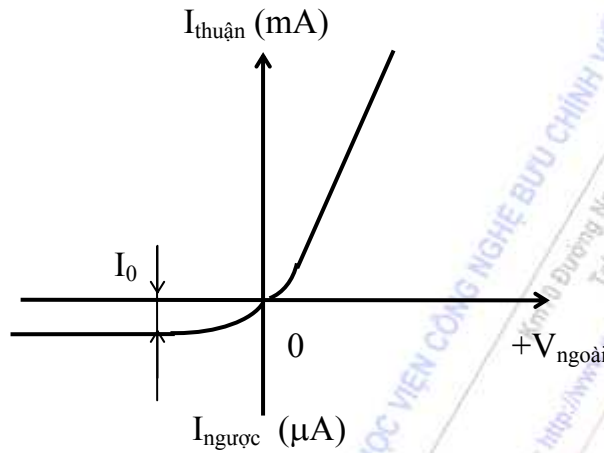
$$I = f(V_{ngoài})$$

Dòng điện liên quan với điện áp theo công thức (3.13):

$$I = I_0 (e^{\frac{V}{V_T}} - 1)$$

V_T -điện thế nhiệt của bán dẫn. Ở nhiệt độ trong phòng $V_T=0,026V= 26mV$.

Dạng đặc tuyến Vôn-Ampe của tiếp xúc P-N mô tả ở hình (3-6):



Hình 3 - 6: Đặc tuyến Vôn-Ampe của tiếp xúc P-N lý tưởng

Kết luận:

Qua đặc tuyến Vôn-Ampe dòng điện thuận đo bằng mA, còn dòng điện ngược chỉ đo bằng μA. Điều này cho thấy tiếp xúc P-N chỉ dẫn điện một chiều khi tiếp xúc P-N được phân cực thuận:

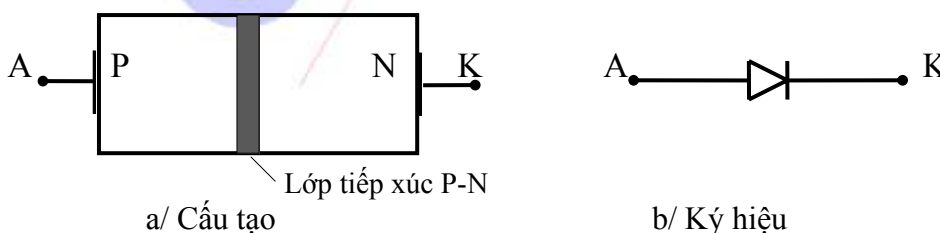
$$I_{thuận} \gg I_{ngược} = - I_0 \quad (\text{vì } I_0 \approx 0)$$

và được gọi là hiệu ứng chỉnh lưu.

3.2. ĐIỐT BÁN DẪN

3.2.1. Cấu tạo của điốt và ký hiệu trong sơ đồ mạch điện.

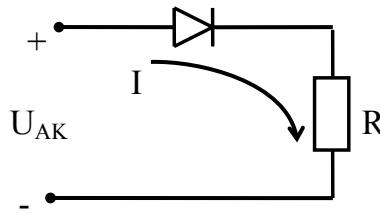
Điốt bán dẫn là cấu kiện gồm có một lớp tiếp xúc P-N và hai chân cực là anốt (ký hiệu là A) và catốt (ký hiệu là K). Anốt được nối tới bán dẫn P, catốt được nối với bán dẫn N được bọc trong vỏ bảo vệ bằng kim loại hoặc nhựa tổng hợp.



Hình 3-7: Cấu tạo và ký hiệu của điốt bán dẫn trên sơ đồ mạch.

3.2.2. Nguyên lý hoạt động của điốt.

Hoạt động của điốt dựa trên tính dẫn điện một chiều của tiếp xúc P-N. Hình 3-8 mô tả sơ đồ nguyên lý đầu điốt.



Hình 3 - 8: Sơ đồ nguyên lý của điốt

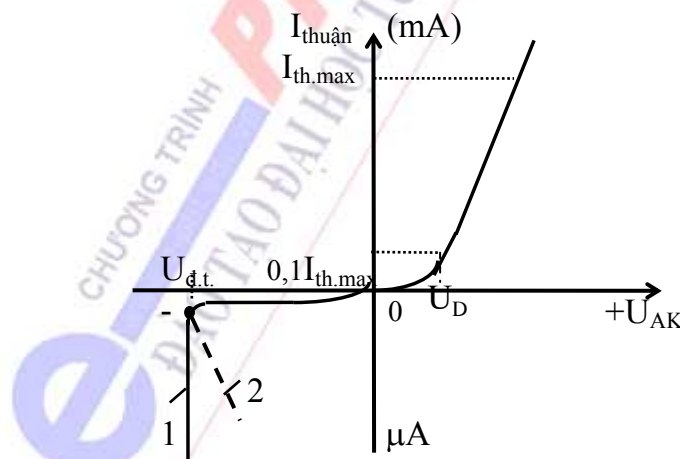
Khi đưa điện áp ngoài có cực dương vào anốt, âm vào catốt ($U_{AK} > 0$) thì điốt sẽ dẫn điện và trong mạch có dòng điện chạy qua vì lúc này tiếp xúc P-N được phân cực thuận.

Khi điện áp ngoài có cực âm đưa vào anốt, cực dương đưa vào catốt ($U_{AK} < 0$) điốt sẽ khóa vì tiếp xúc P-N phân cực ngược, dòng điện ngược rất nhỏ ($I_0 \approx 0$) chạy qua.

3.2.3 Đặc tuyến vôn-ampe của điốt bán dẫn.

Đặc tuyến vôn-ampe của điốt biểu thị mối quan hệ giữa dòng điện qua điốt với điện áp đặt giữa hai chân cực anốt và catốt (U_{AK}). Đây chính là đặc tuyến vôn-ampe của lớp tiếp xúc P-N, do vậy dòng điện chạy qua điốt được tính theo công thức sau:

$$I = I_0 \left(e^{\frac{U_{AK}}{V_T}} - 1 \right)$$



Hình 3 - 9: Đặc tuyến V-A của điốt bán dẫn

Hình 3- 9 mô tả đặc tuyến Vôn-Ampe của một điốt thực. Ta thấy:

- Phần thuận của đặc tuyến (khi $U_{AK} > 0$):

Khi điốt được phân cực thuận thì dòng điện thuận tăng rất nhanh. Ta phải chú ý đến giá trị dòng điện thuận cực đại $I_{\text{thuận max}}$, điốt không được làm việc với dòng điện cao hơn trị số này.

Khi $U_{AK} > 0$ nhưng trị số nhỏ thì dòng điện thuận quá nhỏ nên đi ốt chưa được coi là phân cực thuận. Chỉ khi điện áp thuận $U_{AK} \geq U_D$ thì đi ốt mới được tính là phân cực thuận và điốt mới dẫn điện. Điện áp U_D được gọi là điện áp thuận ngưỡng của điốt. Khi $U_{AK} = U_D$ thì dòng điện thuận có trị số bằng khoảng $0,1I_{\text{th.max}}$. và khi $U_{AK} > U_D$ thì dòng điện thuận tăng nhanh và tăng gần như tuyến tính với điện áp. U_D có giá trị bằng $(0,1 \div 0,3)V$ đối với điốt gecmani và bằng $(0,4 \div 0,8)V$ đối với điốt silic.

□ *Phần ngược của đặc tuyến Vôn-Ampe:*

Khi $|U_{AK}|$ lớn hơn vài lần V_T thì dòng điện ngược có giá trị bằng I_0 và giữ nguyên giá trị này. Khi $U_{AK} < 0$ tăng lên đến trị số $U_{d.t.}$ thì dòng điện tăng vọt, ta gọi đây là hiện tượng đánh thủng tiếp xúc P-N. Hiện tượng đánh thủng tiếp xúc P-N làm mất khả năng chỉnh lưu của điốt và thông thường nó làm hỏng điốt, trừ điốt Zener là điốt sử dụng hiện tượng đánh thủng để ổn định điện áp. Điện áp tại điểm đánh thủng ta gọi là điện áp đánh thủng và ký hiệu là $U_{d.t.}$.

Có hai hiện tượng đánh thủng:

- Đánh thủng về điện (đường 1)
- Đánh thủng về nhiệt (đường 2)

+ Đánh thủng về nhiệt xảy ra do tác động nhiệt. Hiện tượng đánh thủng về nhiệt thường xảy ra đối với điốt gecmani. Lúc này từng đôi điện tử và lỗ trống được sinh ra do tác dụng của nhiệt năng làm cho dòng điện tăng lên còn sụt áp trên điốt giảm.

+ Đánh thủng về điện hay xảy ra đối với điốt silic và nó có ý nghĩa thực tế hơn. Hiện tượng đánh thủng về điện thường xảy ra theo 2 cơ chế sau:

- *Đánh thủng đường hầm:* là sự đánh thủng xảy ra ở một giá trị điện trường nào đó gọi là giá trị tới hạn $E_{t.h.}$ đặt lên tiếp xúc P-N. Điều kiện để xảy ra hiện tượng đánh thủng đường hầm là:

$$|E|_{\text{max}} = E_{t.h.}$$

Thông thường $E_{t.h.} = 3 \cdot 10^7 \text{ V/m}$ đối với điốt gecmani và $E_{t.h.} = 8 \cdot 10^7 \text{ V/m}$ đối với điốt silic.

- *Đánh thủng thác lũ:* là sự ion hóa các nguyên tử của mạng tinh thể bởi sự va chạm với các hạt tải điện mang năng lượng lớn.

Điện áp đánh thủng: Tùy theo vật liệu mà điện áp đánh thủng có thể từ vài vôn đến hàng chục ngàn vôn.

3.2.4 Các tham số tĩnh của điốt.

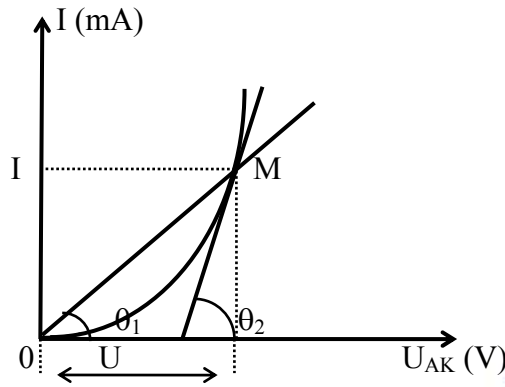
Để đánh giá, lựa chọn và sử dụng điốt chúng ta phải biết các tham số kỹ thuật của nó. Các tham số cơ bản của điốt:

a. **Điện trở một chiều hay còn gọi là điện trở tĩnh:** R_0

Là điện trở của điốt khi làm việc ở chế độ nguồn một chiều hoặc tại chế độ tĩnh

$$R_0 = \frac{U}{I} \quad [\Omega] \quad (3.14)$$

Điện trở một chiều R_0 chính là nghịch đảo góc nghiêng của đặc tuyến Vôn-Ampe tại điểm làm việc tĩnh M (góc θ_1).



Hình 3 - 10: Xác định điện trở một chiều và điện trở động của điốt.

Thông thường, do tính dẫn điện một chiều của điốt nên $R_{0thuận} \ll R_{0ngược}$.

b. Điện trở động R_i :

Là một tham số quan trọng và R_i tỉ lệ với cotang góc nghiêng của đường tiếp tuyến với đặc tuyến Vôn-Ampe tại điểm làm việc tĩnh M của điốt ($\cotg \theta_2$).

$$R_i = \frac{dU}{dI} \quad [\Omega] \quad (3.15)$$

Do tính dẫn điện một chiều nên $I \gg I_0$ và $|\frac{U}{V_T}| \gg 1$, do đó:

$$R_i = \frac{V_T}{I} \quad (3.16)$$

Ta thấy rằng tại một điểm làm việc thì $R_0 > R_i$ (vì có góc $\theta_2 > \theta_1$).

c. Điện dung của điốt: C_d (hay điện dung của tiếp xúc P- N)

Điện dung của tiếp xúc P- N gồm có 2 thành phần là điện dung rào thế (ký hiệu C_0) và điện dung khuếch tán (ký hiệu C_{kt}). Ta có:

$$C_d = C_0 + C_{kt} \quad (3.17)$$

+ Điện dung rào thế C_0 :

Sự tăng các điện tích khi đặt điện áp ngược lên tiếp xúc P-N gọi là hiệu ứng điện dung. Độ gia tăng của điện dung này sẽ là:

$$C_0 = \left| \frac{dQ}{dU} \right| \quad (3.18)$$

Trong đó dQ là sự gia tăng của điện tích do sự thay đổi dU của điện áp.

Tham số C_0 không phải là một trị số cố định, nó phụ thuộc vào trị số điện áp ngược đặt vào tiếp xúc P-N và được xác định theo công thức (3.18).

Ngoài ra, mật độ điện tích là một hàm của bề dày lớp tiếp xúc, do đó điện dung C_0 có thể tính theo công thức:

$$C_0 = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d} \quad (3.19)$$

Trong đó S : diện tích mặt tiếp xúc

d : bề dày lớp tiếp xúc

ϵ_r : hằng số điện môi tương đối của chất bán dẫn

ϵ_0 : độ thẩm thấu điện của không khí

Khi tăng điện áp ngược, bề dày lớp tiếp xúc tăng nên trị số C_0 giảm xuống.

+ Điện dung khuếch tán: $C_{k.t}$

Điện dung khuếch tán chỉ xuất hiện khi có hiện tượng khuếch tán xảy ra. Do đó khi điốt phân cực thuận thì $C_{k.t} \gg C_0$, còn khi điốt phân cực ngược thì $C_{k.t} = 0$ và $C_d = C_0$.

Đối với điốt bán dẫn, điện dung tiếp xúc P-N gây nhiều ảnh hưởng xấu cho điốt khi làm việc ở tần số cao. Do đó, để đảm bảo cho điốt làm việc ở cao tần và siêu cao tần thì trị số điện dung phải nhỏ và các điốt này phải là các điốt tiếp điểm để diện tích mặt tiếp xúc nhỏ và tần số làm việc giới hạn khoảng $300 \div 600$ MHz, có loại tới hàng chục GHz.

d. Điện áp ngược cực đại cho phép: $U_{ngược\ max}$

Là giá trị điện áp ngược lớn nhất có thể đặt lên điốt mà nó vẫn làm việc bình thường. Thông thường trị số này được chọn khoảng $0,8U_{d.t}$ [V]; Điện áp ngược cực đại $U_{ng.\ max}$ được xác định bởi kết cấu của điốt và nó nằm trong khoảng vài vôn đến 10 ngàn Vôn.

e. Khoảng nhiệt độ làm việc:

Là khoảng nhiệt độ đảm bảo điốt làm việc bình thường. Tham số này quan hệ với công suất tiêu tán cho phép của điốt.

$$P_{ttmax} = I_{max}U_{AKmax} \quad (3.20)$$

Khoảng nhiệt độ làm việc của điốt gecmani khoảng từ $-60^{\circ}C$ đến $+85^{\circ}C$, cho điốt silic khoảng từ $-60^{\circ}C$ đến $+150^{\circ}C$.

3.2.5 Sự phụ thuộc của đặc tuyến Vôn-Ampe vào nhiệt độ.

Như công thức tính dòng điện qua tiếp xúc P-N:

$$I = I_0 \left(e^{\frac{U}{V_T}} - 1 \right)$$

Ta thấy sự phụ thuộc của dòng điện vào nhiệt độ thông qua tham số điện thế nhiệt V_T và dòng điện ngược bão hòa I_0 . Dòng điện ngược bão hòa phụ thuộc vào nhiệt độ theo công thức được viết gần đúng là:

$$I_0 = K T^m e^{-\frac{V_{G0}}{V_T}} \quad (3.21)$$

Trong đó K - là một hằng số

V_{G0} - là năng lượng vùng cấm đo bằng Jun

Qua thực nghiệm người ta thấy rằng, đối với cả hai loại điốt Ge và Si, dòng điện ngược bão hòa tăng xấp xỉ gấp 2 lần đối với mỗi một sự tăng nhiệt độ lên $10^{\circ}C$.

Để cho dòng điện không đổi khi nhiệt độ thay đổi thì điện áp đặt lên điốt phải giảm với tốc độ là:

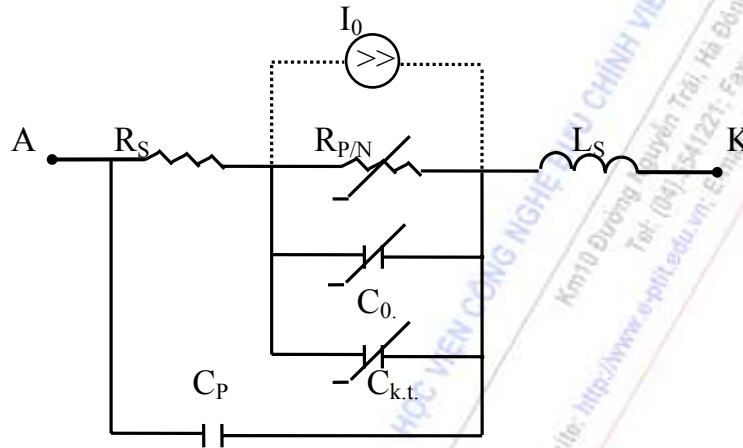
$$\frac{dU}{dT} = -2,1 \text{ mV}/^{\circ}C \text{ cho Ge và bằng } -2,3 \text{ mV}/^{\circ}C \text{ cho Si.}$$

Trong điều kiện điốt làm việc ở nhiệt độ phòng và điện áp ngưỡng $U_D=0,2V$ cho điốt Ge và $U_D = 0,6 V$ cho điốt Si.

3.2.6 Chế độ động của điốt.

Khi điốt làm việc trong các chế độ tín hiệu biến đổi ta gọi đó là chế độ động của điốt. Đối với điốt có các sơ đồ tương đương khi nó phân cực thuận và phân cực ngược.

Sơ đồ tương đương vật lý của một điốt bán dẫn:



Hình 3 - 11: Sơ đồ tương đương vật lý tổng quát của điốt bán dẫn.

Điốt được coi như một mạng hai cực và sơ đồ tương đương của nó như mô tả ở hình 3-11. Trong hình có:

R_S - điện trở nối tiếp, là điện trở tiếp xúc kim loại, chân cực và của hai phần bán dẫn N và P.

C_P - điện dung song song, là điện dung của chân cực và hai phần bán dẫn N và P.

L_S - điện cảm nối tiếp, là điện cảm của chân cực điốt

$R_{P/N}$ - điện trở của tiếp xúc P – N.

C_0 - điện dung rào thế của tiếp xúc P – N.

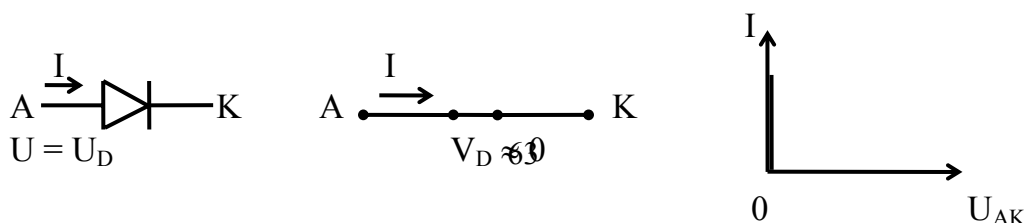
$C_{k.t}$ - điện dung khuếch tán của tiếp xúc P – N.

I_0 – nguồn dòng

3.2.6.1 Các sơ đồ tương đương khi điốt phân cực thuận.

a. Sơ đồ một khóa điện tử ở trạng thái đóng:

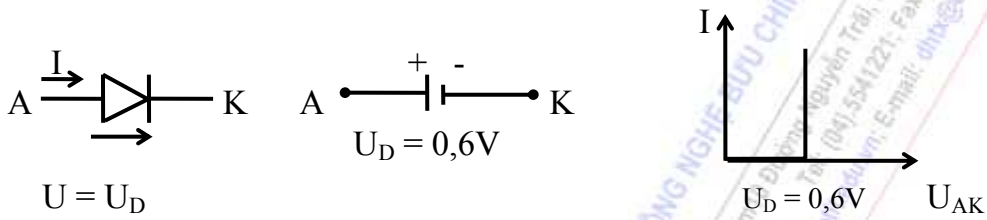
Khi phân cực thuận, điện áp phân cực $U_D = 0,6V$ cho điốt Si, và $U_D = 0,2V$ cho điốt Ge là quá nhỏ so với các điện áp khác nên có thể bỏ qua. Điốt lúc này coi như ngắn mạch.



a/ Mô hình điốt phân cực thuận với $V_D = 0,6V \approx 0V$

b. Sơ đồ một nguồn áp lý tưởng:

Sơ đồ này đúng với nguồn điện áp $V_D = 0,6V$ đối với điốt Si và $V_D = 0,2V$ đối với điốt Ge.

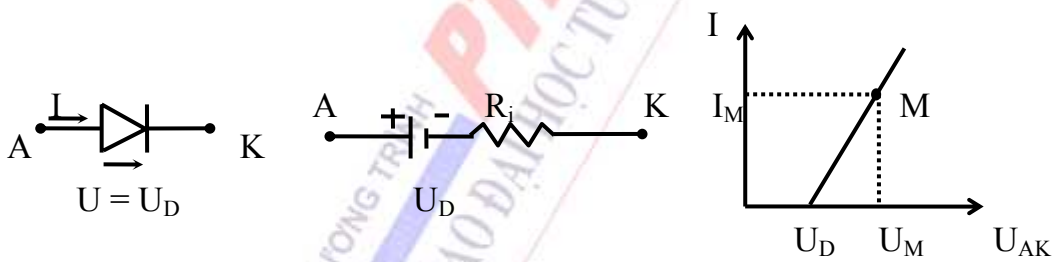


Hình 3 -13: Điốt là một nguồn điện áp lý tưởng

c. Sơ đồ một nguồn điện áp thực:

Trong trường hợp này điốt được coi như một nguồn điện áp thực gồm có nguồn điện áp và nội trở của nó chính là R_i .

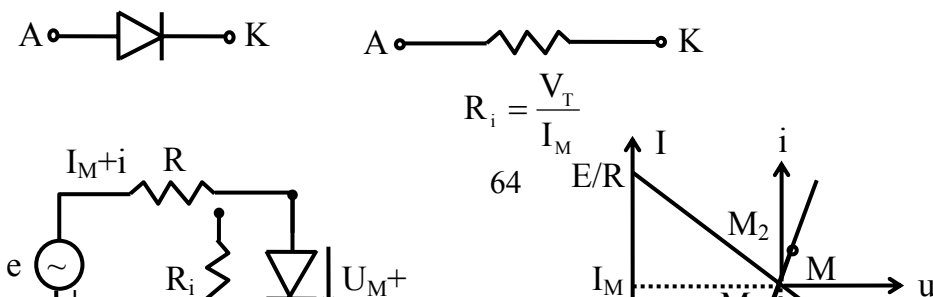
$$R_i = \frac{dV}{dI} = \frac{KT}{qI_M} = \frac{V_T}{I_M} \tag{3.22}$$



Hình 3 -14: Điốt là một nguồn điện áp thực

d. Sơ đồ một điện trở R_i ở chế độ tín hiệu nhỏ tần số thấp:

Ở chế độ này điốt được coi như một phần tử tuyến tính.

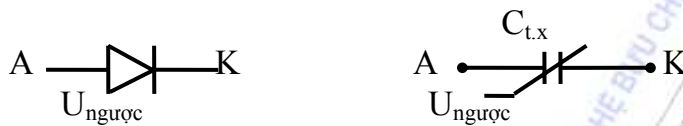


b. Sơ đồ một nguồn dòng lý tưởng:



Hình 3 -18: Điốt là một nguồn dòng lý tưởng

c. Sơ đồ một điện dung chuyển tiếp ở chế độ tín hiệu nhỏ:



Hình 3 -19: Điốt như một tụ điện

$C_{t.x}$ - Đây là điện dung có trị số biến thiên cùng với sự biến thiên của điện áp ngược đặt lên nó theo qui luật:

$$C_{t.x} = \frac{C_0}{|V_{ngược}|^{\frac{1}{n}}} \quad \text{Với } n = 2 \div 3$$

So với điện dung thuận $C_{k.t.}$ thì điện dung $C_{t.x.}$ nhỏ hơn từ 100 đến 1000 lần.

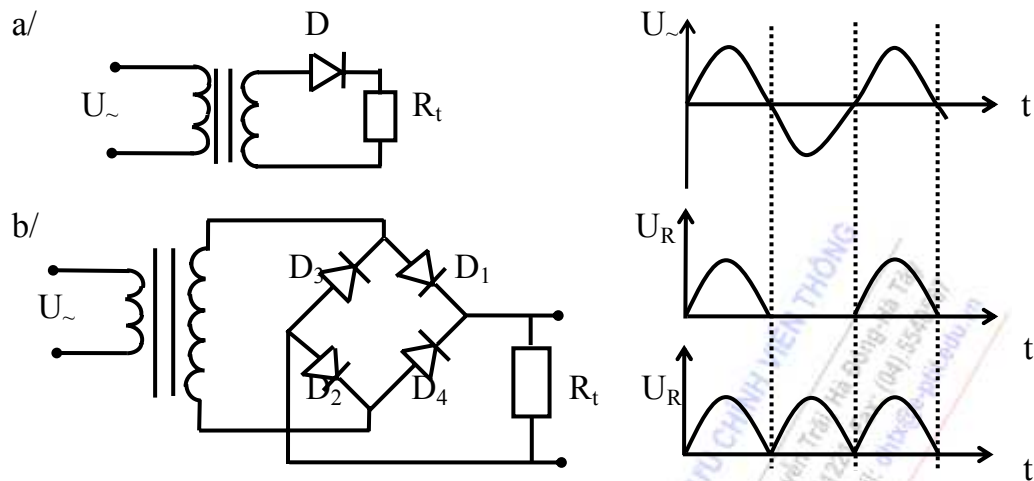
3.2.7 Ứng dụng và phân loại điốt.

Có nhiều cách phân loại điốt: có thể dựa vào vật liệu chế tạo, vào ứng dụng, vào công nghệ chế tạo, v.v.. có các loại điốt tiếp mặt, điốt tiếp điểm, điốt chỉnh lưu, điốt ổn áp, điốt tách sóng, điốt âm tần, điốt cao tần, v.v.. Sau đây ta nói đến một số loại điốt thường sử dụng.

a. Điốt chỉnh lưu:

Điốt chỉnh lưu sử dụng tính dẫn điện một chiều để chỉnh lưu dòng điện xoay chiều thành một chiều.

Đặc tính của điốt chỉnh lưu là các đại lượng dòng điện thuận cực đại I_{max} cho phép xác định dòng chỉnh lưu cực đại và điện áp ngược tối đa cho phép $U_{ng.Max}$ sẽ xác định điện áp chỉnh lưu lớn nhất. Thông thường ta chọn trị số điện áp ngược cho phép $U_{ng.Max} = 0,8 U_{d.t.}$



Hình 3 -20 : a. Mạch chỉnh lưu nửa chu kỳ và dạng điện áp trên tải
b. Mạch chỉnh lưu toàn sóng (cả chu kỳ) và dạng điện trên tải

Hiện nay điốt chỉnh lưu phổ biến nhất là điốt Silic vì có nhiệt độ làm việc cao. Điốt chỉnh lưu Geman dùng cho các chỉnh lưu công suất nhỏ. Dòng điện chỉnh lưu và điện áp ngược cho phép phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ môi trường nên các điốt công suất thường được gắn trên các bộ tỏa nhiệt.

Hình 3-20: Giới thiệu một số mạch chỉnh lưu.

- Điốt chỉnh lưu Gecmani: Là điốt chế tạo từ chất bán dẫn Ge.

Điốt chỉnh lưu gecmani có dòng điện ngược bão hòa khá nhỏ khoảng vài trăm microampe. Điện áp ngược tối đa cho phép không vượt quá 400 V. Đặc tuyến phần ngược có đoạn bão hòa và hiện tượng đánh thủng xảy ra thường là đánh thủng về nhiệt nên đặc tuyến có đoạn điện trở âm.

Nhiệt độ làm việc giới hạn của điốt chỉnh lưu Ge là 75°C. Các điốt chỉnh lưu Ge công suất lớn thường phải dùng các phương pháp tỏa nhiệt tốt.

Điện dung của điốt khá lớn (hàng chục pF) nên điốt Ge thường dùng ở tần số thấp.

- Điốt chỉnh lưu Silic: Là các điốt được chế tạo từ chất bán dẫn Si

Phần ngược của đặc tuyến V-A của điốt Si không có đoạn bão hòa rõ rệt. Điện áp ngược tối đa cho phép cao hơn nhiều so với điốt Ge và khi chưa bị đánh thủng thì làm việc khá ổn định. Nhiệt độ làm việc giới hạn của điốt Silic là 125°C.

Điốt Silic có điện áp đánh thủng có thể lên tới 2500 V và hiện tượng đánh thủng về điện là chủ yếu.

- Điốt chỉnh lưu đa tinh thể

Là loại điốt được dùng khá rộng rãi. Thông thường các điốt này được lắp ghép sẵn theo một sơ đồ nhất định tạo thành các cột chỉnh lưu.

Điốt chỉnh lưu đa tinh thể thường gặp là điốt Sêlen, điốt ôxit đồng.

b. Điốt ổn áp (Zêne):

Người ta sử dụng chế độ đánh thủng về điện của chuyển tiếp P-N để ổn định điện áp. Điện áp đánh thủng của điốt phụ thuộc vào bề dày của lớp tiếp xúc P-N, nghĩa là phụ thuộc vào nồng độ tạp chất đưa vào bán dẫn.

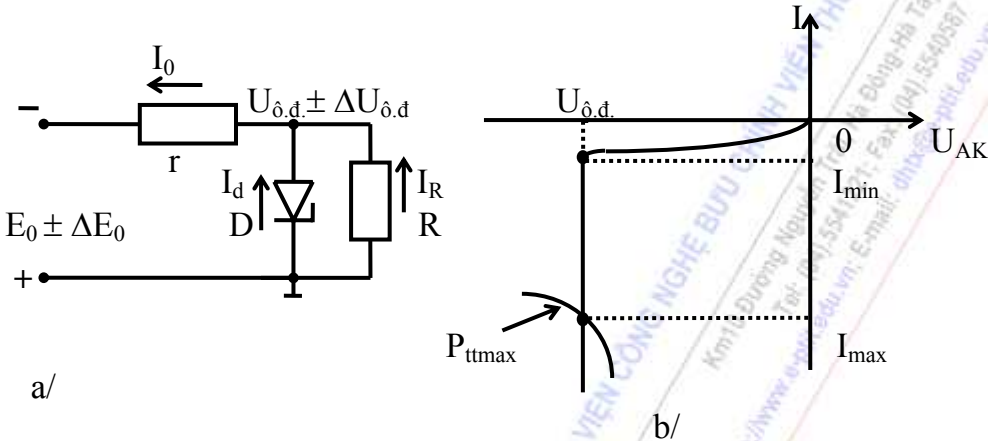
Trong hình 3 -21a là mạch ổn áp dùng điốt Zêne:

E_0 - là điện áp một chiều cần ổn định

r - là điện trở hạn chế để hạn chế dòng điện trong mạch

D - điốt ổn áp

R_t - tải tiêu thụ điện áp đã được ổn áp



Hình 3 -21: Mạch điện ổn áp và đặc tuyến V-A

Độ ổn áp của mạch được tính theo công thức:

$$\Delta U_{\text{ôđ}} = \frac{\Delta E_0}{1 + \frac{r}{R_t} + \frac{r}{R_i}}$$

Các tham số chủ yếu của điốt ổn áp

- Điện áp ổn định $U_{\text{ôđ}} = U_{\text{đánh thủng}}$
- Điện trở trong $R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I}$ (R_i càng nhỏ chất lượng ổn định càng cao)
- I_{min} - trị số dòng điện tại điểm mà hiện tượng đánh thủng ổn định
- I_{max} - trị số dòng điện cực đại qua điốt được xác định bởi công suất tiêu tán cực đại trên điốt (nếu $I > I_{\text{max}}$ điốt bị cháy)

b. Điốt xung:

Ở chế độ xung, điốt được sử dụng như khóa điện tử gồm có hai trạng thái: "dẫn" khi điện trở của điốt rất nhỏ và "khóa" khi điện trở của nó rất lớn.

Điốt xung có các thông số sau:

- Giá trị dòng điện thuận và dòng điện ngược: giá trị dòng điện thuận cực đại của điốt làm việc ở chế độ xung lớn hơn ở chế độ liên tục rất nhiều.
- Thời gian ổn định điện áp thuận t_0 : là khoảng thời gian kể từ thời điểm cấp xung dương vào điốt cho tới khi đạt giá trị 1,1 lần giá trị điện áp thuận ổn định.
- Thời gian phục hồi khả năng ngắt t_p : là khoảng thời gian kể từ thời điểm khi điốt dẫn dòng điện ngược cho tới khi dòng ngược đạt giá trị 0,1 lần giá trị dòng ngược cực đại.

Theo trị số t_p người ta chia điốt xung làm 3 loại chính:

- + Loại tốc độ cao có : $t_p < 10 \text{ nsec}$

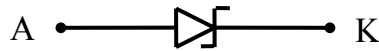
+ Loại tốc độ trung bình có : $10 \text{ nsec} < t_p < 100 \text{ nsec}$

+ Loại tốc độ thấp có : $t_p > 100 \text{ nsec}$

d. Điốt Sôtky (Schottky)

Các điốt xung có các loại điốt hợp kim, điốt mêza, điốt Sôtky. Trong đó điốt Sôtky được dùng rộng rãi nhất. **Điốt Sôtky** sử dụng tiếp xúc bán dẫn - kim loại. Thời gian phục hồi chức năng ngắt của điốt Sôtky có thể đạt tới 100psec. Điện áp phân cực thuận cho điốt Sôtky khoảng $U_D = 0,4V$, tần số làm việc cao đến 100 GHz.

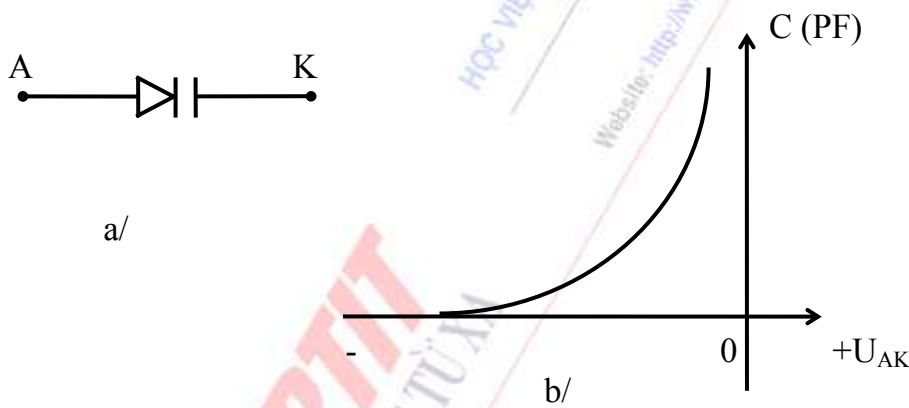
Ký hiệu của điốt Sotky trong các sơ đồ mạch điện:



e. Điốt biến dung (varicap):

Là loại điốt bán dẫn được sử dụng như một tụ điện có trị số điện dung điều khiển được bằng điện áp.

Nguyên lý làm việc của điốt biến dung là dựa vào sự phụ thuộc của điện dung rào thế của tiếp xúc P-N với điện áp ngược đặt vào nó.



Hình 3 -22: a- Ký hiệu của điốt biến dung trong sơ đồ mạch
b- Sự phụ thuộc của điện dung chuyển tiếp P-N theo điện áp ngược đặt lên nó

Trị số điện dung cực đại của điốt biến dung phụ thuộc vào loại điốt và có trị số vào khoảng từ $(5 \div 300) \text{ pF}$.

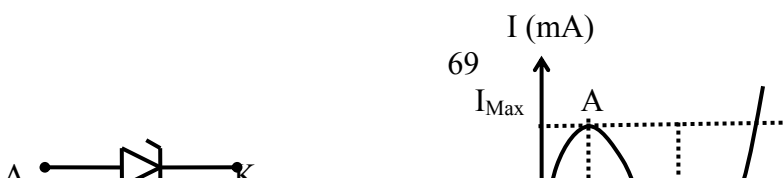
Varicap thường được dùng trong các mạch dao động cần điều khiển tần số cộng hưởng bằng điện áp ở lĩnh vực siêu cao tần.

f. Điốt tunen (hay điốt xuyên hầm):

Điốt được chế tạo từ chất bán dẫn có nồng độ tạp chất rất cao, thông thường $n = (10^{19} \div 10^{23})/\text{cm}^3$.

Loại điốt này có khả năng dẫn điện cả chiều thuận và chiều ngược. Hiệu ứng tunen là hiện tượng các hạt dẫn chuyển động qua tiếp xúc P-N mà không bị tổn hao năng lượng.

Ký hiệu của điốt tunen và đặc tuyến Vôn-Ampe



HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG
Km10 Đường Nguyễn Trãi, Hà Đông-Hà Tây
Tel: (04) 55405217 Fax: (04) 55405287
Website: http://www.e-ptit.edu.vn E-mail: hinhk@ptit.edu.vn

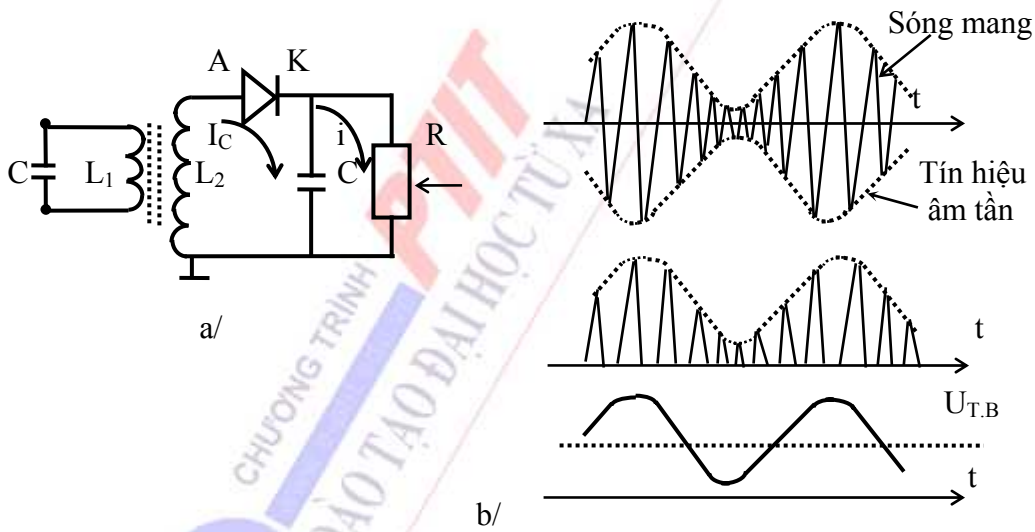
THPT
TRƯỜNG THPT
HỒ MẠNH THỤT

Đặc tuyến V-A của điốt tunen ở phần thuận có đoạn điện trở âm AB. Người ta sử dụng đoạn đặc tuyến AB này để tạo các mạch dao động phóng nạp. Điốt tunen có kích thước nhỏ, độ ổn định cao và tần số làm việc lên tới hàng nghìn MHz.

g. Điốt cao tần:

Các điốt cao tần thường là loại điốt tiếp điểm và thường dùng để xử lý các tín hiệu cao tần như:

- Điốt tách sóng dùng để tách tín hiệu tần thấp từ dao động điều biên.
- Điốt trộn sóng dùng để thay đổi tần số sóng mang của dao động điều biên.
- Điốt điều biến dùng để điều biến các dao động cao tần (sóng mang) theo các tín hiệu âm tần..



Hình 3 -24: a- Mạch tách sóng AM;
b- tín hiệu âm tần
và sóng mang trong quá trình tách sóng

TÓM TẮT NỘI DUNG

Trong chương 3 đã trình bày về sự hình thành của lớp tiếp xúc P-N, các tính chất đặc biệt về điện của lớp tiếp xúc P-N và quan trọng là tính dẫn điện một chiều của nó: chỉ khi tiếp

xúc P-N phân cực thuận thì nó mới dẫn điện. Dòng điện chạy qua tiếp xúc P-N được tạo nên do hai loại hạt dẫn là hạt dẫn điện tử và hạt dẫn lỗ trống.

$$I = I_{pn}(0) + I_{np}(0) = I_0(e^{\frac{V}{V_T}} - 1)$$

Trong đó $I_{pn}(0)$ và $I_{np}(0)$ là dòng điện lỗ trống và dòng điện điện tử, tương ứng, đi qua tiếp xúc P-N; I_0 là dòng điện ngược bão hòa; V – là trị số điện áp ngoài đặt lên tiếp xúc P-N và V_T là điện thế nhiệt của bán dẫn (ở nhiệt độ phòng $V_T \approx 0,026V$).

Đặc tuyến Vôn-Ampe của tiếp xúc P-N biểu diễn mối quan hệ giữa dòng điện chạy qua tiếp xúc và điện áp ngoài đặt lên nó. Qua đây chúng ta thấy rằng: dòng điện khi tiếp xúc P-N được phân cực thuận lớn hơn rất nhiều lần dòng điện khi tiếp xúc được phân cực ngược. Thực tế, dòng điện ngược I_0 rất nhỏ chỉ khoảng từ vài nA đối với bán dẫn silic đến vài chục μA đối với bán dẫn gecmany, nên có thể coi $I_0 \approx 0$.

Trong chương này chúng ta cũng nghiên cứu về điốt bán dẫn. Đây là cấu kiện bán dẫn chỉ có một lớp tiếp xúc P-N. Nguyên lý hoạt động của điốt là dựa vào tính dẫn điện một chiều của tiếp xúc P-N: điốt chỉ dẫn điện khi được phân cực thuận ($U_{AK} > 0$).

Đặc tuyến Vôn-Ampe của đi-ốt cũng giống như đặc tuyến Vôn-Ampe của tiếp xúc P-N, nhưng đây là đặc tuyến Vôn-Ampe của một cấu kiện thực tế nên có một số điểm cần lưu ý. Về phần thuận của đặc tuyến, ta thấy chỉ khi nào $U_{AK} \geq U_D$ thì đi-ốt mới được tính là phân cực thuận. Trong đó U_D gọi là điện áp thuận ngưỡng: đối với đi-ốt gecmany $U_D = 0,1V \div 0,3V$; đối với đi-ốt silic $U_D = 0,4V \div 0,8V$. Ngoài ra, dòng điện thuận tăng nhanh, gần như tuyến tính, với điện áp đặt lên đi ốt nên ta phải chú ý giá trị dòng điện thuận cực đại. Đây là giá trị lớn nhất cho phép đi ốt làm việc, quá giá trị này điốt sẽ bị nóng và hỏng. Về phần ngược, dòng điện ngược gần như không thay đổi khi tăng điện áp ngược đặt lên đi ốt. Nhưng khi điện áp ngược đạt giá trị $U_{đ.t.}$ (gọi là điện áp đánh thủng) thì đi ốt mất tính chỉnh lưu – khả năng dẫn điện một chiều, thì dòng điện ngược tăng vọt đó là hiện tượng đánh thủng đi ốt. Hiện tượng đánh thủng dẫn đến làm hỏng đi ốt trừ đi ốt zener sử dụng chế độ đánh thủng để ổn định điện áp.

Khi sử dụng đi ốt ta phải dựa vào các tham số tĩnh của nó để lựa chọn. Các tham số tĩnh cơ bản của đi ốt gồm có:

- + Điện trở động R_i là điện trở của đi ốt đối với thành phần xoay chiều của tín hiệu.
- + Điện dung của đi ốt C_d là điện dung của tiếp xúc P-N.
- + Điện áp ngược cho phép
- + Dòng điện thuận cực đại
- + Khoảng nhiệt độ làm việc.

Một điều rất quan trọng khi sử dụng các cấu kiện bán dẫn là ta phải chú ý đến sự ảnh hưởng của nhiệt độ lên hoạt động của đi ốt. Sự ảnh hưởng của nhiệt độ lên hoạt động của đi ốt thông qua sự phụ thuộc của dòng điện ngược bão hòa vào nhiệt độ theo hàm mũ và do điện thế nhiệt của chất bán dẫn cũng chịu ảnh hưởng của nhiệt độ. Theo tính toán gần đúng thì giá trị dòng điện ngược tăng gấp 2 lần đối với mỗi một sự tăng nhiệt độ lên $10^0 C$.

Chương 3 còn giới thiệu về chế độ động của đi ốt, các khả năng sử dụng đi ốt trong mạch điện tử và một số loại đi ốt bán dẫn thông dụng. Chúng ta nghiên cứu về sơ đồ mạch tương đương của đi ốt và các chế độ làm việc động của nó. Ngoài ra phần cuối chương cũng giới thiệu một số mạch ứng dụng đi ốt trên thực tế.

CÂU HỎI ÔN TẬP.

CHƯƠNG 4 TRANZITO LƯƠNG CỰC (BJT)

GIỚI THIỆU CHƯƠNG.

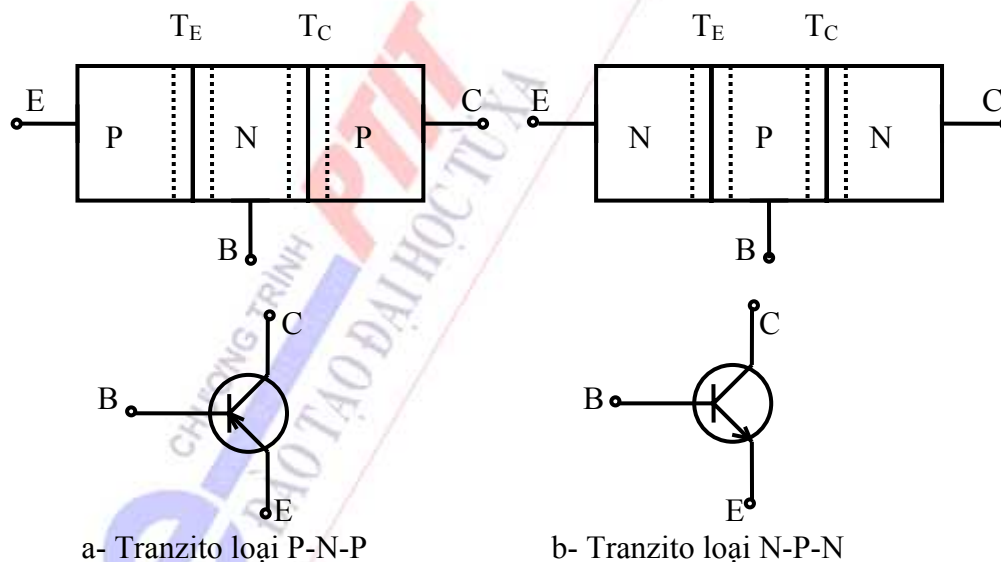
Chương 4 sẽ giới thiệu về tranzito lưỡng cực (Bipolar Junction Transistor – BJT). Đây là cấu kiện bán dẫn quan trọng có 2 lớp tiếp xúc P-N và 3 chân điện cực. Trong chương sẽ trình bày về nguyên lý hoạt động của tranzito lưỡng cực ở 3 chế độ cấp điện phân cực cho nó là chế độ tích cực, chế độ ngắt và chế độ bão hòa. Chương 4 trình bày về các cách mắc cơ bản của tranzito lưỡng cực trong các sơ đồ mạch khuếch đại là cách mắc cực gốc chung, cực phát chung và cực góp chung, đặc điểm của từng cách mắc. Trong chương 4 này còn đề cập đến các phương pháp phân cực cho tranzito như phân cực bằng dòng cực gốc, phân cực bằng phân áp và phân cực bằng hồi tiếp. Đồng thời trong chương này cũng trình bày về các sơ đồ tương đương của tranzito trong chế độ khuếch đại tín hiệu nhỏ và trình bày về chế độ chuyển mạch của tranzito.

NỘI DUNG

4.1. CẤU TẠO VÀ KÝ HIỆU CỦA BJT TRONG SƠ ĐỒ MẠCH.

4.1.1. Cấu tạo của BJT loại P-N-P và N-P-N

Tranzito lưỡng cực gồm có hai tiếp xúc P-N được tạo nên bởi 3 miền bán dẫn loại P và N xếp xen kẽ nhau. Nếu miền bán dẫn ở giữa là bán dẫn loại N thì ta có tranzito lưỡng cực loại P-N-P. Nếu miền bán dẫn ở giữa là bán dẫn loại P thì ta có tranzito lưỡng cực loại N-P-N.



Hình 4 - 1 : a. Tranzito lưỡng cực loại P-N-P (hay tranzito thuận) cấu tạo và ký hiệu trên sơ đồ mạch
b. Tranzito N-P-N (hay tranzito ngược) cấu tạo và ký hiệu

Tranzito có 3 chân cực là:

- Cực Phát ký hiệu là chữ E (Emitter) là nguồn phát ra các hạt tải điện trong tranzito.
- Cực Gốc ký hiệu là chữ B (Base) là cực điều khiển dòng điện..

- Cực Góp ký hiệu là chữ C (Collector) có nhiệm vụ thu nhận tất cả các hạt dẫn từ phần phát E qua phần gốc B tới.
- Hai tiếp xúc P-N là tiếp xúc phát-gốc ký hiệu là T_E (gọi tắt là tiếp xúc phát), và tiếp xúc góp-gốc ký hiệu là T_C (gọi tắt là tiếp xúc góp).

4.1.2. Nguyên lý làm việc của tranzito

Khi chưa cung cấp điện áp ngoài lên các chân cực của tranzito thì hai tiếp xúc phát T_E và góp T_C đều ở trạng thái cân bằng và dòng điện tổng chạy qua các chân cực của tranzito bằng 0.

Muốn cho tranzito làm việc ta phải cung cấp cho các chân cực của nó một điện áp một chiều thích hợp. Có ba chế độ làm việc của tranzito là: chế độ tích cực (hay chế độ khuếch đại), chế độ ngắt và chế độ dẫn bão hòa. Cả hai loại tranzito P-N-P và N-P-N đều có nguyên lý làm việc giống nhau, chỉ có chiều nguồn điện cung cấp vào các chân cực là ngược dấu nhau.

+ *Chế độ ngắt*: Cung cấp nguồn điện sao cho hai tiếp xúc P-N đều phân cực ngược. Tranzito có điện trở rất lớn và chỉ có một dòng điện rất nhỏ chạy qua nên tranzito coi như không dẫn điện.

+ *Chế độ dẫn bão hòa*: Cung cấp nguồn điện sao cho cả hai tiếp xúc P-N đều phân cực thuận. Tranzito có điện trở rất nhỏ và dòng điện qua nó là khá lớn.

Ở chế độ ngắt và chế độ dẫn bão hòa, tranzito làm việc như một phần tử tuyến tính trong mạch điện. Ở chế độ này tranzito như một khóa điện tử và nó được sử dụng trong các mạch xung, các mạch số.

+ *Chế độ tích cực*: Ta cấp nguồn điện sao cho tiếp xúc phát T_E phân cực thuận, và tiếp xúc góp T_C phân cực ngược. Ở chế độ tích cực, tranzito làm việc với quá trình biến đổi tín hiệu dòng điện, điện áp, hay công suất và nó có khả năng tạo dao động, khuếch đại tín hiệu,... Đây là chế độ thông dụng của tranzito trong các mạch điện tử tương tự.

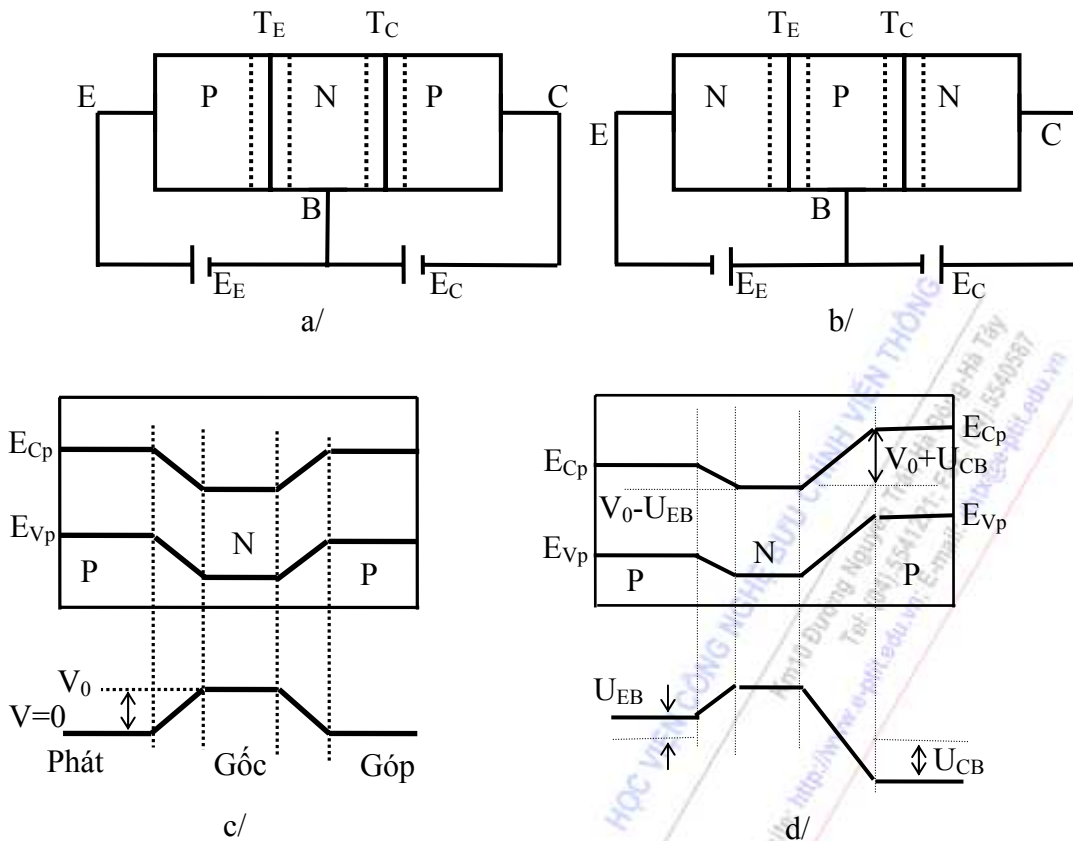
4.2. CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC CỦA TRANZITO BJT.

4.2.1. Chế độ tích cực (hay chế độ khuếch đại):

+ *Nguyên lý hoạt động*:

Ở chế độ tích cực ta phải cung cấp nguồn điện một chiều lên các chân cực sao cho tiếp xúc phát T_E phân cực thuận và tiếp xúc góp T_C phân cực ngược (xem hình 4-2 a,b,c,d).

Ví dụ: Ta xét nguyên lý làm việc của tranzito loại P-N-P còn đối với tranzito loại N-P-N có thể suy ra dựa vào nguyên lý hoạt động của tranzito loại P-N-P.



Hình 4 - 2: a và b: Chiều các nguồn điện cung cấp cho các chân cực của tranzito loại P-N-P và N-P-N để nó làm việc ở chế độ tích cực
 c và d: Đồ thị dải năng lượng của tranzito loại P-N-P

Khi tiếp xúc phát phân cực thuận, các hạt dẫn đa số là lỗ trống sẽ khuếch tán từ phần phát sang phần gốc, còn các điện tử từ phần gốc khuếch tán sang phần phát tạo nên dòng điện cực phát I_E , ta có:

$$I_E = I_{En} + I_{Ep} \tag{4.1}$$

Trong đó: I_{En} - là thành phần dòng điện điện tử cực phát.

I_{Ep} - là thành phần dòng điện lỗ trống cực phát.

Các hạt dẫn này gặp nhau sẽ tái hợp. Để đảm bảo nồng độ các lỗ trống phát ra lớn, người ta chế tạo phần phát có nồng độ tạp chất lớn hơn rất nhiều so với phần gốc. Như vậy ta có:

$$I_{Ep} \gg I_{En}$$

Ở đây người ta đưa ra tham số gọi là hiệu suất của cực phát, ký hiệu là γ và được tính theo công thức sau:

$$\gamma = \frac{I_{Ep}}{I_E} = \frac{I_{Ep}}{I_{Ep} + I_{En}} \approx 0,98 \div 0,995 \tag{4.2}$$

Tham số $\gamma = \frac{I_{Ep}}{I_E}$ chỉ ra rằng đã có bao nhiêu lỗ trống (hay điện tử) chuyển dời từ cực phát E sang cực gốc B.

Các lỗ trống khuếch tán sang phần gốc, một phần nhỏ tái hợp với các điện tử, còn phần lớn chúng tiếp tục khuếch tán qua phần gốc về phía tiếp xúc góp. Đến tiếp xúc góp, các lỗ

trống sẽ chuyển động trôi qua lớp tiếp xúc và tạo nên dòng điện cực góp I_{Cp} . Đồng thời, qua tiếp xúc góp còn có dòng điện ngược I_{CB0} (còn gọi là dòng điện rò). Nên ta có công thức tính dòng điện cực góp tổng là:

$$I_C = I_{Cp} + I_{CB0} \quad (4.3)$$

Để số lỗ trống bị tái hợp ít trong phần gốc, ta chế tạo phần gốc thật mỏng sao cho bề dày của nó $W_B \ll L_{Pn}$ - độ dài khuếch tán. Ở đây người ta đưa ra tham số gọi là hệ số chuyển dời dòng điện I_E ký hiệu là β^* . Tham số này chỉ ra số lỗ trống đến được cực góp mà không bị tái hợp trong phần gốc.

+ Hệ số chuyển dời β^* được xác định:

$$\beta^* = \frac{\text{Dòng điện do các hạt dẫn trích vào đến được tiếp xúc } T_C}{\text{Dòng điện của các hạt dẫn được trích vào tại tiếp xúc } T_E}$$

Do đó, trong trường hợp tranzito loại P-N-P ta có:

$$\beta^* = \frac{I_{Cp}}{I_{Ep}} = 0,98 \div 0,995 \quad (4.4)$$

+ Hệ số khuếch đại dòng điện cực phát α hay còn gọi là hệ số truyền đạt dòng điện cực phát và nó được tính theo công thức sau:

$$\alpha = \frac{I_{Cp}}{I_E} = \frac{I_{Cp}}{I_{Ep}} \frac{I_{Ep}}{I_E} = \beta^* \gamma \quad (4.5)$$

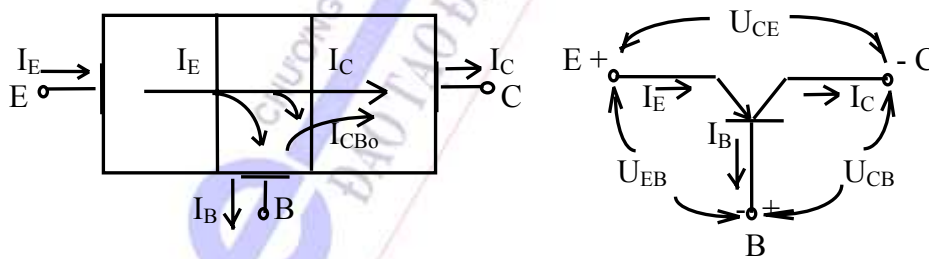
α có giá trị bằng khoảng $0,90 \div 0,995$.

Dòng điện do hiện tượng tái hợp trong lớp tiếp xúc phát và trong phần gốc trừ đi dòng điện ngược của tiếp xúc góp được gọi là dòng điện cực gốc (I_B):

$$I_B = I_{Ep} - I_{Cp} - I_{CB0}$$

Quan hệ giữa 3 thành phần dòng điện trong tranzito là:

$$\begin{aligned} I_C &= \alpha I_E + I_{CB0} \\ I_B &= (1 - \alpha) I_E - I_{CB0} \\ I_E &= I_C + I_B \end{aligned} \quad (4.6)$$

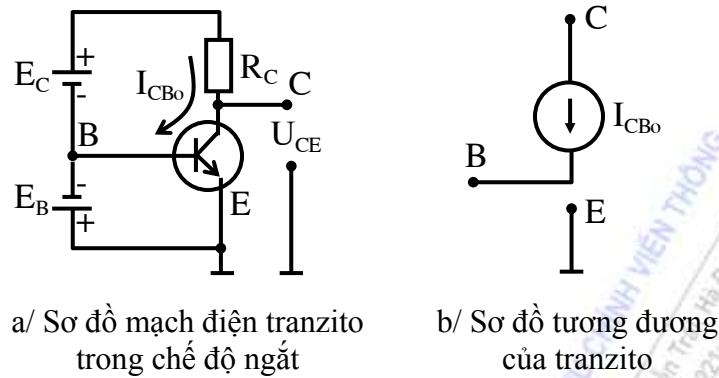


Hình 4 - 3: Các dòng điện và điện áp trên các chân cực của tranzito loại P-N-P.

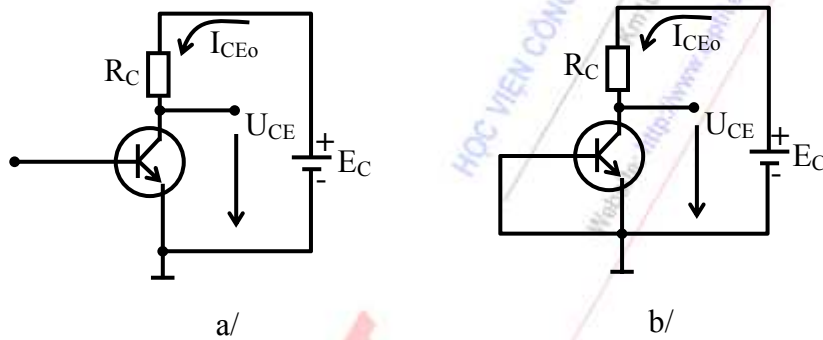
4.2.2. Chế độ ngắt:

Ở chế độ này, ta cung cấp nguồn điện sao cho hai tiếp xúc P-N đều được phân cực ngược nên điện trở của tranzito rất lớn và qua nó chỉ có dòng điện ngược rất nhỏ của tiếp xúc góp I_{CB0} . Do dòng điện ngược của tiếp xúc phát I_{EB0} nhỏ hơn nhiều so với I_{CB0} nên mạch cực

E coi như hở. Dòng điện trong mạch cực gốc B có giá trị bằng dòng I_{CB0} nhưng ngược dấu ($I_B = -I_{CB0}$). Ta có sơ đồ mạch tương đương dưới đây:



Hình 4 - 4: Sơ đồ mạch điện tranzito trong chế độ ngắt



Hình 4 - 5: Các sơ đồ tranzito làm việc ở chế độ ngắt

Trong nhiều trường hợp, chế độ ngắt của tranzito được sử dụng mà không cần nguồn điện áp giữa cực B và E (E_B) như mô tả ở hình 4-5

Như vậy, trong cả hai trường hợp trong hình 4-5, điện áp giữa cực góp và cực phát U_{CE} sẽ được xác định:

$$U_{CE} = E_C - R_C \cdot I_{CE0} \approx E_C$$

và

$$U_{CE} = E_C - R_C \cdot I_{CEs} \approx E_C \tag{4.7}$$

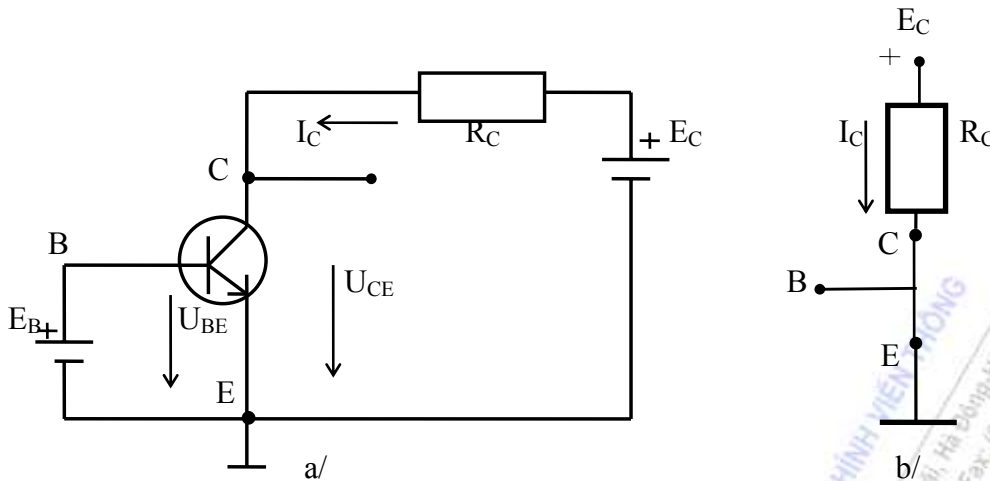
4.2.3. Chế độ dẫn bão hòa:

Ở chế độ này ta cung cấp nguồn điện một chiều sao cho hai tiếp xúc P- N đều phân cực thuận (hình 4-6). Điện trở của hai tiếp xúc T_E và T_C rất nhỏ nên có thể coi như hai cực phát E và cực góp C được nối tắt. Dòng điện qua tranzito I_C khá lớn và không phụ thuộc vào hoạt động của tranzito. Như vậy, điện áp giữa cực góp và cực phát luôn xấp xỉ bằng 0 ($U_{CE} \approx 0$), còn dòng điện chạy qua tranzito được tính bằng:

$$I_{CS} = \frac{E_C}{R_C}$$

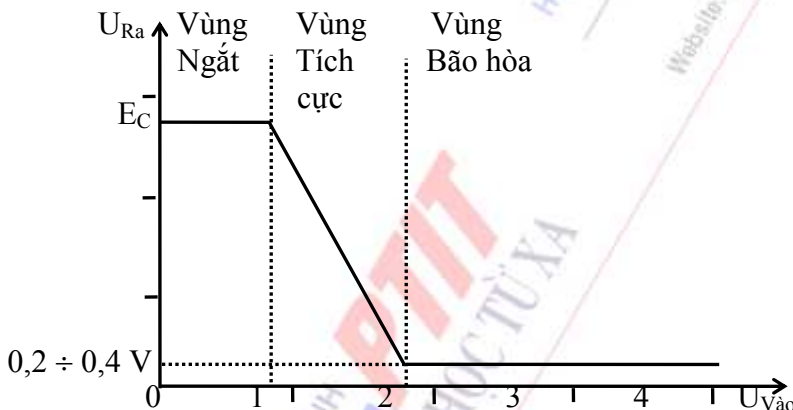
Sơ đồ mạch tương đương của chế độ bão hòa mô tả trong hình (4-6b). Thực tế thì điện áp U_{CE} bằng khoảng 0,2V÷0,4V.

Như vậy, ở hai chế độ ngắt và chế độ dẫn bão hòa, tranzito làm việc như một chuyển mạch điện tử. Khóa đóng khi tranzito dẫn bão hòa, khóa hở khi tranzito ở chế độ ngắt.



Hình 4 - 6 : Chế độ dẫn bão hòa của tranzito
 a. Sơ đồ mạch b. Sơ đồ mạch tương đương

Đặc tuyến truyền đạt của tranzito trong các chế độ làm việc mô tả trong hình 4-7.



Hình 4 - 7: Đặc tuyến truyền đạt của tranzito

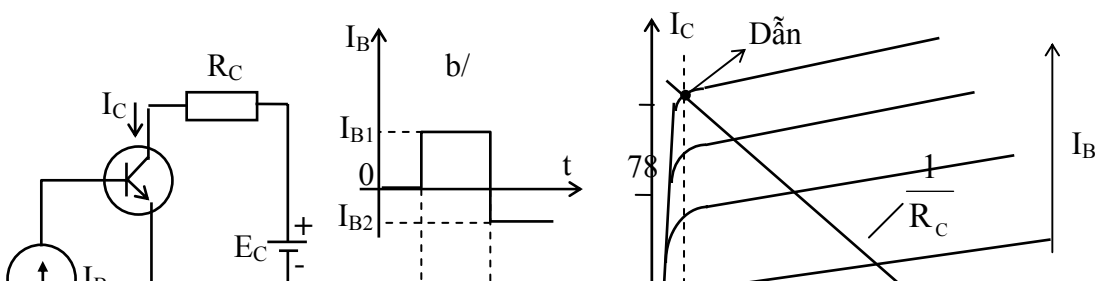
4.3. ĐẶC TÍNH QUÁ ĐỘ CỦA BJT (chế độ chuyển mạch của tranzito).

4.3.1 Nguyên lý làm việc.

Ở chế độ chuyển mạch tranzito làm việc như một khóa điện tử, nghĩa là nó làm việc ở chế độ ngắt và chế độ bão hòa. Sơ đồ nguyên lý của chuyển mạch dùng tranzito mô tả trong hình 4-8.

Dòng điện I_{CS} (bão hoà) được tính theo công thức:

$$I_{CS} = \frac{E_C - U_{CEs} \text{ (bão hòa)}}{R_C} \tag{4.8}$$



Đối với tranzito, U_{CEs} (bão hòa) = $0,2V \div 0,4V$ nên trong biểu thức (4. 8) có thể bỏ qua. Do đó, dòng điện cực gốc nhỏ nhất I_{B1} cần thiết để điều khiển cho tranzito dẫn bão hoà là:

$$I_{B1} \geq \frac{i_{CS}}{\beta_{dc}} \approx \frac{E_C}{\beta_{dc} R_C} \quad (4. 9)$$

4.3.2. Các tham số của BJT chuyển mạch.

Tham số quan trọng của BJT chuyển mạch là thời gian chuyển từ trạng thái “Dẫn” sang trạng thái “Khóa” và gọi là thời gian chuyển mạch. Thời gian chuyển mạch xác định bởi các yếu tố sau:

- Thời gian trễ (t_d): là khoảng thời gian từ khi tác động lên đầu vào một xung cho đến khi dòng điện đầu ra đạt 10% giá trị dòng điện bão hoà của nó. Nghĩa là ($I_C=0,1 I_{CS}$).
- Thời gian lên (t_r) và thời gian xuống (t_f):
 - + Thời gian lên (t_r): là khoảng thời gian để dòng điện ra I_C tăng từ 10% đến 90% dòng điện bão hoà (I_{CS}).
 - + Dòng điện xuống (t_f): là khoảng thời gian để dòng điện ra I_C giảm từ 90% đến còn 10% dòng điện bão hoà (I_{CS}).
- Thời gian tồn đọng: (hay thời gian phục hồi chức năng ngắt) t_p : là khoảng thời gian kể từ khi cấp một dòng điện âm I_B cho đến khi dòng điện ra I_C giảm xuống còn 90% dòng điện bão hoà I_{CS} . Thời gian t_p là tham số cực kỳ quan trọng trong việc giới hạn tốc độ chuyển mạch của tranzito. Nó là thời gian cần thiết để giải toả các hạt dẫn thiểu số trong phần gốc và phân góp.

Gọi dòng I_{BA} là dòng điện cực gốc đã đưa tranzito sang trạng thái bão hoà, ta có:

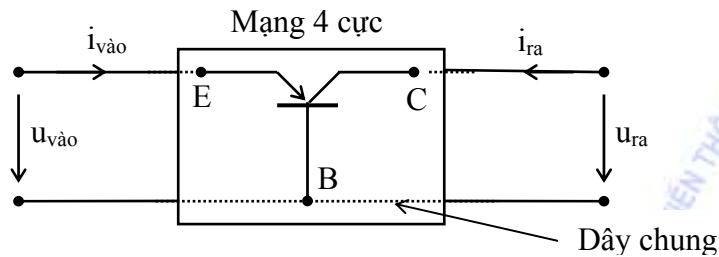
$$I_{BA} = \frac{E_C}{\beta_{dc} \cdot R_C} \quad (4. 10)$$

và thời gian tồn đọng được tính:

$$t_s = \tau_s \ln \frac{I_{B1} - I_{B2}}{I_{BA} - I_{B2}}$$

trong đó: τ_s - thời gian sống của hạt thiểu số trong phần gốc và nó thường được cho đối với từng loại tranzito chuyên mạch.

4.4. CÁC CÁCH MẮC CỦA TRANZITO BJT TRONG SƠ ĐỒ KHUẾCH ĐẠI.



Hình 4 - 9: Tranzito như một mạng 4 cực

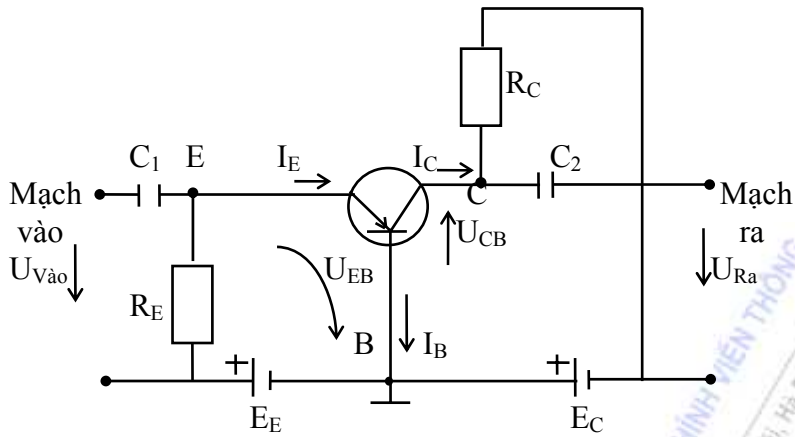
Trong các mạch điện, tranzito được xem như một mạng 4 cực: tín hiệu được đưa vào giữa hai chân cực và tín hiệu lấy ra cũng giữa hai chân cực (xem hình 4-9).

Tranzito là linh kiện bán dẫn có 3 chân cực nên khi sử dụng ta phải đặt một chân cực lên dây chung của mạch vào và mạch ra. Ta có thể chọn một trong 3 chân cực để làm cực chung cho mạch vào và mạch ra. Do đó, tranzito có 3 cách mắc cơ bản là mạch cực phát chung (CE), mạch cực gốc chung (CB), và mạch cực góp chung (CC).

4.4.1. Sơ đồ mắc gốc chung:

Sơ đồ mạch mắc cực gốc chung mô tả trong hình 4-10. Trong sơ đồ mạch có:

- + E_E , E_C là nguồn cung cấp một chiều cho tranzito loại P-N-P trong mạch.
- + R_E - điện trở định thiên cho tranzito. R_E có nhiệm vụ làm sụt bớt một phần điện áp nguồn E_E để đảm bảo cho tiếp xúc phát được phân cực thuận với điện áp phân cực $U_{EB} \approx 0,6$ V cho tranzito Silic, và $U_{EB} \approx 0,2$ V cho tranzito Gecmani. Đồng thời tín hiệu vào sẽ hạ trên R_E để đưa vào tranzito.
- + R_C - điện trở gánh có nhiệm vụ tạo sụt áp thành phần dòng xoay chiều của tín hiệu để đưa ra mạch sau và đưa điện áp từ âm nguồn E_C lên cực góp đảm bảo cho tiếp xúc góp được phân cực ngược.
- + Tụ điện C_1 , C_2 gọi là tụ liên lạc có nhiệm vụ dẫn tín hiệu vào mạch và dẫn tín hiệu ra mạch sau.



Hình 4 - 10: Sơ đồ mắc gốc chung cho tranzito loại P-N-P

Cực gốc B của tranzito trong sơ đồ được nối đất. Như vậy, tín hiệu đưa vào giữa cực phát và cực gốc. Tín hiệu lấy ra giữa cực góp và cực gốc nên cực gốc B là chân cực chung của mạch vào và mạch ra. - Ta gọi là sơ đồ mắc cực gốc chung. Trong mạch có các thành phần dòng điện và điện áp sau:

- I_E gọi là dòng điện trên mạch vào.
- I_C gọi là dòng điện trên mạch ra.
- U_{EB} gọi là điện áp trên mạch vào
- U_{CB} gọi là điện áp trên mạch ra

Mối quan hệ giữa các dòng điện và điện áp trên các chân cực được mô tả thông qua các họ đặc tuyến tĩnh. Có hai họ đặc tuyến chính là :

- Họ đặc tuyến vào: $U_{EB} = f_1(U_{CB}, I_E)$
- Họ đặc tuyến ra: $I_C = f_2(U_{CB}, I_E)$

□ *Họ đặc tuyến vào:*

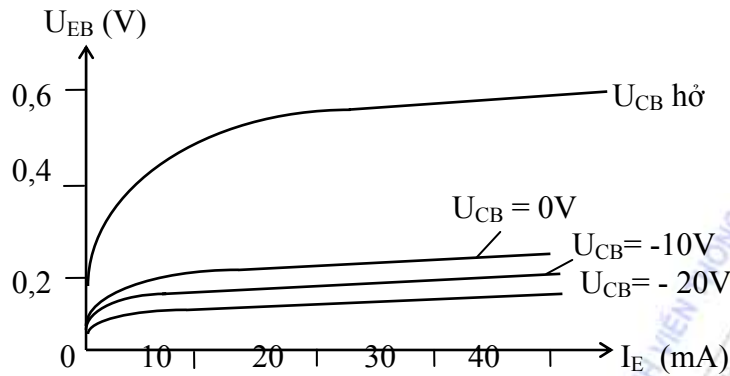
Đặc tuyến vào mô tả mối quan hệ giữa điện áp vào và dòng điện vào như sau:

$$U_{EB} = f_1(I_E) \text{ khi } U_{CB} = \text{const.}$$

Xét trường hợp đối với tranzito lưỡng cực Gecmani loại P-N-P. Khi cực góp hở thì đặc tuyến vào chính là đặc tuyến Vôn-Ampe của tiếp xúc P-N phân cực thuận nên ta có:

$$I_E = I_0 \left(e^{\frac{U_{EB}}{V_T}} - 1 \right)$$

Ta có đường đặc tuyến vào mô tả trong hình 4-11.



Hình 4 - 11: Họ đặc tuyến vào của tranzito gecmani loại P-N-P.

Khi $U_{CB} \leq 0$, đặc tuyến xê dịch rất ít chứng tỏ điện áp trên cực góp ít ảnh hưởng đến dòng điện qua tiếp xúc phát.

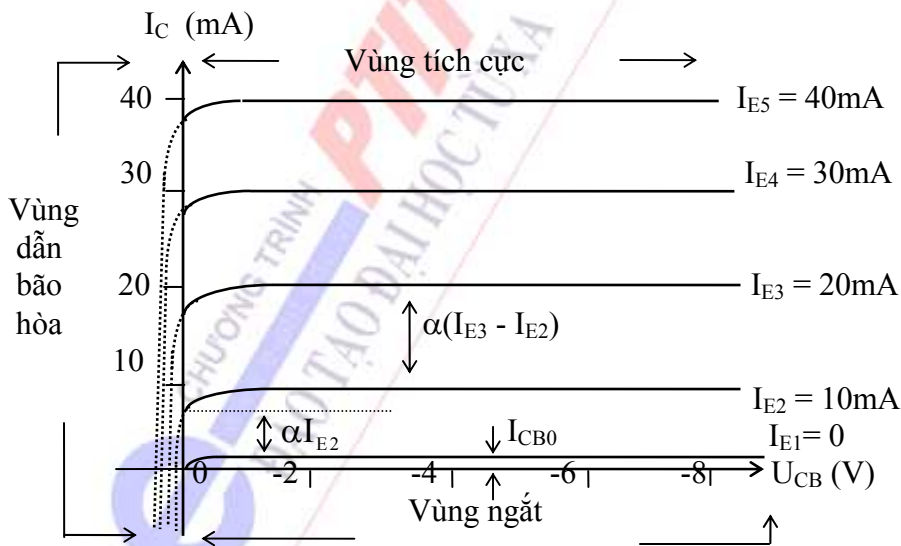
□ *Họ đặc tuyến ra:*

Đặc tuyến ra biểu thị mối quan hệ giữa dòng điện trên mạch cực góp với điện áp trên mạch cực góp. Ta có mối quan hệ sau:

$$I_C = f_2(U_{CB}) \text{ khi } I_E = \text{const.}$$

Biểu thức tính dòng điện trên cực góp I_C như sau:

$$I_C = \alpha I_E + I_{CB0}$$



Hình 4 - 12: Họ đặc tuyến ra của tranzito gecmani loại P-N-P trong sơ đồ mắc cực gốc chung

+ Khi $I_{E1} = 0$ (khi cực phát hở mạch): đặc tuyến ra chính là đặc tuyến Vôn-Ampe của tiếp xúc góp phân cực ngược. Do vậy, dòng điện cực góp $I_C = I_{CB0}$.

+ Khi $I_{E2} > 0$: là khi tiếp xúc phát được phân cực thuận thì dòng điện cực góp sẽ là:

$$I_C = \alpha I_{E2} + I_{CB0}$$

Khi $U_{CB} > 0$ trong khi $U_{EB} > 0$ tranzito làm việc ở chế độ bão hòa nên sẽ có dòng điện thuận của tiếp xúc góp chạy ngược chiều với thành phần dòng điện thuận từ cực phát sang (αI_{E2}), do vậy, dòng điện tổng qua tiếp xúc góp giảm nhanh đến 0 và sau đó tăng nhanh nếu $U_{CB} > 0$ tăng tiếp tục.

□ Các đặc điểm của sơ đồ mắc cực gốc chung:

- Tín hiệu vào và tín hiệu ra đồng pha nhau
- Trở kháng vào Z_V nhỏ khoảng vài chục đến vài trăm Ôm

$$Z_{Vào} = \frac{1}{S} \approx 30 \div 300 \Omega$$

- Trở kháng ra lớn

$$Z_{ra} = R_C = 100 \text{ K}\Omega \div 1 \text{ M}\Omega$$

- Hệ số khuếch đại dòng điện cực phát

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} < 1 \quad (\alpha \approx 0,95 \div 0,999)$$

Như vậy, tranzito trong sơ đồ mắc cực gốc chung không có khuếch đại dòng điện.

- Hệ số khuếch đại điện áp:

$$K_u = \frac{\Delta U_{ra}}{\Delta U_{vao}} = \frac{\Delta I_C Z_{ganh}}{\Delta I_E Z_{vao}} \approx \frac{Z_{ganh}}{Z_{vao}} \quad (4.11)$$

Hệ số khuếch đại điện áp phụ thuộc vào điện trở gánh.

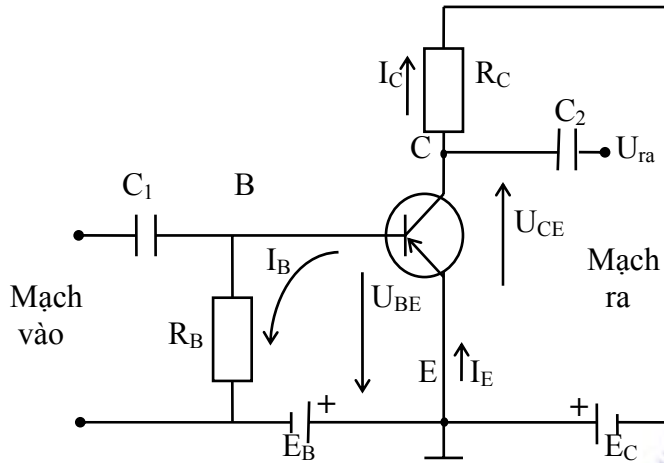
Khi $Z_{gánh} \approx Z_{ra}$ thì K_u có trị số khoảng từ vài trăm ÷ vài nghìn lần.

- Hệ số khuếch đại công suất có thể đạt tới trị số hàng trăm lần.
- Dòng điện rò I_{CB0} nhỏ (khoảng từ vài chục nA đến vài μA đối với tranzito Silic, và đến vài chục μA đối với tranzito Gecmani).
- Tần số làm việc giới hạn cao vì có điện dung thông đường nhỏ.

Sơ đồ mạch mắc cực gốc chung có độ ổn định về nhiệt độ cao và tần số làm việc giới hạn cao. Mạch thường được dùng ở dải tần số làm việc cao như các tầng dao động nội của máy thu thanh, các tầng tiền khuếch đại âm tần của máy tăng âm, hoặc ở tầng khuếch đại công suất đẩy kéo.

4.4.2. Sơ đồ mắc cực phát chung:

Sơ đồ mạch: (Xem hình 4-13)



Hình 4 - 13: Sơ đồ mắc cực phát chung của tranzito loại P-N-P.

Trong sơ đồ mạch gồm có các phần tử sau:

- +/ E_E, E_C - Nguồn điện cung cấp một chiều cho tranzito loại P-N-P.
- +/ R_B - Điện trở định thiên
- +/ R_C - điện trở tải
- +/ Tụ điện C_1 và C_2 là tụ liên lạc.

Các cấu kiện này có nhiệm vụ trong mạch điện tương tự như ở sơ đồ mắc cực gốc chung.

Như vậy, tín hiệu đưa vào giữa cực gốc và cực phát, tín hiệu được lấy ra từ giữa cực góp và cực phát. Do đó, cực phát là chân cực chung của mạch vào và mạch ra và ta có sơ đồ mắc cực phát chung. Chiều của các thành phần dòng điện và điện áp trên các chân cực của tranzito được mô tả ở hình 4-13.

Trong sơ đồ mắc phát chung có dòng vào là I_B , dòng ra là I_C , điện áp vào là U_{BE} , điện áp ra là U_{CE} .

Đặc điểm của sơ đồ mắc cực phát chung:

- Tín hiệu vào và tín hiệu ra ngược pha nhau
- Trở kháng vào nhỏ nhưng lớn hơn so với trở kháng vào trong sơ đồ mắc cực gốc chung:

$$Z_{\text{vào}} = r_{BE} = 200 \div 2000\Omega$$
- Trở kháng ra lớn nhưng nhỏ hơn so với trở kháng ra trong sơ đồ mắc cực gốc chung:

$$Z_{\text{ra}} = R_C // r_{CE} = 20K\Omega \div 100K\Omega$$
- Hệ số khuếch đại dòng điện cực gốc là tỉ số giữa dòng điện ra với dòng điện vào, ta có:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha I_E}{(1-\alpha)I_E} = \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad (4.12)$$

β có trị số từ vài chục ÷ vài trăm lần (còn ký hiệu là h_{FE}).

- Hệ số khuếch đại điện áp:

$$K_u = \frac{\Delta U_{\text{ra}}}{\Delta U_{\text{vao}}} = - S (R_C // r_{CE}) \quad (4.13)$$

K_u có thể đạt tới trị số từ hàng ngàn ÷ chục ngàn lần.

- Hệ số khuếch đại công suất:

$$K_p = \frac{P_{ra}}{P_{vao}}$$

K_u có thể có trị số từ vài ngàn lần đến chục ngàn lần.

- Dòng điện rò cực góp I_{CE0} nhỏ nhưng lớn hơn trong sơ đồ mắc cực gốc chung
- Tần số làm việc giới hạn tương đối cao nhưng thấp hơn so với sơ đồ mắc cực gốc chung vì điện dung thông đường lớn hơn.
- Sơ đồ mạch mắc cực phát chung được sử dụng rộng rãi do có hệ số khuếch đại β , K_u , K_p rất lớn. Đồng thời mạch khá ổn định về nhiệt độ và có tần số làm việc giới hạn khá cao. Ngoài ra, mạch có trở kháng vào và trở kháng ra không chênh lệch nhiều nên trong việc ghép các mạch với nhau, ta có thể dùng kiểu ghép bằng điện trở và tụ điện (ghép RC) rất đơn giản trong tính toán lại đơn giản trong lắp ráp và giá thành rẻ.

Các đặc trưng tĩnh và các tham số trong chế độ tín hiệu nhỏ:

Để nghiên cứu mối quan hệ giữa các dòng điện và điện áp trên các điện cực của tranzito trong sơ đồ mắc cực phát chung, ta có các họ đặc tuyến như sau:

Họ đặc tuyến vào: $U_{BE} = f_1(U_{CE}, I_B)$

Họ đặc tuyến ra: $I_C = f_2(U_{CE}, I_B)$

- *Họ đặc tuyến vào tĩnh:*

Đặc tuyến vào tĩnh mô tả mối quan hệ giữa điện áp vào U_{BE} với dòng điện vào I_B .

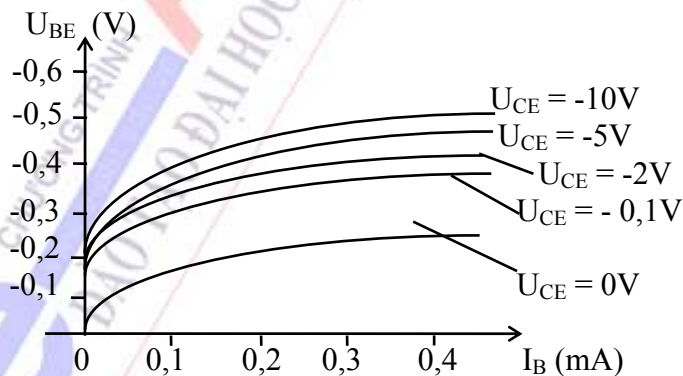
$$U_{BE} = f_1(I_B) \quad \text{khi } U_{CE} = \text{const.}$$

Ta có công thức tính dòng điện vào I_B bằng:

$$I_B = (1 - \alpha)I_E - I_{CB0}$$

và họ đặc tuyến vào được mô tả trong hình (4 - 14)

Do dòng điện I_E tăng theo qui luật hàm số mũ với điện áp U_{BE} nên dòng điện cực gốc I_B cũng sẽ tăng theo qui luật hàm số mũ với điện áp U_{BE} . Trên họ đặc tuyến vào ta thấy điện áp U_{CE} ít ảnh hưởng lên dòng điện I_B .



Hình 4 - 14: Đặc tuyến vào tĩnh của tranzito Ge loại P-N-P trong sơ đồ cực phát chung

- *Họ đặc tuyến ra tĩnh:*

Đặc tuyến ra biểu thị mối quan hệ giữa dòng điện trên mạch ra I_C và điện áp trên mạch ra U_{CE} . Ta có hàm biểu thị quan hệ này:

$$I_C = f(U_{CE}) \quad \text{khi dòng điện vào } I_B = \text{const.}$$

Và công thức tính dòng điện cực góp là:

$$I_C = \alpha I_E + I_{CB0}$$

Thay giá trị $I_E = I_C + I_B$, và biến đổi biểu thức trên, ta có:

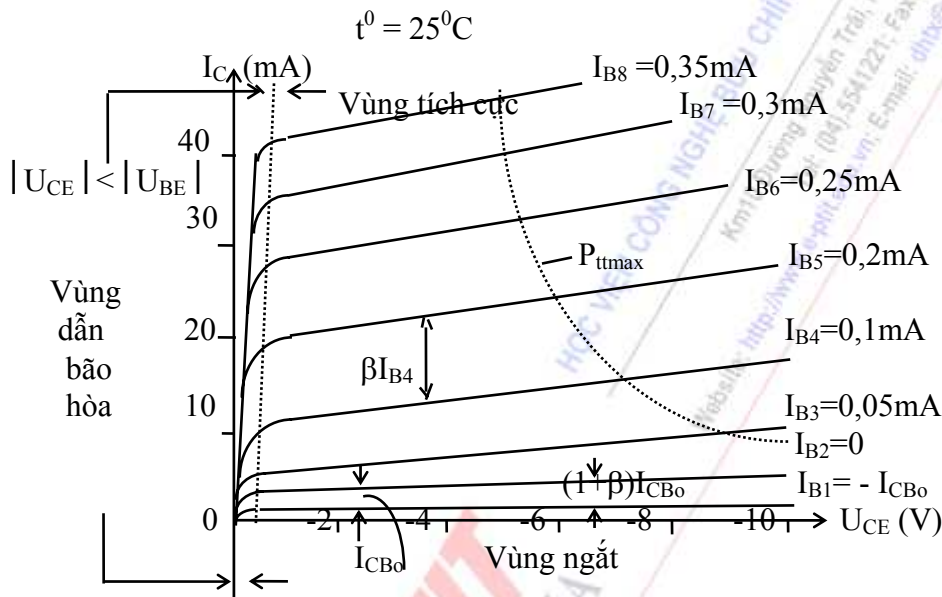
$$I_C = \left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right) I_B + \left(\frac{1}{1-\alpha}\right) I_{CB0} \quad (4.14)$$

Thay $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$, và $\frac{1}{1-\alpha} = \beta + 1$ ta có công thức tính dòng điện cực góp là:

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CB0} \quad (4.15)$$

Trong đó β gọi là hệ số khuếch đại dòng điện cực gốc (thường có ký hiệu là h_{FE}).

Đây là biểu thức biểu thị mối quan hệ giữa dòng điện điều khiển và dòng điện bị điều khiển trong sơ đồ mắc cực phát chung.



Hình 4 - 15: Họ đặc tuyến ra của tranzito gecmani loại P-N-P với nguồn $E_C = 10\text{ V}$ và điện trở $R_C = 500\ \Omega$

Ta thấy dòng điện I_C có giá trị cực tiểu khi cả hai tiếp xúc phát T_E và tiếp xúc góp T_C đều phân cực ngược, dòng điện $I_B = -I_{CB0}$ nên $I_C = I_{CB0}$ và tranzito hoạt động trong vùng ngắt.

Khi $I_B > 0$, dòng điện ra được tính theo công thức:

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CB0} \quad (4.16)$$

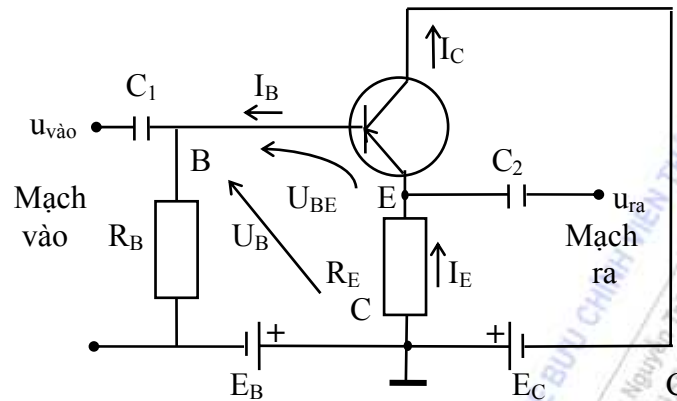
Nếu tăng điện áp trên mạch ra $|U_{CE}|$ lên thì đặc tuyến ra không nằm ngang mà hơi dốc nghiêng. Khi giảm giá trị điện áp trên mạch ra $|U_{CE}| < |U_{BE}|$ thì tiếp xúc góp T_C cũng được phân cực thuận. Lúc này tranzito làm việc ở chế độ bão hòa.

4.4.3. Sơ đồ mắc cực góp chung (hay còn gọi là bộ lặp cực phát):

Sơ đồ mạch mô tả trong hình 4- 16:

Trong sơ đồ gồm có: E_B, E_C - Nguồn cung cấp một chiều; R_B - điện trở định thiên; R_E - điện trở gánh và được mắc ở mạch cực phát; tụ điện C_1, C_2 là tụ liên lạc. Nhiệm vụ của các linh kiện trong mạch cũng giống như ở sơ đồ mắc gốc chung.

Trong mạch, tín hiệu đưa vào giữa cực gốc và cực góp, tín hiệu lấy ra trên R_E đặt giữa cực phát và cực góp, nên cực góp là chân cực chung của mạch vào và mạch ra. Vì vậy, ta có sơ đồ mắc cực góp chung.



Hình 4 - 16: Sơ đồ mắc cực góp chung của tranzito loại P-N-P

Khi cấp nguồn, dòng điện I_E xuất phát từ dương nguồn E_B qua điện trở tải R_E về cực phát và đến lớp tiếp xúc phát T_E . Tại đây, nó chia thành hai thành phần là dòng điện cực gốc I_B chạy qua R_B về đất và thành phần dòng điện cực góp I_C chạy qua cực góp xuống đất.

Đặc điểm của sơ đồ mắc cực góp chung:

- Tín hiệu vào và tín hiệu ra đồng pha
- Trở kháng vào lớn $Z_{vào} = \beta R_E = 20\text{ K}\Omega \div 500\text{ K}\Omega$ (4 . 17)
(có thể tới hàng $M\Omega$)

- Trở kháng ra nhỏ

$$Z_{ra} = R_E // \left(\frac{1}{S} - \frac{R_{nguồn}}{\beta} \right) = 50\Omega \div 5\text{K}\Omega \quad (4 . 18)$$

- Hệ số khuếch đại điện áp:

$$K_u = \frac{\Delta U_{ra}}{\Delta U_{vào}} = \frac{\Delta U_{ra}}{\Delta U_{BC}} = \frac{\Delta U_{BC} - U_{BE}}{\Delta U_{BC}} < 1 \quad (4 . 19)$$

Thông thường ta lấy giá trị $K_u \approx 1$. Mạch mắc cực góp chung không có khuếch đại điện áp.

- Hệ số khuếch đại dòng điện cực gốc:

$$K_i = \frac{I_E}{I_B} = \frac{1}{1 - \alpha} = \beta + 1 \approx \beta \quad (4 . 20)$$

Vì $\beta \gg 1$ nên hệ số khuếch đại dòng điện trong sơ đồ mắc cực góp chung tương đương với hệ số khuếch đại dòng điện của sơ đồ mắc cực phát chung.

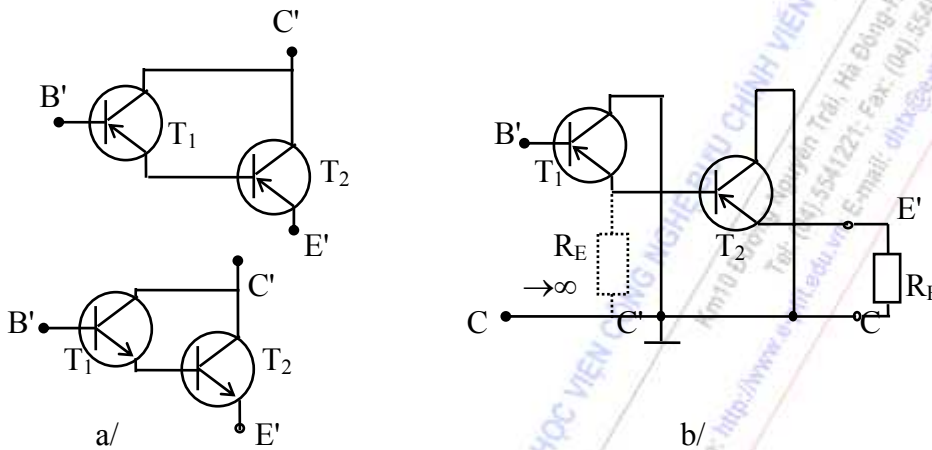
- Hệ số khuếch đại công suất K_p có trị số từ vài chục lần đến vài trăm lần.
- Dòng điện rò có trị số tương đương như ở sơ đồ mắc cực phát chung.
- Tần số làm việc giới hạn cũng có giá trị giống như ở sơ đồ mắc cực phát chung.

Đặc điểm cơ bản của sơ đồ mắc cực góp chung là có trở kháng vào rất lớn và trở kháng ra rất nhỏ ($\frac{Z_{vào}}{Z_{ra}} =$ hàng ngàn lần) nên nó được dùng như một bộ biến đổi trở kháng.

Trên thực tế, sơ đồ mắc góp chung ít được dùng, người ta chỉ sử dụng mạch này để phối hợp trở kháng giữa một mạch có trở kháng ra cao với mạch có trở kháng vào thấp. Các đặc tuyến và tham số của sơ đồ mắc cực góp chung cũng tương tự như ở sơ đồ mắc cực phát chung, do vậy ta sẽ không xem xét thêm nữa.

4.4.4. Sơ đồ Dacling- ton :

Sơ đồ Dacling- ton gồm có 2 tranzito đấu theo kiểu cực góp chung (CC) và nó được coi như một tranzito mới với các chân cực: E' , B' , C' (xem hình 4-17).



Hình 4 - 17: Sơ đồ Dacling- ton: (a). Sơ đồ mạch; (b). Sơ đồ thay thế

Các tham số của sơ đồ:

- Hệ số khuếch đại dòng điện:

$$\beta' = \beta_{T1} * \beta_{T2} \tag{4.21}$$

- Trở kháng vào:

$$Z_{\text{vào}} = r_{B'E'} = 2r_{BE1} = 2\beta' \frac{V_T}{I_{C'}} \tag{4.22}$$

- Độ hỗ dẫn:

$$S' = \frac{I_{C'}}{2V_T} \tag{4.23}$$

- Trở kháng ra:

$$Z_{\text{ra}} = r_{C'E'} = \frac{2}{3} r_{CE2} \tag{4.24}$$

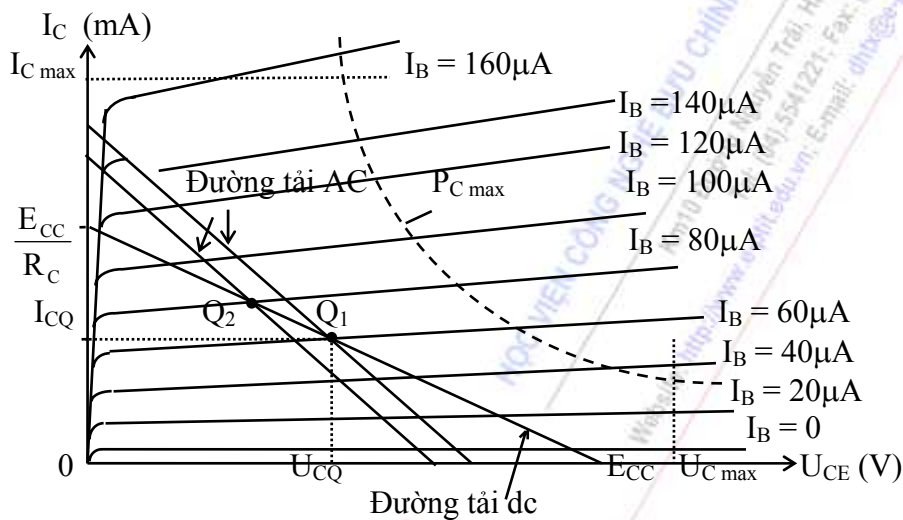
4.5. PHÂN CỰC CHO TRANZITO LƯƠNG CỰC.

4.5.1. Khái niệm phân cực cho các chế độ làm việc của tranzito:

Phân cực cho tranzito là việc cung cấp nguồn điện một chiều vào các chân cực sao cho tranzito làm việc đúng chế độ (ngắt, bão hòa hay tích cực) và các tham số của tranzito không vượt quá các giá trị giới hạn (I_{Cmax} , U_{CEmax} , U_{CBmax} , U_{EBmax} , P_{ttmax} , tần số giới hạn) như chỉ ra ở hình 4-18. Ở chế độ ngắt, ta chỉ cần cấp nguồn điện sao cho hai tiếp xúc P-N của tranzito đều phân cực ngược. Ở chế độ bão hòa, cấp điện sao cho hai tiếp xúc P-N đều phân cực thuận hoặc

sao cho điện áp $U_{CE} = (0,2 \div 0,4)V$. Chỉ ở chế độ tích cực là việc phân cực cho tranzito phức tạp và cần chú ý hơn. Chúng ta sẽ làm quen với một số khái niệm trong việc phân cực cho tranzito như điểm làm việc tĩnh, đường tải một chiều (dc), đường tải xoay chiều (ac)...

Điểm làm việc tĩnh trên các họ đặc tuyến của tranzito là điểm mà tại đó các hàm của tranzito hầu như tuyến tính khi nó làm việc trong vùng chế độ tích cực. Để xác lập điểm làm việc nhất thiết phải cung cấp cho tranzito một nguồn điện áp một chiều và dòng điện một chiều từ bên ngoài. Ta chọn điểm làm việc tĩnh Q sao cho khi tín hiệu xoay chiều thay đổi theo thời gian (u_t) được đặt lên lối vào (cực B) thì trên lối ra (cực C) ta nhận được một tín hiệu (điện áp hoặc dòng điện) có cùng dạng sóng với tín hiệu trên lối vào đó.



Hình 4 - 18: Họ đặc tuyến ra của sơ đồ cực phát chung và các đường tải một chiều (dc) và xoay chiều (ac).

Nếu tín hiệu ra không tái tạo lại một cách trung thực tín hiệu vào thì điểm làm việc đã chọn không thích hợp và cần phải di chuyển đến một vị trí mới trên họ đặc tuyến ra.

□ Các đường tải một chiều (dc) và xoay chiều (ac):

Giả sử rằng chúng ta chọn điện trở R_C sao cho đường tải một chiều (dc) như chỉ ra trong hình vẽ 4-18 và nếu $R_{tái} = \infty$ ta có thể chọn điểm làm việc tĩnh Q_1 ở trung tâm của đường tải dc với các giá trị điện áp và dòng tĩnh là U_{CQ} , I_{CQ} và I_{BQ} . Nếu $R_{tái} \neq \infty$ thì ta có một đường tải xoay chiều (ac) đáp ứng cho một tải là $R'_{tái} = R_{tái} // R_C$ được vẽ đi qua điểm làm việc Q_1 .

Khi có tín hiệu xoay chiều đưa đến lối vào và trên mạch ra có đầu tải, thì điểm làm việc động sẽ xoay xung quanh điểm làm việc tĩnh Q và các giá trị dòng điện xoay chiều và điện áp xoay chiều sẽ dao động xung quanh giá trị dòng điện và điện áp một chiều đó.

Để phân cực cho các tranzito làm việc ta có thể dùng hai nguồn điện một chiều hoặc dùng một nguồn để mạch đơn giản và kinh tế hơn. Thực tế người ta thường dùng một nguồn điện cung cấp và sử dụng các điện trở dẫn điện áp về các chân cực của tranzito để phân cực mà ta hay gọi là mạch định thiên.

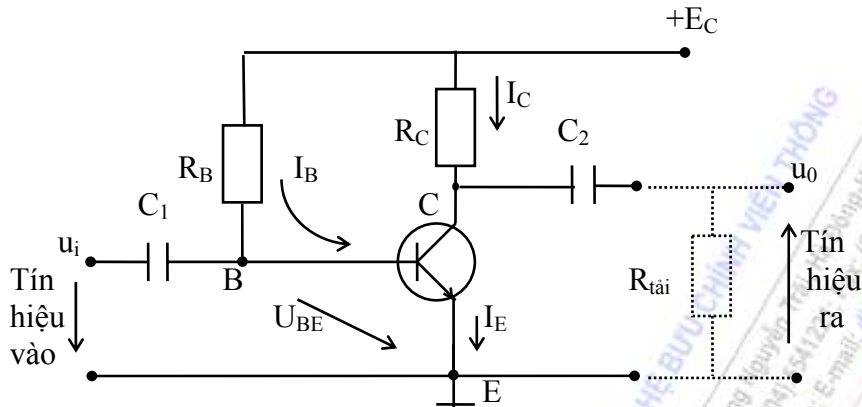
4.5.2. Phân cực kiểu cố định (hay mạch định thiên bằng dòng cực gốc) :

Sơ đồ mạch điện như hình 4-19. Trong sơ đồ dùng tranzito loại N-P-N nên có:

- Điện trở R_B , gọi là điện trở định thiên, được đấu từ dương nguồn E_C về cực gốc để phân cực thuận cho tiếp xúc phát - gốc.

- Điện trở R_C , gọi là tải, có nhiệm vụ dẫn điện áp từ dương nguồn E_C về cực góp sao cho tiếp xúc góp - gốc phân cực ngược.

Dòng điện I_C chạy từ dương nguồn E_C qua R_C về âm nguồn E_C . Dòng điện I_B chạy từ dương nguồn E_C qua R_B về âm nguồn E_C .



Hình 4 - 19: Mạch định thiên cố định

Trên đường tải dc ta chọn điểm làm việc thích hợp với điều kiện tín hiệu đầu vào có giá trị dòng điện cực gốc không vượt quá giá trị dòng điện I_B được tính theo công thức sau:

$$I_B = \frac{E_C - U_{BE}}{R_B} \quad (4.25)$$

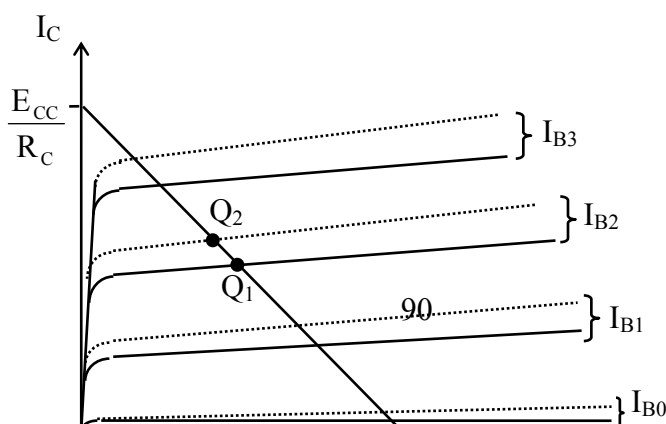
Theo công thức trên, có nguồn điện E_{CC} là cố định, điện áp U_{BE} chọn bằng 0,2V cho tranzito gecmani và 0,6V cho tranzito silic nên dòng I_B là cố định. Trong trường hợp muốn thay đổi dòng điện I_B , tức là thay đổi điểm làm việc tĩnh Q thì ta thay đổi trị số điện trở R_B .

Vì dòng I_B đã chọn là một hằng số nên sơ đồ mạch ở trên (hình 4-19) được gọi là mạch phân cực kiểu cố định hay mạch phân cực nhờ dòng cực gốc. Dòng I_B được gọi là dòng điện định thiên.

□ Độ ổn định của mạch định thiên.

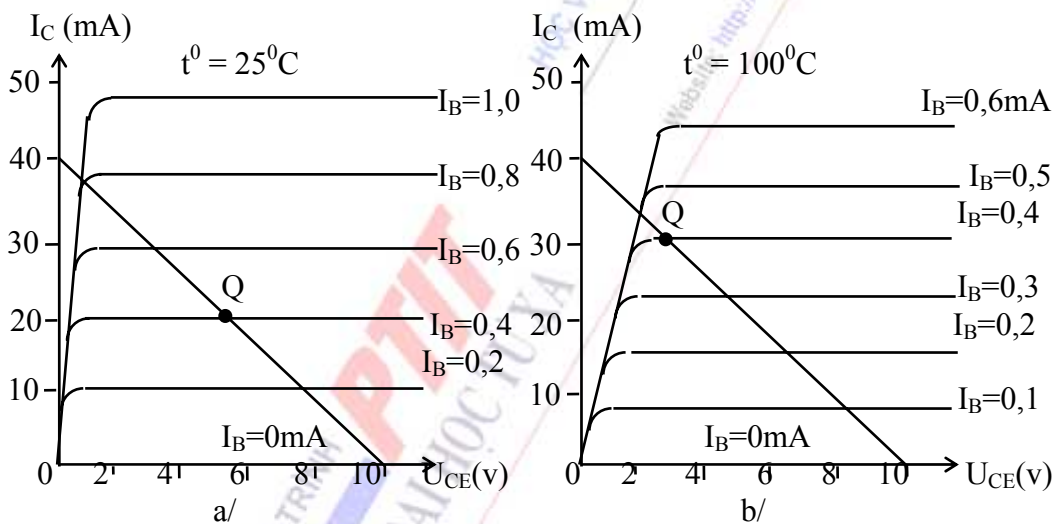
Khi tranzito hoạt động, các tham số của mạch sẽ thay đổi do nhiều nguyên nhân, đặc biệt là do nhiệt độ môi trường thay đổi. Vì vậy, việc ổn định điểm làm việc Q đã chọn là rất cần thiết.

Ta giả thiết rằng tranzito trong hình (4-19) được thay bằng một tranzito khác cùng loại nhưng có hệ số khuếch đại β lớn hơn như chỉ ra trong hình (4-20), và vì I_B giữ không đổi tại I_{B2} bằng mạch phân cực bên ngoài, sẽ dẫn đến việc điểm làm việc Q_1 phải di chuyển đến Q_2 . Điểm làm việc mới này có thể không thỏa mãn hoàn toàn. Đặc biệt nó có thể làm cho tranzito chuyển sang chế độ bão hòa. Lúc này chúng ta phải thay đổi dòng điện I_B để đảm bảo chế độ làm việc cần thiết cho tranzito.



□ **Ổn định nhiệt cho tranzito:**

Vấn đề quan trọng thứ hai gây ảnh hưởng đến sự phân cực của tranzito là sự thay đổi nhiệt độ. Như ta đã biết dòng điện ngược bão hòa I_{CB0} phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ, điều này có thể gây khó khăn cho việc sử dụng tranzito. Ngay cả khi điểm làm việc tĩnh đã được xác định ở vùng chế độ tích cực thì do ảnh hưởng của nhiệt độ nó vẫn có thể chuyển sang chế độ bão hòa. Trong hình (4- 21) chỉ ra họ đặc tuyến ra của tranzito 2N708 tại nhiệt độ $+25^{\circ}\text{C}$ và $+100^{\circ}\text{C}$. Ta thấy rõ rằng hầu như nó làm việc ở chế độ bão hòa tại nhiệt độ $+100^{\circ}\text{C}$ mặc dù nó đã được phân cực ở giữa vùng chế độ tích cực tại $+25^{\circ}\text{C}$.



Hình 4- 21: Họ đặc tuyến ra ở $t^0 = +25^{\circ}\text{C}$ (a) và $+100^{\circ}\text{C}$ (b) của tranzito loại N-P-N 2N708

• **Hệ số ổn định S:**

Hệ số ổn định S là tốc độ thay đổi của dòng điện cực góp so với sự thay đổi của dòng điện ngược bão hòa để giữ cho hệ số khuếch đại β và điện áp U_{BE} không đổi, ta có:

$$S = \frac{\partial I_C}{\partial I_{CB0}} \approx \frac{\Delta I_C}{\Delta I_{CB0}} \quad (4.26)$$

Trong chế độ tích cực, mối quan hệ cơ bản giữa I_C và I_B được cho bởi công thức:

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CB0}$$

Nếu lấy đạo hàm công thức trên theo I_C và xem xét β là hằng số theo I_C , thì ta có:

$$1 = \frac{1 + \beta}{S} + \beta \frac{dI_B}{dI_C}$$

$$S = \frac{1 + \beta}{1 - \beta \left(\frac{dI_B}{dI_C} \right)} \quad (4.27)$$

Đối với sơ đồ mạch định thiên kiểu cố định, I_B không phụ thuộc vào I_C , nên hệ số ổn định được tính:

$$S = \beta + 1 \quad (4.28)$$

Giá trị S càng lớn có nghĩa là mạch càng không ổn định về nhiệt. Theo định nghĩa ở đây thì hệ số ổn định S không thể nhỏ hơn 1.

Muốn duy trì sự ổn định điểm làm việc tĩnh Q ta phải giữ cho dòng điện I_{CQ} và điện áp U_{CEQ} không đổi. Kỹ thuật thường được sử dụng để ổn định điểm làm việc tĩnh có thể phân chia thành 2 loại:

- Kỹ thuật ổn định
- Kỹ thuật bù

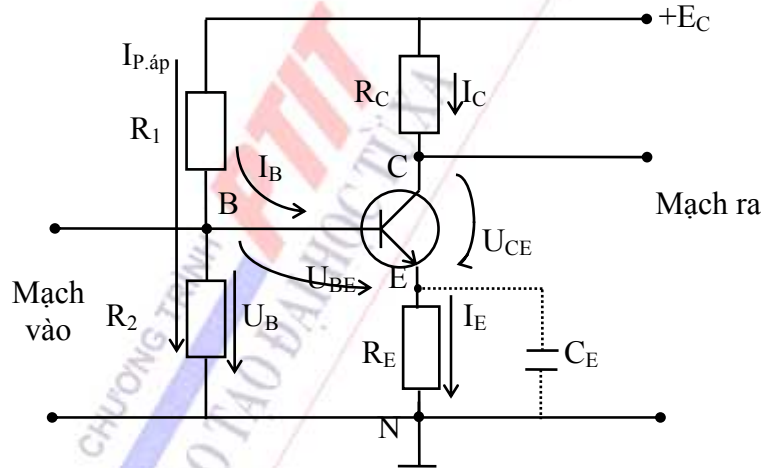
Kỹ thuật ổn định là ta sử dụng các mạch phân cực điện trở mà ở đó cho phép I_B thay đổi sao cho giữ được I_C là không đổi một cách tương đối với sự thay đổi của I_{CBO} , β và U_{BE} .

Kỹ thuật bù là sử dụng các linh kiện nhạy nhiệt như điôt, tranzito, tecmixto, v.v.. Các linh kiện này cung cấp một điện áp bù và dòng điện bù để giữ cho điểm làm việc ổn định.

Trong các phần tiếp theo, kỹ thuật ổn định cho mạch định thiên được thể hiện để sao cho giá trị hệ số S giảm xuống và do đó tạo ra dòng điện cực góp I_C ít phụ thuộc vào dòng điện I_{CBO} .

4.5.3. Mạch định thiên phân áp :

Sơ đồ mạch cho trên hình 4-22.



Hình 4 - 22: Sơ đồ mạch định thiên phân áp

Trong mạch, hai điện trở R_1 và R_2 nối tiếp nhau và đầu trực tiếp giữa hai cực của nguồn cung cấp E_C sẽ tạo nên mạch phân áp, dòng điện phân áp $I_{p. áp}$ chạy qua R_1 và R_2 không phụ thuộc vào sự biến đổi theo nhiệt độ của các dòng điện và điện áp trên các chân cực của tranzito. Do đó, sụt áp do dòng phân áp tạo ra trên R_2 cũng không phụ thuộc vào hoạt động của tranzito.

Điện áp trên cực gốc chính là sụt áp trên điện trở R_2 do dòng điện phân áp tạo nên, vậy ta có:

$$U_B = I_{p. áp} R_2$$

$$U_B = \frac{E_C \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (4.29)$$

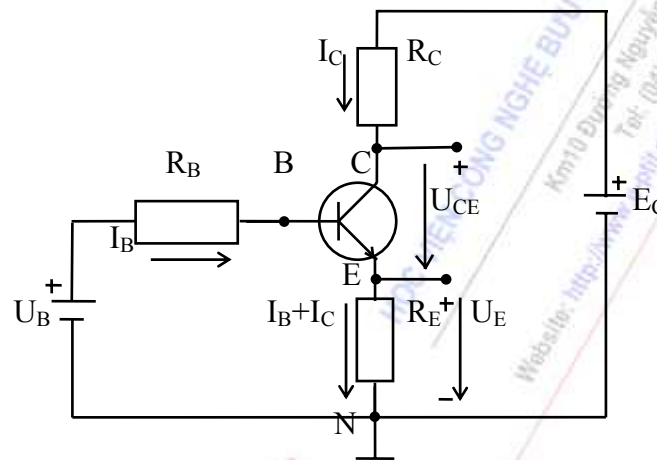
Nếu ta thay sơ đồ mạch phân cực ở hình (4- 22) bằng sơ đồ mạch phân cực dùng hai nguồn cung cấp một chiều là U_B cho mạch cực gốc và E_C cho mạch cực góp như ở hình (4- 23) thì điện trở R_B là điện trở tương đương của hai điện trở R_1 và R_2 mắc song song, ta có:

$$R_B = \frac{R_2 R_1}{R_2 + R_1} \quad (4.30)$$

- *Hệ số ổn định S :*

Trên sơ đồ mạch hình 4- 23, theo định luật điện áp vòng của Kiếc xốp ở mạch cực gốc, ta có:

$$U_B = I_B R_B + U_{BE} + (I_B + I_C)R_E \quad (4.31)$$



Hình 4 - 23: Mạch thay thế tương đương với mạch định thiên phân áp ở hình 4- 22

Nếu xét U_B và U_{BE} không phụ thuộc vào dòng điện I_C , ta có thể tính đạo hàm công thức (4.31) theo I_C để có:

$$\frac{dI_B}{dI_C} = - \frac{R_E}{R_E + R_B} \quad (4.32)$$

Thay (4.32) vào công thức (4.27) kết quả ta có:

$$S = \frac{1 + \beta}{1 + \beta \frac{R_E}{R_E + R_B}} = (1 + \beta) \frac{1 + \frac{R_B}{R_E}}{1 + \beta + \frac{R_B}{R_E}} \quad (4.33)$$

Qua công thức (4.33) ta thấy giá trị R_B càng nhỏ thì độ ổn định càng cao.

- *Phân tích mạch định thiên phân áp:*

+ Nếu giá trị của các linh kiện trong sơ đồ mạch đã cho trước, thì điểm làm việc tĩnh được xác định như sau: Theo định luật Kiết Xốp cho mạch cực góp ta có:

$$- E_C + I_C (R_C + R_E) + I_B R_E + U_{CE} = 0 \quad (4.34)$$

Từ công thức (4.34) ta có thể xác định được điểm làm việc tĩnh Q với các giá trị dòng điện I_C và U_{CE} tương ứng.

+ Nếu các linh kiện trong sơ đồ mạch không cho trước thì việc xác định điểm làm việc tĩnh của tranzito được thực hiện như trường hợp mạch phân cực dùng hai nguồn cung cấp độc lập với các trị số:

$$U_B = \frac{E_C R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{và} \quad R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Giả sử dòng điện $I_B \ll I_{P.áp}$ và coi như $I_B \approx 0$ thì:

$$I_{P.áp} = \frac{E_C}{R_1 + R_2}$$

$$U_E = I_E R_E = U_B - U_{BE} - I_B R_B$$

và dòng điện cực góp là:

$$I_C \approx I_E = \frac{U_B - U_{BE}}{R_E}$$

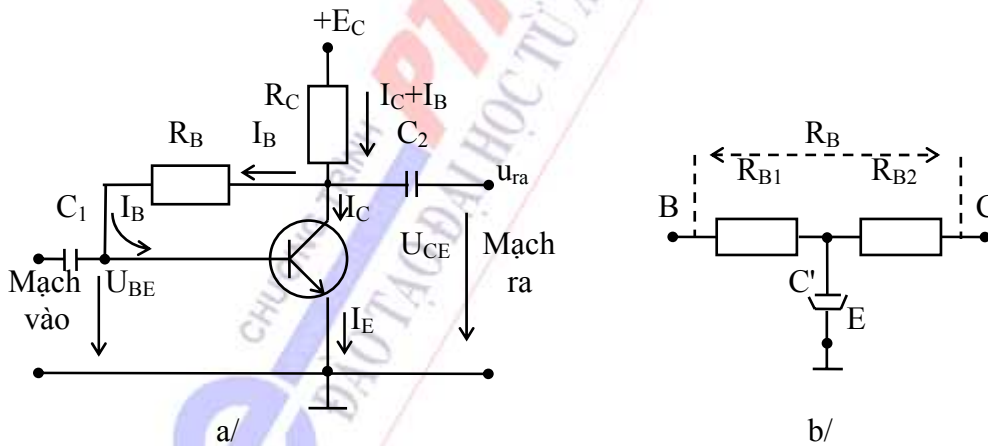
Điện áp giữa cực góp và cực phát là:

$$U_{CE} = E_C - I_C R_C - I_E R_E$$

4.5.4. Mạch phân cực bằng hồi tiếp:

- *Sơ đồ mạch:* Hình 4-24.

Trong sơ đồ, điện trở R_B được gọi là điện trở định thiên hoặc điện trở hồi tiếp. Nó dẫn một phần điện áp từ mạch ra về mạch vào để phân cực cho tiếp xúc phát T_E , và điện áp phân cực là: $U_{BE} = U_{CE} - I_B R_B$.



Hình 4 - 24: a- Sơ đồ mạch định thiên hồi tiếp âm điện áp

Hệ số ổn định S của sơ đồ hình (4-24) được tìm từ phương trình sau:

$$- E_C + (I_B + I_C) R_C + I_B R_B + U_{BE} = 0 \quad (4.35)$$

Từ đó có:

$$I_B = \frac{E_C - I_C R_C - U_{BE}}{R_C + R_B} \quad (4.36)$$

Vì điện áp U_{BE} không phụ thuộc vào dòng điện I_C , do đó ta có:

$$\frac{dI_B}{dI_C} = -\frac{R_C}{R_C + R_B} \quad (4.37)$$

Thay (4.37) vào công thức (4.27), ta được công thức tính hệ số ổn định S:

$$S = \frac{\beta + 1}{1 + \beta \frac{R_C}{R_B + R_C}} \quad (4.38)$$

Giá trị này của hệ số S sẽ nhỏ hơn $(\beta + 1)$ trong sơ đồ mạch định thiên kiểu cố định, vì vậy đã cải thiện được hệ số ổn định của mạch.

- *Phân tích sơ đồ mạch:*

Nếu giá trị của các linh kiện trong sơ đồ mạch đã được biết, thì điểm làm việc tĩnh Q được xác định như sau:

Ứng với mỗi một giá trị của dòng điện I_B đã cho, ta có thể tính được điện áp trên cực góp theo công thức sau:

$$U_{CE} = I_B R_B + U_{BE} \quad (4.36)$$

Dòng điện cực góp I_C có thể xác định bằng công thức:

$$I_C = \frac{\beta [E_C - U_{BE} + (R_C + R_B) I_{CB0}]}{\beta R_C + R_B} \quad (4.37)$$

- *Phương pháp loại bỏ hiện tượng hồi tiếp thành phần tín hiệu:*

Theo sơ đồ mạch định thiên bằng hồi tiếp âm điện áp này, thì trên điện trở R_B không chỉ có thành phần một chiều được hồi tiếp mà có cả thành phần xoay chiều của tín hiệu. Để khắc phục hiện tượng này ta thay điện trở R_B bằng 2 điện trở R_{B1} và R_{B2} đấu nối tiếp với nhau, và điểm nối giữa chúng được đấu qua một tụ điện C' xuống đất (hình 4-24b). Như vậy, tại tần số làm việc thành phần tín hiệu hồi tiếp về sẽ qua tụ C' xuống đất nên không gây ảnh hưởng cho mạch.

Trong bảng 4.1 và 4.2 cho ta biết một số các tham số của tranzito silic và gecmani ở các nhiệt độ khác nhau.

Bảng 4.1: Các tham số của tranzito silic tiêu biểu.

T (°C)	- 65	+25	+175
I _{CB0} (nA)	1,95 . 10 ⁻³	1,0	33.000
β	25	55	100
U _{BE} (V)	0,78	0,60	0,225

Bảng 4.2: Các tham số của tranzito gecmani tiêu biểu.

T (°C)	- 65	+25	+75
I _{CB0} (μA)	1,95 . 10 ⁻³	1,0	32
β	20	55	90
U _{BE} (V)	0,38	0,20	0,10

4.5.5. So sánh 3 phương pháp phân cực

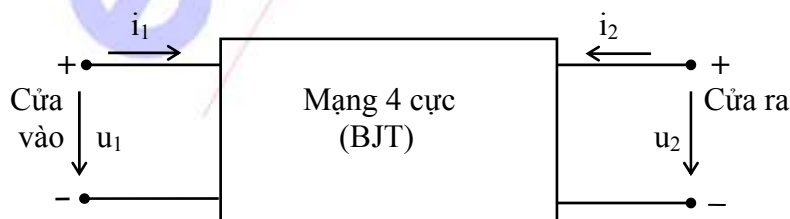
Trong 3 phương pháp phân cực vừa nghiên cứu ta thấy phương pháp phân cực cố định có sơ đồ mạch và tính toán các tham số của mạch đơn giản nhưng độ ổn định điểm làm việc tĩnh của mạch kém nhất. Phương pháp phân cực dùng hồi tiếp đã cải thiện được độ ổn định chế độ làm việc của mạch nhưng do mạch hồi tiếp có thể hồi tiếp cả thành phần tín hiệu, làm hệ số khuếch đại của mạch giảm. Đồng thời, nếu điện trở R_C có trị số nhỏ thì hầu như mạch không cải thiện được độ ổn định so với phương pháp cố định. Phương pháp phân cực phân áp là phương pháp có độ ổn định tốt nhất, ngay cả khi điện trở R_C = 0. Do vậy đây là phương pháp được sử dụng nhiều nhất.

4.6. SƠ ĐỒ TƯƠNG ĐƯƠNG CỦA BJT Ở CHẾ ĐỘ KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ TẦN SỐ THẤP.

Để giải các bài toán có liên quan đến các linh kiện tích cực, ta phải đưa chúng về các dạng mạch điện tương đương. Có nhiều khả năng xây dựng sơ đồ mạch tương đương, ở đây chúng ta sẽ xem xét một sơ đồ thông dụng nhất đó là sơ đồ tương đương kiểu hỗn hợp.

4.6.1. Sơ đồ mạng 4 cực dùng cho BJT.

Hình 4-25 biểu diễn một mạng 4 cực dùng cho tranzito lưỡng cực: trên mạch vào có dòng điện vào i_1 và điện áp vào u_1 ; trên mạch ra có dòng điện ra i_2 và điện áp ra u_2 . Chúng ta có thể chọn 2 trong 4 đại lượng này là các biến độc lập và biểu diễn 2 biến còn lại theo các biến độc lập đã chọn.

**Hình 4 - 25:** Mạng 4 cực

Nếu chọn dòng điện i_1 và điện áp u_2 là các biến độc lập và nếu 2 mạch vào và ra là tuyến tính thì ta có thể viết:

$$u_1 = h_{11} i_1 + h_{12} u_2 \quad (4.38)$$

$$i_2 = h_{21} i_1 + h_{22} u_2 \quad (4.39)$$

Các đại lượng h_{11} , h_{12} , h_{21} , h_{22} được gọi là các tham số h hoặc các tham số hỗn hợp vì tất cả chúng không có cùng thứ nguyên.

Từ các công thức (4.38) và (4.39) ta xác định các tham số h như sau:

$$h_{11} = \left. \frac{u_1}{i_1} \right|_{u_2=0} \quad : \text{Trở kháng vào khi ngắn mạch ra } (\Omega).$$

$$h_{12} = \left. \frac{u_1}{u_2} \right|_{i_1=0} \quad : \text{Độ khuếch đại điện áp nghịch đảo}$$

(không thứ nguyên).

$$h_{21} = \left. \frac{i_2}{i_1} \right|_{u_2=0} \quad : \text{Hệ số khuếch đại dòng điện.}$$

(không thứ nguyên).

$$h_{22} = \left. \frac{i_2}{u_2} \right|_{i_1=0} \quad : \text{Độ hở dẫn lối ra khi hở mạch vào (mA/V).}$$

Ký hiệu: Các ký hiệu thêm vào dưới đây được qui ước theo tiêu chuẩn của IEEE:

$i = 11 =$ đầu vào

$o = 22 =$ đầu ra

$f = 21 =$ truyền dẫn thuận

$r = 12 =$ truyền dẫn ngược

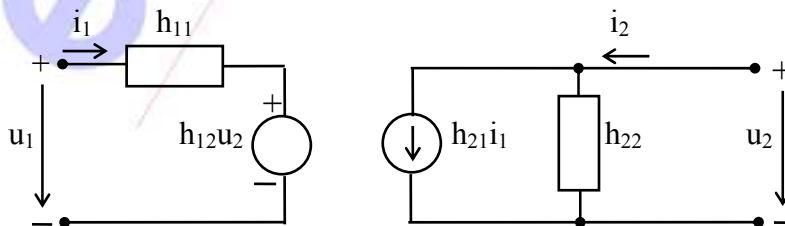
Trong trường hợp của tranzito, có thêm các ký hiệu (b, e, hoặc c) vào để chỉ các kiểu sơ đồ mắc tranzito. Ví dụ:

$h_{ib} = h_{11b} =$ Trở kháng vào ở sơ đồ mắc góc chung.

$h_{fe} = h_{21e} =$ Hệ số khuếch đại thuận dòng điện ngắn mạch trong sơ đồ mắc cực phát chung.

Vì linh kiện mô tả bằng công thức (4.38) và (4.39) được giả thiết là không chứa các phần tử kháng, nên 4 tham số h_{11} , h_{12} , h_{21} , h_{22} là các số thực và các điện áp cũng như dòng điện u_1 , u_2 , i_1 , i_2 là các hàm của thời gian.

Mạch hỗn hợp cho một linh kiện bất kỳ đặc trưng bằng công thức (4.38) và (4.39) được biểu diễn ở hình 4-26.



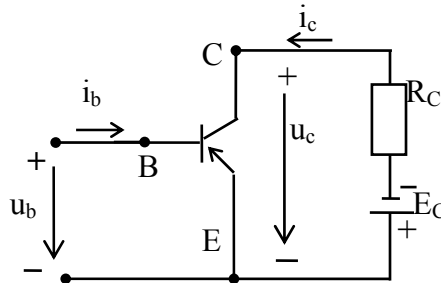
Hình 4 - 26: Sơ đồ tương đương hỗn hợp cho mạng 2 cửa của hình (4-25).

Các tham số h_{21} và h_{12} không có thứ nguyên.

4.6.2. Sơ đồ vật lý tương đương của BJT.

Mô hình tương đương của tranzito ở đây được cho trong mối quan hệ của các tham số h. Các tham số h đã được các nhà sản xuất xác định cho các tranzito.

Để nhận được mô hình tương đương hỗn hợp cho tranzito, ta nghiên cứu sơ đồ mắc cực E chung như hình 4- 27.



Hình 4 - 27: Mạch mắc cực E chung đơn giản.

Các biến i_b , i_c , u_b , và u_c biểu thị tổng các dòng điện và điện áp tức thời. Ở đây ta chọn dòng điện i_b và điện áp u_c là các biến độc lập và u_b , i_c là các hàm như sau:

$$u_b = f_1(i_b, u_c) \tag{4.40}$$

$$i_c = f_2(i_b, u_c) \tag{4.41}$$

Mở rộng công thức (4.40) và (4.41) bao quanh điểm làm việc tĩnh I_B , U_C , tương tự ta có:

$$\Delta u_B = \left. \frac{\partial f_1}{\partial i_B} \right|_{U_C} \Delta i_B + \left. \frac{\partial f_1}{\partial u_C} \right|_{I_B} \Delta u_C \tag{4.42}$$

$$\Delta i_C = \left. \frac{\partial f_2}{\partial i_B} \right|_{U_C} \Delta i_B + \left. \frac{\partial f_2}{\partial u_C} \right|_{I_B} \Delta u_C \tag{4.43}$$

Như sự biểu thị ở các chỉ số của hai công thức trên, điện áp cực góp U_C hoặc dòng điện cực gốc I_B phải giữ là hằng số.

Các đại lượng Δu_B , Δu_C , Δi_B và Δi_C biểu thị các tín hiệu nhỏ của điện áp và dòng điện trên cực gốc và cực góp. Dựa vào các ký hiệu ta có thể viết:

$$u_b = h_{ie}i_b + h_{re}u_c \tag{4.44}$$

$$i_c = h_{fe}i_b + h_{oe}u_c \tag{4.45}$$

Trong đó: i_b , u_b , u_c và i_c : là dòng điện và điện áp tức thời trên các chân cực B và C của tranzito. Ta có:

$$h_{ie} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial i_B} \right|_{U_C} = \left. \frac{\partial u_B}{\partial i_B} \right|_{U_C} \qquad h_{re} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial u_C} \right|_{I_B} = \left. \frac{\partial u_B}{\partial u_C} \right|_{I_B} \tag{4.46}$$

$$h_{fe} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial i_B} \right|_{U_C} = \left. \frac{\partial i_C}{\partial i_B} \right|_{U_C} \qquad h_{oe} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial u_C} \right|_{I_B} = \left. \frac{\partial i_C}{\partial u_C} \right|_{I_B} \tag{4.47}$$

Xuất phát từ công thức (4.46) và (4.47) ta xác định các tham số h của tranzito trong sơ đồ mắc E chung.

- Ba sơ đồ mắc tranzito:

Trong bảng 4.3 trình bày tóm tắt ba cách mắc tranzito cùng các sơ đồ tương đương hỗn hợp và các công thức tính dòng điện i và điện áp u thích hợp với từng sơ đồ.

Mạch điện và công thức trong bảng (4.3) có giá trị cho cả tranzito loại N-P-N và cả P-N-P và không phụ thuộc vào loại của tải hoặc cách phân cực.

Bảng 4.3: Các cách mắc tranzito và mô hình tương đương hỗn hợp của chúng

Sơ đồ mạch	Mô hình tương đương hỗn hợp	Công thức u, i
		<p>CE</p> $u_b = h_{ie} i_b + h_{re} u_c$ $i_c = h_{fe} i_b + h_{oe} u_c$
		<p>CC</p> $u_b = h_{ic} i_b + h_{rc} u_e$ $i_e = h_{fc} i_b + h_{oc} u_e$
		<p>CB</p> $u_e = h_{ib} i_e + h_{rb} u_c$ $i_c = h_{fb} i_e + h_{ob} u_c$

a. Các công thức biến đổi các tham số h giữa ba cách mắc của tranzito:

Bảng 4.4: Các công thức chuyển đổi gần đúng cho các tham số h của tranzito
(Các số liệu cho trong bảng là đối với một tranzito tiêu chuẩn).

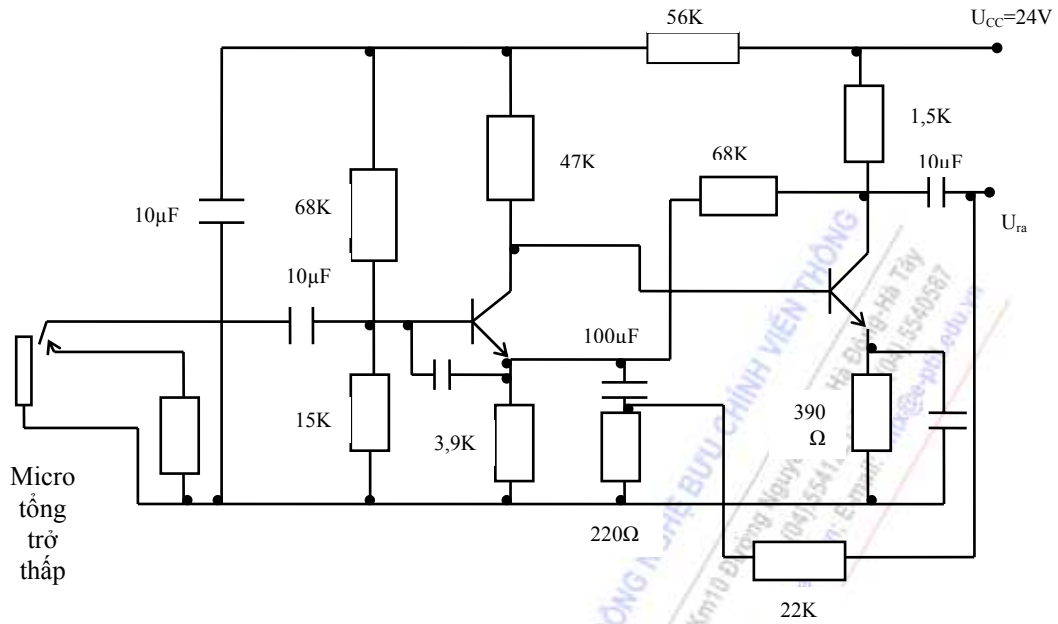
	CE	CC	CB
h_{ie}	1100 Ω	h_{ic}	$\frac{h_{ib}}{1 - h_{fb}}$
h_{re}	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$1 - h_{rc}$	$\frac{h_{ib} h_{ob}}{1 + h_{fb}} - h_{rb}$
h_{fe}	50	$-(1 - h_{fc})$	$-\frac{h_{fb}}{1 + h_{fb}}$
h_{oe}	25 $\mu A/V$	h_{oc}	$\frac{h_{ob}}{1 + h_{fb}}$
h_{ib}	$\frac{h_{ie}}{1 + h_{fe}}$	$-\frac{h_{ic}}{h_{fc}}$	21,6 Ω
h_{rb}	$\frac{h_{ie} h_{oe} - h_{re}}{1 - h_{fe}}$	$h_{rc} - \frac{h_{ic} h_{oc}}{h_{fc}} - 1$	$2,9 \cdot 10^{-4}$
h_{fb}	$-\frac{h_{fe}}{1 + h_{fe}}$	$-\frac{1 + h_{fc}}{h_{fc}}$	- 0,98
h_{ob}	$\frac{h_{oe}}{1 + h_{fe}}$	$-\frac{h_{oc}}{h_{fc}}$	0,49 $\mu A/V$
h_{ic}	h_{ie}	1100 Ω	$\frac{h_{ib}}{1 + h_{fb}}$
h_{rc}	$1 - h_{re} \approx 1$	1	1
h_{fc}	$-(1 + h_{fe})$	- 51	$-\frac{1}{1 + h_{fb}}$
h_{oc}	h_{oe}	25 $\mu A/V$	$\frac{h_{ob}}{1 + h_{fb}}$

4.7. MỘT SỐ ỨNG DỤNG CỦA BJT

Tranzito lưỡng cực là phần tử tích cực được sử dụng rộng rãi trong các mạch điện tử. Chúng được dùng trong hầu hết các mạch điện tử và giữ nhiều chức năng chủ yếu của mạch. Những ứng dụng thông thường của tranzito lưỡng cực là khuếch đại, tạo dao động hình sin, xung, ổn áp, chuyển mạch điện tử... Ở đây ta sẽ xem xét một số ví dụ về ứng dụng của chúng.

- *Khuếch đại:* Tranzito được dùng trong các mạch khuếch đại một chiều (dc), khuếch đại tín hiệu (ac), mạch khuếch đại vi sai, các mạch khuếch đại đặc biệt, mạch ổn áp...

Ví dụ: mạch khuếch đại micro dùng cho máy tăng âm như ở hình 4-28



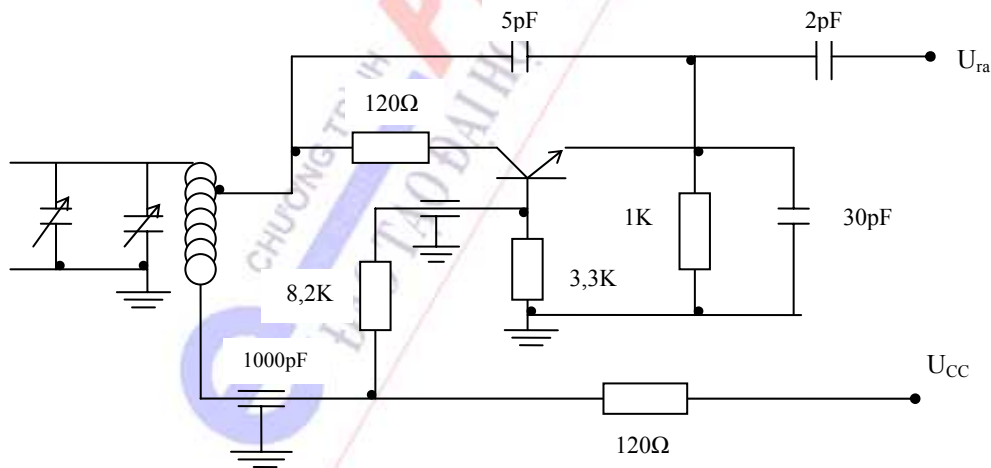
Hình 4 - 28: Mạch khuếch đại dùng BJT - C631A

Trong mạch các điện trở hồi tiếp $R=22K$, $R=68K$ (hồi tiếp từ cực góp T_2 về) và $R=220\Omega$ xác định hệ số khuếch đại của mạch:

$$K_U = \frac{68K // 22K}{220\Omega} = \frac{16,7K}{0,22K} = 75$$

Các điện trở hồi tiếp một chiều $R = 3,9K$ và $R = 68K$ từ T_2 về để ổn định chế độ làm việc của mạch.

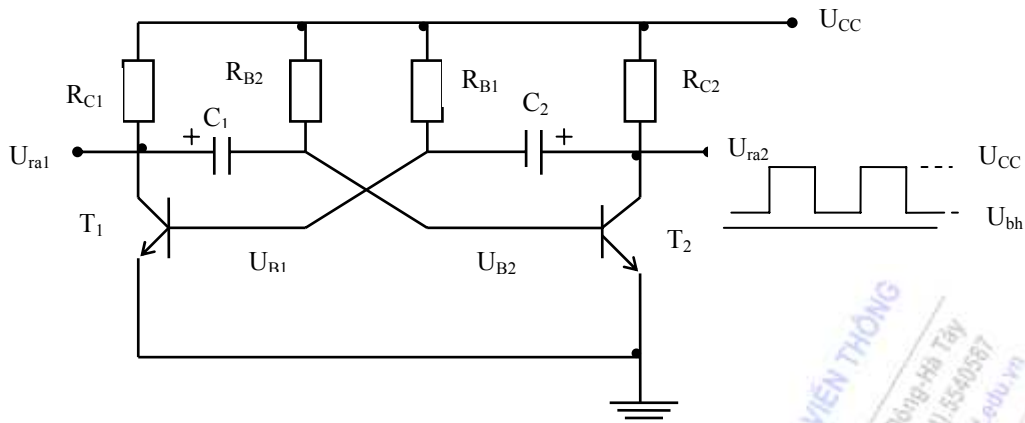
- Mạch tạo dao động sóng hình sin dùng trong radio (Hình 4-29)



Hình 4 – 29: Mạch tạo dao động hình sin dùng BJT-SE3001

Do tần số hoạt động của mạch trên 100MHz nên tranzito được mắc theo sơ đồ cực gốc chung. Khung cộng hưởng gồm có một cuộn cảm và hai tụ điện. tụ điện 5pF là tụ hồi tiếp để duy trì dao động.

- Mạch đa hài:



Hình 4 – 30: Mạch đa hài tự dao động dùng tranzito lưỡng cực

Mạch đa hài tự dao động tạo xung vuông. Trạng thái cân bằng của mạch (một tranzito mở và một tranzito khóa) chỉ ổn định trong một thời gian hạn chế nào đó, rồi tự động lật sang trạng thái kia và ngược lại (hai tranzito thay nhau thông, tắt). Trên lối ra ta lấy được chuỗi xung vuông có tần số dao động được tính gần đúng theo công thức:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,69R_{B2}C_1 + 0,69R_{B1}C_2} \tag{4.48}$$

TÓM TẮT

Chương 4 đã trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của tranzito lưỡng cực (BJT). Tranzito lưỡng cực có 2 tiếp xúc P-N và 3 chân cực là cực phát (E), cực gốc (B) và cực góp (C). Có 2 loại tranzito là P-N-P và N-P-N. Nguyên lý hoạt động của chúng giống nhau chỉ có chiều của nguồn điện cung cấp vào các chân cực của tranzito là ngược dấu nhau.

Tranzito có 3 chế độ làm việc tùy theo sự phân cực cho 2 tiếp xúc P-N: chế độ tích cực, chế độ ngắt, chế độ bão hòa. Chế độ tích cực là khi ta cấp điện một chiều sao cho tiếp xúc phát-gốc phân cực thuận và tiếp xúc góp-phát phân cực ngược. Ở chế độ tích cực, tín hiệu ra biến thiên theo sự biến thiên của tín hiệu vào nên ta còn gọi là chế độ khuếch đại. Tranzito làm việc ở chế độ ngắt là khi ta cấp điện cho các chân cực sao cho 2 tiếp xúc P-N đều phân cực ngược. Ở chế độ ngắt tranzito không dẫn điện, cực góp coi như được nối tắt với nguồn cung cấp và tranzito như một chuyển mạch ở trạng thái hở. Tranzito hoạt động ở chế độ bão hòa khi ta cung cấp điện áp vào các chân cực sao cho cả 2 tiếp xúc P-N đều phân cực thuận. Ở trạng thái này, cực phát và cực góp của tranzito coi như được nối tắt, dòng điện qua tranzito khá lớn, sụt áp giữa cực góp-phát gần bằng không vôn và tranzito như một chuyển mạch ở trạng thái đóng.

Trong chương 4 trình bày về các thành phần dòng điện trong tranzito gồm có: dòng điện cực phát I_E , dòng điện cực góp I_C , dòng điện cực gốc I_B , về các hệ số khuếch đại dòng điện cực phát α và hệ số khuếch đại dòng điện cực gốc β . Đồng thời, trong phần này cũng nêu mối quan hệ giữa các dòng điện thông qua các hệ số khuếch đại:

- + Đối với hệ số α :
 - $I_C = \alpha I_E + I_{CB0}$
 - $I_B = (1 - \alpha) I_E - I_{CB0}$
 - $I_E = I_C + I_B$

+ Đối với hệ số β :

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1)I_{CB0}$$

$$I_B \approx I_C / \beta$$

Chương 4 còn trình bày về 3 cách mắc tranzito trong các sơ đồ mạch khuếch đại là: mạch cực gốc chung, mạch cực phát chung, mạch cực góp chung; về mối quan hệ giữa các dòng điện trên tranzito với điện áp trên các chân cực của nó thông qua các họ đặc tuyến vào và ra. Trong phần này, chúng ta đã xem xét đến các đặc điểm của từng cách mắc và phạm vi ứng dụng của chúng trong các mạch điện tử.

Muốn tranzito làm việc đúng chế độ, các tham số của mạch không vượt quá các giá trị giới hạn thì chúng ta phải xác định điểm làm việc tĩnh cho tranzito và các phương pháp ổn định điểm làm việc đã chọn. Thông thường người ta sử dụng một số phương pháp phân cực cho tranzito như:

- Mạch phân cực cố định: Mạch này đơn giản, dễ tính toán nhưng độ ổn định thấp.
- Mạch phân cực phân áp: Đây là mạch có nhiều ưu điểm nhất so với các phương pháp phân cực khác. Mạch có độ ổn định cao ngay cả khi điện trở tải $R_C = 0$, nên mạch được sử dụng rộng rãi.
- Mạch phân cực dùng hồi tiếp: Mạch đã cải thiện được độ ổn định điểm làm việc tĩnh, nhưng còn hạn chế do điện trở hồi tiếp đưa cả thành phần tín hiệu về mạch vào làm giảm khả năng khuếch đại của mạch.

Trong chương 4 còn đưa ra sơ đồ tương đương hỗn hợp của tranzito trong các mạch khuếch đại và các tham số của nó.

Nhìn chung, chương 4 có nội dung rất quan trọng của chương trình môn học về cấu kiện điện tử vì tranzito lưỡng cực là một cấu kiện chủ đạo của các mạch điện tử khác nhau.

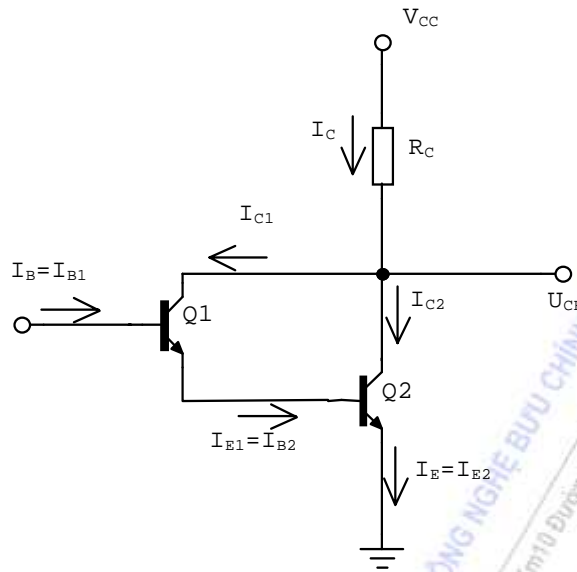
CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Nêu cấu tạo và các ký hiệu của 2 loại tranzito lưỡng cực.
2. Trình bày nguyên lý làm việc của BJT ở chế độ tích cực.
3. Trình bày nguyên lý làm việc của BJT ở chế độ ngắt và chế độ bão hòa.
4. Trình bày về sơ đồ mắc cực gốc chung và các đặc điểm của cách mắc này?
5. Trình bày về cách mắc cực phát chung và đặc điểm của cách mắc này?
6. Trình bày về cách mắc cực góp chung và đặc điểm của sơ đồ này?
7. Trình bày về sơ đồ Darlington.
8. Nêu khái niệm và sự cần thiết của việc phân cực cho tranzito.
9. Trình bày về mạch phân cực cố định.
10. Hãy cho biết về độ ổn định và hệ số ổn định của mạch định thiên cho BJT?
11. Trình bày về mạch phân cực phân áp.
12. Trình bày về mạch phân cực hồi tiếp.
13. Sơ đồ tương đương của BJT ở chế độ khuếch đại tín hiệu nhỏ và các tham số hỗn hợp của mạch.
14. Trình bày nguyên lý làm việc của BJT ở chế độ chuyển mạch và tham số cơ bản của nó.
15. Cho sơ đồ mạch như hình vẽ :

Cho biết $\alpha_1=0,98$, $\alpha_2=0,96$, $V_{cc}=24V$, $R_C=120\Omega$, $I_E=100mA$ Bỏ qua dòng điện ngược bão hoà ($I_{CB0}=0$).

Xác định :

- a. Các dòng điện I_{C1} , I_{B1} , I_{E1} , I_{C2} , I_{B2} .
- b. U_{CE} .



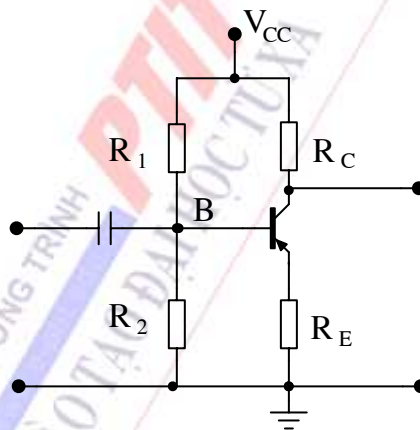
16. Cho sơ đồ mạch và dùng tranzito Gecmani và các giá trị trong mạch :

$V_{CC} = -20V$, $R_C = 2k\Omega$, $R_E = 0,1k\Omega$, $R_1 = 100k\Omega$, $R_2 = 5k\Omega$, $\beta = 50$.

Hãy xác định:

Các dòng điện tĩnh I_B , I_C , I_E và điện áp U_{CE} .

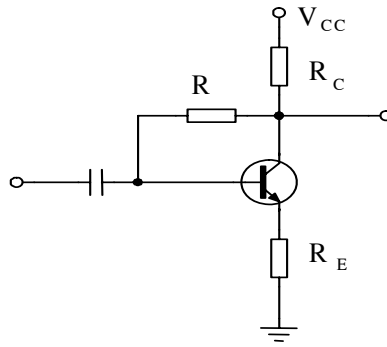
Hệ số ổn định S.



17. Cho sơ đồ mạch như hình vẽ và các giá trị :

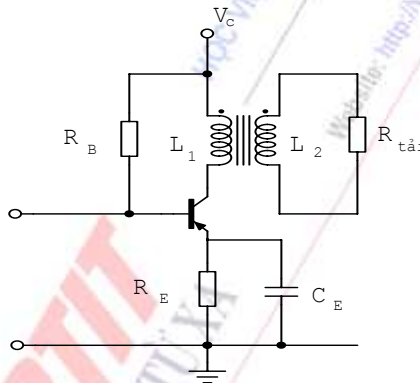
$V_{CC} = 24V$, $R_C = 10k\Omega$, $R_E = 270\Omega$. Tranzito silic có hệ số $\beta = 45$ và làm việc tại điểm làm việc tĩnh là $U_{CE} = 5V$ hãy xác định:

- a. Trị số R
- b. Hệ số ổn định S



18. Cho mạch khuếch đại công suất dùng tranzito loại P-N-P

- Hãy cho biết tranzito được mắc theo cách nào ? Kiểu mạch định thiên ?
- Nêu nhiệm vụ của các linh kiện mắc trong mạch
- Cho biết $V_C = -40V$, $R_E = 5\Omega$, $I_{CBO} = -5mA$, cho dòng điện tĩnh $I_C = -1A$, hệ số khuếch đại dòng $\beta = 100$, điện trở cuộn sơ cấp L_1 là 10Ω . Hãy xác định giá trị R_B và hệ số ổn định S.



- Tranzito lưỡng cực làm việc ở chế độ tích cực thuận khi được phân cực với...
 - hai tiếp xúc P-N đều phân cực ngược
 - hai tiếp xúc P-N đều phân cực thuận
 - tiếp xúc phát phân cực thuận, tiếp xúc góp phân cực ngược
 - tiếp xúc phát phân cực ngược, tiếp xúc góp phân cực thuận
- Tranzito lưỡng cực làm việc ở chế độ ngắt khi nó được phân cực với...
 - hai tiếp xúc P-N đều phân cực ngược
 - hai tiếp xúc P-N đều phân cực thuận
 - tiếp xúc phát phân cực thuận, tiếp xúc góp phân cực ngược
 - tiếp xúc phát phân cực ngược, tiếp xúc góp phân cực thuận
- Ở chế độ khóa điện tử Tranzito lưỡng cực làm việc ở
 - chế độ tích cực và chế độ ngắt;
 - chế độ bão hòa và chế độ tích cực
 - chế độ bão hòa và chế độ ngắt;
 - chế độ tích cực
- Trong sơ đồ mạch khuếch đại, tranzito lưỡng cực làm việc ở
 - chế độ tích cực và chế độ ngắt;
 - chế độ bão hòa và chế độ tích cực
 - chế độ bão hòa và chế độ ngắt;
 - chế độ tích cực

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Giáo trình “Cấu kiện điện tử và quang điện tử”, Trần Thị Cẩm, Học viện CNBCVT, năm 2002.
2. Giáo trình “Kỹ thuật điện tử”, Đỗ Xuân Thu, NXB GD 1997



CHƯƠNG 5 TRANZITO TRƯỜNG (FET)

GIỚI THIỆU CHƯƠNG

Chương 5 giới thiệu về một loại tranzito có nguyên lý làm việc hoàn toàn khác với nguyên lý làm việc của BJT, đó là tranzito hiệu ứng trường viết tắt là FET. Trong FET việc điều khiển dòng điện trên mạch ra do điện áp trên mạch vào quyết định. Trong chương 5 trình bày về cấu tạo và nguyên lý làm việc của các loại tranzito trường: JFET, MOSFET. Trong chương này còn trình bày về các cách mắc và phân cực cho tranzito trường, các sơ đồ tương đương của FET trong mạch khuếch đại tín hiệu nhỏ và chế độ chuyển mạch của nó.

NỘI DUNG.

5.1. GIỚI THIỆU CHUNG VỀ FET.

5.1.1. Nguyên lý hoạt động cơ bản

Khác với tranzito lưỡng cực, hoạt động của tranzito trường dựa trên nguyên lý hiệu ứng trường nghĩa là độ dẫn điện của đơn tinh thể bán dẫn do điện trường bên ngoài điều khiển. Dòng điện trong tranzito trường do một loại hạt dẫn tạo nên: lỗ trống hoặc điện tử nên nó còn được gọi là cấu kiện đơn cực.

Nguyên lý hoạt động cơ bản của tranzito trường là dòng điện đi qua một môi trường bán dẫn có tiết diện dẫn điện thay đổi dưới tác dụng của điện trường vuông góc với lớp bán dẫn đó. Khi thay đổi cường độ điện trường sẽ làm thay đổi điện trở của lớp bán dẫn và do đó làm thay đổi dòng điện đi qua nó. Lớp bán dẫn này được gọi là kênh dẫn điện.

5.1.2. Phân loại:

Tranzito trường có hai loại chính là:

- Tranzito trường điều khiển bằng tiếp xúc P-N (hay gọi là tranzito trường mối nối): Junction field-effect transistor - viết tắt là JFET.
- Tranzito có cực cửa cách điện: Insulated-gate field effect transistor - viết tắt là IGFET. Thông thường lớp cách điện được dùng là lớp oxit nên còn gọi là metal-oxide-semiconductor transistor (viết tắt là MOSFET).

Trong loại tranzito trường có cực cửa cách điện được chia làm 2 loại là MOSFET kênh sẵn và MOSFET kênh cảm ứng.

Mỗi loại FET lại được phân chia thành loại kênh N và loại kênh P.

Tranzito trường có ba chân cực là cực Nguồn ký hiệu là chữ S (source); cực Cửa ký hiệu là chữ G (gate); cực Máng ký hiệu là chữ D (drain).

Cực nguồn (S): cực nguồn mà qua đó các hạt dẫn đa số đi vào kênh và tạo ra dòng điện nguồn I_S .

Cực máng (D): là cực mà ở đó các hạt dẫn đa số rời khỏi kênh.

Cực cửa (G): là cực điều khiển dòng điện chạy qua kênh.

5.1.3. Một số ưu nhược điểm của tranzito trường so với tranzito lưỡng cực:

Một số ưu điểm:

+ Dòng điện qua tranzito chỉ do một loại hạt dẫn đa số tạo nên. Do vậy FET là loại cấu kiện đơn cực (unipolar device).

+ FET có trở kháng vào rất cao.

+ Tiếng ồn trong FET ít hơn nhiều so với tranzito lưỡng cực.

+ Nó không bù điện áp tại dòng $I_D = 0$ và do đó nó là cái ngắt điện tốt.

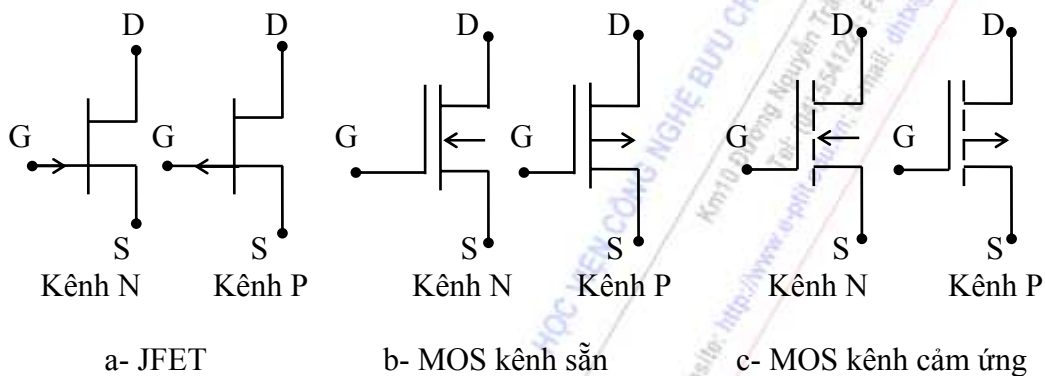
+ Có độ ổn định về nhiệt cao.

+ Tần số làm việc cao.

Một số nhược điểm:

Nhược điểm chính của FET là hệ số khuếch đại thấp hơn nhiều so với tranzito lưỡng cực.

5.1.4. Ký hiệu của FET trong các sơ đồ mạch:



Hình 5-1 : Ký hiệu của các FET trong sơ đồ mạch.

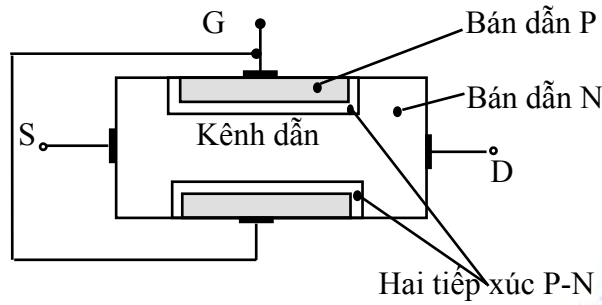
5.2. TRANZITO TRƯỜNG LOẠI ĐIỀU KHIỂN BẰNG TIẾP XÚC P-N. (viết tắt là JFET - Junction Field Effect Transistor)

5.2.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của JFET

a. Cấu tạo của JFET:

Tranzito JFET cấu tạo gồm có một miếng bán dẫn mỏng loại N (gọi là kênh loại N) hoặc loại P (gọi là kênh loại P) ở giữa hai tiếp xúc P-N và được gọi là kênh dẫn điện. Hai đầu của miếng bán dẫn đó được đưa ra hai chân cực gọi là cực máng (ký hiệu là D) và cực nguồn (ký hiệu là S). Hai miếng bán dẫn ở hai bên của kênh được nối với nhau và đưa ra một chân cực gọi là cực cửa (ký hiệu là G). Cho nên, cực cửa được tách khỏi kênh bằng các tiếp xúc P-N.

Các tranzito trường JFET hầu hết đều là loại đối xứng, có nghĩa là khi đầu trong mạch có thể đổi chỗ hai chân cực máng và nguồn cho nhau thì các tính chất và tham số của tranzito không hề thay đổi.



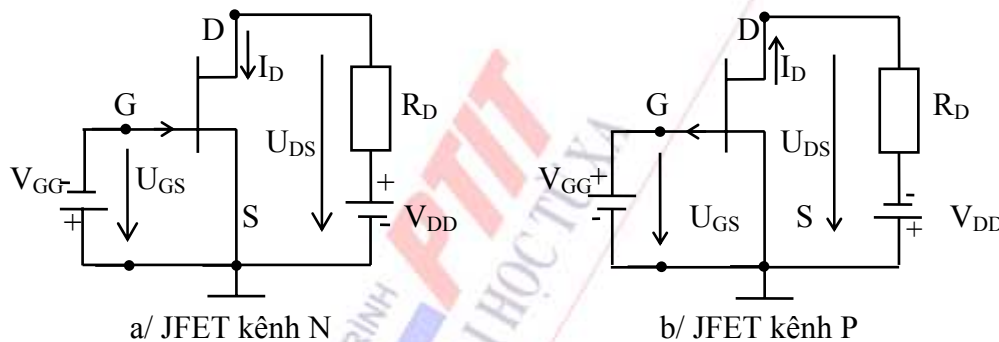
Hình 5-2 : Cấu tạo của tranzito trường loại JFET kênh dẫn loại N.

b. Nguyên lý hoạt động của JFET:

Nguyên lý hoạt động của tranzito trường JFET kênh loại N và kênh loại P giống nhau. Chúng chỉ khác nhau về chiều của nguồn điện cung cấp vào các chân cực.

Để cho tranzito trường làm việc ở chế độ khuếch đại phải cung cấp nguồn điện U_{GS} có chiều sao cho cả hai tiếp xúc P-N đều được phân cực ngược. Còn nguồn điện U_{DS} có chiều sao cho các hạt dẫn đa số chuyển động từ cực nguồn S, qua kênh, về cực máng D để tạo nên dòng điện trong mạch cực máng I_D . Ta có các sơ đồ nguyên lý như hình 5-3.

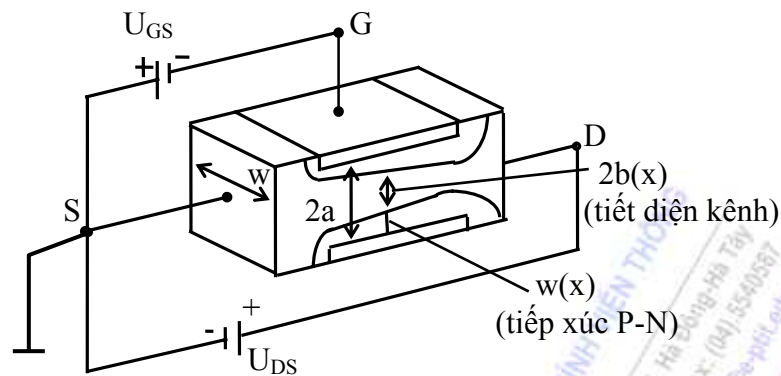
Trong phần này trình bày về nguyên lý hoạt động của tranzito JFET kênh N.



Hình 5-3 : Sơ đồ nguyên lý làm việc của JFET.

Xét sơ đồ hình 5-3(a): Để cho hai tiếp xúc P-N đều phân cực ngược ta phải cung cấp nguồn V_{GG} có cực dương vào chân cực nguồn S, cực âm vào chân cực của G. Để cho các hạt dẫn điện tử chuyển động từ cực nguồn về cực máng thì nguồn điện V_D có chiều dương vào cực máng, chiều âm vào cực nguồn.

Khi $U_{DS} > 0$, thì điện thế tại mỗi điểm dọc theo kênh sẽ tăng dần từ cực nguồn S đến cực máng D. Do vậy, tiếp xúc P-N sẽ bị phân cực ngược mạnh dần về phía cực máng. Bề dày lớp tiếp xúc tăng dần về phía cực máng và tiết diện của kênh sẽ hẹp dần về phía cực máng (xem hình 5-4).



Hình 5-4 : Mô hình đấu nối nguồn cung cấp cho JFET kênh N.

- Xét khả năng điều khiển của điện áp trên cực cửa U_{GS} đối với dòng điện I_D và đặc tuyến truyền đạt của FET:

Muốn xét khả năng điều khiển dòng điện I_D của điện áp trên cực phải đặt lên cực máng một điện áp $U_{DS1} > 0$ và giữ cố định.

Khi điện áp trên cực cửa $U_{GS} = 0V$, hai tiếp xúc P-N sẽ được phân cực ngược mạnh dần từ cực nguồn về phía cực máng, và do đó kênh cũng sẽ hẹp dần về phía cực máng. Tuy nhiên, ở trường hợp này, tiết diện của kênh là lớn nhất nên dòng điện chạy qua kênh là lớn nhất, ký hiệu là I_{D0} .

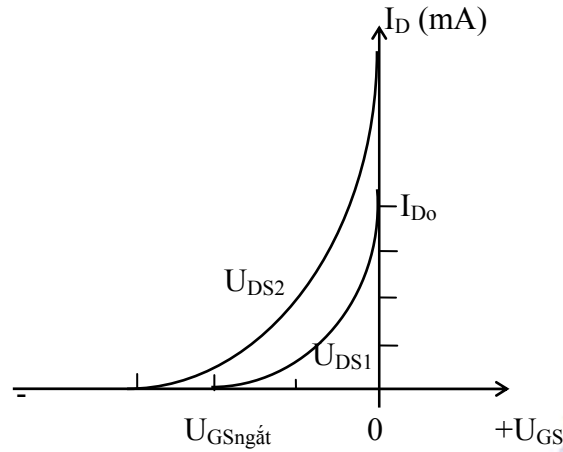
Khi đặt điện áp trên cực cửa có trị số âm ($U_{GS} < 0$), thì tiếp xúc P-N được phân cực ngược càng mạnh hơn, và tiết diện của kênh càng hẹp lại, điện trở của kênh càng tăng, kéo theo dòng điện I_D giảm xuống. Khi điện áp trên cực cửa giảm xuống đến một trị số gọi là điện áp ngắt: $U_{GS} = U_{GSngắt}$ thì hai lớp tiếp xúc P-N phủ trùm lên nhau và kênh hoàn toàn biến mất, dòng điện chạy qua kênh bằng 0 ($I_D = 0$).

Quan hệ giữa dòng điện I_D với điện áp U_{GS} thể hiện bằng đường đặc tuyến điều khiển hay còn gọi là đặc tuyến truyền đạt và có hàm là $I_D = f(U_{GS})$ khi U_{DS} không đổi.

Dòng điện I_D được tính bằng công thức Shockley:

$$I_D = I_{D0} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GSngắt}} \right)^2 \quad (5.1)$$

Đây là một phương trình bậc 2 và biểu diễn bằng đường cong có dạng parabol, ta có đặc tuyến truyền đạt như mô tả trong hình (5-5).



Hình 5-5 : Đặc tuyến truyền đạt của JFET kênh loại N.

Đặt hệ số
$$K = \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GSngat}} \right)^2$$
 ta có thể viết lại công thức (5.1) như sau:

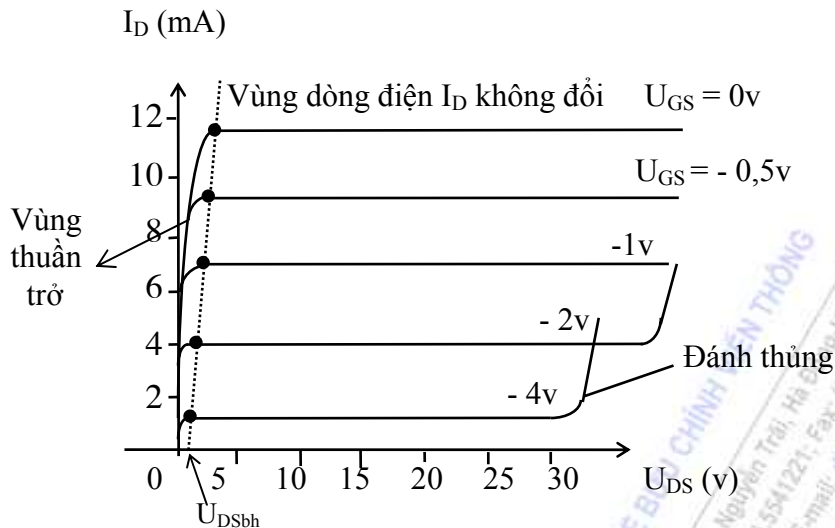
$$I_D = K I_{D0} \tag{5.2}$$

□ Đặc tuyến ra của JFET.

Đặc tuyến ra chỉ mối quan hệ giữa dòng điện I_D và điện áp máng U_{DS} .

Đối với JFET kênh loại N, đặt một trị số $U_{GS} \leq 0$ (giả sử đặt $U_{GS} = U_{GS1} < 0$) và giữ cố định, sau đó thay đổi trị số điện áp U_{DS} . Khi điện áp $U_{DS} = 0V$ thì hai tiếp xúc P-N được phân cực ngược đồng đều từ cực nguồn đến cực máng, tiết diện của kênh là lớn nhất nhưng dòng điện bằng 0 ($I_D = 0$). Đặt $U_{DS} > 0$ và có giá trị nhỏ, điện thế tại mỗi điểm dọc theo kênh sẽ tăng dần từ cực nguồn đến cực máng, làm cho tiếp xúc P-N được phân cực ngược mạnh dần về phía cực máng, đồng thời, các hạt dẫn điện tử sẽ chuyển động về cực máng tạo nên dòng điện cực máng I_D . Tăng dần điện áp U_{DS} cho càng dương hơn, hai tiếp xúc P-N càng được phân cực ngược mạnh hơn về phía cực máng, tiết diện của kênh càng bị hẹp dần về phía cực máng, nhưng dòng điện I_D lại càng tăng và tăng tuyến tính với sự tăng của điện áp U_{DS} . Ta có đoạn đặc tuyến dốc đứng gọi là vùng thuần trở.

Khi điện áp U_{DS} tăng đến trị số mà tại đó hai tiếp xúc P-N chạm nhau, tạo ra "điểm thắt" của kênh, thì trị số điện áp đó ta gọi là điện áp U_{DS} bão hòa (U_{DSbh}) hay còn gọi là điện áp "thắt". Lúc này dòng điện I_D đạt tới trị số dòng điện bão hòa I_{Dh} . Nếu tiếp tục tăng điện áp cực máng càng dương hơn thì cường độ dòng điện I_D không tăng nữa mà chỉ có tiếp xúc P-N được phân cực ngược mạnh hơn và chúng trùm phủ lên nhau làm cho một đoạn kênh bị lấp và chiều dài của kênh bị ngắn lại. Lúc này, quan hệ giữa dòng điện I_D với điện áp U_{DS} không theo định luật Ôm nữa, I_D gần như không đổi khi điện áp U_{DS} tiếp tục tăng, ta có vùng dòng điện I_D không đổi.



Hình 5-6 : Họ đặc tuyến ra của JFET kênh loại N.

Nếu tăng trị số điện áp U_{DS} lên quá cao có thể xảy ra hiện tượng đánh thủng tiếp xúc P-N và dòng điện I_D sẽ tăng vọt lên gọi là vùng đánh thủng.

Thay đổi trị số điện áp trên cực cửa và thực hiện lại các bước như trên sẽ thu được họ đặc tuyến ra như mô tả trong hình 5- 6.

5.2.2. Các cách mắc của JFET trong sơ đồ mạch

Như các tranzito lưỡng cực, tranzito trường cũng có 3 cách mắc trong các sơ đồ mạch khuếch đại là: sơ đồ mắc cực nguồn chung, sơ đồ mắc cực máng chung, sơ đồ mắc cực cửa chung.

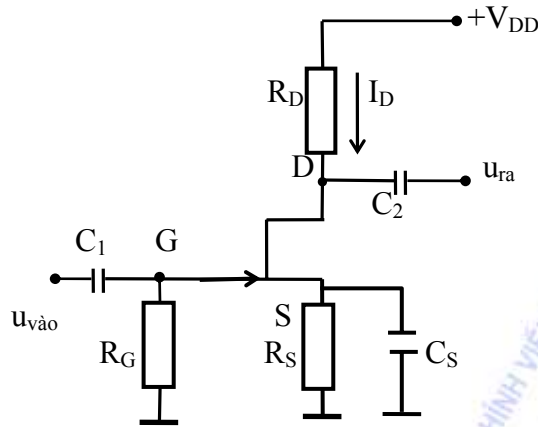
a. Sơ đồ cực nguồn chung:

Trong sơ đồ hình (5-7), nguồn cung cấp một chiều V_{DD} , điện trở định thiên R_G , tải R_D . Sơ đồ mắc cực nguồn chung giống như sơ đồ mắc cực phát chung đối với các tranzito lưỡng cực, có điểm khác là dòng vào I_G thực tế bằng 0 và trở kháng vào rất lớn.

Đặc điểm của sơ đồ cực nguồn chung:

- Tín hiệu vào và tín hiệu ra ngược pha nhau.
- Trở kháng vào rất lớn $Z_{vào} = R_{GS} \approx \infty$
- Trở kháng ra $Z_{ra} = R_D // r_d$
- Hệ số khuếch đại điện áp $\mu \approx S r_d > 1$

Đối với tranzito JFET kênh N thì hệ số khuếch đại điện áp khoảng từ 150 lần đến 300 lần, còn đối với tranzito JFET kênh loại P thì hệ số khuếch đại chỉ bằng một nửa là khoảng từ 75 lần đến 150 lần.



Hình 5- 7: Sơ đồ mắc cực nguồn chung của JFET kênh loại N

b. Sơ đồ mắc cực máng chung:

Sơ đồ mạch mô tả trong hình 5-8. Sơ đồ mắc cực máng chung giống như sơ đồ mắc cực góp chung của tranzito lưỡng cực. Tải R_S được đấu ở mạch cực nguồn và sơ đồ còn được gọi là mạch lặp cực nguồn.

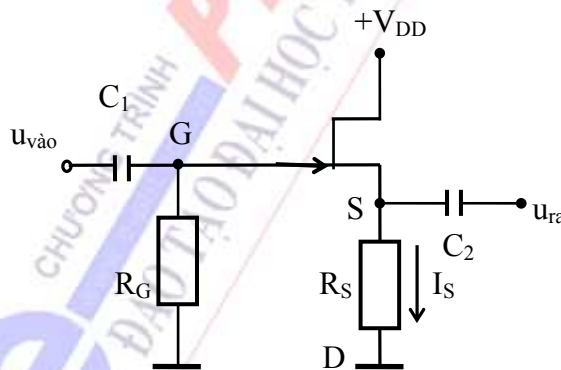
Đặc điểm của sơ đồ này có:

- Tín hiệu vào và tín hiệu ra đồng pha nhau.
- Trở kháng vào rất lớn

$$Z_{vào} = R_{GD} = \infty$$

- Trở kháng ra rất nhỏ $Z_{ra} = R_S // \frac{1}{g_m}$

- Hệ số khuếch đại điện áp $\mu < 1$



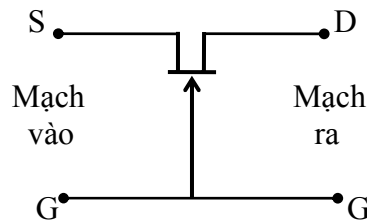
Hình 5-8 : Sơ đồ mắc cực máng chung của JFET kênh loại N

Sơ đồ cực máng chung được dùng rộng rãi hơn, cơ bản là do nó giảm được điện dung vào của mạch, đồng thời có trở kháng vào rất lớn. Sơ đồ này thường được dùng để phối hợp trở kháng giữa các mạch.

c. Sơ đồ mắc cực cửa chung:

Sơ đồ này theo nguyên tắc không được sử dụng do có trở kháng vào nhỏ, trở kháng ra lớn.

Sơ đồ mạch nguyên lý trong hình 5-9:



Hình 5-9 : Sơ đồ mắc cực cửa chung của JFET kênh N.

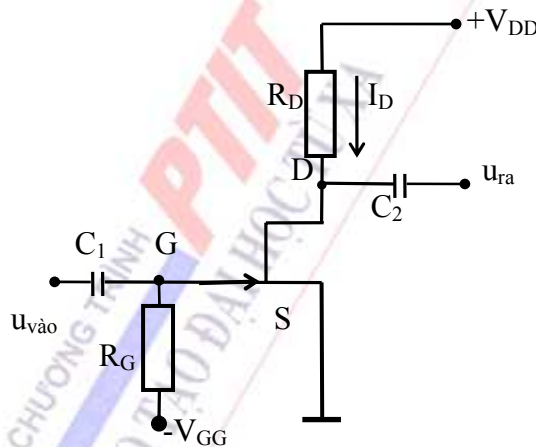
5.2.3. Phân cực cho JFET

Giống như tranzito lưỡng cực, tranzito trường cũng có các cách phân cực như: phân cực cố định, phân cực phân áp và phân cực hồi tiếp.

a. Phân cực cố định.

Sơ đồ phân cực cố định mô tả trong hình (5-10):

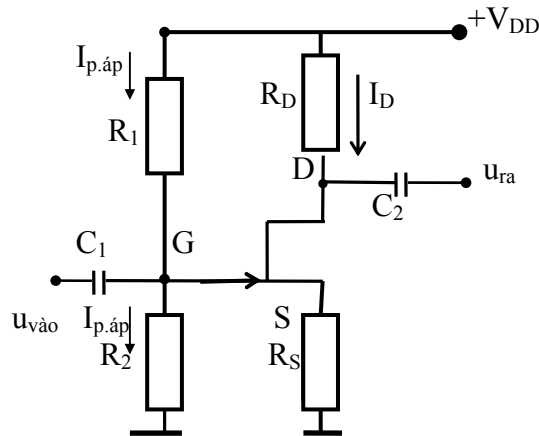
Trong cách phân cực này nguồn điện V_{GG} được đặt vào cực cửa và mạch được gọi là phân cực cố định vì có $U_{GS} = -U_{GG}$ có giá trị cố định. Như vậy, muốn xác định điểm làm việc Q thích hợp ta phải dùng 2 nguồn cung cấp. Đây là điều bất lợi của phương pháp phân cực này.



Hình 5-10: Mạch phân cực cố định của JFET kênh loại N

b. Phân cực phân áp

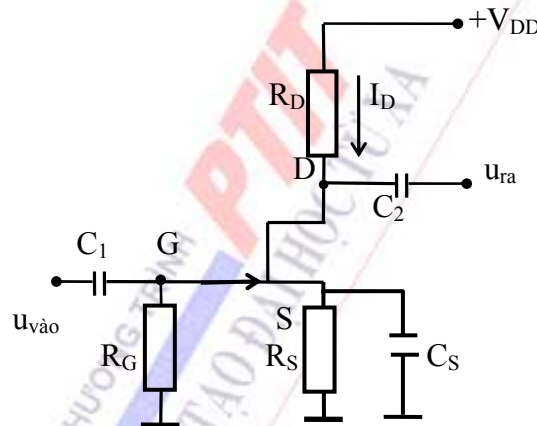
Sơ đồ mạch phân cực phân áp mô tả ở hình 5-11. Phương pháp này rất hữu hiệu cho tranzito lưỡng cực nhưng đối với JFET thì không tiện lợi khi sử dụng.



Hình 5-11: Mạch phân cực phân áp của JFET kênh loại N

c. Phân áp tự cấp (còn gọi là tự phân cực)

Sơ đồ tự phân cực của JFET mô tả trong hình 5-12. Đây là cách phân cực không giống như đối với BJT và nó là cách phân cực hữu hiệu nhất đối với JFET, trong cách phân cực này thì điện áp $U_{GS} = -I_D R_S$.



Hình 5-12: Phân cực tự cấp cho JFET kênh loại N

5.2.4. Các tham số của tranzito trường ở chế độ tín hiệu nhỏ.

Các tham số cơ bản của FET trong chế độ tín hiệu nhỏ thường có: độ hở dẫn, trở kháng ra, trở kháng vào và hệ số khuếch đại điện áp.

Sơ đồ mạch tương đương của FET ở chế độ tín hiệu nhỏ cũng giống như của tranzito lưỡng cực. Ở chế độ này, dòng điện cực máng i_D là một hàm của điện áp trên cực cửa u_{GS} và điện áp trên cực máng u_{DS} , ta có:

$$i_D = f(u_{GS}, u_{DS})$$

Khi cả hai điện áp trên cực cửa và cực máng đều biến đổi thì dòng điện cực máng sẽ thay đổi theo:

$$\Delta i_D = \left. \frac{\partial i_D}{\partial u_{GS}} \right|_{U_{DS}=\text{const.}} \Delta u_{GS} + \left. \frac{\partial i_D}{\partial u_{DS}} \right|_{U_{GS}=\text{const.}} \Delta u_{DS} \quad (5.3)$$

Trong chế độ tín hiệu nhỏ các đại lượng $\Delta i_D = i_d$; $\Delta u_{GS} = u_{gs}$; $\Delta u_{DS} = u_{ds}$, như vậy công thức (5.3) được viết:

$$i_d = g_m u_{gs} + \frac{1}{r_d} u_{ds} \quad (5.4)$$

Trong đó:

- *Độ hỗ dẫn* (ký hiệu là g_m):

$$g_m = \left. \frac{\partial i_D}{\partial u_{GS}} \right|_{U_{DS}=\text{const.}} \approx \frac{\Delta i_D}{\Delta u_{GS}} \Big|_{U_{DS}=\text{const.}} = \left. \frac{i_d}{u_{gs}} \right|_{U_{DS}=\text{const.}} \quad (5.5)$$

Độ hỗ dẫn của FET biểu thị khả năng điều khiển của điện áp cực cửa u_{GS} lên dòng điện xoay chiều cực máng i_D .

Giá trị độ hỗ dẫn của FET nằm trong khoảng: $S = 3 \div 20 \text{ mA/V}$.

- *Trở kháng ra hay còn gọi là điện trở máng* (ký hiệu là r_d):

Điện trở máng r_d biểu thị sự ảnh hưởng của điện áp cực máng u_{DS} tới dòng điện cực máng i_D ta có công thức:

$$r_d = \left. \frac{\partial u_{DS}}{\partial i_D} \right|_{U_{GS}=\text{const.}} \approx \frac{\Delta u_{DS}}{\Delta i_D} \Big|_{U_{GS}=\text{const.}} = \left. \frac{u_{ds}}{i_d} \right|_{U_{GS}=\text{const.}} \quad (5.6)$$

- *Hệ số khuếch đại điện áp μ* :

Hệ số khuếch đại điện áp chỉ số lần điện áp trên cực cửa tác động lên dòng điện cực máng mạnh hơn so với điện áp trên cực máng. Ta có công thức:

$$\mu = \left. \frac{\partial u_{DS}}{\partial u_{GS}} \right|_{I_D=\text{const.}} \approx \frac{\Delta u_{DS}}{\Delta u_{GS}} \Big|_{I_D=\text{const.}} = \left. \frac{u_{ds}}{u_{gs}} \right|_{I_D=\text{const.}} \quad (5.7)$$

So sánh các công thức tính độ hỗ dẫn g_m , điện trở máng r_d và hệ số khuếch đại điện áp μ , ta có công thức sau:

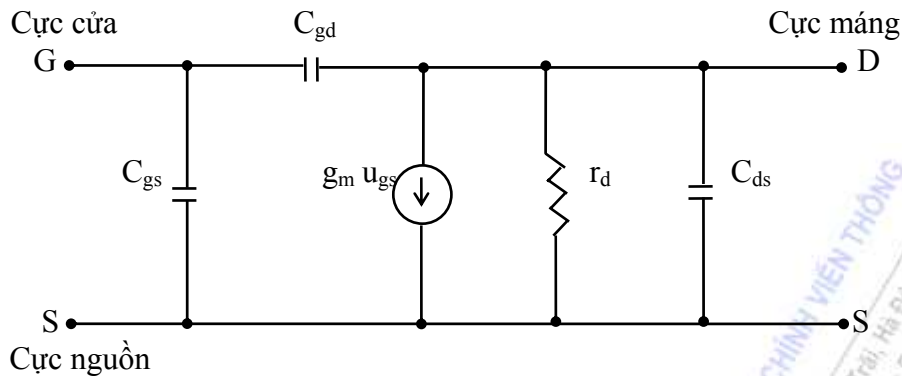
$$\mu = g_m r_d \quad (5.8)$$

Hệ số khuếch đại có trị số khoảng vài trăm lần.

5.2.5. Sơ đồ tương đương của JFET trong chế độ tín hiệu nhỏ.

Sơ đồ tương đương của FET ở chế độ tín hiệu nhỏ được mô tả trong hình 5-13. Trong sơ đồ này tồn tại các điện dung giữa ba chân cực. Tụ điện C_{gs} biểu thị điện dung rào thế của tiếp xúc P-N giữa cực cửa và cực nguồn, và tụ điện C_{gd} là điện dung rào thế của tiếp xúc P-N giữa cực cửa và cực máng. Tụ điện C_{ds} là điện dung máng-nguồn của kênh dẫn. Đây là các điện dung ký sinh của FET. Khi tranzito làm việc ở tần số thấp thì chúng không gây ảnh hưởng gì cho mạch, nhưng khi ở tần số cao chúng có thể gây ngắn mạch giữa các chân cực của tranzito.

Vì tiếp xúc P-N của cực cửa phân cực ngược nên các điện trở giữa cực cửa - cực nguồn r_{gs} và giữa cực cửa - máng r_{gd} rất lớn, do đó trong sơ đồ ở hình 5- 13 hai điện trở này được bỏ qua.



Hình 5- 13: Sơ đồ mạch tương đương của FET trong chế độ tín hiệu nhỏ

Từ công thức (5. 4) và (5. 1) ta tính được:

$$g_m = g_{mo} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GSng\frac{1}{4}}}} \right) \tag{5. 9}$$

trong đó g_{mo} là giá trị độ dẫn khi $U_{GS} = 0$ và được xác định:

$$g_{mo} = \frac{-2I_{Do}}{U_{GSng\frac{1}{4}}} \tag{5.10}$$

Vì I_{Do} và $U_{GSng\frac{1}{4}}$ ngược pha nhau nên g_{mo} luôn dương.

5.3. TRANZITO TRƯỜNG LOẠI CỰC CỬA CÁCH LY (IGFET)

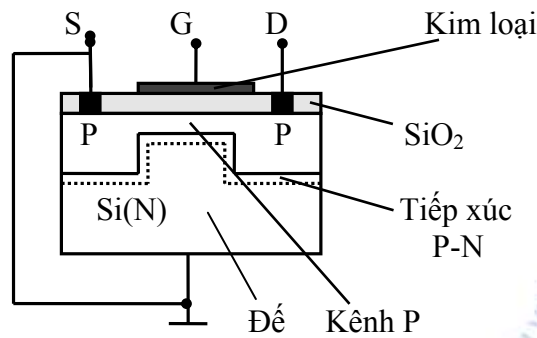
Đây là loại tranzito trường có cực cửa cách điện với kênh dẫn điện bằng một lớp cách điện mỏng. Lớp cách điện thường dùng là chất oxit nên ta thường gọi tắt là tranzito trường loại MOS. Tên gọi MOS được viết tắt từ ba từ tiếng Anh là: Metal - Oxide - Semiconductor.

Tranzito trường MOS có hai loại: tranzito MOSFET có kênh sẵn và tranzito MOSFET kênh cảm ứng. Trong mỗi loại MOSFET này lại có hai loại là kênh dẫn loại P và kênh loại N.

5.3.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của MOSFET kênh sẵn:

a. Cấu tạo:

Tranzito trường MOSFET kênh sẵn còn gọi là MOSFET-chế độ nghèo (Depletion-Mode MOSFET viết tắt là DMOSFET). Ta có mô hình mô phỏng cấu tạo của MOSFET trong hình 5 – 14. Tranzito trường loại MOS có kênh sẵn là loại tranzito mà khi chế tạo người ta đã chế tạo sẵn kênh dẫn.



Hình 5- 14 : Cấu tạo của MOSFET kênh sẵn loại P

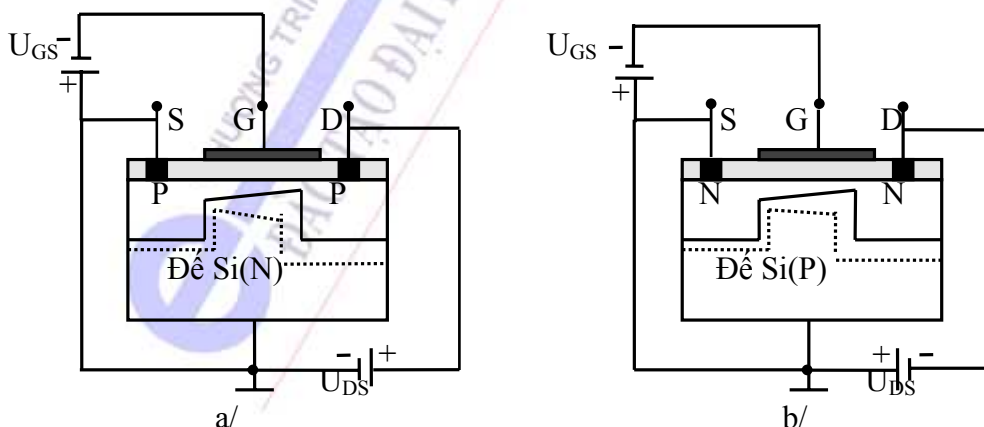
b. Nguyên lý hoạt động:

Tranzito loại MOSFET kênh sẵn có hai loại là kênh loại P và kênh loại N. (ví dụ trong hình 5-14 là MOSFET có kênh sẵn loại P).

Khi tranzito làm việc, thông thường cực nguồn S được nối với đế và nối đất nên $U_S = 0$. Các điện áp đặt vào các chân cực cửa G và cực máng D là so với chân cực S. Nguyên tắc cung cấp nguồn điện cho các chân cực sao cho hạt dẫn đa số chạy từ cực nguồn S qua kênh về cực máng D để tạo nên dòng điện I_D trong mạch cực máng. Còn điện áp đặt trên cực cửa có chiều sao cho MOSFET làm việc ở chế độ giàu hạt dẫn hoặc ở chế độ nghèo hạt dẫn.

Nguyên lý làm việc của hai loại tranzito kênh P và kênh N giống nhau chỉ có cực tính của nguồn điện cung cấp cho các chân cực là trái dấu nhau. Sơ đồ nguyên lý đầu nối MOSFET kênh sẵn như trong hình 5- 15.

Ví dụ: Xét nguyên lý hoạt động của tranzito MOSFET kênh sẵn loại P.



Hình 5 - 15 : Sơ đồ nguyên lý của MOSFET:

a- MOSFET kênh sẵn loại P.

b- MOSFET kênh sẵn loại N

- Xét khả năng điều khiển của MOSFET kênh sẵn loại P (Hình 5-15a):

Khả năng điều khiển dòng điện I_D của điện áp trên cực cửa U_{GS} chính là đặc tuyến truyền đạt của MOSFET, nói cách khác, đó là mối quan hệ giữa dòng điện I_D với điện áp U_{GS} , ta có hàm sau:

$$I_D = f(U_{GS}) \text{ khi } U_{DS} = \text{const.}$$

Để các hạt dẫn lỗ trống chuyển động từ cực nguồn S về cực máng D, ta đặt một điện áp trên cực máng $U_{DS} = U_{DS1} < 0$ và giữ không đổi. Sau đó thay đổi điện áp trên cực cửa U_{GS} theo chiều dương hoặc theo chiều âm. Khi $U_{GS} = 0$ thì dưới tác dụng của điện áp U_{DS} các lỗ trống chuyển động từ cực nguồn về cực máng tạo nên dòng điện I_D

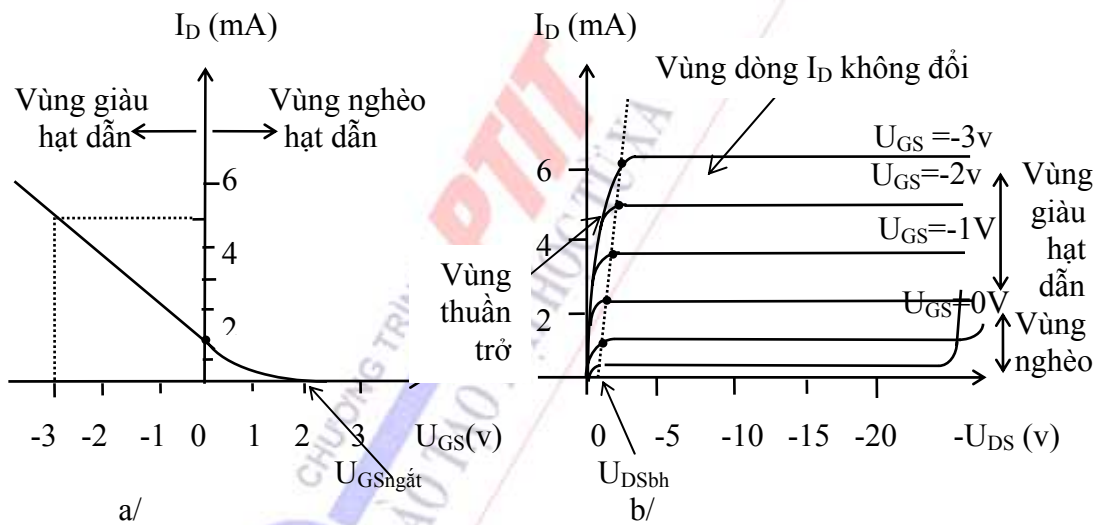
Nếu $U_{GS} < 0$, nhiều lỗ trống được hút về kênh làm nồng độ hạt dẫn trong kênh tăng lên, độ dẫn điện của kênh tăng và dòng điện chạy trong kênh I_D tăng lên. Chế độ làm việc này gọi là chế độ giàu hạt dẫn.

Nếu $U_{GS} > 0$, các lỗ trống bị đẩy ra xa kênh làm mật độ hạt dẫn trong kênh giảm xuống, độ dẫn điện của kênh giảm và dòng điện chạy qua kênh I_D giảm xuống. Chế độ làm việc này gọi là chế độ nghèo hạt dẫn. Mối quan hệ này được thể hiện trên hình 5-16a.

- Xét họ đặc tuyến ra (hay quan hệ giữa dòng điện I_D và điện áp U_{DS}):

$$I_D = f(U_{DS}) \text{ khi } U_{GS} = \text{const.}$$

Hình 5- 16b thể hiện họ đặc tuyến ra của MOSFET kênh sẵn loại P. Đây là các đường biểu diễn mối quan hệ giữa dòng điện I_D với điện áp U_{DS} ứng với từng giá trị của điện áp U_{GS} khác nhau.



Hình 5 - 16 : Các họ đặc tuyến của MOSFET kênh sẵn loại P:

- a. Họ đặc tuyến điều khiển $I_D = f(U_{GS})$ khi U_{DS} không đổi
- b. Họ đặc tuyến ra $I_D = f(U_{DS})$ khi U_{GS} không đổi

Trên họ đặc tuyến ra, khi điện áp $U_{DS} = 0V$ thì dòng điện qua kênh $I_D = 0$, do đó đặc tuyến xuất phát từ gốc tọa độ. Điều chỉnh cho U_{DS} âm dần, với trị số còn nhỏ thì dòng điện I_D tăng tuyến tính với sự tăng trị số của điện áp U_{DS} và mối quan hệ này được tính theo định luật Ôm. Ta có vùng thuần trở của đặc tuyến.

Khi điện áp U_{DS} đạt tới trị số bão hòa ($U_{DSb.h.}$) thì dòng điện cực máng cũng đạt tới một trị số gọi là dòng điện bão hòa $I_{Db.h.}$. Trong trường hợp này, lớp tiếp xúc P-N chạm vào đáy của lớp oxit và kênh có điểm "thắt" tại cực máng, nên $U_{DSb.h.}$ còn được gọi là điện áp "thắt".

Nếu cho $|U_{DS}| > |U_{DSb.h.}|$ thì dòng điện không thay đổi và giữ nguyên trị số bão hòa $I_{Db.h.}$. Đồng thời, tiếp xúc P-N bị phân cực ngược càng mạnh về phía cực máng, làm cho chiều dài của phần kênh bị "thắt" tăng lên. Độ chênh lệch của điện áp $\Delta U_{DS} = |U_{DS}| - |U_{DSb.h.}|$ được đặt lên đoạn kênh bị "thắt" và làm cho cường độ điện trường ở đây tăng, giúp cho số các lỗ trống vượt qua đoạn kênh bị "thắt" không thay đổi, do vậy dòng $I_{Db.h.}$ giữ không đổi. Ta có vùng dòng điện I_D bão hòa.

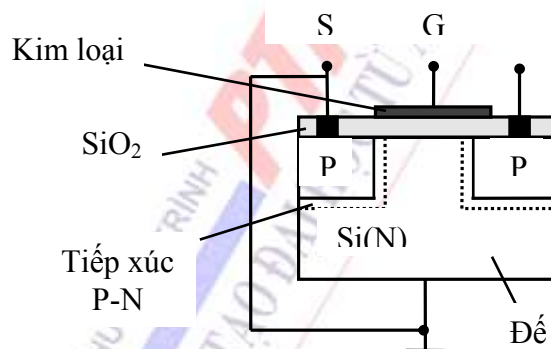
Trường hợp, nếu đặt U_{DS} quá lớn sẽ dẫn đến hiện tượng đánh thủng tiếp xúc P-N ở phía cực máng, dòng điện I_D tăng vọt. Lúc này tranzito chuyển sang vùng đánh thủng.

Qua các họ đặc tuyến của MOSFET kênh sẵn ta thấy nó làm việc ở cả 2 chế độ nghèo và giàu hạt dẫn. MOSFET kênh sẵn có mức ồn nhỏ nên nó thường được dùng trong các tầng khuếch đại đầu tiên của thiết bị cao tần. Độ hỗ dẫn g_m của nó phụ thuộc vào điện áp U_{GS} nên hệ số khuếch đại điện áp thường được tự động điều khiển.

5.3.2. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của MOSFET kênh cảm ứng.

a. Cấu tạo:

Tranzito trường loại MOS kênh cảm ứng còn gọi là MOSFET chế độ giàu (Enhancement-Mode MOSFET viết tắt là E-MOSFET). Khi chế tạo MOSFET kênh cảm ứng người ta không chế tạo kênh dẫn. Do công nghệ chế tạo đơn giản nên MOSFET kênh cảm ứng được sản xuất và sử dụng nhiều hơn. Hình 5-17 mô phỏng cấu tạo của MOSFET kênh cảm ứng loại P



Hình 5 – 17: Cấu tạo của MOSFET kênh cảm ứng loại P

b. Nguyên lý hoạt động

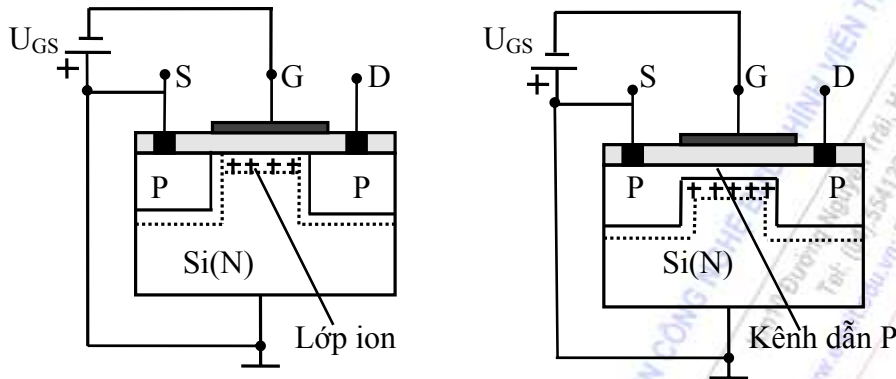
Nguyên lý làm việc của loại kênh P và kênh N giống hệt nhau chỉ khác nhau về cực tính của nguồn cung cấp đặt lên các chân cực. Trước tiên, nối cực nguồn S với đế và nối đất, sau đó cấp điện áp giữa cực cửa và cực nguồn để tạo kênh dẫn.

- Tạo kênh dẫn và khả năng điều khiển của tranzito:

Vi dụ: Ta trình bày nguyên lý hoạt động của MOSFET kênh cảm ứng loại P.

Theo nguyên tắc cấp nguồn điện cho các chân cực, ta cấp nguồn điện $U_{GS} < 0$ để tạo kênh, còn $U_{DS} < 0$ để tác động cho các lỗ trống chuyển động từ cực nguồn về cực máng tạo nên dòng điện I_D . (Xem hình 5 -18)

Khi ta đặt một điện áp lên cực cửa âm hơn so với cực nguồn ($U_{GS} < 0$) đến một giá trị gọi là điện áp ngưỡng (ký hiệu là U_{GSth}) thì một số các lỗ trống được hút về tạo thành một lớp mỏng các lỗ trống trên bề mặt của lớp bán dẫn đế Si(N), nối liền cực nguồn S với cực máng D và kênh dẫn điện được hình thành.



Hình 5 - 18 : Sự hình thành kênh dẫn của MOSFET loại P

Khi kênh đã xuất hiện, dưới tác dụng của điện trường cực máng các lỗ trống sẽ di chuyển từ cực nguồn, qua kênh, về cực máng và tạo nên dòng điện trong tranzito I_D .

Tiếp tục cho U_{GS} càng âm hơn, nghĩa là $|U_{GS}| > |U_{GSth}|$, thì số lỗ trống được hút về kênh càng nhiều, mật độ hạt dẫn trong kênh càng tăng lên, độ dẫn điện của kênh càng tăng dẫn đến cường độ dòng điện chạy qua kênh cũng tăng lên. Quy luật tăng của dòng điện I_D theo điện áp U_{GS} biểu diễn theo công thức sau:

$$I_D = k (U_{GS} - U_{GSth})^2 \tag{5.11}$$

Đây là phương trình của đặc tuyến truyền đạt biểu diễn trong hình 5-19. Hệ số k là hằng số và được tính theo công thức:

$$k = \frac{I_{D(on)}}{(U_{GS(on)} - U_{GSth})^2} \tag{5.12}$$

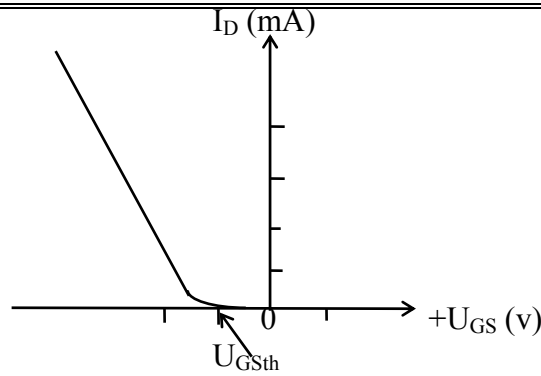
Trong đó $I_{D(on)}$ và $U_{GS(on)}$ là trị số dòng điện và điện áp tương ứng được xác định trên họ đặc tuyến ra của MOSFET.

Thay công thức (5.12) vào công thức (5.11) ta có:

$$I_D = \frac{I_{D(on)}}{(U_{GS(on)} - U_{GSth})^2} (U_{GS} - U_{GSth})^2 \tag{5.13}$$

Đặt $K = \left(\frac{U_{GS} - U_{GSth}}{U_{GS(on)} - U_{GSth}} \right)^2$ ta có:

$$I_D = KI_{D(on)} \tag{5.14}$$



Hình 5 - 19 : Đặc tuyến điều khiển của MOSFET kênh cảm ứng loại P

- Họ đặc tuyến ra:

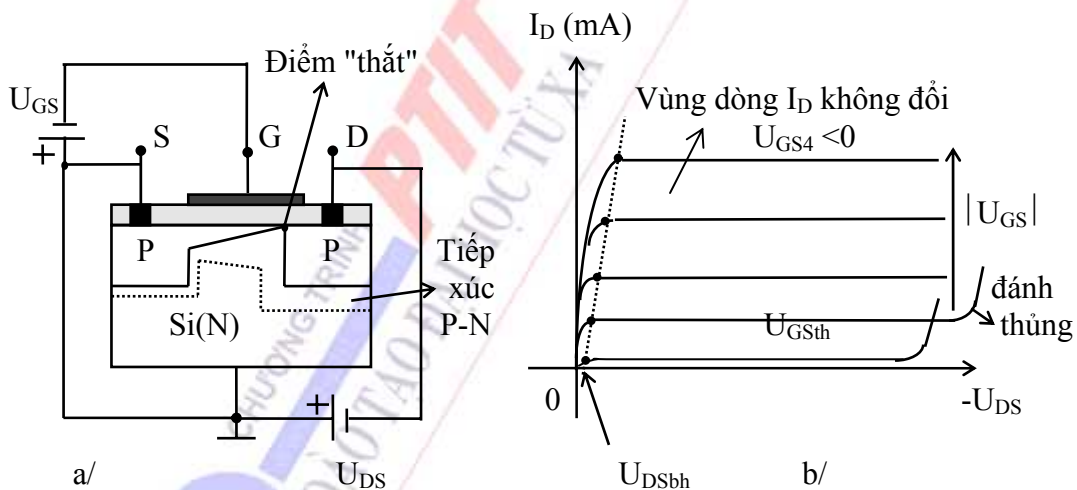
Họ đặc tuyến ra biểu thị mối quan hệ giữa dòng điện I_D và điện áp U_{DS} . Trong sơ đồ mắc cực nguồn chung thì I_D là dòng điện ra và điện áp U_{DS} là điện áp ra, ta có hàm biểu thị mối quan hệ này:

$$I_D = f(U_{DS}) \text{ khi } U_{GS} \text{ giữ không đổi}$$

Điện áp đặt lên cực cửa yêu cầu phải đủ lớn để kênh dẫn đã được hình thành. Sau đó, ta thay đổi điện áp U_{DS} và theo dõi sự thay đổi của dòng I_D theo điện áp U_{DS} . Ta có sơ đồ mạch nguyên lý đầu nối MOSFET kênh P mô tả trong hình 5- 20a.

Xét đường cong đặc tuyến ra ứng với trị số $U_{GS} < 0$, ví dụ U_{GS4} như trong hình 5- 20b, ta thấy:

Nếu $U_{DS} = 0$, thì các lỗ trống không chuyển động về cực máng nên dòng $I_D = 0$.



Hình 5- 20 : a - Sơ đồ nguyên lý của MOSFET kênh cảm ứng loại P.

b- Họ đặc tuyến ra của MOSFET kênh cảm ứng loại P.

Khi đặt $U_{DS} < 0$ có trị số nhỏ, thì điện thế tại mỗi điểm dọc theo kênh sẽ giảm dần cực nguồn S đến cực máng. Dưới tác dụng của điện áp U_{DS} các lỗ trống sẽ di chuyển từ cực nguồn đến cực máng tạo nên dòng điện I_D . Tiếp tục cho điện áp U_{DS} càng âm thì dòng I_D tăng nhanh và tăng tuyến tính với sự tăng của điện áp âm U_{DS} . Đồng thời, tiếp xúc P-N cũng được phân cực ngược tăng dần từ cực nguồn đến cực máng, bề dày lớp tiếp xúc tăng dần về phía cực máng và

kênh hẹp dần về phía cực máng, điện trở kênh tăng lên. Ta có đoạn dốc của đặc tuyến gọi là vùng thuận trở.

Khi trị số điện áp trên cực máng đạt trị số, mà tại đó bề dày của tiếp xúc P-N tăng lên chạm vào đáy của lớp oxit ở phía cực máng, thì ta gọi là điện áp cực máng bão hòa (U_{DSbh}). Lúc này dòng điện I_D đạt trị số bão hòa I_{Dbh} . Tiếp tục cho điện áp U_{DS} càng âm hơn, thì bề dày của tiếp xúc P-N càng tăng về phía cực máng, phần kênh bị "thắt" lại càng tăng lên và chiều dài của kênh bị ngắn lại, nhưng dòng điện không đổi và $I_D = I_{Dbh}$. Trong trường hợp này, độ gia tăng của điện áp cực máng $\Delta U_{DS} = |U_{DS}| - |U_{DSbh}|$ sẽ được đặt lên đoạn kênh bị "thắt". Và nó tác dụng trực tiếp lên phần kênh còn lại, kích thích sự chuyển dịch của các hạt lỗ trống từ cực nguồn vượt qua đoạn kênh bị "thắt" để về cực máng làm cho dòng điện I_D không đổi. ta có vùng dòng I_D không đổi.

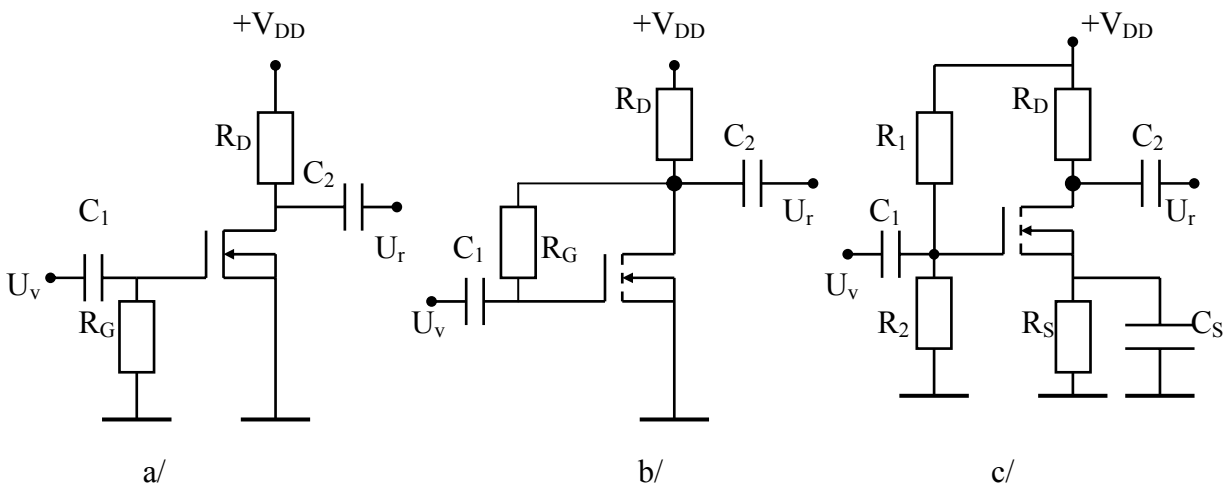
Nếu trị số âm của U_{DS} quá lớn thì có thể xảy ra hiện tượng đánh thủng lớp tiếp xúc P-N ở phía cực máng, làm cho dòng điện I_D tăng vọt lên.

5.3.3. Các cách mắc MOSFET trong các sơ đồ mạch khuếch đại

Giống như JFET, tranzito loại MOSFET cũng có 3 cách mắc cơ bản là cực nguồn chung, cực máng chung và cực cửa chung. Trong 3 cách mắc này thì cách mắc cực cửa chung không được sử dụng trên thực tế. Do vậy, thông thường ta sử dụng hai cách mắc nguồn chung và máng chung.

5.3.4. Phân cực cho MOSFET

Cũng như BJT và JFET, thông thường có 3 cách phân cực cho MOSFET như chỉ ra ở hình 5-21 là: a/ phân cực cố định, b/ phân cực hồi tiếp và c/ phân cực phân áp.

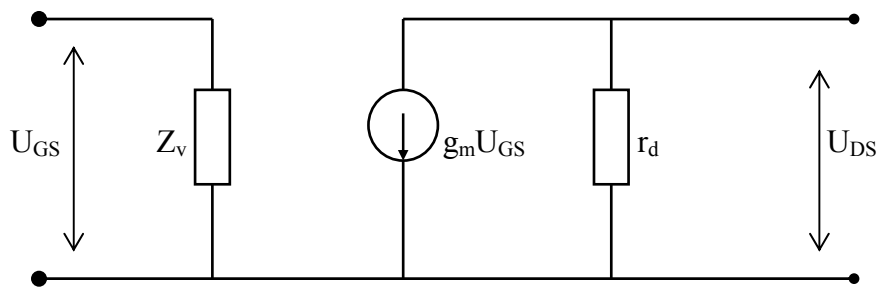


Hình 5 – 21: Các cách phân cực thông thường cho MOSFET

phân cực zero và $I_D = I_{D0}$. Đây là cách phân cực đơn giản nhất. Sơ đồ hình 5-21b là cách phân cực hồi tiếp cực máng cho MOSFET kênh cảm ứng. Do dòng $I_G = 0$ nên $U_{RG} = 0V$ và $U_r = U_v$. Sơ đồ hình 5-21c là mạch phân cực phân áp. Ở cách phân áp này có trở kháng vào $Z_v = R_1 // R_2$; $U_{GS} = U_G - I_D R_S$.

5.3.4. Sơ đồ mạch tương đương của MOSFET

Sơ đồ tương đương của MOSFET mô tả trong hình 5-22



Hình 5 – 22: Sơ đồ tương đương của MOSFET kênh cảm ứng

Trong sơ đồ, điện trở Z_v rất lớn ($Z_v = R_{GS} \approx \infty$) nên trong các sơ đồ mạch tương đương mạch vào gần như hở mạch. Điện trở r_d là trở kháng ra và nó là điện trở của kênh đối với thành phần xoay chiều.

□ *Ưu điểm của tranzito trường so với tranzito lưỡng cực:*

- Trở kháng vào của FET rất lớn: loại điều khiển bằng tiếp xúc P-N khoảng $10^{10} \div 10^{13} \Omega$; loại MOS khoảng $10^{13} \div 10^{15} \Omega$.
- Dòng điện qua cực cửa rất nhỏ:

$$\text{Loại JFET: } I_{G(\text{JFET})} = 1 \text{ PA} \div 1 \text{ nA}$$

$$\text{Loại MOS: } I_{G(\text{MOS})} = \left(\frac{1}{10} \div \frac{1}{20} \right) I_{G(\text{JFET})}$$

- Tính ổn định về nhiệt cao
- Tần số làm việc cao như ở đèn điện tử chân không có thể đến vài trăm MHz.
- Tạp âm nhỏ

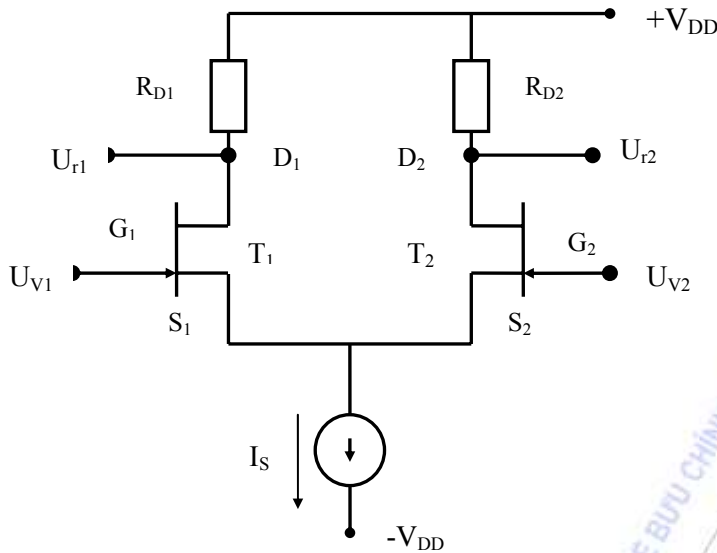
Tranzito trường được sử dụng giống như tranzito lưỡng cực nhưng do hệ số khuếch đại điện áp của nó nhỏ hơn nhiều nên chúng thường được dùng ở những mạch có yêu cầu về ổn định nhiệt độ cao, độ nhạy cao và tần số làm việc cao.

5.3.6. Một số ứng dụng của FET

Trong kỹ thuật điện tử, tranzito trường được sử dụng gần giống như tranzito lưỡng cực. Tuy nhiên, do một số các ưu nhược điểm của FET so với BJT đã nói ở trên, đặc biệt là hệ số khuếch đại thấp, mà tranzito trường thường được sử dụng ở những mạch thể hiện được ưu thế của chúng. Đặc biệt trong việc tích hợp IC thì tranzito trường được ứng dụng rất hiệu quả vì cho phép tạo ra các IC có độ tích hợp rất cao (LSI và VLSI). Sau đây ta sẽ xem xét một vài mạch ứng dụng của FET.

1. Tầng khuếch đại vi sai dùng FET.

Để tăng trở kháng vào (tới hàng chục $M\Omega$) người ta sử dụng tranzito trường như hình 5-23. Về nguyên lý hoạt động của mạch khuếch đại vi sai không có gì khác với mạch dùng tranzito lưỡng cực, chỉ có trở kháng vào của mạch dùng FET thì lớn hơn nhiều (có thể tới hàng trăm lần cao hơn so với dùng BJT).



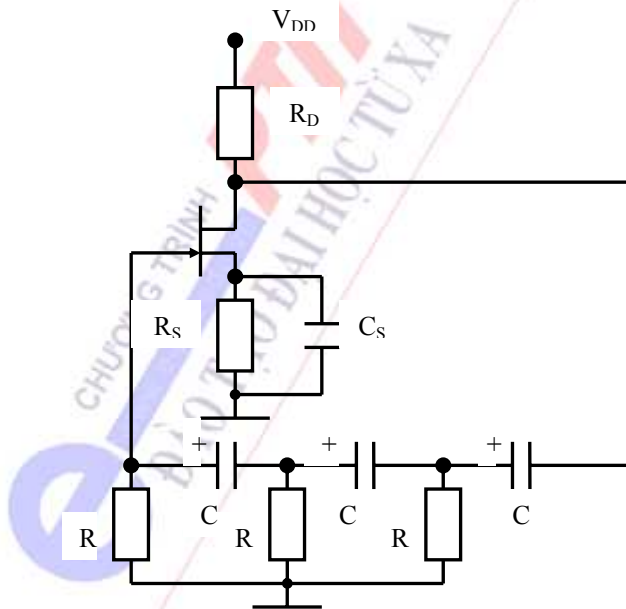
Hình 5 – 23: Mạch khuếch vi sai dùng FET

2. Mạch phát sóng RC dùng FET.(Hình 5-24)

Ở tầng khuếch đại có hệ số khuếch đại $K = g_m.R_L$, trong đó g_m là độ dẫn của FET và

R_L là điện trở tải của mạch. $R_L = \frac{R_D r_d}{R_D + r_d}$

Tần số dao động của mạch: $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{6RC}}$



Hình 5 – 24: Mạch tạo dao động RC dùng FET

Mạch tạo dao động RC cho dao động có tần số đủ thấp. Trong khối khuếch, tín hiệu ra ngược pha với tín hiệu vào (FET mắc Nguồn chung) nên mạch hồi tiếp RC phụ thuộc tần số phải dịch pha tín hiệu 180° ở tần số phát sóng.

TÓM TẮT NỘI DUNG

Tranzito trường (FET) là loại tranzito đơn cực, dòng điện chạy trong cấu kiện do một loại hạt dẫn tạo nên. Việc điều khiển dòng điện ra do điện trường trên cực cửa quyết định. Khi thay đổi điện áp trên cực cửa sẽ làm thay đổi tiết diện kênh dẫn điện, và làm thay đổi mật độ hạt dẫn trong kênh dẫn đến sự thay đổi cường độ dòng điện chạy qua kênh.

Tranzito trường chia làm 2 loại chính: tranzito trường mối nối JFET và tranzito trường có cực cửa cách điện IGFET- thông thường gọi là MOSFET.

JFET có kênh dẫn nằm giữa 2 tiếp xúc P-N và 3 chân cực là cực Nguồn (S), cực Cửa (G), cực Máng (D). Có hai loại JFET là loại kênh N và loại kênh P. Hai loại này nguyên lý hoạt động giống nhau chỉ có chiều nguồn điện cung cấp cho các chân cực là ngược dấu nhau. Nguyên tắc cấp điện phân cực cho JFET sao cho hai tiếp xúc P-N phân cực ngược và hạt dẫn phải chuyển động từ cực nguồn về cực máng để tạo ra dòng điện cực máng. Khi thay đổi điện áp trên cực cửa thì dòng điện qua tranzito thay đổi theo qui luật hàm mũ như sau:

$$I_D = I_{D0} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GSngat}} \right)^2$$

Trong đó: I_D là dòng điện cực máng

I_{D0} là dòng điện máng khi $U_{GS} = 0V$

U_{GS} là điện áp đặt lên cực cửa

$U_{GS\ ngat}$ là điện áp ngắt.

Và ta có đường đặc tuyến điều khiển biểu diễn mối quan hệ này.

Khi điện áp đặt lên cực máng thay đổi sẽ làm cho dòng điện máng thay đổi theo một cách tuyến tính khi U_{DS} còn nhỏ ($U_{DS} < U_{DS\ bão\ hòa}$). Tranzito làm việc trong vùng thuần trở. Khi $U_{DS} > U_{DS\ bão\ hòa}$ thì tranzito chuyển sang hoạt động ở vùng bão hòa hay vùng có dòng điện không đổi (I_D bão hòa). Lúc này, khi điện áp trên cực máng thay đổi thì dòng điện qua tranzito không thay đổi.

MOSFET là tranzito trường có cực cửa cách điện với lớp cách điện là oxit silic. Có hai loại tranzito trường có cực cửa cách điện là loại có kênh sẵn và loại kênh cảm ứng. Mỗi loại lại có 2 loại là kênh loại N và kênh loại P. Nguyên lý hoạt động của loại kênh N và kênh P giống nhau chỉ có chiều của nguồn cung cấp vào các chân cực là ngược dấu nhau.

MOSFET kênh sẵn hoạt động ở hai chế độ: nghèo hạt dẫn và chế độ giàu hạt dẫn. Do khi chế tạo người ta đã chế tạo sẵn kênh, nên khi đặt điện áp lên cực cửa và cực máng thì tranzito có thể dẫn điện ($U_{GS} > U_{GSth}$).

MOSFET kênh cảm ứng là tranzito trường không chế tạo kênh dẫn điện, mà kênh sẽ được hình thành trong quá trình tranzito làm việc. Muốn tranzito dẫn điện, ta phải cấp điện lên cực cửa để tạo kênh. Khi $U_{GS} = U_{GSth}$ thì kênh mới hình thành. Sau khi có kênh thì dòng điện trong tranzito do các hạt dẫn điện chạy từ cực nguồn về cực máng sẽ chịu sự điều khiển của điện áp đặt lên cực cửa và cực máng. Mối quan hệ này được thể hiện qua công thức tính dòng điện cực máng sau:

$$I_D = k(U_{GS} - U_{GSth})^2$$

Trong đó k là hằng số và được tính bằng công thức:

$$K = \frac{I_{D(on)}}{(U_{GS(on)} - U_{GSth})^2}$$

Đặc tuyến truyền đạt của MOSFET kênh cảm ứng không xuất phát từ gốc tọa độ mà xuất phát từ giá trị U_{GSth} và cũng có đường cong hàm mũ bậc 2.

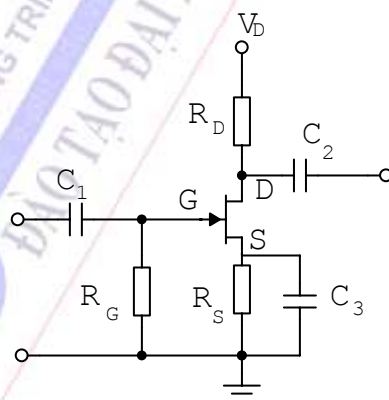
Đặc tuyến ra của MOSFET kênh cảm ứng cũng có 2 vùng hoạt động cơ bản là vùng thuận trở và vùng dòng điện không đổi.

Trong các sơ đồ mạch, tranzito trường cũng được phân cực như các tranzito lưỡng cực, và các phương pháp phân cực cũng tương tự. Trong phần này, chúng ta cần chú ý sử dụng các phương pháp tối ưu cho từng loại tranzito trường như đã trình bày trong mục 5.2.3 và 5.3.4.

So với tranzito lưỡng cực, tranzito trường có một số đặc điểm: Trở kháng vào rất lớn, dòng vào rất nhỏ ($I_G = 0$); điều khiển dòng điện bằng điện áp; tần số làm việc cao; tạp âm thấp; nhưng hệ số khuếch đại điện áp nhỏ hơn.

CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của JFET?
2. Nêu các tham số cơ bản của tranzito trường JFET?
3. Trình bày về các cách mắc cơ bản của JFET trong các sơ đồ mạch khuếch đại?
4. Trình bày cách phân cực cố định của JFET?
5. Trình bày phương pháp tự phân cực của JFET?
6. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của MOSFET kênh sẵn?
7. Giải thích các họ đặc tuyến điều khiển và họ đặc tuyến ra của MOSFET kênh sẵn?
8. Trình bày về cách phân cực cố định cho MOSFET kênh sẵn?
9. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của MOSFET kênh cảm ứng?
10. Nhận xét và giải thích các họ đặc tuyến điều khiển và họ đặc tuyến ra của MOSFET kênh cảm ứng?
11. Trình bày về phương pháp phân cực phân áp cho MOSFET?
12. Trình bày về cách phân cực hồi tiếp cho MOSFET?
13. So sánh ưu nhược điểm của các phương pháp phân cực cho FET.
14. Cho biết các ưu nhược điểm của FET so với BJT?
15. Cho sơ đồ mạch như hình vẽ:



Hình bài 15

- a. Hãy cho biết tranzito được mắc theo cách nào? Mạch định thiên kiểu gì?
- b. Nêu nhiệm vụ của các linh kiện trong mạch?

- c. Cho biết $V_D=30V$, điện áp ngắt $U_{GSngắt} = -2V$, dòng điện $I_{D0}=2mA$ (tại $U_{GS}=0V$), điểm làm việc tĩnh được chọn có dòng $I_D=1mA$.

Hãy tính:

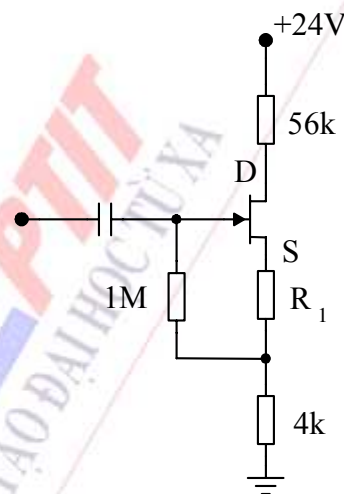
- Điện áp U_{GS} tại điểm làm việc tĩnh ?
- Trị số điện trở R_S (cho C_S rất lớn).

16. Cho bộ khuếch đại (như ở hình bài 15) sử dụng FET kênh N với

- Điện áp ngắt $U_{GSngắt} = -2V$
- Độ hỗ dẫn $g_{mo}=1,6mA/V$ (khi $U_{GS}=0V$)
- Dòng điện bão hòa $I_{D0}=1,65mA$ (ứng với khi $U_{GS}=0V$). Nguồn cung cấp $V_D=24V$.
- Tranzito làm việc với dòng điện tĩnh $I_D=0,8mA$.
- Giả sử $r_d \geq R_D$

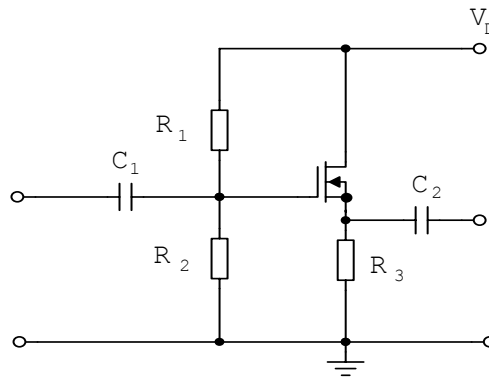
Hãy tính giá trị điện áp tĩnh U_{GS} , độ hỗ dẫn g_m , điện trở R_S , R_D nếu hệ số khuếch đại điện áp thấp nhất là 20dB (cho C_S rất lớn)

17. Tầng khuếch đại dùng tranzito FET kênh N có $I_{D0} = 1mA$, $U_{GSngắt} = -1V$. Nếu điện áp tĩnh $U_{DS} = 10V$, tính R_1



Hình bài 17

18. Cho sơ đồ mạch dùng tranzito trường MOS kênh cảm ứng loại N.



Hình bài 18

- a. Hãy cho biết tranzito được mắc theo cách nào ?
- b. Mạch định thiên kiểu gì ?
- c. Nêu nhiệm vụ của các linh kiện trong sơ đồ mạch.

19. Sơ đồ mạch cho như bài 18.

- Nếu cấp nguồn $V_D = 30V$; Điện áp ngưỡng $U_{GS} = 1,0V$; Dòng điện máng tại $U_{GS} = 2U_{GS\text{ngưỡng}}$ là $I_{D0} = 1,5mA$; $R_1 = 23k\Omega$; $R_2 = 7k\Omega$; Điểm làm việc tĩnh được chọn có $U_{GS} = 5V$.

Hãy tính: Trị số dòng điện tĩnh I_D

 Trị số điện trở R_3

20. Trong FET việc điều khiển dòng điện máng là do.....quyết định.

- a. dòng điện trên cực cửa; b. Điện áp trên cực cửa
- c. điện áp trên cực máng; d. dòng điện cực cửa và điện áp cực cửa

21. Trong FET dòng điện trên cực cửa có giá trị bằng:

- a. $I_G \approx 0mA$; b. $I_G = (50 \div 100)mA$; c. $I_G = \infty$; d. $0mA < I_G < 10mA$

22. Quan hệ giữa dòng điện I_D và điện áp U_{GS} trong JFET được thể hiện qua công thức sau:

- a. $I_D = I_{D0} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS\text{ngat}}} \right)^2$
- b. $I_D = I_{D0} \left(1 + \frac{U_{GS}}{U_{GS\text{ngat}}} \right)^2$
- c. $I_D = I_{D0} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS\text{ngat}}} \right)$
- d. $I_D = I_{D0} \left(1 + \frac{U_{GS}}{U_{GS\text{ngat}}} \right)$

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Giáo trình “Cấu kiện điện tử và quang điện tử”, Trần Thị Cẩm, Học viện CNBCVT, năm 2002.
2. “Electronic Principles”- Firth Edition, Albert Paul Malvino, Ph.D., E.E. McGraw-Hill.
3. Giáo trình “Kỹ thuật mạch điện tử”, Đỗ Xuân Thụ, NXB KHKT, năm 1999

CHƯƠNG 6: CẤU KIỆN THYRISTO

GIỚI THIỆU CHƯƠNG

Chương 6 giới thiệu về các cấu kiện có 4 lớp bán dẫn. Đây là các cấu kiện thuộc họ thyristo. Thyristo là cấu kiện bán dẫn khóa mở mạch mà tác động ở 2 trạng thái bền (khóa và mở) của nó tùy thuộc vào tính hồi tiếp dương của 4 lớp bán dẫn P-N-P-N.

Thyristo có thể là cấu kiện 2 chân cực, 3 chân cực hoặc 4 chân cực, có thể dẫn điện một chiều hoặc cả hai chiều. Trong họ thyristo quan trọng nhất là đèn chỉnh lưu Silic có điều khiển (SCR), Triac, Diac, v.v...Phần đầu tiên của chương sẽ giới thiệu về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của cấu kiện chỉnh lưu silic có điều khiển (SCR), về các đặc tính và tham số của nó. Cấu kiện thứ hai là triac, đây là cấu kiện dẫn điện hai chiều, các đặc tính và tham số của triac, đây là linh kiện quan trọng được dùng nhiều trong các mạch điều khiển nguồn điện. Cấu kiện Diac: cấu tạo và nguyên lý hoạt động, cũng như ứng dụng của nó.

Ngoài ra, trong chương 6 còn giới thiệu về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của tranzito đơn nối (UJT). Đây là cấu kiện có 3 chân cực nhưng chỉ có 1 lớp tiếp xúc P-N và do vậy nó cũng có các đặc tính và tham số rất khác với các tranzito thông thường.

NỘI DUNG

6.1. CHỈNH LƯU SILIC CÓ ĐIỀU KHIỂN (SCR).

6.1.1. Cấu tạo:

Chỉnh lưu silic có điều khiển, gọi tắt là SCR, gồm có 4 lớp bán dẫn P và N sắp xếp theo kiểu P-N-P-N. Ba chân cực được ký hiệu bằng các chữ A - anốt, K - catốt, và G - cực điều khiển. Cực anốt nối với phần bán dẫn P₁ trước, còn catốt nối với phần bán dẫn N₂ sau; cực điều khiển G thường được nối với phần bán dẫn P₂.

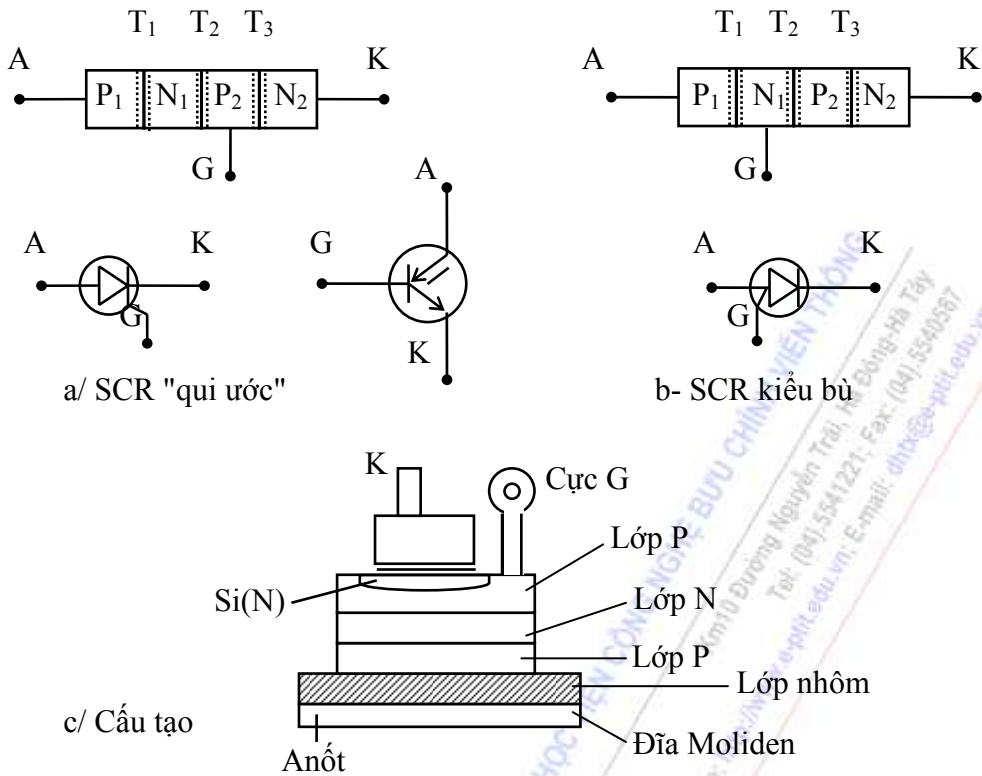
Đèn chỉnh lưu silic có điều khiển chỉ dẫn điện một chiều.

Mô hình cấu tạo và ký hiệu của SCR trong sơ đồ mạch mô tả trong hình 6- 1a,b,c.

Có hai loại SCR là:

- + SCR điều khiển theo catốt hay còn gọi là SCR theo qui ước (đơn giản gọi là SCR). Loại này cực điều khiển G được nối với phần bán dẫn P₂ sau.
- + SCR điều khiển theo anốt hay còn gọi là SCR kiểu bù. Loại này cực điều khiển G được nối với phần bán dẫn N₁ trước.

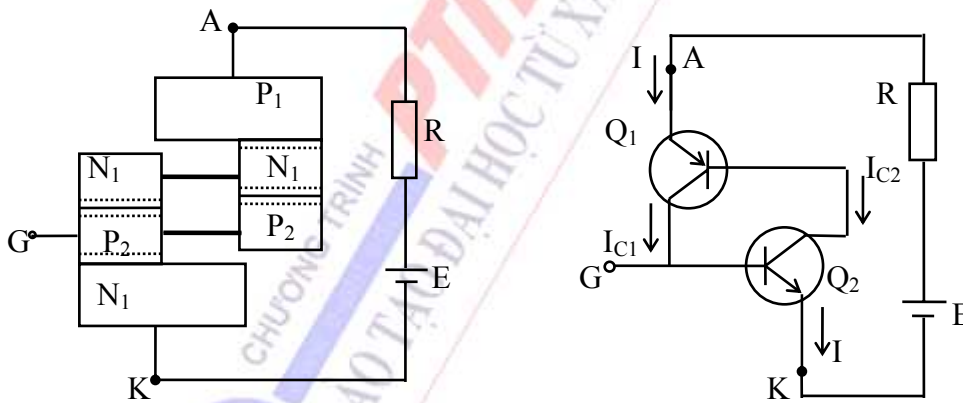
Thông thường người ta sử dụng loại SCR qui ước. Các SCR kiểu bù công suất thấp ít được dùng vì công suất tiêu thụ của nó cao hơn loại SCR qui ước. Sau đây, chúng ta nghiên cứu về nguyên lý làm việc của SCR qui ước, gọi tắt là SCR.



Hình 6- 1: Ký hiệu và cấu tạo của SCR.

6.1.2. Nguyên lý làm việc:

Sơ đồ mạch tương đương của SCR:



Hình 6- 2: Sơ đồ mạch tương đương của SCR

Theo cấu tạo, SCR có 3 tiếp xúc P- N được ký hiệu $T_1, T_2,$ và T_3

□ Khi cực điều khiển G để hở ($I_G = 0$):

Đặt điện áp nguồn cung cấp U_{AK} vào giữa anốt và catốt để phân cực cho SCR và lúc này nó được coi như 1 điốt:

+ Khi phân cực ngược ($U_{AK} < 0$) thì tiếp xúc T_1 và T_3 phân cực ngược, T_2 phân cực thuận nên qua SCR chỉ có dòng điện ngược rất nhỏ. Nếu tăng $|U_{AK}|$ lên cao đến điện áp đánh

thùng tiếp xúc T_1 và T_3 thì đây là hiện tượng đánh thủng kiểu thác lũ hay đánh thủng zener với điện áp đánh thủng $U_{đ.t.} = U_{đ.t.T1} + U_{đ.t.T3}$. Nếu xảy ra hiện tượng này thì coi như SCR hỏng.

+ Khi phân cực thuận ($U_{AK} > 0$) thì các tiếp xúc T_1 và T_3 phân cực thuận, tiếp xúc T_2 phân cực ngược và qua SCR cũng chỉ có dòng điện ngược rất nhỏ (hay SCR ở chế độ trở kháng cao).

Nếu tăng dần điện áp phân cực thuận $U_{AK} > 0$ lên đến điện áp đánh thủng tiếp xúc T_2 thì dòng điện qua SCR tăng vọt. Lúc này cả 3 tiếp xúc P-N đều coi như được phân cực thuận, điện trở của chúng rất nhỏ làm cho sụt áp trên SCR giảm hẳn xuống còn khoảng từ 1 ÷ 2 V. Trị số điện áp mà tại đó xảy ra đánh thủng tiếp xúc T_2 được gọi là điện áp đỉnh khuỷu U_{BO} . Trị số U_{BO} này thường vào khoảng từ 200 ÷ 400V. Vùng điện áp này ta gọi là vùng chặn thuận.

Như vậy, khi SCR đã dẫn điện thì dòng điện qua nó không thể khống chế được trong SCR mà nó được hạn chế nhờ điện trở mắc ở mạch ngoài.

Theo sơ đồ mạch tương đương ở hình 6- 2 của SCR ta thấy, khi SCR dẫn điện thì qua nó có dòng điện I chạy từ A đến K và giữa các tiếp xúc P-N của 2 tranzito Q_1 và Q_2 có các dòng điện vào và ra là:

$$I_{C1} = I_{B2} \text{ và } I_{C2} = I_{B1} \quad (6.1)$$

Trong đó:

$$I_{C1} = \alpha_1 I + I_{CB01}$$

$$I_{C2} = \alpha_2 I + I_{CB02}$$

Và α_1, α_2 là hệ số khuếch đại thác lũ alpha (hay số nhân thác lũ).

Dòng điện tổng qua SCR là:

$$I = I_{C1} + I_{C2} = I(\alpha_1 + \alpha_2) + I_{CB01} + I_{CB02} \quad (6.2)$$

Thay:

$$I_{CB01} + I_{CB02} = I_{CB0}$$

I_{CB0} là dòng điện ngược bão hòa của tiếp xúc P-N.

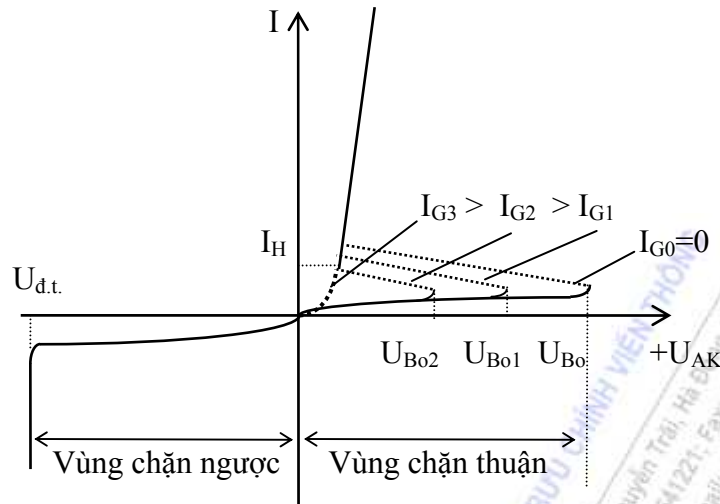
Vậy ta có:

$$I = \frac{I_{CB0}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)} \quad (6.3)$$

Như vậy, khi $(\alpha_1 + \alpha_2) = 1$ thì dòng điện tăng vọt và không giới hạn được, nó tương ứng với tiếp xúc T_2 được phân cực thuận. Lúc này, SCR dẫn điện và có nghĩa là cả hai tranzito Q_1 và Q_2 đều dẫn bão hòa. Lúc này, SCR ở chế độ "ON": đóng mạch, hệ số khuếch đại α của hai tranzito hờ nên nhỏ và đạt được điều kiện $(\alpha_1 + \alpha_2) = 1$.

□ Khi ta đưa dòng điện điều khiển vào cực điều khiển G ($I_G \neq 0$):

Khi cho một dòng điện vào cực điều khiển G , nó có thể làm tăng hệ số α mà không phụ thuộc vào điện áp và dòng điện. Như vậy, dòng I_G có tác dụng gia tăng hạt dẫn thiểu số cho lớp bán dẫn P_2 để cho tiếp xúc T_2 thông sớm hơn. Tùy theo trị số của dòng I_G mà điện áp đánh thủng tiếp xúc T_2 và trị số dòng điện duy trì I_H thay đổi. Khi I_G có giá trị càng lớn thì U_{BO} càng nhỏ và I_H càng nhỏ. Quan hệ này được thể hiện qua đặc tuyến Vôn-Ampe của SCR biểu diễn trong hình 6-3.



Hình 6-3 : Đặc tuyến vôn-ampe của SCR

Trong trường hợp này dòng điện qua SCR có biểu thức tính là:

$$I = \frac{\alpha_2 I_G + I_{CB0}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)} \tag{6.4}$$

Điện áp, mà tại đó SCR chuyển từ chế độ ngắt sang chế độ dẫn được điều khiển bằng tín hiệu rất nhỏ trên cực điều khiển. Ở các SCR công suất lớn, để kích thích cho SCR hoạt động ta dùng dòng điện I_G có hiệu ứng nhỏ. Còn ở các SCR công suất thấp, dòng I_G được sử dụng để bật và tắt SCR.

Khi SCR đã dẫn thì dù ta cắt dòng điện điều khiển I_G , nó vẫn tiếp tục dẫn điện. Khi SCR dẫn điện ta gọi là nó đã được khởi động. SCR chỉ ngừng dẫn khi dòng điện bị giảm xuống dưới mức I_H hoặc điện áp đặt lên SCR ở nửa chu kỳ âm.

Khi SCR ngừng dẫn, muốn nó hoạt động trở lại ta phải kích khởi động cho nó.

Như vậy ta thấy, trên thực tế, khi đặt điện áp U_{AK} nào đó lên SCR thì chỉ có dòng điện ngược chạy qua SCR, còn dòng điều khiển I_G sẽ tạo ra một thành phần dòng điện kích thích sao cho tổng các hệ số khuếch đại kiểu thác lũ của dòng điện $(\alpha_1 + \alpha_2) \rightarrow 1$ thì SCR sẽ khởi động.

Khi U_{AK} thuận tăng lên thì dòng điều khiển cần thiết để khởi động SCR sẽ giảm xuống.

Đặc điểm của SCR:

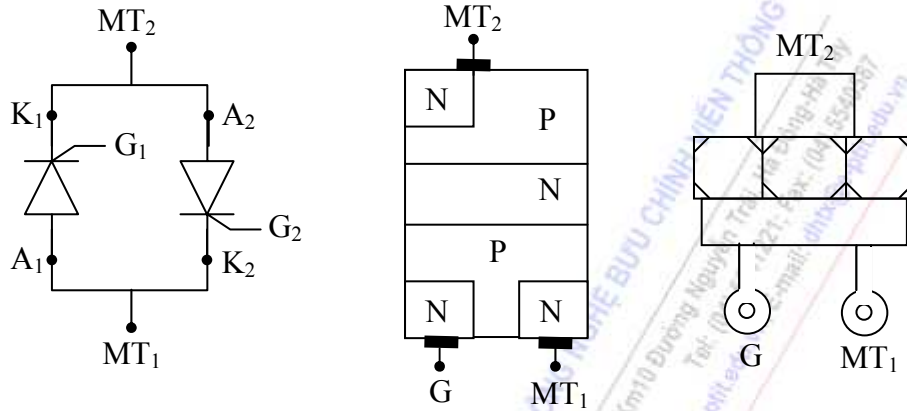
- Thời gian mở và tắt (hay thời gian phục hồi t_p) rất nhanh (vài μs đến vài chục μs).
- Cường độ dòng điện cao (hàng nghìn ampe).
- Điện áp cao (hàng nghìn Vôn).
- Sụt áp giữa 2 cực nhỏ (từ 1 ÷ 2V).
- Khả năng điều khiển lớn

6.2. TRIAC (Triode Alternative Current).

Là một cấu kiện thuộc họ Thyristo. Triac có 3 chân cực và có khả năng dẫn điện hai chiều khi có tín hiệu kích khởi động (dương hoặc âm).

6.2.1. Cấu tạo của triac:

Do tính dẫn điện hai chiều nên hai đầu ra chính của triac dùng để nối với nguồn điện được gọi là đầu ra MT_1 và MT_2 . Giữa hai đầu ra MT_1 và MT_2 có năm lớp bán dẫn bố trí theo thứ tự P-N-P-N như SCR theo cả 2 chiều. Đầu ra thứ ba gọi là cực điều khiển G. Như vậy triac được coi như hai SCR đấu song song ngược chiều với nhau, xem hình 6-4.

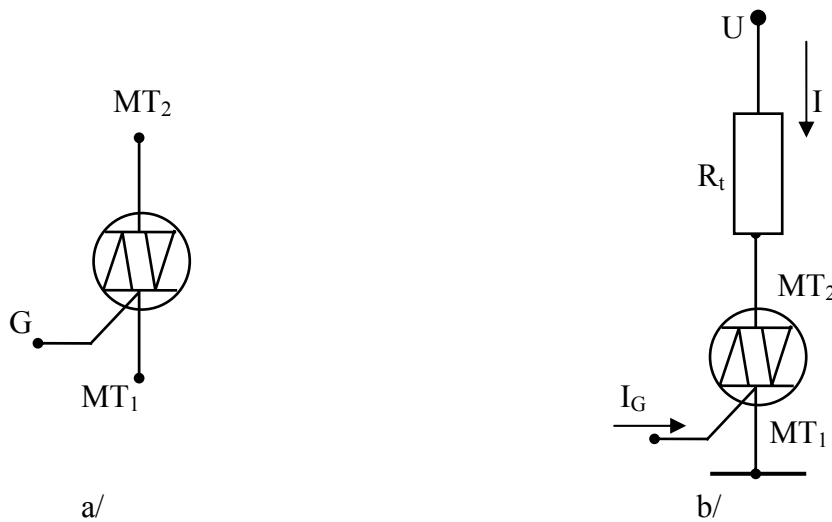


Hình 6- 4: Cấu tạo của triac

6.2.2. Nguyên lý làm việc:

Theo quy ước, tất cả các điện áp và dòng điện đều quy ước theo đầu ra chính MT_1 .

Như vậy, điện áp nguồn cung cấp cho MT_2 phải dương (hoặc âm) hơn so với MT_1 . Còn tín hiệu điều khiển được đưa vào giữa hai chân cực G và chân cực MT_1 . Ký hiệu và sơ đồ nguyên lý đầu triac trong mạch mô tả trong hình 6-5a,b.



Hình 6 – 5: Ký hiệu (a) và sơ đồ nguyên lý (b) của triac

Đặc tuyến Vôn-Ampe của triac được biểu diễn trong hình 6- 6. Đặc tuyến thể hiện khả năng dẫn điện hai chiều của triac.

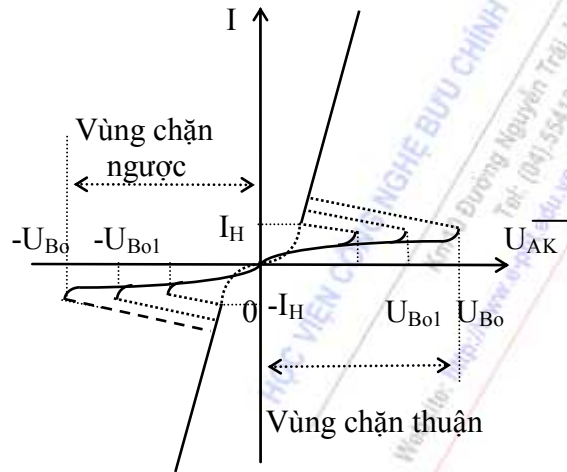
Phương pháp kích công của triac cũng giống như SCR chỉ khác là có thể dùng cả dòng dương hay dòng âm cho cả phần tư thứ I và phần tư thứ III của đặc tuyến Vôn- Ampe của triac.

Có hai phương pháp kích khởi động cho triac hoạt động nhạy nhất là:

- Cực công G dương và cực MT₂ dương so với MT₁
- Cực công G âm và cực MT₂ âm so với MT₁

Trong mạch điện, một triac cho qua 2 nửa chu kỳ của một điện áp xoay chiều và điều khiển bằng một cực điều khiển G.

Khác với SCR, triac tắt trong một khoảng thời gian rất ngắn lúc dòng điện tải đi qua điểm O. Nếu mạch điều khiển của triac có gánh là điện trở thuần thì việc ngắt mạch không có gì khó khăn. Nhưng nếu tải là một cuộn cảm thì vấn đề làm tắt triac trở nên khó khăn vì dòng lệch pha trễ. Thông thường để tắt Thyristo người ta sử dụng cái ngắt điện hoặc mạch đảo lưu dòng điện trong mạch.

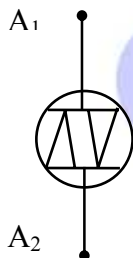


Hình 6- 6 : Đặc tuyến Vôn- Ampe của triac

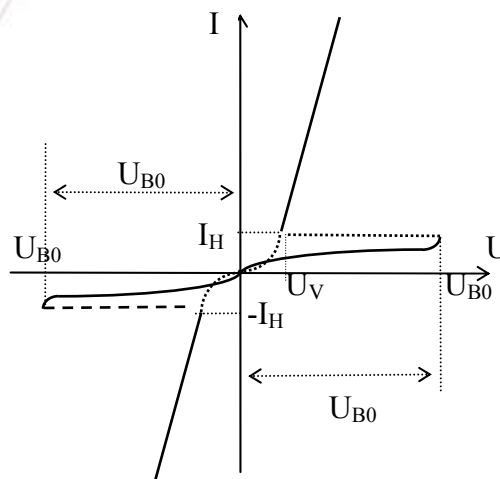
6.3. DIAC

6.3.1. Cấu tạo và ký hiệu của diac

Diac là cấu kiện 4 lớp bán dẫn có 2 chân cực A₁ và A₂. Cấu trúc của diac giống như triac nhưng không có cực điều khiển G nên diac cũng dẫn điện hai chiều.. Hình 6-7 giới thiệu ký hiệu của diac trong các sơ đồ mạch.



Hình 6 – 7: Ký hiệu của diac



Hình 6- 8 : Đặc tuyến Vôn- Ampe của diac

6.3.2. Nguyên lý hoạt động của diac

Do không có cực điều khiển nên việc kích mở cho diac thực hiện bằng cách nâng cao điện áp đặt vào hai cực. Khi điện áp nguồn đạt đến giá trị U_{B0} thì diac dẫn điện và điện áp trên nó sụt xuống chỉ còn 1 đến 2 vôn (U_V).

Trong ứng dụng, diac thường dùng làm phần tử mở cho triac dẫn. Khi diac dẫn điện, độ sụt áp trên nó là:

$$\Delta U = U_{B0} - U_V$$

được đưa vào cực điều khiển của triac như là xung kích để làm cho triac dẫn điện. Thông thường, trên thực tế ứng dụng, diac và triac được tổ hợp thành một linh kiện duy nhất.

6.3.3. Ứng dụng của Thyristo.

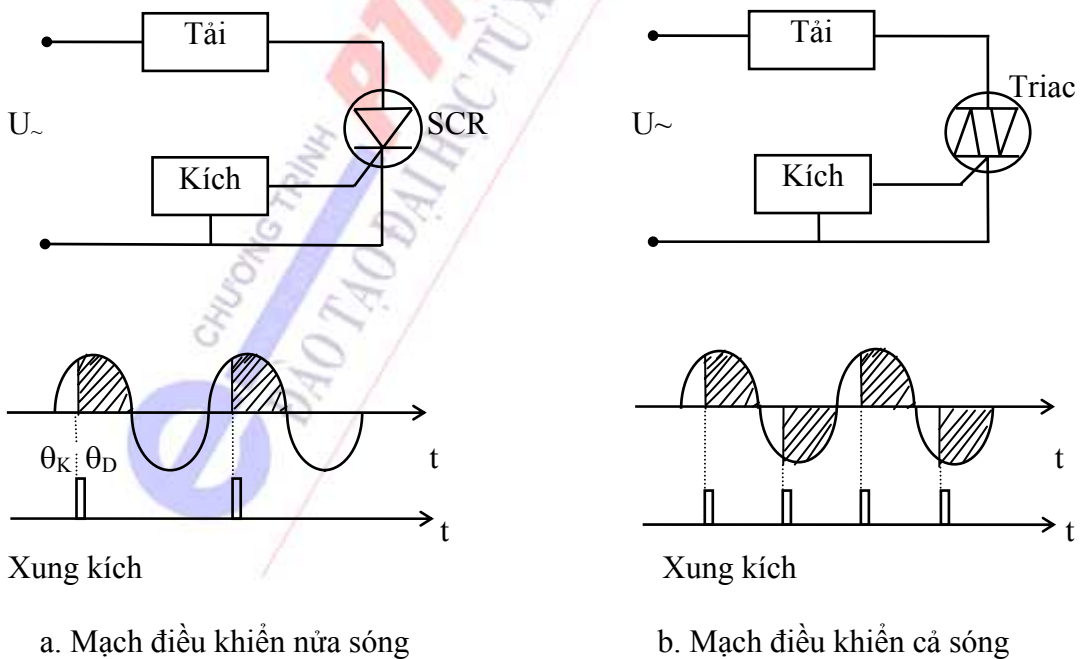
Thyristo được dùng như một chuyển mạch điện tử. Nó thường được dùng để điều khiển nguồn điện, điều khiển công suất cho lò nung, điều khiển tốc độ ô tô, điều khiển đèn tắt - sáng, điều khiển mô tơ điện một chiều v.v... Sau đây chúng ta xem xét một thí dụ về mạch kiểm soát pha (hay còn gọi là mạch điều khiển nguồn):

Đây là quá trình tắt mở dùng để nối nguồn điện xoay chiều cho tải trong một phần của mỗi chu kỳ xem hình 6-8: a/ mạch điều khiển nửa chu kỳ dùng SCR và b/ mạch điều khiển cả chu kỳ dùng triac.

Trong đó: Điểm A là thời điểm kích

Góc θ_K là góc kích và θ_D là góc dẫn (thực tế $\theta_K + \theta_D = 180^\circ$)

Bằng cách thay đổi góc kích hoặc góc dẫn chúng ta sẽ kiểm soát được công suất tiêu thụ của tải. Góc dẫn cực đại $\theta_{Dmax} = 180^\circ$; góc dẫn cực tiểu $\theta_{Dmin} = 90^\circ$



a. Mạch điều khiển nửa sóng

b. Mạch điều khiển cả sóng

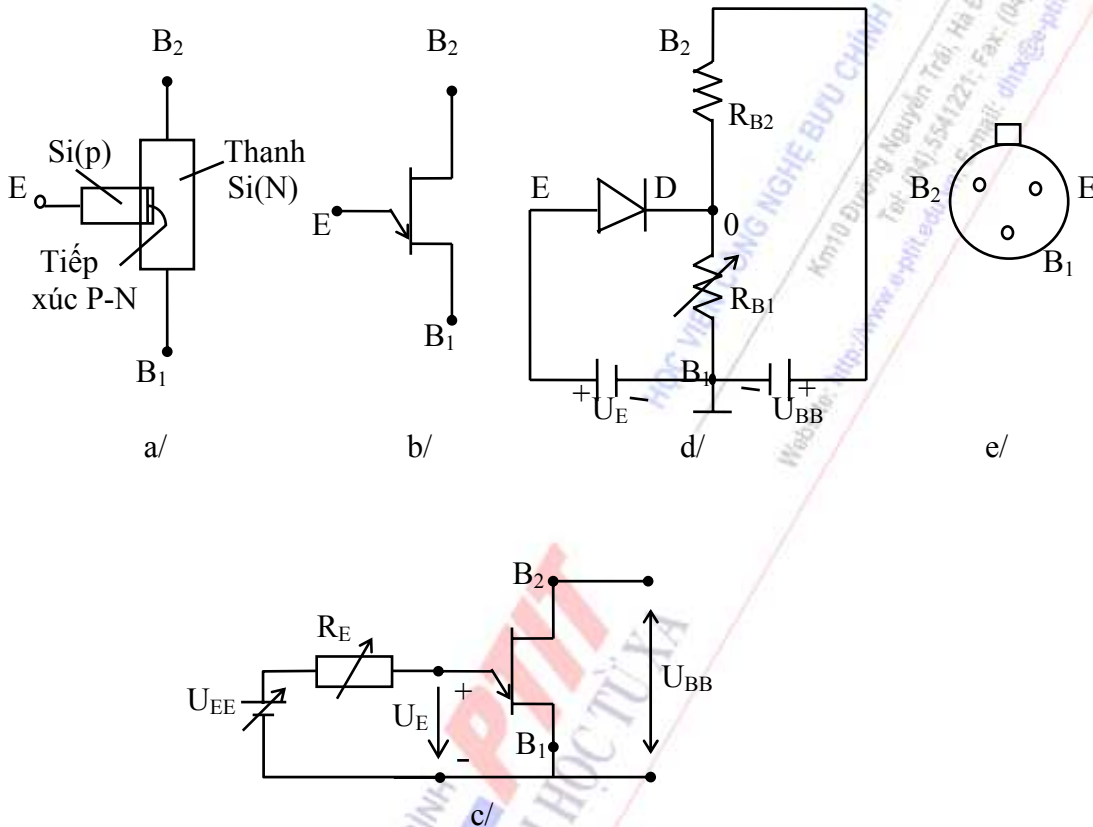
Hình 6 - 9 : Mạch điều khiển nguồn

6.4. TRANZITO ĐƠN NÓI (UJT - UNITJUNCTION TRANSISTOR)

6.4.1. Cấu tạo của tranzito đơn nói.

UJT là linh kiện bán dẫn có một tiếp xúc P-N và 3 chân cực. Nó gồm một thanh bán dẫn Silic loại N có gắn thêm 1 miếng bán dẫn Silic loại P để tạo thành một tiếp xúc P-N.

Chân cực nối với mẫu bán dẫn P gọi là cực phát E. Hai đầu còn lại của thanh Silic loại N được đưa ra 2 chân cực gọi là Nền 1 (ký hiệu B₁) và Nền 2 (ký hiệu B₂).



Hình 6- 10: a- Cấu tạo; b- ký hiệu;
 c/ Sơ đồ nguyên lý; d- sơ đồ tương đương của UJT
 e- bố trí chân cực của UJT

6.4.2. Nguyên lý làm việc của UJT.

Trong sơ đồ tương đương, diốt được thay thế cho tiếp xúc P-N; R_{B1} là điện trở của phần bán dẫn nền 1; R_{B2} là điện trở của phần bán dẫn nền 2.

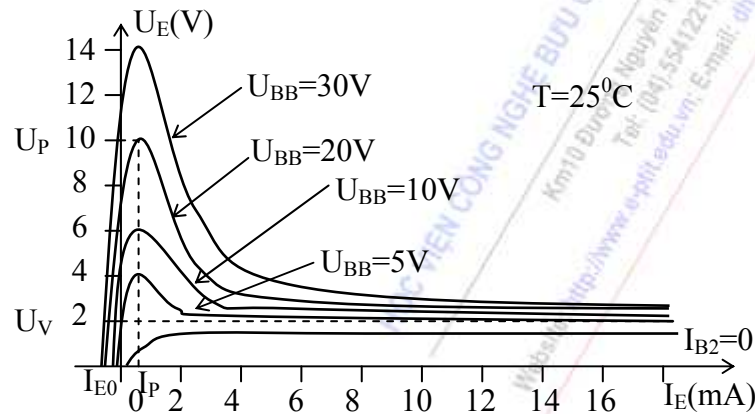
Để cho tranzito đơn nói hoạt động ta phân cực cho nó như hình 6- 9c. Cung cấp điện áp dương cho B₂ so với B₁ (U_{BB} > 0). Như vậy, nếu hở mạch cực phát thì R_{B1} và R_{B2} là bộ phân áp cho nguồn U_{BB}. Do đó, điện áp tại điểm O sẽ là:

$$U_O = \frac{U_{BB} R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} = \eta U_{BB} \tag{6.5}$$

Trong đó $\eta = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}}$ gọi là hệ số thuần khiết

- Nếu $U_E < \eta U_{BB}$ ($U_E < U_O$) thì tiếp xúc P-N (điốt D) được phân cực ngược và qua nó chỉ có dòng điện ngược I_{EO} rất nhỏ. Ta có vùng ngắt của đặc tuyến vôn- ampe của UJT.
- Khi $U_E > \eta U_{BB}$, tiếp xúc P-N được phân cực thuận, dòng I_E tăng dần. Khi $U_E > U_P$ (U_P gọi là điện áp kích khởi cho UJT hoạt động hay gọi là điện áp đỉnh) thì dòng I_E tăng nhanh. Dưới tác dụng của điện trường, các lỗ trống chuyển động từ cực phát E xuống Nền 1 (B_1), còn các điện tử chuyển động từ Nền 1 đến phần phát tạo nên dòng điện I_E . Do sự gia tăng ồ ạt của các hạt dẫn trong Nền 1 nên điện trở R_{B1} giảm trong khi dòng điện I_E tăng và điện áp U_E giảm nên ta có vùng điện trở âm của đặc tuyến vôn- ampe.

Ta có đặc tuyến vôn- ampe của UJT mô tả trong hình 6 -10:



Hình 6-11: Đặc tuyến Vôn – Ampe của UJT

Đặc tuyến Vôn- Ampe biểu thị quan hệ giữa dòng điện cực phát I_E với điện áp trên cực phát U_E . Mối quan hệ này được biểu diễn bằng hàm sau:

$$I_E = f(U_E)$$

Nếu cực nền 2 (B_2) hở mạch, nghĩa là dòng $I_{B2}=0$ thì quan hệ Vôn-Ampe lõi vào là đặc tuyến Vôn-Ampe của tiếp xúc P-N:

$$I_E = I_{EO} \left(e^{\frac{U_E}{V_T}} - 1 \right)$$

và ta có đường đặc tuyến ứng với $I_{B2}=0$ trong hình

Qua hình 6-10 ta thấy, khi thay đổi điện áp đặt lên giữa nền 1 và nền 2 (U_{BB}) thì điện áp đỉnh (U_P) cũng thay đổi theo và đưa đặc tuyến dịch lên trên.

Tại vùng điện trở âm, dòng điện chỉ bị giới hạn bởi các linh kiện mắc ở mạch ngoài, do đó mạch ngoài phải bảo đảm để dòng điện $I_E < I_{E_{max}}$

Khi I_E tăng đến I_V , muốn tăng thêm dòng I_E lên nữa ta buộc phải tăng U_E vì số lượng lỗ trống và điện tử đã đạt đến tình trạng di chuyển bão hòa, đặc tuyến chuyển sang vùng điện trở dương.

Bảng 6.1 : Biến thiên của điện trở nền 1 (R_{B1}) theo I_E của một UJT tiêu biểu.

I_E (mA)	0	1	2	5	10	20	50
R_{B1} (Ω)	4600	2000	900	240	150	90	40

6.4.3. Các tham số của tranzito đơn nối.

- Điện trở liên nền $R_{BB} = R_{B1} + R_{B2} = 4K\Omega \div 12K\Omega$ tùy thuộc vào loại UJT và phụ thuộc vào nhiệt độ.
- Hệ số thuần khiết $\eta = \frac{R_{B1}}{R_{BB}} = 0,45 \div 0,82$ không phụ thuộc nhiệt độ. Nó phụ thuộc vào vật liệu chế tạo linh kiện.
- Điện áp đỉnh: $U_P = \eta U_{BB} + U_D = \eta U_{BB} + 0,7V$ (6.6)
 Trong đó: U_{BB} - điện áp đặt vào giữa 2 Nền B_1 và B_2 .
 U_D - điện áp ngang qua điôt ($U_D = 0,7V$).
 Điện áp đỉnh là trị số điện áp đặt lên cực phát để UJT bắt đầu dẫn.
- Dòng điện đỉnh I_P là dòng điện chạy qua UJT tương ứng với trị số điện áp đỉnh U_P đặt lên cực phát E (hay còn gọi là dòng điện kích khởi). Trị số của I_P chỉ vài μA .
- Điện áp trũng $U_V \approx 2V$ là điện áp thấp nhất nối vùng điện trở âm với vùng điện trở dương của đặc tuyến.
- Dòng điện trũng I_V là trị số dòng điện tương ứng với điện áp $U_E = U_V$.
- Điện áp bão hòa U_{Ebh} là điện áp ứng với dòng $I_E = 50mA$ và điện áp $U_{BB} = 10v$.

6.4.4. Ứng dụng.

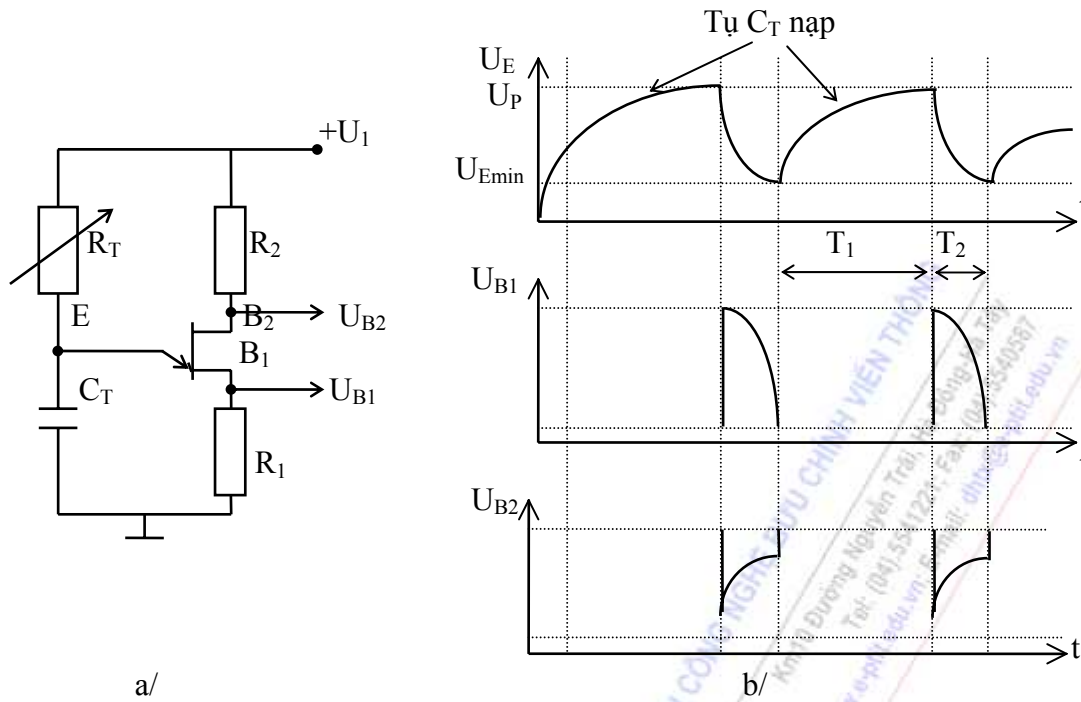
Người ta thường sử dụng đoạn đặc tuyến điện trở âm để tạo các mạch dao động. Cho nên UJT thường được dùng trong các mạch phóng nạp tạo xung, trong mạch định thời các mạch báo động và quan trọng nhất là dùng để kích khởi cho đèn chỉnh lưu Silic có điều khiển hoạt động.

Ví dụ: UJT sử dụng trong mạch dao động phóng nạp (hình 6- 11)

Trong sơ đồ có nguồn cung cấp U_1 , tải R_T , tụ phóng nạp C_T , trên R_1 ta lấy xung ra, R_2 là điện trở bù nhiệt. Ta có thể tính điện trở R_2 theo công thức sau:

$$R_2 = \frac{0,7 R_{BB}}{U_1} \quad (6.7)$$

Ngoài ra, điện trở R_2 còn có nhiệm vụ giới hạn dòng khi điện áp U_1 quá lớn.



Hình 6- 12 : a- Sơ đồ mạch tạo dao động phóng nạp dùng UJT.
 b- Dạng sóng tại các chân cực E, B₁ và B₂ .

Tần số của dao động lấy ra trên R₁ (hoặc trên R₂):

$$f = \frac{1}{T_1 + T_2} \approx \frac{1}{T_1} \quad (6. 8)$$

(vì $T_1 \gg T_2$)

Trong đó: T₁ - thời gian UJT ngừng dẫn (thời gian tụ C_T nạp điện)
 T₂ - thời gian UJT dẫn điện (thời gian tụ C_T phóng điện)

Điều kiện để mạch hoạt động tốt như sau:

+ Đường tải R_T phải cắt đặc tuyến tại một điểm ở vùng điện trở âm hay nói cách khác dòng điện chạy qua UJT phải có trị số:

$$I_V > I > I_P$$

hoặc tải có giá trị là $\frac{U_{BB} - U_P}{I_P} > R_T > \frac{U_{BB} - U_V}{I_V}$

+ Để không làm giảm U_E cần có C_T ≥ 0,01μF

+ Nếu C_T > 1μF, nên thêm điện trở nối tiếp với C_T để bảo vệ cực phát.

TÓM TẮT NỘI DUNG

Thyristo là các cấu kiện có 4 lớp bán dẫn được sắp xếp theo trật tự P-N-P-N. Chúng là cấu kiện có 2 chân cực, 3 chân cực hoặc 4 chân cực; có khả năng dẫn điện một chiều hoặc hai chiều. Đây là các cấu kiện điện tử đóng ngắt mạch mà hai trạng thái đóng và ngắt mạch của nó phụ thuộc vào tính hồi tiếp dương của 4 lớp bán dẫn trên.

Họ thyristo gồm có các cấu kiện như chỉnh lưu silic có điều khiển (SCR), triac, diac, chuyển mạch silic có điều khiển...

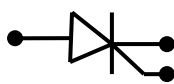
Chỉnh lưu silic có điều khiển (SCR) là cấu kiện có 4 lớp bán dẫn được sắp xếp theo thứ tự P₁-N₁-P₂-N₂ và hai ba chân cực: A-nốt đấu vào bán dẫn P₁, Ka-tốt đấu vào bán dẫn N₂, cực điều khiển G đấu vào bán dẫn P₂. SCR chỉ dẫn điện một chiều khi cấp điện áp thuận vào giữa 2 cực A-K (U_{AK}>0). Tùy vào dòng điện điều khiển I_G lớn hay nhỏ mà vùng chặn thuận có các giá trị khác nhau. Nếu I_G càng lớn thì giá trị điện áp đỉnh khuỷu (hay điện áp khởi động) của SCR càng nhỏ. Đặc tuyến Vôn-Ampe của SCR có đoạn chặn thuận và đoạn chặn ngược. Nếu điện áp đặt lên SCR bằng hoặc vượt vùng chặn ngược thì cấu kiện bị đánh thủng và bị hỏng; còn bằng hoặc vượt vùng chặn thuận thì cấu kiện sẽ dẫn điện và SCR được kích khởi động, dòng điện chạy qua SCR tăng vọt và nó chỉ bị khống chế bởi điện trở mắc ở mạch ngoài. Điều kiện để SCR dẫn điện là hệ số nhân thác lũ α₁α₂=1. Khi SCR đã dẫn điện nếu ta ngắt dòng điều khiển thì nó vẫn dẫn điện. SCR chỉ ngừng dẫn khi điện áp nguồn chuyển sang nửa chu kỳ âm hoặc dòng điện giảm xuống dưới giá trị dòng điện duy trì I_H. Khi muốn SCR dẫn điện ta lại phải kích cho nó dẫn điện.

Triac là cấu kiện cũng có 3 chân cực nhưng dẫn điện hai chiều. Các chân cực được gọi là các đầu ra MT₁, MT₂ và cực điều khiển G. Triac được cấu tạo từ 5 lớp bán dẫn sắp xếp theo trật tự N-P-N-P-N sao cho tạo ra được cấu trúc như là 2 SCR đấu song song và ngược chiều nhau. Việc kích cho triac dẫn điện có thể được thực hiện bằng 4 cách nhưng thông thường người ta sử dụng 2 cách nhạy nhất là MT₂ dương hơn MT₁ và cực G dương hơn MT₁ hoặc MT₂ và cực G cùng âm hơn MT₁. Khi triac đã dẫn điện, muốn nó ngừng dẫn ta phải giảm dòng điện qua nó xuống dưới giá trị dòng điện duy trì I_H hoặc dùng cái ngắt điện. Việc cho triac ngừng dẫn khó khăn hơn so với SCR vì nó dẫn điện cả hai chiều.

Tranzito đơn nối (UJT) là tranzito chỉ có một lớp tiếp xúc P-N và ba chân cực là cực Phát (E), Nền 1 (B₁) và Nền 2 (B₂). Nguyên lý hoạt động của UJT khác hẳn với các tranzito khác đã học. Khi điện áp đặt lên cực phát phải bằng hoặc lớn hơn giá trị điện áp đỉnh (U_P) thì UJT mới dẫn điện, nhưng sụt áp trên nó giảm và đặc tuyến Vôn-Ampe có đoạn điện trở âm. Điện áp đỉnh U_P = ηU_{BB} + 0,7V; trong đó η là hệ số thuần khiết, U_{BB} là điện áp giữa Nền2 và Nền1. Khi dòng điện đạt đến giá trị I_V –dòng điện trưng thì sụt áp trên UJT giảm đến trị số điện áp trưng U_V. Từ giá trị này UJT chuyển sang vùng điện trở dương của đặc tuyến. Người ta sử dụng đoạn điện trở âm để lắp các mạch tạo xung phóng nạp.

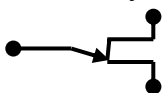
CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Trình bày cấu tạo, ký hiệu và nguyên lý hoạt động của SCR?
2. Hãy giải thích về đặc tuyến Vôn-Ampe của SCR?
3. Trình bày về điều kiện để SCR dẫn điện?
4. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của triac?
5. Hãy vẽ đặc tuyến Vôn-Ampe và chỉ ra các vùng kích nhạy nhất cho triac trên đồ thị?
6. Trình bày về cấu tạo, ký hiệu và đặc tuyến Vôn-Ampe của diac?
7. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của UJT?
8. Nêu các tham số của UJT và ứng dụng của nó?
9. Ký hiệu sau đây là của cấu kiện nào?



- a. SCR; b. Triac; c. Diac; d. UJT

10. Ký hiệu sau đây là của cấu kiện nào?



- a. SCR; b. Triac; c. UJT; d. FET

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- 1- Giáo trình “Cấu kiện điện tử và quang điện tử” – Trần Thị Cẩm, Học viện CNBCVT, năm 2002.
- 2- “Các linh kiện bán dẫn thông dụng”- Nguyễn Như Anh và nhóm tác giả, NXB KHKT, năm 1988.



CHƯƠNG 7 VI MẠCH TÍCH HỢP

GIỚI THIỆU CHƯƠNG

Các điốt và tranzito tuy rất nhỏ nhưng khi ghép với nhiều linh kiện thụ động để thực hiện một chức năng nào đó thì nó vẫn thành một khối lớn. Ngoài ra, do chế tạo rời rạc nên các tham số của tranzito cũng không giống nhau tuy cùng ký hiệu. Do đó, khi ghép nhiều linh kiện rời rạc sẽ không bảo đảm độ tin cậy cao và không kinh tế. Vì vậy hướng phát triển của kỹ thuật điện tử sau bán dẫn là kỹ thuật vi điện tử.

Chương 7 này sẽ giới thiệu về khái niệm và phân loại vi mạch tích hợp, về các phương pháp chế tạo mạch tích hợp bán dẫn như qui trình quang khắc, qui trình plana và qui trình công nghệ epitaxi-plana. Trong chương này cũng trình bày về các phương pháp chế tạo các cấu kiện điện tử trong vi mạch bán dẫn: điện trở, tụ điện, cuộn cảm, tranzito và điốt cũng như các chi tiết khác. Đồng thời, chương 7 cũng trình bày về đặc điểm và các tính chất của một số loại vi mạch tích hợp hiện đang được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực kỹ thuật điện tử như vi mạch tuyến tính, vi mạch số.

NỘI DUNG:

7.1. KHÁI NIỆM VÀ PHÂN LOẠI VI MẠCH TÍCH HỢP

7.1.1. Định nghĩa vi mạch và các ưu khuyết điểm.

a. Định nghĩa:

Một vi mạch tích hợp bao gồm một chip đơn tinh thể silic có chứa các linh kiện tích cực và linh kiện thụ động cùng dây nối giữa chúng. Các linh kiện này được chế tạo bằng công nghệ giống như công nghệ chế tạo điốt và tranzito riêng rẽ. Quá trình công nghệ này gồm việc nuôi cấy lớp epitaxi, khuếch tán tạp chất mặt nạ, nuôi cấy lớp oxit, và khắc oxit, sử dụng ảnh in li tô để định rõ các giản đồ...

Vậy, vi mạch tích hợp (Integrated circuits - viết tắt là IC) là sản phẩm của kỹ thuật vi điện tử bán dẫn. Nó gồm các linh kiện tích cực như tranzito, điốt..., các linh kiện thụ động như điện trở, tụ điện, cuộn cảm, và các dây dẫn, tất cả được chế tạo trong một qui trình công nghệ thống nhất, trong một thể tích hay trên một bề mặt của vật liệu nền. Mỗi một loại vi mạch tích hợp chỉ giữ một hoặc vài chức năng nhất định nào đó.

b. Ưu nhược điểm của vi mạch điện tử:

So với các mạch rời rạc vi mạch tích hợp có nhiều ưu điểm, tuy nhiên cũng có một số nhược điểm.

□ Ưu điểm:

Vi mạch tích hợp có độ tin cậy rất cao, kích thước nhỏ, chứa được nhiều phần tử (IC bậc 1 chứa 10 linh kiện, IC bậc 2 chứa $11 \div 100$ linh kiện, IC bậc 3 chứa $101 \div 1000$ linh kiện, IC bậc 4 chứa đến 10000 linh kiện hoặc lớn hơn), giá thành hạ, tiêu thụ ít năng lượng điện.

□ Nhược điểm:

- Do sử dụng năng lượng nhỏ nên hạn chế tốc độ làm việc.
- Yêu cầu về độ ổn định nguồn cung cấp cao.

7.1.2. Phân loại vi mạch tích hợp.

Mạch tổ hợp, hay còn gọi là vi mạch tích hợp, là một bước tiến vượt khác hẳn với các mạch rời rạc, các linh kiện của mạch được kết hợp với nhau tùy theo các phương pháp chế tạo.

Có rất nhiều cách phân loại vi mạch tích hợp. Ta xét một số cách phân loại vi mạch thông dụng:

a. Phân loại theo tính chất dữ liệu được xử lý bằng IC : chia thành 2 loại sau:

- *IC tuyến tính*: Là loại IC có khả năng xử lý các dữ liệu xảy ra liên tục.
- *IC số*: Là loại IC có khả năng xử lý các dữ liệu xảy ra rời rạc.

b. Phân loại theo công nghệ chế tạo: chia thành 4 loại sau:

- *Vi mạch bán dẫn* (hay còn gọi là vi mạch đơn khối): Trong các vi mạch bán dẫn, các phần tử tích cực và thụ động được chế tạo trên một đơn tinh thể bán dẫn (Si (N) hoặc Si (P)) làm chất nền. Việc chế tạo vi mạch bán dẫn chủ yếu dựa trên quá trình quang khắc theo các phương pháp Plana, Plana- epitaxi hay siloc.
- *Vi mạch màng mỏng*: Trong đó chỉ tích hợp các linh kiện thụ động trên đế là thủy tinh cách điện hay Ceramic bằng phương pháp bốc hơi và lắng đọng trong chân không, còn các phần tử tích cực được hàn gắn vào mạch như các linh kiện rời rạc. Ưu điểm của loại này là chế tạo được các điện trở và tụ điện có chất lượng cao và sai số nhỏ.
- *Vi mạch màng dày*: Trong đó chỉ tích hợp các linh kiện thụ động trên đế là chất bán dẫn bằng phương pháp quang khắc qua khuôn còn các linh kiện tích cực được hàn vào như linh kiện rời rạc.
- *Vi mạch lai*: Trong đó tích hợp cả các linh kiện tích cực và các linh kiện thụ động trên một đế là thủy tinh hoặc Ceramic theo cả hai công nghệ chế tạo vi mạch bán dẫn và vi mạch màng mỏng. Vi mạch lai có độ tin cậy cao hơn loại vi mạch bán dẫn. Tuy nhiên, công nghệ chế tạo vi mạch lai còn phức tạp nên giá thành của nó cao hơn, điều này hạn chế việc sử dụng công nghệ này.

c. Phân loại theo loại tranzito có trong IC: chia thành 2 loại như sau:

- *Vi mạch lưỡng cực*: Trong đó các tranzito được tích hợp là các tranzito lưỡng cực. Vi mạch lưỡng cực có tốc độ chuyển mạch cao (cỡ 5 ns đến 20 ns), công suất tiêu tán nhiệt từ vài μ W đến vài trăm mW, nhưng mức độ tích hợp thấp khoảng ≤ 100 phần tử trong một vi mạch vì kích thước của các tranzito và các phần tử thụ động lớn.
- *Vi mạch MOS*: Là các vi mạch, trong đó các tranzito được tích hợp là loại tranzito trường, thông thường là các tranzito trường loại MOS. Vi mạch MOS có độ tích hợp bậc 3, bậc 4 (cỡ 10000 phần tử hoặc hơn nữa trong một IC). Các vi mạch MOS không cần tích hợp điện trở vì có thể dùng tranzito MOS làm điện trở. Vi mạch MOS có khả năng chống nhiễu cao nhưng thời gian chuyển mạch chậm, công suất tiêu thụ thấp hơn IC lưỡng cực nhiều.

d. Dựa theo số phần tử được tích hợp trong IC: chia thành 4 loại sau:

- *Vi mạch loại SSI*: số phần tử được tích hợp < 12
- *Vi mạch loại MSI*: số phần tử được tích hợp từ $12 \div 100$
- *Vi mạch loại LSI*: số phần tử được tích hợp từ $100 \div 1000$

- *Vi mạch loại VLSI*: số phần tử được tích hợp > 1000

Trong các loại vi mạch này thì vi mạch đơn khối được sản xuất và sử dụng nhiều nhất do công nghệ chế tạo đơn giản, giá thành rẻ, thời gian chuyển mạch nhanh và số phần tử tích hợp khá cao.

7.2. CÁC PHƯƠNG PHÁP CHẾ TẠO MẠCH TÍCH HỢP BÁN DẪN

7.2.1. Quá trình quang khắc.

Trước tiên ta phải tạo một khuôn gọi là khuôn ánh sáng. Sau đó trên bề mặt tấm bán dẫn Si để ta tạo một lớp oxit silic SiO_2 bằng phương pháp gia công nhiệt ở nhiệt độ 1000°C đến 1200°C trong hơi nước. Tiếp theo là phủ lớp cảm quang và sau đó đặt khuôn ánh sáng lên trên lớp cảm quang, rồi chiếu ánh sáng vào khuôn ánh sáng. Ánh sáng sẽ tác động lên lớp cảm quang theo đúng cấu hình của khuôn ánh sáng. Sau đó bỏ khuôn ánh sáng ra và tiến hành hiện hình và định hình. Tiếp theo là quá trình ăn mòn bằng các dung dịch hóa học những chỗ có ánh sáng chiếu vào. Sau đó ta loại bỏ lớp cảm quang và kết quả được tấm bán dẫn trên có phủ một lớp bảo vệ bằng SiO_2 theo cấu hình yêu cầu.

Mỗi lớp phủ bảo vệ bằng SiO_2 theo cấu hình yêu cầu được gọi là một mask (mặt nạ), mỗi lần tạo ra một mask phải được lặp lại đầy đủ các bước đã nêu ở trên, nên khi chế tạo vi mạch điện tử mà số mask càng giảm thì sẽ càng kinh tế.

7.2.2. Quá trình plana.

Đây là loại công nghệ cho phép gia công các phần tử của mạch điện tử trên bề mặt của một phiến đơn tinh thể bán dẫn silic. Công nghệ plana là công nghệ kết hợp hai quá trình quang khắc và khuếch tán. Sau khi tạo ra mask ta sẽ tiến hành khuếch tán tạp chất vào để bán dẫn theo cấu hình của mask. Khi chế tạo tranzito lưỡng cực thì số mặt nạ (mask) sẽ nhiều nhất. Các điôt, điện trở, tụ điện cũng được chế tạo đồng thời cùng với quá trình chế tạo tranzito.

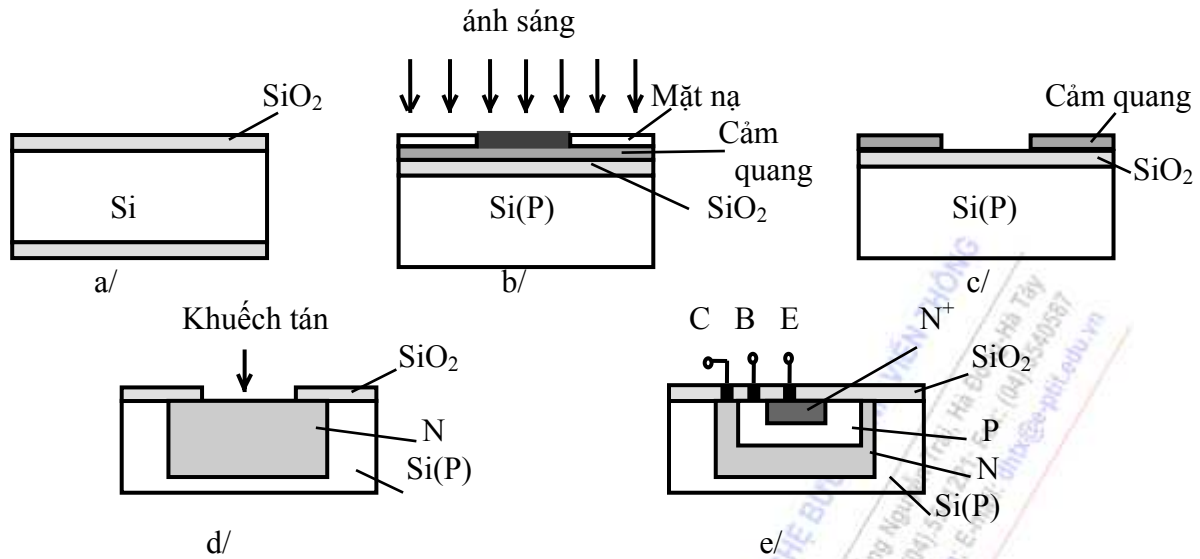
Trình tự của quá trình plana như sau (xem hình 7-1):

1. Gia công tấm bán dẫn silic tinh khiết:

Từ một chất silic tự nhiên qua công nghệ làm sạch để tạo ra một chất silic tinh khiết có độ sạch ít nhất đạt 99,99999%. Tấm silic được cưa cắt đúng kích thước và gia công bề mặt. Tấm bán dẫn này được dùng làm đế và thường có bề dày khoảng $100\mu\text{m}$.

2. Oxy hóa tấm bán dẫn đế: hình 7-1a

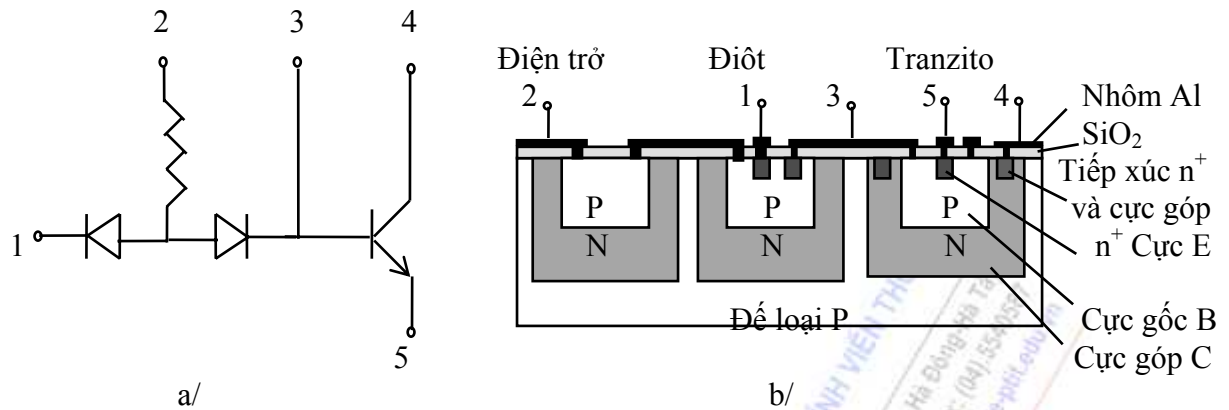
Qua quá trình oxy hóa tạo ra trên hai mặt của tấm silic hai lớp SiO_2 . Bề dày lớp SiO_2 có thể khống chế một cách chính xác nhờ thời gian oxy hóa, nồng độ oxy thổi vào lò và tốc độ di chuyển của tấm bán dẫn trong lò.



Hình 7 - 1 : Trình tự của công nghệ Plana

3. Cho ăn mòn lớp SiO₂ ở phía dưới để tiến hành khuếch tán tạp chất vào (ví dụ loại P), vì để là bán dẫn tinh khiết.
4. Phủ lớp cảm quang: hình 7-1b,c
 Chất cảm quang là một hợp chất hóa học có đặc điểm là nó sẽ trở nên bền vững hoặc không bền vững trong một dung môi đã được xác định trước khi nó được chiếu sáng.
5. Quang khắc và ăn mòn chọn lọc lớp SiO₂ theo cấu hình của khuôn ánh sáng, ta sẽ thu được mặt nạ đầu tiên. Xem hình 7-1c. Tiếp tục cho ăn mòn bằng cách ngâm vào dung dịch axit flohydric HF, sau đó bỏ lớp cảm quang đi ta sẽ tạo ra được một lỗ thủng qua lớp SiO₂ đến tinh thể silic. Kích thước của lỗ thủng tùy thuộc vào mặt nạ.
6. Khuếch tán tạp chất loại N (nguyên tố nhóm 5 - tạp chất cho) vào để để tạo vùng colectơ khi chế tạo tranzito loại N-P-N. Xem hình 7-1d
7. Sau đó oxy hóa lần thứ hai để tạo lớp SiO₂.
8. Phủ lớp cảm quang, che mặt nạ, chiếu sáng và cho ăn mòn ta thu được mặt nạ thứ hai.
9. Khuếch tán bán dẫn loại P (nguyên tố nhóm 3- tạp chất nhận) để tạo vùng bazo
10. Oxy hóa tạo lớp SiO₂.
11. Quang khắc và ăn mòn chọn lọc ta thu được mặt nạ thứ ba và tiến hành khuếch tán tạo vùng N⁺ của Emitơ.
12. Oxy hóa + quang khắc và ăn mòn ta có mặt nạ thứ tư để gắn các điện cực E,B,C. Xem hình 7-1e

7.2.3. Quy trình công nghệ epitaxi- plana.



Hình 7 - 2 : a- Một mạch điện gồm một điện trở, hai điốt và một tranzito.
 b- Mặt cắt của vi mạch thể hiện sơ đồ mạch (a).

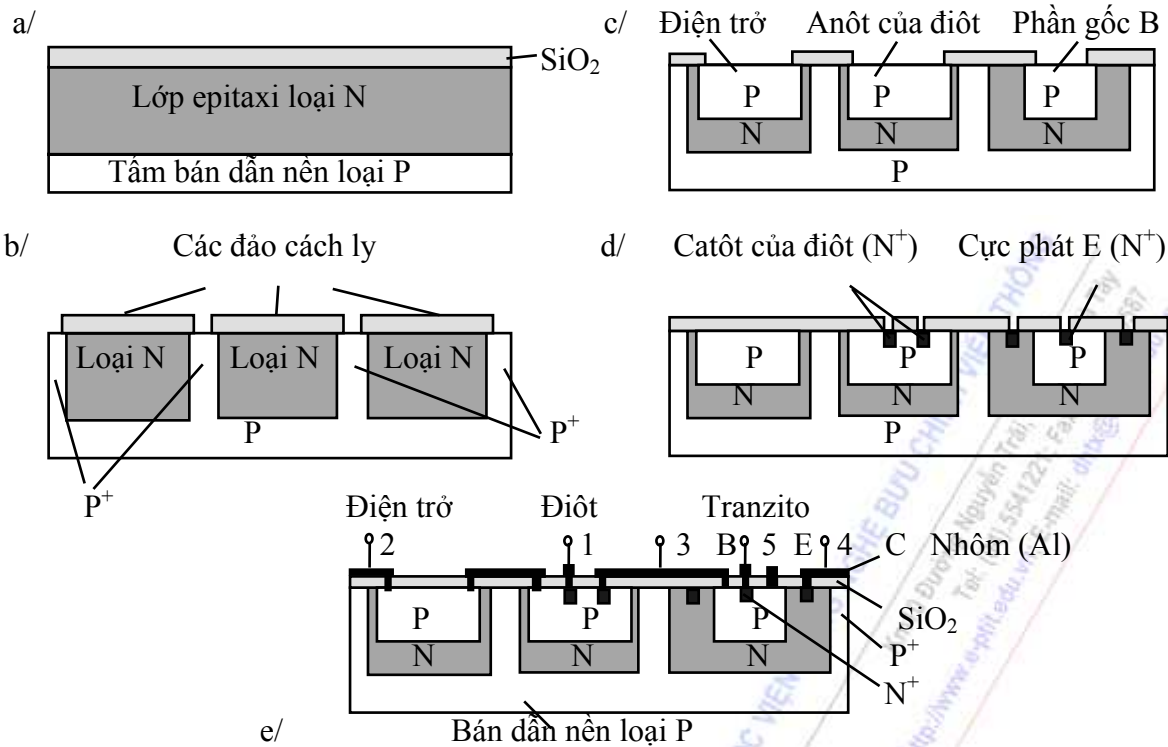
Công nghệ epitaxi- plana tương tự như công nghệ plana. Epitaxi là quá trình nuôi một lớp đơn tinh thể mỏng bên trên một đế tinh thể khác. Lớp đơn tinh thể mỏng này được gọi là lớp epitaxi.

Quá trình công nghệ epitaxi- plana được mô tả qua ví dụ một mạch tích hợp như ở hình 7-2a,b.

a. Nuôi lớp epitaxi:

Một lớp epitaxi loại N dày khoảng 25 micron ($1 \text{ micron} = 10^4 \text{ Angstrom}$) được nuôi bên trên một lớp nền bán dẫn loại P. Lớp bán dẫn nền này có điện trở suất khoảng $10 \Omega \cdot \text{cm}$, tương đương $N_A = 1,4 \cdot 10^{15}$ nguyên tử/cm³. Lớp epitaxi loại N có thể chọn điện trở suất từ 0,1 đến $0,5 \Omega \cdot \text{cm}$. Trên lớp epitaxi phủ một lớp cách điện SiO₂ mỏng khoảng 0,5 micron. Lớp SiO₂ được tạo nên nhờ quá trình oxy hóa trong lò nung nóng khoảng 1000⁰C. (Xem hình 7- 3a).

b. Khuếch tán cách ly:



Hình 7 - 3 : Quá trình công nghệ epitaxi - plana chế tạo vi mạch theo sơ đồ hình 7-2.

Trong hình 7 - 3b chỉ ra kết quả của quá trình khuếch tán cách ly. Bằng phương pháp quang khắc và ăn mòn lớp SiO₂ ở 4 vị trí, để tạo ra ba vùng cách điện nhau. Các phần SiO₂ còn lại là một mặt nạ để tiến hành khuếch tán tạp chất nhận vào. Các vùng N trong hình 7- 3b được gọi là các đảo cách ly vì chúng được phân chia bằng hai tiếp xúc P-N kiểu lưng- đối- lưng. Cần chú ý là nồng độ tạp chất nhận N_A khoảng 5.10²⁰/cm³ trong vùng giữa các đảo cách ly và ta sẽ tạo được vùng P⁺ có nồng độ hạt dẫn cao hơn nhiều so với nền P để ngăn chặn vùng nghèo hạt dẫn của tiếp xúc phân cực ngược giữa nền và vùng cách ly.

c. Khuếch tán phần góc B và phần phát E:

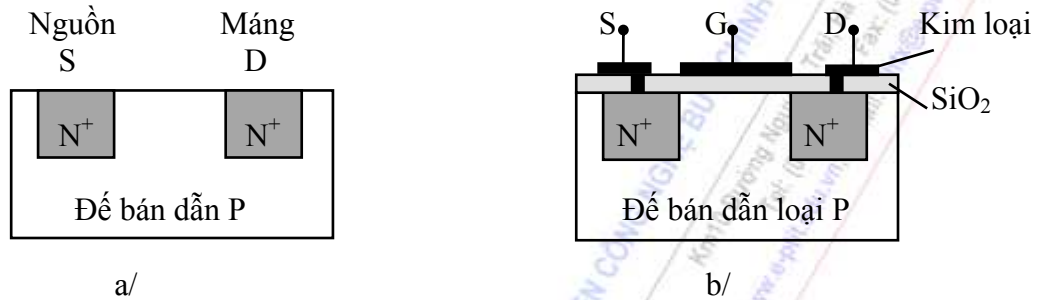
Tiếp theo là các quá trình của công nghệ plana để tạo ra phần bán dẫn P của điện trở, anôt của điôt và cực góc của tranzito. Cần chú ý là phần bán dẫn P này có điện trở suất lớn hơn nhiều điện trở suất của các vùng cách ly. Để tạo ra phần bán dẫn N⁺ của phần phát của tranzito, catôt của điôt thì ta cho khuếch tán tạp chất loại N với nồng độ tạp chất cao.

d. Quá trình kim loại hóa nhôm:

Các phần tử của sơ đồ mạch điện ở hình 7-2 đã được tích hợp, chúng hoàn toàn cách ly nhau. Bây giờ ta phải nối ghép chúng theo sơ đồ mạch điện yêu cầu. Lớp đầu nối giữa các linh kiện được thực hiện bằng việc lắng đọng trong chân không một màng mỏng kim loại nhôm lên trên cùng, sau đó sử dụng kỹ thuật quang khắc để loại bỏ các phần nhôm không cần nối giữa điện trở, điôt và tranzito. Cuối cùng là bước gắn các chân cực cho các phần tử của IC.

7.2.4. Phương pháp chế tạo vi mạch tích hợp tranzito trường.

Tranzito trường tích hợp loại MOS chỉ chiếm khoảng 5% diện tích bề mặt yêu cầu bởi một tranzito hai lớp epitaxi trong các mạch tích hợp thông thường. Chỉ cần một bước khuếch tán trong quy trình chế tạo tranzito trường loại MOS kênh cảm ứng. Trong bước này hai vùng bán dẫn loại N nồng độ cao được khuếch tán vào bán dẫn đế loại P có nồng độ tạp chất thấp để tạo cực nguồn và cực máng. Một lớp cách điện SiO₂ được nuôi cấy, và các lỗ hở được khắc axit để gắn điện cực nguồn và cực máng. Kim loại cho các tiếp xúc này được bốc hơi đồng thời cùng với cực cửa để hoàn thành linh kiện là tốt nhất. Xem hình 7-4a,b.



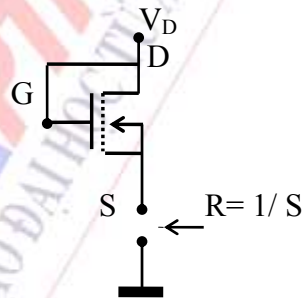
Hình 7 - 4 : FET - MOS kênh cảm ứng loại N.

a- Cực nguồn và cực máng được khuếch tán vào bán dẫn đế.

b- Linh kiện đã hoàn thiện.

Ngoài ra, trong các vi mạch, tranzito MOS là một điện trở có trị số xác định bằng điện áp đặt ngang qua kênh dẫn ($R = 1/S$ có thể tới hàng trăm KΩ).

Công nghệ chế tạo FET cũng sử dụng hai công nghệ plana và epitaxi- plana.



Hình 7 - 5: Tranzito MOS như một điện trở

7.2.5. Phương pháp cách điện trong vi mạch.

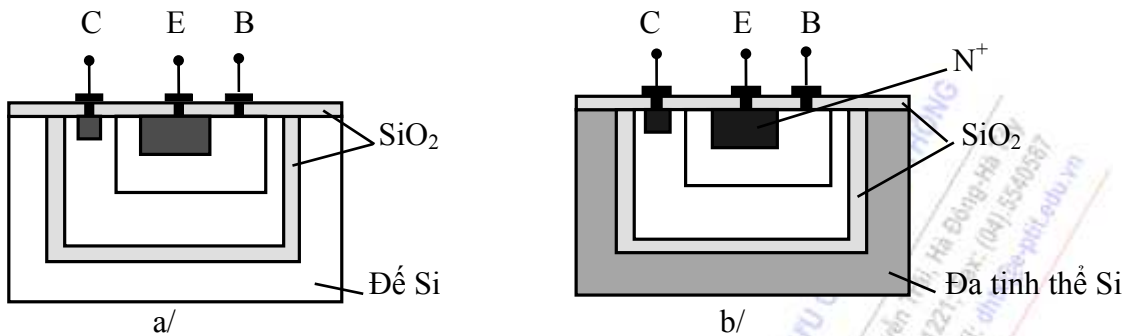
Trong các vi mạch tích hợp người ta thường dùng 2 phương pháp cách điện là cách điện bằng tiếp xúc P-N và cách điện bằng điện môi.

a. Cách điện bằng tiếp xúc P-N.

Tiếp xúc P-N khi được phân cực ngược thì điện trở của nó rất lớn. Do vậy, trong vi mạch điện tử người ta sử dụng tiếp xúc góp - để phân cực ngược để cách điện

b. Cách điện bằng chất điện môi.

Trong phương pháp này các phần tử sẽ cách điện với nhau bằng lớp điện môi, lớp điện môi này bao quanh phần góp ngăn cách phần góp với đế. Xem hình 7-6a.



Hình 7 -6 : Phương pháp cách điện bằng chất điện môi:
 a- với đế là tinh thể Si; b- với đế là đa tinh thể Si.

Một phương pháp cách điện dễ dàng hơn là dùng đế là bán dẫn đa tinh thể vì quá trình nuôi lớp đa tinh thể không đòi hỏi chặt chẽ như khi nuôi lớp đơn tinh thể. Xem hình 7-6b.

7.3. CÁC CẤU KIỆN ĐƯỢC TÍCH HỢP TRONG VI MẠCH

7.3.1. Điện trở.

a. Điện trở bán dẫn

- Đây là điện trở đơn khối bán dẫn loại P hoặc loại N. Giá trị điện trở của khối bán dẫn được xác định bằng điện trở suất, độ dài và diện tích tiết diện của vùng vật liệu:

$$R = \rho \frac{L}{S} \tag{7.1}$$

Trong đó: L- độ dài của khối bán dẫn
 S- diện tích tiết diện của khối bán dẫn
 ρ- điện trở suất của chất bán dẫn

- Điện trở khuếch tán là các điện trở được cấy trên một đế bán dẫn. Điện trở khuếch tán được tính theo công thức (7.2):

Nếu điện trở khuếch tán pha tạp chất cho N_D thì điện trở được xác định:

$$R_{KT} = \frac{L}{q\mu_n N_D S} \quad (\Omega) \tag{7.2}$$

Trong đó : L- Độ dài của lớp điện trở khuếch tán
 S- Diện tích tiết diện của lớp điện trở.

Nếu điện trở khuếch tán được pha tạp chất nhận N_A thì ta chỉ việc thay các giá trị độ linh động của lỗ trống và nồng độ N_A vào công thức 7.2.

Trong các vi mạch tranzito trường, người ta sử dụng điện trở là tranzito trường với trị số phụ thuộc vào điện áp đặt lên cực cửa và cực máng.

b. Điện trở màng mỏng.

Điện trở màng mỏng được chế tạo bằng phương pháp bốc hơi và lắng đọng trong chân không ở nhiệt độ cao lên trên một đế là chất điện môi. Vật liệu dùng làm điện trở thường dùng là hợp kim Nicrôm. Điện trở chế tạo theo phương pháp này có độ chính xác rất cao (khoảng 1%). Đây là ưu điểm đặc biệt của linh kiện màng mỏng.

7.3.2. Tụ điện trong vi mạch.

Trong vi mạch tích hợp sử dụng ba loại tụ điện cơ bản sau:

- Tụ điện dùng điện dung của tiếp xúc P-N khi phân cực ngược
- Tụ điện dùng ba lớp Kim loại- Oxit- bán dẫn, gọi là tụ điện MOS
- Tụ điện màng mỏng

a. Tụ điện dùng tiếp xúc P-N.

Tụ điện dùng tiếp xúc P-N được chế tạo đồng thời cùng với quá trình chế tạo tranzito. Giá trị điện dung của loại tụ này khi điện áp đặt lên nhỏ được tính theo công thức 7.3:

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d} \quad (7.3)$$

Trong đó: S- diện tích mặt tiếp xúc
d- bề dày lớp tiếp xúc

Tuy vậy, trong công nghệ chế tạo vi mạch người ta rất hạn chế chế tạo tụ điện vì nó chiếm diện tích lớn trên bề mặt đế silic.

b. Tụ điện MOS.

Tụ được hình thành từ ba lớp: Kim loại- Oxit (SiO_2) - Bán dẫn có nồng độ tạp chất cao. Thông thường lớp điện môi SiO_2 dày cỡ 0,08 đến 0,1 μm cho trị số điện dung nhỏ nhưng điện áp đánh thủng lớn: Trị số điện dung khoảng từ 300 ÷ 650pF/mm² với điện áp đánh thủng khoảng từ 7v đến 50v.

c. Tụ điện màng mỏng.

Tụ điện màng mỏng được chế tạo theo công nghệ màng mỏng. Tụ gồm hai má là kim loại và lớp điện môi mỏng ở giữa, tất cả được đặt lên một đế là chất điện môi. Bề dày của lớp điện môi khoảng từ 100 đến 200 Angstrom. Giá trị điện dung có thể tính theo công thức 7.3 với S là diện tích má tụ và d là bề dày của chất điện môi.

7.3.3. Cuộn cảm trong vi mạch.

Trong vi mạch bán dẫn các mạch thường được thiết kế không có cuộn cảm trừ trường hợp không thể bỏ qua được. Trong trường hợp bắt buộc phải có cuộn cảm thì dùng loại điôt đặc biệt gọi là điôt cảm ứng hoặc loại cuộn cảm màng mỏng.

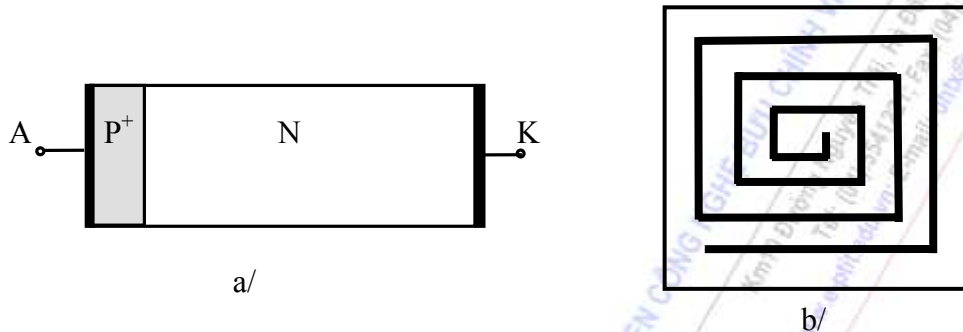
a. Cuộn cảm là điôt cảm ứng.

Loại điôt này cho điện cảm khoảng vài milihenry (mH). Điôt cảm ứng gồm có vùng bán dẫn P có nồng độ pha tạp lớn hơn, còn vùng bán dẫn N có nồng độ tạp chất rất nhỏ, gần như bán dẫn nguyên tính (xem hình 7-7a). Khi đặt lên điôt một điện áp thuận, các lỗ trống phun

vào bán dẫn N, một số ít bị tái hợp, số còn lại sẽ cần một khoảng thời gian để khuếch tán tiếp vào bán dẫn N. Như thế dòng điện thuận có xu hướng chậm pha so với điện áp. Do vậy, nó đã thực hiện chức năng của một cuộn cảm. Vùng bán dẫn N càng dài thì dòng hạt dẫn bay qua nó càng lâu và trị số điện cảm càng lớn.

b. Cuộn cảm màng mỏng.

Cuộn cảm màng mỏng được chế tạo dưới dạng đường xoắn tròn hoặc xoắn vuông màng mỏng. Xem hình 7-7b. Cuộn cảm này có thể đạt giá trị cỡ 0,1mH khi hệ số phẩm chất $Q = 10$.



Hình 7-7 : a- Cuộn cảm dùng điốt cảm ứng.
b- Cuộn cảm màng mỏng.

7.3.4. Tranzito trong vi mạch

Trong vi mạch tích hợp người ta dùng tất cả các loại tranzito thường sử dụng trong mạch rời. Hai loại thông dụng nhất là tranzito lưỡng cực và tranzito trường.

a. Tranzito lưỡng cực.

Trong vi mạch tích hợp người ta thường dùng tranzito loại N-P-N vì:

- Khi khuếch tán tạp chất loại N thì nó rất dễ hòa tan vào silic.
- Độ linh động của điện tử lớn gấp hai lần độ linh động của lỗ trống. Vì vậy thời gian tác động của vi mạch nhanh hơn.

b. Tranzito trường.

Trong vi mạch tích hợp thường dùng JFET và MOSFET kênh có sẵn trong kỹ thuật tương tự như tạo ra tầng khuếch đại vi sai, các tầng tải Emitơ... Còn MOSFET kênh cảm ứng thường được dùng trong kỹ thuật số.

Khi chỉ cần dùng MOSFET một loại kênh thì người ta thường dùng loại kênh P vì nó cho độ tin cậy cao hơn, tính chống nhiễu cao hơn và nó chỉ sử dụng logic âm.

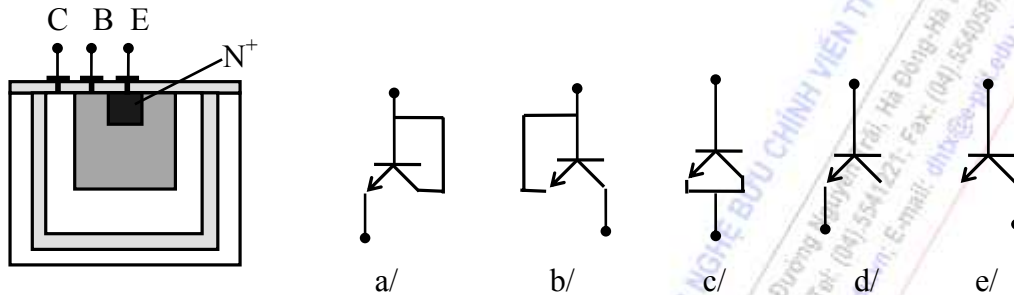
Khi yêu cầu dùng cả hai loại kênh P và kênh N, phải chế tạo chúng trên cùng một đế silic và được gọi là MOSFET kiểu bù và ký hiệu là CMOSFET.

7.3.5. Điốt trong vi mạch

Trong các mạch vi điện tử thường không chế tạo trực tiếp điốt mà thường chế tạo tranzito rồi sau đó nối tắt các chân cực để tạo ra điốt. Thông thường có hai cách nối tắt tranzito thành điốt sau đây.

a. Nối tắt tranzito thành điốt trong mạch cách điện bằng chất điện môi.

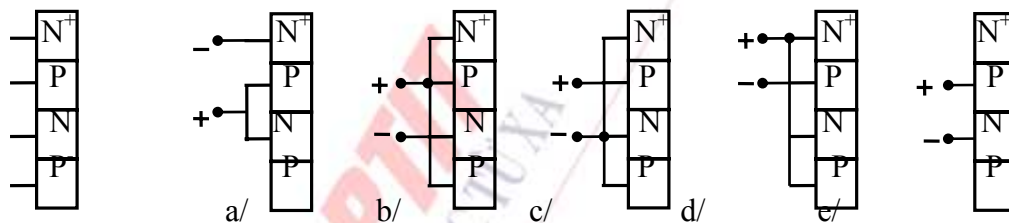
Có 5 cách nối tắt tranzito thành điốt, xem hình 7-8a,b,c,d,e. Mỗi cách nối sẽ cho một loại điốt với các tham số riêng của nó.



Hình 7- 8 : Các cách nối tranzito thành điốt trong mạch cách điện bằng điện môi

b. Nối tắt tranzito thành điốt trong mạch cách điện bằng tiếp xúc P-N.

Tranzito trong mạch vi điện tử cách điện bằng tiếp xúc P-N là cấu trúc 4 lớp bán dẫn nên có thể lấy bốn đầu ra: E,B,C và Đé. Và ta có 5 cách đấu nối tranzito thành điốt. Xem hình 7-9a,b,c,d,e.



Hình 7-9 : Các cách nối tranzito thành điốt trong mạch cách điện bằng tiếp xúc P-N

7.4. VI MẠCH TUYẾN TÍNH

7.4.1. Giới thiệu chung và phân loại vi mạch tuyến tính

Vi mạch tuyến tính được hiểu là các tổ hợp vi mạch có các tín hiệu trên lối ra tỷ lệ với tín hiệu trên lối vào theo quy luật đường thẳng.

Các vi mạch tuyến tính thường đòi hỏi các phần tử mắc thêm ở mạch ngoài nhiều hơn so với các IC số để hoàn thành một chức năng nào đó. Điều này khiến cho các sơ đồ sử dụng vi mạch tuyến tính nhạy cảm với nhiễu bên ngoài hơn và bởi vậy khó sử dụng hơn.

Vi mạch tuyến tính thường được phân thành 2 loại chính là: tổ hợp vi mạch tranzito-điốt và vi mạch sử dụng chuyên dụng, và vi mạch khuếch đại thuật toán.

a. Tổ hợp vi mạch tranzito - điốt và vi mạch sử dụng chuyên dụng:

Gồm tổ hợp các điốt hay tranzito có những chỉ tiêu kỹ thuật giống nhau. Ví dụ: tổ hợp điốt CA3039, tổ hợp tranzito CA3813B, tổ hợp hỗn hợp tranzito điốt CA3093E - ta có thể sử dụng như các điốt và tranzito rời rạc.

Loại vi mạch này được sử dụng trong các bộ khuếch đại trung tần trong máy thu hình, thu thanh và các máy thu phát chuyên dụng khác, trong các bộ điều khiển của hệ thống điều khiển tự động, trong các bộ khuếch đại âm tần, các mạch ổn áp và mạch điều chỉnh công suất, loại vi mạch này có thể dùng làm một chức năng hoặc nhiều chức năng.

b. Vi mạch khuếch đại thuật toán:

Mạch khuếch đại thuật toán là mạch khuếch đại tín hiệu điện để thực hiện các phép tính và thuật toán khác nhau trên các đại lượng tương tự, trong sơ đồ mạch có hồi tiếp âm sâu. Hiện nay các bộ khuếch đại thuật toán đóng vai trò quan trọng và được ứng dụng rộng rãi trong kỹ thuật khuếch đại, tạo tín hiệu hình sin và xung, trong bộ ổn áp và bộ lọc tích cực, v.v... Tuy nhiên, trong các bộ khuếch đại thông thường những tính chất và tham số hoàn toàn được xác định bởi sơ đồ mạch của nó, còn trong bộ khuếch đại thuật toán thì các tính chất và tham số của nó được xác định bởi các tham số của mạch hồi tiếp. Các bộ khuếch đại thuật toán được thực hiện theo sơ đồ khuếch đại dòng một chiều với giá trị thiên áp vào ra bằng không. Chúng cũng được đặc trưng bởi hệ số khuếch đại lớn, trở kháng vào cao và trở kháng ra thấp.

Một bộ khuếch đại thuật toán lý tưởng phải đạt được các tiêu chuẩn sau:

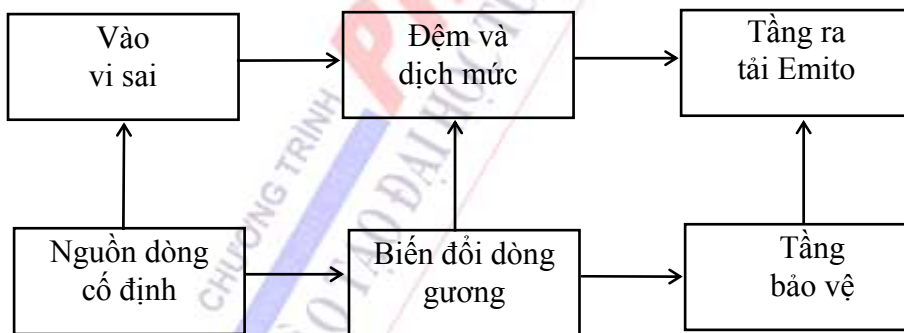
- Hệ số khuếch đại điện áp $K_u \rightarrow \infty$
- Trở kháng vào $Z_{vào} \rightarrow \infty$
- Trở kháng ra $Z_{ra} \rightarrow 0$
- Dải tần số làm việc $\Delta f \rightarrow \infty$

7.4.2. Cấu trúc bên trong của vi mạch khuếch đại thuật toán:

a. Cấu trúc của vi mạch khuếch đại thuật toán

- Sơ đồ khối của bộ khuếch đại thuật toán tích hợp:

Hình 7-12 trình bày sơ đồ khối của bộ khuếch đại thuật toán.



Hình 7 -12 : Sơ đồ khối của một bộ khuếch đại thuật toán

Bộ khuếch đại thuật toán bao gồm tầng vào khuếch đại vi sai để đảm bảo có hệ số khuếch đại cao, sau đó là mạch dịch mức và mạch ra cho phép nhận được tín hiệu ra cần thiết và trở kháng ra yêu cầu.

+ Tầng vào vi sai:

Cấu trúc điển hình của một tầng khuếch đại vi sai làm việc theo nguyên lý cầu cân bằng song song mô tả trong hình 7 -13: Hai nhánh cầu là R_{C1} và R_{C2} , còn hai nhánh kia là các tranzito T_1 và T_2 được chế tạo trong cùng một điều kiện sao cho $R_{C1} = R_{C1}$ và hai tranzito T_1 , T_2 có các tham số giống hệt nhau. Điện áp ra U_{ra} lấy trên một cực góp, còn I_K là nguồn dòng ổn

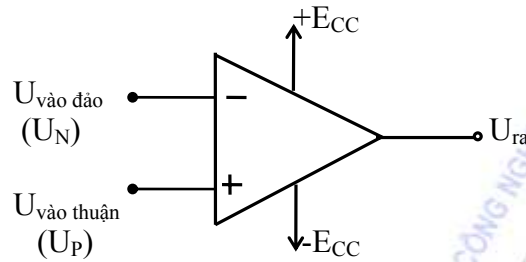
Khi bộ khuếch đại làm việc với dòng điện lớn ở tầng ra, sẽ dễ làm hỏng các tranzito, do đó phải dùng tầng bảo vệ để phân dòng cho tầng cuối.

+ Bộ biến đổi dòng gương:

Bộ biến đổi dòng gương dùng để biến đổi một nguồn dòng ổn định thành nhiều nguồn dòng ổn định nhằm cung cấp cho các tầng khác. Mạch này thường dùng ở các mạch có yêu cầu chất lượng cao.

+ Hai nguồn nuôi (gọi là nguồn lưỡng cực) $\pm E_{CC}$: Các IC khuếch đại thuật toán tiêu chuẩn làm việc với điện áp nguồn nuôi bằng $\pm 15V$.

b. Ký hiệu của IC khuếch đại thuật toán trong sơ đồ mạch: Xem hình 7-14.

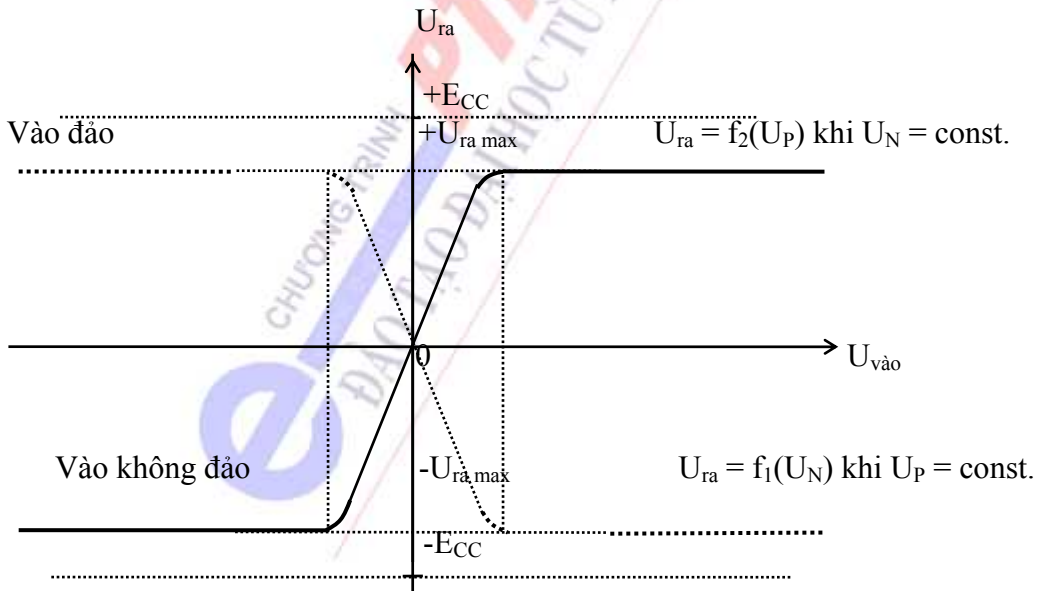


Hình 7 - 14 : Ký hiệu bộ khuếch đại thuật toán

c. Các tham số và đặc tuyến của bộ khuếch đại thuật toán.

1. Đặc tuyến truyền đạt điện áp:

Đặc tuyến truyền đạt điện áp là đặc tuyến quan trọng nhất của bộ khuếch đại thuật toán biểu thị mối quan hệ giữa điện áp ra và điện áp vào của mạch : $U_{ra} = f(U_P, U_N)$



Hình 7 -15 : Đặc tuyến truyền đạt điện áp của bộ KĐTT.

Đặc tuyến truyền đạt điện áp được biểu diễn bằng hai đường ứng với các lối vào đảo và lối vào không đảo. Mỗi đường đặc tuyến gồm có các đoạn nằm ngang và một đoạn dốc. Xem hình (7 - 15).

- Đoạn nằm ngang tương ứng với chế độ tranzito ở tầng ra thông bão hòa hoặc ngắt dòng. Tại đây, khi thay đổi điện áp tín hiệu trên lối vào thì điện áp ra không đổi và được xác định bằng các giá trị $\pm U_{ra \max}$ gọi là giá trị điện áp ra cực đại. Trong các IC khuếch đại thuật toán giá trị $U_{ra \max}$ thấp hơn điện áp nguồn cung cấp E_{CC} khoảng từ 1vôn đến 3vôn.
- Đoạn dốc của đặc tuyến truyền đạt biểu thị sự phụ thuộc tỉ lệ của điện áp ra với điện áp vào. Đây là một đường thẳng với góc nghiêng xác định hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại thuật toán khi không có hồi tiếp ngoài.

Đường đặc tuyến lý tưởng sẽ đi qua gốc tọa độ, tức là khi $U_{vào} = 0$ thì $U_{ra} = 0$ và được gọi là trạng thái cân bằng của bộ khuếch đại thuật toán. Trên thực tế trạng thái cân bằng khó thực hiện hoàn toàn, có nghĩa là khi $U_{vào} = 0$ thì $U_{ra} \neq 0$. Vì vậy, muốn cho điện áp ra bằng không, ta cần phải đặt tới lối vào bộ khuếch đại thuật toán một hiệu điện áp nào đó gọi là thiên áp không U_0 (khoảng vài mV).

2. Hệ số khuếch đại điện áp vi sai được tính theo công thức:

$$K_U = \frac{\Delta U_{ra}}{\Delta U_{vào}} = 10^4 \div 10^5 \quad (7.6)$$

Giá trị của K_U lớn cho phép thực hiện hồi tiếp âm sâu nhằm cải thiện nhiều tính chất quan trọng của bộ khuếch đại thuật toán.

Trong giới hạn miền khuếch đại, điện áp ra tỷ lệ với điện áp vào theo công thức:

$$U_{ra} = K_U \cdot U_V = K_U (U_P - U_N) \quad (7.7)$$

Hệ số khuếch đại đồng pha: Nếu trên đầu vào thuận và đảo đặt cùng một điện áp U_{G1} đồng pha thì $U_{vào} = 0$, và như vậy điện áp U_{ra} cũng cần phải bằng không. Nhưng thực tế điều này không hoàn toàn đúng, tức là hệ số khuếch đại tín hiệu đồng pha K_{G1} không bằng 0.

$$K_{G1} = \frac{\Delta U_{ra}}{\Delta U_{G1}} \neq 0.$$

Đối với một bộ khuếch đại thuật toán tốt thì cần phải có K_U lớn và K_{G1} nhỏ.

Sự phụ thuộc vào nhiệt độ của các tham số của bộ khuếch đại thuật toán sẽ gây nên độ trôi thiên áp đầu vào và điện áp đầu ra theo nhiệt độ. Để cân bằng ban đầu cho bộ khuếch đại thuật toán, người ta đưa vào một trong các đầu vào của nó một điện áp phụ thích hợp hoặc một điện trở để điều chỉnh dòng thiên áp ở mạch vào.

3. Trở kháng ra:

Trở kháng ra là một trong các tham số quan trọng của bộ khuếch đại thuật toán nó có trị số nhỏ (khoảng từ vài chục Ω đến vài trăm Ω).

4. Trở kháng vào của bộ khuếch đại thuật toán:

Trở kháng vào của bộ khuếch đại thuật toán thường được phân biệt trở kháng vào đối với tín hiệu vi sai và trở kháng vào đối với tín hiệu đồng pha.

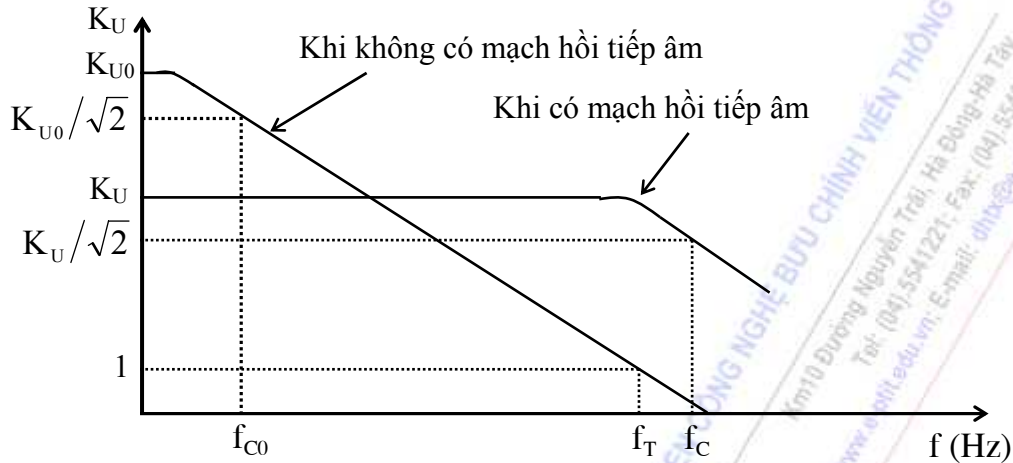
Đối với các bộ khuếch đại thuật toán dùng tranzito lưỡng cực ở lối vào, trở kháng vào đối với tín hiệu vi sai R_V vào khoảng vài $M\Omega$, còn trở kháng vào đối với tín hiệu đồng pha R_{G1}

bằng vài GΩ. Dòng vào ban đầu của các bộ khuếch đại thuật toán lưỡng cực tiêu chuẩn giới hạn từ 20 đến 200 nA, còn các bộ khuếch đại thuật toán dùng tranzito trường khoảng vài nA.

5. Đặc tuyến tần số :

Đặc tính tần số biểu thị sự phụ thuộc của hệ số khuếch đại vào dải tần số làm việc.

Hình 7 - 16 chỉ ra đặc tuyến biên độ tần số của bộ khuếch đại thuật toán $K_U = \psi(f)$.

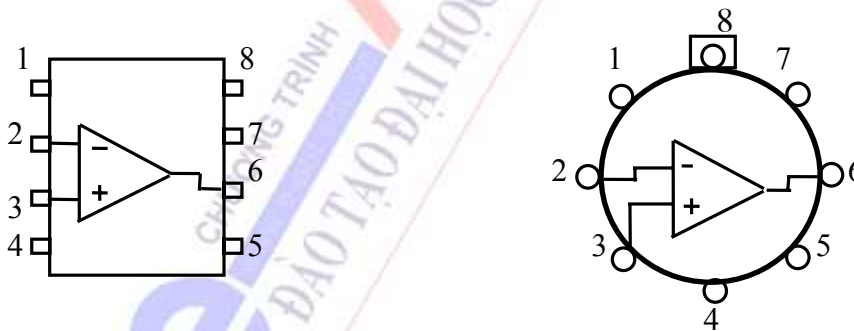


Hình 7 - 16 : Đặc tuyến biên độ tần số của bộ khuếch đại thuật toán

Qua đồ thị hình (7 -16) ta thấy hệ số khuếch đại điện áp K_U bị giảm xuống khi ở tần số cao. Bắt đầu từ tần số cắt f_C với độ dốc đều -20dB/decac của trục tần số.

Tần số f_T ứng với trường hợp khi hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại thuật toán bằng 1 nên gọi là tần số khuếch đại đơn vị.

Tần số cắt f_C (hay tần số biên) ứng với trường hợp khi hệ số khuếch đại điện áp bị giảm đi $\sqrt{2}$ lần so với hệ số khuếch đại ở tần số thấp và được gọi là dải thông tần. Khi không có mạch hồi tiếp âm thì f_C rất thấp, cỡ vài chục Hz.



Hình 7 - 17 : Sơ đồ chân của bộ khuếch đại thuật toán 741

- | | |
|------------------------------|---------------------|
| 1. Điều chỉnh điện thế không | 2. Lối vào đảo |
| 3. Lối vào thuận | 4. Điện áp nguồn âm |
| 5. Điều chỉnh điện thế không | 6. Lối ra |

Sơ đồ chân của bộ khuếch đại thuật toán loại 741 với các loại vỏ khác nhau được mô tả ở hình 7 -17.

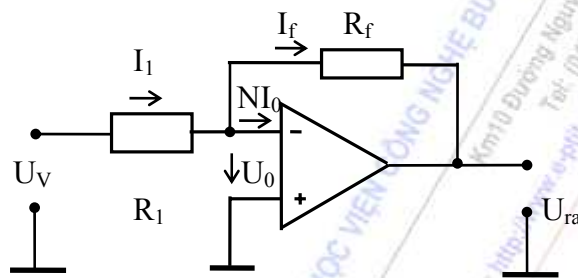
Nhằm tăng trở kháng vào lên tới hàng chục $M\Omega$ người ta thường dùng tầng vào vi sai là các tranzito trường, và trở kháng ra nhỏ nhờ tầng ra đầu theo sơ đồ đaling- ton, ví dụ như bộ khuếch đại thuật toán kiểu LF356.

6. Một số ứng dụng của bộ khuếch đại thuật toán

Một số mạch ứng dụng cơ bản dùng bộ khuếch đại thuật toán làm việc ở trong miền tuyến tính của đặc tuyến truyền đạt và có sử dụng hồi tiếp âm để điều khiển các tham số cơ bản của mạch.

+ Bộ khuếch đại đảo.

Bộ khuếch đại đảo cho trên hình 7 - 18.



Hình 7 - 18 : Sơ đồ đầu bộ khuếch đại đảo của bộ khuếch đại thuật toán

Bộ khuếch đại đảo trong hình có hồi tiếp âm điện áp song song qua điện trở hồi tiếp R_f . Đầu vào không đảo nối với đất. Tín hiệu vào qua R_1 đặt lên lối vào đảo. Nếu coi bộ khuếch đại thuật toán là lý tưởng thì điện trở vào vô cùng lớn và dòng điện vào vô cùng bé:

$$Z_{\text{vào}} \rightarrow \infty$$

$$I_0 \approx 0$$

Khi đó, tại nút N trong sơ đồ có phương trình nút dòng điện và ta có:

$$I_1 \approx I_f \quad (7.9)$$

Khi hệ số khuếch đại $K \rightarrow \infty$ thì điện áp lối vào $U_0 = \frac{U_{ra}}{K} \rightarrow 0$, do đó:

$$\frac{U_v}{R_1} = -\frac{U_{ra}}{R_f} \quad (7.10)$$

Từ đây có hệ số khuếch đại điện áp của bộ khuếch đại đảo:

$$K_U = \frac{U_{ra}}{U_v} = -\frac{R_f}{R_1} \quad (7.11)$$

Dấu "-" trong biểu thức để biểu thị tín hiệu vào và ra ngược pha nhau.

+ Bộ khuếch đại không đảo.

Sơ đồ bộ khuếch đại không đảo mô tả trong hình 7 -19.

Bộ khuếch đại không đảo gồm có mạch hồi tiếp âm điện áp đặt vào lối vào đảo, còn tín hiệu vào đặt tới lối vào không đảo của bộ khuếch đại thuật toán.

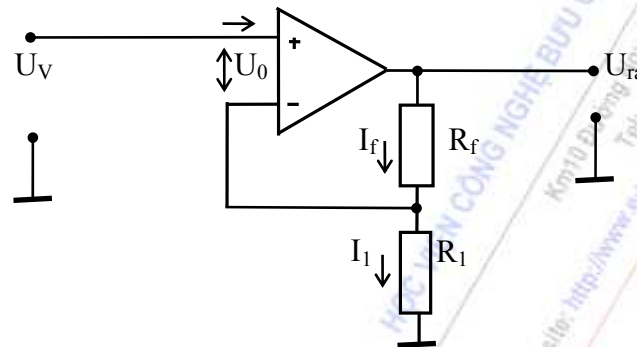
Vì điện áp giữa các đầu vào của bộ khuếch đại thuật toán $U_0 = 0$ nên quan hệ giữa điện áp U_V và U_{ra} được xác định bằng công thức sau:

$$U_V = U_{ra} \frac{R_1}{R_1 + R_f} \quad (7 - 12)$$

Hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại không đảo là:

$$K_U = \frac{U_{ra}}{U_{vao}} = \frac{R_1 + R_f}{R_1} = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad (7.13)$$

Khi sử dụng bộ khuếch đại thuật toán để khuếch đại tín hiệu người ta thường dùng bộ khuếch đại đảo vì mạch ổn định hơn.



Hình7 - 19 : Bộ khuếch đại không đảo.

7.4.3. Vi mạch ổn áp

Vi mạch ổn áp nhận ở lối vào một điện áp không ổn định và tạo ra ở lối ra một điện áp ổn định. Vi mạch ổn áp gồm có 2 loại là vi mạch cho điện áp ra ổn định cố định và vi mạch ổn áp cho điện áp ra ổn định có thể điều chỉnh được.

- Vi mạch ổn áp điện áp ra ổn định cố định thường có 2 họ thông dụng:

Họ 78XX ổn định điện áp dương; Họ 79XX ổn định điện áp âm. Ví dụ:

7805: điện áp ra cố định + 5V, 7905 có điện áp ra cố định - 5V

7812: điện áp ra cố định + 12V, 7909 có điện áp ra cố định - 9V

7809: điện áp ra cố định + 9V, 7912 có điện áp ra cố định - 12V

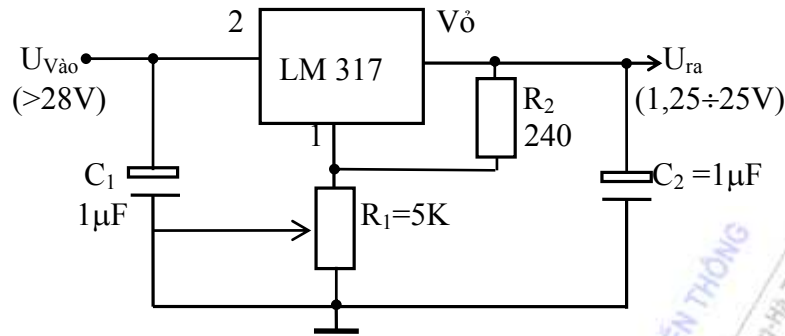
- Vi mạch ổn áp có điện áp ra ổn định có thể điều chỉnh được như:

LM317: điện áp ra điều chỉnh từ 1,2V đến 37V

LM337T: điện áp ra điều chỉnh từ - 1,2V đến - 37V

A723C: điện áp ra điều chỉnh từ 2V đến 37V

Ví dụ: Bộ ổn áp từ 1,25vôn đến 25vôn: Vi mạch LM 317 có thể cung cấp cho đầu ra một dòng điện đến 15A trong dải điện áp từ 1,2vôn đến 37vôn. Vi mạch LM có chân số 1 là đầu vào, chân số 2 là chân điều chỉnh và vỏ là chân thứ 3 và là đầu ra. Trong hình 7 -20, điện áp vào cần phải lọc trước khi đưa vào LM 317. Có thể bỏ tụ C_1 nếu điện áp vào được cung cấp từ một nguồn đặt rất gần LM 317. Điện trở R_1 dùng để điều chỉnh điện áp ra.



Hình 7 - 20 : Vi mạch ổn áp loại LM 317

7.5. VI MẠCH SỐ

7.5.1. Giới thiệu và phân loại vi mạch số

a. Giới thiệu.

Vi mạch số gồm các mạch logic cơ bản để thực hiện các thuật toán logic và các hàm logic khác nhau.

Các vi mạch số là các thiết bị 2 trạng thái, một trạng thái gần với 0 vôn hoặc đất (gọi là mức thấp hoặc ký hiệu là L), và trạng thái kia gần với điện áp cung cấp cho mạch (gọi là mức cao hoặc ký hiệu là H). Các mạch tích hợp số có thể xử lý các bit nhị phân riêng lẻ hoặc các từ nhiều bit nhị phân.

Hầu hết các vi mạch số được sử dụng hiện nay là các vi mạch số chế tạo trên cơ sở các tranzito lưỡng cực và tranzito trường. Mỗi một vi mạch số hầu như đều có thể thực hiện được một chức năng hoàn chỉnh, nên chúng cần rất ít linh kiện mắc thêm ở bên ngoài.

Các tham số cơ bản của vi mạch số:

- Mức logic: mức logic 0 và mức logic 1

Các mức logic này là các trị số điện áp tương ứng với mức logic thấp và mức logic cao, tùy từng loại mà nó có trị số điện áp khác nhau

- Nguồn nuôi: nguồn cung cấp phải đảm bảo độ ổn định cao.
- Khả năng ghép tải: biểu thị khả năng ghép được bao nhiêu lối vào của cổng logic tới một lối ra của một cổng cho trước.
- Tốc độ chuyển mạch hay còn gọi là độ tác động nhanh của vi mạch:

Loại cực nhanh	$t_{tb} \leq 5 \text{ nsec}$
Loại nhanh	$t_{tb} = 5 \div 10 \text{ nsec}$
Loại trung bình	$t_{tb} = 10 \div 100 \text{ nsec}$
Loại chậm	$t_{tb} > 100 \text{ nsec}$

- Công suất tiêu thụ: công suất tiêu thụ của vi mạch số phụ thuộc vào tín hiệu đặt lên nó.
- Dải nhiệt độ làm việc: mỗi hãng sản xuất có một chỉ tiêu nhiệt độ khác nhau.

b. Phân loại

Các vi mạch hàm logic cơ bản trên tranzito lưỡng cực và tranzito trường gồm các loại: Tranzito logic với liên kết trực tiếp (TL); Điện trở - tranzito logic (RTL); Điốt - tranzito logic (DTL); Tranzito - tranzito logic (TTL); Logic MOS; Logic CMOS (complementary MOS).

Hai họ vi mạch số quan trọng nhất và được sử dụng nhiều nhất là họ TTL/LS và họ CMOS. Họ TTL là các vi mạch trong đó tích hợp các tranzito lưỡng cực với một tranzito nhiều tiếp xúc góc- phát. Mỗi một tiếp xúc BE là một lối vào. Còn họ CMOS trong đó tích hợp các tranzito trường MOS kênh cảm ứng loại P và N đấu bù nhau.

Họ TTL có tốc độ chuyển mạch cao ($t_{tb} = 6 \div 15$ nsec), công suất tiêu thụ thấp ($45 \div 15$ μ W) và khả năng chịu tải lớn (hệ số tải $n > 10$)

Dòng vào của MOS rất nhỏ vì thế điện trở lối vào của tranzito MOS rất lớn cho phép chế tạo vi mạch có khả năng chịu tải cao ($n = 10 \div 20$), có độ chống nhiễu cao và công suất tiêu thụ rất nhỏ.

7.6. VI MẠCH NHỚ

7.6.1. Giới thiệu và phân loại bộ nhớ.

a. Định nghĩa: Bộ nhớ là cấu kiện có khả năng lưu trữ dữ liệu và các chương trình điều khiển dưới dạng số nhị phân (0;1). Khả năng nhớ dữ liệu có thể lâu dài (bộ nhớ cố định) nhưng cũng có thể tạm thời (bộ nhớ tạm thời).

Phần tử nhỏ nhất để nhớ được 1 bit nhị phân gọi là *tế bào nhớ* (memory ceel).

Tin tức trữ trong bộ nhớ gồm một số bit gọi là *Từ nhớ*. Từ nhớ có độ dài 8 bit gọi là *1 byte*; độ dài 16bit gọi là *1 từ nửa lời*; độ dài 32 bit gọi là *Từ một lời*.

Quá trình đưa dữ liệu vào bộ nhớ gọi là “*viết*”; quá trình lấy dữ liệu ra gọi là “*đọc*”. Thao tác Viết và Đọc được tiến hành từng Từ có độ dài tùy vào từng loại máy theo một chu kỳ khép kín gọi là Chu kỳ viết hoặc Chu kỳ đọc.

Thời gian truy cập bộ nhớ là khoảng thời gian kể từ lúc bắt đầu chu kỳ viết hoặc đọc đến khi dữ liệu được ghi vào tế bào nhớ hoặc xuất hiện trên đầu ra.

Bộ nhớ chỉ viết một lần gọi là *bộ nhớ chỉ đọc*. Bộ nhớ có thể viết đi viết lại nhiều lần gọi là *bộ nhớ viết và đọc*.

b. Phân loại bộ nhớ

Tùy theo vật liệu, cấu trúc, công nghệ mà bộ nhớ được chia làm nhiều loại. Dựa vào vật liệu chế tạo ta có bộ nhớ bán dẫn và bộ nhớ từ.

Bộ nhớ bán dẫn rất thông dụng hiện nay vì có thời gian truy cập nhỏ, hay nói cách khác là tốc độ đọc-viết cao.

Bộ nhớ từ có tốc độ truy cập thấp nhưng khả năng trữ dữ liệu lớn, không tiêu thụ năng lượng trong quá trình trữ tin.

7.6.2. Các tham số chính của bộ nhớ.

- *Dung lượng bộ nhớ (C)*: biểu thị khả năng trữ tin của bộ nhớ tính bằng bits, bytes, Kbytes, Mbytes, hoặc theo số Từ, KTừ trên một chip nhớ. Dung lượng bộ nhớ liên quan đến số lối vào địa chỉ. Dung lượng bộ nhớ được tính theo công thức:

$$C = 2 \text{ lũy thừa } N, \text{ trong đó } N - \text{ số bit của lối vào địa chỉ}$$

Ví dụ: Bộ nhớ có dung lượng 64×4 bit nghĩa là bộ nhớ chứa 64 Từ 4 bit.

Bộ nhớ $2K \times 8$ bit nghĩa là bộ nhớ chứa 2Kbyte.

- *Thời gian truy cập (t_a)*: Đặc trưng cho tốc độ hoạt động của bộ nhớ tính theo đơn vị ns. Thông thường t_a có trị số từ vài chục đến 1000ns tùy loại bộ nhớ.

- *Công suất tiêu thụ (P_o)*: Đặc trưng mức tiêu thụ công suất của bộ nhớ tính theo μ W/bit. Tham số này chỉ có đối với bộ nhớ bán dẫn.

- *Giá thành*: tính theo đơn vị tiền/bit.
- *Điện thế nguồn nuôi (E_{CC} hoặc V_{DD})*: họ TTL có $E_{CC} = +5V$; họ CMOS có $V_{DD} = 3V$ đến $15V$.

7.6.3. Vi mạch nhớ.

a. Định nghĩa

Vi mạch nhớ là các bộ nhớ bán dẫn, trong đó các tế bào nhớ được tạo ra từ các linh kiện bán dẫn hoặc mạch có khả năng tích trữ điện tích.

b. Phân loại vi mạch nhớ.

- *Phân loại theo công nghệ chế tạo*: vi mạch nhớ chia làm 2 loại là bộ nhớ lưỡng cực và bộ nhớ MOS/CMOS.

+ Bộ nhớ lưỡng cực: các tế bào nhớ được tạo thành từ các tranzito lưỡng cực.

+ Bộ nhớ MOS/CMOS: các tế bào nhớ được tạo thành từ các tranzito trường MOS.

- *Phân loại theo đặc thù lưu trữ dữ liệu*: vi mạch nhớ chia làm 2 loại chính là bộ nhớ cố định- ROM và bộ nhớ tạm thời- RAM.

+ ROM (Read Only Memory) là bộ nhớ chỉ đọc, nghĩa là chỉ có thể lấy dữ liệu ra. Ở đây các dữ liệu được lưu trữ vĩnh viễn ở mỗi tế bào nhớ, nên khi mất nguồn điện cũng không mất dữ liệu. Việc ghi dữ liệu vào do nhà sản xuất thực hiện.

Ngoài ra, bộ nhớ cố định còn có PROM, EPROM và EAPROM. PROM giống như ROM, dữ liệu chỉ được ghi vào một lần nhưng do người sử dụng thực hiện. EPROM là bộ nhớ có thể xóa đi và viết lại. Muốn xóa ta dùng tia cực tím. EAPROM là bộ nhớ cố định có thể xóa và viết lại. Việc xóa được thực hiện nhờ dòng điện.

+ RAM (Random Access Memory)- bộ nhớ tạm thời, là bộ nhớ đọc/viết. Mỗi tế bào nhớ là một Flip-Flop nên khi mất nguồn điện cung cấp thì tin tức trong RAM bị xóa ngay. RAM có 2 loại là RAM tĩnh (SRAM) và RAM động (DRAM).

SRAM: Tế bào nhớ là Flip-Flop (tranzito lưỡng cực hoặc tranzito MOS). Dữ liệu được ghi vào SRAM sẽ được duy trì trong nó chừng nào còn nguồn cung cấp cho chip.

DRAM: Dùng điện tích nạp vào linh kiện MOS để nhớ 1 bit tin trong tế bào nhớ. Vì điện tích nạp vào không duy trì được lâu nên định kỳ phải nạp lại điện tích gọi là "làm tươi" bộ nhớ (refresh).

Cả hai loại SRAM và DRAM đều thuộc loại bộ nhớ xóa ngay khi mất nguồn điện cung cấp.

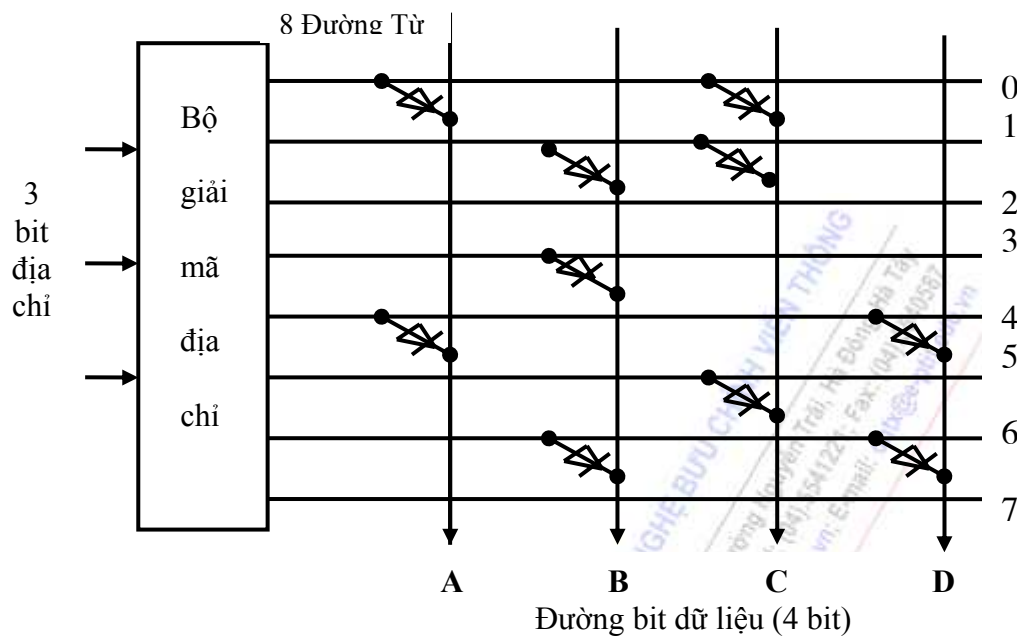
d. Cấu trúc và hoạt động của RAM:

- *Cấu trúc của RAM*: các tế bào nhớ được bố trí dưới dạng ghép ma trận $m \times n$ (m hàng và n cột) và có bộ giải mã địa chỉ để xác định vị trí ô nhớ. Xem hình 7-21. Bộ giải mã địa chỉ có K bit, do vậy sẽ có 2 lũy thừa k địa chỉ hay dung lượng bộ nhớ là 2 lũy thừa k. Các dữ liệu vào và ra được đưa qua các bộ đệm vào/ ra để điều khiển việc viết và đọc của bộ nhớ thông qua chân điều khiển R/W; chân CS là chân chọn chip.

- *Nguyên lý hoạt động*: Khi CPU đưa tới một tổ hợp địa chỉ, bộ giải mã địa chỉ xác định vị trí của Từ nhớ, sau đó chờ tác động của các lối vào R/W và CS, bộ nhớ sẽ thực hiện chức năng đọc hoặc viết.

+ Đọc: đặt $R/W = 1$ và $CS = 1$: Bộ đệm vào được khóa lại, bộ đệm ra được mở. Nhờ vậy dữ liệu ở địa chỉ đã chọn sẽ đi qua bộ đệm ra để ra BUS dữ liệu.

+ Viết: đặt $R/W = 0$ và $CS = 1$: Bộ đệm vào mở, bộ đệm ra bị khóa. Các dữ liệu vào từ BUS dữ liệu sẽ đi qua bộ đệm vào để đến vị trí ô nhớ đã được xác định.



Hình 7 – 22: Cấu trúc của ROM 8Tù x 4bit dùng điốt

- PROM: là bộ nhớ ROM chỉ viết một lần do người sử dụng thực hiện. Trong PROM tất cả các giao điểm giữa đường Tù và đường Bit người ta đều nối tiếp một điốt với một cầu chì. Khi viết dữ liệu vào bộ nhớ người ta chỉ cần phóng vào bộ nhớ một dòng điện đủ lớn để làm đứt cầu chì tại giao điểm đã chọn và như vậy giao điểm này được viết bit 0. Còn các giao điểm nào không bị đứt cầu chì sẽ là bit 1. Su khi viết xong không thay đổi được nữa.

7.7. NHỮNG ĐIỂM CẦN CHÚ Ý KHI SỬ DỤNG VI MẠCH TÍCH HỢP.

Các vi mạch được sử dụng rất rộng rãi trong kỹ thuật tương tự (vi mạch tuyến tính) và kỹ thuật số (vi mạch số). Khi sử dụng vi mạch tích hợp cần lưu ý một số điểm chính sau:

- Phải đọc được ký hiệu của vi mạch: Trên thân vi mạch thường ghi tên hãng sản xuất, ký hiệu chức năng của vi mạch, ký hiệu sản phẩm có là thương phẩm, ngày tháng năm sản xuất.
- Biết tra cứu vi mạch trong sổ tra cứu để biết chức năng IC và chức năng các chân của IC.
- Chú ý chân nguồn cung cấp cho IC làm việc.
- Khi đấu vào mạch phải đấu chân nguồn cung cấp trước, sau mới cho tín hiệu vào mạch.
- Nguồn cung cấp phải có độ ổn định cao.
- Hàn nối IC vào mạch phải chú ý dùng mỏ hàn nhọn, có công suất thấp khoảng 30w đến 60w, tránh làm nóng IC.

Đặc biệt đối với các IC số cần chú ý một số điểm sau:

Các vi mạch số thường gặp là các họ vi mạch TTL, CMOS, MOS, v.v.. đây là các IC thực hiện một chức năng hoàn chỉnh như cổng, hệ đếm, giải mã, ghi dịch, hệ nhớ, hệ vi xử lý.

- Khi chọn một vi mạch cần quan tâm tới các tham số sau: công suất tiêu thụ, khả năng chịu tải, thời gian chuyển mạch, khả năng chống nhiễu, điện áp nguồn nuôi, mức logic...

- Xung nhịp: tốc độ chuyển mạch của vi mạch số cần đủ lớn. Để mạch điện làm việc ổn định thì xung nhịp cần có độ dốc sườn 400 ns, nếu không đạt tiêu chuẩn này cần tạo lại dạng xung nhịp.
- Bất kỳ ở chế độ làm việc nào, điện áp tại lối vào của vi mạch không được cao hơn điện áp của chân nguồn (V_{CC} hoặc V_{DD}) và không thấp hơn đất

Đối với vi mạch loại TTL/LS cần lưu ý:

- Điện áp cung cấp V_{CC} không vượt qua 5,25vôn.
- Các đầu vào không dùng đến của họ TTL/LS được coi như ở trạng thái cao (H)... Nhưng nếu một đầu vào nào được giả thiết là cố định ở mức cao thì phải nối tới V_{CC} .
- Đặt các đầu ra của cổng không dùng đến ở mức cao để tiết kiệm điện.
- Dùng ít nhất một tụ khử ghép đối với mỗi nhóm từ 5 đến 10 cổng, từ 2 đến 5 bộ đếm và thanh ghi...
- Tránh sử dụng các dây dẫn dài trong mạch. Nếu dây dẫn dài quá 25 cm phải dùng dây bọc kim hoặc cáp đồng trục.

Đối với vi mạch MOS và CMOS:

- Điện áp đầu vào không vượt quá V_{DD} (trừ hai IC 4049 và 4050).
- Điện áp cung cấp V_{DD} nằm trong khoảng $(+3V \div +15V) \pm 5\%$
- Tất cả các đầu vào không dùng đến phải nối với V_{DD} hoặc đất.
- Phải chú ý tránh hiện tượng tích điện tĩnh trên lối vào của vi mạch CMOS và MOS bằng cách: Không nên cất vi mạch CMOS trong các hộp không có tính dẫn điện; nên đặt các chân IC xuống các khay nhôm khi chưa đấu chúng vào mạch; mở hàn nên dùng nguồn acqui, không dùng mỏ hàn điện xoay chiều.

Khi lắp ráp các vi mạch số ta cần lưu ý: Lắp đặt vi mạch số: có hai cách:

+ Lắp IC trên đế cắm: ưu điểm là IC không bị nóng nhưng dễ gây hiệu ứng tiếp xúc kém ở đế cắm vì IC có nhiều chân, làm giảm độ tin cậy của mạch.

+ Hàn trực tiếp IC vào mạch: ưu điểm của phương pháp này là đảm bảo tiếp xúc tốt song dễ làm nóng IC trong quá trình hàn, do đó sẽ làm thay đổi các tham số của IC.

Các IC số thường có vỏ là thanh nhựa đẹp và có 14, 16 hoặc 24 chân. Khi vẽ mạch in phải chú ý đến vị trí tương đối giữa mạch dẫn nguồn với dây chung và phải chú ý tụ lọc giữa nguồn và dây chung. Điện dung của các tụ này tùy thuộc vào từng họ IC.

Khi hàn chân vi mạch vào mạch in nên hàn chân nối nguồn trước sau mới hàn các chân tiếp theo.

Khi ngắt mạch, phải ngắt tín hiệu vào, sau đó cắt nguồn và nghiêm cấm việc đưa tín hiệu vào trước khi nối nguồn cung cấp.

Khi nối ghép các vi mạch khác loại với nhau phải chú ý điện áp nguồn cung cấp, các mức logic, và nên sử dụng các mạch đệm để bảo đảm việc nối ghép tốt nhất.

TÓM TẮT NỘI DUNG

Vi mạch tích hợp là một chip bán dẫn, trong đó tích hợp các cấu kiện điện tử bán dẫn trên một dây chuyền công nghệ được tự động hóa từ khâu thiết kế mạch đến khi cho ra một cấu kiện. Mỗi vi mạch có một hoặc một số chức năng nhất định.

Có nhiều cách phân loại vi mạch, trong đó thông thường người ta dựa vào 4 tiêu chí để phân loại:

- Dựa vào khả năng xử lý dữ liệu vi mạch chia làm 2 loại là vi mạch tuyến tính và vi mạch số.
- Dựa vào công nghệ chế tạo vi mạch chia làm 4 loại: vi mạch bán dẫn, vi mạch màng mỏng, vi mạch màng dày và vi mạch lai.
- Dựa vào loại tranzito được tích hợp vi mạch chia làm 2 loại: vi mạch lưỡng cực và vi mạch MOS/CMOS.
- Dựa vào số lượng phần tử được tích hợp vi mạch được chia làm 4 loại: SSI, MSI, LSI và VLSI.

Công nghệ chế tạo vi mạch rất phức tạp. Hiện nay công nghệ này gồm một số quá trình sau: quá trình quang khắc, quá trình plana, quá trình epitaxi-plana.

o Quá trình quang khắc: là quá trình tạo ra trên tấm bán dẫn các lớp phủ bảo vệ theo các cấu hình cần thiết bằng phương pháp quang hóa.

o Quá trình plana là công nghệ chế tạo các phần tử của mạch điện trên bề mặt của phiến đơn tinh thể bán dẫn silic. Quá trình plana là công nghệ kết hợp quá trình quang khắc và quá trình khuếch tán để tạo ra các cấu kiện điện tử như điện trở, tụ điện, điốt, tranzito...

o Công nghệ epitaxi-plana là quá trình nuôi cấy một lớp đơn tinh thể mỏng gọi là lớp epitaxi bên trên một đế tinh thể bán dẫn khác. Sau đó là quá trình plana để tạo ra các cấu kiện điện tử trên bề mặt của lớp epitaxi trên.

Việc chế tạo các cấu kiện điện tử trong vi mạch được thực hiện từ cấu trúc cơ bản của tranzito như điốt, tranzito; còn điện trở và tụ điện thì có thể tạo ra từ các lớp tiếp xúc P-N hoặc một số công nghệ khác được trình bày trong chương 7 này.

Về ứng dụng, trong chương này đưa ra hai lĩnh vực sử dụng IC cơ bản là vi mạch tuyến tính và vi mạch số. Vi mạch tuyến tính là các vi mạch xử lý các dữ liệu xảy ra liên tục theo thời gian. Ở các cấu kiện này, quan hệ vào/ra là quan hệ đường thẳng. Vi mạch tuyến tính quan trọng là IC khuếch đại thuật toán (OA). Đây là một loại IC vạn năng, nó có thể thực hiện nhiều chức năng trong mạch điện tùy thuộc vào các linh kiện đấu ở mạch ngoài.

IC số là các vi mạch thực hiện các hàm logic. Trong vi mạch số các mức điện áp vào ra đều thể hiện 2 giá trị logic là 0 và 1. Các tham số chính của vi mạch số gồm có nguồn nuôi, mức logic vào/ra, hệ số ghép tải, độ phòng vệ nhiễu, trễ truyền lan, công suất tiêu thụ, dòng vào/ra.

Trong chương 7 cũng nêu những điều cần chú ý khi sử dụng IC.

CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Định nghĩa về vi mạch tích hợp?
2. Nêu các cách phân loại vi mạch tích hợp?
3. Trình bày về công nghệ plana?
4. Trình bày về công nghệ plana-epitaxi
5. Hãy cho biết các cách chế tạo điện trở trong vi mạch?
6. Hãy cho biết các cách chế tạo tụ điện trong vi mạch?

7. Trình bày về cách tạo ra điốt trong vi mạch?
8. Vẽ ký hiệu và giải thích nhiệm vụ các chân của vi mạch khuếch đại thuật toán?
9. Trình bày về đặc tính truyền đạt và đặc tính tần số của OA?
10. Nêu các tham số cơ bản của IC OA?
11. Trình bày về vi mạch số và nêu các tham số chính của chúng?
12. Nêu những điểm cần chú ý chính khi sử dụng IC?
13. Vi mạch tích hợp được sản xuất và sử dụng nhiều nhất hiện nay là loại nào?
 - a. Vi mạch bán dẫn;
 - b. Vi mạch màng mỏng;
 - c. Vi mạch màng dày;
 - d. Vi mạch lai
14. Điện trở trong vi mạch MOS được tích hợp là.....
 - a. điện trở màng kim.
 - b. điện trở đơn khối bán dẫn.
 - c. điện trở của tiếp xúc P-N.
 - d. một MOSFET có cực cửa nối với cực máng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Giáo trình “Cấu kiện điện tử và quang điện tử”, Trần Thị Cầm, Học viện CNBCVT, năm 2002.
2. Nguyễn Quốc Trung – “Vi điện tử số” NXB KHKT năm 1997.



CHƯƠNG 8 CẤU KIỆN QUANG ĐIỆN TỬ

GIỚI THIỆU CHƯƠNG

Chương 8 trình bày về các cấu kiện bán dẫn dùng để biến đổi tín hiệu điện sang tín hiệu quang và các cấu kiện biến đổi tín hiệu quang sang tín hiệu điện. Các cấu kiện biến đổi điện sang quang (còn được gọi là cấu kiện phát quang) được nghiên cứu trong chương này gồm có các loại điốt phát quang, laser bán dẫn; còn các cấu kiện biến đổi quang sang điện (còn gọi là các cấu kiện thu quang) gồm có điện trở quang, điốt quang, tranzito quang, thyristo quang. Nội dung chính của phần này sẽ trình bày về cấu tạo, ký hiệu và nguyên lý hoạt động cũng như các đặc tính và tham số của các cấu kiện bán dẫn quang được đề cập đến trong chương. Ngoài ra chương 8 còn trình bày về cấu trúc và tham số của các bộ ghép quang, các bộ lọc quang và các CCD

NỘI DUNG

8.1. GIỚI THIỆU CHUNG

Do yêu cầu đòi hỏi ngày càng nhanh và phức tạp của công nghệ thông tin, do những ưu điểm của các hệ thống thông tin quang, mà các thiết bị điện tử hiện nay đang sử dụng rất nhiều các linh kiện quang như LED, LCD, quang trở, photodiốt, tranzito quang, LASER, sợi quang dẫn, các bộ ghép quang... Tiêu biểu cho sự tiến bộ nhanh chóng của công nghệ chế tạo linh kiện bán dẫn quang là sự phát hiện chất bán dẫn được liên kết từ các nguyên tố ở nhóm III và nhóm V của bảng tuần hoàn Mendelêep.

Trong chương này sẽ trình bày về cấu tạo và nguyên lý làm việc cũng như các tham số cơ bản của các linh kiện quang điện tử thường được sử dụng trong kỹ thuật thông tin hiện nay. Đồng thời trình bày một số sơ đồ mạch ứng dụng của chúng.

8.1.1. *Khái niệm chung về kỹ thuật quang điện tử.*

a. Định nghĩa về kỹ thuật quang điện tử:

Quang điện tử là những hiệu ứng tương hỗ giữa bức xạ ánh sáng và mạch điện tử. Bức xạ ánh sáng là một dạng của bức xạ điện từ có dải tần số dao động rất cao, $10^{14} \div 10^{15} \text{ Hz}$, hoặc độ dài bước sóng từ khoảng 50nm đến khoảng 100 μm .

b. Các bức xạ quang được chia ra thành ba vùng là:

- Vùng cực tím có độ dài bước sóng từ 50nm đến 380nm.
- Vùng ánh sáng nhìn thấy có bước sóng từ 380nm đến 780nm.
- Vùng hồng ngoại có bước sóng từ 780nm đến 100 μm .

Đặc điểm của mắt người là nhìn thấy các sóng điện từ thuộc vùng ánh sáng nhìn thấy. Mắt người không chỉ phân biệt được độ sáng yếu hay mạnh, mà còn phân biệt được từng bước sóng riêng biệt gọi là độ cảm màu của mắt. Nhưng trong kỹ thuật chỉ dùng khái niệm bước sóng chứ không dùng khái niệm màu sắc, và ngay cả tần số cũng ít dùng. Các bước sóng trong thông tin quang hiện nay nằm ở vùng hồng ngoại nên khái niệm màu sắc càng không có ý nghĩa.

c. Phân loại linh kiện quang điện tử:

Linh kiện quang điện tử gồm có linh kiện bán dẫn quang điện tử và linh kiện không bán dẫn quang điện tử.

- *Linh kiện bán dẫn quang điện tử*: là những linh kiện được chế tạo từ vật liệu bán dẫn như điện trở quang, điốt quang, tranzito quang, LED, LASER bán dẫn, v.v..
- *Linh kiện không phải bán dẫn quang điện tử*: như sợi quang dẫn, mặt chỉ thị tinh thể lỏng LCD, ống nhân quang v.v..

8.1.2. Hệ thống truyền dẫn quang.

a. Sơ đồ khối của các hệ thống thông tin:

Sơ đồ khối cơ bản nhất của hệ thống thông tin điện và quang được mô tả trên hình 8-1a,b. Trong hình :

Nguồn tín hiệu: là các dạng thông tin thông thường như tiếng nói, hình ảnh, số liệu, văn bản...

Mạch điện tử : có nhiệm vụ xử lý nguồn thông tin để tạo ra các tín hiệu điện dưới dạng analog hoặc digital.

Khối E/O: là mạch biến đổi điện - quang có nhiệm vụ điều biến tín hiệu điện thành cường độ bức xạ ánh sáng để phát đi (biến đổi tín hiệu điện thành tín hiệu quang).

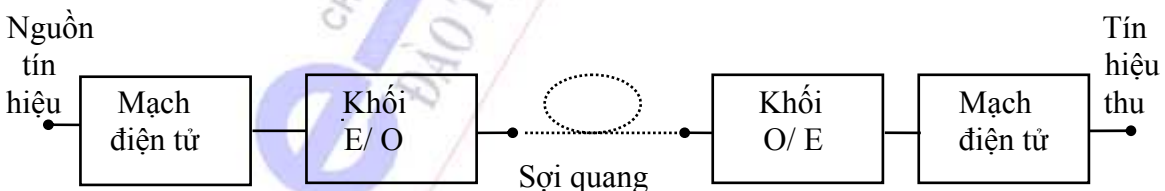
Sợi quang có nhiệm vụ truyền dẫn tín hiệu quang từ nơi phát đến nơi thu.

Khối O/E : mạch biến đổi quang - điện còn gọi là bộ thu quang có nhiệm vụ tiếp nhận ánh sáng từ sợi quang đưa đến và biến đổi trở lại thành tín hiệu điện như tín hiệu điện đã phát đi.

Tải tin : Trong hệ thống điện thì tải tin là các sóng điện từ cao tần, trong hệ thống quang tải tin là ánh sáng và cũng là sóng điện từ song có tần số rất cao ($10^{14} \div 10^{15}$ Hz) do vậy tải tin quang rất thuận lợi cho tải các tín hiệu băng rộng.



a. Hệ thống thông tin điện



b. Hệ thống thông tin quang

Hình 8-1: a. Hệ thống thông tin điện .
b. Hệ thống thông tin quang.

b. Ưu điểm của hệ thống truyền dẫn quang:

Qua hình (8-1a,b) ta thấy hai hệ thống đều có các phần tử và tín hiệu tương đồng, chỉ có môi trường truyền dẫn là khác nhau. So với hệ thống thông tin điện, hệ thống thông tin quang có một số ưu điểm sau:

+ Sợi quang nhỏ, nhẹ hơn dây kim loại, dễ uốn cong, tốn ít vật liệu.

+ Sợi quang chế tạo từ thủy tinh thạch anh không bị ảnh hưởng của nước, axit, kiềm nên không bị ăn mòn. Đồng thời, sợi là chất điện môi nên cách điện hoàn toàn, tín hiệu truyền trong sợi quang không bị ảnh hưởng của nhiễu bên ngoài tới và cũng không gây nhiễu ra môi trường xung quanh.

+ Đảm bảo bí mật thông tin, không sợ bị nghe trộm.

+ Khả năng truyền được rất nhiều kênh trong một sợi quang có đường kính rất nhỏ. Tiêu hao nhỏ và không phụ thuộc tần số nên cho phép truyền dẫn băng rộng và tốc độ truyền lớn hơn nhiều so với sợi kim loại.

+ Giá thành rất rẻ.

8.2. CÁC CẤU KIỆN BIẾN ĐỔI ĐIỆN – QUANG (Cấu kiện phát quang)

8.2.1. Sự tương tác giữa ánh sáng và vật chất.

Như đã biết, theo lý thuyết dải năng lượng của vật chất, thì thông thường các hạt đều tồn tại ở mức cơ bản (E_k) vì mức này có năng lượng thấp nhất nên cũng bền vững nhất. Chỉ cần kích thích một năng lượng nào đó, ví dụ như quang năng, điện năng, nhiệt năng... thì các hạt ở mức cơ bản sẽ di chuyển lên mức năng lượng cao hơn, gọi là các mức kích thích (E_i). Các hạt chỉ tồn tại ở các mức kích thích một thời gian rất ngắn khoảng 10^{-8} giây rồi nó lại dịch chuyển về các mức năng lượng thấp hơn và phát ra ánh sáng, hay còn gọi là các photon. Photon phát ra theo định luật bảo toàn năng lượng:

$$h\nu = E_i - E_k \tag{8.1}$$

và ta có tần số bức xạ của ánh sáng tính theo công thức (8.1):

$$\nu = \frac{E_i - E_k}{h} \tag{8.2}$$

trong đó: ν - tần số bức xạ của ánh sáng ($\nu = \frac{c}{\lambda}$).

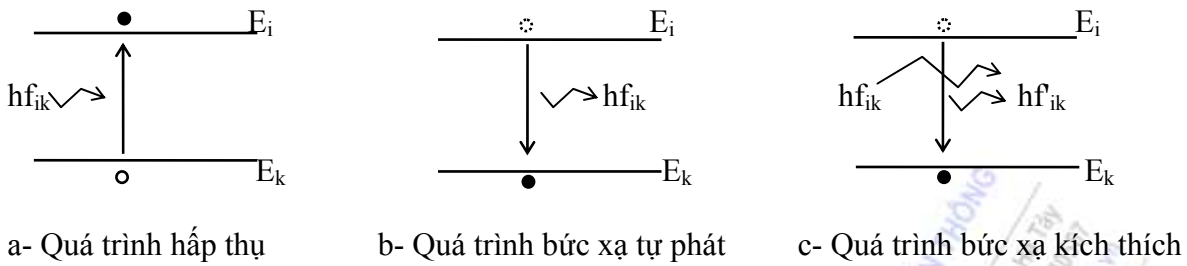
h - hằng số Plank ($h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J.s} = 4,16 \cdot 10^{-15} \text{ eV.s}$).

c - vận tốc của ánh sáng ($c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$).

λ - độ dài bước sóng của bức xạ ánh sáng phát ra.

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{c}{\frac{E_i - E_k}{h}} = \frac{1240}{(E_i - E_k)} \left[\frac{\text{eV.nm}}{\text{eV}} \right] = \frac{1240}{E_G} \left[\frac{\text{eV.nm}}{\text{eV}} \right]$$

Sự tương tác giữa ánh sáng và vật chất gồm có 3 quá trình: quá trình hấp thụ, quá trình bức xạ tự phát và quá trình bức xạ kích thích (Xem hình 8- 2a,b,c).



Hình 8- 2 : Ba quá trình chủ yếu của sự tương tác giữa ánh sáng và vật chất

a. Quá trình hấp thụ:

Quá trình hấp thụ (hình 8-2a) là quá trình mà tại đó khi có một photon tương tác với vật chất thì một điện tử ở mức năng lượng cơ bản E_k sẽ nhận thêm năng lượng của photon (quang năng) và nhảy lên mức năng lượng kích thích E_i .

b. Quá trình bức xạ tự phát:

Bức xạ tự phát (hình 8-2b) là quá trình mà các điện tử nhảy lên mức năng lượng kích thích E_i , nhưng chúng nhanh chóng trở về mức năng lượng cơ bản E_k và phát ra photon có năng lượng $h\nu$. Mỗi một bức xạ tự phát ta thu được một photon.

Hiện tượng này xảy ra không có sự kích thích bên ngoài nào và được gọi là quá trình bức xạ tự phát. Bức xạ này đẳng hướng và có pha ngẫu nhiên.

c. Quá trình bức xạ kích thích:

Nếu có một photon có năng lượng $h\nu$ tới tương tác với vật chất mà trong lúc đó có một điện tử đang còn ở trạng thái kích thích E_i , thì điện tử này được kích thích và ngay lập tức nó di chuyển trở về mức năng lượng cơ bản E_k và bức xạ ra một photon khác có năng lượng cũng đúng bằng $h\nu$. Photon mới bức xạ ra này có cùng pha với photon đi đến và được gọi là bức xạ kích thích (hay bức xạ cảm ứng). Xem hình 8-2c.

8.2.2. Điốt phát quang (LED) chỉ thị.

Điốt phát quang là linh kiện bán dẫn quang điện tử. Nó có khả năng phát ra ánh sáng khi có hiện tượng tái hợp xảy ra trong tiếp xúc P-N. Điốt phát quang thường được gọi tắt là LED do viết tắt từ các từ tiếng Anh: Light- Emitting Diode. Tùy theo vật liệu chế tạo mà ta có ánh sáng bức xạ ra ở các vùng bước sóng khác nhau.

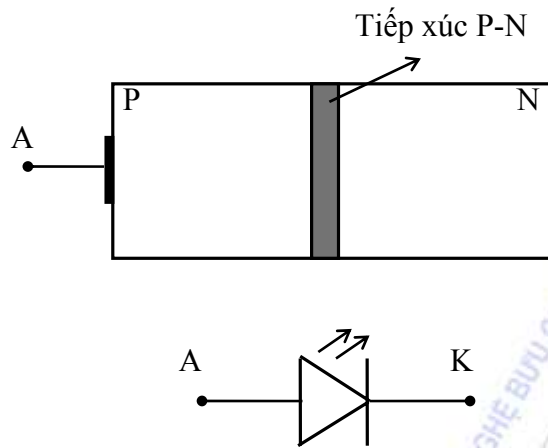
Trong mục này ta sẽ trình bày trước hết về LED bức xạ ra ánh sáng nhìn thấy gọi là LED chỉ thị. LED chỉ thị có ưu điểm là tần số hoạt động cao, kích thước nhỏ, công suất tiêu hao nhỏ, không sụt áp khi bắt đầu làm việc. LED không cần kính lọc mà vẫn cho ra màu sắc. LED chỉ thị rất rõ khi trời tối. Tuổi thọ của LED khoảng 100 ngàn giờ.

a. Cấu tạo và ký hiệu của LED:

□ *Cấu tạo:*

Điốt phát quang gồm có một lớp tiếp xúc P-N và hai chân cực anốt (A), catốt (K). Anốt được nối với bán dẫn loại P, còn catốt được nối với bán dẫn loại N.

Hình 8-3 mô tả mô hình cấu tạo của LED và ký hiệu trong các sơ đồ mạch.

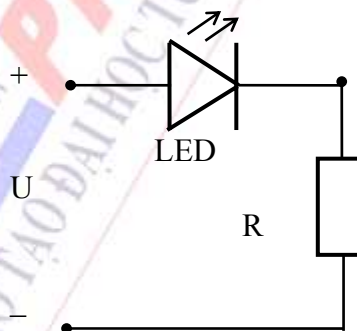


Hình 8- 3 : Mô hình cấu tạo và ký hiệu của LED.

Vật liệu chế tạo điốt phát quang đều là các liên kết của các nguyên tố thuộc nhóm 3 và nhóm 5 của bảng tuần hoàn Mendêlêep như GaAs, hoặc liên kết 3 nguyên tố như GaAsP v.v.. Đây là các vật liệu tái hợp trực tiếp, có nghĩa là sự tái hợp xảy ra giữa các điện tử ở sát đáy dải dẫn và các lỗ trống ở sát đỉnh dải hóa trị.

b. Nguyên lý làm việc:

Sơ đồ nguyên lý đầu LED mô tả trong hình 8- 4.



Hình 8- 4 : Sơ đồ nguyên lý của LED.

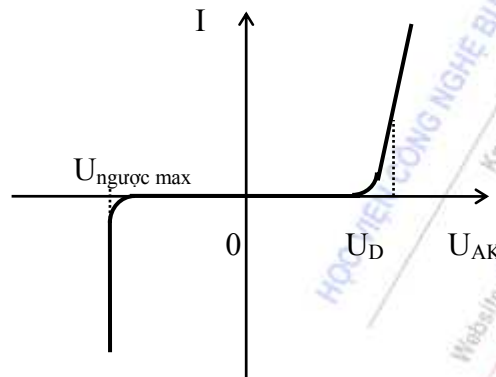
Khi LED phân cực thuận, các hạt dẫn đa số khuếch tán ồ ạt qua tiếp xúc P-N, chúng gặp nhau sẽ tái hợp và các photon được phát sinh. Tốc độ tái hợp trong quá trình bức xạ tự phát này tỉ lệ với nồng độ điện tử trong phần bán dẫn P và nồng độ lỗ trống trong phần bán dẫn N. Đây là các hạt dẫn thiểu số trong chất bán dẫn. Như vậy, để tăng số photon bức xạ ra cần phải gia tăng nồng độ hạt dẫn thiểu số trong các phần bán dẫn. Cường độ dòng điện của điốt tỉ lệ với nồng độ hạt dẫn được "chích" vào các phần bán dẫn, do đó cường độ phát quang của LED tỉ lệ với cường độ dòng điện qua điốt.

Như vậy LED có khả năng biến đổi tín hiệu điện thành tín hiệu quang, nên nó được coi là dụng cụ phát quang.

Điện áp phân cực cho LED gần bằng độ rộng vùng cấm của vật liệu, do đó, các LED bức xạ ở các bước sóng khác nhau sẽ được chế tạo từ các vật liệu bán dẫn có độ rộng vùng cấm khác nhau và điện áp phân cực cho chúng cũng khác nhau. Tuy nhiên LED có điện áp phân cực thuận tương đối cao (khoảng từ 1,6 v đến 3 v) và có điện áp ngược cho phép tương đối thấp (khoảng từ 3 v đến 5 v).

c. Đặc tuyến Vôn - Ampe của LED:

Đặc tuyến Vôn - Ampe của điốt phát quang biểu diễn mối quan hệ giữa dòng điện quang với điện áp đặt lên LED.



Hình 8- 5: Đặc tuyến Vôn - Ampe của LED

Khi điện áp thuận thay đổi (dù rất nhỏ) sẽ làm cho dòng điện qua điốt tăng đáng kể và kéo theo sự tăng cường độ bức xạ quang, do vậy cần xác định vùng làm việc cho điốt tương đối ổn định và dùng nguồn dòng để cung cấp.

Điốt phát quang rất nhạy với nhiệt độ. Khi nhiệt độ làm việc thay đổi, cực đại phổ bức xạ có thể thay đổi cả về độ dài bước sóng lẫn cường độ: khi nhiệt độ làm việc tăng thì độ dài bước sóng bức xạ ngắn lại (khoảng 0,02 μm/ °C đến 0,009 μm/ °C) và điện áp phân cực cho điốt có thể bị giảm (khoảng từ 1,3 mV đến 2,3 mV/ °C).

Để đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ lên giá trị điện áp phân cực, người ta sử dụng hệ số nhiệt cho điốt: S_{TV}:

$$S_{TV} = \left. \frac{\Delta U}{\Delta T} \right|_{I=\text{const}} \tag{8. 3}$$

Hệ số nhiệt của LED có giá trị âm nên khi sử dụng trong hệ thống có nhiều các linh kiện điện tử cần chú ý đến tham số này. Khoảng nhiệt độ hoạt động của LED khoảng từ -60°C đến +85°C. Công suất của LED khoảng từ vài trăm μw đến vài watt.

Bảng 8-1 cho biết độ rộng vùng cấm của các vật liệu càng lớn thì năng lượng được giải phóng ra càng lớn và bức xạ được phát ra có bước sóng càng ngắn.

Bảng 8.1: Tham số của một số loại LED

Vật liệu	E_G (ev)	λ_p (nm)	vùng bức xạ	U_D (v) ở $I=20mA$	$U_{ngược}$ Max	t_r (nsec)	Loại tái hợp
Ge	0,66	-	-	-	-	-	G.tiếp
Si	1,09	-	-	-	-	-	G.tiếp
GaAs	1,43	910	Hồng ngoại	1,6 ÷ 1,8	5	50	T. tiếp
GaAsP	1,9	660	Đỏ	1,6 ÷ 1,8	5		T. tiếp
GaAlAs	1,91	650	Đỏ	1,6 ÷ 1,8	5		T. tiếp
GaAsP	2,0	635	Cam	2,0 ÷ 2,2	5	100	T. tiếp
GaAsP	2,1	585	Vàng	2,2 ÷ 2,4	5	100	T. tiếp
GaAsP	2,2	565	Lá cây	2,4 ÷ 2,7	5	400	T. tiếp
GaP	2,24	560	Lá cây	2,7 ÷ 3,0	5	-	G. tiếp
SiC	2,5	490	Da trời	3,0	-	900	G.tiếp
Gallium-Nitrit	3,1	400	Tím	3,0	-	-	G. tiếp

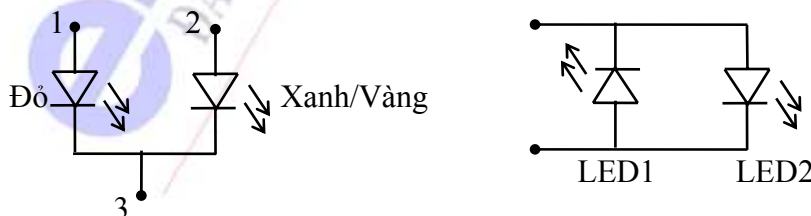
d. Ứng dụng và một số loại LED chỉ thị:

LED chỉ thị được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực quảng cáo, trong xe hơi, máy bay, trò chơi trẻ em, âm nhạc, máy ảnh... vì thể tích nhỏ, công suất tiêu tán thấp và thích hợp với các mạch logic. Khi sử dụng LED cần phải mắc nối tiếp với một điện trở hạn chế dòng. Trị số của điện trở nối tiếp được tính theo công thức (8. 4):

$$R_T = \frac{U_{CC} - U_D}{I} \tag{8. 4}$$

Trong đó: U_{CC} - Điện áp nguồn cung cấp
 U_D - Điện áp phân cực cho LED
 I - Dòng điện chạy qua LED
 (có trị số danh định khoảng từ 10mA đến 30mA)

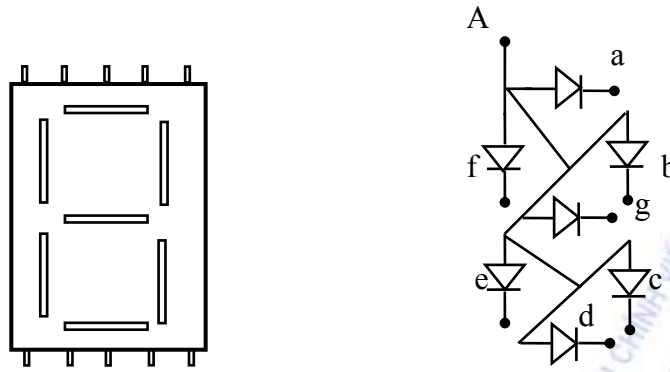
- Một số loại LED chỉ thị:
- LED đơn: Đây là linh kiện một LED.
- LED đôi: Để dùng cho những ứng dụng đặc biệt:



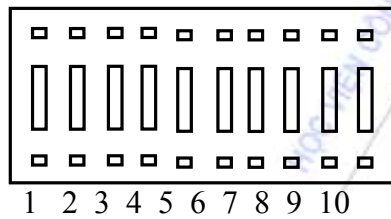
Hình 8- 6 : LED đôi.

- LED bảy đoạn sáng: Đây là một tổ hợp gồm có 7 LED được đấu nối với nhau theo hình số 8 dùng để hiển thị các số thập phân từ 0 đến 9. (Xem hình 8- 7).

- Băng chiếu sáng LED: Đây là tập hợp nhiều LED thành một chuỗi với mạch tổ hợp hoặc không có mạch tổ hợp bên trong, (xem hình 8- 8).



Hình 8- 7: Cấu trúc của một LED 7 đoạn sáng đầu kiểu Anôt chung.
20 19 18 17 16 15 14 13 12 11



Hình 8- 8: Băng chiếu sáng LED

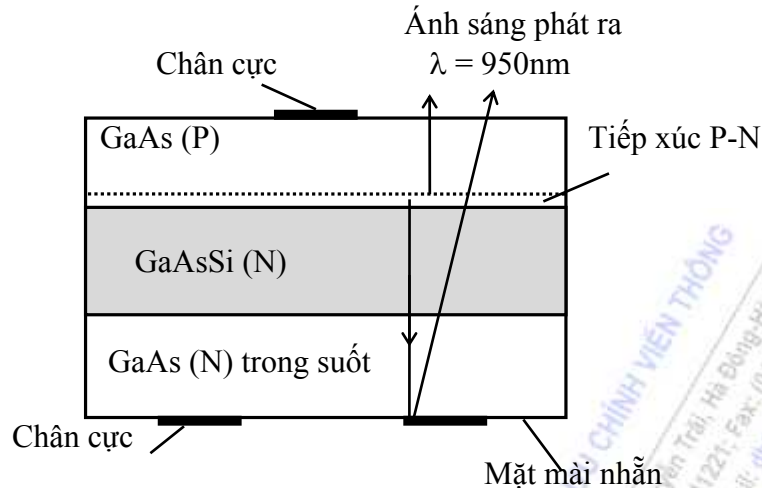
8.2.3. LED hồng ngoại.

Đối với các hệ thống thông tin quang yêu cầu tốc độ bit xấp xỉ 100 đến 200Mbit/s cùng sợi quang đa mode với công suất quang khoảng vài chục μw , các điôt phát quang bán dẫn thường là các nguồn sáng tốt nhất.

a. Cấu tạo:

Cấu tạo của LED hồng ngoại cơ bản là giống các LED chỉ thị. Để bức xạ ánh sáng hồng ngoại, LED hồng ngoại được chế tạo từ vật liệu Galium Asenit (GaAs) với độ rộng vùng cấm $E_G = 1,43 \text{ eV}$ tương ứng với bức xạ bước sóng khoảng 900nm.

Hình 8- 9 mô tả cấu trúc của một LED hồng ngoại bức xạ ánh sáng 950nm.

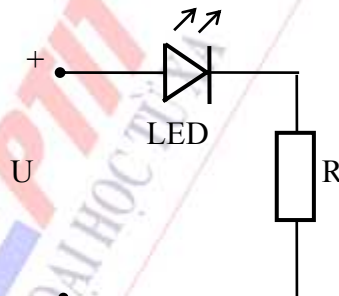


Hình 8- 9 : Cấu trúc của LED hồng ngoại bức xạ bước sóng 950nm.

Trong phần epitaxy lỏng trong suốt GaAs (N) tạo một lớp tinh thể có tính chất lưỡng tính với tạp chất Silic là GaAsSi (N) và một tiếp xúc P-N được hình thành. Với sự pha tạp chất Silic ta có bức xạ với bước sóng 950 nm Mặt dưới của LED được mài nhẵn tạo thành một gương phản chiếu tia hồng ngoại phát ra từ lớp tiếp xúc P-N.

b. Nguyên lý làm việc:

Hình 8- 10 mô tả sơ đồ nguyên lý đấu nối LED hồng ngoại trong mạch điện.



Hình 8- 10 : Sơ đồ nguyên lý của LED hồng ngoại

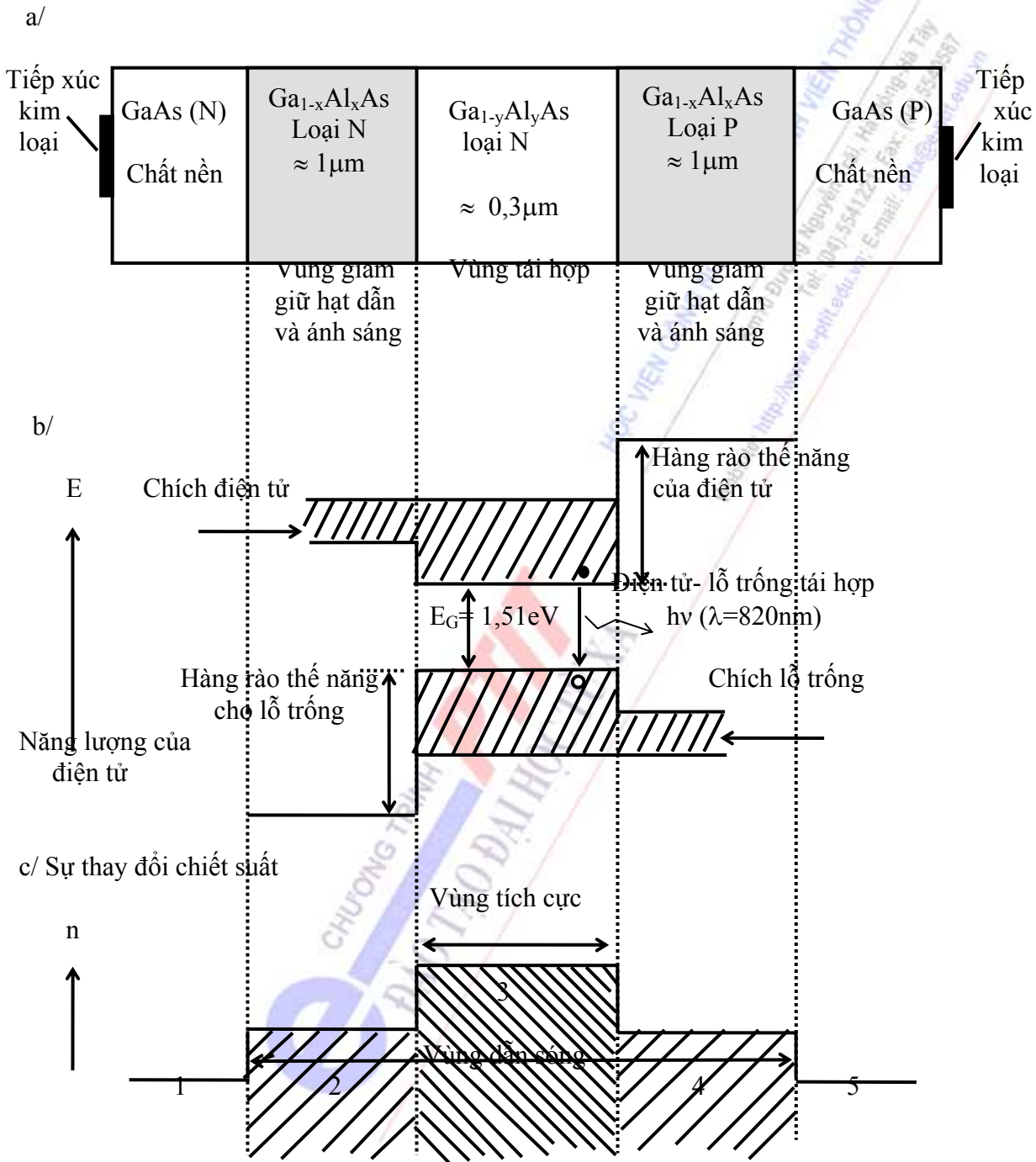
Khi phân cực thuận cho điôt, các hạt dẫn đa số sẽ khuếch tán qua tiếp xúc P-N, chúng tái hợp với nhau và phát ra bức xạ hồng ngoại. Các tia hồng ngoại bức xạ ra theo nhiều hướng khác nhau. Những tia hồng ngoại có hướng đi vào trong các lớp chất bán dẫn, gặp gương phản chiếu sẽ được phản xạ trở lại để đi ra ngoài theo cùng hướng với các tia khác. Điều này làm tăng hiệu suất của LED.

Ánh sáng hồng ngoại có đặc tính quang học giống như ánh sáng nhìn thấy, nghĩa là nó có khả năng hội tụ, phân kỳ qua thấu kính, có tiêu cự.... Tuy nhiên, ánh sáng hồng ngoại rất khác ánh sáng nhìn thấy ở khả năng xuyên suốt qua vật chất, trong đó có chất bán dẫn. Điều này giải thích tại sao LED hồng ngoại có hiệu suất cao hơn LED chỉ thị vì tia hồng ngoại không bị yếu đi khi vượt qua các lớp bán dẫn để ra ngoài.

Tuổi thọ của LED hồng ngoại dài đến 100000 giờ. LED hồng ngoại không phát ra ánh sáng nhìn thấy nên rất có lợi trong các thiết bị kiểm soát vì không gây sự chú ý.

c. LED hồng ngoại cấu trúc đặc biệt:

Để truyền dẫn trong sợi quang đạt hiệu quả người ta sử dụng các loại LED hồng ngoại có độ sáng phát ra cao, có thời gian đáp ứng nhanh và hiệu suất lượng tử cao, đó là LED cấu trúc dị thể kép. Đây là cấu trúc được sử dụng rất rộng rãi hiện nay.



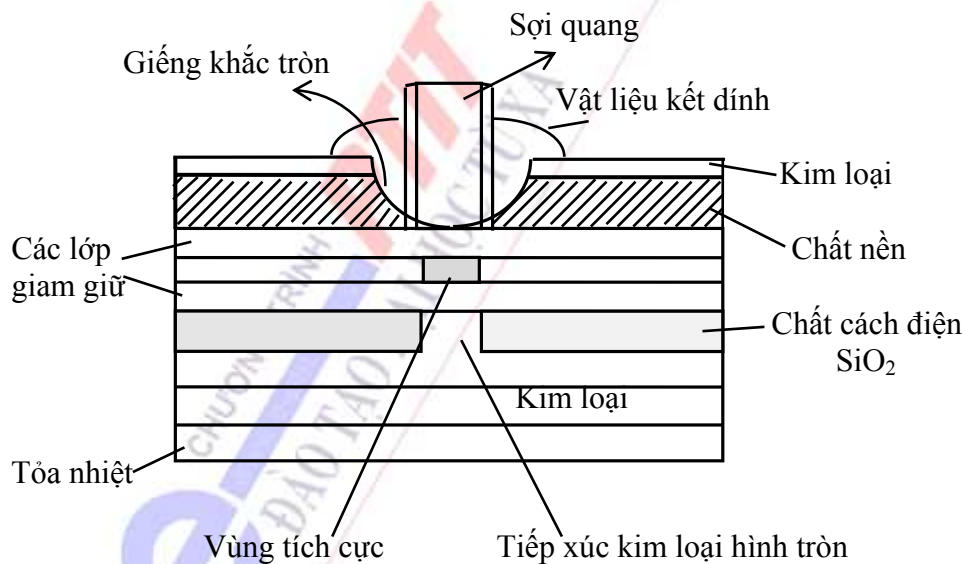
Hình 8- 11 : a/ Mặt cắt của LED cấu trúc dị thể kép loại GaAlAs với $x > y$
 b/ Giản đồ năng lượng của vùng tích cực và hàng rào thế năng của điện tử và lỗ trống
 c/ Sự thay đổi chiết suất trong các lớp dị thể

Hình 8- 11 biểu diễn một LED cấu trúc dị thể kép (double heterostructure) bởi vì có hai lớp hợp kim $Ga_{1-x}Al_xAs$ loại N và P đều có độ rộng vùng cấm lớn hơn độ rộng vùng cấm của lớp tích cực $Ga_{1-y}Al_yAs$ loại N, cũng có nghĩa là chiết suất của hai lớp này nhỏ hơn chiết suất của lớp tích cực (trong đó % phân tử lượng $x > y$). Bằng phương pháp cấu trúc Sandwich của các lớp hợp kim tổng hợp khác nhau, cả 2 loại hạt dẫn và trường ánh sáng được giam giữ lại trong trung tâm của lớp tích cực, (xem hình 8- 11b). Đồng thời sự khác nhau về chiết suất của các lớp kề cận này đã giam giữ trường ánh sáng trong lớp tích cực ở trung tâm, (xem hình 8- 11c). Sự giam giữ hạt dẫn và ánh sáng ở trong lớp tích cực đã làm tăng độ bức xạ và hiệu suất quang lượng tử.

Hai dạng cơ bản của LED được dùng cho sợi quang là bức xạ bề mặt (còn gọi là bức xạ Burrus) và bức xạ cạnh.

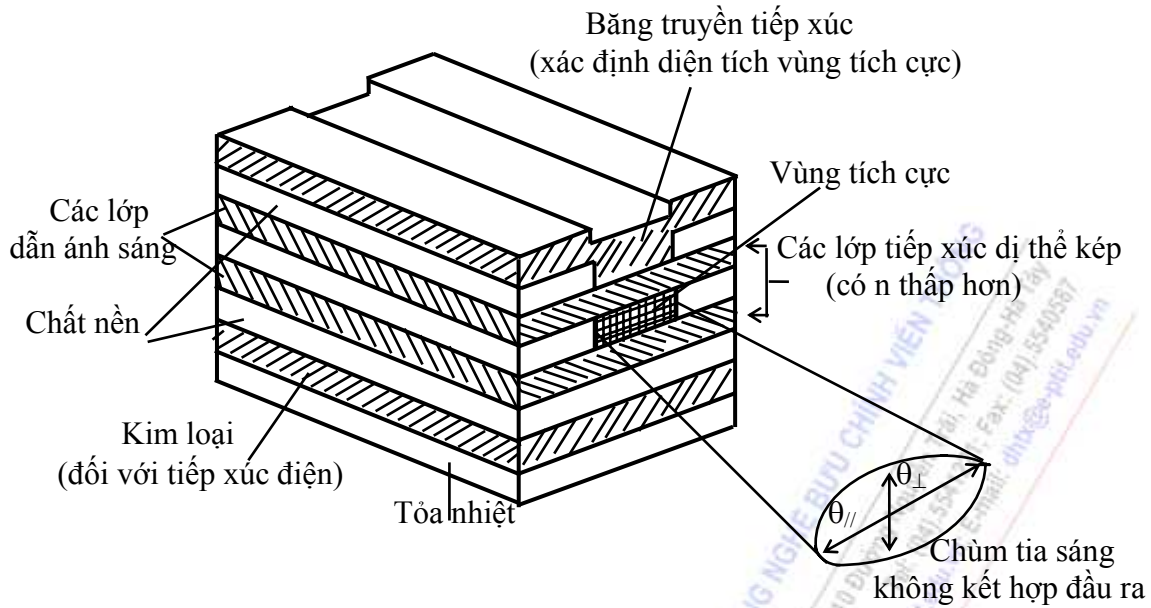
- Trong bức xạ bề mặt, mặt phẳng của vùng tích cực bức xạ ánh sáng vuông góc với trục x của sợi quang như mô tả trong hình 8- 12. Trong cấu trúc này một "cái giếng" được khắc qua phần chất nền của LED, sau đó sợi quang được gắn chặt vào để nhận ánh sáng bức xạ ra. Diện tích vòng tròn tích cực trong bề mặt bức xạ trên thực tế có đường kính $50\mu m$ và bề dày đến $2,5\mu m$. Phổ bức xạ cơ bản là đẳng hướng với độ rộng chùm tia nửa công suất 120° .

Phổ đẳng hướng này từ một bức xạ bề mặt được gọi là phổ Lambe, trong đó độ phát sáng ở mọi hướng đều bằng nhau, nhưng công suất giảm đi theo hàm $\cos\theta$, với θ là góc giữa hướng chiếu ánh sáng và đường vuông góc với bề mặt. Do vậy công suất giảm xuống 50% so với trị số đỉnh của nó khi $\theta = 60^\circ$, để tổng độ rộng chùm tia nửa công suất là 120° .



Hình 8- 12: Mặt cắt của LED bức xạ bề mặt.

Vùng tích cực được giới hạn bởi một đường tròn có diện tích tương ứng với mặt cắt đầu lõi của sợi quang



Hình 8- 13 : Cấu trúc của LED dị thể kép bức xạ cạnh.
 Chùm tia ra là Lambe ở bề mặt của tiếp xúc P-N ($\theta_{//} = 120^0$)
 và hướng vuông góc với tiếp xúc P-N là $\theta_{\perp} = 30^0$.

- LED bức xạ cạnh được mô tả ở hình 8- 13 gồm một vùng tiếp xúc tích cực và hai lớp dẫn ánh sáng. Cả hai lớp dẫn quang đều có chiết suất thấp hơn của vùng tích cực nhưng cao hơn chiết suất của các vật liệu xung quanh. Cấu trúc này tạo ra một kênh dẫn sóng hướng bức xạ ánh sáng theo hướng lõi sợi quang. Để ghép khít lõi sợi quang đường kính từ 50 μ m đến 100 μ m, băng truyền tiếp xúc đối với bức xạ cạnh có chiều rộng là 50 μ m đến 70 μ m. Chiều dài của vùng tích cực khoảng từ 100 μ m đến 150 μ m. Phổ bức xạ của LED bức xạ cạnh định hướng tốt hơn so với bức xạ bề mặt, như biểu diễn trong hình (8- 13). Ở bề mặt song song với tiếp xúc, mà tại đó không có hiệu ứng dẫn sóng, thì chùm tia bức xạ là phổ Lambe với độ rộng nửa- công suất của $\theta_{//} = 120^0$. Trong bề mặt vuông góc với tiếp xúc, bằng việc chọn độ dày của ống dẫn sóng, độ rộng chùm tia nửa- công suất θ_{\perp} được tạo ra nhỏ hơn 25 đến 35 0 .

8.2.3. Điốt LASER.

a. Định nghĩa về LASER:

LASER là một linh kiện quang học dùng để tạo ra và khuếch đại ánh sáng đơn sắc có tính liên kết về pha từ bức xạ tự phát của ánh sáng.

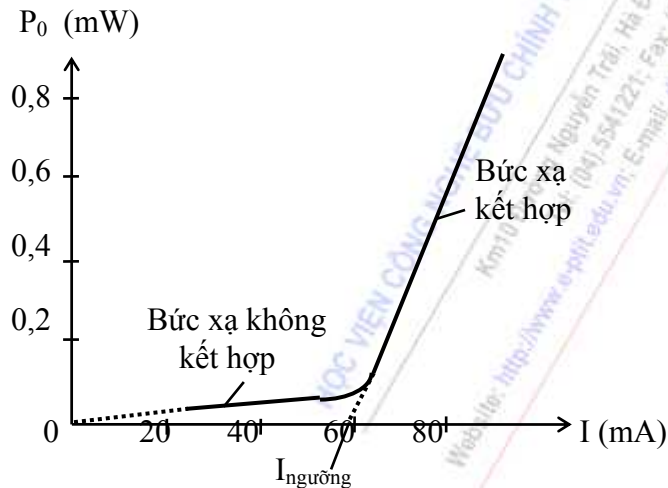
LASER là từ viết tắt của tên gọi bằng tiếng Anh: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

Nguyên lý hoạt động cơ bản của LASER là kết quả của 3 quá trình chủ yếu là quá trình hấp thụ photon, quá trình bức xạ tự phát và quá trình bức xạ kích thích.

Quá trình bức xạ kích thích sẽ chỉ trội hơn quá trình hấp thụ nếu độ chiếm giữ của các trạng thái kích thích lớn hơn độ bị chiếm giữ của các trạng thái cơ bản. Điều kiện này được gọi

là sự đảo mật độ chiếm giữ trong chất bán dẫn. Trong LASER bán dẫn, sự đảo mật độ chiếm giữ xảy ra trong trường hợp các hạt dẫn đa số khuếch tán ồ ạt qua tiếp xúc P-N. Điều này chỉ xảy ra khi dòng điện thuận qua điôt phải vượt quá trị số dòng điện ngưỡng như chỉ ra ở hình 8-14. Hình 8-14 biểu thị sự phụ thuộc của công suất phát của LASER vào dòng điện chạy qua điôt.

Vật liệu bán dẫn của điôt LASER phải là bán dẫn có sự tái hợp trực tiếp và năng lượng photon gần bằng độ rộng vùng cấm ($h\nu \approx E_G$). Để tăng độ phát sáng của LASER phải sử dụng chất bán dẫn được pha tạp với nồng độ tạp chất rất cao (hay còn gọi là sự pha tạp suy biến).



Hình 8-14: Đặc tuyến bức xạ của LASER bán dẫn.

Trong thông tin quang, các LASER phải bức xạ ra ánh sáng thuộc 3 cửa sổ công tác của sợi quang là $\lambda = 850$ nm, 1300 nm, và 1550 nm. Vật liệu bán dẫn thường được chọn trên nền GaAs. Chất Galium Asenid cho bức xạ ở nhiệt độ 300^0K với $\lambda = 900$ nm, muốn có bức xạ $\lambda = 800$ nm ta cần phải thay đổi độ rộng vùng cấm của nó bằng cách pha thêm nhôm vào để có chất bán dẫn GaAlAs. Để có bức xạ bước sóng từ $\lambda = 1200$ nm đến 1600 nm thì sử dụng hợp chất 4 thành phần InGaAsP.

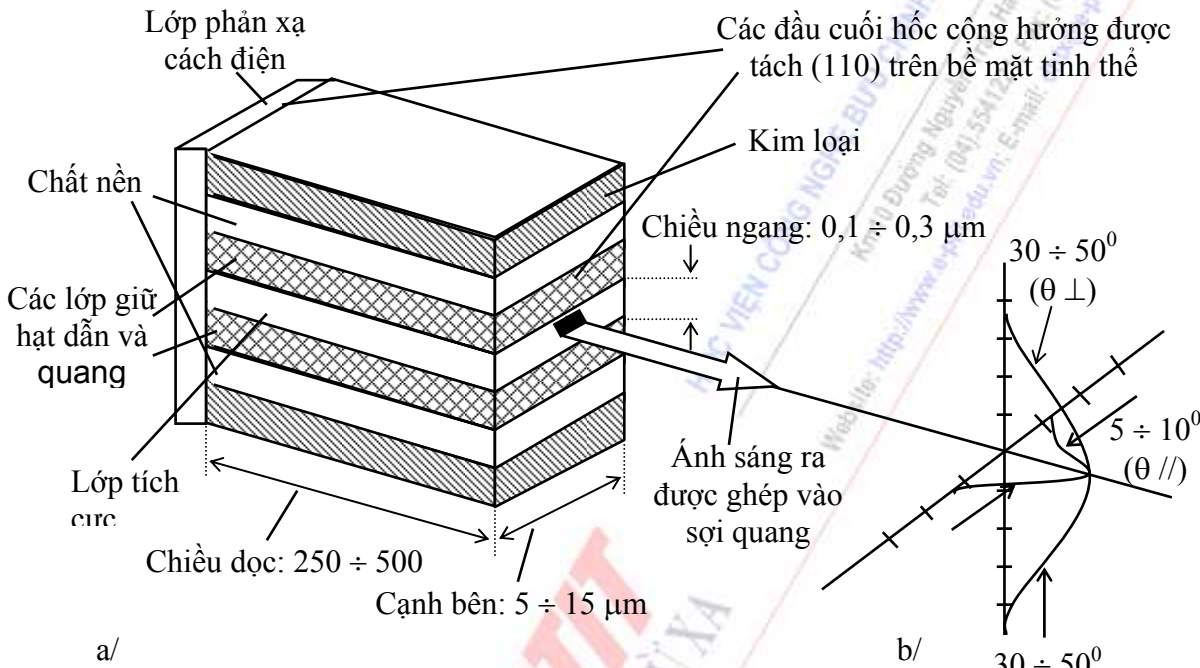
Đối với các hệ thống thông tin cáp sợi quang yêu cầu độ rộng băng tần lớn hơn 200MHz, điôt LASER có thể đạt được yêu cầu này hơn LED. Các điôt LASER tiêu chuẩn có thời gian đáp ứng thấp hơn 1ns, có độ rộng phổ bức xạ quang khoảng 2nm hoặc nhỏ hơn, và nói chung, các điôt LASER có khả năng liên kết lõi và các khẩu độ số nhỏ. Thực tế, tất cả các điôt LASER đang sử dụng hiện nay là các linh kiện nhiều lớp tiếp xúc dị thể.

b. Cấu trúc của điôt LASER:

Cấu trúc của LASER tương tự như LED nhưng phức tạp hơn, phần lớn vì yêu cầu thêm về việc giam giữ dòng điện trong một hốc cộng hưởng nhỏ.

Bức xạ kích thích trong LASER bán dẫn được sinh ra bên trong một hốc cộng hưởng Fabry- Perot. Hình 8-15 mô tả một cấu trúc cơ bản của hầu hết các loại điôt LASER. Tuy nhiên hốc cộng hưởng rất nhỏ, kích thước chiều dài khoảng từ 250 đến 500 μm , chiều rộng khoảng từ 5 đến 15 μm và bề dày khoảng từ 0,1 đến 0,2 μm . Các kích thước này được gọi chung là kích thước chiều dọc, cạnh bên và chiều ngang của hốc cộng hưởng.

Trong hốc cộng hưởng Fabry Perot của điốt LASER, có một bộ phận các gương phản chiếu được định hướng. Các mặt gương được tạo ra bằng 2 mặt chẻ tách tự nhiên của tinh thể bán dẫn (mặt 110). Mục đích của các gương này là để cung cấp sự hồi tiếp quang theo hướng chiều dài, và sẽ biến cấu kiện thành một máy phát với hệ số tăng ích để bù lại sự tổn thất quang trong hốc cộng hưởng. Hốc cộng hưởng của LASER có thể có nhiều tần số cộng hưởng. Cấu kiện sẽ phát ra ánh sáng tại các tần số cộng hưởng mà tại đó hệ số tăng ích của nó đủ để vượt qua được sự mất mát. Các cạnh bên của hốc cộng hưởng được hình thành bởi các cạnh thô, xù xì của cấu kiện để hạn chế các bức xạ không mong muốn trong các hướng này.



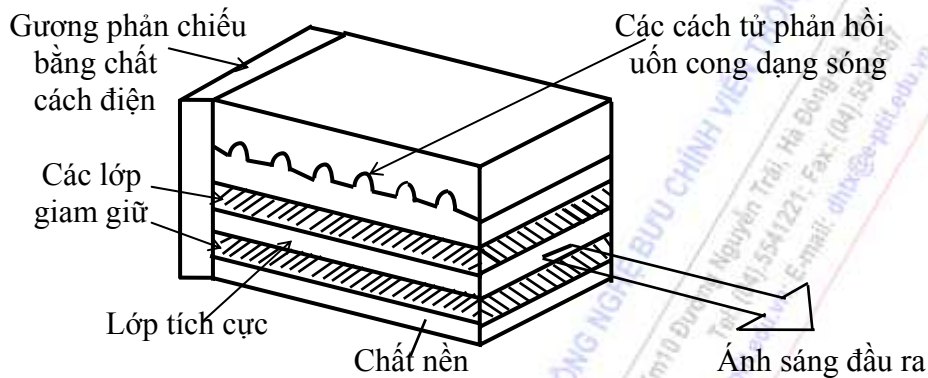
Hình 8- 15 : a/ Cấu trúc của một điốt LASER với hốc cộng hưởng Fabry- Perot: Các đầu cuối tách bóc tinh thể như là gương phản chiếu. Đầu cuối không sử dụng có thể bọc bằng tấm phản xạ cách điện để giảm mất mát quang trong hốc cộng hưởng
b/ Đồ thị phân bố trường xa của bức xạ

Chú ý : Chùm tia sáng từ LASER tạo thành một hình elip đứng ngay cả khi vùng phát quang tại điện tích mặt tích cực là một elip ngang.

□ **Điốt LASER hồi tiếp - phân bố (DFB):**

Đây là một loại điốt LASER không cần các mặt tách bóc tinh thể để tạo gương phản xạ quang. Ở DFB gần như tạo được độ chọn lọc một ánh sáng rất tốt dựa trên sự lan truyền sóng trong một cấu trúc tuần hoàn. Một điốt LASER loại DFB tiêu biểu được mô tả trong hình 8-16. Cấu tạo của LASER loại này cũng giống như loại Fabry Perot nhưng sự hoạt động bức xạ được thực hiện nhờ bộ gương phản chiếu Bragg, đó là các cách tử tuần hoàn, hoặc nhờ sự thay đổi theo chu kỳ của chiết suất mà nó được hợp thành trong cấu trúc nhiều lớp dọc theo chiều dài của điốt laser.

Nói chung, tín hiệu quang hoàn toàn lấy ra từ mặt trước của LASER, có nghĩa là, một mặt của nó được đặt thẳng hàng với sợi quang. Trong trường hợp này, một gương phản chiếu bằng chất cách điện có thể được lắng đọng trên mặt sau của LASER để giảm sự mất mát quang trong hốc cộng hưởng, để giảm mật độ dòng điện ngưỡng, và để tăng hiệu suất lượng tử ngoài. Với gương phản chiếu 6 lớp, độ phản xạ có thể đạt tới trên 98% .



Hình 8- 16 : Cấu trúc của một điôt LASER phản hồi- phân bố (DFB)

c. Hoạt động của điôt LASER: Cấp nguồn cho LD hoạt động phân cực thuận

Khi dòng điện cung cấp $I \geq I_{ngưỡng}$ sẽ xảy ra bức xạ laser. Sự bức xạ quang bên trong hốc cộng hưởng của điôt LASER tạo ra một phổ của các đường điện trường và từ trường gọi là các mốt (modes) của hốc cộng hưởng. Các mốt này có thể phân chia thành 2 bộ mốt độc lập. Mỗi bộ mốt được mô tả trong các thuật ngữ là các biến đổi nửa hình sin ngang, bên và dọc của trường điện từ dọc theo hệ trục chính của hốc cộng hưởng. Trong đó, mốt dọc có quan hệ với chiều dài L của hốc cộng hưởng và xác định cấu trúc nguyên lý của phổ tần số của bức xạ ánh sáng phát ra. Vì chiều dài L của hốc cộng hưởng lớn hơn nhiều lần độ dài bước sóng ($\lambda \approx 1\mu m$) nên có rất nhiều mốt dọc có thể tồn tại trong hốc cộng hưởng.

Mốt bên cạnh nằm trong bề mặt của tiếp xúc P-N. Các mốt này phụ thuộc vào sự chế tạo các mặt bên và độ rộng của hốc cộng hưởng; nó xác định hình dạng của mặt cắt cạnh bên của chùm tia laser. Các mốt này rất quan trọng vì chúng xác định một cách phong phú các đặc tính của LASER như phổ bức xạ và mật độ dòng điện ngưỡng.

Để xác định các điều kiện laser và tần số cộng hưởng, ta biểu diễn sự lan truyền sóng điện từ theo hướng dọc (dọc theo trục chuẩn cho các gương):

$$E(z,t) = I(z) \exp [j(\omega t - \beta z)] \tag{8. 5}$$

- Trong đó:
- I(z)- là mật độ trường quang theo hướng dọc (z)
 - z - khoảng cách theo hướng dọc của hốc cộng hưởng
 - ω - là tần số góc của ánh sáng
 - β - là hệ số lan truyền

Bức xạ laser là điều kiện mà tại đó sự khuếch đại ánh sáng có thể thắng được sự hấp thụ ở trong điôt LASER. Yêu cầu đòi hỏi để cho phát laser là phải đạt được sự đảo mật độ chiếm giữ trong chất bán dẫn. Điều kiện này có thể được giải thích bằng mối quan hệ giữa mật độ trường sáng I, hệ số hấp thụ α_λ , và hệ số khuếch đại g trong hốc cộng hưởng Fabry Perot. Tốc

độ bức xạ kích thích trong một môi trường đã cho tỉ lệ thuận với mật độ bức xạ trong môi trường đó. Mật độ bức xạ ứng với các photon có năng lượng $h\nu$ thay đổi theo qui luật hàm mũ với khoảng cách z , dọc theo trục cộng hưởng tính theo công thức sau:

$$I(z) = I(0) \exp\{[I'g(h\nu) - \alpha'(h\nu)]z\} \quad (8.6)$$

Trong đó: α' - là hệ số hấp thụ hữu ích của vật liệu trong đường quang.

I' - là hệ số giam giữ ánh sáng.

$I(0)$ - mật độ trường quang ban đầu

g - hệ số khuếch đại quang

Sự khuếch đại quang của các môi trường đã chọn đạt được bằng cơ chế phản hồi của hốc cộng hưởng quang. Trong sự lặp đi lặp lại nhiều lần giữa 2 tấm gương phản chiếu đặt song song, một phần nhỏ của bức xạ liên kết với các môi trường có hệ số khuếch đại quang cao nhất được duy trì và khuếch đại trong mỗi một lượt đi qua hốc cộng hưởng.

Bức xạ Laser xuất hiện khi độ khuếch đại của một hoặc một số môi trường đủ để trội hơn sự mất mát ánh sáng trong suốt một lượt đi vòng quanh qua hốc cộng hưởng, nghĩa là $z = 2L$. Trong suốt lượt đi vòng quanh này chỉ có một phần nhỏ R_1 và R_2 của bức xạ quang được phản xạ từ hai đầu 1 và 2, tương ứng, của LASER; ở đó, R_1 và R_2 là độ phản xạ của gương. Do vậy công thức (8.6) được viết thành:

$$I(2L) = I(0)R_1R_2 \exp\{2L[I'g(h\nu) - \alpha'(h\nu)]\} \quad (8.7)$$

Tại ngưỡng phát laser, một dao động trạng thái bền chiếm giữ và độ lớn cũng như pha của sóng phản hồi có thể bằng các sóng gốc tạo ra nó. Điều này cho ta các điều kiện phát laser:

$$I(2L) = I(0) \quad \text{Đối với biên độ} \quad (8.8)$$

và
$$e^{-j\beta 2L} = 1 \quad \text{Đối với pha} \quad (8.9)$$

Công thức (8.9) cho thông tin về tần số cộng hưởng của hốc Fabry Perot.

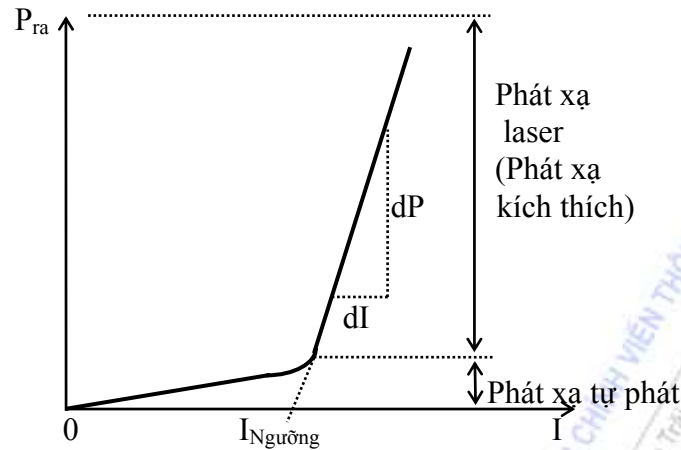
Từ công thức (8.8) chúng ta có thể tìm thấy các môi trường có độ khuếch đại đủ lớn để dẫn đến sự phát quang và chúng ta có thể tìm được biên độ của các môi trường này. Do vậy, từ công thức (8.8), điều kiện để đạt được độ khuếch đại quang ngưỡng-lasing g_{th} : là một điểm mà tại đó độ khuếch đại g lớn hơn hoặc bằng tổng mất mát α_t ở trong hốc cộng hưởng

$$I'g_{th} \geq \alpha_t$$

$$\alpha_t = \alpha' + \frac{1}{2L} \ln\left(\frac{1}{R_1R_2}\right) \quad (8.10)$$

Nếu một môi trường thỏa mãn công thức (8.10) đạt tới ngưỡng đầu tiên, thì theo lý thuyết, tại điểm đạt của điều kiện ngưỡng này, tất cả năng lượng tổng được đưa vào trong LASER sẽ tăng độ lớn của riêng một môi trường này. Trên thực tế, tín hiệu ra luôn tồn tại nhiều hơn một môi trường. Các yếu tố quan trọng cho các điều kiện hoạt động đơn môi trường dọc là các vùng tích cực mỏng và có độ ổn định nhiệt cao.

Quan hệ giữa công suất quang phát ra với dòng điện điều khiển điốt được thể hiện ở hình 8-17. gọi là đặc tuyến bức xạ.



Hình 8- 17: Đặc tuyến bức xạ P-I

Khi dòng điện có trị số thấp ($I < I_{Ngưỡng}$) trong điốt chỉ có bức xạ tự phát. Cả khoảng phổ và độ rộng chùm tia bên cạnh bức xạ này giống như của LED. Sự tăng đột ngột và rất nhanh của công suất ra xuất hiện tại ngưỡng lasing. Điểm chuyển đổi đột ngột này dẫn đến việc khoảng phổ và độ rộng chùm tia hẹp lại theo độ tăng của dòng điện điều khiển. Độ rộng phổ xấp xỉ 1nm và độ rộng chùm tia cạnh bên hẹp hoàn toàn đến chuẩn $5^0 \div 10^0$ ngay khi vượt qua điểm ngưỡng. Dòng điện ngưỡng I_{th} thường được xác định bằng phép ngoại suy của vùng lasing ở đường cong đồ thị sự phụ thuộc của công suất phát quang vào dòng điện điều khiển, như ở hình (8- 17).

d. Các đặc tính và tham số của LASER:

□ *Đặc tuyến bức xạ:*

Đặc tuyến bức xạ biểu thị quan hệ giữa công suất ánh sáng phát ra và dòng điện điều khiển chạy qua điốt LASER (xem hình 8- 17).

Qua hình vẽ ta thấy:

Khi dòng điện $I < I_{Ngưỡng}$: Ánh sáng phát ra là bức xạ tự phát của LED.

Khi dòng điện $I \geq I_{Ngưỡng}$: Sự đảo điện xuất hiện và ánh sáng phát ra là bức xạ kích thích cho ta ánh sáng kết hợp.

□ *Hiệu suất lượng tử vi phân ngoài:* η_{ext}

Hiệu suất lượng tử vi phân ngoài xác định số lượng photon bức xạ ra trên đơn vị điện tử - lỗ trống tái hợp trên mức ngưỡng.

$$\eta_{ext} = \frac{q}{E_G} \frac{dP}{dI} = 0,8065 \lambda \frac{dP}{dI} \left[\mu m. \frac{mW}{mA} \right] \quad (8. 11)$$

Trong đó:

E_G - độ rộng vùng cấm đo bằng eV.

q - điện tích của điện tử.

dP - lượng thay đổi công suất bức xạ ra đo bằng [mW].

khi gia lượng dòng điện cung cấp là dI đo bằng mA.

λ - độ dài bước sóng bức xạ ra đo bằng μm .

Với các LASER bán dẫn thông dụng thì $\eta_{ext} = (15 \div 20)\%$; còn đối với các linh kiện chất lượng cao có $\eta = 30 \div 40)\%$.

□ *Tần số cộng hưởng:*

Theo công thức (8. 9) ta có thể xét các tần số cộng hưởng của LASER. Điều kiện để thực hiện được công thức (8. 9) là khi có:

$$2\beta L = 2\pi \cdot m \tag{8. 12}$$

trong đó: m- là một số nguyên

β - hằng số lan truyền với:

$$\beta = 2\pi \cdot n / \lambda \tag{8. 13}$$

n - chiết suất của chất bán dẫn.

Từ đây ta có:

$$L = m \cdot \frac{\lambda}{2n} = m \cdot \frac{C}{2n\nu} \tag{8. 14}$$

Trong đó C là vận tốc ánh sáng trong môi trường chân không. Điều này có nghĩa là chiều dài hộp cộng hưởng bằng một số nguyên lần nửa bước sóng ánh sáng trong chất bán dẫn. Như vậy trong hốc cộng hưởng tồn tại các thành phần sóng đứng khi một số nguyên m nửa sóng trải rộng trong vùng giữa các gương.

Vì trong các LASER, hệ số khuếch đại là một hàm của tần số, do đó sẽ có một khoảng tần số được duy trì theo công thức (8. 14). Mỗi một tần số này đáp ứng một dao động của LASER. Do vậy sẽ có một số LASER đơn một và một số LASER đa một. Mối quan hệ giữa hệ số khuếch đại và tần số sẽ có dạng Gauss:

$$g(\lambda) = g(o) \exp \left[-\frac{(\lambda - \lambda_0)^2}{2\sigma^2} \right] \tag{8. 15}$$

Trong đó: λ_0 - là độ dài bước sóng tại trung tâm của phổ

σ - là độ rộng phổ khuếch đại

và hệ số khuếch đại cực đại $g(o)$ tỉ lệ thuận với sự đảo điện.

Xét tần số, hoặc độ dài bước sóng, khoảng cách giữa các một của một LASER đa một. Để tìm khoảng cách tần số $\Delta\nu$, nghiên cứu 2 một liên tiếp nhau của tần số ν_{m-1} và ν_m biểu diễn bằng các số nguyên (m-1) và m. Từ công thức (8. 14), ta có:

$$m - 1 = \frac{2Ln}{C} \nu_{m-1}$$

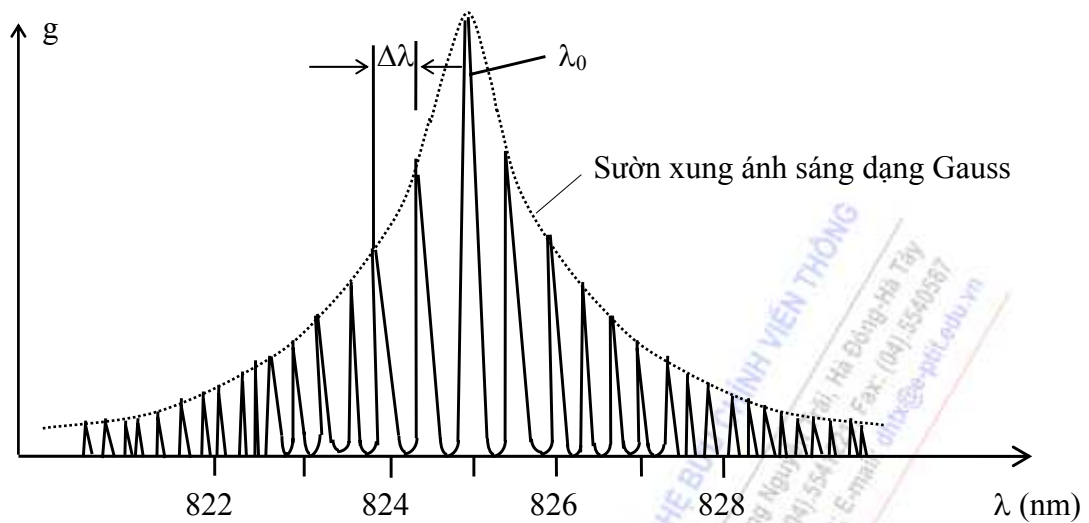
và
$$m = \frac{2Ln}{C} \nu_m$$

Trừ hai công thức này cho nhau ta có:

$$1 = \frac{2Ln}{C} (\nu_m - \nu_{m-1}) = \frac{2Ln}{C} \Delta\nu \tag{8. 16}$$

Từ đây ta có khoảng cách tần số:

$$\Delta\nu = \frac{C}{2Ln} \tag{8. 17}$$



Hình 8 - 18 : Phổ tiêu biểu của một điốt LASER GaAlAs/ GaAs

Ta biết bước sóng và tần số có quan hệ với nhau như sau (vì $v\lambda = C$):

$$\Delta v/v = \Delta \lambda/\lambda$$

ta có:

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda^2}{2Ln} \tag{8.18}$$

Như vậy công thức (8.15) và (8.18) cho ta quang phổ bức xạ của một LASER đa mốt và đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của độ khuếch đại vào tần số và khoảng cách tần số phụ thuộc vào cấu trúc của LASER, (xem hình 8-18).

8.2.4. Mặt chỉ thị tinh thể lỏng (LCD: Liquid Crystal Display).

a. Khái niệm:

Mặt chỉ thị tinh thể lỏng- LCD- không phải là linh kiện bán dẫn quang điện tử. LCD được chế tạo dưới dạng thanh và chấm- ma trận. LCD là cấu kiện thụ động, nó không phát sáng nên càng dễ đọc nếu xung quanh càng sáng. LCD có tuổi thọ khá cao từ 10000 giờ đến 100000 giờ và ngày nay nó thay thế dần các mặt chỉ thị loại LED, Plasma hay huỳnh quang.

LCD: dùng làm mặt chỉ thị cho đồng hồ, máy tính con, các thiết bị đo số, đồ chơi trẻ em, màn hình ti vi.

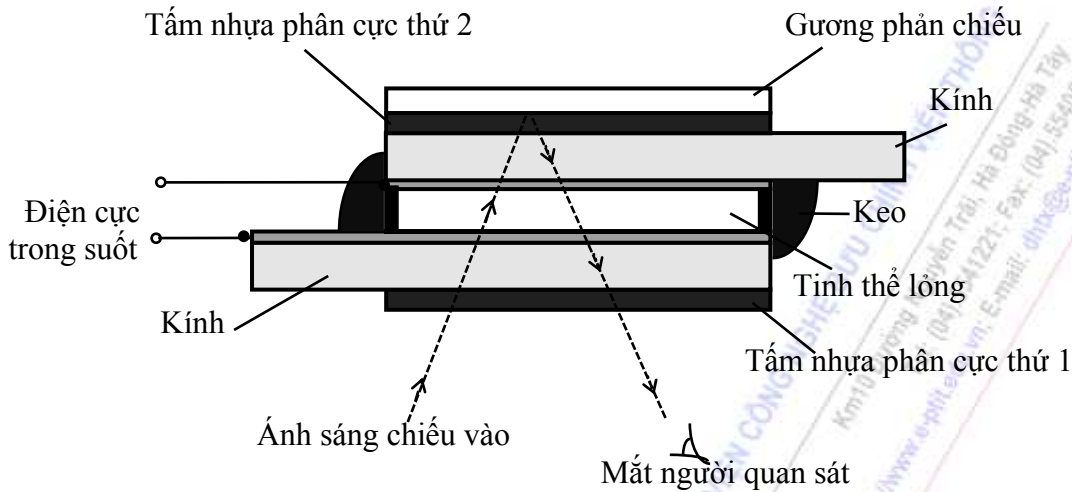
Vật liệu:

Tinh thể lỏng sử dụng trong LCD là những hợp chất hữu cơ. Các phân tử của tinh thể lỏng này được phân bố sao cho các trục dọc của chúng nằm song song với nhau.

Hiệu ứng quang học dùng cho LCD chỉ hạn chế trong khoảng "không đẳng hướng", do vậy dải nhiệt độ làm việc của LCD bị hạn chế và xác định bởi hai điểm nhiệt độ nóng chảy và nhiệt độ trong suốt.

b. Cấu tạo của thanh LCD:

Cấu tạo của LCD gồm có 2 tấm kính đặt cách nhau khoảng 10µm. Mặt phía trong của 2 tấm kính tráng một lớp oxit kẽm (ZnO) trong suốt làm hai điện cực. Xung quanh bên cạnh hai tấm kính được hàn kín, sau đó đổ tinh thể lỏng vào khoảng giữa 2 tấm kính và gắn kín lại. Hai tấm nhựa có tính phân cực ánh sáng được dán bên ngoài hai tấm kính sao cho hình ảnh phản chiếu của mặt chỉ thị được nhìn từ một phía nhờ gương phản chiếu.



Hình 8- 19 : Cấu tạo của một thanh LCD

c. Nguyên lý làm việc:

□ Chế độ phản chiếu:

+ Khi chưa có điện áp đặt vào, các thanh LCD không làm việc thì ánh sáng sẽ đi qua tấm nhựa phân cực thứ nhất, qua chất tinh thể lỏng, qua tấm nhựa phân cực thứ 2 đến gương phản chiếu và phản chiếu trở về phía người quan sát và thanh LCD không nhìn thấy - Mặt chỉ thị trong suốt.

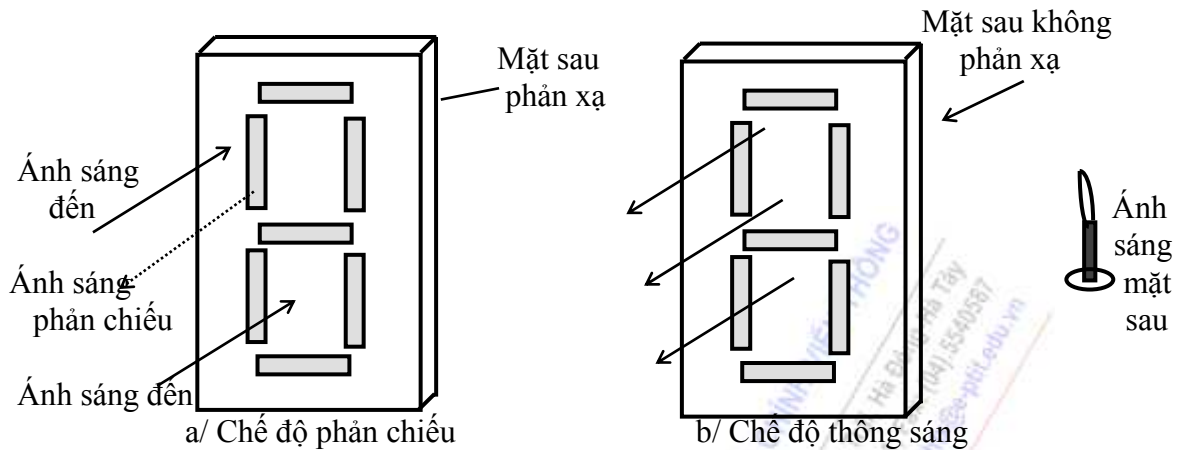
+ Khi có điện áp cung cấp cho thanh LCD, trục dài của các phân tử chất tinh thể lỏng được định hướng theo hướng của điện trường. Như vậy, ánh sáng đi qua tấm nhựa phân cực thứ nhất sẽ bị thay đổi do chất tinh thể đã hoạt hóa, do đó, ánh sáng không thể đi qua tấm phân cực thứ 2 để phản chiếu lại bằng gương phản chiếu. Như thế thanh tinh thể lỏng chịu tác động của điện trường sẽ bị tối đi.

Với 2 màng lọc phân cực 90⁰ ta có nền của mặt chỉ thị trong suốt và những chữ, số, dấu hiệu tối đen. Đây là mặt chỉ thị hoạt động ở chế độ phản chiếu.

Nhược điểm của chế độ phản chiếu là mặt chỉ thị phải dựa vào một nguồn sáng từ bên ngoài. Nếu không có ánh sáng ngoài hay trong một phòng tối thì mặt chỉ thị sẽ không nhìn thấy.

□ Chế độ thông sáng:

Nếu 2 màng lọc phân cực song song thì ta có mặt chỉ thị có nền tối và các chữ, số và dấu hiệu sẽ trong suốt. Loại này thích hợp với việc chiếu sáng từ phía sau mặt chỉ thị và ta gọi là chế độ thông sáng.



Hình 8 - 20 : Chế độ làm việc của LCD

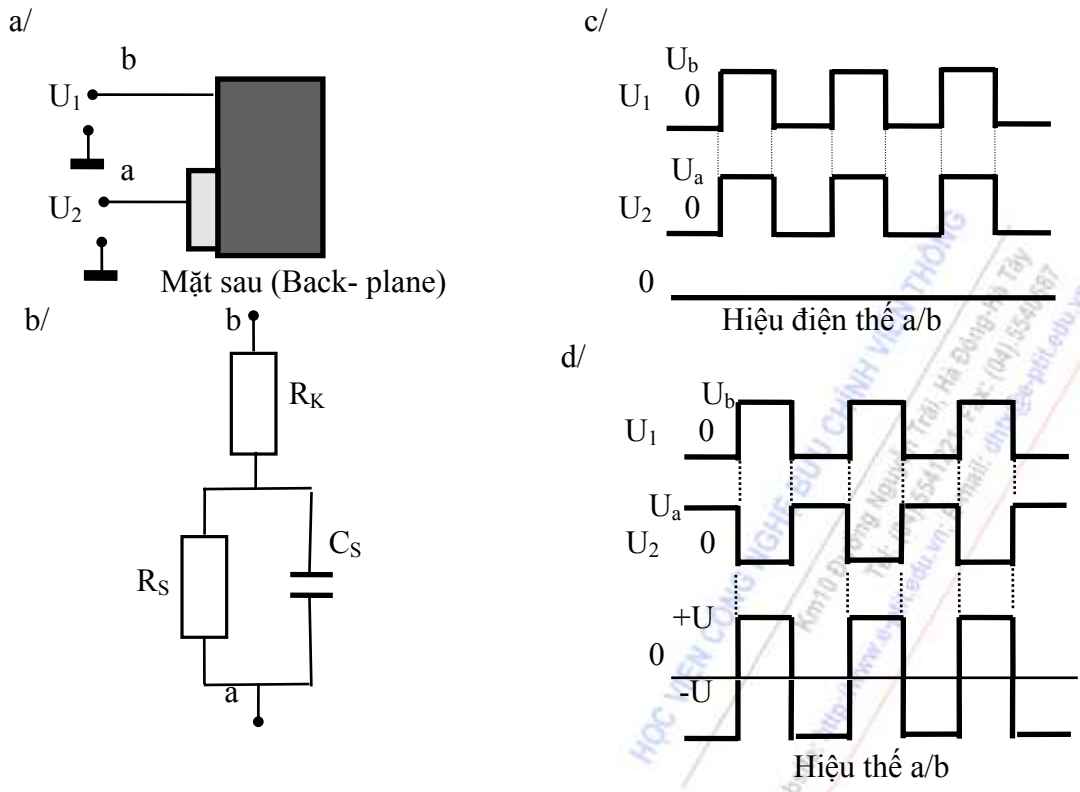
Ở chế độ này, ánh sáng đi qua các phần không hoạt hóa nhưng được gò vào khuôn bằng các thanh hoạt hóa. Vì vậy chữ số đã chọn sẽ nhìn thấy. Để ánh sáng chiếu đều, cần có một tấm kính tán xạ đặt giữa LCD và nguồn sáng.

Hầu hết các đồng hồ số hiển thị đều kết hợp cả hai chế độ phản chiếu và thông sáng. Loại LCD này cần có điện áp xoay chiều từ 3V đến 8V, thời gian hiện số là 100 msec và thời gian tắt từ 200 msec đến 300 msec.

d. Mạch điện điều khiển LCD:

Phân đoạn tinh thể lỏng và mạch điện tương đương của nó được mô tả trong hình 8-21a,b. Trong hình 8- 21 có:

- a: là điện cực của một phân đoạn;
- b: là điện cực chung.
- R_K : là điện trở của các vật liệu giữa nguồn điện và phân đoạn tinh thể lỏng (khoảng vài $K\Omega$).
- R_S : là điện trở của tinh thể lỏng (khoảng vài $M\Omega$)
- C_S : là điện dung giữa hai cực điện của một phân đoạn tinh thể lỏng (khoảng từ $100pF \div 200pF$, $300pF$ cho LCD loại lớn).



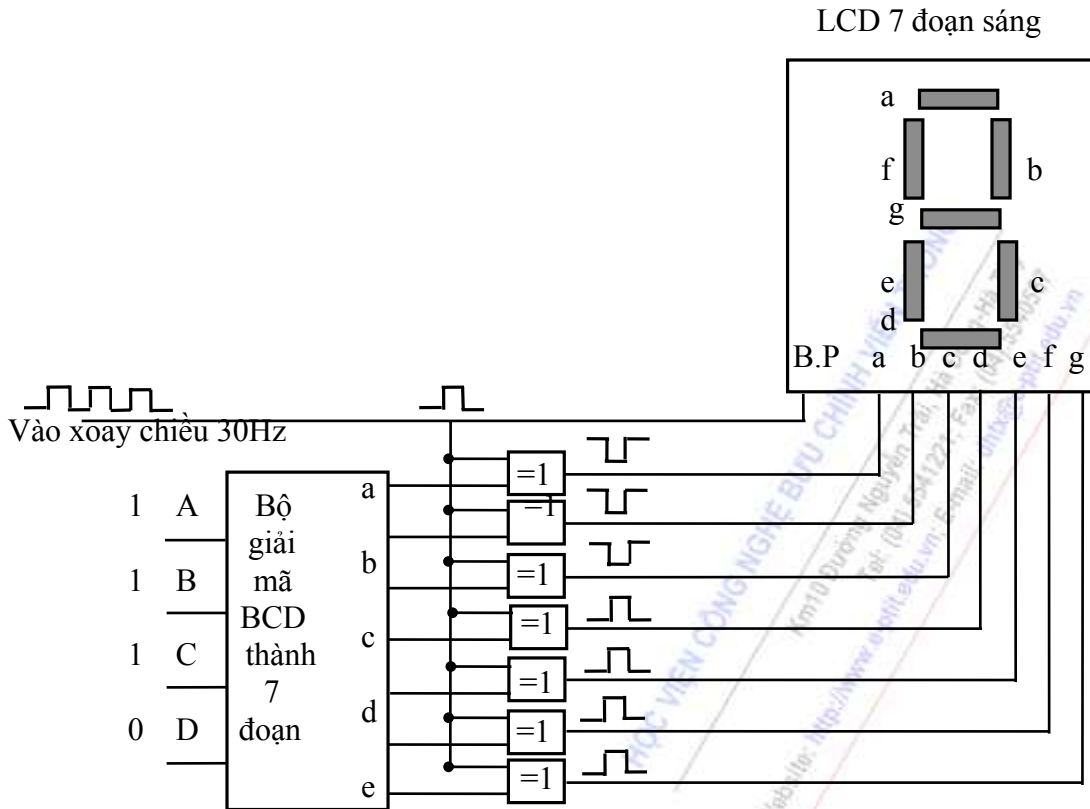
Hình 8- 21: a- Phân đoạn LCD với các chân điện cực.
 b- Mạch điện tương đương của một phân đoạn LCD.
 c- Hai điện cực a và b có điện áp cùng pha.
 d- Hai điện cực a và b có điện áp ngược nhau.

Điện dung C_s không gây ảnh hưởng ở tần số làm việc từ 30 Hz đến 150 Hz, hoặc 200 Hz. Với các tần số < 30 Hz các chữ số bị chậm chạp; và với tần số > 100 Hz và với điện áp khá cao các phân đoạn không có điện áp cũng bị chậm chạp. Để hạn chế hiện tượng này, các phân đoạn không sử dụng phải nối với điện cực mặt sau (Back -plane).

Trong hình (8- 21c) cho ta thấy, khi điện áp trên hai điện cực a và b của phân đoạn LCD cùng pha thì hiệu thế của phân đoạn là 0V nên nó không có kích hoạt.

Trong hình (8-21d): Khi hai điện cực a và b có điện áp ngược nhau thì hiệu thế giữa điện cực a và điện cực b là một điện áp xoay chiều với biên độ bằng $2U_b$ và phân đoạn LCD được kích thích hoạt động.

Như đã biết, để LCD làm việc ta cần một điện áp xoay chiều không có lẫn điện áp một chiều. Với điện áp một chiều lớn, màng điện cực trong suốt từ chất Indium/ oxit kẽm bị khử thành Indium/kẽm. Màng điện cực sẽ tối đi và LCD bị mù.



Hình 8- 22 : Hoạt động của LCD với bộ giải mã 7 đoạn sáng và cổng X-OR (CMOS).

LCD thông thường yêu cầu điện áp một chiều lần vào < 100mV; còn LCD màu yêu cầu điện áp một chiều lần vào < 50mV. Do vậy, ta nên dùng mạch điều khiển với IC họ CMOS sẽ cho ta một điện áp ít méo nhất. Vì LCD có công suất thấp nên dùng các cổng CMOS điều khiển là tốt nhất. Hình 8- 22 mô tả hoạt động của mặt chỉ thị LCD 7 đoạn với bộ giải mã BCD thành 7 đoạn.

Theo như hình (8- 22), một phân đoạn trên mặt chỉ thị LCD sẽ trở nên đen nếu nó ngược pha với B.P.; nó sẽ trở nên trong suốt nếu điện áp trên nó cùng pha với điện áp trên B.P.

e. Các tham số chính của LCD:

Bảng 8.2 chỉ ra một số tham số của LCD.

Bảng 8.2 : Tham số của LCD

Tham số	Đơn vị	min	Loại tiêu chuẩn	max
Khoảng nhiệt độ làm việc	$^{\circ}\text{C}$	- 10		+60
Khoảng nhiệt độ dự trữ	$^{\circ}\text{C}$	- 25		+70
Điện áp làm việc	$V_{T.B.}$	3	4,5	6
Thành phần dc	mV			100
Tần số điều khiển	Hz	30		200
Dòng tiêu thụ năng lượng	nA/mm ²		15	30
Thời gian lên	ms		40	
Thời gian tắt	ms		80	
Thời gian lên + thời gian tắt	ms			250

8.3.CÁC CẤU KIỆN CHUYỂN ĐỔI QUANG – ĐIỆN (cấu kiện thu quang).

Tại đầu ra của đường truyền dẫn quang cần phải có cấu kiện thu quang để chuyển đổi các tín hiệu quang thành tín hiệu điện. Cấu kiện thu quang còn được gọi là các bộ tách quang. Vì tín hiệu quang rất yếu và bị biến dạng khi nó xuất hiện ở đầu sợi quang nên bộ tách quang cần phải có độ nhạy cao, tạp âm của hệ thống thấp nhất, có tốc độ đáp ứng nhanh hoặc độ rộng băng đủ để thỏa mãn tốc độ dữ liệu. Đồng thời, bộ tách quang không được nhạy với sự thay đổi của nhiệt độ, có độ bền cao và giá thành phải chăng so với các bộ phận khác của hệ thống.

Một số các cấu kiện thu quang thường sử dụng như điện trở quang, điốt quang, tranzito quang, thyristo quang...

8.3.1. Điện trở quang.

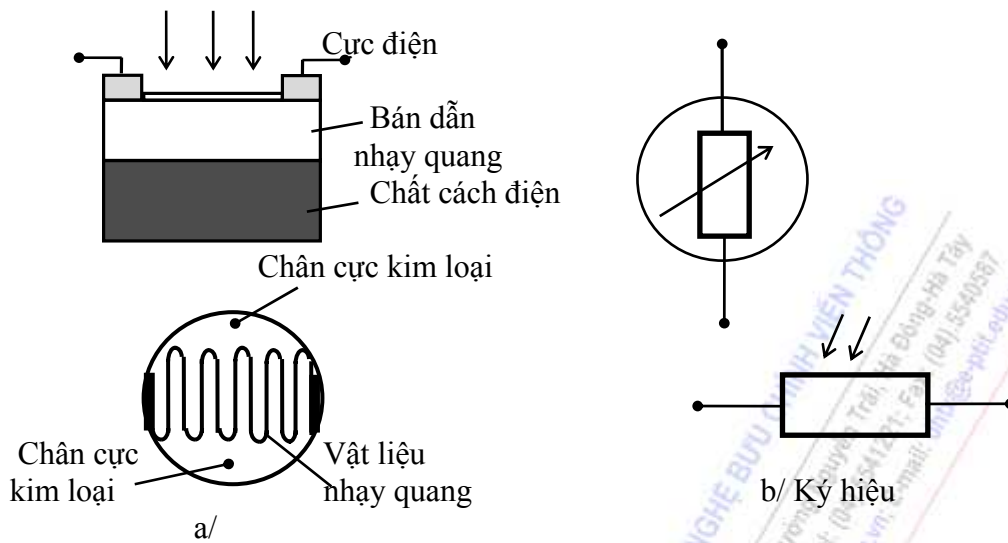
Điện trở quang là một cấu kiện bán dẫn thụ động, không có lớp tiếp xúc P-N.

Vật liệu dùng để chế tạo điện trở quang thường là Cadmium Sulfid (CdS), Cadmium Selenid (CdSe), Sulfid kẽm (ZnS) hoặc các tinh thể hỗn hợp khác. Tất cả các vật liệu này được gọi là vật liệu bán dẫn nhạy quang.

a. Cấu tạo:

Điện trở quang gồm một lớp vật liệu bán dẫn nhạy quang rải lên một tấm vật liệu cách điện và 2 chân dẫn điện. Để chống ẩm người ta bọc bên ngoài quang trở một lớp sơn chống ẩm trong suốt với vùng ánh sáng hoạt động của nó. Tất cả được bọc trong một vỏ bằng chất dẻo có cửa sổ cho ánh sáng đi qua.

Hình 8- 23a,b mô tả cấu tạo và ký hiệu của điện trở quang.



Hình 8- 23: a- Cấu tạo của điện trở quang
b- Ký hiệu của điện trở quang trong sơ đồ mạch

b. Nguyên lý làm việc:

Mạch điện đầu điện trở quang trình bày ở hình 8- 24.

Khi chiếu ánh sáng vào vật liệu bán dẫn nhạy quang với năng lượng photon lớn hơn hoặc bằng độ rộng vùng cấm của vật liệu, do quá trình hấp thụ quang năng, từng cặp điện tử- lỗ trống mới xuất hiện. Do vậy, nồng độ hạt dẫn trong chất bán dẫn tăng lên, làm độ dẫn điện của nó tăng, hay nói cách khác là điện trở của chất bán dẫn giảm xuống.

Độ dẫn điện được tạo ra khi được chiếu ánh sáng là:

$$\sigma = \sigma_0 + \sigma_F$$

trong đó: σ_0 - là độ dẫn điện khi chưa chiếu sáng.

σ_F - độ dẫn điện được tạo ra do ánh sáng.

$$\sigma_F = q(\mu_n + \mu_p)\Delta p \tag{8. 19}$$

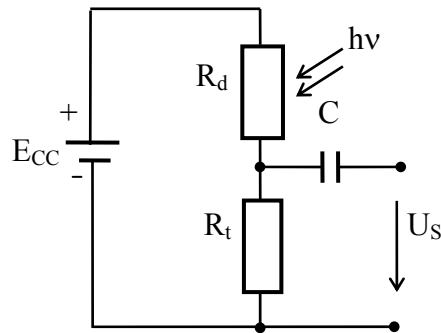
ở đây: $\Delta n = \Delta p$ - nồng độ điện tử bằng nồng độ lỗ trống mới sinh ra.

Dòng điện quang được tính theo công thức:

$$I_{ph} = q.\Delta p.(\mu_n + \mu_p).E.w.d \tag{8. 20}$$

trong đó w.d là tiết diện của lớp bán dẫn nhạy quang, E là cường độ điện trường.

Qua công thức trên ta thấy độ dẫn điện của vật liệu bán dẫn có thể thay đổi được khi ta thay đổi nồng độ hạt dẫn và độ linh động hiệu dụng của điện tử và lỗ trống. Như vậy, khi ta thay đổi cường độ chiếu sáng lên điện trở quang thì cường độ dòng điện trong mạch cũng thay đổi theo.



Hình 8- 24: Sơ đồ đấu điện trở quang trong các mạch.

Hệ số khuếch đại của điện trở quang (K) xác định như là tỉ số của các hạt dẫn thu được trên chân cực và các hạt dẫn được sinh ra trên đơn vị thời gian:

$$K = \frac{\tau_p (\mu_n + \mu_p) U_{CC}}{l^2} \tag{8. 21}$$

trong đó: τ_p - thời gian sống của hạt dẫn, U_{CC} là điện áp cung cấp.

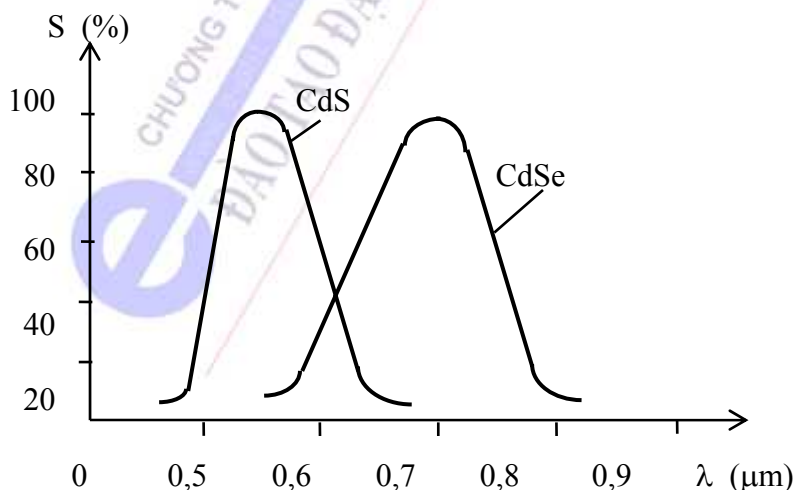
l - chiều dài cửa sổ của điện trở quang

Trong hình (8- 24), để điện trở quang hoạt động cần cấp cho nó một nguồn điện áp U_{CC} . Quang trở R_d mắc nối tiếp với một tải R_t và tụ điện C dùng để dẫn tín hiệu điện đưa ra lối ra.

Khi bị chiếu sáng, điện trở R_d của điện trở quang thay đổi với trị số là ΔR . Dòng điện trong mạch tăng lên một lượng ΔI và sụt áp trên tải R_t cũng tăng lên một lượng là u_s , ta có:

$$u_s = U_{CC} \frac{R_t \Delta R}{(R_t + R_d - \Delta R)(R_t + R_d)} \tag{8. 22}$$

và tín hiệu này được đưa vào một bộ khuếch đại qua tụ điện C.



Hình 8- 25 : Đặc tuyến phổ của điện trở quang

Các điện trở quang có khả năng khuếch đại dòng điện lên đến 10^5 lần hoặc hơn nữa. Tuy nhiên, các giá trị này chỉ phù hợp khi cường độ ánh sáng không thay đổi theo thời gian hoặc thay đổi chậm. Khi tần số biến điệu, cường độ ánh sáng tăng thì hệ số khuếch đại của điện trở quang giảm. Khả năng đáp ứng tần số của điện trở quang thấp, thường đạt từ vài chục Hz đến vài KHz.

Đặc tuyến phổ của một số loại điện trở quang mô tả trong hình 8- 25. Đây là đồ thị biểu diễn sự biến đổi của độ nhạy tương đối của điện trở quang theo quang phổ.

c. Các tham số chính của điện trở quang:

+ Điện dẫn suất σ_p : là hàm số của mật độ năng lượng quang ρ_λ khi độ dài bước sóng không đổi.

$$\sigma_p(\rho_\lambda) \quad \text{khi } \lambda = \text{const}$$

+ Độ nhạy tương đối của điện trở quang $S(\lambda)$: là tỉ số giữa điện dẫn suất thay đổi theo bước sóng $\sigma_p(\lambda)$ và điện dẫn suất cực đại $\sigma_{p,\text{max}}$ khi mật độ năng lượng quang ρ_λ không đổi:

$$S(\lambda) = \frac{\sigma_p(\lambda)}{\sigma_{p,\text{max}}} \Big|_{\rho_\lambda} \quad (8.23)$$

+ Vận tốc làm việc: là thời gian hồi đáp của một điện trở quang khi có sự thay đổi từ sáng sang tối hay từ tối sang sáng. Với cường độ ánh sáng mạnh, điện trở quang làm việc nhanh hơn. Điện trở quang làm việc chậm hơn khi trời lạnh và cất giữ trong bóng tối.

+ Hệ số nhiệt của điện trở quang: Hệ số nhiệt của điện trở quang tỉ lệ nghịch với cường độ chiếu sáng. Do đó, để giảm bớt sự thay đổi trị số của điện trở quang theo nhiệt độ, điện trở quang cần được cho hoạt động ở mức chiếu sáng tối đa.

+ Điện trở tối R_d : Điện trở tối là điện trở trong bóng tối của điện trở quang. Điện trở tối là tham số quan trọng, nó cho ta biết "dòng điện rò" lớn nhất đối với một điện thể trên điện trở quang.

+ Điện thế hoạt động: Tùy theo cấu trúc mặt nạ của điện trở quang mà có các điện thế làm việc khác nhau. Điện thế này có thể lên tới 0,5 Kv/mm. Điện thế hoạt động cao nhất đo được khi điện trở quang hoạt động trong bóng tối. Khi sử dụng điện trở quang cần chọn giá trị điện áp cung cấp sao cho tối ưu đối với mạch điện mà không làm hỏng điện trở quang.

+ Công suất tiêu tán cao nhất: Khi điện trở quang hoạt động cần phải giữ cho nhiệt độ của nó thấp hơn một nhiệt độ cho phép. Nhiệt độ cho phép của điện trở quang thường giới hạn từ -40°C đến $+75^{\circ}\text{C}$.

8.3.2. Điốt quang.

a. Khái niệm chung:

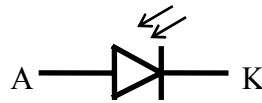
Khi chiếu sáng một tiếp xúc P-N thì trên nó sẽ xuất hiện một điện áp. Tùy theo chức năng và cấu trúc có thể chia điốt quang thành nhiều loại như sau:

- Điốt quang loại tiếp xúc P-N.
- Điốt quang loại PIN.
- Điốt quang thác (APD).

Một số đặc điểm của điốt quang là rất tuyến tính, ít nhiễu, dải tần số làm việc rộng, nhẹ, có độ bền cơ học cao và tuổi thọ cao.

Điốt quang không nhạy bằng điện trở quang loại CdS nhưng nó làm việc nhanh gấp nhiều lần.

□ *Ký hiệu của điốt quang trong sơ đồ mạch:* như hình 8- 26.



Hình 8- 26 : Ký hiệu của điốt quang.

□ *Vật liệu cơ bản:*

Hiện nay, để truyền dẫn tín hiệu quang theo 3 cửa sổ suy hao nhỏ nhất của sợi quang, người ta chú ý đến các điốt quang làm việc ở hai vùng bước sóng:

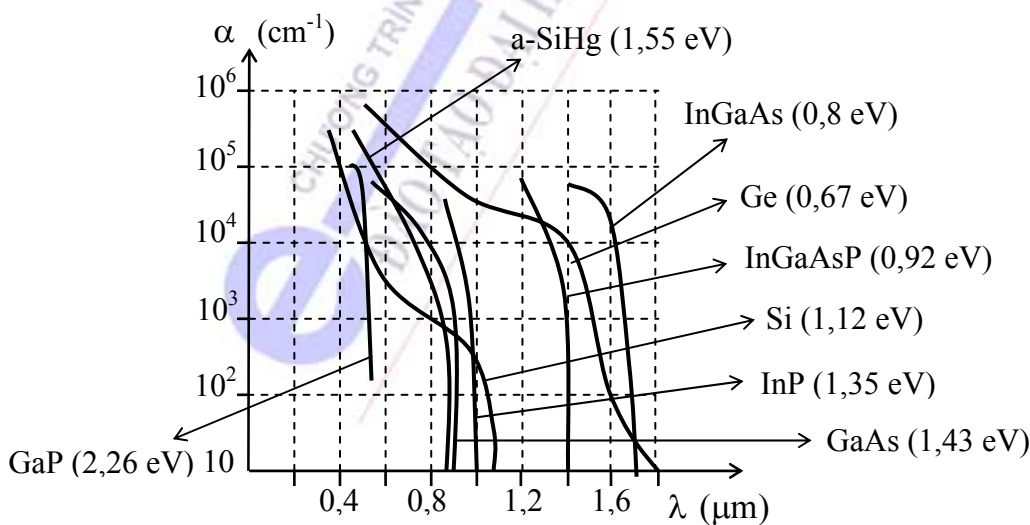
- Vùng bước sóng từ 0,85 đến 0,9 μm .
- Vùng bước sóng từ 1,3 đến 1,6 μm .

Trong vùng bước sóng thứ nhất từ 0,85 đến 0,9 μm , thì vật liệu chế tạo điốt quang được chọn là Silic vì Silic có độ nhạy cao với bước sóng quanh 0,85 μm . Độ rộng vùng cấm của silic là $E_G = 1,1\text{eV}$ và bằng năng lượng quang cần hấp thụ, ta có:

$$E_G = hv = h \frac{C}{\lambda} \tag{8. 24}$$

và sẽ có bước sóng cắt là: $\lambda_p = 1,1\mu\text{m}$.

Trong vùng bước sóng thứ hai từ 1,3 đến 1,6 μm cần sử dụng chất bán dẫn có độ rộng vùng cấm hẹp hơn với $E_G < 0,95\text{ eV}$ người ta thường chọn vật liệu bán dẫn được chế tạo từ các liên kết III-V như GaAs, InP, InAs và GaSb... Ngoài ra, người ta cũng chú ý đến liên kết II-VI như PbSnSe và CdHgTe. Nhờ thay đổi hàm lượng phù hợp trong cấu trúc $\text{Hg}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ có thể chế tạo được các điốt quang làm việc ở bước sóng 1,3 μm đến 1,55 μm . Thực tế đã có loại điốt quang thác APD thử nghiệm chế tạo từ vật liệu $\text{Hg}_{0,4}\text{Cd}_{0,6}\text{Te}$.

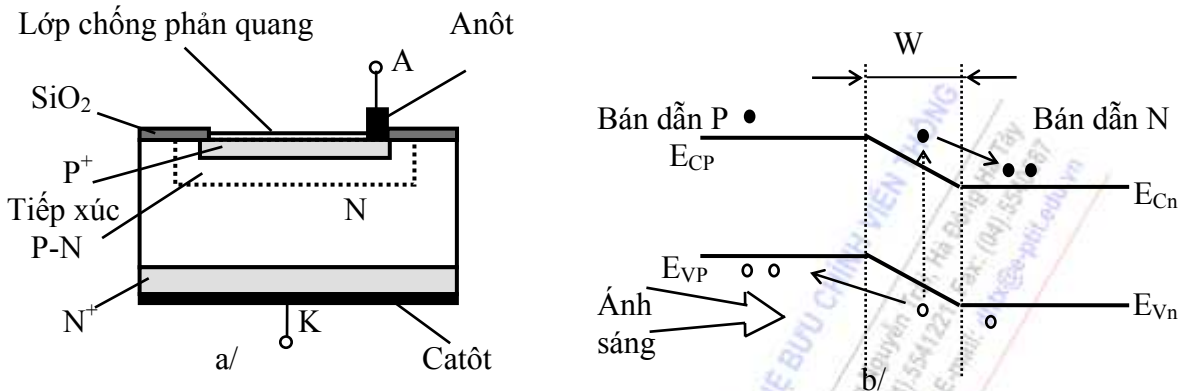


Hình 8- 27: Hệ số hấp thụ của một số chất bán dẫn quan trọng

Trong hình, năng lượng vùng cấm được chỉ ra dọc theo độ dài bước sóng.

Chú ý rằng, hệ số hấp thụ giảm nhanh tại vùng năng lượng cấm, đồng thời sự hấp thụ là không đáng kể đối với năng lượng photon $< E_G$. Như vậy, Silic hấp thụ photon với $\lambda \leq 1,1 \mu m$ và GaAs hấp thụ photon với $\lambda \leq 0,9 \mu m$.

b. Điốt quang loại tiếp xúc P-N:



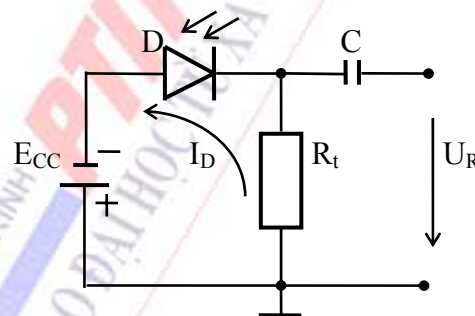
Hình 8- 28 : Cấu tạo của điốt quang loại tiếp xúc P-N (a) và phân bố dải năng lượng của tiếp xúc P-N (b).

• *Cấu tạo:*

Điốt quang gồm có một tiếp xúc P-N. Bề dày của lớp tiếp xúc là w . Hai phần bán dẫn P^+ và N^+ có nồng độ tạp chất cao. Điốt có một cửa sổ để chiếu ánh sáng vào. Hai chân anốt A và catốt K là kim loại được nối tới các phần bán dẫn. (Xem hình 8- 28)

• *Nguyên lý làm việc:*

Sơ đồ nguyên lý đầu điốt quang trong mạch điện mô tả trong hình 8-29:



Hình 8- 29: Sơ đồ nguyên lý đầu nối điốt quang

Như trong sơ đồ hình 8- 29, điốt quang được cấp nguồn E_{CC} sao cho tiếp xúc P-N phân cực ngược để tạo ra một điện trường dịch chuyển các hạt dẫn thiểu số sẽ được sinh ra dưới tác dụng của ánh sáng. Do đó, khi chưa có tác dụng ánh sáng thì trong điốt thu quang chỉ có dòng điện ngược (dòng điện tối hay dòng rò) rất nhỏ.

Khi cho ánh sáng chiếu vào, (xem hình 8- 28b), do quá trình hấp thụ, trong bán dẫn xuất hiện từng cặp điện tử - lỗ trống. Các điện tử và lỗ trống này dưới tác động của điện trường ở tiếp xúc P-N phân cực ngược sẽ chuyển động trôi qua tiếp xúc P-N và tạo nên dòng điện gọi là dòng quang điện.

Nếu quang thông của ánh sáng đi tới là F_{ph} . Và quang thông của ánh sáng bị phản xạ là RF_{ph} . Thì dòng điện quang do hạt dẫn điện tử – lỗ trống sinh ra trong lớp nghèo có thể tính theo công thức:

$$I_1 = q \int_0^w F_{ph} \cdot \alpha_\lambda \cdot e^{-\alpha_\lambda \cdot x} dx = q \cdot F_{ph} (1 - e^{-\alpha_\lambda \cdot w}) \quad (8.25)$$

Vì quá trình tái hợp bên trong lớp nghèo hạt dẫn phân cực ngược là không đáng kể, tất cả các điện tử và lỗ trống vừa sinh ra được thu nhận và hiệu suất sẽ gần đạt 100%.

Dòng điện do các hạt dẫn sinh ra trong lớp N^+ có thể là:

$$I_2 = q \cdot F_{ph} \frac{\alpha_\lambda \cdot L_p}{1 + \alpha_\lambda \cdot L_p} e^{-\alpha_\lambda \cdot w} \quad (8.26)$$

Trong vùng N^+ , một số hạt dẫn bị tái hợp nên hiệu suất < 100%.

Dòng điện quang tổng là:

$$I_{ph} = I_1 + I_2 = q \cdot F_{ph} \left(1 - \frac{e^{-\alpha_\lambda \cdot w}}{1 + \alpha_\lambda \cdot L_p} \right)$$

$$I_{ph} = q \cdot \frac{P_0}{h\nu} \left(1 - \frac{e^{-\alpha_\lambda \cdot w}}{1 + \alpha_\lambda \cdot L_p} \right) \quad (8.27)$$

Trong đó:

q - điện tích của điện tử.

$h\nu$ - năng lượng của photon.

P_0 - công suất quang đi tới điốt quang.

α_λ - hệ số hấp thụ ánh sáng tại bước sóng λ .

w - bề dày của tiếp xúc P-N.

L_p – Độ dài khuếch tán của lỗ trống.

Hiệu suất lượng tử là:

$$\eta = \frac{I_{ph}/q}{F_{ph}} = 1 - \frac{e^{-\alpha_\lambda \cdot w}}{1 + \alpha_\lambda \cdot L_p} \quad (8.28)$$

trong đó $F_{ph} = \frac{P_0}{h\nu}$ và P_0 là công suất quang sau khi đã bị phản xạ bề mặt linh kiện.

Độ nhạy của điốt quang:

$$S = \frac{I_{ph}}{P_0} = \frac{q \cdot \eta}{h \cdot \nu} = \frac{\eta \cdot \lambda}{1,24} [A/W] \quad (8.29)$$

trong đó λ [μm].

Linh kiện cần có độ nhạy cao vì nó sẽ cho dòng điện quang cao hơn đối với cùng công suất quang chiếu vào.

Tần số và cường độ của dòng quang điện hoàn toàn do tần số và cường độ của ánh sáng kích thích quyết định.

Điốt quang loại tiếp xúc P-N có vùng điện tích không gian hẹp, ánh sáng được hấp thụ phần lớn ở trong vùng bán dẫn loại P và N. Như vậy hiệu suất lượng tử thấp và tốc độ đáp ứng thấp. Để tăng hiệu suất lượng tử hóa và độ nhạy người ta chế tạo điốt quang có vùng điện tích không gian rộng hơn. Đó là điốt quang loại PIN và điốt quang thác APD.

c. Điốt quang loại PIN:

□ Cấu tạo:

Điốt quang loại PIN gồm một lớp bán dẫn N^+ có nồng độ tạp chất cao làm nền, trên đó phủ một lớp bán dẫn nguyên tính I (Intrinsic), rồi đến lớp bán dẫn loại P^+ có nồng độ tạp chất cao. Do đó điốt có tên gọi là điốt P-I-N. Bên trên bề mặt của lớp bán dẫn P^+ là điện cực vòng Anốt để ánh sáng có thể thâm nhập vào miền bán dẫn I. Trên lớp bán dẫn P có phủ một lớp mỏng chống phản xạ quang để tránh tổn thất ánh sáng chiếu vào.

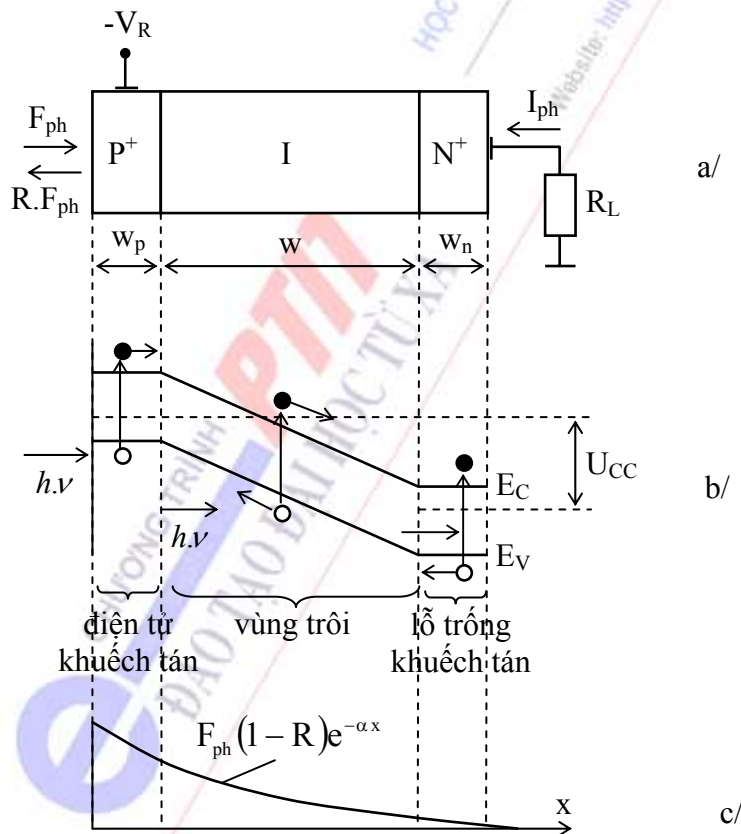
□ Nguyên lý hoạt động:

Điện áp cung cấp cho điốt phân cực ngược dọc theo linh kiện, vì vậy lớp I bị nghèo hoàn toàn trong suốt thời gian hoạt động của nó.

Khi ánh sáng đi vào lớp bán dẫn P^+ , trường hợp lý tưởng mỗi photon sẽ sinh ra trong miền P^+ , I hoặc N^+ một cặp điện tử- lỗ trống. Các điện tử và lỗ trống vừa sinh ra sẽ được điện trường mạnh hút về hai phía điện cực, tạo ra một dòng điện ở mạch ngoài và trên tải R_L thu được một điện áp U_{Ra} .

Trên thực tế, một phần ánh sáng vào bị tổn thất do phản xạ. Lớp chống phản xạ tạo cho linh kiện có thể đạt hiệu suất tới 80%. Nếu ta tính đến độ phản xạ R_f tại bề mặt của điốt quang thì dòng điện quang sơ cấp I_{ph} tính theo công thức (8.27) được viết lại như sau:

$$I_{ph} = q \cdot \frac{P_0}{h\nu} \left(1 - \frac{e^{-\alpha_\lambda w}}{1 + \alpha_\lambda \cdot L_p} \right) (1 - R_f) \quad (8.30)$$



Hình 8- 30: Hoạt động của điốt quang PIN

a/ Mô hình cấu tạo của điốt PIN

b/ Giản đồ năng lượng khi phân cực ngược

c/ Đặc tính phát sinh hạt dẫn

Đối với silic, hệ số phản xạ ánh sáng hầu như là 30%.

Khả năng thâm nhập ánh sáng vào các lớp bán dẫn thay đổi theo bước sóng. Vì thế lớp bán dẫn P^+ không được quá dày. Xác suất tạo ra các cặp điện tử - lỗ trống trong miền I tăng lên theo độ dày của miền này, do đó miền I càng dày càng đạt hiệu suất lượng tử hóa cao. Nhưng nếu độ rộng của lớp I tăng lên thì thời gian trôi qua nó chậm hơn và làm chậm tốc độ chuyển mạch.

Trong điốt PIN không có khuếch đại và hiệu suất cực đại là đơn vị, độ rộng băng tần có thể giới hạn bởi hằng số thời gian điện dung - điện trở ngoài. Trên thực tế, độ rộng băng tần có thể đạt 10 GHz. Điốt quang loại PIN có dòng điện tối rất nhỏ nên tiếng ồn thấp hơn so với điện trở quang. Vì nguyên nhân này, điốt PIN là bộ tách quang thông dụng trong các hệ thống thông tin quang.

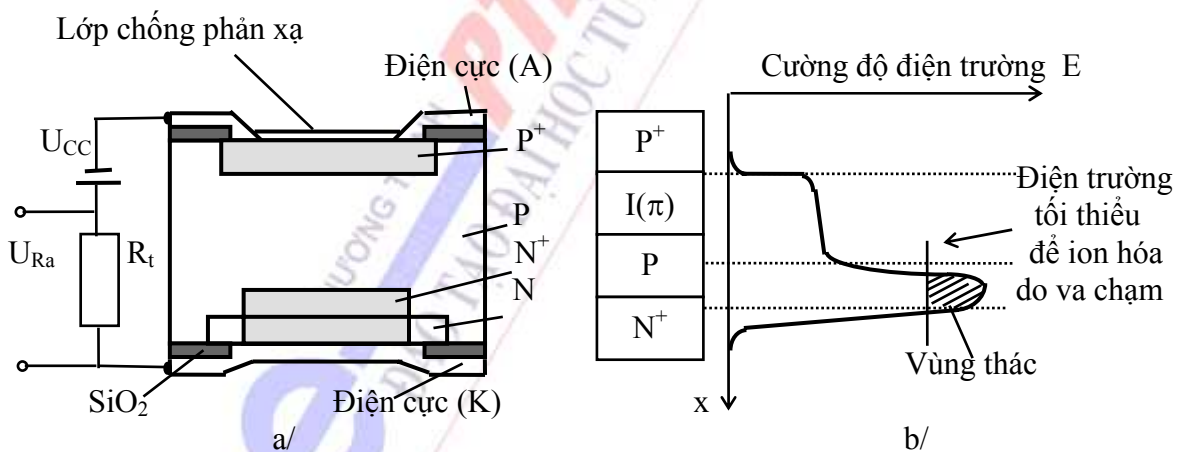
d. Điốt quang thác (APD):

Để tăng độ nhạy của điốt quang, người ta có thể sử dụng hiệu ứng giống như hiệu ứng nhân điện tử trong các bộ nhân quang điện. Cấu tạo của điốt quang sẽ có dạng đặc biệt đó là điốt quang với hiệu ứng quang thác APD - Avalanche Photodiodes.

Điốt quang thác giống như điốt PIN trừ điện áp phân cực lớn hơn nhiều để tạo ra sự nhân thác lũ về hạt dẫn và như vậy APD có khuếch đại dòng điện bởi sự ion hoá do va chạm và nhân hạt dẫn.

□ *Cấu tạo:*

Hình (8- 31a,b) mô tả cấu tạo và sự phân bố điện trường trong điốt quang thác APD. Như hình vẽ, lớp bán dẫn nguyên tính I trong điốt P-I-N được thay bằng một lớp bán dẫn P có nồng độ tạp chất thấp. Như vậy, miền bán dẫn P tạo thành miền trôi và là nơi sinh ra các cặp điện tử- lỗ trống.



Hình 8- 31 : Cấu tạo của APD và phân bố điện trường trong điốt APD.

Điện trường do điện áp phân cực ngược bên ngoài đặt vào thay đổi theo các lớp bán dẫn dọc theo điốt được mô tả như hình (8- 31b): Trong vùng trôi điện trường tăng chậm, nhưng trong vùng tiếp xúc $P-N^+$ thì tăng nhanh và tạo ra miền thác tại vùng này.

□ *Nguyên lý hoạt động:*

Nguyên lý hoạt động của APD cơ bản giống như điốt P-I-N.

Sơ đồ nguyên lý được mô tả trong hình (8- 31a). Theo sơ đồ này, điốt quang thác được phân cực ngược nhờ nguồn U_{CC} , và tín hiệu điện được lấy ra trên tải R_t .

Khi chiếu ánh sáng vào, sẽ xuất hiện thêm các cặp điện- lỗ trống mới trong miền trôi (bán dẫn P). Dưới tác động của điện trường, các điện tử trong miền P sẽ dịch chuyển đến vùng thác của tiếp xúc P-N⁺ và rơi vào vùng có điện trường mạnh nên được tăng tốc. Các điện tử có tốc độ lớn này sẽ va chạm vào các nguyên tử khác để tạo ra các cặp điện tử- lỗ trống mới. Hiện tượng này được gọi là hiện tượng ion hóa do va chạm. Do đó, dòng điện qua điốt APD tăng nhanh như được khuếch đại lên với hệ số khuếch đại M. Hệ số khuếch đại (hay còn gọi là hệ số nhân) phụ thuộc vào điện áp phân cực cho điốt và nó có thể đạt tới 200 lần. Xem hình 8 -32

Hệ số nhân M cũng có thể tính theo công thức:

$$M_{ph} = \frac{I_M}{I_{ph}} = \frac{1}{1 - (V/V_{dt})^n} \quad (8.31)$$

Trong đó: I_M - là giá trị trung bình của dòng điện nhân tổng tại đầu ra.

I_{ph} - là dòng quang điện sơ cấp chưa được nhân, xác định theo công thức (8. 30).

V_{dt} - điện áp đánh thủng tại giá trị M xác định.

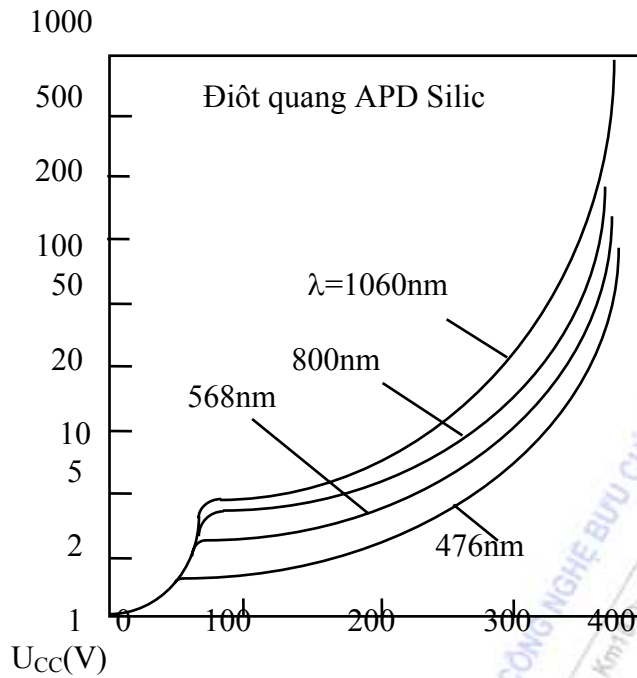
n - lũy thừa, là hằng số vật liệu có giá trị từ 2,5 đến 7.

$V = V_0 - I_M R_M$ với V_0 là điện áp phân cực ngược cho điốt; R_M là điện trở nối tiếp của điốt quang và điện trở tải của mạch tách quang và I_M là dòng điện nhân ở đầu ra của APD.

Qua hình 8- 32 ta thấy điốt APD cần có điện áp phân cực lớn hơn nhiều so với điốt loại P-I-N. Nếu thời gian cho quá trình ion hóa trong miền thác càng dài thì hệ số khuếch đại M càng lớn, song tốc độ trôi qua miền thác sẽ chậm đi. Các xung cũng sẽ bị giãn rộng ra và hạn chế độ rộng băng tần B. Để đánh giá khả năng làm việc của APD, người ta định nghĩa tích số độ khuếch đại và độ rộng băng do quá trình thác là:

$$M_{ph} \cdot B = \frac{1}{2\pi\tau} \quad (8.32)$$

Trong đó: τ là thời gian giữa 2 quá trình va chạm của điện tử với các nguyên tử.



Hình 8- 32 : Sự phụ thuộc của hệ số khuếch đại dòng điện M của điốt quang APD silic vào điện áp phân cực U_{CC} ở các bước sóng khác nhau tại nhiệt độ trong phòng.

Sự tăng hệ số khuếch đại có thể đạt được khi tích hệ số khuếch đại - độ rộng băng tần đạt 100 GHz hoặc hơn. Thông thường, các APD cho phép đạt độ rộng băng trên 1GHz với giá trị M_{ph} lớn. Để ổn định giá trị M_{ph}, ta cần cấp một điện áp nguồn lớn và ổn định về nhiệt do đó chi phí để đảm bảo chế độ làm việc cho APD lớn hơn nhiều so với điốt loại P-I-N.

Trong điốt APD silic, ion hoá do va chạm bởi điện tử khoảng 50 lần lớn hơn lỗ trống và do đó nó cho tỉ lệ tín hiệu / tiếng ồn tốt nhất.

□ Các đặc tính và tham số của điốt quang:

- Hiệu suất lượng tử hóa η là tỉ số giữa số lượng các đôi điện tử- lỗ trống sinh ra trên số photon có năng lượng hν đi đến và nó được tính theo công thức sau:

$$\eta = \frac{\text{Số cặp điện tử - lỗ trống sinh ra}}{\text{Số photon đi đến}} = \frac{I_{ph} / q}{P_0 / h\nu} \quad (8.33)$$

Trong đó : I_{ph} là dòng quang điện trung bình sinh ra do công suất quang trung bình P₀ đi tới điốt quang.

Trên điốt thực tế hiệu suất lượng tử hóa η = (30 ÷ 95)%.

- Độ nhạy của điốt quang S: (hay hệ số chuyển đổi)

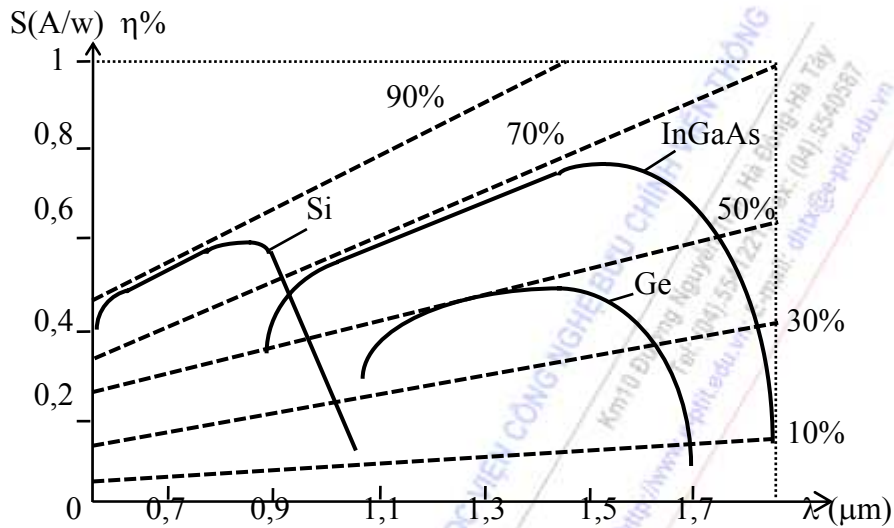
Độ nhạy chỉ rõ giá trị dòng quang điện sinh ra trên đơn vị công suất ánh sáng đi đến điốt.

Nó liên hệ với hiệu suất lượng tử hóa theo công thức:

$$S = \frac{I_{ph}}{P_0} = \frac{\eta q}{h\nu} \quad [A/w] \quad (8.34)$$

Trong các điốt quang loại P-I-N, độ nhạy là hàm của bước sóng được mô tả ở hình 8- 33.

Trong hầu hết các photodiôt, độ nhạy là một hàm tuyến tính với công suất quang. Có nghĩa là, dòng quang điện I_{ph} tỉ lệ thuận trực tiếp với công suất quang P_0 chiếu vào cấu kiện tách quang, cũng như vậy, độ nhạy S là hằng số tại một bước sóng đã cho. Tuy nhiên, hiệu suất lượng tử hóa không phải là hằng số tại tất cả các bước sóng vì nó thay đổi theo năng lượng photon. Dẫn đến độ nhạy là hàm của bước sóng và vật liệu bán dẫn, xem hình 8- 33.



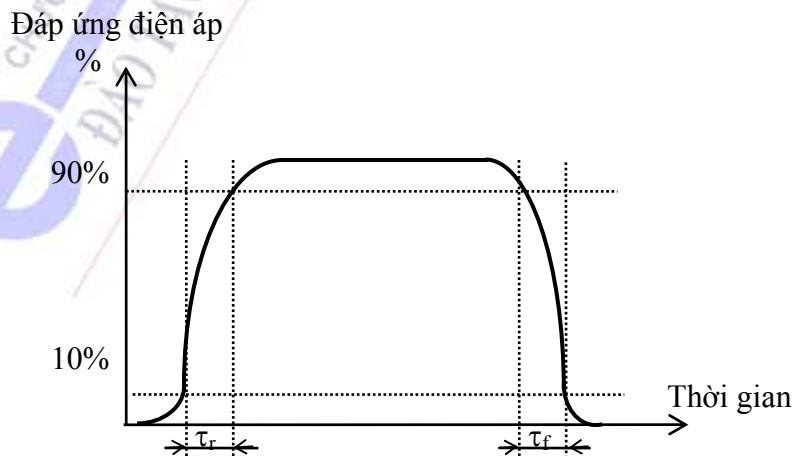
Hình 8- 33 : So sánh giữa hiệu suất lượng tử và độ nhạy như một hàm của bước sóng cho điôt quang loại P-I-N đối với các vật liệu khác nhau.

- Tạp âm của bộ tách quang:

Trong các hệ thống thông tin sợi quang, nhìn chung photodiôt được yêu cầu để tách các tín hiệu quang rất yếu. Việc tách các tín hiệu quang yếu nhất có thể yêu cầu bộ tách quang và mạch khuếch đại tiếp theo của nó phải tối ưu sao cho tỉ số tín hiệu trên tạp âm (S/N) được duy trì. Tỉ số tín hiệu trên tạp âm (S/N) tại đầu ra của một bộ thu quang được xác định như sau:

$$\frac{S}{N} = \frac{\text{Công suất tín hiệu dòng quang điêien}}{\text{Công suất tạp âm của điôt quang} + \text{Công suất tạp âm mạch khuêch đại}}$$

- Thời gian hồi đáp:



Hình 8- 34 : Thời gian lên τ_r và thời gian xuống τ_f của đáp ứng điện áp lỗi ra của điôt quang.

Thời gian hồi đáp của điốt quang được biểu thị bằng thời gian lên và thời gian xuống của tín hiệu tách quang trên lối ra khi điốt quang được chiếu sáng bằng bức xạ quang đầu vào. Thời gian lên được đo từ 10% đến 90% sườn lên của xung ra và thời gian xuống cũng được đo như vậy, xem hình 8- 34:

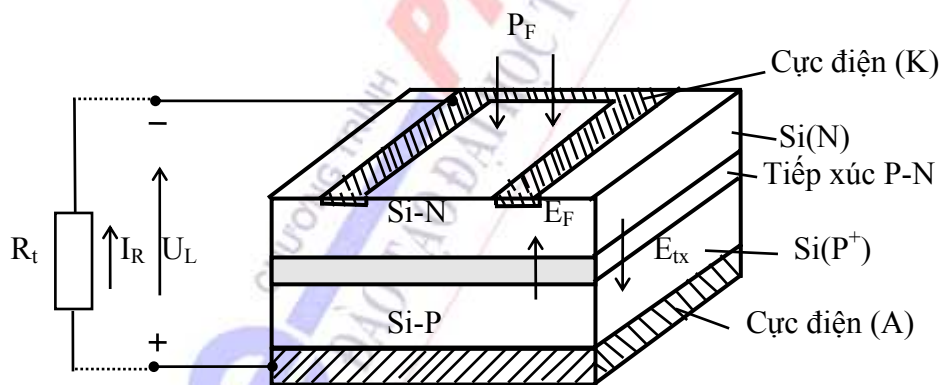
8.3.3. Tế bào quang điện và pin mặt trời.

a. Cấu tạo:

Tế bào quang điện thường được chế tạo từ các vật liệu: Ge, Si, CdS, ZnS,... Cấu tạo của tế bào quang điện gồm phần nhạy quang là tấm bán dẫn loại N với các cửa sổ trong suốt cho tín hiệu quang chiếu vào. Phía đối diện với lớp bán dẫn N là lớp bán dẫn loại P. Tất cả được bọc trong vỏ bảo vệ với 2 điện cực dẫn ra ngoài.

b. Nguyên lý làm việc:

Khi chiếu sáng lên lớp bán dẫn N, do quá trình lượng tử hóa sẽ sinh ra từng đôi điện tử - lỗ trống. Dưới tác dụng của điện trường trong lớp tiếp xúc E_{tx} các lỗ trống sẽ di chuyển từ phần bán dẫn N sang bán dẫn P, còn các điện tử thì chuyển động về bề mặt của lớp bán dẫn N và làm xuất hiện ở hai đầu cực hiệu điện thế có hướng điện trường từ bán dẫn P sang bán dẫn N (E_F) và ngược chiều với chiều của điện trường tiếp xúc. Do đó, điện trường tiếp xúc giảm, các hạt dẫn đa số sẽ khuếch tán qua tiếp xúc P-N. Hiện tượng này tiếp tục đến một trị số E_F nào đó mà tại đó trạng thái cân bằng động trong tiếp xúc P-N được xác lập, hiệu điện thế U_F ở hai đầu cực điện ổn định. Như vậy, tế bào quang điện đã chuyển năng lượng ánh sáng sang năng lượng điện. Đây là điện thế hở mạch của tế bào quang điện U_L . Nếu nối kín mạch ngoài bằng tải R_t sẽ có dòng điện chạy qua là I_R (trường hợp ngắn mạch ngoài ta sẽ có dòng điện ngắn mạch $I_{Phot.}$). Hệ số có ích của tế bào quang silic khá cao nên được sử dụng làm pin mặt trời. Tế bào quang silic có thể hoạt động ở cả chế độ có nguồn và chế độ chế biến tín hiệu.



Hình 8- 35 : Cấu tạo và cơ chế hoạt động của tế bào quang điện từ Si.

c. Đặc tuyến vôn-ampe và tham số:

Dòng điện qua tế bào quang khi chưa chiếu sáng chính là dòng điện của điốt bán dẫn theo phương trình của Shockley:

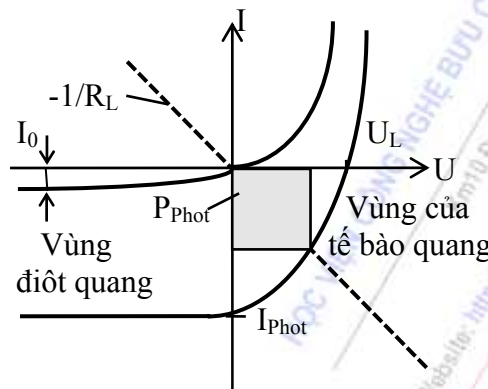
$$I = I_0[\exp(U/V_T) - 1]$$

Khi tế bào quang được chiếu sáng, thì đặc tuyến dịch chuyển theo chiều âm của trục I. Khoảng dịch này bằng dòng quang điện ngắn mạch I_{Phot} . Lúc này dòng điện qua tế bào quang sẽ có biểu thức:

$$I = I_0[\exp(U_L/V_T) - 1] - I_{Phot} \quad (8.35)$$

- Trong đó:
- I_{Phot} là dòng quang điện ngắn mạch.
 - U_L là điện thế quang điện hở mạch
 - P_{Phot} là công suất quang điện hiệu dụng

Hai tham số quan trọng của tế bào quang hay pin mặt trời là hiệu suất biến đổi và công suất hiệu dụng. Khác với pin mặt trời, các tế bào quang điện được cấu tạo với những cấu trúc bé cho công suất nhỏ và không tối ưu cho phổ mặt trời.



Hình 8- 36: Đặc tuyến vôn -ampe của tế bào quang điện

Hiệu suất biến đổi quang- điện là tỉ số giữa công suất hiệu dụng lớn nhất với hệ số mặt trời S và tính theo công thức:

$$\eta = (IU)_{Max}/S \quad (8.36)$$

Hệ số mặt trời S tùy thuộc vào sự suy giảm của ánh sáng mặt trời qua tầng khí quyển và được đo bằng đơn vị AM.

Dòng điện do ánh sáng tạo ra trên tải cùng hướng với dòng điện ngược bão hoà của tiếp xúc P-N. Do vậy, dòng điện tổng của tiếp xúc P-N khi chiếu sáng được tính:

$$I = I_{Phot} + I_0 \left(1 - e^{\frac{U}{V_T}} \right) \quad (8.37)$$

Với I_{Phot} được tính theo công thức:

$$I_{Phot} = q \cdot G_L (L_n + L_p) \cdot A \quad (8.38)$$

- trong đó:
- G_L - tốc độ phát sinh hạt dẫn.
 - A - diện tích mặt tiếp xúc

Đặc tính Vôn – Ampe theo công thức (8.37) ở hình 8- 37

Hệ số mặt trời AM1 được xác định là mặt trời chiếu tại đỉnh điểm và cấu kiện tại mặt biển dưới điều kiện AM1 là cao hơn 100 mW/cm^2 một chút. Phổ mặt trời ngoài không khí được hiểu là AM0, ở đó năng lượng mặt trời là 135 mW/cm^2 . Đặt $I=0$ trong công thức (8.37) để tính điện áp hở mạch là:

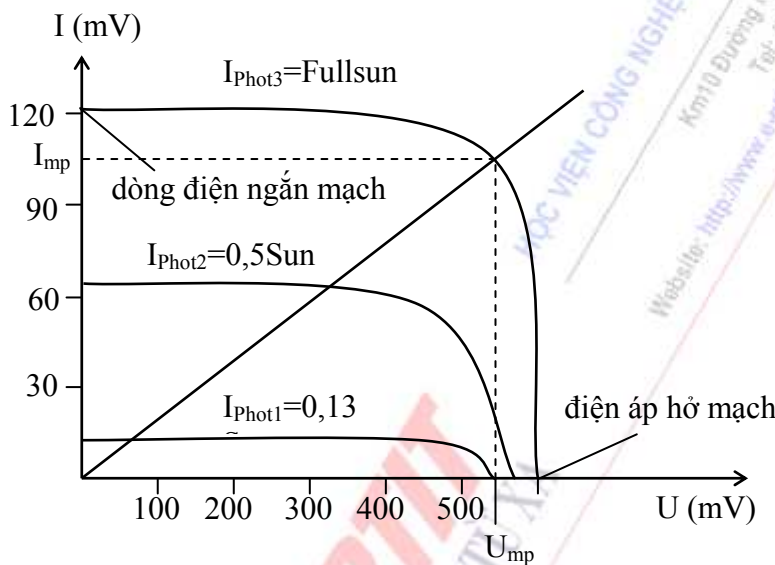
$$U_L = V_T \ln\left(1 + \frac{I_L}{I_0}\right) \tag{8.39}$$

Công suất lớn nhất có thể nhận được từ một pin mặt trời tùy thuộc vào khoảng đặc tuyến nằm giữa dòng điện ngắn mạch và điện thế hở mạch.

d. Vật liệu:

Vật liệu thường dùng để chế tạo pin mặt trời có Si, GaAs, CdS.... Silic có độ rộng vùng cấm $E_G = 1,1eV$ cho ta điện thế hở mạch $U_L = 0,5V$, và dòng ngắn mạch $I_{Phot.} = 50mA/cm^2$ và hiệu suất biến đổi η trên thực tế khoảng từ 10% đến 11%. Vật liệu GaAs có độ rộng vùng cấm $E_G = 1,43eV$ cho ta điện thế hở mạch $U_L = 0,7V$, dòng điện ngắn mạch $I_{Phot.}$ khá nhỏ khoảng $10mA/cm^2$ và hiệu suất biến đổi thực tế khoảng $\eta = 21\%$.

Mỗi một tế bào pin mặt trời cho điện thế khoảng 0,4V đến 0,5V. Khi sử dụng, các tế bào pin mặt trời thường được đấu thành modul pin mặt trời để cho điện áp cao hơn.

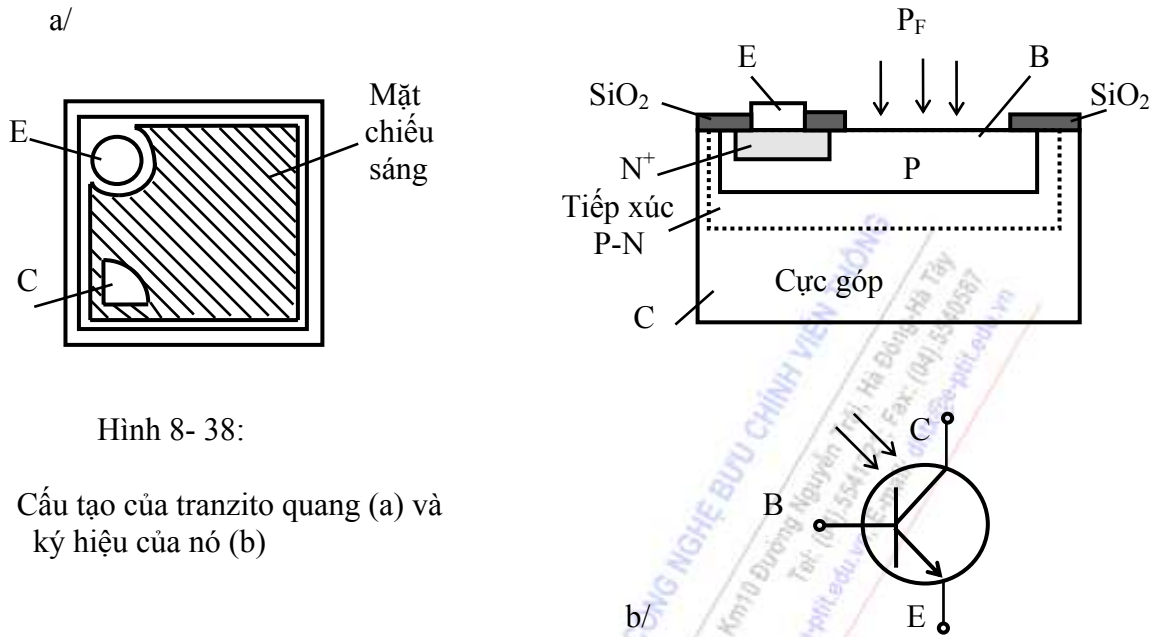


Hình 8- 37: Đặc tuyến Von – Ampe của tế bào pin mặt trời dưới độ chiếu sáng AM1 (air - mass), nghĩa là năng lượng mặt trời tại mặt biển dưới bầu trời trong sáng với ánh nắng mặt trời đỉnh điểm

8.3.4. Tranzito quang lưỡng cực.

a. Cấu tạo:

Cấu tạo và ký hiệu của tranzito quang mô tả trong hình 8- 38. Giống như tranzito thường, tranzito quang có 2 loại PNP và NPN. Ba chân cực: cực phát E, cực gốc B, và cực góp C. Cực gốc là bề mặt được ánh sáng chiếu vào, nó được chế tạo rất mỏng để có điện trở nhỏ.



Hình 8- 38:

Cấu tạo của tranzito quang (a) và ký hiệu của nó (b)

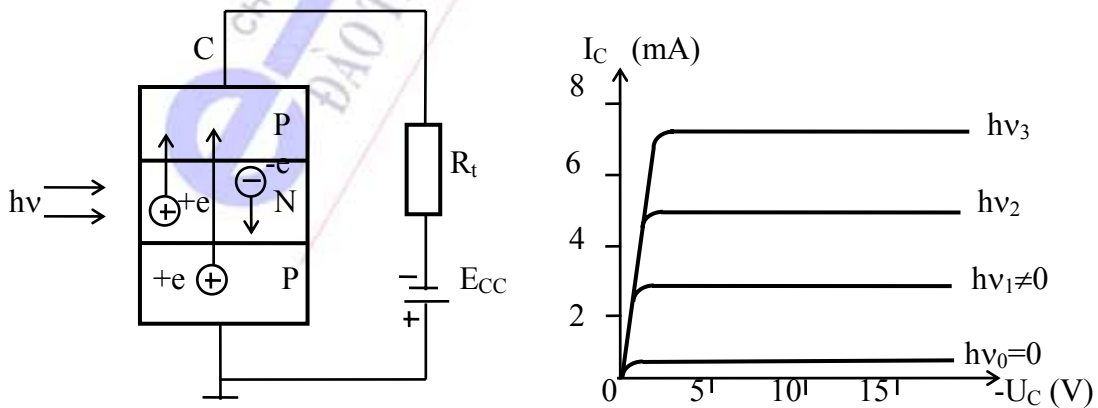
Hình 8- 38 : Cấu tạo và ký hiệu của tranzito quang

b. Nguyên lý hoạt động:

Sơ đồ nguyên lý đầu tranzito quang mô tả ở hình 8- 39.

Trong hình, nguồn cung cấp E_{CC} tạo cho tiếp xúc phát phân cực thuận và tiếp xúc góp phân cực ngược. Tải R_t để sụt bớt một phần điện áp phân cực cho tranzito, và lấy tín hiệu điện ra.

- Khi không có tín hiệu quang ($h\nu = 0$ hay $I_B = I_{Phot} = 0$) trong mạch chỉ có dòng điện tới $I_{C\text{ tối}}$. Đây là dòng điện do các lỗ trống khuếch tán từ phần phát sang tới cực góp và nó có trị số nhỏ.
- Khi có tín hiệu quang đến ($h\nu \neq 0$ hay $I_B = I_{Phot} \neq 0$), ở phần gốc sẽ xuất hiện các cặp điện tử- lỗ trống. Các lỗ trống sẽ di chuyển về cực góp tạo nên thành phần dòng quang điện I_{Pphot} , còn các điện tử chuyển động về phía tiếp xúc phát, kích thích cho sự khuếch tán của các hạt dẫn tại đây dễ dàng hơn..



Hình 8- 39: Sơ đồ nguyên lý đầu tranzito quang và đặc tuyến Vôn -Ampe của nó

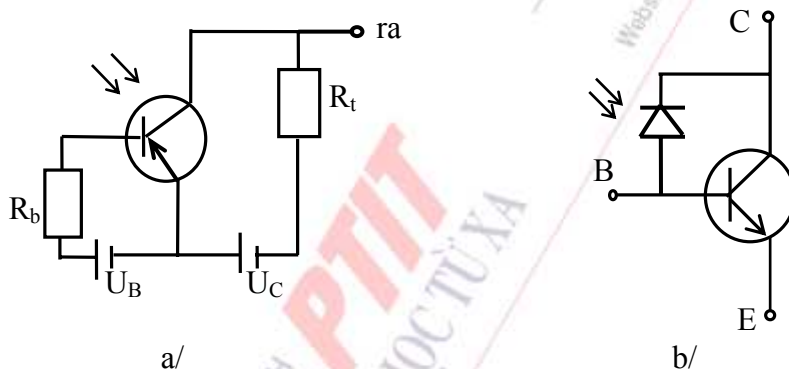
Với sơ đồ mắc cực phát chung như hình vẽ, ta có thể tính gần đúng dòng điện cực góp khi tranzito quang được chiếu sáng I_{Cs} :

- Do cực gốc để hở và có ánh sáng chiếu đến nên dòng điện cực gốc chính là dòng tín hiệu quang $I_{Phot.}$.
- Hệ số khuếch đại dòng quang chính bằng hệ số khuếch đại của tranzito trong sơ đồ mắc cực phát chung ($M = \beta$).

Vậy, tổng dòng điện trong tranzito quang khi được chiếu sáng:

$$I_{Cs} = \beta I_{Phot.} + I_{Pphot} + I_{C\ tối} \tag{8.40}$$

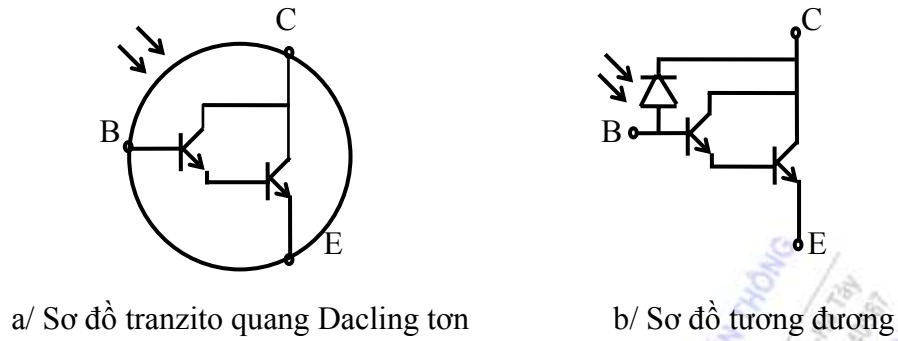
Thành phần dòng điện tối $I_{C\ tối}$ sẽ hạn chế khả năng khuếch đại tín hiệu quang của tranzito. Để khắc phục hạn chế này người ta dùng tranzito quang 3 chân cực để giảm dòng điện tối và tăng trở kháng ra của mạch. Sơ đồ đấu tranzito 3 chân cực như trong hình 8- 40. Với cách mắc này các tham số của mạch phụ thuộc vào dòng điện cực gốc rõ rệt. Tại giá trị dòng cực gốc tối ưu nào đó sẽ cho các thông số tối ưu: dòng điện tối có thể giảm xuống 10 lần, trở kháng ra tăng lên khoảng 10 lần, và các hệ số khuếch đại dòng điện và điện áp tăng lên đáng kể so với mạch để hở cực gốc. Trong các mạch, tranzito quang cũng có thể mắc theo 3 cách mắc. Đó là các sơ đồ: cực gốc chung, cực phát chung và cực góp chung như tranzito thường chỉ có khác tín hiệu điều khiển là tín hiệu quang.



Hình 8- 40: a- Sơ đồ mắc tranzito quang 3 chân cực để tối ưu các thông số
b- Sơ đồ tương đương của tranzito quang: điốt quang là tiếp xúc gốc- góp.

Về mặt cấu trúc có thể coi tranzito quang như một mạch tích hợp đơn giản gồm một điốt quang làm nhiệm vụ biến đổi tín hiệu quang sang tín hiệu điện và một tranzito có nhiệm vụ khuếch đại (xem hình 8- 40b).

Để có hệ số khuếch đại dòng quang lớn, người ta dùng sơ đồ Dacling- ton đối với các tranzito quang, xem hình 8- 41. Tranzito quang Dacling-ton được chế tạo như chỉ ra trong hình.



Hình 8- 41: Sơ đồ tranzito quang Dacling-ton

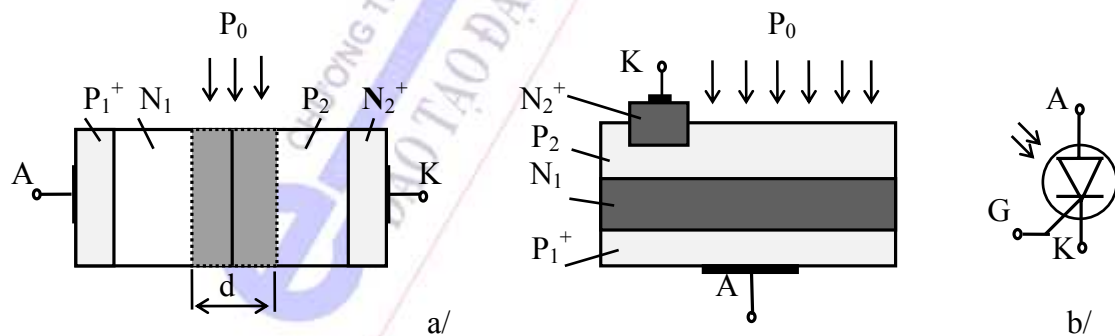
Từ sơ đồ tương đương ta thấy độ nhạy phổ của tranzito quang cũng giống như đối với các điôt quang tương ứng, tuy nhiên vì tranzito quang có khả năng khuếch đại nên độ nhạy của nó cao hơn điôt quang khoảng vài trăm lần. Tần số làm việc của tranzito quang thấp hơn điôt quang. Tranzito quang làm việc với tần số đến vài trăm KHz (khoảng 300KHz, còn sơ đồ Dacling- ton chỉ khoảng 30KHz) trong khi điôt quang làm việc đến vài chục MHz.

8.3.5. Thyristo quang.

a. Cấu tạo:

Cũng như các thyristo thường, trong họ thyristo quang cũng có các dạng thyristo 4 lớp, 5 lớp bán dẫn với 3 hoặc 4 chân cực. Các thyristo quang đều có vỏ bọc với cửa sổ trong suốt cho các tín hiệu quang đi đến. Hình 8- 42 mô tả cấu tạo và ký hiệu của thyristo quang.

Anôt (A) là một lớp bán dẫn loại P có nồng độ tạp chất cao và Catôt (K) là lớp bán dẫn loại N có nồng độ tạp chất cao. Còn hai vùng bán dẫn N và P ở giữa có nồng độ tạp chất thấp nên bề rộng (d) của tiếp xúc P-N giữa chúng (T₂) lớn hơn nhiều so với hai tiếp xúc P-N ở anôt (T₁) và ở catôt (T₃).



Hình 8- 42: Cấu tạo (a) và ký hiệu (b) của SCR quang.

b. Nguyên lý làm việc:

Nguyên lý làm việc của SCR quang giống như của các SCR thường, chỉ khác tín hiệu điều khiển là tín hiệu quang:

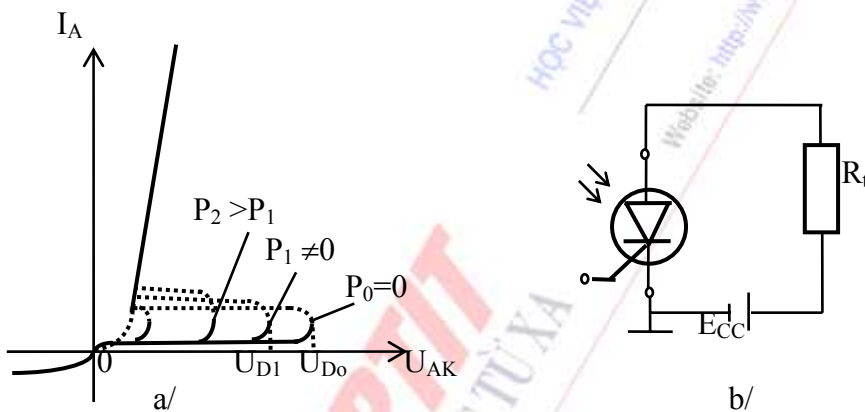
Khi chưa chiếu sáng SCR, ta đặt điện áp dương vào anôt ($U_{AK} > 0$) thì SCR không dẫn điện chỉ có vùng điện tích không gian T_2 lan rộng. Khi chiếu ánh sáng vào SCR, do quá trình quang lượng tử sẽ xuất hiện các đôi điện tử- lỗ trống mới làm mật độ hạt dẫn trong vùng này tăng lên dẫn đến dòng điện giữa anôt và catôt tăng. Khi hệ số chuyển tải dòng điện gia tăng đến 1 (nghĩa là $\alpha_p + \alpha_n = 1$) thì SCR dẫn điện.

Khi cường độ tín hiệu quang tăng, giá trị điện áp dẫn U_D (hay điện áp đỉnh khuỷu) giảm và giá trị dòng điện qua SCR được tính theo công thức sau:

$$I_{A.S.} = \frac{I_{t\grave{e}i} + I_{phot}}{1 - (\alpha_p + \alpha_n)} \quad (8.41)$$

- Trong đó:
- $I_{t\grave{e}i}$ là dòng điện ngược của tiếp xúc T_2 .
 - α_p và α_n là hệ số chuyển tải dòng điện qua nền bán dẫn P và nền bán dẫn N.
 - I_{phot} là dòng quang điện

Độ nhạy của thyristo phụ thuộc vào điện áp thuận đặt lên anôt, vào nhiệt độ và cấu trúc của nó. Để tăng độ nhạy, thyristo quang thường có kích thước mỏng, nhỏ nên nó chỉ làm việc với điện áp thấp và dòng điện bé.



Hình 8- 43 : Đặc tuyến Vôn -Ampe (a) và sơ đồ nguyên lý (b) của SCR quang.

Vậy ở thyristo quang, tín hiệu quang chỉ làm nhiệm vụ kích cho thyristo dẫn điện chứ không điều khiển được giá trị dòng điện anôt. Cường độ tín hiệu quang chỉ có tác dụng làm thay đổi thời gian đóng mở của thyristo (xem hình 8- 43).

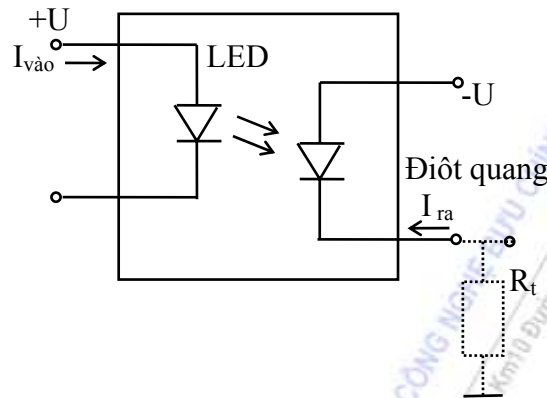
8.4. CÁC BỘ GHÉP QUANG (OPTO- COUPLERS).

8.4.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động.

Bộ ghép quang còn gọi là bộ cách ly quang (Photo coupled isolators), còn thông thường ta gọi là bộ ghép quang (Opto- Coupler). Bộ ghép quang dùng để cách điện giữa các mạch điện có sự khác biệt về điện thế khá lớn mà vẫn truyền dẫn được tín hiệu điện giữa chúng. Ngoài ra nó còn được dùng để tránh các vòng đất gây nhiễu trong mạch điện.

a. Cấu tạo và nguyên lý làm việc:

Cấu tạo của bộ ghép quang gồm có một điốt phát quang (LED) có nhiệm vụ phát ra ánh sáng có đáp ứng nhanh với sự thay đổi của dòng điện đi qua nó, và một linh kiện thu quang (ví dụ như điốt quang, tranzito quang, thyristo quang...). Hai linh kiện này đặt cạnh nhau tạo thành bộ ghép quang, trong đó dòng điện đầu vào của một mạch điện sẽ tạo ra một dòng điện thích ứng ở đầu ra của một mạch điện khác.



Hình 8- 44 : Cấu tạo và sơ đồ nguyên lý của bộ ghép quang dùng điốt quang.

Khi LED được phân cực thuận, với dòng điện thuận, LED sẽ phát ra ánh sáng. Ánh sáng này được chiếu trực tiếp lên cấu kiện thu quang hoặc chiếu gián tiếp qua sợi quang dẫn và cấu kiện thu quang sẽ biến tín hiệu quang thành tín hiệu điện. Như vậy, đầu tiên tín hiệu điện được LED biến thành tín hiệu quang, sau đó tín hiệu quang được cấu kiện thu quang biến đổi lại thành tín hiệu điện.

b. Tính chất cách điện :

- *Điện trở cách điện:*

Điện trở cách điện là điện trở với dòng điện một chiều giữa đầu vào và đầu ra của bộ ghép quang. Điện trở cách điện có trị số bé nhất khoảng $10^{11}\Omega$.

- *Điện dung cách điện:*

Cấu trúc của bộ ghép quang gồm có LED và photodiode hoặc phototransistor nên có thể tạo ra một điện dung từ 0,3 đến 2pF giữa đầu vào và đầu ra. Do đó với điện trường thay đổi nhanh ($500V/\mu S$) điện dung ký sinh này có thể truyền và tạo ra trên lối ra xung điện có các gai nhọn. Để giảm ảnh hưởng này ta nên dùng bộ ghép quang không có chân nối ở cực gốc của transistor quang, và nối một tụ điện giữa lối vào và lối ra để giảm gai nhọn ở xung ra.

- *Điện thế cách ly:*

Điện thế cách ly là điện thế cao nhất mà bộ ghép quang có thể chịu đựng được. Điện thế cách ly phụ thuộc vào cấu trúc của bộ ghép quang, không khí,...

- *Hệ số truyền đạt dòng điện (CTR):*

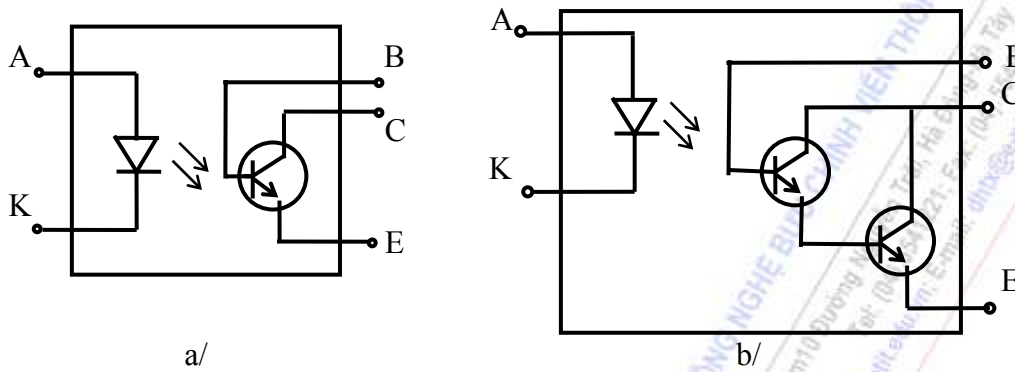
Hệ số truyền đạt là tham số quan trọng nhất của bộ ghép quang. Hệ số truyền đạt được tính theo % cho biết dòng điện ra lớn hơn so với dòng điện vào của LED trong một bộ ghép quang:

$$CTR = \frac{I_{ra}}{I_{vào}} \quad (8.42)$$

5.5.2 Một số loại bộ ghép quang.

a. Bộ ghép quang với phototranzito:

Bộ ghép quang này gồm có một LED hồng ngoại và một tranzito quang như hình 8- 45a.



Hình 8- 45: a- Bộ ghép quang với tranzito quang lưỡng cực.
b- Bộ ghép quang với tranzito quang Dacling- ton.

b. Bộ ghép quang với tranzito quang Dacling- ton:

Bộ ghép quang với tranzito quang Dacling- ton được dùng để tăng hệ số truyền đạt nhờ sự khuếch đại của một tranzito (xem hình 8- 50b).

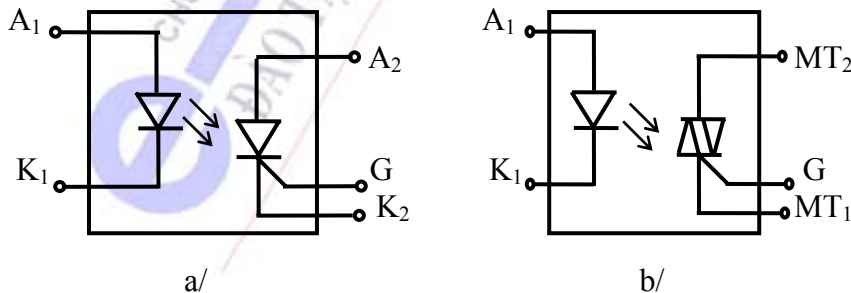
c. Bộ ghép quang với thyrixto quang:

Bộ ghép quang này gồm có một LED hồng ngoại và một thyrixto quang làm việc với ánh sáng hồng ngoại, xem hình 8- 46a.

Bộ ghép quang với thyrixto quang được dùng để điều khiển một thyrixto công suất khác làm việc.

d. Bộ ghép quang với Triac quang:

Bộ ghép quang với triac quang (xem hình 8-46b) được dùng để điều khiển một triac công suất khác làm việc.



Hình 8- 46: a- Bộ ghép quang với Thyrixto quang.

e. Bộ ghép quang có khe hở (Slotted Opto- Coupler):

b- Bộ ghép quang với triac quang.

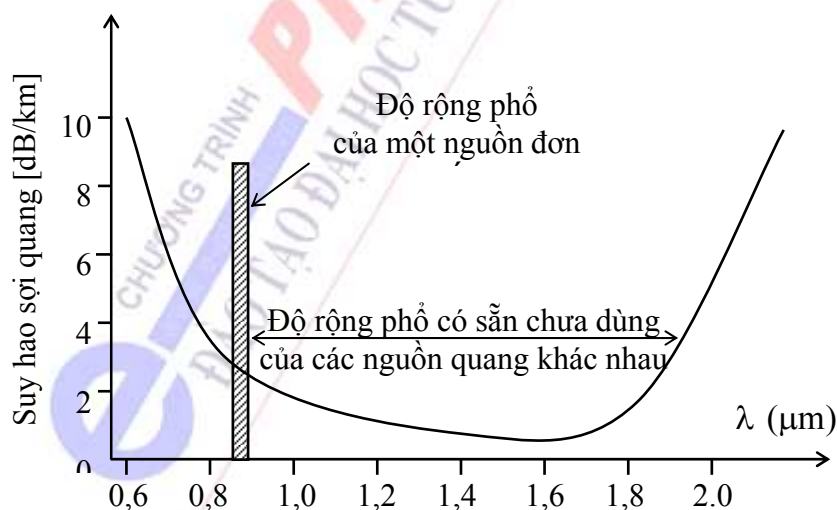
Bộ ghép quang với khe hở thường được sử dụng để kiểm tra sự xuất hiện của các vật thể. Hình 8- 47 mô tả một bộ ghép quang với khe hở. Trong mạch, LED phát ra ánh sáng liên tục

và tranzito quang sẽ kiểm tra sự xuất hiện của bất kỳ vật thể nào cản trở sự chiếu sáng ở trong khe.

8.5. CẤU KIỆN QUANG HÌNH HỌC DÙNG TRONG THÔNG TIN QUANG (Bộ lọc quang)

8.5.1. Khái niệm về kỹ thuật thông tin quang.

Bộ lọc quang liên quan đến kỹ thuật ghép kênh phân chia theo bước sóng -WDM. Vì mỗi một nguồn sáng đơn sắc có độ rộng phổ hẹp, nên trong truyền dẫn nó chỉ sử dụng một phần rất nhỏ băng truyền dẫn của một sợi quang. Ghép kênh phân chia theo bước sóng sẽ tạo ra rất nhiều kênh phổ sử dụng đồng thời.

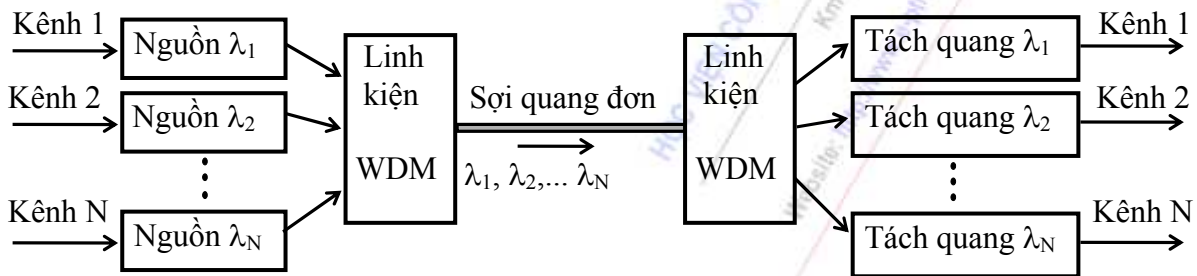


Hình 8- 48: Một nguồn quang đơn sử dụng một phần rất nhỏ băng truyền dẫn của phổ có sẵn của sợi quang ghép kênh phân chia theo bước sóng (WDM) tạo ra rất nhiều kênh phổ sử dụng đồng thời.

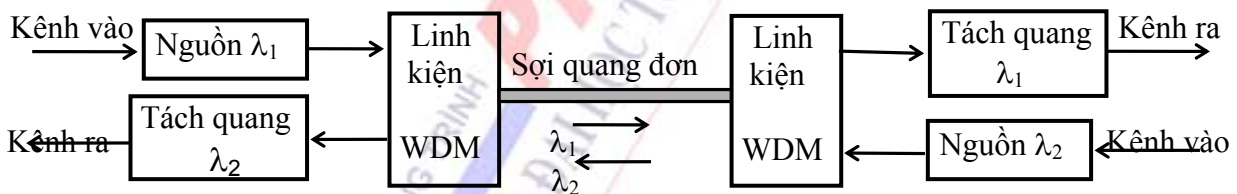
Từ hình 8- 48 ta thấy có rất nhiều vùng hoạt động phổ có thể thêm vào. Một cách lý tưởng, sự tăng đột biến dung lượng thông tin của một sợi quang có thể đạt được bằng việc truyền dẫn đồng thời các tín hiệu quang trên cùng một sợi quang từ nhiều nguồn ánh sáng khác nhau có các bước sóng định bức xạ đặt cách nhau một cách chính xác. Bởi mỗi nguồn sáng hoạt động tại một bước sóng định khác nhau, tính toàn vẹn của các tín tức độc lập từ mỗi nguồn được duy trì để việc chuyển đổi tuần tự sang tín hiệu điện ở đầu thu. Đây là cơ sở của ghép kênh phân chia theo bước sóng (WDM).

Hai cơ cấu WDM khác nhau mô tả trong hình 8- 49 và hình 8- 50. Trong hình 8-49, linh kiện WDM đơn hướng được sử dụng để kết hợp các bước sóng mang tín hiệu khác nhau trên một sợi quang đơn tại một đầu và để tách chúng vào bộ tách quang thích hợp tại đầu kia.

Sơ đồ hệ thống WDM hai hướng được mô tả trong hình 8- 50. Sơ đồ này gồm việc gửi tín tức trong một hướng tại một bước sóng λ_1 và đồng thời trong hướng ngược lại tại bước sóng λ_2 .



Hình 8- 49 : Hệ thống WDM đơn hướng kết hợp N tín hiệu độc lập để truyền trên 1 sợi quang đơn.

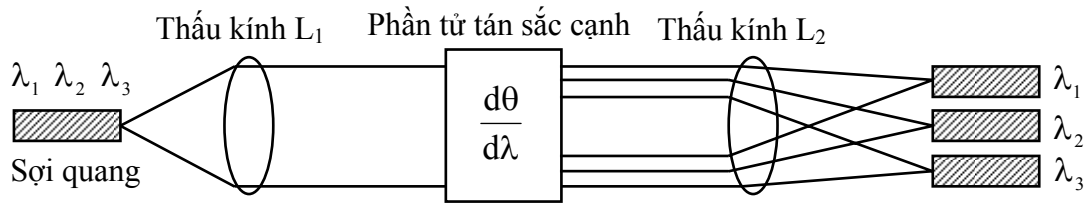


Hình 8- 50: Hệ thống WDM hai hướng, trong đó, hai bước sóng hoặc nhiều hơn được truyền đồng thời trong các hướng ngược nhau trên cùng một sợi quang.

Trong các hệ thống thông tin quang trong hai hình trên, các bộ ghép kênh phân chia theo bước sóng có hai loại được sử dụng rộng rãi nhất là các linh kiện tán sắc cạnh như các lăng kính hoặc các cách tử, và các bộ lọc màng mỏng hoặc các linh kiện tích hợp quang đơn một.

8.5.2. Bộ lọc quang bằng các linh kiện tán sắc (hay bộ ghép kênh tán sắc cạnh).

Sơ đồ của một bộ ghép kênh tán sắc cạnh được mô tả trong hình 8- 51 đối với hệ thống 3 bước sóng sử dụng, ở đó $\frac{d\theta}{d\lambda}$ là độ tán sắc cạnh của linh kiện.



Hình 8- 51:Sơ đồ biểu diễn một phần tử WDM tán sắc cạnh cho 3 bước sóng. Nhiều bước sóng có thể kết hợp hoặc phân chia với loại linh kiện này.

Khi linh kiện sử dụng như một bộ phân kênh, ánh sáng từ sợi quang đi ra được chuẩn trực bằng thấu kính L_1 (gọi là thấu kính chuẩn trực) và đi qua phần tử tán sắc cạnh và nó được phân chia thành các kênh có bước sóng đi vào các chùm tia có định hướng không gian khác nhau. Thấu kính L_2 (thấu kính hội tụ) sẽ hội tụ các tia đầu ra vào các sợi quang thu thích hợp hoặc các bộ tách quang thích hợp. Sự tán sắc tuyến tính $\frac{dx}{d\lambda}$ tại các sợi quang thu được xác định:

$$\frac{dx}{d\lambda} = f \cdot \frac{d\theta}{d\lambda} \tag{8.43}$$

ở đây f là chiều dài tiêu cự của thấu kính L_2 .

Trong trường hợp lý tưởng không có quang sai, độ rộng phổ nguồn zero, tổn hao chèn nguyên tính và xen tiếng zero nếu các tín hiệu ra được phân chia lớn hơn đường kính của nó (d_k), nghĩa là:

$$\frac{dx}{d\lambda} \cdot \Delta\lambda \geq d_k \tag{8.44}$$

với: $\Delta\lambda$ - khoảng cách phổ giữa các kênh (khoảng cách bước sóng).

d_k - đường kính của sợi quang

Ở đây giả thiết rằng tất cả các sợi quang (phát và thu) đều có cùng đường kính d_k và khẩu độ số NA.

Để thu nhận tất cả ánh sáng từ sợi quang phát, thấu kính chuẩn trực L_1 cần có đường kính b thoả mãn điều kiện:

$$b > 2f \frac{NA}{n'} \tag{8.45}$$

trong đó n' là chiết suất của môi trường giữa thấu kính L_1 và linh kiện tán sắc cạnh.

Kết hợp công thức (8.43), (8.44) và (8.45), ta có:

$$b \geq \frac{2 \left(\frac{NA}{n'} \right) d_k}{\Delta\lambda \left(\frac{d\theta}{d\lambda} \right)} \tag{8.46}$$

Trong các hệ thống thực tế, chùm tia ra bị trải rộng ra ngoài bởi kích thước hữu hạn của nguồn sáng và kết quả tán sắc cạnh do sự trải rộng bước sóng của độ rộng phổ của nguồn. Độ tăng tỉ lượng S của đường kính chùm tia được tính gần đúng bằng:

$$S = \frac{b'-b}{b} \approx (1+m) \frac{w \cdot d_k (NA)}{b^2 \cdot n'} \tag{8.47}$$

trong đó: m – số lượng các kênh bước sóng
 b' - đường kính của thấu kính L_2 .
 w - độ dài tuyến tổng từ đầu ra của thấu kính L_1 đến đầu vào của thấu kính L_2

Để loại bỏ hiện tượng tràn đầy độ mở số của sợi quang thu, độ trải rộng tia sáng tổng cần phải là một phần nhỏ đường kính của thấu kính chuẩn trực, nghĩa là $S < 1$.

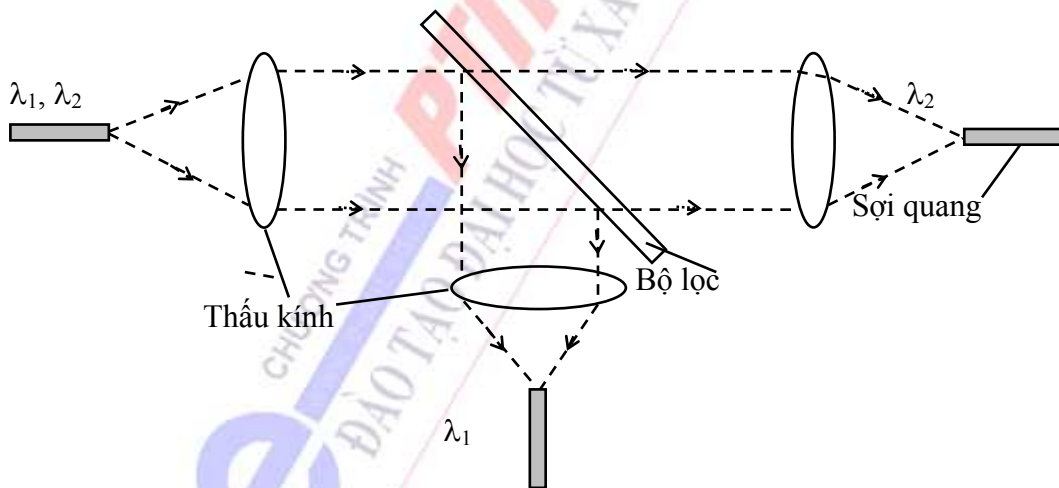
Một số lớn các kênh có thể được kết hợp và phân chia với các phần tử ghép kênh tán sắc cạnh. Hầu hết các linh kiện này sử dụng liên hợp thấu kính – cộng – cách tử (grating – plus – lens). Đôi khi người ta dùng lăng kính làm phần tử tán sắc cạnh. Các tổn thất chèn tiêu biểu khoảng từ 1 ÷ 3 dB, và mức tiếng xen vào khoảng từ -20 dB đến -30 dB.

8.5.3. Bộ lọc quang màng mỏng .

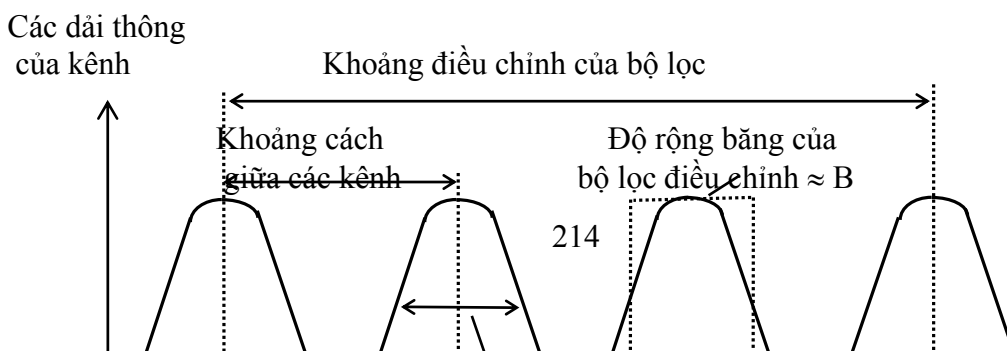
Trong phần này chúng ta sẽ nghiên cứu về bộ lọc quang màng mỏng. Hoạt động của một phần tử ghép kênh loại bộ lọc được mô tả trong hình 8- 52 cho hoạt động của hai bước sóng. Các bộ lọc được thiết kế để truyền ánh sáng cho một bước sóng cụ thể và để hoặc hấp thụ, hoặc phản xạ tất cả các bước sóng khác.

Các bộ lọc loại phản xạ thường được sử dụng vì tổn hao của các bộ lọc loại hấp thụ có xu hướng tăng cao hơn (cao hơn 1dB).

Bộ lọc phản xạ gồm một tấm kính phẳng, bên trên nó nhiều lớp màng mỏng chất cách điện khác nhau được lắng đọng tùy theo tính chọn lọc của bước sóng. Các bộ lọc này có thể sử dụng nối tiếp thành chuỗi để phân chia thêm các kênh bước sóng. Sự phức tạp cũng tăng theo số lượng các bộ lọc nối tiếp và sự tăng tổn hao tín hiệu cũng xảy ra với việc tăng thêm các bộ ghép kênh nối tiếp. Nhìn chung chỉ nên hạn chế hoạt động đến 2 hoặc 3 bộ lọc (có nghĩa là hoạt động 3 hoặc 4 kênh).



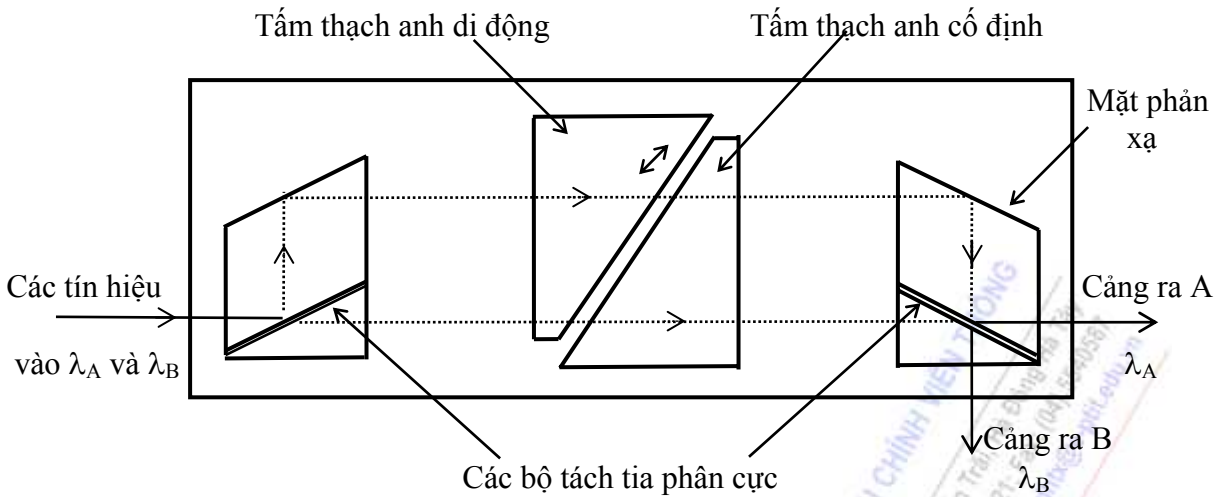
Hình 8- 52 : Bộ lọc màng mỏng nhiều lớp phản xạ sử dụng cho WDM. Linh kiện này trong suốt tại bước sóng λ_2 và phản xạ tại bước sóng λ_1 .



Trong thiết kế các hệ thống WDM, cần phải chú ý làm giảm đến mức thấp nhất các yếu tố gây ra sự giảm sút phẩm chất ngoài biên của đường truyền. Trên đây là các linh kiện WDM thụ động, độ chọn lọc bước sóng của chúng được cố định. Người ta cũng phát minh ra các phần tử WDM tích cực, các phần tử này được chuyển một cách tích cực hoặc được điều chỉnh theo bước sóng. Giữa các phần tử WDM tích cực là nguồn đa bước sóng và các tổ hợp tách quang, các laser có khả năng điều chỉnh bước sóng, và các bộ lọc có thể điều chỉnh bước sóng.

Khái niệm về việc bộ lọc có thể điều chỉnh được mô tả trong hình 8-54. Trong phương pháp này, các tín hiệu tin tức khác nhau được gửi vào các kênh tần số riêng của độ rộng băng B. Bằng việc sử dụng một bộ lọc với dải thông có độ rộng B mà nó có thể điều chỉnh trên khoảng tần số của các kênh này, người ta có thể chọn được kênh theo yêu cầu.

Hình 8-54 mô tả một ví dụ về một bộ lọc có thể điều chỉnh bước sóng (a wavelength-tunable filter). Ở đây, một phần tử đa cấp lưỡng chiết suất cấu tạo từ hai ống dẫn sóng bằng thạch anh (a birefringent multiple-order element) được đặt giữa hai bộ tách tia phân cực (polarizing beam splitters).



Hình 8- 54 : Ví dụ về bộ lọc điều chỉnh bước sóng.
 Một tấm thạch anh di động thay đổi độ dài tuyến đường đi qua tinh thể để thay đổi phổ ra hình sin.

Công suất ra P của ánh sáng tại các cảng ra A và B liên hệ với công suất vào P₀ bằng công thức:

$$P = \frac{P_0}{2} \left(1 \pm \cos \frac{2\pi\Delta n L}{\lambda} \right) \tag{8.48}$$

- Trong đó:
- Δn : độ chênh lệch giữa chiết suất thông thường và chiết suất khác thường của vật liệu lưỡng chiết.
 - λ : độ dài bước sóng.
 - dấu ± liên quan đến các cảng A (dấu +) và cảng B (dấu -).

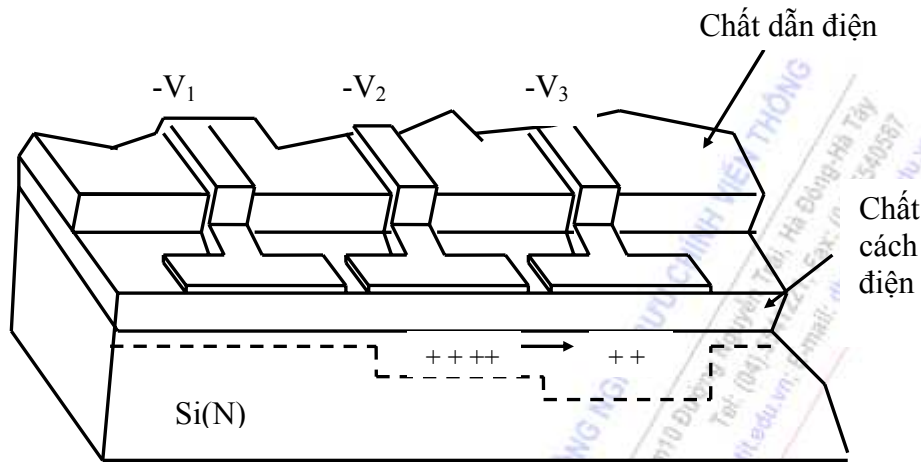
Sự biến đổi hình sin của phổ ra có thể được thay đổi bằng cách thay đổi độ dài đường truyền L đi qua tinh thể. Điều này đạt được bằng cách di chuyển một trong các tấm thạch anh lên trên hoặc xuống dưới. Sự thay đổi chiều dài theo cấp bậc chu kỳ quay phân cực sẽ xác định vị trí của kênh, còn các thay đổi lớn hơn sẽ sửa đổi sự đặt cách của các kênh. Vì tuyến quang là thuận nghịch, linh kiện này có thể được sử dụng như là bộ ghép kênh và hoặc như là bộ phân kênh đều được.

8.6. CẤU KIỆN CCD (Tổ hợp các detector quang)

CCD là mạch tổ hợp các detector quang. CCD được viết tắt từ tiếng Anh Charge-Coupled Devices (các cấu kiện liên kết tích điện). Kỹ thuật CCD được sử dụng trong các ống thu hình màu, các sensor quang học đọc các văn bản trên máy FAX...

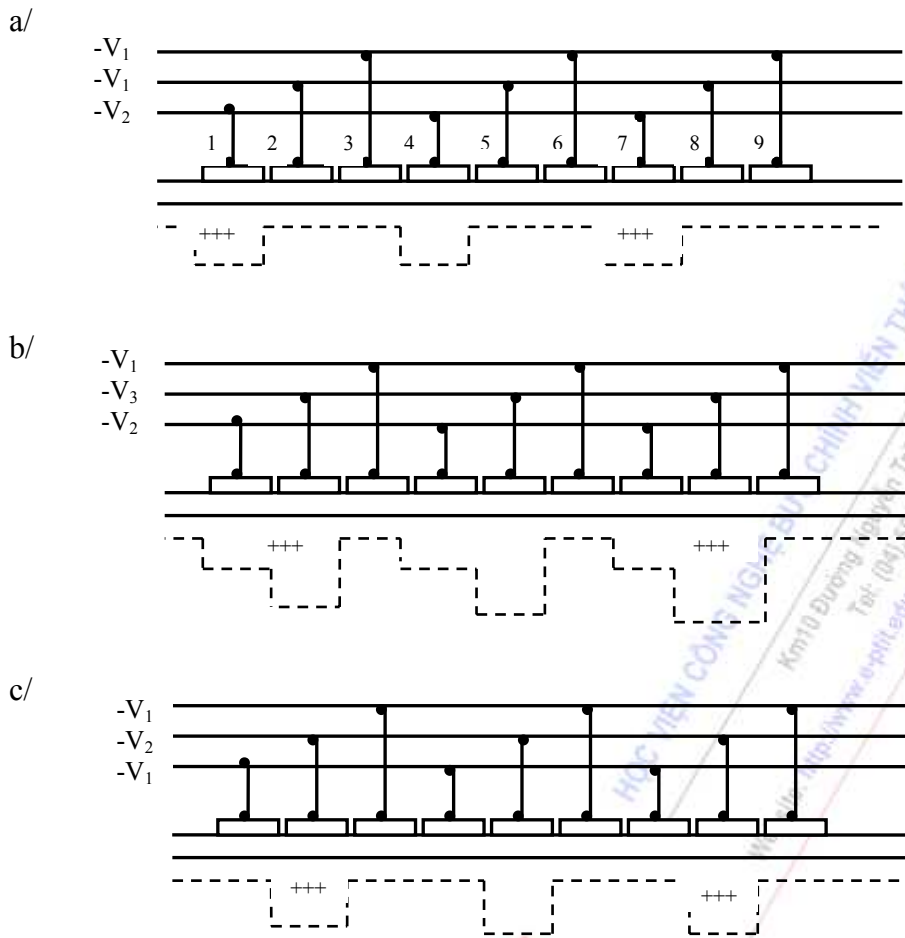
Tổ hợp các detector dùng trong thu hình màu được thực hiện trên vật liệu silic. Tùy theo ứng dụng mà các detector được tổ hợp trên cùng một hàng hay trên cùng một mặt phẳng. Tổ hợp trên cùng một hàng với khoảng cách giữa các sensor từ 10 đến 15μm thì cần từ vài trăm đến vài nghìn detector (mạch tổ hợp LSI). Đối với mạch tổ hợp trên cùng một mặt phẳng, các detector được sắp xếp theo một ma trận. Để có một hình ảnh rõ cho máy video, độ rộng băng tần 3MHz, người ta cần từ 200.000 đến 250.000 detector. Đó là mạch tổ hợp loại VLSI và kỹ thuật Si-MOS được chọn. Theo công nghệ này, mỗi detector có thể là một N⁺ - P điốt plana hoặc một tụ điện loại MOS.

Một CCD thực chất là một bộ dịch chuyển tín hiệu. Tính chất của nó được xác định bởi cách thức tín hiệu từ các detector được dịch chuyển ra ngoài như thế nào để ta có tín hiệu video ở đầu ra. Bộ dịch chuyển có thể hoạt động theo phương pháp analog hoặc digital. Ta sẽ xét về hoạt động của một CCD cấu tạo từ các tụ điện MOS nằm kề bên nhau (xem hình 8-55).



Hình 8 – 55: Cấu trúc của một CCD từ các tụ điện MOS.

Các tụ điện có thể thu, tích trữ và tùy theo điện áp thích ứng có thể dịch chuyển các điện tích từ tụ điện này sang tụ điện khác. Khi thu hình, trong thời gian tích phân, các điện tích được sinh ra do việc hấp thụ ánh sáng và khi đọc, các điện tích này được đẩy ra theo xung đồng bộ để ta có một tín hiệu video ở đầu ra (xem hình 8-56). Ngay sau khi đặt một điện thế thích hợp lên điện cực kế tiếp để có hố điện thế sâu hơn, các điện tích được đẩy vào hố đó. Mỗi điện cực thứ 3 (chân 1, 4, 7...) có điện thế giống nhau. Với điện thế $-V_1 > -V_2 > -V_3$ thì các điện tích sẽ dịch chuyển về phía bên phải theo cách thức của CCD loại 3 pha. Cho ống thu hình màu cần 3 chip CCD cho 3 màu là màu đỏ, xanh lá cây và xanh da trời. Trên thực tế, các ống hình màu được chế tạo chỉ có 1 chip với bộ lọc để sắp xếp sao cho kênh xanh lá cây có số điểm gấp 2 lần số điểm màu đỏ và xanh da trời vì mắt người nhạy với màu xanh lá cây tốt nhất. Để thu hình màu cần có khoảng 400 điểm hình cho một hàng sẽ cho ta một ảnh màu tốt. Ví dụ: Đối với ống thu hình màu dùng 1 chip theo tiêu chuẩn của NTSC cần khoảng 484x400 đơn vị detector, còn của PAL cần tới 580x400 đơn vị detector.



Hình 8 – 56: Hoạt động của một CCD với $-V_1 > -V_2 > -V_3$

Tùy theo sự sắp xếp giữa phần detector và phần nhớ mà ta có các loại CCD khác nhau như: IT (Interline Transfer); FT (Frame Transfer); XY (Cấu trúc với bộ dịch chuyển digital).

TÓM TẮT

Cấu kiện quang điện tử nghiên cứu trong chương 8 gồm các cấu kiện phát quang (cấu kiện biến đổi điện – quang) như LED, LASER và các cấu kiện thu quang (cấu kiện biến đổi quang-điện) như điện trở quang, điốt quang, tranzito quang, thyristo quang...

Điốt phát quang- LED là linh kiện phổ thông của quang điện tử, có tần số hoạt động rất cao, thể tích nhỏ, công suất tiêu hao bé và không sụt áp khi hoạt động. Điốt phát quang được sử dụng rộng rãi ở hai lĩnh vực là LED bức xạ ánh sáng nhìn thấy gọi là LED chỉ thị và LED bức xạ ánh sáng hồng ngoại gọi là LED hồng ngoại. Hai loại LED này có cấu tạo và nguyên lý hoạt động gần giống nhau, chỉ có bước sóng bức xạ ra ở các vùng khác nhau do vật liệu bán dẫn có độ rộng vùng cấm khác nhau theo mối quan hệ:

$$\lambda = \frac{hc}{E_G}$$

Trong đó: h- hằng số Plank ($h = 4,16.10^{-15}$ eV)

c- vận tốc ánh sáng ($c = 3.10^8$ m/s)

E_G - độ rộng vùng cấm, (eV)

Cấu tạo của LED chỉ thị gồm có một lớp tiếp xúc P-N, hai chân cực anốt và catốt. Vật liệu bán dẫn là liên kết của các nguyên tố thuộc nhóm 3 và nhóm 5 của bảng tuần hoàn Mendeleev.

Nguyên lý hoạt động là dựa vào quá trình tái hợp của các hạt dẫn khi điốt được phân cực thuận để bức xạ quang. Điện áp phân cực cho LED gần bằng độ rộng vùng cấm, do đó, đối với các LED bức xạ ở các bước sóng khác nhau sẽ có điện áp phân cực khác nhau. Để cường độ bức xạ cao, các vật liệu chế tạo LED có độ pha tạp lớn, do vậy điện trở của chúng rất nhỏ. Do vậy, khi đấu LED trong mạch ta phải đấu nối tiếp với một điện trở và đấu nối tiếp với nguồn điện. Điện áp phân cực cho LED nằm trong khoảng từ $1,6V \div 3V$. Điện áp phân cực ngược giới hạn cho điốt cũng giới hạn khoảng từ $3V \div 5V$. LED rất nhạy với nhiệt độ, hệ số nhiệt của nó có giá trị âm. Như vậy, khi nhiệt độ tăng thì cường độ bức xạ quang của LED giảm (khoảng $1\%/^{\circ}C$).

LED hồng ngoại có cấu trúc đặc biệt để tạo ra ánh sáng có cường độ cao, thời gian đáp ứng nhanh và hiệu suất quang lượng tử cao. LED cấu trúc dị thể kép gồm 5 lớp bán dẫn có vật liệu và nồng độ pha tạp khác nhau để tạo ra các lớp giam giữ hạt dẫn và giam giữ ánh sáng. Nhờ các lớp giam giữ hạt dẫn mà hiệu suất quang lượng tử được nâng cao và cũng chính nhờ các lớp này mà tập trung được bức xạ quang theo một hướng nhất định. Tuy nhiên, ánh sáng bức xạ ra trong LED đều đẳng hướng và đều là ánh sáng không kết hợp, có cường độ bức xạ không cao và phổ bức xạ lớn.

LASER bán dẫn là một cấu kiện bán dẫn quang dùng để tạo ra và khuếch đại ánh sáng đơn sắc có tính liên kết về pha từ bức xạ tự phát của ánh sáng nên cường độ bức xạ của Laser rất lớn và có phổ bức xạ rất nhỏ (khoảng vài nm).

Cấu tạo của Laser gần giống như LED nhưng phức tạp hơn do yêu cầu về độ giam giữ hạt dẫn và ánh sáng trong một hốc cộng hưởng.

Trong LASER, ba quá trình quang điện đều xảy ra: quá trình hấp thụ photon, quá trình bức xạ tự phát và quá trình bức xạ kích thích. Muốn LASER bức xạ thì ta phải cung cấp cho nó một dòng điện có cường độ lớn hơn giá trị ngưỡng nào đó ($I_{CC} \geq I_{CC \text{ ngưỡng}}$). Lúc đó trạng thái “đảo điện” sẽ xảy ra trong các lớp bán dẫn. Điều kiện để có bức xạ Laser là sự khuếch đại ánh sáng thắng được sự hấp thụ quang trong buồng cộng hưởng của điốt laser. Sự lan truyền ánh sáng dọc theo chiều dài L của hốc cộng hưởng được viết theo công thức sau:

$$E(z,t) = I(z).e^{j(\omega t - \beta z)}$$

Trong đó $I(z)$ - mật độ trường quang theo hướng dọc (z)
 z- khoảng cách theo hướng dọc của hốc cộng hưởng
 ω - tần số góc của ánh sáng
 β - hệ số lan truyền

Mật độ bức xạ quang ứng với các photon có năng lượng $h\nu$ được tính theo công thức:

$$I(z) = I(0)R_1R_2.e^{[I'g(h\nu) - \alpha'(h\nu)]z}$$

Trong đó: α' - hệ số hấp thụ hữu ích của vật liệu
 I' - hệ số giam giữ ánh sáng
 $I(0)$ - mật độ trường quang ban đầu
 g- hệ số khuếch đại quang
 R_1 và R_2 - độ phản xạ của 2 gương phản xạ trong hốc cộng hưởng

Điều kiện để có lasing là một dao động trạng thái bền chiếm giữ và độ lớn cũng như pha của sóng phản hồi có thể bằng các sóng gốc tạo ra nó, đó chính là:

về biên độ: $I(2L) = I(0)$

về pha: $e^{-j\beta 2L} = 1$

Để đạt được điều kiện này thì độ khuếch đại tại ngưỡng lasing g_{th} phải lớn hơn hoặc bằng tổng mất mát α_t trong hốc cộng hưởng.

Đặc tính và tham số của Laser:

Đặc tuyến phát xạ biểu thị quan hệ giữa công suất bức xạ quang và dòng điện cung cấp cho Laser. Để có lasing thì $I_{CC} \geq I_{CC \text{ ngưỡng}}$

Hiệu suất lượng tử vi phân ngoài xác định số photon bức xạ ra trên đơn vị điện tử-lỗ trống:

$$\eta_{\text{ext}} = \frac{qdP}{E_0 dI} = 0,806\lambda \frac{dP}{dI}$$

Khoảng cách tần số $\Delta\nu = \frac{C}{2Ln}$

Khoảng cách bước sóng $\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2Ln}$

Trong đó n – chiết suất của vật liệu bán dẫn chế tạo Laser.

Cấu kiện thu quang có nhiệm vụ biến đổi tín hiệu quang sang tín hiệu điện. Điện trở quang là cấu kiện bán dẫn không có tiếp xúc P-N. Hiện tượng biến đổi quang –điện được thực hiện nhờ hiện tượng hấp thụ quang để tạo ra các đôi điện tử-lỗ trống. Những hạt dẫn mới xuất hiện sẽ chuyển động dưới tác dụng của điện trường và tạo nên dòng quang điện và việc chuyển đổi quang-điện được thực hiện.

Điốt quang là cấu kiện thu quang có tần số làm việc rất cao. Điốt quang có một tiếp xúc P-N và quá trình hấp thụ quang xảy ra cơ bản trong lớp tiếp xúc P-N. Điốt quang loại tiếp xúc P-N cho dòng điện rò nhỏ nhất nhưng có độ nhạy thấp vì lớp tiếp xúc P-N quá hẹp, nên hiệu suất quang lượng tử thấp. Để tăng độ nhạy của điốt quang người ta chế tạo điốt quang loại P-I-N và điốt quang thác APD. Điốt quang loại P-I-N có vùng tích cực là lớp bán dẫn nguyên tính (Intrinsic) dày hơn lớp tiếp xúc P-N nhiều. Do vậy, hiệu suất quang lượng tử được nâng cao dẫn đến cường độ dòng điện quang tăng lên rõ rệt. Dòng điện quang được tính theo công thức:

$$I_{\text{phot}} = q \frac{P_0}{h\nu} \left[1 - \frac{e^{-\alpha_\lambda w}}{1 + \alpha_\lambda L_p} \right] (1 - R_f)$$

Trong đó: q - điện tích của điện tử
 P_0 – công suất quang đi tới điốt quang
 $h\nu$ – năng lượng photon
 α_λ – hệ số hấp thụ ánh sáng tại bước sóng λ
 w – bề dày của lớp bán dẫn nguyên tính
 R_f – độ phản xạ tại bề mặt của điốt quang

Hiệu suất lượng tử là: $\eta = \frac{I_{\text{phot}} / q}{P_0 / h\nu} = 1 - \frac{e^{-\alpha_\lambda w}}{1 + \alpha_\lambda L_p}$

Độ nhạy của điốt quang: $S = \frac{I_{\text{phot}}}{P_0} = \frac{q\eta}{h\nu} = \frac{\eta\lambda}{1,24} \quad [A/w]$

Điốt quang thác (APD) có cấu trúc đặc biệt để tạo ra trong nó một vùng có biến đổi điện áp nhanh và đó chính là vùng thác. Khi các hạt dẫn di chuyển đến vùng thác sẽ được tăng tốc và chúng va chạm với các nguyên tử trung hòa trong vùng này, gây ra hiện tượng i-on hóa

do va chạm. Do vậy, số các hạt dẫn được tăng lên theo cấp số nhân dẫn đến cường độ dòng điện quang của điốt tăng lên như được khuếch đại với hệ số nhân M được tính theo công thức:

$$M = \frac{I_M}{I_{phot}}$$

Trong đó I_M là giá trị trung bình của dòng quang điện nhân tổng đầu ra.

Tế bào quang điện và pin mặt trời là các cấu kiện biến đổi năng lượng quang thành năng lượng điện.

Điốt APD cho độ nhạy cao nhất nhưng nó yêu cầu nguồn cung cấp cao và ổn định.

Tranzito quang là cấu kiện biến đổi tín hiệu quang sang tín hiệu điện và khuếch đại chúng. Tranzito quang có cấu tạo như tranzito thường nhưng cực gốc của nó có diện tích bề mặt lớn để chiếu ánh sáng vào. Khi được chiếu sáng, trong phần gốc sẽ xuất hiện các đôi điện tử-lỗ trống mới. Những hạt dẫn này chuyển động dưới tác dụng của điện trường tạo nên thành phần dòng điện quang. Tổng dòng điện sáng trong tranzito:

$$I_{CS} = \beta I_{phot} + I_{pphot} + I_{Ctối}$$

Tranzito quang có độ nhạy cao hơn so với điốt quang nhưng tần số làm việc thấp hơn nhiều.

Thyristo quang là cấu kiện đóng ngắt mạch. Ánh sáng chỉ có tác dụng mở cho thyristo dẫn chứ không có tác dụng biến đổi tín hiệu trong cấu kiện.

Các bộ ghép quang có nhiệm vụ cách điện giữa các mạch điện có sự khác biệt về điện thế khá lớn mà vẫn truyền dẫn được tín hiệu giữa chúng. Cấu tạo của bộ ghép quang gồm có một linh kiện phát quang (LED) và một linh kiện thu quang đặt gần nhau. Khi đó dòng điện đầu vào của một mạch điện sẽ tạo ra một dòng điện thích ứng ở đầu ra của một mạch điện khác với hệ số truyền đạt CTR được tính theo công thức:

$$CTR = \frac{I_{ra}}{I_{vào}}$$

Cấu kiện hình học trong thông tin quang là những bộ lọc quang. Đó là các bộ lọc quang dùng các linh kiện tán sắc và bộ lọc quang màng mỏng. Bộ lọc quang bằng linh kiện tán sắc (hay còn gọi là bộ ghép kênh tán sắc cạnh) như một bộ phân kênh, ánh sáng đi qua bộ lọc quang sẽ được phân chia thành các kênh có bước sóng đi vào các chùm tia có định hướng không gian khác nhau. Bộ lọc quang màng mỏng được thiết kế để truyền ánh sáng trong một bước sóng cụ thể và để hoặc hấp thụ, hoặc phản xạ tất cả các bước sóng khác. Bộ lọc loại phản xạ thường được sử dụng vì tổn hao của chúng thấp.

Mạch tổ hợp các detector- CCD là một bộ dịch chuyển tín hiệu. CCD có thể được tạo ra từ các điốt hoặc các tụ điện MOS. Các điện tích được tích trữ trong các CCD và dịch chuyển điện tích giữa các tụ điện được thực hiện khi cấp cho chúng những điện áp thích ứng. Các CCD được sử dụng trong các ống thu hình màu, trong các máy video, máy FAX,... để đọc các dữ liệu ra ngoài.

CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của LED chỉ thị?
2. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của LED hồng ngoại dị thể kép?
3. Hãy cho biết các tham số cơ bản của LED?
4. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của mặt chỉ thị tinh thể lỏng LCD loại phản xạ?

5. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của LASER có buồng cộng hưởng cấu trúc dị thể kép?
6. Hãy cho biết các tham số cơ bản của Laser?
7. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của điện trở quang?
8. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của điốt quang loại P-I-N?
9. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của điốt APD?
10. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của tranzito quang?
11. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của thyristo quang?
12. Hãy trình bày về bộ ghép quang và các tham số kỹ thuật của chúng?
13. Trình bày về bộ lọc quang màng mỏng?
14. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của bộ CCD dùng tụ MOS?
15. Năng lượng của ánh sáng có bước sóng 820nm và 1,3 μ m là bao nhiêu electron vôn (eV)?
16. Một laser chế tạo từ Ga_{1-x}Al_xAs với x = 0,07 thì có E_G = 1,5 eV. Hãy tính độ dài bước sóng bức xạ ra?
17. Một laser hoạt động ở bước sóng $\lambda = 850\text{nm}$ có chiều dài hốc cộng hưởng L = 500 μ m và chiết suất n = 3,7.

Hỏi khoảng cách tần số và khoảng cách bước sóng là bao nhiêu ?

18. Hãy điền vào chỗ trống của mệnh đề dưới một trong các nhóm từ sau:
 “Độ dài bước sóng bức xạ được quyết định bởi.....của chất bán dẫn.
 - a. độ dẫn điện;
 - b. nồng độ hạt dẫn
 - c. loại tạp chất pha tạp;
 - d. độ rộng vùng cấm
19. Nguồn sáng trong LED là do quá trình.....
 - a. bức xạ tự phát.
 - b. bức xạ tự phát và bức xạ kích thích.
 - c. bức xạ kích thích.
 - d. hấp thụ và bức xạ kích thích
20. Nguồn sáng trong LASER là do quá trình.....
 - a. bức xạ tự phát.
 - b. bức xạ tự phát và bức xạ kích thích.
 - c. bức xạ kích thích.
 - d. hấp thụ và bức xạ kích thích

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Giáo trình “Cấu kiện điện tử và quang điện tử”- Trần Thị Cẩm, Học viện CNBCVT, năm 2003.
2. “Cấu kiện quang điện tử” - Dương Minh Trí, NXB KHKT năm 1998.
3. “Optical fiber communications” – Gerd Keiser, Mc Graw Hill Inc. 1991.

ĐÁP ÁN BÀI TẬP

- Chương 1: Câu 13: $n_n = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ và $p_n = 2,25 \cdot 10^5 \cdot \text{cm}^{-3}$
- Chương 3: Câu 8: $U_D = 0,53\text{V}$;
 Câu 9: a/ $P_n(0) = 10^{14} \text{ cm}^{-3}$; $n_p(0) = 10^{11} \text{ cm}^{-3}$; b/Tỉ số = $3 \cdot 10^4$.
- Chương 4: Câu 15: $I_{C2} = 96\text{mA}$; $I_{B2} = 4\text{mA}$; $I_{C1} = 3,92\text{mA}$; $I_{B1} = 0,08\text{mA}$; $U_{CE} = 12\text{V}$
 Câu 16: $I_E = 7,5\text{mA}$; $I_B = 1,47\text{mA}$; $I_C = 7,35\text{mA}$; $U_{CE} = 4,55\text{V}$; $S = 24,88$.
 Câu 17: $R = 110\text{K}\Omega$; $S = 9,5$; Câu 18: $R_B = 7\text{K}\Omega$; $S = 94,3$.
- Chương 5: Câu 15: a/ sơ đồ mắc SC; định thiên tự cấp; c/ $U_{GS} = -0,6\text{V}$; $R_S = 600\Omega$.
 Câu 16: $U_{GS} = -0,62\text{V}$; $g_m = 1,11\text{mA/V}$; $R_S = 770\Omega$; $R_D \geq 9\text{K}\Omega$.
 Câu 17: $R_1 = 2\text{K}\Omega$
 Câu 18: a/ FET đầu DC; b/ phân cực kiểu phân áp; c/ trong tài liệu.
 Câu 19: $I_D = 24\text{mA}$; $R_3 = 83\Omega$
- Chương 8: Câu 15: $E_{G1} = 1,5\text{eV}$; $E_{G2} = 0,95\text{eV}$.
 Câu 16: $\lambda = 0,826\mu\text{m}$
 Câu 17: $\Delta\nu = 81\text{GHz}$; $\Delta\lambda = 0,2\text{nm}$



MỤC LỤC

Chương 1: Giới thiệu chung về cấu kiện điện tử	3
Giới thiệu chương	3
Nội dung	3
1.1 Giới thiệu chung	3
1.2 Phân loại cấu kiện điện tử	3
1.3 Khái niệm về mạch điện và hệ thống điện tử	4
1.4 Vật liệu điện tử	4
1.5 Vật liệu từ	5
Tóm tắt nội dung	24
Câu hỏi ôn tập	25
Tài liệu tham khảo	26
Chương 2: Cấu kiện điện tử thụ động	27
Giới thiệu chương	27
Nội dung	27
2.1 Điện trở	27
2.2 Tụ điện	34
2.3 Cuộn cảm	40
2.4 Biến áp	44
Tóm tắt nội dung	49
Câu hỏi ôn tập	50
Tài liệu tham khảo	51
Chương 3: Diot bán dẫn	52
Giới thiệu chương	52
Nội dung	52
3.1 Lớp tiếp xúc P-N	52
3.2 Diot bán dẫn	58
Tóm tắt nội dung	70
Câu hỏi ôn tập	72
Tài liệu tham khảo	72
Chương 4: Tranzitor lưỡng cực (BJT)	73
Giới thiệu chương	73
Nội dung	73
4.1 Cấu tạo và ký hiệu của BJT trong sơ đồ mạch	73
4.2 Các chế độ làm việc của Tranzitor BJT	74
4.3 Đặc tính quá độ của BJT	78
4.4 Các cách mắc của Tranzitor BJT trong sơ đồ khuếch đại	80
4.5 Phân cực cho Tranzitor lưỡng cực	88
4.6 Sơ đồ tương đương ở chế độ khuếch đại tín hiệu nhỏ tần số thấp	96
Tóm tắt nội dung	102
Câu hỏi ôn tập	103
Tài liệu tham khảo	105
Chương 5: Tranzitor trường FET	106
Giới thiệu chương	106

Nội dung.....	106
5.1 Giới thiệu chung về FET	106
5.2 Tranzitor trường loại điều khiển bằng tiếp xúc P-N.....	107
5.3 Tranzitor trường loại cực cửa cách ly.....	116
Tóm tắt nội dung	125
Câu hỏi ôn tập	126
Tài liệu tham khảo.....	128
Chương 6: Cấu kiện Thyristor.....	129
Giới thiệu chương	129
Nội dung.....	129
6.1 Chỉnh lưu Silic có điều khiển	129
6.2 Triac.....	132
6.3 Diac.....	134
6.4 Tranzitor đơn nốt	136
Tóm tắt nội dung	139
Câu hỏi ôn tập	140
Tài liệu tham khảo.....	140
Chương 7: Vi mạch tích hợp	141
Giới thiệu chương	141
Nội dung.....	141
7.1 Khái niệm và phân loại vi mạch tích hợp	141
7.2 Các phương pháp chế tạo mạch tích hợp bán dẫn	143
7.3 Các cấu kiện được tích hợp trong vi mạch	148
7.4 Vi mạch tuyến tính.....	151
7.5 Vi mạch số.....	159
7.6 Vi mạch nhớ.....	160
7.7 Những điểm cần chú ý khi sử dụng vi mạch tích hợp	163
Tóm tắt nội dung	164
Câu hỏi ôn tập	165
Tài liệu tham khảo.....	166
Chương 8: Cấu kiện quang điện tử.....	167
Giới thiệu chương	167
Nội dung.....	167
8.1 Giới thiệu chung	167
8.2 Các cấu kiện biến đổi điện - quang.....	169
8.3 Các cấu kiện biến đổi quang - điện.....	190
8.4 Các bộ ghép quang.....	204
8.5 Cấu kiện quang hình học dùng trong thông tin quang	211
8.6 Cấu kiện CCD	216
Tóm tắt nội dung	221
Câu hỏi ôn tập	221
Tài liệu tham khảo.....	222
Đáp án bài tập	223

CẦU KIẾN ĐIỆN TỬ

Mã số: 492CKT220

Chịu trách nhiệm bản thảo

TRUNG TÂM ĐÀO TẠO BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG 1



TRUNG TÂM ĐÀO TẠO BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG
Số 10 Đường Nguyễn Trãi, Hà Đông-Hà Tây
Tel: (04).5541221; Fax: (04).5540587
Website: <http://www.ptth.edu.vn>; E-mail: dhkx@ptth.edu.vn

CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ

ELECTRONIC DEVICES

KHOA KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ 1

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG - PTIT

7/2008

CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ ELECTRONIC DEVICES

KHOA KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ 1
HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG - PTIT

7/2008

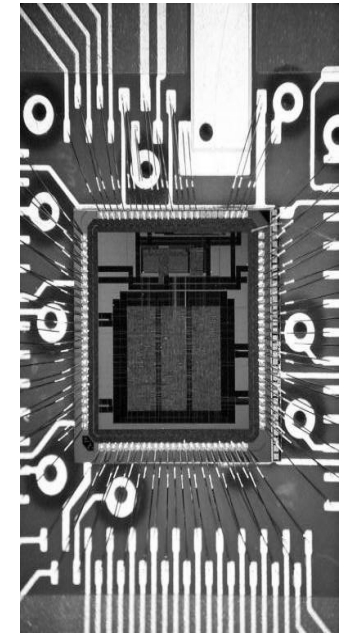
FEE1-PTIT

Lecture 1

1

Nội dung môn học

- Lecture 1- Giới thiệu chung
- Lecture 2- Cấu kiện thụ động
- Lecture 3- Vật lý bán dẫn
- Lecture 4- P-N Junctions (Tiếp giáp P-N)
- Lecture 5- Diode (Điốt)
- Lecture 6- BJT (Transistor lưỡng cực)
- Lecture 7- FET (Transistor hiệu ứng trường)
- Lecture 8- Other Semiconductor Devices:
Thyristor – Triac- Diac-UJT
- Lecture 9- OptoElectronic Devices
(Cấu kiện quang điện tử)



FEE1-PTIT

Lecture 1

2

Tài liệu học tập

- Tài liệu chính:
- + **Lecture Notes**
- + *Giáo trình Cấu kiện điện tử và quang điện tử*, Trần Thị Cẩm, Học viện CNBCVT, 2002
- Tài liệu tham khảo:
- 1. **Electronic Devices and Circuit Theory**, Ninth edition, Robert Boylestad, Louis Nashelsky, Prentice - Hall International, Inc, 2006.
- 2. *Linh kiện bán dẫn và vi mạch*, Hồ Văn Sung, NXB GD, 2005

FEE1-PTIT

Lecture 1

3

Yêu cầu môn học

- Sinh viên phải nắm được kiến thức cơ bản về vật lý bán dẫn, về tiếp giáp PN, cấu tạo, nguyên lý, sơ đồ tương đương, tham số, phân cực, chế độ xoay chiều, phân loại, một số ứng dụng của các loại cấu kiện điện tử được học.
- Sinh viên phải đọc trước các **Lecture Notes** trước khi lên lớp.
- Tích cực trả lời và đặt câu hỏi trên lớp hoặc qua email: caukien@gmail.com
- Làm bài tập thường xuyên, nộp vở bài tập bất cứ khi nào Giảng viên yêu cầu, hoặc qua email: caukien@gmail.com
- Tự thực hành theo yêu cầu với các phần mềm EDA.
- **Điểm môn học:**
 - + Chuyên cần : 10 %
 - + Bài tập : 10 %
 - + Kiểm tra giữa kỳ : 10 %
 - + Thí nghiệm : 10 %
 - + Thi kết thúc : 60 %

Kiểm tra :	- Câu hỏi ngắn - Bài tập
Thi kết thúc:	- Lý thuyết: + Trắc nghiệm + Câu hỏi ngắn - Bài tập

2/116

FEE1-PTIT

Lecture 1

4

Lecture 1 – Giới thiệu chung

- Giới thiệu chung về cấu kiện điện tử
- Phân loại cấu kiện điện tử
- Giới thiệu về vật liệu điện tử
- Nhắc lại kiến thức lý thuyết mạch cần biết
- Giới thiệu các phần mềm EDA hỗ trợ môn học

1. Giới thiệu chung về Cấu kiện điện tử

- Cấu kiện điện tử là các phần tử linh kiện rời rạc, mạch tích hợp (IC) ... tạo nên mạch điện tử, các hệ thống điện tử.
- Cấu kiện điện tử ứng dụng trong nhiều lĩnh vực. Nổi bật nhất là ứng dụng trong lĩnh vực điện tử - viễn thông, CNTT.
- Cấu kiện điện tử rất phong phú, nhiều chủng loại đa dạng.
- Công nghệ chế tạo linh kiện điện tử phát triển mạnh mẽ, tạo ra những vi mạch có mật độ rất lớn (Vi xử lý Pentium 4 - khoảng hơn 40 triệu Transistor...)
- Xu thế các cấu kiện điện tử có mật độ tích hợp ngày càng cao, có tính năng mạnh, tốc độ lớn...

Vi mạch và ứng dụng

Processors

-CPU, DSP, Controllers

Memory chips

-RAM, ROM, EEPROM

Analog

-Thông tin di động,
xử lý audio/video

Programmable

-PLA, FPGA

Embedded systems

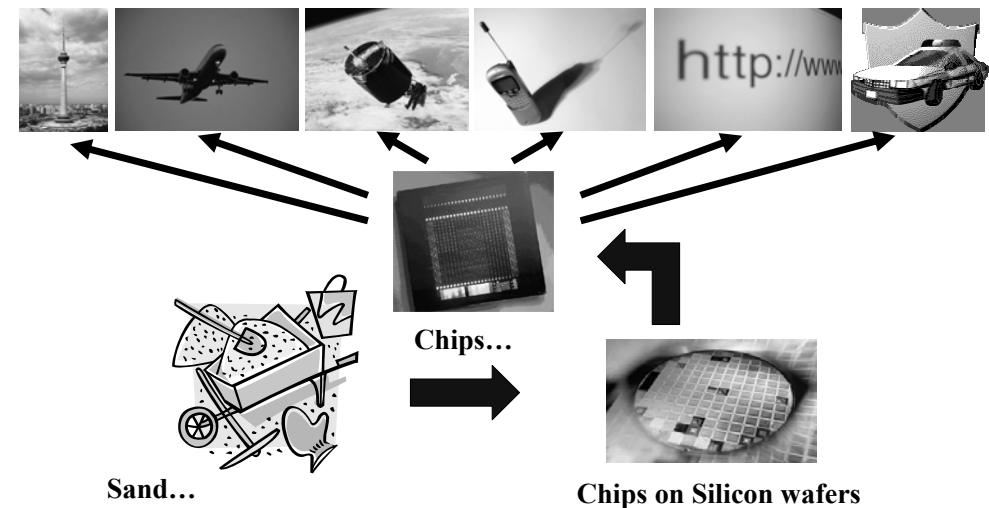
-Thiết bị ô tô, nhà máy
-Network cards

System-on-chip (SoC)



Images: amazon.com

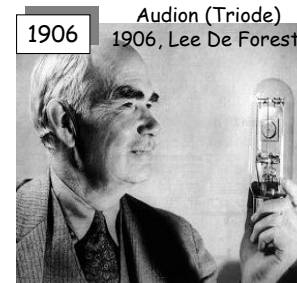
Ứng dụng của linh kiện điện tử



Lịch sử phát triển công nghệ

- Các thiết bị bán dẫn như diodes, transistors và mạch tích hợp (ICs) có thể tìm thấy khắp nơi trong cuộc sống (Walkman, TV, ô tô, máy giặt, máy điều hoà, máy tính,...). Chúng ta ngày càng phụ thuộc vào chúng và những thiết bị này có chất lượng ngày càng cao với giá thành rẻ hơn.
- PCs minh hoạ rất rõ xu hướng này.
- Nhân tố chính đem lại sự phát triển thành công của nền công nghiệp máy tính là việc thông qua các kỹ thuật và kỹ năng công nghiệp tiên tiến người ta chế tạo được các transistor với kích thước ngày càng nhỏ → giảm giá thành và công suất
- Bài học khám phá các đặc tính bên trong của thiết bị bán dẫn, từ đó SV có thể hiểu được mối quan hệ giữa cấu tạo hình học và các tham số của vật liệu, ngoài ra hiểu được các đặc tính về điện của chúng.

Lịch sử phát triển công nghệ



1883 Thomas Alva Edison ("*Edison Effect*")
1904 John Ambrose Fleming ("*Fleming Diode*")

1906 Lee de Forest ("*Triode*")

Vacuum tube devices continued to evolve

1940 Russel Ohl (PN junction)

1947 Bardeen and Brattain (Transistor)

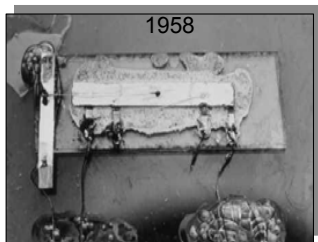
1952 Geoffrey W. A. Dummer (IC concept)

1954 First commercial silicon transistor

1955 First field effect transistor - FET



Lịch sử phát triển công nghệ (cont.)



First integrated circuit (germanium), 1958
Jack S. Kilby, Texas Instruments

Contained five components, three types:
transistors resistors and capacitors

1958 Jack Kilby (Integrated circuit)

1959 Planar technology invented

1960 First MOSFET fabricated

–At Bell Labs by Kahng

1961 First commercial ICs

–Fairchild and Texas Instruments

1962 TTL invented

1963 First PMOS IC produced by RCA

1963 CMOS invented

–Frank Wanlass at Fairchild Semiconductor

–U. S. patent # 3,356,858

–Standby power reduced by six orders of magnitude

Đặc điểm phát triển của mạch tích hợp (IC)

Tỷ lệ giá thành/tính năng của IC giảm 25% –30% mỗi năm.

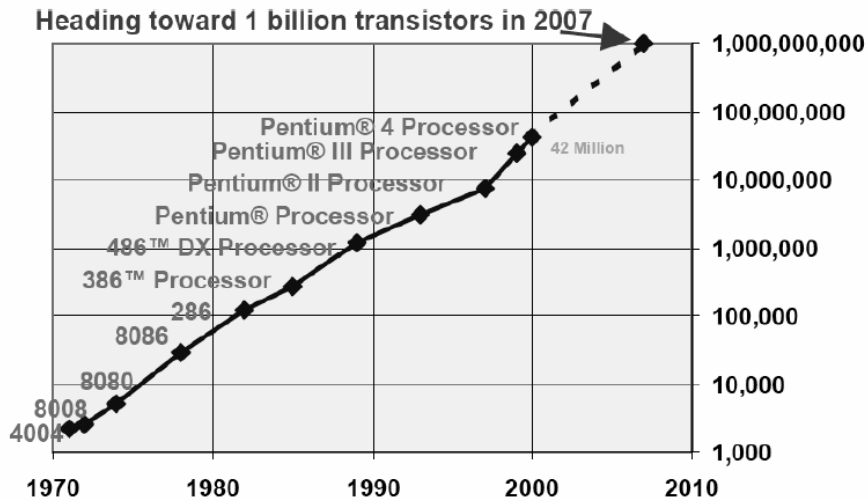
Số chức năng, tốc độ, hiệu suất cho mỗi IC tăng:

Kích thước wafer hợp tăng

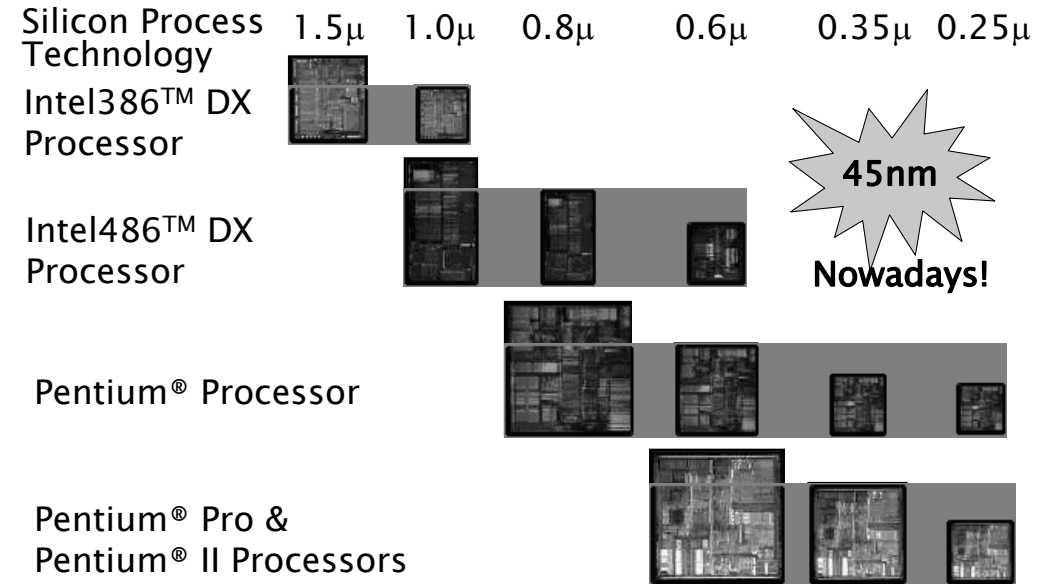
Mật độ tích hợp tăng nhanh

Định luật MOORE

The # of transistors doubles every 18 months



Ví dụ: Intel Processor



2. Phân loại cấu kiện điện tử

2.1 Phân loại dựa trên đặc tính vật lý

2.2 Phân loại dựa trên chức năng xử lý tín hiệu

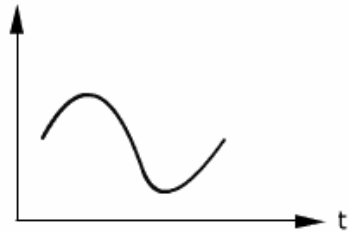
2.3 Phân loại theo ứng dụng

2.1 Phân loại dựa trên đặc tính vật lý

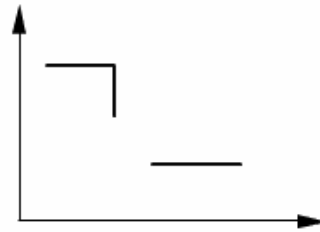
- **Linh kiện hoạt động trên nguyên lý điện tử và hiệu ứng bề mặt:** điện trở bán dẫn, DIOT, BJT, JFET, MOSFET, điện dung MOS... IC từ mật độ thấp đến mật độ siêu cỡ lớn UVLSI
- **Linh kiện hoạt động trên nguyên lý quang điện như:** quang trở, Photodiode, PIN, APD, CCD, họ linh kiện phát quang LED, LASER, họ linh kiện chuyển hoá năng lượng quang điện như pin mặt trời, họ linh kiện hiển thị, IC quang điện tử
- **Linh kiện hoạt động dựa trên nguyên lý cảm biến như:** Họ sensor nhiệt, điện, từ, hoá học, họ sensor cơ, áp suất, quang bức xạ, sinh học và các chủng loại IC thông minh trên cơ sở tổ hợp công nghệ IC truyền thống và công nghệ chế tạo sensor.
- **Linh kiện hoạt động dựa trên hiệu ứng lượng tử và hiệu ứng mới:** các linh kiện được chế tạo bằng công nghệ nano có cấu trúc siêu nhỏ như : Bộ nhớ một điện tử, Transistor một điện tử, giếng và dây lượng tử, linh kiện xuyên hầm một điện tử, ...

2.2 Phân loại dựa trên chức năng xử lý tín hiệu

Cấu kiện điện tử
tương tự (Analog)



Cấu kiện điện tử số
(Digital)



2.3 Phân loại theo ứng dụng

Linh kiện thụ động: R,L,C...

Linh kiện tích cực: DIOT, BJT, JFET, MOSFET...

Vi mạch tích hợp IC: IC tương tự, IC số, Vi xử lý...

Linh kiện chỉnh lưu có điều khiển

Linh kiện quang điện tử: Linh kiện thu quang, phát quang

3. Giới thiệu về vật liệu điện tử

3.1. Chất cách điện

3.2. Chất dẫn điện

3.3. Vật liệu từ

3.4. Chất bán dẫn (Lecture 3)

Cơ sở vật lý của vật liệu điện tử

- Lý thuyết vật lý chất rắn
- Lý thuyết vật lý cơ học lượng tử
- Lý thuyết dải năng lượng của chất rắn
- Lý thuyết vật lý bán dẫn

Lý thuyết vật lý chất rắn

- Vật liệu để chế tạo phần lớn các linh kiện điện tử là loại vật liệu tinh thể rắn
- **Cấu trúc đơn tinh thể:** Trong tinh thể rắn nguyên tử được sắp xếp theo một trật tự nhất định, chỉ cần biết vị trí và một vài đặc tính của một số ít nguyên tử chúng ta có thể đoán vị trí và bản chất hóa học của tất cả các nguyên tử trong mẫu.
- Tuy nhiên trong một số vật liệu có thể nhận thấy rằng các sắp xếp chính xác của các nguyên tử chỉ tồn tại chính xác tại cỡ vài nghìn nguyên tử. Những miền có trật tự như vậy được ngăn cách bởi bờ biên và dọc theo bờ biên này không có trật tự - **cấu trúc đa tinh thể**
- Tính chất tuần hoàn của tinh thể có ảnh hưởng quyết định đến các tính chất điện của vật liệu.

Lý thuyết vật lý cơ học lượng tử

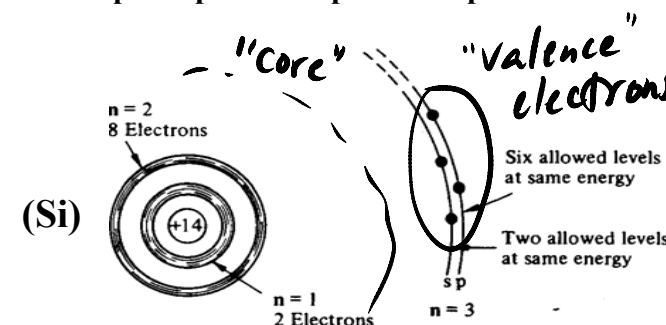
- Trong cấu trúc nguyên tử, điện tử chỉ có thể nằm trên các mức năng lượng gián đoạn nhất định nào đó gọi là các mức năng lượng nguyên tử.
- Nguyên lý Pauli: mỗi điện tử phải nằm trên một mức năng lượng khác nhau.
- Một mức năng lượng được đặc trưng bởi một bộ 4 số lượng tử:
 - + n – số lượng tử chính: 1,2,3,4....
 - + l – số lượng tử quỹ đạo: 0, 1, 2, (n-1) {s, p,d,f,g,h...}
 - + m_l – số lượng tử từ: 0, ±1, ±2, ±3... ±l
 - + m_s – số lượng tử spin: ±1/2
- n, l tăng thì mức năng lượng của nguyên tử tăng, e- được sắp xếp ở lớp, phân lớp có năng lượng nhỏ trước.

Sự hình thành vùng năng lượng

- Giả sử để tạo thành vật liệu giả sử có N nguyên tử giống nhau ở xa vô tận tiến lại gần liên kết với nhau:
 - + Nếu các NT cách xa nhau đến mức có thể coi chúng là hoàn toàn độc lập với nhau thì vị trí của các mức năng lượng của chúng là hoàn toàn trùng nhau (tức là một mức trùng chập).
 - + Khi các NT tiến lại gần nhau đến khoảng cách cỡ A^0 , thì chúng bắt đầu tương tác với nhau thì không thể coi chúng là độc lập nữa. Kết quả là các mức năng lượng nguyên tử không còn trùng chập nữa mà tách ra thành các mức năng lượng rời rạc khác nhau. Ví dụ mức 1s sẽ tạo thành 2.N mức năng lượng khác nhau.
- Nếu số lượng các NT rất lớn và gần nhau thì các mức năng lượng rời rạc đó rất gần nhau và tạo thành một vùng năng lượng như liên tục
- Sự tách một mức năng lượng NT ra thành vùng năng lượng rộng hay hẹp phụ thuộc vào sự tương tác giữa các điện tử thuộc các NT khác nhau với nhau.

Sự hình thành vùng năng lượng

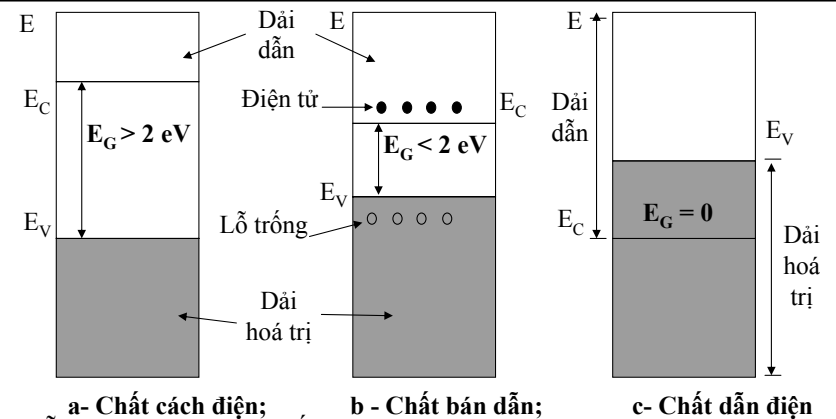
C	6	$1s^2 2s^2 2p^2$
Si	14	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$
Ge	32	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^2$
Sn	50	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^2$



Minh họa sự hình thành vùng năng lượng

- Các vùng năng lượng cho phép xen kẽ nhau, giữa chúng là vùng cấm
- Các điện tử trong chất rắn sẽ điền đầy vào các mức năng lượng trong các vùng cho phép từ thấp đến cao.
- Có thể có : vùng điền đầy hoàn toàn (thường có năng lượng thấp), vùng trống hoàn toàn (thường có năng lượng cao), vùng điền đầy một phần.
- Xét trên lớp ngoài cùng:
 - + Vùng năng lượng đã được điền đầy các điện tử hóa gọi là “**Vùng hóa trị**”
 - + Vùng năng lượng trống hoặc chưa điền đầy trên vùng hóa trị gọi là “**Vùng dẫn**”
 - + Vùng không cho phép giữa Vùng hóa trị và Vùng dẫn là “**Vùng cấm**”
- Tùy theo sự phân bố của các vùng mà tinh thể rắn có tính chất điện khác nhau: Chất cách điện – dẫn điện kém, Chất dẫn điện – dẫn điện tốt, Chất bán dẫn.

Cấu trúc dải năng lượng của vật chất



- a- Chất cách điện;** **b - Chất bán dẫn;** **c- Chất dẫn điện**
- + Độ dẫn điện của của vật chất cũng tăng theo nhiệt độ
 - + Chất bán dẫn: Sự mất 1 điện tử trong dải hóa trị sẽ hình thành một lỗ trống (Mức năng lượng bỏ trống trong dải hóa trị điền đầy, lỗ trống cũng dẫn điện như các điện tử tự do)
 - + Cấu trúc dải năng lượng của kim loại không có vùng cấm, Dưới tác dụng của điện trường ngoài các e- tự do có thể nhận năng lượng và di chuyển lên các trạng thái cao hơn , sự di chuyển này tạo lên dòng điện.

Các loại vật liệu điện tử

Các vật liệu sử dụng trong kỹ thuật điện tử thường được phân chia thành 4 loại:

- Chất cách điện (chất điện môi).
- Chất dẫn điện.
- Vật liệu từ.
- Chất bán dẫn (Lecture 3).**

3.1 CHẤT CÁCH ĐIỆN (CHẤT ĐIỆN MÔI)

a. Định nghĩa

Là chất dẫn điện kém, là các vật chất có điện trở suất cao vào khoảng $10^7 \div 10^{17} \Omega m$ ở nhiệt độ bình thường. Chất cách điện gồm phần lớn các vật liệu vô cơ cũng như hữu cơ.

Đặc tính ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng của linh kiện. Các đặc tính - trị số giới hạn độ bền về điện, nhiệt, cơ học, độ cách điện, sự tổn hao điện môi... Các tính chất của chất điện môi lại phụ thuộc vào nhiệt độ và độ ẩm môi trường.

b. Các tính chất của chất điện môi.

- b.1 Độ thấm thấu điện tương đối (hay còn gọi là hằng số điện môi)
- b.2 Độ tổn hao điện môi (P_d)
- b.3 Độ bền về điện của chất điện môi ($E_{d,t}$)
- b.4 Nhiệt độ chịu đựng
- b.5 Dòng điện trong chất điện môi (I)
- b.6 Điện trở cách điện của chất điện môi

b.1 Hằng số điện môi

$$\varepsilon = \frac{C_d}{C_0} \quad (\text{không thứ nguyên})$$

- C_d là điện dung của tụ điện sử dụng chất điện môi;
- C_0 là điện dung của tụ điện sử dụng chất điện môi là chân không hoặc không khí.

Do đó ε biểu thị khả năng phân cực của chất điện môi. Chất điện môi dùng làm tụ điện cần có hằng số điện môi ε lớn, còn chất điện môi dùng làm chất cách điện có ε nhỏ.

b.2 Độ tổn hao điện môi (P_a)

Độ tổn hao điện môi là công suất điện tổn hao để làm nóng chất điện môi khi đặt nó trong điện trường, được xác định thông qua dòng điện rò.

$$P_a = U^2 \omega C \tan \delta$$

Trong đó:

U là điện áp đặt lên tụ điện (V)

C là điện dung của tụ điện dùng chất điện môi (F)

ω là tần số góc đo bằng rad/s

$\tan \delta$ là góc tổn hao điện môi

Nếu tổn hao điện môi trong tụ điện cơ bản là do điện trở của các bản cực, dây dẫn và tiếp giáp (ví dụ lớp bạc mỏng trong tụ mica và tụ gốm) thì tổn hao điện môi sẽ tăng tỉ lệ với bình phương của tần số:

$$P_a = U^2 \omega^2 C^2 R$$

Do đó, trên thực tế các tụ điện làm việc ở tần số cao cần phải có điện trở của các bản cực, dây dẫn và tiếp giáp nhỏ nên các chi tiết này thường được tráng bạc để giảm điện trở của chúng

b3. Độ bền về điện của chất điện môi ($E_{d,t}$)

- Đặt một chất điện môi vào trong một điện trường, khi tăng cường độ điện trường lên quá một giá trị giới hạn thì chất điện môi đó mất khả năng cách điện \rightarrow hiện tượng đánh thủng chất điện môi.
- Cường độ điện trường tương ứng với điểm đánh thủng gọi là độ bền về điện của chất điện môi đó ($E_{d,t}$).

$$E_{d,t} = \frac{U_{d,t}}{d} \quad [\text{KV/mm}; \text{KV/cm}]$$

$U_{d,t}$ - là điện áp đánh thủng chất điện môi

d - độ dày của chất điện môi

- Hiện tượng đánh thủng chất điện môi có thể do nhiệt, do điện và do quá trình điện hóa.

b5. Dòng điện trong chất điện môi (I)

- **Dòng điện chuyển dịch $I_{C.M.}$** (hay gọi là dòng điện cảm ứng):

Quá trình chuyển dịch phân cực của các điện tích liên kết trong chất điện môi xảy ra cho đến khi đạt được trạng thái cân bằng sẽ tạo nên dòng điện phân cực hay còn gọi là dòng điện chuyển dịch trong chất điện môi $I_{C.M.}$

- **Dòng điện rò I_{r0}** : được tạo ra do các điện tích tự do và điện tử phát xạ ra chuyển động dưới tác động của điện trường.

Nếu dòng rò lớn sẽ làm mất tính chất cách điện của chất điện môi.

Dòng điện tổng qua chất điện môi sẽ là:

$$I = I_{C.M.} + I_{r0}$$

Sau khi quá trình phân cực kết thúc thì qua chất điện môi chỉ còn dòng điện rò

Phân loại: Chất điện môi thụ động và tích cực

- **Chất điện môi thụ động** còn gọi là vật liệu cách điện và vật liệu tụ điện. Đây là các vật chất được dùng làm chất cách điện và làm chất điện môi trong các tụ điện như mica, gốm, thủy tinh, polyme tuyến tính, cao su, sơn, giấy, bột tổng hợp, keo dính,...

- **Chất điện môi tích cực** là các vật liệu có ϵ có thể điều khiển được bằng:

- + Điện trường (VD: gốm, thủy tinh,..)
- + Cơ học (chất áp điện như thạch anh)
- + Ánh sáng (chất huỳnh quang)
- ...

a. Định nghĩa

- Chất dẫn điện là vật liệu có độ dẫn điện cao. Trị số điện trở suất của nó nhỏ hơn so với các loại vật liệu khác. Điện trở suất của chất dẫn điện nằm trong khoảng $10^{-8} \div 10^{-5} \Omega m$.
- Trong tự nhiên chất dẫn điện có thể là chất rắn – kim loại, chất lỏng – kim loại nóng chảy, dung dịch điện phân hoặc chất khí ở điện trường cao.

b. Các tính chất của chất dẫn điện

b.1 Điện trở suất

b.2 Hệ số nhiệt của điện trở suất (α)

b.3 Hệ số dẫn nhiệt : λ

b.4 Công thoát của điện tử trong kim loại

b.5 Điện thế tiếp xúc

3.2 CHẤT DẪN ĐIỆN

b.1 Điện trở suất

- Điện trở của vật liệu trong một đơn vị thiết diện và chiều dài:

$$\rho = R \frac{S}{l} \quad [\Omega.m], [\Omega.mm], [\mu\Omega.m]$$

- Điện trở suất của chất dẫn điện nằm trong khoảng từ: $\rho = 0,016 \mu\Omega.m$ (bạc Ag) đến $\rho = 10 \mu\Omega.m$ (hợp kim sắt - crôm - nhôm)

b.2 Hệ số nhiệt của điện trở suất (α)

- Hệ số nhiệt của điện trở suất biểu thị sự thay đổi của điện trở suất khi nhiệt độ thay đổi 10^0C .

- Khi nhiệt độ tăng thì điện trở suất cũng tăng lên theo quy luật:

$$\rho_t = \rho_0(1 + \alpha t)$$

b.3 Hệ số dẫn nhiệt : λ [w/ (m.K)]

- Hệ số dẫn nhiệt là lượng nhiệt truyền qua một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian khi gradien nhiệt độ bằng đơn vị.

$$Q = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta l} St$$

3.2 CHẤT DẪN ĐIỆN

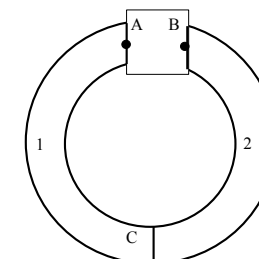
b.4 Công thoát của điện tử trong kim loại:

- Công thoát của kim loại biểu thị năng lượng tối thiểu cần cung cấp cho điện tử đang chuyển động nhanh nhất ở 0^0K để điện tử này có thể thoát ra khỏi bề mặt kim loại. $E_W = E_B - E_F$

b.5 Điện thế tiếp xúc

- Sự chênh lệch thế năng E_{AB} giữa điểm A và B được tính theo công thức:

$$V_{AB} = E_{AB} = E_{W2} - E_{W1}$$



Phân loại và ứng dụng của chất dẫn điện

Phân loại: 2 loại

- **Chất dẫn điện có điện trở suất thấp** – Ag, Cu, Al, Sn, Pb... và một số hợp kim – Thường dùng làm vật liệu dẫn điện.
- **Chất dẫn điện có điện trở suất cao** như Hợp kim Manganin, Constantan, Niken-Crôm, Cacbon – thường dùng để chế tạo các dụng cụ đo điện, các điện trở, biến trở, các dây may so, các thiết bị nung nóng bằng điện.

3.3 VẬT LIỆU TỪ

a. Định nghĩa.

Vật liệu từ là vật liệu khi đặt vào trong một từ trường thì nó bị nhiễm từ.

b. Các tính chất đặc trưng cho vật liệu từ

b.1 Từ trở và từ thẩm

b.2 Độ từ thẩm tương đối (μ_r)

b.3 Đường cong từ hóa

Phân loại và ứng dụng của vật liệu từ

- Vật liệu từ mềm có độ từ thẩm cao và lực kháng từ nhỏ (H_c nhỏ và μ lớn). để làm lõi biến áp, nam châm điện, lõi cuộn cảm...
- Vật liệu từ cứng có độ từ thẩm nhỏ và lực kháng từ cao (H_c lớn và μ nhỏ).
- + Theo ứng dụng thì vật liệu từ cứng có 2 loại:
 - Vật liệu để chế tạo nam châm vĩnh cửu.
 - Vật liệu từ để ghi âm, ghi hình, giữ âm thanh, v.v..
- + Theo công nghệ chế tạo thì chia vật liệu từ cứng thành:
 - Hợp kim thép được tôi thành Martenxit (là vật liệu đơn giản và rẻ nhất để chế tạo nam châm vĩnh cửu)
 - Hợp kim lá từ cứng.
 - Nam châm từ bột.
 - Ferit từ cứng: Ferit Bari ($BaO.6Fe_2O_3$) để chế tạo nam châm dùng ở tần số cao.
 - Băng, sợi kim loại và không kim loại dùng để ghi âm thanh.

4. Nhắc lại kiến thức lý thuyết mạch cần biết

- **Các phần tử mạch điện cơ bản:** R, L, C; Nguồn dòng, nguồn áp không đổi; Nguồn dòng, nguồn áp có điều khiển...
- **Phương pháp cơ bản phân tích mạch điện:**
 - + M1 (Method 1) : Các định luật Kirchoff : KCL, KVL
 - + M2: Xếp chồng (Superposition)
 - + M3: Biến đổi tương đương Thevenin, Norton
- **Mạng bốn cực:** tham số hỗn hợp H

5. Giới thiệu các phần mềm EDA hỗ trợ môn học

- **OrCAD (R 9.2):** Phân tích, mô phỏng cấu kiện và mạch điện tử dùng Pspice. Cài đặt các tool sau:

- + OrCAD Capture CIS
- + OrCAD Capture CIS Option
- + PSpice A/D
- + PSpice Optimizer
- + PSpice Advanced Analysis
- + SPECCTRA 6U for OrCAD

(Hướng dẫn sử dụng Pspice: Tutorial on Pspice (McGill), Pspice Tutorial (UIUC), CircuitMaker User Manual ...)

- **Multisim (R 7)-Electronic Workbench, Circuit Maker, Proteus ...**

- **Mathcad (R 11):** Tính toán biểu thức, giải phương trình toán học phức tạp.

(Sinh viên nên sử dụng Circuit Maker/OrCAD (R 9.2) để thực hành, làm bài tập, phân tích, mô phỏng cấu kiện và mạch điện tử ở nhà)

CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ

ELECTRONIC DEVICES

Lecture 2- Passive Components (Cấu kiện thụ động)

KHOA KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ 1
HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG - PTIT

7/2008

FEE1-PTIT

Lecture 2

1

Lecture 2- Passive Components (Cấu kiện thụ động)

1. Điện trở (Resistor)
2. Tụ điện (Capacitor)
3. Cuộn cảm (Inductor)
4. Biến áp (Transformer)

FEE1-PTIT

Lecture 2

2

1. Điện trở (Resistors)

- 1.1. Định nghĩa
- 1.2. Các tham số kỹ thuật đặc trưng của điện trở
- 1.3. Ký hiệu của điện trở
- 1.4 Cách ghi và đọc tham số trên thân điện trở
- 1.5. Điện trở cao tần và mạch tương đương
- 1.6. Phân loại

FEE1-PTIT

Lecture 2

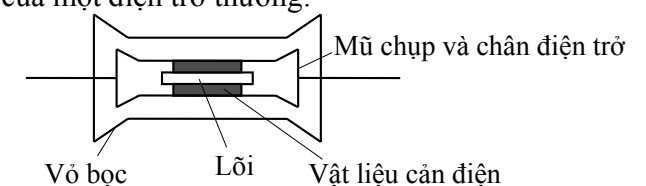
3

1.1 Định nghĩa

- Điện trở là phần tử có chức năng ngăn cản dòng điện trong mạch
- Mức độ ngăn cản dòng điện được đặc trưng bởi trị số điện trở

$$R = \frac{U}{I}$$

- Đơn vị đo: $\mu\Omega$, $m\Omega$, Ω , $k\Omega$, $M\Omega$, $G\Omega$, $T\Omega$
- Điện trở có rất nhiều ứng dụng như: định thiên cho các cấu kiện bán dẫn, điều khiển hệ số khuếch đại, cố định hằng số thời gian, phối hợp trở kháng, phân áp, tạo nhiệt ... Tùy theo ứng dụng, yêu cầu cụ thể và dựa vào đặc tính của các loại điện trở để lựa chọn thích hợp
- Kết cấu đơn giản của một điện trở thường:



13/116

FEE1-PTIT

Lecture 2

4

1.2. Các tham số kỹ thuật và đặc tính của điện trở

- Trị số điện trở và dung sai
- Hệ số nhiệt của điện trở
- Công suất tiêu tán danh định
- Tạp âm của điện trở

a. Trị số điện trở và dung sai

- Trị số của điện trở: (**Resistance [Ohm]-Ω**) được tính theo công thức:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

ρ - điện trở suất của vật liệu dây dẫn cần điện

l - chiều dài dây dẫn

S - tiết diện của dây dẫn

- Dung sai hay sai số (**Resistor Tolerance**): Biểu thị mức độ chênh lệch của trị số thực tế của điện trở so với trị số danh định và được tính theo %.

$$\frac{R_{t.t} - R_{d.d}}{R_{d.d}} 100\%$$

+ Tùy theo dung sai phân chia điện trở thành 5 cấp chính xác (**tolerance levels**):

Cấp 005: có sai số $\pm 0,5\%$

Cấp 01: có sai số $\pm 1\%$

Cấp I: có sai số $\pm 5\%$

Cấp II: có sai số $\pm 10\%$

Cấp III: có sai số $\pm 20\%$

b. Hệ số nhiệt của điện trở - TCR

- TCR (**temperature coefficient of resistance**): biểu thị sự thay đổi trị số của điện trở theo nhiệt độ.

$$TCR = \frac{1}{R} \cdot \frac{\Delta R}{\Delta T} \cdot 10^6 \quad [\text{ppm}/^\circ\text{C}] \quad \rightarrow \quad \Delta R = \frac{R}{10^6} TCR \cdot \Delta T$$

- Hệ số nhiệt của điện trở có thể âm hoặc dương tùy loại vật liệu:
 - + Kim loại thuần thường có hệ số nhiệt dương.
 - + Một số hợp kim (constantin, manganin) có hệ số nhiệt bằng 0
 - + Carbon, than chì có hệ số nhiệt âm

c. Công suất tiêu tán danh định của điện trở ($P_{t.t.max}$)

- $P_{t.t.max}$: công suất điện cao nhất mà điện trở có thể chịu đựng được trong điều kiện bình thường, làm việc trong một thời gian dài không bị hỏng.

$$P_{t.t.max} = R \cdot I_{max}^2 = \frac{U_{max}^2}{R} \quad [W]$$

- $P_{t.t.max}$ tiêu chuẩn cho các điện trở dây quấn nằm trong khoảng từ 1W đến 10W hoặc cao hơn nhiều. Để tỏa nhiệt cần yêu cầu diện tích bề mặt của điện trở phải lớn \rightarrow các điện trở công suất cao đều có kích thước lớn.

- Các điện trở than là các linh kiện có công suất tiêu tán danh định thấp, khoảng 0,125W; 0,25W; 0,5W; 1W và 2W.

d. Tạp âm của điện trở

- Tạp âm của điện trở gồm:

+ Tạp âm nhiệt (**Thermal noise**): sinh ra do sự chuyển động của các hạt mang điện bên trong điện trở do nhiệt độ

$$E_{RMS} = \sqrt{4.k.R.T.\Delta f}$$

E_{RMS} = the *Root-Mean-Square* or RMS voltage level

k = Boltzmann constant ($1,38.10^{-23}$)

T = temperature in Kelvin (Room temp = $27^{\circ}\text{C} = 300^{\circ}\text{K}$)

R = resistance

Δf = Circuit bandwidth in Hz ($\Delta f = f_2 - f_1$)

d. Tạp âm của điện trở

+ Tạp âm dòng điện (**Current Noise**): sinh do các thay đổi bên trong của điện trở khi có dòng điện chạy qua nó

$$E_{RMS} = U_{DC} \cdot 10^{NI/20} \sqrt{\log\left(\frac{f_2}{f_1}\right)}$$

$$NI = 20 \log_{10}\left(\frac{U_{noise}}{U_{DC}}\right)$$

- Trong đó:

+ NI: Noise Index (Hệ số nhiễu).

+ U_{DC} : điện áp không đổi đặt trên 2 đầu điện trở

+ U_{noise} : điện áp tạp âm dòng điện

+ $f_1 \rightarrow f_2$: khoảng tần số làm việc của điện trở

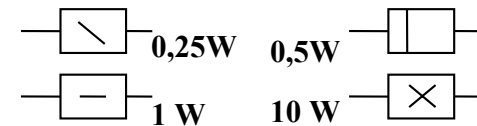
Mức tạp âm phụ thuộc chủ yếu vào loại vật liệu cản điện. Bột than nên có mức tạp âm cao nhất. Màng kim loại và dây quấn có mức tạp âm rất thấp.

1.3 Ký hiệu của điện trở trên các sơ đồ mạch

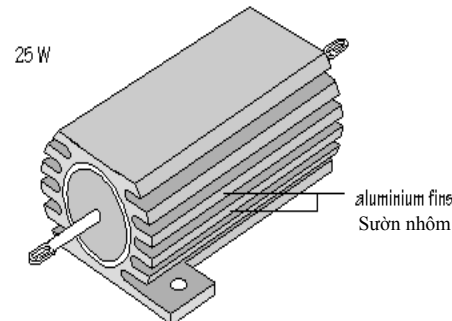
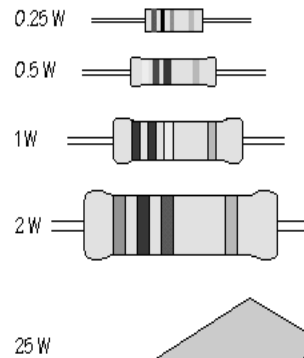
Điện trở thường



Điện trở công suất



Biến trở



1.4 Cách ghi và đọc tham số trên thân điện trở

- **Cách ghi trực tiếp:** ghi đầy đủ các tham số chính và đơn vị đo trên thân của điện trở, ví dụ: 220K Ω 10%, 2W

- **Cách ghi theo quy ước:** có rất nhiều các quy ước khác nhau. Xét một số cách quy ước thông dụng:

+ **Quy ước đơn giản:** Không ghi đơn vị Ôm, R (hoặc E) = Ω ,

M = M Ω , K = K Ω

Ví dụ: 2M=2M Ω , 0K47=0,47K Ω = 470 Ω , 100K = 100 K Ω ,

220E = 220 Ω , R47 = 0,47 Ω

+ **Quy ước theo mã:** Mã này gồm các chữ số và một chữ cái để chỉ % dung sai. Trong các chữ số thì chữ số cuối cùng chỉ số số 0 cần thêm vào. Các chữ cái chỉ % dung sai quy ước gồm: F = 1 %, G = 2 %, J = 5 %, K = 10 %, M = 20 %.

Ví dụ: 103F = 10000 Ω \pm 1% = 10K \pm 1%

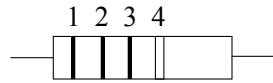
153G = 15000 Ω \pm 2% = 15 K Ω \pm 2%

4703J = 470000 Ω \pm 5% = 470K Ω \pm 5%

1.4 Cách ghi và đọc tham số trên thân điện trở

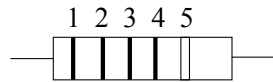
+ Quy ước màu:

- Loại 4 vòng màu:



(Nâu-đen-đỏ-Không màu) =

- Loại 5 vạch màu:

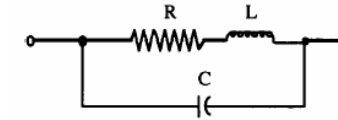


(Nâu-cam-vàng-đỏ-Bạch kim) =

Màu	Giá trị
Đen	0
Nâu	1
Đỏ	2
Cam	3
Vàng	4
Lục	5
Lam	6
Tím	7
Xám	8
Trắng	9
Vàng kim	0,1 / 5%
Bạch kim	0,001 / 10%
Không màu	- / 20%

1.5 Điện trở cao tần và mạch tương đương

- Khi làm việc ở tần số cao điện cảm và điện dung ký sinh là đáng kể, Sơ đồ tương đương của điện trở ở tần số cao như sau:



- Tần số làm việc hiệu dụng của điện trở được xác định sao cho sự sai khác giữa trở kháng tương đương của nó so với giá trị điện trở danh định không vượt quá dung sai.

- Đặc tính tần số của điện trở phụ thuộc vào cấu trúc, vật liệu chế tạo... Kích thước điện trở càng nhỏ thì đặc tính tần số càng tốt, điện trở cao tần thường có tỷ lệ kích thước là từ 4:1 đến 10:1

1.6 Phân loại điện trở

- + Điện trở có trị số cố định
- + Điện trở có trị số thay đổi

a. Điện trở cố định

- Thường được phân loại theo vật liệu cản điện
- + Điện trở than tổng hợp (than nén): cấu trúc từ hỗn hợp bột cacbon (bột than chì) được đóng thành khuôn, kích thước nhỏ và giá thành rất rẻ.
- + Điện trở than nhiệt giải hoặc than màng (màng than tinh thể).
- + Điện trở dây quấn
- + Điện trở màng hợp kim, màng oxit kim loại hoặc điện trở miếng.
- + Điện trở cermet (gốm kim loại).

- Ngoài ra còn phân loại theo kết cấu đầu nối để phục vụ lắp ráp; phân loại theo loại vỏ bọc để dùng ở những môi trường khác nhau; phân loại theo loại ứng dụng....

1.6 Phân loại điện trở

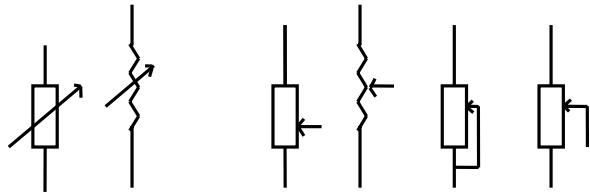
- Các đặc tính chính của điện trở cố định

Loại điện trở	Trị số R	$P_{t.t,max}$ [w]	t° làm việc $^{\circ}C$	TCR ppm/ $^{\circ}C$
Chính xác				
Dây quấn	0,1 Ω ÷ 1,2M	1/8 ÷ 3/4 ở 125 $^{\circ}C$	-55 ÷ +145	± 10
Màng hợp kim	10 Ω ÷ 5M	1/20 ÷ 1/2 ở 125 $^{\circ}C$	-55 ÷ +125	± 25
Bán chính xác				
Oxit kim loại	10 Ω ÷ 1,5M	1/4 ÷ 2 ở 70 $^{\circ}C$	-55 ÷ +150	± 200
Cermet	10 Ω ÷ 1,5M	1/20 ÷ 1/2 ở 125 $^{\circ}C$	-55 ÷ +175	± 200
Than màng	10 Ω ÷ 5M	1/8 ÷ 1 ở 70 $^{\circ}C$	-55 ÷ +165	± 200; ± 510
Đa dụng				
Than tổng hợp	2,7 Ω ÷ 100M	1/8 ÷ 2 ở 70 $^{\circ}C$	-55 ÷ +130	± 1500
Công suất				
Dây quấn	0,1 Ω ÷ 180K	1 ÷ 21 ở 25 $^{\circ}C$	-55 ÷ +275	± 200
Hình ống	1,0 Ω ÷ 3,8K	5 ÷ 30 ở 25 $^{\circ}C$	-55 ÷ +275	± 50
Bật sườn máy	0,1 Ω ÷ 40K	1 ÷ 10 ở 25 $^{\circ}C$	-55 ÷ +275	± 20
Chính xác	20 Ω ÷ 2M	7 ÷ 1000 ở 25 $^{\circ}C$	-55 ÷ +225	± 500
Màng kim loại				
Điện trở miếng (màng vi điện tử)	1 Ω ÷ 22M		-55 ÷ +125	± 25 đến ± 200

1.6 Phân loại điện trở

b. Biến trở

- Dạng kiểm soát dòng công suất lớn dùng dây quấn (ít gặp trong các mạch điện trở)
- Chiết áp: so với điện trở cố định thì nó có thêm một kết cấu con chạy gắn với một trục xoay để điều chỉnh trị số điện trở. Con chạy có kết cấu kiểu xoay (chiết áp xoay) hoặc theo kiểu trượt (chiết áp trượt). Chiết áp có 3 đầu ra, đầu giữa ứng với con trượt còn hai đầu ứng với hai đầu của điện trở.

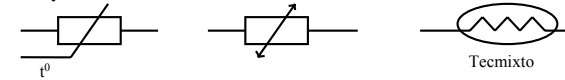


a. loại kiểm soát dòng

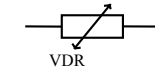
b. loại chiết áp

Một số điện trở đặc biệt

- Điện trở nhiệt: Thermistor



- Điện trở Varixto:



- Điện trở Mêgôm: có trị số điện trở từ $10^8 \div 10^{15} \Omega$

- Điện trở cao áp: Là điện trở chịu được điện áp cao 5 KV ÷ 20 KV.

- Điện trở chuẩn: Là các điện trở dùng vật liệu dây quấn đặc biệt có độ ổn định cao.

- Mạng điện trở: Mạng điện trở là một loại vi mạch tích hợp có 2 hàng chân. Một phương pháp chế tạo là dùng công nghệ màng mỏng, trong đó dung dịch chất dẫn điện được lắng đọng trong một hình dạng theo yêu cầu.

2. Tụ điện (Capacitors)

2.1. Định nghĩa

2.2. Các tham số kỹ thuật đặc trưng của tụ điện

2.3. Ký hiệu của tụ điện

2.4 Cách ghi và đọc tham số trên tụ điện

2.5. Sơ đồ tương đương

2.6. Phân loại

2.1 Định nghĩa

- Tụ điện là linh kiện dùng để chứa điện tích. Một tụ điện lý tưởng có điện tích ở bản cực tỉ lệ thuận với hiệu điện thế đặt trên nó theo công thức: $Q = C \cdot U$ [culông]

- Dung lượng của tụ điện C [F]

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 \cdot S}{d}$$

ϵ_r - hằng số điện môi của chất điện môi

ϵ_0 - hằng số điện môi của không khí

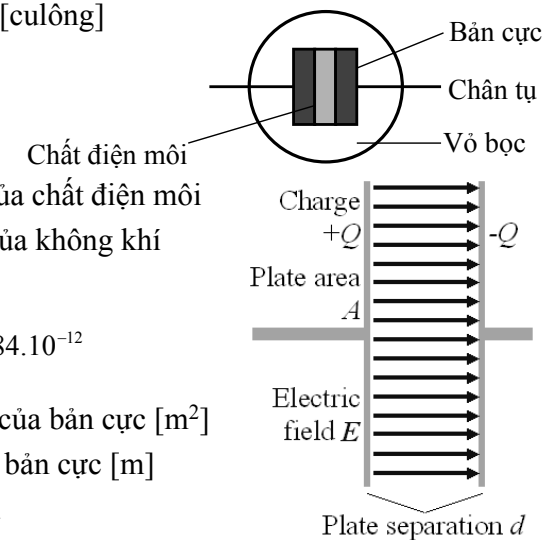
hay chân không

$$\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \cdot 10^9} = 8,84 \cdot 10^{-12}$$

S - diện tích hữu dụng của bản cực [m^2]

d - khoảng cách giữa 2 bản cực [m]

- Đơn vị đo C : F, μF , nF, pF ...



2.2 Các tham số kỹ thuật đặc trưng của tụ điện

- Trị số dung lượng và dung sai
- Điện áp làm việc
- Hệ số nhiệt
- Dòng điện rò
- Sự phân cực

2.2 Các tham số kỹ thuật đặc trưng của tụ điện

a. Trị số dung lượng (C)

Dung sai của tụ điện: Đây là tham số chỉ độ chính xác của trị số dung lượng thực tế so với trị số danh định của nó. Dung sai của tụ điện được tính theo công thức :

$$\frac{C_{t.t} - C_{d.d}}{C_{d.d}} \cdot 100\%$$

b. Điện áp làm việc: Điện áp cực đại có thể cung cấp cho tụ điện hay còn gọi là "**điện áp làm việc một chiều**", nếu quá điện áp này lớp cách điện sẽ bị đánh thủng và làm hỏng tụ.

c. Hệ số nhiệt

- Mỗi một loại tụ điện chịu một ảnh hưởng với khoảng nhiệt độ do nhà sản xuất xác định. Khoảng nhiệt độ tiêu chuẩn thường từ:

-20°C đến +65°C

-40°C đến +65°C

-55°C đến +125°C

- Để đánh giá sự thay đổi của trị số điện dung khi nhiệt độ thay đổi người ta dùng hệ số nhiệt TCC và tính theo công thức sau:

$$TCC = \frac{1}{C} \frac{\Delta C}{\Delta T} \cdot 10^6 \quad [\text{ppm}/^\circ\text{C}]$$

d. Dòng điện rò

- Do chất cách điện đặt giữa 2 bản cực nên sẽ có một dòng điện rò rất bé chạy qua giữa 2 bản cực của tụ điện. Trị số I_{r0} phụ thuộc vào điện trở cách điện của chất điện môi.

- Đặc trưng cho I_{r0} có thể dùng tham số điện trở cách điện của tụ (có trị số khoảng vài MΩ và phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ) nếu tụ có dòng điện rò nhỏ

- Tụ điện màng Plastic có điện trở cách điện cao hơn 100000 MΩ, còn tụ điện điện giải thì dòng điện rò có thể lên tới vài μA khi điện áp đặt vào 2 bản cực của tụ chỉ 10 Vôn.

- Đối với điện áp xoay chiều, tổn hao công suất trong tụ được thể hiện qua hệ số tổn hao D:

$$D = \frac{1}{Q} = \frac{P_{th}}{P_{pk}}$$

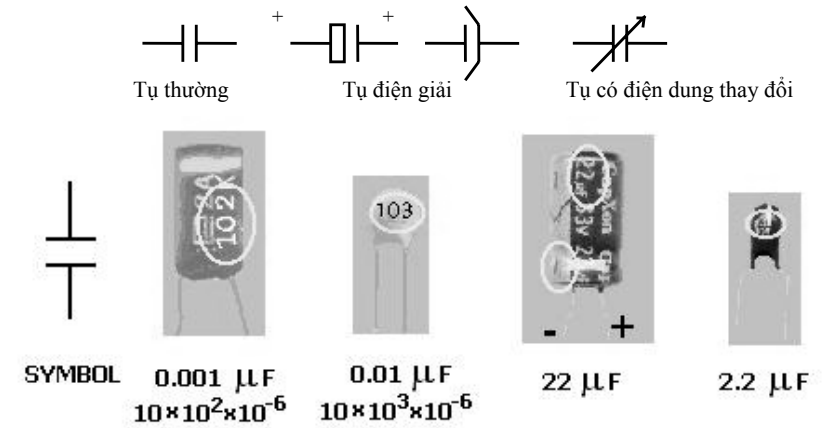
- Tụ tổn hao nhỏ dùng sơ đồ tương đương nối tiếp : ...

- Tụ tổn hao lớn dùng sơ đồ tương đương song song: ...

e. Sự phân cực

- Các tụ điện điện giải ở các chân tụ thường có đánh dấu cực tính dương (dấu +) hoặc âm (dấu -) gọi là sự phân cực của tụ điện. Khi sử dụng phải đấu tụ vào mạch sao cho đúng cực tính của tụ. Như vậy chỉ sử dụng loại tụ này vào những vị trí có điện áp làm việc không thay đổi cực tính.

2.3 Ký hiệu của tụ



Tụ điện lớn thường có tham số điện dung ghi trực tiếp, tụ điện nhỏ thường dùng mã: XYZ = XY * 10^Z pF

2.4 Cách đọc và ghi trị số trên tụ

- Hai tham số quan trọng nhất thường được ghi trên thân tụ điện là trị số điện dung (kèm theo dung sai sản xuất) và điện áp làm việc (điện áp lớn nhất). Có 2 cách ghi cơ bản:
- **Ghi trực tiếp:** cách ghi đầy đủ các tham số và đơn vị đo của chúng. Cách này chỉ dùng cho các loại tụ điện có kích thước lớn.

Ví dụ: Trên thân một tụ mi ca có ghi: 5.000PF ± 20% 600V

- **Cách ghi gián tiếp theo qui ước :**

+ *Ghi theo qui ước số:* Cách ghi này thường gặp ở các tụ Polystylen

Ví dụ 1: Trên thân tụ có ghi 47/ 630: tức giá trị điện dung là 47 pF, điện áp làm việc một chiều là 630 Vdc.

Ví dụ 2: Trên thân tụ có ghi 0.01/100: tức là giá trị điện dung là 0,01 μF và điện áp làm việc một chiều là 100 Vdc.

+ *Quy ước theo mã:* Giống như điện trở: 123K/50V = 12000 pF ± 10% và điện áp làm việc lớn nhất 50 Vdc

2.4 Cách đọc và ghi trị số trên tụ

+ *Ghi theo quy ước màu:*

- Loại có 4 vạch màu:

Hai vạch đầu là số có nghĩa thực của nó

Vạch thứ ba là số nhân (đơn vị pF) hoặc số số 0 cần thêm vào

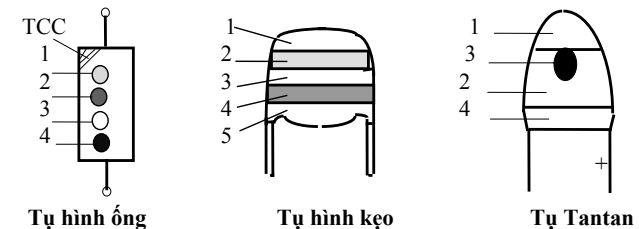
Vạch thứ tư chỉ điện áp làm việc.

- Loại có 5 vạch màu:

Ba vạch màu đầu giống như loại 4 vạch màu

Vạch màu thứ tư chỉ % dung sai

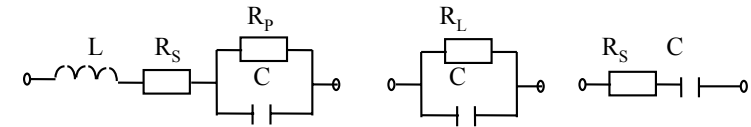
Vạch màu thứ 5 chỉ điện áp làm việc



2.4 Cách đọc và ghi trị số trên tụ

Table 2 Letter tolerance code	
Letter symbol	Tolerance of capacitor
B	+/- 0.10%
C	+/- 0.25%
D	+/- 0.5%
E	+/- 0.5%
F	+/- 1%
G	+/- 2%
H	+/- 3%
J	+/- 5%
K	+/- 10%
M	+/- 20%
N	+/- 0.05%
P	+100%, -0%
Z	+80%, -20%

2.5 Sơ đồ tương đương của tụ



a. Sơ đồ tương đương tổng quát

b. Sơ đồ tương đương song song

c. sơ đồ tương đương nối tiếp

L - là điện cảm của đầu nối, dây dẫn (ở tần số thấp $L \approx 0$)

R_S - là điện trở của đầu nối, dây dẫn và bản cực (R_S thường rất nhỏ)

R_P - là điện trở rò của chất cách điện và vỏ bọc.

R_L, R_S - là điện trở rò của chất cách điện

C - là tụ điện lý tưởng

2.6 Phân loại tụ điện

- Tụ điện có trị số điện dung cố định
- Tụ điện có trị số điện dung thay đổi được.

a. Tụ điện có trị số điện dung cố định:

+ **Tụ giấy:** chất điện môi là giấy, thường có trị số điện dung khoảng từ 500 pF đến 50 μ F và điện áp làm việc đến 600 Vdc. Tụ giấy có giá thành rẻ nhất so với các loại tụ có cùng trị số điện dung.

Ưu điểm: kích thước nhỏ, điện dung lớn.

Nhược điểm: Tồn hao điện môi lớn, TCC lớn.

+ **Tụ màng chất dẻo:** chất điện môi là chất dẻo, có điện trở cách điện lớn hơn 100000 M Ω . Điện áp làm việc cao khoảng 600V. Dung sai tiêu chuẩn của tụ là $\pm 2,5\%$; hệ số nhiệt từ 60 đến 150 ppm/ $^{\circ}$ C

Tụ màng chất dẻo nhỏ hơn tụ giấy nhưng đắt hơn. Giá trị điện dung của tụ tiêu chuẩn nằm trong khoảng từ 5 pF đến 0,47 μ F.

2.6 Phân loại tụ điện

+ **Tụ mica:** chất điện môi là mica, tụ mica tiêu chuẩn có giá trị điện dung khoảng từ 1 pF đến 0,1 μ F và điện áp làm việc cao đến 3500V tùy.

Nhược điểm: giá thành của tụ cao.

Ưu điểm: Tồn hao điện môi nhỏ, Điện trở cách điện rất cao, chịu được nhiệt độ cao.

+ **Tụ gốm:** chất điện môi là gốm. Màng kim loại được lắng đọng trên mỗi mặt của một đĩa gốm mỏng và dây dẫn nối tới màng kim loại. Tất cả được bọc trong một vỏ chất dẻo.

Giá trị điện dung của tụ gốm tiêu chuẩn khoảng từ 1 pF đến 0,1 μ F, với điện áp làm việc một chiều đến 1000 Vdc

Đặc điểm của tụ gốm là kích thước nhỏ, điện dung lớn, có tính ổn định rất tốt, có thể làm việc lâu dài mà không lão hoá.

+ **Tụ dầu:** chất điện môi là dầu

Tụ dầu có điện dung lớn, chịu được điện áp cao

Có tính năng cách điện tốt, có thể chế tạo thành tụ cao áp.

Kết cấu đơn giản, dễ sản xuất.

2.6 Phân loại tụ điện

+ Tụ điện giải nhôm: Cấu trúc cơ bản là giống tụ giấy. Hai lá nhôm mỏng làm hai bản cực đặt cách nhau bằng lớp vải mỏng được tẩm chất điện phân (dung dịch điện phân), sau đó được quấn lại và cho vào trong một khối trụ bằng nhôm để bảo vệ.

Các tụ điện giải nhôm thông dụng thường làm việc với điện áp một chiều lớn hơn 400 Vdc, trong trường hợp này, điện dung không quá 100 μF . Điện áp làm việc thấp và dòng rò tương đối lớn

+ Tụ tantan: (chất điện giải Tantan) Đây là một loại tụ điện giải, Bột tantan được cô đặc thành dạng hình trụ, sau đó được nhấn chìm vào một hộp chứa chất điện phân. Dung dịch điện phân sẽ thấm vào chất tantan. Khi đặt một điện áp một chiều lên hai chân tụ thì một lớp oxit mỏng được tạo thành ở vùng tiếp xúc của chất điện phân và tantan.

Tụ tantan có điện áp làm việc lên đến 630 Vdc nhưng giá trị điện dung chỉ khoảng 3,5 μF .

2.6 Phân loại tụ điện

b. Tụ điện có trị số điện dung thay đổi

+ Loại đa dụng còn gọi là tụ xoay: Tụ xoay được dùng làm tụ điều chỉnh thu sóng trong các máy thu thanh, v.v.. Tụ xoay có thể có 1 ngăn hoặc nhiều ngăn. Mỗi ngăn có các lá động xen kẽ, đối nhau với các lá tĩnh (lá giữ cố định) chế tạo từ nhôm. Chất điện môi có thể là không khí, mica, màng chất dẻo, gốm, v.v..

+ Tụ vi điều chỉnh (thường gọi tắt là Trimcap), có nhiều kiểu. Chất điện môi cũng dùng nhiều loại như không khí, màng chất dẻo, thủy tinh hình ống... Trong các loại Trimcap chuyên dùng, thường gặp nhất là loại chất điện môi gốm. Để thay đổi trị số điện dung ta thay đổi vị trí giữa hai lá động và lá tĩnh. Khoảng điều chỉnh của tụ từ 1,5 pF đến 3 pF, hoặc từ 7 pF đến 45 pF và từ 20 pF đến 120 pF tùy theo hệ số nhiệt cần thiết.

Ứng dụng

+ Tụ không cho dòng điện một chiều qua nhưng lại dẫn dòng điện xoay chiều, nên tụ thường dùng để cho qua tín hiệu xoay chiều đồng thời vẫn ngăn cách được dòng một chiều giữa mạch này với mạch khác, gọi là **tụ liên lạc**.

+ Tụ dùng để triệt bỏ tín hiệu không cần thiết từ một điểm trên mạch xuống đất (ví dụ như tạp âm), gọi là **tụ thoát**.

+ Tụ dùng làm phần tử dung kháng trong các mạch cộng hưởng LC gọi là **tụ cộng hưởng**.

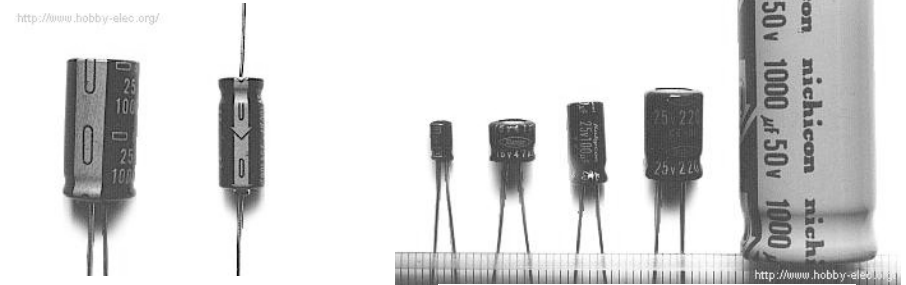
+ Tụ dùng trong mạch lọc gọi là tụ lọc. Tụ dùng trong các mạch chia dải tần làm việc, tụ cộng hưởng v.v..Tụ dùng cho mục đích này thuộc nhóm chính xác.

+ **Các tụ trong nhóm đa dụng** dùng để liên lạc, lọc nguồn điện, thoát tín hiệu ... ngoài ra tụ còn dùng để trữ năng lượng, định thời...

+ Do có tính nạp điện và phóng điện, tụ dùng để tạo mạch định giờ, mạch phát sóng răng cưa, mạch vi phân và tích phân.

Một số hình ảnh của Tụ điện

Tụ hoá (Electrolytic Capacitors)

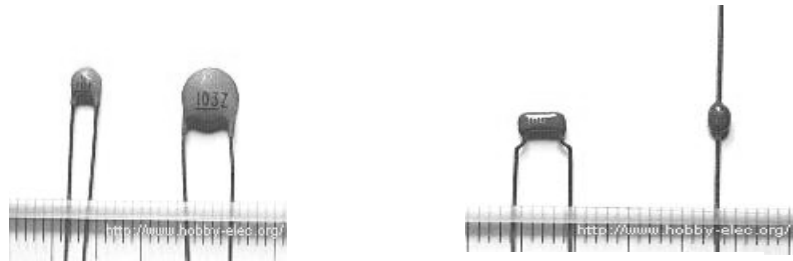


Tụ Tantam (Tantalum Capacitors)

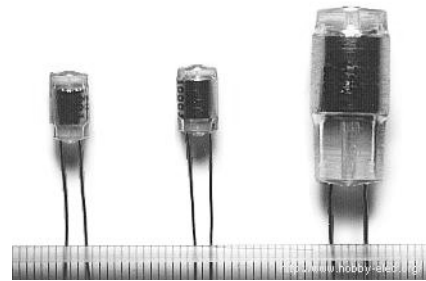


Một số hình ảnh của Tụ điện

Tụ gốm (Ceramic Capacitors) Tụ gốm nhiều tầng (Multilayer Ceramic Capacitors)



Tụ film nhựa (Polystyrene Film Capacitors)



FEE1-PTIT

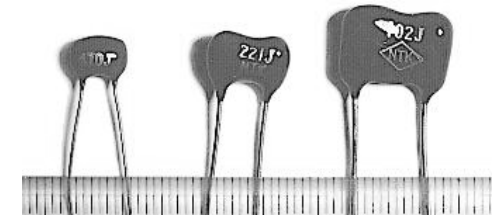
Lecture 2

37

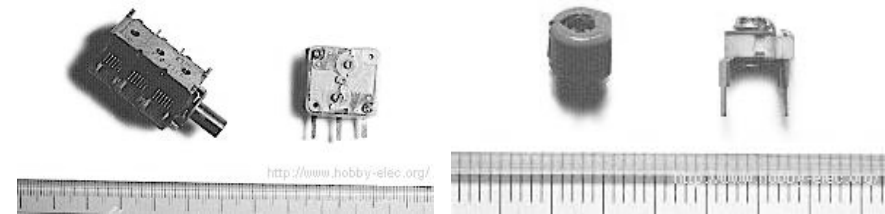
Một số hình ảnh của Tụ điện

Tụ Mica

<http://www.hobby-elec.org/>



Biến dung

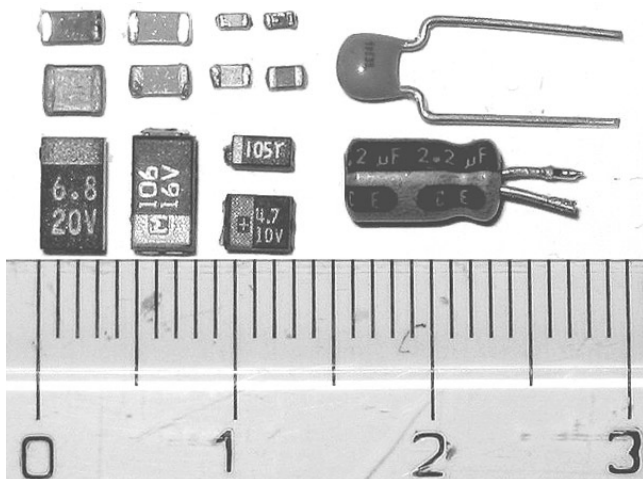


FEE1-PTIT

Lecture 2

38

Một số hình ảnh của Tụ điện



Capacitors: SDM ceramic at top left; SMD tantalum at bottom left; through-hole tantalum at top right; through-hole electrolytic at bottom right. Major scale divisions are cm.

Surface mount technology (SMT)

FEE1-PTIT

Lecture 2

39

Một số hình ảnh của Tụ điện

Various types of capacitors.



tantalum capacitor



Polypropylene Capacitor



Polyester capacitor



High Voltage/power Capacitors



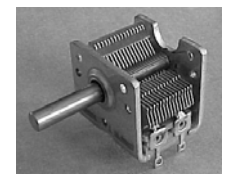
Multilayer Chip Ceramic Capacitor



Motor Running & Start Capacitors



Variable Capacitor



Tuning/Air Variable Capacitor

FEE1-PTIT

Lecture 2

40

3. Cuộn cảm (Inductor)

3.1. Định nghĩa

3.2 Ký hiệu của cuộn dây.

3.3 Các tham số kỹ thuật đặc trưng của cuộn dây

3.4 Cách ghi và đọc tham số trên cuộn dây

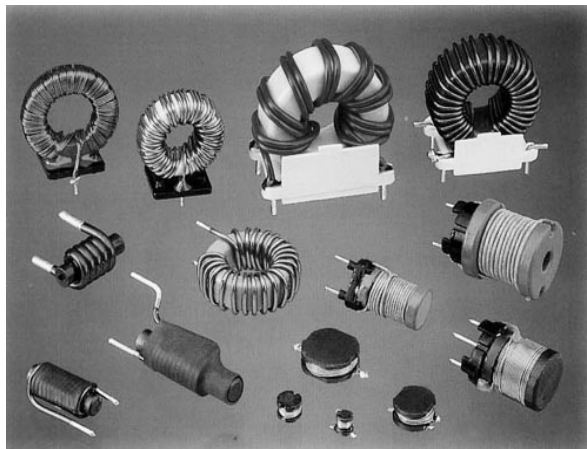
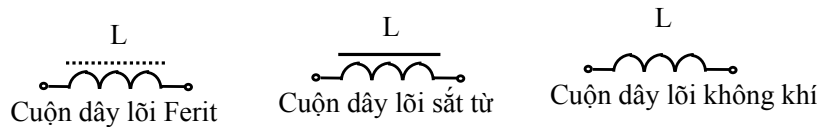
3.5. Mạch tương đương

3.6. Phân loại

3.1 Định nghĩa

- Cuộn cảm là phần tử sinh ra hiện tượng tự cảm khi dòng điện chạy qua nó biến thiên. Khi dòng điện qua cuộn cảm biến thiên sẽ tạo ra từ thông thay đổi và một sức điện từ được cảm ứng ngay trong cuộn cảm hoặc có thể cảm ứng một sức điện từ sang cuộn cảm kề cận với nó.
- Mức độ cảm ứng trong mỗi trường hợp phụ thuộc vào độ tự cảm của cuộn cảm hoặc sự hỗ cảm giữa hai cuộn cảm. Các cuộn cảm được cấu trúc để có giá trị độ cảm ứng xác định.
- Cuộn cảm cũng có thể đấu nối tiếp hoặc song song. Ngay cả một đoạn dây dẫn ngắn nhất cũng có sự cảm ứng.

Ký hiệu của cuộn cảm



3.2. Các tham số kỹ thuật đặc trưng của cuộn cảm

- Độ tự cảm (L)
- Hệ số phẩm chất của cuộn cảm (Q)
- Tần số làm việc giới hạn ($f_{g,h}$)

a. Độ tự cảm (L)

$$L = \mu \cdot N^2 \cdot \frac{S}{l}$$

Trong đó: S - là tiết diện của cuộn dây (m²)

N - là số vòng dây

l - là chiều dài của cuộn dây (m)

μ - độ từ thẩm tuyệt đối của vật liệu lõi (H/m)

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0$$

- Đơn vị đo: ... μ H, mH, H...

- Độ từ thẩm tuyệt đối của một số loại vật liệu

Chân không: $4\pi \times 10^{-7}$ H/m

Ferrite T38 1.26×10^{-2} H/m

Không khí: 1.257×10^{-6} H/m

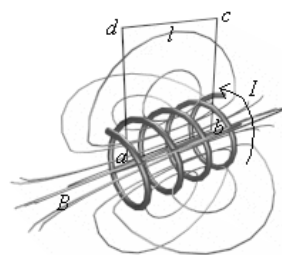
Ferrite U M33 9.42×10^{-4} H/m

Nickel 7.54×10^{-4} H/m

Iron 6.28×10^{-3} H/m

Silicon GO steel 5.03×10^{-2} H/m

supermalloy 1.26 H/m



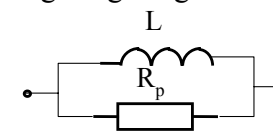
b. Hệ số phẩm chất của cuộn cảm (Q)

- **Dung sai của độ tự cảm:** Đây là tham số chỉ độ chính xác của độ từ cảm thực tế so với trị số danh định của nó. Dung sai được tính theo công thức :

$$\frac{L_{t,t} - L_{d,d}}{L_{d,d}} \cdot 100\%$$

- Một cuộn cảm lý tưởng không có tổn hao khi có dòng điện chạy qua, thực tế luôn tồn hao đó là công suất điện tổn hao để làm nóng cuộn dây. Tổn hao này được biểu thị bởi một điện trở tổn hao R_S .

- Để đánh giá chất lượng của cuộn cảm dùng Hệ số phẩm chất Q của cuộn cảm: (Cuộn cảm tổn hao nhỏ dùng sơ đồ tương đương nối tiếp, cuộn cảm tổn hao lớn dùng sơ đồ tương đương song song).



$$Q_{nt} = \frac{1}{D} = \frac{P_{pk}}{P_{th}} = \frac{X_L}{R_S} = \frac{\omega L}{R_S}$$

$$Q_{//} = \frac{1}{D} = \frac{P_{pk}}{P_{th}} = \frac{R_p}{X_L} = \frac{R_p}{\omega L}$$

c. Tần số làm việc giới hạn ($f_{g,h}$)

- Khi tần số làm việc nhỏ bỏ qua điện dung phân tán giữa các vòng dây của cuộn cảm, nhưng khi làm việc ở tần số cao điện dung này là đáng kể.

- Do đó ở tần số đủ cao cuộn cảm trở thành một mạch cộng hưởng song song. Tần số cộng hưởng của mạch cộng hưởng song song này gọi là tần số cộng hưởng riêng của cuộn dây f_0 .

- Nếu cuộn dây làm việc ở tần số cao hơn tần số cộng hưởng riêng này thì cuộn dây mang dung tính nhiều hơn. Do đó tần số làm việc cao nhất của cuộn dây phải thấp hơn tần số cộng hưởng riêng của nó.



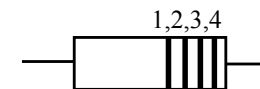
$$f_{lv,max} < f_{gh} = f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

3.4 Cách ghi và đọc tham số trên cuộn cảm

- **Ghi trực tiếp:** cách ghi đầy đủ các tham số độ tự cảm L, dung sai, loại lõi cuộn cảm... Cách này chỉ dùng cho các loại cuộn cảm có kích thước lớn.

- **Cách ghi gián tiếp theo qui ước :**

+ *Ghi quy ước theo màu:* Dùng cho các cuộn cảm nhỏ



Vòng màu 1: chỉ số có nghĩa thứ nhất hoặc chẵn thập phân

Vòng màu 2: chỉ số có nghĩa thứ hai hoặc chẵn thập phân

Vòng màu 3: chỉ số 0 cần thêm vào, đơn vị đo là μ H

Vòng màu 4: chỉ dung sai %.

3.4 Cách ghi và đọc tham số trên cuộn cảm

Bảng mã màu dùng cho các cuộn cảm

Màu	Giá trị của các số	Dung sai
Đen	0	-
Nâu	1	-
Đỏ	2	-
Cam	3	-
Vàng	4	-
Xanh lá cây	5	-
Xanh lam	6	-
Tím	7	-
Xám	8	-
Trắng	9	-
Bạch kim	-	10%
Vàng kim	Chấm thập phân	5%
Không vạch màu	-	20%

3.5 Phân loại và ứng dụng

- Dựa theo ứng dụng:

- + *Cuộn cộng hưởng* – cuộn cảm dùng trong các mạch cộng hưởng LC.
- + *Cuộn lọc* – cuộn cảm dùng trong các bộ lọc một chiều.
- + *Cuộn chặn* dùng để ngăn cản dòng cao tần, v.v..

- Dựa vào loại lõi của cuộn cảm:

- + *Cuộn dây lõi không khí*: Loại cuộn dây không lõi hoặc cuốn trên các cốt không từ tính, thường dùng là các cuộn cộng hưởng làm việc ở tần số cao và siêu cao. Các yêu cầu chính của cuộn dây không lõi là:
 - Điện cảm phải ổn định ở tần số làm việc.
 - Hệ số phẩm chất cao ở tần số làm việc.
 - Điện dung riêng nhỏ.
 - Hệ số nhiệt của điện cảm thấp.
 - Bền chắc, kích thước và giá thành phải hợp lý.

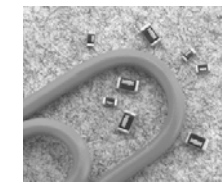
3.5 Phân loại và ứng dụng

- + *Cuộn cảm lõi sắt bụi*: Dùng bột sắt nguyên chất trộn với chất dính kết không từ tính là lõi cuộn cảm, thường dùng ở tần số cao và trung tần. Cuộn dây lõi sắt bụi có tổn thất thấp, đặc biệt là tổn thất do dòng điện xoáy ngược, và độ từ thẩm thấp hơn nhiều so với loại lõi sắt từ.
- + *Cuộn cảm lõi Ferit* : thường là các cuộn cảm làm việc ở tần số cao và trung tần. Lõi Ferit có nhiều hình dạng khác nhau như: thanh, ống, hình chữ E, chữ C, hình xuyên, hình nổi, hạt đậu, v.v.. Dùng lõi hình xuyên để tạo điện cảm cao, tuy vậy lại dễ bị bão hòa từ khi có thành phần một chiều.
- + *Cuộn cảm lõi sắt từ*: Lõi của cuộn cảm thường hợp chất sắt - silic, hoặc sắt- niken Đây là các cuộn cảm làm việc ở tần số thấp. Dùng dây đồng đã được tráng men cách điện quấn thành nhiều lớp có cách điện giữa các lớp và được tẩm chống ẩm.

3.6 Một số hình ảnh của cuộn cảm



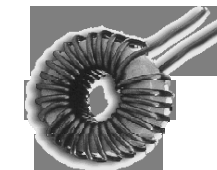
Ferrite Rod Inductor



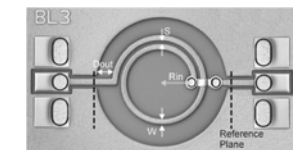
SMD Wound Chip Inductor



Roller inductor for FM diplexer



DC filter choke Inductor



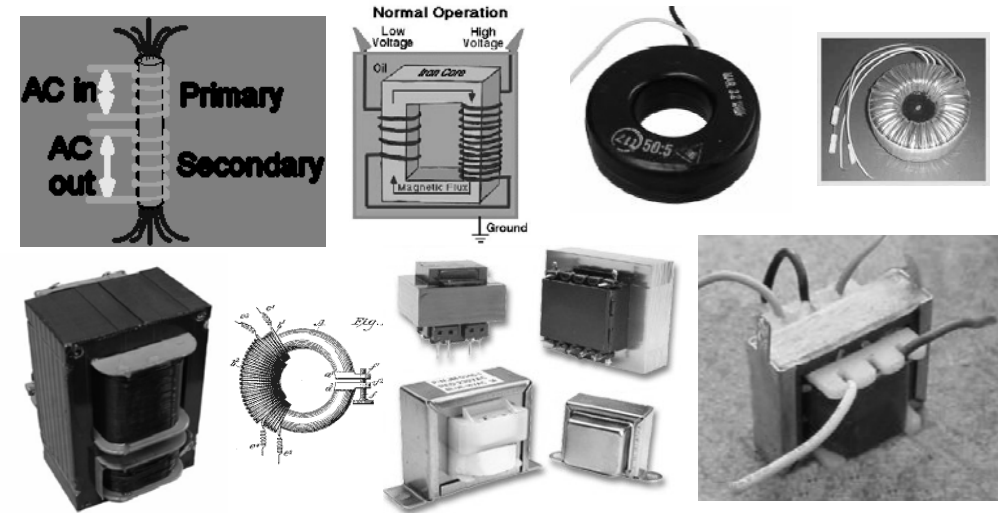
Spiral inductor with $N=1.5$ turns, $W=20\mu\text{m}$, $S=10\mu\text{m}$ and $R_{in}=100\mu\text{m}$ (area= 0.14mm^2). (called On-chip inductor)

4. Biến áp (Transformer)

- 4.1. Định nghĩa
- 4.2. Các tham số kỹ thuật của biến áp
- 4.3. Ký hiệu của biến áp
- 4.6. Phân loại và ứng dụng

4.1. Định nghĩa

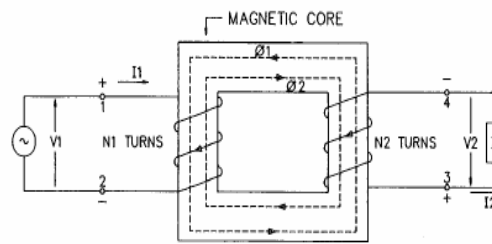
- Biến áp là thiết bị gồm hai hay nhiều cuộn dây ghép hồ cảm với nhau để biến đổi điện áp. Cuộn dây đầu vào nguồn điện gọi là cuộn sơ cấp, các cuộn dây khác đầu vào tải gọi là cuộn thứ cấp.



Nguyên lý hoạt động của biến áp

- Hoạt động dựa theo nguyên lý cảm ứng điện từ.
- Hệ số tự cảm của cuộn sơ cấp, thứ cấp:

$$L_1 = \mu \cdot N_1^2 \frac{S}{l} \quad L_2 = \mu \cdot N_2^2 \frac{S}{l}$$



- Khi dòng điện I_1 biến thiên tạo ra từ thông biến thiên, từ thông này liên kết sang cuộn thứ cấp và tạo ra điện áp cảm ứng e_L trên cuộn thứ cấp theo hệ số tỉ lệ gọi là hệ số hồ cảm M . Lượng từ thông liên kết giữa cuộn sơ cấp sang cuộn thứ cấp được đánh giá bằng hệ số ghép biến áp K .

$$M = \frac{e_L}{\Delta i_1 / \Delta t} \quad [H] \quad e_L = \frac{\Delta \Phi_2 \cdot N_2}{\Delta t}; \quad \Delta \Phi_2 = K \Delta \Phi_1 = K \cdot \mu \Delta i_1 \cdot N_1 \cdot \frac{S}{l}$$

$$\rightarrow M = K \cdot N_1 N_2 \cdot \mu \cdot \frac{S}{l} = K \cdot \sqrt{L_1 L_2} \rightarrow K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

4.2. Các tham số kỹ thuật của biến áp

- Hệ số ghép biến áp K
- Điện áp cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp
- Dòng điện sơ cấp và dòng điện thứ cấp
- Hiệu suất của biến áp

a. Hệ số ghép biến áp K

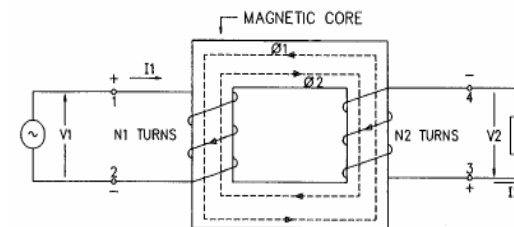
$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

M - hệ số hỗ cảm của biến áp

L_1 và L_2 - hệ số tự cảm của cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp tương ứng.

- Khi $K = 1$ là trường hợp ghép lý tưởng, khi đó toàn bộ số từ thông sinh ra do cuộn sơ cấp được đi qua cuộn thứ cấp và ngược lại.
- Trên thực tế sử dụng, khi $K \approx 1$ gọi là hai cuộn ghép chặt
khi $K \ll 1$ gọi là hai cuộn ghép lỏng

b. Điện áp cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp



- Điện áp cảm ứng ở cuộn sơ cấp và thứ cấp quan hệ với nhau theo tỉ số:

$$\frac{U_2}{U_1} = K \frac{N_2}{N_1} \approx \frac{N_2}{N_1}$$

- $\frac{N_2}{N_1}$ Hệ số biến áp

+ $N_1 = N_2$ thì $U_1 = U_2$ ta có biến áp 1 : 1

+ $N_2 > N_1$ thì $U_2 > U_1$ ta có biến áp tăng áp

+ $N_2 < N_1$ thì $U_2 < U_1$ ta có biến áp hạ áp

c. Dòng điện sơ cấp và dòng điện thứ cấp

d. Hiệu suất của biến áp

- Quan hệ giữa dòng điện ở cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp theo tỉ số:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = K \frac{N_2}{N_1} \approx \frac{N_2}{N_1}$$

- Các biến áp thực tế đều có tổn thất, do đó để đánh giá chất lượng dùng thông số hiệu suất của biến áp. Hiệu suất của biến áp là tỉ số giữa công suất ra và công suất vào tính theo %:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{tổn thất}}} \cdot 100\%$$

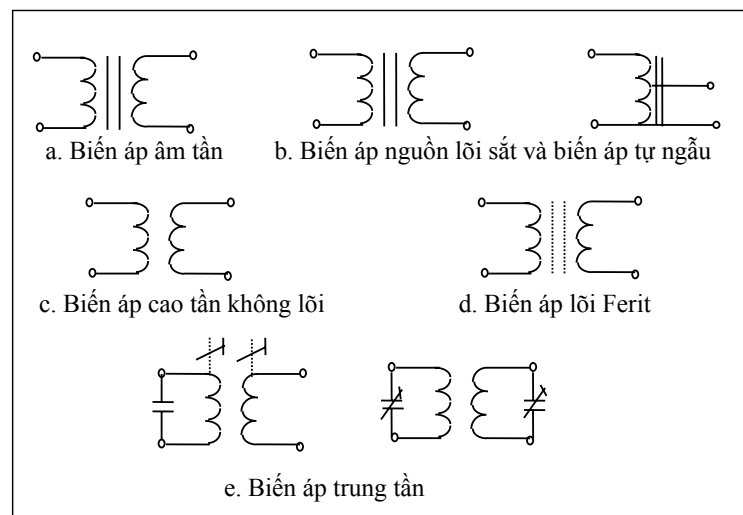
Trong đó P_1 - công suất đưa vào cuộn sơ cấp

P_2 - công suất thu được ở cuộn thứ cấp

$P_{\text{tổn thất}}$ - Công suất điện mất mát do tổn thất của lõi và tổn thất của dây cuộn.

- Muốn giảm tổn hao năng lượng trong lõi sắt từ, dây đồng và từ thông rò người ta dùng loại lõi làm từ các lá sắt từ mỏng, có quét sơn cách điện, dùng dây đồng có tiết diện lớn và ghép chặt.

4.3. Ký hiệu của biến áp

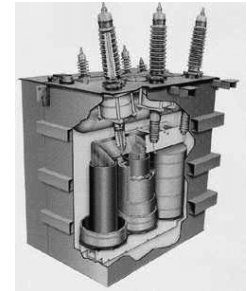


4.4 Phân loại và ứng dụng (1)

- Ứng dụng để biến đổi điện áp xoay chiều.
- Dùng để cách ly giữa mạch các mạch điện, dùng loại biến áp có hai cuộn dây sơ cấp và thứ cấp cách điện với nhau.
- Biến đổi biến đổi tổng trở, dùng biến áp ghép chặt
- Biến áp cao tần dùng để truyền tín hiệu có chọn lọc, dùng loại ghép lỏng.
- ...
- Tùy theo ứng dụng cụ thể mà biến áp có những yêu cầu khác nhau và thường được phân loại theo ứng dụng:
- + **Biến áp cộng hưởng** : Đây là biến áp trung tần hoặc cao tần có lõi không khí hoặc sắt bụi hoặc ferit, ghép lỏng và có một tụ điện mắc ở cuộn sơ cấp hoặc cuộn thứ cấp để tạo cộng hưởng đơn. Thông thường tần số cộng hưởng được thay đổi bằng cách điều chỉnh vị trí của lõi...

4.4 Phân loại và ứng dụng (2)

- + **Biến áp cấp điện (biến áp nguồn)** : Là biến áp làm việc với tần số 50 Hz, 60 Hz. Biến áp nguồn có nhiệm vụ là biến đổi điện áp vào thành điện áp và dòng điện ra theo yêu cầu và ngăn cách thiết bị khỏi nguồn điện. Các yêu cầu chính:
 - Điện cảm cuộn sơ cấp cao để giảm dòng điện không tải xuống giá trị nhỏ nhất.
 - Hệ số ghép K cao để điện áp thứ cấp ít sụt khi có tải.
 - Tổn thất trong lõi càng thấp càng tốt (chọn vật liệu lõi và bề dày lá thép thích hợp).
 - Kích thước biến áp càng nhỏ càng tốt.
 - Kết cấu bên ngoài có thể dùng:
 - Loại hở có tản (giá thành thấp)
 - Loại bọc kín có tản (bảo vệ cơ học tốt)
 - Loại hàn kín, đổ dầu (thích hợp với khí hậu nhiệt đới, dễ sửa chữa)
 - Loại đổ khuôn nhựa (thích hợp với khí hậu nhiệt đới, không sửa chữa được)



4.4 Phân loại và ứng dụng (3)

- + **Biến áp âm tần** : là biến áp được thiết kế để làm việc ở dải tần số âm thanh khoảng từ 20 Hz đến 20000 Hz, yêu cầu biến đổi điện áp không được gây méo dạng sóng trong cả dải tần số âm thanh, dùng để ngăn cách điện một chiều trong mạch này với mạch khác, để biến đổi tổng trở, để đảo pha, v.v..
 - Biến áp âm tần phải làm việc trên dải tần số âm thanh khá rộng và phải đáp ứng nhiều mục đích khác nhau nên yêu cầu cao hơn biến áp cấp điện.
- + **Biến áp xung** : Biến áp xung có hai loại: loại tín hiệu và loại công suất. Biến áp xung có yêu cầu về dải thông tần khắt khe hơn so với biến áp âm tần. Để hoạt động tốt ở cả tần số thấp và ở tần số cao (sườn xung), biến áp xung cần phải có điện cảm sơ cấp lớn, đồng thời điện cảm rò nhỏ và điện dung giữa các cuộn dây nhỏ.
 - Để khắc phục các yêu cầu đối kháng này vật liệu lõi cần có độ từ thẩm cao và kết cấu hình học của cuộn dây thích hợp. Vật liệu lõi của biến áp xung được chọn tùy thuộc vào dải tần hoạt động có thể là sắt từ hoặc ferit.

CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ ELECTRONIC DEVICES

Lecture 3- Semiconductor (Chất bán dẫn)

KHOA KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ 1
HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG - PTIT

7/2008

FEE1-PTIT

Lecture 3

1

1. Định nghĩa

- Chất bán dẫn là vật chất có điện trở suất nằm ở giữa trị số điện trở suất của chất dẫn điện và chất điện môi khi ở nhiệt độ phòng, $\rho = 10^{-4} \div 10^7 \Omega.m$

- Chất bán dẫn là chất mà trong cấu trúc dải năng lượng có độ rộng vùng cấm là $0 < E_G < 2eV$.

- Chất bán dẫn trong tự nhiên: Bo (B), Indi (In), Gali (Ga) ở nhóm 3, Silic (Si), Gecmani (Ge) thuộc nhóm 4, Selen (Se), lưu huỳnh (S) ở nhóm 6, Asen (As), P, Sb (Antimony) thuộc nhóm 5, v.v.. hoặc hợp chất như clorua đồng (CuCl), Asenic Canxi CaAs, Oxit đồng CuO, v.v..

- Trong kỹ thuật điện tử hiện nay sử dụng một số chất bán dẫn có cấu trúc đơn tinh thể. Quan trọng nhất là hai nguyên tố Gecmani và Silic.

- Đặc điểm của cấu trúc mạng tinh thể này là độ dẫn điện của nó rất nhỏ khi ở nhiệt độ thấp và nó sẽ tăng theo lũy thừa với sự tăng của nhiệt độ và tăng gấp bội khi có trộn thêm ít tạp chất. Do đó đặc điểm cơ bản của chất bán dẫn là độ dẫn điện phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ môi trường và nồng độ tạp chất, ngoài ra còn phụ thuộc vào ánh sáng, bức xạ ion hóa, v.v..

FEE1-PTIT

Lecture 3

3

Lecture 3- Semiconductor (Chất bán dẫn)

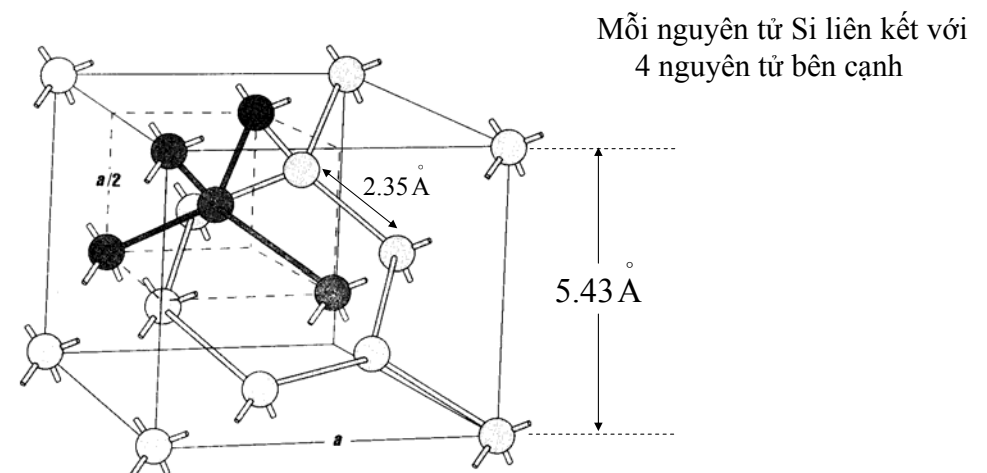
1. Định nghĩa chất bán dẫn
2. Cấu trúc mạng tinh thể chất bán dẫn
3. Chất bán dẫn thuần
4. Chất bán dẫn không thuần
5. Dòng điện trong chất bán dẫn
6. Độ dẫn điện của chất bán dẫn

FEE1-PTIT

Lecture 3

2

2. Cấu trúc mạng tinh thể chất bán dẫn đơn Si



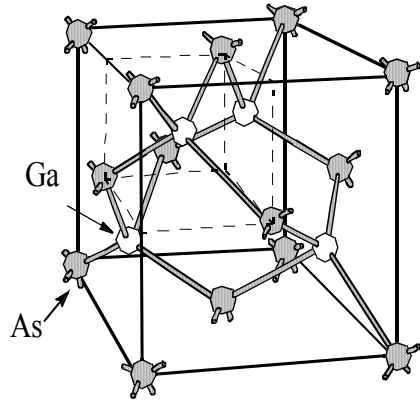
29/116

FEE1-PTIT

Lecture 3

4

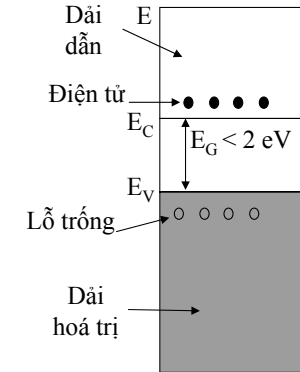
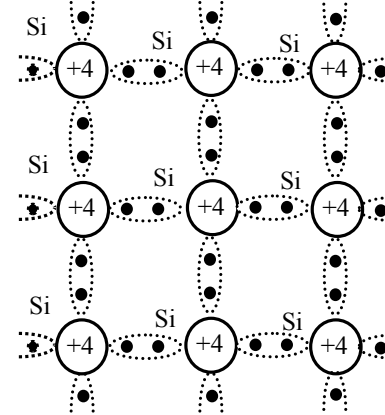
Cấu trúc mạng tinh thể của chất bán dẫn ghép



Chất bán dẫn ghép: Hợp chất của các nguyên tử thuộc phân nhóm chính nhóm III và phân nhóm chính nhóm V: GaAs, GaP, GaN, ... quan trọng trong các cấu kiện quang điện và IC tốc độ cao

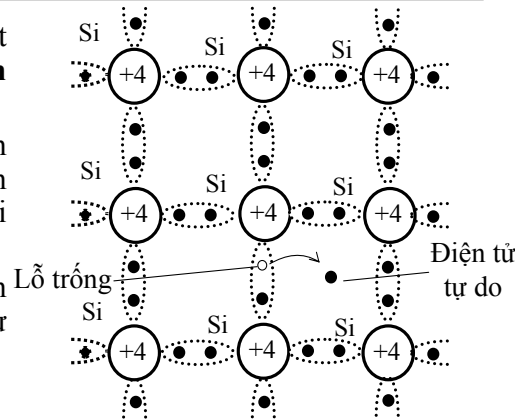
3. Chất bán dẫn thuần (Intrinsic semiconductor)

- Chất bán dẫn mà ở mỗi nút của mạng tinh thể của nó chỉ có nguyên tử của một loại nguyên tố, ví dụ như các tinh thể Ge (geman) Si (silic) nguyên chất ...
- Ví dụ xét tinh thể Si, $E_G = 1,21 \text{ eV}$ (tại nhiệt độ 300^0K)



Sự tạo thành lỗ trống và điện tử tự do

- Ở nhiệt độ phòng một số liên kết cộng hóa trị bị phá vỡ tạo ra **điện tử tự do** và **lỗ trống**.
- Lỗ trống cũng có khả năng dẫn điện như điện tử tự do, mang điện tích dương và có cùng độ lớn với điện tích điện tử.
- Bán dẫn thuần có nồng độ hạt dẫn lỗ trống và nồng độ hạt dẫn điện tử bằng nhau: $p = n = p_i = n_i$
- Độ dẫn điện của chất bán dẫn σ :



$$\sigma = (n \cdot \mu_n + p \cdot \mu_p) \cdot q$$

$$J = (n \cdot \mu_n + p \cdot \mu_p) \cdot q \cdot E = \sigma \cdot E$$

- μ_n - độ linh động của điện tử tự do
- μ_p - độ linh động của lỗ trống
- q - điện tích của điện tử $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- J - mật độ dòng điện khi chất bán dẫn đặt trong điện trường ngoài E :

Giải thích các thuật ngữ

- **Nồng độ điện tử tự do trong chất bán dẫn (Electron Concentration):** $n [\text{cm}^{-3}]$ - số lượng điện tử tự do trong một đơn vị thể tích chất bán dẫn (n_i, n_n, n_p).
- **Nồng độ lỗ trống trong chất bán dẫn (Hole Concentration):** $p [\text{cm}^{-3}]$ - số lượng lỗ trống trong một đơn vị thể tích chất bán dẫn (p_i, p_n, p_p).
- **Độ linh động của điện tử tự do (Electron Mobility):** $\mu_n [\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})]$ - Tham số xác định mức độ phân tán của điện tử trong chất bán dẫn, tỉ lệ thuận với vận tốc khuếch tán của điện tử và cường độ trường điện từ, cũng như tỉ lệ giữa nồng độ điện tử và độ dẫn điện của chất bán dẫn.
- **Độ linh động của lỗ trống (Hole Mobility):** $\mu_p [\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})]$ - Tham số xác định mức độ phân tán của lỗ trống trong chất bán dẫn, tỉ lệ thuận với vận tốc khuếch tán của lỗ trống và cường độ trường điện từ, cũng như tỉ lệ giữa nồng độ lỗ trống và độ dẫn điện của chất bán dẫn.
- **Độ dẫn điện (Electrical conductivity):** $\sigma [\Omega \cdot \text{m}]^{-1}$ - tham số đo khả năng dẫn dòng điện thông qua một đơn vị vật liệu, $\sigma = 1/\rho$.

Quá trình tạo hạt tải điện và quá trình tái hợp

- Quá trình tạo ra hạt tải điện trong chất bán dẫn thuần chủ yếu là do năng lượng nhiệt “*thermal generation*”, tốc độ tạo hạt tải điện tăng theo hàm mũ của nhiệt độ T.
 - Ngoài ra một quá trình tạo hạt tải điện khác là do năng lượng quang học “*optical generation*”. Điện tử trong dải hóa trị có thể nhận năng lượng của photon ánh sáng truyền tới và nhảy lên dải dẫn. Ví dụ trong bán dẫn thuần Si năng lượng tối thiểu cần thiết là 1.1eV, tương đương với ánh sáng bước sóng $\sim 1 \mu\text{m}$.
 - Trong chất bán dẫn cũng xảy ra quá trình tái hợp giữa điện tử tự do và lỗ trống và giải phóng năng lượng theo cách:
 1. Tạo ra nhiệt lượng làm nóng chất bán dẫn: “thermal recombination”- Tái hợp toả nhiệt
 2. Phát xạ ra photon ánh sáng: “optical recombination”- Tái hợp phát quang
- “Optical recombination” rất hiếm xảy ra trong trong chất bán dẫn thuần Si, Ge mà chủ yếu xảy ra trong các loại vật liệu bán dẫn ghép
- Quá trình tạo và tái hợp liên tục xảy ra trong chất bán dẫn, và đạt trạng thái cân bằng khi tốc độ của 2 quá trình đó bằng nhau.

Quá trình tạo hạt tải điện và quá trình tái hợp

- Tốc độ tạo hạt tải điện phụ thuộc vào T nhưng lại độc lập với n và p - nồng độ của điện tử tự do và của lỗ trống :

$$G = G_{thermal}(T) + G_{optical}$$

- Trong khi đó tốc độ tái hợp lại tỷ lệ thuận với cả n và p

$$R \propto np$$

- Trạng thái ổn định xảy ra khi tốc độ tạo và tái hợp cân bằng

$$G = R \Rightarrow np = f(T)$$

- Nếu trong trường hợp không có các nguồn quang và nguồn điện trường ngoài, trạng thái ổn định được gọi là trạng thái cân bằng nhiệt “*thermal equilibrium*”

$$np = n_i^2(T)$$

So sánh các đặc tính của Si và Ge

Các đặc tính	Ge	Si
Số nguyên tử-----	32	14
Nguyên tử lượng-----	72,6	28,1
Tỷ trọng (g/cm ³)-----	5,32	2,33
Hằng số điện môi-----	16	12
Số nguyên tử/cm ³ -----	4,4.10 ²²	5,0.10 ²²
E _{G0} , eV, ở 0 ⁰ K (năng lượng vùng cấm)-----	0,785	1,21
E _G , eV, ở 300 ⁰ K -----	0,72	1,1
n _i ở 300 ⁰ K, cm ⁻³ (nồng độ hạt dẫn điện tử) -----	2,5.10 ¹³	1,5.10 ¹⁰
Điện trở suất nguyên tính ở 300 ⁰ K [Ω.cm] -----	45	230
μ _n , cm ² / V-sec -----	3800	1300
μ _p , cm ² / V-sec -----	1800	500
D _n , cm ² / sec = μ _n .V _T -----	99	34
D _p , cm ² / sec = μ _p .V _T -----	47	13

Hàm phân bố Fermi-Dirac

- Khi xét một hệ gồm nhiều hạt giống hệt nhau có thể nằm trên nhiều mức năng lượng khác nhau bao giờ cũng nảy sinh vấn đề hàm phân bố, bởi vì để xét các tính chất khác nhau của hệ trước hết ta cần phải biết các hạt này phân bố theo các mức năng lượng trên như thế nào?
- Xét hệ gồm **N điện tử tự do** nằm ở trạng thái cân bằng nhiệt tại nhiệt độ T. Phân bố các điện tử đó tuân theo nguyên lý loại trừ Pauli. Tìm phân bố của các điện tử theo các mức năng lượng?
- Áp dụng nguyên lý năng lượng tối thiểu: “xác suất để một hệ gồm N hạt giống hệt nhau nằm trong trạng thái năng lượng E tỷ lệ nghịch với E theo hàm mũ exp, cụ thể là:

$$P_N(E) \sim \exp(-E/kT).$$

Hàm phân bố Fermi-Dirac

- Bằng cách áp dụng nguyên lý trên kèm theo với nguyên lý loại trừ Pauli người ta đã tính toán ra lời giải là hàm phân bố Fermi-Dirac: Xác suất mức năng lượng E [eV] bị điện tử lấp đầy tại nhiệt độ T tuân theo hàm phân bố Fermi-Dirac như sau:

$$f(E) = \frac{1}{\exp\left(\frac{E - E_F}{KT}\right) + 1}$$

- Trong đó

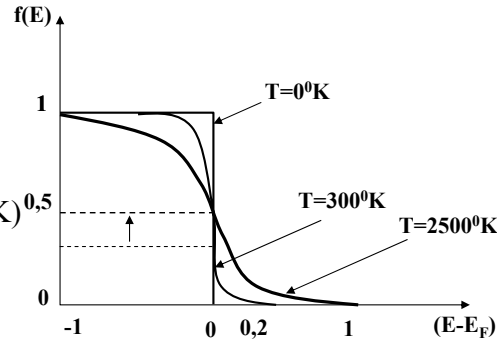
K: Hằng số Boltzmann (eV/°K)

$$K = 8,62 \times 10^{-5} \text{ eV/}^{\circ}\text{K}$$

T - Nhiệt độ đo bằng °K

E_F - Mức Fermi (eV)

- E_F : mức năng lượng Fermi là mức năng lượng lớn nhất còn bị e⁻ lấp đầy tại nhiệt độ T=0°K



Hàm phân bố Fermi-Dirac

- Phân tích hàm Fermi-Dirac:

$$f(E) = \frac{1}{\exp\left(\frac{E - E_F}{KT}\right) + 1}$$

$$T = 0^{\circ}\text{K}$$

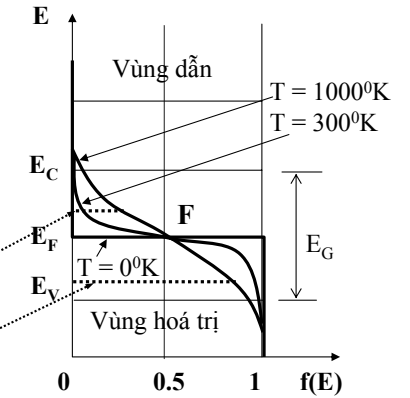
$$E > E_F \Rightarrow f(E) = 0 \quad E < E_F \Rightarrow f(E) = 1$$

$$T > 0^{\circ}\text{K} \quad (T=300^{\circ}\text{K}; \quad KT=26.10^{-3}\text{eV})$$

$$E - E_F \gg KT \Rightarrow f(E) \approx e^{-(E - E_F)/KT}$$

$$E - E_F \ll -KT \Rightarrow f(E) \approx 1 - e^{-(E - E_F)/KT}$$

$$f(E_F) = \frac{1}{2} \quad \forall T$$



E_C [eV]- Đáy của vùng dẫn
 E_V [eV]- Đỉnh của vùng hoá trị

E_F [eV]- Mức năng lượng Fermi

Hàm phân bố Fermi-Dirac

Nhận xét hàm phân bố Fermi-Dirac:

- Tại 0°K, $f(E) = 1$ khi $E < E_F$. Như vậy tất cả các mức năng lượng thấp hơn E_F đều bị điện tử chiếm đóng và tất cả các mức năng lượng cao hơn E_F đều trống rỗng.
- Xác suất các vùng chiếm đóng khi $T > 0^{\circ}\text{K}$ đều luôn bằng 1/2 tại $E = E_F$, không phụ thuộc vào nhiệt độ.
- Hàm $f(E)$ đối xứng qua điểm F. Do đó, xác suất điện tử chiếm đóng ở mức năng lượng $E_F + \Delta E$ bằng xác suất các mức năng lượng mà điện tử không chiếm đóng ở mức $E_F - \Delta E$.
- Xác suất mức năng lượng không bị điện tử chiếm đóng sẽ là:

$$1 - f(E) = 1 - \frac{1}{\exp\left(\frac{E - E_F}{KT}\right) + 1}$$

Nồng độ hạt tải điện trong chất bán dẫn

- Tính nồng độ điện tử tự do trong vùng dẫn (n):

+ Nồng độ hạt dẫn điện tử tự do nằm trong mức năng lượng từ E đến E+dE trong dải dẫn là dn [số điện tử/m³]:

$$dn = 2 \cdot N(E) \cdot f(E) \cdot dE$$

+ N(E) - là mật độ trạng thái trong dải dẫn (số lượng trạng thái/ eV/ m³).

$$N(E) = \gamma \cdot (E - E_C)^{1/2} \quad \gamma = \frac{4\pi}{h^3} (2m_n)^{3/2} \cdot (q_n)^{3/2}$$

$$n = \int_{E_C}^{\infty} 2 \cdot N(E) \cdot f(E) \cdot dE \cong \int_{E_C}^{\infty} 2 \cdot \gamma \cdot (E - E_C)^{1/2} \cdot e^{-(E - E_F)/KT} dE$$

$$n = N_C \cdot e^{-(E_F - E_C)/KT} \quad N_C = 2 \cdot \left(\frac{2\pi m_n kT}{h^2} \right)^{3/2}$$

Mật độ trạng thái hiệu dụng trong vùng dẫn

m_n - Khối lượng hiệu dụng của điện tử tự do

k[J/°K] - Hằng số Boltzmann, h - hằng số Plank, T [°K]

Tính nồng độ hạt tải điện trong chất bán dẫn

- Tính nồng độ lỗ trống trong vùng hóa trị (p):

+ Nồng độ hạt dẫn lỗ trống nằm trong mức năng lượng từ E đến E+dE trong dải hóa trị là dp [số lỗ trống/m³]:

$$dp = 2 \cdot N(E) \cdot (1 - f(E)) \cdot dE$$

+ N(E) - là mật độ trạng thái trong dải hóa trị (số lượng trạng thái/ eV/ m³).

$$N(E) = \gamma \cdot (E_V - E)^{1/2} \quad \gamma = \frac{4\pi}{h^3} (2m_p)^{3/2} \cdot (q_p)^{3/2}$$

$$p = \int_0^{E_V} 2 \cdot N(E) \cdot (1 - f(E)) \cdot dE \cong \int_0^{E_V} 2 \cdot \gamma \cdot (E_V - E)^{1/2} \cdot e^{-(E - E_F)/KT} dE$$

$$p = N_V \cdot e^{-(E_V - E_F)/KT} \quad N_V = 2 \cdot \left(\frac{2\pi m_p kT}{h^2} \right)^{3/2}$$

Mật độ trạng thái hiệu dụng trong vùng hóa trị

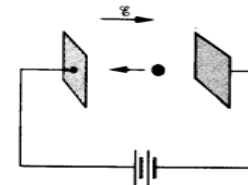
m_p - Khối lượng hiệu dụng của lỗ trống

k[J⁰K] - Hằng số Boltzman, h - hằng số Plank, T [°K]

Khối lượng hiệu dụng

- Khảo sát gia tốc của điện tử khi đặt trong điện trường ở môi trường chân không và chất bán dẫn:

Trong chân không

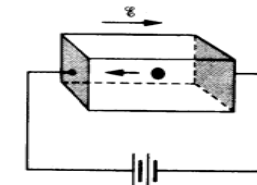


$$F = (-q)\mathcal{E} = m_0 a$$

ε: cường độ điện trường

$$\text{Điện tử: } a = \frac{-q\mathcal{E}}{m_n}$$

Trong chất bán dẫn



$$F = (-q)\mathcal{E} = m_n a$$

m_n khối lượng hiệu dụng của điện tử

$$\text{Lỗ trống: } a = \frac{q\mathcal{E}}{m_p}$$

	Si	Ge	GaAs
m _n /m ₀	0.26	0.12	0.068
m _p /m ₀	0.39	0.30	0.50

Tính nồng độ hạt tải điện trong chất bán dẫn

Xét tích: $n \cdot p = N_C N_V \cdot e^{-\frac{E_C - E_V}{KT}} = N_C N_V \cdot e^{-E_G / KT}$

$$n \cdot p = n_i^2 = p_i^2 = A T^3 \cdot e^{-E_G / KT} \quad A = 4 \cdot \left(\frac{2\pi k}{h^2} \right)^3 \cdot (m_n m_p)^{3/2}$$

Với bán dẫn thuần $n_i = p_i \Rightarrow E_{F_i} = \frac{E_C + E_V}{2} + \frac{3}{4} kT \ln \frac{m_p}{m_n}$

m_p, m_n là khối lượng hiệu dụng của hạt tải điện lỗ trống và điện tử tự do, chúng phụ thuộc vào cấu trúc dải năng lượng.

- Nếu m_p ≅ m_n thì mức Fermi E_{F_i} nằm giữa vùng cấm. $E_{F_i} = \frac{E_C + E_V}{2}$

- Nếu m_p ≠ m_n mức Fermi chỉ nằm giữa vùng cấm khi T=0°K

Nồng độ hạt tải điện trong chất bán dẫn thuần ở nhiệt độ phòng rất nhỏ, nên chất bán dẫn thuần có khả năng dẫn điện kém.

$$n_i = \sqrt{N_C N_V} e^{-E_G / 2KT}$$

4. Chất bán dẫn không thuần

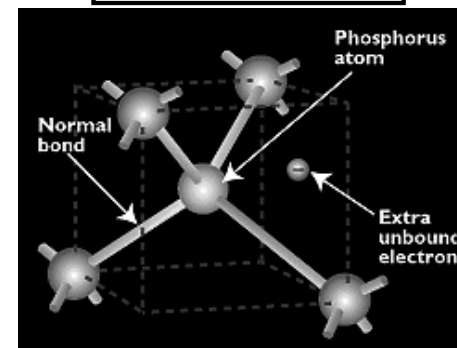
- Chất bán dẫn mà một số nguyên tử ở nút của mạng tinh thể của nó được thay thế bằng nguyên tử của chất khác gọi là chất bán dẫn không thuần.

- Có hai loại chất bán dẫn không thuần:

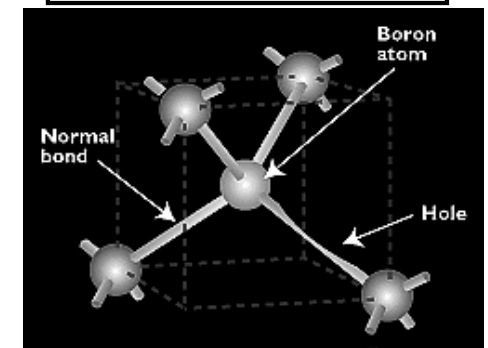
+ Chất bán dẫn không thuần loại N - gọi tắt là Bán dẫn loại N

+ Chất bán dẫn không thuần loại P - gọi tắt là Bán dẫn loại P

Donors: P, As, Sb

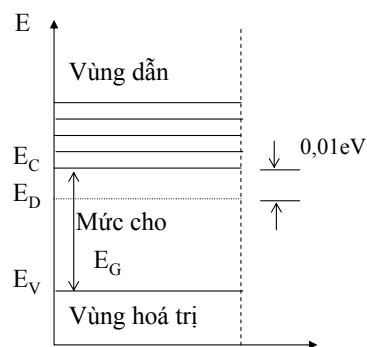
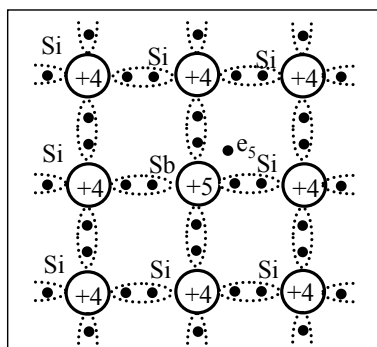


Acceptors: B, Al, Ga, In



a. Chất bán dẫn loại N (chất bán dẫn không thuần loại cho)

- Thêm một ít tạp chất là nguyên tố thuộc nhóm 5, thí dụ As, P, Sb... vào chất bán dẫn thuần Ge hoặc Si. Trong nút mạng nguyên tử tạp chất sẽ đưa 4 điện tử trong 5 điện tử hóa trị của nó tham gia vào liên kết cộng hóa trị với 4 nguyên tử Ge (hoặc Si) ở bên cạnh; còn điện tử thứ 5 sẽ thừa ra và liên kết của nó trong mạng tinh thể là rất yếu, ở nhiệt độ phòng cũng dễ dàng tách ra trở thành hạt tải điện điện tử tự do trong tinh thể và nguyên tử tạp chất cho điện tử trở thành các ion dương cố định.



a. Chất bán dẫn loại N (chất bán dẫn không thuần loại cho)

- Nồng độ điện tử tự do trong chất bán dẫn loại N tăng nhanh nhưng tốc độ tái hợp tăng nhanh nên nồng độ lỗ trống giảm xuống nhỏ hơn nồng độ có thể có trong bán dẫn thuần.
- Trong chất bán dẫn loại N, nồng độ hạt dẫn điện tử (n_n) nhiều hơn nhiều nồng độ lỗ trống p_n và điện tử được gọi là hạt dẫn đa số, lỗ trống được gọi là hạt dẫn thiểu số.

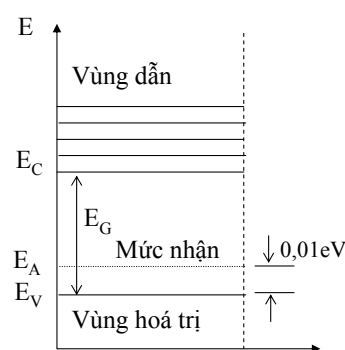
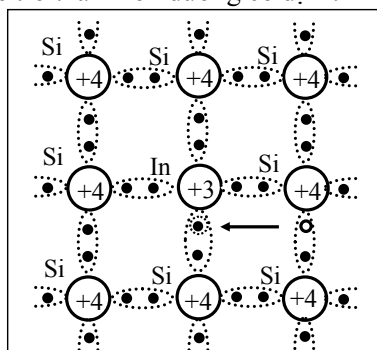
$$n_n \gg p_n$$

$$n_n = N_d + p_n \approx N_d$$

N_d – Nồng độ ion nguyên tử tạp chất cho (Donor)

b. Chất bán dẫn loại P (chất bán dẫn không thuần loại nhận)

- Thêm một ít tạp chất là nguyên tố thuộc nhóm 3, thí dụ In, Bo, Ga... vào chất bán dẫn thuần Ge hoặc Si. Trong nút mạng nguyên tử tạp chất chỉ có 3 điện tử hóa trị đưa ra tạo liên kết cộng hóa trị với 3 nguyên tử Ge (hoặc Si) ở bên cạnh, mỗi liên kết thứ 4 để trống và tạo thành một lỗ trống. Điện tử của mỗi liên kết gần đó có thể nhảy sang để hoàn chỉnh mỗi liên kết thứ 4 còn để trống đó. Nguyên tử tạp chất vừa nhận thêm điện tử sẽ trở thành ion âm và ngược lại ở nguyên tử Ge/Si vừa có 1 điện tử chuyển đi sẽ tạo ra một lỗ trống và nguyên tử này sẽ trở thành ion dương cố định.



b. Chất bán dẫn loại P (chất bán dẫn không thuần loại nhận)

- Nồng độ lỗ trống trong chất bán dẫn loại P tăng nhanh nhưng tốc độ tái hợp tăng nhanh nên nồng độ điện tử tự do giảm xuống nhỏ hơn nồng độ có thể có trong bán dẫn thuần.
- Trong chất bán dẫn loại P, nồng độ hạt dẫn lỗ trống (p_p) nhiều hơn nhiều nồng độ điện tử tự do n_p và lỗ trống được gọi là hạt dẫn đa số, điện tử tự do được gọi là hạt dẫn thiểu số.

$$p_p \gg n_p$$

$$p_p = N_a + n_p \approx N_a$$

N_a – Nồng độ ion nguyên tử tạp chất nhận (Acceptor)

Nồng độ hạt tải điện trong bán dẫn không thuần

Tổng quát trong chất bán dẫn ta có: (**Định luật “mass-action”**)

$$n \cdot p = n_i^2 = p_i^2 = A \cdot T^3 \cdot e^{-E_G / KT}$$

- Trong chất bán dẫn loại N:

$$p_n = \frac{n_i^2}{n_n} = \frac{n_i^2}{N_d}$$

- Trong chất bán dẫn loại P:

$$n_p = \frac{n_i^2}{p_p} = \frac{n_i^2}{N_a}$$

Nồng độ hạt tải điện trong bán dẫn không thuần

- Trong thực tế Silicon thường được pha tạp cả chất Donor và Acceptor. Giả sử nồng độ pha tạp tương ứng là N_d, N_a .

- Để tạo thành bán dẫn N thì $N_d > N_a$, Điện tử cho của nguyên tử Donor sẽ ion hóa tất cả các nguyên tử Acceptor để hoàn thành liên kết còn thiếu điện tử, nồng độ nguyên tử Donor tạo ra điện tử tự do là: $N_d - N_a$, quá trình như vậy gọi là quá trình bù “Compensation”. Điện tích trong chất bán dẫn N trung hòa nên:

$$N_d - N_a + p - n = 0.$$

$$\rightarrow n = \frac{(N_d - N_a) + (N_d - N_a)}{2} \sqrt{1 + \frac{4n_i^2}{(N_d - N_a)^2}}$$

- Nếu $N_d \gg N_a$ nên $N_d - N_a \gg n_i$ thì có thể tính gần đúng nồng độ các loại hạt tải điện như sau:

$$n \cong N_d - N_a; \quad p \cong \frac{n_i^2}{N_d - N_a}$$

Nồng độ hạt tải điện trong bán dẫn không thuần

- Tương tự để tạo thành bán dẫn P thì $N_a > N_d$, trong bán dẫn cũng xảy ra quá trình bù, tính toán tương tự ta có nồng độ lỗ trống trong trường hợp này được tính như sau:

$$p = \frac{(N_a - N_d) + (N_a - N_d)}{2} \sqrt{1 + \frac{4n_i^2}{(N_a - N_d)^2}}$$

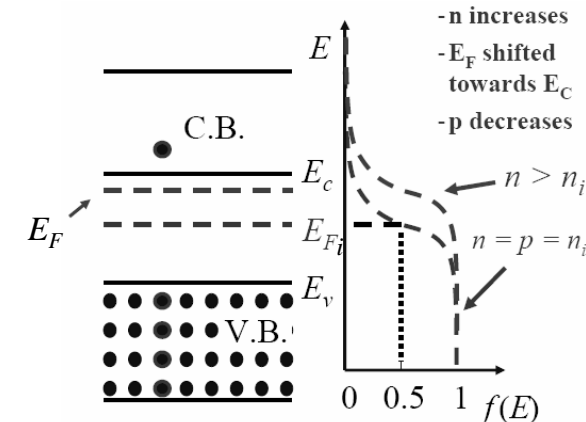
- Nếu $N_a \gg N_d$ nên $N_a - N_d \gg n_i$ thì có thể tính gần đúng nồng độ các loại hạt tải điện như sau:

$$p \cong N_a - N_d \quad n \cong \frac{n_i^2}{N_a - N_d}$$

Mức Fermi trong chất bán dẫn không thuần

- Mức Fermi trong chất bán dẫn N (N_d càng tăng mức Fermi càng tiến gần tới đáy của dải dẫn):

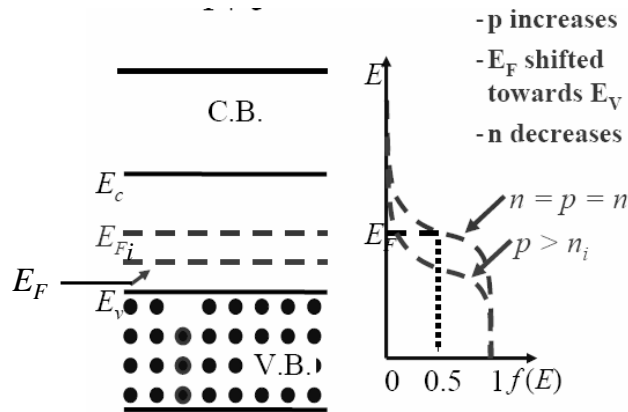
$$n_n = N_C \cdot e^{(E_F - E_C) / KT} = N_d \rightarrow E_F = E_C - KT \ln \frac{N_C}{N_d}$$



Mức Fermi trong chất bán dẫn không thuần

- Mức Fermi trong chất bán dẫn P (N_a càng tăng mức Fermi càng tiến gần xuống đỉnh của dải hóa trị):

$$p = N_V \cdot e^{(E_V - E_F)/KT} = N_a \rightarrow E_F = E_V + KT \ln \frac{N_V}{N_a}$$



Quan hệ nồng độ hạt dẫn trong bán dẫn thuần và không thuần

- Giả sử mức mức Fermi của bán dẫn thuần là $E_F = E_{Fi}$

- Nồng độ hạt dẫn trong bán dẫn thuần $n_i = p_i$:

$$n = n_i = N_c e^{-(E_c - E_{Fi})/KT} \quad p = p_i = N_v e^{-(E_{Fi} - E_v)/KT}$$

$$\Rightarrow N_c = n_i e^{(E_c - E_{Fi})/KT} \quad \Rightarrow N_v = n_i e^{(E_{Fi} - E_v)/KT}$$

- Nồng độ hạt dẫn trong chất bán dẫn không thuần là:

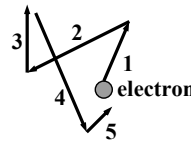
$$n = N_c \cdot e^{(E_F - E_c)/KT} \rightarrow n = n_i e^{(E_F - E_{Fi})/KT}$$

$$p = N_v \cdot e^{(E_v - E_F)/KT} \rightarrow p = n_i e^{(E_{Fi} - E_F)/KT}$$

5. Dòng điện trong chất bán dẫn

- **Dòng điện khuếch tán:** Dòng điện tạo ra do sự chuyển động ngẫu nhiên do nhiệt của các hạt tải điện (thông thường giá trị trung bình = 0) và sự khuếch tán các hạt tải điện từ vùng có mật độ cao sang vùng có mật độ thấp hơn:

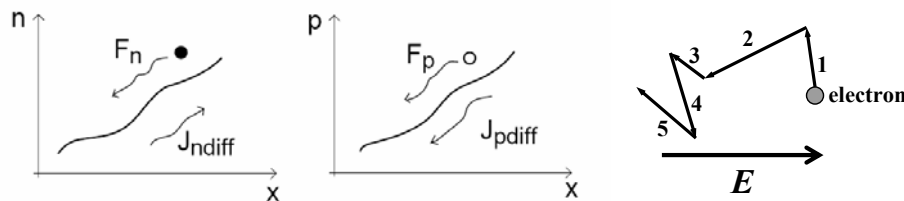
$$J_{diff(n)} = q \cdot D_n \frac{dn}{dx} \quad J_{diff(p)} = -q \cdot D_p \frac{dp}{dx}$$



- (D_p [m²/sec] - là hệ số khuếch tán của lỗ trống;

D_n - là hệ số khuếch tán của điện tử;

$dp/dx, dn/dx$ gradient nồng độ lỗ trống và điện tử tự do)



- **Dòng điện trôi (Dòng điện cuốn):** Dòng chuyển dịch của các hạt tải điện do tác động của điện trường E:

$$J_{drift} = J_{drift(n)} + J_{drift(p)} = \sigma \cdot E = q(n\mu_n + p\mu_p) \cdot E$$

5. Dòng điện trong chất bán dẫn

- **Dòng tổng cộng trong chất bán dẫn:**

$$J = J_{drift} + J_{diff} = J_n + J_p$$

$$J_n = J_{drift(n)} + J_{diff(n)} = qn\mu_n E + qD_n \frac{dn}{dx} \quad J_p = J_{drift(p)} + J_{diff(p)} = qp\mu_p E - qD_p \frac{dp}{dx}$$

- “Einstein Relation”: Độ linh động μ và hệ số khuếch tán D được xác theo mô hình vật lý dựa trên cơ sở một số lượng lớn hạt tải chịu những chuyển động nhiệt ngẫu nhiên với sự va chạm thường xuyên, 2 hằng số này tỉ lệ với nhau theo “Einstein Relation” như sau:

$$\frac{D}{\mu} = \frac{kT}{q} \quad \text{Hằng số Boltzmann } k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ [J/}^0\text{K]} \\ q \text{ [C] - điện tích hạt tải, } T \text{ [}^0\text{K]}$$

- Áp dụng công thức trên cho điện tử tự do và lỗ trống trong chất bán dẫn

$$D_n = \mu_n \frac{kT}{q} \quad D_p = \mu_p \frac{kT}{q}$$

- Điện áp nhiệt “Thermal Voltage”:

$$V_{th} = \frac{kT}{q}$$

6. Độ dẫn điện của chất bán dẫn

- Độ dẫn điện của chất bán dẫn khi có cả 2 hạt tải điện tham gia

$$\sigma = q(n\mu_n + p\mu_p)$$

- Với bán dẫn loại n, $n \gg p$, độ dẫn điện là:

$$\sigma_n = qN_D\mu_n \quad [(\Omega \cdot m)^{-1}]$$

- Với bán dẫn loại p, $p \gg n$, độ dẫn điện là:

$$\sigma_p = qN_A\mu_p \quad [(\Omega \cdot m)^{-1}]$$

+ Tạp chất càng nhiều thì điện trở suất càng giảm, tuy nhiên độ linh động μ_n và μ_p lại giảm khi nồng độ tạp chất tăng, như vậy cơ chế dẫn điện trong vùng pha tạp mạnh tương đối phức tạp

- Nồng độ giới hạn các nguyên tử tạp chất muốn đưa vào tinh thể bán dẫn được quyết định bởi giới hạn hòa tan của tạp chất ấy. Nếu vượt quá giới hạn này thì hiện tượng kết tủa sẽ xảy ra, khi đó tạp chất sẽ không còn có các tính chất như mong muốn nữa.

Tổng kết

- Chất bán dẫn thuần, không thuần.
- Hàm phân bố Fermi-Dirac, Mức Fermi...
- Nồng độ hạt tải trong chất bán dẫn:

$$n \cdot p = n_i^2 = p_i^2$$

$$p = n_i e^{(E_{Fi} - E_F)/kT}$$

$$n = n_i e^{(E_F - E_{Fi})/kT}$$

- Nồng độ điện tử tự do và lỗ trống trong chất bán dẫn có thể thay đổi do: Pha tạp, Điện từ trường, Nhiệt độ, Chiếu sáng.
- Mức Fermi trong chất bán dẫn thay đổi theo nồng độ pha tạp
- Chất bán dẫn thuần có độ dẫn điện nhỏ, chất bán dẫn không thuần độ dẫn điện lớn.

$$\sigma = q(n \cdot \mu_n + p \cdot \mu_p)$$

$$J_n = J_{drift(n)} + J_{diff(n)} = qn\mu_n E + qD_n \frac{dn}{dx}$$

$$J_p = J_{drift(p)} + J_{diff(p)} = qp\mu_p E - qD_p \frac{dp}{dx}$$

$$J = J_n + J_p$$

$$D_n = \mu_n \frac{kT}{q}$$

$$D_p = \mu_p \frac{kT}{q}$$

$$V_{th} = \frac{kT}{q}$$

Một số hằng số

- Electronic charge, $q = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

- Permittivity of free space, $\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-14} \text{ F/cm}$

- Boltzmann constant, $K = 8,62 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$,

$$k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

- Planck constant, $h = 4,14 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$

- Free electron mass, $m_0 = m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$

- Thermal voltage $V_{th} = kT/q = 26 \text{ mV}$ (at $T = 300 \text{ K}$)

	Si	Ge	GaAs
m_n/m_0	0.26	0.12	0.068
m_p/m_0	0.39	0.30	0.50

at $T = 300 \text{ K}$	Si	Ge	GaAs	InAs
$\mu_n \text{ (cm}^2/\text{V}\cdot\text{s)}$	1400	3900	8500	30000
$\mu_p \text{ (cm}^2/\text{V}\cdot\text{s)}$	470	1900	400	500

CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ ELECTRONIC DEVICES

Lecture 4 P-N Junctions (Tiếp giáp P-N)

KHOA KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ 1
HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG - PTIT

7/2008

FEE1-PTIT

Lecture 4

1

Phân loại cấu kiện bán dẫn và vi điện tử

Cấu kiện bán dẫn và vi điện tử

- Tiếp xúc Kim loại bán dẫn: Diốt Sốtki, Tranzitor Sốtki
- Tiếp xúc P-N:
 - Một tiếp giáp P-N: Diốt chỉnh lưu, Diốt ôn áp, Diốt Tunen, Diốt thác lũ, Diốt ngược, Diốt biến dung, Diốt hai dây (UJT)
 - Hai tiếp giáp P-N: BJT
 - Ba tiếp giáp P-N: Thyristor, Triac, Các cấu kiện chỉnh lưu có ĐK khác
- Hiệu ứng trường: JFET, MOSFET
- Không có tiếp xúc P-N: Tasmisto, Varisto, Diốt Gan, ...
- Quang bán dẫn:
 - Hiệu ứng quang áp và quang trở: Điện trở quang, Diốt quang, Tranzitor quang, Tranzitor trường quang, Thyristor quang,
 - Hiệu ứng điện phát quang: Diốt phát quang (LED), Laser bán dẫn...
- Cấu kiện thụ động tích hợp: R, L, C

↓
Vi điện tử

FEE1-PTIT

Lecture 4

2

Lecture 4- P-N Junctions (Tiếp giáp P-N)

1. Trường tĩnh điện trong chất bán dẫn ở ĐK cân bằng nhiệt

Quan hệ Boltzman (Quan hệ giữa điện thế $\phi(x)$ và nồng độ hạt tải điện)

2. Tiếp giáp PN

2.0 Giới thiệu chung

2.1. Chuyển tiếp PN ở trạng thái cân bằng nhiệt

2.2. Chuyển tiếp PN khi có điện áp phân cực

2.3. Đặc tuyến V-A của tiếp giáp PN

2.4. Cơ chế đánh thủng trong tiếp giáp PN

2.5. Điện dung của chuyển tiếp PN

Quan hệ Boltzman (Quan hệ giữa $\phi(x)$ và nồng độ hạt tải điện)

Điện trường trong chất bán dẫn

$$\frac{dE}{dx} = \frac{\rho}{\epsilon_s}$$

Điện thế tĩnh điện $\phi(x)$

$$\frac{d\phi}{dx} = -E$$

Ta chứng minh được: $\phi = \phi_{\text{ref}}$ khi $n_0 = n_i$. Vậy ta có quan hệ Boltzman:

$$n_o = n_i e^{q\phi/kT} \rightarrow \phi = \frac{kT}{q} \ln \frac{n_o}{n_i}$$

Tương tự với lỗ trống ta có:

$$p_o = n_i e^{-q\phi/kT} \rightarrow \phi = -\frac{kT}{q} \ln \frac{p_o}{n_i}$$

38/116

FEE1-PTIT

Lecture 4

3

FEE1-PTIT

Lecture 4

4

Quan hệ Boltzman (Quan hệ giữa $\phi(x)$ và nồng độ hạt tải điện)

Luật “60mV”

- Tại nhiệt độ phòng 300^0K , với bán dẫn dùng Si ta có:

$$\phi = (26mV) \ln \frac{n_0}{n_i} = (26mV) \ln(10) \log \frac{n_0}{n_i}$$

$$\rightarrow \phi = (60mV) \log \frac{n_0}{10^{10}}$$

- Tại 300^0K , nếu n_0 tăng 1 decac (10 lần) thì điện thế tĩnh điện trong chất bán dẫn ở điều kiện cân bằng tăng 60mV.

- Với lỗ trống ta cũng có:

$$\phi = -(26mV) \ln \frac{p_0}{n_i} = -(26mV) \ln(10) \log \frac{p_0}{n_i}$$

$$\rightarrow \phi = -(60mV) \log \frac{p_0}{10^{10}}$$

2. Tiếp giáp PN

2.0 Giới thiệu chung

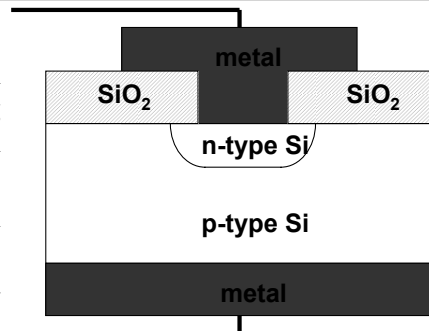
- 2.1. Chuyển tiếp PN ở trạng thái cân bằng nhiệt
- 2.2. Chuyển tiếp PN khi có điện áp phân cực
- 2.3. Đặc tuyến V-A của tiếp giáp PN
- 2.4. Cơ chế đánh thủng trong tiếp giáp PN
- 2.5. Điện dung của chuyển tiếp PN

Giới thiệu chung

- Khi bán dẫn P, N tiếp xúc với nhau, tại miền tiếp xúc hình thành chuyển tiếp P-N. Chuyển tiếp P-N được ứng dụng để chế tạo ra nhiều loại cấu kiện bán dẫn khác nhau.

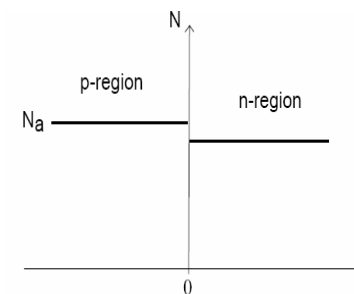
- Nghiên cứu nắm vững các đặc tính của chuyển tiếp PN là rất cần thiết để hiểu nguyên lý làm việc của các cấu kiện bán dẫn.

- Theo công nghệ chế tạo cấu kiện bán dẫn, người ta lấy một mẫu tinh thể bán dẫn loại p (ví dụ) có nồng độ pha tạp N_A , sau đó cho khuếch tán vào mẫu bán dẫn đó tạp chất Donor với nồng độ $N_D > N_A$ từ một phía bề mặt tinh thể với độ sâu phụ thuộc vào quá trình khuếch tán tạo ra một lớp bán dẫn n có nồng độ pha tạp $N'_D = N_D - N_A$ tạo thành tiếp giáp PN. Sự phân bố tạp chất trong tiếp giáp PN thực tế rất phức tạp, để đơn giản bài toán chúng ta sẽ xét một chuyển tiếp lý tưởng với sự phân bố tạp chất có tính chất đột biến.

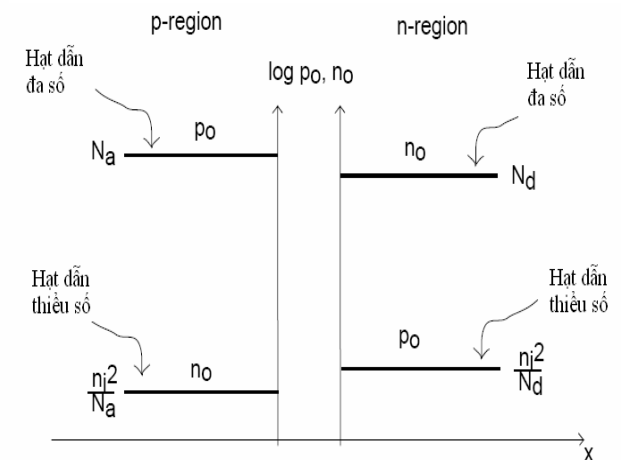


2.1. Chuyển tiếp PN ở trạng thái cân bằng nhiệt

- Phân bố tạp chất có tính chất đột biến.

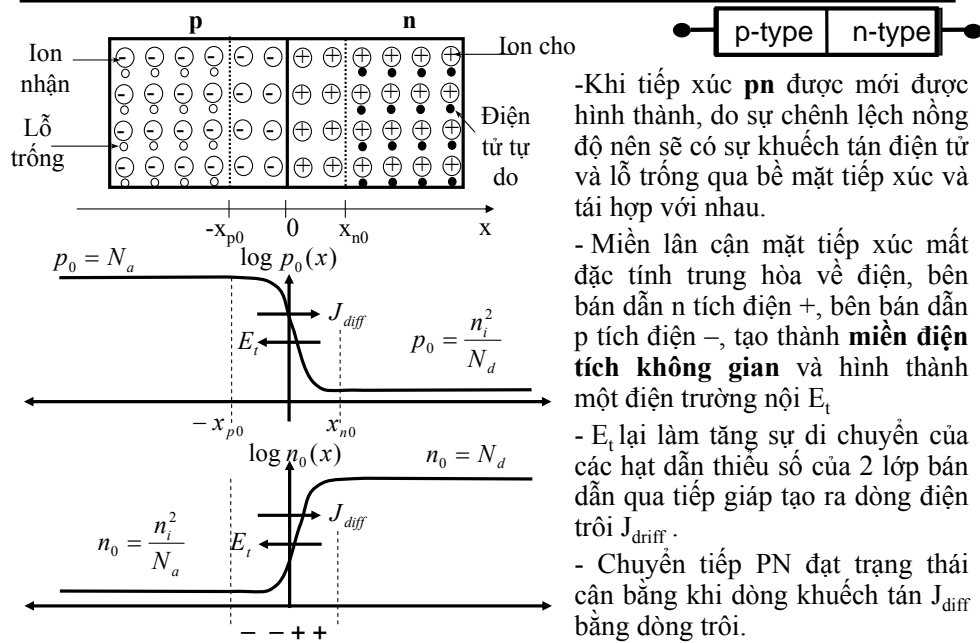


- Nồng độ hạt tải điện khi chưa tiếp xúc



- Khi có tiếp xúc P-N thì sẽ xảy ra hiện tượng gì?

2.1. Chuyển tiếp PN ở trạng thái cân bằng nhiệt



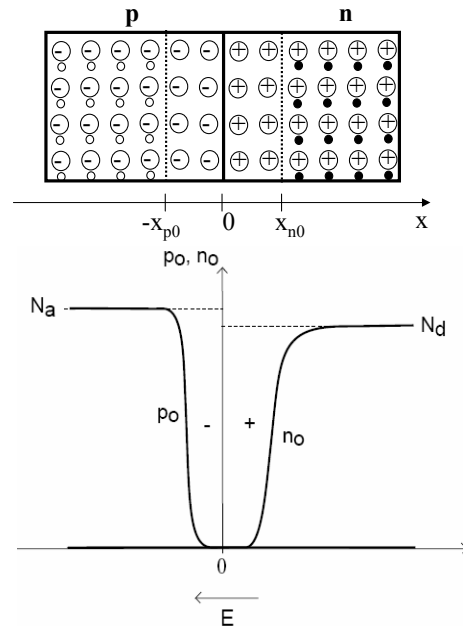
- Khi tiếp xúc **pn** được mới được hình thành, do sự chênh lệch nồng độ nên sẽ có sự khuếch tán điện tử và lỗ trống qua bề mặt tiếp xúc và tái hợp với nhau.

- Miền lân cận mặt tiếp xúc mất đặc tính trung hòa về điện, bên bán dẫn n tích điện +, bên bán dẫn p tích điện -, tạo thành **miền điện tích không gian** và hình thành một điện trường nội E_t

- E_t lại làm tăng sự di chuyển của các hạt dẫn thiểu số của 2 lớp bán dẫn qua tiếp giáp tạo ra dòng điện trôi J_{drift} .

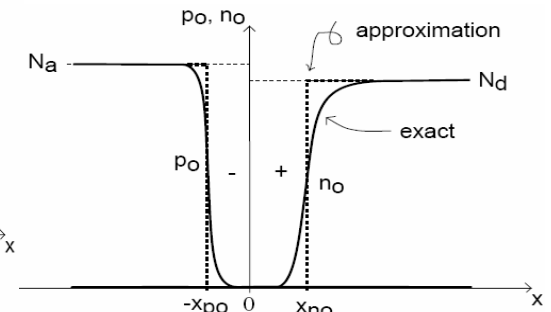
- Chuyển tiếp PN đạt trạng thái cân bằng khi dòng khuếch tán J_{diff} bằng dòng trôi.

2.1. Chuyển tiếp PN ở trạng thái cân bằng nhiệt

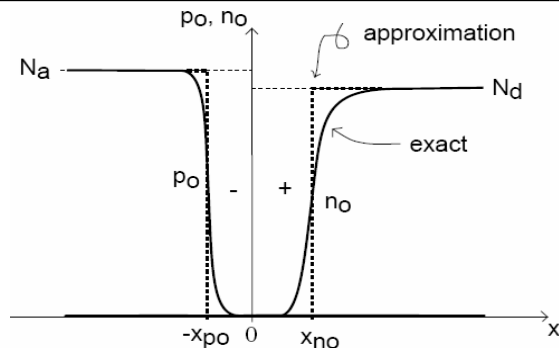


Vậy trong tiếp giáp PN hình thành 3 vùng:

- 1 vùng điện tích không gian
- 2 vùng bán dẫn n, p cận trung hòa
- Xác định $n_0(x)$, $p_0(x)$, $\rho(x)$, $E(x)$, và $\phi(x)$?
- Để đơn giản hơn ta **xấp xỉ chuyển tiếp** như sau:



2.1. Chuyển tiếp PN ở trạng thái cân bằng nhiệt

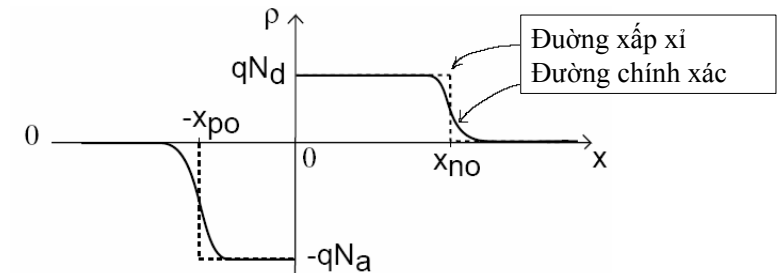


- $x < -x_{p0}$ $p_0(x) = N_a$, $n_0(x) = \frac{n_i^2}{N_a}$
- $-x_{p0} < x < 0$ $p_0(x), n_0(x) \ll N_a$
- $0 < x < x_{n0}$ $n_0(x), p_0(x) \ll N_d$
- $x_{n0} < x$ $n_0(x) = N_d$, $p_0(x) = \frac{n_i^2}{N_d}$

2.1. Chuyển tiếp PN ở trạng thái cân bằng nhiệt

+ **Mật độ điện tích không gian:**

$$\rho(x) = q[N_d(x) - n_0(x) + p_0(x) - N_a(x)]$$



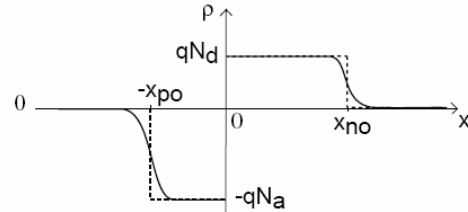
$$\rho(x) = \begin{cases} 0 & x < -x_{p0} \\ -qN_a & -x_{p0} < x < 0 \\ qN_d & 0 < x < x_{n0} \\ 0 & x_{n0} < x \end{cases}$$

2.1. Chuyển tiếp PN ở trạng thái cân bằng nhiệt

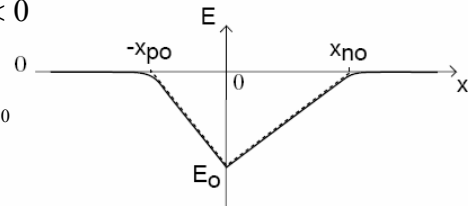
+ Điện trường trong chuyển tiếp PN:

$$E(x_2) - E(x_1) = \frac{1}{\epsilon_s} \int_{x_1}^{x_2} \rho(x) dx$$

$$\rho(x) = \begin{cases} 0 & x < -x_{p0} \\ -qN_a & -x_{p0} < x < 0 \\ qN_d & 0 < x < x_{n0} \\ 0 & x_{n0} < x \end{cases}$$



$$E(x) = \begin{cases} 0 & \text{khi } x < -x_{p0} \\ \frac{-qN_a}{\epsilon_s} (x + x_{p0}) & \text{khi } -x_{p0} < x < 0 \\ \frac{qN_d}{\epsilon_s} (x - x_{n0}) & \text{khi } 0 < x < x_{n0} \\ 0 & \text{khi } x_{n0} < x \end{cases}$$



2.1. Chuyển tiếp PN ở trạng thái cân bằng nhiệt

+ Điện thế tĩnh điện trong tiếp giáp PN

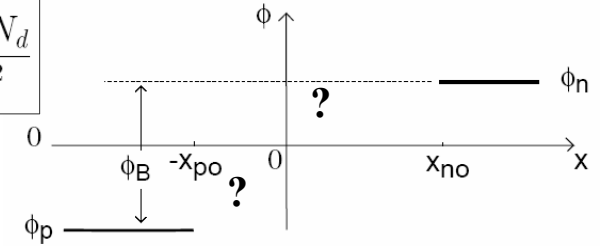
- Như đã xác định ở phần trước, điện thế tĩnh điện trong bán dẫn n, p là:

$$\phi = \frac{kT}{q} \ln \frac{n_o}{n_i} \quad \phi = -\frac{kT}{q} \ln \frac{p_o}{n_i}$$

- Trong vùng bán dẫn p cận trung hòa: $p_o = N_a \Rightarrow \phi_p = -\frac{kT}{q} \ln \frac{N_a}{n_i}$

- Trong vùng bán dẫn n cận trung hòa: $n_o = N_d \Rightarrow \phi_n = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_d}{n_i}$

$$\phi_B = \phi_n - \phi_p = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_a N_d}{n_i^2}$$



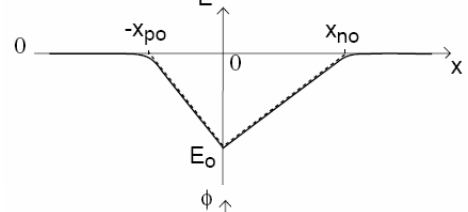
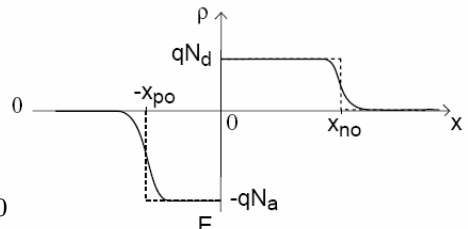
ϕ_B – Hiệu điện thế tiếp xúc trong chuyển tiếp PN (Hàng rào thế năng).

2.1. Chuyển tiếp PN ở trạng thái cân bằng nhiệt

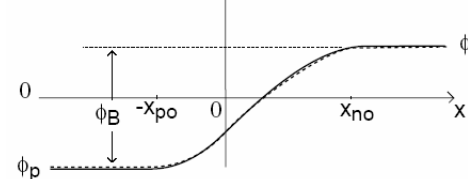
- Xác định điện thế tĩnh điện trong vùng chuyển tiếp PN (xấp xỉ chuyển tiếp)?

$$\phi(x_2) - \phi(x_1) = - \int_{x_1}^{x_2} E(x) dx$$

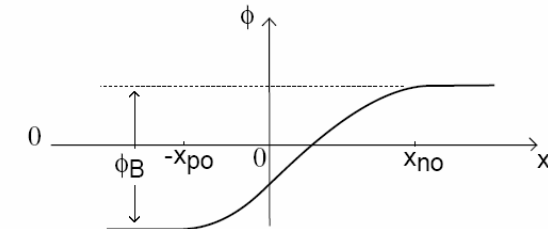
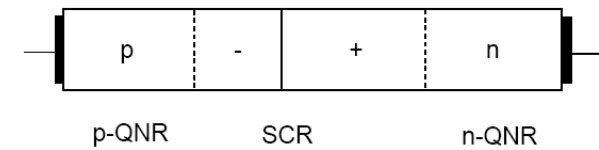
$$E(x) = \begin{cases} 0 & \text{khi } x < -x_{p0} \\ \frac{-qN_a}{\epsilon_s} (x + x_{p0}) & \text{khi } -x_{p0} < x < 0 \\ \frac{qN_d}{\epsilon_s} (x - x_{n0}) & \text{khi } 0 < x < x_{n0} \\ 0 & \text{khi } x_{n0} < x \end{cases}$$



$$\phi(x) = \begin{cases} \phi_p & \text{khi } x < -x_{p0} \\ \phi_p + \frac{qN_a}{2\epsilon_s} (x + x_{p0})^2 & \text{khi } -x_{p0} < x < 0 \\ \phi_n - \frac{qN_d}{2\epsilon_s} (x - x_{n0})^2 & \text{khi } 0 < x < x_{n0} \\ \phi_n & \text{khi } x_{n0} < x \end{cases}$$



2.1. Chuyển tiếp PN ở trạng thái cân bằng nhiệt



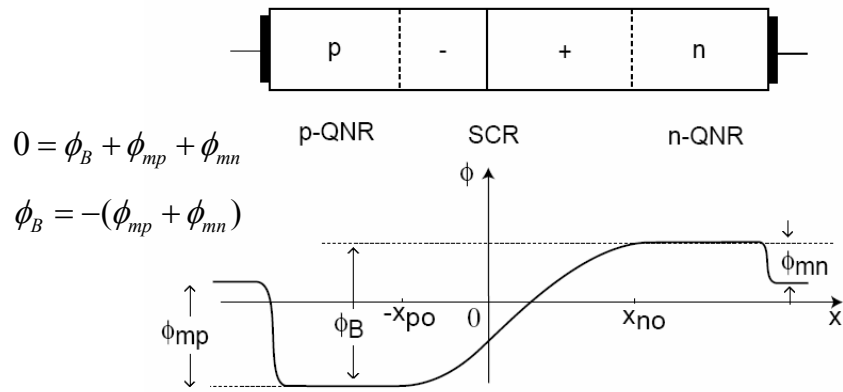
Câu hỏi đặt ra

- Nếu dùng Vôn kế ngoài liệu có đo được hiệu điện thế tiếp xúc trong ϕ_B ?
- Nếu 2 đầu nối tiếp giáp ra mạch ngoài liệu có dòng điện ở mạch ngoài ?

2.1. Chuyển tiếp PN ở trạng thái cân bằng nhiệt

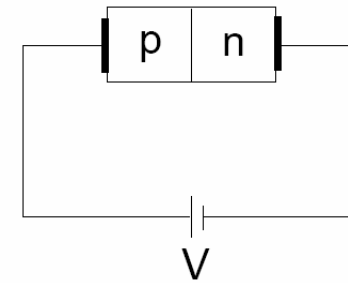
Câu trả lời

- Không thể dùng Vôn kế để đo hiệu điện thế tiếp xúc trong chuyển tiếp PN ϕ_B
- Không có dòng điện ở mạch ngoài.
- => Vì cần tính đến điện thế tiếp xúc giữa kim loại – bán dẫn



2.2. Chuyển tiếp PN khi có điện áp phân cực

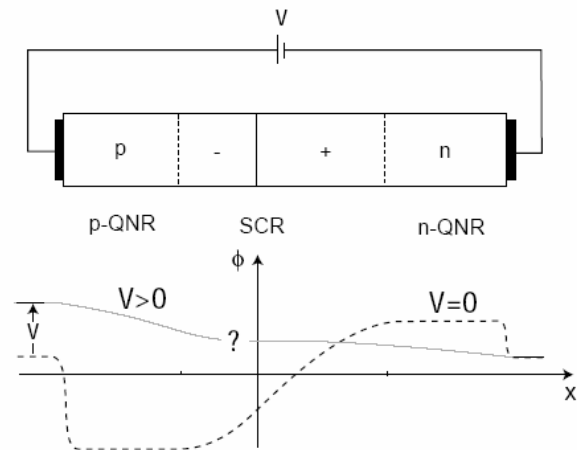
- Điều gì sẽ xảy ra đối với trường tĩnh điện trong chuyển tiếp PN khi có điện áp ngoài đặt qua 2 đầu vào?



- $V > 0$ – phân cực thuận
- $V < 0$ – phân cực ngược

2.2. Chuyển tiếp PN khi có điện áp phân cực

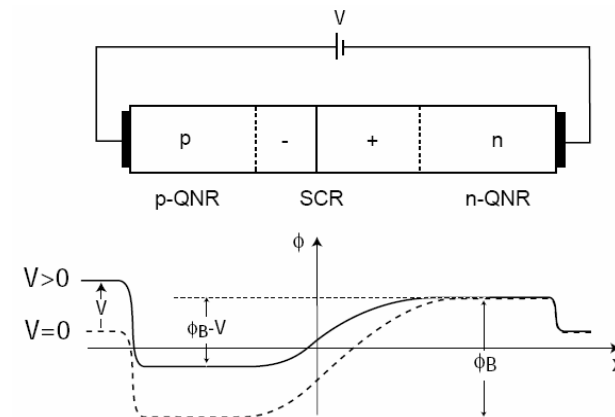
- Khi có điện áp phân cực đặt vào 2 đầu của tiếp giáp PN, phân bố điện thế trong tiếp giáp thay đổi?



- Điện áp rơi trên 5 vùng như thế nào?

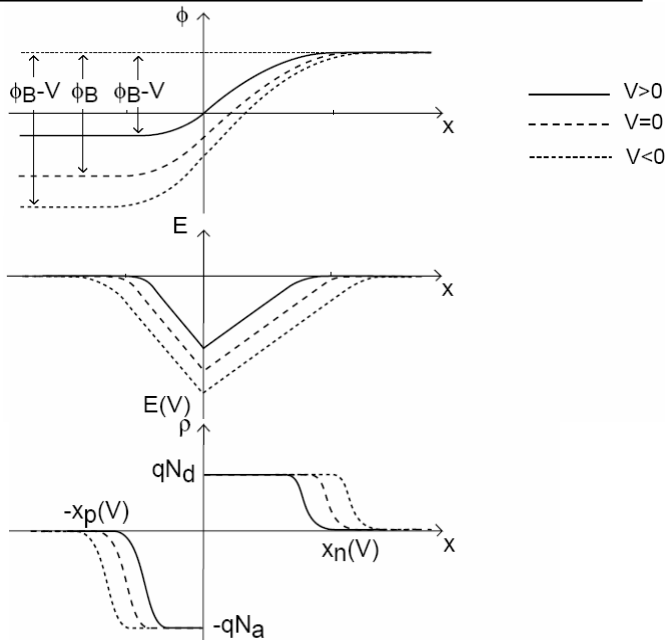
2.2. Chuyển tiếp PN khi có điện áp phân cực

- Điện áp ngoài chủ yếu được đặt nên vùng chuyển tiếp PN (SCR).
- Hiệu điện thế đặt lên chuyển tiếp PN gọi là hàng rào điện thế:
 - = ϕ_B : Trong điều kiện cân bằng nhiệt
 - = $\phi_B - V < \phi_B$: Trong trường hợp phân cực thuận
 - = $\phi_B - V > \phi_B$: Trong trường hợp phân cực ngược



2.2. Chuyển tiếp PN khi có điện áp phân cực

- + Phân cực thuận:**
- Điện thế tiếp xúc trong giảm.
 - Điện trường tiếp xúc giảm.
 - Độ rộng vùng điện tích không gian giảm.
- + Phân cực ngược:**
- Điện thế tiếp xúc trong tăng.
 - Điện trường tiếp xúc tăng.
 - Độ rộng vùng điện tích không gian tăng.



2.2. Chuyển tiếp PN khi có điện áp phân cực

Chuyển động của các hạt tải điện khi có điện áp phân cực:

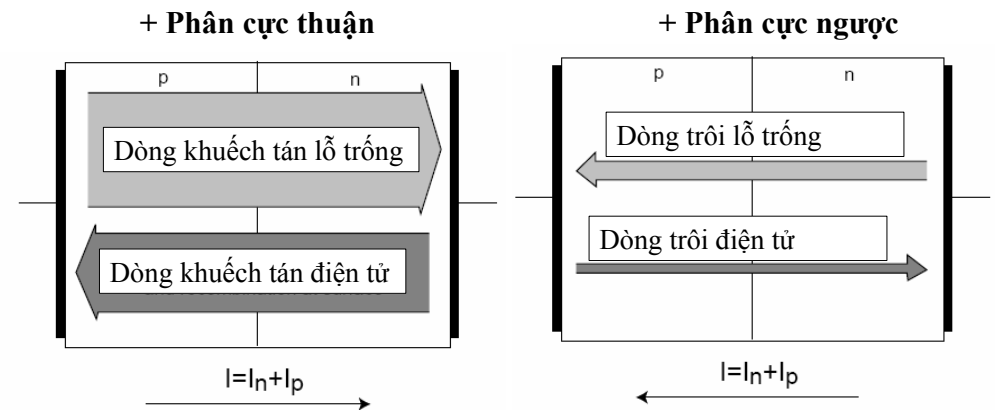
- Khi đặt điện áp phân cực thuận $V > 0$, $\phi_B - V \downarrow \Rightarrow |E_{SCR}| \downarrow \Rightarrow |J_{drift}| \downarrow$
- Cân bằng dòng điện bị phá vỡ $|J_{drift}| < |J_{diff}|$
- + Phần lớn các hạt dẫn đa số có năng lượng đủ lớn để dàng khuếch tán qua CT P-N. Kết quả là dòng điện qua CT P-N tăng lên và đây là thành phần dòng điện khuếch tán. Dòng điện chạy qua tiếp xúc P-N khi nó phân cực thuận gọi là dòng điện thuận I_{th} .
- + Những hạt dẫn đa số sau khi vượt qua lớp tiếp xúc P-N vào các phân bán dẫn P và N thì chúng trở thành các hạt dẫn thiểu số của các chất bán dẫn này, như vậy có hiện tượng “**phun**” các hạt dẫn thiểu số qua vùng điện tích không gian.
- + Khi tăng điện áp thuận lên, tiếp xúc P-N được phân cực thuận càng mạnh, hiệu điện thế tiếp xúc càng giảm, hàng rào thế năng càng thấp xuống, các hạt dẫn đa số khuếch tán qua tiếp xúc P-N càng nhiều nên dòng điện thuận càng tăng và nó tăng theo qui luật hàm số mũ với điện áp ngoài.

2.2. Chuyển tiếp PN khi có điện áp phân cực

- Khi đặt điện áp phân cực ngược $V < 0$, $\phi_B - V \uparrow \Rightarrow |E_{SCR}| \uparrow \Rightarrow |J_{drift}| \uparrow$
- Cân bằng dòng điện bị phá vỡ $|J_{drift}| > |J_{diff}|$
- Do điện trường của lớp tiếp xúc tăng lên sẽ thúc đẩy quá trình chuyển động trôi của các hạt dẫn thiểu số qua chuyển tiếp PN, tạo nên **dòng điện trôi** có chiều từ bán dẫn N sang bán dẫn P và được gọi là dòng điện ngược $I_{ngược}$.
- Nếu ta tăng điện áp ngược lên, hiệu điện thế tiếp xúc càng tăng lên làm cho dòng điện ngược tăng lên, nhưng do nồng độ các hạt dẫn thiểu số có rất ít nên dòng điện ngược nhanh chóng đạt giá trị bão hòa nào đó vì thế nó còn được gọi là dòng điện ngược bão hòa I_s có giá trị rất nhỏ.

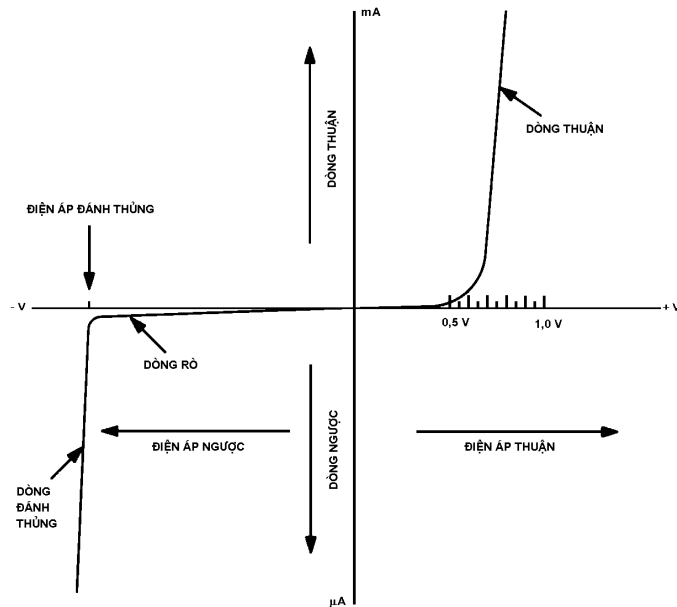
2.2 Chuyển tiếp PN khi có điện áp phân cực

- Minh họa dòng dịch chuyển của các hạt tải điện qua chuyển tiếp PN



- Như vậy chuyển tiếp PN có tính chất chỉnh lưu dòng điện, cho phép dòng điện qua theo một chiều nhất định.

2.3 Đặc tuyến V-A của tiếp giáp PN



2.3 Đặc tuyến V-A của tiếp giáp PN

- Khi tính đến sự tái hợp của điện tử và lỗ trống tại chuyển tiếp PN, phương trình đặc tuyến của tiếp giáp PN như sau:

$$I = I_0 \left(e^{\frac{V}{\eta V_{th}}} - 1 \right)$$

- Trong đó: I_0 - dòng bão hòa; V_{th} - điện áp nhiệt; η - hệ số phát xạ:
 - + $\eta=1/2$ đối với tiếp giáp PN dùng Si.
 - + $\eta \approx 1$ đối với tiếp giáp PN dùng Ge, và GaAs
 - + η cũng phụ thuộc vào độ rộng của chuyển tiếp PN và như vậy cũng phụ thuộc vào điện áp làm việc của tiếp giáp PN...
 - + Thông thường không có ghi chú thì thường chọn $\eta=1$

2.4 Cơ chế đánh thủng trong chuyển tiếp PN

- Dòng phân cực ngược rất nhỏ, nhưng khi điện áp ngược đặt trên chuyển tiếp PN tăng vượt qua một giá trị nhất định dòng ngược sẽ tăng đột ngột – đó là hiện tượng đánh thủng, hiện tượng này có thể làm hỏng dụng cụ nhưng có một số loại dụng cụ hoạt động dựa trên cơ chế này.
- Hai cơ chế đánh thủng chuyển tiếp PN là:
 - + **Cơ chế thác lũ:** Khi điện áp ngược tăng, điện trường trong miền điện tích không gian tăng, hạt dẫn thiểu số bị cuốn qua điện trường có động năng ngày càng lớn, khi chuyển động chúng va đập với các nguyên tử làm bắn ra điện tử lớp ngoài của chúng, số điện tử tự do mới phát sinh do va chạm này cũng được điện trường mạnh gia tốc, chúng tiếp tục đập vào các NT mới làm bắn ra điện tử tự do. Hiện tượng này xảy ra liên tục và nhanh, khiến số hạt dẫn trong bán dẫn tăng đột ngột, điện trở suất chuyển tiếp giảm đi, dòng qua chuyển tiếp PN tăng đột ngột.
 - + **Cơ chế xuyên hầm:** Khi điện trường ngược tăng lên, còn cung cấp năng lượng cho các điện tử lớp ngoài cùng của NT bán dẫn, nếu các điện tử này có năng lượng đủ lớn chúng tách ra khỏi NT tạo thành điện tử tự do, NT bị ion hóa. Nếu điện trường ngược đủ lớn hiện tượng ion hóa xảy ra nhiều dẫn đến số lượng hạt dẫn trong bán dẫn tăng đột ngột, làm cho dòng ngược tăng nhanh.

2.4 Cơ chế đánh thủng trong chuyển tiếp PN

- Trong thực tế 2 cơ chế đánh thủng xảy ra rất phức tạp, khó phân biệt.
 - + Đánh thủng xuyên hầm xảy ra gần như tức thời và do điện trường trên miền điện tích không gian quyết định, không phụ thuộc vào diện tích miền điện tích không gian.
 - + Đánh thủng thác lũ đòi hỏi phải có quá trình gia tốc cho các hạt dẫn để chúng có động năng đủ lớn, phụ thuộc nhiều vào độ rộng của miền điện tích không gian.
- Bằng thực nghiệm người ta phân biệt được, đối với bán dẫn Si, chuyển tiếp PN bị đánh thủng ở điện áp < 4V chủ yếu là do cơ chế xuyên hầm, nếu > 6V thì chủ yếu là do cơ chế thác lũ, còn lại là do cả 2 cơ chế này gây ra.
- Điện áp đánh thủng phụ thuộc vào loại bán dẫn, giảm tuyến tính theo nồng độ pha tạp, điện áp đánh thủng của chuyển tiếp PN có nồng độ pha tạp tuyến tính cao hơn chuyển tiếp PN có phân bố đột biến, nếu chuyển tiếp có sự pha tạp tuyến tính biến đổi càng chậm thì điện áp đánh thủng càng cao...

CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ

ELECTRONIC DEVICES

Lecture 5- Diode (Điốt)

KHOA KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ 1
HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG - PTIT

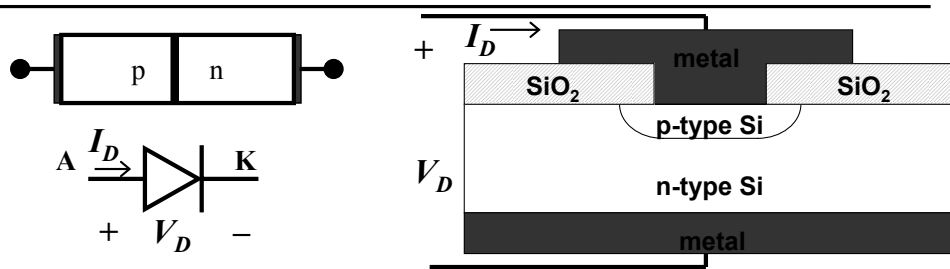
7/2008

FEE1-PTIT

Lecture 5

1

Giới thiệu chung



- Điốt bán dẫn là cấu kiện điện tử có một chuyển tiếp p-n
- Nguyên lý làm việc dựa trên các hiệu ứng vật lý của chuyển tiếp PN:
 - + **Điốt chỉnh lưu:** Dựa vào hiệu ứng chỉnh lưu của chuyển tiếp PN
 - + **Điốt ổn áp Zener:** Dựa vào hiệu ứng đánh thủng thác lũ và đánh thủng Zener
 - + **Điốt ngược, Điốt tunen:** Dựa vào hiệu ứng xuyên hầm trên chuyển tiếp PN pha tạp nhiều
 - + **Điốt Varicap:** Dựa vào hiệu ứng điện dung của chuyển tiếp PN thay đổi khi điện áp phân cực ngược thay đổi
- Nguyên lý làm việc, đặc tuyến V-A, ứng dụng của mỗi loại điốt là rất khác nhau

FEE1-PTIT

Lecture 5

3

45/116

Lecture 5- Diode (Điốt)

Điốt bán dẫn

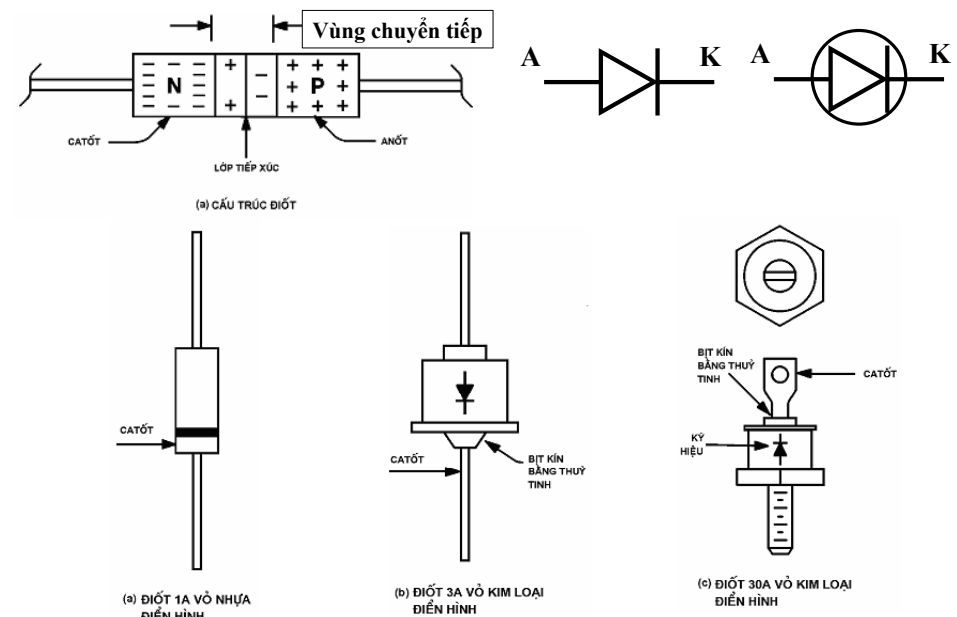
- 3.0. Giới thiệu chung.
- 3.1 Cấu tạo của điốt và kí hiệu trong sơ đồ mạch .
- 3.2 Nguyên lý hoạt động của điốt.
- 3.3 Đặc tuyến Vôn-Ampe của điốt bán dẫn.
- 3.4 Các tham số tĩnh của điốt.
- 3.5 Sự phụ thuộc của đặc tuyến Vôn- Ampe vào nhiệt độ
- 3.6 Phân loại điốt
- 3.7 Ứng dụng của điốt

FEE1-PTIT

Lecture 5

2

3.1 Cấu tạo của điốt chỉnh lưu và kí hiệu trong sơ đồ mạch

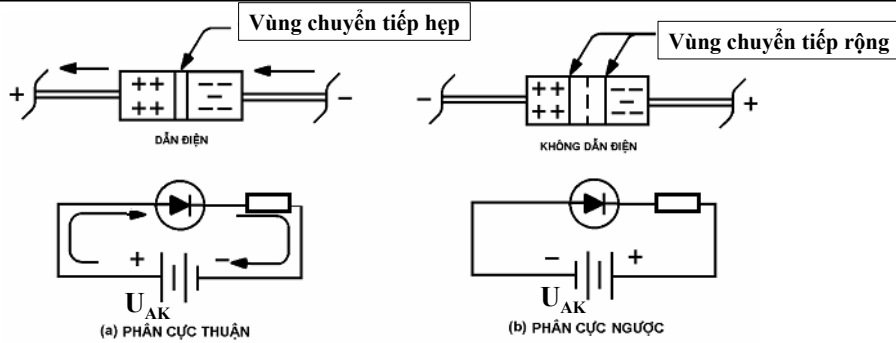


FEE1-PTIT

Lecture 5

4

3.2 Nguyên lý hoạt động của điôt



- **Phân cực thuận ($U_{AK} > 0$):** thúc đẩy các e^- trong bán dẫn n và các lỗ trống trong bán dẫn p tái hợp với các ion gần đường bao của vùng chuyển tiếp và làm giảm độ rộng của vùng chuyển tiếp. Thông thường $U_{AK} < 1V$
- **Phân cực ngược ($U_{AK} < 0$):** số lượng các ion dương trong vùng chuyển tiếp của bán dẫn n tăng lên do một số lượng lớn các e^- tự do bị kéo về cực dương của điện áp cung cấp. Tương tự, số lượng các ion âm trong vùng chuyển tiếp của bán dẫn p tăng lên. Kết quả là vùng chuyển tiếp được mở rộng. Dòng điện tồn tại trong đk phân cực ngược gọi là dòng bão hoà ngược I_s

3.3 Đặc tuyến Vôn-Ampe của điôt bán dẫn

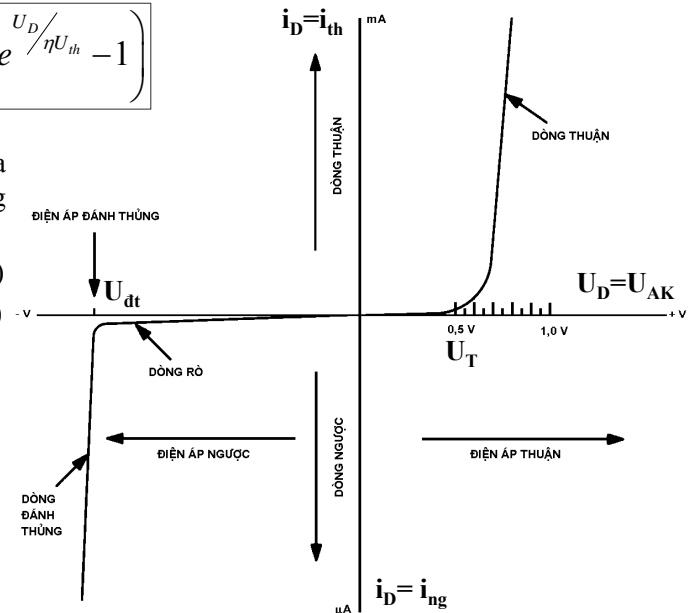
$$I_D = f(U_{AK}) = I_S \left(e^{U_D / \eta U_{th}} - 1 \right)$$

+ U_T - Điện áp ngưỡng của điôt (Điện áp thông thuận)

$U_T = 0,5V-0,8V$ (điôt Si)

$0,2-0,4V$ (điôt Ge)

+ U_{th} - điện áp nhiệt



3.4 Tham số cơ bản của điôt

a. **Điện trở một chiều hay còn gọi là điện trở tĩnh R_0**

- Là điện trở của điôt khi làm việc ở chế độ nguồn một chiều hoặc tại chế độ tĩnh (tại điểm làm việc tĩnh trên đặc tuyến).

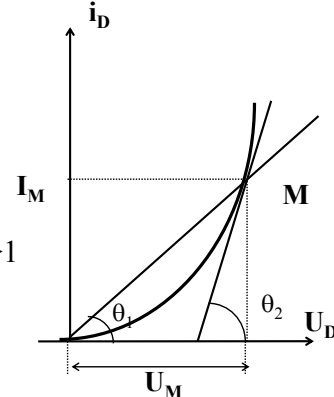
$$R_0 = \frac{U_M}{I_M} = \cot g \theta_1$$

b. **Điện trở động R_i :**

$$R_i = \frac{dU}{dI} \rightarrow R_i = \frac{\eta V_{th}}{I_0 e^{\frac{U}{\eta V_{th}}}} = \frac{\eta V_{th}}{I_M + I_0}$$

Do ở chế độ phân cực thuận $I_M \gg I_0$ và $\frac{U}{\eta V_{th}} \gg 1$

$$R_i = \frac{\eta V_{th}}{I_M}$$



3.4 Tham số cơ bản của điôt

c. **Hệ số chỉnh lưu: k**

- Là thông số đặc trưng độ phi tuyến của điôt và được xác định bằng biểu thức sau:

$$k = \frac{I_{th}}{I_0} = \frac{R_{0ngucoc}}{R_{0thuan}}$$

d. **Điện dung chuyển tiếp C_0**

- Điện dung chuyển tiếp PN khi phân cực ngược:

e. **Điện áp ngược cực đại cho phép: $U_{ngucoc\ max}$**

- Là giá trị điện áp ngược lớn nhất có thể đặt lên điôt mà nó vẫn làm việc bình thường. Thông thường trị số này được chọn khoảng $0,8U_{dt}$.

- Điện áp ngược cực đại $U_{ng\ max}$ được xác định bởi kết cấu của điôt và nó nằm trong khoảng vài V đến 10 ngàn V.

3.4 Tham số cơ bản của điốt

f. Khoảng nhiệt độ làm việc:

- Là khoảng nhiệt độ đảm bảo điốt làm việc bình thường. Tham số này quan hệ với công suất tiêu tán cho phép của điốt.

$$P_{ttmax} = I_{max} U_{AKmax}$$

$$P_{t\ tmax} = P_{max(20^0C)} \cdot \frac{t_{maxP-N}^0 - t_0^0}{t_{maxP-N}^0 - 20^0C}$$

Trong đó: t_{maxP-N}^0 - nhiệt độ cực đại cho phép của tiếp xúc P-N

t_0^0 - nhiệt độ môi trường

- Điốt Ge : - 60°C đến +85°C

- Điốt Si : - 60°C đến +150°C.

3.5. Các mô hình tương đương của điốt

3.5.1. Mô hình tương đương trong chế độ một chiều và xoay chiều tín hiệu lớn.

a. Các mô hình tương đương của điốt phân cực thuận

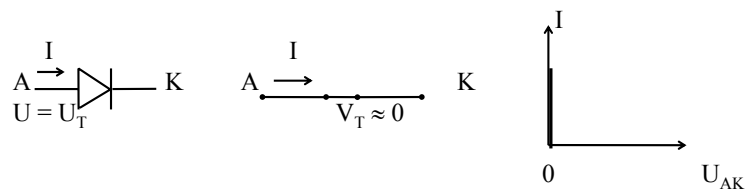
b. Các mô hình tương đương của điốt phân cực ngược

3.5.2 Mô hình tương đương xoay chiều tín hiệu nhỏ

Các mô hình tương đương của điốt phân cực thuận

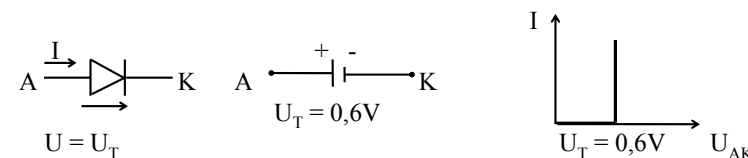
1. Sơ đồ một khóa điện tử ở trạng thái đóng: Điốt làm việc ở điện áp lớn, tần số nhỏ. Điện áp phân cực thuận có thể bỏ qua vì $U_T = 0,6V$ cho điốt Si, và $U_T = 0,2V$ cho điốt Ge là quá nhỏ. Đặc tuyến Vôn- Ampe lúc này coi như trường hợp ngắn mạch.

Đặc tuyến Vôn-Ampe là đường thẳng trùng với trục I.



Các mô hình tương đương của điốt phân cực thuận

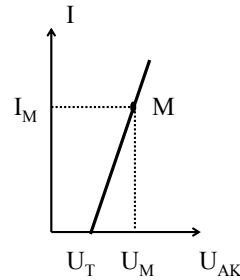
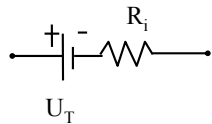
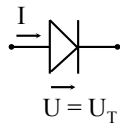
2. Sơ đồ một nguồn áp lý tưởng :



Các mô hình tương đương của diốt phân cực thuận

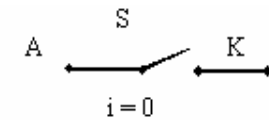
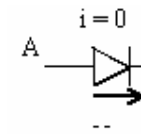
3. **Sơ đồ một nguồn điện áp thực** : Trong trường hợp này diốt được coi như một nguồn điện áp thực gồm có nguồn điện áp và nội trở của nó chính là R_T (điện trở trong của diốt và nó là điện trở thuận).

$$R_T = \frac{\Delta U_D}{\Delta I_D} = \frac{U_M - U_T}{I_M}$$

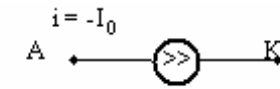
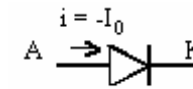


3.5.1. Các mô hình tương đương của diốt phân cực ngược

- **Sơ đồ một khóa ở trạng thái hở**

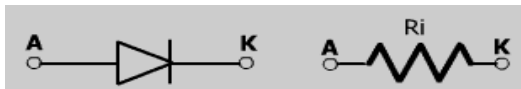


- **Sơ đồ một nguồn dòng lý tưởng**

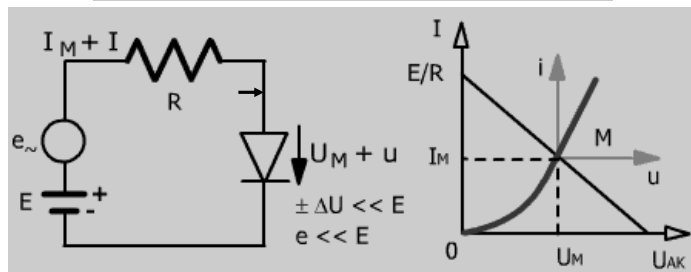


3.5.2 Các mô hình tương đương xoay chiều tín hiệu nhỏ

a. **Sơ đồ một điện trở động R_i ở chế độ tín hiệu nhỏ tần số thấp**: Trong trường hợp này Diốt luôn phân cực thuận, đối với tín hiệu xoay chiều biên độ nhỏ đáp ứng của diốt được coi như một phần tử tuyến tính:



$$u = R_i i = R_i \frac{e}{R + R_i}$$

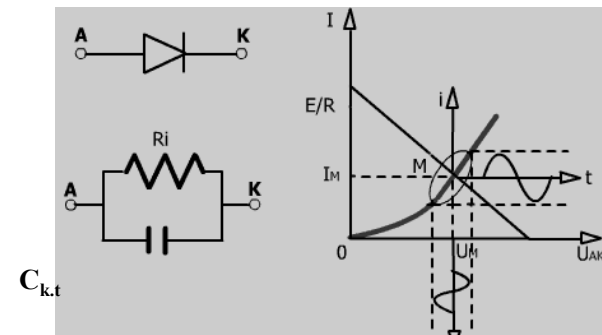


$$R_i = \frac{dU}{dI} \rightarrow R_i = \frac{\eta V_{th}}{I_0 e^{\frac{U}{\eta V_{th}}}} = \frac{\eta V_{th}}{I_M + I_0} \rightarrow R_i \approx \frac{\eta V_{th}}{I_M}$$

3.5.2 Các mô hình tương đương xoay chiều tín hiệu nhỏ

b. **Sơ đồ tương đương ở chế độ tín hiệu nhỏ tần số cao**: Ở chế độ này diốt được coi như một điện trở thuận R_i mắc song song với một điện dung khuếch tán $C_{k.t.}$. $C_{k.t.}$ xuất hiện trong khoảng thời gian τ là khoảng thời gian lệch pha giữa i và u . $C_{k.t.}$ là điện dung khuếch tán của tiếp xúc P-N và được xác định:

$$C_{k.t.} = \frac{\tau}{R_i} \quad \tau = \text{vài ns } \div \mu\text{s}$$



3.5.2 Các mô hình tương đương xoay chiều tín hiệu nhỏ

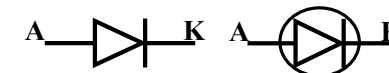
c. Sơ đồ một điện dung chuyển tiếp ở chế độ tín hiệu nhỏ (Phân cực ngược)



$$C_{tx} = \frac{C_0}{|V_{nguoc}|^{\frac{1}{n}}} \quad n = 2 \div 3$$

3.6 Phân loại điốt (1)

Điốt chỉnh lưu: Điốt chỉnh lưu sử dụng tính dẫn điện một chiều để chỉnh lưu dòng điện xoay chiều thành một chiều.



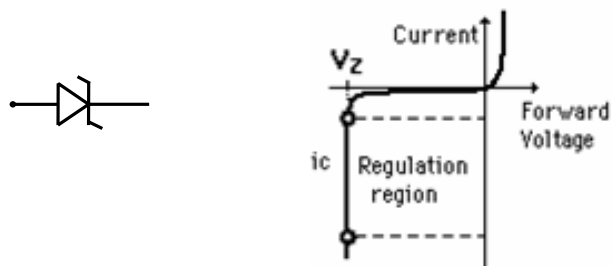
Điốt xung: Ở chế độ xung, điốt được sử dụng như khóa điện tử gồm có hai trạng thái: "dẫn" khi điện trở của điốt rất nhỏ và "khóa" khi điện trở của nó rất lớn. Yêu cầu thời gian chuyển từ trạng thái này sang trạng thái khác phải thật nhanh. Thời gian chuyển trạng thái xác định tốc độ hoạt động của điốt và do đó xác định tốc độ làm việc của thiết bị.

Các điốt xung có các loại điốt hợp kim, điốt mêza, điốt Sốtky. Trong đó điốt Sốtky được dùng rộng rãi nhất. Điốt Sốtky sử dụng tiếp xúc bán dẫn - kim loại. Trong điốt Sốtky không có quá trình nạp hoặc xả điện tích trong miền nền. Do đó tốc độ làm việc chủ yếu của điốt Sốtky chỉ phụ thuộc vào điện dung rào thế của tiếp xúc P- N rất nhỏ. Thời gian phục hồi chức năng ngắt của điốt Sốtky có thể đạt tới 100psec. Điện áp phân cực thuận cho điốt Sốtky khoảng $U_D = 0,4V$, tần số làm việc cao đến 100 GHz.



3.6 Phân loại điốt (2)

Điốt ổn áp: Người ta sử dụng chế độ đánh thủng về điện của chuyển tiếp P-N để ổn định điện áp. Điốt ổn áp được chế tạo từ bán dẫn Silic vì nó bảo đảm được đặc tính kỹ thuật cần thiết. VD: điốt Zener

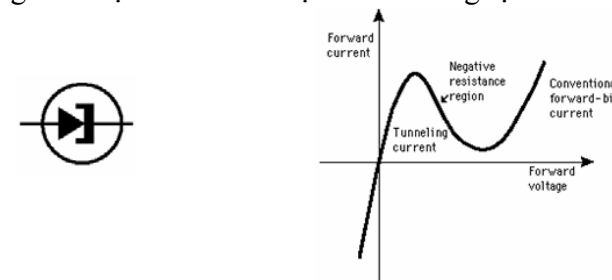


Điốt biến dung (varicap): Là loại điốt bán dẫn được sử dụng như một tụ điện có trị số điện dung điều khiển được bằng điện áp. Nguyên lý làm việc của điốt biến dung là dựa vào sự phụ thuộc của điện dung rào thế của tiếp xúc P-N với điện áp ngược đặt vào nó.



3.4 Phân loại điốt (3)

Điốt tunen (hay điốt xuyên hầm): Điốt được chế tạo từ chất bán dẫn có nồng độ tạp chất rất cao thông thường $n = (10^{19} \div 10^{23})/cm^3$. Loại điốt này có khả năng dẫn điện cả chiều thuận và chiều ngược.

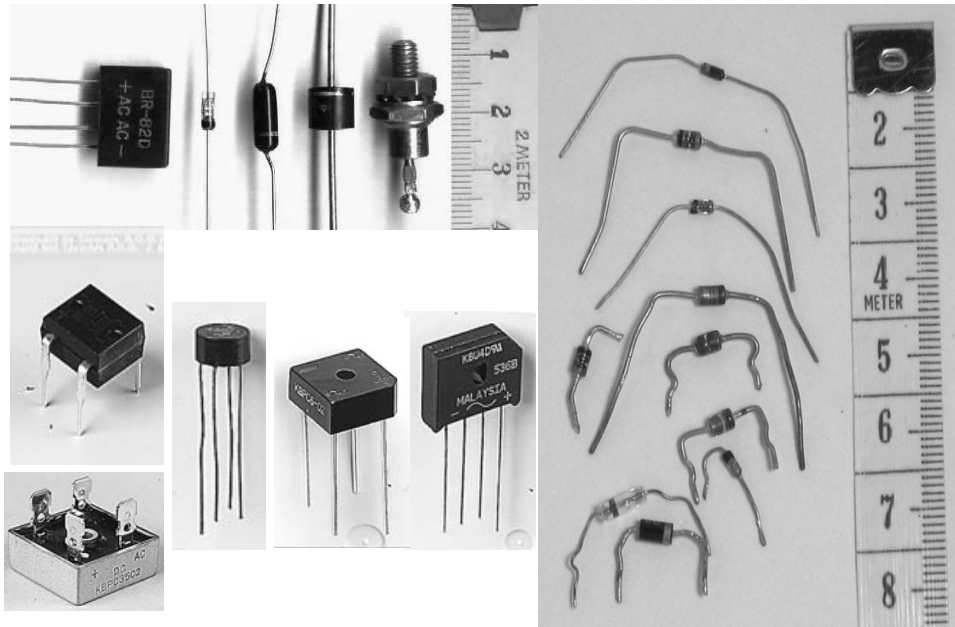


Điốt cao tần: Dùng để xử lý các tín hiệu cao tần như:

- Điốt tách sóng.
- Điốt trộn sóng.
- Điốt điều biến

Các điốt cao tần thường là loại điốt tiếp điểm.

Một số hình ảnh của Điốt



FEE1-PTIT

Lecture 5

21

Điốt Zener (1)

- Vùng Zener được dùng để thiết kế điốt Zener
- Điện áp Zener (V_Z): là điện áp phân cực ngược mà tại đó dòng điện có xu hướng tăng đột biến trong khi điện áp tăng không đáng kể.
- Điện áp Zener rất nhạy cảm đối với nhiệt độ làm việc.

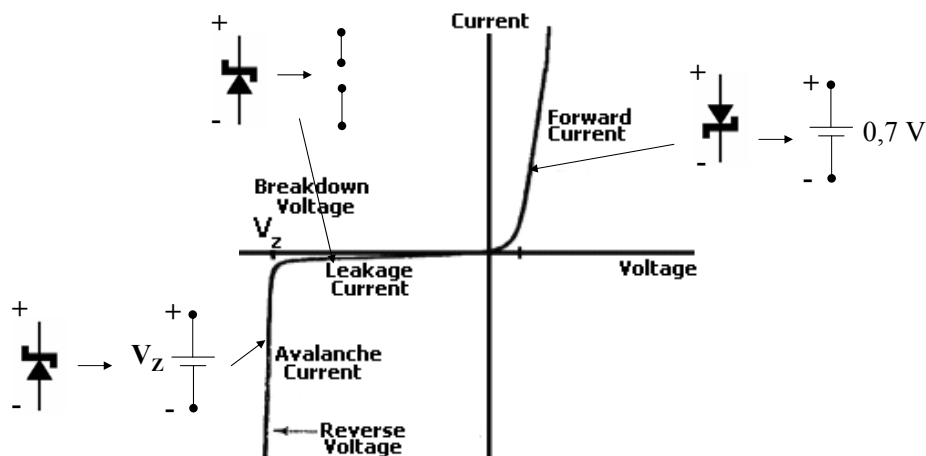
FEE1-PTIT

Lecture 5

22

Điốt Zener (2)

- Các đặc tính của điốt Zener với mô hình tương đương ở mỗi vùng



FEE1-PTIT

Lecture 5

23

3.7 Một số ứng dụng của Điốt (1)

- Điốt được sử dụng trong nhiều ứng dụng khác nhau. Ví dụ một số ứng dụng đơn giản như sau:
- + Mạch chỉnh lưu điện áp xoay chiều
- + Mạch nhân đôi điện áp
- + Mạch ghim và mạch hạn biên
- + Mạch ổn áp
- + Mạch tách sóng
- + Mạch logic
-

50/116

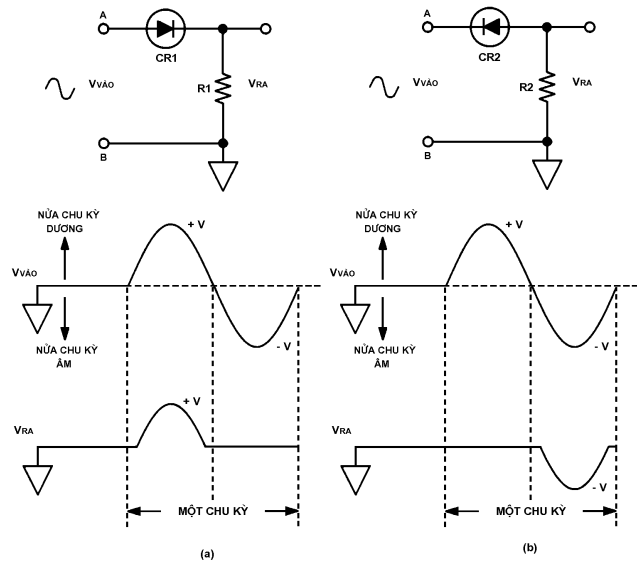
FEE1-PTIT

Lecture 5

24

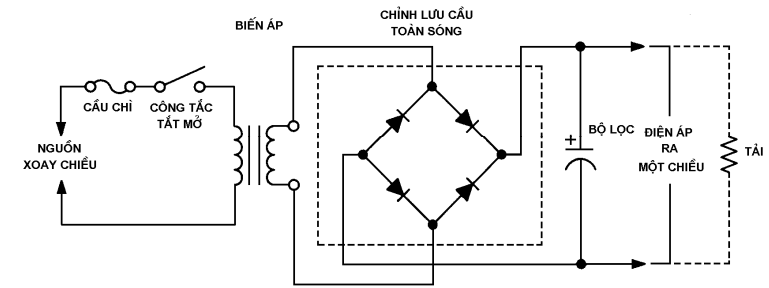
3.7 Một số ứng dụng của Điốt (2)

- Chỉnh lưu một nửa chu kỳ đơn giản

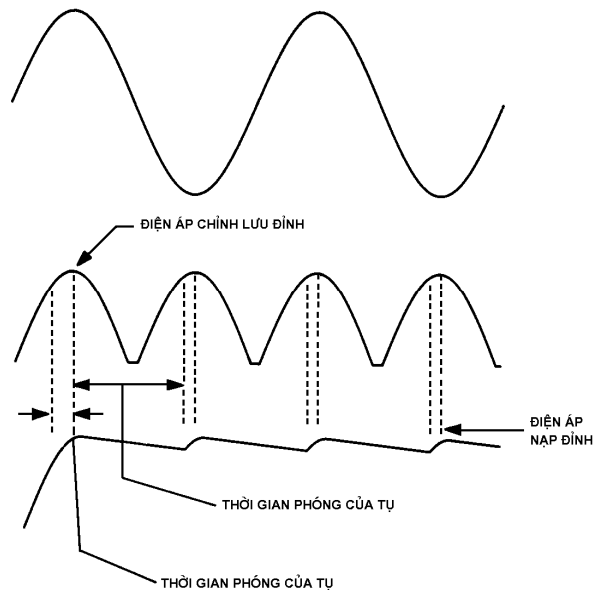


3.7 Một số ứng dụng của Điốt (3)

- Chỉnh lưu 2 nửa chu kỳ

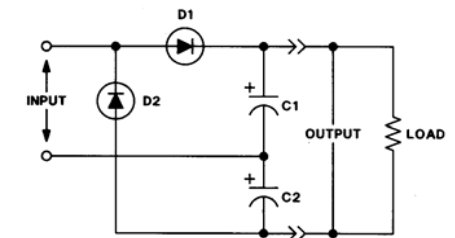


3.7 Một số ứng dụng của Điốt (4)



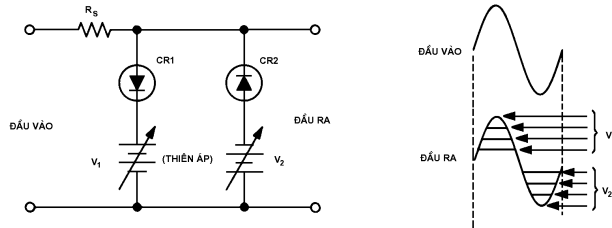
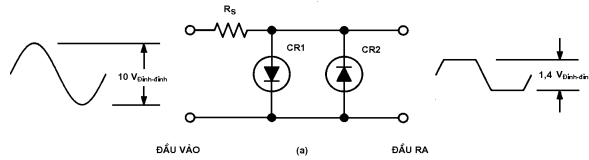
3.7 Một số ứng dụng của Điốt (5)

- Mạch nhân đôi biên độ điện áp



3.7 Một số ứng dụng của Điốt (6)

- Mạch ghim (dịch mức) và mạch hạn chế (ghim đỉnh)



Một số ứng dụng của Điốt (7)

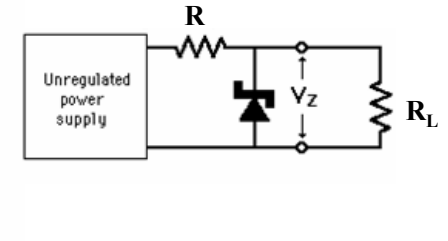
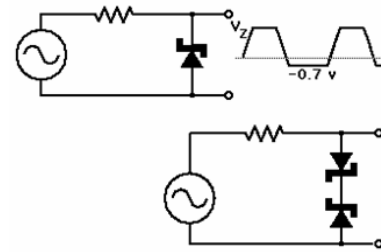
- Mạch hạn chế dùng điốt Zener (Zener Limiter):

Một điốt Zener có thể hạn chế 1 phía của một sóng sin tới điện áp Zener (V_Z), trong khi đó ghim phía kia tới gần giá trị 0.

Với hai điốt Zener mắc ngược nhau (hvẽ), sóng sin có thể bị hạn chế cả 2 phía tới điện áp Zener

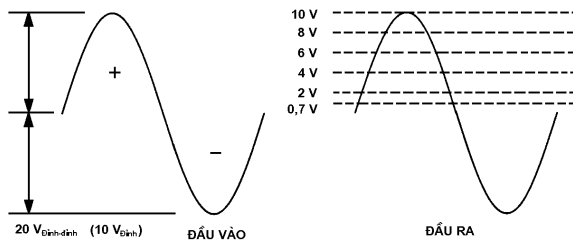
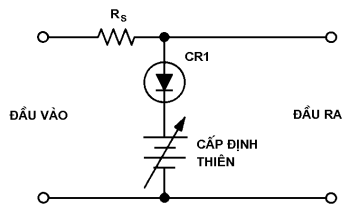
- Mạch ổn áp dùng điốt Zener (Zener Regulator):

Điện áp ngược không đổi (V_Z) của điốt Zener được dùng để ổn định điện áp ra chống lại sự thay đổi của điện áp đầu vào từ một nguồn điện áp thay đổi hay sự thay đổi của điện trở tải. I chạy qua điốt Zener sẽ thay đổi để giữ cho điện áp nằm trong giới hạn của ngưỡng của vùng làm việc của điốt Zener



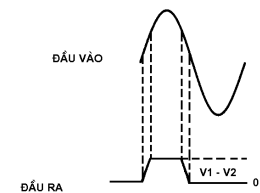
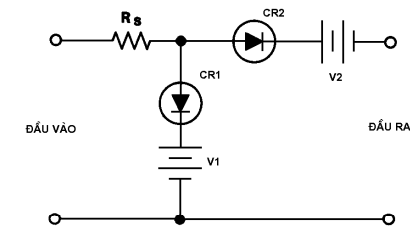
3.7 Một số ứng dụng của Điốt (8)

- Mạch hạn biên



3.7 Một số ứng dụng của Điốt (9)

- Mạch giới hạn biên độ 2 phía



CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ ELECTRONIC DEVICES

Lecture 6- BJT (Transistor lưỡng cực)

KHOA KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ 1
HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG - PTIT

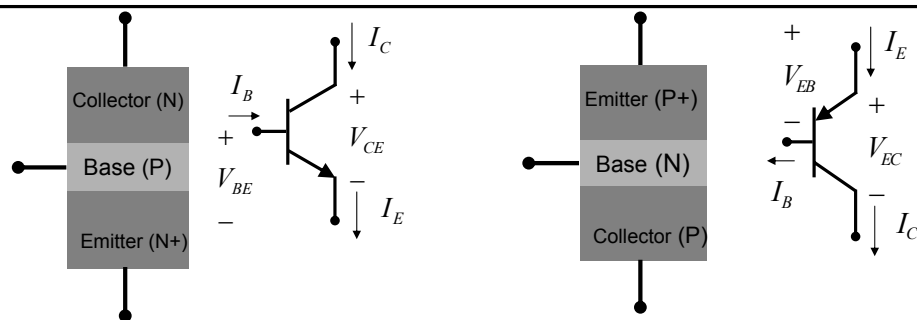
7/2008

FEE1-PTIT

Lecture 6

1

1.1. Cấu tạo BJT loại pnp, npn



- Transistor gồm có 2 tiếp giáp PN do 3 lớp tương ứng 3 miền phát, gốc, góp và có 3 điện cực nối tới 3 miền: Cực Phát-E (Emitter), Cực Gốc - B (Base), Cực Góp-C (Collector). BJT thuận có 3 miền PNP, BJT ngược có 3 miền NPN
- Chuyển tiếp PN giữa miền E-B là chuyển tiếp Emitter T_E , giữa B-C là chuyển tiếp collector T_C

FEE1-PTIT

Lecture 6

3

Lecture 6- BJT (Transistor lưỡng cực)

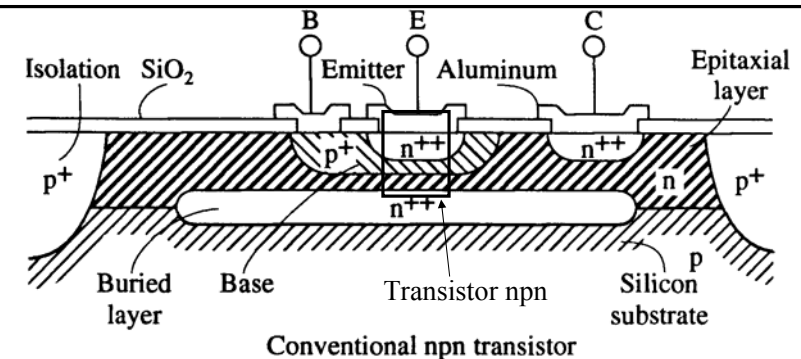
1. Cấu tạo và ký hiệu của lưỡng cực trong các sơ đồ mạch
 - 1.1. Cấu tạo BJT loại pnp, npn,
 - 1.2. Nguyên lý hoạt động của BJT
 - 1.3. Mô hình Ebers-Moll
2. Các cách mắc BJT và các họ đặc tuyến tương ứng
3. Phân cực cho BJT
4. Các mô hình tương đương của BJT.
5. Một số ứng dụng của BJT

FEE1-PTIT

Lecture 6

2

1.1. Cấu tạo BJT loại pnp, npn



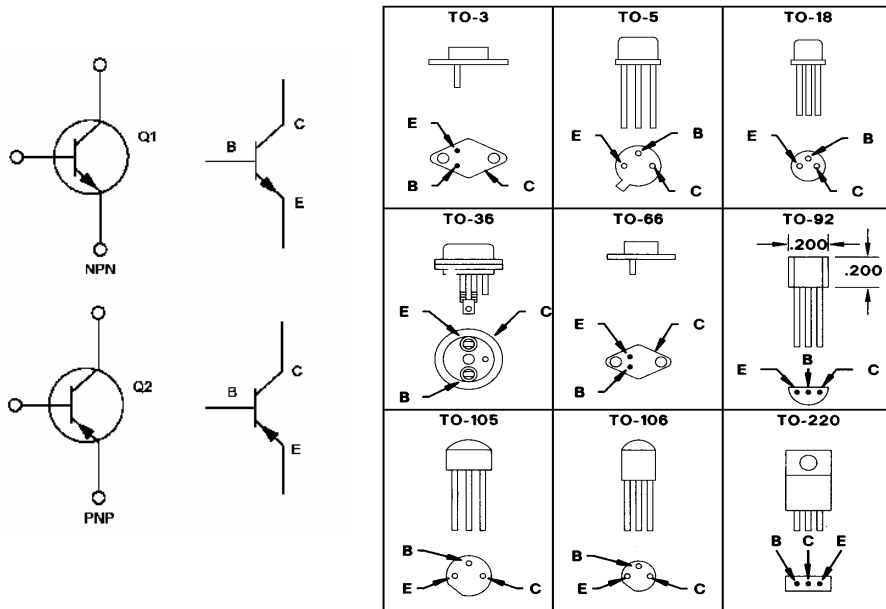
- Nồng độ pha tạp của miền E là khá cao, Miền B có nồng độ vừa phải kích thước khá mỏng, miền C có nồng độ pha tạp thấp. Miền phát có khả năng phát xạ các hạt dẫn sang miền gốc B, miền góp có khả năng thu nhận tất cả các hạt dẫn được phát xạ từ miền phát E qua miền gốc B tới.
- Miền C thường được nuôi trên phiến bán dẫn để, có lớp bán dẫn vùi sâu có nồng độ cao (Buried layer n++) để giảm trị số điện trở nối tiếp.
- Độ rộng của miền B nhỏ hơn độ dài khuếch tán trung bình rất nhiều

FEE1-PTIT

Lecture 6

4

Kí hiệu trên sơ đồ và các dạng đóng vỏ khác nhau của BJT



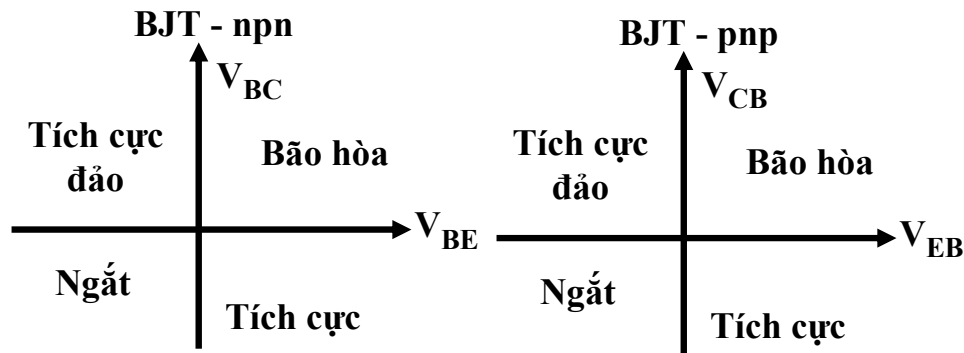
1.2. Nguyên lý hoạt động của BJT

- Ở trạng thái cân bằng nhiệt, dòng điện qua các cực = 0.
- Muốn cho Transistor làm việc ta phải cung cấp một điện áp một chiều thích hợp cho các chân cực. Tùy theo điện áp đặt vào các cực mà Transistor làm việc ở các chế độ khác nhau:
 - + **Chế độ ngắt:** Hai tiếp giáp PN đều phân cực ngược. Transistor có điện trở rất lớn và chỉ có một dòng điện qua các chân cực rất nhỏ.
 - + **Chế độ dẫn bão hòa:** Cả hai tiếp giáp PN đều phân cực thuận. Transistor có điện trở rất nhỏ và dòng điện qua nó là rất lớn.
 - + **Chế độ tích cực:** Tiếp giáp BE phân cực thuận, tiếp giáp BC phân cực ngược, Transistor làm việc như một phần tử tích cực, có khả năng khuếch đại, phát tín hiệu... Đây là chế độ thông dụng nhất của Transistor.
 - + **Chế độ tích cực đảo (Chế độ đảo):** Tiếp giáp BE phân cực ngược, tiếp giáp BC phân cực thuận, đây là chế độ không mong muốn
- Cả hai loại Transistor pnp và npn đều có nguyên lý làm việc giống hệt nhau, chỉ có chiều nguồn điện cung cấp là ngược dấu nhau. Chỉ cần xét với BJT npn, với loại BJT pnp tương tự.

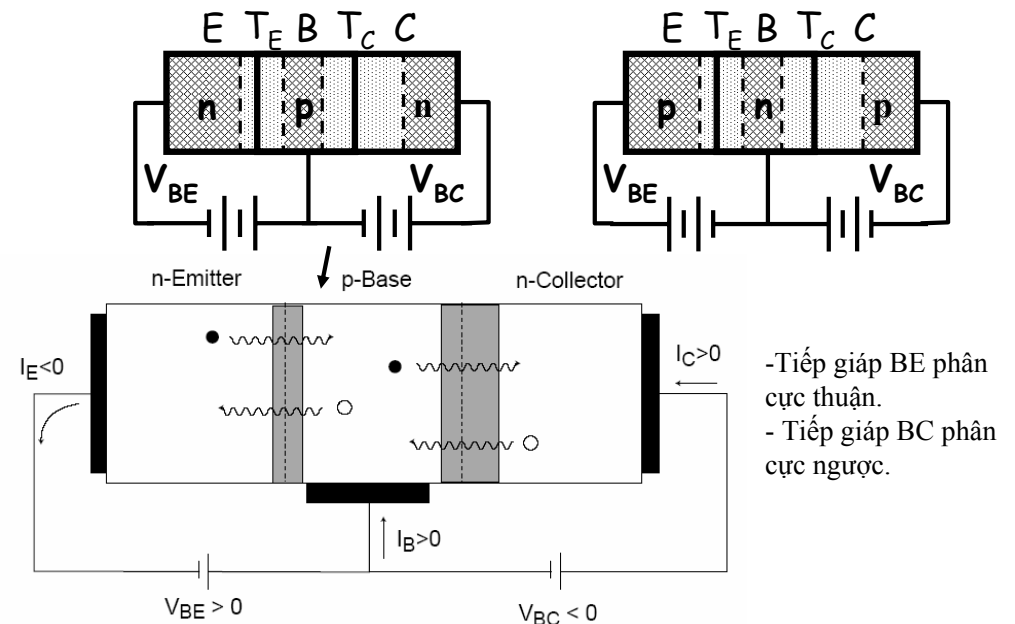
1.2. Nguyên lý hoạt động của BJT

- Ở chế độ ngắt và chế độ dẫn bão hòa, BJT làm việc như một phần tử tuyến tính trong mạch điện. Trong BJT không có quá trình điều khiển dòng điện hay điện áp. Transistor làm việc ở chế độ này như một khóa điện tử và nó được sử dụng trong các mạch xung, các mạch logic.

Các vùng làm việc của BJT:



a. BJT làm việc trong chế độ tích cực (Forward Active)



a. BJT làm việc trong chế độ tích cực

- T_E phân cực thuận nên hạt dẫn đa số là điện tử từ miền E được khuếch tán sang miền B qua chuyển tiếp T_E , trở thành hạt dẫn thiểu số, do sự chênh lệch nồng độ chúng tiếp tục khuếch tán đến miền chuyển tiếp T_C , tại đây nó được cuốn sang miền C (do điện trường của tiếp giáp T_C có tác dụng cuốn hạt thiểu số).
- Hạt dẫn đa số là lỗ trống tại miền B cũng khuếch tán ngược lại miền E nhưng không đáng kể so với dòng khuếch tán điện tử do nồng độ lỗ trống ở miền B ít hơn rất nhiều (do nồng độ pha tạp miền B ít hơn nhiều)
- Điện tử khuếch tán từ E sang B làm cho mật độ điện tử rất cao ở miền B tại vị trí gần lớp tiếp xúc T_E và ở đây điện tử và lỗ trống sẽ tái hợp với nhau.
- Để các điện tử bị tái hợp ít, người ta chế tạo phần phát (E) có nồng độ tạp chất lớn hơn rất nhiều so với phần gốc (B) \rightarrow thành phần dòng điện cực phát do các điện tử tạo nên lớn hơn nhiều thành phần dòng điện do các lỗ trống tạo nên.

a. BJT làm việc trong chế độ tích cực

- Hiệu suất của cực phát: γ - là tỉ số giữa thành phần dòng điện của hạt đa số với dòng điện cực phát:

$$BJTnpn : \quad \gamma = \frac{I_{nE}}{I_E} = \frac{I_{nE}}{I_{pE} + I_{nE}} \approx 0,98 \div 0,995$$

- Hệ số khuếch đại dòng điện cực phát tĩnh : α_F (α_0) hay còn gọi là hệ số truyền đạt dòng điện cực phát :

$$\alpha_F = \alpha_0 = \frac{I_C}{I_E} \quad \square$$

a. BJT làm việc trong chế độ tích cực

- Dòng điện I_B chủ yếu gồm dòng ngược của tiếp xúc góp T_C , thành phần dòng cuốn các hạt thiểu số qua tiếp xúc phát T_E và các thành phần dòng điện do hiện tượng tái hợp trong lớp tiếp xúc phát và trong miền gốc tạo nên.

$$I_B = I_{pE} - I_{nE} - I_{nC} - I_{CB0}$$

- Quan hệ giữa 3 thành phần dòng điện trong BJT trong chế độ 1 chiều:

$$I_B = (1 - \alpha_0) I_E - I_{CB0}$$

$$I_C = I_{nC} + I_{CB0} = \alpha_0 I_E + I_{CB0}$$

$$I_E = I_C + I_B$$

- Thực tế thường dùng hệ số khuếch đại dòng điện cực phát tín hiệu nhỏ hay còn gọi là hệ số truyền đạt vì phân dòng điện cực phát α :

$$\alpha = \frac{\partial I_C}{\partial I_E}$$

a. BJT làm việc trong chế độ tích cực

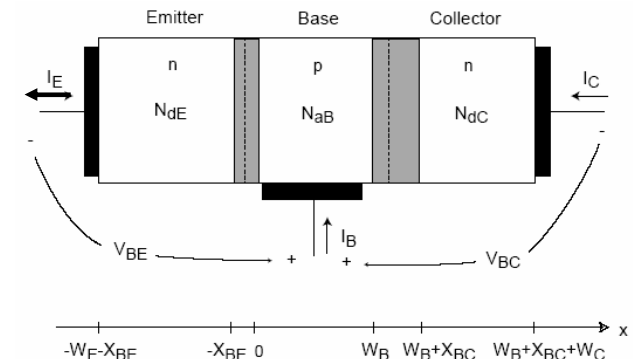
- Hệ số khuếch đại dòng Emitter chung (tĩnh) một chiều β_F (β_0) :

$$\beta_0 = \frac{I_C}{I_B}, \text{ mà } I_E = I_B + I_C \Rightarrow \beta_0 = \frac{\alpha_F}{1 - \alpha_F}$$

- Hệ số khuếch đại dòng Emitter chung tín hiệu nhỏ:

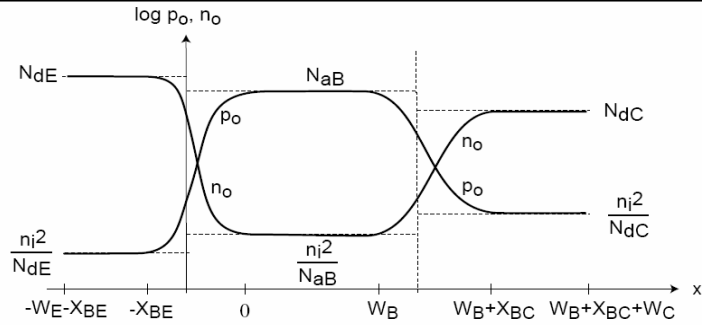
$$\beta = \frac{\partial I_C}{\partial I_B} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

- Mô hình kích thước đơn giản của BJT npn

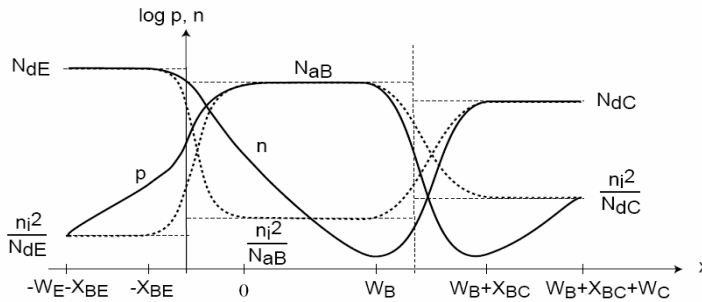


Phân bố nồng độ hạt dẫn trong BJT

Ở điều kiện cân bằng nhiệt

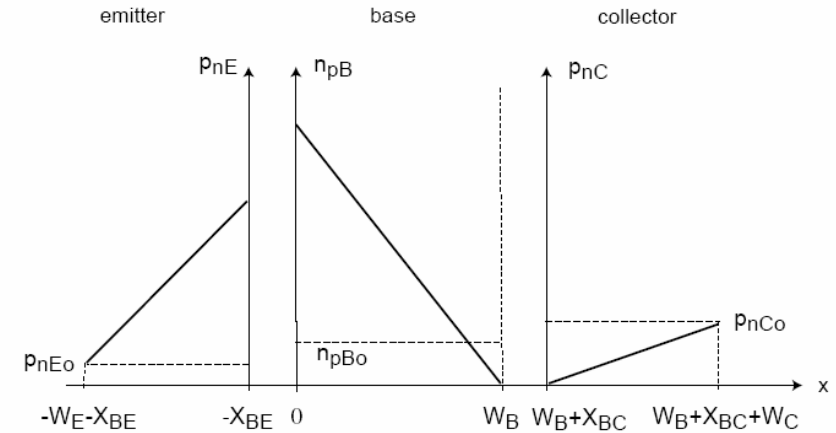


Ở chế độ tích cực

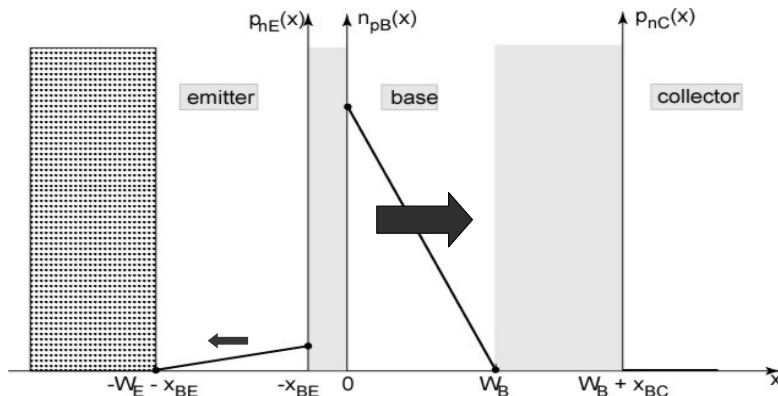


Phân bố nồng độ hạt dẫn thiểu số trong các vùng của BJT

- Giả sử trong chế độ tích cực, sự phân bố các hạt dẫn thiểu số trong các vùng là tuyến tính, như vậy chỉ cần xác định được nồng độ của chúng tại các vị trí biên sẽ xác định được đường phân bố của chúng.



Dòng khuếch tán chủ yếu trong BJT ở chế độ tích cực



- Dòng điện chủ yếu trong BJT là các dòng khuếch tán hạt dẫn.
- Dòng điện trên miền C chủ yếu do dòng khuếch tán hạt thiểu số ở miền B đến chuyển tiếp T_C và được cuốn qua chuyển tiếp này sang miền C.
- Dòng điện trên miền B chủ yếu là dòng khuếch tán hạt dẫn thiểu số tại miền E từ miền B sang qua chuyển tiếp T_E .

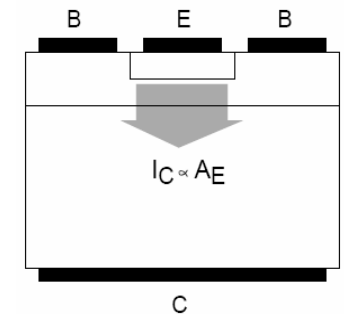
+ Tính toán dòng Collector : I_C

- Dòng I_C chủ yếu là dòng các hạt dẫn thiểu số khuếch tán trong miền B và được cuốn sang miền C qua chuyển tiếp collector.
- Dòng collector:

$$I_C = I_S \exp \frac{qV_{BE}}{kT}$$

I_S - dòng Collector bão hòa:

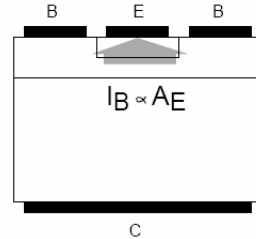
$$I_S = \left(\frac{qD_n n_{pB0} A_E}{W_B} \right)$$



+ Tính toán dòng Base : I_B

- I_B chủ yếu do dòng khuếch tán lỗ trống sang miền E và dòng tái hợp tại T_E và miền B, tính toán dòng điện trên cực B bỏ qua dòng tái hợp.
- Giả sử sự phân bố hạt thiểu số lỗ trống trong miền E là tuyến tính
- Dòng I_B được xác định:

$$I_B = \frac{I_S}{\beta_0} \left(\exp \frac{qV_{BE}}{kT} - 1 \right)$$



+ Tính toán dòng Base : I_B

- Vì $V_{BE} \gg KT/q$ nên ta có $I_B = I_C / \beta_0$
- Hệ số KĐ dòng Emitter chung một chiều:

$$\beta_F = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\left(\frac{qD_n n_{pB0} A_E}{W_B} \right)}{\left(\frac{qD_p p_{nE0} A_E}{W_E} \right)} = \left(\frac{D_n}{D_p} \right) \left(\frac{n_{pB0}}{p_{nE0}} \right) \left(\frac{W_E}{W_B} \right)$$

mà

$$\frac{n_{pB0}}{p_{nE0}} = \frac{\frac{n_i^2}{N_{aB}}}{\frac{n_i^2}{N_{dE}}} = \frac{N_{dE}}{N_{aB}}$$

Vậy:

$$\beta_F = \beta_0 = \frac{D_n N_{dE} W_E}{D_p N_{aB} W_B}$$

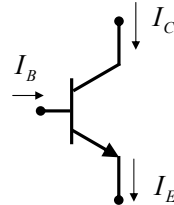
+ Dòng điện trên cực phát I_E

- Với quy ước chiều các dòng điện như hình vẽ, dòng điện trên cực phát được xác định như sau:

$$I_E = I_C + I_B = I_S \exp \frac{qV_{BE}}{kT} + \frac{I_S}{\beta_F} \left(\exp \frac{qV_{BE}}{kT} - 1 \right)$$

$$\beta_F = \beta_0 = \frac{D_n N_{dE} W_E}{D_p N_{aB} W_B}$$

$$I_S = \left(\frac{qD_n n_{pB0} A_E}{W_B} \right)$$



a. BJT làm việc trong chế độ tích cực

$$\beta_F = \beta_0 = \frac{D_n N_{dE} W_E}{D_p N_{aB} W_B}$$

Nhận xét β_0 :

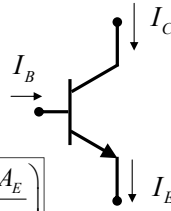
- Để β_0 lớn chọn: $N_{dE} \gg N_{aB}$; $W_E \gg W_B$ hay giảm tối đa kích thước miền Base W_B và pha tạp tối đa miền Emitter N_{dE}
- Thực tế β_0 của npn luôn lớn hơn β_0 của pnp vì luôn có $D_n > D_p$
- Hiện nay người ta chế tạo được BJT có β_0 từ khoảng 50 ÷ 300
- β_0 độc lập với I_C
- Việc ổn định β_0 trong khi sản xuất rất khó do đó cần sử dụng kỹ thuật mạch điện tử để giải quyết.

Tóm tắt: BJT làm việc trong chế độ tích cực

- Tóm lại trong chế độ làm việc tích cực, tiếp giáp BE phân cực thuận, tiếp giáp BC phân cực ngược.

- Quan hệ giữa các dòng điện trong BJT-npn là:

$$I_E = I_B + I_C$$



$$I_C = I_S \exp\left(\frac{qV_{BE}}{kT}\right)$$

$$I_B = \frac{I_S}{\beta_0} \left(\exp\left(\frac{qV_{BE}}{kT}\right) - 1 \right)$$

$$I_S = \left(\frac{qD_n n_{pB0} A_E}{W_B} \right)$$

- Trong chế độ tĩnh (chế độ 1 chiều):

$$\alpha_F = \alpha_0 = \frac{I_C}{I_E}$$

$$\beta_F = \beta_0 = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha_F}{1 - \alpha_F}$$

$$\beta_F = \frac{D_n N_{dE} W_E}{D_p N_{aB} W_B}$$

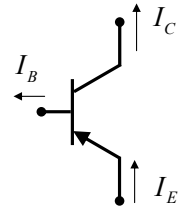
- Trong chế độ động:

$$\alpha = \frac{\partial I_C}{\partial I_E}$$

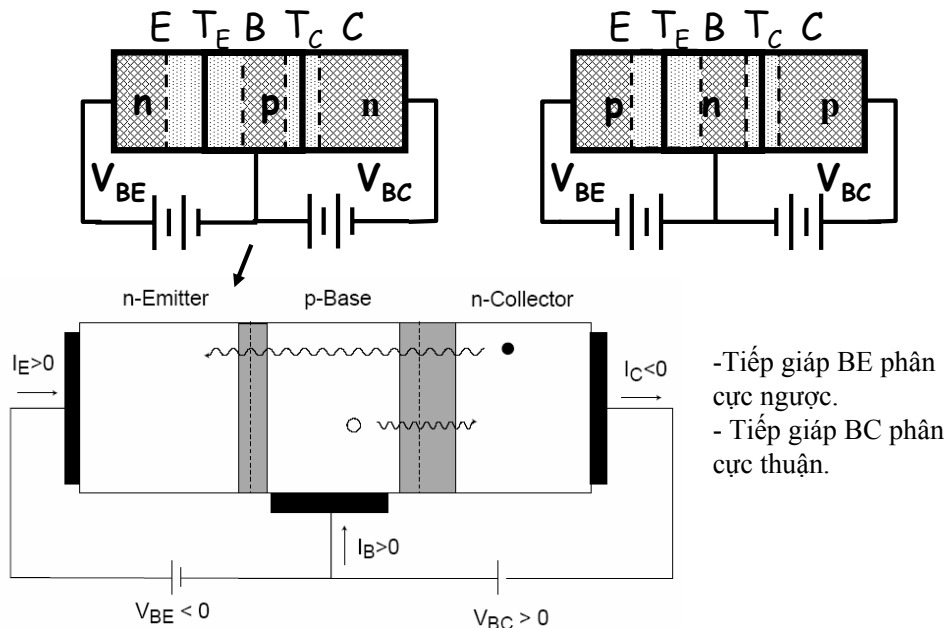
$$\beta = \frac{\partial I_C}{\partial I_B} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

a. BJT làm việc trong chế độ tích cực

Quan hệ giữa các dòng điện trong BJT-pnp (Sinh viên có thể tự suy ra từ BJT-npn)

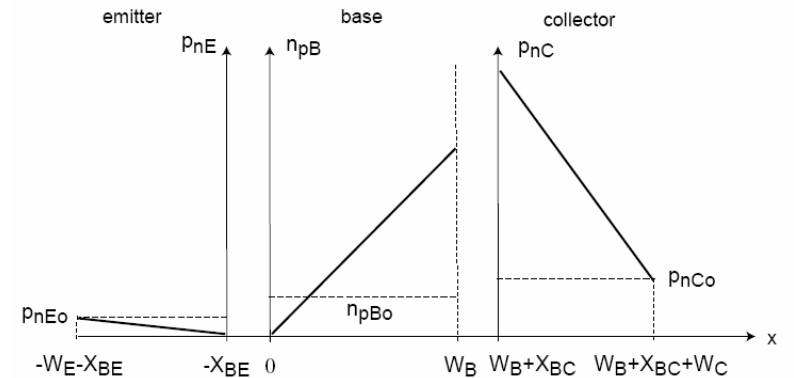


b. BJT làm việc trong chế độ đảo (Reverse)



b. BJT làm việc trong chế độ đảo (Reverse)

- Phân bố nồng độ hạt dẫn thiểu số trong các miền của BJT ở chế độ đảo như hình vẽ:

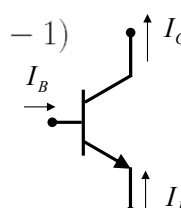


- Khi BJT npn ở chế độ đảo, miền C phun hạt dẫn đa số (điện tử) sang miền B, và chúng lại được thu gom bởi miền E.

b. BJT làm việc trong chế độ đảo (Reverse)

- Tính toán tương tự như chế độ tích cực, dòng điện trên các cực được tính như sau:

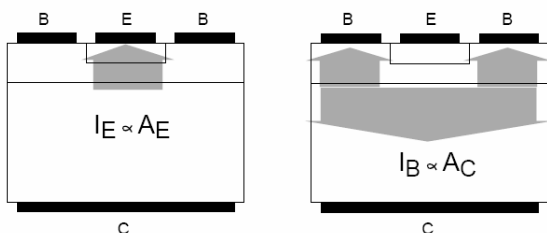
$$I_E = I_S \exp \frac{qV_{BC}}{kT} \quad I_B = \frac{I_S}{\beta_R} (\exp \frac{qV_{BC}}{kT} - 1)$$

$$I_C = I_E + I_B = I_S \exp \frac{qV_{BC}}{kT} + \frac{I_S}{\beta_R} (\exp \frac{qV_{BC}}{kT} - 1)$$


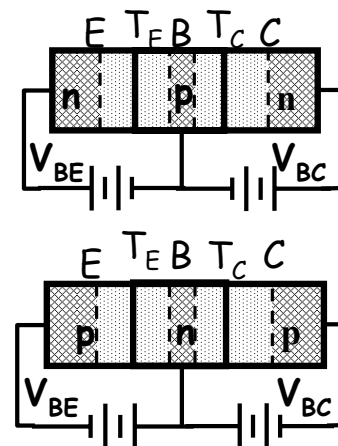
- Hệ số khuếch đại dòng Collector tĩnh:

$$\beta_R = \frac{I_E}{I_B} = \frac{D_n N_{dC} W_C}{D_p N_{aB} W_B}$$

$$\beta_R \simeq 0.1 - 5 \ll \beta_F.$$

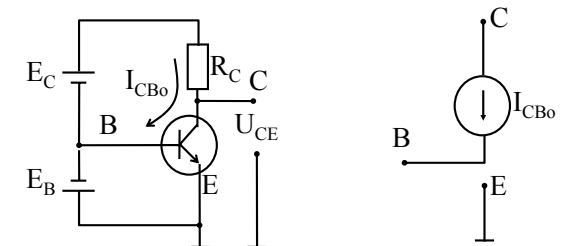


c. BJT ở chế độ ngắt (Cut-off)



Sơ đồ phân cực BJT npn trong chế độ ngắt

Sơ đồ tương đương đơn giản của BJT npn ở chế độ ngắt



- Cung cấp nguồn sao cho hai tiếp xúc PN đều được phân cực ngược. Điện trở của các chuyển tiếp rất lớn, chỉ có dòng điện ngược bão hòa rất nhỏ của tiếp giáp góp I_{CB0} . Còn dòng điện ngược của tiếp giáp phát I_{EB0} rất nhỏ so với I_{CB0} nên có thể bỏ qua. Như vậy, mạch cực E coi như hở mạch. Dòng điện trong cực gốc B: $I_B = -I_{CB0}$

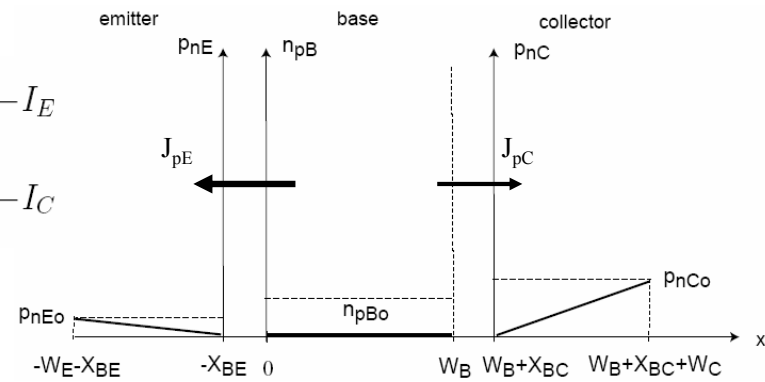
+ Tính dòng điện trong BJT ở chế độ ngắt

- Dòng qua qua các tiếp giáp chủ yếu là dòng do ngược, là dòng cuốn các hạt thiểu số lỗ trống của các miền qua các tiếp giáp. Lỗ trống được cuốn từ miền B sang miền E tạo ra dòng I_{B1} , và lỗ trống từ miền B cuốn sang miền C tạo ra dòng I_{B2} , các dòng này rất nhỏ.

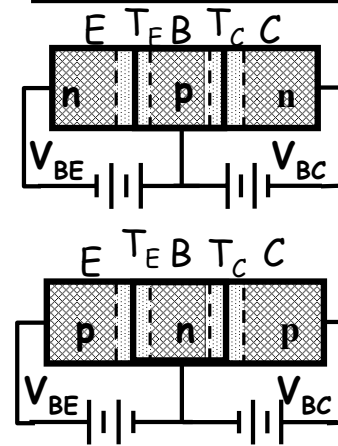
- Mật độ hạt thiểu số trong các miền của BJT npn trong chế độ ngắt như hình vẽ:

$$I_{B1} = -\frac{I_S}{\beta_F} = -I_E$$

$$I_{B2} = -\frac{I_S}{\beta_R} = -I_C$$

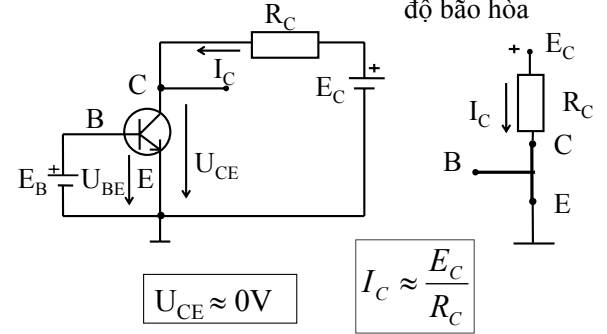


d. BJT ở chế độ bão hòa (Saturation)



Sơ đồ phân cực BJT npn trong chế độ bão hòa

Sơ đồ tương đương đơn giản của BJT npn ở chế độ bão hòa

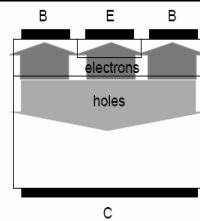


- Cung cấp nguồn điện một chiều vào các cực của Transistor sao cho hai tiếp xúc PN đều phân cực thuận. Khi đó điện trở của hai tiếp xúc phát T_E và tiếp xúc góp T_C rất nhỏ nên có thể coi đơn giản là hai cực phát E và cực góp C được nối tắt. Dòng điện qua Transistor I_C khá lớn và được xác định bởi điện áp nguồn cung cấp E_C và không phụ thuộc gì vào Transistor đang sử dụng, thực tế $U_{CE} \approx 0,2V$.

+ Tính dòng trong BJT ở chế độ bão hòa

- Chế độ bão hòa có thể coi như là sự xếp chồng của 2 chế độ tích cực và chế độ đảo.

- Dòng điện ở các cực ở chế độ bão hòa được xác định từ dòng trên các cực ở 2 chế độ tích cực và chế độ ngược như sau:



$$I_C = I_S \left(\exp \frac{qV_{BE}}{kT} - \exp \frac{qV_{BC}}{kT} \right) - \frac{I_S}{\beta_R} \left(\exp \frac{qV_{BC}}{kT} - 1 \right)$$

$$I_B = \frac{I_S}{\beta_F} \left(\exp \frac{qV_{BE}}{kT} - 1 \right) + \frac{I_S}{\beta_R} \left(\exp \frac{qV_{BC}}{kT} - 1 \right)$$

$$I_E = I_C + I_B = \frac{I_S}{\beta_F} \left(\exp \frac{qV_{BE}}{kT} - 1 \right) + I_S \left(\exp \frac{qV_{BE}}{kT} - \exp \frac{qV_{BC}}{kT} \right)$$

- Dấu của I_C và I_B phụ thuộc vào quan hệ độ lớn giữa V_{BE} và V_{BC} , giữa β_R và β_F

- Ở chế độ bão hòa miền B và C dư thừa các hạt dẫn thiểu số nên sẽ mất một thời gian trễ để BJT ra khỏi chế độ bão hòa.

1.3 Mô hình Ebers-Moll

- **Phương trình Ebers-Moll:** Viết biểu thức dòng trên E và C theo dòng qua các chuyển tiếp (dựa theo dòng điện qua tiếp giáp PN - xem lại Lecture 3).

$$I_E = -\frac{I_S}{\alpha_F} \left(e^{V_{BE}/V_{th}} - 1 \right) + I_S \left(e^{V_{BC}/V_{th}} - 1 \right)$$

$$I_C = I_S \left(e^{V_{BE}/V_{th}} - 1 \right) - \frac{I_S}{\alpha_R} \left(e^{V_{BC}/V_{th}} - 1 \right)$$

- Đặt $I_S = \alpha_F I_{ES} = \alpha_R I_{CS}$, ta có hệ phương trình Ebers-Moll như sau:

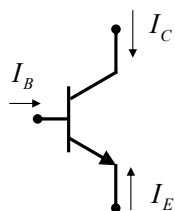
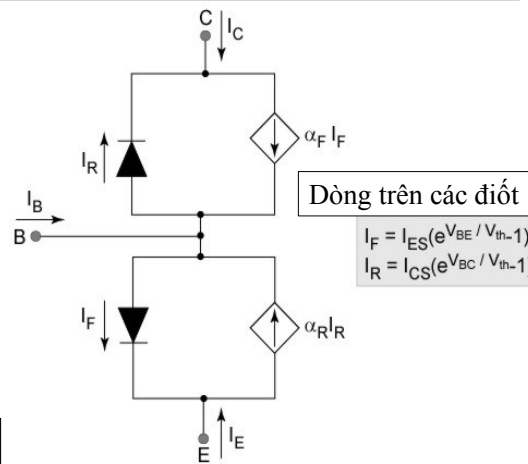
$$\begin{cases} I_E = -I_{ES} \left(e^{V_{BE}/V_{th}} - 1 \right) + \alpha_R I_{CS} \left(e^{V_{BC}/V_{th}} - 1 \right) \\ I_C = \alpha_F I_{ES} \left(e^{V_{BE}/V_{th}} - 1 \right) - I_{CS} \left(e^{V_{BC}/V_{th}} - 1 \right) \end{cases}$$

1.3 Mô hình Ebers-Moll

- Mô hình có thể sử dụng cho BJT ở cả 3 chế độ làm việc khác nhau: chế độ tích cực, chế độ ngắt, chế độ bão hòa.

- Thường dùng cho các trường hợp **một chiều** và trường hợp **tín hiệu lớn**.

- Được xây dựng trên từ hệ phương trình Ebers-Moll



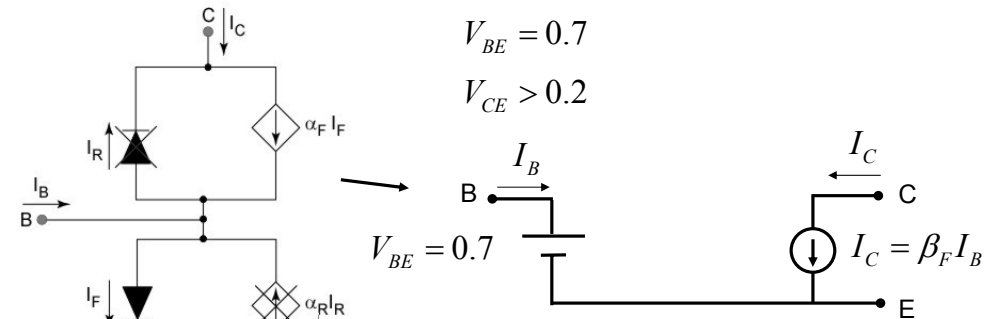
$$I_S = \alpha_F I_{ES} = \alpha_R I_{CS}$$

$$I_E = -I_{ES} \left(e^{V_{BE}/V_{th}} - 1 \right) + \alpha_R I_{CS} \left(e^{V_{BC}/V_{th}} - 1 \right)$$

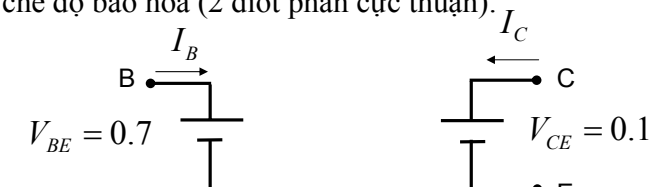
$$I_C = \alpha_F I_{ES} \left(e^{V_{BE}/V_{th}} - 1 \right) - I_{CS} \left(e^{V_{BC}/V_{th}} - 1 \right)$$

Mô hình Ebers-Moll đơn giản cho các chế độ làm việc

- Mô hình Ebers-Moll đơn giản cho BJT npn trong chế độ tích cực:



- Mô hình Ebers-Moll đơn giản cho BJT npn trong chế độ bão hòa (2 điốt phân cực thuận):

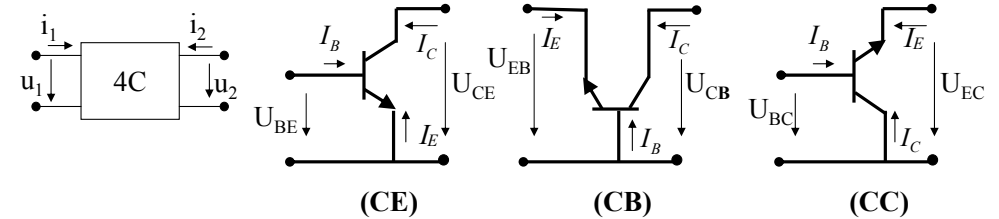


Mô hình Ebers-Moll cho BJT pnp

- Sinh viên tự suy ra từ mô hình Ebers-Moll của BJT pnp

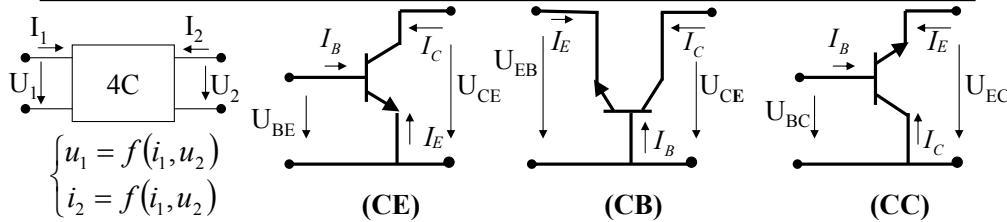
2. Các cách mắc BJT và các họ đặc tuyến tương ứng

- Trong các mạch điện, BJT được xem như một mạng 4 cực: tín hiệu được đưa vào hai chân cực và tín hiệu lấy ra cũng trên hai chân cực
 - BJT có 3 cực là E, B, C nên khi sử dụng ta phải đặt một chân cực làm dây chung của mạch vào và mạch ra. Ta có thể chọn một trong 3 chân cực để làm cực chung cho mạch vào và mạch ra. Do đó, Transistor có 3 cách mắc cơ bản là mạch cực phát chung (CE), mạch cực gốc chung (CB), và mạch cực góp chung (CC).



- Đặc trưng của mạng 4 cực dùng hệ phương trình trở kháng, dẫn nạp, hỗn hợp. Hệ phương trình hỗn hợp:
$$\begin{cases} u_1 = f(i_1, u_2) \\ i_2 = f(i_1, u_2) \end{cases} \rightarrow \begin{cases} u_1 = h_{11} \cdot i_1 + h_{12} \cdot u_2 \\ i_2 = h_{21} \cdot i_1 + h_{22} \cdot u_2 \end{cases}$$

2. Các cách mắc BJT và các họ đặc tuyến tương ứng



$$\begin{cases} u_1 = f(i_1, u_2) \\ i_2 = f(i_1, u_2) \end{cases}$$

- Từ hệ phương trình hỗn hợp rút ra các phương trình đặc tuyến như sau:

Đặc tuyến	Tổng quát	CE	CB	CC
Đặc tuyến vào	$u_1 = f(i_1) _{u_2}$	$U_{BE} = f(I_B) _{U_{CE}}$	$U_{EB} = f(I_E) _{U_{CB}}$	$U_{BC} = f(I_B) _{U_{EC}}$
Đặc tuyến phản hồi	$u_1 = f(u_2) _{i_1}$	$U_{BE} = f(U_{CE}) _{I_B}$	$U_{EB} = f(U_{CB}) _{I_E}$	$U_{BC} = f(U_{EC}) _{I_B}$
Đặc tuyến truyền đạt	$i_2 = f(i_1) _{u_2}$	$I_C = f(I_B) _{U_{CE}}$	$I_C = f(I_E) _{U_{CB}}$	$I_E = f(I_B) _{U_{EC}}$
Đặc tuyến ra	$i_2 = f(u_2) _{i_1}$	$I_C = f(U_{CE}) _{I_B}$	$I_C = f(U_{CB}) _{I_E}$	$I_E = f(U_{EC}) _{I_B}$

2. Các cách mắc BJT và các họ đặc tuyến tương ứng

$$\begin{cases} u_1 = h_{11} \cdot i_1 + h_{12} \cdot u_2 \\ i_2 = h_{21} \cdot i_1 + h_{22} \cdot u_2 \end{cases}$$

- Các họ đặc tuyến đặc trưng cho tham số, đặc tính của BJT ở mỗi cách mắc, chúng có vai trò quan trọng trong việc xác định các điểm làm việc, định thiên, chế độ làm việc của BJT. Để vẽ các họ đặc tuyến này thường dùng mô hình BJT lý tưởng, với những điều kiện là:
 + Đặc tuyến V-A của mỗi chuyển tiếp PN đều được mô tả bằng biểu thức: $I = I_S [\exp(U/U_{th}) - 1]$.
 + Cường độ điện trường trong chuyển tiếp PN nếu phân cực ngược phải nhỏ hơn nhiều điện trường gây ra đánh thủng.
 + Điện trở suất của các miền E, B, C coi như là rất nhỏ. Ngoài điện trường tồn tại ở các chuyển tiếp PN không có điện trường tồn tại ở các nơi khác.
 + Nồng độ phân các hạt dẫn thấp.
 - Trong BJT lý tưởng đặc tuyến của mỗi chuyển tiếp PN chịu ảnh hưởng tuyến tính của dòng điện đi qua chuyển tiếp kia.

Các tham số đặc trưng cho BJT ở mỗi chế độ mắc

- Ngoài các đặc tuyến tương ứng với từng chế độ mắc, còn cần phải xác định các tham số đặc trưng như sau:

+ **Độ hở dẫn S** : biểu thị mối quan hệ giữa dòng điện ra trên mạch và điện áp vào.

$$S = \frac{dI_{ra}}{dU_{vào}} \quad \text{khi } U_{ra} = const$$

+ **Điện trở ra vi phân r_{ra}** : biểu thị quan hệ giữa dòng điện trên mạch ra với điện áp trên mạch ra.

$$r_{ra} = \frac{dU_{ra}}{dI_{ra}} \quad \text{khi } I_{vào} = const$$

+ **Điện trở vào vi phân $r_{vào}$** : biểu thị quan hệ giữa dòng điện trên mạch vào với điện áp trên mạch vào

$$r_{vào} = \frac{dU_{vào}}{dI_{vào}} \quad \text{khi } U_{ra} = const$$

+ **Hệ số khuếch đại dòng điện tĩnh: K_{I0}**

$$K_{I0} = \frac{I_{ra}}{I_{vào}}$$

Các tham số đặc trưng cho BJT ở mỗi chế độ mắc

- **Hệ số khuếch đại điện áp: K_u**

$$K_u = \frac{dU_{ra}}{dU_{vào}}$$

- **Hệ số khuếch đại công suất: K_p**

$$K_p = \frac{P_{ra}}{P_{vào}}$$

2.1 Sơ đồ BJT npn mắc cực phát chung - CE

- **Xác định đặc tuyến ra tĩnh:**

$$I_C = f(U_{CE})|_{I_B}$$

+ Giữ I_B ở một trị số cố định, thay đổi U_{CE} và ghi lại giá trị tương ứng của I_C , vẽ được đặc tuyến $I_C = f(U_{CE})$, Thay đổi I_B đến giá trị khác nhau là thực hiện tương tự kết quả thu được họ đặc tính ra tĩnh của BJT mắc CE.

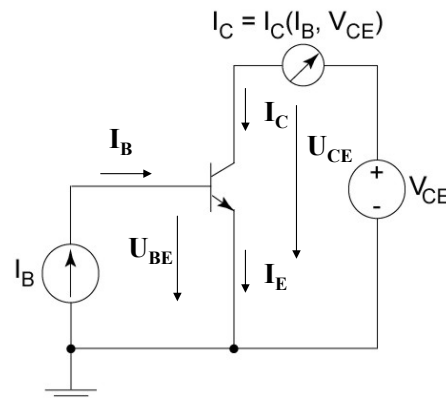
- **Xác định đặc tuyến vào tĩnh:**

$$U_{BE} = f(I_B)|_{U_{CE}}$$

+ Giữ U_{CE} ở một trị số cố định, thay đổi U_{BE} và ghi lại giá trị tương ứng của I_B , vẽ được đặc tuyến $I_B = f(U_{BE})$, Thay đổi U_{CE} đến giá trị khác nhau là thực hiện tương tự, kết quả thu được họ đặc tính vào tĩnh của BJT mắc CE.

- **Xác định hệ số truyền đạt (đặc tuyến khuếch đại): $I_C = f(I_B)|_{U_{CE}}$**

+ Có thể được xác định từ đặc tuyến ra.



Họ đặc tuyến vào tĩnh

- **Nhận xét đặc tuyến vào tĩnh:**

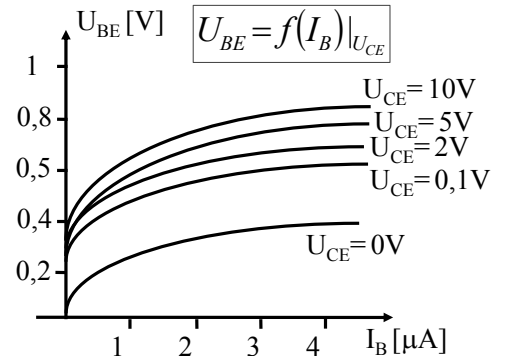
+ Khi điện áp $U_{BE} < 0$ thì tiếp xúc phát T_E phân cực ngược, trong lúc tiếp xúc góp phân cực ngược ($U_{CE} < 0$), nên Transistor làm việc ở chế độ ngắt, dòng điện phát $I_E = 0$, nên ta có: $I_B = -I_{CB0}$

- Khi $U_{BE} > 0$ thì tiếp xúc phát T_E phân cực thuận, đặc tuyến giống như đặc tuyến của chuyển tiếp PN phân cực thuận, vì dòng I_B là một phần của dòng I_E qua chuyển tiếp T_E phân cực thuận.

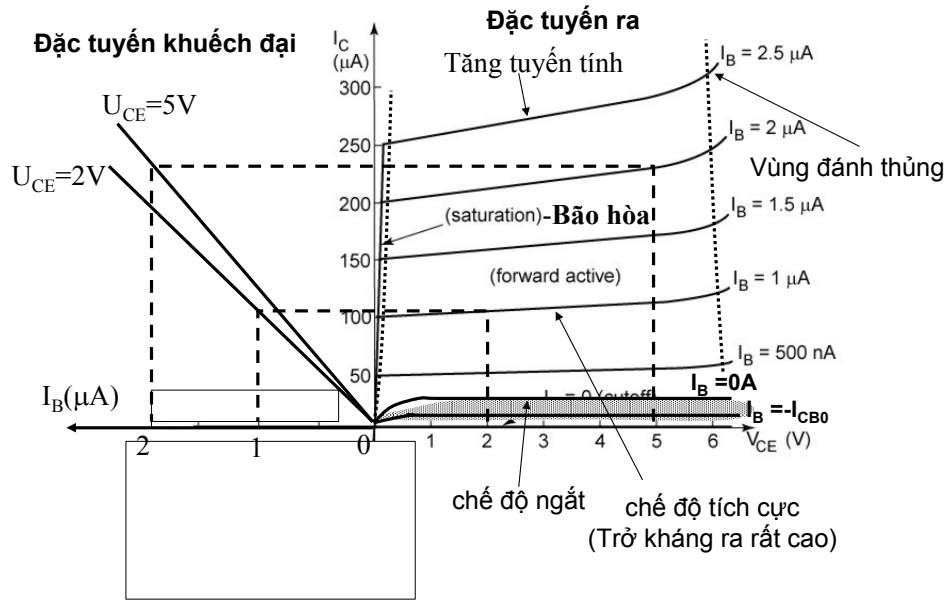
$$I_B = (1 - \alpha)I_E - I_{CB0}$$

- I_E tăng theo qui luật hàm số mũ với điện áp U_{BE} nên dòng điện cực gốc I_B cũng sẽ tăng theo qui luật hàm số mũ với điện áp U_{BE} .

- Với giá trị U_{BE} nhất định, U_{CE} càng lớn thì dòng I_B càng nhỏ, vì U_{CB} tăng làm cho miền điện tích không gian của T_C càng rộng chủ yếu về phía miền B, nên số hạt dẫn bị cuốn đến miền C càng nhiều, số hạt dẫn bị tái hợp tại miền B càng nhỏ, nên dòng I_B càng nhỏ.



- Đặc tuyến ra và đặc tuyến khuếch đại



FEE1-PTIT

Lecture 6

41

- Đặc tuyến ra và đặc tuyến khuếch đại

- Nhận xét đặc tuyến ra:

+ Tại miền khuếch đại độ dốc của đặc tuyến khá lớn, khi U_{CE} tăng làm cho độ rộng hiệu dụng của miền B hẹp lại, làm cho số hạt dẫn được cuốn sang miền C càng nhiều, do đó dòng I_C tăng nhanh.

+ Khi U_{CE} giảm, đến điểm uốn của đặc tuyến khi đó $U_{CB} = U_{CE} - U_{BE} = 0$, làm cho chuyển tiếp BC phân cực thuận, BJT chuyển sang chế độ làm việc bão hòa. Khi $U_{EC} = 0$ thì điện áp phân cực thuận $U_{CB} = -U_{BE}$ đẩy hạt dẫn thiểu số ở miền C trở lại miền B do đó $I_C = 0$, đặc tuyến cũng đi qua gốc tọa độ.

+ Khi U_{EC} tăng quá lớn, lúc đó U_{CB} quá lớn dẫn tới đánh thủng tiếp giáp T_C , làm cho dòng I_C tăng đột ngột.

- Nhận xét đặc tuyến truyền đạt:

+ Đặc tuyến truyền đạt biểu thị mối qua hệ giữa dòng ra I_C và dòng vào I_B khi giữ U_{CE} cố định. Đặc tuyến này có thể suy ra từ họ đặc tuyến ra.

FEE1-PTIT

Lecture 6

42

Các tham số đặc trưng

- Độ hở dẫn S: $S = \frac{dI_{ra}}{dU_{vào}} = \frac{dI_C}{dU_{BE}}$ khi $U_{ra} = U_{CE} = const$

$$I_C = I_S e^{U_{BE}/V_{th}} \Rightarrow S = \frac{I_S}{V_{th}} e^{U_{BE}/V_{th}}$$

- Điện trở ra vi phân r_{ra} : $r_{ra} = r_{CE} = \frac{dU_{CE}}{dI_C}$ khi $I_{vào} = I_B = const$

- Điện trở vào vi phân $r_{vào}$: $r_{vào} = r_{BE} = \frac{dU_{BE}}{dI_B}$ khi $U_{ra} = U_{CE} = const$

- Hệ số khuếch đại dòng điện tĩnh: $K_{i0} = \frac{I_{ra}}{I_{vào}} = \frac{I_C}{I_B} = \beta_{DC} = h_{FE}$

K_{i0} khá lớn, mạch CE có thể khuếch đại dòng điện.

- Kiểm tra BJT làm việc ở chế độ bão hòa hay không? Khi tính toán hoặc đo được dòng I_B và I_C mà không phụ thuộc vào tham số của BJT, nếu $I_B > I_C/h_{FE}$, thì BJT làm việc ở chế độ bão hòa. Vậy khi thiết kế mạch dùng BJT ở chế độ chuyển mạch, khi đã có yêu cầu về dòng I_C (thông thường $I_C = E_C/R_{tải}$) thì cần phải tính toán mạch sao cho $I_B > I_C/h_{FE}$ để BJT có thể làm việc ở chế độ bão hòa.

- Đặc điểm của mạch CE (Xem giáo trình).

FEE1-PTIT

Lecture 6

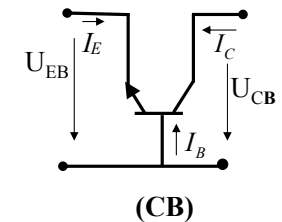
43

2.1 Sơ đồ BJT npn mắc cực phát chung - CB

- Xác họ định đặc tuyến ra tĩnh:

$$I_C = f(U_{CB})|_{I_E}$$

+ Giữ I_E ở một trị số cố định, thay đổi U_{CB} và ghi lại giá trị tương ứng của I_C , vẽ được đặc tuyến $I_C = f(U_{CB})$, Thay đổi I_E đến giá trị khác nhau là thực hiện tương tự, kết quả thu được họ đặc tính ra tĩnh của BJT mắc CB.



- Xác họ định đặc tuyến vào tĩnh:

$$U_{EB} = f(I_E)|_{U_{CB}}$$

+ Giữ U_{CB} ở một trị số cố định, thay đổi U_{EB} và ghi lại giá trị tương ứng của I_E , vẽ được đặc tuyến $I_E = f(U_{EB})$, Thay đổi U_{CB} đến giá trị khác nhau là thực hiện tương tự, kết quả thu được họ đặc tính vào tĩnh của BJT mắc CB.

- Xác định hệ số truyền đạt $I_C = f(I_E)|_{U_{CB}}$

+ Có thể được xác định từ đặc tuyến ra.

63/116

FEE1-PTIT

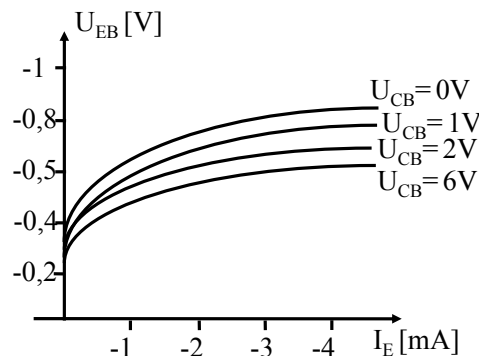
Lecture 6

44

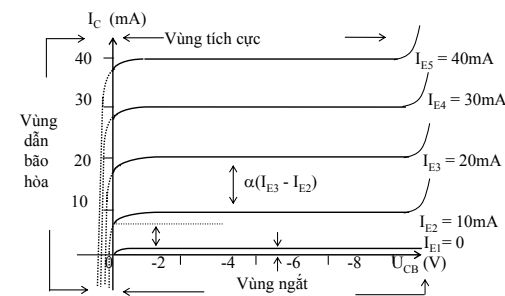
Họ đặc tuyến vào tĩnh

- Nhận xét đặc tuyến vào:

+ Chuyển tiếp EB luôn phân cực thuận nên đặc tuyến vào của mạch CB cơ bản giống như đặc tuyến thuận của diốt. Ứng với điện áp âm vào U_{EB} cố định dòng vào I_E càng lớn khi điện áp U_{CB} càng lớn, vì miền điện tích không gian của chuyển tiếp T_C phân cực ngược càng tăng, làm cho khoảng cách hiệu dụng giữa chuyển tiếp Emitter và Collector ngắn lại, do đó dòng I_E tăng lên.



Đặc tuyến ra



- Đối với dòng I_E cố định, $I_C \approx I_E$, khi U_{CB} tăng lên, I_C tăng nhưng không đáng kể.
- Khác so với đặc tuyến ra của BJT mắc CE, khi điện áp U_{CB} giảm tới 0, I_C vẫn chưa giảm tới 0, do bản thân chuyển tiếp T_C vẫn còn điện thế tiếp xúc, chính điện thế tiếp xúc này đã cuốn những hạt dẫn từ miền B sang miền C làm cho dòng I_C tiếp tục chảy. Để $I_C = 0$ thì T_C phải được phân cực thuận. Miền đặc tuyến trong đó T_C phân cực thuận gọi là miền bão hòa.
- Khi U_{CB} tăng đến giá trị nào đó thì I_C tăng lên đột ngột do hiện tượng đánh thủng xảy ra.

Các tham số đặc trưng

- **Độ hỗ dẫn S:** $S = \frac{dI_{ra}}{dU_{vào}} = \frac{dI_C}{dU_{EB}}$ khi $U_{ra} = U_{CB} = const$

$$I_C = I_S \cdot e^{U_{BE}/V_{th}} \Rightarrow S = -\frac{I_S}{V_{th}} e^{U_{BE}/V_{th}}$$

- **Điện trở ra vi phân r_{ra} :** $r_{ra} = r_{CB} = \frac{dU_{CB}}{dI_C}$ khi $I_{vào} = I_E = const$

- **Điện trở vào vi phân $r_{vào}$:** $r_{vào} = r_{EB} = \frac{dU_{EB}}{dI_B}$ khi $U_{ra} = U_{CB} = const$

- **Hệ số khuếch đại dòng điện tĩnh: K_{i0}** $K_{i0} = \frac{I_{ra}}{I_{vào}} = \frac{I_C}{I_E} = \alpha_0 < 1$
 $K_{i0} < 1$, mạch CB không thể dùng làm mạch khuếch đại dòng điện.

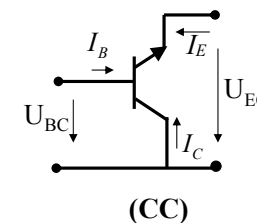
- **Đặc điểm của mạch CB (Xem giáo trình).**

2.1 Sơ đồ BJT npn mắc cực góp chung - CC

- **Xác họ định đặc tuyến ra tĩnh:**

$$I_E = f(U_{EC})|_{I_B}$$

+ Giữ I_B ở một trị số cố định, thay đổi U_{EC} và ghi lại giá trị tương ứng của I_E , vẽ được đặc tuyến $I_E = f(U_{EC})$, Thay đổi I_B đến giá trị khác nhau là thực hiện tương tự, kết quả thu được họ đặc tính ra tĩnh của BJT mắc CC.



- **Xác họ định đặc tuyến vào tĩnh:**

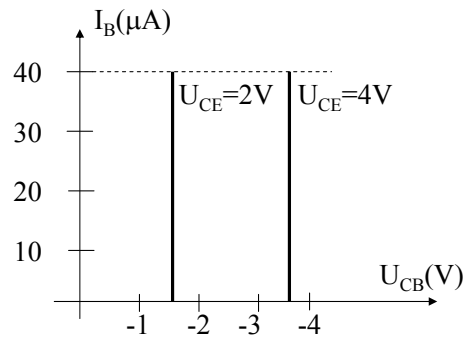
$$U_{BC} = f(I_B)|_{U_{EC}}$$

+ Giữ U_{EC} ở một trị số cố định, thay đổi U_{BC} và ghi lại giá trị tương ứng của I_B , vẽ được đặc tuyến $I_B = f(U_{BC})$, Thay đổi U_{EC} đến giá trị khác nhau là thực hiện tương tự, kết quả thu được họ đặc tính vào tĩnh của BJT mắc CC.

- **Xác định hệ số truyền đạt (đặc tuyến khuếch đại):** $I_E = f(I_B)|_{U_{EC}}$

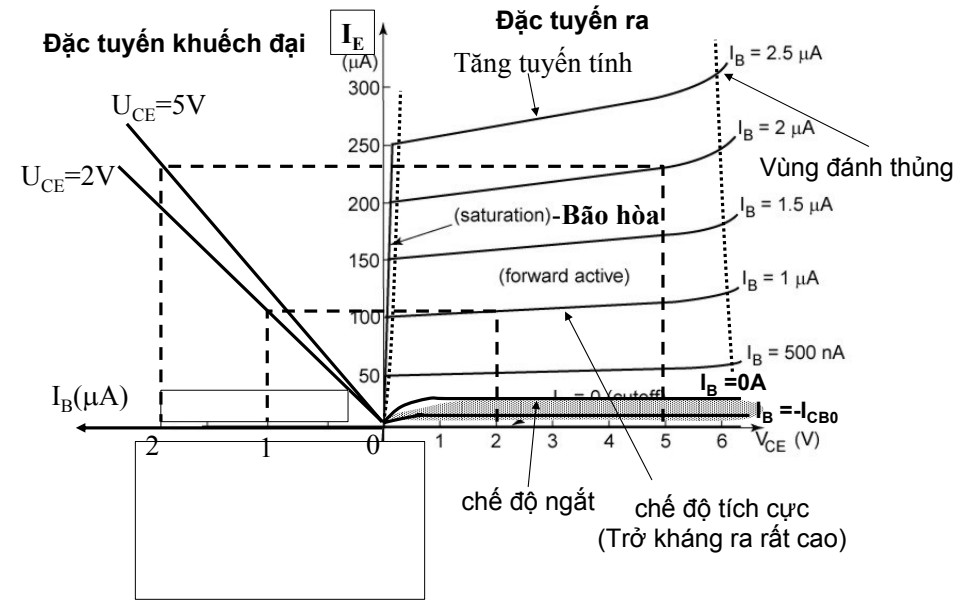
+ Có thể được xác định từ đặc tuyến ra.

Đặc tuyến vào tĩnh



- Đặc tuyến vào của mạch mắc CC khác hẳn với trường hợp mắc CE và CB. Trường hợp này điện áp vào U_{CE} phụ thuộc rất nhiều vào điện áp ra U_{CB} .

Đặc tuyến ra



Các tham số đặc trưng

- **Độ hở dẫn S**: $S = \frac{dI_{ra}}{dU_{vào}} = \frac{dI_E}{dU_{BC}}$ khi $U_{ra} = U_{EC} = const$

- **Điện trở ra vi phân r_{ra}** : $r_{ra} = r_{EC} = \frac{dU_{EC}}{dI_E}$ khi $I_{vào} = I_B = const$

- **Điện trở vào vi phân $r_{vào}$** : $r_{vào} = r_{BC} = \frac{dU_{BC}}{dI_B}$ khi $U_{ra} = U_{EC} = const$

- **Hệ số khuếch đại dòng điện tĩnh: K_{i0}** $K_{i0} = \frac{I_{ra}}{I_{vào}} = \frac{I_E}{I_B}$

- **Hệ số khuếch đại điện áp**: $K_U = \frac{dU_{ra}}{dU_{vào}}$

- **Đặc điểm của mạch CC (Xem giáo trình).**

3. Phân cực cho BJT

- 3.1. Khái niệm phân cực cho các chế độ làm việc của BJT
- 3.2. Phân cực bằng dòng cố định
- 3.3. Phân cực bằng hồi tiếp âm
- 3.4. Phân cực bằng mạch định thiên tự cấp

3.1. Khái niệm phân cực cho các chế độ làm việc của BJT

- Phân cực (định thiên – Biasing) cho BJT:

- + Muốn BJT làm việc như một phần tử tích cực thì các tham số của BJT phải thỏa mãn điều kiện thích hợp, những tham số này phụ thuộc nhiều vào điện áp phân cực các chuyển tiếp Collector và Emitter. Như vậy các tham số của BJT phụ thuộc nhiều vào điện áp định thiên ban đầu (điểm làm việc tĩnh) của nó.
- + Muốn BJT làm việc ở chế độ tích cực thì chuyển tiếp B-E phân cực thuận, chuyển tiếp B-C phân cực ngược (BJT npn: $U_E < U_B < U_C$, BJT pnp: $U_E > U_B > U_C$).

- Đường tải tĩnh, điểm làm việc tĩnh

- + Đường tải tĩnh (đường tải 1 chiều) được vẽ trên đặc tuyến ra tĩnh của BJT để nghiên cứu mối quan hệ giữa dòng điện ra và điện áp ra của BJT ở chế độ một chiều.
- + Điểm làm việc tĩnh (điểm phân cực 1 chiều) là điểm nằm trên đường tải tĩnh xác định dòng điện, điện áp 1 chiều trên BJT khi không có tín hiệu xoay chiều đặt vào.
- + Để minh họa xét ví dụ với mạch BJT npn mắc CE, xác định đường tải tĩnh và điểm làm việc của chúng.

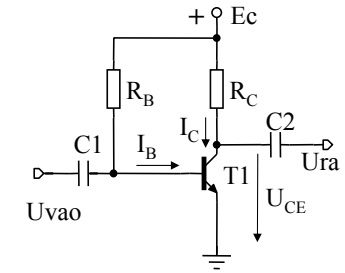
3.1. Khái niệm phân cực cho các chế độ làm việc của BJT

- Để minh họa xét ví dụ với mạch BJT npn mắc CE, xác định đường tải tĩnh và điểm làm việc của chúng.

- Phương trình đường tải tĩnh:

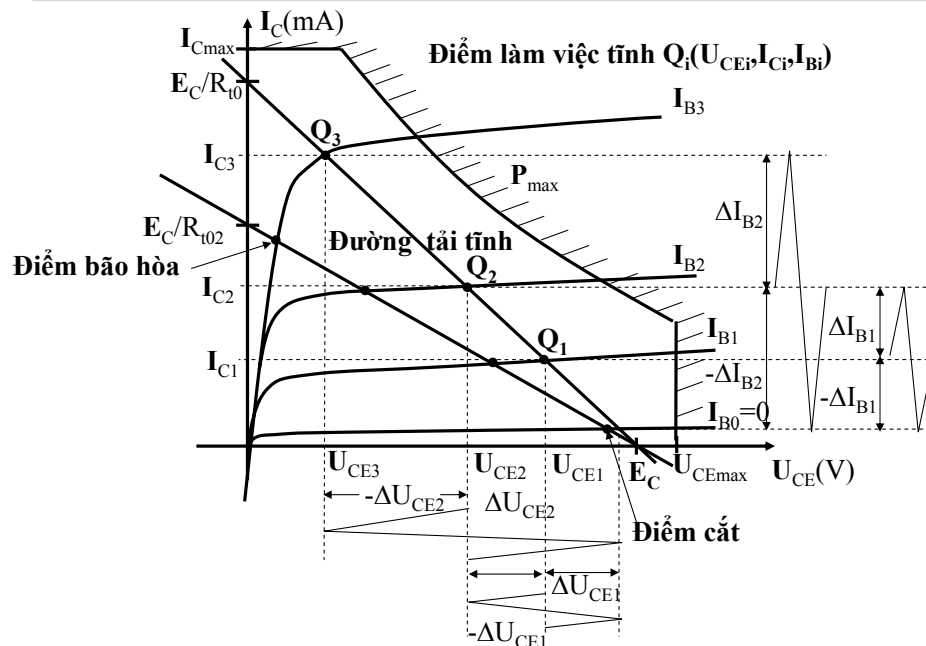
$$U_{CE} = E_C - I_C \cdot R_C$$

- (tải 1 chiều: $R_{i0} = R_C$), đồ thị như hình vẽ trang bên.



- Tùy theo các giá trị phân cực mà điểm làm việc tĩnh có tọa độ khác nhau, điểm làm việc tĩnh $Q_i(U_{CEi}, I_{Ci}, I_{Bi})$ là giao điểm của đường tải tĩnh và đặc tuyến ra tương ứng với dòng phân cực $I_B = I_{Bi}$.
- Khi có tín hiệu đặt vào, I_B biến đổi, dẫn tới I_C biến đổi, kết quả là điện áp ra trên tải biến đổi. Cần phải chọn điểm làm việc tĩnh Q để điện áp ra trên tải không bị méo. Thông thường để biên độ điện áp ra cực đại, không làm méo dạng tín hiệu, điểm làm việc tĩnh thường được chọn ở giữa đường tải tĩnh.

3.1. Khái niệm phân cực cho các chế độ làm việc của BJT



3.1. Khái niệm phân cực cho các chế độ làm việc của BJT

- Chú ý khi chọn điểm làm việc tĩnh cần quan tâm đến các giá trị danh định của BJT như: P_{cmax} , U_{Cmax} , I_{Cmax} , U_{BEmax} , dải nhiệt độ làm việc $T_{min} \div T_{max}$.
- Công suất tỏa nhiệt của BJT ra môi trường ngoài: $P_{heat-out} = K \cdot \Delta T$ trong đó: $(\Delta T = T_{device} - T_{m.t})$
- Công suất điện tiêu thụ trên BJT: $P_{elec-in} = I_C \cdot U_{CE} + I_B \cdot U_{BE}$
- Nhiệt độ trên BJT tăng đến khi thỏa mãn điều kiện cân bằng trao đổi nhiệt: $P_{elec-in} = P_{heat-out}$ Vậy: $P_{elec-in} < P_{max} = P_{heat-outmax} = K \cdot (T_{max} - T_{m.t})$.
- Vậy điểm làm việc tĩnh phải lựa chọn nằm trong giới hạn đường P_{max} .
- + **Ổn định điểm làm việc tĩnh và ổn định nhiệt:** BJT rất nhạy cảm với nhiệt độ, nhất là U_{BE} và I_{CB0} , mà $I_C = \beta_0 \cdot I_B + I_{CB0} / (1 - \alpha)$, nên khi nhiệt độ thay đổi điểm làm việc tĩnh cũng thay đổi.
- Hệ số ổn định nhiệt: $s = \frac{dI_C}{dI_{CB0}}$ Đạo hàm 2 vế theo I_C phương trình

$$I_C = \beta_0 \cdot I_B + I_{CB0} / (1 - \alpha)$$

rút gọn ta có:

$$s = \frac{1 + \beta_0}{1 - \beta_0 \cdot \frac{dI_B}{dI_C}}$$

Các bước để tính toán phân cực cho BJT

- **Tính toán mạch phân cực cho BJT để nó làm việc ở chế độ như mong muốn, thực hiện qua các bước sau đây:**

- + Từ yêu cầu về độ ổn định, yêu cầu về chế độ hoạt động AC, trở kháng vào, trở kháng ra, độ khuếch đại... chọn cách mắc mạch định thiên hợp lý.
- + Xác định đặc tuyến vào tĩnh, đặc tuyến ra tĩnh tương ứng của BJT.
- + Từ yêu cầu hoạt động của mạch dùng BJT (yêu cầu về chế độ làm việc, yêu cầu điện áp, dòng điện vào ra khi hoạt động, yêu cầu điểm làm việc...), chọn vị trí điểm làm việc hợp lý và vẽ đường tải một chiều ví dụ Q(U_{CE0} , I_{C0} , I_{B0}).
- + Tính toán mạch định thiên để có điểm làm việc theo yêu cầu.
- + Tính toán lại các tham số khác và đánh giá độ ổn định điểm làm việc...

Chú ý: Các tính toán phân cực được trình bày ở phần tiếp theo là tính toán cho BJT làm việc ở chế độ tích cực, các chế độ bão hòa và ngắt có thể được suy ra.

Mô hình tương đương một chiều

- Khi tính toán phân cực cho BJT có thể sử dụng mô hình tương đương một chiều. Thường sử dụng mô hình Ebers-Moll. Trong mỗi chế độ làm việc cụ thể sử dụng sơ đồ tương đương Ebers-Moll đơn giản.

- Tóm lại khi tính toán chế độ 1 chiều để đơn giản có thể sử dụng các công thức sau:

+ **Chế độ tích cực:**

$$I_C = I_B \beta_0$$

$$U_{BE} \approx \text{const}$$

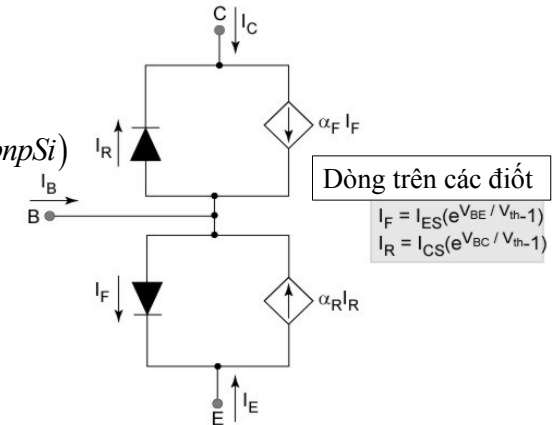
(eg. $0,7V - npnSi$; $-0,7V - pnpSi$)

+ **Chế độ bão hòa:**

$$U_{CE} \approx 0 \quad I_B > \frac{I_C}{\beta_0}$$

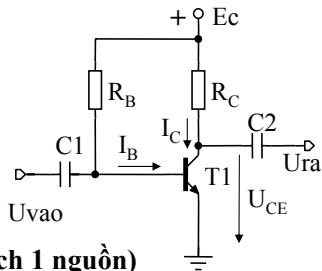
+ **Chế độ ngắt:**

$$I_C \approx 0 \quad I_B \approx 0$$

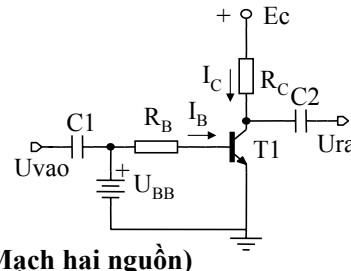


3.2 Mạch định thiên bằng dòng cố định (Định thiên cực gốc)

- Dòng I_B từ nguồn một chiều cung cấp cho BJT không đổi, có thể dùng mạch 1 nguồn một chiều E_C hoặc hai nguồn một chiều U_{BB} và E_C . Điện trở R_B đấu từ cực + của nguồn cung cấp về cực B sao cho tiếp giáp BE phân cực thuận.



(a- Mạch 1 nguồn)



(b - Mạch hai nguồn)

$$I_B = (E_C - U_{BE}) / R_B \approx E_C / R_B$$

$$I_B = (U_{BB} - U_{BE}) / R_B \approx U_{BB} / R_B$$

+ Phương trình đường tải: $E_C = I_C \cdot R_{t0} + U_{CE}$ ($R_{t0} = R_C$)

+ Mắc theo các sơ đồ trên $I_B = \text{const} \Rightarrow \Delta I_B / \Delta I_C = 0$

+ Hệ số ổn định nhiệt là: $S = \beta_0 + 1$, S phụ thuộc vào hệ số KĐ dòng Emitter tĩnh β , vậy S phụ thuộc vào từng loại BJT và thường lớn, độ ổn định kém nhất.

3.2 Mạch định thiên bằng dòng cố định (Định thiên cực gốc)

Ví dụ: BJT npn loại Si có: $\beta_0 = 50$, phân cực bằng mạch định thiên cố định, $E_C = 15V$, điểm làm việc tĩnh có $I_B = 30\mu A$, $U_{BE} = 0,6V$, $R_C = 5k\Omega$. Tính toán mạch định thiên?

Đáp số: $R_B = 480k\Omega$; $U_{CE} = 7,5V$;

3.3 Mạch phân cực hồi tiếp âm

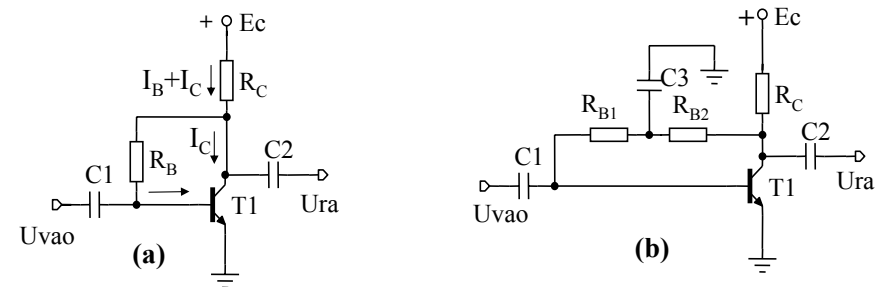
- Khi tín hiệu đầu ra thay đổi cũng sẽ tác động đến đầu vào làm thay đổi tín hiệu đầu vào gọi là mạch có hồi tiếp.
- Nếu tín hiệu ra tăng lại làm tín hiệu đầu vào giảm thì gọi là hồi tiếp âm.
- Với mạch phân cực cho BJT nếu giả sử khi nhiệt độ thay đổi làm cho dòng điện ra I_C và I_E tăng lên, sự tăng này nếu làm giảm điện áp đặt trên tiếp giáp BE hoặc CE thì sẽ làm cho I_B giảm, như vậy I_C và I_E giảm, điểm làm việc được ổn định.
- Tùy theo phương pháp dùng hồi tiếp âm điện áp mà có các loại mạch phân cực hồi tiếp âm khác nhau:

a. Mạch định thiên hồi tiếp âm Collector.

b. Mạch định thiên hồi tiếp âm Emitter.

c. Mạch định thiên hồi tiếp âm Collector và Emitter.

a. Mạch định thiên hồi tiếp âm Collector



- Mạch định thiên cố định có độ ổn định nhiệt không cao, và khi dòng I_C tăng làm điện áp U_{CE} giảm, có thể dùng đặc tính này làm cho dòng I_B giảm do đó ổn định được dòng I_C bằng cách dùng điện trở hồi tiếp R_B từ cực C về B, ta có mạch Collector-Feedback Bias (CFB) hình (a).

- Ta có: $E_C = (I_C + I_B)R_C + U_{CE} = (\beta_0 I_B + I_B)R_C + I_B R_B + U_{BE}$

$$\rightarrow I_B = \frac{E_C - U_{BE}}{(\beta_0 + 1)R_C + R_B} \quad I_C = \frac{\beta_0 (E_C - U_{BE})}{(\beta_0 + 1)R_C + R_B}$$

- Phương trình đường tải tĩnh: $E_C = (I_C + I_B)R_C + U_{CE} = I_C R_C (\beta_0 + 1) / \beta_0 + U_{CE}$

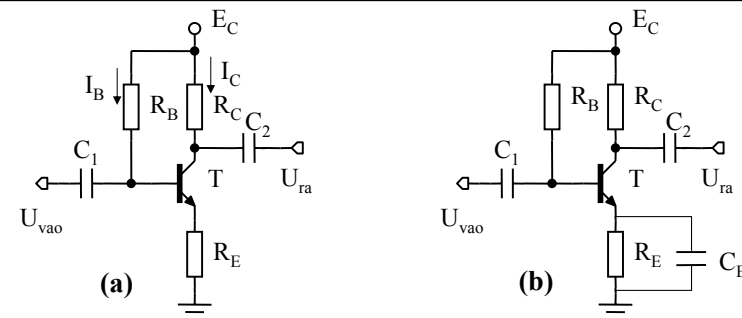
a. Mạch định thiên hồi tiếp âm Collector

- Mặt khác:
$$I_B = \frac{E_C - I_C R_C - U_{BE}}{R_C + R_B} \Rightarrow \frac{dI_B}{dI_C} = -\frac{R_C}{R_C + R_B}$$

- Hệ số ổn định nhiệt:
$$S = \frac{\beta_0 + 1}{1 + \beta_0 \frac{R_C}{R_B + R_C}}$$

- Như vậy $S < \beta_0 + 1$, đã cải thiện được tính ổn định nhiệt.
- Nếu chọn $R_B \ll R_C$ thì $S \rightarrow 1$.
- Điện áp phản hồi âm qua R_B trong mạch phân cực làm tăng độ ổn định nhiệt đồng thời lại làm giảm hệ số khuếch đại tín hiệu xoay chiều, R_B giảm thì độ ổn định tăng nhưng hệ số khuếch đại giảm. Như vậy để khắc phục mẫu thuẫn này R_B được chia thành 2 phần R_1 và R_2 và dùng tụ nối đất điểm nối giữa 2 điện trở này như hình (b). Cỡ mạch đối với tín hiệu định thiên 1 chiều nhưng ngăn mạch tín hiệu xoay chiều không cho phản hồi trở lại đầu vào.
- Mạch định thiên hồi tiếp âm Collector vẫn không thể tăng được độ ổn định lên cao vì S và điểm công tác tĩnh phụ thuộc lẫn nhau.

b. Mạch định thiên hồi tiếp âm Emitter



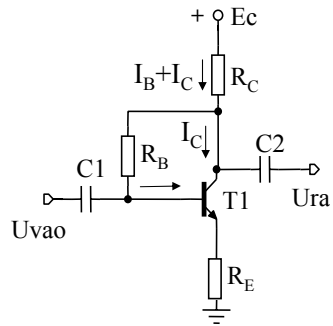
Để dàng tính được:
$$I_B = \frac{(E_C - U_{BE})}{R_E (\beta_0 + 1) + R_B} \quad I_C = \frac{\beta_0 (E_C - U_{BE})}{R_E (\beta_0 + 1) + R_B}$$

Phương trình đường tải tĩnh ?

$S = ?$

$U_{CE} = ?$

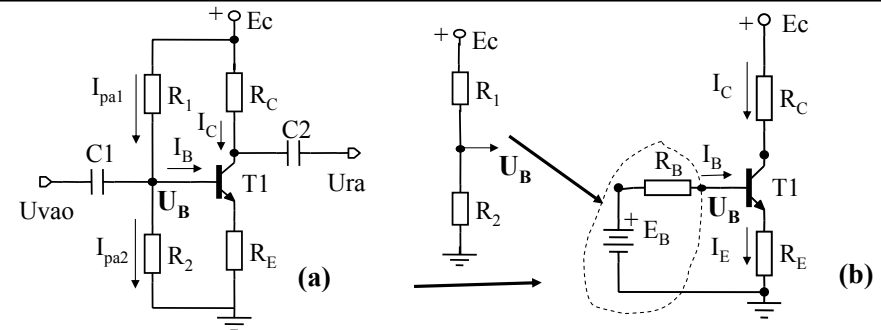
c. Mạch định thiên hồi tiếp âm Collector và Emitter



Phương trình đường tải tĩnh ?

- $I_B = ?$
- $I_C = ?$
- $S = ?$
- $U_{CE} = ?$

3.4 Phân cực bằng mạch định thiên tự cấp



- Mạch định thiên tự cấp (còn được gọi là mạch phân áp, mạch phân cực bằng dòng Emitter, mạch phân cực bằng hồi tiếp âm dòng điện) có sơ đồ như hình (a). Sơ đồ tương đương tĩnh như hình (b) (áp dụng biến đổi Norton, Thevenin với cơ cấu nguồn E_C và điện trở phân áp R_1, R_2).
- R_1, R_2 tạo thành mạch phân áp tạo điện áp U_B đặt vào cực B của BJT.
- R_E hồi tiếp âm dòng điện. $U_{ht} = U_E = I_E \cdot R_E$
- Giá trị của nguồn biến đổi tương đương: $E_B = \frac{R_2 \cdot E_C}{R_1 + R_2}$ và $R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

3.4 Phân cực bằng mạch định thiên tự cấp

- Cần chọn R_1, R_2 thế nào để đảm bảo U_B ổn định và $U_B \ll E_C$, nhưng R_B không lớn hơn nhiều R_E , nếu không thì sự phân cực của mạch giống như trường hợp phân cực dòng cố định. (Thông thường chọn $R_B = R_E$).

$$E_B = I_B R_B + U_{BE} + (I_C + I_B) R_E = U_{BE} + I_B (R_B + (\beta_0 + 1) R_E)$$

- Trong trường hợp này không được bỏ qua U_{BE} ,

- Tính toán điểm phân cực: $I_B = \frac{E_B - U_{BE}}{R_B + (\beta_0 + 1) R_E}$; $I_C = \beta_0 I_B$

- Ta có: $U_E = I_E \cdot R_E = (\beta_0 + 1) \cdot I_B \cdot R_E$

- + Phương trình đường tải tĩnh: $E_C = I_C (R_C + R_E) + U_{CE} + I_B \cdot R_E$ (bỏ qua $I_B \cdot R_E$)

$$E_C = I_C (R_C + R_E) + U_{CE}$$

- Xác định hệ số ổn định nhiệt: $S = ?$

$$E_B = I_B R_B + U_{BE} + (I_C + I_B) R_E \quad (E_B \text{ và } U_{BE} \text{ không phụ thuộc vào dòng } I_B)$$

$$\Rightarrow dI_B/dI_C = -R_E/(R_E + R_B) \quad \rightarrow \quad S = \frac{\beta_0 + 1}{1 + \beta_0 \frac{R_E}{R_E + R_B}} = (1 + \beta_0) \frac{1 + R_B/R_E}{1 + \beta_0 + R_B/R_E}$$

3.4 Phân cực bằng mạch định thiên tự cấp

$$S = \frac{\beta_0 + 1}{1 + \beta_0 \frac{R_E}{R_E + R_B}} = (1 + \beta_0) \frac{1 + R_B/R_E}{1 + \beta_0 + R_B/R_E}$$

- + $S \rightarrow 1$ khi $R_B \ll R_E$, và $S \rightarrow 1 + \beta_0$ khi $R_B \gg R_E$

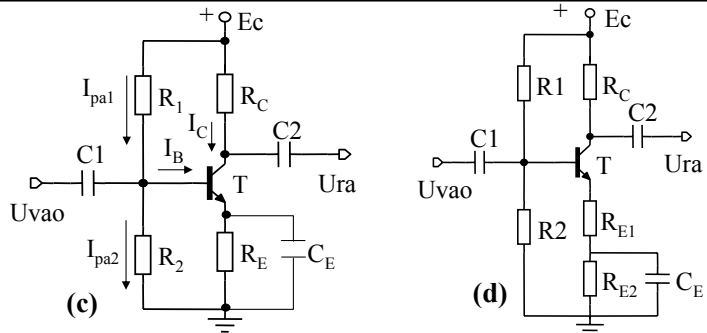
- + S không phụ thuộc vào $R_{t0} = R_C$.

- Bản chất của sự ổn định nhiệt của mạch định thiên tự cấp chính là dòng phản hồi âm qua điện trở R_E . Tăng R_E nghĩa là tăng phản hồi âm, do đó làm giảm hệ số khuếch đại tín hiệu xoay chiều của mạch. Có thể loại trừ phản hồi âm của tín hiệu xoay chiều bằng cách mắc thêm tụ điện C_E ngắn mạch đối với tín hiệu xoay chiều như hình c, d.

- Trong thực tế β_0 cũng thay đổi theo nhiệt độ, do đó cũng ảnh hưởng đến độ ổn định của điểm làm việc tĩnh, để đánh giá sự ảnh hưởng này dùng công thức sau:

$$\frac{\Delta I_C}{I_C} = \frac{\Delta \beta \cdot S}{\beta_0 (\beta_0 + 1)}$$

3.4 Phân cực bằng mạch định thiên tự cấp



- Bài toán thiết kế (xác định các giá trị điện trở phân cực để BJT làm việc ở điểm làm việc tĩnh nào đó $Q(I_{B0}, U_{CE0}, I_{C0})$), Cần chú ý luật sau:

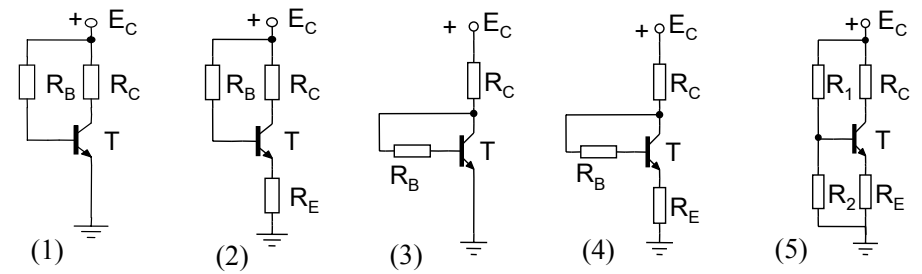
+ Chọn $R_2 \leq 0,1\beta_0 R_E$ hay $10R_2 \leq \beta_0 R_E$ – Luật 10:1

+ Dựa vào các điện trở đã được chọn theo luật chọn, tính các điện trở còn lại

+ Chọn R_2 , tính R_1 dựa vào phương trình sau:

$$E_B = U_{BE} + U_E + I_{B0} [R_1 R_2 / (R_1 + R_2)] = E_C \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$$

Tổng kết sự cải thiện các mạch định thiên cho BJT



Độ ổn định tăng dần

(1) : BB - Base Bias

(2) : EFB - Emitter-Feedback Bias

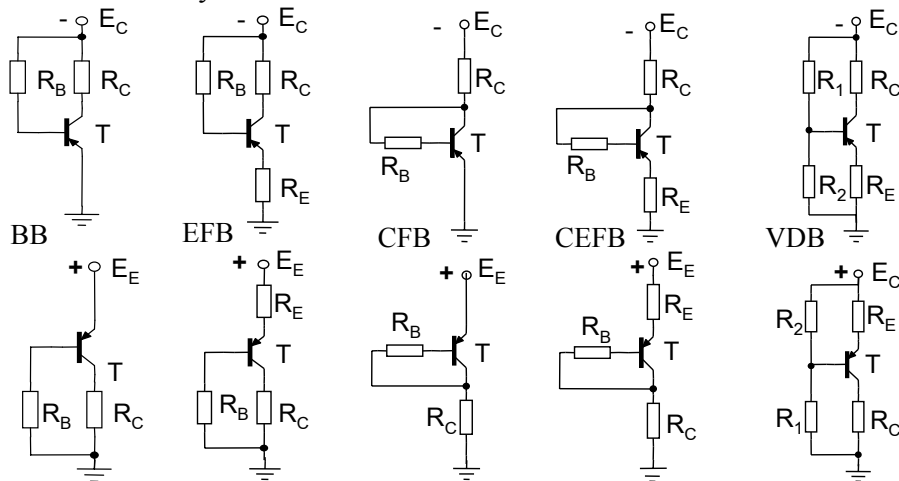
(3) : CFB - Collector-Feedback Bias

(4) : CEFB – Collector- and Emitter- Feedback Bias

(5) : VDB – Voltage – Divider Bias

Mạch định thiên cho BJTnpn

Chú ý: Mạch phân cực cho BJTnpn cũng tương tự, chỉ khác nhau về chiều của nguồn cung cấp, và chú ý chiều dòng điện của các cực cũng ngược lại. Sinh viên về tự tìm các biểu thức tính toán cho các mạch định thiên này.

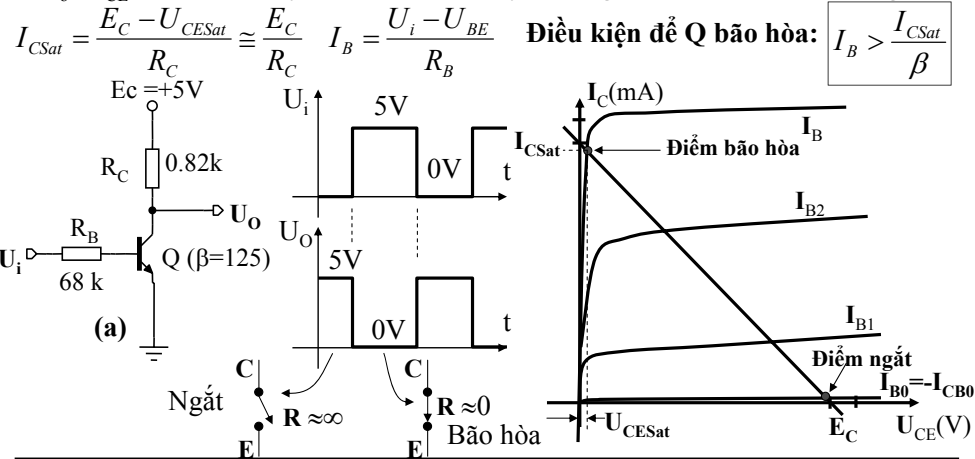


5. BJT trong chế độ chuyển mạch (chế độ xung)

- Ví dụ BJT hoạt động trong các mạch xung, mạch số, mạch logic.
- BJT trong trường hợp này làm việc như một một khóa điện tử, BJT làm việc ở 2 chế độ: đóng – chế độ ngắt (ngắt mạch không có dòng đi qua BJT), mở - chế độ dẫn bão hòa (nổi mạch cho dòng đi qua BJT).
- Do đặc điểm hoạt động như vậy mà các tham số cũng như đặc tính của BJT chuyên dùng cho các ứng dụng này cũng có nhiều đặc tính khác so với BJT chuyên hoạt động chế độ tích cực. Đôi khi những BJT chuyên dụng này còn được gọi là BJT xung.
- Với những BJT làm việc ở chế độ chuyển mạch này thì các tham số sau quan trọng nhất:
 - + Điện áp thuận U_{BEbh} : là điện áp U_{BE} khi BJT mắc CE ở trạng thái bão hòa.
 - + Điện áp bão hòa U_{CEbh} : là điện áp U_{CE} khi BJT mắc CE ở trạng thái bão hòa
 - + Thời gian quá độ của BJT : t_{on} - thời gian quá độ khi BJT chuyển từ chế độ ngắt sang chế độ bão hòa, t_{off} - thời gian quá độ khi BJT chuyển từ chế độ bão hòa sang chế độ ngắt.
- Với những ứng dụng tần số xung thấp vẫn có thể sử dụng các BJT thông thường.

5. BJT trong chế độ chuyển mạch

- Ví dụ mạch BJT làm việc ở chế độ chuyển mạch như hình (a), U_i là xung vào.
- + Khi $U_i = 0V \Rightarrow$ tiếp giáp BE, BC phân cực ngược, Q làm việc ở chế độ ngắt, $I_B = I_{B0} = -I_{CB0} \approx 0$, $I_C \approx 0 \Rightarrow U_o = E_C = 5V$
- + Khi $U_i = 5V$, chọn R_C , R_B sao cho Q làm việc ở chế độ bão hòa, Khi đó:
 $U_o = U_{CE} \approx 0V$. Như vậy BJT làm việc chuyển đổi giữa 2 điểm bão hòa và ngắt.



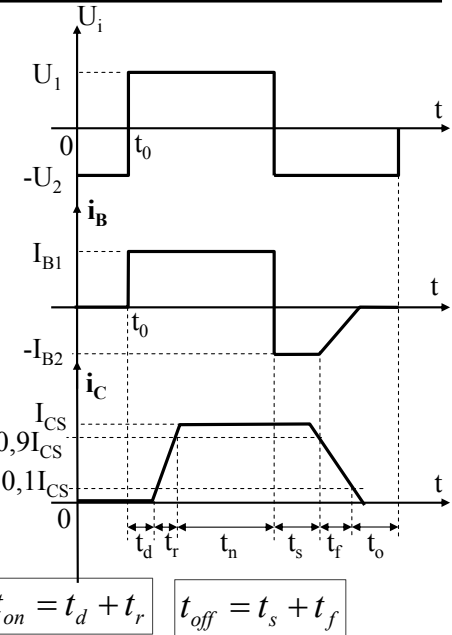
FEE1-PTIT

Lecture 6

73

Thời gian quá độ của BJT

- Giảm đồ thời gian minh hoạt các thời gian quá độ của BJT làm việc ở chế độ chuyển mạch.
- Trong đó: Ban đầu BJT ở trạng thái ngắt, tại thời điểm t_0 khi có xung dương đặt vào, chuyển tiếp BE được phân cực thuận BJT mở, tuy nhiên I_C vẫn rất nhỏ như ở trạng thái ngắt trong **thời gian trễ t_d** , sau đó mới bắt đầu tăng và sau **thời gian tăng t_r** mới đạt giá trị bão hòa I_{CS} , và ở trạng thái bão hòa trong khoảng thời gian t_n , sau đó đột ngột xung vào mất $U_i = 0$, và dòng I_B chảy theo chiều ngược lại, dòng I_C không giảm nhỏ ngay mà tiếp tục duy trì giá trị bão hòa trong **thời gian tồn tích t_s** , sau đó mất **thời gian hồi phục t_f** mới giảm dần đến giá trị ban đầu như ở trạng thái ngắt.



FEE1-PTIT

Lecture 6

74

Tổng quan về các mô hình tương đương của cấu kiện bán dẫn

- Một mạch điện tử thường gồm nhiều cấu kiện tích cực và cấu kiện thụ động. Đặc tính điện áp- dòng điện của các cấu kiện thụ động thường được xác định bởi các quan hệ khá đơn giản, trong khi với cấu kiện tích cực thì đặc tính điện áp – dòng điện lại khá phức tạp.
- Như vậy để phân tích và thiết kế mạch dễ dàng hơn, cấu kiện tích cực thường được thay thế bởi mô hình mạch tương đương có cùng đáp ứng và đặc tính với cấu kiện thực.
- Mô hình mạch tương đương của các cấu kiện bán dẫn tích cực được xây dựng từ các cấu kiện thụ động, các nguồn dòng và nguồn áp.
- Mô hình mạch tương đương thường được xây dựng dựa vào các phương trình, công thức cơ bản miêu tả hoạt động cũng như đặc tính của cấu kiện.
- Mô hình mạch tương đương rất hữu ích để xây dựng các phần mềm phân tích, mô phỏng mạch điện.
- Một mô hình nổi tiếng dùng trong phần mềm thiết kế mạch điện tử và vi mạch là mô hình SPICE

FEE1-PTIT

Lecture 6

75

Tổng quan về các mô hình tương đương của cấu kiện bán dẫn

- Có nhiều mô hình tương đương cho mỗi cấu kiện tích cực tùy thuộc vào ứng dụng và các điều kiện tương ứng của thiết bị, ngoài ra còn phụ thuộc cả vào yêu cầu tốc độ tính toán, độ chính xác...
- Các loại mô hình mạch tương đương chính, phân loại theo độ lớn tín hiệu làm việc trong cấu kiện:
 - + **Mô hình mạch tương đương một chiều:** Dùng để tính toán cho phân cực một chiều và ứng dụng tần số rất thấp.
 - + **Mô hình mạch tương đương tín hiệu lớn:** Dùng cho các ứng dụng dòng hoặc điện áp làm việc có biên độ lớn.
 - + **Mô hình mạch tương đương tín hiệu nhỏ:** Dùng cho các ứng dụng dòng hoặc điện áp làm việc có biên độ nhỏ, thay đổi rất ít quanh điểm làm việc 1 chiều.
- Tùy thuộc vào tần số làm việc mà còn sử dụng: Mô hình mạch tương đương tín hiệu nhỏ tần số cao, tần số thấp; Mô hình mạch tương đương tín hiệu lớn tần số cao, tần số thấp, mô hình tương đương hỗn hợp...

71/116

FEE1-PTIT

Lecture 6

76

5. Các mô hình tương đương của BJT

- Mô hình tương đương một chiều
- Mô hình tham số Hybrid (Hybrid parameter/h-Parameter Model)
- Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ hybrid- π
- Mô hình tương đương r_e
- Mô hình Spice

a. Mô hình tương đương một chiều

- Sử dụng mô hình Ebers-Moll
- Trong mỗi chế độ làm việc cụ thể sử dụng sơ đồ tương đương Ebers-Moll đơn giản (xem lại phần trước).
- Tóm lại khi tính toán chế độ 1 chiều để đơn giản có thể sử dụng các công thức sau:

+ Chế độ tích cực:

$$I_C = I_B \beta_0$$

$$U_{BE} \approx \text{const}$$

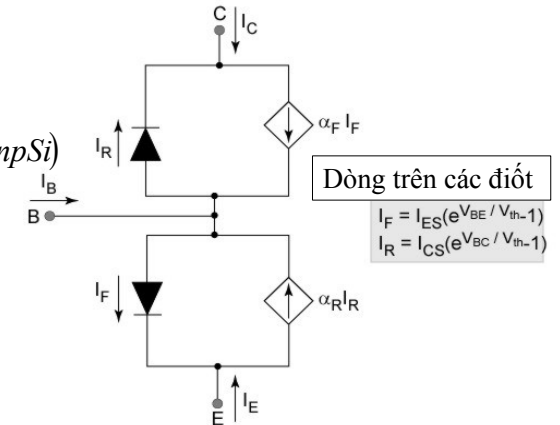
(eg. 0,7-npnSi; -0,7-pnpSi)

+ Chế độ bão hòa:

$$U_{CE} \approx 0 \quad I_B > \frac{I_C}{\beta_0}$$

+ Chế độ ngắt:

$$I_C \approx 0 \quad I_B \approx 0$$



b. Mô hình tham số Hybrid

- Mô hình tham số Hybrid được xác định từ ma trận tham số hỗn hợp H của mạng 4 cực.
- Từ hệ phương trình hỗn hợp H của 4C có thể suy ra mô hình tương đương của 4C như hình vẽ.

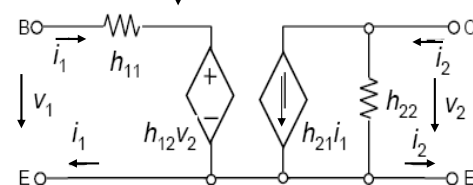
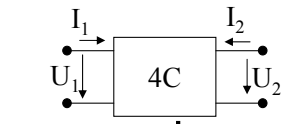
$$\begin{cases} u_1 = h_{11} \cdot i_1 + h_{12} \cdot u_2 \\ i_2 = h_{21} \cdot i_1 + h_{22} \cdot u_2 \end{cases}$$

$$\rightarrow h_{11} = h_i = \left. \frac{u_1}{i_1} \right|_{u_2=0} \quad \text{Trở kháng vào khi đầu ra ngắn mạch}$$

$$h_{12} = h_r = \left. \frac{u_1}{u_2} \right|_{i_1=0} \quad \text{Độ khuếch đại điện áp ngược hở mạch}$$

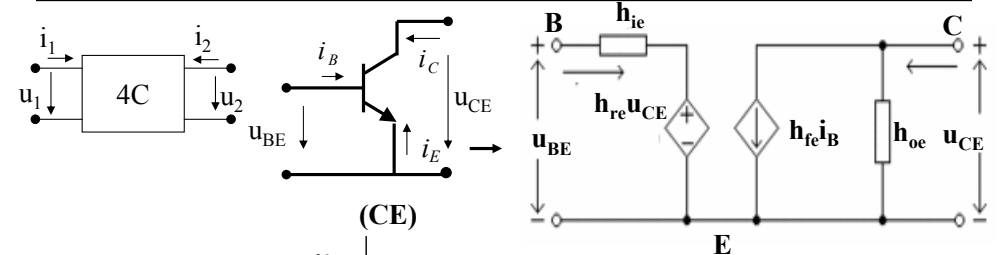
$$h_{21} = h_f = \left. \frac{i_2}{i_1} \right|_{u_2=0} \quad \text{Hệ số khuếch đại dòng thuận ngắn mạch}$$

$$h_{22} = h_o = \left. \frac{i_2}{u_2} \right|_{i_1=0} \quad \text{Độ hở dẫn ra khi đầu vào hở mạch}$$



Tham số h sẽ được ký hiệu và tính theo mỗi cách mắc BJT khác nhau

b1. Mô hình mạch tương đương Hybrid – mạch mắc CE



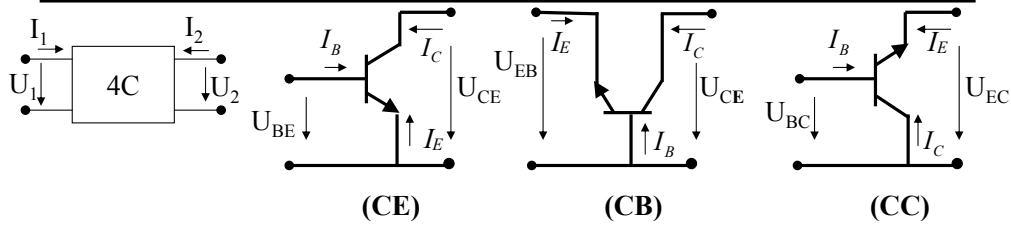
$$h_{11} = h_{ie} = \left. \frac{u_{BE}}{i_B} \right|_{u_{CE}=0} = r_e \quad \text{Trở kháng tiếp giáp emitter}$$

$$h_{12} = h_{re} = \frac{u_{BE}}{u_{CE}} \Big|_{i_B=0} \quad \text{Chỉ phụ thuộc của } u_{BE} \text{ vào } u_{CE}, \text{ } h_{re} \text{ rất nhỏ thường bỏ qua}$$

$$h_{21} = h_{fe} = \left. \frac{i_C}{i_B} \right|_{u_{CE}=0} = \beta_0$$

$$h_{22} = h_{oe} = \left. \frac{i_C}{u_{CE}} \right|_{i_B=0}$$

b2. Mô hình mạch tương đương Hybrid – mạch mắc CB,CC



Common-emitter <i>h</i> -parameters	Common-base <i>h</i> -parameters	Common-collector <i>h</i> -parameters
h_{ie}	$h_{ib} = h_{ie}/(h_{fe} + 1)$	$h_{ic} = h_{ie}$
h_{re}	$h_{rb} = h_{ie}h_{oe}/(h_{fe} + 1) - h_{re}$	$h_{rc} = 1$
h_{fe}	$h_{fb} = -h_{fe}/(h_{fe} + 1)$	$h_{fc} = -h_{fe} - 1$
h_{oe}	$h_{ob} = h_{oe}/(h_{fe} + 1)$	$h_{oc} = h_{oe}$

c. Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ hybrid- π

-Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ của BJT xác định mối quan hệ giữa tín hiệu xoay chiều biên độ nhỏ trong BJT: i_b, u_{be}, i_c, u_{ce} .
 - Các phương trình đặc tính tương ứng để xác định các mô hình tương đương của BJT:

$$i_c = f(v_{BE}, v_{CE})$$

Tín hiệu lớn

$$I_C + \Delta i_c = f(V_{BE} + \Delta v_{BE}, V_{CE} + \Delta v_{CE})$$

Tín hiệu nhỏ

Điểm làm việc tĩnh (bias) DC (bias)

$$i_c = I_C + i_c = f(V_{BE} + v_{be}, V_{CE} + v_{ce})$$

Tín hiệu nhỏ

$$Q = (V_{BE}, V_{CE}) \rightarrow i_c \approx \left. \frac{\partial f}{\partial v_{BE}} \right|_Q v_{be} + \left. \frac{\partial f}{\partial v_{CE}} \right|_Q v_{ce} \rightarrow i_c = g_m u_{be} + g_o u_{ce}$$

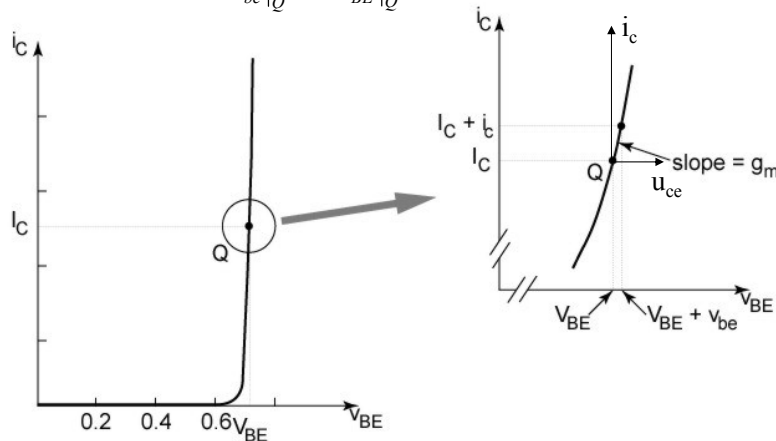
Transconductance- Độ hỗ dẫn g_m Output conductance (Điện dẫn đầu ra g_o)

Chú ý: Ký hiệu V và U, v và u là tương đương lẫn nhau.

- Độ hỗ dẫn g_m

- **Độ hỗ dẫn g_m :** Tương tự như độ dẫn của điốt, g_m là độ dốc của phương trình đặc tính $i_c = f(u_{BE})$ tại điểm làm việc tĩnh $Q(I_C, U_{BE}, U_{CE})$.

$$g_m = \left. \frac{i_c}{u_{be}} \right|_Q = \left. \frac{\partial i_c}{\partial u_{BE}} \right|_Q$$



- Độ hỗ dẫn g_m , Điện trở vào

-Ở chế độ tích cực: $i_c = I_S e^{(u_{BE}/V_{th})}$; $i_c = I_C + i_c$; $u_{BE} = U_{BE} + u_{be}$

$$\rightarrow g_m = \left. \frac{\partial i_c}{\partial u_{BE}} \right|_Q = \frac{I_S}{V_{th}} e^{u_{BE}/V_{th}} = \frac{I_C}{V_{th}} = \frac{q}{kT} I_C$$

- g_m liên kết giữa cặp cực B-E và dòng collector, tỉ lệ thuận với dòng tĩnh I_C và tỉ lệ nghịch với nhiệt độ, nó là phần tử trung tâm trong mô hình.

-Điện trở vào động r_π được xác định như sau:

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \frac{\beta V_{th}}{I_C}$$

Điện trở vào tỷ lệ nghịch với dòng điện phân cực một chiều I_C và tỷ lệ thuận với hệ số khuếch đại dòng tín hiệu nhỏ β .

- Điện áp Early

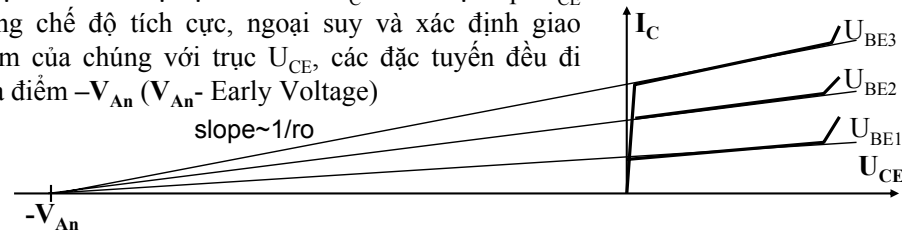
- Trong chế độ tích cực dòng điện i_C tăng không đáng kể khi điện áp điện áp u_{CE} tăng. Để xác định mối tương quan đó xét sự điều chế độ rộng hiệu dụng miền B.

- Khi u_{CE} tăng, điện áp phân cực ngược u_{CB} đặt trên chuyển tiếp BC tăng:

$$u_{CB} = u_{CE} - u_{BE} \approx u_{CE} - 0,7V$$

- Để xác định tác động của điện áp phân cực ngược đó đến dòng i_C thực hiện tính toán độ rộng của miền B thay đổi theo u_{CE} và thay vào biểu thức tính $i_C(u_{BE}, u_{CE})$, biểu thức này rất phức tạp. Để đơn giản hơn trong việc tính toán, người ta thường dùng xấp xỉ thuần túy theo kinh nghiệm để xác định sự phụ thuộc của dòng i_C vào điện áp u_{CE} .

- Dựa vào đồ thị đặc tính của I_C theo điện áp U_{CE} trong chế độ tích cực, ngoại suy và xác định giao điểm của chúng với trục U_{CE} , các đặc tuyến đều đi qua điểm $-V_{An}$ (V_{An} - Early Voltage)



- Điện trở đầu ra

- Từ đồ thị đặc tuyến I_C , hiệu chỉnh phương trình i_C như sau:

$$i_C = I_S e^{u_{BE}/V_{th}} \left(1 + \frac{u_{CE}}{V_{An}} \right)$$

- Điện dẫn đầu ra g_0 được xác định như sau:

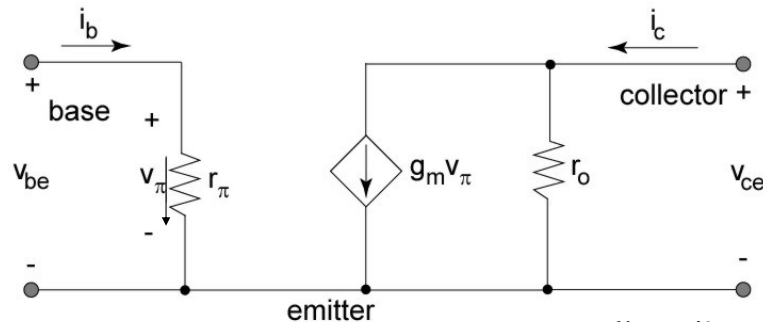
$$g_0 = \left. \frac{\partial i_C}{\partial u_{CE}} \right|_Q = \frac{1}{r_0} \quad r_0 : \text{điện trở đầu ra}$$

$$g_0 = \frac{1}{r_0} = I_S e^{(U_{BE}/V_{th})} \left(\frac{1}{V_{An}} \right) \cong \frac{I_C}{V_{An}} \rightarrow r_0 = \frac{V_{An}}{I_C}$$

- Mỗi loại BJT có điện áp V_{An} khác nhau, phụ thuộc vào cấu tạo của BJT, người ta thường xác định điện áp này bằng thực nghiệm và dùng phương pháp ngoại suy từ đồ thị đặc tuyến của BJT.

- Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ hybrid- π

- Dựa vào các phương trình đặc tính và tham số xác định trong chế độ tín hiệu nhỏ, nếu bỏ qua các thành phần tích điện, ta có thể xây dựng mô hình BJT chế độ tín hiệu nhỏ như hình vẽ sau (mô hình này thường dùng cho BJT hoạt động ở tần số thấp):



Tại điểm làm việc tĩnh: $Q(U_{BE}/I_B, U_{CE}, I_C)$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \frac{\beta V_{th}}{I_C}$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_{th}} = \frac{q}{kT} I_C$$

$$r_o = \frac{V_{An}}{I_C}$$

$$i_b = \frac{v_{be}}{r_\pi} = \frac{u_\pi}{r_\pi}$$

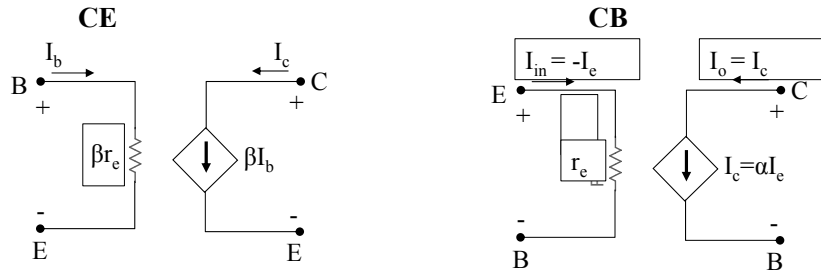
$$i_c = g_m v_{be} + \frac{1}{r_o} v_{ce}$$

- Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ hybrid- π của BJTnpn

- Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ của BJTnpn có thể được suy ra từ mô hình của BJTnpn đã trình bày. **Sinh viên tự vẽ và tính tham số cho mô hình này?**

d. Mô hình tương đương r_e

Hình 5.17 (p.246), 5-27 (p.251): BJT npn



$$r_e = \frac{26mV}{I_E}$$

Mối quan hệ giữa các tham số của các mô hình tương đương (mắc CE):

$$r_\pi = \beta r_e$$

$$g_m = \frac{1}{r_e}$$

$$r_o = \frac{1}{h_{oe}}$$

- Mô hình tương đương r_e của BJT pnp

- Mô hình tương đương r_e của BJT pnp có thể được suy ra từ mô hình của BJT npn đã trình bày. **Sinh viên tự vẽ và tính tham số cho mô hình này?**

6. Phân loại một số ứng dụng của BJT

Có nhiều cách phân loại BJT dựa trên các cơ sở khác nhau. Thông thường ta có thể phân loại BJT theo các chỉ tiêu sau

- Dựa theo vật liệu chế tạo có các loại: BJT Gecmani, BJT Silic, v.v..
- Dựa vào công nghệ chế tạo ta có: BJT khuếch tán, BJT trôi, BJT hợp kim.
- Dựa vào tần số công tác có: BJT âm tần, BJT cao tần
- Dựa vào chức năng làm việc có: BJT công suất, BJT chuyển mạch, v.v..
- Dựa vào diện tích mặt tiếp xúc P-N có: BJT tiếp điểm, BJT tiếp mặt.

BJT được sử dụng nhiều trong các ứng dụng như trong mạch khuếch đại tín hiệu, trong các mạch tạo dao động, trong các mạch ổn áp, các mạch khuếch đại đặc biệt, các chuyển mạch điện tử...

6. Một số mạch ứng dụng dùng BJT

BJT được sử dụng trong nhiều ứng dụng khác nhau. Ví dụ một số ứng dụng như sau:

- Mạch khuếch đại điện áp, dòng điện
- Mạch điều khiển Role.
- Chuyển mạch điện tử.
- Mạch tạo nguồn dòng không đổi
- Mạch logic (cổng logic)
- Mạch cảnh báo
- Mạch nguồn

...

Các mạch ứng dụng cụ thể sinh viên có thể tham khảo phần bài tập.

CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ

ELECTRONIC DEVICES

Lecture 7- FET (Transistor hiệu ứng trường)

KHOA KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ 1
HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG - PTIT

7/2008

FEE1-PTIT

Lecture 7

1

Lecture 7- FET (Transistor hiệu ứng trường)

1. Giới thiệu chung về FET
2. Transistor trường loại tiếp giáp – JFET
3. Cấu trúc MOS
4. Transistor trường loại cực cửa cách ly – IGFET

FEE1-PTIT

Lecture 7

2

Giới thiệu chung về FET

- Transistor hiệu ứng trường **FET** (Field Effect Transistor) là một dạng linh kiện bán dẫn ứng dụng hiệu ứng điện trở suất của bán dẫn được điều khiển bằng điện trường, đây là một loại cấu kiện điều khiển bằng điện thế.

- **Nguyên lý hoạt động cơ bản** của Transistor trường là dòng điện đi qua một môi trường bán dẫn có tiết diện dẫn điện, điện trở suất hoặc nồng độ hạt dẫn thay đổi dưới tác dụng của điện trường vuông góc với lớp bán dẫn đó, do đó điều khiển được dòng điện đi qua nó. Lớp bán dẫn này được gọi là kênh dẫn điện.

- Khác với BJT, FET chỉ có một loại hạt dẫn cơ bản tham gia dẫn điện.

- FET có ba chân cực là cực.

BJT	FET		
E	S	Source	Cực nguồn: các hạt dẫn đa số đi vào kênh tạo ra dòng điện nguồn I_S .
B	G	Gate	Cực cửa: cực điều khiển dòng điện chạy qua kênh
C	D	Drain	Cực máng: các hạt dẫn đa số rời khỏi kênh tạo ra dòng I_D

FEE1-PTIT

Lecture 7

3

Phân loại chung về FET

- FET chia thành các loại theo cấu trúc của cực cửa và của kênh dẫn như sau:

+ **JFET** (*Junction FET*) : Transistor hiệu ứng trường điều khiển bằng chuyển tiếp PN, cực điều khiển G ngăn cách với kênh dẫn bằng vùng nghèo của chuyển tiếp PN phân cực ngược.

+ **IGFET** (*Isolated Gate FET*) : Transistor hiệu ứng trường cực cửa cách ly với kênh dẫn, điển hình là linh kiện MOSFET (*Metal-Oxide-Semiconductor FET*) và MESFET (*Metal-Semiconductor FET*).

* **MESFET:** cực điều khiển ngăn cách với kênh dẫn bằng vùng nghèo của chuyển tiếp kim loại-bán dẫn.

* **MOSFET** cực điều khiển cách ly hẳn với kênh dẫn thông qua một lớp điện môi (SiO_2). Đây mới đúng là Transistor trường theo đúng nghĩa của thuật ngữ này, vì chỉ có loại này dòng chảy qua kênh dẫn mới được điều khiển hoàn toàn bằng điện trường, dòng điều khiển hầu như bằng không tuyệt đối, trong khi đó dòng rờ của chuyển tiếp PN hoặc Schottky phân cực ngược, chưa hoàn toàn bằng không).

- Mỗi loại FET còn được chia thành loại kênh N và kênh P.

76/116

FEE1-PTIT

Lecture 7

4

Giới thiệu chung về FET

* Một số ưu điểm của FET:

- FET là loại linh kiện một loại hạt dẫn (*unipolar device*).
- FET có trở kháng vào rất cao.
- Nhiều trong FET ít hơn nhiều so với Transistor lưỡng cực.
- FET không bù điện áp tại dòng $I_D = 0$, do đó nó là linh kiện chuyển mạch tuyệt vời.
- Có độ ổn định về nhiệt cao.
- Tần số làm việc cao.
- Kích thước của FET nhỏ hơn của BJT nên có nhiều ưu điểm trong IC.

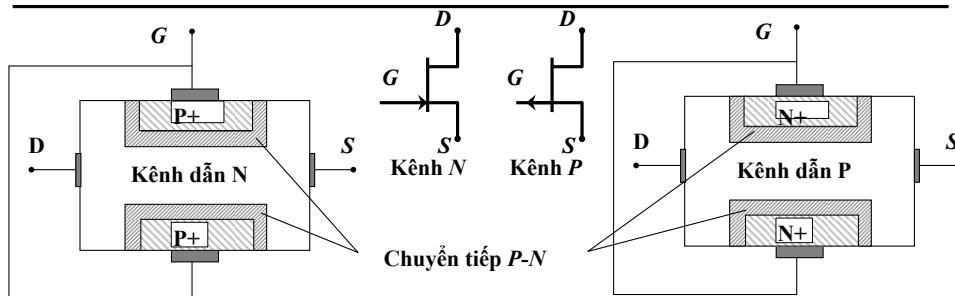
* Một số nhược điểm:

- Nhược điểm chính của FET là hệ số khuếch đại điện áp thấp hơn nhiều so với BJT

1. Transistor trường loại tiếp giáp - JFET

- 2.1. Cấu tạo của JFET
- 2.2. Nguyên lý hoạt động của JFET
- 2.3. Các cách mắc và họ đặc tuyến của JFET
- 2.4. Phân cực cho JFET
- 2.5. Các mô hình tương đương của JFET
- 2.6. Một số ứng dụng của JFET

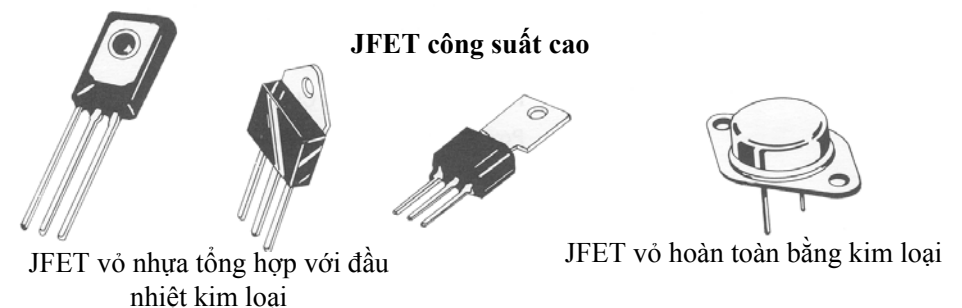
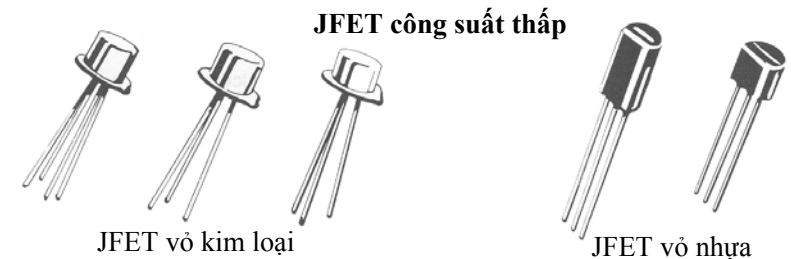
2.1. Cấu tạo của JFET



- JFET cấu tạo gồm:

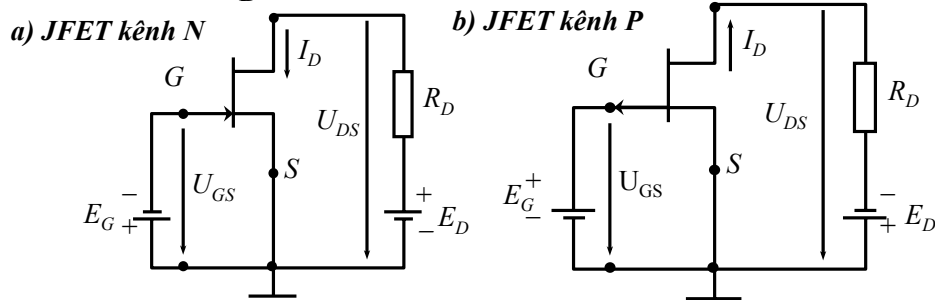
- + Một kênh dẫn được làm từ bán dẫn N (JFET kênh dẫn N) hoặc P (JFET kênh dẫn P), có 2 điện cực 2 đầu là cực nguồn S và cực máng D.
- + Điện cực thứ 3 là cực cổng G, giữa cực này và kênh dẫn có một chuyển tiếp PN, trong đó miền bán dẫn cực cổng được pha tạp mạnh hơn nhiều so với kênh dẫn để vùng điện tích không gian (vùng nghèo) của chuyển tiếp PN lan chủ yếu về phía kênh dẫn.
- JFET hầu hết đều là loại đối xứng, có nghĩa là khi đấu trong mạch ta có thể đổi chỗ hai chân cực S và D cho nhau thì các tính chất và tham số của JFET không hề thay đổi

2.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động JFET



2.2. Nguyên lý hoạt động của JFET

- Nguyên lý hoạt động của JFET kênh loại N và kênh loại P giống nhau. Chúng chỉ khác nhau về chiều của nguồn điện cung cấp là ngược dấu nhau.
- JFET được phân cực sao cho vùng chuyển tiếp PN bao quanh kênh dẫn luôn được phân cực ngược, và dòng các hạt dẫn đa số đi vào kênh tạo ra dòng I_S .
- Như vậy nguồn phân cực mắc sao cho: với JFET kênh n : $U_{DS} > 0$ và $U_{GS} < 0$ và với JFET kênh p : $U_{DS} < 0$; $U_{GS} > 0$.



FEE1-PTIT

Lecture 7

9

2.1. Nguyên lý hoạt động của JFET

- Trong phần này chúng ta sẽ trình bày về nguyên lý hoạt động của **JFET kênh N** , sau đó suy ra nguyên lý hoạt động của JFET kênh P .
- Do tác dụng của các điện áp U_{GS} và U_{DS} trên kênh dẫn xuất hiện 1 dòng điện (là dòng điện tử với JFET kênh N) hướng từ cực D tới cực S gọi là dòng điện cực máng I_D . Dòng I_D có độ lớn tùy thuộc vào các giá trị U_{GS} và U_{DS} vì độ phân cực ngược của chuyển tiếp PN phụ thuộc mạnh vào cả 2 điện áp này nên độ dẫn điện của kênh phụ thuộc mạnh vào cả 2 điện trường này. Như vậy về cơ bản có thể nói rằng JFET là một điện trở có tiết diện thay đổi được, và tiết diện này được thay đổi bởi điện áp điều khiển.
- Nếu xét riêng sự phụ thuộc của I_D vào từng điện áp khi giữ cho điện áp còn lại không đổi (coi là một tham số) ta nhận được hai quan hệ hàm quan trọng nhất của JFET là:

$$I_D = f_1(U_{DS}) \Big|_{U_{GS} = const} \rightarrow \text{Đặc tuyến ra}$$

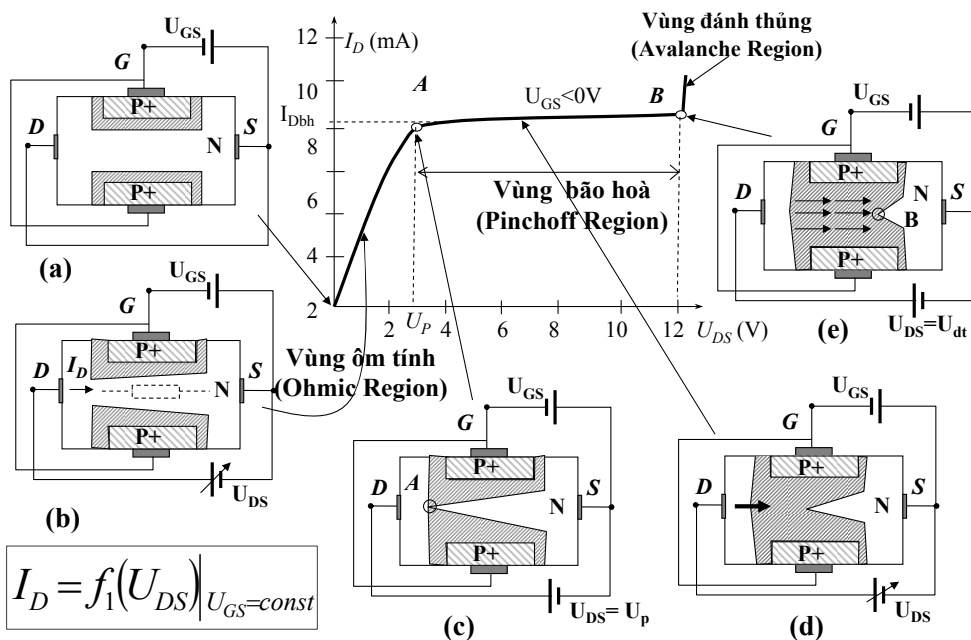
$$I_D = f_2(U_{GS}) \Big|_{U_{DS} = const} \rightarrow \text{Đặc tuyến truyền đạt}$$

FEE1-PTIT

Lecture 7

10

Đặc tuyến ra của nJFET



$$I_D = f_1(U_{DS}) \Big|_{U_{GS} = const}$$

FEE1-PTIT

Lecture 7

11

Đặc tuyến ra của nJFET

- Điểm 0:** Ứng với một giá trị nhất định nào đó của $U_{GS} \leq 0$ vùng chuyển tiếp PN giữa G và kênh phân cực ngược, nếu $U_{DS} = 0$ thì $I_D = 0$, độ rộng của miền điện tích không gian đồng đều và cố định.
- Vùng ôhm tính (Vùng Triot):** Khi U_{DS} tăng dần, I_D tăng dần, lúc đầu U_{DS} còn nhỏ, sụt áp của nó gây trên điện trở kênh ảnh hưởng không đáng kể đến độ rộng của miền điện tích không gian (đã được xác định bởi U_{GS}), nên I_D tăng tuyến tính theo U_{DS} , vùng được gọi là vùng ôhm tính, và làm việc giống như điện trở thuần.
- Điểm thắt A:** Khi U_{DS} tăng lên làm cho I_D lớn đến mức sụt áp do dòng này gây ra trên kênh làm tăng đáng kể điện áp phân cực ngược chuyển tiếp PN giữa cực G và kênh, miền điện tích không gian lan sâu vào kênh, làm cho điện trở kênh tăng dần, do đó I_D tăng chậm lại. Nếu như tiếp tục tăng U_{DS} đến thời điểm $U_{DS} = U_P$, thì hầu như I_D không tăng mặc dù tiếp tục tăng U_{DS} . Điểm $U_{DS} = U_P$ được gọi là điểm thắt A , U_P là điện áp thắt của kênh, dòng điện I_D ứng với điểm thắt gọi là dòng bão hòa I_{Dbh} .
- Vùng bão hòa (vùng làm việc tích cực):** Khi U_{DS} tiếp tục tăng vượt qua điểm thắt A , $U_{DS} > U_P$, thì I_D hầu như không tăng, $I_D = I_{Dbh}$, do khi U_{DS} tăng vùng điện tích không gian càng lan sâu vào kênh và điện trở kênh càng tăng lên tỉ lệ với U_{DS} , do đó dòng không đổi. Nhưng giá trị dòng I_{Dbh} lại tăng nhanh theo U_{GS} .

78/116

FEE1-PTIT

Lecture 7

12

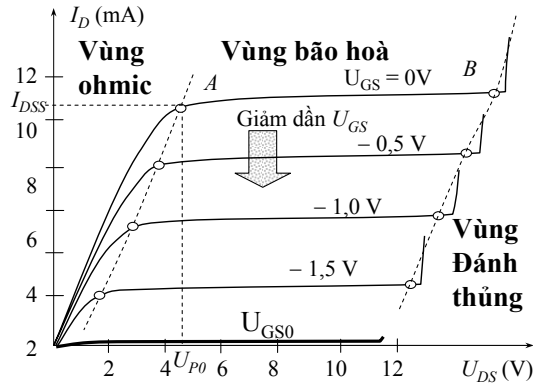
Đặc tuyến ra của nJFET

e/ **Điểm đánh thủng B:** Khi U_{DS} tăng quá lớn, điện áp phân cực ngược giữa G và kênh tăng mạnh, đến khi $U_{DS}=U_{dt}$ thì hiện đánh thủng theo hiệu ứng thác lũ xảy ra, do đó dòng I_D tăng đột ngột khi U_{DS} tăng, Điểm B gọi là điểm đánh thủng, vùng ngoài điểm B gọi là vùng đánh thủng của kênh.

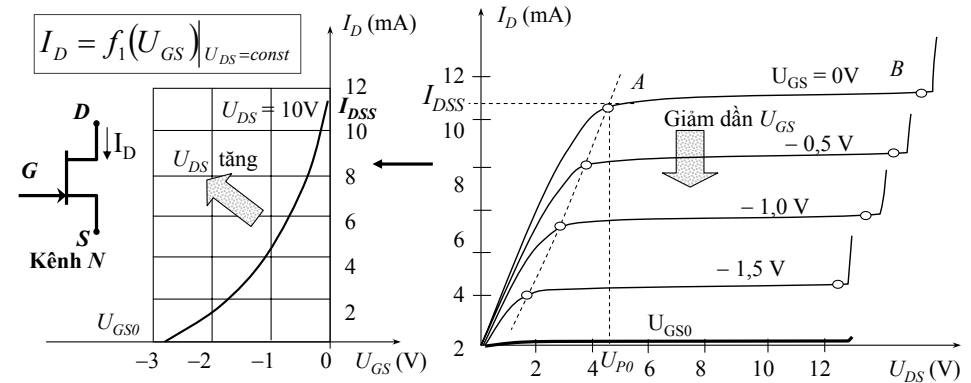
- **Họ đặc tuyến ra của JFET** có dạng như hình vẽ bên:

+ Khi U_{GS} âm dần, thì sự phân cực ngược của G và kênh càng tăng, điện áp thắt U_p để kênh đạt tới điểm thắt càng nhỏ, đường đứt nét trên họ đặc tuyến nối các điểm thắt với nhau.

+ Tương tự, với điểm đánh thủng B, khi U_{GS} càng âm việc đánh thủng chuyển tiếp PN xảy ra sớm hơn, điện áp đánh thủng càng nhỏ hơn.



Đặc tuyến truyền đạt của nJFET



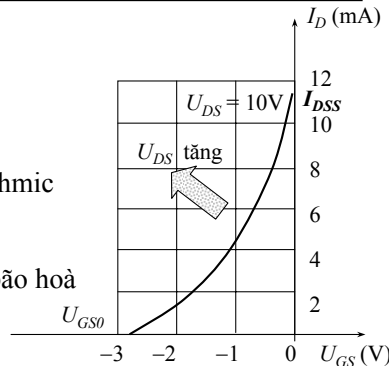
- Đặc tuyến truyền đạt của JFET mô tả mối quan hệ giữa I_D và điện áp U_{GS} ứng với một giá trị nhất định của U_{DS} . Dạng đặc tuyến truyền đạt khi JFET làm việc ở vùng bão hoà như hình bên trái. Đặc tuyến xuất phát từ một giá trị U_{GS0} , tại đó $I_D = 0$, gọi là **điện áp khoá**. Khi tăng U_{GS} , I_D tăng gần như tỷ lệ do độ dẫn điện của kênh tăng theo mức độ giảm phân cực ngược của tiếp giáp PN. Lúc $U_{GS} = 0$, tại vùng bão hoà $I_D = I_{DSS}$, vậy I_{DSS} là dòng tĩnh cực máng khi không có điện áp cực cửa.

Đặc tuyến truyền đạt của nJFET

- Quan hệ giữa I_D và U_{GS} được xác định bởi phương trình Shockley:

- **Phương trình Shockley:**

$$I_D = \begin{cases} I_{DSS} \left[-2 \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right) \frac{U_{DS}}{U_{GS0}} - \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right)^2 \right] & \rightarrow \text{Vùng ohmic} \\ I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right)^2 & \text{ khi } U_{GS0} \leq U_{GS} \leq 0 \rightarrow \text{Vùng bão hoà} \end{cases}$$

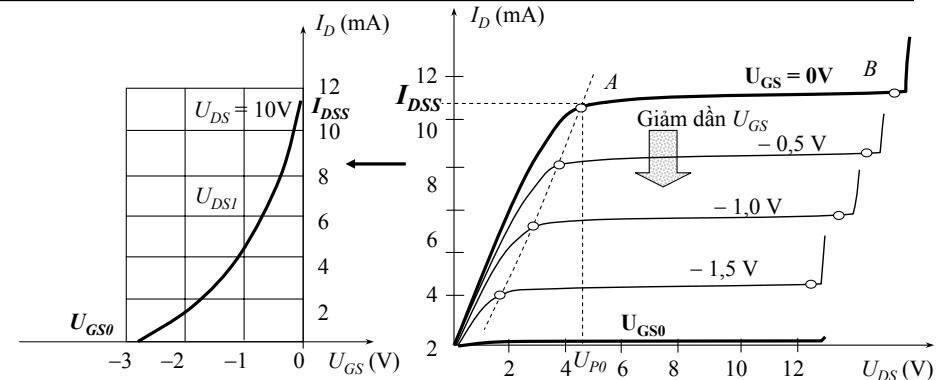


- Trong đó: I_{DSS} là dòng cực máng bão hoà khi $U_{GS} = 0$, khi đó kênh mở rộng nhất và lúc này I_D đạt giá trị lớn nhất của nó, nên như vậy có nghĩa là I_{DSS} là dòng cực máng cực đại có thể đạt được của JFET

- U_{GS0} là điện áp khoá kênh hay điện áp ngắt kênh, vì $I_D = 0$ khi độ rộng của kênh dẫn bằng 0, nên như vậy có nghĩa là U_{GS0} là thế áp đặt lên cực cổng làm cho JFET bị khoá lại hoàn toàn.

- I_{DSS} và U_{GS0} là 2 tham số quan trọng của JFET dùng nhiều khi thiết kế mạch.

+ Các họ đặc tuyến của n-JFET

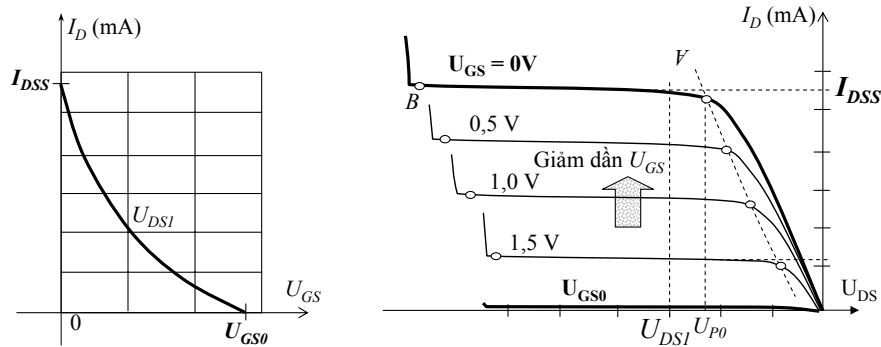


$I_{DSS} > 0$ - Dòng I_{Dss} khi $U_{GS} = 0V$

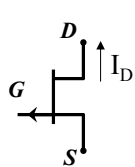
$U_{GS0} < 0$ - Điện áp khoá kênh

$$I_D = \begin{cases} I_{DSS} \left[-2 \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right) \frac{U_{DS}}{U_{GS0}} - \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right)^2 \right] & \rightarrow \text{Vùng ohmic} \\ I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right)^2 & \text{ khi } U_{GS0} \leq U_{GS} \leq 0 \rightarrow \text{Vùng bão hoà} \end{cases}$$

+ Các đặc tuyến của và p-JFET



$I_{DSS} > 0$ – Dòng I_{Dbh} khi $U_{GS} = 0V$
 $U_{GS0} > 0$ - Điện áp khóa kênh



$$I_D = \begin{cases} I_{DSS} \left[-2 \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right) \frac{U_{DS}}{U_{GS0}} - \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right)^2 \right] & \rightarrow \text{Vùng ohmic} \\ I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right)^2 & \text{khi } 0 \leq U_{GS} \leq U_{GS0} \rightarrow \text{Vùng bão hoà} \end{cases}$$

Tham số cơ bản của nJFET

-Tham số giới hạn:

+ Dòng cực máng cực đại cho phép: I_{Dmax} - là dòng điện ứng với điểm B trên đặc tuyến ra khi $U_{GS} = 0$; $I_{Dmax} \leq 50mA$.

+ Dòng điện D - S cực đại cho phép và điện áp U_{DSmax}

$$U_{DS,max} = U_B / (1,2 \div 1,5) \text{ (cỡ vài chục vôn).}$$

Trong đó U_B là điện áp đánh thủng tại điểm B.

+ Điện áp khoá cực đại U_{GS0} . Nếu $U_{GS} < U_{GS0}$, kênh bị khoá $I_D = 0$, $R_{DS} \approx \infty$

- Tham số làm việc gồm có:

+ Điện trở trong hay điện trở vi phân đầu ra:

$$r_i = r_d = \left. \frac{\partial U_{DS}}{\partial I_D} \right|_{U_{GS} = \text{const}}$$

($\approx 0,5 \text{ M}\Omega$), r_i thể hiện độ dốc của đặc tuyến ra trong vùng bão hoà.

+ Hồ dẫn của đặc tuyến truyền đạt:

$$S = g_m = \left. \frac{\partial I_D}{\partial U_{GS}} \right|_{U_{DS} = \text{const}}$$

(g_m cho biết khả năng điều khiển điện áp cực cửa tới dòng cực máng, giá trị điển hình $g_m = (7 \div 10) \text{ mA/V}$)

Tham số cơ bản của nJFET

+ Độ hồ dẫn cực đại:

$$S_0 = g_{m0} = - \frac{2I_{DSS}}{U_{P0}}$$

+ Điện trở vi phân đầu vào:

$$r_{vào} = \frac{\partial U_{GS}}{\partial I_G}$$

$r_{vào}$ do tiếp giáp P-N quyết định, có giá trị khoảng 109Ω .

+ ở tần số cao người ta quan tâm tới điện dung giữa các cực C_{DS} và C_{GD} (cỡ pF).

+ Hệ số khuếch đại điện áp μ :

$$\mu = \frac{\partial U_{DS}}{\partial U_{GS}} \Big|_{I_D = \text{const}} \approx \frac{\Delta U_{DS}}{\Delta U_{GS}} \Big|_{I_D = \text{const}} = \frac{u_{DS}}{u_{GS}} \Big|_{I_D = \text{const}}$$

- μ là số lần điện áp trên cực cửa tác động lên dòng điện cực máng mạnh hơn so với điện áp trên cực máng.

- So sánh các công thức tính độ hồ dẫn g_m , điện trở trong r_i và hệ số khuếch đại điện áp μ , ta có công thức sau:

$$\mu = S.r_i$$

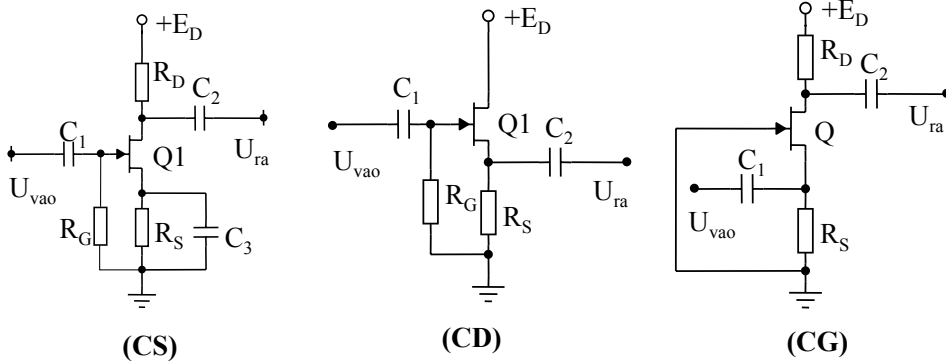
- μ có trị số khoảng vài trăm lần (ở sơ đồ mắc S chung).

So sánh giữa BJT và FET

BJT	JFET
Sử dụng cả 2 loại hạt tải điện, hoạt động bằng cách phun hạt tải	Chỉ sử dụng 1 loại hạt dẫn chính, không có hiện tượng phun hạt tải
Linh kiện điều khiển bằng dòng (Dòng lồi vào điều khiển dòng lồi ra)	Linh kiện điều khiển bằng thế (Thế lồi vào điều khiển dòng lồi ra)
Điện trở lồi vào nhỏ (vì dòng lồi vào là dòng của chuyển tiếp PN phân cực thuận)	Điện trở lồi vào rất lớn (vì dòng ở lồi vào là dòng của chuyển tiếp PN phân cực ngược), I_G rất nhỏ ($1pA \div 1nA$)
Điện trở lồi ra nhỏ hơn	Điện trở lồi ra lớn hơn
Sử dụng cho các tín hiệu lớn hơn (các tầng đầu trong hệ khuếch đại)	Sử dụng cho các tín hiệu nhỏ (Các tầng cuối trong hệ khuếch đại)
Nhiều lớn hơn	Nhiều nhỏ
Độ ổn định nhiệt kém hơn	Độ ổn định nhiệt tốt

2.3. Các cách mắc và họ đặc tuyến của JFET

- Cũng tương tự như BJT, JFET cũng có 3 cách mắc chủ yếu là: Chung cực nguồn (CS), chung cực máng (DC), và chung cực cửa (CG). Trong đó kiểu CS thường được dùng nhiều hơn cả vì kiểu mắc này cho hệ số khuếch đại điện áp cao, trở kháng vào cao. Còn các kiểu mắc CD, CG thường được dùng trong tầng khuếch đại đệm và khuếch đại tần số cao.



So sánh về chế độ làm việc giữa JFET và BJT

BJT	JFET
Vùng bão hoà	Vùng Ohmic
Vùng tích cực	Vùng bão hoà
Vùng cắt	Vùng cắt
Vùng đánh thủng	Vùng đánh thủng

Sơ đồ	CS	CG	CD
Đầu vào/ Đầu ra	G / D	S / D	G / S
Khuếch đại dòng	có	không	có
Khuếch đại áp	Có (=1/10 BJT)	có	không
Pha tín hiệu	Đảo pha	Đồng pha	Đồng pha
Trở kháng đầu vào	Rất lớn (R_{GS})	nhỏ	Rất lớn (R_{GD})
Trở kháng đầu ra	Nhỏ (R_D/r_i)	Lớn	Nhỏ ($R_S/1/g_m$)
Ứng dụng		Hầu như không sử dụng	

2.4. Phân cực cho JFET

- Cũng giống như BJT, JFET cũng cần được thiết lập điểm làm việc một chiều trước khi được sử dụng. Việc phân tích, thiết kế mạch phân cực cho JFET đơn giản hơn của BJT. Và khi phân tích thiết kế cũng thường dùng phương pháp gần đúng bằng đồ thị.
- Đường tải tĩnh của JFET cũng được vẽ trên đặc tuyến ra của nó. Điểm làm việc cần xác định $Q(U_{GS}, U_{DS}, I_D)$. Điểm làm việc tích cực cần phải nằm trên vùng đặc tuyến bão hoà.
- Có nhiều kiểu mạch phân cực khác nhau, phân tích, tính toán mạch phân áp cho JFET sẽ được dựa trên các điều kiện sau:
 - + Dòng cực cổng rất nhỏ, bỏ qua, coi như cực cửa hở mạch
 - + Điện áp U_{DS} đủ lớn để JFET làm việc trong vùng bão hoà (vùng *pinch-off*), khi đó $I_D = I_{Dbh} \approx \text{const}$ ứng với mỗi giá trị U_{GS} xác định.
 - + Đặc tính truyền đạt sẽ được sử dụng để phân tích theo phương pháp đồ thị, kết hợp với các phương pháp phân tích mạch KVL, KCL.
 - + Sử dụng phương trình Shockley.

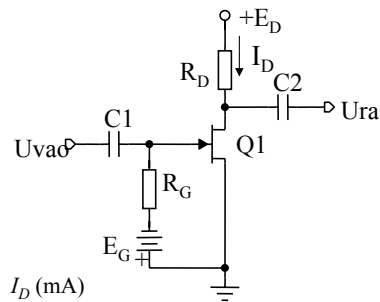
2.4. Phân cực cho JFET

- Các phương pháp phân cực cho JFET (có so sánh với BJT) như sau:

BJT	JFET
Dòng I_B cố định	Định thiên cực cổng (Gate bias/ Fixed bias)
Định thiên tự cấp	Định thiên tự cấp (Voltage-divider bias)
Không tương đương	Tự định thiên (Self bias)
Định thiên hồi tiếp âm Emitter	Không tương đương
Định thiên hồi tiếp âm Collector	Không tương đương
Định thiên hồi tiếp âm E và C	Không tương đương

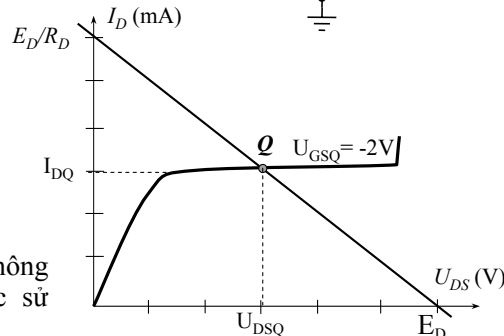
b. Định thiên điện áp cực G cố định (Gate bias/Fixed bias)

- Mạch định thiên như hình vẽ: Sử dụng nguồn áp E_G để phân cực ngược cho chuyển tiếp PN giữa cực G và kênh dẫn.
- Tham số của mạch: $E_G = -2V$; $E_D = +20V$
- Tham số của JFET: $U_{GS0} = -3,5V$; $I_{DSS} = 5mA$
- Tính toán điểm làm việc tĩnh để nó nằm giữa đường tải tĩnh.



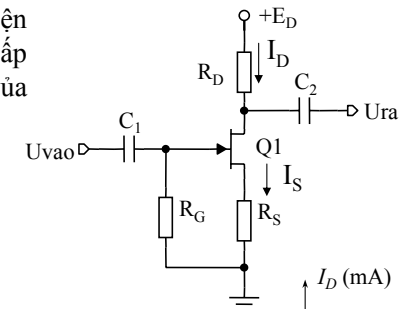
Tính toán

- Do I_G rất nhỏ nên: $U_{GS} = E_G = -2V$.
 - Đường tải tĩnh: $E_D - I_D \cdot R_D - U_{DS} = 0$
 - Mặt khác theo phương trình Shockley :
- $$I_{DQ} = I_{DSS} (1 - U_{GS}/V_{GS0})^2 = 0,92 \text{ mA}$$
- Q nằm giữa đường tải: $U_{DSQ} = E_D/2 = 10V$
 - Vậy: $R_D = (E_D - U_{DSQ})/I_{DQ} = 10,8 \text{ k}\Omega$.
 - Do phải dùng 2 nguồn và độ ổn định không cao nên mạch phân áp này ít được sử dụng.



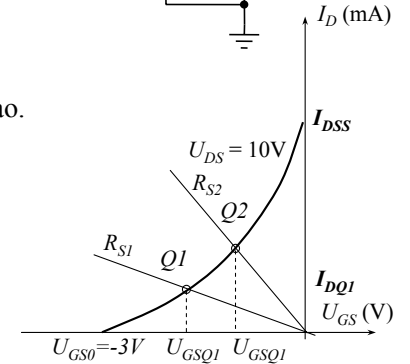
b. Mạch tự định thiên (Self bias)

- Mạch định thiên như hình vẽ: Sử dụng một điện trở thích hợp mắc nối tiếp với cực S để cung cấp điện áp cho cực G. $E_D = +20V$, Tham số của JFET: $U_{GS0} = -3,5V$; $I_{DSS} = 5mA$
- Tính toán điểm làm việc tĩnh nếu $U_{DSQ} = 10V$.



Tính toán

- + Do I_G rất nhỏ nên bỏ qua, $I_G = 0$, nên $I_S = I_D$.
- + $U_{RS} = I_S \cdot R_S = I_D \cdot R_S$
- + Áp dụng KVL ta có: $U_{GS} + I_D R_S + I_G R_G = 0$
- $\Rightarrow U_{GS} = -I_D R_S$ - Phương trình đường tải đầu vào.
- + Nếu chọn điểm làm việc Q1 có $U_{GSQ1} = -2V$.
- $\Rightarrow I_{DQ1} = I_{DSS} (1 - U_{GSQ1}/V_{GS0})^2 = 0,92 \text{ mA}$.
- $\Rightarrow R_S = -U_{GSQ1}/I_{DQ1} = 2,17 \text{ k}\Omega$.
- $\Rightarrow R_D = (E_D - U_{DSQ})/I_{DQ} - R_S = 8,63 \text{ k}\Omega$.

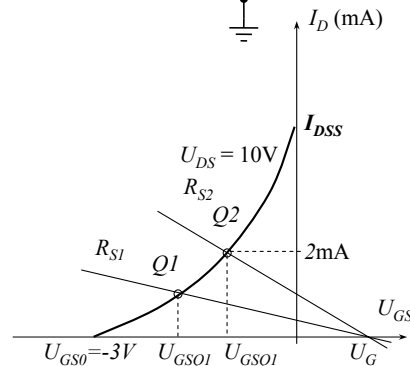
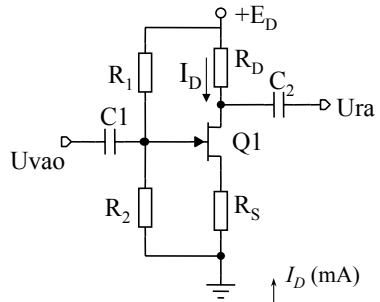


c. Mạch định thiên tự cấp

- Sử dụng 2 điện trở phân áp R_1, R_2 tạo ra điện áp định thiên cho cực G.
 - Cho $E_D = +20V$, Tham số của JFET:
- $$U_{GS0} = -3,5V; I_{DSS} = 5mA$$
- Tính toán điểm làm việc tĩnh nếu $U_{DSQ} = 10V$

Tính toán

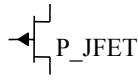
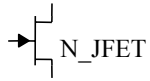
- + Do I_G rất nhỏ nên bỏ qua, $I_G = 0$, nên $I_S = I_D$.
- $\Rightarrow U_{RS} = I_S \cdot R_S = I_D \cdot R_S$
- $\Rightarrow U_G = E_D \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$
- + Áp dụng điện áp vòng KVL ta có :
- $U_G - U_{GS} - I_D \cdot R_S = 0$ (phương trình đường tải vào)
- + Nếu chọn $I_D = 2mA$
- + Mà $I_D = I_{DSS} (1 - U_{GS}/V_{GS0})^2$
- $\Rightarrow U_{GS} = -1,28V$, Chọn $U_{RS} \leq 0,1 \cdot E_D$
- \Rightarrow Chọn $R_2 = 200k\Omega$, tính tiếp các điện trở còn lại...



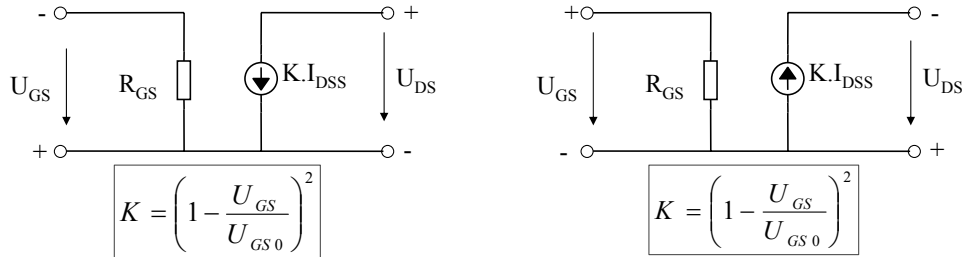
2.5 Mô hình tương đương của JFET

- a/ Mô hình tương đương 1 chiều và tín hiệu lớn
- b/ Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ

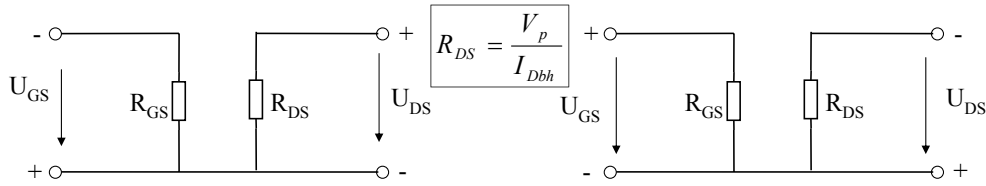
a/ Mô hình tương đương 1 chiều và tín hiệu lớn



a/ Mô hình tương đương JFET làm việc ở vùng bão hòa



b/ Mô hình tương đương JFET làm việc ở vùng ohmic



b/ Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ tần thấp

- Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ của JFET xác định mối quan hệ giữa tín hiệu xoay chiều biên độ nhỏ trong JFET: i_d, u_{gs} .

- Các phương trình đặc tính tương ứng để xác định các mô hình tương đương của JFET:

+ Tổng quát :

$$i_D = f(u_{GS}, u_{DS}) = I_D + i_d = f(U_{GS} + u_{gs}, U_{DS} + u_{ds})$$

+ Giả sử điểm làm việc Q(U_{GS}, U_{DS}, I_D)

$$\Rightarrow i_d = \left. \frac{\partial f}{\partial u_{GS}} \right|_Q u_{gs} + \left. \frac{\partial f}{\partial u_{DS}} \right|_Q u_{ds} = g_m u_{gs} + g_d u_{ds}$$

+ g_m - Độ hỗ dẫn vào, g_d - Độ hỗ dẫn ra

b/ Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ tần thấp

+ Mà ta có
$$i_D = f(u_{GS}) = I_{DSS} \left(1 - \frac{u_{GS}}{U_{GS0}} \right)^2$$

+ Độ hỗ dẫn vào:

$$g_m = \left. \frac{\partial f}{\partial u_{GS}} \right|_Q = \frac{-2I_{DSS}}{U_{GS0}} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right) = \frac{2\sqrt{I_{DS} \cdot I_{DSS}}}{-U_{GS0}}$$

+ Điện áp U_{GS} cực đại là U_{GS0} , Như vậy Độ hỗ dẫn cực đại là :

$$g_{m0} = \frac{-2I_{DSS}}{U_{GS0}} \rightarrow g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right)$$

+ Thực tế thì I_{Dbh} cũng sẽ thay đổi theo U_{DS} mặc dù sự thay đổi này là không đáng kể. Phương trình tính dòng I_D được hiệu chỉnh có tính đến ảnh hưởng của điện áp U_{DS} như sau:

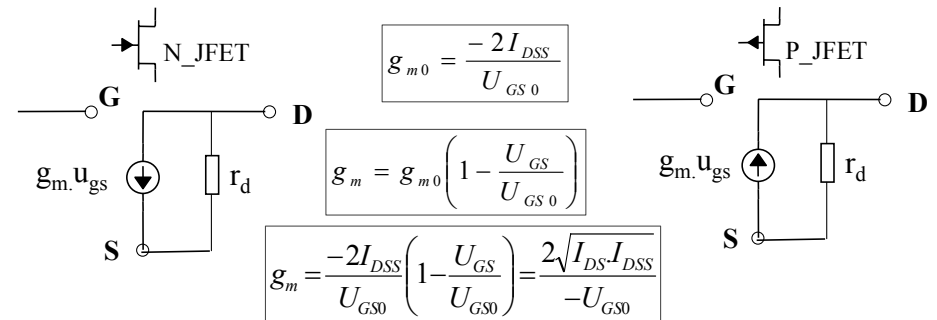
$$i_D = f(u_{GS}, u_{DS}) = I_{DSS} \left(1 - \frac{u_{GS}}{U_{GS0}} \right)^2 \left(1 + \frac{u_{DS}}{V_{An}} \right) \quad V_{An} - \text{Điện áp Early (30 ÷ 300V)}$$

b/ Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ tần thấp

+ Độ hỗ dẫn ra :
$$g_d = \left. \frac{\partial i_{DS}}{\partial u_{DS}} \right|_Q = I_{DSS} \left(1 - \frac{u_{GS}}{U_{GS0}} \right)^2 \left. \frac{1}{V_{An}} \right|_Q = \frac{I_D}{V_{An}}$$

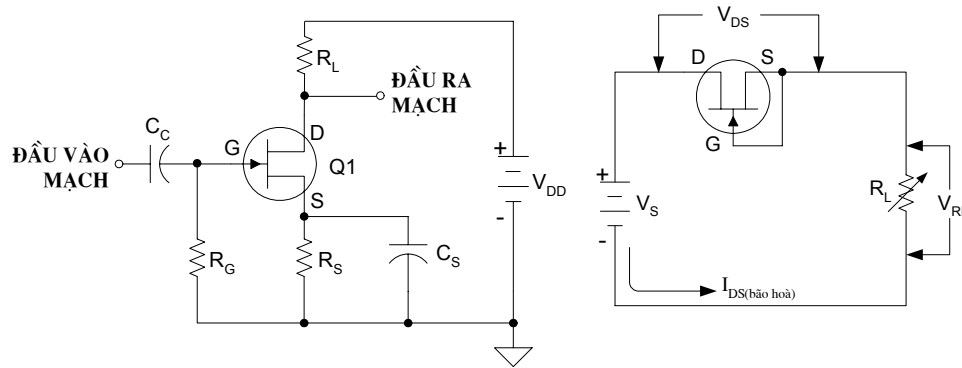
+ Điện trở vi phân đầu ra:
$$r_i = r_d = \left. \frac{\partial u_{DS}}{\partial i_D} \right|_Q = \frac{1}{g_d} = \frac{V_{An}}{I_D}$$

+ Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ tần thấp của JFET



2.6 Một số mạch ứng dụng đơn giản của JFET

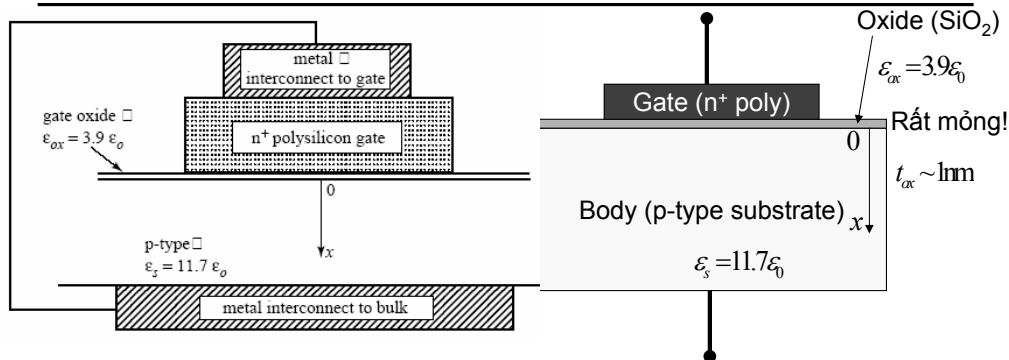
+ Bộ khuếch đại xoay chiều dùng JFET + Mạch ổn dòng dùng JFET



3. Cấu trúc MOS

- 3.1 Cấu trúc MOS trong điều kiện cân bằng nhiệt
- 3.2 Cấu trúc MOS khi có điện áp phân cực
- 3.3. Đặc tuyến Q-V
- 3.4. Một số hiệu ứng bậc hai
- 3.5. Các mô hình dùng cho linh kiện MOS

3. Cấu trúc MOS



- **MOS = Metal-Oxide-Semiconductor:** Cấu trúc tụ điện MOS gồm có lớp điện cực kim loại phủ lên lớp bán dẫn có nồng độ pha tạp rất cao (n+ hoặc p+) tương đương như lớp “Metal” (Miền Gate), và lớp bán dẫn nền (loại p hoặc n)-lớp Semiconductor (miền Body), giữa chúng có lớp cách điện rất mỏng dùng Oxide SiO₂.
- Lớp kim loại “Metal” thường dùng lớp bán dẫn pha tạp cao n+ hoặc p+.
- Lớp bán dẫn nền dùng loại p ta có cấu trúc **NMOS**, nếu dùng loại n ta có cấu trúc **PMOS**.

3. Cấu trúc MOS

- Cấu trúc MOS đã và đang là công nghệ chủ đạo tạo ra cuộc cách mạng về lĩnh vực điện tử. Có rất nhiều ứng dụng dùng cấu trúc MOS:
- + Dùng trong nhiều vi mạch tương tự và số: MOSFET là phần tử cơ bản trong họ vi mạch CMOS.
- + Dùng nhiều trong các vi mạch nhớ: DRAM, EPROM...
- + Dùng có các thiết bị ảnh như camera CCD (Charge-Couple Device)
- + Dùng trong các loại màn hình chỉ thị như Màn hình ma trận tinh thể lỏng tích cực...

3.1 Điện trường của nMOS trong điều kiện cân bằng nhiệt

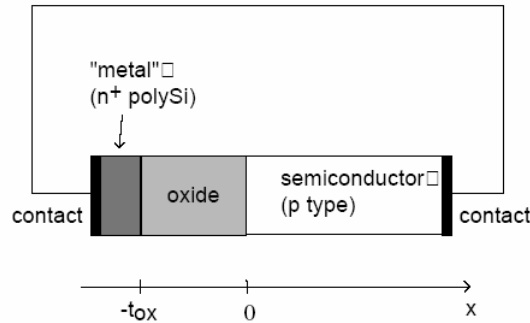
- Mô hình cấu trúc nMOS lý tưởng như hình vẽ.

+ Miền kim loại “Metal” (Miền Gate) không tạo thành một vùng tích điện mà nó chỉ tích điện trên bề mặt.

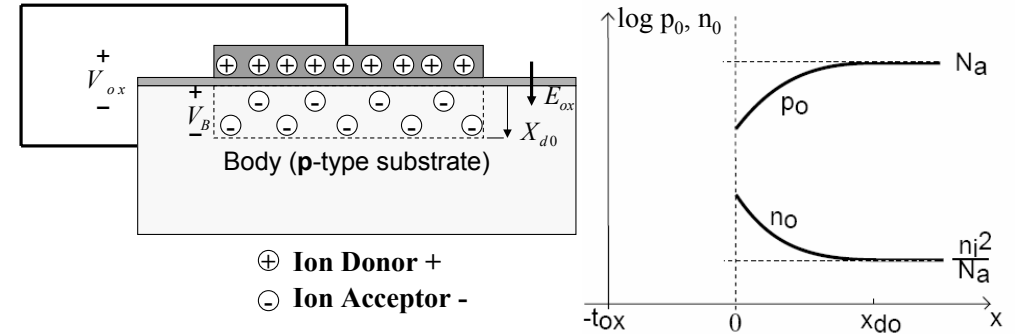
+ Lớp oxide là chất điện môi, cách điện hoàn toàn, không tích điện.

+ Vùng bán dẫn nền (Miền Body): có thể hình thành vùng điện tích không gian.

- Điều kiện cân bằng không thể được thiết lập thông qua lớp oxide nên cần phải có dây dẫn chuyển điện tích giữa lớp kim loại và lớp bán dẫn.



3.1 Điện trường của NMOS trong điều kiện cân bằng nhiệt



⊕ Ion Donor +
⊖ Ion Acceptor -

- Qua dây dẫn sẽ có sự khuếch tán điện tử từ miền kim loại G sang miền bán dẫn B và lỗ trống từ miền B sang miền G.
- Miền B sẽ tích điện -, miền G tích điện +, giữa chúng hình thành điện trường E_{ox} hướng từ G sang B. Điện trường này làm hình thành lớp điện tích dương ngay dưới đáy của miền G và miền điện tích âm trong miền B ngay dưới lớp oxide (Do E_{ox} cuốn điện tử và lỗ trống ngược với dòng kát)
- Miền điện tích - trong miền bán dẫn tạo ra một **vùng chuyển tiếp** có độ rộng X_{do} ngay sát lớp oxide.

3.1 Điện trường của nMOS trong điều kiện cân bằng nhiệt

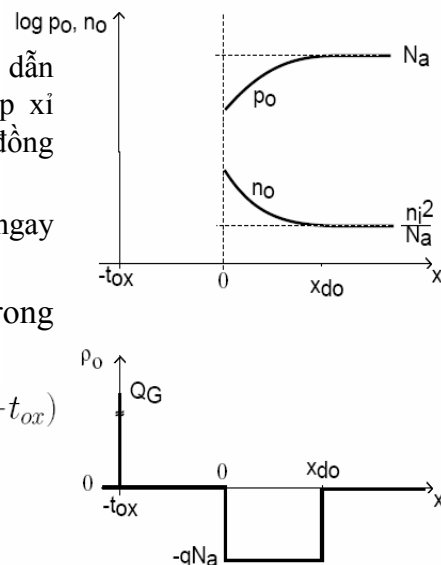
- **Mật độ điện tích không gian:**

+ Vùng điện tích không gian tại lớp bán dẫn ngay sát lớp oxide được xấp xỉ (xấp xỉ chuyển tiếp) có nồng độ điện tích đồng đều là $-qN_a$.

+ Tại miền G có lớp điện tích + mỏng ngay sát tích điện Q_G (C/cm²).

- Vậy mật độ điện tích không gian trong MOS như sau:

$$\begin{aligned} x \leq -t_{ox} & \quad \rho_o(x) = Q_G \delta(-t_{ox}) \\ -t_{ox} < x < 0 & \quad \rho_o(x) = 0 \\ 0 < x < x_{do} & \quad \rho_o(x) = -qN_a \\ x_{do} < x & \quad \rho_o(x) = 0 \end{aligned}$$



3.1 Điện trường của nMOS trong điều kiện cân bằng nhiệt

- **Điện trường trong cấu trúc nMOS**

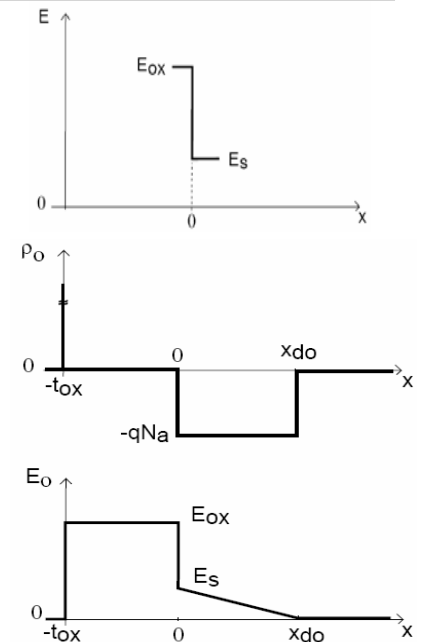
+ Tích phân 2 vế biểu thức Gauss ta có:

$$E_o(x_2) - E_o(x_1) = \frac{1}{\epsilon} \int_{x_1}^{x_2} \rho_o(x) dx$$

+ Tại giao giới giữa bán dẫn và oxide, hằng số điện môi thay đổi, như vậy điện trường cũng thay đổi:

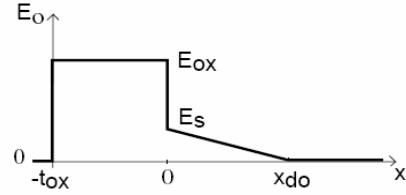
$$\epsilon_{ox} E_{ox} = \epsilon_s E_s \rightarrow \frac{E_{ox}}{E_s} = \frac{\epsilon_s}{\epsilon_{ox}} \simeq 3$$

+ Thay biểu thức của $\rho_o(x)$ vào biểu thức tích phân ta tính được biểu thức tính phân bố điện trường trong cấu trúc MOS:



3.1 Điện trường của nMOS trong điều kiện cân bằng nhiệt

$$E_o(x) = \begin{cases} 0 & \text{khi } x_{d0} < x \\ \frac{qN_a}{\epsilon_s}(x-x_{d0}) & \text{khi } 0 < x < x_{d0} \\ \frac{\epsilon_s}{\epsilon_{ox}} E_o(x=0^+) = \frac{qN_a x_{d0}}{\epsilon_{ox}} & \text{khi } -t_{ox} < x < 0 \\ 0 & \text{khi } x < -t_{ox} \end{cases}$$



- Điện thế tĩnh điện:

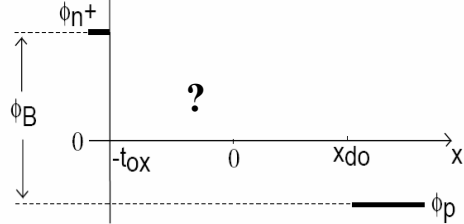
+ Điện thế tĩnh điện tại miền G (n+)

$$n_o = N_d^+ \Rightarrow \phi_g = \phi_{n^+}$$

+ Điện thế tĩnh điện tại miền B:

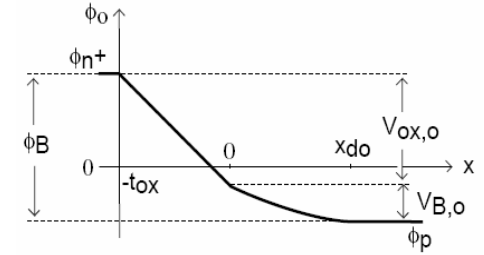
$$p_o = N_a \Rightarrow \phi_p = -\frac{kT}{q} \ln \frac{N_a}{n_i}$$

- Hiệu điện thế nội: $\phi_B = \phi_g - \phi_p = \phi_{n^+} + \frac{kT}{q} \ln \frac{N_a}{n_i}$

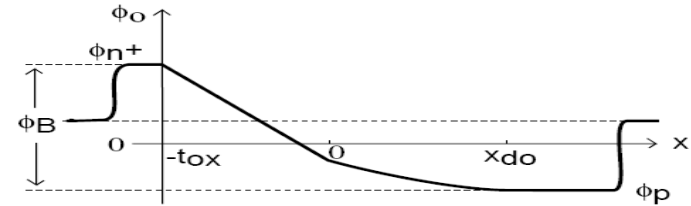
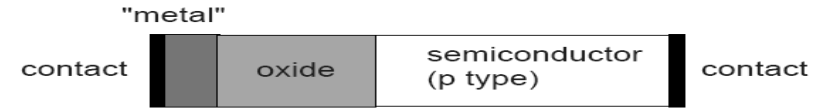


3.1 Điện trường của nMOS trong điều kiện cân bằng nhiệt

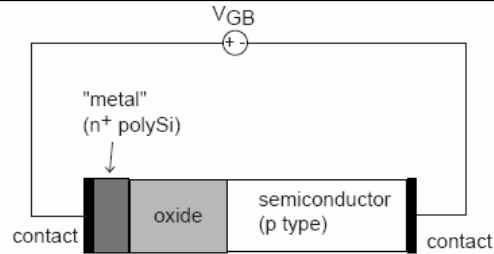
$$\phi_o(x_2) - \phi_o(x_1) = - \int_{x_1}^{x_2} E_o(x) dx$$



+ Điện thế tiếp xúc



3.2 Điện trường của nMOS khi được phân cực



- Khi có điện áp phân cực U_{GB} đặt vào nMOS, tùy theo giá trị điện áp phân cực U_{GB} vùng điện tích không gian thay đổi và có thể tồn tại ở các trạng thái khác nhau.

- Khi có điện áp phân cực, điện thế nội đặt qua cấu trúc MOS thay đổi từ:

$$\phi_B \rightarrow \phi_B + U_{GB}$$

- Do lớp oxide cách điện nên dòng điện tại bất kỳ vị trí nào trong các lớp bán dẫn $J=0$, như vậy $J_{drift} = -J_{diff}$.

- Tại biên giữa lớp oxide và bán dẫn, điện trường phía lớp oxide E_{ox} và điện trường phía bán dẫn E_s luôn thỏa mãn điều kiện sau:

$$E_{ox}/E_s \approx 3$$

3.2 Điện trường của nMOS khi được phân cực

- Khi $U_{GB} > 0$, ban đầu nguồn cuốn điện tử tự do từ G sang B và lỗ trống từ B sang G, như vậy vùng chuyển tiếp sẽ được mở rộng hơn và không đổi khi đạt trạng thái cân bằng.

- Ngược lại nếu $U_{GB} < 0$, ban đầu nguồn cuốn điện tử tự do từ B sang G và lỗ trống từ G sang B, như vậy vùng chuyển tiếp sẽ thu hẹp và không đổi khi đạt trạng thái cân bằng.

- Như vậy tùy theo điện áp phân cực mà cấu trúc MOS có thể tồn tại ở các trạng thái như sau:

+ Trạng thái bằng phẳng (Flatband): $U_{GB} = U_{FB} = -\phi_B$

+ Trạng thái tích lũy (accumulation): $U_{GB} < U_{FB}$

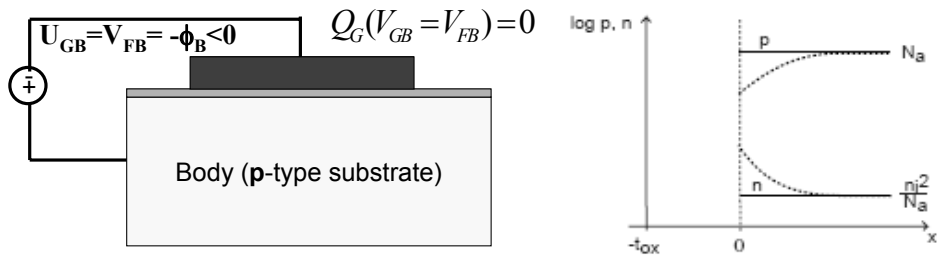
+ Trạng thái chuyển tiếp (depletion): $U_{FB} < U_{GB} < 0$

+ Trạng thái chuyển tiếp (depletion): $0 < U_{GB} < U_T$

+ Trạng thái ngưỡng (threshold): $U_{GB} = U_T$

+ **Trạng thái đảo (inversion):** $U_{GB} > U_T$

+Trạng thái năng lượng bằng phẳng (Flatband): $U_{GB}=U_{FB} = -\phi_B$



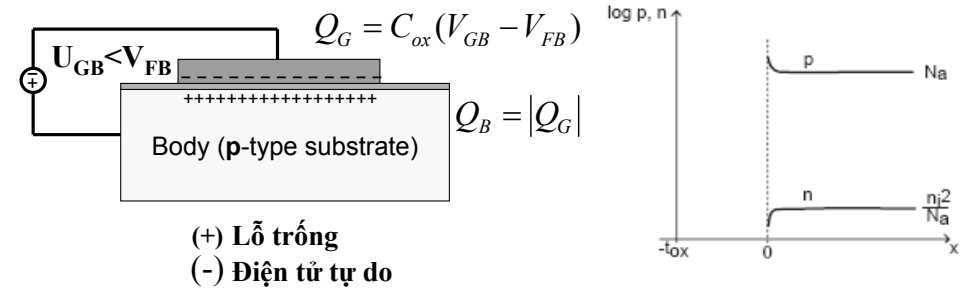
-Khi đặt điện áp phân cực $U_{GB}=V_{FB}=-\phi_B < 0$, điện áp phân cực bù với hiệu điện thế nội ϕ_{B_i} , có tác dụng cuốn điện tử từ miền B sang miền G, điện tích của các miền G và B giảm dần đến bằng 0, và các vùng tích điện biến mất.

-Với điện kiện phân cực như vậy MOS có dải năng lượng bằng phẳng “flatband”. Điện áp V_{FB} gọi điện áp flatband.

-Mật độ điện tích miền G: $Q_G(V_{FB}) = 0$.

- Trường hợp này ban đầu, dòng cuốn do U_{GB} tạo ra ngược với dòng khuếch tán.

+ Trạng thái tích lũy (accumulation): $U_{GB} < U_{FB}$



(+) Lỗ trống
(-) Điện tử tự do

- Nếu điện áp phân cực giảm nhỏ hơn V_{FB} , cấu trúc nMOS giống như tụ điện 2 bản cực song song. Miền G tích điện - (điện tích do điện tử tự do tạo ra), miền B tích điện + (điện tích do lỗ trống tạo ra)

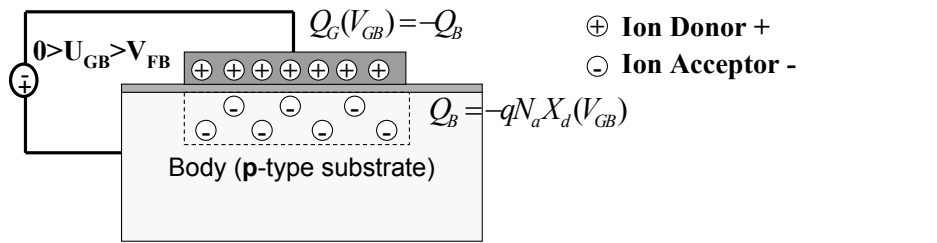
- Mật độ điện tích của miền G:

$$Q_G = C_{ox}(V_{GB} - V_{FB})$$

C_{ox} - mật độ điện dung của tụ MOS

- Trường hợp này ban đầu dòng cuốn do U_{GB} tạo ra lớn hơn và ngược chiều dòng khuếch tán.

+ Trạng thái chuyển tiếp (depletion): $U_{FB} < U_{GB} < 0$

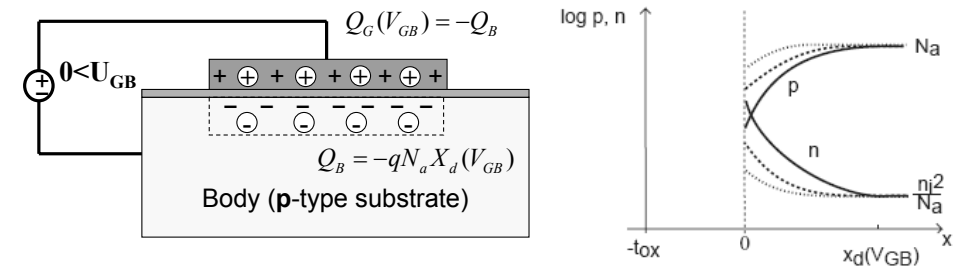


⊕ Ion Donor +
⊖ Ion Acceptor -

+ Tương tự như ở điều kiện cân bằng nhiệt, mặc dù $U_{GB} < 0$, nhưng do $U_{GB} > V_{FB}$ nên vẫn tồn tại dòng khuếch tán điện tử từ miền kim loại G sang miền bán dẫn B và lỗ trống từ miền B sang miền G qua dây dẫn và vượt qua điện thế của nguồn cung cấp. Như vậy Miền B sẽ tích điện +, miền G tích điện -, giữa chúng hình thành điện trường E_{ox} hướng từ G sang B. Điện trường này làm hình thành lớp điện tích dương ngay dưới đáy của miền G và miền điện tích âm trong miền B ngay dưới lớp oxide tạo ra một **vùng chuyển tiếp** có độ rộng x_d ngay sát lớp oxide

+ Trường hợp này ban đầu dòng cuốn do U_{GB} tạo ra ngược chiều và nhỏ hơn dòng khuếch tán.

+ Trạng thái chuyển tiếp (depletion): $0 < U_{GB} < U_T$



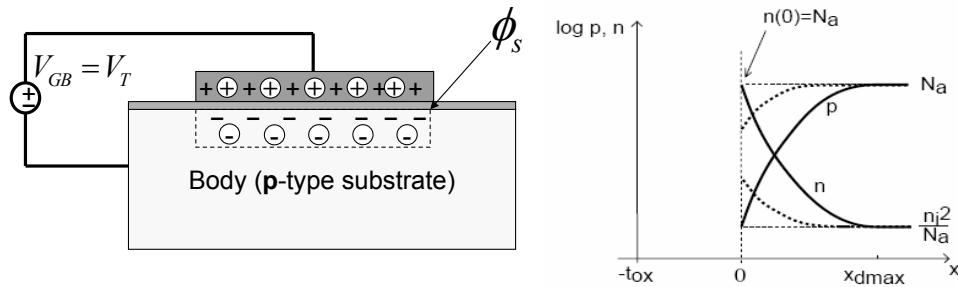
+ Khi $0 < U_{GB} < U_T$, tương tự như trường hợp $U_{FB} < U_{GB} < 0$, **Vùng chuyển tiếp** được hình thành ngay sát lớp oxide có độ rộng được mở rộng hơn. Miền tích điện + được hình thành phía đáy của miền G ngay sát lớp oxide và miền điện tích - được hình thành phía đỉnh của miền B ngay sát lớp oxide. Điện tích âm tạo ra do các Ion Acceptor - và nồng độ điện tử tự do tăng lên.

+ Khi U_{GB} tăng thì vùng chuyển tiếp cũng được mở rộng.

+ Tại vùng chuyển tiếp phía miền B – bán dẫn p, khi U_{GB} tăng nồng độ điện tử tăng dần, nồng độ lỗ trống giảm dần.

+ Trường hợp này ban đầu dòng cuốn do U_{GB} tạo ra cùng chiều với chiều dòng khuếch tán

+ Trạng thái ngưỡng (threshold): $U_{GB} = U_T$

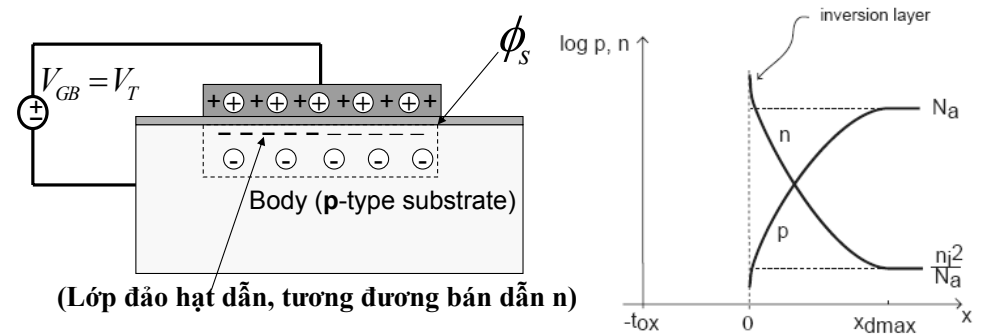


- Khi tăng U_{GB} , tại miền điện tích chuyển tiếp trên đỉnh miền B, nồng độ điện tử tăng dần, nồng độ lỗ trống giảm dần.
- Khi $U_{GB} = U_T$ tại đỉnh của miền B nồng độ điện tử bằng nồng độ lỗ trống ở vùng bán dẫn cận trung hoà $n(0) = N_a$, còn nồng độ lỗ trống bằng nồng độ điện tử ở vùng bán dẫn cận trung hoà $p(0) = n_i^2 / N_a$. Trạng thái này gọi là trạng thái ngưỡng - Bán dẫn đã bắt đầu chuyển từ loại p sang loại n.

- Điện áp U_T được gọi là điện áp ngưỡng. $V_T = V_{FB} - 2\phi_p + \gamma\sqrt{-2\phi_p}$

$$\gamma = \frac{1}{C_{ox}} \sqrt{2\epsilon_s q N_a} \quad \text{- Hệ số nền}$$

+ Trạng thái đảo (inversion): $U_{GB} > U_T$

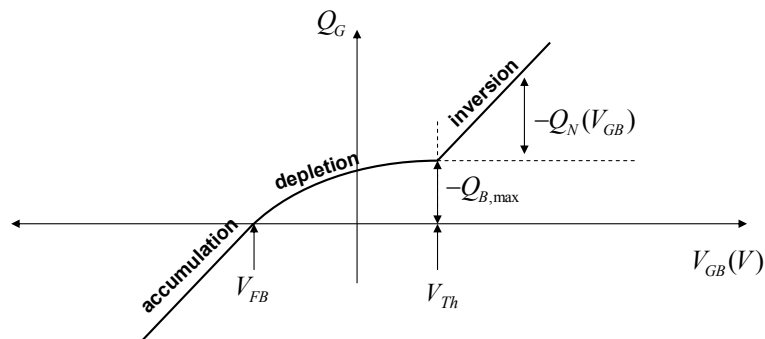


(Lớp đảo hạt dẫn, tương đương bán dẫn n)

- Khi $U_{GB} > U_T$ nồng độ điện tử tự do tại bề mặt của miền bán dẫn B tiếp giáp với lớp oxide tăng lớn hơn N_a , trạng thái đảo hạt dẫn xảy ra. Lớp điện tử tại bề mặt được gọi là lớp đảo, bán dẫn tại đó tương đương bán dẫn n
- Nồng độ điện tử tự do tại bề mặt được điều chế theo điện áp U_{GB} , nếu U_{GB} tăng thì $n(0)$ tăng \Rightarrow điện tích của lớp đảo Q_n tăng.

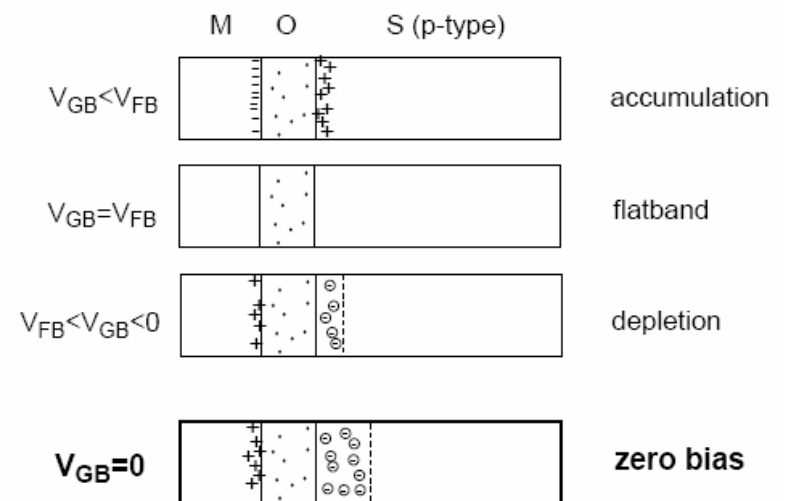
$$Q = CV \Rightarrow Q_n = -C_{ox}(V_{GB} - V_T) \quad \text{for } V_{GB} > V_T$$

3.3 Đường cong Q-V của cấu trúc nMOS

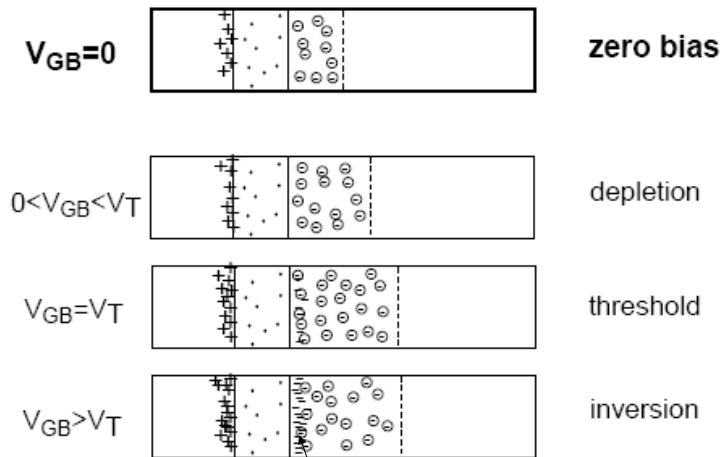


- Trong trạng thái tích lũy và trạng thái đảo điện tích của vùng chuyển tiếp phía miền G tăng tuyến tính theo điện áp phân cực U_{GB} .
- Trong trạng thái chuyển tiếp điện tích tăng rất chậm do điện áp phân cực chủ yếu rơi trên điện trở của vùng điện tích chuyển tiếp.

Tổng kết về các trạng thái của cấu trúc nMOS



Tổng kết về các trạng thái của cấu trúc nMOS



Trong trạng thái đảo (Inversion):

Mật độ điện tích đảo: $Q_n(U_{GB}) = -C_{ox}(U_{GB}-V_T)$ khi $U_{GB} > V_T$

4. Transistor trường loại cực cửa cách ly – IGFET

- 4.1 Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của MOSFET loại kênh đặt sẵn (Depletion Type MOSFET- DMOSFET)
- 4.2. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của MOSFET loại kênh cảm ứng (Enhancement Type MOSFET- EMOSFET)
- 4.3. Các cách mắc và họ đặc tuyến của MOSFET
- 4.4. Phân cực cho MOSFET
- 4.5. Các mô hình tương đương của MOSFET
- 4.6. Một số ứng dụng của MOSFET

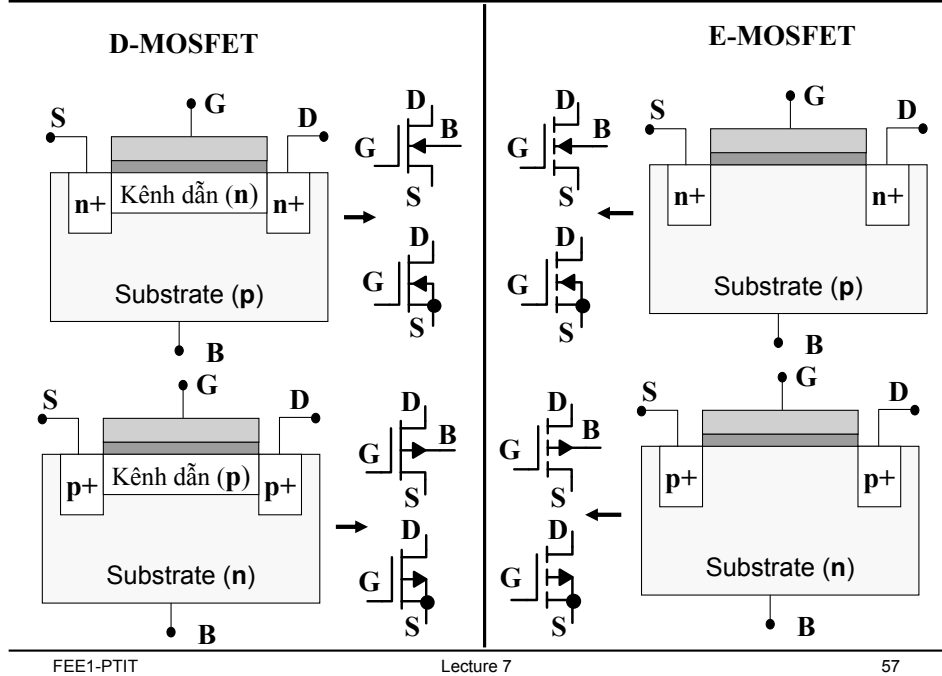
4.1 Cấu tạo của MOSFET

- MOSFET là loại linh kiện điện hình trong họ FET có cực cửa G cách ly. MOSFET về cơ bản có cấu tạo dựa trên cấu trúc MOS như sau:
- + Trên đế bán dẫn (bán dẫn nền B), người ta tạo ra 2 vùng bán dẫn khác với bán dẫn nền. Ví dụ loại nền loại p, thì tạo ra 2 vùng bán dẫn loại n+ cách nhau một khoảng nhất định, 2 vùng bán dẫn n này được dẫn ra ngoài thành 2 điện cực S và D.
- + Vùng bán dẫn giữa S và D hoặc bằng cách pha tạp (MOSFET kênh đặt sẵn) hoặc do thiên áp trong khi hoạt động (MOSFET kênh cảm ứng) bao giờ cũng có loại hạt dẫn đảo so với đế. Vùng này được gọi là vùng kênh dẫn, như vậy tức là bao giờ ta cũng có một chuyển tiếp p-n giữa đế và kênh dẫn.
- + Phía trên kênh dẫn người ta phủ lớp điện môi mỏng (SiO_2), và trên lớp điện môi này phủ tiếp lớp kim loại tạo ra điện cực G của MOSFET, G được cách ly hoàn toàn với kênh dẫn, tương tự như cấu trúc MOS.

4.1 Cấu tạo của MOSFET

- + MOSFET thường có thêm điện cực thứ 4 gọi là cực đế B (substrate), cực đế (cực nền) ngăn cách với kênh dẫn bằng chuyển tiếp p-n nên cũng có thể dùng nó như một cực điều khiển nữa bên cạnh G. Tuy nhiên tích chất điều khiển của cực B thường không được sử dụng và nó thường được nối tắt với cực nguồn.
- Ngoài cách phân loại theo kênh dẫn loại n và p, MOSFET còn được phân loại theo cách tạo ra kênh dẫn như sau:
- + **D-MOSFET** (Depletion MOSFET): MOSFET kênh đặt sẵn (MOSFET kiểu làm nghèo). Kênh dẫn được chế tạo sẵn là loại bán dẫn khác với bán dẫn nền. Điện áp giữa cực G và cực S làm nghèo một phần kênh dẫn (tương tự như JFET).
- + **E-MOSFET** (Enhancement MOSFET): MOSFET kênh cảm ứng (MOSFET kiểu làm giàu), kênh dẫn chưa được chế tạo trước. Kênh dẫn sẽ được tạo ra khi điện áp đặt lên cực G thích hợp và có giá trị lớn hơn điện áp ngưỡng nào đó thì sẽ tạo lớp đảo hạt dẫn phía dưới cực cổng, lớp hạt dẫn đảo này tương tự như một kênh dẫn nối cực S và D.

4.1 Cấu tạo của MOSFET

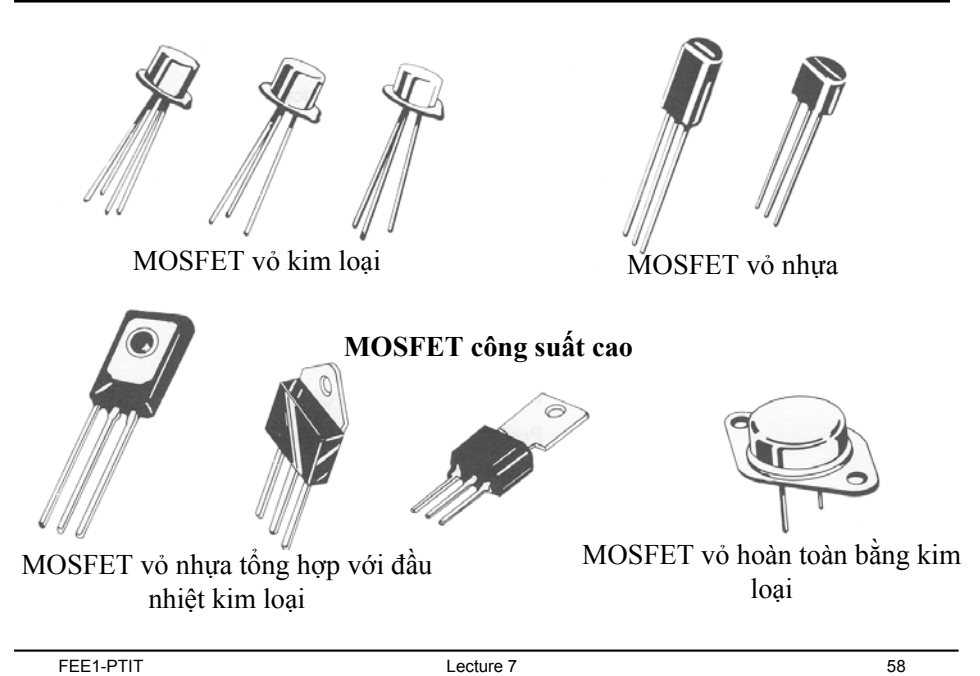


FEE1-PTIT

Lecture 7

57

4.1 Cấu tạo của MOSFET



FEE1-PTIT

Lecture 7

58

4.2. Nguyên lý làm việc của MOSFET

- Nguyên lý hoạt động của MOSFET kênh loại N và kênh loại P giống nhau. Chúng chỉ khác nhau về chiều của nguồn điện cung cấp là ngược dấu nhau.
- MOSFET được phân cực sao giữa đế (cực B) và kênh tạo ra vùng chuyển tiếp nghèo bao quanh kênh dẫn, và dòng các hạt dẫn đa số đi vào kênh từ cực S và ra khỏi kênh từ cực D tạo ra dòng I_D .
- Nguyên lý hoạt động cơ bản của MOSFET là cực cổng G kết hợp với lớp điện môi nằm dưới nó và kênh dẫn bán dẫn nằm dưới lớp điện môi chính là cấu trúc tụ điện MOS. Điện áp điều khiển tác dụng lên cực cổng sẽ tạo ra một điện trường làm biến thiên nồng độ hạt tải tự do trong kênh dẫn, hoặc thiết diện của kênh dẫn, độ dẫn của kênh sẽ thay đổi. Dòng điện I_D phụ thuộc vào điện áp U_{GS} và U_{DS} . Đặc tuyến quan trọng của MOSFET cũng là đặc tuyến ra và đặc tuyến truyền đạt tương tự như JFET.
- Đặc tính của MOSFET về cơ bản tương tự đặc tính của JFET nhưng có nhiều điểm ưu việt hơn.

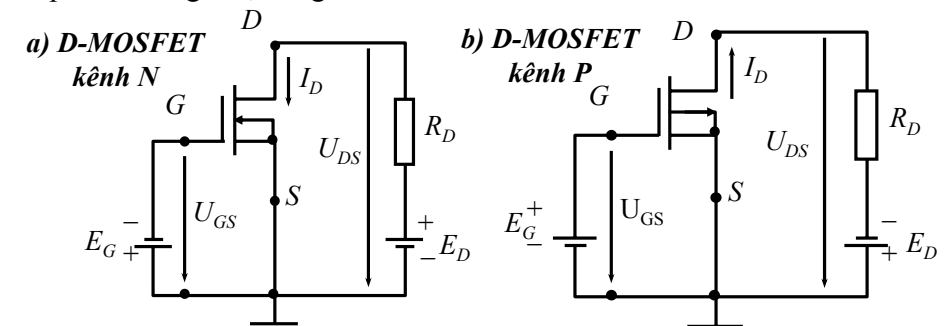
FEE1-PTIT

Lecture 7

59

a/ Nguyên lý làm việc của D-MOSFET

- Trong D-MOSFET bằng công nghệ đã chế tạo sẵn kênh dẫn bên dưới cực G, điện áp cực G điều khiển dòng giữa cực nguồn và cực máng bằng cách làm nghèo một phần kênh đó (thiết diện của kênh bị thu hẹp), tương tự như JFET. Vì khi D-MOSFET hoạt động kênh dẫn đã có sẵn đóng dần lại nên D-MOSFET còn được gọi là MOSFET thường mở.
- Thông thường cực nền B được nối tắt với cực nguồn S. Nguồn phân cực sao cho chuyển tiếp PN giữa cực bán dẫn nền và kênh dẫn luôn phân cực ngược, dòng hạt đa số của kênh dẫn đi ra ở cực D.



FEE1-PTIT

Lecture 7

60

a/ Nguyên lý làm việc của D-MOSFET

D-MOSFET kênh n làm việc theo 2 nguyên lý sau:

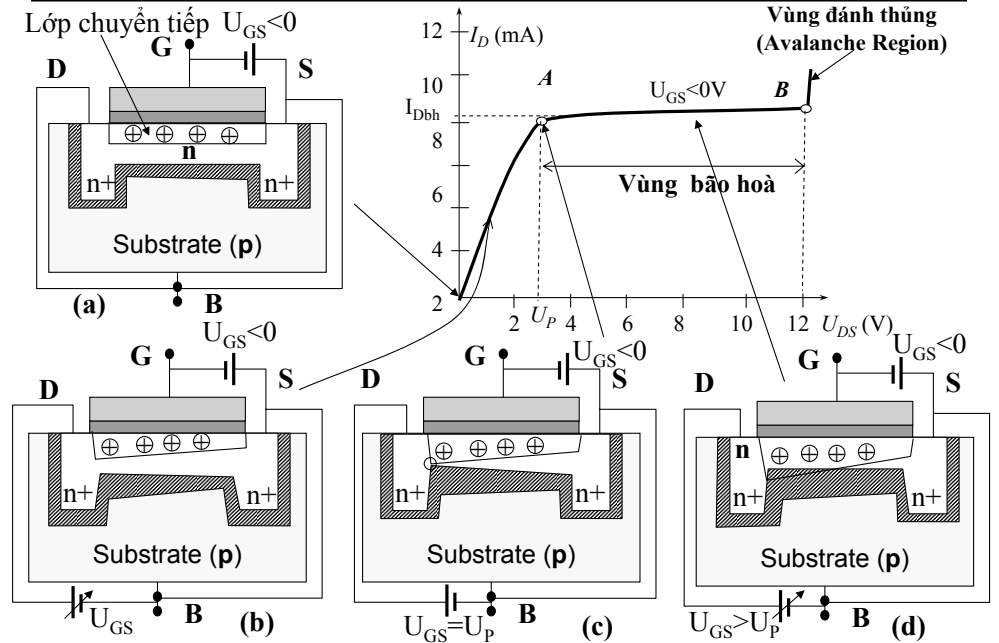
+ **Nguyên lý tắt nghẽn:** Khi $U_{GS} \leq 0$, những điện tích dương sẽ được cảm ứng vào kênh dẫn n, những điện tích dương này trung hoà bớt điện tử trong kênh n và hình thành một vùng chuyển tiếp nghèo hạt dẫn tại kênh ngay phía dưới cực G làm cho điện trở của kênh tăng lên, dòng I_D giảm xuống. U_{GS} càng giảm thì vùng chuyển tiếp càng mở rộng và I_D càng giảm. Sự thay đổi điện trở kênh dẫn do các hạt dẫn mới cảm ứng ra bởi điện trường cực G đã trung hoà bớt hạt dẫn vốn có của kênh – do điện tích trái dấu nhau – nghĩa là làm tắt nghẽn hạt dẫn.

Với $U_{GS} = \text{const}$, khi U_{DS} tăng dần thì vùng chuyển tiếp PN giữa B và kênh phân cực ngược lan sâu hơn vào kênh và vùng chuyển tiếp nghèo hạt dẫn cũng sẽ mở rộng, kênh sẽ bị thắt dần về phía cực D. Đặc tuyến ra của D-MOSFET cũng tương tự như của JFET. Cấu trúc MOS giữa G và kênh làm việc ở trạng thái chuyển tiếp

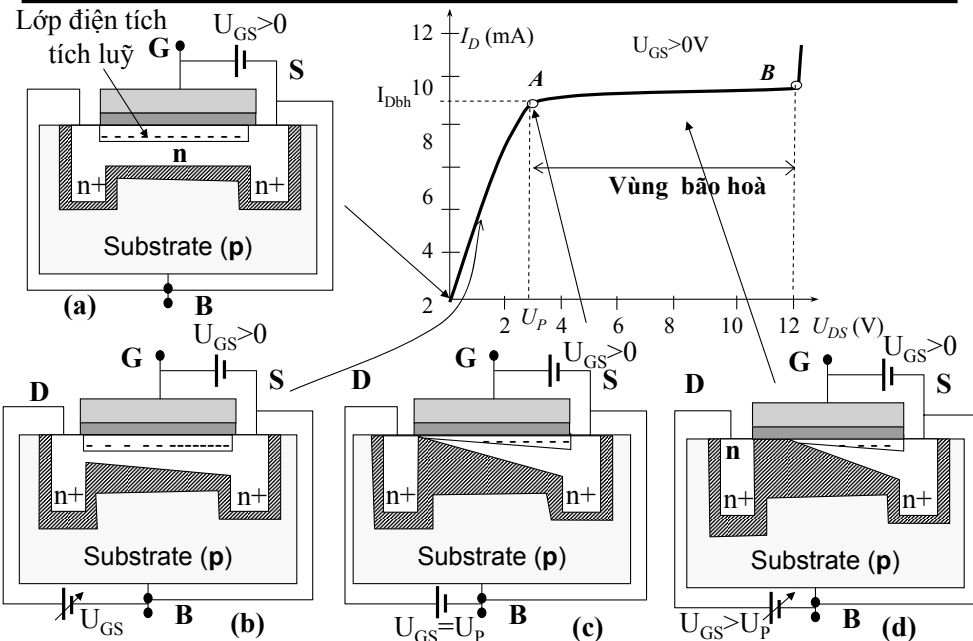
+ **Nguyên lý tăng cường:** Khi $U_{GS} > 0$, khi ấy dưới tác dụng của điện trường cực G các điện tử được cảm ứng vào kênh dẫn làm tăng nồng độ của điện tử trong kênh dẫn do đó làm giảm điện trở suất của kênh. Nếu U_{GS} tăng thì I_D cũng sẽ tăng. Cấu trúc MOS giữa G và kênh làm việc ở trạng thái tích lũy.

Với $U_{GS} = \text{const}$, khi U_{DS} tăng dần thì vùng chuyển tiếp PN giữa B và kênh phân cực ngược lan sâu hơn vào kênh, và nồng độ điện tử trong kênh cũng giảm dần về phía cực D, như vậy kênh cũng sẽ bị thắt dần về phía cực D.

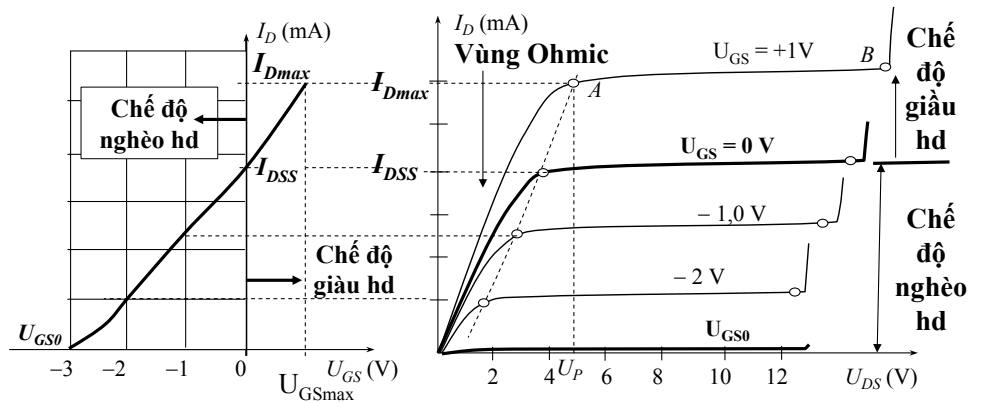
+ D-MOSFET làm việc theo nguyên lý làm việc tắt nghẽn



+ D-MOSFET làm việc theo nguyên lý tăng cường

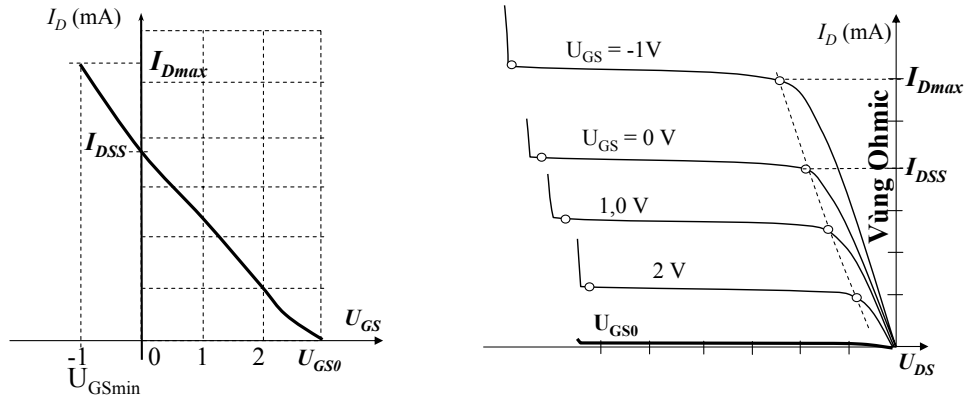


+ Các họ đặc tuyến của D-MOSFET kênh n



$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right)^2 \text{ khi } U_{GS0} \leq U_{GS} \leq U_{GSmax} \rightarrow \text{Vùng bão hoà}$$

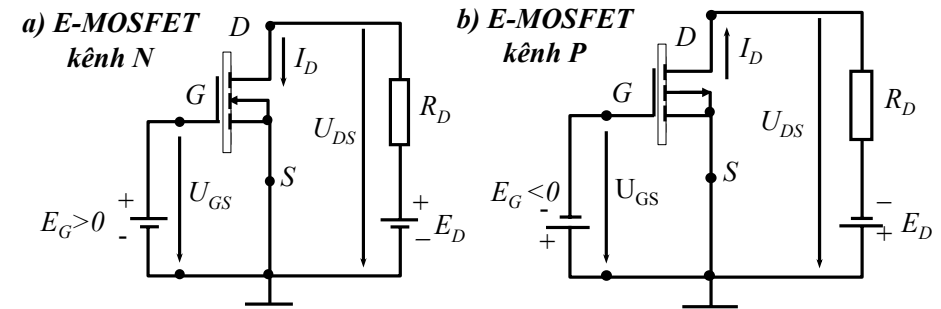
+ Các họ đặc tuyến của D-MOSFET kênh p



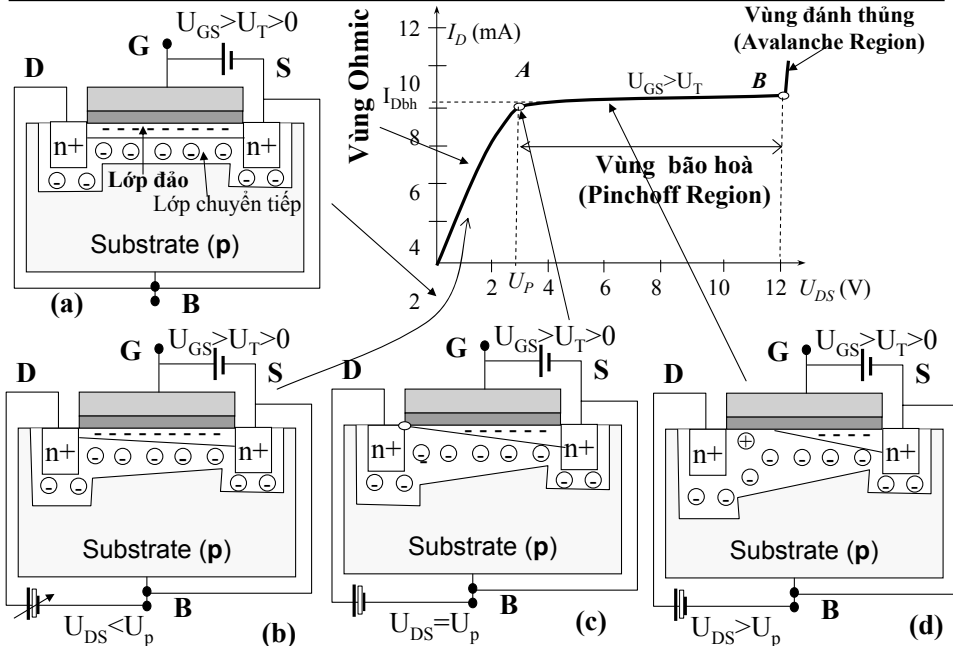
$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}}\right)^2 \text{ khi } U_{GS\min} \leq U_{GS} \leq U_{GS0} \rightarrow \text{Vùng bão hòa}$$

b/ Nguyên lý làm việc của E-MOSFET

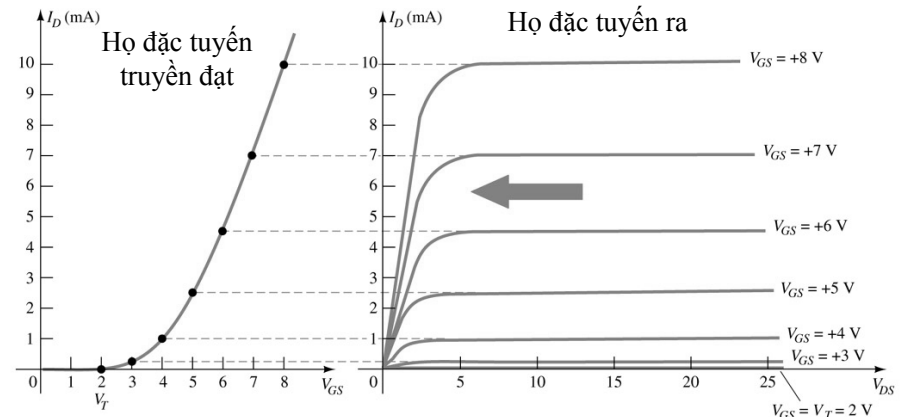
- Trong E-MOSFET (MOSFET kênh cảm ứng, MOSFET kiểu làm giàu hạt dẫn) không có sẵn kênh dẫn giữa S và D mà kênh dẫn này sẽ được tạo ra khi đặt điện áp lên cực cổng thích hợp lớn hơn giá trị điện áp ngưỡng nào đó U_T thì sẽ có sự tạo thành lớp đảo hạt dẫn ngay dưới cực cổng tạo thành kênh dẫn nối giữa S và D (tương tự như cấu trúc MOS trong trạng thái đảo). Vì kênh dẫn chỉ được tạo ra khi có điện áp trên cực G nên loại MOSFET này còn gọi là MOSFET thường đóng.
- Thông thường cực nền B được nối tắt với cực nguồn S. Nguồn phân cực sao cho tạo thành lớp đảo hạt dẫn tại bán dẫn nền, dòng hạt đa số của kênh dẫn đi ra ở cực D.



+ Đặc tuyến ra của E-MOSFET kênh n



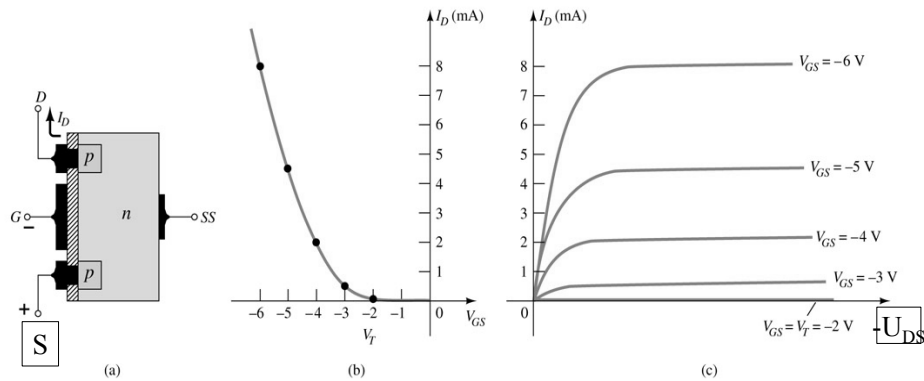
+ Các họ đặc tuyến của E-MOSFET kênh n



- + Khi $U_{GS} < U_T$ - điện áp ngưỡng, kênh bị khoá hoàn toàn (chưa hình thành kênh cảm ứng): $I_D = I_{Dbh} = 0$.
- + Khi $U_T < U_{GS} = \text{const}$, nếu $U_{DS} > U_p$ thì $I_D = I_{Dbh} = \text{const}$
- + Biểu thức tính I_D theo U_{GS} tại vùng bão hoà thường được tính như sau:

$$I_D = k \cdot (U_{GS} - U_T)^2 \quad k: \text{hằng số kênh.} \quad k = \frac{W}{2L} \mu_n C_{ox} \quad W, L \text{ độ rộng và chiều dài của G}$$

+ Các họ đặc tuyến của E-MOSFET kênh p



- + Khi $U_{GS} > U_T$ - điện áp ngưỡng, kênh bị khoá hoàn toàn (chưa hình thành kênh cảm ứng): $I_D = I_{Dbh} = 0$.
- + Khi $U_{GS} < U_T < 0$, nếu $-U_{DS} > U_p$ thì $I_D = I_{Dbh} = \text{const}$
- + Biểu thức tính I_D theo U_{GS} tại **vùng bão hoà** thường được tính như sau:

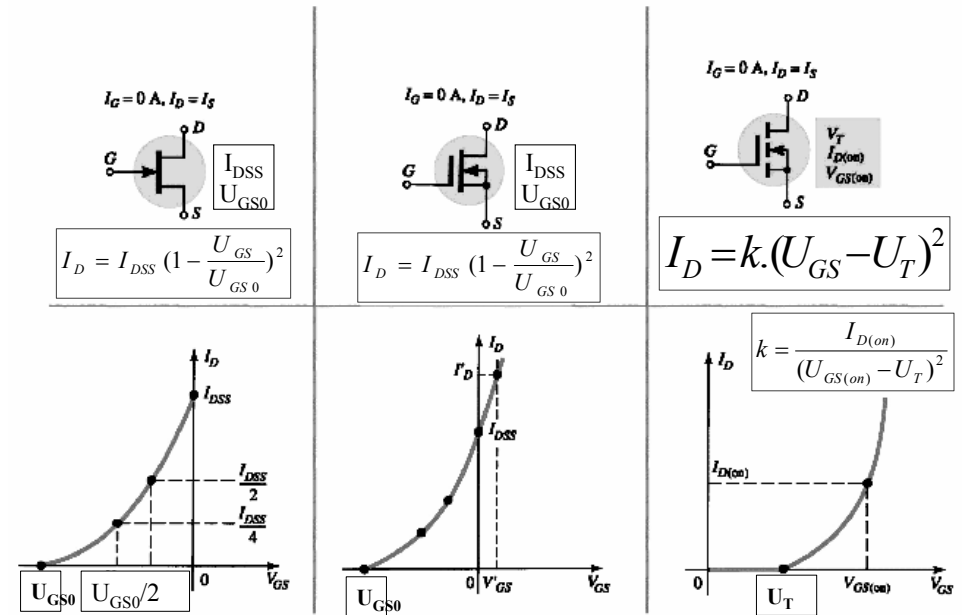
$$I_D = k \cdot (U_{GS} - U_T)^2 \quad k = \frac{W}{2L} \mu_p C_{ox} \quad C_{ox}: \text{Điện dung của MOS}$$

FEE1-PTIT

Lecture 7

69

Bảng so sánh đặc tuyến truyền đạt của các cấu kiện FET



FEE1-PTIT

Lecture 7

70

4.2 Định thiên cho MOSFET

- Với MOSFET làm việc ở chế độ xung số thường được phân áp để chúng làm việc ở vùng đặc tuyến khoá hoàn toàn và vùng ohmic hoặc gần bão hoà.
- Khi MOSFET làm việc ở chế độ tích cực (chế độ khuếch đại tín hiệu) thì chúng được định thiên để làm việc ở vùng đặc tuyến bão hoà.
- Trong phần này chủ yếu tính toán mạch định thiên để MOSFET làm việc ở chế độ tích cực.
- Khi tính toán mạch định thiên sử dụng các giả thiết sau: $I_G = 0$, Khi $U_{GS} = \text{const}$, dòng $I_D = I_{DSbh} = \text{const}$ mặc dù U_{DS} thay đổi.

a. Các cách định thiên cho D-MOSFET:

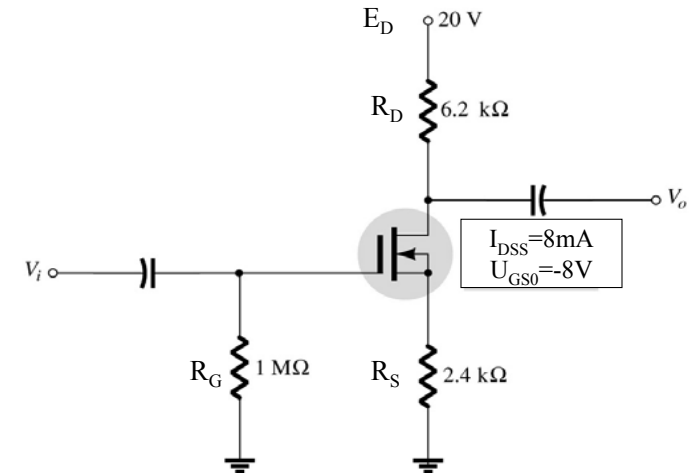
- + a.1/ Tự định thiên
- + a.2/ Định thiên bằng mạch phân áp
- + a.3/ Định thiên cực công
- b. Các cách định thiên cho E-MOSFET
- + b.1/ Định thiên bằng mạch hồi tiếp
- + b.2/ Định thiên bằng mạch phân áp

FEE1-PTIT

Lecture 7

71

a.1/ Mạch tự định thiên D-MOSFET

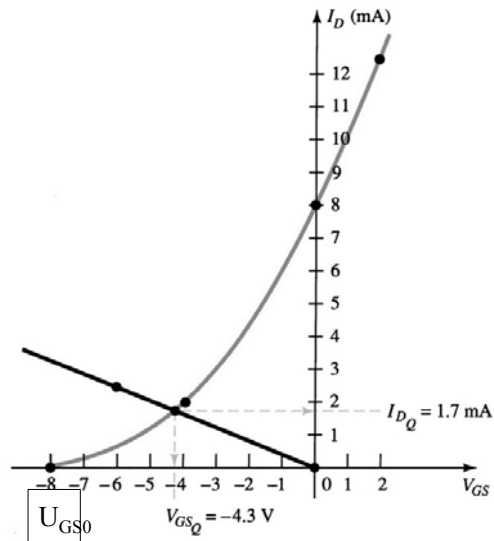


FEE1-PTIT

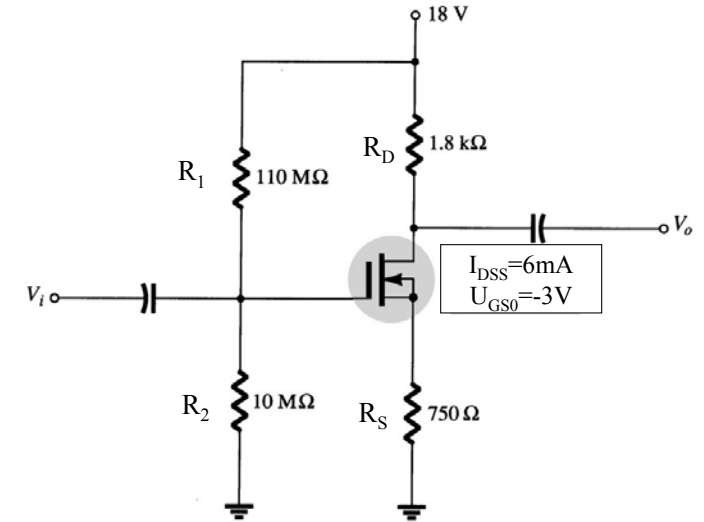
Lecture 7

72

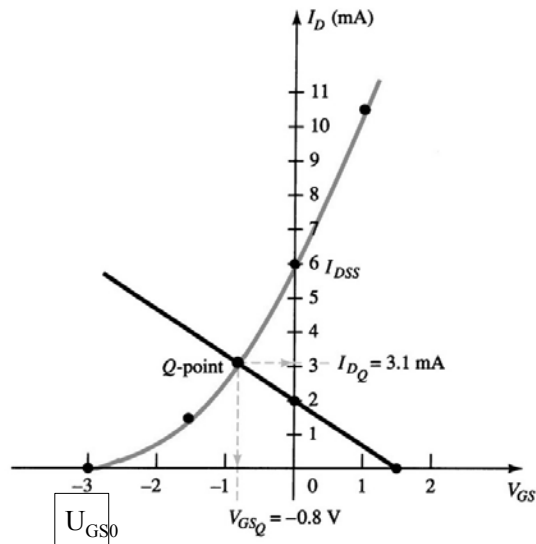
Xác định điểm làm việc Q



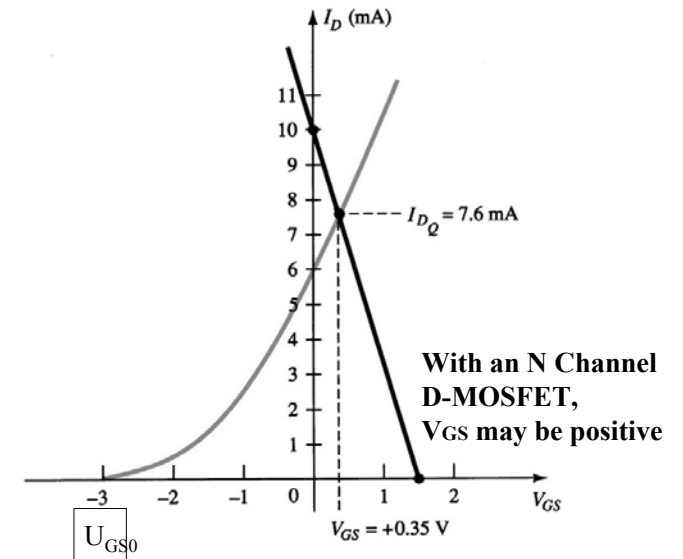
a.2/ Định thiên bằng mạch phân áp cho D-MOSFET



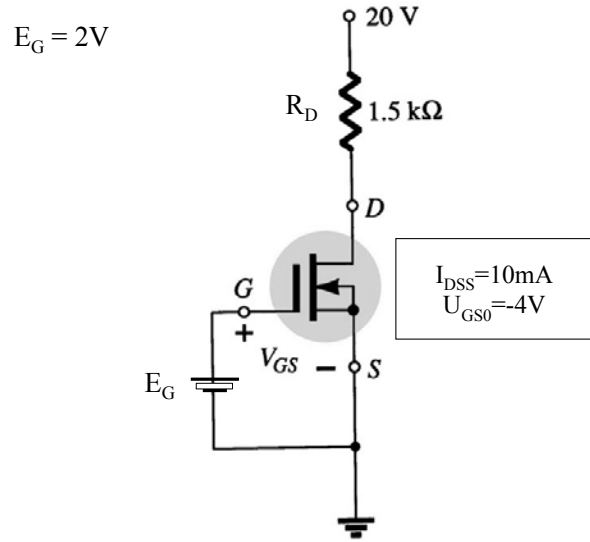
+ Điểm làm việc Q



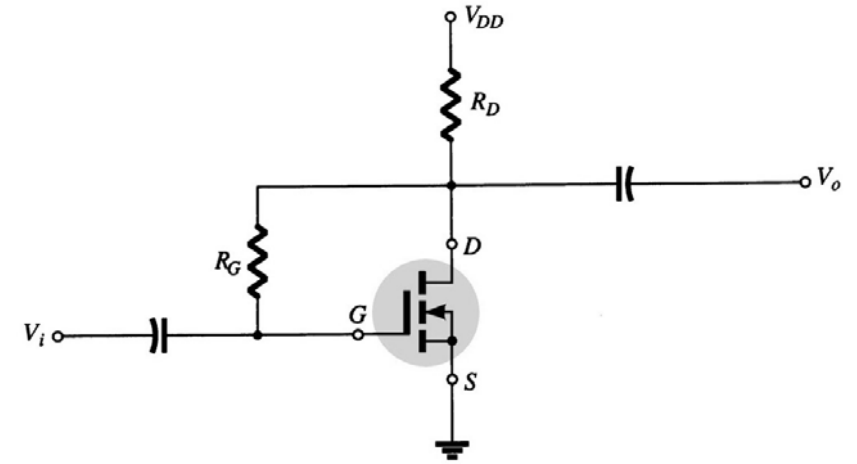
Ảnh hưởng của việc thay đổi điểm làm việc Q khi R_S biến đổi



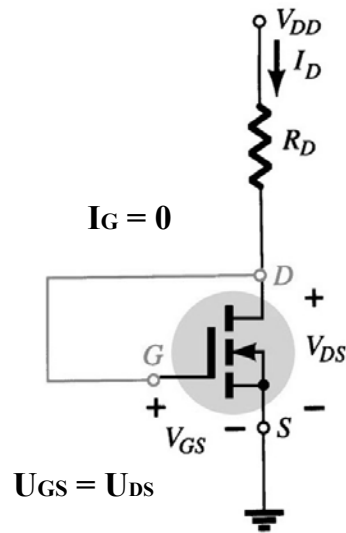
a.3/ Định thiên cực G cố định



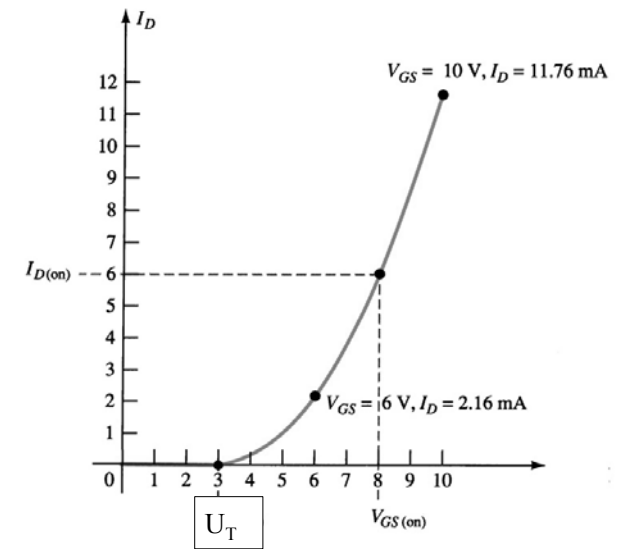
b.1/ Định thiên cho E-MOSFET bằng mạch hồi tiếp



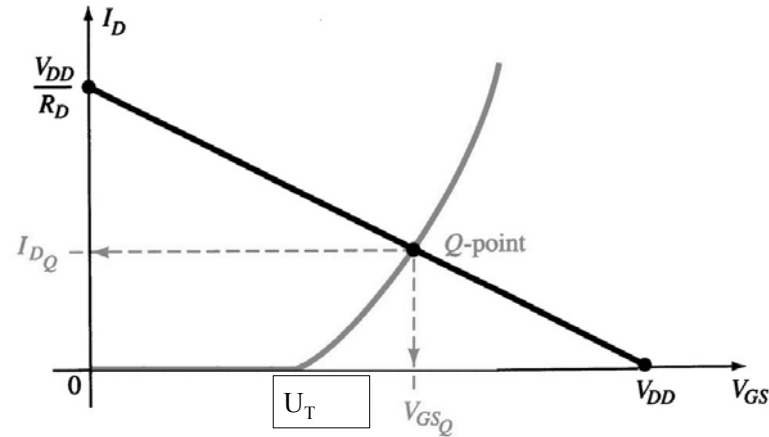
Sơ đồ 1 chiều tương đương



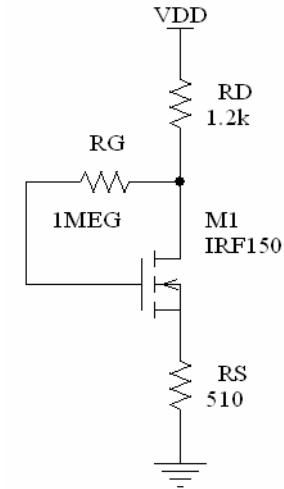
+ Đặc tuyến truyền đạt



+ Xác định điểm làm việc Q



Ví dụ



$$U_T = U_{G_{STH}} = 4V$$

$$U_{G_{Son}} = 7.5V$$

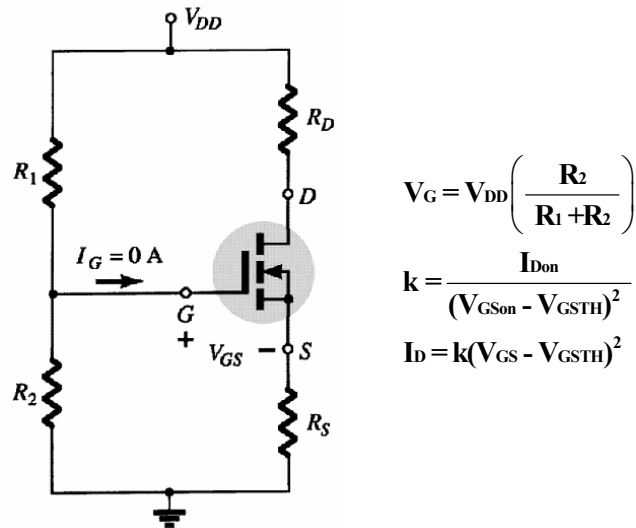
$$I_{Don} = 5mA$$

$$U_{DD} = 22V$$

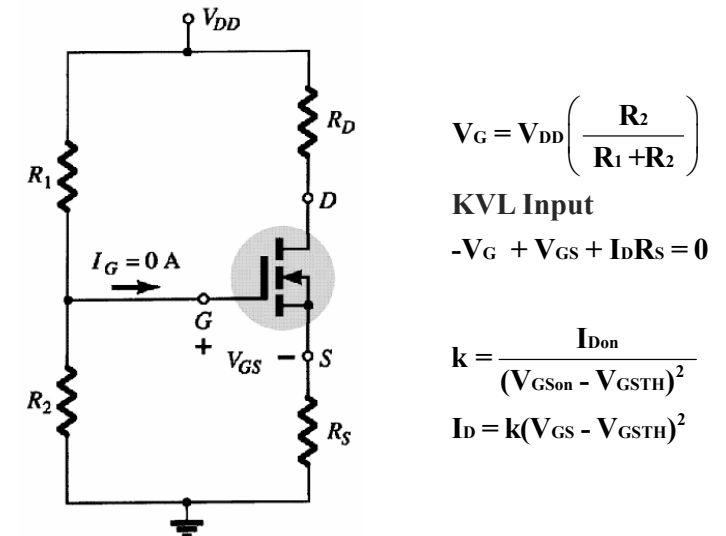
$$k = \frac{I_{Don}}{(V_{G_{Son}} - V_{G_{STH}})^2}$$

$$I_D = k(V_{GS} - V_{G_{STH}})^2$$

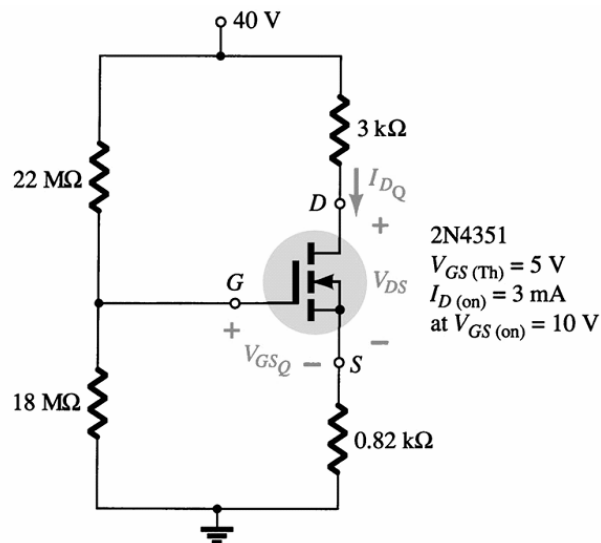
b.2/ Định thiên cho N E-MOSFET dùng mạch phân áp



b.2/ Định thiên cho N E-MOSFET dùng mạch phân áp



b.2/ Định thiên cho N E-MOSFET dùng mạch phân áp

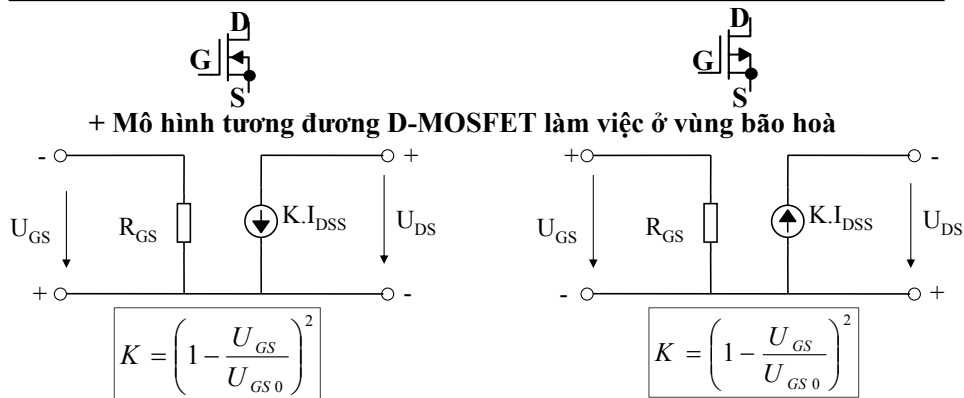


5.3. Mô hình tương đương của MOSFET

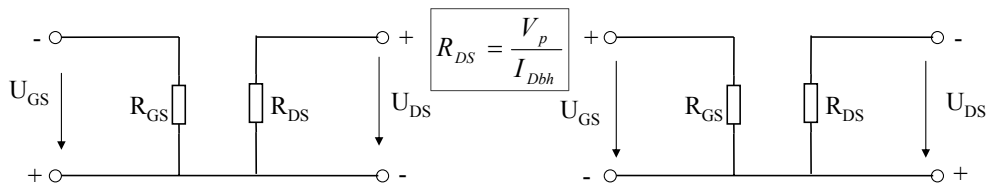
- a/ Mô hình tương đương một chiều và tín hiệu lớn
- b/ Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ

Xét trường hợp cực S và B nối tắt

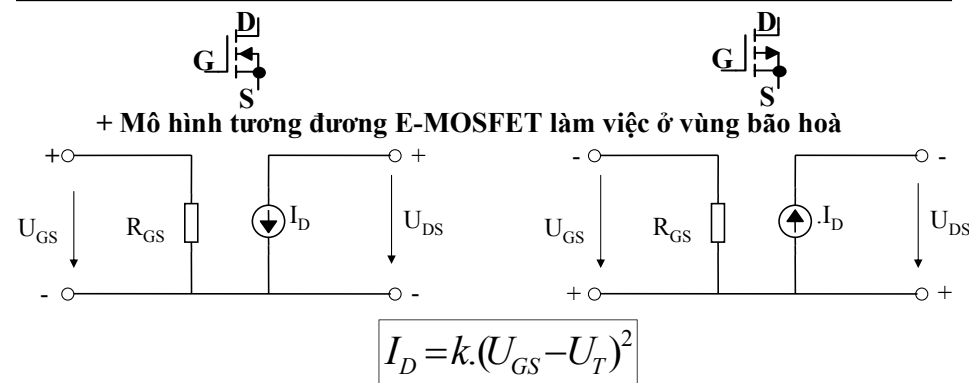
a/ Mô hình tương đương 1 chiều và tín hiệu lớn



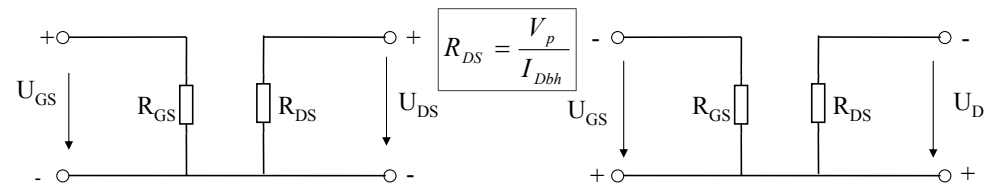
+ Mô hình tương đương D-MOSFET làm việc ở vùng ohmic



a/ Mô hình tương đương 1 chiều và tín hiệu lớn



+ Mô hình tương đương E-MOSFET làm việc ở vùng ohmic



b/ Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ tần thấp

- Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ của MOSFET xác định mối quan hệ giữa tín hiệu xoay chiều biên độ nhỏ trong JFET: i_d, u_{gs} .

- Các phương trình đặc tính tương ứng để xác định các mô hình tương đương của MOSFET:

+ Tổng quát :

$$i_D = f(u_{GS}, u_{DS}) = I_D + i_d = f(U_{GS} + u_{gs}, U_{DS} + u_{ds})$$

+ Giả sử điểm làm việc Q(U_{GS}, U_{DS}, I_D)

$$\Rightarrow i_d = \left. \frac{\partial f}{\partial u_{GS}} \right|_Q u_{gs} + \left. \frac{\partial f}{\partial u_{DS}} \right|_Q u_{ds} = g_m u_{gs} + g_d u_{ds}$$

+ g_m - Độ hỗ dẫn vào, g_d - Độ hỗ dẫn ra

Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ tần thấp của D-MOSFET

+ Ta có $i_D = f(u_{GS}) = I_{DSS} \left(1 - \frac{u_{GS}}{U_{GS0}}\right)^2$

+ Độ hỗ dẫn vào:

$$g_m = \left. \frac{\partial f}{\partial u_{GS}} \right|_Q = \frac{-2I_{DSS}}{U_{GS0}} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}}\right) = \frac{2\sqrt{I_{DS} \cdot I_{DSS}}}{-U_{GS0}}$$

$$g_{m0} = \frac{-2I_{DSS}}{U_{GS0}} \rightarrow g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}}\right)$$

+ Thực tế thì I_{Dbb} cũng sẽ thay đổi theo U_{DS} mặc dù sự thay đổi này là không đáng kể. Phương trình tính dòng I_D được hiệu chỉnh có tính đến ảnh hưởng của điện áp U_{DS} như sau:

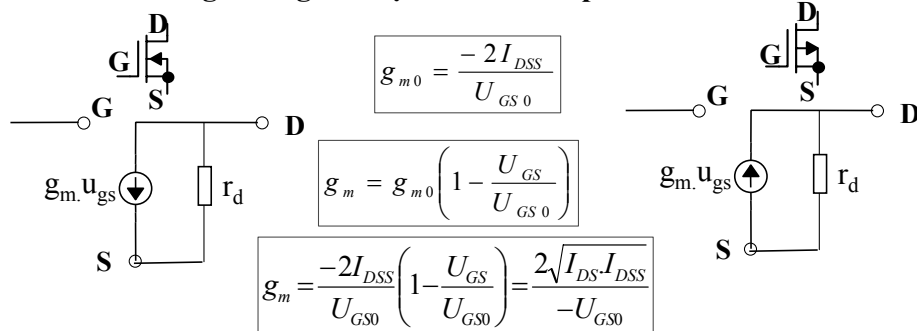
$$i_D = f(u_{GS}, u_{DS}) = I_{DSS} \left(1 - \frac{u_{GS}}{U_{GS0}}\right)^2 \left(1 + \frac{u_{DS}}{V_{An}}\right) \quad \begin{matrix} V_{An} - \text{Điện áp Early} \\ (30 \div 300V) \end{matrix}$$

Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ tần thấp của D-MOSFET

+ Độ hỗ dẫn ra : $g_d = \left. \frac{\partial i_{DS}}{\partial u_{DS}} \right|_Q = I_{DSS} \left(1 - \frac{u_{GS}}{U_{GS0}}\right)^2 \left. \frac{1}{V_{An}} \right|_Q = \frac{I_D}{V_{An}}$

+ Điện trở vi phân đầu ra: $r_i = r_d = \left. \frac{\partial u_{DS}}{\partial i_D} \right|_Q = \frac{1}{g_d} = \frac{V_{An}}{I_D}$

+ Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ tần thấp của D-MOSFET



Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ tần thấp của E-MOSFET

+ Mà ta có $i_D = f(u_{GS}) = k(u_{GS} - U_T)^2$

+ Độ hỗ dẫn vào:

$$g_m = \left. \frac{\partial f}{\partial u_{GS}} \right|_Q = 2k \cdot (u_{GS} - U_T) = \frac{2I_D}{(u_{GS} - U_T)}$$

+ Thực tế thì I_{Dbb} cũng sẽ thay đổi theo U_{DS} mặc dù sự thay đổi này là không đáng kể. Phương trình tính dòng I_D được hiệu chỉnh có tính đến ảnh hưởng của điện áp U_{DS} như sau:

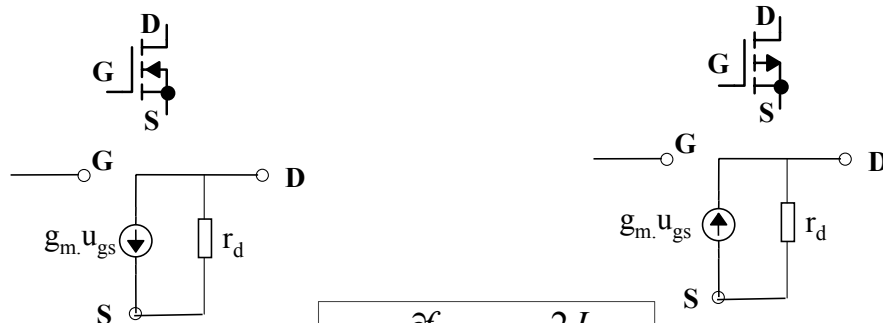
$$i_D = f(u_{GS}) = k(u_{GS} - U_T)^2 (1 + \lambda u_{DS})$$

+ Độ hỗ dẫn ra : $g_d = \left. \frac{\partial i_{DS}}{\partial u_{DS}} \right|_Q = k(u_{GS} - U_T)^2 \cdot \lambda = I_D \cdot \lambda$

+ Điện trở vi phân đầu ra: $r_i = r_d = \left. \frac{\partial u_{DS}}{\partial i_D} \right|_Q = \frac{1}{g_d} = \frac{1}{\lambda \cdot I_D}$ λ : Hệ số điều chế chiều dài kênh

Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ tần thấp của E-MOSFET

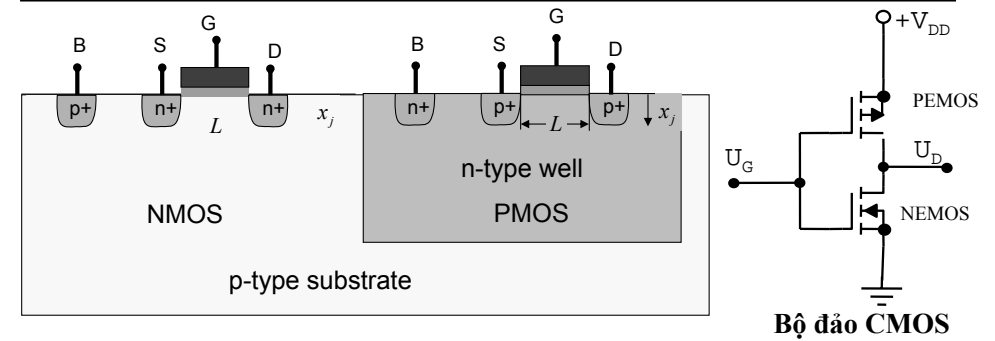
+ Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ tần thấp của E-MOSFET



$$g_m = \left. \frac{\partial I_D}{\partial u_{GS}} \right|_Q = \frac{2I_D}{(U_{GS} - U_T)}$$

$$r_d = \frac{1}{g_d} = \frac{1}{\lambda I_D}$$

5. Cấu trúc CMOS



Bộ đảo CMOS

- Công nghệ CMOS- Complementary MOS: Hai MOSFET bù nhau NMOS (MOSFET kênh N) và PMOS (MOSFET kênh P) được chế tạo đồng thời trên một đế bán dẫn duy nhất.
- Giữa PMOS và NMOS được cách ly với nhau bởi chuyển tiếp PN phân cực ngược.
- Công nghệ CMOS hiện là công nghệ phổ biến trong các vi mạch số.

CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ ELECTRONIC DEVICES

Lecture 8 – Thyristor

KHOA KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ 1
HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG - PTIT

7/2008

Chuong8-Thyristor

1

Nội dung

1. GIỚI THIỆU
2. CHỈNH LƯU SILIC CÓ ĐIỀU KHIỂN (SCR).
3. TRIAC (Triode Alternative Current).
4. DIAC
5. TRANZITO ĐƠN NÓI (UJT - UNITJUNCTION TRANSISTOR)

Chuong8-Thyristor

2

Giới thiệu chung về Thyristor

Chương 8 giới thiệu về các cấu kiện có 4 lớp bán dẫn. Đây là các cấu kiện thuộc họ thyristo. Thyristo là cấu kiện bán dẫn khóa mở mạch mà tác động ở 2 trạng thái bền (khóa và mở) của nó tùy thuộc vào tính hồi tiếp dương của 4 lớp bán dẫn P-N-P-N.

Thyristo có thể là cấu kiện 2 chân cực, 3 chân cực hoặc 4 chân cực, có thể dẫn điện một chiều hoặc cả hai chiều. Trong họ thyristo quan trọng nhất là đèn chỉnh lưu Silic có điều khiển (SCR), Triac, Diac, v.v...

Chương 8 - giới thiệu về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của tranzito đơn nối (UJT). Đây là cấu kiện có 3 chân cực nhưng chỉ có 1 lớp tiếp xúc P-N và do vậy nó cũng có các đặc tính và tham số rất khác với các tranzito thông thường.

Chuong8-Thyristor

3

100/116

CHỈNH LƯU SILIC CÓ ĐIỀU KHIỂN (SCR) (1)

6.1.1. Cấu tạo:

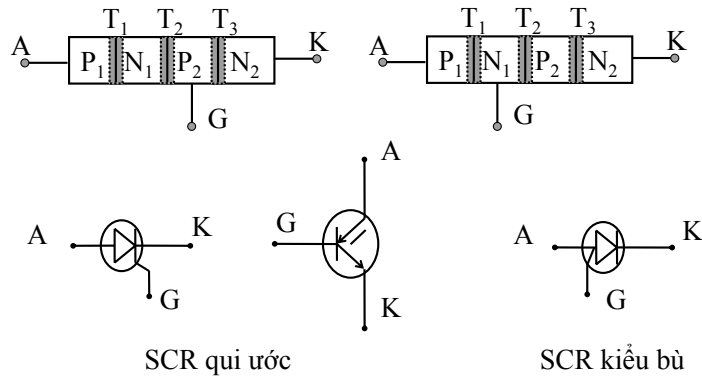
- Chỉnh lưu silic có điều khiển (SCR), gồm có 4 lớp bán dẫn P và N sắp xếp theo kiểu P-N-P-N. Ba chân cực được ký hiệu bằng các chữ A - anốt, K - catốt, và G - cực điều khiển. Cực anốt nối với phần bán dẫn P1 trước, còn catốt nối với phần bán dẫn N2 sau; cực điều khiển G thường được nối với phần bán dẫn P2.
- Đèn chỉnh lưu silic có điều khiển chỉ dẫn điện một chiều.
- Có hai loại SCR là:
 - + SCR điều khiển theo catốt hay còn gọi là SCR theo qui ước (đơn giản gọi là SCR). Loại này cực điều khiển G được nối với phần bán dẫn P2 sau.
 - + SCR điều khiển theo anốt hay còn gọi là SCR kiểu bù. Loại này cực điều khiển G được nối với phần bán dẫn N1 trước.
- Thông thường người ta sử dụng loại SCR qui ước. Các SCR kiểu bù công suất thấp ít được dùng vì công suất tiêu thụ của nó cao hơn loại SCR qui ước. Sau đây, chúng ta nghiên cứu về nguyên lý làm việc của SCR qui ước, gọi tắt là SCR.

Chuong8-Thyristor

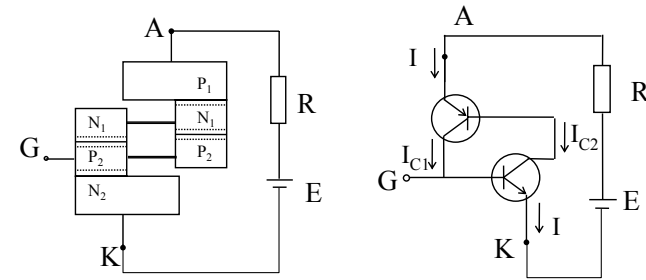
4

SCR (2)

Mô hình cấu tạo và ký hiệu của SCR trong sơ đồ mạch



SCR (3)



Hình 6- 2: Sơ đồ mạch tương đương của SCR

Nguyên lý làm việc:

Sơ đồ mạch tương đương của SCR:

Theo cấu tạo, SCR có 3 tiếp xúc P- N được ký hiệu T1, T2, và T3

SCR (4)

- Khi cực điều khiển G để hở ($I_G = 0$):

Đặt điện áp nguồn cung cấp U_{AK} vào giữa anốt và catốt để phân cực cho SCR và lúc này nó được coi như 1 điốt:

+ Khi phân cực ngược ($U_{AK} < 0$) thì T₁ và T₃ phân cực ngược, T₂ phân cực thuận nên qua SCR chỉ có dòng điện ngược rất nhỏ.

+ Nếu tăng $|U_{AK}|$ lên cao đến điện áp đánh thủng T₁ và T₃ thì đây là hiện tượng đánh thủng kiểu thác lũ hay đánh thủng zener với điện áp đánh thủng $U_{d.t.} = U_{d.t.T1} + U_{d.t.T3}$. Nếu xảy ra hiện tượng này thì coi như SCR hỏng.

+ Khi phân cực thuận ($U_{AK} > 0$) thì T₁ và T₃ phân cực thuận, T₂ phân cực ngược và qua SCR cũng chỉ có dòng điện ngược rất nhỏ (hay SCR ở chế độ trở kháng cao).

+ Nếu tăng dần $U_{AK} > 0$ lên đến điện áp đánh thủng T₂ thì dòng điện qua SCR tăng vọt. Lúc này cả 3 tiếp xúc P-N đều coi như được phân cực thuận, điện trở của chúng rất nhỏ làm cho sụt áp trên SCR giảm hẳn xuống còn khoảng từ 1 ÷ 2 V.

SCR (5)

+ Trị số điện áp mà tại đó xảy ra đánh thủng tiếp xúc T₂ được gọi là điện áp đỉnh khuỷu U_{BO} . Trị số U_{BO} này thường vào khoảng từ 200 ÷ 400V. Vùng điện áp này ta gọi là vùng chặn thuận.

+ Như vậy, khi SCR đã dẫn điện thì dòng điện qua nó không thể khống chế được trong SCR mà nó được hạn chế nhờ điện trở mắc ở mạch ngoài.

$$I_{C1} = I_{B2} \text{ và } I_{C2} = I_{B1} \quad (6.1)$$

Trong đó:

$$I_{C1} = \alpha_1 I + I_{CB01}$$

$$I_{C2} = \alpha_2 I + I_{CB02}$$

α_1, α_2 là hệ số khuếch đại thác lũ alpha (hay số nhân thác lũ).

SCR (6)

Dòng điện tổng qua SCR là:

$$I = I_{C1} + I_{C2} = I(\alpha_1 + \alpha_2) + I_{CB01} + I_{CB02} \quad (6.2)$$

2)

Thay:

$$I_{CB01} + I_{CB02} = I_{CB0}$$

I_{CB0} là dòng điện ngược bão hòa của tiếp xúc P-N.

Vậy ta có:

$$I = \frac{I_{CB0}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)} \quad (6.3)$$

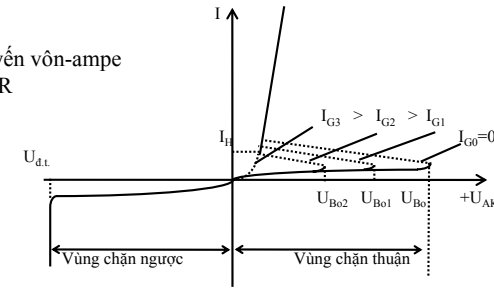
Như vậy, khi $(\alpha_1 + \alpha_2) = 1$ thì dòng điện tăng vọt và không giới hạn được, nó tương ứng với tiếp xúc T_2 được phân cực thuận. Lúc này, SCR dẫn điện và có nghĩa là cả hai tranzito Q_1 và Q_2 đều dẫn bão hòa. Lúc này, SCR ở chế độ "ON": đóng mạch, hệ số khuếch đại của hai tranzito trở nên nhỏ và đạt được điều kiện $(\alpha_1 + \alpha_2) = 1$.

SCR (7)

Khi ta đưa dòng điện điều khiển vào cực điều khiển G ($I_G \neq 0$):

Khi cho một dòng điện vào cực điều khiển G, nó có thể làm tăng hệ số α mà không phụ thuộc vào điện áp và dòng điện. Như vậy, dòng I_G có tác dụng gia tăng hạt dẫn thiểu số cho lớp bán dẫn P_2 để cho T_2 thông sớm hơn. Tùy theo trị số của dòng I_G mà điện áp đánh thủng T_2 và trị số dòng điện duy trì I_H thay đổi. Khi I_G có giá trị càng lớn thì U_{Bo} càng nhỏ và I_H càng nhỏ. Quan hệ này được thể hiện qua đặc tuyến Vôn-Ampe của SCR biểu diễn trong hình 6-3.

Hình 6-3 : Đặc tuyến vôn-ampe của SCR



SCR (8)

- Trong trường hợp này dòng điện qua SCR có biểu thức tính là:

$$I = \frac{\alpha_2 I_G + I_{CB0}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)} \quad (6.4)$$

- Điện áp, mà tại đó SCR chuyển từ chế độ ngắt sang chế độ dẫn được điều khiển bằng tín hiệu rất nhỏ trên cực điều khiển. Ở các SCR công suất lớn, để kích thích cho SCR hoạt động ta dùng dòng điện I_G có hiệu ứng nhỏ. Còn ở các SCR công suất thấp, dòng I_G được sử dụng để bật và tắt SCR.

- Khi SCR đã dẫn thì dù ta cắt dòng điện điều khiển I_G , nó vẫn tiếp tục dẫn điện. Khi SCR dẫn điện ta gọi là nó đã được khởi động. SCR chỉ ngừng dẫn khi dòng điện bị giảm xuống dưới mức I_H hoặc điện áp đặt lên SCR ở nửa chu kỳ âm.

- Khi SCR ngừng dẫn, muốn nó hoạt động trở lại ta phải kích khởi động cho nó.

- Như vậy ta thấy, trên thực tế, khi đặt điện áp U_{AK} nào đó lên SCR thì chỉ có dòng điện ngược chạy qua SCR, còn dòng điều khiển I_G sẽ tạo ra một thành phần dòng điện kích thích sao cho tổng các hệ số khuếch đại kiểu thác lũ của dòng điện $(\alpha_1 + \alpha_2) \rightarrow 1$ thì SCR sẽ khởi động.

- Khi U_{AK} thuận tăng lên thì dòng điều khiển cần thiết để khởi động SCR sẽ giảm xuống.

SCR (9)

Đặc điểm của SCR:

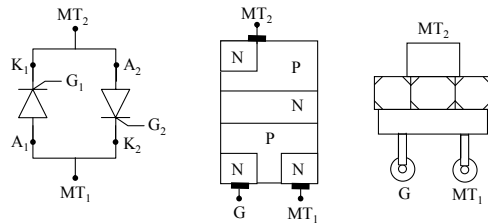
- Thời gian mở và tắt (hay thời gian phục hồi t_p) rất nhanh (vài μs đến vài chục μs).
- Cường độ dòng điện cao (hàng nghìn ampe).
- Điện áp cao (hàng nghìn Vôn).
- Sụt áp giữa 2 cực nhỏ (từ 1 ÷ 2V).
- Khả năng điều khiển lớn

TRIAC (Triode Alternative Current) (1)

Là một cấu kiện thuộc họ Thyristo. Triac có 3 chân cực và có khả năng dẫn điện hai chiều khi có tín hiệu kích khởi động (dương hoặc âm).

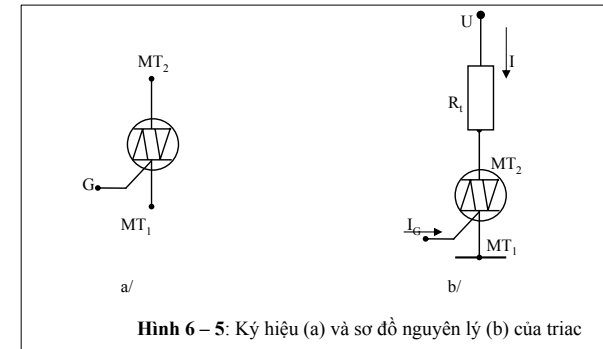
Cấu tạo của triac:

Do tính dẫn điện hai chiều nên hai đầu ra chính của triac dùng để nối với nguồn điện được gọi là đầu ra MT1 và MT2. Giữa hai đầu ra MT1 và MT2 có năm lớp bán dẫn bố trí theo thứ tự P-N-P-N-P như SCR theo cả 2 chiều. Đầu ra thứ ba gọi là cực điều khiển G. Như vậy triac được coi như hai SCR đấu song song ngược chiều với nhau, xem hình 6-4.



Hình 6-4: Cấu tạo của triac

TRIAC (2)

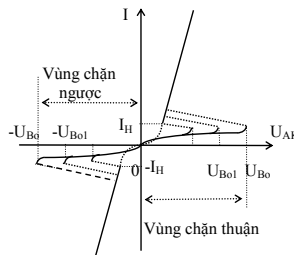


Hình 6-5: Ký hiệu (a) và sơ đồ nguyên lý (b) của triac

Theo quy ước, tất cả các điện áp và dòng điện đều quy ước theo đầu ra chính MT1.

Như vậy, điện áp nguồn cung cấp cho MT2 phải dương (hoặc âm) hơn so với MT1. Còn tín hiệu điều khiển được đưa vào giữa hai chân cực G và chân cực MT1.

TRIAC (3)



Hình 6-6: Đặc tuyến Vôn- Ampe của triac

- Đặc tuyến V-A của triac thể hiện khả năng dẫn điện hai chiều của triac.

- Phương pháp kích công của triac cũng giống như SCR chỉ khác là có thể dùng cả dòng dương hay dòng âm cho cả phần tư thứ I và phần tư thứ III của đặc tuyến Vôn- Ampe của triac.

TRIAC (4)

- Có hai phương pháp kích khởi động cho triac hoạt động nhạy nhất là:
 - + Cực công G dương và cực MT2 dương so với MT1
 - + Cực công G âm và cực MT2 âm so với MT1

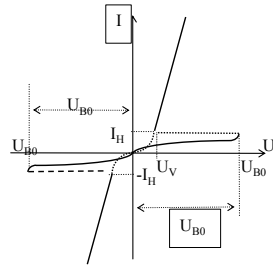
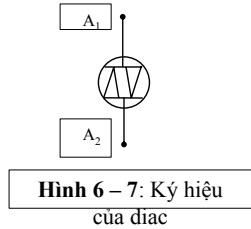
- Trong mạch điện, một triac cho qua 2 nửa chu kỳ của một điện áp xoay chiều và điều khiển bằng một cực điều khiển G.

- Khác với SCR, Triac tắt trong một khoảng thời gian rất ngắn lúc dòng điện tải đi qua điểm O. Nếu mạch điều khiển của triac có gánh là điện trở thuần thì việc ngắt mạch không có gì khó khăn. Nhưng nếu tải là một cuộn cảm thì vấn đề làm tắt triac trở nên khó khăn vì dòng lệch pha trễ. Thông thường để tắt Thyristo người ta sử dụng cái ngắt điện hoặc mạch đảo lưu dòng điện trong mạch.

DIAC (1)

Cấu tạo và ký hiệu của diac

Diac là cấu kiện 4 lớp bán dẫn có 2 chân cực A1 và A2. Cấu trúc của Diac giống như triac nhưng không có cực điều khiển G nên Diac cũng dẫn điện hai chiều.. Hình 6-7 giới thiệu ký hiệu của Diac trong các sơ đồ mạch.



DIAC (2)

Nguyên lý hoạt động của Diac

• Do không có cực điều khiển nên việc kích mở cho Diac thực hiện bằng cách nâng cao điện áp đặt vào hai cực. Khi điện áp nguồn đạt đến giá trị U_{B0} thì Diac dẫn điện và điện áp trên nó sụt xuống chỉ còn 1 đến 2 vôn (U_V).

- Trong ứng dụng, Diac thường dùng làm phần tử mở cho Triac dẫn.
- Khi Diac dẫn điện, độ sụt áp trên nó là:

$$\Delta U = U_{B0} - U_V$$

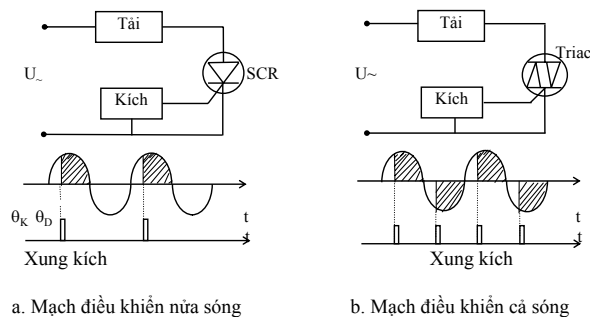
được đưa vào cực điều khiển của Triac như là xung kích để làm cho Triac dẫn điện.

- Thông thường, trên thực tế ứng dụng, Diac và Triac được tổ hợp thành một linh kiện duy nhất.

Ứng dụng của Thyristo.

Thyristo được dùng như một chuyển mạch điện tử. Nó thường được dùng để điều khiển nguồn điện, điều khiển công suất cho lò nung, điều khiển tốc độ ô tô, điều khiển đèn tắt - sáng, điều khiển mô tơ điện một chiều v.v... Sau đây chúng ta xem xét một thí dụ về mạch kiểm soát pha (hay còn gọi là mạch điều khiển nguồn):

Đây là quá trình tắt mở dùng để nối nguồn điện xoay chiều cho tải trong một phần của mỗi chu kỳ xem hình 6-8: a/ mạch điều khiển nửa chu kỳ dùng SCR và b/ mạch điều khiển cả chu kỳ dùng Triac.

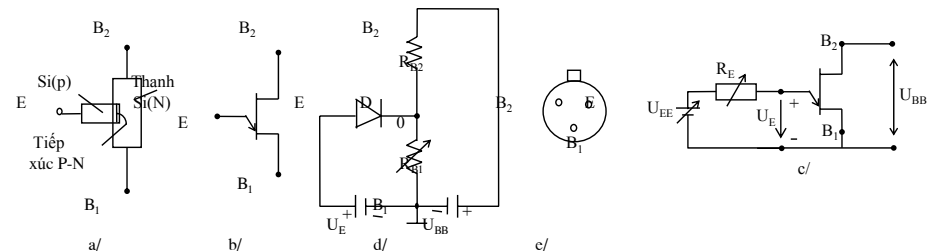


TRANZITO ĐƠN NÓI (UJT - UNITJUNCTION TRANSISTOR) (1)

Cấu tạo của tranzito đơn nói.

UJT là linh kiện bán dẫn có một tiếp xúc P-N và 3 chân cực. Nó gồm một thanh bán dẫn Silic loại N có gắn thêm 1 miếng bán dẫn Silic loại P để tạo thành một tiếp xúc P-N.

Chân cực nối với mẫu bán dẫn P gọi là cực phát E. Hai đầu còn lại của thanh Silic loại N được đưa ra 2 chân cực gọi là Nền 1 (ký hiệu B1) và Nền 2 (ký hiệu B2).



Hình 6- 10: a) Cấu tạo; b) ký hiệu; c) Sơ đồ nguyên lý; d) sơ đồ tương đương của UJT ; e) bố trí chân cực của UJT

TRANZITO ĐƠN NÓI (2)

Nguyên lý làm việc của UJT.

Trong sơ đồ tương đương, điôt được thay thế cho tiếp xúc P-N; R_{B1} là điện trở của phần bán dẫn nền 1; R_{B2} là điện trở của phần bán dẫn nền 2.

Để cho tranzito đơn nói hoạt động ta phân cực cho nó như hình 6- 9c. Cung cấp điện áp dương cho B_2 so với B_1 ($U_{BB} > 0$). Như vậy, nếu hở mạch cực phát thì R_{B1} và R_{B2} là bộ phân áp cho nguồn U_{BB} . Do đó, điện áp tại điểm O sẽ là:

$$U_0 = \frac{U_{BB} R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} = \eta U_{BB} \quad \eta = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} \quad \eta \text{ gọi là hệ số thuận khiết}$$

-Nếu $U_E < \eta U_{BB}$ ($U_E < U_0$) thì tiếp xúc P-N (điôt D) được phân cực ngược và qua nó chỉ có dòng điện ngược I_{EO} rất nhỏ. Ta có vùng ngắt của đặc tuyến vôn- ampe của UJT.

-Khi $U_E > \eta U_{BB}$, tiếp xúc P-N được phân cực thuận, dòng I_E tăng dần. Khi $U_E > U_p$ (U_p gọi là điện áp kích khởi cho UJT hoạt động hay gọi là điện áp đỉnh) thì dòng I_E tăng nhanh. Dưới tác dụng của điện trường, các lỗ trống chuyển động từ cực phát E xuống Nền 1 (B_1), còn các điện tử chuyển động từ Nền 1 đến phần phát tạo nên dòng điện I_E . Do sự gia tăng ồ ạt của các hạt dẫn trong Nền 1 nên điện trở R_{B1} giảm trong khi dòng điện I_E tăng và điện áp U_E giảm nên ta có vùng điện trở âm của đặc tuyến vôn- ampe.

TRANSISTOR ĐƠN NÓI (3)

Đặc tuyến Vôn- Ampe biểu thị quan hệ giữa dòng điện cực phát I_E với điện áp trên cực phát U_E . Mối quan hệ này được biểu diễn bằng hàm $I_E = f(U_E)$

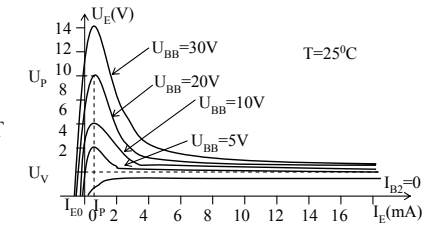
Nếu cực nền 2 (B_2) hở mạch, nghĩa là dòng $I_{B2}=0$ thì quan hệ V-A lối vào là đặc tuyến V-A của tiếp xúc P-N:

$$I_E = I_{E0} \left(e^{\frac{U_E}{V_T}} - 1 \right) \quad \text{và ta có đường đặc tuyến ứng với } I_{B2}=0 \text{ trong hình}$$

Qua hình 6-10 ta thấy, khi thay đổi điện áp đặt lên giữa nền 1 và nền 2 (U_{BB}) thì điện áp đỉnh (U_p) cũng thay đổi theo và đưa đặc tuyến dịch lên trên.

Tại vùng điện trở âm, dòng điện chỉ bị giới hạn bởi các linh kiện mắc ở mạch ngoài, do đó mạch ngoài phải bảo đảm để dòng điện $I_E < I_{E_{max}}$

Khi I_E tăng đến I_V , muốn tăng thêm dòng I_E lên nữa ta buộc phải tăng U_E vì số lượng lỗ trống và điện tử đã đạt đến tình trạng di chuyển bão hòa, đặc tuyến chuyển sang vùng điện trở dương.



Hình 6-11: Đặc tuyến Vôn – Ampe của UJT

CHƯƠNG 8

CẤU KIỆN QUANG ĐIỆN TỬ

Chuong8

1

Giới thiệu chung (1)

1. Khái niệm chung về kỹ thuật quang điện tử.

a. Định nghĩa về kỹ thuật quang điện tử:

Quang điện tử là những hiệu ứng tương hỗ giữa bức xạ ánh sáng và mạch điện tử. Bức xạ ánh sáng là một dạng của bức xạ điện từ có dải tần số dao động rất Cao(λ : khoảng 50nm đến khoảng 100 μ m).

Các bức xạ quang được chia ra thành ba vùng là:

- Vùng cực tím có $\lambda = 50\text{nm} \div 380\text{nm}$.
- Vùng ánh sáng nhìn thấy có $\lambda = 380\text{nm} \div 780\text{nm}$.
- Vùng hồng ngoại có $\lambda = 780\text{nm} \div 100\mu\text{m}$.

b. Phân loại linh kiện quang điện tử:

- Linh kiện quang điện tử gồm có linh kiện bán dẫn quang điện tử và linh kiện không bán dẫn quang điện tử.
- *Linh kiện bán dẫn quang điện tử*: là những linh kiện được chế tạo từ vật liệu bán dẫn như điện trở quang, điốt quang, tranzito quang, LED, LASER bán dẫn, v.v..
- *Linh kiện không phải bán dẫn quang điện tử*: như sợi quang dẫn, mặt chỉ thị tinh thể lỏng LCD, ống nhân quang v.v..

Chuong8

3

106/116

Nội dung

1. GIỚI THIỆU
2. CÁC CẤU KIỆN BIẾN ĐỔI ĐIỆN – QUANG
 - 2.1 Điốt phát quang (LED)
 - 2.2 Laser bán dẫn
 - 2.3 Mặt chỉ thị tinh thể lỏng (LCD)
3. CÁC CẤU KIỆN CHUYỂN ĐỔI QUANG – ĐIỆN
 - 3.1 Điện trở quang
 - 3.2 Điốt quang
 - 3.3 Transistor quang lưỡng cực
4. CÁC BỘ GHÉP QUANG (OPTO- COUPLERS)

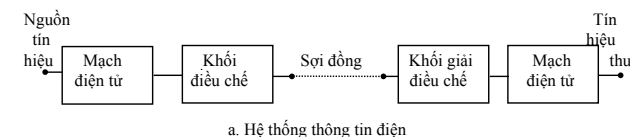
Chuong8

2

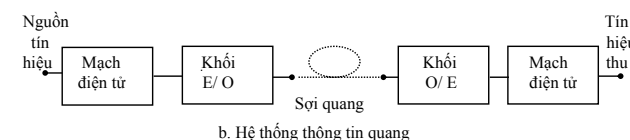
Giới thiệu chung (2)

2. Hệ thống truyền dẫn quang

Sơ đồ khối của các hệ thống thông tin:



a. Hệ thống thông tin điện



b. Hệ thống thông tin quang

Hình 8-1: a. Hệ thống thông tin điện .
b. Hệ thống thông tin quang.

Chuong8

4

Giới thiệu chung (3)

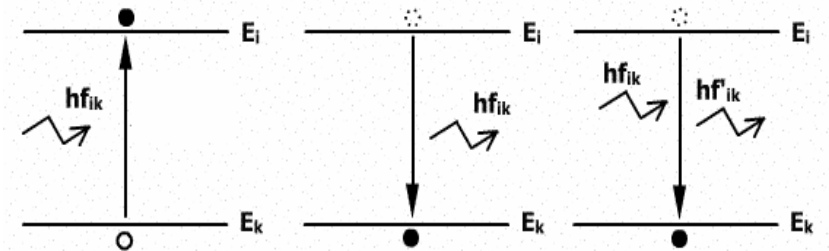
Ưu điểm của hệ thống truyền dẫn quang:

- Sợi quang nhỏ, nhẹ hơn dây kim loại, dễ uốn cong, tổn thất vật liệu.
- Sợi quang chế tạo từ thủy tinh thạch anh không bị ảnh hưởng của nước, axit, kiềm nên không bị ăn mòn. Đồng thời, sợi là chất điện môi nên cách điện hoàn toàn, tín hiệu truyền trong sợi quang không bị ảnh hưởng của nhiễu bên ngoài tới và cũng không gây nhiễu ra môi trường xung quanh.
- Đảm bảo bí mật thông tin, không sợ bị nghe trộm.
- Khả năng truyền được rất nhiều kênh trong một sợi quang có đường kính rất nhỏ. Tiêu hao nhỏ và không phụ thuộc tần số nên cho phép truyền dẫn băng rộng và tốc độ truyền lớn hơn nhiều so với sợi kim loại.
- Giá thành rất rẻ.

CÁC CẤU KIỆN BIẾN ĐỔI ĐIỆN – QUANG (Cấu kiện phát quang)

Sự tương tác giữa ánh sáng và vật chất

Sự tương tác giữa ánh sáng và vật chất gồm có 3 quá trình: quá trình hấp thụ, quá trình phát xạ tự phát và quá trình phát xạ kích thích (Xem hình 8 2a,b,c).



a. Quá trình hấp thụ b. Quá trình phát xạ tự phát c. Quá trình phát xạ kích thích

$$hf = E_i - E_k$$

E_i : Mức năng lượng kích thích

Hình 8- 2 : Ba quá trình chủ yếu của sự tương tác giữa ánh sáng và vật chất

Sự tương tác giữa ánh sáng và vật chất

- Quá trình hấp thụ:

Quá trình hấp thụ (hình 8-2a) là quá trình mà tại đó khi có một photon tương tác với vật chất thì một điện tử ở mức năng lượng cơ bản E_k sẽ nhận thêm năng lượng của photon (quang năng) và nhảy lên mức năng lượng kích thích E_i .

- Quá trình phát xạ tự phát:

Bức xạ tự phát (hình 8-2b) là quá trình mà các điện tử nhảy lên mức năng lượng kích thích E_i , nhưng chúng nhanh chóng trở về mức năng lượng cơ bản E_k và phát ra photon có năng lượng hf . Mỗi một phát xạ tự phát ta thu được một photon.

Hiện tượng này xảy ra không có sự kích thích bên ngoài nào và được gọi là quá trình phát xạ tự phát. Phát xạ này đẳng hướng và có pha ngẫu nhiên.

- Quá trình phát xạ kích thích:

Nếu có một photon có năng lượng hf tới tương tác với vật chất mà trong lúc đó có một điện tử đang còn ở trạng thái kích thích E_i , thì điện tử này được kích thích và ngay lập tức nó di chuyển trở về mức năng lượng cơ bản E_k và phát xạ ra một photon khác có năng lượng cũng đúng bằng hf . Photon mới phát xạ ra này có cùng pha với photon đi đến và được gọi là phát xạ kích thích (hay phát xạ cảm ứng). Xem hình 8-2c.

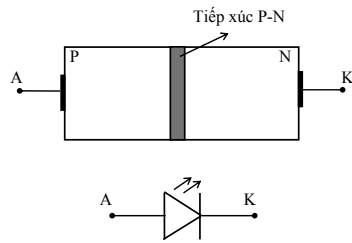
Điốt phát quang (LED) chỉ thị (1)

- Điốt phát quang là linh kiện bán dẫn quang điện tử. Nó có khả năng phát ra ánh sáng khi có hiện tượng tái hợp xảy ra trong tiếp xúc P-N.
- Tùy theo vật liệu chế tạo mà ta có ánh sáng bức xạ ra ở các vùng bước sóng khác nhau.

Trong mục này ta sẽ trình bày trước hết về LED bức xạ ra ánh sáng nhìn thấy gọi là LED chỉ thị. LED chỉ thị có ưu điểm là tần số hoạt động cao, kích thước nhỏ, công suất tiêu hao nhỏ, không sụt áp khi bắt đầu làm việc. LED không cần kính lọc mà vẫn cho ra màu sắc. LED chỉ thị rất rõ khi trời tối. Tuổi thọ của LED khoảng 100 ngàn giờ.

LED chỉ thị (2)

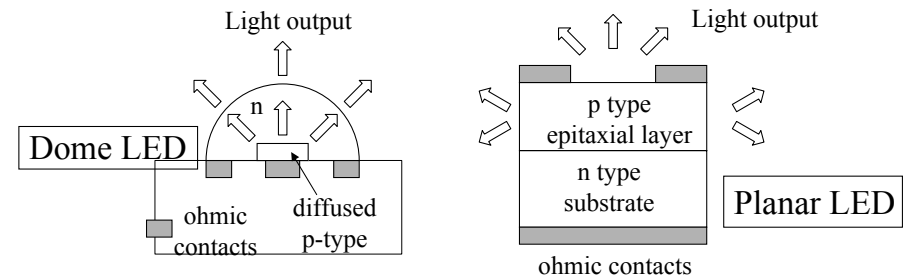
a. Cấu tạo và ký hiệu của LED:



Hình 8-3 : Mô hình cấu tạo và ký hiệu của LED.

Vật liệu chế tạo diốt phát quang đều là các liên kết của các nguyên tố thuộc nhóm 3 và nhóm 5 của bảng tuần hoàn Mendêlêep như GaAs, hoặc liên kết 3 nguyên tố như GaAsP v.v.. Đây là các vật liệu tái hợp trực tiếp, có nghĩa là sự tái hợp xảy ra giữa các điện tử ở sát đáy dải dẫn và các lỗ trống ở sát đỉnh dải hóa trị.

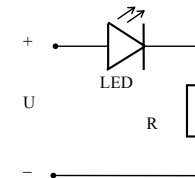
Các cấu trúc của LED:



- LED vòm và LED phẳng được sử dụng trong phần lớn các thiết bị hiển thị với lợi ích là rút được lượng ánh sáng cực đại từ thiết bị đó => ánh sáng được phát ra theo tất cả các hướng và sử dụng các ống kính được sắp xếp theo trật tự nhất định để hội tụ ánh sáng.
- Burrus LED và LED phát xạ cạnh chủ yếu được dùng trong các hệ thống thông tin sợi quang

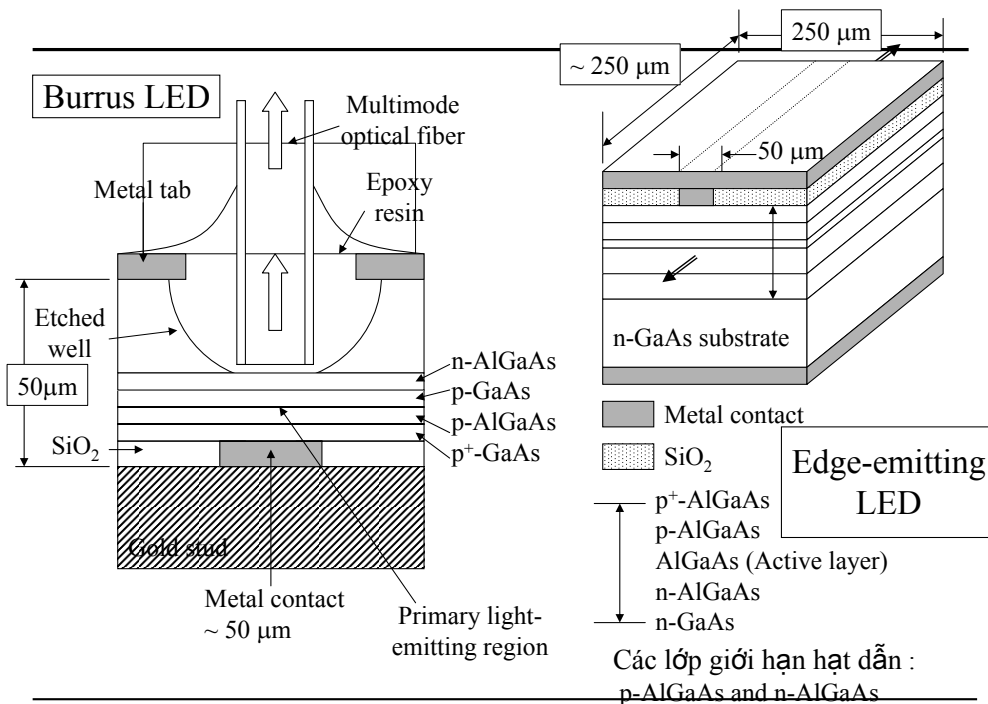
LED chỉ thị (3)

b. Nguyên lý làm việc:



Hình 8-4 : Sơ đồ nguyên lý của LED.

- Khi LED phân cực thuận, các hạt dẫn đa số khuếch tán ồ ạt qua tiếp xúc P-N, chúng gặp nhau sẽ tái hợp và các photon được phát sinh.
- Tốc độ tái hợp trong quá trình bức xạ tự phát này tỉ lệ với nồng độ điện tử trong phần bán dẫn P và nồng độ lỗ trống trong phần bán dẫn N. Đây là các hạt dẫn thiểu số trong chất bán dẫn. Như vậy, để tăng số photon bức xạ ra cần phải gia tăng nồng độ hạt dẫn thiểu số trong các phần bán dẫn.
- Cường độ dòng điện của diốt tỉ lệ với nồng độ hạt dẫn được "chích" vào các phần bán dẫn, do đó cường độ phát quang của LED tỉ lệ với cường độ dòng điện qua diốt

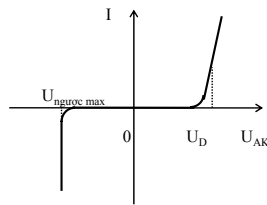


LED chỉ thị (4)

- Điện áp phân cực cho LED gần bằng độ rộng vùng cấm của vật liệu, do đó, các LED bức xạ ở các bước sóng khác nhau sẽ được chế tạo từ các vật liệu bán dẫn có độ rộng vùng cấm khác nhau và điện áp phân cực cho chúng cũng khác nhau.
- Tuy nhiên LED có điện áp phân cực thuận tương đối cao (1,6 v ÷ 3 v) và có điện áp ngược cho phép tương đối thấp (3 v ÷ 5 v)

Đặc tuyến Vôn - Ampe của LED:

Đặc tuyến Vôn - Ampe của điốt phát quang biểu diễn mối quan hệ giữa dòng điện quang với điện áp đặt lên LED.



Hình 8- 5: Đặc tuyến Vôn - Ampe của LED

LED chỉ thị (5)

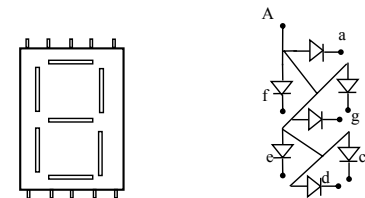
Một số loại LED chỉ thị:

LED đơn: linh kiện một LED.

LED đôi: dùng cho những ứng dụng đặc biệt



Hình 8- 6 : LED đôi.



Hình 8- 7: Cấu trúc của một LED 7 đoạn sáng đầu kiểu Anốt chung

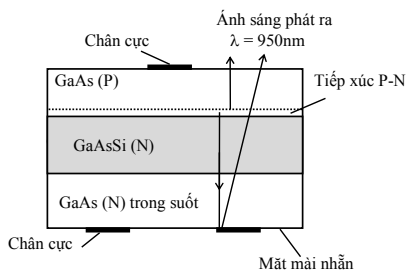
LED hồng ngoại (1)

Các hệ thống thông tin quang yêu cầu tốc độ bit xấp xỉ 100 đến 200Mbit/s cùng sợi quang đa mode với công suất quang khoảng vài chục μ W thì các điốt phát quang bán dẫn thường là các nguồn sáng tốt nhất.

Cấu tạo:

Cấu tạo của LED hồng ngoại cơ bản là giống các LED chỉ thị. Để bức xạ ánh sáng hồng ngoại, LED hồng ngoại được chế tạo từ vật liệu Galium Asenit (GaAs) với độ rộng vùng cấm $E_G = 1,43$ eV tương ứng với bức xạ bước sóng khoảng 900nm.

Hình 8- 8 mô tả cấu trúc của một LED hồng ngoại bức xạ ánh sáng 950nm.



Hình 8- 8 : Cấu trúc của LED hồng ngoại bức xạ bước sóng 950nm

LED hồng ngoại (2)

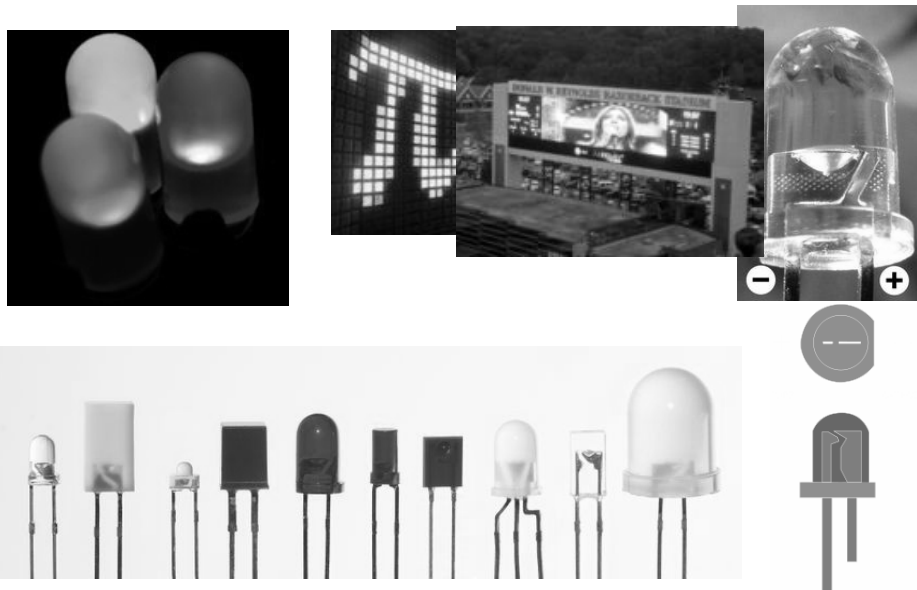
Nguyên lý làm việc:

Khi phân cực thuận cho điốt, các hạt dẫn đa số sẽ khuếch tán qua tiếp xúc P-N, chúng tái hợp với nhau và phát ra bức xạ hồng ngoại. Các tia hồng ngoại bức xạ ra theo nhiều hướng khác nhau. Những tia hồng ngoại có hướng đi vào trong các lớp chất bán dẫn, gặp gương phản chiếu sẽ được phản xạ trở lại để đi ra ngoài theo cùng hướng với các tia khác. Điều này làm tăng hiệu suất của LED.

Ánh sáng hồng ngoại có đặc tính quang học giống như ánh sáng nhìn thấy, nghĩa là nó có khả năng hội tụ, phân kỳ qua thấu kính, có tiêu cự.... Tuy nhiên, ánh sáng hồng ngoại rất khác ánh sáng nhìn thấy ở khả năng xuyên suốt qua vật chất, trong đó có chất bán dẫn. Điều này giải thích tại sao LED hồng ngoại có hiệu suất cao hơn LED chỉ thị vì tia hồng ngoại không bị yếu đi khi vượt qua các lớp bán dẫn để ra ngoài.

Tuổi thọ của LED hồng ngoại dài đến 100.000 giờ. LED hồng ngoại không phát ra ánh sáng nhìn thấy nên rất có lợi trong các thiết bị kiểm soát vì không gây sự chú ý.

Một số hình ảnh của LED



Chuong8

17

Mặt chỉ thị tinh thể lỏng (LCD: Liquid Crystal Display) (1)

Khái niệm:

- ❖ Tinh thể lỏng sử dụng trong LCD là những hợp chất hữu cơ đặc biệt. Các phân tử của tinh thể lỏng này được phân bố sao cho các trục dọc của chúng nằm song song với nhau.
- ❖ Ở nhiệt độ thấp LCD ở trạng thái rắn, khi t^0 tăng lên đến nhiệt độ nóng chảy thì LCD chuyển sang trạng thái lỏng. Pha trung gian giữa hai trạng thái này là trạng thái tinh thể lỏng
- ❖ Mặt chỉ thị tinh thể lỏng- LCD- không phải là linh kiện bán dẫn quang điện tử. LCD được chế tạo dưới dạng thanh và chằm- ma trận. LCD là cấu kiện thụ động, nó không phát sáng nên càng dễ đọc nếu xung quanh càng sáng
- ❖ LCD: dùng làm mặt chỉ thị cho đồng hồ, máy tính con, các thiết bị đo số, đồ chơi trẻ em, màn hình ti vi.

Chuong8

18

LCD (2)

Đặc điểm:

- Khoảng nhiệt độ sử dụng: $(- 10^{\circ}\text{C} \div + 60^{\circ}\text{C})$
- Điện áp: $3\text{V} \div 6\text{V}$ (chuẩn là $4,5\text{V}$)
- Tần số: $30\text{ Hz} \div 200\text{ Hz}$
- Thời gian đóng: 40 ms
- Thời gian ngắt: 80 ms
- Dòng điện tiêu hao khoảng $0,2\ \mu\text{A}$
- LCD có tuổi thọ khá cao từ 10.000 đến 100.000 giờ và nay nó thay thế dần các mặt chỉ thị loại LED hay huỳnh quang

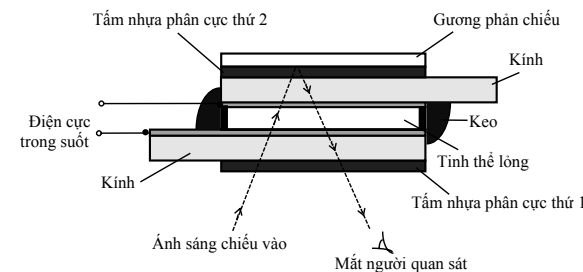
Chuong8

19

LCD (3)

Cấu tạo của thanh LCD:

- o Gồm có 2 tấm kính đặt cách nhau khoảng $10\ \mu\text{m}$. Mặt phía trong của 2 tấm kính tráng một lớp oxit kẽm (ZnO) trong suốt làm hai điện cực.
- o Xung quanh bên cạnh hai tấm kính được hàn kín, sau đó đổ tinh thể lỏng vào khoảng giữa 2 tấm kính và gắn kín lại.
- o Hai tấm nhựa có tính phân cực ánh sáng được dán bên ngoài hai tấm kính sao cho hình ảnh phản chiếu của mặt chỉ thị được nhìn từ một phía nhờ gương phản chiếu.



Hình 8-9 : Cấu tạo của một thanh LCD

Chuong8

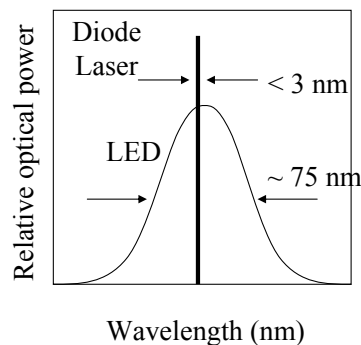
20

Laser bán dẫn (1)

• Laser = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

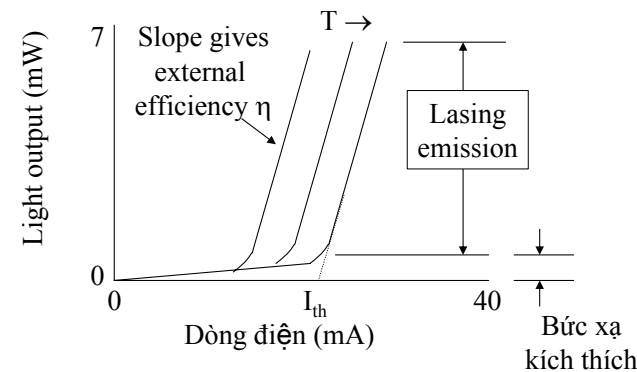
• **Đặc điểm:**

- Phổ phát sáng hẹp
- Kích thước nhỏ
- Độ ổn định cao
- Có bước sóng ánh sáng trong các cửa sổ quang 1, 2, 3
- Điều chế trực tiếp có thể lên đến vài Gb/s
- Bán kính bức xạ nhỏ (ghép với sợi quang)



Hình 8-10

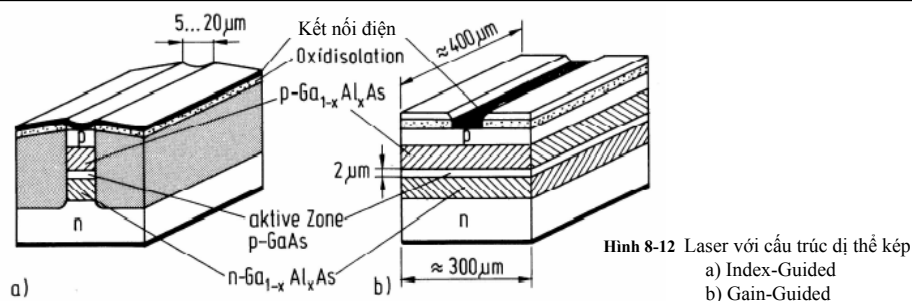
Laser bán dẫn (2)



Hình 8-11

- Giảm dòng điện ngưỡng
 - Tăng công suất tổng của ánh sáng ở đầu ra
 - Tăng hiệu suất quantum mở rộng
- } cải thiện chất lượng của thiết bị laser

Cấu trúc của laser



Hình 8-12 Laser với cấu trúc dị thể kép
a) Index-Guided
b) Gain-Guided

Các loại laser:

Laser đa mode: Fabry-Perot Laser

Laser đơn mode: dùng trong các hệ thống thông tin tiên tiến

- DFB Laser (Distributed Feedback)
- DBR Laser (Distributed Bragg Reflector)
- MQW Laser (Multi Quantum Well)

Laser có thể điều chỉnh được: điều chỉnh bước sóng phát ra bằng cách (i) thay đổi chiều dài hốc (kéo giãn cơ học), (ii) thay đổi hệ số khúc xạ (điều khiển nhiệt độ)

CÁC CẤU KIỆN CHUYỂN ĐỔI QUANG – ĐIỆN

• Các bộ thu quang điện hoạt động dựa trên nguyên lý hiệu ứng chuyển đổi quang điện. Ở đó sự hấp thụ photon bởi vật liệu bán dẫn đã tạo ra các cặp điện tử-lỗ trống -> tạo ra tín hiệu quang điện dưới dạng dòng điện hay điện thế có thể đo được.

• Thiết bị quan trọng nhất là điốt quang bán dẫn (photodiode)

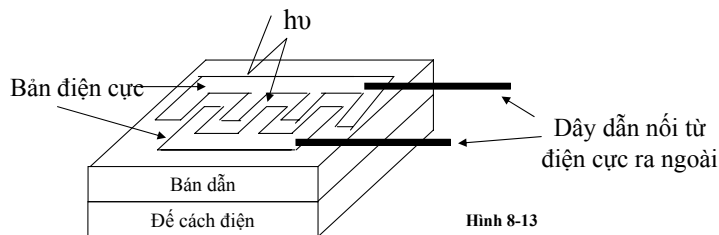
• Yêu cầu:

- Độ nhạy cao
- Nhiều trong nhỏ
- Băng thông rộng

Quang trở (LDR-Light Dependent Resistor) (1)

Cấu tạo- nguyên lý:

- Là bộ thu tín hiệu quang đơn giản nhất. Quang trở thường được làm bằng chất Sunfit Cadimium (CdS), Selenid Cadimium (CdSe), Sunfit chì (PbS)... trong đó loại quang trở CdS có độ nhạy phổ gần với mắt người nên thông dụng nhất.
- Quang trở được chế tạo bằng cách tạo một màn bán dẫn trên nền cách điện nối ra 2 đầu kim loại rồi đặt trong một vỏ nhựa, mặt trên có lớp thủy tinh trong suốt để nhận ánh sáng bên ngoài tác động vào.

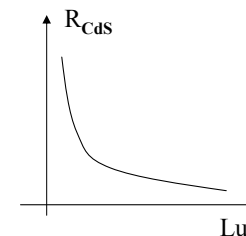


Hình 8-13

- Khi ánh sáng chiếu vào bề mặt quang trở, các cặp e-lỗ trống được sinh ra và được điện trường cuốn ra phía các điện cực. Phụ thuộc vào thông lượng ánh sáng chiếu vào, dòng điện bên ngoài cũng thay đổi theo.

Quang trở (2)

- Trị số điện trở của quang trở thay đổi theo độ sáng chiếu vào nó. Khi bị che tối thì quang trở có trị số điện trở rất lớn (vài MΩ), khi được chiếu sáng thì điện trở giảm nhỏ (vài chục Ω÷ vài trăm Ω).
- Ưu điểm của quang trở: có khuếch đại trong, nghĩa là dòng quang điện thu được có số điện tử (hay lỗ trống) lớn hơn số điện tử (hay lỗ trống) do photon tạo ra



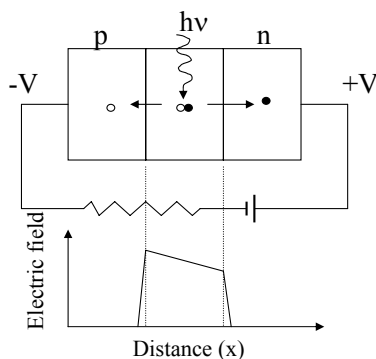
Hình 8.14. Ký hiệu, hình dạng của quang trở

Hình 8.15. Đặc tính của quang trở

Ứng dụng: dùng trong các mạch thu tín hiệu quang, trong báo động, đóng ngắt các mạch điện, trong đo đạc, điều khiển và tự động hoá.

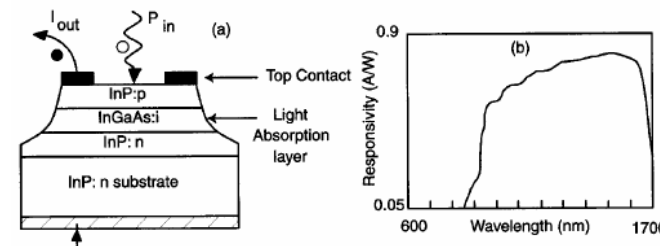
Nguyên lý của điốt quang

- Cung cấp một điện áp phân cực ngược phù hợp cho một tiếp giáp p-n đơn giản => tạo ra một điện trường => tách các cặp e-lỗ trống do ánh sáng tạo ra (do sự hấp thụ ánh sáng trong chất bán dẫn)
- Tốc độ đáp ứng được xác định bởi điện dung của thiết bị => bị chi phối bởi độ dày của vùng chuyển tiếp => thiết bị điện tích nhỏ và các vùng tích cực có pha tạp thấp sẽ có điện dung nhỏ, nghĩa là tốc độ cao
- Nhiều: nhiều thấp nếu giảm nhỏ dòng điện rò (chủ yếu là dòng rò bề mặt) bằng cách dùng các vật liệu có vùng cấm rộng ở bề mặt



Hình 8-16

PIN Diode (Photodiode có lớp bán dẫn thuần)



(a) Mô hình bộ thu quang PIN. (b) Đáp ứng / bước sóng đối với bộ thu quang InGaAs/InP

Hình 8-17

- Điốt PIN bao gồm lớp P, lớp I và lớp N. Lớp I là lớp bán dẫn thuần có điện trở rất cao để khi Điốt PIN được phân cực ngược, lớp nghèo có thể lan ra rất rộng trong lớp I để hướng phần lớn các photon rơi và hấp thụ trong đó.
- Trong lớp I có điện trường cuốn rất cao để cuốn hạt tải nhanh chóng về 2 cực tạo nên dòng quang điện ở mạch ngoài.

PIN Diode (2)

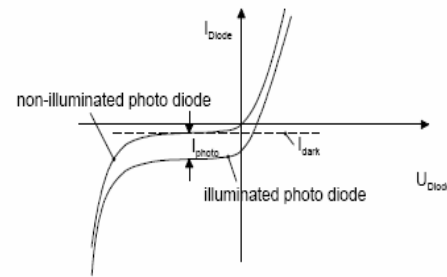
Hấp thụ các photon \rightarrow cặp e-lỗ trống \rightarrow dòng điện:

$$i(t) = R \cdot p(t) \square R |E(t)|^2$$

$$R = \eta \frac{q}{hc} \lambda \quad R = \text{Đáp ứng}$$

η = hiệu suất lượng tử < 1 (vd: 0,95%), q = điện tích e; h = hằng số Planck ($6,63 \cdot 10^{-34}$ J/Hz)

Đặc tuyến của PIN



Hình 8-18

Cấu trúc PIN có thời gian đáp ứng rất nhanh và hiệu suất lượng tử cao. Nhược điểm: dòng tối và nhiễu tương đối lớn, đặc biệt là đối với các bán dẫn có vùng cấm nhỏ như Ge

APD

- Miền tăng tốc (miền hấp thụ ánh sáng) và miền nhân hạt tải là tách biệt nhau.
- Khi có ánh sáng chiếu vào, các hạt tải đi qua miền hấp thụ sẽ được tăng tốc, chúng va đập mạnh vào các nguyên tử của bán dẫn gây nên sự ion hoá và tạo ra các cặp e-lỗ trống mới. Quá trình được lặp đi lặp lại nhiều lần \rightarrow hiệu ứng thác lũ \rightarrow tăng dòng quang điện bên ngoài, tăng độ khuếch đại (tăng độ nhạy của APD)

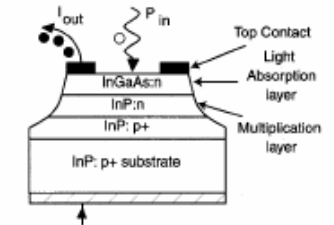
Điện áp phân cực ngược cao ($>100V$) \rightarrow Photon tạo ra các cặp e/lỗ trống \rightarrow các cặp e/lỗ trống tăng thêm do hiệu ứng thác lũ

$$R_{APD} \square I \frac{q}{hc} \lambda, \quad R_{APD} = M \cdot R,$$

M = độ khuếch đại thác lũ (vd: 100)

Độ khuếch đại cao, nhưng băng thông thường thấp hơn, nhiễu nhiều hơn so với điốt PIN

APD (Avalanche Photodiode):



Hình 8.19 Mô hình APD với vùng nhân và vùng hấp thụ tách biệt

Các đặc điểm của điốt quang

PARAMETER	Si PIN	Si APD	InGaAs PIN	InGaAs APD	Ge APD
QUANTUM EFFICIENCY	0.8 (>0.9)	0.8 (>0.9)	0.8 (>0.9)	0.8 (>0.9)	0.8 (>0.9)
RISE & FALL TIME (ns)		0.3 (<0.1)	0.1 (<0.2)	0.3 (<0.1)	0.5 (<0.1)
CAPACITANCE (pF)	1	0.5	0.5 (<0.1)	0.5 (<0.1)	0.5 (<0.2)
DARK CURRENT I_{du} (nA)	1 to 10	1 to 10	1 (<0.01)	1 to 10	100 (~50)
DARK CURRENT I_{dn} (nA)		0.001		10 (<1)	100 (5*)
IONIZATION RATIO k		.03(<.015)		0.5 (<0.1)	1 (~0.7)
GAIN-BANDWIDTH PRODUCT (GHz)		>200		80 (>150)	10 (>15)
TYPICAL BIAS VOLTAGE (V)	-15	- 300	- 5	- 60	- 40

TYPICAL (BEST)

* 30 μm active area

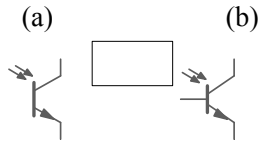
Transistor quang (1)

Cấu tạo và nguyên lý:

- Transistor quang có cấu trúc 3 lớp như BJT thông thường nhưng miền cực gốc để hở, có một diện tích thích hợp để tiếp nhận ánh sáng chiếu vào qua cửa sổ.
- Khi Transistor quang ở chế độ hoạt động thì tiếp giáp BC được phân cực ngược còn tiếp giáp BE phân cực thuận
- Khi ánh sáng chiếu vào Transistor quang, các hạt tải được sinh ra và được khuếch tán tới tiếp giáp BC, tiếp giáp này sẽ tách điện tử và lỗ trống để góp phần tạo nên dòng quang điện.
- Tiếp giáp BC có vai trò như một điốt quang, các hạt tải từ phía tiếp giáp thuận BE được tiêm chích vào cực gốc B. Dòng quang điện trong miền B (dòng rò I_{CB}) sẽ trở thành dòng I_B và được khuếch đại lên $(\beta+1)$ lần ở collector.

Transistor quang (2)

Ký hiệu:



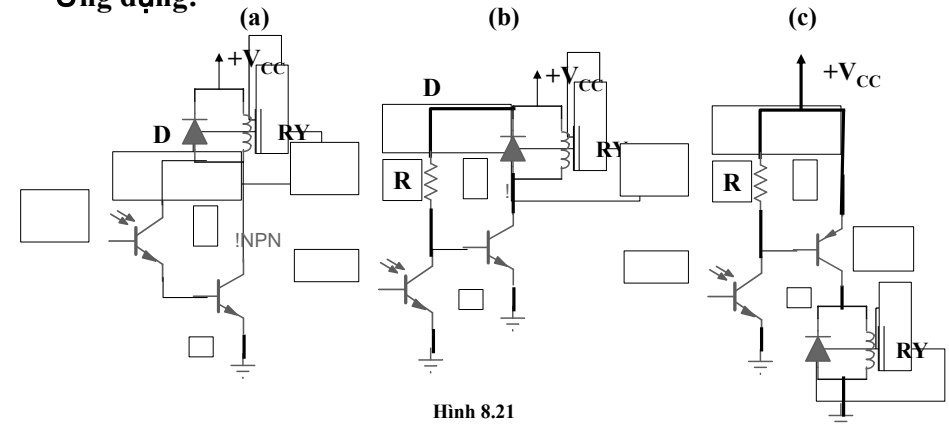
Hình 8.20 Ký hiệu của Transistor quang 2 cực (a) và Transistor quang 3 cực (b)

Đặc điểm:

- Độ khuếch đại: $100 \div 1000$ lần và độ khuếch đại là không tuyến tính theo cường độ ánh sáng chiếu vào mối nối giữa cực C và B
- Tốc độ làm việc chậm do tụ điện kí sinh C_{cb} gây hiệu ứng Miller
- Tần số làm việc max ~vài trăm KHz
- Để tăng độ nhạy người ta chế tạo loại Transistor lắp theo kiểu Darlington

Transistor quang (3)

Ứng dụng:



Hình 8.21

Mạch điện a) dùng transistor quang lắp Darlington với transistor công suất để điều khiển role RY. Khi được chiếu sáng transistor quang dẫn làm transistor công suất dẫn cấp điện cho role.

Transistor quang (4)

Mạch điện hình (b) lấy điện áp V_c của transistor quang để phân cực cho cực B của transistor công suất. Khi transistor quang được chiếu sáng sẽ dẫn điện và làm điện áp V_c giảm, cực B transistor công suất không được phân cực nên ngưng dẫn và role không được cấp điện.

Mạch điện hình (c) dùng transistor loại PNP nên có nguyên lý ngược lại mạch điện hình (b) khi quang transistor được chiếu sáng được dẫn điện tạo sụt áp trên điện trở để phân cực cho cực B của transistor công suất loại PNP làm transistor công suất dẫn, cấp điện cho role.

Hiện nay người ta còn chế tạo JFET quang và Thyristor quang

Các bộ ghép quang (Opto- Couplers) (1)

Mục đích: dùng để cách điện giữa các mạch có sự khác biệt lớn về điện áp.

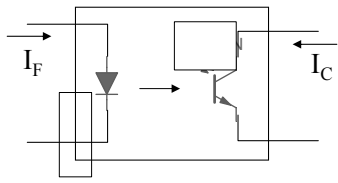
VD: mạch tự động điều khiển công suất có điện áp cao ($U = 200V \div 380V, 660V$ hay $1000V$); mạch điều khiển thường có điện áp thấp như các mạch logic, máy tính hay các hệ thống phải tiếp xúc với con người.

Cấu tạo:

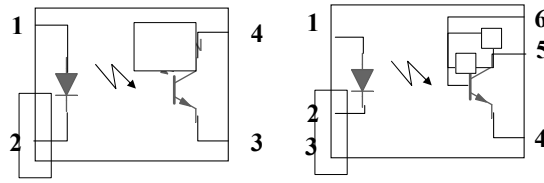
Bộ ghép quang gồm 2 thành phần gọi là sơ cấp và thứ cấp. Phần sơ cấp là một điốt loại GaAs phát ra tia hồng ngoại, phần thứ cấp là một Transistor quang loại Silic. Khi được phân cực thuận, điốt phát ra bức xạ hồng ngoại chiếu lên trên mạch của Transistor quang.

Nguyên lý: Phần sơ cấp là LED hồng ngoại biến đổi tín hiệu điện thành tín hiệu ánh sáng. Tín hiệu ánh sáng này sẽ được phần thứ cấp (Transistor quang) biến đổi lại thành tín hiệu điện

Các bộ ghép quang (2)



Hình 8.22 Nguyên lý



Hình 8.23. Bộ ghép quang transistor

Đặc điểm:

- Điện áp cách điện giữa sơ cấp và thứ cấp (vài trăm vôn ÷ hàng ngàn vôn)
- Bộ ghép quang có thể làm việc với I_{DC} hoặc I_{AC} có tần số cao
- Điện trở cách điện giữa sơ cấp và thứ cấp có trị số rất lớn (vài chục $M\Omega$ ÷ vài trăm $M\Omega$) đối với I_{DC}
- Hệ số truyền đạt dòng điện (I_C/I_F): vài chục % ÷ vài trăm % tùy loại bộ ghép quang

Các bộ ghép quang (3)

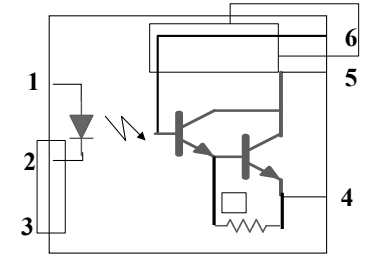
Các loại bộ ghép quang:

a) Bộ ghép quang Transistor:

Phần thứ cấp: Transistor loại Si. Đối với bộ ghép quang transistor có 4 chân thì transistor không có cực B, trường hợp bộ ghép quang transistor có 6 chân thì cực B được nối ra ngoài (hình). Bộ ghép quang không có cực B có ưu điểm là hệ số truyền đạt lớn, nhưng có nhược điểm là độ ổn định nhiệt kém. Nếu nối giữa cực B và E một điện trở thì các bộ ghép quang transistor này làm việc khá ổn định với nhiệt độ nhưng hệ số truyền đạt bị giảm đi.

b) Transistor quang Darlington:

có nguyên lý như bộ ghép quang với quang transistor nhưng với hệ số truyền đạt lớn hơn vài trăm lần nhờ tính chất khuếch đại của mạch Darlington. Nhược điểm: ảnh hưởng bởi nhiệt độ rất lớn nên giữa chân B và E của transistor sau thường có điện trở để ổn định nhiệt.



Hình 8.24 Transistor quang Darlington

Các bộ ghép quang (4)

c) Bộ ghép quang với quang Thyristor:

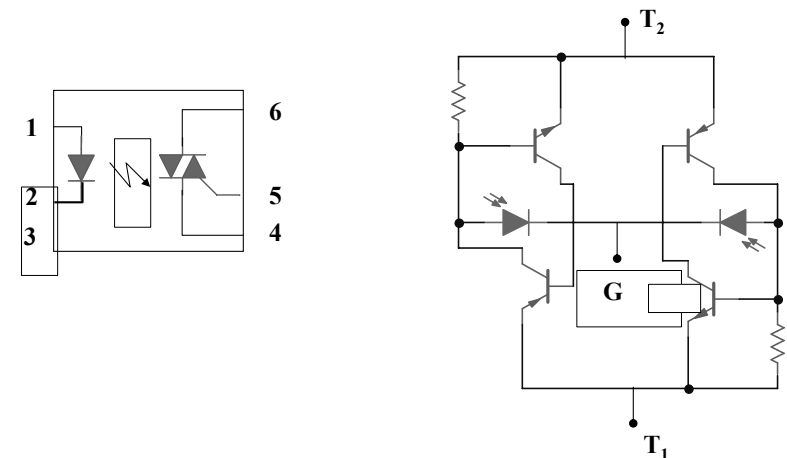
- Gồm một điốt quang và 2 transistor lắp theo nguyên lý của SCR.
- Khi có ánh sáng hồng ngoại do LED ở sơ cấp chiếu vào điốt quang thì sẽ có dòng điện I_B cấp cho transistor NPN và khi transistor NPN dẫn thì sẽ điều khiển transistor PNP dẫn điện. Như vậy thyristor quang đã được dẫn điện và sẽ duy trì trạng thái dẫn mà không cần kích liên tục ở sơ cấp.
- Để tăng khả năng chống nhiễu người ta nối giữa chân G và K bằng một điện trở từ vài $K\Omega$ ÷ vài chục $K\Omega$



Hình 8.25 Ký hiệu và cấu trúc bán dẫn tương đương của Thyristor quang

Các bộ ghép quang (5)

d) OPTO- Triac: có cấu trúc bán dẫn như hình vẽ



Hình 8.26 Ký hiệu và cấu trúc bán dẫn tương đương của Triac quang

Các bộ ghép quang (6)

Ứng dụng:

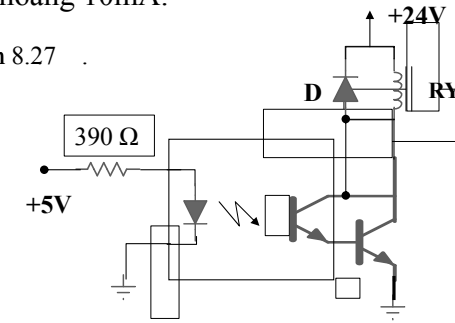
- Các loại bộ ghép quang có dòng điện ở sơ cấp cho LED hồng ngoại khoảng 10 mA.
- Đối với transistor quang khi thay đổi trị số dòng điện qua LED hồng ngoại ở sơ cấp sẽ làm thay đổi dòng điện ra I_C của transistor quang ở thứ cấp.
- Các bộ ghép quang có thể dùng thay cho rơle hay biến áp xung để giao tiếp với tải thường có điện áp cao và dòng điện lớn.

Các bộ ghép quang (7)

* Mạch điện hình 5.27 là ứng dụng của transistor quang để điều khiển đóng ngắt rơle.

Transistor quang trong bộ ghép quang được ghép Darlington với transistor công suất bên ngoài. Khi LED hồng ngoại ở sơ cấp được cấp được cấp nguồn 5V thì transistor quang dẫn điều khiển transistor công suất dẫn để cấp điện cho rơle RY. Điện trở 390Ω để giới hạn dòng qua LED hồng ngoại khoảng 10mA.

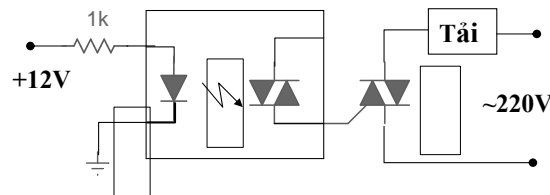
Hình 8.27



Các bộ ghép quang (8)

* Mạch điện hình 5.28 là ứng dụng của OPTO- Triac để đóng ngắt điện cho tải dùng nguồn xoay chiều 220V.

Điện trở $1k\Omega$ để giới hạn dòng qua LED hồng ngoại khoảng 10mA. Khi LED sơ cấp được cấp nguồn 12V thì triac quang sẽ được kích và dẫn điện tạo dòng kích cho triac công suất. Khi triac công suất được kích sẽ dẫn điện như một công tắc để đóng điện cho tải.



Hình 8.28

Trường.....
Khoa.....

GIÁO TRÌNH
LINH KIỆN ĐIỆN TỬ

CHƯƠNG 1: VẬT LIỆU LINH KIỆN

1.1 MỘT SỐ KHÁI NIỆM

1.1.1 Cấu trúc nguyên tử

Nguyên tử là hạt nhỏ nhất của một nguyên tố và mang các đặc điểm của nguyên tố đó. Nguyên tử gồm có một hạt nhân ở giữa và bao xung quanh là các quỹ đạo điện tử. Hạt nhân gồm có các hạt tích điện dương gọi là proton và các hạt không tích điện gọi là notron. Điện tử là các hạt mang điện tích âm. Số proton và điện tử của mỗi nguyên tử phụ thuộc vào từng nguyên tố. Ví dụ, nguyên tử đơn giản nhất là hydro chỉ có một proton và một điện tử. Nguyên tử khác là helium có 2 proton và 2 notron trong hạt nhân và 2 điện tử quay xung quanh.

1.1.2 Trọng lượng và số nguyên tử.

Các nguyên tố sắp xếp trong bảng hệ thống tuần hoàn theo số nguyên tử của chúng, tức là số điện tử trong nguyên tử ở trạng thái trung hoà về điện. Các nguyên tố cũng có thể được sắp xếp theo trọng lượng nguyên tử của chúng, trọng lượng nguyên tử xấp xỉ bằng số proton cộng với số notron trong hạt nhân. Ví dụ hydro có số nguyên tử là 1 và trọng lượng nguyên tử là 1,0079. Số nguyên tử của helium là 2 và trọng lượng nguyên tử là 4,00260. Ở trạng thái trung hoà nguyên tử có số điện tử bằng số proton nên nguyên tử mang điện tích bằng không.

1.1.3 Quỹ đạo và các lớp điện tử.

Điện tử quay xung quanh hạt nhân theo một quỹ đạo nhất định. Các điện tử gần hạt nhân có năng lượng ít hơn so với các điện tử có quỹ đạo xa hạt nhân hơn. Quỹ đạo của các điện tử quanh hạt nhân tương ứng với các mức năng lượng khác nhau. Trong nguyên tử, các quỹ đạo được nhóm thành các dải năng lượng và được gọi là các lớp. Mỗi nguyên tử có một số lớp nhất định, mỗi lớp quy định số điện tử lớn nhất ở các quỹ đạo. Sự chênh lệch các mức năng lượng trong một lớp là thấp hơn so với sự chênh lệch các mức năng lượng giữa các lớp. Các lớp được gọi là lớp K,L,M,N... với lớp K là lớp gần hạt nhân nhất.

1.1.4 Các điện tử hoá trị

Các điện tử có quỹ đạo xa hạt nhân thì có năng lượng cao hơn và liên kết yếu với hạt nhân hơn so với các quỹ đạo của các điện tử có quỹ đạo gần hạt nhân hơn. Các điện tử nằm ở lớp ngoài cùng có mức năng lượng cao nhất và liên kết yếu với hạt nhân. Lớp ngoài cùng gọi là lớp hoá trị và các điện tử ở lớp đó gọi là điện tử hoá trị. Các điện tử hoá trị này có ảnh hưởng tới tính chất và liên kết trong cấu trúc và xác định tích dẫn điện của vật chất.

1.1.5 Sự ion hoá.

Khi các nguyên tử hấp thu năng lượng (nhiệt hay ánh sáng), sẽ làm tăng các mức năng lượng của các điện tử. Khi các điện tử được tăng năng lượng nó sẽ di chuyển ở các quỹ đạo xa hạt nhân hơn. Do đó các điện tử hoá trị có năng lượng cao hơn và liên kết yếu với hạt nhân hơn so với các điện tử lớp trong, chúng có thể nhảy lên các quỹ đạo cao hơn trong lớp hoá trị một cách dễ dàng khi năng lượng ngoài được hấp thu.

Nếu các điện tử hoá trị thu được đủ năng lượng nó có thể nhảy ra khỏi lớp ngoài cùng. Sự di chuyển của các điện tử hoá trị làm cho nguyên tử mất cân bằng về điện và trở thành tích điện dương (số proton lớn hơn số điện tử), quá trình mất điện tử hoá trị gọi là sự ion hóa và kết quả là nguyên tử tích điện dương gọi là ion dương. Các điện tử hoá trị trở thành điện tử tự do. Khi các điện tử tự do bị hút vào lớp ngoài cùng thì nguyên tử trở nên tích điện âm và gọi là ion âm.

1.1.6 Số điện tử trong một lớp.

Số điện tử lớn nhất (N_e) có thể có trong mỗi lớp của nguyên tử được tính theo công thức:

$$N_e = 2n^2$$

ở đây n là số của lớp. Lớp trong cùng K có số là 1, lớp L là số 2, lớp M là số 3,...

Ví dụ số điện tử lớn nhất có thể có trong lớp K là:

$$N_e = 2n^2 = 2 \cdot 1^2 = 2$$

Tất cả các lớp trong nguyên tử phải điền đủ số điện tử trừ lớp ngoài cùng.

1.2 CHẤT BÁN DẪN, CHẤT DẪN ĐIỆN, CHẤT ĐIỆN MÔI

Chất dẫn điện là chất dễ dàng dẫn dòng điện. Chất dẫn điện tốt nhất là các đơn chất ví dụ như đồng, bạc, vàng, nhôm, là các chất mà trong nguyên tử chỉ

có duy nhất một điện tử hoá trị liên kết yếu với hạt nhân. Điện tử hoá trị này liên kết yếu với hạt nhân nên dễ dàng tách ra khỏi nguyên tử và tạo thành điện tử tự do. Do đó các chất dẫn điện có nhiều điện tử tự do và khi đặt trong một điện trường thì tạo nên dòng điện.

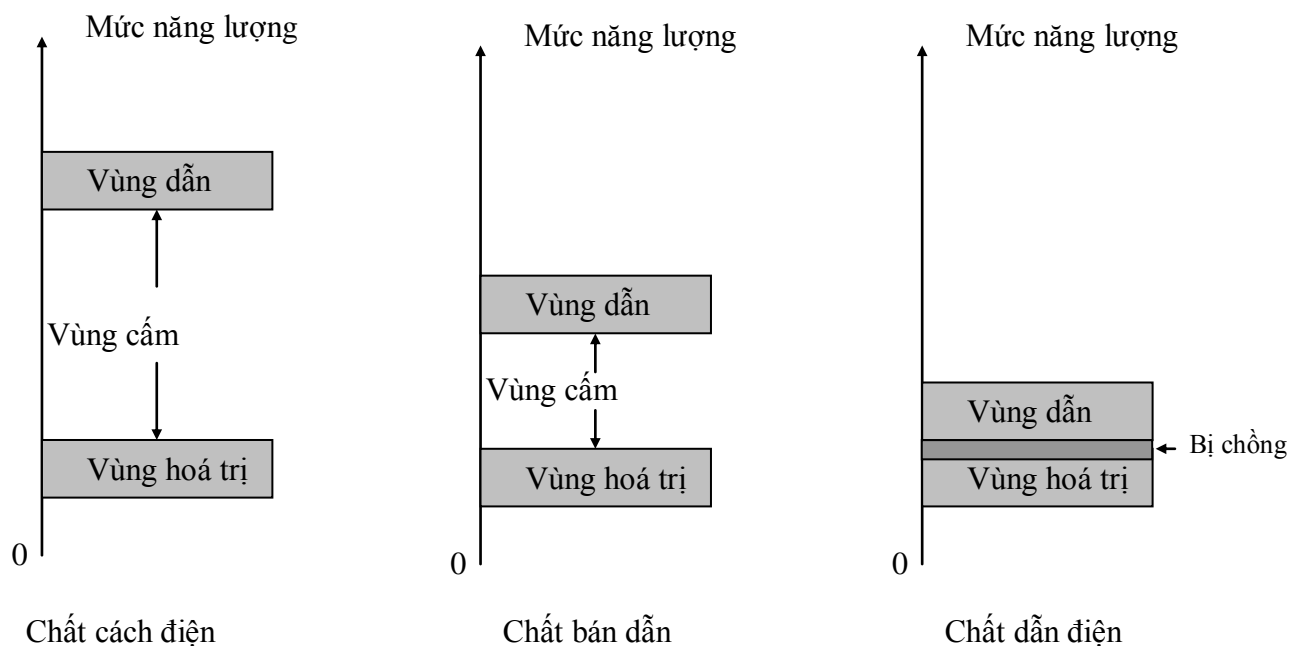
Chất cách điện là các chất không dẫn dòng điện ở điều kiện thường. Phần lớn các chất cách điện tốt là các hợp chất có nhiều hơn một chất. Các điện tử hoá trị liên kết chặt chẽ với hạt nhân, do đó có rất ít điện tử tự do trong chất cách điện.

Chất bán dẫn là chất nằm giữa chất dẫn điện và chất cách điện về khả năng dẫn dòng điện. Chất bán dẫn đơn chất phổ biến nhất là Silicon, Germanium và Carbon. Chất bán dẫn phổ biến như là gali arsen cũng được sử dụng phổ biến. Các chất bán dẫn đơn chất được tạo thành từ các nguyên tử có 4 điện tử hoá trị.

1.2.1 Các vùng năng lượng.

Lớp hoá trị của một nguyên tử được thay thế bởi một vùng các mức năng lượng và các điện tử hoá trị bị giới hạn trong vùng đó. Nếu điện tử hấp thu đủ năng lượng ngoài thì nó rời khỏi lớp hoá trị và trở thành điện tử tự do và tồn tại trong vùng gọi là vùng dẫn.

Sự chênh lệch năng lượng giữa vùng hoá trị và vùng dẫn gọi là vùng cấm. Đây là phần năng lượng mà điện tử hoá trị phải có để nhảy từ vùng hoá trị lên vùng dẫn. Hình 1-1 chỉ ra cấu trúc vùng năng lượng của 3 chất bán dẫn, dẫn điện và cách điện. Đối với chất cách điện là rất lớn, các điện tử hoá trị không nhảy được lên vùng dẫn trừ trường hợp bị đánh thủng khi có điện áp vô cùng lớn được đặt lên. Đối với chất bán dẫn vùng cấm hẹp hơn, do đó cho phép các điện tử hoá trị nhảy lên vùng dẫn và trở thành điện tử tự do. Đối với chất dẫn điện các vùng năng lượng bị chồng lên nhau, do đó luôn luôn có một số lớn điện tử tự do.



Hình 1.1. Cấu trúc vùng năng lượng của chất cách điện, chất bán dẫn và chất dẫn điện.

1.2.2 Chất điện môi

1.2.2.1 Khái niệm

Chất điện môi (hay còn gọi là chất cách điện) là chất dẫn điện kém. Chất điện môi là chất có điện trở suất cao, khoảng $10^7 \div 10^{17} \Omega\text{m}$ ở nhiệt độ bình thường (khoảng 25°C).

Chất cách điện gồm phần lớn các vật liệu vô cơ cũng như hữu cơ.

1.2.2.2 Một số tính chất của chất điện môi

■ Hằng số điện môi (còn gọi là độ thẩm thấu điện tương đối)

Hằng số điện môi là tham số biểu thị khả năng phân cực của chất điện môi. Trạng thái phân cực của chất điện môi là trường hợp một số phần thể tích của chất điện môi có các mô men điện khác không. Mức độ phân cực của chất điện môi được đánh giá bằng sự thay đổi điện dung của tụ điện khi thay chân không hoặc không khí giữa hai bản cực của tụ bằng vật liệu chất điện môi. Trị số này được gọi là độ thẩm thấu điện tương đối của chất điện môi hay hằng số điện môi, kí hiệu là ϵ và được xác định bằng biểu thức:

$$\epsilon = \frac{C_d}{C_0}$$

Trong đó :

C_d : là điện dung của tụ điện sử dụng chất điện môi

C_0 : là điện dung của tụ điện sử dụng chất điện môi là không khí hoặc chân không.

■ Độ tổn hao điện môi P_a

Là công suất điện chi phí để làm nóng chất điện môi khi đặt nó trong điện trường. Độ tổn hao năng lượng này được nghiên cứu đối với điện áp xoay chiều và điện áp một chiều khi trong nó xuất hiện dòng điện dò.

Độ tổn hao điện môi được đặc trưng bằng công toả ra trên một đơn vị thể tích điện môi gọi là tổn hao điện môi. Để đặc trưng cho khả năng toả nhiệt của chất điện môi khi đặt nó trong điện trường người ta sử dụng tham số góc tổn hao điện môi ($\text{tg}\delta$, δ là góc tổn hao). Hình 1.6 (trnag 25 sách linh kien bru chính) là sơ đồ tương đương của tụ điện khi có tổn hao.

$$\text{tg} \frac{I_a}{I_c} = \frac{U_a}{U_c}$$

Độ tổn hao điện môi $P_a = U^2 \omega C \text{tg}\delta$

Trong đó :

P_a : công suất điện làm nóng chất điện môi

U : điện áp đặt lên tụ điện.

C : điện dung tụ

Ω : tần số góc (rad/s)

$\text{Tg}\delta$: góc tổn hao điện môi.

Nhận xét: Chất điện môi có tham số góc tổn hao điện môi càng nhỏ thì độ tổn hao điện môi của nó càng thấp.

Khi một tụ điện làm việc ở dải tần rộng, chỉ có dòng điện dò thì độ tổn hao điện môi được tính theo công thức: $P_a = U^2/R$ với R là nội trở của tụ điện.

Nếu tổn hao điện môi trong tụ điện là do điện trở của các bản cực, dây dẫn và tiếp giáp thì tổn hao điện môi sẽ tăng tỉ lệ với bình phương tần số: $P_a = U^2 \omega C^2 R^2$.

Trên thực tế các tụ điện làm việc ở tần số cao thường có các bản cực, dây dẫn, tiếp giáp được tráng bạc để giảm nhỏ điện trở của chúng.

■ Độ bền về nhiệt của chất điện môi. $E_{đt}$

Hiện tượng đánh thủng chất điện môi: Nếu đặt một chất điện môi vào trong một điện trường và tăng cường độ điện trường lên quá một giá trị giới hạn thì chất điện môi mất đi khả năng cách điện, đó gọi là hiện tượng đánh thủng chất điện môi. Giá trị điện áp mà tại đó xảy ra hiện tượng đánh thủng gọi là điện áp đánh thủng, U_{dt}

$$E_{dt} = \frac{U_{dt}}{d} \text{ (KV/cm)}$$

U_{dt} : là điện áp đánh thủng chất điện môi

d : độ dày của lớp điện môi bị đánh thủng.

1.2.2.3 Dòng điện trong chất điện môi

Dòng điện trong chất điện môi gồm có 2 thành phần: dòng điện dịch và dòng điện rò.

Dòng điện dịch (Dòng điện cảm ứng): Quá trình chuyển dịch phân cực của các điện tích liên kết trong chất điện môi xảy ra cho tới khi đạt đến trạng thái cân bằng sẽ tạo nên dòng điện phân cực hay là dòng điện dịch. Khi ở điện áp xoay chiều dòng điện dịch tồn tại trong suốt thời gian chất điện môi nằm trong điện trường. Khi ở điện áp một chiều dòng điện chuyển dịch chỉ tồn tại ở thời điểm đóng, ngắt điện áp.

Dòng điện rò: Là dòng điện được tạo ra do các điện tích tự do và điện tử phát xạ chuyển động dưới tác dụng của điện trường. Nếu dòng rò lớn sẽ làm mất tính chất cách điện của chất điện môi.

Vậy dòng điện trong chất điện môi là: $I = I_{dịch} + I_{rò}$

Sau khi quá trình phân cực kết thúc thì qua chất điện môi chỉ còn dòng điện rò.

1.2.2.4 Độ dẫn điện của chất điện môi

Điện trở của chất điện môi ở giữa hai bản cực khi đặt một điện áp một chiều lên chúng thì giống như điện trở cách điện của chúng. Điện trở cách điện

được tính thông qua dòng điện rò: $R_{cd} = \frac{U}{I_{CM}}$

Trong đó: I_{CM} : tổng các thành phần dòng điện phân cực.

I : Dòng điện nghiên cứu.

Ngoài ra để đánh giá độ dẫn điện của chất điện môi người ta còn sử dụng tham số điện trở suất khối: $R \frac{S}{d}$

Trong đó:

R: điện trở khối thể tích chất điện môi

S: diện tích

d: độ dày của mẫu chất điện môi

1.2.2.5 Một số chất điện môi thường dùng

Chất điện môi được chia làm hai loại là chất điện môi thụ động và chất điện môi tích cực.

■ Chất điện môi thụ động

* Mica: Vật liệu này có tính chịu nhiệt cao, bền về điện, $E_{td}=50 \div 200KV/mm$, nhiệt độ chịu đựng cao đến $600^{\circ}C$, hằng số điện môi $\epsilon=6 \div 8$; góc tổn hao nhỏ $tg\delta=0,0004$; điện trở suất $\rho=10^7 \Omega m$. Mi ca thường được dùng làm tụ mica, làm khuôn mẫu cho các chi tiết của linh kiện điện tử, làm cuộn cảm, ống dẫn sóng, biến áp, làm chất cách điện trong các dụng cụ thiết bị điện tử bị nung nóng. . .

* Sứ: độ bền về điện, $E_{td}=15 \div 30KV/mm$, hằng số điện môi $\epsilon=6,3 \div 7,5$, điện trở suất $\rho=3 \cdot 10^{14} \Omega m$. Sứ được dùng làm giá đỡ cách điện, làm tụ điện, làm đế đèn. .

* Gốm: là đất nung, chịu nhiệt tốt, dễ thay đổi được hình dạng. Gốm được sử dụng chủ yếu làm tụ điện.

Gốm có hằng số điện môi $\epsilon=1700 \div 4500$; góc tổn hao nhỏ $tg\delta=0,02 \div 0,03$, tỷ trọng $4Mg/m^3$. Gốm vừa là chất điện môi thấp tần vừa là chất điện môi cao tần

* Chất dẻo, nhựa tổng hợp(Bakelit): thường có độ bền cơ học rất cao, chịu được nhiệt độ cao, $300^{\circ}C$, $E_{td}=10 \div 40KV/mm$, hằng số điện môi $\epsilon=4 \div 4,6$, góc tổn hao điện môi nhỏ $tg\delta=0,05 \div 0,12$. Bakelit thường được dùng làm khuôn mẫu để chế tạo linh kiện, chế tạo vỏ máy TV, các thiết bị đo. . .

* Giấy làm tụ điện: Tụ giấy thường dùng ở nơi có nhiệt độ cao ($70 \div 100^\circ\text{C}$), giấy có độ bền về điện khá cao $E=30\text{KV/mm}$, hằng số điện môi khá nhỏ $\epsilon=3 \div 4 \dots$

■ Chất điện môi tích cực

* Thạch anh áp điện (SiO_2): tồn tại ở dạng tinh thể, không màu, trong suốt, còn gọi là phalê thiên nhiên hay là thạch anh màu. Tinh thể thạch anh áp điện có thể kéo dài bằng phương pháp nhân tạo, khi đó tính chất của nó gần giống tính chất của các tinh thể thiên nhiên. Trong các thiết bị sử dụng các tấm thạch anh được tạo ra sao cho tương tự một đơn tinh thể không đẳng hướng và các tính chất của nó trong các hướng khác nhau sẽ khác nhau. Thạch anh thường được dùng để chế tạo các bộ dao động, cộng hưởng thạch anh.

* Xây nhét điện: Đây là hiện tượng phân cực tự phát trong muối xây nhét. Khi đặt một điện trường ngoài lên xây nhét thì nó bị phân cực. Sau khi điện trường ngừng tác dụng trong xây nhét vẫn tiếp tục diễn ra hiện tượng phân cực. Độ thẩm thấu điện của xây nhét điện diễn ra rất mạnh nó phụ thuộc vào cường độ điện trường tác dụng.

* Chất khí: không khí có độ thẩm thấu điện $\epsilon_0=8,85\text{pF/m}$; ở nhiệt độ thấp và điện trường thấp không khí không dẫn điện.

* CHất lỏng: Dầu: dầu thường được dùng để tạo chất cách điện bằng cách thay thế không khí trong một số hệ thống hoặc dùng để tẩm các chất cách điện xốp. Độ bền về điện của dầu phụ thuộc vào độ tinh khiết của nó.

1.3 Chất dẫn điện

1.3.1 Khái niệm

Chất dẫn điện là vật liệu có độ dẫn điện cao. Trị số điện trở suất thấp khoảng 10^{-8} đến $10^{-5}\Omega\text{m}$.

Trong tự nhiên chất dẫn điện tồn tại ở cả 3 thể rắn, lỏng và khí (hoặc hơi kim loại).

Chất rắn: là kim loại, được chia thành 2 loại:

- Kim loại có độ dẫn điện cao, thường được sử dụng để chế tạo dây dẫn, cáp, biến áp, ống dẫn sóng, chân các linh kiện điện tử. . .
- Kim loại và hợp chất kim loại có điện trở suất cao dùng để chế tạo các dụng cụ nung nóng như dây mayso, sợi tóc bóng đèn, điện trở. . .

Chất lỏng: gồm các kim loại nóng chảy và các dung dịch điện phân, thông thường là các dung dịch kiềm, dung dịch axit hoặc dung dịch muối. Trong các chất điện phân các hạt tích điện là ion dương và ion âm. Khi có dòng điện chạy qua chất điện phân các điện tích sẽ chuyển động dẫn đến thành phần của chất điện phân thay đổi và trên các điện cực sẽ xuất hiện kết quả của quá trình điện phân.

Chất khí và hơi kim loại: Trong môi trường có cường độ điện trường thấp chất khí và hơi kim loại không dẫn điện. Khi cường độ điện trường cao hơn đến mức xảy ra sự ion hoá do va chạm và quang học thì chất khí mới dẫn điện. Độ dẫn điện do ion và điện tử tự do quyết định.

1.3.2 Một số đặc tính của chất dẫn điện

1.3.2.1 Điện trở suất

$$R = \frac{l}{S} \rho$$

Trong đó:

S: tiết diện của dây dẫn.

L: chiều dài dây dẫn.

R: điện trở của dây dẫn.

Điện trở suất của chất dẫn điện nằm trong khoảng từ $0,016\mu\Omega.m$ (Ag) đến $10\mu\Omega.m$ (hợp kim sắt- crôm- nhôm). Chất có điện trở suất thấp nhất thường được dùng làm dây dẫn như:

Đồng đỏ (Cu) : $\rho = 0,017\mu\Omega.m$

Nhôm(Al) : $\rho = 0,028\mu\Omega.m$

Vàng (Au) : $\rho = 0,055\mu\Omega.m$

Volfram(W) : $\rho = 0,024\mu\Omega.m$

Molipden(Mo) : $\rho = 0,057\mu\Omega.m$

1.3.2.2 Hệ số nhiệt của điện trở suất (α)

Hệ số nhiệt của điện trở suất biểu thị sự thay đổi của điện trở suất khi nhiệt độ thay đổi $1^{\circ}C$.

Khi nhiệt độ tăng điện trở suất tăng theo quy luật:

$$\rho_t = \rho_0(1 + \alpha t)$$

Trong đó :

ρ_t : điện trở suất tại nhiệt độ t

ρ_0 : điện trở suất tại nhiệt độ 0°C

α : hệ số nhiệt của điện trở suất [K^{-1}]

Nếu kim loại là nguyên chất thì hệ số nhiệt của chúng đều như nhau và có giá trị $\alpha=1/273,15\text{K}^{-1}=0,004\text{K}^{-1}$

1.3.3.3 Hệ số dẫn nhiệt λ

Hệ số dẫn nhiệt là lượng nhiệt truyền qua một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian khi gradien nhiệt độ bằng đơn vị

Đơn vị của hệ số dẫn nhiệt là W/m.K

Sự dẫn nhiệt là quá trình truyền nhiệt bằng sự chuyển động hỗn loạn của các nguyên tử. Lượng nhiệt truyền qua diện tích bề mặt S trong thời gian t là:

$$Q = -\lambda S t \frac{dT}{dx}$$

Trong đó:

λ : hệ số dẫn nhiệt

ΔT : Lượng chênh lệch nhiệt độ tại hai thời điểm cách nhau một khoảng Δx

S : diện tích bề mặt

t : thời gian

1.3.3.4 Công thoát điện tử trong kim loại

Ở 0°K điện tử không thể thoát khỏi bề mặt kim loại vì năng lượng cần thiết để thoát khỏi bề mặt kim loại là E_B , mà năng lượng lớn nhất điện tử có thể đạt được là E_p . Năng lượng cần thiết để cấp thêm cho điện tử để nó có thể thoát khỏi bề mặt kim loại là $E_w = E_B - E_p$ gọi là công thoát của kim loại. Như vậy, công thoát của kim loại biểu thị năng lượng tối thiểu cần cung cấp cho điện tử chuyển động nhanh nhất ở 0°K để điện tử này có thể thoát ra khỏi bề mặt kim loại.

Phát xạ nhiệt điện tử: Giả sử nung nóng một sợi dây kim loại, nhiệt năng được cấp cho điện tử trong mạng tinh thể và sự phân bố năng lượng của điện tử sẽ bị thay đổi. Một số điện tử sẽ có khả năng bứt ra khỏi mạng tinh thể trở thành điện tử tự do (thoát khỏi bề mặt kim loại)

1.3.3.5 Điện thế tiếp xúc

Hiệu điện thế tiếp xúc giữa hai kim loại được xác định như hiệu điện thế giữa hai điểm A, B. Nguyên nhân tồn tại hiệu điện thế là do hai kim loại tiếp xúc

nhau tại điểm C, các điện tử sẽ chảy từ kim loại có công thoát thấp hơn tới kim loại có công thoát cao hơn. Dòng chảy điện tử này sẽ tiếp tục đến khi hai kim loại đạt được nhiều điện tích âm tới mức một trường cản lại được hình thành, trường này sẽ đẩy bất kỳ một điện tử nào khác. Sự chênh lệch thế năng E_{AB} giữa hai điểm A, B được tính theo công thức: $E_{AB} = E_{W2} - E_{W1}$.

Điều này nghĩa là sự chênh lệch tiếp xúc giữa hai kim loại là hiệu hai công thoát của chúng. Tương ứng với thế năng E_{AB} là điện thế tiếp xúc V_{AB} . Nếu hai kim loại là giống nhau thì điện thế tiếp xúc của chúng là bằng 0. Nếu hai kim loại là khác nhau thì kim loại nào có công thoát lớn hơn sẽ trở thành điện tích âm ngược lại kim loại nào có công thoát nhỏ hơn sẽ trở thành điện tích dương.

1.3.4 Một số loại vật liệu dẫn điện thường dùng

1.3.4.1 Chất dẫn điện có điện trở suất thấp

* Bạc: là chất có độ dẫn điện cao nhất, $\rho = 0,0165 \mu\Omega.m$, tuy nhiên Bạc là linh kiện quý hiếm nên chỉ được dùng làm điện cực cho các linh kiện đòi hỏi độ chính xác cao như chân các bộ vi xử lý của máy tính.

* Đồng nguyên chất (Cu): có điện trở suất đứng sau Bạc. Đồng có độ bền cơ học cao, dễ dàng kéo sợi, dát mỏng với các kích thước khác nhau, dễ hàn. Đồng có độ bền chống ăn mòn cao nhờ lớp oxit trên bề mặt. Đây là vật liệu được sử dụng rất phổ biến. Đồng thường được sử dụng làm tiếp điểm mạ bạc để chống oxy hoá. Đồng nguyên chất được sử dụng làm dây dẫn, các chi tiết của các đèn điện tử, đầu ra công suất của các thiết bị điện tử siêu cao tần. . .

Ngoài ra các hợp chất của Đồng cũng được sử dụng rất nhiều do chúng có độ bền cơ học rất cao

- Đồng thau (còn gọi là Latun, là hợp kim của Đồng và Kẽm):
(65÷70)%Cu+(35÷30)%Zn

Đồng thau có độ bền cơ học rất cao. Thường được dùng làm các đầu nối dây, các lá tiếp xúc.

- Đồng Bronda chứa: 95,5%Cu+2,5%Al+2%Zn. Đồng Bronda thường được dùng làm lò so dẫn điện.
- Đồng photpho chứa: 98,7%Cu+0,13%Sn. Đồng photpho thường được sử dụng khi cần độ chống ăn mòn ở các tiếp điểm điện.

- Đồng trắng(Nikel- Silver) chứa: 55%Cu+27%Zn+18%Ni. Đồng trắng được dùng cho các thiết bị điện thoại, dây điện trở và các tiếp điểm.

Tổng quan, các hợp chất của đồng có một số tham số sau:

$$\rho = 0,03 \div 0,06 \mu\Omega.m; \alpha = 0,002K^{-1}; t_{nc} = 900^{\circ}C$$

* Nhôm (Al): là chất dẫn điện tốt thứ hai, đứng sau đồng. Nhôm có một số tham số sau:

$$\rho = 0,0267 \mu\Omega.m; \alpha = 0,0045K^{-1}; t_{nc} = 660^{\circ}C$$

Nhôm rất dẻo, chắc chắn so với trọng lượng có hệ số phản xạ cao, chống ăn mòn tốt. Nhôm dễ bị oxy hoá mặt ngoài, chống ăn mòn tốt nhưng lại làm cho Nhôm rất khó hàn so với Đồng. Để tải cùng công suất điện thì dây nhôm cần có tiết diện lớn hơn dây đồng. Cáp nhôm thường có lõi thép gia cố ở giữa. Nhôm dưới dạng màng mỏng thường được sử dụng nhiều trong công nghiệp vi điện tử. Nhôm dễ dát mỏng nên thường được dùng để làm tụ điện, làm cánh tản nhiệt, các lớp phủ phản xạ. . .

* Thiếc(Sn): $\rho = 0,115 \mu\Omega.m; \alpha = 0,0042K^{-1}; t_{nc} = 230^{\circ}C$. Thiếc thường sử dụng để hàn dây dẫn và các linh kiện điện tử.

* Chì(Pb): $\rho = 0,21 \mu\Omega.m; \alpha = 0,004K^{-1}; t_{nc} = 330^{\circ}C$. Chì thường được dùng làm cầu chì, vỏ bọc cáp chôn dưới đất, chế tạo acqui axit.

* Kim loại có nhiệt độ nóng chảy cao (Volfram, Niken, Molipden): thường được sử dụng làm sợi nung, làm tiếp điểm, công tắc, các điện cực của các đèn điện tử chân không. . .

* Các kim loại quý hiếm(Vàng, Bạc, Bạch kim): được sử dụng rất rộng rãi. Đây là các kim loại bền vững có thể nhận được với độ tinh khiết cao 99,99%.

- Bạc (Ag): dẫn điện tốt, chống ăn mòn nhưng hay bị xỉn. Bạc thường được dùng để mạ các bề mặt đòi hỏi độ dẫn điện tốt (Các ống siêu cao tần), các công tắc, bản cực của các bình điện phân. Hợp kim của bạc cũng được dùng nhiều. Hợp kim của bạc có ưu điểm cứng hơn bạc nguyên chất nhưng chịu ăn mòn kém.

- Vàng (Au): có độ dẫn điện rất cao, có tính chống ăn mòn, chống oxy hóa rất tốt. Vàng thường được dùng để làm dây dẫn cao tần, làm vật liệu tiếp xúc, phủ chống ăn mòn, tráng ở mặt trong của các ống dẫn sóng, làm chân của các linh kiện bán dẫn đòi hỏi có độ nhạy, độ bền và khả năng dẫn điện

cao(chân các bộ vi xử lý, bo mạch in của máy tính . . .). Vàng và hỗn hợp nấu với thủy tinh được dùng như dây dẫn ở các mạch lai màng dày. Vàng dùng làm vật liệu dẫn điện trong các mạch lai màng mỏng và các IC có nhiều đầu ra. Hợp kim vàng được dùng để chế tạo công tắc xoay, rơ le điện thoại.

- Bạch kim(Pt): Là loại kim loại quý hiếm, có tính chống ăn mòn tốt, có nhiệt độ nóng chảy cao. Bạch kim dẻo, dễ tạo hình nên dễ dàng kéo sợi nhỏ mảnh, thường dùng trong các thiết bị đo có độ nhạy cao, dùng để mạ tiếp điện hoặc chân các điện cực. Bạch kim được dùng làm các nhiệt kế điện, các cặp nhiệt điện làm việc ở nhiệt độ cao lên tới 1600°C . Sợi chỉ bạch kim có đường kính $0,001\text{nm}$ dùng để treo các hệ thống di động của đồng hồ đo điện và các dụng cụ có độ nhạy cao.

- Pladi là kim loại quý hiếm có tính chống ăn mòn cao, nhiệt độ nóng chảy cao. Pladi dễ tạo hình (giống như bạch kim) và mạ điện được. Bề ngoài Pladi giống như bạch kim. Pladi được dùng để mạ các tiếp điểm, chân linh kiện, làm role điện thoại. Dùng pladi kinh tế hơn bạch kim.

1.3.4.2. Chất dẫn điện có điện trở suất cao.

Các hợp kim có điện trở suất cao dùng để chế tạo các dụng cụ đo điện, các điện trở, biến trở, dây mayso, các thiết bị nung nóng bằng nhiệt. Các hợp kim thường dùng yêu cầu phải có hệ số nhiệt α nhỏ. Thông thường, các hợp kim được sử dụng phổ biến là hợp kim của đồng.

- Hợp kim Manganin ($86\%\text{Cu} + 40\%\text{Mn} + 2\%\text{Ni}$). Hợp kim này có điện trở suất $\rho=(0,42\div 0,52)\mu\Omega\cdot\text{m}$, hệ số nhiệt $\alpha = -0,00005\text{K}^{-1}$, nhiệt độ nóng chảy $t^{\circ}=1200^{\circ}\text{C}$, tỷ trọng $8,4\cdot 10^3\text{ kg/m}^3$. Manganin có sắc vàng, có thể dễ dàng kéo sợi, dát mỏng đến $0,1\text{mm}$. Manganin dùng trong các dụng cụ đo điện, các điện trở mẫu.

- Hợp kim Constantan ($60\%\text{Cu} + 40\%\text{Ni} + 1\%\text{Mn}$) . Hợp kim này có điện trở suất $\rho=(0,48\div 0,52)\mu\Omega\cdot\text{m}$, hệ số nhiệt $\alpha = -0,00005\text{K}^{-1}$, nhiệt độ nóng chảy $t^{\circ}=1270^{\circ}\text{C}$, tỷ trọng $8,9\cdot 10^3\text{ kg/m}^3$. Constantan có thể kéo sợi nhỏ, mảnh, và dát mỏng như Manganin. Constantan được dùng để chế tạo điện trở, biến trở, các thiết bị đốt nóng bằng điện khi nhiệt độ nhỏ hơn 500°C

- Cacbon(C): có hai loại kết tinh là graphit và kim cương. Graphit(than chì) có dạng bền ở nhiệt độ phòng. Than chì tự nhiên có điện trở suất cao dùng để chế tạo điện trở, biến trở. Bột than chì được dùng làm điện trở thay đổi áp lực âm thanh, làm bộ phóng điện cho các mạng lưới điện thoại. . .

1.4 Chất bán dẫn

1.4.1 Khái niệm

Chất bán dẫn là vật chất có điện trở suất nằm giữa trị số điện trở suất của chất dẫn điện và chất điện môi khi ở nhiệt độ phòng. Điện trở suất của chất bán dẫn nằm trong khoảng $\rho = 10^{-6} \div 10^8 \mu\Omega.m$

Trong tự nhiên chất bán dẫn có khá nhiều. Theo bảng hệ thống tuần hoàn của Mendeleev có: Bo, Indi, Gali ở nhóm 3, Silic, Gemarni ở nhóm 4, Selen, Lru huỳnh ở nhóm 6, Asen ở nhóm 5. . .

Trong kỹ thuật điện tử chỉ sử dụng một số chất bán dẫn có cấu trúc đơn tinh thể. Đặc điểm của cấu trúc mạng tinh thể bán dẫn là độ dẫn điện của nó rất nhỏ khi ở nhiệt độ thấp và tăng theo quy luật lũy thừa với sự tăng của nhiệt độ và tăng gấp bội khi có trộn thêm tạp chất. Đặc điểm cơ bản của chất bán dẫn là độ dẫn điện phụ thuộc vào nhiệt độ môi trường, nồng độ tạp chất, ngoài ra còn phụ thuộc vào ánh sáng, bức xạ ion hoá. .

Phổ biến và quan trọng nhất là hai chất Silic và Germani còn các chất như Bo, Nhôm Phốt pho, Asen chỉ dùng pha tạp thêm vào chất bán dẫn chính tạo nên bán dẫn pha tạp.

1.4.2. So sánh nguyên tử chất dẫn điện và chất bán dẫn.

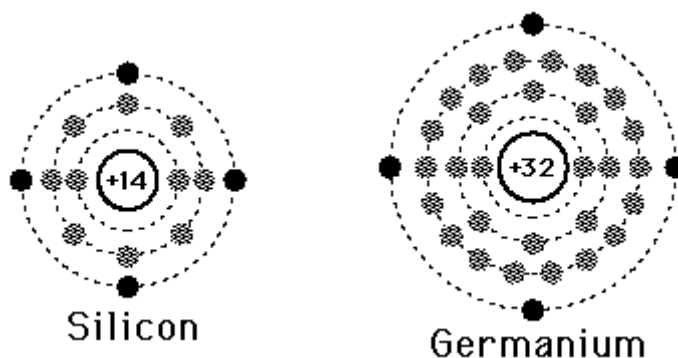
Trong cấu trúc của nguyên tử silic, lõi của nguyên tử silic mang điện tích +4 (14 proton và 10 điện tử), còn trong cấu trúc của nguyên tử đồng, lõi của nguyên tử đồng mang điện tích +1 (29 proton và 28 điện tử). Điện tử hoá trị của nguyên tử đồng chịu một lực hút +1 và điện tử hoá trị của nguyên tử silic chịu một lực hút +4. Hơn nữa, điện tử hoá trị của nguyên tử đồng ở lớp thứ tư còn điện tử hoá trị của nguyên tử silic ở lớp thứ ba. Do đó điện tử hoá trị trong nguyên tử đồng có năng lượng lớn hơn các điện tử hoá trị trong

nguyên tử silic. Điều đó có nghĩa là điện tử hoá trị của nguyên tử đồng dễ dàng nhận năng lượng ngoài để trở thành điện tử tự do hơn điện tử hoá trị của nguyên tử silic.. Trong thực tế, một lượng lớn điện tử hoá trị của nguyên tử đồng đã đủ năng lượng để trở thành điện tử tự do được thể hiện ở đoạn chồng nhau của vùng hoá trị và vùng dẫn trong đồ thị cấu trúc vùng năng lượng.

1.4.3 Silic và Gemani.

Hình 1-2 là cấu trúc nguyên tử của Silic và Gemani. Silic và Gemani đều có 4 điện tử hoá trị. Silic là vật liệu được sử dụng rộng rãi để chế tạo nên diode, transisto, mạch tích hợp và các linh kiện bán dẫn khác.

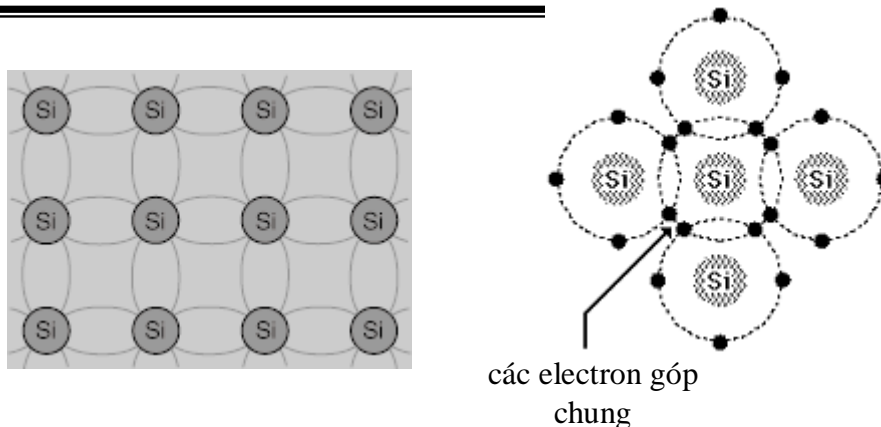
Các điện tử hoá trị trong nguyên tử gemani ở lớp thứ tư còn điện tử hoá trị của nguyên tử silic ở lớp thứ ba, gần hạt nhân hơn. Có nghĩa là các điện tử hoá trị trong nguyên tử gemani có mức năng lượng cao hơn trong nguyên tử silic, do đó chỉ cần một năng lượng nhỏ thì điện tử hoá trị của nguyên tử gemani sẽ trở thành điện tử tự do. Điều này làm cho gemani không ổn định ở nhiệt độ cao, đây là lý do tại sao silic là vật liệu bán dẫn được sử dụng rộng rãi.



Hình 1.2. Cấu trúc nguyên tử của Silic và Gemani

1.4.4 Liên kết cộng hoá trị.

Silic và gemani có cấu trúc mạng tinh thể, nghĩa là mỗi nguyên tử silic (hoặc gemani) liên kết với bốn nguyên tử xung quanh theo liên kết cộng hoá trị.

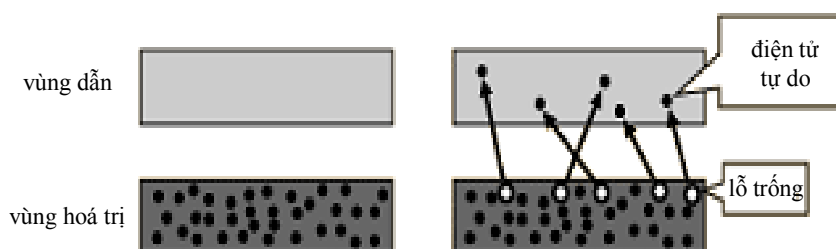


Hình 1.3. Cấu trúc mạng tinh thể và liên kết cộng hoá trị trong Si.

1.4.5 Tính dẫn điện trong các chất bán dẫn.

1.4.5.1 Lỗ trống và điện tử dẫn điện

Tinh thể silic thuần (tinh khiết) ở nhiệt độ phòng nhận được một năng lượng (nhiệt, ánh sáng) từ môi trường ngoài, làm cho một số điện tử hoá trị được tăng năng lượng và nhảy mức từ vùng hoá trị lên vùng dẫn, trở thành điện tử tự do và gọi là điện tử dẫn điện. Khi điện tử nhảy lên vùng dẫn để lại một khoảng trống ở vùng hoá trị và gọi là lỗ trống. Do đó khi có năng lượng ngoài kích thích thì tạo nên một cặp điện tử-lỗ trống. Sự tái hợp xuất hiện khi điện tử ở vùng dẫn bị mất năng lượng và quay trở về lỗ trống trong vùng hoá trị.

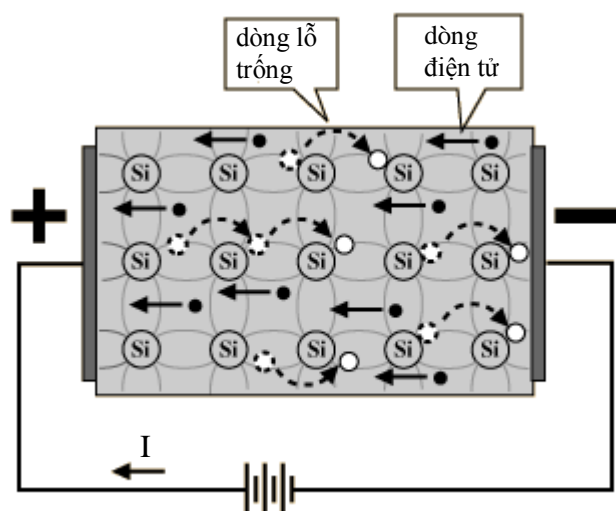


Hình 1.4. Quá trình tạo ra cặp điện tử tự do - lỗ trống trên đồ thị vùng năng lượng.

1.4.5.2 Dòng lỗ trống và điện tử.

Khi có một điện áp đặt vào mảnh silic thuần, thì các điện tử tự do sẽ chuyển động về phía cực dương của nguồn, và được gọi là dòng điện tử.

Một dòng khác xuất hiện ở vùng hoá trị đó là dòng lỗ trống. Các electron còn lại trong vùng hoá trị vẫn liên kết với hạt nhân không tự do di chuyển trong tinh thể như các electron tự do. Tuy nhiên, một electron hoá trị có thể di chuyển đến một lỗ trống gần đó với sự thay đổi mức năng lượng nhỏ và nó để



Hình 1.5. Dòng điện tử và dòng lỗ trống.

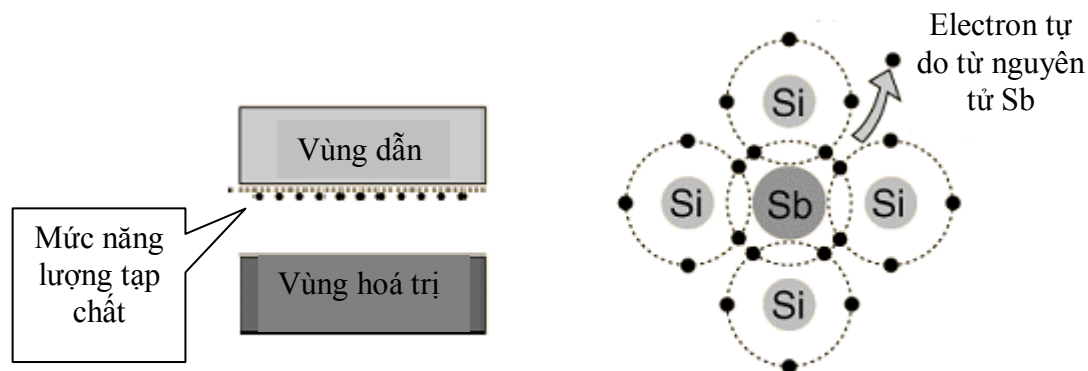
lại một lỗ trống mới. Thực tế, lỗ trống có thể di chuyển trong cấu trúc tinh thể và gọi là dòng lỗ trống.

1.4.6 Chất bán dẫn loại P và loại N

Độ dẫn điện của Silic và Germani có thể tăng mạnh bằng cách thêm tạp chất vào vật liệu bán dẫn thuần, tức là làm tăng số hạt dẫn điện (điện tử hoặc lỗ trống) và vì vậy tăng độ dẫn điện. Có hai chất bán dẫn tạp chất đó là loại N và loại P.

1.4.6.1 Chất bán dẫn loại N.

Để tăng số electron ở vùng dẫn trong tinh thể silic thuần người ta thêm các nguyên tử có hoá trị V, tức là có 5 điện tử hoá trị. Ví dụ như các nguyên tử As(asen), P(phốtpho), Bi(bitmut), Sb(antimon).



Hình 1.6. Đồ thị vùng năng lượng và cấu trúc mạng tinh thể của chất bán dẫn loại N.

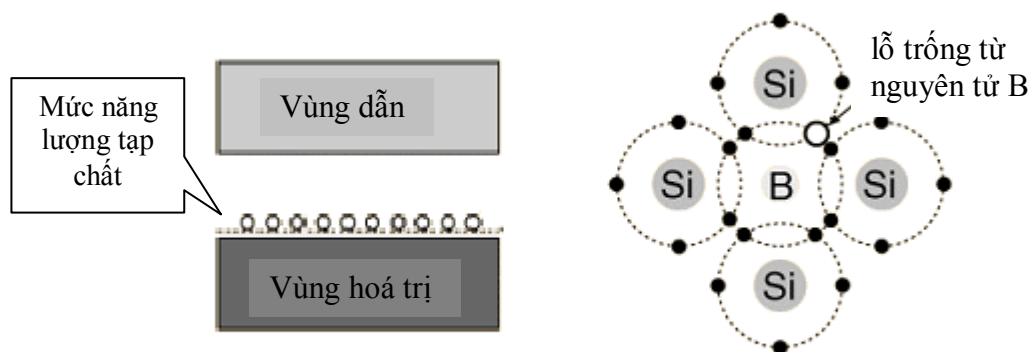
Như minh họa ở hình 1-6 mỗi nguyên tử tạp chất (ví dụ là Sb) liên kết cộng hoá trị với 4 nguyên tử silic xung quanh. Bốn electron hoá trị của nguyên tử Sb tham gia vào liên kết cộng hoá trị với các nguyên tử Silic còn một electron không tham gia vào liên kết. Electron này trở thành electron dẫn điện bởi vì nó không gắn với nguyên tử nào. Nguyên tử tạp chất cho electron nên gọi là nguyên tử đono. Số lượng electron dẫn điện có thể thay đổi được bằng cách thay đổi số nguyên tử tạp chất pha tạp vào. Electron dẫn điện được tạo ra do sự pha tạp nhưng lại không tạo ra lỗ trống ở vùng hoá trị.

Việc làm sai hỏng mạng tinh thể chất bán dẫn thuần bằng tạp chất đono tương ứng với việc làm xuất hiện trong vùng cấm của bán dẫn này những mức năng lượng cục bộ nằm sát đáy vùng dẫn. Những mức năng lượng này gọi là những mức đono. Khoảng cách từ đáy vùng dẫn đến mức đono nhỏ hơn nhiều độ rộng vùng cấm, bởi vậy năng lượng cần thiết để điện tử nhảy từ mức đono lên vùng dẫn (năng lượng ion hoá) nhỏ hơn nhiều năng lượng cần thiết để đưa điện tử từ vùng hoá trị lên vùng dẫn. Điều này một lần nữa giải thích tại sao trong chất bán dẫn loại N thành phần dòng điện chủ yếu là điện tử.

Trong chất bán dẫn N dòng điện được tạo ra do phần lớn các electron nên các electron được gọi là hạt đa số. Nhưng cũng có một số các lỗ trống tham gia vào quá trình dẫn điện khi cặp điện tử- lỗ trống được tạo ra do hiện tượng nhiệt (các lỗ trống này không được tạo ra do sự pha tạp). Các lỗ trống này được gọi là hạt thiểu số.

1.4.6.2 Chất bán dẫn loại P

Để tăng số lỗ trống trong tinh thể silic thuần người ta thêm các nguyên tử có hoá trị III, tức là có 3 điện tử hoá trị. Ví dụ như các nguyên tử Al(nhôm), B(Bo), In(Indi), Ga(Gali).



Hình 1.7. Đồ thị vùng năng lượng và cấu trúc mạng tinh thể của chất bán dẫn loại P.

Như minh hoạ ở hình 1-7 mỗi nguyên tử tạp chất (ví dụ là B) liên kết cộng hoá trị với 4 nguyên tử silic xung quanh. Ba electron hoá trị của nguyên tử B tham gia vào liên kết cộng hoá trị với các nguyên tử Silic mà do cần bốn electron hoá trị nên một lỗ trống được tạo ra. Bởi vì nguyên tử tạp chất có thể nhận electron nên gọi là nguyên tử acceptor. Số lượng lỗ trống có thể thay đổi được bằng cách thay đổi số nguyên tử tạp chất pha tạp vào. Lỗ trống được tạo ra do sự pha tạp không phụ thuộc vào điện tử tự do.

Tương tự như chất bán dẫn loại N, trong chất bán dẫn loại P việc làm sai hỏng mạng tinh thể chất bán dẫn thuần bằng tạp chất acceptor tương ứng với việc làm xuất hiện trong vùng cấm của bán dẫn này những mức năng lượng cục bộ nằm sát đỉnh vùng hoá trị. Những mức năng lượng này gọi là những mức acceptor. Bởi vậy chỉ cần một năng lượng nhỏ (năng lượng ion hoá) cũng có thể làm cho điện tử nhảy vùng hoá trị lên các mức acceptor, làm cho nguyên tử tạp chất ion hoá trở thành ion âm đồng thời làm xuất hiện các lỗ trống trong vùng hoá trị.

Trong chất bán dẫn P dòng điện được tạo ra do phần lớn các lỗ trống nên các lỗ trống được gọi là hạt đa số. Nhưng cũng có một số các electron tham gia vào quá trình dẫn điện khi cặp điện tử- lỗ trống được tạo ra do hiện tượng nhiệt (các electron này không được tạo ra do sự pha tạp). Các electron này được gọi là hạt thiểu số.

1.4.7 Dòng điện trong chất bán dẫn

Trong chất bán dẫn có hai thành phần dòng điện là dòng điện khuếch tán và dòng điện trôi.

1.4.7.1 Dòng điện khuếch tán

Nếu nồng độ hạt dẫn trong các vùng khác nhau của chất bán dẫn không đồng đều thì nồng độ lỗ trống sẽ thay đổi khoảng cách x trong chất bán dẫn và ở đó tồn tại một gradient nồng độ hạt dẫn dp/dx . Sự tồn tại gradient này có nghĩa là mật độ lỗ trống tức thời ở một phía của bề mặt lớn hơn nhiều so với mật độ ở phía bên kia của mặt tiếp xúc. Các lỗ trống sẽ đi qua bề mặt đó từ phía có nồng độ cao hơn sang phía có nồng độ thấp hơn. Sự vận chuyển điện tích này qua một bề mặt tạo nên một dòng điện chạy trong chất bán dẫn, gọi là dòng điện khuếch tán. Sự vận chuyển điện tích này không phải là kết quả của sự đẩy nhau của các điện tích cùng dấu mà nó giống như kết quả của hiện tượng jthống kê. Hiện tượng khuếch tán tạo nên mật độ dòng lỗ trống $J_p(\text{ampe}/\text{m}^2)$ tỷ lệ thuận với gradient nồng độ của nó.

$$J_p = -eD_n dn/dx$$

Trong đó D_n là hệ số khuếch tán của điện tử

Hiện tượng khuếch tán và di chuyển (hiện tượng trôi) đều là các hiện tượng nhiệt thống kê.

4.7.1 Dòng điện trôi

Là dòng di chuyển của các hạt dẫn dưới tác dụng của điện trường :

$$J = \sigma E = q(n\mu_n + p\mu_p)E$$

Vậy, trong chất bán dẫn tồn tại hai thành phần dòng điện là dòng khuếch tán được tạo nên do sự tồn tại các gradient nồng độ hạt dẫn đa số và dòng điện trôi được tạo nên do hiện tượng chuyển dịch các hạt dẫn dưới sự tác dụng của điện trường.

1.4.8 Đặc điểm của vật liệu quang bán dẫn

Chất bán dẫn được dùng để tạo nguồn ánh sáng cần phải có vùng cấm tái hợp trực tiếp. Trong chất bán dẫn các điện tử và lỗ trống có thể tái hợp trực tiếp với nhau qua vùng cấm mà không cần một hạt thứ 3 nào để bảo toàn xung lượng. Chỉ trong các vật liệu có vùng cấm trực tiếp, hiện tượng tái hợp bức xạ mới có hiệu suất cao để tạo ra một mức độ phát xạ quang thích hợp. Mặc dù không có một đơn tinh thể bán dẫn nào có vùng dẫn tái hợp trực tiếp nhưng các hợp chất của các chất thuộc nhóm 3 và nhóm 5 có thể cho ra vật liệu có vùng cấm tái hợp trực tiếp. Đây là các vật liệu được tạo nên từ sự liên kết của các nguyên tố nhóm 3 và các nguyên tố nhóm 5. sự liên kết này tạo ra các vật liệu thích hợp cho các nguồn sáng.

CHƯƠNG 2: LINH KIỆN THỤ ĐỘNG

2.1 Điện trở.

2.1.1 Khái niệm

Ôm trở là linh kiện dùng để ngăn cản dòng điện đi trong mạch.

- Khi nối trong mạch:



- Ôm và các đơn vị của nó: Ohm, Kilo Ohm, Mega Ohm hay (tên gọi khác của đơn vị là Ohm, Kilo Ohm, Mega Ohm)...

$$1M = 10^3K = 10^6$$

* Các tham số kỹ thuật đặc trưng của điện trở

Điện trở và các đơn vị của nó phụ thuộc vào các tham số của nó. Các tham số gồm có:

- Trễ điện trở và dung sai

+ Trễ của điện trở là tham số quan trọng, và yêu cầu trễ của điện trở phải ổn định, thay đổi theo nhiệt độ, ẩm độ, v.v... Trễ của điện trở phụ thuộc vào vật liệu của điện trở, vào kích thước của điện trở và nhiệt độ môi trường.

Trễ của điện trở được biểu diễn bằng phần trăm và các bậc số của nó. Giá trị của điện trở thường dao động điện môi chịu hoặc tính số thập phân.

+ Dung sai hay sai số của điện trở. Dung sai biểu thị phần trăm chênh lệch của trị số thực tế của điện trở so với trị số danh nghĩa và được tính theo %.

Dung sai được tính theo công thức:

$$\frac{R_{t.t} - R_{d.d}}{R_{d.d}} \cdot 100 \%$$

Trong đó $R_{t.t}$: Trị số thực tế của điện trở

$R_{d.d}$: Trị số danh nghĩa của điện trở

Dựa vào dung sai ta chia điện trở thành 5 cấp chính xác:

Cấp 005 : sai số 0,5%

Cấp 01 : sai số 1%

Cấp I : sai số 5%

Cấp II : sai số 10%

Cấp III : sai số 20%

Trong cyclic mạch điện yếu cần tránh hiện tượng xảy ra cao nhiệt độ mạch điện tử cấp 005 và 01. Cần trong mạch điện tử dùng ng- vật ta dùng cyclic loại tránh nhiệt độ cấp I tránh cấp III. Cyclic tránh nhiệt độ tránh hiện tượng xảy ra càng cao càng có giá thành cao.

- Công suất tiêu thụ cho phép: (P_{ttmax})

Khi có dòng điện chạy qua, điện trở tiêu thụ năng lượng điện để biến đổi thành nhiệt năng công suất là:

$$P_{tt} = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R} [W]$$

Công suất tiêu thụ cho phép của điện trở P_{ttmax} là công suất điện cao nhất mà điện trở có thể chịu được ở nhiệt độ, nếu quý mạch tránh điện trở sẽ nóng chảy và hỏng mạch.

$$P_{ttmax} = R \cdot I_{max}^2 = \frac{U_{max}^2}{R} [W]$$

Với yêu cầu điều kiện làm việc cho điện trở làm việc bình thường thì $P_{tt} < P_{ttmax}$. Qua công thức trên ta thấy công suất tiêu thụ cho phép hình thành giá trị tránh cấp và giá trị dòng điện cấp. Do đó tùy theo tránh cấp và dòng điện qua tránh điện trở hay nhiệt mà số dòng điện tránh công suất tiêu thụ cho phép lớn hay nhỏ

- Hệ số nhiệt của tránh điện trở (TCR)

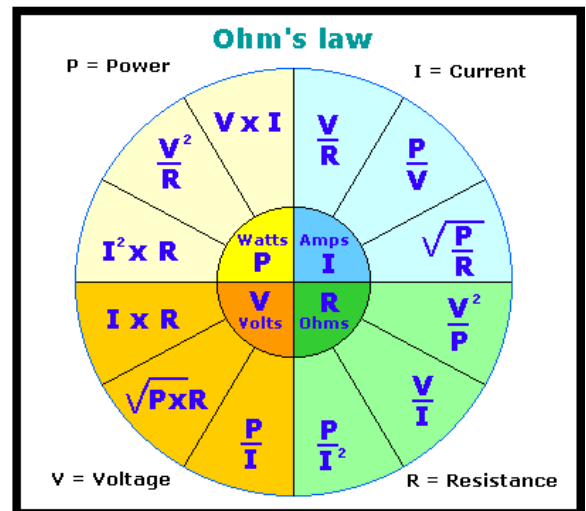
Hệ số nhiệt của tránh điện trở biểu thị sự thay đổi trở kháng của tránh điện trở theo nhiệt độ môi trường và ảnh hưởng theo công thức:

$$TCR = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} \cdot 10^6 [ppm/^{\circ}C]$$

Trong đó R- là trở kháng của tránh điện trở

TCR: là ảnh hưởng thay đổi của trở kháng tránh điện trở khi nhiệt độ thay đổi một lượng là

TCR: là trở kháng biểu thị ảnh hưởng của nhiệt độ theo phần trăm của tránh điện trở trên 1°C (vì 1°C là ppm/°C).



H×nh 1.1 § Đnh luật «m ,p đông cho ®Iôn tr÷

2.1.2 Phân loại

a. Phân loại theo cấu tạo.

- Ôi trở thẳng thừng (khăng dây quấn)
- Ôi trở dây quấn làm bằng dây căng tantan (ăi trở thộp) hay nicrôm (ăi trở cao)

b. Phân loại theo cấp sai số

- Loại mức sai số cho phép là 5% ở các dòng công suất nhỏ và công suất tăng cao để đảm bảo chính xác của chế tạo.
- Loại hai mức sai số cho phép là 10%.
- Loại ba mức sai số cho phép là 20% dòng công suất nhỏ để đảm bảo chính xác của chế tạo như các mức khác.

Trong thực tế khi sản xuất mức sai số loại ăi trở nhỏ nhất, khi yêu cầu các ăi trở khác nhau cần ghép song song hay nối tiếp các ăi trở.

Khi có hai hay nhiều ăi trở R_1, R_2, \dots, R_n mắc nối tiếp nhau thì ăi trở tổng R bằng tổng các ăi trở riêng rẽ.

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Khi có hai hay nhiều ăi trở R_1, R_2, \dots, R_n mắc song song nhau thì ăi trở tổng R là công thức:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

2.1.3 Cấu tạo điện trở

Ôi trở thẳng thừng (khăng dây quấn): thừng ăc làm bằng than hay các chất đặc biệt khác để ăi. Các chốt để ăi này bao bọc bên ngoài mức bằng sứ hoặc lớp bọc bảo vệ theo ăng rỗng xoắn để xung quanh (ăi trở mốt), hoặc công ăc để thành ăi trở (ăi trở khố). Loại này có kích thước nhỏ ăi trở và ăi trở dung nạp tyn như giấy thành rở nh- ng ăấn ănh kôm và căng suốt tiêu chuẩn.



Từ 1/8W
trở lại 1/4W
xuống 1/2W

Ôi nh tr đ dây qu n làm bằng dây c ng tanton (ăi nh tr đ th p) hay nicrôm (ăi nh tr đ cao) qu n tr n m đ đ ng b ng s đ Ôi nh tr đ ă- đ bao ph đ b ng m đ l p men màu nâu hay xanh. Ôi nh tr đ dây qu n c đ- u ăi m là ă đ n ă đ n và ă đ ch đ n x y c cao, m đ t đ âm b đ c ng su t ti u th đ l đ n nh- ng c đ n- đ ăi m là b đ gi đ h đ n v đ t đ n s đ do ăi nh c đ n và ăi nh dung t đ t y n l đ n.

- Chi đ đ y đ dây qu n: c đ t đ t- đ ng t đ n- ăi nh tr đ dây qu n bi đ n ă đ i. Con ch đ y b ng kim lo đ n đ v đ tr đ tr- đ ho đ c tr đ quay và tr- đ tr n c y c v đ ng đ y. Chi đ đ y đ dây qu n c đ gi y tr đ hay ă đ i trong kho đ ng (1- 200)K đ đ ng su t kho đ ng (3-5)W. Chi đ đ y đ dây qu n th- đ ng ă- đ đ đ ng trong c y c m đ ch c ng su t l đ n.

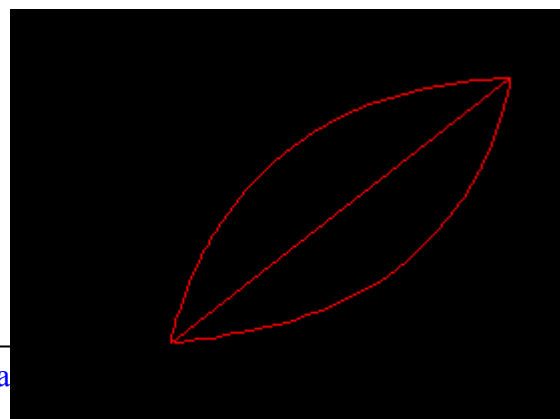
- Chi đ đ y đ than h đ n h đ p :

L đ p v đ t li đ u h đ n h đ p ă- đ đ ph đ l n tr n t đ m đ đ h đ n m đ ng ng đ đ, hai ă đ u c đ ph đ m đ l p b đ c n đ v đ ch n ra. Chi đ đ y đ than h đ n h đ p c đ ph đ n vi bi đ n ă đ i gi y tr đ trong kho đ ng (10 đ đ 0M đ đ c ng su t kho đ ng (0,1-2W). Chi đ đ y đ ăi nh tr đ bi đ n ă đ i tuy đ n t đ n.

trong h đ n, bi đ n tr đ đ ph đ ngoài c đ ng(ph đ đ tr y i) là chi đ đ y đ, th- đ ng ă- đ đ s đ đ đ ng ă đ ăi u kh i đ n âm l- đ ng radio, ti vi. Lo đ bi đ n tr đ này r đ đ ăi u ch đ n và ă- đ đ s đ đ ng ph đ t bi đ n. 4 bi đ n tr đ đ gi đ a là bi đ n tr đ semi fixed, lo đ này th- đ ng ă- đ đ s đ đ ng trong c y c m đ ch ma th ng s đ th- đ ng ph đ thay ă đ i ho đ c hi đ u ch đ n, th ng th- đ ng ch đ ng ă- đ đ h n c đ ăi nh đ



Hình 1.3. Một số loại chiết áp



phải trong bo mạch in, không ăi u khi ợn tr ợc ti ếp bằng tay khi s ố d ợng. 2 bi ến tr ợc
ph ải tr ợc ă- ợc g ợc là bi ến tr ợc trimmer.



là k ợc hi ệu c ủa bi ến tr ợc

C ợc hai c ợc ợc thay ă ợc tr ợc c ủa bi ến tr ợc ph ợc thu ợc vào vi ợc quay bi ến tr ợc
V ợc bi ến tr ợc c ợc ợc t ợc t ợc ă ợc u ợc ch ợc ki ợc A, th ợc ợc ti ếp gi ợc tr ợc ợc thay ă ợc ch ợc,
khi quay ă- ợc m ợc n ợc chu k ợc th ợc gi ợc tr ợc ợc s ợc thay ă ợc nhanh h ợc. Ớy ch ợc là
ă ợc t ợc c ủa chi ợc ợc. V ợc bi ến tr ợc c ợc ợc t ợc ă ợc u ợc ch ợc ki ợc B, s ợc thay ă ợc gi ợc tr ợc
c ủa bi ến tr ợc t ợc ợc thu ợc v ợc g ợc quay. G ợc quay c ợc ợc l ợc tr ợc c ủa bi ến tr ợc c ợc ợc l ợc.

Bi ến tr ợc c ợc ợc t ợc ă ợc u ợc ch ợc ki ợc C, th ợc ợc v ợc ki ợc A, ngh ợc là n ợc v ợc quay
ă ợc tr ợc ợc ợc tr ợc thay ă ợc r ợc nhanh, nh- ng ợc n ợc v ợc quay sau th ợc ợc thay ă ợc tr ợc
s ợc c ủa bi ến tr ợc ợc r ợc ch ợc. Lo ợc bi ến tr ợc n ợc ợc ă- ợc s ợc d ợc h ợc.

2.1.4 Cách đọc giá trị, kiểm tra điện trở

C ợc ợc ợc tr ợc c ủa ă ợc tr ợc tu ợc thu ợc vào c ợc bi ợc di ợc ă ợc tr ợc

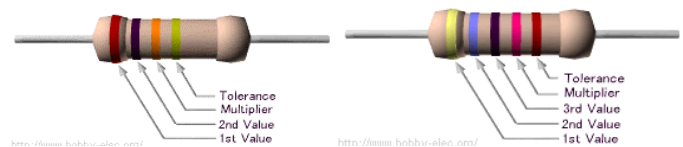
2.1.4.1. Biểu thị bằng số và chữ.

Th- ợc ợc ghi c ợc ch ợc R, K, M. Ch ợc R ợc ợc ă ợc v ợc ch ợc K ợc ợc ă ợc v ợc
K ợc ch ợc M ợc ợc ă ợc v ợc M ợc tr ợc c ủa ch ợc ợc hi ợc ch ợc s ợc th ợc phân , gi ợc tr ợc c ủa s ợc
th ợc hi ợc gi ợc tr ợc ợc tr ợc

V ợc ợc 3M3 ợc = 3,3 M ợc

3K9 ợc = 3,9 K ợc

R47 ợc = 0,47 ợc



N ợc c ợc ch ợc s ợc th ợc ợc ợc s ợc th ợc ợc ợc bi ợc th ợc ợc u ợc th ợc c ủa 10.

V ợc ợc 472R ợc .10² ợc

Ớc bi ợc ch ợc s ợc th ợc ợc ợc s ợc 0 th ợc ợc là gi ợc tr ợc ợc c ủa ă ợc tr ợc

V ợc ợc 330R ợc 30 ợc

Quy - ợc v ợc sai s ợc B = 0,1%, C = 0,25%, D = 0,5%, F = 1%, G = 2%, H = 2,5%, J = 5%, K = 10%, M = 20%.

V ợc ợc 8K2J ợc 2K ợc %

2.1.4.2. Biểu thị giá trị số điện trở bằng các vòng màu.

Th- ợc ợc d ợc 3 v ợc, 4 v ợc hoặc 5 v ợc ợc bi ợc di ợc. C ợc quy ă ợc m ợc ă ợc
v ợc ă ợc tr ợc v ợc m ợc nh- sau:

Tr- ợc ợc h ợc ă ợc tr ợc 3 v ợc m ợc c ợc sai s ợc 20%

Vòng 1, 2 là vòng giy tr

Vòng 3 là vòng biou th lu th a c a 10.

Tr- hng h p ai tr 4 vng màu:

Vòng 1, 2 là vòng giy tr

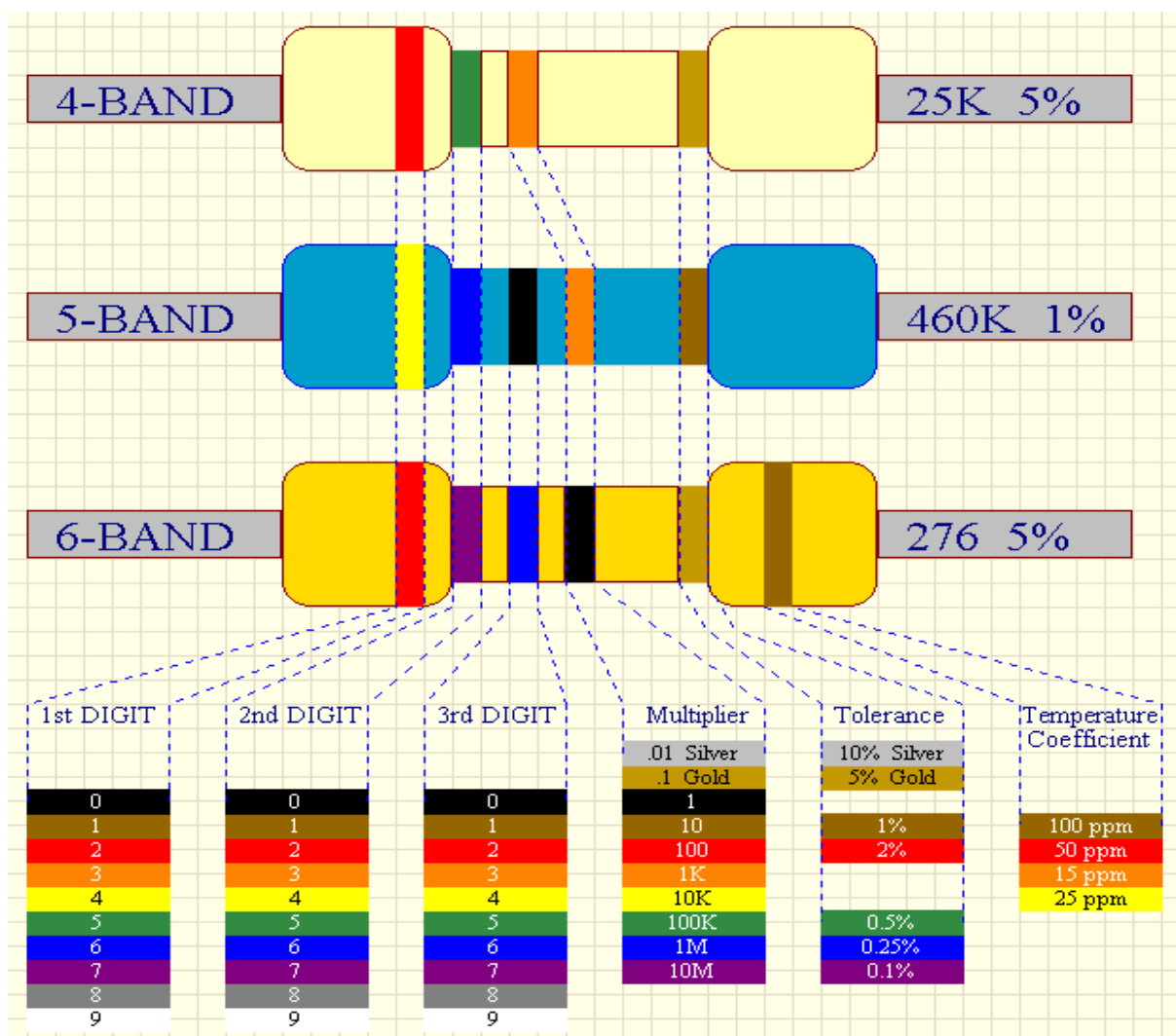
Vòng 3 là vòng biou th lu th a c a 10.

Vòng 4 là vòng sai s

Tr- hng h p ai tr 5 vng màu g m 3 vng giy tr, vng 4 biou th lu th a c a 10, vng 5 biou th sai s

Ôy xyc ai th t vng màu c n vào ba đc ai qm:

- Vòng 1 g h ai ai tr nh t.
- Ti di h vng cu c hng là l h nh t.
- Vòng 1 khng bao gi là nh vàng, nh b c.



Bảng Quy định về vòng màu điện trở

2.1.5 Một số loại điện trở đặc biệt

a. Điện trở băng

Ôi nh tr bng c đ n g l à ãi nh tr m hng, ã- c t c thành b s k h p c ã nhi u ãi nh tr c c hng tr s ch hng ã- c n chung chân v i nhau. Ôi nh tr bng th- hng ã- c s d hng ã b v cho c y c ãn led 7 thanh. Trong h nh d- i ãy là m h nh c ã m ãi nh tr bng g m 8 ãi nh tr ã- c m c v i nhau thành m i kh i, m i chân t- hng hng v i m i ãi nh tr chân th 9 là chân chung



<http://www.hobby-elec.org/>

Hình Điện trở băng

b. Quang trở

Là m i ãi nh tr c tr s ãi nh tr thay ãi khi ynh s yng t y c d hng vào thay ãi. ynh s yng chi u vào càng m h, ãi nh tr c ã n càng nh. Ng- i ta c đ n g ã quang tr ã là c m bi nh quang.

H nh b n là m i quang tr khi c ynh s yng t y c d hng n c tr s kho hng 200Ω, khi kh ng c ynh s yng t y c d hng (tr i t i) th tr s c ã n t ng l n kho hng 2MΩ. Quang tr th- hng ã- c s d hng trong c y c b ãi u khi n b t ãn t ã hng khi tr t c ã c y c xe ã t t.



<http://www.hobby-elec.org/>

c. Điện trở nhiệt- Thermistor

Là ãi nh tr c tr s thay ãi khi nhi ã ã m i tr- hng thay ãi. Ôi nh tr nhi ã c đ n ã- c g ã là c m bi nh nhi ã.

C n nhi u lo ãi nh tr nhi ã.

- Nhi ã tr ãm (NTC- Negative Temperature Coefficient Thermistor): Ôi nh tr g i n khi nhi ã ã t ng.



<http://www.hobby-elec.org/>

$$R = R_0 \cdot \exp B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)$$

R : The resistance value at the temperature T

- T : The temperature [K]
- R_0 : The resistance value at the reference temperature T_0
- T_0 : The reference temperature [K]
- B : The coefficient

- Nhiệt trở dương (PTC-Positive Temperature Coefficient Thermistor): Ôi trở tăng khi nhiệt độ tăng

2.1.6 ứng dụng

Ứng dụng của các cảm biến nhiệt độ: đo nhiệt độ, điều khiển động cơ, điều khiển tốc độ máy, điều khiển phân phối, làm trễ cho mạch cảm biến, chia áp, ổn định nguồn điện, v.v...

Tuỳ theo mạch cụ thể, yêu cầu cụ thể và đưa vào đặc tính của các loại cảm biến nhiệt độ để chọn cho thích hợp.

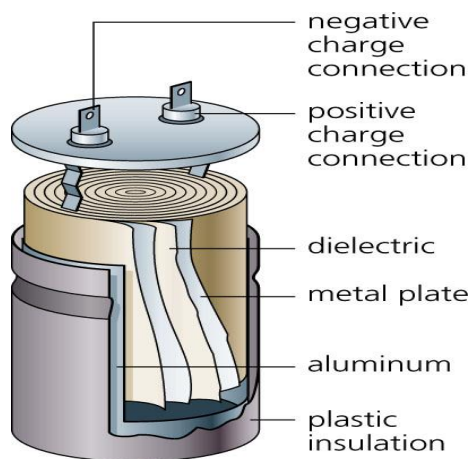
2.2 Tụ điện

2.2.1 Cấu tạo

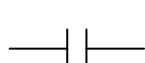
2.2.1.1 Ký hiệu, phân loại

Tụ điện là linh kiện có khả năng tích trữ năng lượng điện tích.

Cấu tạo chung gồm hai bản cực làm bằng kim loại đặt song song và cách điện bằng một lớp điện môi. Từ hai bản cực nối với hai dây dẫn ra ngoài làm hai chân tụ hoàn toàn bọc kín trong vỏ bảo vệ.



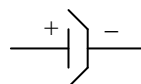
Khi có các trường hợp:



Tụ thông thường



Tụ có phân cực



Tụ có điện dung thay đổi.

Ợ đợc tr- ng cho kh ờn ờng ph ờng n ờp ời ờn t ờch c ờa t ờ ời ờn ng- ờ ta ờ- a ra kh ỳi ni ờn ời ờn dung. Ờn v ờo ời ờn dung là F (Fara), nF, pF...

$$1F = 10^6 nF = 10^{12} pF$$

2.2.1.2 Cấu tạo từng loại tụ điện

T ờc ờ gi ỳ tr ờc ờ ời ờn

a. T ờ gi ỳ:

Ch ờt c ỳch ời ờn trong t ờ gi ỳ làm b ờng nh ờng lo ờ gi ỳ m ờng c ỳch ời ờn kh ờng th ờm n- ờ c ờn ờ ờ ra làm b ờng c ỳc lý kim lo ờ r ờt m ờng.



Hình 1.4. Tụ điện

Ờn v ờ t ờ gi ỳ c ờ ời ờn dung nh ờ nh ờn 0,4 ời ờn tr ờ c ỳch ời ờn ờnh ờt là 5000M ờn v ờ t ờ gi ỳ c ờ ời ờn dung l ờn h ờn 0,1 ời ờn tr ờ c ỳch ời ờn nh ờ nh ờ. Ph ờm ch ờt c ờa t ờ gi ỳ vào kho ờng 60-100.

T ờ gi ỳ d ờng ờợ ph ờn ờ- ờng , ng ờn, n ờ t ờng, l ờc trong nh ờng m ờch ời ờn t ờn s ờ th ờp.

b. T ờ mica

Ch ờt c ỳch ời ờn trong t ờ mica làm b ờng c ỳc b ờn mica ch ờt lu ờng cao, c ỳc b ờn t ờ ời ờn làm b ờng c ỳc lý kim lo ờ m ờng hay m ờ l ờp b ờc m ờng tr ờng l ờn m ờ m ờt c ờa b ờn mica. T ờ ời ờn mica c ờ c ỳc b ờn làm b ờng lý kim lo ờ k ờm ờn ờ ờn h ờn lo ờ tr ờng m ờ l ờp b ờc.



Tụ mica có tần hao rất thấp và dải tần rộng (khoảng 10000 MHz) hầu như không có dòng chảy trong cực mạch cao tần, cực phân tích ly trong cực máy ra-đi-ô.

c. Tụ gốm

Cấu tạo: gốm mỏng ghép nhúng hoặc gióng khuy yếu hai mặt để trống bề, cực dải vùi nhau tạo thành hai mặt tiếp xúc (chốt dải mãi là gốm).



Hình 1.7 Tụ gốm

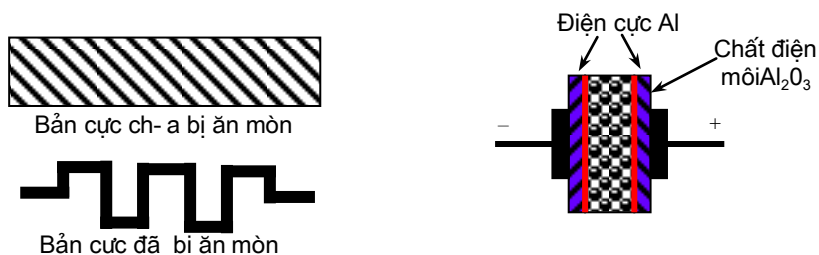
Ưu điểm: kích thước nhỏ dải ứng làm việc cao. Tụ gốm hầu như trở kháng dung nhỏ tới 1pF. Tụ gốm kích thước nhỏ dùng trong cực mạch thẳng tần hiện nay có dải ứng làm việc cao cho phép là 50 V.

d. Tụ hoả.

Tụ hoả có trở kháng dung rất lớn, số vòng cực tích hợp thường chỉ tới 0,1 vòng vài nghìn (4700). Chốt dải mãi dùng trong tụ hoả thường là hợp chất hoả học như Al_2O_3 hoặc oxit tantan Ta_2O_5 . Ưu điểm của chốt dải mãi này là có tính chất dải kháng rất thấp là khi đặt dải ứng mới chịu lần tiếp xúc mới chịu dải ứng rất cao và mới chịu dải ứng rất nhỏ do ảnh hưởng phân cực + và cực - và dải ghi trần thân tụ. Khi lắp vào trong mạch phân tích tần của tụ



- + Cơ cấu vào vết liềm làm ảnh hưởng: Tách nhôm và tách tantal
- + Cơ cấu vào chốt ảnh hưởng phân: Tách nhôm và tách -



Hình 1.8. Cấu tạo tụ ho,

Cấu tạo:

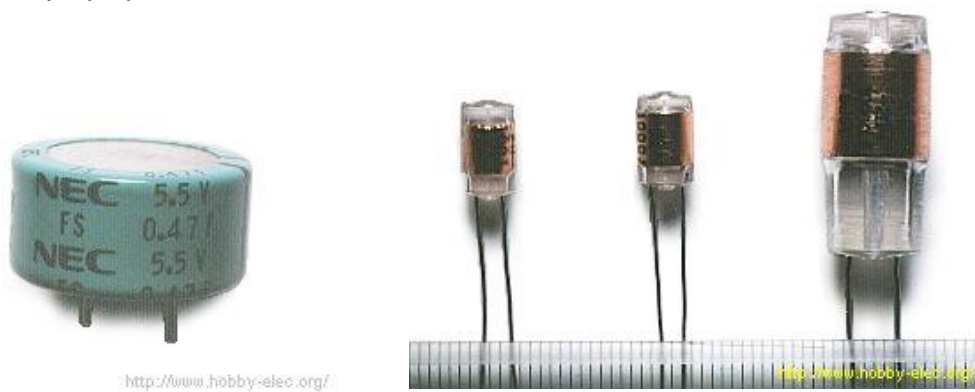
Cực ảnh hưởng làm bằng nhôm tinh khiết (99,99%), độ dày của ảnh hưởng khoảng (0.075 – 0.13) mm, độ rộng diện tích hình dạng có thể đồng hồ chốt đơn đơn để có thể thay đổi độ dày của hai bản cực. Lớp ảnh hưởng môi là Al_2O_3 bỹm trần của độ dày khoảng vài%, có khả năng chịu ảnh hưởng áp cao khoảng 800KV/mm. Giữa hai bản cực là chốt ảnh hưởng phân. Nếu chốt ảnh hưởng phân - là nhôm - là nhôm. Nếu chốt ảnh hưởng phân khác là nhôm khác. Chốt ảnh hưởng phân có nhiệm vụ tách và tiếp xúc của lớp Al_2O_3 trong quá trình làm việc. Tách nhôm - là nhôm và ảnh hưởng làm việc hình nhôm khác nh- ng kích thước hình. Tuổi thọ của tụ khoảng thời gian khoảng (5000- 10000) giờ và ảnh hưởng cốt thép hình nhôm.

- Tantalum



Hình : Tô tantan

Tụ polystyren



Hình tu Polystyrene Film

Tụ có giya thay đổi.

a. Tụ biến đổi (tụ xoay).

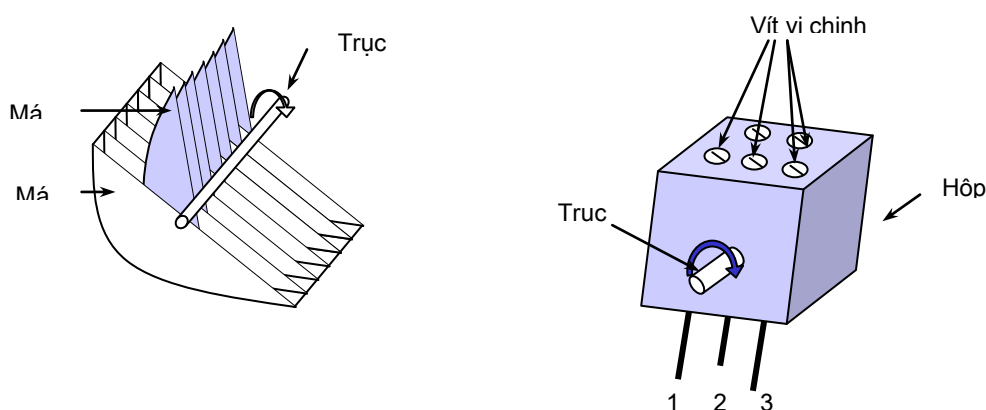


Hình 1.6. Tụ xoay

Tụ xoay là một hình thức ghép cực mỹ nghệ và cực mỹ tinh để đặt xen kẽ với nhau. Cực mỹ nghệ có thể xoay quanh một trục để thay đổi S để thay đổi giá trị C . Chốt điện môi có thể là chốt khảm mica, thạch anh. Khi $C = C_{max}$ thì hai nhôm mỹ tinh và nghệ hoàn toàn tiếp xúc nhau nghĩa là $S = S_{max}$.

Khi $C = C_{min}$ thì hai nhôm mỹ tinh và nghệ hoàn toàn lệch nhau nghĩa là $S = S_{min}$.

b. Cấu trúc:



Hình 1.7. Cấu tạo tụ xoay

Có nhiều loại cấu trúc:

+ Cấu trúc bằng sứ có kích thước nhỏ, cực có đầu vù điện cao.

+ Cấu trúc có lõi: gồm có hai bản cực kim loại, giữa hai bản là một chốt điện môi. Một bản có lỗ, bên kia bản có chốt điện môi. Khi ta vặn chỉnh để thay đổi diện tích tiếp xúc giữa hai bản cực do đó thay đổi dung lượng biến đổi. Loại này không ảnh hưởng đến giá trị.

+ Cấu trúc nhôm điện môi là hằng số điện môi cao nhất có thể đạt được cao nhất có thể.

Tụ này dùng để điều chỉnh chỉnh xác điện dung, mức độ thâm vào cực mặt dao động hay cực mặt có thể điều chỉnh để thay đổi dung lượng chỉnh.

2.2.2 Cách đọc giá trị, kiểm tra tụ điện

Cách để tra cứu là tra cứu vào cực biến điện tử.

2.2.2.1. Ghi bằng số và chữ

- Ghi bằng số và chữ: Chê K, Z, J, ... để chỉ giá trị μF ; chệ n, H để chỉ giá trị μF ; chệ M, m để chỉ giá trị μF . Với các chệ thợ hiện chệ số thập phân, giá trị của số thợ hiện giá trị điện.

- Ghi bằng cực con số hằng số theo chệ:

+ Nét cực con số kèm theo dấu chấm hay phẩy thập phân là \blacksquare , vị trí dấu phẩy (dấu chấm) thợ hiên chế số thập phân.

+ Nét cực con số không kèm theo dấu thập phân là pF và con số cuối cùng biểu thị số lũy thừa của 10. Đặc biệt số cuối cùng là số "0" thì con số đó là giá trị thực.

$$V\blacksquare\blacksquare 763 = 76 \times 10^3 \text{ pF}$$

$$160 = 160 \text{ pF}$$

Sai số	C	: \blacksquare ,25%	K	: \blacksquare 0%
	D	: \blacksquare ,5%	F	: \blacksquare %
	G	: \blacksquare %	M	: \blacksquare 0%
	J	: \blacksquare %	S	: \blacksquare 0%

$$V\blacksquare\blacksquare 102J = 10 \cdot 10^2 \blacksquare\% \text{ pF.}$$

1.2.2.2 Ghi bảng quy luật màu.

Khi tìm hiểu về các biểu diễn theo các vạch màu thì kỹ thuật các vạch màu cũng giống như các vạch điện trở của nó là pF.

Riêng các vị trí phân các thành phần về ghi trên thân nó

Bảng quy - các mã màu trên tìm hiểu

1st & 2nd Color Band	Value	Multiplier - Band 3	% Tolerance
BLACK	0	X1	± 20
BROWN	1	X10	
RED	2	X100	± 2
ORANGE	3	X1,000 (1K)	± 3
YELLOW	4	X10,000 (10K)	± 4
GREEN	5	X100,000 (100K)	± 5
BLUE	6	X1,000,000 (1M)	± 6
VIOLET	7	x10,000,000 (10m)	± 7
GRAY	8	x 100,000,000 (100m)	± 8
WHITE	9	x 1,000,000,000 (1G)	± 10
GOLD		.1	
SILVER		.01	± 10
Body		.01	± 20

PRACTICAL WIRELESS DATA CARD SYSTEM

OCT. 1973 **2**

CAPACITOR COLOUR CODE

1

Temperature coefficient

4 7 0 Tolerance

470pF 2%

First figure Second figure

47µF 6.3V

Multiplier **3** Voltage

2

Temperature coefficient

1 0 000 Tolerance

10000pF 20%

0.010									
0.015									
0.022									
0.033									
0.047									
0.068									
0.10									
0.15									
0.22									
0.33									
0.47									
0.68									
1.0									
1.5									
2.2									

µF

20%

10%

4

Working Voltage 250V

EXAMPLE:- 0.015µF 20%

EIA CODE	àF	PF	NF	EIA CODE	àF	PF	NF
0R5	0.000005	0.5	0.0005	201	0.0020	200	0.20
1R0	0.000010	1.0	0.0010	221	0.0022	220	0.22
1R2	0.000012	1.2	0.0012	241	0.0024	240	0.24
1R5	0.000015	1.5	0.0015	271	0.0027	270	0.27
1R8	0.000018	1.8	0.0018	301	0.0030	300	0.30
2R0	0.000020	2.0	0.0020	331	0.0033	330	0.33
2R2	0.000022	2.2	0.0022	361	0.0036	360	0.36
2R7	0.000027	2.7	0.0030	391	0.0039	390	0.39
3R3	0.000033	3.3	0.0033	431	0.0043	430	0.43
3R9	0.000039	3.9	0.0039	471	0.0047	470	0.47
4R0	0.000040	4.0	0.0040	511	0.0051	510	0.51
4R7	0.000047	4.7	0.0047	561	0.0056	560	0.56
5R0	0.000050	5.0	0.0050	621	0.0062	620	0.62
5R6	0.000056	5.6	0.0056	681	0.0068	680	0.68
6R0	0.000060	6.0	0.0060	751	0.0075	750	0.75
6R8	0.000068	6.8	0.0068	821	0.0082	820	0.82
7R0	0.000070	7.0	0.0070	911	0.0091	910	0.91
8R0	0.000080	8.0	0.0080	102	0.0010	1,000	1.0
8R2	0.000082	8.2	0.0082	112	0.0011	1,100	1.1
9R0	0.00009	9.0	0.0090	122	0.0012	1,200	1.2
100	0.00010	10	0.010	132	0.0013	1,300	1.3
110	0.00011	11	0.011	152	0.0015	1,500	1.5
120	0.00012	12	0.012	162	0.0016	1,600	1.6
130	0.00013	13	0.013	182	0.0018	1,800	1.8
150	0.00015	15	0.015	202	0.0020	2,000	2.0
160	0.00016	16	0.016	222	0.0022	2,200	2.2
180	0.00018	18	0.018	242	0.0024	2,400	2.4
200	0.00020	20	0.020	272	0.0027	2,700	2.7
220	0.00022	22	0.022	332	0.0033	3,300	3.3
240	0.00024	24	0.024	392	0.0039	3,900	3.9
270	0.00027	27	0.027	472	0.0047	4,700	4.7
300	0.00030	30	0.030	562	0.0056	5,600	5.6
330	0.00033	33	0.033	682	0.0068	6,800	6.8
360	0.00036	36	0.036	822	0.0082	8,200	8.2
390	0.00039	39	0.039	103	0.010	10,000	10
430	0.00043	43	0.043	153	0.015	15,000	15
470	0.00047	47	0.047	183	0.018	18,000	18
510	0.00051	51	0.051	223	0.022	22,000	22
560	0.00056	56	0.056	273	0.027	27,000	27
620	0.00062	62	0.062	333	0.033	33,000	33
680	0.00068	68	0.068	393	0.039	39,000	39
750	0.00075	75	0.075	473	0.047	47,000	47
820	0.00082	82	0.082	563	0.056	56,000	56
910	0.00091	91	0.091	683	0.068	68,000	68
101	0.00010	100	0.10	104	0.10	100,000	100
111	0.00011	110	0.11	124	0.12	120,000	120

Bảng ảnh và chuẩn quốc tế

pico	p	0 .000 000 000 001	1×10^{-12}
nano	n	0 .000 000 001	1×10^{-9}
micro	à	0 .000 001	1×10^{-6}
milli	m	0 .001	1×10^{-3}
centi	c	0 .01	1×10^{-2}
deci	d	0 .1	1×10^{-1}
deca	D	10	1×10^1
hecto	H	100	1×10^2
kilo	K	1 000	1×10^3
mega	M	1 000 000	1×10^6
giga	G	1 000 000 000	1×10^9
tera	T	1 000 000 000 000	1×10^{12}

2.2.3 ứng dụng

Tính ảnh hưởng của nhiễu trong các mạch điện tử

2.3 Cuộn cảm- Cuộn dây



Hình 1.8. Cuộn dây

2.3.1 Cấu tạo

Cuộn dây là một linh kiện có hình dạng cuộn dây điện tử

- Cuộn dây lõi không khí hay cuộn dây không có lõi.
- Cuộn dây lõi sứ b.
- Cuộn cảm có lõi Ferit.
- Cuộn dây lõi sứ t.

Đưa theo hình dáng mà cuộn dây cảm sẽ có sau:

- Cuộn cảm hình h- là các cuộn dây đặt trong các mạch cảm hình LC.
- Cuộn lõi là các cuộn dây đặt trong các bộ lọc nhiễu.
- Cuộn cảm dạng ống dây có lõi ferrite, v.v...

Đưa vào loại lõi của cuộn dây, có thể chia các cuộn dây ra làm 3 loại sau. Chúng ta sẽ xem xét các loại cảm ứng sau:

2.3.2.1. Cuộn dây lõi không khí hay cuộn dây không có lõi.

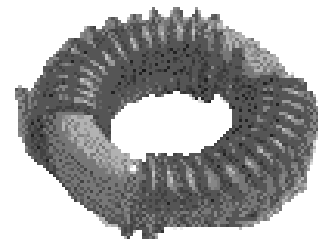
Cuộn dây lõi không khí là các cuộn dây được quấn trên các băng băng hoặc các băng sứ hoặc không có lõi. Chúng được nhất là các cuộn cảm hình LC làm việc ở tần số cao và siêu cao.

Các cuộn dây không khí được dùng để ghép mạch, tương tự như các cuộn cảm hình LC, ở tần số Radio các cuộn dây không khí được dùng để ghép mạch liên kết các tầng mong muốn.

2.3.2.2. Cuộn dây lõi sắt bụi.

Cuộn dây lõi sứ b (bụi nguyên chất trên vỏ chất dẫn không từ tính) được dùng ở tần số cao và trung tần. Cuộn dây lõi sứ b có tổn thất thấp, đặc biệt là tổn hao do dòng điện xoáy ngược, và ảnh hưởng thấp hơn nhiều so với lõi sứ t.

Chất liệu cuộn dây lõi sứ b giống như cuộn dây lõi không khí. Cuộn dây lõi sứ b cũng có yêu cầu giống như cuộn dây lõi không khí cao tần về hình học để dung lượng của cuộn dây, vỏ tản nhiệt ảnh hưởng và hiệu ứng ngoài.



Hình 1.8 Cuộn dây lõi sắt bụi

2.3.2.3. Cuộn cảm có lõi Ferit.

Cuộn dây lõi Ferit là các cuộn dây làm việc ở tần số cao và trung tần. Lõi Ferit có nhiều hình dạng khác nhau như: thanh, hình chữ E, chữ C, hình trụ, hình nón, hình ống, v.v... Hình 1.9



hình xuyên dù tẩm nhôm crom cao, tuy vậy lõi dù bảo vệ hoá thành phần mủ chịu.

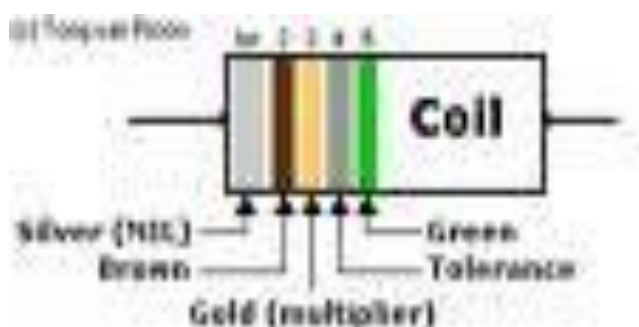
2.3.3.3. Cuộn dây lõi sắt từ.

Lõi của cuộn dây thường là sắt-silic và sắt silic hợp nhôm, hoặc sắt-niken tùy theo mức độ ứng dụng. Đây là các cuộn dây làm việc ở tần số thấp. Dây quấn là dây nhôm hoặc dây tráng men cách điện, quấn thành nhiều lớp cách điện giữa các lớp và cách nhiệt chống chập mạch sau khi quấn.

Cuộn chôn trên bảng mạch để dễ dàng lắp đặt và bảo vệ khỏi ẩm ướt cho người cung cấp mạch chịu qua chập mạch, làm mát trong các tầng khuếch đại, và trong các ứng dụng mạch chịu nhiệt.

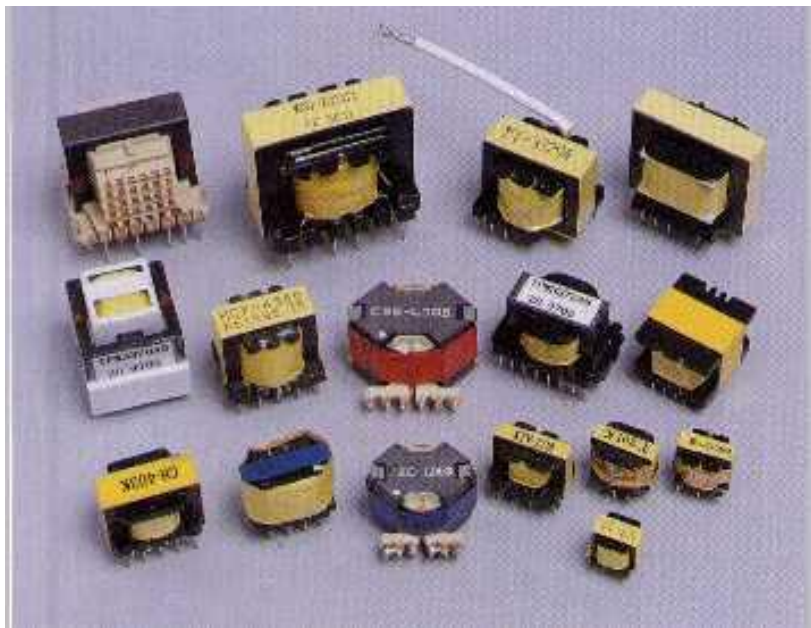
2.3.3 Cách đọc giá trị cuộn cảm

Cách đọc giá trị trên cuộn cảm thường là đọc từ trái sang phải.



2.4 máy biến áp

2.4.1 Cấu tạo



Biến áp là một thiết bị biến đổi điện năng từ một dạng điện áp xoay chiều này sang một dạng điện áp xoay chiều khác. Nó có hai cuộn dây quấn trên lõi thép, một cuộn dây có điện áp xoay chiều U_1 và một cuộn dây có điện áp xoay chiều U_2 , với tần số không đổi.

Máy biến áp cấu tạo gồm 3 bộ phận chính: bộ phận lõi thép (lõi thép), dây quấn (dây quấn), vỏ bọc và vỏ máy (vỏ máy), ngoài ra máy biến áp còn có các phần cứng khác, chẳng hạn như, bộ phận điều chỉnh, bộ phận chuẩn, chốt bẫy...

2.4.1.1 Lõi thép:

Ô- là cấu trúc bằng thép kỹ thuật, có nhiệm vụ làm mạch dẫn từ, ảnh hưởng làm khung quấn dây.

Thép kỹ thuật là hợp kim sắt có thành phần Silic, tỷ lệ thép dày 0,3; 0,35; 0,5mm, có độ cứng thấp. Tỷ lệ thép này ảnh hưởng đến độ cứng nhằm mục đích giảm tổn hao năng lượng trong quá trình làm việc. Tính chất của thép kỹ thuật cũng thay đổi theo hàm lượng Silic, nếu hàm lượng Silic càng nhiều thì tổn hao càng giảm tự nhiên là giòn và khó gia công.

Lõi thép thường chia làm hai loại là kiểu lõi trỏ và kiểu lõi hình xuyên

2.4.1.2 Bộ phận dẫn điện (dây quấn)

Th- ình ã- ã làm bằng dây ãìng, là loì dây ãình mủm, cãìbủn cìhì cao, khãì, dì ãì tì. Thành th- ình mý biìh ýp cìhai cuìh dây là cuìh sìcổp và cuìh thìcổp.

Dây nì vì nguìh, nhón nơng l- ìng tìnguìh gì là dây sìcổp. Dây quón nì vì phìtì, cung cổp ãìh cho phìtì gì là dây thìcổp.

Dây sìcổp và thìcổp th- ình khãng nì ãìh vì nhau, mý biìh ýp cìhai dây quón nh- vớ gì là mý biìh ýp cìh ìng. Cđn mý biìh ýp cìhai dây quón nì ãìh vì nhau và cìphìh chung gì là mý biìh ýp tìngì.

2.4.1.3 Vỏ máy

Th- ình làm bằng kim loì ã bì vì mý. Ngoài ra vì mý cđn làm giý lph ãìng hìã, bìphón chuyợn mìh. . .

2.4.1.4 Vật liệu cách điện

Làm nhiìm vì cých ãìh giẽa cýc vđng dây vì nhau, giẽa dây quón và lì thph, giẽa phìh dì ãìh và phìh khãng dì ãìh.

Tuấi thìcđm mì mý biìh ýp phìthuìc nhiũu vào chổt cých ãìh. Nì cých ãìh khãng tì sữ gâv sìcì cho mý biìh ýp, nh- ng cých ãìh quý mìc sữ tợng kìh thìh cho mý và tợng giý thành mý

2.4.2 Nguyên lý hoạt động

Mý biìh ýp gìh cuìh sìcổp cìN₁ vđng dây cuìh thìcổp cìN₂ vđng dây ã- ã quón trẽn mì lì thph khph kì.

Khi nì dây sìcổp vào nguìh ãìh xoay chiũu cì ãìh ýp U₁, dđng ãìh I₁ chìy qua cuìh dây sìcổp sữ sinh ra trong lì thph mì tìthãng biìh thiãn. Do mìh tì là khph kìh nãn tìthãng này sữ cìh ìng sang cuìh thìcổp sinh ra mì sì ãìh ãìng cìh ìng E₂ tìvì sìvđng dây N₂. Ôìng thì tìthãng biìh thiãn ãìcìng



Hình 1.10. Máy biến áp

sinh ra trong cuộn sơ cấp mà sẽ cảm ứng trong cuộn thứ cấp E_1 tỉ lệ với số vòng N_1 . Nếu bỏ qua tổn hao trên cuộn dây (thông số rất nhỏ) thì ta có

$$U_1 \approx E_1; \quad U_2 \approx E_2$$

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{N_1}{N_2} = k$$

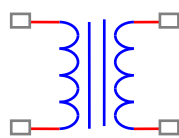
Trong đó U_1, U_2 là điện áp hiệu dụng của cuộn sơ cấp và thứ cấp

N_1, N_2 là số vòng dây của cuộn sơ cấp và thứ cấp.

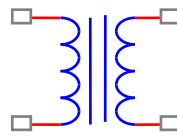
Nếu máy biến áp có $k < 1$ là máy biến áp hạ áp.

Nếu máy biến áp có $k > 1$ là máy biến áp tăng áp.

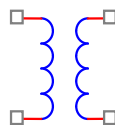
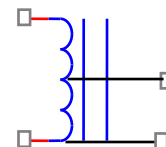
2.4.3 Ký hiệu một số loại máy biến áp



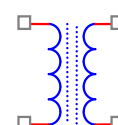
Biến áp âm tần



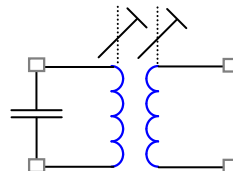
Biến áp nguồn lõi sắt và biến áp tự ngẫu



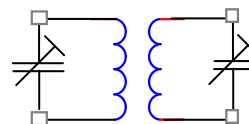
Biến áp cao tần không lõi



Biến áp lõi Ferit



Biến áp trung tần



Hình 1.9. Ký hiệu máy biến áp

2.4.4 Một số loại máy biến áp thông dụng

2.4.1.1 Biến áp âm tần

Biến áp âm tần là biến áp đặc biệt có lõi làm việc ở tần số âm thanh khoảng từ 20Hz đến 20000Hz. Do lõi biến áp này đặc biệt để biến đổi tần số mà không đặc biệt gây ra nhiễu động

Trong suốt quá trình làm việc, dòng điện ngược chiều nhau trong mạch này và mạch khác, để biến đổi tần số tăng trở lại pha, v.v...

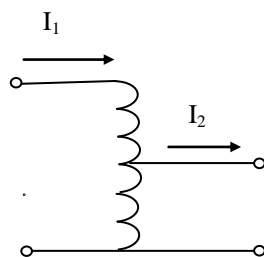
2.4.1.2 Biến áp cao tần

Biến áp cao tần gồm hai cuộn dây quấn trên cùng một lõi thép đặc biệt cao tần. Dây dẫn cuộn dây là dây nhôm mạ bạc hoặc dây đồng mạ bạc, cuộn dây quấn hoặc bằng nhiều sợi dây nhỏ quấn vào nhau. Hai cuộn dây quấn và lõi thép quấn chung lẫn nhau, hoặc cuộn dây quấn nhau một khoảng cách vài mm, khoảng cách càng gần nhau càng tốt. Ngăn cách cho thêm lõi ferit vào trong cuộn dây để tăng thêm hiệu suất và hiệu suất chuyển đổi của nó. Ở trạng thái không có sinh nhiệt biến áp với các vật liệu xung quanh ngăn cách bằng các lớp cách nhiệt kim loại.

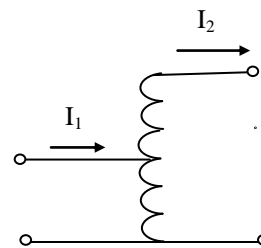
2.4.1.3 Biến áp tự ngẫu

Biến áp tự ngẫu là biến áp đặc biệt có lõi thép gồm một cuộn dây cuộn hay nhiều cuộn dây trung gian.

Dòng biến áp tự ngẫu thay cho biến áp cuộn dây chỉ phần dây quấn, và trong một cuộn dây chung có dòng điện hiệu suất qua $I = I_2 - I_1$ (trong biến áp tự ngẫu hạ áp) hay $I = I_1 - I_2$ (trong biến áp tự ngẫu tăng áp). Biến áp tự ngẫu cuộn dây - u ở dạng ứng dụng phần dây dẫn khi tải biến áp không lớn lắm. Với tải biến áp 2 đầu dây nhôm thì hiệu suất là 50%, với tải 20 thì chỉ vào khoảng 5%. Với tải ra và tải vào của biến áp tự ngẫu ghép trực tiếp nằm trong mạch biến áp tự ngẫu không nóng.



Hình 1.11a Biến áp tự ngẫu hạ áp.



Hình 1.11b Biến áp tự ngẫu tăng áp.

2.4.1.4 Biến áp ra

Biến áp nhiều cuộn ra gồm cuộn sơ cấp và nhiều cuộn thứ cấp. Mỗi cuộn sơ cấp được quấn vào một cuộn thứ cấp và số vòng dây của cuộn sơ cấp nối- quấn vào mỗi cuộn sơ cấp và số vòng dây của cuộn sơ cấp.

2.4.5 ứng dụng

Trong lĩnh vực điện và điện tử các máy biến áp có thể sử dụng với nhiều chức năng khác nhau. Máy biến áp có thể sử dụng để biến đổi điện áp phù hợp cho hoạt động của mạch điện hay mạch thông tin. Các máy biến áp có thể sử dụng để phân phối truyền tải giữa mạch sơ cấp và mạch thứ cấp hay giữa hai mạch với nhau. Các máy biến áp có thể sử dụng để không chỉ biến đổi điện áp mà còn biến đổi công suất trong trường hợp mạch nguồn xoay chiều. Một ứng dụng khác nữa là làm tăng hoặc giảm công suất cân bằng và hằng cân bằng, các hệ thống cung cấp điện và các tải.

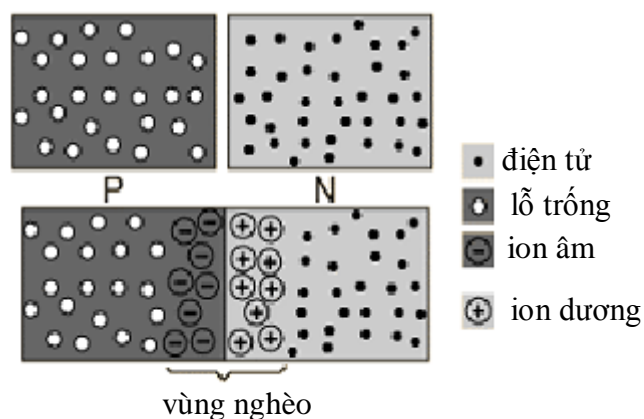
CHƯƠNG 3: DIODE BÁN DẪN

3.1 TIẾP XÚC P-N

Tiếp xúc P-N là một cấu trúc bán dẫn cơ bản được hình thành khi cho chất bán dẫn loại N và loại P tiếp xúc với nhau bằng các biện pháp công nghệ khác nhau. Trong chất bán dẫn loại N điện tử là hạt đa số còn lỗ trống là hạt thiểu số. Ngược lại, trong chất bán dẫn loại P lỗ trống là hạt đa số còn điện tử là hạt thiểu số.

3.1.1 Sự hình thành vùng nghèo (miền điện tích không gian).

Như ta đã biết, các điện tử tự do trong miền N di chuyển ngẫu nhiên theo mọi hướng. Ngay khi cho tiếp xúc PN, các điện tử tự do trong miền N ở gần lớp tiếp xúc bắt đầu khuếch tán sang miền P, ở đây chúng kết hợp với các lỗ trống ở gần lớp tiếp xúc. Khi lớp tiếp xúc được hình thành, miền N mất các điện tử tự do (do khuếch tán sang miền P), tạo ra một lớp tích điện dương gần lớp tiếp xúc. Khi các electron di chuyển qua lớp tiếp xúc, miền P mất các lỗ trống do các điện tử kết hợp với lỗ trống, tạo ra một lớp tích điện âm gần lớp tiếp xúc. Hai lớp tích điện dương và âm này tạo nên vùng nghèo như hình 1-8. Khái niệm vùng nghèo là để chỉ vùng gần lớp tiếp xúc PN bị mất hết các hạt mang điện (điện tử và lỗ trống). Vùng nghèo được mở rộng ra tới khi trạng thái cân bằng được thiết lập và không có thêm sự khuếch tán điện tử qua lớp tiếp xúc. Điều này có thể được giải thích như sau: Khi các điện tử tiếp tục khuếch tán qua lớp tiếp xúc làm cho vùng nghèo hình thành hai lớp càng được tích điện dương và âm mạnh hơn, đến khi lớp tích điện âm đủ lớn chống lại bất kỳ sự khuếch tán nào của các electron sang



Hình 1.8. Sự hình thành vùng nghèo ở tiếp xúc PN.

miền P và sự khuếch tán dừng lại. Nói cách khác, vùng nghèo hoạt động như một hàng rào ngăn cản sự di chuyển của các electron qua lớp tiếp xúc.

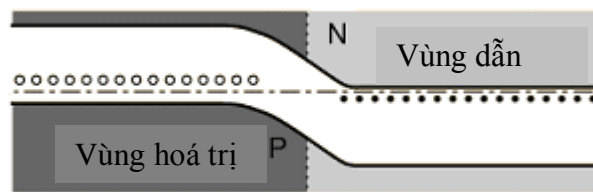
Chú ý là vùng nghèo được hình thành rất nhanh và rất mỏng so với miền N và miền P.

Trong vùng nghèo hình thành một điện trường theo định luật Coulomb. Điện trường này ngăn cản các electron trong miền N, và là năng lượng cần thiết để electron có thể di chuyển qua vùng nghèo. Điện thế cần cung cấp để cho electron di chuyển qua vùng nghèo gọi là điện áp mở. Điện áp mở của tiếp xúc PN phụ thuộc vào nhiều yếu tố, bao gồm loại chất bán dẫn, độ pha tạp, và nhiệt độ. Điện áp mở điển hình xấp xỉ 0,7V đối với Si và 0,3V đối với Ge ở 25°C.

3.1.2 Đồ thị vùng năng lượng của tiếp xúc PN và vùng nghèo.

Vùng hoá trị và vùng dẫn trong chất bán dẫn loại N có mức năng lượng thấp hơn vùng hoá trị và vùng dẫn trong chất bán dẫn loại P bởi vì do sự khác nhau về đặc tính của nguyên tử tạp chất.

Đồ thị vùng năng lượng của tiếp xúc PN ngay khi vừa hình thành được minh hoạ trên hình 1-9. Vùng hoá trị và vùng dẫn của miền N có mức năng lượng thấp hơn vùng hoá trị và vùng dẫn của miền N nhưng bề rộng vùng cấm thì bằng nhau.



Hình 1.9. Đồ thị vùng năng lượng của tiếp xúc PN

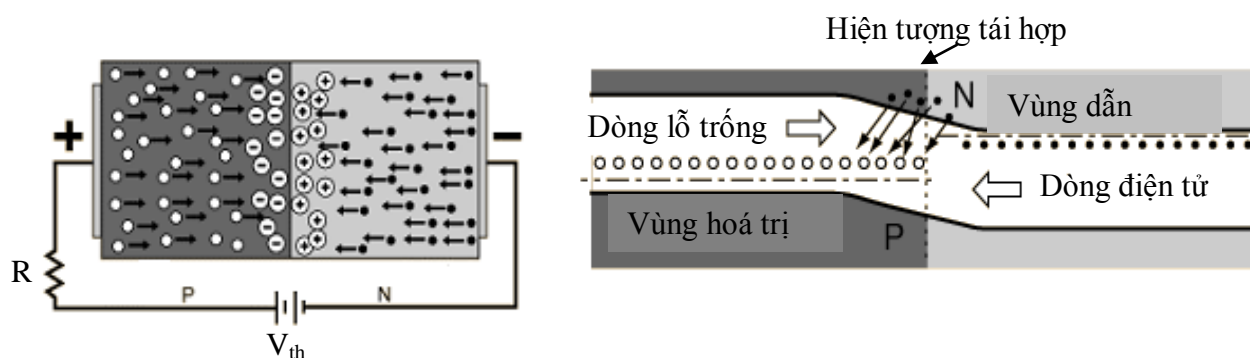
Các electron tự do trong miền N chiếm mức năng lượng cao trong vùng dẫn dễ dàng khuếch tán qua lớp tiếp xúc (không cần thêm năng lượng ngoài) và tạm thời trở thành electron tự do chiếm mức năng lượng thấp trong vùng dẫn của miền P. Sau khi qua lớp tiếp xúc các electron nhanh chóng bị mất năng lượng và kết hợp với các lỗ trống trong vùng hoá trị của miền P.

Hiện tượng khuếch tán tiếp tục, vùng nghèo bắt đầu hình thành và mức năng lượng của vùng dẫn bị giảm. Sự giảm mức năng lượng này là do mất các electron năng lượng cao bị khuếch tán qua lớp tiếp xúc sang miền P. Ngay khi đó, không có electron rời từ vùng dẫn miền N sang vùng dẫn miền P. Lúc đó lớp tiếp xúc ở trạng thái cân bằng bởi hiện tượng khuếch tán bị dừng lại.

3.1.3 Phân cực cho tiếp xúc PN

3.1.3.1 Tiếp xúc PN khi phân cực thuận

Phân cực thuận cho tiếp xúc PN là đặt một điện áp ngoài lên tiếp xúc hay là cho phép dòng điện chạy qua tiếp xúc PN.



Hình 1.10. Tiếp xúc PN khi phân cực thuận và đồ thị vùng năng lượng .

Hình 1-10 chỉ ra điện áp một chiều cung cấp cho tiếp xúc PN, cực dương nối với miền P, cực âm nối với miền N, và gọi điện áp đó là V_{th} . Điện trở R để giới hạn dòng điện bảo vệ tiếp xúc PN. Điện áp V_{th} phải lớn hơn điện áp mở. Khi phân cực thuận, cực âm của V_{th} sẽ đẩy các electron tự do trong miền N (là các hạt đa số) qua lớp tiếp xúc PN. Dòng các electron tự do gọi là dòng điện tử. Cực âm của nguồn cũng đẩy các electron vào miền N. Điện áp nguồn truyền đủ năng lượng cho các electron tự do để chúng vượt qua vùng nghèo và tới được miền P. Ở miền P các electron dẫn điện này bị mất năng lượng và tái hợp với các lỗ trống ở vùng hoá trị. Cực dương của nguồn sẽ hút các electron hoá trị về phía bên trái của miền P. Các electron di chuyển từ lỗ trống này đến lỗ trống khác và tới được cực dương của nguồn. Các lỗ trống là các hạt đa số của miền P thực tế di chuyển sang bên phải lớp tiếp xúc và gọi là dòng lỗ trống.

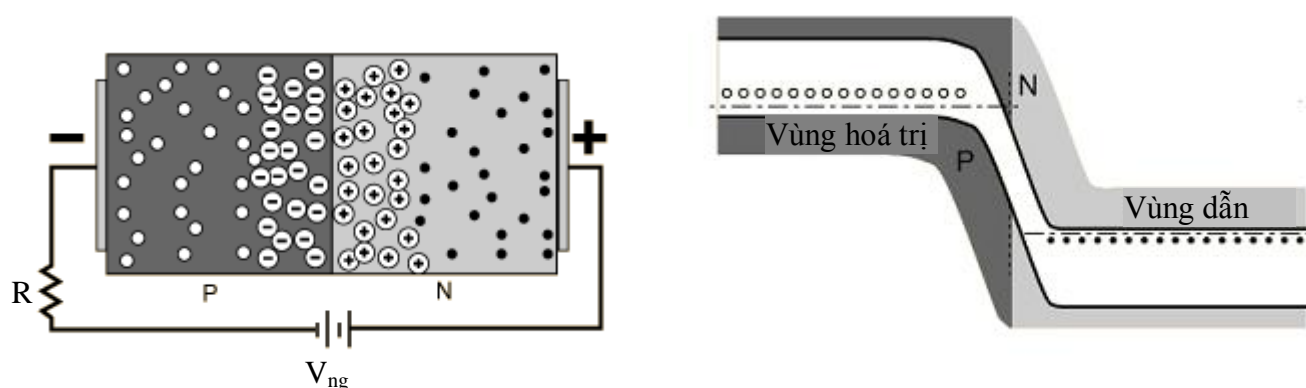
Khi phân cực thuận, vùng dẫn của miền N được nâng lên đến mức năng lượng cao và gộp lên vùng dẫn của miền P. Một số lượng lớn các electron tự do có đủ năng lượng để vượt qua rào và sang phía miền P ở đây chúng kết hợp với các lỗ trống ở vùng hoá trị như minh hoạ ở hình 1-10.

3.1.3.2 Tiếp xúc PN khi phân cực ngược.

Phân cực ngược nghĩa là không cho phép dòng điện chạy qua tiếp xúc PN.

Hình 1-11 chỉ ra điện áp một chiều cung cấp cho tiếp xúc PN, cực âm nối với miền P, cực dương nối với miền N, và gọi điện áp đó là V_{ng} .

Cực dương của điện áp nguồn sẽ hút các electron tự do, là các hạt đa số trong miền N ra khỏi tiếp xúc PN. Trong miền N, khi các electron di chuyển về phía cực dương của nguồn thì các ion dương được tạo ra. và kết quả làm cho vùng nghèo rộng ra. Trong miền P, các electron từ cực âm của nguồn và các electron hoá trị di chuyển qua các lỗ trống và đến vùng nghèo làm tạo ra các ion âm. Do đó, kết quả là làm cho vùng nghèo rộng ra và làm nghèo các hạt



Hình 1.11. Tiếp xúc PN khi phân cực ngược và đồ thị vùng năng lượng .

đa số. Dòng ban đầu của các hạt mang điện là quá độ và chỉ tồn tại trong thời gian rất ngắn sau khi tiếp xúc PN bị phân cực ngược. Khi miền P và N nghèo các hạt dẫn đa số, điện trường giữa cực dương và cực âm giảm đến khi điện thế qua vùng nghèo bằng điện áp V_{ng} . Ở đây, dòng điện chạy qua tiếp xúc PN là rất nhỏ và có thể bỏ qua.

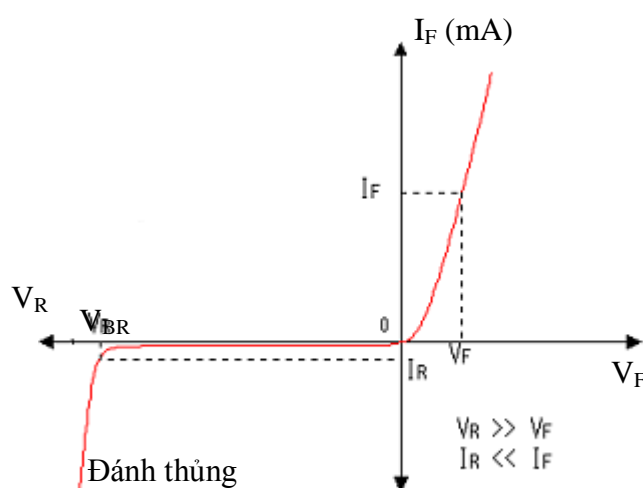
3.1.4 Đặc tuyến Vôn-Ampe của tiếp xúc PN

Khi tiếp xúc PN phân cực thuận thì cho dòng qua lớp tiếp xúc, gọi là dòng thuận và ký hiệu là dòng I_F . Đặt điện áp nguồn là 0V thì không có dòng thuận qua lớp tiếp xúc. Khi tăng điện áp nguồn thì dòng thuận cũng tăng theo. Khi điện áp nguồn tăng tới xấp xỉ 0,7V thì dòng thuận tăng mạnh. Tiếp tục tăng điện áp nguồn thì dòng thuận tăng rất nhanh nhưng điện áp qua tiếp xúc PN tăng từ từ trên 0,7V đó là do điện trở động của chất bán dẫn. Không giống

như điện trở tuyến tính, điện trở động không phải là hằng số trên toàn bộ đặc tuyến và gọi là điện trở xoay chiều, ký hiệu là r_d . Ở điểm uốn của đặc tuyến, điện trở động có giá trị lớn nhất vì dòng điện tăng rất ít so với sự thay đổi điện áp ($r_d \approx \frac{\Delta V_F}{\Delta I_F}$). Sau đó điện trở động giảm dần do dòng điện tăng mạnh so với sự tăng điện áp.

Khi tiếp xúc PN phân cực ngược chỉ có một dòng ngược rất nhỏ chạy qua (cỡ μA hoặc nA) và ký hiệu là I_R . Tại 0V không có dòng ngược, khi tăng điện áp nguồn thì có một dòng ngược rất nhỏ chạy qua. Khi tăng điện áp nguồn tới giá trị mà tiếp xúc PN đạt tới giá trị đánh thủng (V_{BR}) thì dòng ngược bắt đầu tăng mạnh. Tiếp tục tăng điện áp nguồn thì dòng ngược tăng rất nhanh nhưng điện áp qua tiếp xúc PN chỉ lớn hơn V_{BR} rất ít. Điện áp đánh thủng của tiếp xúc PN có thể thay đổi, nhưng giá trị nhỏ nhất (50V) là bình thường.

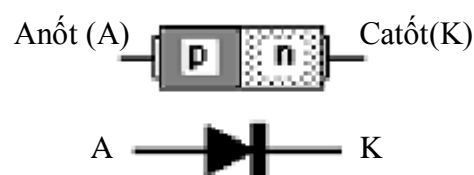
Chú ý rằng khi nhiệt độ tăng thì dòng chạy qua tiếp xúc PN tăng và điện áp mở giảm.



Hình 1.12. Đặc tuyến V-A của tiếp xúc PN

3.2 ĐIÓT BÁN DẪN

Điốt chỉnh lưu có cấu tạo là một tiếp xúc PN với hai điện cực nối với hai miền P và N. Ký hiệu của điốt chỉ ra ở hình 2.1. Điện



Hình 2.1. Cấu tạo và ký hiệu của điốt bán dẫn

cực nối với miền N gọi là catốt và điện cực nối với miền P gọi là anốt.

3. 2. 1 Mô hình tương đương gần đúng của điốt

3. 2.1.1 Mô hình tương đương lý tưởng

Mô hình tương đương lý tưởng của điốt đơn giản là một khoá chuyển mạch.

Khi điốt phân cực thuận khoá đóng, còn khi điốt phân cực ngược khoá mở. Điện áp mở, điện trở động và dòng ngược coi như bỏ qua.

Dòng thuận được xác định:

$$I = \frac{V_{nguồn}}{R}$$

Dòng ngược : $I_R = 0A$

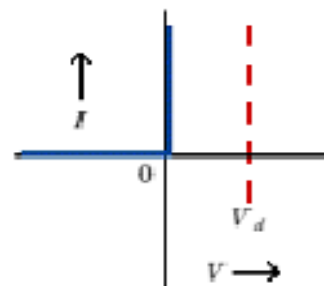
Điện áp ngược bằng điện áp nguồn. $V_R = V_{nguồn}$

Mô hình tương đương lý tưởng của điốt được sử dụng khi bài toán không quan tâm tới các giá trị dòng điện và điện áp chính xác.

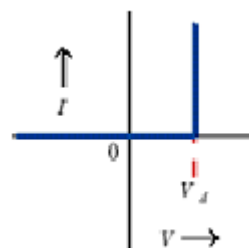
3. 2.1.2 Mô hình tương đương thực tế

Đây là mô hình tương đương được sử dụng nhiều, mô hình này chính là mô hình tương đương lý tưởng có thêm điện áp mở (V_d). Khi điốt phân cực thuận, nó tương đương với khoá đóng mắc nối tiếp với một điện áp ($0,7V$ đối với Si) bằng điện áp mở có cực dương ứng với anode. Khi điốt phân cực ngược, nó tương đương với khoá mở như trong mô hình tương đương lý tưởng, điện áp mở không ảnh hưởng tới chế độ phân cực ngược.

Do điện áp mở được tính đến còn điện trở động bỏ qua, nên dòng thuận được xác định theo công thức:



Hình 2.3. Đặc tuyến của điốt lý tưởng.



Hình 2.3. Đặc tuyến của điốt thực tế.

$$I = \frac{V_{ng} - V_F}{R}$$

Dòng ngược và điện áp ngược là:

$$I_R = I_A$$

$$V_R = V_{ng}$$

3. 2. 2 Mô hình tương đương hỗn hợp

Mô hình tương đương hỗn hợp của điôt bao gồm điện áp mở, điện trở động thuận

nhỏ (r_d) và điện trở ngược nội lớn (r_R). Khi điôt phân cực thuận, nó tương đương với khoá đóng mắc nối tiếp với điện áp mở và điện trở động thuận nhỏ. Khi điôt phân cực ngược, nó tương đương với khoá mở mắc song song với điện trở ngược nội lớn (r_R), điện áp mở không ảnh hưởng tới chế độ phân cực ngược.

Điện áp qua điôt khi phân cực thuận và dòng thuận là:

$$V_F \approx 0,7V + I_F r_d$$

$$I_F = \frac{V_{ng} - 0,7V}{R + r_d}$$

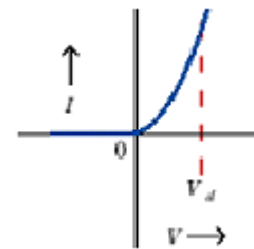
Dòng ngược được tính:

$$I_R = \frac{V_{ng}}{R + r_R}$$

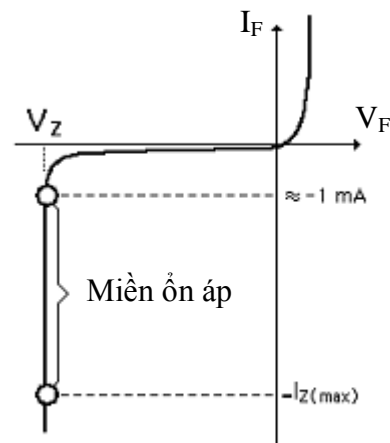
3.2.3 Các loại điôt đặc biệt

3.2.3 .1. Điôt Zener

Điôt Zener có cấu tạo từ tiếp xúc PN nhưng khác với điôt chỉnh lưu là nó được thiết kế để hoạt động ở vùng đánh thủng ngược. Điện áp đánh thủng của điôt Zener được xác định bằng cách điều chỉnh tỉ lệ pha tạp trong quá trình chế tạo. Khi phân cực thuận điôt Zener hoạt động giống như điôt chỉnh lưu.



Hình 2.5. Đặc tuyến của điôt hỗn hợp.



Hình 2.5. Ký hiệu và đặc tuyến V-A của điôt Zener.

Ở chế độ phân cực ngược, khi đạt tới đánh thủng ngược điện áp rơi trên điốt gần như không đổi trong khi dòng tăng rất mạnh. Hai loại đánh thủng ngược ở điốt Zener là đánh thủng Zener và đánh thủng thác lũ. Đánh thủng thác lũ xảy ra đối với điốt Zener và điốt chỉnh lưu khi điện áp ngược đủ lớn. Đánh thủng Zener xảy ra với điốt Zener ở điện áp ngược thấp. Điốt Zener được pha tạp mạnh để giảm điện áp đánh thủng, do đó có vùng nghèo rất mỏng. Ở gần điện áp đánh thủng (V_Z), điện trường đủ lớn để kéo các electron từ vùng hoá trị và tạo nên dòng điện.

Điốt Zener với điện áp đánh thủng bé hơn 5V hầu hết hoạt động ở đánh thủng Zener. Điốt Zener với điện áp đánh thủng lớn hơn 5V hầu hết hoạt động ở đánh thủng thác lũ. Các điốt Zener trên thị trường có điện áp đánh thủng từ 1,8V đến 200V với sai số từ 1% đến 20%.

Đặc tuyến V-A của điốt Zener được cho trên hình 2.5. Dòng ngược gọi là dòng Zener I_Z . Khi hiện tượng đánh thủng bắt đầu, điện trở Zener trong, gọi là trở kháng Zener (Z_Z) bắt đầu giảm khi dòng ngược tăng mạnh.

Hệ số nhiệt độ

Hệ số nhiệt độ biểu thị điện áp Zener thay đổi bao nhiêu phần trăm khi nhiệt độ thay đổi 1°C . Ví dụ, điốt Zener 12V với hệ số nhiệt dương $0,01\%/^{\circ}\text{C}$ thì V_Z sẽ tăng 1,2mV khi nhiệt độ tăng 1°C . Công thức tính toán sự thay đổi khi nhiệt độ thay đổi:

$$\Delta V_Z = V_Z \cdot TC \cdot \Delta T$$

ở đây: V_Z là điện áp Zener ở 25°C .

TC là hệ số nhiệt độ

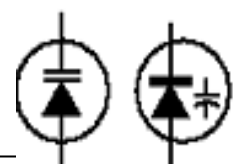
là sự thay đổi nhiệt độ

Hệ số nhiệt dương nghĩa là điện áp Zener tăng khi nhiệt độ tăng và điện áp Zener giảm khi nhiệt độ giảm. Còn hệ số nhiệt âm là ngược lại.

3.2.3.2 Điốt biến dung.

Điốt biến dung là dụng cụ bán dẫn hai cực mà điện dung của nó có thể thay đổi trong một phạm vi nhất định khi thay đổi điện áp phân cực ngược của điốt. Điốt biến dung có thể gọi là varicap, epicap, varacto.

Khi phân cực ngược tiếp xúc PN ở một giá trị điện áp nhất định, vùng nghèo rộng ra. Toàn bộ

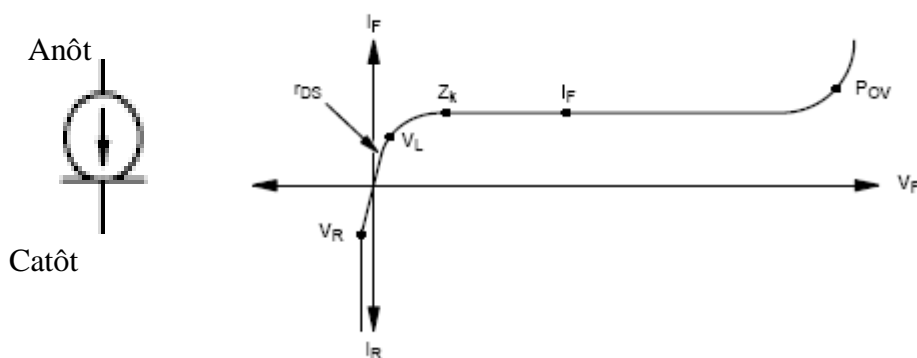


thể tích vùng nghèo này có thể xem tương đương như vật liệu điện môi (vì điện trở suất của nó rất lớn), trong khi đó miền bán dẫn P và N so với vùng nghèo thì điện trở suất lại rất nhỏ. Do đó điôt được xem như một tụ điện phẳng mà điện môi là vùng nghèo, hai bản cực tụ điện là hai miền bán dẫn P và N. Giá trị điện dung của tụ điện phẳng tỉ lệ thuận với diện tích của bản cực và tỉ lệ nghịch với chiều dày của lớp điện môi (khoảng cách giữa hai bản cực), do đó điện dung của điôt sẽ tỉ lệ thuận với thiết diện của tiếp xúc PN và tỉ lệ nghịch với độ rộng của vùng nghèo. Ví dụ, điện dung (C_T) thay đổi từ 40pF đến 4pF khi điện áp ngược thay đổi từ 1V đến 40V.

3.3. Điôt ổn dòng.

Điôt ổn dòng là điôt có dòng không đổi. Ký hiệu và đặc tuyến V-A được cho trên hình 3-37. Điôt ổn dòng hoạt động ở vùng phân cực thuận và dòng thuận có giá trị không đổi khi điện áp thuận bắt đầu từ 1,5V đến 6V tùy từng loại điôt. Dòng thuận không đổi ký hiệu là I_P . Ví dụ điôt thuộc họ 1N5283-1N5314 có

dòng I_P có phạm vi từ 220 μ A đến 4,7mA. Các điôt thường được mắc song song với các dòng có giá trị lớn.

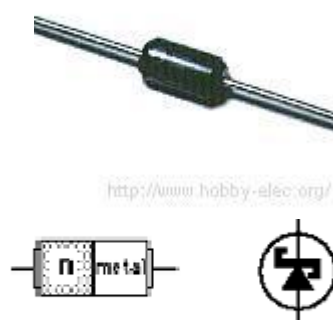


Hình 2. Ký hiệu và đặc tuyến của điôt ổn dòng.

Trên đặc tuyến V-A của điôt ổn dòng không có vùng đánh thủng ngược, vì vậy dòng ngược bắt đầu tăng theo điện áp phân cực khi điện áp phân cực bé hơn 1V. Điôt ổn dòng không hoạt động ở chế độ phân cực ngược.

3.2.3.4 Điôt Schottky.

Điôt Schottky được sử dụng trong phạm vi tần số cao và trong các ứng dụng chuyển mạch nhanh. Điôt



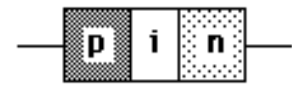
Hình 2. Cấu tạo và ký hiệu của điôt Schottky.

Schottky được hình thành từ tiếp xúc của một miền bán dẫn pha tạp (thường là loại N) với một miền kim loại ví dụ như vàng, bạc, bạch kim. Điốt Schottky hoạt động chỉ với hạt đa số, chúng không có hạt thiểu số nên không có dòng ngược. Miền kim loại có các electron ở vùng dẫn, còn miền N pha tạp ít. Khi phân cực thuận, các electron ở mức năng lượng cao trong miền N sẽ sang miền kim loại, ở đây chúng bỏ phần năng lượng thừa nhanh chóng. Vì vậy không có các hạt dẫn thiểu số như các điốt khác, chúng có thể đáp ứng rất nhanh khi thay đổi điện áp phân cực. Điốt Schottky có thể được sử dụng trong các mạch tần số cao và các mạch số để giảm thời gian chuyển mạch.

3.2.3.5 . Điốt PIN.

Điốt PIN có cấu tạo gồm hai miền P và N pha tạp mạnh được phân cách bởi một miền bán dẫn thuần, như hình 3-41. Khi phân cực ngược điốt PIN hoạt động giống như một tụ điện không đổi. Khi phân cực thuận điốt PIN hoạt động giống như một biến trở. Điện trở thuận của miền bán dẫn thuần giảm khi dòng điện tăng.

Điốt PIN được sử dụng như một chuyển mạch viba điều khiển bằng dòng một chiều hoạt động do sự thay đổi nhanh trong phân cực hoặc như một bộ điều chế do đặc tính thay đổi điện trở thuận. Do



Hình 3.41. Cấu tạo điốt PIN.

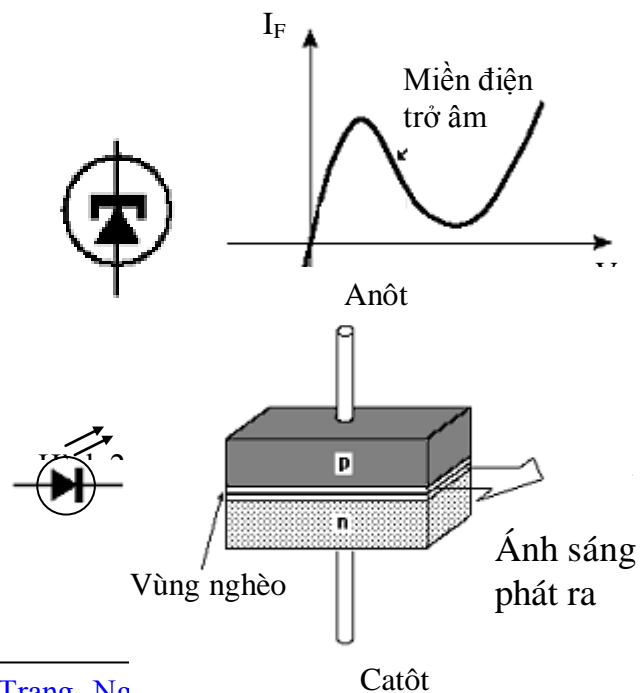
không có tính chất chỉnh lưu ở tiếp xúc PN, tín hiệu tần số cao có thể được điều chế (biến đổi) bởi sự thay đổi phân cực với tần số thấp hơn. Điốt PIN cũng có thể được sử dụng trong các ứng dụng của anten bởi vì điện trở của nó có thể thay đổi theo dòng điện. Điốt

PIN được sử dụng như bộ tách sóng quang trong các hệ thống sợi quang.

3.2.3 6. Điốt tunnel.

Điốt tunnel có đặc tính rất quan trọng đó là có miền điện trở âm.

Đặc tính này được sử dụng trong các máy tạo dao động và các bộ khuếch đại viba. Ký hiệu của điốt tunnel được cho trên hình 3-43.



Điốt tunel có cấu tạo từ miền bán dẫn P và N (chất bán dẫn gốc là Ge hoặc GaAs) pha tạp mạnh hơn rất nhiều so với điốt chỉnh lưu. Do pha tạp mạnh nên ở điốt tunel vùng nghèo rất hẹp. Pha tạp mạnh nên điốt tunel dẫn điện ở cả vùng phân cực ngược và vì vậy không có vùng đánh thủng như điốt chỉnh lưu.

Do vùng nghèo vô cùng hẹp cho phép các electron qua tiếp xúc PN theo đường hầm ở điện áp phân cực thuận rất thấp và điốt hoạt động như chất dẫn điện (trên đặc tuyến V-A là đoạn AB). Trên đặc tuyến V-A đoạn BC là miền điện trở âm (điện áp tăng nhưng dòng điện giảm), bắt đầu từ điểm C điốt hoạt động như điốt phân cực thuận thông thường.

3.2.3 7. Điốt laser.


Điốt laser phát ra ánh sáng đơn sắc, còn điốt phát quang phát ra ánh sáng đa sắc. Điốt laser có cấu tạo từ tiếp xúc PN pha tạp mạnh từ chất bán dẫn gốc là GaAs. Chiều dài của tiếp xúc PN có ảnh hưởng tới bước sóng của ánh sáng phát ra.

Khi phân cực thuận cho điốt laser, các electron di chuyển qua tiếp xúc PN, chúng tái hợp với các lỗ trống và các photon được giải phóng. Các photon này có thể đập vào nguyên tử làm cho một photon khác lại được giải phóng. Khi dòng thuận tăng, các electron đi vào vùng nghèo và làm cho các photon được phát ra. Cuối cùng, một số photon di chuyển trong vùng nghèo đập vào bề mặt phản xạ.

3.2.4 MỘT SỐ ỨNG DỤNG CỦA ĐIỐT

3.2.4.1. Mạch chỉnh lưu nửa chu kỳ.

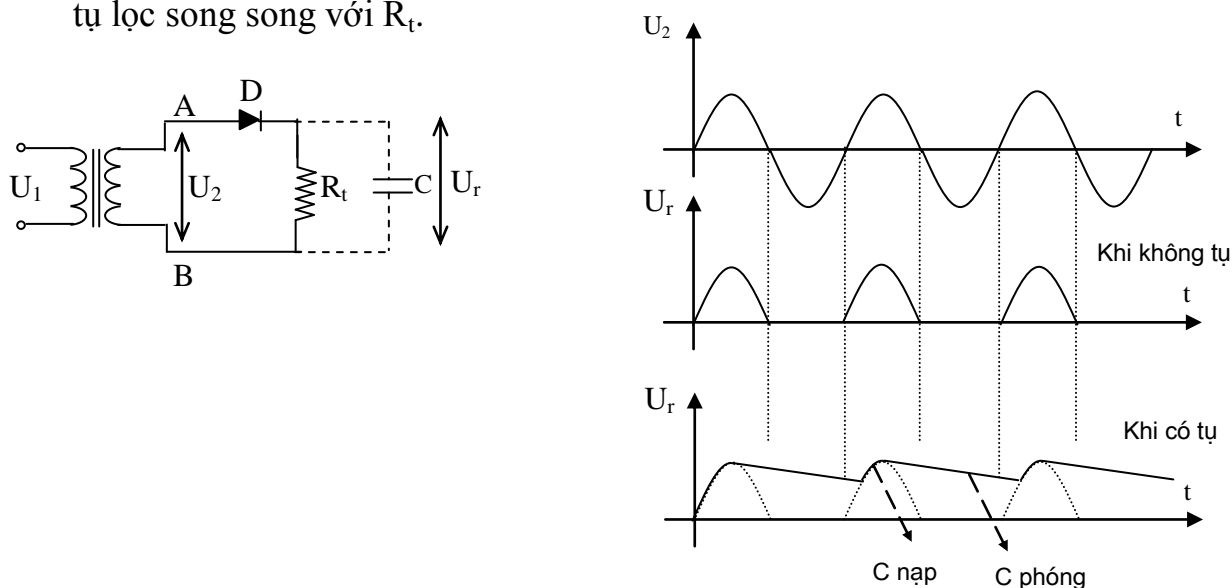
Khi cấp điện áp xoay chiều U_1 vào 2 đầu cuộn L_1 thì ở hai đầu cuộn L_2 xuất hiện một điện áp cảm ứng xoay chiều U_2 .

- Xét nửa chu kỳ dương của U_2 : giả sử điểm A có điện thế dương, điểm B có điện thế âm, điốt D thông (phân cực thuận) vì vậy có dòng điện chạy trong mạch theo chiều: A+  B-
- Xét nửa chu kỳ âm của U_2 : thì điểm A có điện thế âm, điểm B có điện thế dương, điốt D tắt (phân cực ngược) vì vậy có dòng điện chạy trong mạch bằng không.

Nhận xét: Điện áp ra chỉ xuất hiện trong nửa chu kỳ dương của U_2 , vì vậy điện áp ra là điện áp một chiều.

Đặc điểm:

- Kết cấu mạch đơn giản
- Độ gợn sóng lớn, vì vậy để điện áp ra bằng phẳng hơn ta có thể mắc thêm tụ lọc song song với R_t .



Hình 2. Mạch chỉnh lưu nửa chu kỳ

3.2.4.2. Mạch chỉnh lưu 2 nửa chu kỳ.

a. Chỉnh lưu 2 nửa chu kỳ dùng 2 điôt.

Nguyên lý hoạt động của mạch.

- Xét nửa chu kỳ dương của U_{21} (tức là nửa chu kỳ âm của U_{22}): điôt D_1 thông nên có dòng điện chạy trong mạch theo chiều: A → [] → [] → ass.
- Xét nửa chu kỳ âm của U_{21} (tức là nửa chu kỳ dương của U_{22}): điôt D_2 thông nên có dòng điện chạy trong mạch theo chiều: B → [] → [] → ass.

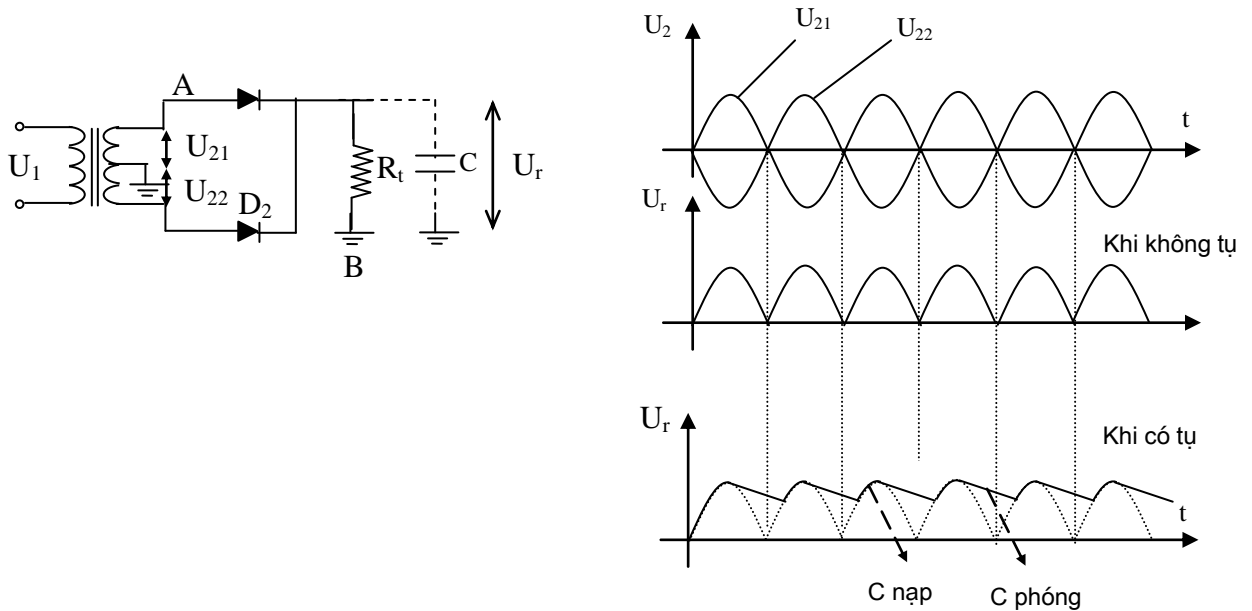
Nhận xét:

Trong cả hai nửa chu kỳ của điện áp xoay chiều đều có dòng điện qua tải. Sơ đồ mạch chỉnh lưu 2 nửa chu kỳ sử dụng 2 điôt chính là 2 sơ đồ chỉnh lưu một nửa chu kỳ mắc song song có tải chung.

Đặc điểm:

- Mạch dùng 2 điôt
- Điện áp ngược đặt lên điôt lớn
- Cấu tạo của biến áp dùng cuộn thứ cấp có điểm chung

- Công suất bé, điện áp ra bé.
- Độ gợn sóng ít hơn mạch chỉnh lưu nửa chu kỳ, vì vậy để điện áp ra bằng phẳng hơn ta có thể mắc thêm tụ lọc song song với R_t .



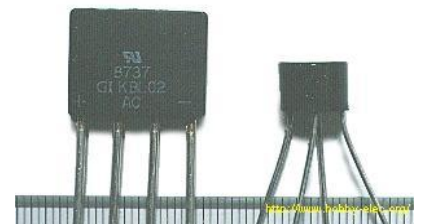
Hình3.7. Mạch chỉnh lưu hai nửa chu kỳ

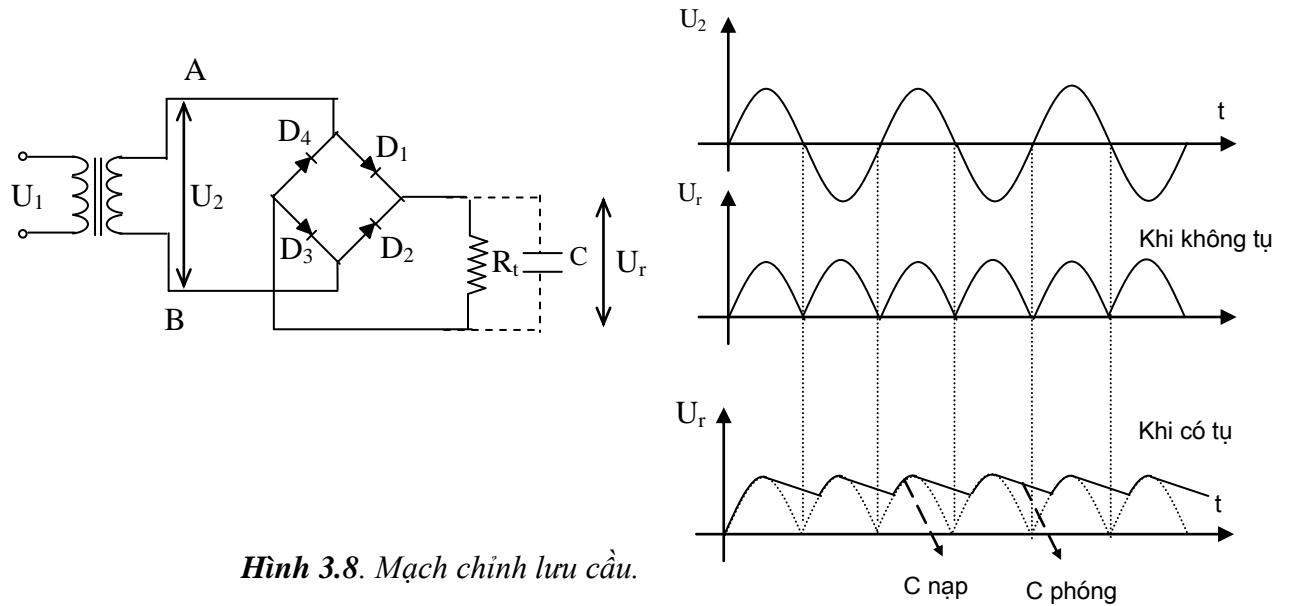
b. Chỉnh lưu 2 nửa chu kỳ dùng 4 điôt (chỉnh lưu cầu).

- Xét nửa chu kỳ dương của U_2 : điôt D_1 và D_3 thông nên có dòng điện chạy trong mạch theo chiều: A 3



- Xét nửa chu kỳ âm của U_2 : điôt D_2 và D_4 thông nên có dòng điện chạy trong mạch theo chiều: B 4





Hình 3.8. Mạch chỉnh lưu cầu.

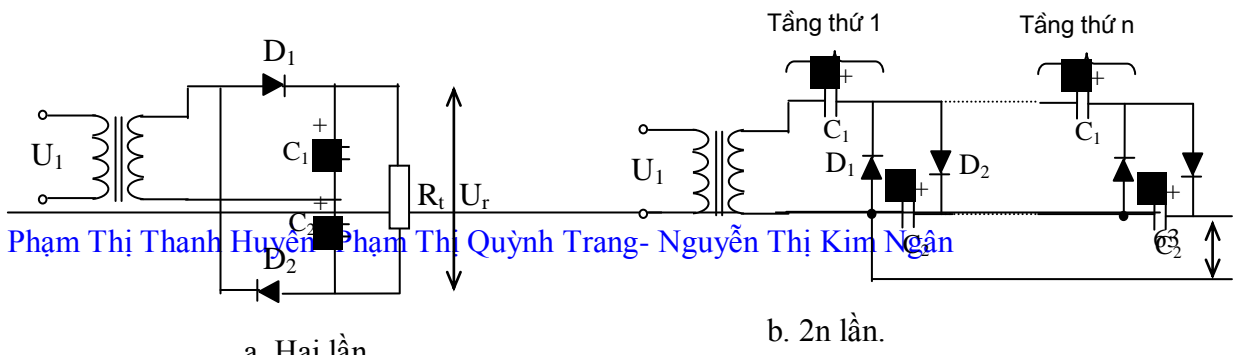
Nhận xét: Trong cả 2 nửa chu kỳ của điện áp xoay chiều đều có dòng điện qua tải.

Đặc điểm:

- Mạch dùng 4 điôt.
- Điện áp ngược đặt lên mỗi điôt nhỏ hơn so với mạch chỉnh lưu dùng hai điôt.
- Cấu tạo của biến áp đơn giản hơn.

3.2.4.3. Mạch bội áp.

Mạch nhân đôi điện áp được dùng trong những trường hợp đặc biệt, ví dụ như khi yêu cầu điện áp ra cao mà dòng tiêu thụ lại nhỏ (cỡ μA). Nếu dùng một tầng như hình 3.9a thì điện áp một chiều ở đầu ra gấp đôi trị số đỉnh của điện áp xoay chiều ở đầu vào, vì C_1 và C_2 được nạp đến giá trị đỉnh của điện áp vào qua D_1 và D_2 trong 2 nửa chu kỳ (-) và (+). Trên hình 3.9 b trong nửa chu kỳ (-) của điện áp U_2 , C_1 được nạp đến giá trị đỉnh U_2 thông qua D_1 . Trong nửa chu kỳ tiếp theo C_2 được nạp thông qua C_1 và D_2 với giá trị $U_{C2} = U_{C1} + U_2 = 2 U_2$. Nếu có n tầng như vậy thì điện áp ra tải $U_r \approx n U_2$. Thường chọn $n \approx 0$.



U_r

CHƯƠNG 4

TRANSISTOR LƯỜNG CỰC (BJT - BIPOLAR JUNCTION TRANSISTOR)

Transistor được phát minh bởi một nhóm nghiên cứu thuộc phòng thí nghiệm Bell vào năm 1947. Trước khi cuộc cách mạng về khoa học kỹ thuật bắt đầu thì transistor không phải là một linh kiện điện tử lưỡng cực như hiện nay mà là các đèn điện tử hai cực, ba cực... Phát minh ra transistor là một bước ngoặt về công nghệ kỹ thuật điện tử. Tất cả các hệ thống, thiết bị điện tử ngày nay là kết quả của sự phát triển về công nghệ bán dẫn.

Ngày nay, tồn tại hai loại transistor đó là transistor lưỡng cực (BJT) và transistor trường (FET). Trong chương này chúng ta sẽ tìm hiểu về BJT và các ứng dụng cơ bản của nó trong chế độ khóa và chế độ khuếch đại tín hiệu.

4.1. Cấu tạo

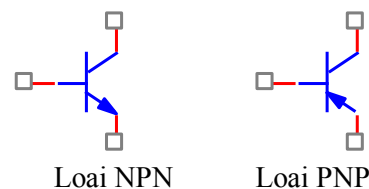
Cấu tạo của transistor lưỡng cực gồm ba lớp bán dẫn p-n được sắp xếp xen kẽ nhau (hình 4.1). Lớp bán dẫn thứ nhất gọi là emitter (ký hiệu là E); lớp bán dẫn nằm giữa gọi là bazơ (ký hiệu là B) và lớp cuối cùng là collector (ký hiệu là C). Miền bazơ có kích thước mỏng nhất và có độ pha tạp ít nhất; còn miền emitter có kích thước lớn hơn và nồng độ pha tạp cao hơn cả.

Biểu diễn cấu tạo của transistor về mặt vật lý được mô tả trên hình 4.2. Tùy thuộc vào cách sắp xếp của các loại lớp bán dẫn mà có hai loại transistor khác nhau: loại pnp(hay còn gọi là transistor thuận hoặc đèn thuận), loại npn (hay còn gọi là transistor ngược hoặc đèn ngược).

Vùng liên kết miền bazơ và miền emitter được gọi là lớp tiếp giáp bazơ – emitter (gọi tắt là tiếp giáp B-E). Vùng liên kết miền bazơ và miền collector được gọi là lớp tiếp giáp bazơ – collector (gọi tắt là lớp tiếp giáp B-C)

Lý do gọi transistor này là lưỡng cực vì trong cấu trúc của nó tồn tại đồng thời hai loại hạt dẫn là lỗ trống và điện tử.

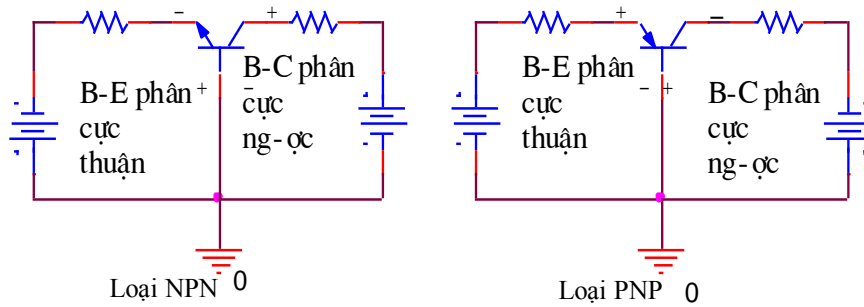
Ký hiệu của BJT trong các sơ đồ điện tử được biểu diễn trên hình 4.3



Hình 4.3: Ký hiệu của transistor

4.2. Nguyên tắc hoạt động

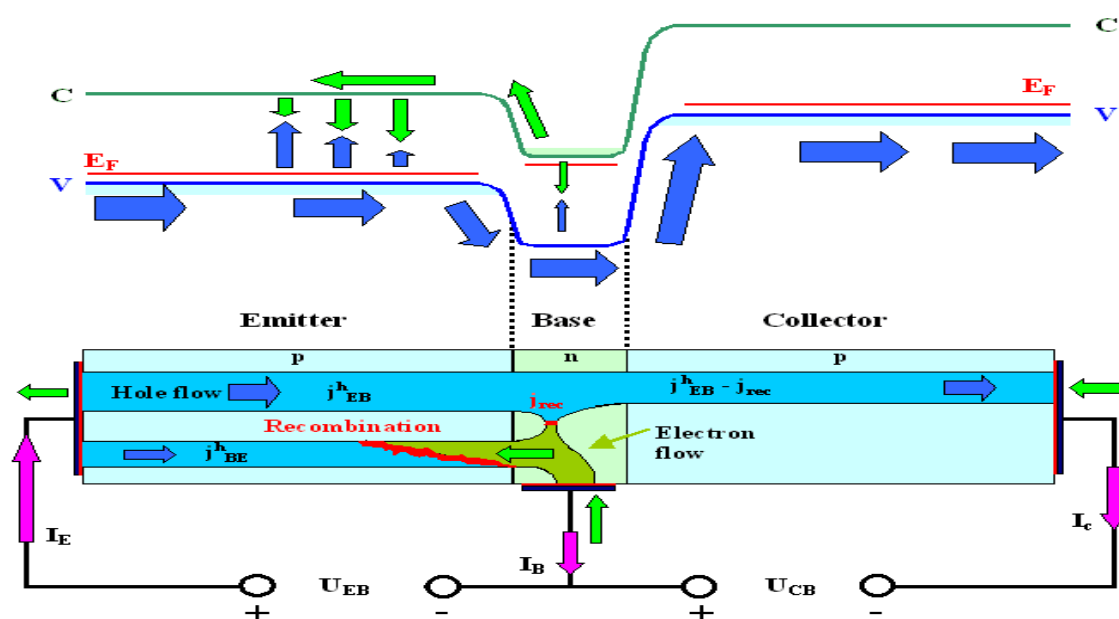
Để BJT hoạt động ở chế độ khuếch đại thì lớp tiếp giáp B-E phải được



Hình 4.4: Phân cực cho transistor

phân cực thuận, lớp tiếp giáp B-C phân cực ngược (hình 4.4).

Xét BJT thuộc loại npn, khi đó sự chuyển động của electron trong BJT được mô tả như hình 4.5.



Các điện tử (electron) tự do trong miền E (miền pha tạp lớn nhất) dễ dàng khuếch tán về phía lớp tiếp giáp B-E và đi sang miền B (do miền này là bán dẫn loại p thiếu điện tử). Do miền B có kích thước nhỏ cũng như nồng độ pha tạp thấp (có nghĩa là số lượng lỗ trống tự do trong miền này là giới hạn) nên chỉ có một lượng nhỏ điện tử tự do ở lại tái hợp với các lỗ trống trong miền B tạo nên dòng điện trên cực bazơ (dòng điện này thường rất nhỏ). Các điện tử còn lại tiếp tục di chuyển qua miền bazơ đi đến tiếp giáp B-C. Tại đây, do tiếp giáp B-C phân cực ngược những điện tử tự do này sẽ bị kéo về miền C do tác dụng của điện trường ngoài và đi về phía cực âm của nguồn điện nối với cực C tạo thành dòng điện trên cực collector.

Các dòng điện trong BJT

Chiều của các dòng điện chạy trong transistor được biểu diễn trên hình 4.6

Ký hiệu dòng điện trên cực E, B và C của BJT lần lượt là I_E , I_B , I_C ; khi đó từ nguyên tắc hoạt động dễ dàng nhận thấy mối liên hệ giữa các dòng điện trong transistor như sau:

$$I_E = I_B + I_C \quad (4.1)$$

4.3. Các tham số đặc trưng của transistor lưỡng cực

4.3.1. Hệ số khuếch đại dòng một chiều

Tỷ số giữa dòng điện trên cực collector và bazơ gọi là hệ số khuếch đại dòng một chiều của transistor ký hiệu là β_C :

$$\beta_C = \frac{I_C}{I_B} \quad (4.2)$$

Trên thực tế, giá trị của β_C thường nằm trong khoảng từ 20 đến 200 hoặc cao hơn. β_C thường được biểu diễn là h_{FE} trong các bảng tham số tra cứu của transistor.

$$h_{FE} = \beta_C \quad (4.3)$$

β_C hay h_{FE} là một tham số quan trọng của BJT, đại lượng này không thật sự là một hằng số mà nó biến đổi theo dòng trên cực collector và theo sự thay đổi của nhiệt độ. Giữ cố định nhiệt độ trong miền tiếp giáp, việc tăng I_C là nguyên nhân dẫn đến β_C tăng. Tăng I_C đến một giá trị nhất định nào đó β_C đạt tới giá trị cực đại; nếu I_C tiếp tục tăng thì β_C sẽ giảm xuống.

Giữ cố định dòng I_C và thay đổi nhiệt độ miền tiếp giáp; β_C cũng biến đổi theo sự biến đổi của nhiệt độ. Mối liên hệ giữa β_C được mô tả trên hình 4.7.

Các giá trị của β_C đưa ra trong các bảng tra cứu thông số của transistor thường là các giá trị ứng với I_C nhỏ nhất và ở nhiệt độ phòng. Trong thiết kế mạch điện giá trị này có thay đổi so với giá trị nhà sản xuất đưa ra là điều không thể tránh khỏi.

Tỷ số giữa dòng điện trên cực collector và emitter ký hiệu là β_E :

$$\beta_E = \frac{I_C}{I_E} \quad (4.4)$$

Giá trị của β_E luôn nhỏ hơn 1 và thường nằm trong khoảng từ 0.95 đến 0.99

4.3.2. Mối liên hệ giữa β_E và β_C

Chia cả hai vế của biểu thức (4.1) ta được:

$$\frac{I_E}{I_C} = \frac{I_C}{I_C} + \frac{I_B}{I_C} = 1 + \frac{I_B}{I_C}$$

Thay (4.2) và (4.4) vào biểu thức trên:

$$\frac{1}{\beta_E} = 1 + \frac{1}{\beta_C} \quad (4.5)$$

4.3.3. Phân tích dòng điện và điện áp một chiều trên BJT

Đặt: I_B, I_C, I_E là dòng một chiều trên các cực B, C, E của BJT

V_{BE}, V_{CB}, V_{CE} : là hiệu điện thế giữa cực B và E, cực C và B, cực C và E

Xét sơ đồ mạch như hình 4.8

V_{BB} là điện áp phân cực thuận cho tiếp giáp B-E ; V_{CC} là điện áp phân cực ngược cho tiếp giáp B-C. Cũng tương tự như diốt V_{BE} nhận giá trị 0.2-0.3V (nếu BJT cấu tạo từ bán dẫn Ge) hoặc nhận giá trị 0.5 – 0.7V (nếu BJT cấu tạo từ bán dẫn Si):

Giả sử: $V_{BE} = 0.7V$

Khi đó điện áp sụt trên R_B là:

$$V_{RB} = V_{BB} - V_{BE}$$

Áp dụng định luật Ôm :

$$V_{RB} = I_B \cdot R_B$$

$$I_B \cdot R_B = V_{BB} - V_{BE}$$

Như vậy:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \quad (4.6)$$

Điện áp sụt trên R_C :

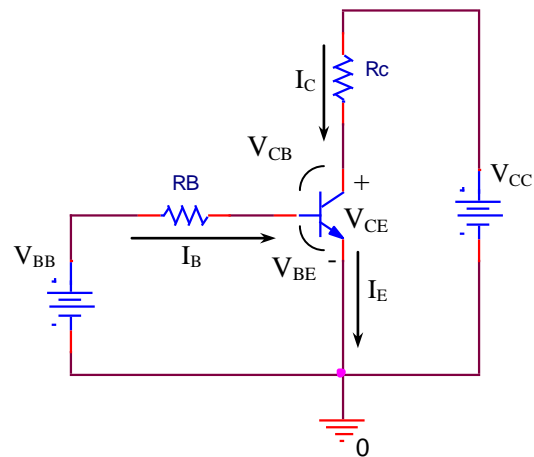
$$V_{RC} = I_C \cdot R_C$$

Hiệu điện thế trên cực C và E được xác định bằng biểu thức:

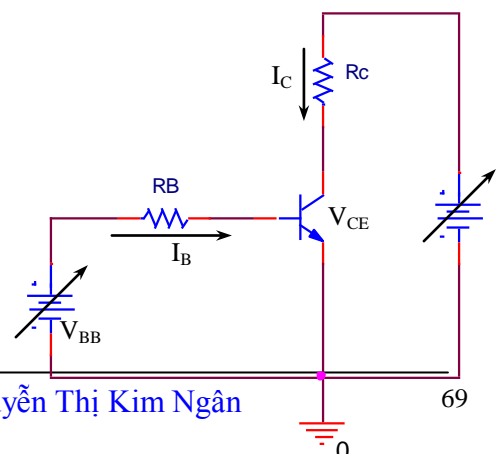
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (4.7)$$

Trong đó: $I_C = \beta \cdot I_B$
(4.8)

Hiệu điện thế giữa collector và bazơ:



Hình 4.8: Dòng điện và điện áp trên transistor



Hình 4.9: Mạch khảo sát đặc tuyến

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} \quad (4.9)$$

4.3.4. Đường đặc tuyến

Sử dụng mạch điện như hình 4.9. Thay đổi giá trị của V_{CC} ta sẽ vẽ được đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa dòng điện I_C và hiệu điện thế V_{CE} tương ứng với mỗi một giá trị I_B nhất định, đồ thị này gọi là đường đặc tuyến trên cực collector của transistor.

Hình 4.10 biểu diễn đường đặc tuyến trên collector. Đặc tuyến được chia thành ba vùng:

Vùng 1: nằm trong đoạn từ điểm A đến điểm B. Khi $V_{CE} < 0.7V$ cả hai tiếp giáp B-E và B-C đều phân cực thuận dòng điện I_C rất nhỏ. Nếu $V_{CE} = 0V$ thì $I_C = 0A$. Vùng này được gọi là vùng bão hòa. BJT hoạt động trong vùng này gọi là transistor hoạt động ở chế độ bão hòa.

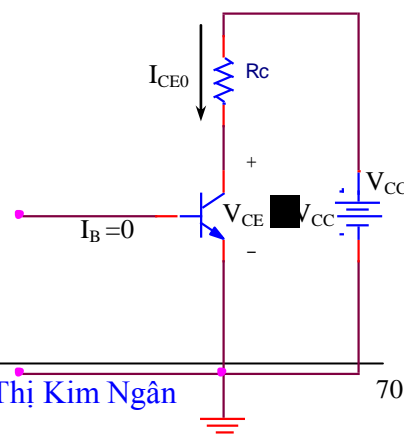
Vùng 2: nằm trong đoạn từ B đến C trên đồ thị. Khi V_{CE} tăng $>0.7V$, tiếp giáp B-E phân cực thuận, tiếp giáp B-C phân cực ngược, dòng I_C tăng so với vùng bão hòa. Giá trị của I_C trong vùng này thay đổi rất ít gần như một hằng số và được xác định bởi biểu thức (4.8). Vùng 2 được gọi là vùng tích cực hay vùng tuyến tính. BJT hoạt động trong vùng này gọi là transistor làm việc ở chế độ khuếch đại (hoặc chế độ tích cực)

Vùng 3: nằm từ điểm C trên đồ thị. Khi V_{CE} đạt một giá trị đủ lớn lớp tiếp giáp B-C rơi vào chế độ đánh thủng, dòng I_C tăng lên một cách đột ngột, vùng này được gọi là vùng đánh thủng. Transistor không hoạt động trong vùng này.

Tương ứng với mỗi một giá trị của I_B sẽ có một đường đặc tuyến. Tập hợp các giá trị của I_B tạo ra họ các đường đặc tuyến. Khi $I_B = 0$, dòng I_C lúc này là dòng rò có giá trị rất nhỏ. Transistor hoạt động trong vùng này được gọi là vùng cắt (hay BJT hoạt động ở chế độ cắt dòng) (hình 4.11).

4.3.5. Điểm cắt

Như đã trình bày trong mục trước, khi $I_B=0$ transistor làm việc ở chế độ cắt dòng. Hình 4.12 mô tả một mạch điện có cực bazơ hở, lúc này $I_B = 0$ và dòng điện trên cực collector chỉ là dòng rò (I_{CE0}) có giá trị



Hình 4.12: Transistor ở chế độ cắt dòng

rất nhỏ được tạo ra chủ yếu là do nhiệt. Do I_{CE0} rất nhỏ có thể bỏ qua nên $V_{CE} = V_{CC}$. Trong vùng cắt cả hai lớp tiếp giáp B-E và B-C đều phân cực ngược.

4.3.6. Điểm bão hòa

Khi dòng điện trên cực bazơ tăng, dòng I_C cũng tăng theo (biểu thức 4.8) và điện áp V_{CE} giảm theo biểu thức 4.7. Giá trị V_{CE} nằm trong phạm vi transistor làm việc ở chế độ bão hòa ký hiệu là $V_{CE(sat)}$. Khi đó, lớp tiếp giáp B-C phân cực thuận I_C tăng nhanh thậm chí không phụ thuộc tốc độ tăng của I_B . Tại điểm bão hòa trên đồ thị mối liên hệ như biểu thức 4.8 không còn đúng nữa. $V_{CE(sat)}$ là tọa độ điểm gãy khúc trên đường đặc tuyến giá trị này rất nhỏ chỉ khoảng 1/10 V đối với Si- transistor.

4.3.7. Đường tải tĩnh

Đường thẳng nối hai điểm: điểm cắt và điểm bão hòa gọi là đường tải tĩnh. Điểm đầu của đường tải tĩnh chính là điểm cắt có tọa độ $I_C = I_{C(sat)}$, $V_{CE} = V_{CE(sat)}$; Điểm cuối là điểm bão hòa có tọa độ $I_C = 0$, $V_{CE} = V_{CC}$. Giữa điểm bão hòa và điểm cắt là vùng tích cực của transistor.

4.3.8. Tổn hao cực đại của transistor

Cũng giống như các linh kiện điện tử khác, trong khi hoạt động BJT cũng có các giới hạn do sự chênh lệch giữa tổn hao lớn nhất và thông số do nhà sản xuất đưa ra. Thông thường tổn hao được xác định bởi điện áp collector - bazơ, collector – emitter, emitter – bazơ, dòng trên cực collector và công suất tiêu hao.

Giá trị của V_{CE} và I_C không được vượt quá công suất tiêu hao cực đại. V_{CE} và I_C không thể cùng đồng thời nhận giá trị cực đại. Nếu V_{CE} lớn nhất thì:

$$I_C \leq \frac{P_{D(max)}}{V_{CE}} \quad (4.10)$$

Nếu I_C là cực đại thì V_{CE} được xác định bởi:

$$V_{CE} \leq \frac{P_{D(max)}}{I_C} \quad (4.11)$$

Hình 4.13 biểu diễn đồ thị công suất tiêu hao. Những vùng đánh bóng trên đồ thị là vùng không hoạt động của transistor. Giá trị I_C max giới hạn tổn hao giữa điểm A và B, $P_{D(max)}$ là đường giới hạn giữa điểm B và C, V_{CE} là biên giới cho đoạn CD.

4.3.9. Công suất có ích ($P_{D(max)}$)

Đại lượng $P_{D(max)}$ được đưa ra bởi nhà sản xuất thường lấy tại nhiệt độ $25^{\circ}C$. Đối với nhiệt độ cao hơn giá trị này sẽ giảm xuống. Đồng thời với việc đưa ra công suất tại nhiệt độ phòng nhà sản xuất cũng đưa ra hệ số dùng cho việc xác định công suất của transistor tại các điểm nhiệt độ khác nhau. Ví dụ hệ số tiêu hao công suất theo nhiệt độ là $2mW/^{\circ}C$ nghĩa là công suất giảm đi $2mW$ khi nhiệt độ tăng lên $1^{\circ}C$.

4.4. Chế độ khuếch đại của transistor

Khuếch đại là công việc nhằm làm tăng biên độ của tín hiệu, đây là một khả năng chính của transistor.

4.4.1. Các đại lượng một chiều và xoay chiều

Trước khi tìm hiểu về khả năng khuếch đại của transistor, chúng ta phải tìm hiểu về các tham số một chiều cũng như xoay chiều của nó bởi vì trong một mạch khuếch đại luôn tồn tại hai thành phần tín hiệu đó là thành phần một chiều và thành phần xoay chiều. Các đại lượng cần quan tâm ở đây chính là các dòng điện, điện áp và trở kháng.

Quy ước: I_B, I_C, I_E : là các dòng điện 1 chiều

V_{BE}, V_{CE}, V_{CB} là điện áp 1 chiều

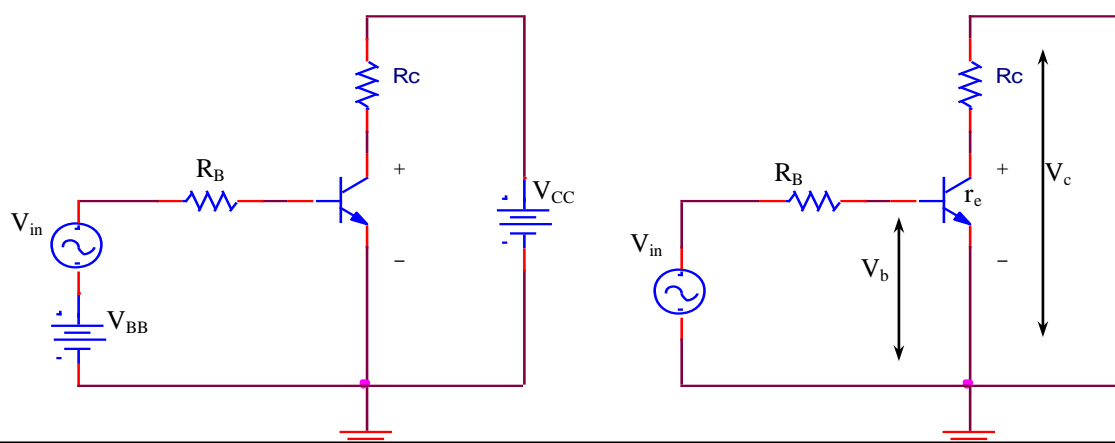
I_b, I_c, I_e : là các dòng điện xoay chiều

V_{be}, V_{ce}, V_{cb} là điện áp xoay chiều

Điện trở nội của BJT ký hiệu là r

4.4.2. Transistor khuếch đại

Như đã biết ở phần trước, BJT có khả năng khuếch đại dòng điện bởi $I_C = \beta I_B$. Vậy còn khả năng khuếch đại điện áp thì sao? Xét mạch điện như hình 4.14a. Điện áp xoay chiều đưa vào bazơ sẽ tạo ra dòng xoay chiều I_b kết quả



Phạm Thị Thanh Huyền- Phạm Thị Quỳnh Trang- Nguyễn Thị Kim Ngân

a. Sơ đồ mạch khuếch đại

b. Sơ đồ tương đương

là thu được dòng xoay chiều I_c lớn hơn nhiều lần so với dòng vào I_b . Dòng I_c này tạo nên điện áp xoay chiều trên R_C , khi BJT hoạt động trong chế độ khuếch đại điện áp này lớn hơn nhiều lần so với điện áp lối vào điều này được chứng minh ở phần sau.

Sơ đồ tương đương

Ngắn mạch các nguồn một chiều thu được sơ đồ tương đương chỉ gồm các thành phần xoay chiều (hình 4.14b).

Lớp tiếp giáp B-E được phân cực thuận tồn tại một điện trở nội rất nhỏ ký hiệu là r_e Dòng xoay chiều trên emittơ được xác định bởi:

$$I_e \approx \frac{V_b}{r_e} \tag{4.12}$$

Điện áp xoay chiều tại collector:

$$V_c = I_c \cdot R_C$$

Do $I_c \approx I_e$ nên $V_c = I_e \cdot R_C$ (4.13)

V_b được xem như điện áp đầu vào của BJT khi $V_b = V_{in} - I_b R_B$. V_c xem như điện áp đầu ra của BJT

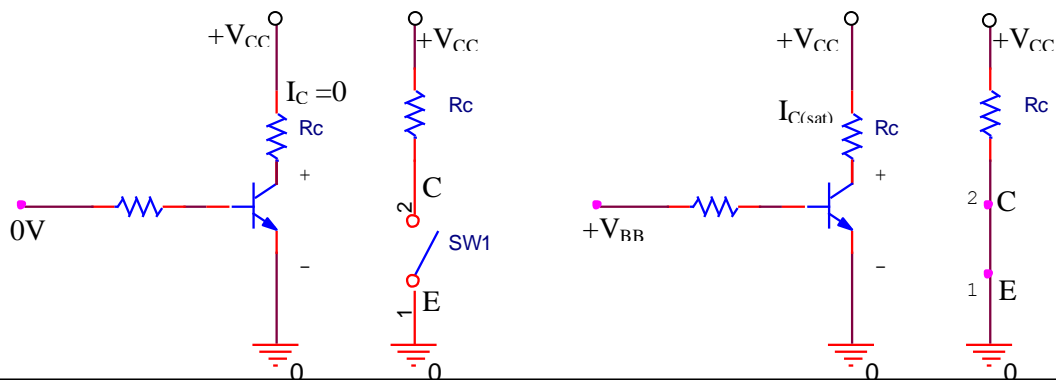
Tỷ số giữa V_c và V_b gọi là hệ số khuếch đại điện áp của transistor:

$$K_v \approx \frac{V_c}{V_b} \approx \frac{I_e R_C}{I_e r_e} \approx \frac{R_C}{r_e} \tag{4.14}$$

Vì R_C thường rất lớn so với r_e nên điện áp lối ra lớn hơn so với điện áp lối vào. Công thức (4.14) đã chứng minh khả năng khuếch đại điện áp của BJT.

4.4.3. Khóa transistor

Hình 4.15 mô tả transistor hoạt động như một khóa điện tử. Trong hình



Phạm Thị Thanh Huyền, Phạm Thị Quỳnh Trang- Nguyễn Thị Kim Ngân 73

Hình 4.15: Khóa transistor

4.15a BJT làm việc ở chế độ cắt dòng do lớp tiếp giáp B-E không được phân cực thuận, khi đó giữa cực C và E tương đương một chiếc khóa ở trạng thái mở. Trong hình 4.15b BJT làm việc ở chế độ bão hòa lớp tiếp giáp B-E và B-C đều phân cực thuận, dòng I_B đủ lớn để I_C đạt đến giá trị bão hòa, khi đó giữa cực C và E coi như được ngắn mạch (khóa đóng). Thực tế, V_{CE} không bằng 0 mà đạt giá trị cỡ $1/10V$ và đó chính là điện áp $V_{CE(sat)}$ bão hòa

Điều kiện để BJT làm việc ở chế độ cắt dòng

Như đã biết, một BJT hoạt động ở chế độ cắt dòng khi lớp tiếp giáp B-E không được phân cực thuận. Bỏ qua dòng rò thì tất cả các dòng điện bằng 0 và điện áp $V_{CE}=V_{CC}$

Điều kiện để BJT làm việc ở chế độ bão hòa

Khi tiếp giáp B-E được phân cực thuận và dòng điện qua cực bazơ đủ lớn để tạo ra dòng I_C cực đại BJT hoạt động ở chế độ bão hòa. Dòng I_C bão hòa được xác định như sau:

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C} \quad (4.15)$$

Vì $V_{CE(sat)}$ rất nhỏ so với V_{CC} nên có thể bỏ qua. Dòng I_B nhỏ nhất mà BJT có thể hoạt động trong vùng bão hòa là

$$I_{Bmin} = \frac{I_{C(sat)}}{\beta} \quad (4.16)$$

4.5. Phân loại transistor

Các nhà sản xuất phân BJT thành ba loại: transistor thông thường (hay còn gọi là transistor tín hiệu nhỏ), transistor công suất và transistor RF (radio frequency/ microwave). Mặc dù được phân chia như vậy nhưng có một số transistor có đặc điểm pha lẫn của nhiều loại và có thể nhận nhiệm vụ của các loại transistor khác nhau. Tuy vậy, để chọn được một loại transistor hợp lý cho mỗi mạch điện chúng ta vẫn cần xét đặc điểm riêng của từng loại.

Transistor thông thường (transistor tín hiệu nhỏ): được dùng trong những mạch khuếch đại hoặc mạch khóa có công suất thấp. Loại này thường có vỏ bằng nhựa hay kim loại. Đôi khi loại này được tích hợp thành nhiều

transistor trong một vỏ giống như một IC. Cách sắp xếp chân của BJT chỉ rõ các cực B,C,E (hình 4.16).

Transistor công suất: được sử dụng trong các mạch có điện áp và dòng điện lớn (dòng cỡ Ampe). Ta hay gặp các transistor loại này trong tầng khuếch đại ra loa của các máy thu âm thanh nổi. Hình 4.17 biểu diễn hình dạng thực tế của các transistor công suất, hầu hết chúng đều có vỏ là kim loại hoặc có một miếng kim loại gắn vào vỏ để gắn với một tấm tản nhiệt giúp giảm nhiệt độ cho transistor trong quá trình hoạt động. Những miếng kim loại này thường nối với cực collector.

RF transistor: được thiết kế cho những ứng dụng tần số cao. Chúng được dùng trong các hệ thống viễn thông, hay các mạch hoạt động với tín hiệu cao tần. RF transistor không có hình dạng hay cấu trúc cố định mà nó được thiết kế nhằm tối ưu hóa một thông số nào đó trong ứng dụng.

4.6. Các pan trong transistor

Đối với các mạch transistor đơn giản, những hỏng hóc thường gặp là đứt điện trở trong mạch, đứt các mối liên kết bên trong transistor hay ngắn mạch các điện trở... Khi có lỗi, giá trị dòng điện và điện áp tại các cực của transistor không đúng so với tính toán cụ thể.

Xét một mạch điện đơn giản (hình 4.18) với các thông số $V_{BB} = 3V$, $V_{CC} = 9V$, $\beta_c = 200$. Dòng điện và điện áp trên các cực của transistor được tính như sau:

$$V_B = V_{BE} = 0.7V$$

$$I_B = \frac{3V - 0.7V}{56k} = 41.1\mu A$$

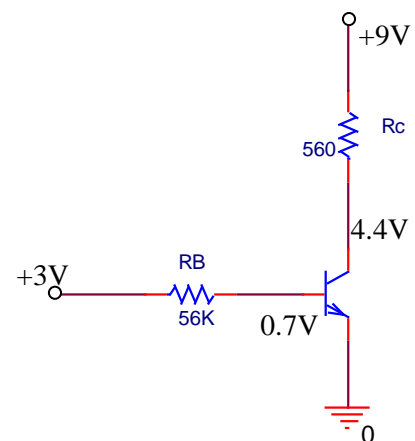
$$I_C = \beta_c \cdot I_B = 200(41.1\mu A) =$$

$$8.2mA$$

$$V_C = 9V - I_C R_C = 9V - (8.2mA)(560\Omega) =$$

$$4.4V$$

Hình 4.19 biểu diễn một số pan trong mạch hình 4.18 và giá trị dòng điện, điện áp đo được khi gặp pan này.



Hình 4.18



4.7. Kiểm tra, đo thử transistor

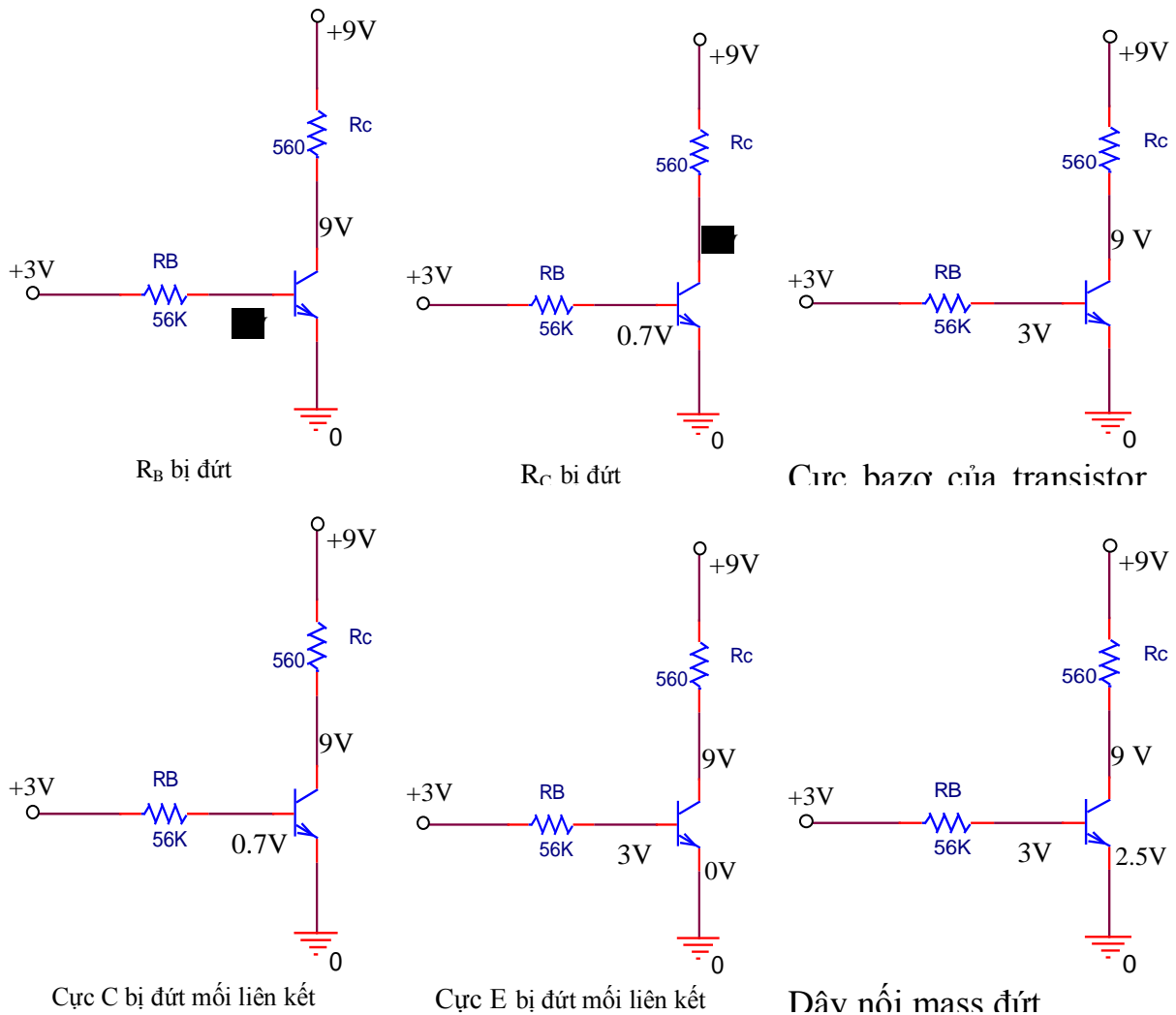
3.4.7.1. Kiểm tra transistor bằng đồng hồ số (DMM-Digital Multimeter)

Sử dụng đồng hồ số có thể kiểm tra các mối liên kết trong transistor một cách đơn giản. Để thực hiện thao tác này, ta coi transistor như hai điốt (hình 4.20). Lớp tiếp giáp B-C coi là một điốt, lớp tiếp giáp B-E coi là điốt thứ hai. Giả thiết rằng hai điốt là lý tưởng, có nghĩa là điện trở của chúng bằng 0 (hoặc rất nhỏ có thể bỏ qua) khi phân cực thuận và bằng vô cùng (rất lớn) khi phân cực ngược.

Thao tác kiểm tra transistor bằng đồng hồ số:

Nhiều loại đồng hồ số có chức năng kiểm tra điốt do vậy sẽ rất thuận tiện cho việc kiểm tra transistor. Để kiểm tra transistor bằng loại đồng hồ này, ta đặt chổi mạch của đồng hồ tại vị trí có ký hiệu điốt. Đặt hai que đo vào hai chân cực của transistor cần kiểm tra (thao tác này được thực hiện hai lần có đảo chiều que đo), đồng hồ sẽ hiển thị giá trị điện áp đủ để hai cực này phân cực thuận và phân cực ngược.

Đối với transistor NPN: đặt que đo của đồng hồ tại cực bazơ, que đen đặt tại emitter trong trường hợp này tiếp giáp B-E được phân cực thuận, nếu mỗi liên kết giữa hai cực còn tốt đồng hồ sẽ chỉ một giá trị điện áp nằm trong khoảng từ 0.5V đến 0.9V. Đảo lại chiều que đo (que đỏ đặt tại E, que đen đặt tại B) lúc này tiếp giáp B-E phân cực ngược, đồng hồ hiển thị giá trị điện áp xấp xỉ bằng nguồn pin của đồng hồ. Thực hiện thao tác như trên đối với hai



Hình 4.19: Các pan trong một mạch khuếch đại đơn giản dùng transistor

chân cực B và C, ta cũng thu được các kết quả tương tự.

Trong trường hợp khi phân cực thuận và phân cực ngược cho một lớp tiếp giáp nào đó (tiếp giáp B-E hoặc tiếp giáp B-C) nếu đồng hồ luôn hiển thị giá trị điện áp bằng điện áp nguồn pin đồng hồ thì mỗi liên kết này bị đứt. Nếu đồng hồ luôn hiển thị giá trị 0V thì lớp tiếp giáp này bị đánh thủng. Đôi khi giá trị nhận được trên đồng hồ lớn hơn 0.7V và nhỏ hơn nhiều điện áp

nguồn pin đồng hồ trong cả hai trường hợp phân cực thuận và phân cực ngược, khi đó transistor cũng không còn khả năng hoạt động tốt.

Một số loại đồng hồ có chức năng kiểm tra transistor một cách trực tiếp bằng phương pháp đo β_c . Trên đồng hồ đã có sẵn các lỗ cắm cho các chân cực của transistor, nếu đồng hồ hiển thị giá trị β_c đúng (giống với giá trị trong bảng tra cứu về linh kiện) thì transistor đó hoạt động tốt, trường hợp ngược lại đồng hồ hiển thị giá trị $\beta_c = 0$ hoặc bằng 1.

Kiểm tra transistor sử dụng thang đo điện trở:

Nếu đồng hồ không có chức năng kiểm tra điốt hoặc đo β_c ta có thể kiểm tra khả năng hoạt động của transistor ở thang đo điện trở.

Thao tác thực hiện: đặt chuyển mạch của đồng hồ tại vị trí đo Ôm. Đối với mỗi lớp tiếp giáp (B-E và B-C) cũng thực hiện đo hai lần có đảo chiều que đo.

Đối với transistor NPN: xét lớp tiếp giáp B-E, đặt que đỏ tại cực E, que đen tại cực B, tiếp giáp B-E được phân cực thuận, nếu mối liên kết của lớp tiếp giáp này còn tốt giá trị điện trở hiển thị trên đồng hồ sẽ rất nhỏ cỡ khoảng vài trăm Ω . Đảo lại chiều que đo: đỏ tại cực B, đen tại E, tiếp giáp B-E phân cực ngược, nếu mối liên kết của lớp tiếp giáp này còn tốt đồng hồ sẽ báo một giá trị điện trở vượt quá giới hạn đo hoặc hiển thị một dấu gạch ngang.

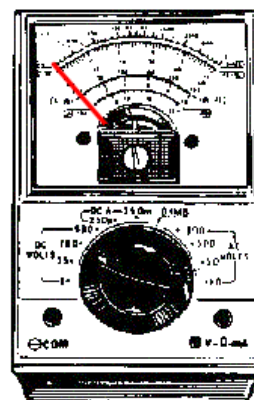
Thao tác tương tự với lớp tiếp giáp B-C.

Chú ý: Giá trị điện trở được coi là rất nhỏ hay rất lớn trong phương pháp kiểm tra này chỉ là một khái niệm mang tính tương đối phụ thuộc vào mỗi loại đồng hồ. Điện trở của tiếp giáp khi phân cực thuận là nhỏ khi được so sánh với điện trở khi tiếp giáp đó lúc phân cực ngược.

4.7.2. Kiểm tra transistor bằng đồng hồ kim

Chỉnh đồng hồ ở thang đo điện trở

Đối với transistor NPN: đầu tiên đặt que đen của đồng hồ vào chân cực bazơ và que đỏ vào chân cực emitter đồng hồ sẽ chỉ giá trị khoảng từ 100 Ω đến vài K Ω (đối với Ge transistor giá trị đọc được trên đồng hồ có thể nhỏ hơn). Tiếp theo, di chuyển que đỏ đến chân cực collector, đồng hồ sẽ chỉ một giá trị tương tự như trên. Thực hiện thao tác tương tự với các cặp chân còn lại



đồng hồ không lên kim, như vậy transistor hoạt động tốt. Nếu trong các trường hợp này kim đồng hồ vọt lên có nghĩa là transistor đó đã bị hỏng.

4.7.3. Kiểm tra transistor công suất

Không giống như transistor tín hiệu nhỏ, transistor công suất có các mặt ghép B-E và B-C tương đương như một cặp điốt. Do sự khác biệt về mặt cấu tạo như vậy nên khi kiểm tra transistor công suất bằng đồng hồ thì giá trị thu được hơi khác so với transistor thường một chút. Giá trị đồng hồ hiển thị khi đo kiểm tra giữa chân C và E sẽ nhỏ hơn giữa B-C và điện trở giữa B-E khoảng 50% hay vì xấp xỉ 0% như đối với transistor thường.

4.8. Các cách cấp nguồn cơ bản

4.8.1. Điểm làm việc tĩnh và đường tải tĩnh

Một transistor muốn hoạt động như một bộ khuếch đại trước hết phải cung cấp nguồn một chiều cho nó. Nếu như nguồn cung cấp một chiều không phù hợp thì thay vì thực hiện khuếch đại transistor có thể sẽ làm việc ở chế độ cắt dòng hay chế độ bão hòa khi có tín hiệu xoay chiều đưa vào. Hình 4.20 biểu diễn các trường hợp có thể xảy ra khi cấp nguồn một chiều cho transistor khuếch đại. Tương ứng với giá trị một chiều được đặt cho transistor sao cho những biến đổi của tín hiệu vào sẽ được khuếch đại một cách chính xác tại lối ra. Giá trị một chiều cơ bản được xét ở đây là điện áp V_{CE} và cường độ dòng điện I_C (như đã tìm hiểu trong phần trước) được gọi là điểm công tác tĩnh của mạch, ký hiệu là Q.

Hình 4.20a mô tả một BJT được cấp nguồn một chiều hợp lý, tín hiệu tại lối ra có hình dạng giống như tín hiệu vào nhưng biên độ được tăng lên nhiều lần. Hình 4.20b biên độ của tín hiệu lối ra bị ghim rại một mức một chiều ở phía trên nguyên nhân là do điểm công tác tĩnh (điểm Q) nằm gần về phía vùng cắt của transistor. Trong hình 4.20c, tín hiệu lối ra bị cắt một phần phía dưới nguyên nhân do điểm công tác tĩnh nằm gần vùng bão hòa.

Đường tải tĩnh:

Khi I_B tăng, I_C tăng còn V_{CE} giảm. Khi I_B giảm thì I_C giảm và V_{CE} tăng. Vì vậy điện áp cung cấp V_{BB} tăng lên hay giảm đi điểm công tác tĩnh sẽ chạy trên một đường chéo đường này gọi là đường tải tĩnh (hình 4.21).

Như vậy đường tải tĩnh là đường thẳng nối tất cả các điểm công tác tĩnh có thể có của một mạch khuếch đại dùng transistor. Nó bắt đầu từ điểm có tọa

độ $I_C = I_{C0}$, $V_{CE} = V_{CE0}$ là điểm cắt và kết thúc tại tọa độ $I_C = I_{C(sat)}$, $V_{CE} = V_{CE(sat)}$ là điểm bão hòa.

Chế độ tuyến tính: vùng hoạt động của transistor chạy dọc theo đường tải tĩnh được gọi là vùng tuyến tính (vùng tích cực). Khi transistor hoạt động trong vùng này tín hiệu lối ra lặp lại một cách tuyến tính theo tín hiệu vào (hình 4.22).

Sự méo dạng tín hiệu: Vị trí của điểm Q sẽ ảnh hưởng đến dạng của tín hiệu lối ra. Giả sử tín hiệu vào có dạng hình sin tín hiệu ra có thể bị méo dạng như trong hình 4.23. Hình 4.23a mô tả tín hiệu vào và ra khi điểm Q nằm gần với điểm cắt, hình 4.23b mô tả tín hiệu vào/ra khi điểm Q nằm gần điểm bão hòa, trong hình 4.23c tín hiệu ra bị cắt cả hai đầu do tín hiệu vào có biên độ quá lớn.

4.8.2. Mạch cấp nguồn ổn định điện áp cực bazo

Sơ đồ mạch được biểu diễn trong hình 4.24

Khi transistor hoạt động trong vùng tích cực điện áp sụt trên R_B là $V_{CC} - V_{BE}$. Dòng I_B được xác định bởi:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \quad (4.17)$$

Áp dụng định luật Kirchhoff về vòng điện trong mạch ta có:

$$V_{CC} - I_C R_C - V_{CE} = 0$$

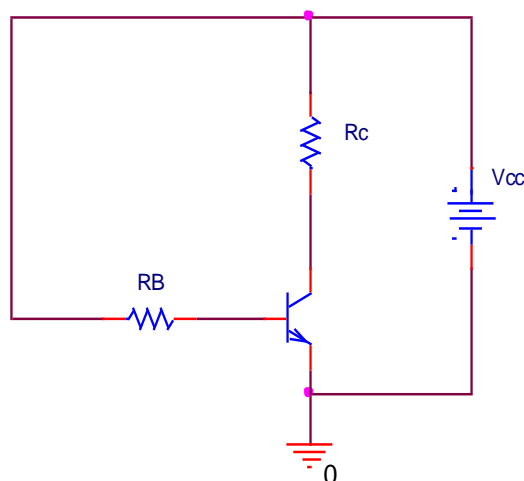
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (4.18)$$

Do $I_C = \beta I_B$ nên:

$$I_C = \beta \left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \right) \quad (4.19)$$

Ảnh hưởng của β đến điểm công tác tĩnh

Từ biểu thức 4.19 có thể nhận thấy I_C phụ thuộc vào β . Như vậy sự thay đổi của β là nguyên nhân dẫn đến sự thay đổi của I_C và V_{CE} làm cho



Hình 4.24: Mạch cấp nguồn cố định áp cực bazo

điểm công tác tĩnh bị dịch chuyển. Như trên đã xét, I_C phụ thuộc vào nhiệt độ và dòng điện trên cực collector, thêm vào đó giá trị này thay đổi tùy thuộc vào mỗi linh kiện và mỗi nhà sản xuất. Do vậy mạch cấp nguồn kiểu cố định điện áp cực bazơ có thể làm méo dạng tín hiệu ra nếu thay thế một transistor khác hoặc nếu nhiệt độ của môi trường thay đổi đủ để ảnh hưởng đến I_C .

Ví dụ: Cho mạch điện như hình 4.24 với các tham số sau: $R_B = 100K$, $R_C = 560$. Nhiệt độ thay đổi từ $25^{\circ}C$ đến $75^{\circ}C$ và $\beta_C = 100$ tại nhiệt độ $25^{\circ}C$, $\beta_C = 150$ tại nhiệt độ $75^{\circ}C$. Hãy xác định % dịch chuyển của điểm công tác tĩnh Q theo sự thay đổi của nhiệt độ bỏ qua dòng rò và sự thay đổi của V_{BE} .

Giải: Tại $25^{\circ}C$ tọa độ điểm công tác tĩnh là

$$I_C = \beta_C \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = 100 \frac{2V - 0.7V}{100K} = 1.3mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 2V - 1.3mA(560) = 5.67V$$

Tại $75^{\circ}C$ tọa độ điểm công tác tĩnh là:

$$I_C = \beta_C \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = 150 \frac{2V - 0.7V}{100K} = 1.7mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 2V - 1.7mA(560) = 2.48V$$

Số % thay đổi I_C là :

$$\% \Delta I_C = \frac{I_{C(75^{\circ}C)} - I_{C(25^{\circ}C)}}{I_{C(25^{\circ}C)}} \cdot 100\% = \frac{1.7 - 1.3}{1.3} \cdot 100\% = 30\% \text{ (tăng lên)}$$

Số % thay đổi V_{CE} là :

$$\% \Delta V_{CE} = \frac{V_{CE(75^{\circ}C)} - V_{CE(25^{\circ}C)}}{V_{CE(25^{\circ}C)}} \cdot 100\% = \frac{2.48 - 5.67}{5.67} \cdot 100\% = -63\% \text{ (giảm đi)}$$

Qua ví dụ trên có thể thấy được ảnh hưởng rất lớn của β_C đến điểm công tác tĩnh Q trong kiểu cấp nguồn này, do đó cách cấp nguồn này rất ít khi được dùng trong các mạch có transistor làm nhiệm vụ khuếch đại nó chỉ thường được dùng trong các mạch khóa.

Những nhân tố khác ảnh hưởng đến mạch cố định áp:

Ngoài ảnh hưởng của β_C , điểm công tác Q còn chịu ảnh hưởng của sự thay đổi giá trị V_{BE} và dòng I_{CB0} . Điện áp V_{BE} giảm khi nhiệt độ tăng và như vậy theo phương trình 4.17 dòng I_B sẽ tăng. Ảnh hưởng của V_{BE} có thể bỏ qua nếu $V_{CC} \gg V_{BE}$ (tối thiểu là V_{CC} lớn gấp 10 lần V_{BE}).

Ngược lại, dòng rò I_{CB0} làm giảm dòng I_B và tăng V_B do nó gây ra sụt áp trên R_B . Ngày nay, các transistor có dòng rò I_{CB0} cỡ khoảng dưới 100nA, ảnh hưởng của nhân tố này có thể bỏ qua nếu $V_{BB} \gg I_{CB0}R_B$.

4.8.3. Mạch cấp nguồn ổn định điện áp cực emitter

Đặc điểm của phương pháp cấp nguồn này là phải sử dụng nguồn một chiều đối xứng, tuy vậy đây là cách cấp nguồn có nhiều ưu điểm quan trọng.

Sơ đồ mạch biểu diễn trên hình 2.25

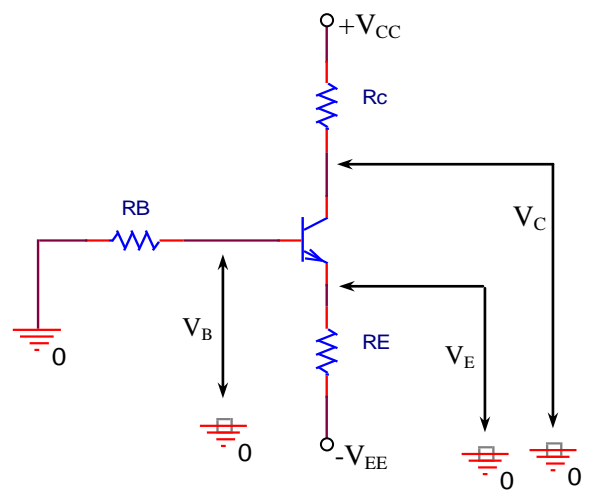
Nguồn V_{EE} cấp cho cực emitter sao cho tiếp giáp B-E phân cực thuận. Áp dụng định luật Kirchhoff về vòng điện (vòng B-E) ta có:

$$V_{EE} - I_B R_B - V_{BE} - I_E R_E = 0$$

$$V_{EE} = I_B R_B + V_{BE} + I_E R_E$$

Do $I_C \approx I_E$ và $I_C = \beta_C I_B$ nên:

$$I_B = \frac{I_E}{\beta_C + 1}$$



Hình 4.25: Mạch cấp nguồn ổn định cực emitter

Thay vào trên ta được:

$$V_{EE} = \frac{I_E}{\beta_C + 1} R_B + V_{BE} + I_E R_E$$

Dòng I_C được tính xấp xỉ như sau:

$$I_C \approx I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E + R_B / \beta_C} \quad (4.20)$$

Điện áp trên cực emitter:

$$V_E = -V_{EE} + I_E R_E$$

Điện áp trên cực bazơ:

$$V_B = V_E + V_{BE}$$

Điện áp trên cực collector:

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C$$

Điện áp V_{CE} là:

$$V_{CE} = V_C - V_E = V_{CC} - I_C R_C - (-V_{EE} + I_E R_E) = V_{CC} + V_{EE} - I_C (R_C + R_E) \quad (4.21)$$

Tính ổn định của mạch cấp nguồn kiểu ổn định điện áp cực emitter

Từ biểu thức 4.20 dễ dàng nhận thấy rằng I_E phụ thuộc vào V_{BE} và β_C , cả hai tham số này đều biến đổi theo nhiệt độ. Nếu $R_E \gg R_B / \beta_C$ phương trình 4.20 trở thành:

$$I_E \approx \frac{V_{EE} + V_{BE}}{R_E}$$

Như vậy I_E không phụ thuộc vào β_C . Hơn nữa, nếu $V_{EE} \gg V_{BE}$ thì:

$$I_E \approx \frac{V_{EE}}{R_E}$$

Khi đó, I_E không phụ thuộc bởi sự thay đổi của V_{BE} . Khi I_E độc lập với các tham số V_{BE} và β_C thì điểm công tác tĩnh Q được ổn định.

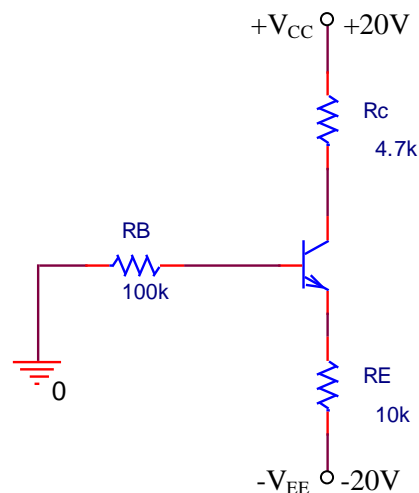
Ví dụ: Cho mạch điện như hình 4.26. Hãy xác định điểm công tác tĩnh Q và độ dịch chuyển của điểm Q theo nhiệt độ khi biết V_{BE} giảm từ 0.7V về 0.6V và β_C tăng từ 85 đến 100.

Giải:

Tại $\beta_C = 85$ và $V_{BE} = 0.7V$

$$I_C \approx \frac{V_{EE} + V_{BE}}{R_E} = \frac{20V + 0.7V}{10K + 100K} = 1.73mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - V_{EE} - I_C (R_C + R_E) = 20V - (-20V) - (1.73mA)(4.7K + 10K) = 4.6V$$



Tại $\beta_C = 100$ và $V_{BE} = 0.6V$

$$I_C = \frac{V_{E\bar{E}} - V_{BE}}{R_E + R_B / \beta_C} = \frac{20V - 0.6V}{10K + 100K / 100} = 1.85mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - V_{E\bar{E}} - I_C (R_C + R_E) = 20V - 0V - (1.85mA)(4.7K + 10K) = 3.8V$$

% thay đổi của I_C khi β_C thay đổi là:

$$\frac{1.85mA - 1.73mA}{1.73mA} 100\% = 6.94\%$$

% thay đổi của V_{CE} theo β_C là:

$$\frac{12.8V - 4.6V}{12.8V} 100\% = 4.0\%$$

Chú ý: Sơ đồ trên áp dụng cho transistor NPN, đối với transistor PNP nguồn đối xứng cho cực E và C phải được cấp ngược lại (nguồn âm vào C và nguồn dương vào E).

4.8.4. Mạch phân áp

Đây là sơ đồ cấp nguồn được sử dụng nhiều nhất trong thực tế, thực chất của mạch này là mạch ổn định điện áp cực emitter dùng nguồn đơn (một số tài liệu còn gọi sơ đồ này là mạch hồi tiếp âm dòng một chiều có phân áp cực bazơ).

Sơ đồ mạch phân áp được biểu diễn trên hình 4.27

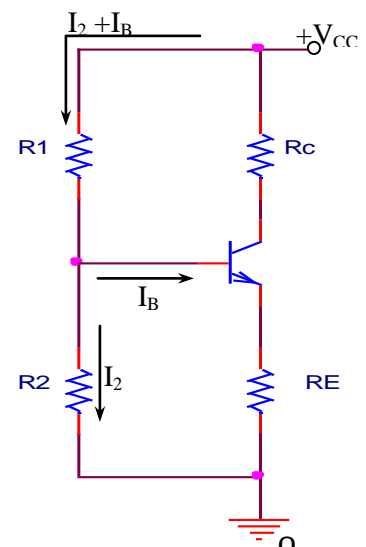
Nguồn một chiều cấp cho cực bazơ phụ thuộc vào giá trị các điện trở R_1, R_2 . Nếu dòng I_B rất nhỏ so với dòng I_2 , điện áp trên cực B được xác định bởi biểu thức:

$$V_B = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2} \quad (4.22)$$

Nếu I_B không đủ nhỏ so với I_2 để có thể bỏ qua thì điện trở vào trên bazơ ký hiệu là $R_{B(in)}$ được xác định như sau (hình 4.28):

$$R_{B(in)} = V_{in} / I_{in}$$

Trong đó V_{in} là điện áp một chiều của cực B so với mass, I_{in} là dòng vào cực B. ($I_{in} = I_B$)



Hình 4.27: Mạch phân áp

Áp dụng định luật Kirchhoff về vòng điện qua B-E ta có:

$$V_{in} = V_{BE} + I_E R_E$$

Giả thiết rằng $V_{BE} \ll I_E R_E$ khi đó:

$$V_{in} \approx I_E R_E$$

Do vậy điện trở vào được tính bởi:

$$R_{B(in)} \approx \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{I_C R_E}{I_B} \approx \beta R_E$$

Khi đó điện áp đặt trên bazơ là:

$$V_B = \frac{R_2 // \beta R_E}{R_1 + R_2 // \beta R_E} V_{CC} \tag{4.23}$$

Nếu $\beta R_E \gg R_2$ thì biểu thức 4.23 trở thành 4.22. Hoàn toàn có thể tính được các tham số còn lại trên mạch:

$$V_E = V_B - V_{BE}$$

$$I_E = V_E / R_E$$

$$I_C \approx I_E$$

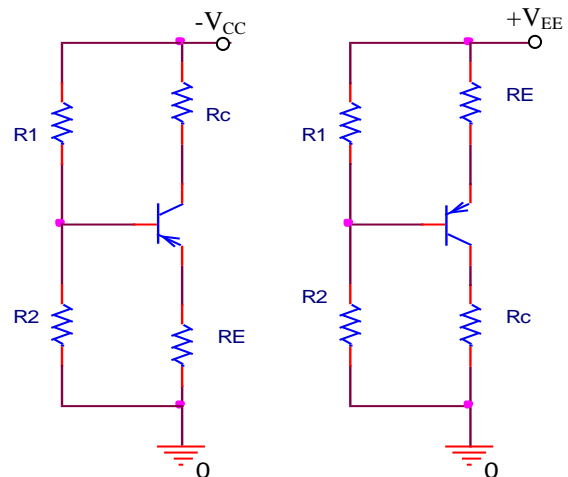
$$I_C \approx \frac{V_B - V_{BE}}{R_E} \tag{4.24}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E) \tag{4.25}$$

Tính ổn định của mạch cấp nguồn kiểu phân áp

Từ biểu thức 4.24 ta thấy I_C không phụ thuộc vào β (β không xuất hiện trong biểu thức tính I_C) trong điều kiện $\beta R_E \gg R_2$. Điều kiện này được coi là thỏa mãn nếu R_E được chọn ít nhất là lớn hơn 10 so với R_2 / β . Trong thực tế mạch cấp nguồn này được dùng nhiều bởi tính ổn định cao và không yêu cầu phải có nguồn cung cấp một chiều đối xứng.

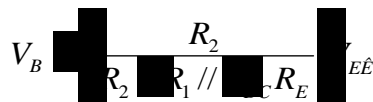
Mạch phân áp cho transistor PNP:



Phạm Thị Thanh Huyền- Phạm Thị Quỳnh Trang- Nguyễn Thị Kim Ngân 85
 a. Cấp nguồn âm cho cực C. b. Cấp nguồn dương cho cực

Hình 4.29: Mạch phân áp với transistor PNP

Đối với transistor loại PNP nguồn cấp cho nó phải có chiều ngược lại so với transistor loại NPN. Có thể dùng nguồn dương cấp cho cực E hoặc dùng nguồn âm cho cực C như hình 4.29. Quá trình tính toán các tham số của mạch được thực hiện tương tự như transistor NPN:



$$V_E = V_{BE} + V_B$$

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_E}{R_E}$$

$$V_C = I_C R_C$$

$$V_{EC} = V_E - V_C$$

Vi dụ: Cho mạch điện như hình 4.27 với các thông số: $R_1 = 10K$; $R_2 = 5.6K$; $R_C = 1K$; $R_E = 560$; $V_{CC} = 10V$; $\beta = 100$. Xác định điểm công tác tĩnh.

Giải: Trước hết ta tính $R_{B(in)} = \beta R_E = (100) \cdot (560) = 56K$ // $10R_2$

Như vậy có thể bỏ qua $R_{B(in)}$ và điện áp trên cực B là:

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = \frac{5.6K}{5.6K + 10K} \cdot 10V = 3.59V$$

$$V_E = V_B + V_{BE} = 3.59V + 0.7V = 2.89V$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{2.89V}{560} = 5.16mA$$

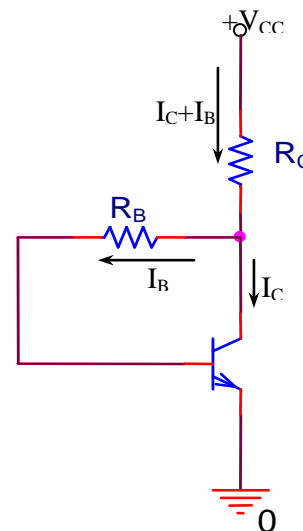
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E) = 10V - 5.16mA (1K + 560) = 1.95V$$

Tọa độ điểm công tác tĩnh là $I_C = 5.16mA$; $V_{CE} = 1.95V$

4.8.5. Cấp nguồn kiểu hồi tiếp âm điện áp

Sơ đồ mạch cấp nguồn kiểu hồi tiếp âm điện áp được biểu diễn trên hình 4.30.

Trong sơ đồ này, R_B được nối trực tiếp vào cực collector thay vì nối vào V_{CC} như các sơ đồ trước. Lớp tiếp giáp B-E được phân cực bởi điện áp tại cực collector. Hồi tiếp âm có tác dụng giữ ổn định điểm công tác tĩnh Q. Nếu dòng I_C tăng, điện áp sụt trên



Hình 4.30: Mạch cấp nguồn kiểu hồi tiếp âm điện áp

R_C tăng làm cho V_C giảm xuống. V_C giảm nghĩa là điện áp cấp vào cực B giảm dẫn đến I_B giảm kéo theo việc giảm I_C , như vậy giá trị I_C được giữ ổn định.

Tính toán dòng điện và điện áp một chiều trong sơ đồ cấp nguồn hồi tiếp âm điện áp:

$$I_B = \frac{V_C - V_{BE}}{R_B}$$

Giả thiết rằng $I_C \gg I_B$ do vậy:

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C$$

Mặt khác $I_B = I_C / \beta_C$ nên:

$$I_C = \frac{V_{CC} - I_C R_C - V_{BE}}{R_B / \beta_C + R_C} \quad (4.26)$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (4.27)$$

Tính ổn định của mạch cấp nguồn kiểu hồi tiếp âm điện áp

Phương trình 4.26 chứng tỏ rằng dòng điện trên collector phụ thuộc vào β_C và V_{BE} . Có thể giảm bớt ảnh hưởng của hai tham số này đến I_C bằng cách quy định các điều kiện cho $R_C \gg R_B / \beta_C$ và $V_{CC} \gg V_{BE}$. Một đặc điểm quan trọng của mạch hồi tiếp âm điện áp đó là khả năng loại bỏ ảnh hưởng của β_C và V_{BE} ngay cả khi hai điều kiện vừa nêu trên không thỏa mãn.

Như đã biết ở các mục trước β_C thay đổi phụ thuộc trực tiếp còn V_{BE} phụ thuộc một cách gián tiếp vào nhiệt độ. Nếu dòng I_C tăng vì nhiệt, điện áp sụt trên R_C tăng làm cho V_C giảm xuống. V_C giảm nghĩa là điện áp cấp vào cực B giảm dẫn đến I_B giảm kéo theo việc giảm I_C , như vậy giá trị I_C được giữ ổn định. Điểm công tác tĩnh Q trong cách cấp nguồn này được giữ ổn định do tính chất tự hiệu chỉnh của mạch điện.

Ví dụ: Cho mạch điện như hình 4.30 với các thông số trong mạch như sau: $R_C=10K$; $R_B=100K$; $\beta_C=100$; $V_{CC}=10V$; $V_{BE} = 0.7V$. Xác định điểm công tác Q.

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + R_B / \beta_C} = \frac{10V - 0.7V}{10K + 100K / 100} = 45 \mu A$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 10V - 45 \mu A (10K) = 9.55V$$

Giải: Áp dụng các biểu thức 4.26 và 4.27:

Như vậy điểm công tác Q có tọa độ $I_C = 845 \mu\text{A}$; $V_{CE} = 1.55\text{V}$.

4.8.6. Một số pan thường gặp trong mạch phân áp

Để kiểm tra lỗi của mạch phân áp người ta đo điện áp tại các cực của transistor so với mass. Nếu giá trị đo được không phù hợp với giá trị trong tính toán thì có thể mạch đã bị lỗi. Sau đây ta sẽ xét một số lỗi thường gặp phải:

-Điện trở R_1 đứt: khi trường hợp này xảy ra, điện áp và dòng điện đo được tại cực B bằng 0 do R_2 bị nối xuống mass, transistor hoạt động trong vùng cắt. Giá trị điện áp đo được tại cực C xấp xỉ nguồn cung cấp và $V_E = 0\text{V}$.

-Điện trở R_E đứt: dòng I_C và I_E đo được = 0mA, điện áp tại collector xấp xỉ nguồn cung cấp, những giá trị điện áp tại B và E không thay đổi.

-Cực B đứt mối liên kết: Điện áp tại cực B không thay đổi, $V_C =$ nguồn cấp, $V_E = 0$ dòng I_C và $I_E = 0$

CHƯƠNG 5

TRANSISTOR HIỆU ỨNG TRƯỜNG (FIELD EFFECT TRANSISTOR – FET)

Trong phần này chúng ta sẽ tìm hiểu về loại transistor thứ hai đó là transistor hiệu ứng trường viết tắt là FET. Không giống như BJT, dòng điện chạy trong BJT gồm cả hai thành phần điện tử và lỗ trống, FET là một linh kiện đơn cực, khi hoạt động nó chỉ chứa một loại hạt dẫn.

Có hai loại FET chính là JFET (Junction Field Effect Transistor – transistor trường đơn nối) và MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor – transistor trường có cực cửa cách ly).

Nếu với transistor lưỡng cực thành phần điều khiển là dòng điện, cụ thể là dòng I_B điều khiển độ lớn của dòng I_C ; thì trong transistor trường thành phần điều khiển là điện áp, ở đây điện áp giữa cực cửa và cực nguồn sẽ khống chế độ lớn của dòng điện trên cực máng.

5.1. Transistor trường đơn nối (JFET)

5.1.1. Cấu tạo

JFET là một loại transistor trường mà dòng điện trong kênh dẫn được điều khiển bởi điện áp phân cực thuận đặt vào lớp tiếp giáp p-n. Tùy thuộc vào cấu trúc JFET chia thành hai loại: JFET kênh N và JFET kênh P.

Hình 5.1 biểu diễn cấu trúc của JFET. Xét cấu tạo của JFET kênh N: đầu thứ nhất của kênh dẫn N được nối với cực nguồn (source – ký hiệu là S) đầu còn lại nối với cực máng (drain – ký hiệu là D). Hai miền bán dẫn P được nối với nhau và đưa ra cực cửa (gate – ký hiệu là G). Hai miền bán dẫn P này được tạo ra bằng công nghệ pha tạp (hoặc công nghệ khuếch tán ngay trong miền bán dẫn N của kênh dẫn).

5.1.2. Nguyên tắc hoạt động

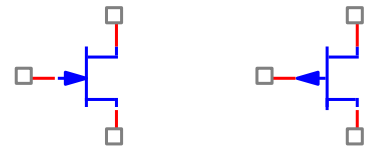
Trước hết để JFET hoạt động phải cấp nguồn sao cho dòng điện trong kênh dẫn có hướng từ D sang S và tiếp giáp P-N giữa cực nguồn và cực cửa phải được phân cực ngược. Hình 5.2 biểu diễn cách cấp nguồn cho JFET.

Xét hoạt động của JFET kênh N, tiếp giáp P-N giữa cực cửa và cực nguồn phân cực ngược khi đó $V_{GS} < 0$, tại đây xuất hiện một vùng nghèo điện tích. Khi V_{GS} càng âm điện tích của vùng nghèo càng lớn làm độ rộng của kênh dẫn giảm; điều này cũng đồng nghĩa với việc điện trở kênh dẫn tăng lên

dẫn đến dòng I_D (dòng hạt tải đi từ D sang S qua kênh dẫn) giảm. Như vậy dòng I_D này có thể được điều khiển bởi điện áp V_{GS} dựa trên việc điều khiển độ rộng của kênh dẫn.

5.1.3. Ký hiệu

Ký hiệu của JFET trên sơ đồ được biểu diễn trong hình 5.3. Chiều của mũi tên luôn có hướng từ miền bán dẫn P sang miền bán dẫn N.



a. Kênh N

b. Kênh P

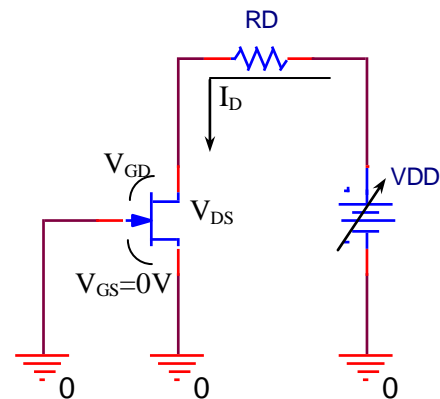
5.1.4. Các tham số đặc trưng

5.1.4.1. Đặc tuyến lối ra

Đường đặc tuyến lối ra là đồ thị mô tả mối quan hệ giữa dòng điện I_D và điện áp V_{DS} .

Xét trường hợp $V_{GS} = 0V$ (hình 5.4). Cho V_{DD} (cũng là V_{DS}) tăng dần từ 0V dòng I_D cũng tăng dần theo V_{DD} (đoạn từ A đến B trên đồ thị hình 5.5). Trong trường hợp này, điện trở của kênh dẫn không đổi vì độ rộng vùng nghèo không đủ lớn để gây ảnh hưởng đến kênh dẫn. Vùng làm việc này của JFET được gọi là vùng Omic bởi V_{DD} và I_D có mối liên hệ với nhau tuân theo định luật Ôm.

Bắt đầu từ điểm B trên đồ thị dòng I_D hầu như không tăng khi V_{DD} tiếp tục tăng. I_D giữ cố định trong khoảng từ B đến C nguyên nhân là do độ lớn V_{DS} tăng dẫn đến điện áp V_{GD} phân cực ngược đủ lớn làm xuất hiện vùng nghèo giữa tiếp giáp P-N của cực G và kênh dẫn. Vùng này thu hẹp độ rộng của kênh dẫn đến một mức nhất định (làm cho điện trở của kênh dẫn quá lớn) thì cho dù V_{DD} tăng dòng I_D vẫn giữ giá trị ổn định. Vùng hoạt động này của JFET được gọi là vùng bão hòa.

Hình 5.4: Phân cực để $V_{GS}=0$

Tiếp tục tăng V_{DD} , V_{DG} cũng tăng theo đến một giá trị nào đó tiếp giáp P-N giữa kênh dẫn và cực G bị đánh thủng, lúc này dòng I_D tăng nhanh đột ngột (từ điểm C trên đồ thị). Vùng này gọi là vùng đánh thủng của JFET. Thông thường JFET chỉ hoạt động trong vùng bão hòa.

Khi $V_{GS} < 0$: giá trị I_D giảm khi trị tuyệt đối của V_{GS} tăng. Tương ứng với mỗi giá trị của V_{GS} có thể vẽ được một đường đặc tuyến. Tập hợp các đường đặc tuyến này được gọi là họ các đường đặc tuyến của JFET.

5.1.4.2. Điện áp ngắt

Khi $V_{GS} = 0V$, giá trị V_{DS} mà tại đó I_D bắt đầu ổn định (vị trí điểm B trên đồ thị) được gọi là điện áp ngắt ký hiệu V_P . Mỗi một JFET có một giá trị V_P xác định. Tiếp tục tăng V_{DS} vượt qua giá trị điện áp ngắt V_P dòng I_D trong đoạn này là một hằng số. Giá trị này được gọi là dòng I_D bão hòa ký hiệu là I_{DSS} , nó cũng là một hằng số ứng với mỗi một JFET cụ thể. Đại lượng V_P và I_{DSS} được cung cấp bởi nhà sản xuất, người sử dụng có thể tra cứu thông số này trong sổ tay tra cứu linh kiện hoặc trong catalog về linh kiện.

5.1.4.3. Điện áp cắt

Giá trị của V_{GS} mà tại đó I_D xấp xỉ bằng 0 gọi là điện áp cắt của JFET ký hiệu là $V_{GS(off)}$. JFET chỉ hoạt động khi V_{GS} nhận giá trị trong khoảng từ $V_{GS(off)}$ đến 0V. Đối với JFET kênh N đại lượng $V_{GS(off)} < 0$ còn đối với JFET kênh P đại lượng này có giá trị > 0 .

Chú ý: Khi phân cực cho JFET kênh P điện áp $V_{DS} < 0$ và $V_{GS} > 0$

So sánh điện áp cắt và điện áp ngắt:

Như đã định nghĩa ở phần trước, V_P là giá trị của V_{DS} mà tại đó dòng cực máng bắt đầu là hằng số khi $V_{GS}=0V$; còn $V_{GS(off)}$ là giá trị của V_{GS} mà tại đó $I_D = 0$. $V_{DS} < V_P$ khi $V_{GS} = 0$, mặc dù V_P là một hằng số nhưng giá trị của V_{DS} tại điểm I_D bắt đầu là hằng số lại biến đổi theo V_{GS} .

Trên thực tế, V_P và $V_{GS(off)}$ thường là hai giá trị ngược nhau về dấu. Trong sổ tay tra cứu linh kiện có thể ghi rõ giá trị của hai đại lượng này hoặc có thể chỉ ghi một trong hai giá trị, người sử dụng hoàn toàn có thể suy ra giá trị của đại lượng còn lại. Ví dụ: nếu $V_P = +5V$ thì $V_{GS(off)} = -5V$.

5.1.4.4. Đặc tuyến truyền đạt

Đặc tuyến truyền đạt là đồ thị mô tả mối quan hệ giữa dòng điện lối ra I_D và điện áp điều khiển V_{GS} . Hình 5.5 biểu diễn đường đặc tuyến truyền đạt của JFET. Điểm bắt đầu của đặc tuyến trên trục V_{GS} chính là điện áp cắt ($V_{GS(off)}$); điểm kết thúc của nó nằm trên trục I_C là giá trị dòng cực máng bão hòa (I_{DSS}).

Có hai phương pháp thiết lập đường đặc tuyến truyền đạt:

Phương pháp đại số: đặc tuyến truyền đạt của JFET có dạng parabol tuân theo phương trình sockley như sau:

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right)^2 \quad (5.1)$$

Với phương trình này, dòng I_D có thể được xác định tại bất kỳ giá trị V_{GS} nào khi biết $V_{GS(off)}$ và I_{DSS} .

Phương pháp đồ thị: đường cong truyền đạt có thể được xây dựng từ họ các đường đặc tuyến lối ra của JFET như hình vẽ 5.5.

3.5.1.4.5. Hồ dẫn của JFET (g_m)

Hồ dẫn (g_m) là tỷ số giữa độ thay đổi cường độ dòng điện cực máng và độ thay đổi điện áp V_{GS} :

$$g_m = \frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}} \quad (5.2)$$

g_m là một tham số quan trọng ảnh hưởng trực tiếp đến hệ số khuếch đại điện áp của các mạch khuếch đại sử dụng JFET. Vì đường đặc tuyến truyền đạt là đường cong nên g_m biến đổi theo tọa độ của V_{GS} , g_m lớn nhất khi $V_{GS} = 0$ và nhỏ nhất khi $V_{GS} = V_{GS(off)}$. Trong sổ tay tra cứu linh kiện giá trị g_m được đưa ra tại vị trí $V_{GS} = 0V$ ký hiệu là g_{m0} . Khi biết giá trị g_{m0} có thể xác định được g_m tại bất kỳ giá trị nào của V_{GS} theo công thức:

$$g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right) \quad (5.3)$$

$$g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|} \quad (5.4)$$

Giá trị g_{m0} được xác định khi biết I_{DSS} và $V_{GS(off)}$:

5.1.4.6. Trở kháng và dung kháng lối vào

Khi hoạt động tiếp giáp P-N giữa cực nguồn và cực cửa của JFET phân cực ngược, do vậy trở kháng lối vào ở cực cửa rất lớn. Trở kháng vào lớn là một ưu điểm của JFET so với BJT (BJT hoạt động khi lớp tiếp giáp P-N của bazơ và emitter phân cực thuận). Trở kháng vào của JFET được xác định bằng phương trình:

R_{IN} có trị số giảm khi nhiệt độ tăng (do I_{DSS} tăng theo nhiệt độ).

$$R_{IN} = \frac{V_{GS}}{I_{DSS}} \quad (5.5)$$

Dung kháng lối vào C_{iss} là kết quả của sự phân cực ngược của lớp tiếp giáp P-N, khi đó vùng tiếp giáp này hoạt động tương tự như một tụ điện có dung kháng biến đổi theo điện áp đặt vào nó.

5.1.4.7. Điện trở giữa cực nguồn và cực máng.

Như đã biết ở trên, bắt đầu từ điểm ngắt (điểm có tọa độ tại điện áp ngắt) dòng cực máng nhận một giá trị gần như không đổi. Do vậy, khi có sự thay đổi lớn về giá trị của nguồn cung cấp cho D và S (V_{DS}) thì I_D cũng chỉ thay đổi một lượng rất nhỏ. Tỷ số giữa thay đổi của điện áp V_{DS} và dòng cực máng I_D được coi là điện trở giữa cực nguồn và cực máng, ký hiệu là r_{ds} :

$$r_{ds} = \frac{V_{DS}}{I_D} \quad (5.6)$$

Trong bảng tra cứu về linh kiện giá trị này thường được gọi là độ dẫn lối vào g_{os} hay độ dẫn nạp lối vào y_{os} .

5.1.2. Phân cực cho JFET

Mục đích của các phương pháp phân cực (hay cấp nguồn) là lựa chọn giá trị điện áp V_{GS} sao cho dòng cực máng I_D đạt được giá trị như mong muốn hoặc có điểm công tác tĩnh Q phù hợp. Đối với JFET, có hai phương pháp phân cực là: tự phân cực và phân cực kiểu phân áp.

3. 5.1.2.1. Sơ đồ tự phân cực

Như các phần trên ta đã biết, để JFET hoạt động lớp tiếp giáp giữa cực cửa và cực nguồn phải được phân cực ngược. Để thỏa mãn điều kiện này, đối với JFET kênh N phải có $V_{GS} < 0$ còn đối với JFET kênh P $V_{GS} > 0$. Sơ đồ tự phân cực cho JFET được biểu diễn trên hình 5.6. Tại cực cửa, điện trở R_G hoàn toàn không gây ra sụt áp bởi dòng trên cực cửa $I_G = 0$, do đó điện áp $V_G = 0V$. Điện trở này chỉ có tác dụng cách ly tín hiệu xoay chiều đầu vào với mass trong các mạch khuếch đại tín hiệu.

Đối với JFET kênh N (sơ đồ hình 5.6a) dòng I_S chạy từ cực S qua R_S về mass. Vì $I_S = I_D$ và $V_G = 0V$ nên $V_S = I_S R_S = I_D R_S$. Khi đó:

$$V_{GS} = V_G - V_S = -I_D R_S \quad (5.7)$$

Tương tự đối với JFET kênh P (sơ đồ hình 5.6b) điện áp V_{GS} sẽ là

$$V_{GS} = I_D R_D \quad (5.8)$$

Điện áp trên cực máng được xác định như sau:

$$V_D = V_{DD} - I_D R_D$$

Mà : $V_S = I_D R_S$ nên:

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D (R_D + R_S) \quad (5.9)$$

Điểm công tác tĩnh Q trong mạch tự phân cực:

Phương pháp cơ bản để thiết lập điểm công tác Q cho JFET là xác định I_D tương ứng với giá trị V_{GS} . Từ đó tính toán trị số điện trở R_S dựa trên mối liên hệ bởi phương trình:

$$R_S = \frac{|V_{GS}|}{I_D} \quad (5.10)$$

Xác định giá trị V_{GS} và I_D có thể sử dụng phương pháp đồ thị hoặc phương pháp đại số sử dụng phương trình shockley khi biết I_{DSS} và $V_{GS(off)}$.

Phương pháp đồ thị để xác định điểm công tác trong sơ đồ phân cực:

Vẽ đường đặc tuyến truyền đạt dựa trên các tham số đặc trưng của JFET.

Xác định đường tải tĩnh theo các bước sau:

- Tính giá trị V_{GS} khi $I_D = 0$

$$V_{GS} = - I_D R_S = -0 \cdot R_S = 0V$$

Như vậy điểm đầu của đường tải có tọa độ ($I_D = 0$; $V_{GS} = 0$)

- Tính giá trị V_{GS} khi $I_D = I_{DSS}$ a độ điểm cuối của đường tải.

- Nối hai điểm đã xác định ở trên thu được đường tải tĩnh của mạch

Giao điểm của đường tải tĩnh và đặc tuyến truyền đạt chính là điểm công tác Q.

5.1.2.2. Sơ đồ mạch phân áp

Sơ đồ phân áp được biểu diễn trên hình 5.7

Điện áp trên cực nguồn: $V_S = I_D R_S$

Điện áp trên cực cửa:

$$V_G = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD} \quad (5.11)$$

$$\text{Do } V_{GS} = V_G - V_S$$

$$V_S = V_G - V_{GS}$$

$$\text{Mà } I_D = V_S/R_S \Rightarrow V_S = I_D R_S \Rightarrow V_G - V_{GS} = I_D R_S$$

Phương pháp đồ thị để xác định điểm công tác trong sơ đồ phân áp:

Tương tự như sơ đồ tự phân cực, sơ đồ cấp nguồn kiểu phân áp cũng có thể sử dụng phương pháp đồ thị để xác định điểm công tác tĩnh Q dựa trên đường tải tĩnh và đặc tuyến truyền đạt của JFET. Trong sơ đồ cấp nguồn này, khi $I_D = 0$, $V_{GS} = V_G$ (Khác so với mạch tự phân cực), như vậy đường tải tĩnh được xác định như sau:

Khi $I_D = 0$:

$$V_S = I_D R_S = 0 \cdot R_S = 0V$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = V_G - 0 = V_G$$

Vậy điểm thứ nhất tìm được nằm trên đường tải tĩnh có tọa độ $I_D = 0; V_{GS} = V_G$

Khi $V_{GS} = 0$

$$I_D = \frac{V_G - V_{GS}}{R_S} = \frac{V_G}{R_S} \quad (5.12)$$

Điểm thứ hai nằm trên đường tải tĩnh có tọa độ $I_D = V_G/R_S; V_{GS} = 0$. Giao điểm của đường tải tĩnh và đặc tuyến truyền đạt là điểm công tác tĩnh Q.

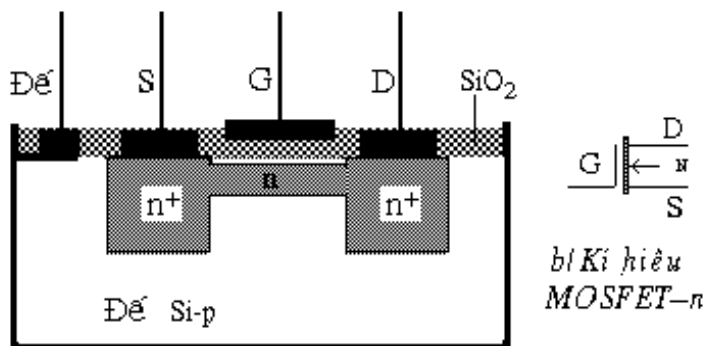
Có một vấn đề đặt ra ở đây là, đường đặc tuyến truyền đạt của mỗi JFET là khác nhau cho dù chúng cùng một loại. Ví dụ một JFET 2N5459 trong mạch tự phân cực có đặc tuyến truyền đạt như hình 5.9 nhưng khi thay thế 2N5459 khác vào mạch đó đường đặc tuyến truyền đạt thay đổi rất nhiều. Trong trường hợp lớn nhất $I_{DSS} = 16\text{mA}$ còn giá trị nhỏ nhất của $I_{DSS} = 4\text{mA}$. Tương tự như vậy, giá trị cực đại của $V_{GS(off)} = -8V$ giá trị cực tiểu $V_{GS(off)} = -2V$. Như vậy nếu chọn JFET 2N5459 thì các giá trị này có thể nằm tại một vị trí bất kỳ trong khoảng giá trị từ cực tiểu đến cực đại. Nếu vẽ đường tải tĩnh đối với sơ đồ mạch tự phân cực trên cùng đồ thị với đặc tuyến truyền đạt thì điểm công tác tĩnh Q sẽ là một điểm bất kỳ trong khoảng từ Q1 đến Q2 (hình 5.9b). Và như vậy dòng cực máng I_D cũng sẽ nhận một giá trị tương ứng trong khoảng I_{D1} đến I_{D2} và V_{DS} nhận giá trị tùy thuộc vào I_D . Đối với sơ đồ phân áp, sự biến thiên của điểm công tác ít hơn so với sơ đồ tự phân cực do độ dốc

của đường tải tĩnh trong mạch phân áp nhỏ hơn. Mặc dù giá trị V_{GS} biến đổi rất nhanh nhưng giá trị của I_D lại khá ổn định (hình 5.10).

5.2. Transistor trường có cực cửa cách ly (MOSFET)

MOSFET là loại transistor trường thứ hai, nó rất khác so với JFET bởi cực cửa (Gate) được cách ly với kênh dẫn bằng một lớp ôxít silic (SiO_2). Có hai loại MOSFET cơ bản là MOSFET làm kênh đặt sẵn (D-MOSFET) và MOSFET kênh cảm ứng (E-MOSFET). Do có cực cửa cách ly nên MOSFET còn được gọi là IGFET.

5.2.1. D – MOSFET



a) Cấu trúc của MOSFET kênh n được tạo sẵn

với nhau bởi một kênh dẫn hẹp nằm sát cực cửa.

Cấu tạo của D-MOSFET được biểu diễn trên hình 5.11. Miền cực nguồn và miền cực máng được hình thành bởi sự khuếch tán chất bán dẫn loại P vào một đế bán dẫn loại N hoặc chất bán dẫn loại N vào đế bán dẫn loại P. Hai cực này được nối

D-MOSFET có thể hoạt động trong cả hai mode là mode hoạt động của D-MOSFET và E-MOSFET do vậy đôi khi D-MOSFET còn được gọi là E/D – MOSFET. D-MOSFET kênh N hoạt động ở mode kênh đặt sẵn khi có điện áp âm đặt vào cực cửa và hoạt động ở mode cảm ứng khi có điện áp dương đặt vào cực G. Trong thực tế loại MOSFET này thường hoạt động ở mode đặt sẵn.

Khi $V_{GS} < 0$:

Có thể xem cực cửa và kênh dẫn là hai bản cực của một tụ điện với lớp điện môi là ôxít kim loại. Khi cực G mang điện âm nó sẽ đẩy electron ra khỏi kênh dẫn đồng thời hút các lỗ trống từ miền đế về kênh dẫn, như vậy số lượng điện tử trong kênh dẫn N bị suy giảm dẫn đến khả năng dẫn điện của kênh dẫn cũng bị suy giảm (hay nói một cách khác là điện trở của kênh dẫn tăng). Điện áp đặt vào cực G càng âm, điện trở kênh dẫn càng lớn dẫn đến dòng I_D từ cực D sang cực S càng giảm dần; đến một giá trị nhất định của V_G thì kênh dẫn hoàn toàn bị đứt và $I_D = 0$, giá trị này được gọi là điện áp ngắt $V_{GS(off)}$.

Hình 5.14 biểu diễn cấu tạo của một LDMOSFET

Một loại E- MOSFET khác được thiết kế cũng với mục đích tăng công suất của MOSFET đó là VMOSFET. Loại linh kiện này có cấu tạo kênh dẫn hình chữ V có chiều dài nhỏ hơn và độ rộng lớn hơn cho phép dòng I_D chạy qua nó lớn. Cấu tạo của VMOS được biểu diễn trên hình 5.15.

TMOS: là một MOSFET công suất có đặc điểm giống như VMOS nhưng kênh dẫn không có dạng chữ V nên dễ dàng cho việc chế tạo hơn. Cấu tạo của TMOS được biểu diễn trên hình 5.16. Cực cửa G được gắn vào lớp oxit kim loại, cực nguồn S gắn vào lớp kim loại bao phủ toàn bộ cực G và lớp oxit cách điện còn cực D được gắn cùng với phần đế.

MOSFET hai cực cửa: loại MOSFET này có đặc điểm và cách hoạt động giống như cả D-MOSFET và E- MOSFET chỉ có một điểm khác biệt đó là loại MOSFET này có hai cực cửa G. Với các loại MOSFET đều có dung kháng lớn vào lớn, bằng cách sử dụng hai cực cửa dung kháng vào giảm rất có lợi cho các ứng dụng khuếch đại RF tần số cao hoặc các mạch AGC.

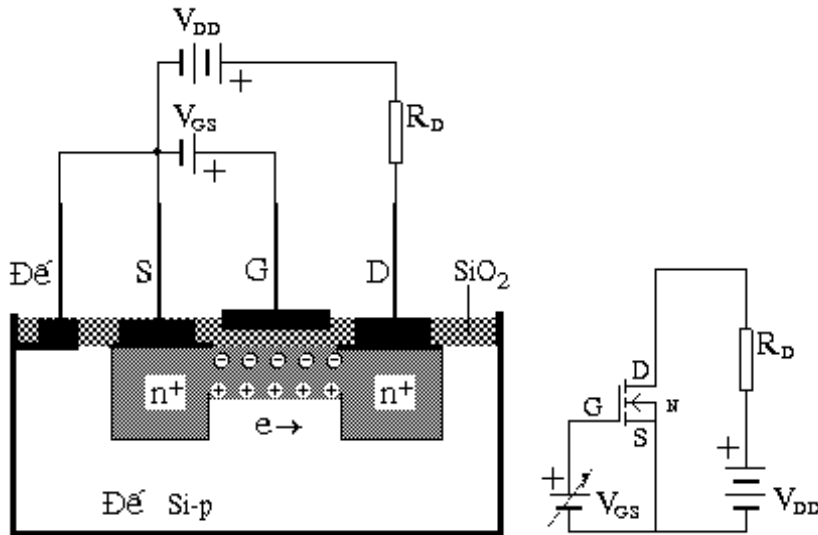
5.2.4. Các tham số đặc trưng của MOSFET

5.2.4.1. Đặc tuyến truyền đạt của D - MOSFET

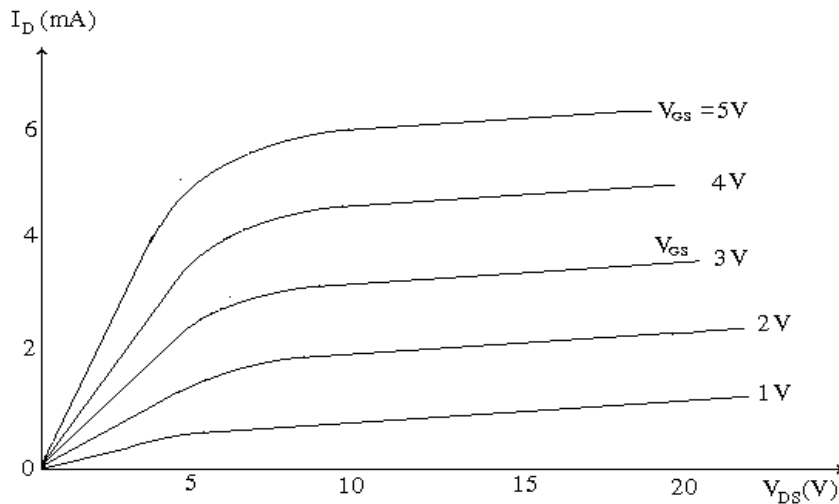
Như trên đã trình bày, D- MOSFET có thể hoạt động trong cả hai trường hợp V_{GS} âm và V_{GS} dương. Đặc điểm này được chỉ rõ trên đường đặc tuyến truyền đạt của cả hai loại D- MOSFET kênh N và kênh P (hình 5.17). $V_{GS} = 0$ khi $I_D = I_{DSS}$ và $I_D = 0$ khi $V_{GS} = V_{GS(off)}$. Tương tự như JFET giá trị $V_{GS(off)} = -V_P$. Mối quan hệ giữa dòng I_D và V_{GS} cũng được biểu diễn bởi phương trình Sockley (5.1).

5.2.4.2. Đặc tuyến truyền đạt của E - MOSFET

E- MOSFET chỉ hoạt động khi cực G và cực S được phân cực ngược. Đặc tuyến truyền đạt của E- MOSFET được biểu diễn trên hình 5.18. Khi $V_{GS} = 0$ không có dòng I_D vì vậy E- MOSFET không tồn tại tham số dòng cực máng bão hòa (I_{DSS}). Với E- MOSFET lý tưởng sẽ không tồn tại dòng I_D cho đến khi V_{GS} nhận một giá trị nhất định nào đó gọi là điện áp ngưỡng $V_{GS(th)}$.



Sự hình thành kênh cảm ứng khi có điện áp phân cực



Hình Đặc tuyến vôn amper của MOSFET

Phương trình đường cong đặc tuyến của E- MOSFET:

$$I_D = K(V_{GS} - V_{GS(th)})^2 \tag{5.13}$$

Hằng số K phụ thuộc vào bản thân mỗi E- MOSFET và có thể tra cứu hoặc xác định được từ các thông số trong bảng tra cứu linh kiện. Trong sổ tay tra cứu linh kiện sẽ cho biết một giá trị I_D tại một giá trị V_{GS} được gọi là $I_{D(on)}$.

Chú ý:

Tất cả các MOSFET đều bị ảnh hưởng bởi các vật phóng điện. Vì cực cửa G cách li với kênh dẫn nên kênh dẫn có điện trở rất lớn do vậy dòng I_G rất nhỏ cỡ vài pA (lý tưởng dòng $I_G = 0$). Nhưng về cấu tạo cực G và kênh dẫn hình thành một tụ điện do vậy; dung kháng vào lớn kết hợp với điện trở vào lớn gây nguy hiểm đối với các thiết bị phóng điện. Để tránh những điều này khi sử dụng MOSFET cần lưu ý:

-MOS phải được lưu trữ hoặc bọc trong vỏ

-Các thiết bị đo hay bàn bằng kim loại dùng cho việc kiểm tra MOS cần phải được nối đất.

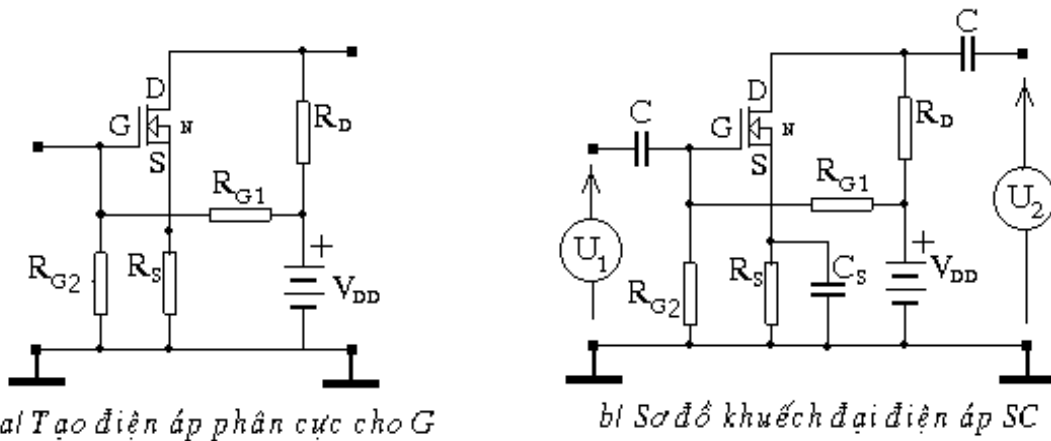
-Khi lắp ráp MOS bằng tay thì tay cần được nối đất bằng một dây dẫn dài hoặc một điện trở có giá trị lớn.

-Không gỡ bỏ MOSFET trên mạch khi đang có nguồn điện

-Không cấp tín hiệu khi chưa có nguồn một chiều cung cấp.

5.2.5. Cấp nguồn cho MOSFET

Tranzito MOSFET có kênh dẫn n và p có 3 cực giống như JFET, khác biệt chính là cực cổng phân cực ở trạng thái nghỉ cho các cực. Hình 2.4.21a là sơ đồ mạch phân cực cho MOSFET kênh dẫn n, hình 2.4.21b là sơ đồ khuếch đại điện áp SC



a) Tạo điện áp phân cực cho G

b) Sơ đồ khuếch đại điện áp SC

mạch theo kiểu nguồn chung CS.

Hình 2.4.21

Từ sơ đồ H.2.4.21a ta có

Ôiêng thđđ cđ cđ:

$$V_G = V_{DD} \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}}$$

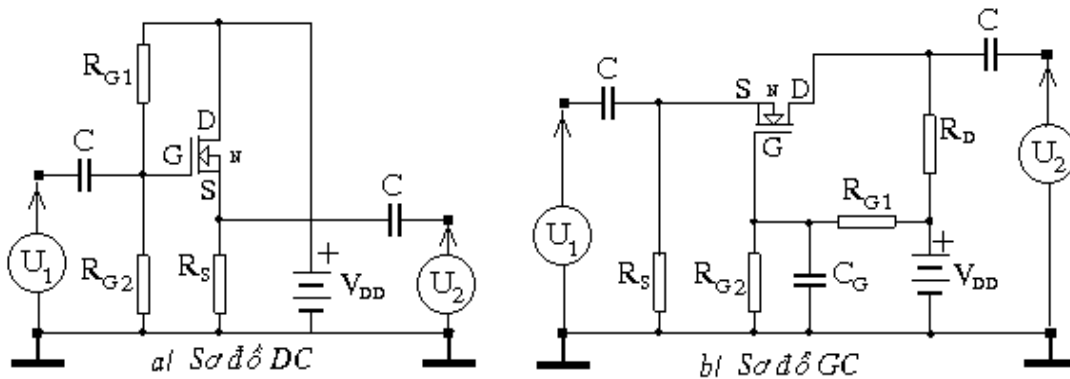
Ôi nh th t c c ngu nh:

$$V_s = I_D \cdot R_s$$

Hi u ãi nh th gi a c c c a và c c ngu nh: $U_{GS} = V_{DD} \cdot R_{G2} / (R_{G1} + R_{G2}) + I_D \cdot R_s$

D a vào ãc tr- ng von-ampe h nh 2.4.19 ta c thợ ch nh ch ã làm vi c ban ã cho t nh khu ch ã nh v i gi y tr ãi nh th ban ã U_{GS0} và ãng m y ng ban ã I_{D0} . H nh 2.4.22 là

s ã kh u ch ã m y ng chung và c a chung. H s tr u y n hay h s kh u ch ã th ã ãng c a m ch kh u ch ã theo ba c y ch m c CD, CG, CS ã c tr nh bày tr n b nh



2.4.1

Hình 2.4.22

	CS	CG	CD
H s tr u y n th K _v	$\frac{Y_{21} \cdot R_T}{1 + Y_{22} \cdot R_T}$	$\frac{(Y_{21} + Y_{22}) \cdot R_T}{1 + Y_{22} \cdot R_T}$	$\frac{Y_{21} \cdot R_T}{1 + (Y_{21} + Y_{22}) \cdot R_T}$
H s tr u y n ãng K _i	1	1	1
Ôi nh tr vào	1	$\frac{1}{Y_{21} + Y_{22}}$	1
Ôi nh tr ra	$\frac{1}{Y_{22}}$	$\frac{1}{Y_{22}}$	$\frac{1}{Y_{21} + Y_{22}}$

Bảng 2.4.1

C y c tranzito tr- nh MOSFET, k nh t s th- nh ã c ãng ạ kh u ch ã và t ão ã nh t s cao ho c si u cao t nh. Khi làm vi c t s cao t nh và si u cao t nh c y c t C_{GD}, C_{GS}, C_{PD} k nh ã c b qua. C y c th ng s li n quan ã nh h s kh u ch ã:

Ôi ãc ãc tr- ng l vào:

$$S = di_D / dU_{GS}$$

Ôi chỉnh trở kháng:

$$r_d = dU_{DS} / dI_D$$

$$U_{GS} = \text{const}$$

Hệ số khuếch đại thế

$$K = S \cdot r_d = dU_{DS} / dU_{GS}$$

$$S = 1 \mu$$

$$r_d = \frac{L}{2qN} \sqrt{\frac{U_d}{I_d}}$$

Chiều dài kênh dẫn: $L = 10 \mu$

Tranzito trường MOSFET hoạt động ở chế độ siêu cao tần âm rất nhỏ N- kênh trong các thiết bị thu siêu cao tần, thu tín hiệu tít vọt. Khi sử dụng cần chú ý đến các đặc tính của kênh bán dẫn.

CHƯƠNG 6

LINH KIỆN NHIỀU LỚP TIẾP GIÁP

6.1 Thyristor(The silicon Controlled Rectifier- SCR)

SCR là một linh kiện bán dẫn có ba lớp tiếp xúc p-n, SCR do một nhóm kỹ sư thuộc công ty Telephone phát minh sáng chế ra vào năm 1956.

5.1.1 Cấu tạo và kí hiệu:

SCR là linh kiện bán dẫn gồm 4 lớp bán dẫn pnpn tạo thành. Gồm có 3 điện cực là anốt, A; catôt- K; cực điều khiển G.

Cấu trúc và kí hiệu của SCR được biểu diễn tại hình



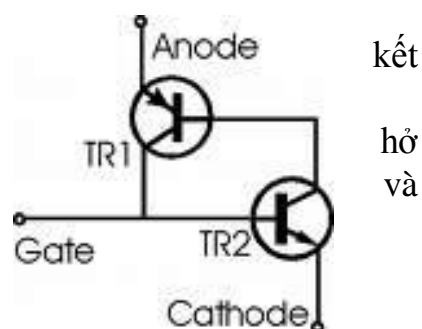
6.1.1 Nguyên lý làm việc

Có thể coi SCR tương đương với 2 transistor npn hợp với nhau.

Khi phân cực thuận cho SCR, $U_{AK} > 0$. Nếu cực G mạch, dòng điều khiển $I_G = 0$. Khi đó tiếp giáp J1 J3 đều phân cực thuận, J2 phân cực ngược. Nếu điện áp phân cực thuận U_{AK} là rất nhỏ thì dòng chảy qua SCR là rất nhỏ, nghĩa là Q1 và Q2 đều đóng. Dòng qua SCR thực chất là dòng điện dò

chảy qua tiếp giáp J2. Nếu tăng U_{AK} nghĩa là tăng điện áp phân cực thuận J1, J3 và tăng điện áp phân cực ngược cho J2 nên J2 có thể bị đánh thủng, khi J2 bị đánh thủng thì có thể coi giữa J1 và J3 được nối tắt thông qua một miền điện tích không gian chứa đầy các hạt dẫn tự do, nghĩa là SCR đã chuyển từ trạng thái không dẫn (ngắt) sang trạng thái dẫn mạnh (đóng). Ở trạng thái đóng, SCR tương đương với hai điốt được phân cực thuận mắc nối tiếp với nhau (điện áp sụt trên nó là rất thấp). Nếu xét trên sơ đồ tương đương ta thấy: khi tăng điện áp phân cực thuận tới một giá trị đủ lớn thì dòng điện ngược I_{C0} tăng, $I_{C0} = I_{B2}$ nên khi I_{C0} lớn sẽ làm cho Q2 thông bão hòa (Q2 mở), $I_{C1} = I_{B2}$ tăng nên làm cho Q1 mở, $I_{C1} = I_{B2}$ tiếp tục tăng. Quá trình này diễn ra theo một vòng khép kín. Kết quả là cho dù khi điều kiện làm cho J2 bị đánh thủng không còn nữa thì quá trình cũng tự động tiếp diễn ra làm cho Q1 Q2 mở hoàn toàn, nghĩa là SCR chuyển sang trạng thái mở hoàn toàn. Phương pháp mở SCR bằng cách tăng điện áp phân cực thuận được gọi là phương pháp kích mở.

Nếu đặt vào cực điều khiển G một điện áp dương đủ lớn tạo ra $I_G > 0$ thì nó cũng sẽ kích làm cho Q2 dẫn (mở), kéo theo Q1 mở và dẫn tới SCR chuyển từ



trạng thái ngắt sang trạng thái mở (dẫn). Điện áp đặt vào cực G có tác dụng kích mpt SCR, khi SCR đã mở rồi thì xung kích là không cần thiết nữa. Muốn SCR ngừng dẫn thì tác dụng $U_{AK} < 0$

6.1.2 Đặc tuyến vôn- ampe

6.1.3 Một số tham số của SCR

- Dòng anot cực đại I_A : có thể đạt giá trị từ vài mA đến hàng trăm ampe tùy theo từng loại
- Dòng anot cực tiểu: là giá trị nhỏ nhất duy trì trạng thái đóng mạch của SCR
- I_G là giá trị nhỏ nhất của dòng điện cực điều khiển có thể điều khiển làm SCR đóng mạch.
- Điện áp mở U_m là điện áp $U_{AK} > 0$ đủ lớn điều khiển làm cho SCR đóng mạch khi dòng I_G bằng 0. Giá trị U_m có thể từ vài chục vôn đến kilovôn.
- Thời gian đóng ngắt SCR: là khoảng thời gian để SCR chuyển từ trạng thái ngắt mạch sang trạng thái đóng mạch hoàn toàn. Tham số này so giá trị càng nhỏ càng tốt.

6.1.4 Một số ứng dụng của thyristor

Thyristor được ứng dụng rất nhiều trong điều khiển công suất và các mạch khoá. Trong phần này sẽ xét một số ứng dụng điển hình.

6.1.4.1 Điều khiển dòng điện

Hình 11-14 là sơ đồ mạch điều khiển dòng dùng SCR cho phép đóng ngắt dòng qua tải. Giả thiết SCR mở (off), SW1 cấp 1 xung tác dụng vào cực điều khiển G làm cho SCR mở (on) dẫn dòng chảy qua R_L . SCR vẫn đóng ngay cả khi công tắc SW1 mở. Ngay khi công tắc SW2 đóng dòng điện được sẽ được chuyển qua SCR do đó giữ cho dòng điện qua anot luôn ở dưới giá trị I_H . Dòng điện này làm cho SCR ngắt và làm cho dòng qua tải bằng 0.

6.1.4.2 Mạch điều khiển công suất nửa sóng

Một trong những ứng dụng phổ biến của SCR là điều khiển nguồn điện xoay chiều cung cấp nguồn cho các hệ thống mô tơ điện, các hệ thống điều khiển điện công nghiệp.

Mạch chỉnh lưu nửa sóng, điện trở biến đổi được, mạch điều khiển pha được biểu diễn trong mạch điện hình 11-15. Điện áp xoay chiều 120V được cấp tại hai đầu AB; R_L : điện trở tải (có thể là một thiết bị nhiệt, hay là một chiếc đèn sợi đốt. . .). R_1 : điện trở hạn dòng. R_2 : điện trở định mức điện áp để kích SCR. Điều chỉnh R_2 sẽ làm cho SCR có thể được kích dẫn ở bất cứ điểm nào trên nửa chu kỳ dương của tín hiệu xoay chiều giữa khoảng 0° đến 180° . xem mô tả chi tiết trong hình 11-16.

Khi SCR được kích tại điểm bắt đầu của chu kỳ (0°) tín hiệu với công suất cực đại sẽ được dẫn qua tải. Khi điều chỉnh tới đỉnh của chu kỳ tín hiệu (90°) thì công suất dòng qua tải sẽ là nhỏ nhất. Điều chỉnh R_2 , điều khiển xung kích

mở SCR thông qua đó cũng có thể điều khiển được công suất của tín hiệu qua tải. Hình 11-16c cho thấy khi tín hiệu vào xoay chiều âm, SCR ngắt và nó ngừng dẫn cho tới khi có tín hiệu vào ở mức dương của nửa chu kỳ tiếp theo. Diốt ngăn không cho điện áp xoay chiều tác dụng vào cực điều khiển G.

6.1.4.3 Hệ thống thấp sáng công nghiệp

Xét một mạch thấp sáng sử dụng nguồn pin dự phòng khi tín hiệu cung cấp bị ngắt. Xem hình 11-17. Mạch gồm một bộ chỉnh lưu cả chu kỳ có chức năng cung cấp nguồn nuôi cho một bóng đèn. Nguồn cấp xoay chiều được cung cấp, pin sẽ nạp điện thông qua diốt D_3 và điện trở R_1 .

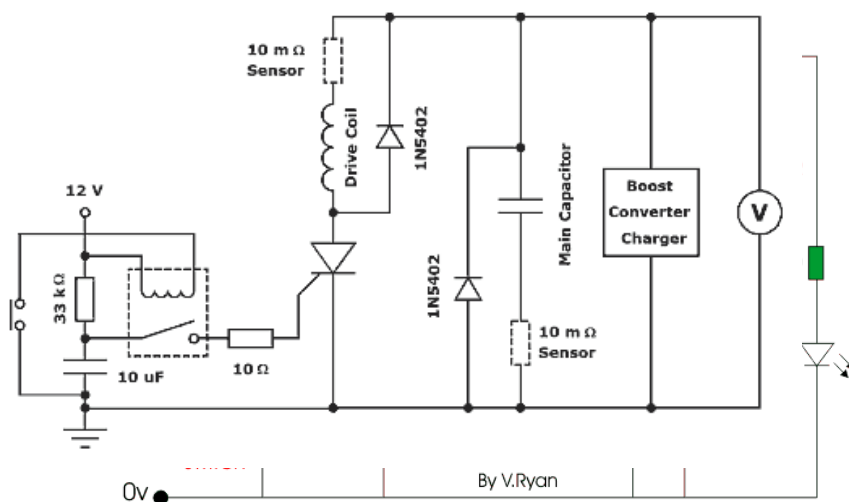
Điện áp đặt vào catốt của SCR được thiết lập khi tụ phóng điện tới giá trị đỉnh của tín hiệu xoay chiều. Khi điện áp pin là 6V, Anốt sẽ có mức điện áp thấp hơn điện áp tại catốt, làm cho nó ngừng dẫn. Điện áp của cực điều khiển của SCR được xác lập bởi mạch phân áp tạo bởi R_2 và R_3 . Đèn sẽ được thấp sáng bởi tín hiệu xoay chiều lối vào và SCR ngắt, xem hình 11-17a. Khi nguồn AC bị ngắt, tụ sẽ phóng điện qua D_3 , R_1 và R_3 , làm cho điện áp tại catốt thấp hơn điện áp tại anốt và tại G, nghĩa là đủ điều kiện để SCR dẫn. Dòng điện từ pin sẽ được cấp cho đèn thông qua SCR, đèn sáng. xem hình 11-17b. Khi nguồn ac được cấp trở lại, tụ điện lại nạp điện, SCR ngắt, pin nạp điện và quá trình lại xảy ra tương tự nếu nguồn ac bị ngắt. Kết quả đèn luôn sáng ngay cả khi không có nguồn ac cấp cho mạch.

6.1.4.4 Mạch bảo vệ quá áp.

Hình 11- 18 là sơ đồ một mạch bảo vệ qua áp đơn giản, thường được đặt trong một bộ nguồn một chiều. Tín hiệu điện áp ra một chiều được điều chỉnh thông qua diốt ổn áp D_1 và một mạch phân áp được tạo bởi R_1 , R_2 . Ngưỡng điện áp thấp nhất của mạch được quy định giá trị điện áp ổn áp. Nếu điện áp tăng diốt ổn áp sẽ dẫn, cực G được cấp điện áp dương làm cho SCR dẫn, như vậy nguồn xoay chiều sẽ bị ngắn mạch, điện áp xoay chiều bị ngắt. Nguồn một chiều được bảo vệ.

7 Một số sơ đồ mạch ứng dụng dùng SCR

8



6.2 Diac

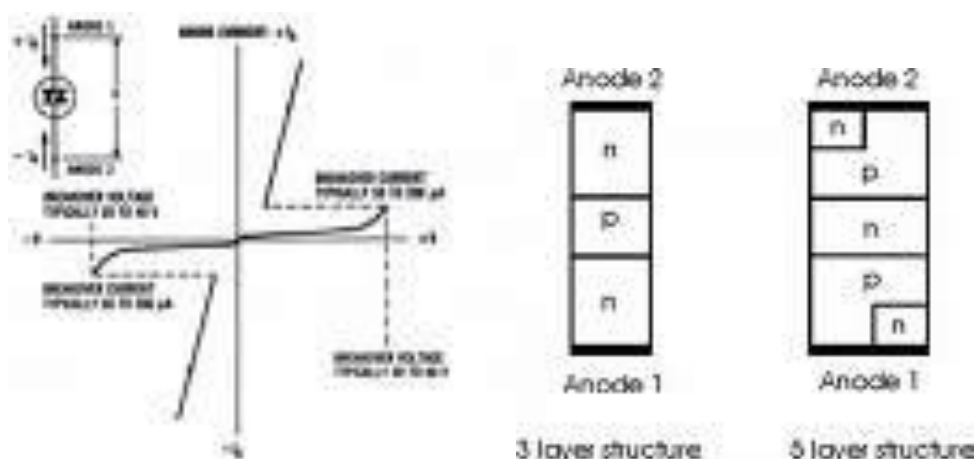
6.2.1 Cấu tạo và kí hiệu

Cấu tạo và kí hiệu của diac được trình bày tại hình 11-22. Diac có hai cực là A_1 và A_2 . Diac dẫn điện khi đặt áp lên hai cực của nó



điện
điện

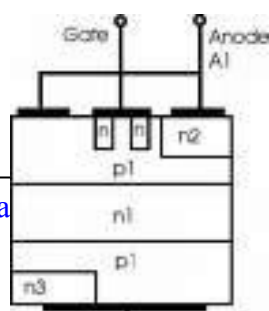
6.2.2 Đặc tuyến vôn- ampe

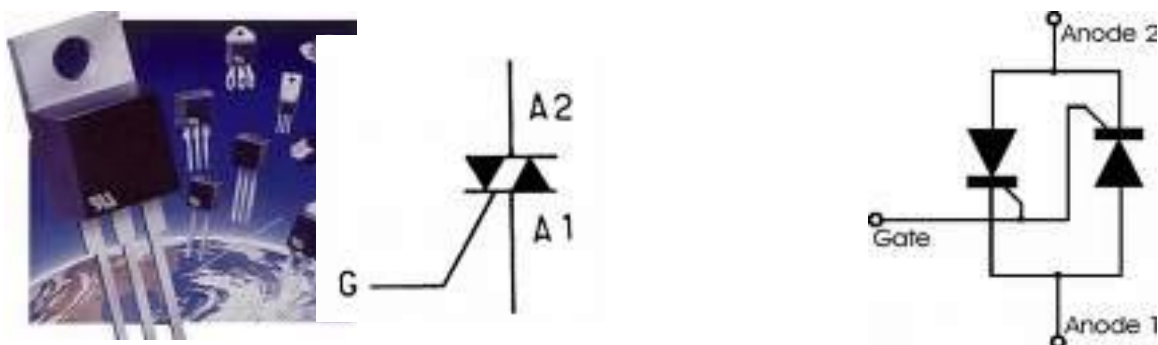


Khi điện áp đặt vào hai cực đạt giá trị V_{BR} dòng điện chạy giữa hai điện cực tỷ lệ với điện áp đặt vào hai cực của nó. Diac sẽ ngừng dẫn khi dòng điện chạy qua nó ở giá trị thấp hơn mức ngưỡng I_H .

Điac có thể được coi như là tổ hợp của 4 transistor ghép lại với nhau, xem hình 11-24b. Diac là một linh kiện gồm 4 lớp bán dẫn pnpn. Trong sơ đồ tương đương, Q1 và Q2 được phân cực thuận, Q3, Q4 được phân cực ngược. Hoạt động của diac thể hiện thông qua các đường đặc tuyến trong hình 11-23.

6.3 Triac





Triac giống như diac nhưng có thêm một cực điều khiển. Triac chỉ dẫn điện khi cực điều khiển G được kích bằng một xung điện áp dương. Đơn giản có thể coi một triac như là hai SCR mắc với nhau, hai SCR này có chung một cực điều khiển G, xem hình 11-25. Khác với SCR, triac có thể dẫn điện khi có xung tác động vào cực điều khiển, dòng qua nó phụ thuộc vào điện áp đặt lên hai điện cực. Đặc tuyến Vôn-ampe của triac được mô tả trong hình 11-26. Là một linh kiện bán dẫn gồm 4 lớp bán dẫn, triac có khả năng dẫn điện ngay cả khi dòng qua anốt thấp hơn giá trị ngưỡng I_H . triac có khả năng dẫn điện theo cả hai chiều.

Triac được ứng dụng trong các mạch điều chỉnh ánh sáng điện, nhiệt độ lò, điều chỉnh chiều quay và tốc độ của các mô tơ điện một chiều kích từ độc lập...

Hình 11-27 là sơ đồ mạch mô tả khả năng dẫn điện theo 2 hướng của triac khi có tín hiệu xung tác dụng vào cực điều khiển. Hình 11-27a, A1 được phân cực dương hơn A2, nếu tác dụng một xung dương vào cực điều khiển G, triac sẽ dẫn điện theo hướng A1-A2 và nếu phân cực sao cho A2 dương hơn A1 đồng thời tác dụng một xung dương vào cực G thì triac sẽ dẫn điện theo hướng ngược lại, từ A2 -A1. Hình 11-27 b và 11-27 c là sơ đồ tương đương sử dụng transistor của triac trong hai trường hợp.

Một số ứng dụng cơ bản của triac

Mạch điều khiển pha (Hình 11-28)

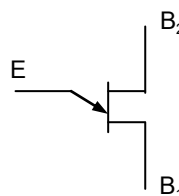
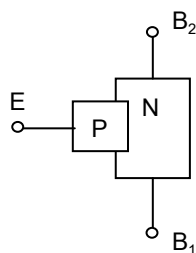
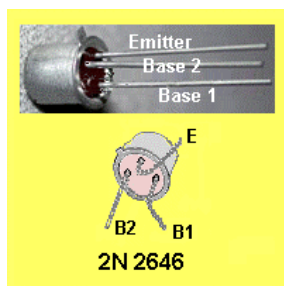
Triac được sử dụng trong mạch với vai trò như một khoá đóng ngắt mạch cung cấp điện áp xoay chiều cho một tải tiêu thụ (có thể là một động cơ, một bóng đèn chiếu sáng. . .) bằng cách sử dụng xung kích vào cực điều khiển G sẽ điều khiển triac đóng mở tại các thời điểm thích hợp.

Hình 11-29 cũng là một sơ đồ mạch điều khiển pha điển hình được sử dụng phổ biến trong công nghiệp. Hai điốt D1 và D2 có tác dụng chỉnh lưu điện áp xoay chiều tạo ra xung dương có tác dụng làm xung kích đặt vào cực G của triac. D1 luôn dẫn trong nửa chu kỳ dương. Điện trở R1 sẽ định thời điểm tác dụng xung kích vào cực G. Trong suốt quá trình này A1 và G luôn dương so với A2. Điốt D2 dẫn trong nửa chu kỳ âm và R1 cũng có tác dụng xác định thời điểm kích xung điều khiển làm cho triac dẫn. Trong thời gian này, A2 cả

G luôn dương hơn sơ với A1. Kết quả tại R_L thu được dạng điện áp như hình 11-29b.

Trong mạch điều khiển pha, triac cần phải ngừng dẫn tại thời điểm xuất hiện đỉnh dương hoặc đỉnh âm của tín hiệu xoay chiều.

6.4 Transistor đơn nối UJT (The Unijunction Transistor)



a. Cấu tạo.

b. Ký hiệu.

UJT là linh kiện gồm có 3 điện cực cấu tạo của có được mô tả trong hình 11-31a và kí hiệu được thể hiện tại hình 11-31b. 3 điện cực của UJT là Emitơ, Bazơ1, bazơ 2. Tuy có tên gọi là transistor nhưng nguyên lý hoạt động của nó khác hẳn transistor lưỡng cực và transistor trường .

UJT được cấu tạo nằng cách trên một phiến bán dẫn loại N pha tạp với nồng độ thấp người ta tạo ra một vùng bán dẫn loại P pha tạp với nồng độ cao hơn. Từ miền bán dẫn loại P nối ra một điện cực gọi là cực E, hai đầu của phiến bán dẫn loại N nối ra hai điện cực là B1 và B2. Từ cấu tạo của UJT có sơ đồ mạch tương đương hình 11-32)

Phiến bán dẫn N có điện trở suất cao(do được pha tạp với nồng độ thấp) nên từ B1 đến điểm tương ứng chuyển tiếp PN được thay bằng điện trở R_{B1} , và từ B2 tới vùng tiếp xúc được thay bằng điện trở R_{B2} , tổng hai điện trở này bằng điện trở từ B1 tới B2, gọi là R_{BB} . Chuyển tiếp PN của cực E được thay thế bằng điốt D.

Nếu đặt vào B1 và B2 một điện áp như hình 32 thì tính được điện áp từ điểm C sơ với B1 khi E hở mạch là:

$$U_1 = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} U_{BB}$$

$$R_{BB} = R_{B1} + R_{B2}$$

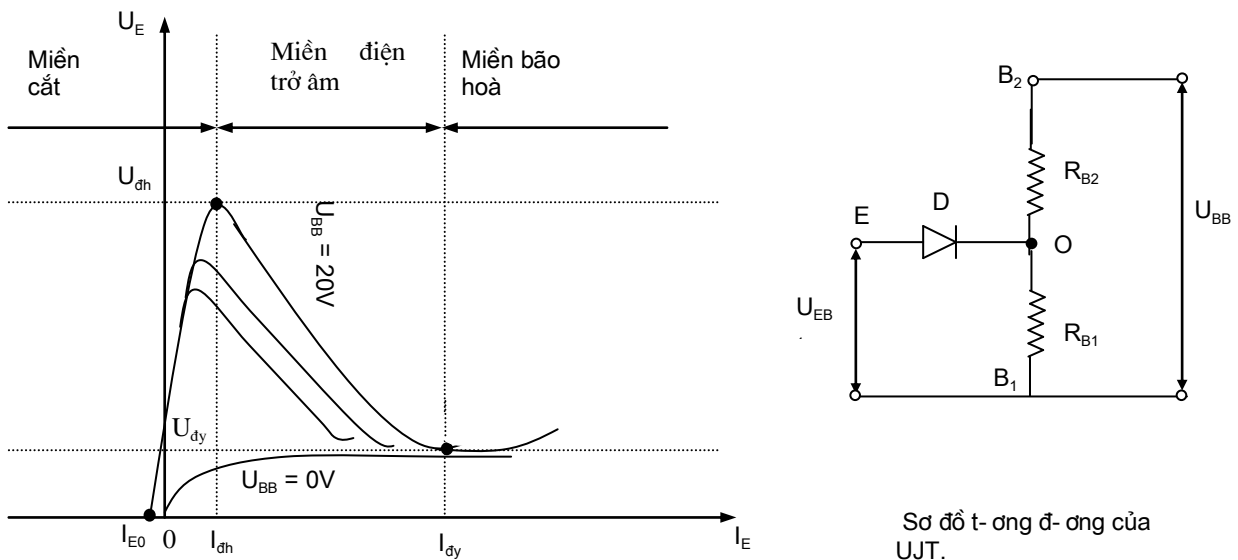
Điện áp U_1 chính là điện áp đặt vào catốt của điốt D. Khi E hở mạch chỉ có dòng I_{B2} chạy từ B1 đến B2:

$$I_{B2} = \frac{U_{BB}}{R_{BB}}$$

Nếu E nối đất thì D bị phân cực ngược khi đó qua cực E chỉ có dòng điện ngược I_{E0} .

Nếu đặt vào giữa E và B1 một điện áp dương. Khi tăng U_{EB1} từ giá trị 0 đến U_{U1} thì dòng điện ngược I_{E0} sẽ giảm về 0, vì khi đó điốt không được phân cực thuận, $U_{AK}=0$. Nếu tiếp tục tăng U_{EB1} theo chiều dương thì D sẽ được phân cực thuận, tạo ra dòng chạy từ E vào phiến bazơ của UJT, dòng I_E xuất hiện, nghĩa là các hạt dẫn được phun từ miền E sang miền B, làm cho nồng độ hạt dẫn ở miền này tăng đột biến và R_{B1} sẽ giảm đột ngột, U_{U1} giảm đột ngột làm cho điện áp phân cực thuận đặt vào điốt có xu hướng tăng lên, I_E tăng, U_{U1} giảm. Trong quá trình này điốt luôn phân cực thuận nên điện áp sụt trên nó là không đáng kể, do đó có thể gần đúng coi là $u_D=U_{EB1}$. Rõ ràng khi điốt thông I_E có xu hướng tăng dần trong khi U_{EB} có xu hướng giảm dần. Đó chính là nguyên nhân xuất hiện hiệu ứng điện trở âm trong UJT. Đương nhiên dòng I_E không thể tăng mãi nó bị giới hạn bởi điện trở nguồn. Sau khi UJT được mở nó sẽ duy trì trạng thái này cho tới khi mạch vào hở mạch hoặc dòng I_E giảm xuống giá trị quá nhỏ.

Đặc tuyến vôn- ampe của UJT được biểu diễn trong hình 11-33



Hình 11-33: Đặc tuyến của UJT.

Khi $U_{B2}=0$; $U_1=0$; U_{EB1} chỉ tăng một chút nên điốt phân cực thuận, đặc tuyến vôn –ampe giống như đặc tuyến phân cực thuận của điốt thông thường.

Khi U_{BB} được đặt ở một giá trị nhất định, $U_{EB1}=0$, điốt bị phân cực ngược, qua cực E có dòng I_{E0} . Cường độ dòng điện được biểu diễn bằng điểm 1 trên đặc tuyến. Khi tăng dần U_{BE1} (nhưng giá trị còn nhỏ sơ với U_1) thì dòng I_{E0} vẫn không đổi giống như dòng ngược bão hoà của điốt. Quá trình tăng U_{EB1} làm giảm dần điện áp phân cực ngược cho điốt sau đó tăng dần và làm cho điốt được phân cực thuận, dòng I_E theo chiều thuận bắt đầu xuất hiện và tăng dần. Khi tăng $U_{EB1} = U_1 + 0,7$ thì dòng I_E sẽ gây ảnh hưởng tới R_{B1} . Thông thường điện áp ứng với giá trị này là U_{dh} và dòng điện tương ứng là I_{dh} , gọi là điện áp đỉnh và dòng đỉnh.

Khi I_E vượt quá I_{dh} thì I_E tăng, U_{EB1} giảm, đặc tuyến của uJT trong khoảng này được gọi là miền điện trở âm. Khi I_E tăng tới một giá trị nhất định điện trở R_{B1} không tiếp tục giảm, U_1 cũng không giảm. U_{EB1} này gọi là điện áp đáy, dòng điện tương ứng được gọi là dòng đáy

Nếu tiếp tục tăng I_E thì đặc tuyến của UJT giống như đặc tuyến của điốt

Ứng dụng

Mạch tạo xung dùng UJT

Sơ đồ nguyên lý và dạng xung được trình bày trên hình 11-34; 11-35

Nguyên lý hoạt động của mạch như sau:

Khi cấp nguồn một chiều cho mạch tụ C sẽ nạp điện từ nguồn V_{BB} qua R_1 khi điện áp trên tụ đạt tới giá trị V_P của UJT thì UJT sẽ mở, tụ C phóng điện qua UJT làm cho điện áp trên tụ

giảm bằng điện áp bão hoà của UJT. Khi đó UJT sẽ đóng và C lại bắt đầu quá trình nạp điện. Quá trình cứ tiếp diễn liên tục như vậy kết quả trên tụ sẽ thu được điện áp dạng răng cưa. còn trên R_2 thu được xung nhọn có độ rộng rất nhỏ.

Điều kiện để mạch dao động: mạch phải thoả mãn điều kiện đóng mở của UJT. Muốn UJT đóng dòng qua R_1 là I_E phải không lớn hơn I_p , muốn vậy điện áp sụt trên R_1 phải lớn hơn $I_p R_1$. Vậy điều kiện để UJT mở là:

$$R_1 \frac{V_{BB} - V_P}{I_p}$$

Hay
$$R_1 \leq \frac{V_{BB} - V_P}{I_P}$$

Điều kiện để UJT ngắt là:

$$V_{BB} - V_V \leq V_V R_1$$

$$R_1 \leq \frac{V_{BB} - V_V}{I_V}$$

Vậy, điều kiện để UJT thỏa mãn điều kiện đóng ngắt là:

$$R_1 \leq \frac{V_{BB} - V_P}{I_P} \text{ và } R_1 \leq \frac{V_{BB} - V_V}{I_V}$$

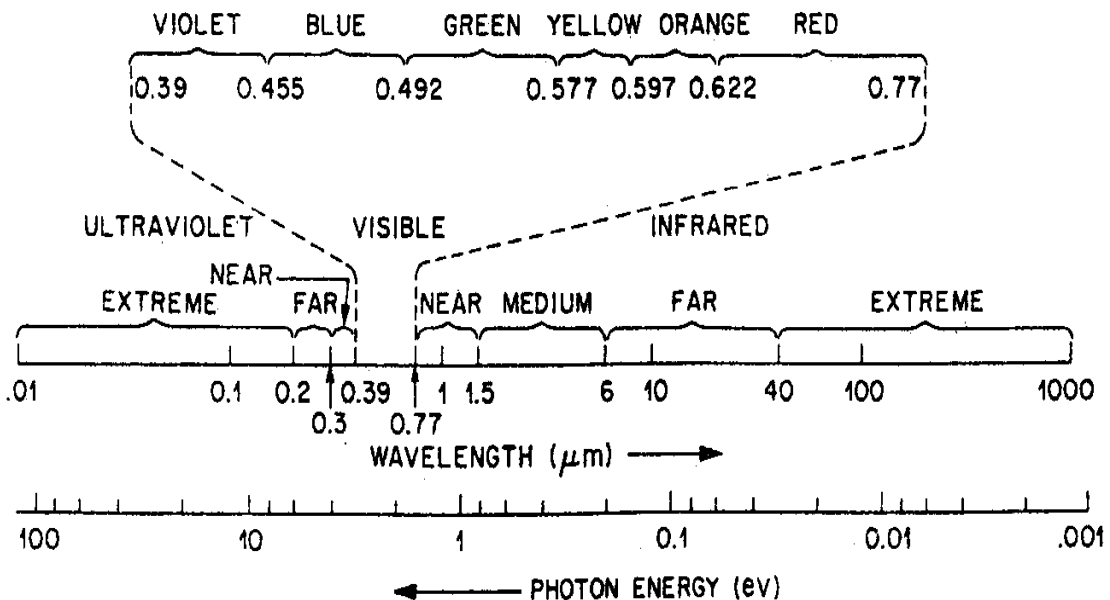
Ch- 7

các linh kiện quang điện tử

Các linh kiện quang tử là các linh kiện chuyển đổi năng lượng ánh sáng thành điện năng, trong đó vai trò chính là các hiệu ứng của ánh sáng – photon. Trong chương này, chúng ta xem xét 4 nhóm linh kiện quang tử: Nhãn LED (light emitting diodes) và nhãn Laser diode - chúng là các linh kiện chuyển đổi điện năng sang dòng quang năng; nhãn các bộ thu quang (photodetector) - chuyển đổi dòng quang thành dòng điện; và nhãn pin mặt trời (solar cell) - chuyển đổi ánh sáng sang điện năng.

7.1 Sự phát xạ và sự hấp thụ quang

Hình 1 biểu diễn phổ ánh sáng khả kiến. Dải ánh sáng mà mắt người nhìn thấy nằm trong vùng bước sóng từ 0,4 đến 0,7 micromet. Hình này cho thấy các dải màu chính, ánh sáng màu tím ánh sáng màu đỏ. Vùng tia hồng ngoại bao gồm các bước sóng từ 0,1 đến 100 micromet và vùng tia cực tím bao gồm các bước sóng trong khoảng 0,01 đến 0,4 micromet. Trong chương này, chúng ta chú ý quan tâm đến dải bước sóng cận hồng ngoại (~0,3 micromet) và vùng cận hồng ngoại (~1,5 micromet).



Hình 1. Phổ điện từ từ vùng cực tím đến vùng hồng ngoại

Ôn định thì, hình 1 cho ta biết về năng lượng quang học chia theo các mức khác nhau. Ở chuyển đổi qua lại giữa các mức năng lượng, ta sẽ dùng công thức chuyển đổi như sau:

$$\lambda = \frac{hc}{h\nu} = \frac{1,24}{\nu \text{ (eV)}} \text{ (1)}$$

Trong đó c là tốc độ ánh sáng trong chân không, h là hằng số Planck và $h\nu$ là năng lượng của một photon (đơn vị eV). Ví dụ, ánh sáng màu xanh lá cây có bước sóng 0,5 μm thì năng lượng của một photon là 2,48 eV .

7.1.1 Sự phát xạ ánh sáng

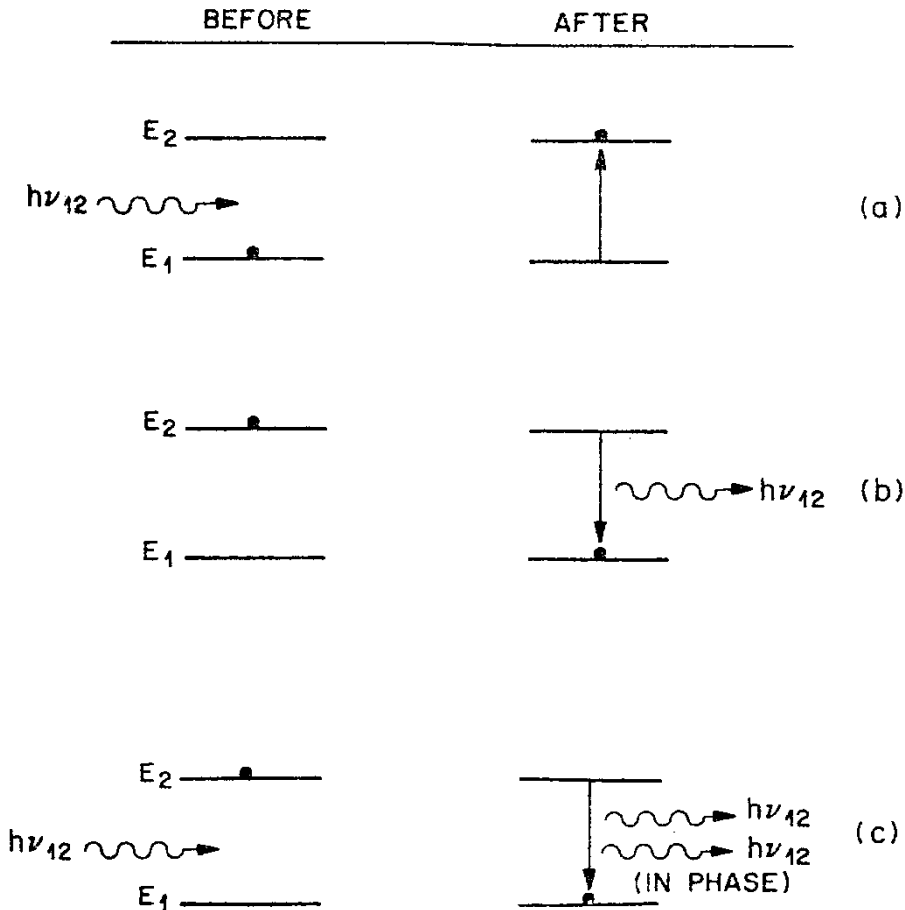
Các quá trình chuyển đổi năng lượng giữa photon và điện tử trong chất rắn: sự hấp thụ và phát xạ tự nhiên và phát xạ kích thích. Chúng ta sẽ dùng mô hình sơ đồ năng lượng để mô tả các quá trình này trên hình 2. Xét hai mức năng lượng E_1 và E_2 của một nguyên tử với E_1 là mức năng lượng thấp nhất (ground) và E_2 là mức năng lượng cao (trạng thái kích thích). Một sự chuyển đổi bất kỳ giữa hai trạng thái đều có liên quan đến sự phát xạ hoặc hấp thụ của một photon với tần số ν , được xác định theo công thức $h\nu = E_2 - E_1$. Trong quá trình chuyển đổi, hai mức năng lượng trong chất rắn có thể thay đổi khi một photon có năng lượng bằng $h\nu$ chiếu vào. Nguyên tử ở trạng thái E_1 hấp thụ photon sẽ chuyển lên trạng thái E_2 . Sự thay đổi trạng thái năng lượng của nguyên tử như trong hình 2a. Trạng thái bất kỳ của nguyên tử ở mức năng lượng thấp nhất, không có bất kỳ kích thích nào, không thể chuyển dịch về trạng thái thấp hơn, ánh sáng phát ra photon với năng lượng bằng chính $h\nu$. Quá trình này được gọi là phát xạ tự nhiên (hình 2b). Khi một photon với năng lượng $h\nu$ chiếu vào một nguyên tử ở trạng thái bất kỳ (hình 2c), nguyên tử bị kích thích, nó có thể chuyển dịch về trạng thái thấp hơn và phát ra photon có năng lượng $h\nu$. Quá trình này được gọi là quá trình phát xạ kích thích. Sự phát xạ kích thích phát ra ánh sáng có đặc tính do một photon có một năng lượng chính xác $h\nu$ và hướng đi cao do tất cả photon phát ra đồng pha.

Quá trình hoạt động của LED là phát xạ tự nhiên; của Laser là phát xạ kích thích; cần có bộ thu quang và pin mặt trời là quá trình hấp thụ.

Giả sử rằng một số lượng các điện tử ở E_1 và E_2 là n_1 và n_2 . Điều kiện cân bằng nhiệt và điều kiện $(E_2 - E_1) > 3kT$, một điều kiện tuân theo phân bố Boltzmann:

$$\frac{n_2}{n_1} = \exp\left(-\frac{E_2 - E_1}{kT}\right) \approx \exp\left(-\frac{E_2 - E_1}{kT}\right) \text{ (2)}$$

Dẫu mô hình cho rằng $n_2 < n_1$ trong điều kiện cân bằng nhiệt; nghĩa là h₀ h₁ cực đại thì tần số ω của sóng I- ăng thấp h₀.



Hình 2. Các quá trình chuyển mức cơ bản giữa hai mức năng lượng

Trong trạng thái ổn định, mức phát xạ kích thích và mức phát xạ tự nhiên phải cân bằng với mức hấp thụ duy trì hằng số một n_1 và n_2 không đổi. Mức phát xạ kích thích tương đương với một n_2 của trường photon ($h\nu_{12}$) hay tăng năng lượng trong trường phát xạ trên mức n_2 và n_1 tương ứng với mức n_1 và n_2 của trường phát xạ kích thích n_2 $h\nu_{12}$, trong n_2 là số lượng ánh sáng tới mức cao và B_{12} là hằng số tỉ lệ. Mức phát xạ tự nhiên chỉ có một n_1 của mức cao, n_2 $h\nu_{12}$ trong n_1 A_{21} là hằng số. Mức hấp thụ tương đương với một n_1 $h\nu_{12}$, n_2 $h\nu_{12}$ trong n_2 B_{12} là hằng số tỉ lệ. Như vậy, ở trạng thái ổn định thì:

$$\text{Mức phát xạ kích thích} + \text{Mức phát xạ tự nhiên} = \text{hấp thụ}$$

Hay

$$B_{21}n_2(h\nu_{12}) + A_{21}n_2 = B_{12}n_1(h\nu_{12}) \tag{3}$$

Tương trình (3) rút ra được:

$$\text{Mức phát xạ kích thích} / \text{Mức phát xạ tự nhiên} = \frac{B_{21}}{A_{21}} \left(\frac{h\nu}{h\nu_0} \right) \quad (4)$$

Ở trạng thái cân bằng phát xạ kích thích/phát xạ tự nhiên, chúng ta phải tìm được một số lượng lớn các photon ($h\nu$) rất lớn. Ở đây để đạt được một số lượng này, ngay cả số lượng mức năng lượng quang (tham khảo mục 7.3) nhằm trạng thái cân bằng photon. Thông qua trình (3) và biểu thức chúng ta có thể viết ra được:

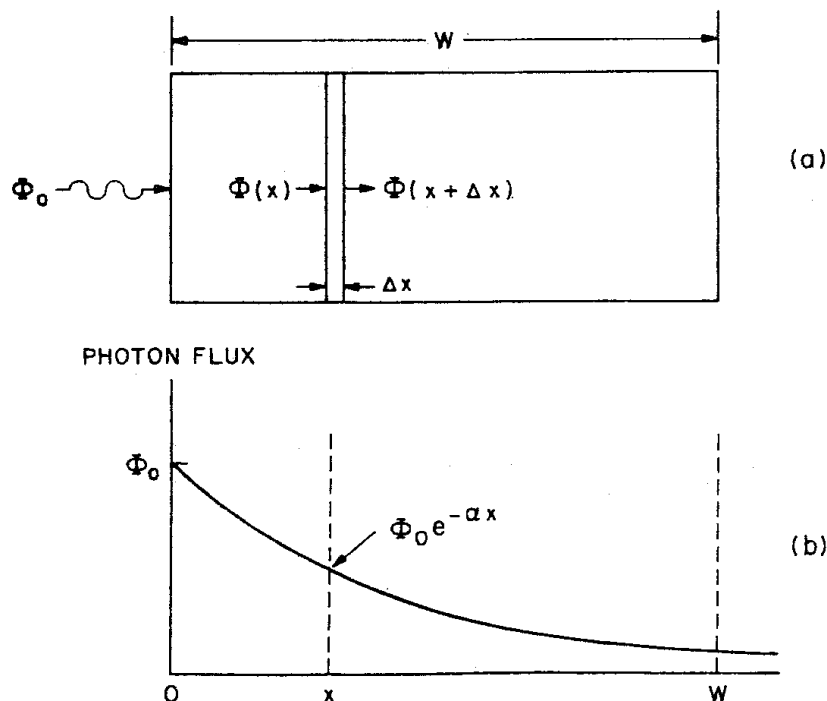
$$\text{Mức phát xạ kích thích} / \text{Mức hấp thụ} = \frac{B_{21}}{B_{12}} \left(\frac{g_2}{g_1} \right) \quad (5)$$

Nếu mức phát xạ kích thích của các photon nhiều hơn số hấp thụ của các photon, chúng ta phải tìm được một số lượng lớn hơn trong mức cao hơn trong mức thấp. Điều kiện này để gọi là số đảo ngược (population inversion), điều kiện cân bằng với các hiện tượng khác nhau của nó. Chúng ta sẽ xem xét nhiều cách khác nhau để đạt được một số lượng lớn các photon và để số đảo ngược một số lượng các số phát xạ kích thích trên các số phát xạ tự nhiên và số hấp thụ.

7.1.2 Quá trình hấp thụ quang

Hình 3 cho thấy các quỹ trình chuyển mức của các electron trong chất bán dẫn. Khi chất bán dẫn được chiếu xạ photon để hấp thụ năng lượng tạo ra các cặp electron - lỗ trống (a) năng lượng photon bằng với năng lượng vùng cấm, tức là $h\nu = E_g$. Nếu $h\nu > E_g$, một cặp electron - lỗ trống được sinh ra, thậm chí vào phần năng lượng vượt quá ($h\nu - E_g$) bị hao phí dưới dạng nhiệt trong hình (b). Các quỹ trình, (a) và (b) được gọi là chuyển mức trong (intrinsic transition) (hay chuyển mức band to band). Mặt khác, khi $h\nu > E_g$ photon sẽ được hấp thụ để tạo ra các trạng thái năng lượng trong vùng cấm do sự không tinh khiết của chất liệu hoặc các tạp chất khác như các tạp chất (c) trong hình 3. Quỹ trình (c) được gọi là chuyển mức ngoài (extrinsic transition). Luôn luôn điều này nói chung là cùng một vùng năng lượng như là một cặp electron - lỗ trống hoặc một cặp electron - lỗ trống hoặc một cặp electron - lỗ trống phát xạ photon với năng lượng bằng năng lượng vùng cấm.

b) v) hấp thụ quang kịu band to band trn khng ăyng kợ ăợ $h\nu > E_g$ hoặc $h\nu < E_g$.



Hình 4. Sự hấp thụ quang. (a) Chất bán dẫn d- ới sự chiếu xạ.
(b) Sự suy giảm theo quy luật luỹ thừa của luồng photon.

Bài toán : Một phiến silicon ănh tinh thợ dày 0,25cm ă- ợ chi ợu x ợb ợy nh s ợng màu ănh s ợc (ănh t ợnh) c ợng l ợng $h\nu = 3eV$. C ợng su ợt chi ợu x ợt ợi 10mW. T ợnh t ợng n ợng l ợng ă ợp th ợb ợ ch ợt b ợn d ợnh trong m ợi gi ợy, m ợc v- ợi qu ợy n ợng l ợng ti ợu t ợn v ợnh ợi theo c ợu tr ợc m ợnh tinh thợ, và s ợ photon b ợ ra trong ănh v ợ h ợ gian do s ợ t ợi h ợp b ợ c ợc h ợ d ợnh b ợn trong.

Đáp ợn: T ợ h ợnh 5, h ợ s ợ h ợp th ợ là $4 \cdot 10^4 cm^{-1}$. N ợng l ợng ă ợp th ợ trong ănh v ợ th ợ gian là:

$$P_{abs} = P_0 (1 - e^{-\alpha W}) = 0,01 (1 - e^{-10^4 \cdot 0,25 \cdot 10^{-2}}) = 0,0063 J/s = 6,3 mW.$$

M ợ ph ợnh n ợng l ợng c ợa t ợnh photon ă- ợ ch ợy ợng sang nhi ợ là:

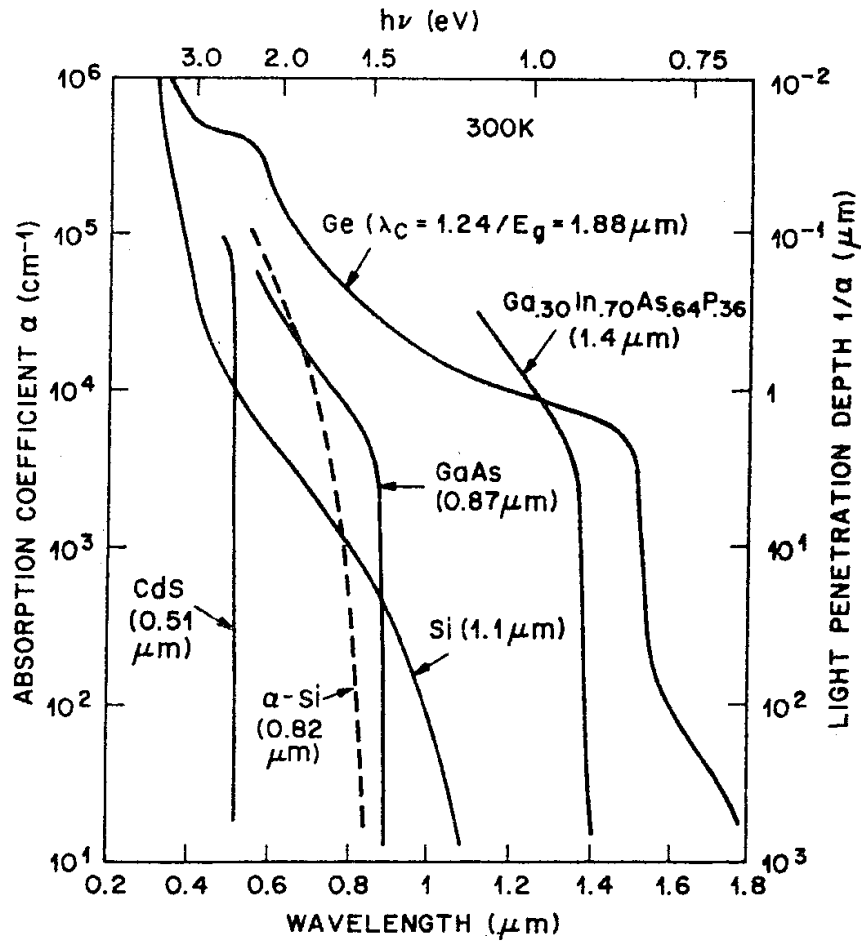
$$\frac{h\nu - E_g}{h\nu} = \frac{3,12}{3} = 62\%$$

Ch ợnh v ợ h ợ t ợng n ợng l ợng ti ợu t ợn trong t ợnh gi ợy theo c ợu tr ợc m ợnh tinh thợ là:

$$62\% \cdot 6,3 = 3,9 mW.$$

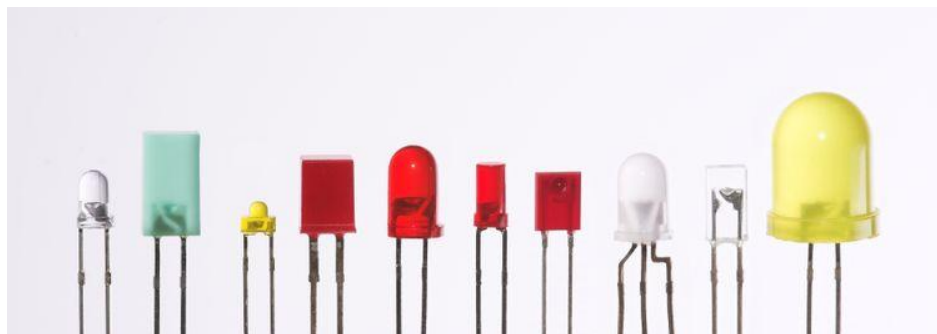
Tính số photon sinh ra bởi nguồn sáng công suất 2,4mW tại bước sóng 1,12 eV/photon, số photon trong mỗi giây do số photon sinh ra là:

$$\frac{2,4 \cdot 10^{-3}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,12} = 1,3 \cdot 10^{16} \text{ photons/s}$$



Hình 5. Hệ số hấp thụ quang thay đổi theo chất liệu của chất bán dẫn.

7.2 Điốt phát quang LED

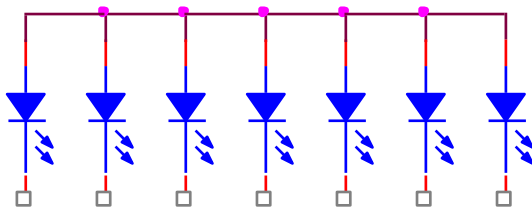


- [silicon carbide](#) (SiC) as substrate - blue
- [silicon](#) (Si) as substrate - blue (under development)
- [sapphire](#) (Al_2O_3) as substrate - blue
- [zinc selenide](#) (ZnSe) - blue

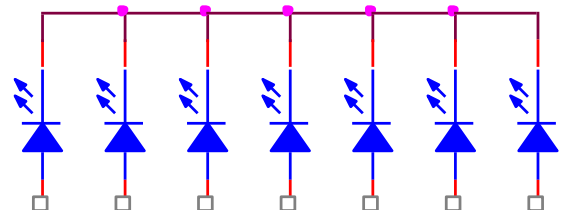
- Công suất của LED: ánh sáng của LED phát ra ánh sáng mà mức tiêu thụ năng lượng nhỏ hơn nhiều so với đèn huỳnh quang. Công suất tiêu thụ của đèn huỳnh quang khoảng 100 đến 120mW, còn công suất LED phát ra ánh sáng huỳnh quang khoảng công suất ánh sáng khoảng 100 đến 500mW.
- Dòng điện và điện áp sụt trên linh kiện: công suất LED phát ra ánh sáng nhỏ hơn nhiều so với đèn huỳnh quang. Dòng điện chạy qua khoảng vài mA.

ứng dụng: dùng làm đèn chiếu sáng, chiếu sáng trong các thiết bị chiếu sáng

Trong kỹ thuật ánh sáng chiếu sáng cho công việc chiếu sáng - chiếu sáng ta cần chiếu ra LED 7 thanh chiếu sáng và chiếu LED 7 thanh chiếu sáng thành bằng cách nối 7 diode phát quang theo sơ đồ chung mức chiếu sáng (gọi là chiếu sáng chung) hoặc chung mức chiếu sáng (gọi là chiếu sáng chung).



Hình 7.2 :LED 7 thanh anốt chung



Hình 7.3: LED 7 thanh katốt chung



7.3 Linh kiện thu quang

Cực linh ki- \square thu quang là cực linh ki- \square b- \square d- \square c- \square ch- \square n- \square g chuy- \square t- \square hi- \square quang thành t- \square hi- \square ăi- \square . Ho- \square ă- \square g c- \square m- \square b- \square thu quang g- \square 3 b- \square : (1) cực tia s- \square ng t- \square sinh ra cực h- \square d- \square , (2) cực h- \square d- \square di chuy- \square và c- \square th- \square ă- \square n- \square h lần do t- \square ng ă- \square d- \square ng và (3) s- \square t- \square ng t- \square c- \square d- \square ng ăi- \square v- \square m- \square ch ngo- \square i ă- \square c- \square p t- \square hi- \square ra.

Cực b- \square thu quang ă- \square s- \square d- \square ng r- \square ng r- \square i nh- \square c- \square m bi- \square h h- \square ng ngo- \square trong cực b- \square c- \square ch li quang và cực b- \square thu quang trong th- \square ng tin quang s- \square . V- \square cực ă- \square g d- \square ng này, cực b- \square thu quang ph- \square c- \square ă- \square nh- \square ly cao ă- \square b- \square s- \square ng ho- \square ă- \square ng, t- \square ă- \square ă- \square yp ă- \square ng cao và ă- \square nh th- \square p. Th- \square m vào ă- \square cực b- \square thu ph- \square g- \square h, s- \square d- \square ng d- \square ng ho- \square ă- \square yp phân c- \square th- \square p, và ph- \square tin c- \square y d- \square cực ăi- \square u ki- \square ho- \square ă- \square ng y- \square u c- \square .

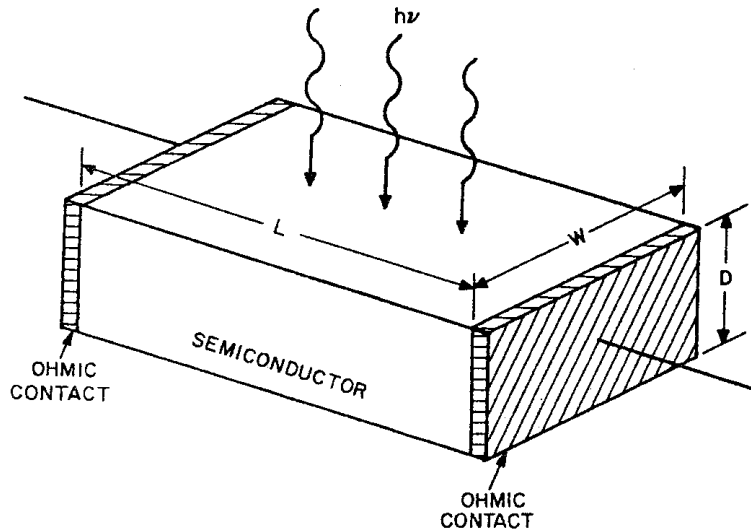
7.3.1 Chất quang dẫn

M- \square ch- \square t quang d- \square ă- \square gi- \square h c- \square c- \square u t- \square t- \square m- \square phi- \square h b- \square d- \square v- \square ă- \square mic ti- \square x- \square c- \square hai ă- \square phi- \square h (h- \square nh 29). Khi tia s- \square ng chi- \square u lần b- \square m- \square t c- \square ch- \square t quang d- \square , s- \square t- \square cực c- \square p ăi- \square t- \square trong ă- \square ng cực ch- \square t (intrinsic) ho- \square chuy- \square qua cực m- \square n- \square g l- \square ng v- \square ng c- \square m (b- \square n ngo- \square i - extrinsic), k- \square qu- \square là t- \square ng ă- \square d- \square h ăi- \square .

V- \square quang d- \square trong, ă- \square d- \square h ă- \square cho b- \square c- \square ng th- \square

$$r(\lambda) = r_0 \left(1 + \frac{\lambda_0}{\lambda} \right)^p \quad (23)$$

Ô- \square d- \square h t- \square ng khi chi- \square u ă- \square nh s- \square ng là do t- \square ng cực h- \square d- \square . Ô- \square d- \square h b- \square s- \square ng c- \square trong tr- \square ng h- \square p này ă- \square t- \square nh to- \square yn ă- \square ph- \square ng tr- \square nh 9. Trong tr- \square ng h- \square p quang d- \square ngo- \square i, s- \square k- \square ch th- \square ch quang c- \square th- \square xu- \square t hi- \square h gi- \square u bi- \square n c- \square d- \square và m- \square m- \square n- \square g l- \square ng trong d- \square n- \square g l- \square ng. Trong tr- \square ng h- \square p này, ă- \square d- \square h b- \square s- \square ng c- \square ă- \square qui ă- \square nh b- \square ă- \square r- \square ng c- \square m- \square n- \square g l- \square ng v- \square ng c- \square m.



Hình 29. Sơ đồ của chất quang dẫn gồm một phiến bán dẫn với tiếp xúc omic

Nghiên cứu hoạt động quang dẫn khi bị chiếu sáng. Thời gian sống trung bình, số cặp hạt dẫn tạo ra trong mỗi đơn vị thể tích bởi mỗi lượng photon là n_0 . Sau khoảng thời gian t , số cặp hạt dẫn là $n(t)$ trong cùng thể tích giảm bởi số tái hợp là

$$n = n_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (24)$$

Trong đó τ là thời gian sống của hạt dẫn. Nếu cych khc, tcc ăqtýi hcp là $1/\tau$. Nếu chúng ta giả sử rằng mỗi đơn vị photon không hấp thụ ánh sáng đều đặn bề mặt của chốt quang dẫn (hình 29) với diện tích $A=WL$, tăng số cặp photon ănh bề mặt là $(P_{opt}/h\nu)$ trên mỗi đơn vị thời gian, trong đó P_{opt} là công suất quang tới và $h\nu$ là năng lượng photon.

Ở trạng thái cân bằng, tốc độ sinh ra hạt dẫn phải bằng với tốc độ tái hợp. Nếu ăqdày D của bán dẫn lănh hănh số ăăâm xuyên $1/\tau$ là ỹnh sýng thđđc ăđsinh hđ trăn mđ ăđnh vđthợ tđch trong trđng thđi cân bằng là

$$G = n \frac{P_{opt}/h\nu}{WLD} \quad (25)$$

Trong đó G là hiệu suất dòng điện và n là số cặp hạt dẫn trong mỗi đơn vị thể tích (mỗi đơn vị thể tích). Công suất quang ăđnh giữa các ăđnh cđc là

$$I_p = (q n_p) / D = (q n_p) W D = (q n_p) W D \quad (26)$$

Trong đó n_p là nồng độ ăđnh tđbản trong quang dẫn và q là vốn tđc trđi của hđ đđnh. Thay n trong phương trình 25 vào phương trình 26, ta có

$$I_p = \frac{q P_{opt}}{h\nu} L \quad (27)$$

Nếu ta coi dòng quang ăđnh ban ăđđ là

$$I_{ph} = \frac{P_{opt}}{h\nu} \quad (28)$$

Khi ánh sáng chiếu vào trỏ, ánh sáng được hấp thụ và là

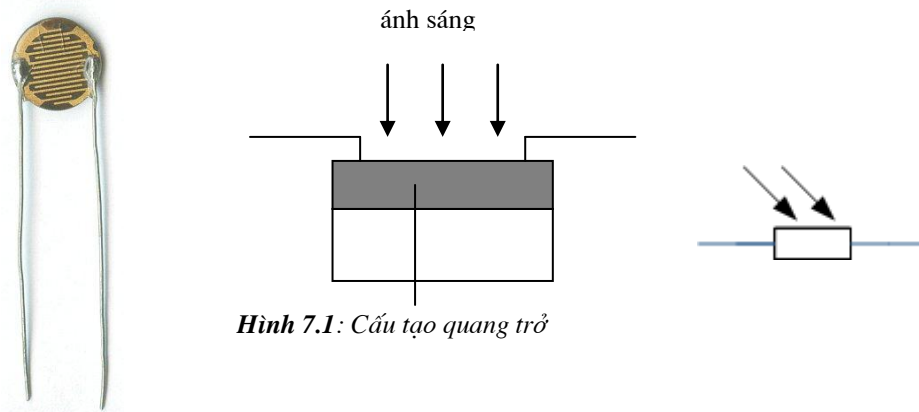
$$Gain = \frac{I_p}{I_{ph}} = \frac{L}{t_r} \quad (29)$$

Trong đó $t_r = L/v_d$ là thời gian di chuyển của hạt dẫn. Ở đây L là chiều dài của vùng hấp thụ và t_r là thời gian di chuyển của hạt dẫn.

Trong trường hợp thời gian sống dài và khoảng cách giữa cực cực ngắn, ánh sáng được hấp thụ và sinh ra các cặp điện tử - lỗ trống. Thời gian sống của các cặp điện tử - lỗ trống quy định bởi thời gian di chuyển t_r . Ở đây t_r là thời gian di chuyển ngắn thì khoảng cách giữa cực cực ngắn và ánh sáng giữa cực ánh sáng cao. Thời gian sống của các cặp điện tử - lỗ trống nằm trong khoảng từ 10^{-3} tới 10^{-10} giây. Chúng ảnh hưởng nhiều trong cực bán dẫn hữu cơ và đặc biệt cho các bộ vi xử lý.

7.3.2 Quang trở

Quang trở là linh kiện mà điện trở của nó thay đổi khi chiếu sáng.



Hình 7.1: Cấu tạo quang trở

Cấu tạo của quang trở là làm chất bán dẫn nhạy quang. Khi chiếu sáng vào, chất bán dẫn hấp thụ năng lượng và tạo thành các electron và lỗ trống làm tăng dòng điện và làm giảm điện trở của chất bán dẫn. Một số vật liệu bán dẫn nhạy quang trong chất bán dẫn là các bộ vi xử lý kỹ thuật số.

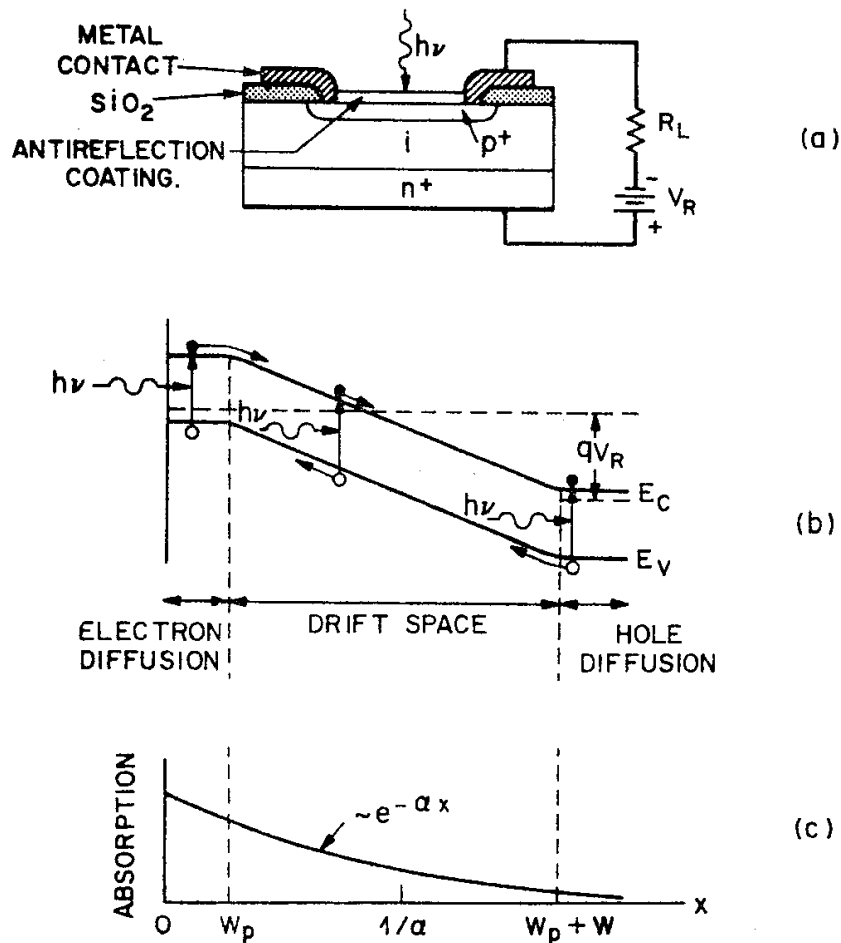
Cấu tạo của quang trở mà trình bày hình 7.1

Hình ảnh của quang trở

Quang trở- các dụng cụ rỗng trong các lĩnh vực khoa học kỹ thuật, trong máy tính điện tử các thiết bị tự động...

7.3.3 Điốt quang p-i-n

Ôn quang lo p-i-n là m trong nhệg b thu quang dng phả bi nhốt do bủ dày l p ti p gi p c thợ t - u hoỹ ã- c hi u suốt l- ñng t và t h s ãyp ñng. H ñh 31a là cẩu t m ãi ñ quang p-i-n c p h ñ p ch ñng ph ñ x ãợ t ñng hi u suốt l- ñng t

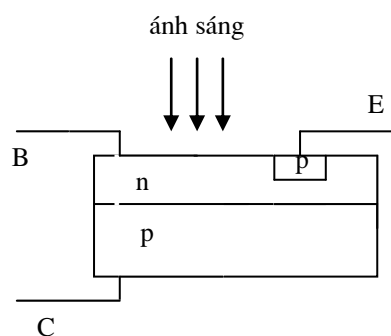


Hình 31. Hoạt động điốt p-in

H ñh 31b và 31c là gi ñ ã ñng l- ñng c ã ãi ñ p-i-n trong ãi u ki ñn ph ñn c ã ñg- ã và ã ñc t ñn h p th ñ quang c ã n ñ S ñ h p th ñ ñnh s ñng trong ch ốt b ñn d ñn s ñ sinh ra c ñc c ñp ãi ñn t ñ và l ñ tr ñng. C ñc c ñp ãi ñn t ñ- l ñ tr ñng ã- ã sinh ra trong v ñng c ốt h ốt hoặc trong chi u dài khu ñch t ñn s ñ ã- ã t ñch ra b ñ ãi ñn tr- ñng nh- trong h ñh 31b, khi ã ñ ñng ãi ñn s ñ ch ñy trong m ñch ngoài nh- s ñ ch ñy ñ ñ c ã c ñc h ñ mang ãi ñn qua l ñ p ñng h ốt ãi ñn t ñch.

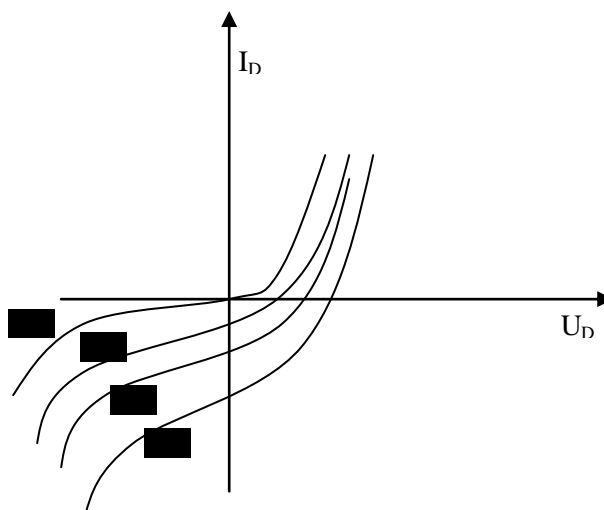
7.3.4 Photo transistor

Photo transistor là một linh kiện quang bán dẫn, có cấu trúc như một transistor và hoạt động như photo diode như một khi nó được chiếu ánh sáng. Ảnh hưởng của nó vào các B, C, E hoặc cả ba miền này. Cấu trúc của phototransistor được mô tả trong hình 7.5



Hình 7.5: Cấu tạo phototransistor

Đặc trưng Vôn- Ampe của photo transistor được mô tả trên hình 7.6. Trong vùng vùng làm việc sẽ có một số điểm đặc trưng riêng

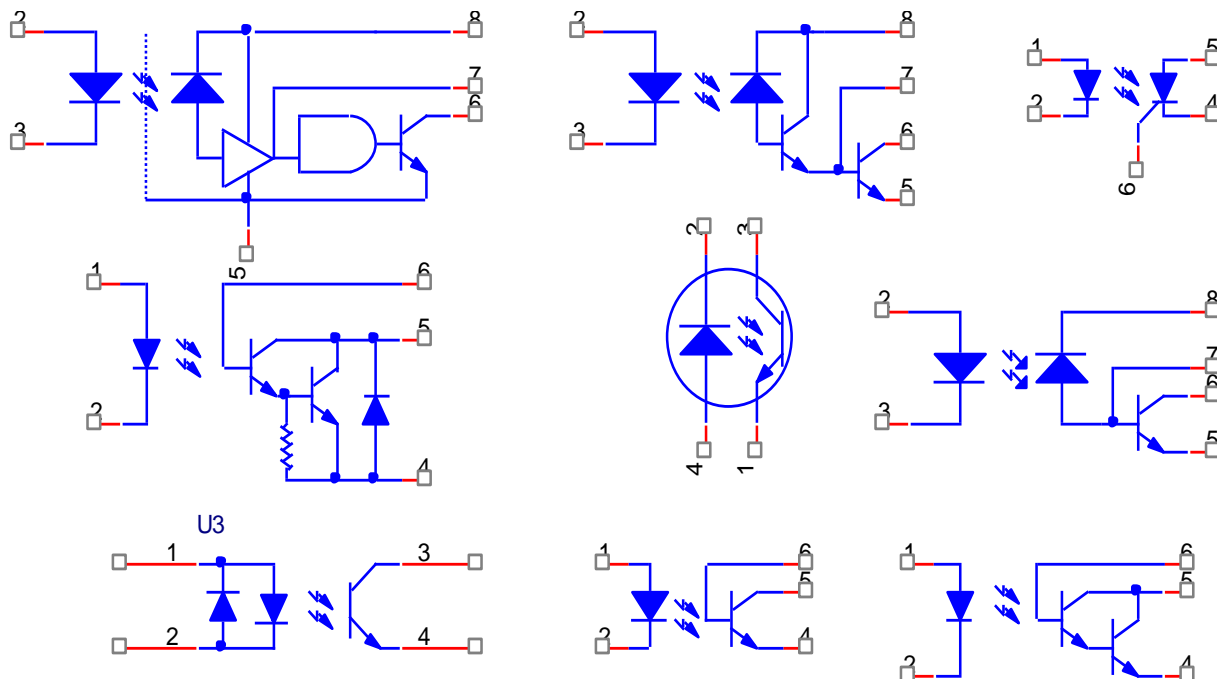


Hình 7.6 Đặc trưng Von- Ampe của phototransistor

Trong đó: photo transistor được dùng trong ánh sáng yếu, kỹ thuật máy tính, ảnh hưởng.

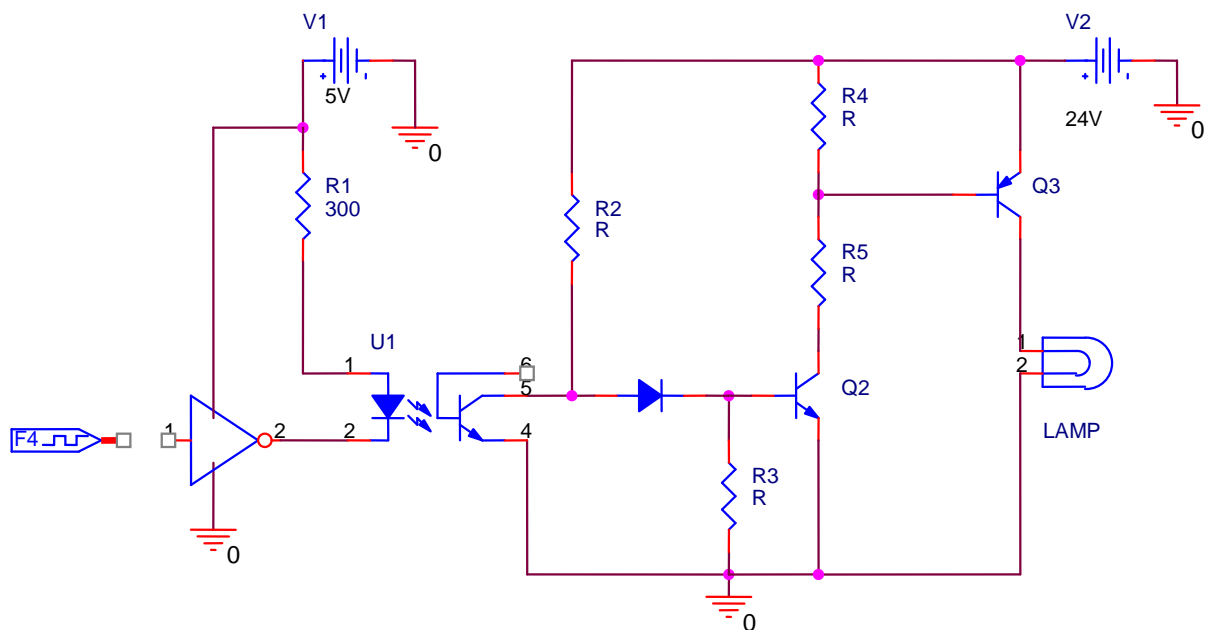
7.3.5 Opto Coupler (ghép quang)

Opto- Coupler là một linh kiện bán dẫn gồm có một nguồn phát xạ ánh sáng và một bộ thu ánh sáng. Nguồn phát ánh sáng là một diode phát quang, còn nguồn thu có thể là quang trở photo, phototransistor, phototransistor trong. . . Các bộ thu phát ánh sáng được đặt vào trong môi trường quang học và chúng hoàn toàn cách biệt nhau về mặt ảnh hưởng. Ghép quang trong các thiết bị ghép nối như ghép nối thiết bị quang học vì vậy máy tính được an toàn chơi máy tính khi các thiết bị quang học vì các sơ đồ ảnh hưởng các ảnh hưởng áp dụng các thiết bị quang học vì vào máy tính không ảnh hưởng cho các ảnh hưởng áp dụng vào các ảnh hưởng chọn logic. Ghép quang có tốc độ truyền rất nhanh (1Mbit/s). Hình 7.7 là một sơ đồ ghép quang.



Hình 7.7: Một số loại opto-couple

Hình 7.8 là sơ đồ điều khiển dòng một chiều dùng mạch ghép quang 4N25.



Hình 7.8: Sơ đồ điều khiển dòng một chiều dùng mạch ghép quang

Khi ấn ỹp I vào X của pin tắo thu h CMOS CD4069 của cao I ra Y của ỹp thỏp 0V. đng vào ỹ quang $I_1=10\text{mA}$ LED phýt sýng làm cho phototransistor của mch 4N25 thắng mch ỹp trần an của D_1 thỏp ỹ cắ, T_1 cắ T_2 của ỹp bazo bắng ỹp emito do ắ đng $I_2=0$ ắon tắ. Khi I vào X của thỏp I ra Y cao, LED khắng sýng, đng tắ của phototransistor nhắo colecto của n của cao, D_1 thắng mch, T_1 T_2 thắng làm cho bắng ắon của ỹ thắ 24V đng 350mA phýt sýng. Nh- vớ thắng qua viắ ỹu khợn mch logic I vào X ỹu khợn đng vào mch ghắ quang nhắo vắ của ỹu khợn ắng ngắ mắ đng I ra. Mch của vào và I ra hoàn toàn cắch biắ nhau vắ ph- ắng diắ mch ỹ.

7.4 LCD (hiển thị tinh thể lỏng)

LCD (Liquid Crystal Display: hợn thắnh thắ) là cắng nghắ- cắ sắ đng làm màn hắnh của mắ tắnh xých tay hoắ cắ mắ tắnh ỹ tắ cắnh Cắng giắng nh- LED và cắng nghắ plasma, LCD cho phắ hợn thắnh hắ cắng nghắ sắ đng ắng phắng tia ỹ tắ (CRT). LCD tiắu hao nắng I- ắng tắnh LED và cắng nghắ plasma bắ vắ làm viắ trần nguyắn I truyún và phắ xắ ỹnh sýng.

Mắ màn hắnh tinh thắ ắ- cắ xây đắng bắ mắ ma trắon bắ ắng hoắ mắ ma trắon tắ cắ. Ma trắon tắ cắ ắ- cắ xem nh- mắ màng mắng cắ transistor (TFT). TFT là nhắng khoắ ỹ tắ và cắ tắ ỹ rất nhắ Chắng ắ- cắ sắ xắ thành mắ ma trắon trần mắ tắ thuắ tinh cắ phắ mắ I phắ hoắ chắ nắ. Óa chắ của mắ ỹon tắ ắ- cắ xý ắ bắng giao ỹon của cắ hàng và cắ cắ. Cắ tắ trong thắ bắnh nhắ vắ làm t- cắ cắ chu kắhoắ ắng bắng cắch nắ ỹ khắ khi cắ ỹon tắ nhắn giắ trắ và phắ ỹ qua TFT khi khắng cắ giắ trắ ỹon tắ.

Ma trắon bắ ắng trong LCD là mắ tắ I- cắ đắ ỹ mà mắ ỹon tắ của nắ là mắ mắ I- cắ. Tắ I- cắ này ắ- cắ tắ ra bắng hai I kắnh mắng: mắ I tắ thành cắ cắ và mắ I tắ thành cắ hàng. Hai tắ kắnh này ắ- cắ tắ ra bắ mắ chắ đắ ỹ trong suắ (thắng th- ắng là indi- oxit sắ). Cắ hàng hay cắ cắ ắ- cắ nắ vắ cắ mắ tắ hắ. Chắ liắ tinh thắ ắ- cắ kắ giắ hai I kắnh và mắ màng mắng phắ cắ ỹnh sýng cắng ắ- cắ tắ vào hai tắ kắnh. Óa vắ hắ thắng sắ đng ma trắon bắ ắng thắnh nhắ hợn thắnh nh- ng nắ cắ nh- cắ ỹon rất I là thắ gian ỹp ắng chắ và ỹ ỹ ỹu khợn thay ắắ (Cắch ắnh giắ ắ bắ thắ ắ- cắ thắ gian ỹp ắng chắ ắ là nắ bắ di chuyón con chuắ trần màn hắnh LCD bắ sắ thắ bắng của nắ đắ chuyón theo).

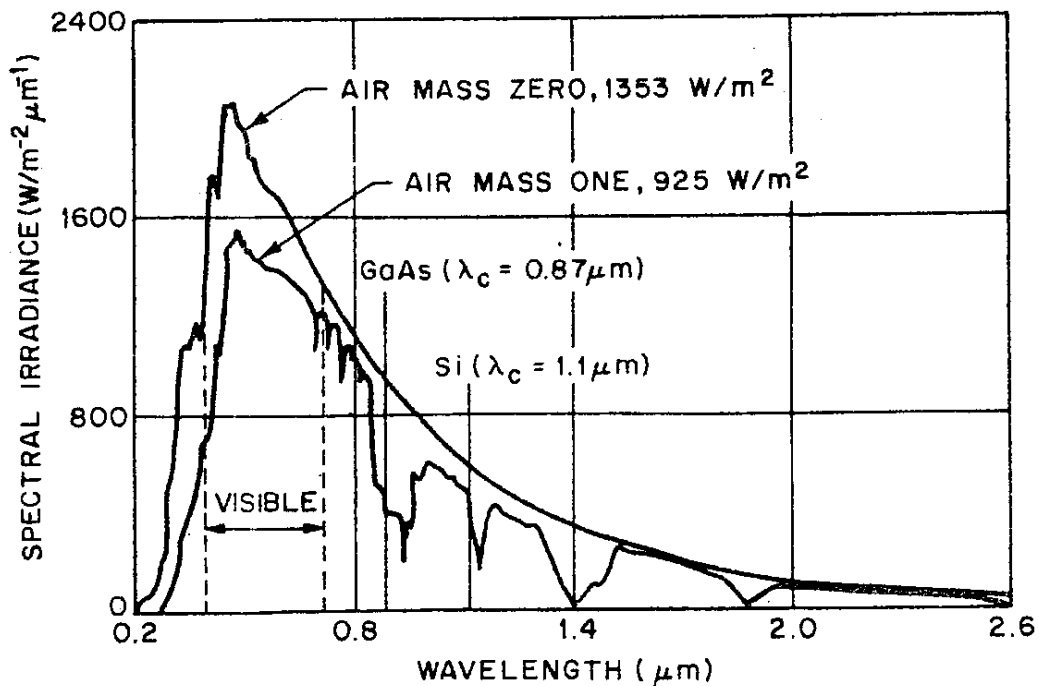
Cắng nghắ LCD ngày cắng phýt trắ. Tuy nhắn kắ th- cắ của LCD th- ắng bắ giắ hắ bắ cắ nhà sắ xuắ; bắ vắ ta tắng kắ th- cắ của màn hắnh cắng là ta phắ tắng sắ- ắng cắ ỹon tắ và transistor nh- vớ tắ sắ transistor hắng trần màn hắnh cắng tắng và vắ ắ cuắ cắng là giắ cắ tắng nhắu.

7.5 Pin năng lượng mặt trời

Pin năng lượng mặt trời được sử dụng trong các ứng dụng có mặt ở những nơi không gian và trên Pin năng lượng mặt trời cung cấp nguồn năng lượng lâu dài cho các vệ tinh. Pin năng lượng mặt trời cũng là một lựa chọn quan trọng có thể thay thế cho các nguồn cung cấp năng lượng trên mặt đất bởi vì nó có thể chuyển đổi trực tiếp ánh sáng mặt trời thành điện và một hiệu suất chuyển đổi rất cao, có thể cung cấp năng lượng giống như việc chuyển đổi thành thối, và hiệu suất năng lượng rất cao.

7.5.1 Bức xạ mặt trời

Năng lượng bức xạ từ mặt trời được phát ra trên các bước sóng khác nhau. Trong mỗi giây, khoảng 6×10^{11} kg khí Hydro được chuyển thành khí Heli, và khí Hydro mất một tấn tăng cường khoảng 4×10^3 kg, năng lượng là 4×10^{20} J tương đương với năng lượng Einstein ($E=mc^2$). Năng lượng này được phát ra chủ yếu dưới dạng bức xạ hồng ngoại trong vùng từ ngoài đến trong (0,2 đến 3μm). Khí Hydro tăng cường của mặt trời khoảng 2×10^{30} kg, và thời gian tồn tại của nó là khoảng trên 10 tỷ năm (10^{10}).



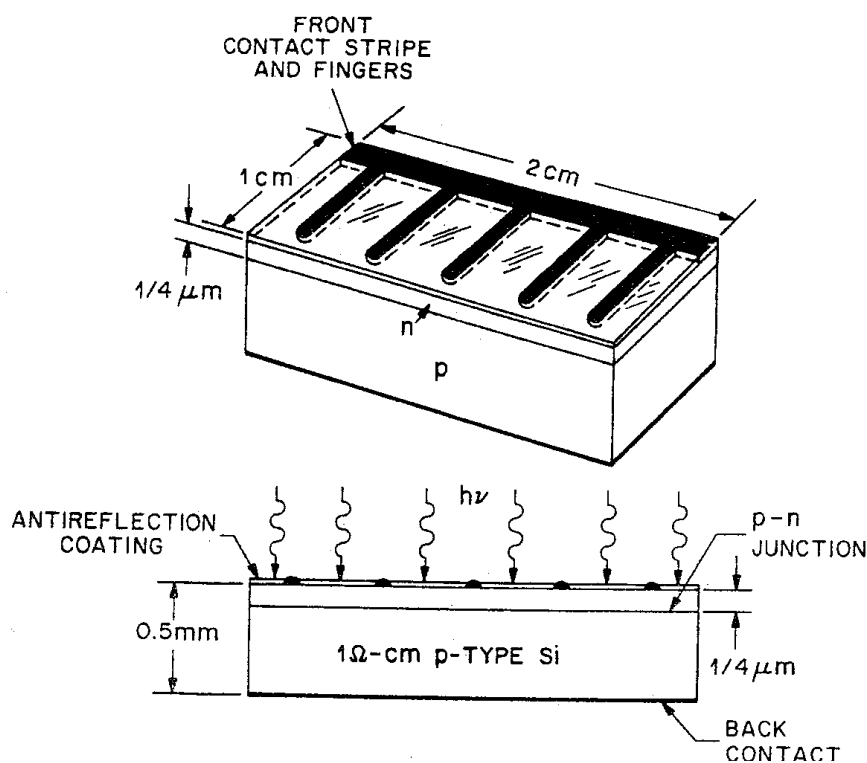
Hình 38. Hai đường cong quan hệ với phổ ánh sáng mặt trời

Các bước sóng của bức xạ từ trong không gian tự do khoảng cách trung bình từ mặt trời đến Trái Đất là hằng số năng lượng mặt trời có giá trị 1353 W/m^2 . Nhiệt độ của bầu khí quyển Trái Đất và tầng khí quyển tầng thấp ánh sáng mặt trời

trở lại các xác định bề mặt khí quyển không khí. Hình 38 biểu diễn hai ảnh cong quan trọng nhất của phản ứng sinh mặt trời (năng lượng ánh sáng mặt trời và ánh sáng hồng ngoại). Ảnh cong phản ánh phản ứng sinh năng lượng ngoài tầng khí quyển tầng đối lưu, ảnh hưởng là trường hợp khí quyển không khí (AM0). Phản ứng AM0 là một vấn đề liên quan đến vận hành và các ứng dụng vốn chuyển đổi năng lượng. Khí quyển không khí

7.5.2 Pin năng lượng mặt trời tiếp giáp p-n

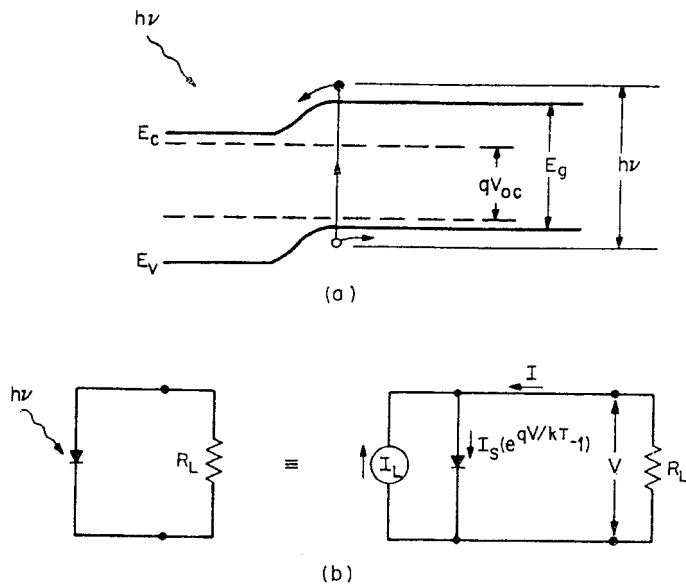
Một pin năng lượng mặt trời tiếp giáp p-n ảnh hưởng trong hình 39. Nó gồm một lớp tiếp giáp p-n hình thành trên bề mặt, một tiếp xúc ohmic dải và ngón tay, lớp tiếp xúc ở phía sau bao phủ toàn bộ mặt sau, và một lớp chống phản xạ ở phía ngoài mặt trước.



Hình 39. Sơ đồ của pin mặt trời tiếp giáp p-n silic

Khi pin ảnh hưởng phản ứng sinh năng lượng mặt trời, một photon mang năng lượng lớn hơn năng lượng vùng trống sẽ sinh ra các cặp điện tử và lỗ trống. Nếu một photon mang năng lượng lớn hơn E_g sẽ sinh ra một photon năng lượng bằng E_g cho pin, photon năng lượng còn lại sẽ bị mất đi dưới dạng nhiệt. Ở đây hiệu suất biến đổi, chúng ta xem xét các hiệu suất của tiếp giáp p-n ở mặt trước như Hình 40a. Sơ đồ mạch điện ảnh hưởng ảnh hưởng biểu diễn trong Hình 40b, trong ảnh minh họa

dòng hằng số I_L song song với tải R_L . Dòng ngược I_L là kết quả của sự khuếch tán thích hợp của các hạt tải điện ngược hướng với dòng điện sinh ra bởi các xạ mặt trời, I_s là dòng điện bão hòa, và R_L là tải kết nối.



Hình 40. (a)Giản đồ năng lượng của pin mặt trời tiếp giáp p-n. (b) mạch tương đương lý tưởng của pin mặt trời

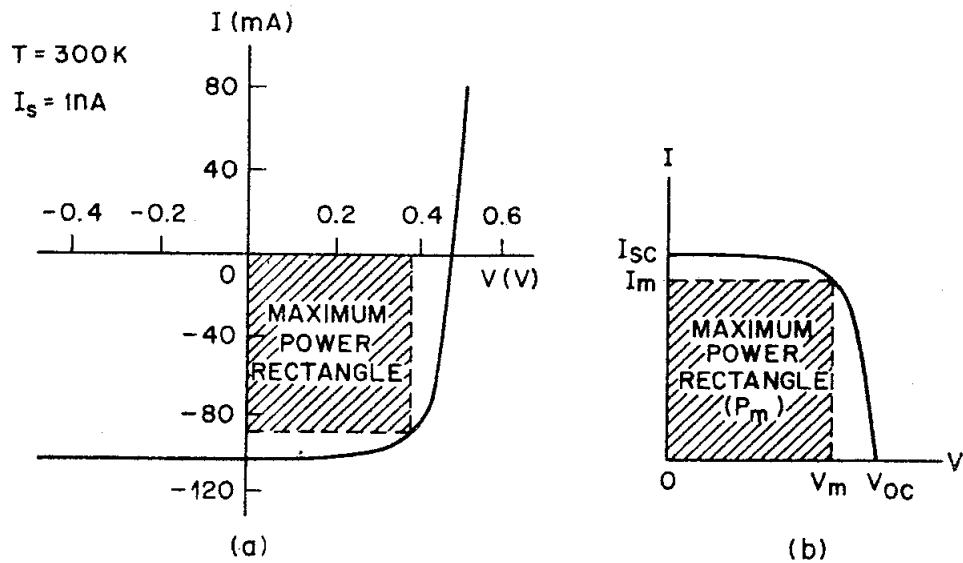
Đặc trưng (đường) I-V ảnh hưởng bởi các biểu diễn:

$$I = I_L - I_s \exp(qV/kT) \tag{32}$$

và:

$$J_s = \frac{I_s}{A} = q N_C N_V \left[\frac{1}{N_A} \sqrt{\frac{D_n}{\tau_n}} + \frac{1}{N_D} \sqrt{\frac{D_p}{\tau_p}} \right] \exp(-E_g/kT) \tag{32a}$$

Trong đó A là diện tích tiếp xúc, τ_n và τ_p là thời gian sống trung bình của điện tử và lỗ trống, D_n và D_p là hệ số khuếch tán của điện tử và lỗ trống. Trong công thức (32) I_L là dòng điện sinh ra do ánh sáng, và do vậy ta có thể biểu diễn công thức (32) bằng đường thẳng đứng như trong hình 41b, là ảnh của hình 41a qua trục hoành. Bằng cách chọn trục hoành là I_L và V_{oc} là trục tung của pin. Vùng hình chóp ảnh hưởng trong hình là vùng công suất cực đại. Ưu điểm của trục hoành trong hình 41b, với I_m và V_m là dòng và điện áp, công suất ra lớn nhất $P_m(I_m V_m)$.



Hình 41. (a) Đặt tuyến von-ampe của pin mặt trời khi chiếu sáng. (b) đảo của (a) qua trục điện áp.

Tính ứng trnh (32), chúng ta thu được biểu thức (I=0):

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_L}{I_s} + T \ln \left(\frac{I_L}{I_s} \right) \right) \quad (33)$$

Do đó, vđng cho tr- c \$I_L\$, \$V_{oc}\$ tăng loga khi giđm đđng bảo hđa \$I_s\$. Ta cđcđng suất ra nh- sau:

$$P = V I_s \left(e^{qV/kT} - 1 \right) - I_L V \quad (34)$$

Cđcđng suất \$I\$đnh nhđt khi \$dP/dV = 0\$, hay:

$$V_m = \frac{kT}{q} \ln \left(1 + \frac{I_L}{I_s} \right) + V_{oc} - \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{qV_m}{kT} \right) \quad (35a)$$

$$I_m = I_s \left(\frac{V_m}{kT} \right)^{qV_m/kT} - I_L \left(\frac{1}{qV_m/kT} \right) \quad (35b)$$

Khi đđ

$$P_m = I_m V_m = I_s V_m \left(\frac{qV_m}{kT} \right)^{qV_m/kT} - I_L \left(\frac{kT}{q} \right) \quad (36)$$

7.5.3 Hiệu suất chuyển đổi

Hiđđ suất chuyển đđđ cđđng suất cđđa pin nđng \$I\$đng mđt tr- c đđđ:

$$\frac{I_m V_m}{P_m} = \frac{I_L V_{oc}}{P_m} \left[1 - \frac{kT}{q} \ln \left(1 + \frac{qV_m}{kT} \right) \right]$$

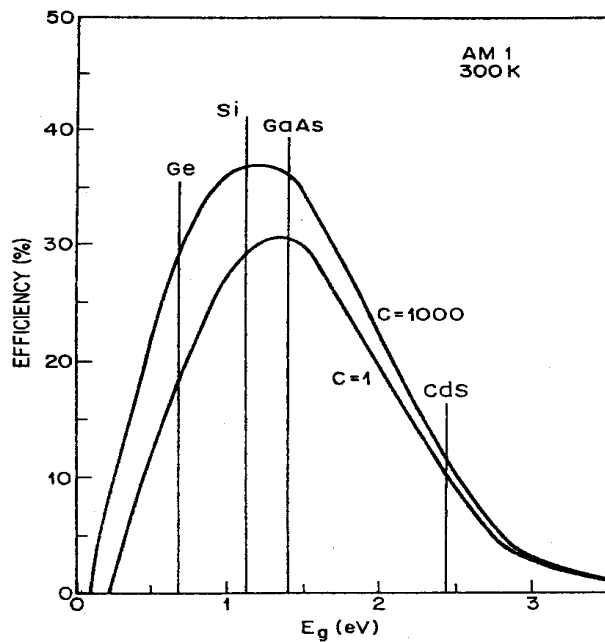
$$FF = \frac{I_m V_m}{I_L V_{oc}} \tag{37}$$

trong đó P_{in} là công suất tới và FF là hệ số điền đầy, α là hằng số:

$$FF = \frac{I_m V_m}{I_L V_{oc}} \tag{38}$$

Để tăng hiệu suất, chúng ta cần tìm một cấu trúc thành phần của nó trong phương trình (37).

Hiệu suất của một pin nơng l- ãng mặt trời l- ãng t- ãng nhi- ã 300K ã- ã bi- ã di- ãn trong H- ãnh 42 nh- ã m- ãi hàm s- ã của n- ãng l- ãng v- ãng c- ãm. Hi- ãu su- ãt l- ãng c- ã th- ã r- ã ra t- ã ã đ- ãc t- ãng $I-V$ nh- ã trong ph- ãng tr- ãnh (32). V- ã m- ãi ch- ãt b- ãn d- ãnh nh- ãt ã- ãnh, m- ãt ã- ã đ- ãng b- ão h- ã đ- ã J_s c- ã th- ã t- ã ã- ã qua ph- ãng tr- ãnh (32a). V- ã m- ãi v- ãng kh- ãng kh- ãi (?) nh- ãt ã- ãnh, đ- ãng ng- ãnh m- ãch I_L ã- ã t- ã đ- ã ra b- ãi c- ãc ã- ãnh t- ãch và m- ãi s- ã l- ãng c- ãc h- ãi photon c- ã n- ãng l- ãng $h\nu \geq E_g$ c- ã ph- ã n- ãng l- ãng m- ãt tr- ãi. C- ãng su- ãt t- ã P_{in} là t- ãng h- ãp c- ã t- ã t- ã c- ãc c- ã photon trong ph- ã n- ãng l- ãng (H- ãnh 38).



Hình 42. Hiệu suất của pin mặt trời lý t- ãng tại nhiệt độ 300K

Ô-đăng công suất $P = 1$ trong Hình 42 là trong điều kiện vùng AM1. Lưu ý rằng hiệu suất chuyển đổi năng lượng và hằng số thu nhận nhiều vào E_g . Do vậy, việc chốt bẫy điện tích trong các tế bào quang điện phải được thiết kế sao cho phù hợp. Hình 42 cũng cho ta thấy hiệu suất quang điện của các tế bào quang điện trong khoảng 1000 suns (tức là khoảng 925 kW/m^2). Chỉ tiêu hiệu suất quang điện của các tế bào quang điện trong phần 7.5.5

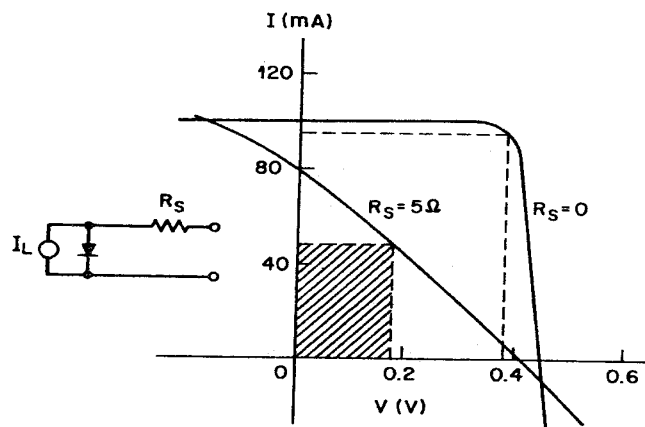
Chuyển đổi năng lượng làm giảm hiệu suất quang điện. Một trong những nguyên nhân chính là ảnh hưởng của tổn thất do tản hao nhiệt. Mạch điện biểu diễn trong Hình 43. Nếu dùng các giá trị cho phương trình (32) thì đặc trưng $I-V$ của tế bào quang điện:

$$I = I_s \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] - I_L \quad (39)$$

Ôđăng của phương trình (39) được biểu diễn trong Hình 43, với $R_s = 0$ và 5Ω và các tham số I_s , I_L và T tương tự như trong Hình 41. Có thể nhận thấy rằng, với ảnh hưởng của điện trở nối tiếp 5Ω công suất sẽ giảm 30% so với công suất của tế bào khi $R_s = 0$. Ta có được ra và công suất ra:

$$I = I_s \left[\exp\left(\frac{q(V - IR_s)}{kT}\right) - 1 \right] - I_L \quad (40)$$

$$P = \frac{TV}{q} \ln \left[\frac{I + I_L}{I_s} \right] - IR_s \quad (41)$$



Hình 43. Đặc tuyến Von-Ampe của pin mặt trời với điện trở nối tiếp và sơ đồ tương ứng

Ôi nh tr n ti p ph thu c vào ă r nh c ă ti p gi y p, ă t p ch ố c ă c y c b y n d h lo i p và lo i n, và s s p x p c ă l p ti p x c tr kh y ng b u m t. Ô i v i pin n o ng l - nh m t tr i Silic th ng th - nh v i c ố t o nh - trong H nh 39, ă i nh tr n ti p vào kho nh g 0,7# ă i v i pin n + - p và 0,4# ă i v i p + - n. M i th ành ph ãn tr kh y ng kh y c là ă i nh tr s u ố t th ố p c ă l p lo i n.

M i h s kh y c là d ãng t y i h p t i v ãng ngh o h i d h. For single-level centers (?), d ãng t y i h p ă - c bi u di ãn:

$$I_{rec} = I_s' \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) \quad (42)$$

v i:

$$\frac{I_s'}{A} = \frac{qn_i W}{\sqrt{D_p \tau_p}}$$

trong ă i / s' là d ãng b o h ã. Ph - nh tr ãnh chuy ãn ă ă i n o ng l - nh c ố th ọ s d ãnh c y c ph - nh tr ãnh ă nh t - nh t ãnh - t ãnh tr ãnh (33) ă nh (36), v i v i c thay I_s b i I_s' và h s m chia cho 2. H i s u ố t trong tr - nh h p d ãng t y i h p nh h ãn r ố t nhi u so v i tr - nh h p d ãng l t - nh b i s suy gi m c ă c V oc và h ệ s ố d i ể n đ ă y. Ô i v i pin silic 300K, d ãng t y i h p c ố th ọ làm gi m 25% h i s u ố t.

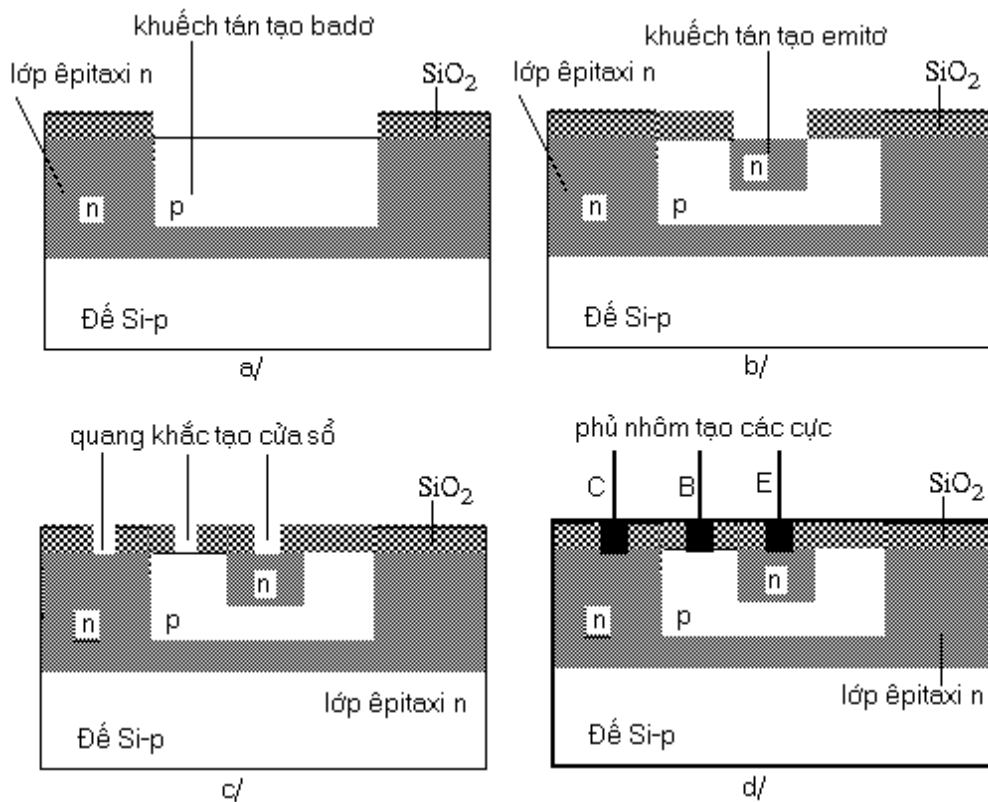
Chương 8. vi điện tử

8.1. Khái quát về vi điện tử

Như công nghệ plana epitaxi, trên mặt tấm bán dẫn tinh thể bán dẫn ng- ta cấy các tranzito, các diode, các transistor nối với nhau theo một sơ đồ hoàn chỉnh nhằm thực hiện một chức năng nhất định. Mạch electron tích hợp trên mặt bán dẫn tinh thể bán dẫn tích hợp là mạch tích hợp IC (Intergrate circuit). Trên mặt bán dẫn tích hợp diện tích 1mm^2 ng- ta có thể tích hợp các mạch điện tử hàng trăm linh kiện khác nhau.

Ưu điểm: Mạch vi điện tử tích hợp - ưu điểm cơ bản: kích thước nhỏ gọn, độ tin cậy cao, tiêu thụ năng lượng ít, giá thành rẻ. Sự ra đời của vi điện tử tích hợp đã dẫn đến sự phát triển nhanh chóng của công nghệ vi điện tử. Ngày nay có thể chế tạo các transistor bán dẫn tích hợp trên một miếng silicon duy nhất. Ở công nghệ tích hợp IC ng- ta phân tích chế tạo các bán dẫn công nghệ siêu sạch, nuôi cấy bán dẫn tinh thể bán dẫn công nghệ tích hợp, dây truyền công nghệ sản xuất IC hoàn toàn tự động hóa.

Công nghệ *plana epitaxi*: trên hình 2.8.1 là cyclic hình minh họa các công đoạn chế tạo transistor theo công nghệ *plana epitaxi*



Hình 2.8.1

a/ Trăn ăbyn dnh loip t- hng ă m hng, ăi h tr ă suố t h, ng- ă ta t ă l ă p epitaxi silic loip n, sau ă nung n hng ă nhi ă ă cao t ă l ă p SiO_2 b ă v ă D hng ph- ă hng ph ă y p quang kh ă c t ă c ă s ă, khu ă ch t ă n ch ă t b ă n d ă n loip p v ă o l ă p epitaxi loip n ă ă t ă b n ă n mi ă n baz ă

b/ Nung n hng l ă n th ă ă ă t ă l ă p SiO_2 , r ă quang kh ă c t ă c ă s ă khu ă ch t ă n b ă n d ă n loip n t ă b mi ă n emit ă

c/ Quang kh ă c t ă c ă s ă ă ă làm c ă c c ă c emit ă baz ă colect ă

d/ Ph ă nh ă m t ă b c ă c C, B, E

Ô ă ch ă t ă ă- ă c m ă tranzito ph ă qua nhi ă u c ă ng ă ă o ă n ph ă c t ă p nh- v ă y, nh- ng c ă c tranzito c ă ng nh- c ă c ăi h tr ă c ă tr ă n ă ă n tinh th ă IC ă u ă ă- ă c ch ă t ă ă ng loip nh- nhau theo t ă ng b- ă c ă s ă quy tr ă n c ă ng ă tr ă n m ă d ă y truy ă n s ă n xu ă t ho ă n to ă n t ă ă ng ho ă y. nh ă v ă y ă ă ng nh ă t ch ă t l- ă ng s ă n ph ă m ng ă y c ă ng t ă gi ă y th ă n c ă c vi m ă ch ng ă y c ă ng h ă

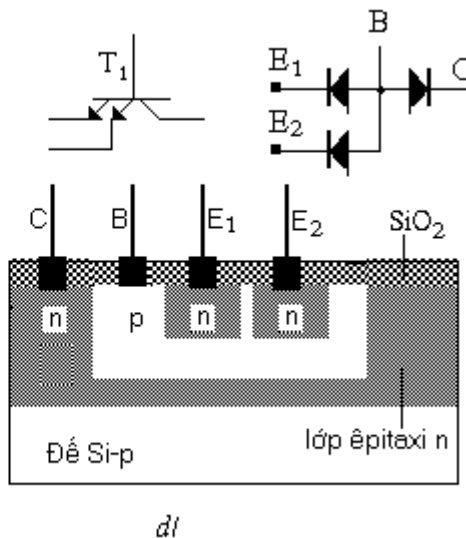
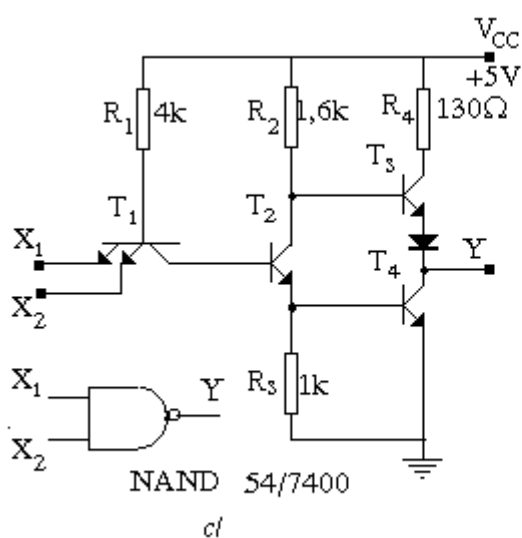
8.2. Phân loại vi điện tử.

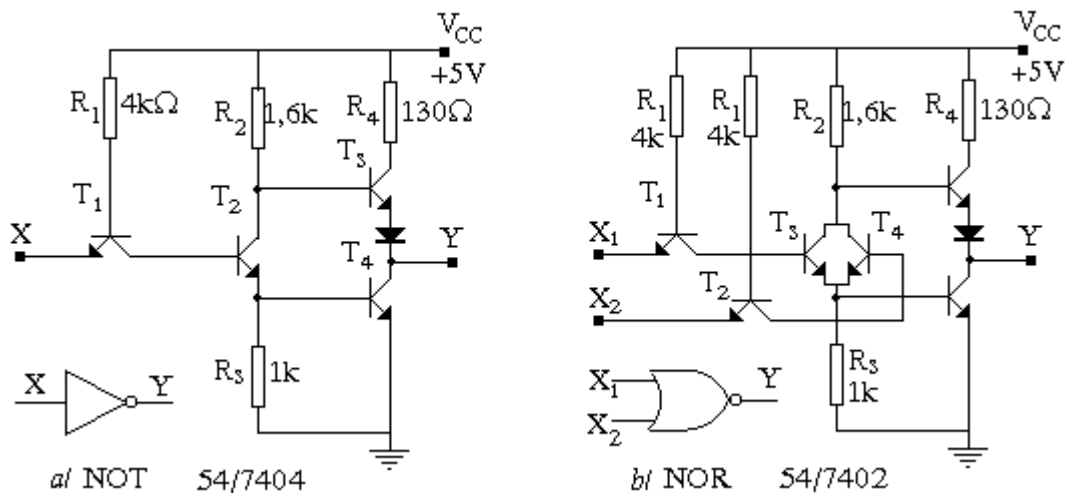
Vi ăi h t ă ă- ă c. phân thành 2 lo ă i:

Vi điện tử logic: c ă c m ă ch ng ă y th ă c hi ă n c ă c h ă m l ă g ă. Ng ă y ng ă ta ă ă ch ă t ă b

Cực mạch logic đã-đề chế tạo từ cực cực tranzito lưỡng cực, hoặc tranzito trường.

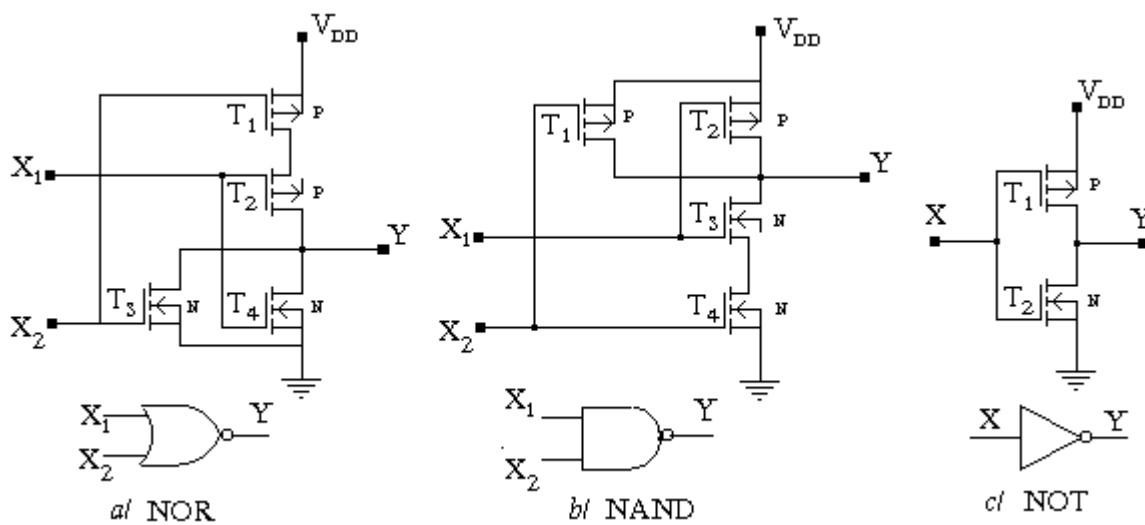
Trần hình 2.8.2 giới thiệu sơ đồ nguyên lý và mạch logic của bộ làm từ tranzito lưỡng cực thu được logic TTL. Hình 2.8.2d là minh họa cấu trúc của tranzito có hai emitter có hai lớp tiếp giáp emitter E_1, E_2 và một lớp tiếp giáp collector C. Cực tranzito có nhiều emitter ta thường thấy trong cực sơ vi mạch.





Hình 2.8.2

Số nguyên lý của các vi mạch logic NOR, NAND, NOT thu được CMOS làm từ hai loại tranzito trường MOSFET kênh p và n để trình bày trên hình 2.8.3.



Hình 2.8.3



Giáo trình linh kiện điện tử

Lời nói đầu

Linh kiện điện tử là kiến thức bước đầu và căn bản của ngành điện tử.

Giáo trình được biên soạn từ các bài giảng của tác giả trong nhiều năm qua tại Khoa Công Nghệ và Công Nghệ Thông Tin, Trường Đại học Cần Thơ và các Trung Tâm Giáo dục thường xuyên ở đồng bằng sông Cửu Long sau quá trình sửa chữa và cập nhật.

Giáo trình chủ yếu dùng cho sinh viên chuyên ngành Điện Tử Viễn Thông và Tự Động Hóa. Các sinh viên khối Kỹ thuật và những ai ham thích điện tử cũng tìm thấy ở đây nhiều điều bổ ích.

Giáo trình bao gồm 9 chương:

Từ chương 1 đến chương 3: Nhắc lại một số kiến thức căn bản về vật lý vi mô, các mức năng lượng và dải năng lượng trong cấu trúc của kim loại và chất bán dẫn điện và dùng nó như chìa khóa để khảo sát các linh kiện điện tử.

Từ chương 4 đến chương 8: Đây là đối tượng chính của giáo trình. Trong các chương này, ta khảo sát cấu tạo, cơ chế hoạt động và các đặc tính chủ yếu của các linh kiện điện tử thông dụng. Các linh kiện quá đặc biệt và ít thông dụng được giới thiệu ngắn gọn mà không đi vào phân giải.

Chương 9: Giới thiệu sự hình thành và phát triển của vi mạch.

Người viết chân thành cảm ơn anh Nguyễn Trung Lập, Giảng viên chính của Bộ môn Viễn Thông và Tự Động Hóa, Khoa Công Nghệ Thông Tin, Trường Đại học Cần Thơ đã đọc kỹ bản thảo và cho nhiều ý kiến quý báu.

Cần Thơ, tháng 12 năm 2003

Trương Văn Tám

Mục lục

Chương I.....	4
MỨC NĂNG LƯỢNG VÀ DẢI NĂNG LƯỢNG.....	4
I. KHÁI NIỆM VỀ CƠ HỌC NGUYÊN LƯỢNG:.....	4
II. PHÂN BỐ ĐIỆN TỬ TRONG NGUYÊN TỬ THEO NĂNG LƯỢNG:.....	6
III. DẢI NĂNG LƯỢNG: (ENERGY BANDS).....	8
Chương II.....	12
SỰ DẪN ĐIỆN TRONG KIM LOẠI.....	12
I. ĐỘ LINH ĐỘNG VÀ DẪN XUẤT:.....	12
II. PHƯƠNG PHÁP KHẢO SÁT CHUYỂN ĐỘNG CỦA HẠT TỬ BẰNG NĂNG LƯỢNG:.....	14
III. THỂ NĂNG TRONG KIM LOẠI:.....	15
IV. SỰ PHÂN BỐ CỦA ĐIỆN TỬ THEO NĂNG LƯỢNG:.....	18
V. CÔNG RA (HÀM CÔNG):.....	20
VI. ĐIỆN THỂ TIẾP XÚC (TIẾP THỂ):.....	21
Chương III.....	22
CHẤT BÁN DẪN ĐIỆN.....	22
I. CHẤT BÁN DẪN ĐIỆN THUẦN HAY NỘI BẨM:.....	22
II. CHẤT BÁN DẪN NGOẠI LAI HAY CÓ CHẤT PHA:.....	24
1. Chất bán dẫn loại N: (N - type semiconductor).....	24
2. Chất bán dẫn loại P:.....	25
3. Chất bán dẫn hỗn hợp:.....	26
III. DẪN SUẤT CỦA CHẤT BÁN DẪN:.....	27
IV. CƠ CHẾ DẪN ĐIỆN TRONG CHẤT BÁN DẪN:.....	29
V. PHƯƠNG TRÌNH LIÊN TỤC:.....	30
Chương IV.....	32
NỐI P-N VÀ DIODE.....	32
I. CẤU TẠO CỦA NỐI P-N:.....	32
II. DÒNG ĐIỆN TRONG NỐI P-N KHI ĐƯỢC PHÂN CỰC:.....	34
1. Nối P-N được phân cực thuận:.....	35
2. Nối P-N khi được phân cực nghịch:.....	38
III. ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ LÊN NỐI P-N:.....	40
IV. NỘI TRỞ CỦA NỐI P-N.....	41
1. Nội trở tĩnh: (Static resistance).....	41
2. Nội trở động của nối P-N: (Dynamic Resistance).....	42
V. ĐIỆN DUNG CỦA NỐI P-N.....	44
1. Điện dung chuyển tiếp (Điện dung nối).....	44
2. Điện dung khuếch tán. (Difusion capacitance).....	45
VI. CÁC LOẠI DIODE THÔNG DỤNG.....	45
1. Diode chỉnh lưu:.....	45
2. Diode tách sóng.....	53
3. Diode schottky:.....	53
4. Diode ổn áp (diode Zenner):.....	54
5. Diode biến dung: (Varicap – Varactor diode).....	57
6. Diode hầm (Tunnel diode).....	58
Bài tập cuối chương.....	59
Chương V.....	61
TRANSISTOR LƯỜNG CỰC.....	61
I. CẤU TẠO CƠ BẢN CỦA BJT.....	61
II. TRANSISTOR Ở TRẠNG THÁI CHƯA PHÂN CỰC.....	61
III. CƠ CHẾ HOẠT ĐỘNG CỦA TRANSISTOR LƯỜNG CỰC.....	63
IV. CÁC CÁCH RÁP TRANSISTOR VÀ ĐỘ LỢI DÒNG ĐIỆN.....	64
V. DÒNG ĐIỆN RỈ TRONG TRANSISTOR.....	66
VI. ĐẶC TUYẾN V-I CỦA TRANSISTOR.....	67
1. Mắc theo kiểu cực nền chung:.....	68
2. Mắc theo kiểu cực phát chung.....	69
3. Ảnh hưởng của nhiệt độ lên các đặc tuyến của BJT.....	72
VII. ĐIỂM ĐIỀU HÀNH – ĐƯỜNG THẲNG LẤY ĐIỆN MỘT CHIỀU.....	73
VIII. KIỂU MẪU MỘT CHIỀU CỦA BJT.....	78

IX. BJT VỚI TÍN HIỆU XOAY CHIỀU	80
1. Mô hình của BJT:	80
2. Điện dẫn truyền (transconductance)	82
3. Tổng trở vào của transistor:	83
4. Hiệu ứng Early (Early effect)	85
5. Mạch tương đương xoay chiều của BJT:	86
Bài tập cuối chương	90
CHƯƠNG 6.....	91
TRANSISTOR TRƯỜNG ỨNG.....	91
I. CẤU TẠO CĂN BẢN CỦA JFET:.....	91
II. CƠ CHẾ HOẠT ĐỘNG CỦA JFET:	93
III. ĐẶC TUYẾN TRUYỀN CỦA JFET.	99
IV. ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ TRÊN JFET.	100
V. MOSFET LOẠI HIẾM (DEPLETION MOSFET: DE MOSFET).....	102
VI. MOSFET LOẠI TĂNG (ENHANCEMENT MOSFET: E-MOSFET)	107
VII. XÁC ĐỊNH ĐIỂM ĐIỀU HÀNH:.....	111
VIII. FET VỚI TÍN HIỆU XOAY CHIỀU VÀ MẠCH TƯƠNG ĐƯƠNG VỚI TÍN HIỆU NHỎ	113
IX. ĐIỆN DẪN TRUYỀN (TRANSCONDUCTANCE) CỦA JFET VÀ DEMOSFET	117
X. ĐIỆN DẪN TRUYỀN CỦA E-MOSFET	118
XI. TỔNG TRỞ VÀO VÀ TỔNG TRỞ RA CỦA FET	119
XII. CMOS TUYẾN TÍNH (LINEAR CMOS).....	120
XIII. MOSFET CÔNG SUẤT: V-MOS VÀ D-MOS.....	122
1. V-MOS:.....	122
2. D-MOS:.....	123
Bài tập cuối chương	125
CHƯƠNG VII.....	126
LINH KIỆN CÓ BỐN LỚP BÁN DẪN PNP VÀ NHỮNG LINH KIỆN KHÁC	126
I. SCR (THYRISTOR – SILICON CONTROLLED RECTIFIER).....	126
1. Cấu tạo và đặc tính:	126
2. Đặc tuyến Volt-Ampere của SCR:.....	128
3. Các thông số của SCR:	129
4. SCR hoạt động ở điện thế xoay chiều.....	130
5. Vai ứng dụng đơn giản:	131
II. TRIAC (TRIOD AC SEMICONDUCTOR SWITCH).....	133
III. SCS (SILICON – CONTROLLED SWITCH).....	135
IV. DIAC	136
V. DIOD SHOCKLEY.....	137
VI. GTO (GATE TURN – OFF SWITCH).....	138
VII. UJT (UNIUNCTION TRANSISTOR – TRANSISTOR ĐỘC NỔ).....	140
1. Cấu tạo và đặc tính của UJT:	140
2. Các thông số kỹ thuật của UJT và vấn đề ổn định nhiệt cho định:	143
3. Ứng dụng đơn giản của UJT:.....	144
VIII. PUT (Programmable Unijunction Transistor).....	145
CHƯƠNG VIII.....	148
LINH KIỆN QUANG ĐIỆN TỬ.....	148
I. ÁNH SÁNG	148
II. QUANG ĐIỆN TRỞ (PHOTORESISTANCE).....	149
III. QUANG DIOD (PHOTODIODE).....	151
IV. QUANG TRANSISTOR (PHOTO TRANSISTOR).....	152
V. DIOD PHÁT QUANG (LED-LIGHT EMITTING DIODE).....	154
VI. NÓI QUANG.....	155
CHƯƠNG IX.....	157
SƠ LƯỢC VỀ IC	157
I. KHÁI NIỆM VỀ IC - SỰ KẾT TỤ TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN TỬ.....	157
II. CÁC LOẠI IC	159
1. IC màng (film IC):.....	159
2. IC đơn tinh thể (Monolithic IC):.....	159
3. IC lai (hibrid IC).....	160
III. SƠ LƯỢC VỀ QUI TRÌNH CHẾ TẠO MỘT IC ĐƠN TINH THỂ.....	160
IV. IC SỐ (IC DIGITAL) VÀ IC TƯƠNG TỰ (IC ANALOG).....	162
1. IC Digital:.....	162
2. IC analog:	163
Tài liệu tham khảo	163

Có những quỹ đạo đặc biệt, trên đó điện tử có thể di chuyển mà không phát ra năng lượng. Tương ứng với mỗi quỹ đạo có một mức năng lượng nhất định. Ta có một quỹ đạo dừng.

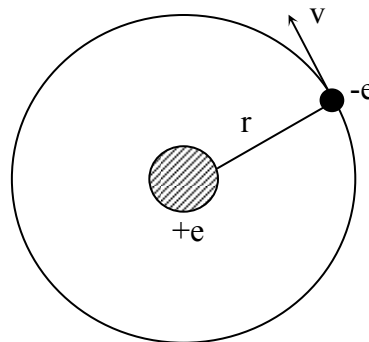
Khi điện tử di chuyển từ một quỹ đạo tương ứng với mức năng lượng w_1 sang quỹ đạo khác tương ứng với mức năng lượng w_2 thì sẽ có hiện tượng bức xạ hay hấp thụ năng lượng. Tần số của bức xạ (hay hấp thụ) này là:

$$f = \frac{w_2 - w_1}{h}$$

Trong đó, $h=6,62.10^{-34}$ J.s (hằng số Planck).

Trong mỗi quỹ đạo dừng, moment động lượng của điện tử bằng bội số của $\frac{h}{2\pi} = \hbar$

$$\text{Moment động lượng: } m.v.r = n. \frac{h}{2\pi} = n\hbar$$



Hình 1

Với giả thuyết trên, người ta đã dự đoán được các mức năng lượng của nguyên tử hydro và giải thích được quang phổ vạch của Hydro, nhưng không giải thích được đối với những nguyên tử có nhiều điện tử. Nhận thấy sự đối tính giữa sóng và hạt, Louis de Broglie (Nhà vật lý học Pháp) cho rằng có thể liên kết mỗi hạt điện khối lượng m , chuyển động với vận tốc v một bước sóng $\lambda = \frac{h}{mv}$.

Tổng hợp tất cả giả thuyết trên là môn cơ học nguyên lượng, khả dĩ có thể giải thích được các hiện tượng quan sát được ở cấp nguyên tử.

Phương trình căn bản của môn cơ học nguyên lượng là phương trình Schrodinger được viết như sau:

$$-\frac{\hbar^2}{2.m} \nabla^2 \varphi + (E - U)\varphi = 0$$

∇^2 là toán tử Laplacien

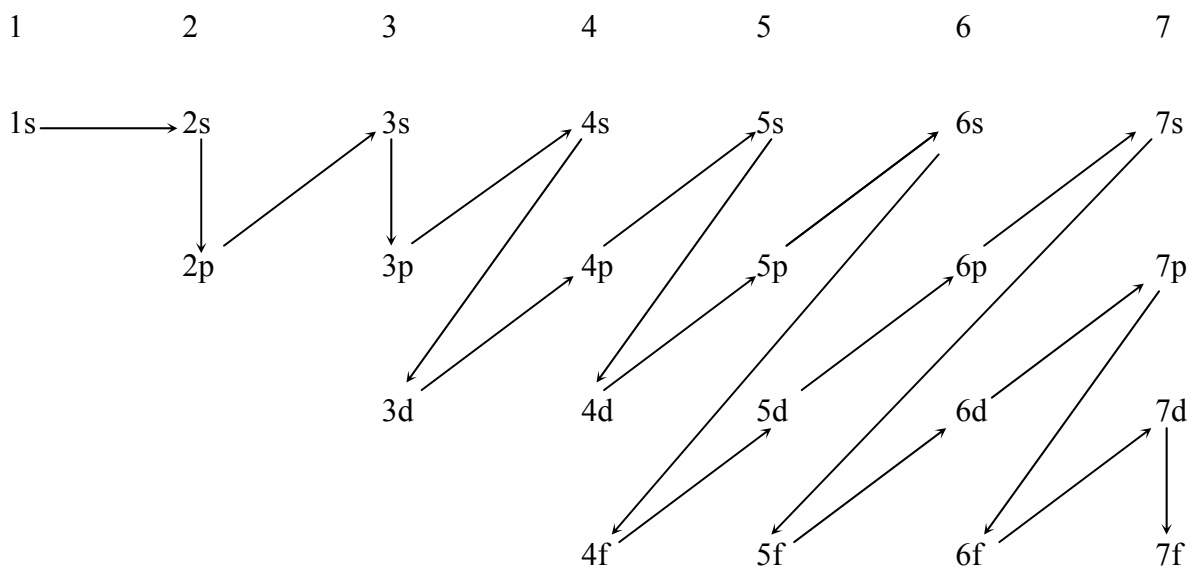
Tầng L có tối đa 8 điện tử.

Tầng M có tối đa 18 điện tử.

Tầng N có tối đa 32 điện tử.

Các tầng O,P,Q cũng có 4 phụ tầng và cũng có tối đa 32 điện tử.

Ứng với mỗi phụ tầng có một mức năng lượng và các mức năng lượng được xếp theo thứ tự như sau:



Hình 2

Khi không bị kích thích, các trạng thái năng lượng nhỏ bị điện tử chiếm trước (gần nhân hơn) khi hết chỗ mới sang mức cao hơn (xa nhân hơn). Thí dụ: nguyên tử Na có số điện tử $z=11$, có các phụ tầng 1s,2s,2p bị các điện tử chiếm hoàn toàn nhưng chỉ có 1 điện tử chiếm phụ tầng 3s.

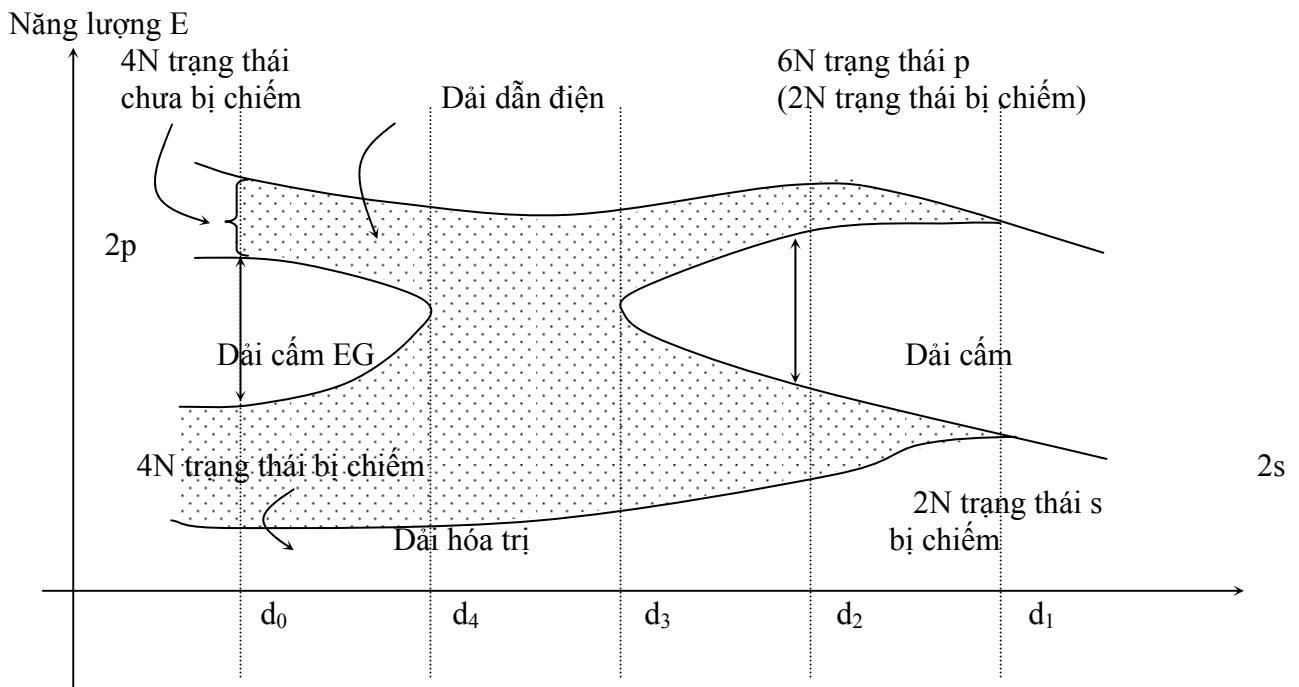
Cách biểu diễn:

Theo mẫu của Bohr

Theo mức năng lượng

<p><u>NATRI</u></p> <p>Na 2-8-1</p>	<p>$\text{Na}^{11} \quad 1s^2 \quad 2s^2 \quad 2p^6 \quad 3s^1$</p>
-------------------------------------	--

Ta xét một mạng tinh thể gồm N nguyên tử thuộc nhóm 4A, thí dụ C^6 . Ta tưởng tượng rằng có thể thay đổi được khoảng cách giữa các nguyên tử mà không thay đổi cấu tạo căn bản của tinh thể. Nếu các nguyên tử cách nhau một khoảng d_1 sao cho tác động lẫn nhau không đáng kể thì các mức năng lượng của chúng trùng với các mức năng lượng của một nguyên tử độc nhất. Hai phụ tầng ngoài cùng có 2 điện tử s và 2 điện tử p ($C^6=1s^22s^22p^2$). Do đó, nếu ta không để ý đến các tầng trong, ta có $2N$ điện tử chiếm tất cả $2N$ trạng thái s và có cùng mức năng lượng; Ta cũng có $2N$ điện tử p chiếm $2N$ trạng thái p . Vậy có $4N$ trạng thái p chưa bị chiếm. Giả sử khoảng cách giữa các nguyên tử được thu nhỏ hơn thành d_2 , tác dụng của một nguyên tử bất kỳ lên các nguyên tử lân cận trở thành quan trọng.



Hình 4

Ta có một hệ thống gồm N nguyên tử, do đó các nguyên tử phải tuân theo nguyên lý Pauli. $2N$ điện tử s không thể có cùng mức năng lượng mà phải có $2N$ mức năng lượng khác nhau; khoảng cách giữa hai mức năng lượng rất nhỏ nhưng vì N rất lớn nên khoảng cách giữa mức năng lượng cao nhất và thấp nhất khá lớn, ta có một dải năng lượng. $2N$ trạng thái của dải năng lượng này đều bị $2N$ điện tử chiếm. Tương tự, bên trên dải năng lượng này ta có một dải gồm $6N$ trạng thái p nhưng chỉ có $2N$ trạng thái p bị chiếm chỗ.

Ta để ý rằng, giữa hai dải năng lượng mà điện tử chiếm-được có một dải cấm. Điện tử không thể có năng lượng nằm trong dải cấm, khoảng cách (dải cấm) càng thu hẹp khi khoảng cách d càng nhỏ (xem hình). Khi khoảng cách $d=d_3$, các dải năng lượng chồng lên nhau, $6N$ trạng thái của dải trên hoà với $2N$ trạng thái của dải dưới cho ta $8N$ trạng thái, nhưng chỉ có $4N$ trạng thái bị chiếm. Ở khoảng cách này, mỗi nguyên tử có 4 điện tử tầng ngoài nhưng ta không thể phân biệt được điện tử nào là điện tử s và điện tử nào là điện tử p , ở khoảng cách từ đó, tác dụng của các nguyên tử lên nhau rất mạnh. Sự phân

bổ các dải năng lượng tùy thuộc vào dạng tinh thể và nguyên tử số. Người ta xác định sự phân bố này bằng cách giải phương trình Schrodinger và có kết quả như hình vẽ. Ta có một dải hoá trị (valence band) gồm 4N trạng thái hoàn toàn bị chiếm và một dải dẫn điện (conduction band) gồm 4N trạng thái chưa bị chiếm. Giữa hai dải năng lượng này, có một dải năng lượng cấm có năng lượng khoảng 6eV. (eV: ElectronVolt)

1 volt là hiệu điện thế giữa hai điểm của một mạch điện khi năng lượng cung cấp là 1 Joule để chuyển một điện tích 1 Coloumb từ điểm này đến điểm kia.

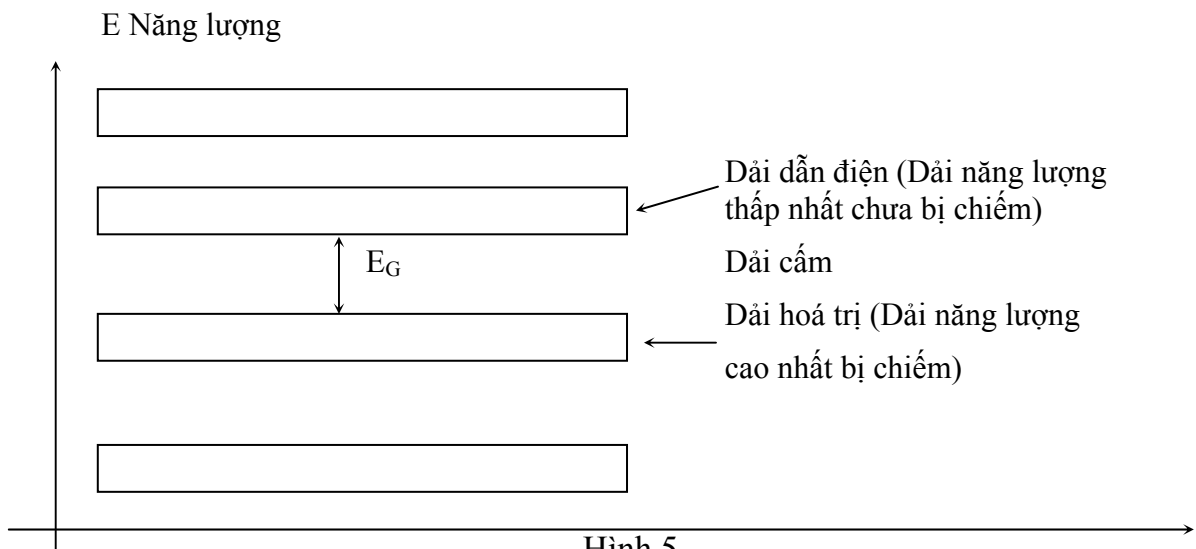
$$\text{Vậy, volt} \leftarrow V = \frac{W_{\rightarrow \text{Joule}}}{Q_{\rightarrow \text{Coloumb}}}$$

Vậy năng lượng mà một điện tử tiếp nhận khi vượt một hiệu điện thế 1 volt là:

$$\begin{aligned} V &= \frac{W}{Q} \\ \Rightarrow 1V &= \frac{W}{1,602 \cdot 10^{-19}} \\ \Rightarrow W &= 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Joule} \end{aligned}$$

Năng lượng này được gọi là 1eV (1eV=1,602.10⁻¹⁹J)

Ta đã khảo sát trường hợp đặc biệt của tinh thể Cacbon. Nếu ta khảo sát một tinh thể bất kỳ, năng lượng của điện tử cũng được chia thành từng dải. Dải năng lượng cao nhất bị chiếm gọi là dải hóa trị, dải năng lượng thấp nhất chưa bị chiếm gọi là dải dẫn điện. Ta đặc biệt chú ý đến hai dải năng lượng này.



* Ta có 3 trường hợp:

Dải cấm có độ cao khá lớn ($E_G > 5\text{eV}$). Đây là trường hợp của các chất cách điện. Thí dụ như kim cương có $E_G = 7\text{eV}$, SiO_2 $E_G = 9\text{eV}$.

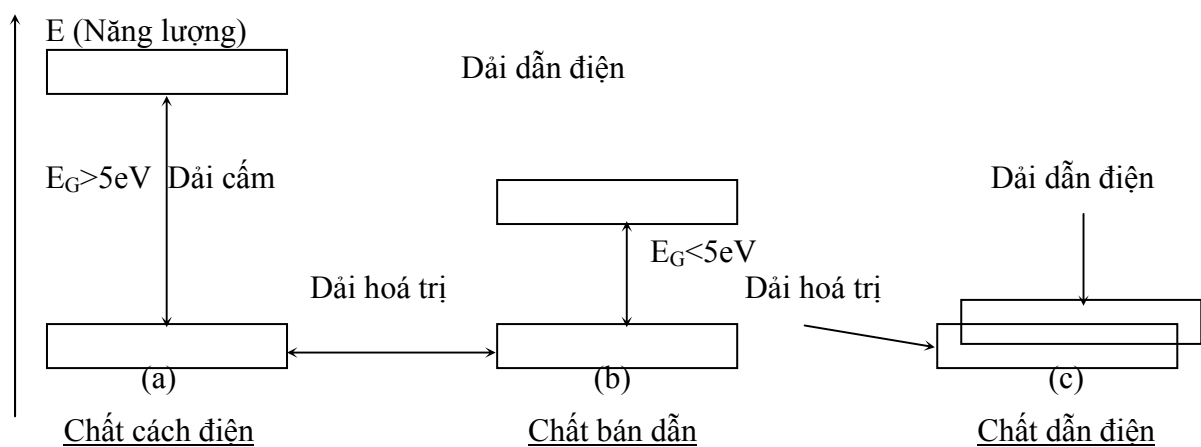
Dải cấm có độ cao nhỏ ($E_G < 5\text{eV}$). Đây là trường hợp chất bán dẫn điện.

Thí dụ: Germanium có $E_G = 0,75\text{eV}$

Silicium có $E_G = 1,12\text{eV}$

Galium Arsenic có $E_G = 1,4\text{eV}$

Dải hóa trị và dải dẫn điện chồng lên nhau, đây là trường hợp của chất dẫn điện. Thí dụ như đồng, nhôm...



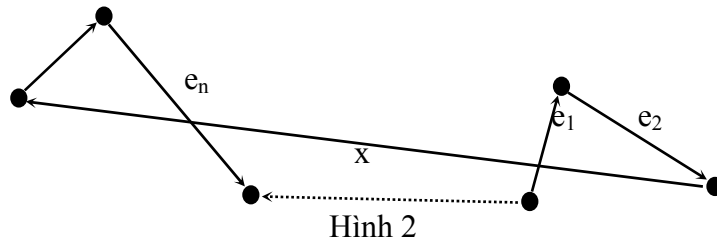
Hình 6

Giả sử ta tăng nhiệt độ của tinh thể, nhờ sự cung cấp nhiệt năng, điện tử trong dải hóa trị tăng năng lượng. Trong trường hợp (a), vì E_G lớn, điện tử không đủ năng lượng vượt dải cấm để vào dải dẫn điện. Nếu ta cho tác dụng một điện trường vào tinh thể, vì tất cả các trạng thái trong dải hóa trị đều bị chiếm nên điện tử chỉ có thể di chuyển bằng cách đổi chỗ cho nhau. Do đó, số điện tử đi, về một chiều bằng với số điện tử đi, về theo chiều ngược lại, dòng điện trung bình triệt tiêu. Ta có chất cách điện.

Trong trường hợp (b), một số điện tử có đủ năng lượng sẽ vượt dải cấm vào dải dẫn điện. Dưới tác dụng của điện trường, các điện tử này có thể thay đổi năng lượng dễ dàng vì trong dải dẫn điện có nhiều mức năng lượng trống để tiếp nhận chúng. Vậy điện tử có năng lượng trong dải dẫn điện có thể di chuyển theo một chiều duy nhất dưới tác dụng của điện trường, ta có chất bán dẫn điện.

Trong trường hợp (c) cũng giống như trường hợp (b) nhưng số điện tử trong dải dẫn điện nhiều hơn làm cho sự di chuyển mạnh hơn, ta có kim loại hay chất dẫn điện.

Giả sử, một điện trường \vec{E} được thiết lập trong mạng tinh thể kim loại, ta thử khảo sát chuyển động của một điện tử trong từ trường này.



Hình trên mô tả chuyển động của điện tử dưới tác dụng của điện trường \vec{E} . Quỹ đạo của điện tử là một đường gấp khúc vì điện tử chạm vào các ion dương và đổi hướng chuyển động. Trong thời gian $t=n$ lần thời gian tự do trung bình, điện tử di chuyển được một đoạn đường là x . Vận tốc $v = \frac{x}{t}$ gọi là vận tốc trung bình. Vận tốc này tỉ lệ với điện trường \vec{E} . $v = \mu E$

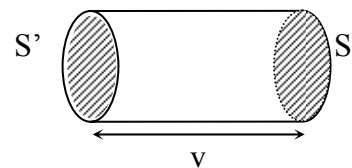
Hằng số tỉ lệ μ gọi là độ linh động của điện tử, tính bằng $m^2/Vsec$.

Điện tích đi qua mỗi đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian được gọi là mật độ dòng điện J .

Ta có: $J = n.e.v$

Trong đó, n : mật độ điện tử, e : điện tích của một electron

Bây giờ, ta xét một diện tích vi cấp S đặt thẳng góc với chiều di chuyển của điện tử. Những điện tử tới mặt S ở thời điểm $t=0$ ($t=0$ được chọn làm thời điểm gốc) là những điện tử ở trên mặt S' cách S một khoảng v (vận tốc trung bình của điện tử) ở thời điểm $t=-1$. Ở thời điểm $t=+1$, những điện tử đi qua mặt S chính là những điện tử chứa trong hình trụ giới hạn bởi mặt S và S' . Điện tích của số điện tử này là $q=n.e.v.s$, với n là mật độ điện tử di chuyển. Vậy điện tích đi ngang qua một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian là: $J=n.e.v$



Hình 3

Nhưng $v = \mu E$ nên $J = n.e.\mu.E$

Người ta đặt $\sigma = n.e.\mu$ (đọc là Sigma)

Nên $J = \sigma E$ σ gọi là dẫn suất của kim loại

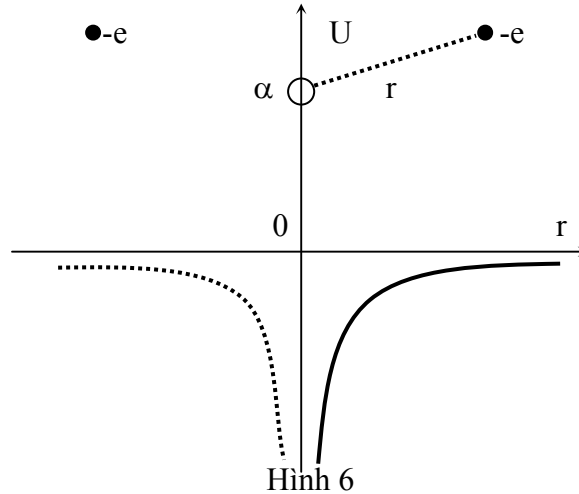
Và $\rho = \frac{1}{\sigma}$ gọi là điện trở suất của kim loại

Điện trở suất tính bằng Ωm và dẫn suất tính bằng mho/m

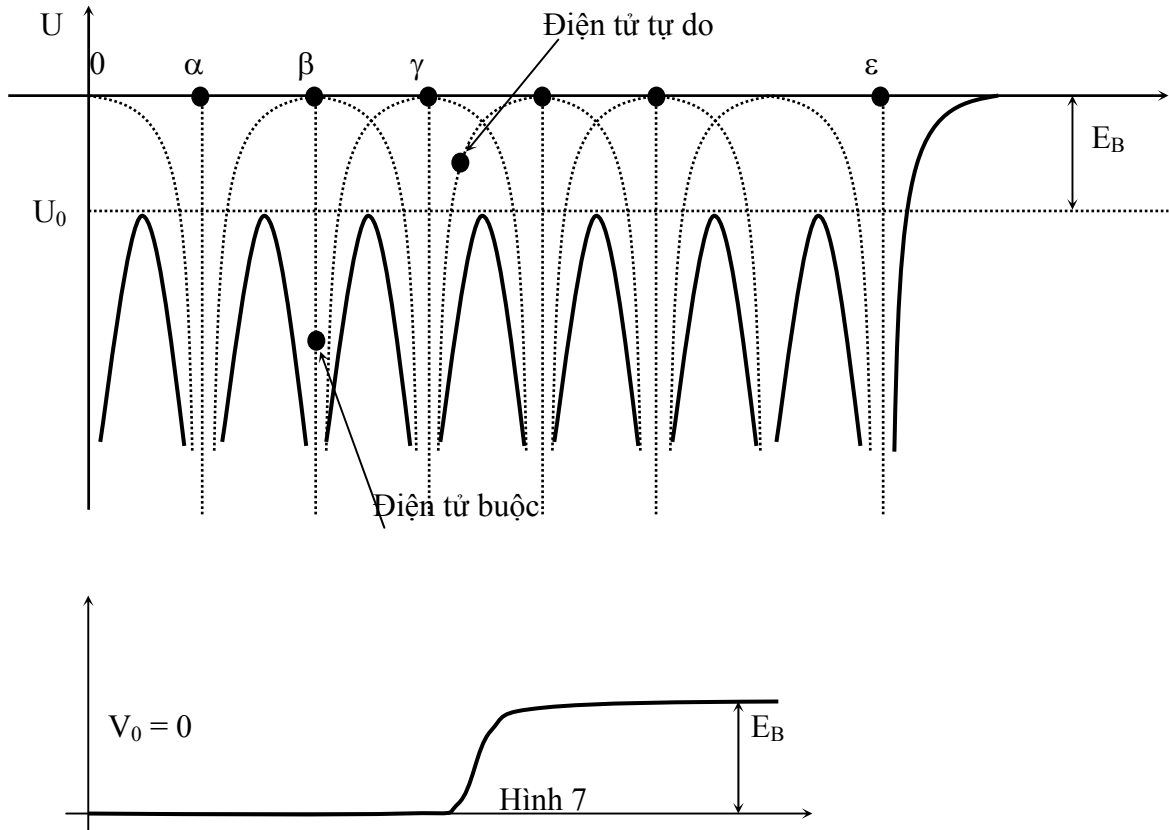
$$V = \frac{k}{r} + C$$

Nếu chọn điện thế tại một điểm rất xa làm điện thế Zero thì $C=0$. Vậy một điện tử có điện tích $-e$ ở cách nhân α một đoạn r sẽ có thế năng là:

$$U = -eV = -\frac{ke}{r}$$



Hình trên là đồ thị của thế năng U theo khoảng cách r . Phần đồ thị không liên tục ứng với một điện tử ở bên trái nhân α . Nếu ta có hai nhân α và β thì trong vùng giữa hai nhân này thế năng của điện tử là tổng các thế năng do α và β tạo ra. Trong kim loại, các nhân được sắp xếp đều đặn theo 3 chiều. Vậy, ta có thể khảo sát sự phân bố của thế năng bằng cách xét sự phân bố dọc theo dải α , β và γ ...



+

Hình trên biểu diễn sự phân bố đó.

Ta thấy rằng có những vùng đẳng thế rộng nằm xen kẽ với những vùng điện thế thay đổi rất nhanh. Mặt ngoài của mỗi kim loại không được xác định hoàn toàn và cách nhân cuối cùng một khoảng cách nhỏ. Vì bên phải của nhân ϵ không còn nhân nên thế năng tiến tới Zero chứ không giữ tính tuần hoàn như bên trong kim loại. Do đó, ta có một rào thế năng tại mặt ngoài của kim loại.

Ta xét một điện tử của nhân β và có năng lượng nhỏ hơn U_0 , điện tử này chỉ có thể di chuyển trong một vùng nhỏ cạnh nhân giữa hai rào thế năng tương ứng. Đó là điện tử buộc và không tham gia vào sự dẫn điện của kim loại. Trái lại, một điện tử có năng lượng lớn hơn U_0 có thể di chuyển từ nguyên tử này qua nguyên tử khác trong khối kim loại nhưng không thể vượt ra ngoài khối kim loại được vì khi đến mặt phân cách, điện tử đụng vào rào thế năng. Các điện tử có năng lượng lớn hơn U_0 được gọi là các điện tử tự do. Trong các chương sau, ta đặt biệt chú ý đến các điện tử này.

Vì hầu hết khối kim loại đều có cùng điện thế V_0 tương ứng với thế năng $U_0 = -eV_0$ nên ta có thể giả sử khối kim loại là một khối đẳng thế V_0 . Nhưng điện thế tùy thuộc vào một hằng số cộng nên ta có thể chọn V_0 làm điện thế gốc ($V_0 = 0V$). Gọi E_B là chiều cao của rào thế năng giữa bên trong và bên ngoài kim loại. Một điện tử bên trong khối kim loại muốn vượt ra ngoài phải có ít nhất một năng lượng $U = E_B$, vì vậy ta cần phải biết sự phân bố của điện tử theo năng lượng.

Ta chấp nhận rằng:

$$N(E) = \gamma \cdot E^{\frac{1}{2}} \quad \gamma \text{ là hằng số tỉ lệ.}$$

Lúc đó, mật độ điện tử có năng lượng E là:

$$\rho(E) = f(E) \cdot N(E) = \gamma \cdot E^{\frac{1}{2}} \cdot f(E)$$

Hình trên là đồ thị của $\rho(E)$ theo E tương ứng với nhiệt độ $T=0^0\text{K}$ và $T=2.500^0\text{K}$.

Ta thấy rằng hàm $\rho(E)$ biến đổi rất ít theo nhiệt độ và chỉ biến đổi trong vùng cận của năng lượng E_F . Do đó, ở nhiệt độ cao ($T=2.500^0\text{K}$) có một số rất ít điện tử có năng lượng lớn hơn E_F , hầu hết các điện tử đều có năng lượng nhỏ hơn E_F . Diện tích giới hạn bởi đường biểu diễn của $\rho(E)$ và trục E cho ta số điện tử tự do n chứa trong một đơn vị thể tích.

$$n = \int_0^{E_F} \rho(E) \cdot dE = \int_0^{E_F} \gamma \cdot E^{\frac{1}{2}} \cdot dE = \frac{2}{3} \gamma \cdot E_F^{\frac{3}{2}}$$

(Đề ý là $f(E)=1$ và $T=0^0\text{K}$)

Từ đây ta suy ra năng lượng Fermi E_F

$$E_F = \left(\frac{3}{2} \cdot \frac{n}{\gamma} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Nếu ta dùng đơn vị thể tích là m^3 và đơn vị năng lượng là eV thì γ có trị số là:

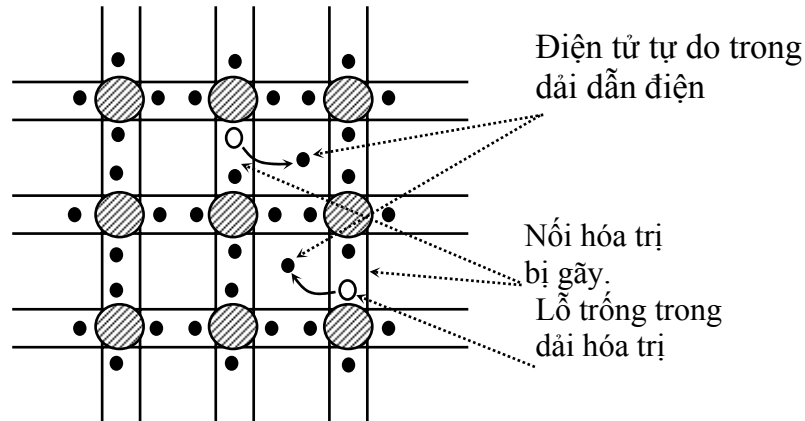
$$\gamma = 6,8 \cdot 10^{27}$$

$$\text{Do đó, } E_F = 3,64 \cdot 10^{-19} \cdot n^{\frac{2}{3}}$$

Nếu biết được khối lượng riêng của kim loại và số điện tử tự do mà mỗi nguyên tử có thể nhả ra, ta tính được n và từ đó suy ra E_F . Thông thường $E_F < 10\text{eV}$.

Thí dụ, khối lượng riêng của Tungsten là $d = 18,8\text{g/cm}^3$, nguyên tử khối là $A = 184$, biết rằng mỗi nguyên tử cho $v = 2$ điện tử tự do. Tính năng lượng Fermi.

Giải: Khối lượng mỗi cm^3 là d, vậy trong mỗi cm^3 ta có một số nguyên tử khối là d/A . Vậy trong mỗi cm^3 , ta có số nguyên tử thực là:



Hình 2: Tinh thể chất bán dẫn ở nhiệt độ cao ($T = 300^{\circ}\text{K}$)

Khi năng lượng này lớn hơn năng lượng của dải cấm ($0,7\text{eV}$ đối với Ge và $1,12\text{eV}$ đối với Si), điện tử có thể vượt dải cấm vào dải dẫn điện và chừa lại những lỗ trống (trạng thái năng lượng trống) trong dải hóa trị. Ta nhận thấy số điện tử trong dải dẫn điện bằng số lỗ trống trong dải hóa trị.

Nếu ta gọi n là mật độ điện tử có năng lượng trong dải dẫn điện và p là mật độ lỗ trống có năng lượng trong dải hóa trị. Ta có: $n=p=n_i$

Người ta chứng minh được rằng:

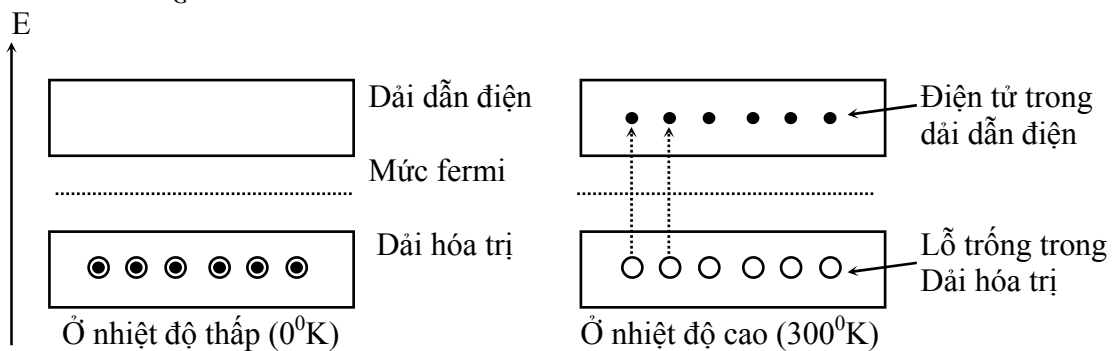
$$n_i^2 = A_0 \cdot T^3 \cdot \exp(-E_G/KT)$$

Trong đó: A_0 : Số Avogadro = $6,203 \cdot 10^{23}$

T : Nhiệt độ tuyệt đối (Độ Kelvin)

K : Hằng số Boltzman = $8,62 \cdot 10^{-5} \text{ eV}/^{\circ}\text{K}$

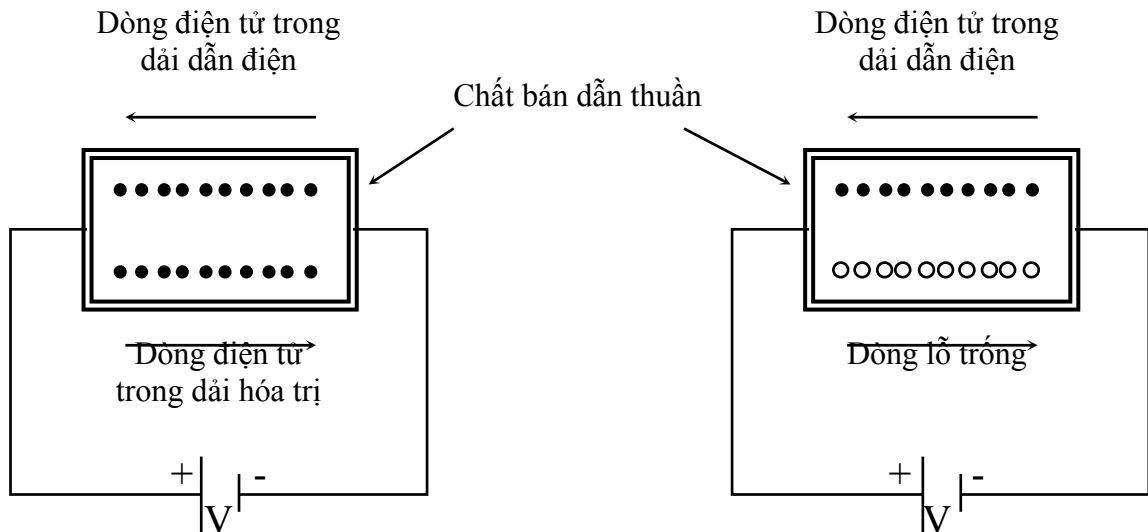
E_G : Chiều cao của dải cấm.



Hình 3

Ta gọi chất bán dẫn có tính chất $n=p$ là chất bán dẫn nội bản hay chất bán dẫn thuần. Thông thường người ta gặp nhiều khó khăn để chế tạo chất bán dẫn loại này.

Vậy ta có thể coi như dòng điện trong chất bán dẫn là sự hợp thành của dòng điện do những điện tử trong dải dẫn điện (đa số đối với chất bán dẫn loại N và thiểu số đối với chất bán dẫn loại P) và những lỗ trống trong dải hóa trị (đa số đối với chất bán dẫn loại P và thiểu số đối với chất bán dẫn loại N).



Hình 11

Tương ứng với những dòng điện này, ta có những mật độ dòng điện J , J_n , J_p sao cho: $J = J_n + J_p$

Ta đã chứng minh được trong kim loại:

$$J = n \cdot e \cdot v = n \cdot e \cdot \mu_n \cdot E$$

Tương tự, trong chất bán dẫn, ta cũng có:

$$J_n = n \cdot e \cdot v_n = n \cdot e \cdot \mu_n \cdot E \quad (\text{Mật độ dòng điện trôi của điện tử, } \mu_n \text{ là độ linh động của điện tử, } n \text{ là mật độ điện tử trong dải dẫn điện})$$

$$J_p = p \cdot e \cdot v_p = p \cdot e \cdot \mu_p \cdot E \quad (\text{Mật độ dòng điện trôi của lỗ trống, } \mu_p \text{ là độ linh động của lỗ trống, } p \text{ là mật độ lỗ trống trong dải hóa trị})$$

$$\text{Như vậy: } J = e \cdot (n \cdot \mu_n + p \cdot \mu_p) \cdot E$$

Theo định luật Ohm, ta có:

$$J = \sigma \cdot E$$

$$\Rightarrow \sigma = e \cdot (n \cdot \mu_n + p \cdot \mu_p) \text{ được gọi là dẫn suất của chất bán dẫn.}$$

$$\frac{dp}{dt} = 0; dI_p=0; P=P_0=\text{hằng số}$$

Phương trình (1) cho ta:

$$0 = g - \frac{p}{\tau_p} \Rightarrow g = \frac{P_0}{\tau_p}$$

Với P_0 là mật độ lỗ trống ở trạng thái cân bằng nhiệt. Thay trị số của g vào phương trình (1) và để ý rằng p và I_p vẫn tùy thuộc vào thời gian và khoảng cách x , phương trình (1) trở thành:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{p - p_0}{\tau_p} - \frac{\partial I_p}{\partial x} \cdot \frac{1}{eA} \quad (2)$$

Gọi là phương trình liên tục.

Tương tự với dòng điện tử I_n , ta có:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -\frac{n - n_0}{\tau_n} - \frac{\partial I_n}{\partial x} \cdot \frac{1}{eA} \quad (3)$$

TD: ta giải phương trình liên tục trong trường hợp p không phụ thuộc vào thời gian và dòng điện I_p là dòng điện khuếch tán của lỗ trống.

Ta có: $\frac{dp}{dt} = 0$ và $I_p = -D_p \cdot eA \cdot \frac{dp}{dx}$

Do đó, $\frac{dI_p}{dx} = -D_p \cdot eA \cdot \frac{d^2p}{dx^2}$

Phương trình (2) trở thành:

$$\frac{d^2p}{dx^2} = \frac{P - P_0}{D_p \cdot \tau_p} = \frac{P - P_0}{L_p^2}$$

Trong đó, ta đặt $L_p = \sqrt{D_p \cdot \tau_p}$

Nghiệm số của phương trình (4) là:

$$P - P_0 = A_1 \cdot e^{\frac{x}{L_p}} + A_2 \cdot e^{\left(-\frac{x}{L_p}\right)}$$

Vì mật độ lỗ trống không thể tăng khi x tăng nên $A_1 = 0$

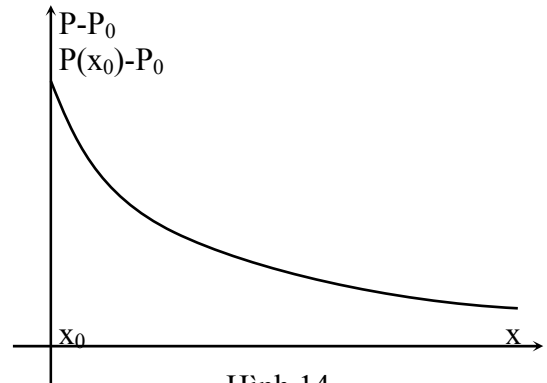
Do đó: $P - P_0 = A_2 \cdot e^{\left(-\frac{x}{L_p}\right)}$ tại $x = x_0$.

Mật độ lỗ trống là $p(x_0)$,

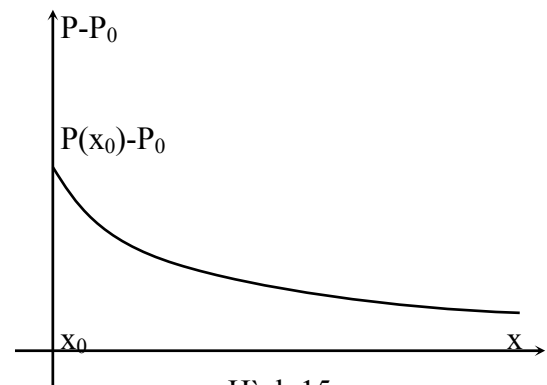
Do đó: $P(x_0) - P_0 = A_2 \cdot e^{\left(-\frac{x_0}{L_p}\right)}$

Suy ra, nghiệm của phương trình (4) là:

$$P(x) - P_0 = [P(x_0) - P_0] e^{\left(-\frac{x-x_0}{L_p}\right)}$$



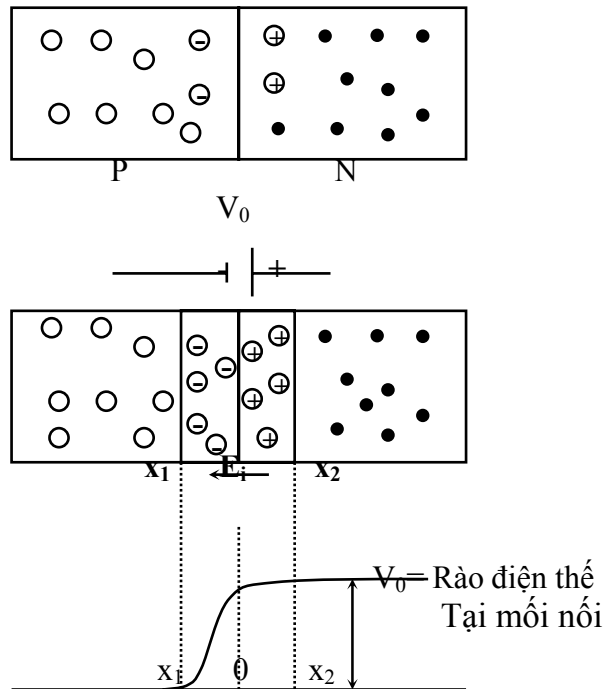
Hình 14



Hình 15

cùng, người ta phủ kim loại lên các vùng p và n+ và hàn dây nối ra ngoài. Ta được một nối P-N có mặt nối giữa vùng p và n+ thẳng.

Khi nối PN được thành lập, các lỗ trống trong vùng P khuếch tán sang vùng N và ngược lại, các điện tử trong vùng N khuếch tán sang vùng P. Trong khi di chuyển, các điện tử và lỗ trống có thể tái hợp với nhau. Do đó, có sự xuất hiện của một vùng ở hai bên mỗi nối trong đó chỉ có những ion âm của những nguyên tử nhận trong vùng P và những ion dương của nguyên tử cho trong vùng N. các ion dương và âm này tạo ra một điện trường E_j chống lại sự khuếch tán của các hạt điện, nghĩa là điện trường E_i sẽ tạo ra một dòng điện trôi ngược chiều với dòng điện khuếch tán sao cho dòng điện trung bình tổng hợp triệt tiêu. Lúc đó, ta có trạng thái cân bằng nhiệt. Trên phương diện thống kê, ta có thể coi vùng có những ion cố định là vùng không có hạt điện di chuyển (không có điện tử tự do ở vùng N và lỗ trống ở vùng P). Ta gọi vùng này là vùng khiếm khuyết hay vùng hiêm (Depletion region). Tương ứng với điện trường E_i , ta có một điện thế V_0 ở hai bên mặt nối, V_0 được gọi là rào điện thế.



Hình 2

Tính V_0 : ta để ý đến dòng điện khuếch tán của lỗ trống:

$$J_{pkt} = -e \cdot D_p \cdot \frac{dp}{dx} > 0$$

và dòng điện trôi của lỗ trống:

$$J_{ptr} = e \cdot p \cdot \mu_p \cdot E_i < 0$$

Khi cân bằng, ta có:

$$J_{pkt} + J_{ptr} = 0$$

các lỗ trống khuếch tán thẳng ngang qua mà không bị mất và tiếp tục khuếch tán sang vùng N nhưng bị mất lần vì có sự tái hợp với các điện tử trong vùng này.

Tương tự, sự khuếch tán của điện tử từ vùng N sang vùng P cũng tuân theo qui chế trên. Ta để ý là các đồ thị nhận một trục đối xứng vì tổng số các dòng điện lỗ trống và dòng điện tử phải bằng một hằng số.

$$\begin{aligned} \text{Ta có: } J_{pp}(x_1) &= J_{pn}(x_2) \\ J_{np}(x_1) &= J_{nn}(x_2) \end{aligned}$$

Dòng điện J tại một tiết diện bất kỳ là hằng số. Vậy tại x_1 hoặc x_2 ta có:

$$J = J_{pp}(x_1) + J_{np}(x_1) = J_{pn}(x_2) + J_{nn}(x_2)$$

Dòng điện J_{pn} là dòng khuếch tán các lỗ trống, nên có trị số tại tiết diện x là:

$$J_{pn}(x) = -e \cdot D_p \cdot \frac{dP_n(x)}{dx}$$

Trong đó, $P_n(x)$ là mật độ lỗ trống trong vùng N tại điểm x. Ta tính $P_n(x)$

Ta dùng phương trình liên tục:

$$\frac{\partial P_n}{\partial t} = -\frac{P_n - P_{n_0}}{\tau_p} - \frac{\partial I_p}{\partial x} \cdot \frac{1}{e \cdot A}$$

Vì dòng điện J_{pn} không phụ thuộc vào thời gian nên phương trình trở thành:

$$\frac{d^2 P_n}{dx^2} = \frac{P_n - P_{n_0}}{L_p^2} \quad \text{Trong đó } L_p = \sqrt{D_p \cdot \tau_p}$$

Và có nghiệm số là: $P_n(x) - P_{n_0} = [P_n(x_2) - P_{n_0}] e^{-\frac{x-x_2}{L_p}}$

$$\text{Suy ra, } J_{pn}(x_2) = -e \cdot D_p \left. \frac{dP_n}{dx} \right|_{x=x_2} = \frac{e \cdot D_p}{L_p} [P_n(x_2) - P_{n_0}]$$

Ta chấp nhận khi có dòng điện qua mối nối, ta vẫn có biểu thức: $dv = -V_T \frac{dp}{p}$ như trong trường hợp nối cân bằng.

Lấy tích phân hai vế từ x_1 đến x_2 ta được:

$$\int_0^{V_B} dv = -V_T \int_{P_{p(x_1)} \approx P_{p_0}}^{P_n(x_2)} \frac{dp}{p}$$

Ta được:

$$\text{Mà: } V_B = V_0 - V = V_T \log \left(\frac{P_{p_0}}{P_{n_0}} \right) - V$$

$$\text{Suy ra: } V = V_T \log \left(\frac{P_n(x_2)}{P_{n_0}} \right)$$

Nên: $P_n(x_2) = P_{n_0} \cdot e^{\frac{V}{V_T}}$

Do đó: $J_{pn}(x_2) = e \cdot D_p \cdot \frac{1}{L_p} [P(x_2) - P_{n_0}]$

$$J_{pn}(x_2) = e \cdot \frac{D_p}{L_p} \cdot P_{n_0} \cdot \left[e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right]$$

Tương tự, ta có:

$$J_{np}(x_1) = e \cdot D_n \cdot \frac{1}{L_n} [n_p(x_1) - n_{p_0}]$$

$$J_{np}(x_1) = e \cdot \frac{D_n}{L_n} \cdot n_{p_0} \cdot \left[e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right]$$

Suy ra, mật độ dòng điện J trong mối nối P-N là:

$$J = J_{pn}(x_2) + J_{np}(x_1)$$

$$J = e \left[\frac{D_p}{L_p} \cdot p_{n_0} + \frac{D_n}{L_n} \cdot n_{p_0} \right] \cdot \left[e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right]$$

Như vậy, dòng điện qua mối nối P-N là:

$$I = A \cdot e \left[\frac{D_p}{L_p} \cdot p_{n_0} + \frac{D_n}{L_n} \cdot n_{p_0} \right] \cdot \left[e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right]$$

$$\text{Đặt: } I_0 = A \cdot e \left[\frac{D_p}{L_p} \cdot p_{n_0} + \frac{D_n}{L_n} \cdot n_{p_0} \right]$$

$$\text{Ta được: } I = I_0 \left[e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right]$$

Phương trình này được gọi là phương trình Shockley

Trong đó: $V_T = \frac{kT}{e} = \frac{D_p}{\mu_p} = \frac{D_n}{\mu_n}$

Với $k = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ là hằng số Boltzman

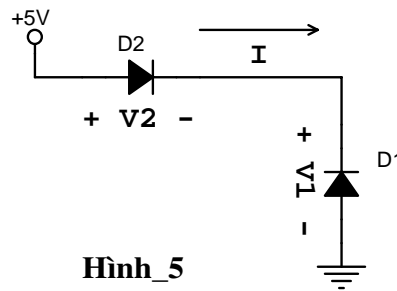
$e = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ coulomb}$, là điện tích của electron

T là nhiệt độ tuyệt đối.

Ở nhiệt độ bình thường, $T=273^0\text{K}$, $V_T=0,026 \text{ volt}$. Khi mối nối chuyển vận bình thường, V thay đổi từ 0,3 V đến 0,7 V tùy theo mối là Ge hay Si, $\frac{V}{V_T} > 10 \Rightarrow e^{\frac{V}{V_T}} \gg 1$

$$\text{Vậy, } I \approx I_0 \cdot e^{\frac{V}{V_T}}$$

Ghi chú: Công thức trên chỉ đúng trong trường hợp dòng điện qua mối nối khá lớn (vùng đặc tuyến V-I thẳng, xem phần sau); với dòng điện I tương đối nhỏ (vài mA trở xuống), người ta chứng minh được dòng điện qua mối nối là:



D₁ và D₂ là 2 nối P-N Si. Tìm điện thế V₁ và V₂ xuyên qua nối.

Giải: Dòng điện qua 2 nối P-N là như nhau. Chú ý là dòng điện qua D₂ là dòng thuận và dòng qua D₁ là dòng nghịch.

$$\text{Vậy: } I = I_0 \left[e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right] = I_0 \text{ với } \eta = 2 \text{ và } V_T = 0,026V$$

$$\Rightarrow e^{\frac{V_2}{0,052}} = 2$$

$$\Rightarrow V_2 = 0,693 \cdot 0,052 = 0,036(V)$$

Do đó, điện thế ngang qua nối phân cực nghịch là:

$$V_1 = 5 - V_2 = 5 - 0,036 = 4,964 (V)$$

I₀ là dòng điện bão hòa ngược. Dòng điện trong nối P-N có thể diễn tả bằng đồ thị sau đây, được gọi là đặc tuyến V-I của nối P-N.

Khi hiệu thế phân cực thuận còn nhỏ, dòng điện I tăng chậm. Khi hiệu thế phân cực thuận đủ lớn, dòng điện I tăng nhanh trong lúc hiệu điện thế hai đầu mỗi nối tăng rất ít.

Khi hiệu thế phân cực nghịch còn nhỏ, chỉ có 1 dòng điện rỉ I₀ chạy qua. Khi hiệu điện thế phân cực nghịch đủ lớn, những hạt tải điện sinh ra dưới tác dụng của nhiệt được điện trường trong vùng hiếm tăng vận tốc và có đủ năng lượng rút nhiều điện tử khác từ các nối hóa trị. Cơ chế này cứ chồng chất, sau cùng ta có một dòng điện ngược rất lớn, ta nói nối P-N ở trung vùng phá hủy theo hiện tượng tuyết lở (avalanche).

$$\frac{dI}{dV} = I_0 \left[\frac{1}{\eta V_T} \cdot e^{\frac{V}{\eta V_T}} \right]$$

Ngoài ra,

$$I = I_0 \cdot \left[e^{\frac{V}{\eta V_T}} - 1 \right] = I_0 \cdot e^{\frac{V}{\eta V_T}} - I_0$$

Hay $I + I_0 = I_0 \cdot e^{\frac{V}{\eta V_T}}$

Do đó, $\frac{dI}{dV} = \frac{I + I_0}{\eta V_T}$

Và điện trở động là:

$$r_d = \frac{dI}{dV} = \frac{\eta V_T}{I + I_0}$$

Thông thường, $I \gg I_0$ nên $r_d = \frac{\eta V_T}{I}$

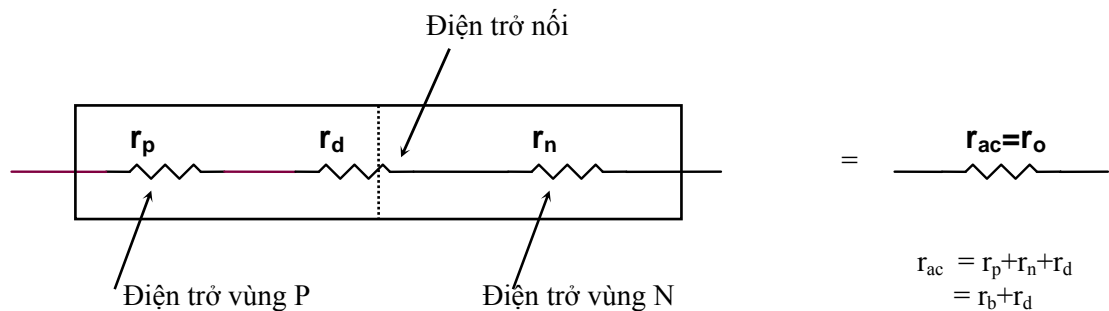
Ở nhiệt độ bình thường (25°C), $V_T = 26\text{mV}$, điện trở động là:

$$r_d = \frac{\eta \cdot 26\text{mV}}{I(\text{mA})}$$

Với dòng điện I khá lớn, $\eta=1$, điện trở động r_d có thể được tính theo công thức:

$$r_d = \frac{26\text{mV}}{I(\text{mA})}$$

Ở nhiệt độ bình thường, nếu $I_Q = 100\text{mA}$ thì $r_d = 0,26\Omega$. Trong một nối P-N thực, vì có tiếp trở giữa các mối nối, điện trở giữa hai vùng bán dẫn P và N nên điện trở động thực sự lớn hơn nhiều so với trị số tính được, thông thường khoảng vài chục Ω .



Hình 11

Đây cũng chính là kiểu mẫu của Diode với tín hiệu nhỏ. Người ta cũng định nghĩa điện trở động khi phân cực nghịch

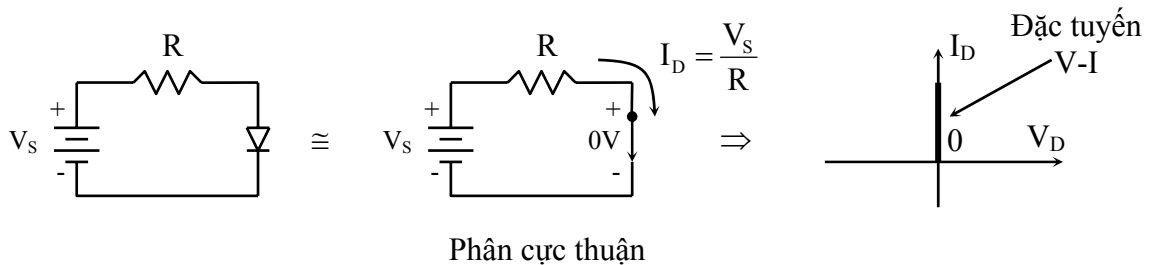
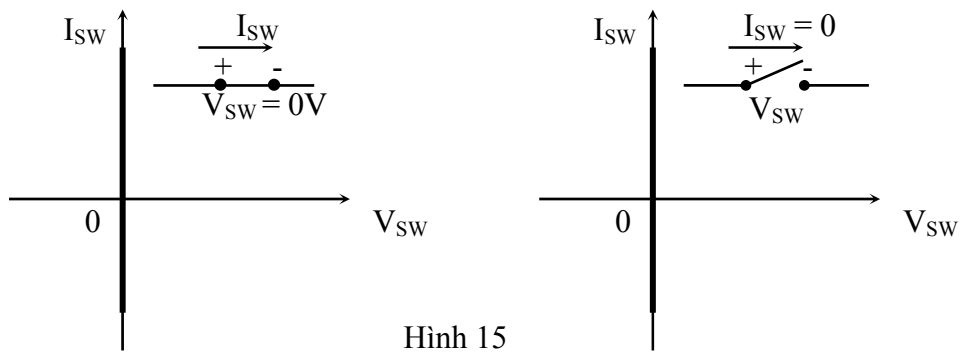
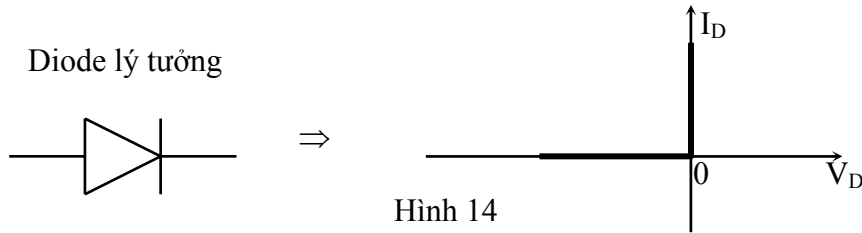
$$r_r = \left. \frac{dV}{dI} \right|_Q$$

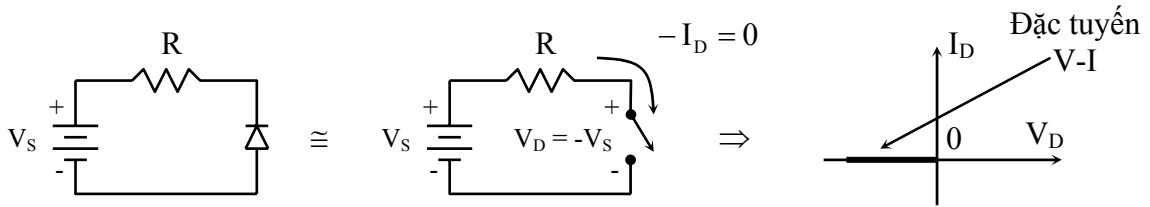
Trước khi xem qua một số sơ đồ chỉnh lưu thông dụng, ta xem qua một số kiểu mẫu thường dùng của diode.

Kiểu mẫu một chiều của diode. Diode lý tưởng (Ideal diode)

Trong trường hợp này, người ta xem như điện thế ngang qua diode khi phân cực thuận bằng không và nội trở của nó không đáng kể. Khi phân cực nghịch, dòng rỉ cũng xem như không đáng kể.

Như vậy, diode lý tưởng được xem như một ngắt (switch): ngắt điện đóng mạch khi diode được phân cực thuận và ngắt điện hở mạch khi diode được phân cực nghịch.



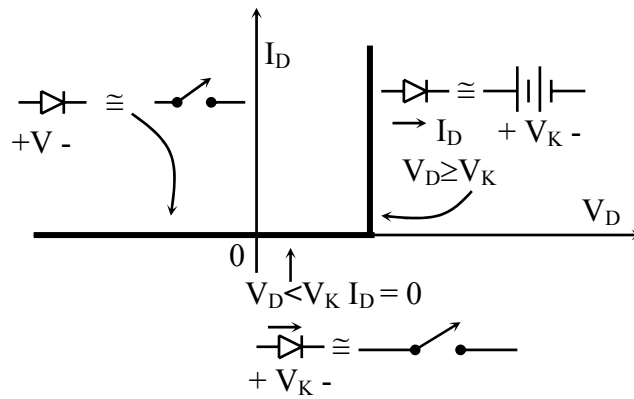


Phân cực nghịch
Hình 15

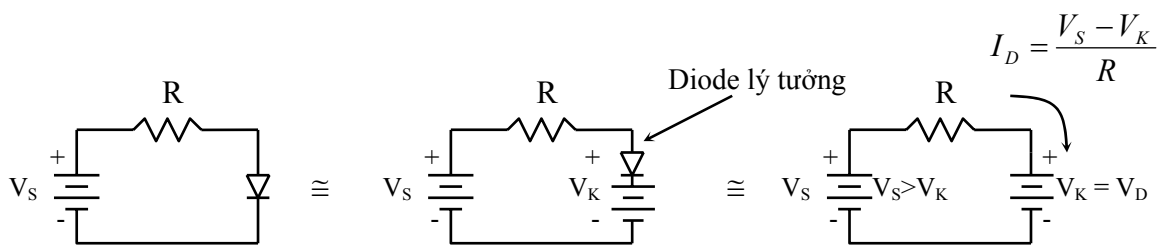
Kiểu mẫu điện thế ngưỡng (Knee-Voltage model)

Trong kiểu mẫu này, điện thế ngang qua diode khi được phân cực thuận là một hằng số và được gọi là điện thế ngưỡng V_K (khoảng 0,3V đối với diode Ge và 0,7 volt đối với diode Si).

Như vậy, khi phân cực thuận, diode tương đương với một diode lý tưởng nối tiếp với nguồn điện thế V_K , khi phân cực nghịch cũng tương đương với một ngắt điện hở.



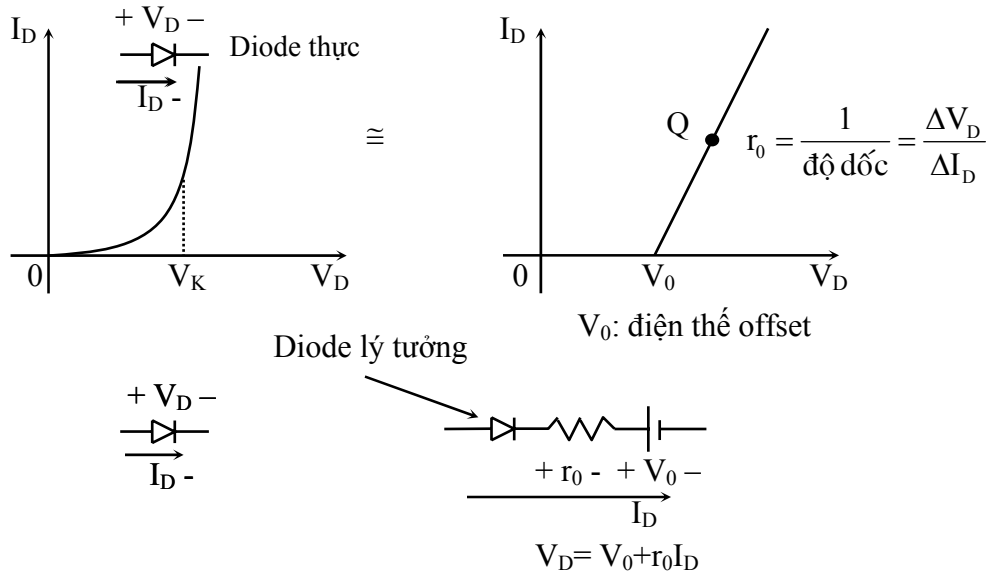
Hình 16



Hình 17

Kiểu mẫu diode với điện trở động:

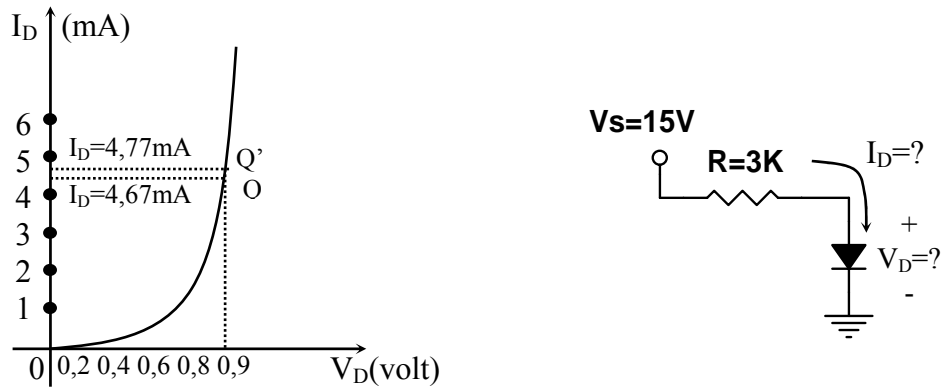
Khi điện thế phân cực thuận vượt quá điện thế ngưỡng V_K , dòng điện qua diode tăng nhanh trong lúc điện thế qua hai đầu diode V_D cũng tăng (tuy chậm) chứ không phải là hằng số như kiểu mẫu trên. Để chính xác hơn, lúc này người ta phải chú ý đến độ giảm thế qua hai đầu điện trở động r_0 .



Hình 18 - 19

Thí dụ:

Từ đặc tuyến V-I của diode 1N917(Si), xác định điện trở động r_0 và tìm điểm điều hành Q (I_D và V_D) khi nó được dùng trong mạch hình bên.

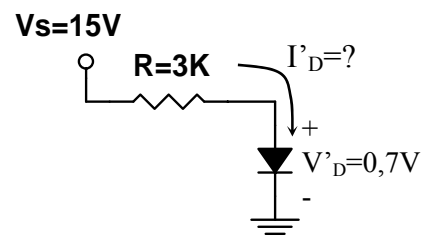


Hình 20

Giải:

Bước 1: dùng kiểu điện thế ngưỡng:

$$I'_D = \frac{V_S - V_K}{R} = \frac{15 - 0,7}{3K\Omega} = 4,77mA$$



Hình 21

Bước 2: với $I_D = 4,77\text{mA}$, ta xác định được điểm Q' ($V_D = 0,9\text{V}$)

Bước 3: vẽ tiếp tuyến tại Q' với đặc tuyến để tìm điện thế offset V_0 .

$$V_0 = 0,74\text{V}$$

Bước 4: Xác định r_0 từ công thức:

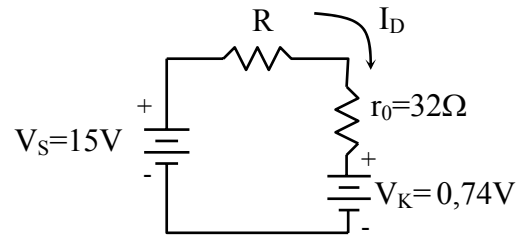
$$r_0 = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} = \frac{0,9 - 0,74}{4,77} = \frac{0,16}{4,77} \approx 32\Omega$$

Bước 5: Dùng kiểu mẫu với điện trở động r_0 .

$$I_D = \frac{V_S - V_0}{R + r_0} = \frac{15 - 0,74}{3000 + 32} = 0,00467\text{A}$$

$$I_D = 4,67\text{mA}$$

$$\text{Và } V_D = V_0 + r_0 I_D = 0,74 + 0,00467 \times 32 = 0,89\text{V}$$



Hình 22

Chú ý:

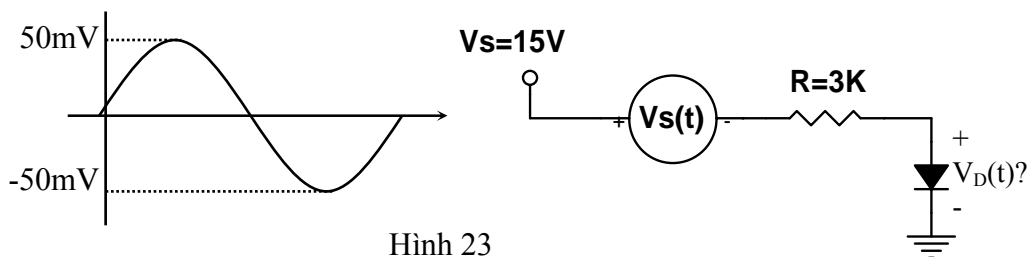
Trong trường hợp diode được dùng với tín hiệu nhỏ, điện trở động r_0 chính là điện trở động r_d mà ta đã thấy ở phần trước cộng với điện trở của hai vùng bán dẫn P và N.

$$r_0 = r_{ac} = r_p + r_n + r_d = r_B + r_d$$

$$\text{với } r_d = \eta \frac{26\text{mV}}{I_D \text{mA}}$$

Ví dụ: Xem mạch dùng diode 1N917 với tín hiệu nhỏ $V_S(t) = 50 \sin \omega t$ (mV).

Tìm điện thế $V_D(t)$ ngang qua diode, biết rằng điện trở r_B của hai vùng bán dẫn P-N là 10Ω .



Hình 23

Giải:

Theo ví dụ trước, với kiểu mẫu điện thế ngưỡng ta có $V_D = 0,7\text{V}$ và $I_D = 4,77\text{mA}$.

Từ đó ta tìm được điện trở nối r_d :

$$r_d = \frac{26\text{mV}}{I_D} = \frac{26\text{mV}}{4,77\text{mA}} = 5,45\Omega$$

$$r_{ac} = 10 + 0,45 = 10,45\Omega$$

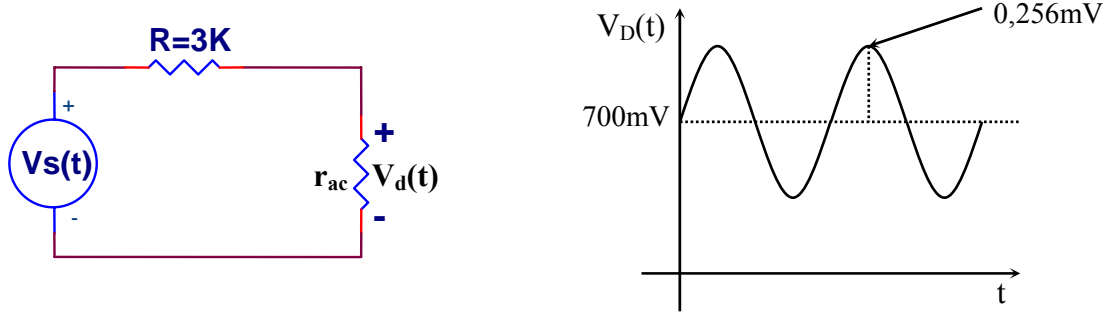
Mạch tương đương xoay chiều:

Điện thế đỉnh V_{dm} ngang qua diode là $V_{dm} = \frac{r_{ac}}{R + r_{ac}} V_m = \frac{15,45}{15,45 + 3000} \cdot 50$

$V_{dm} = 0,256 \text{ Sin}\omega t \text{ (mV)}$.

Vậy điện thế tổng cộng ngang qua diode là:

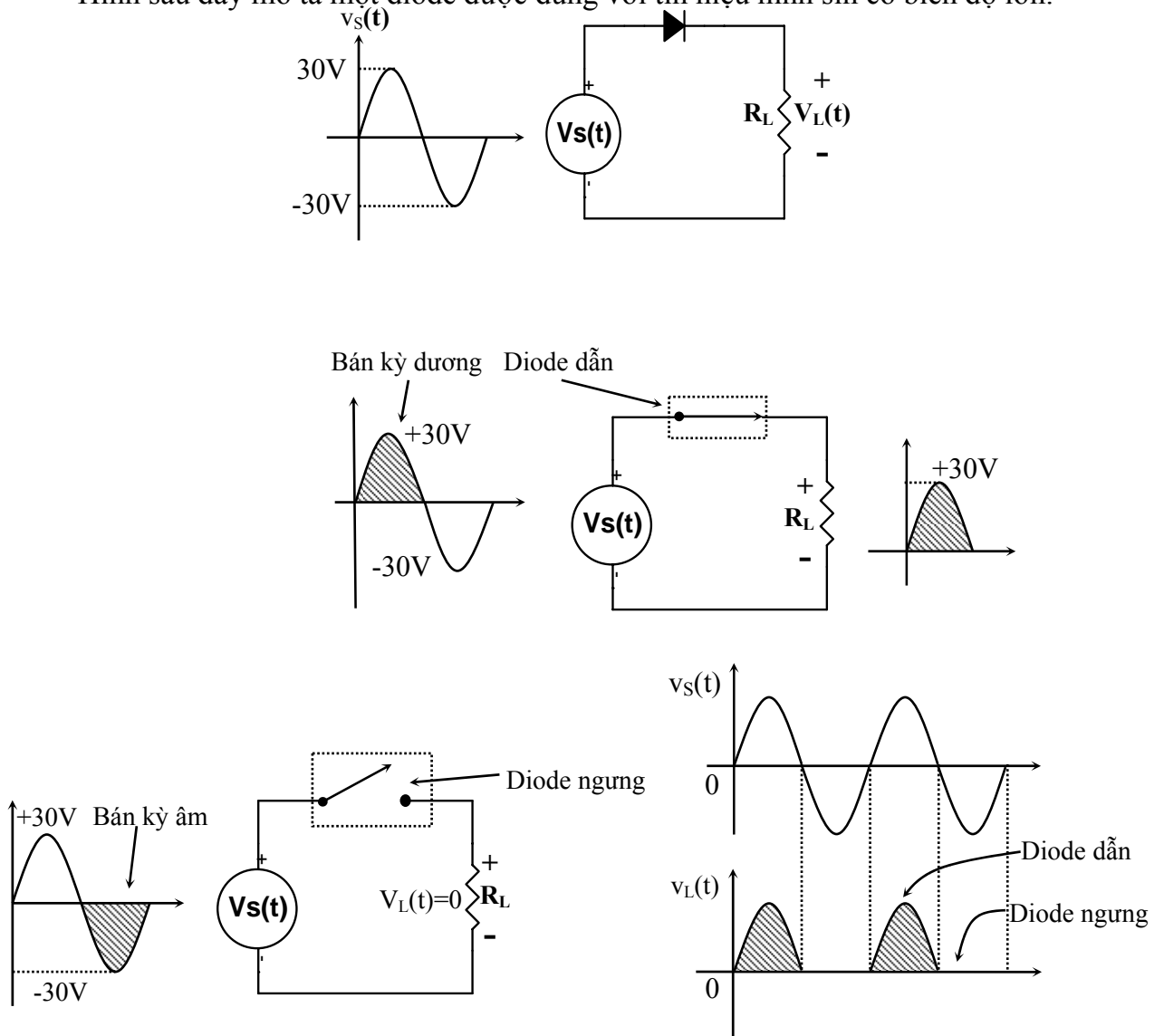
$V_D(t) = 700\text{mV} + 0,256 \text{ Sin}\omega t \text{ (mV)}$.



Hình 24

Kiểu mẫu tín hiệu rộng và hiệu ứng tần số.

Hình sau đây mô tả một diode được dùng với tín hiệu hình sin có biên độ lớn.



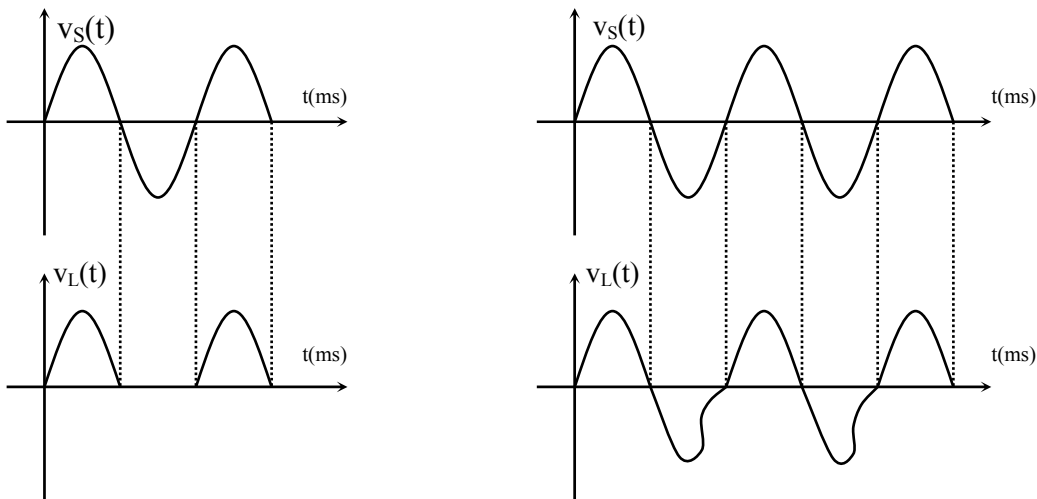
Hình 25

Khi diode được dùng với nguồn tín hiệu xoay chiều tín hiệu biên độ lớn, kiểu mẫu tín hiệu nhỏ không thể áp dụng được. vì vậy, người ta dùng kiểu mẫu một chiều tuyến tính.

Kết quả là ở nửa chu kỳ dương của tín hiệu, diode dẫn và xem như một ngắt điện đóng mạch. ở nửa chu kỳ âm kế tiếp, diode bị phân cực nghịch và có vai trò như một ngắt điện hở mạch. Tác dụng này của diode được gọi là chỉnh lưu nửa sóng (mạch chỉnh lưu sẽ được khảo sát kỹ ở giáo trình mạch điện tử).

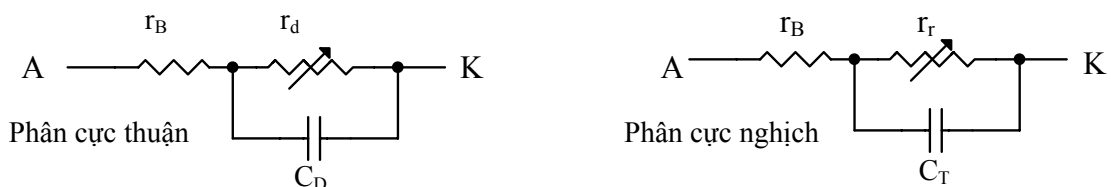
Đáp ứng trên chỉ đúng khi tần số của nguồn xoay chiều $V_S(t)$ thấp-thí dụ như điện 50/60Hz, tức chu kỳ $T=20ms/16,7ms$ -khi tần số của nguồn tín hiệu lên cao (chu kỳ ở hàng nano giây) thì ta phải quan tâm đến thời gian chuyển tiếp từ bán kỳ dương sang bán kỳ âm của tín hiệu.

Khi tần số của tín hiệu cao, điện thế ngã ra ngoài bán kỳ dương (khi diode được phân cực thuận), ở bán kỳ âm của tín hiệu cũng qua được một phần và có dạng như hình vẽ. Chú ý là tần số của nguồn tín hiệu càng cao thì thành phần bán kỳ âm xuất hiện ở ngã ra càng lớn.



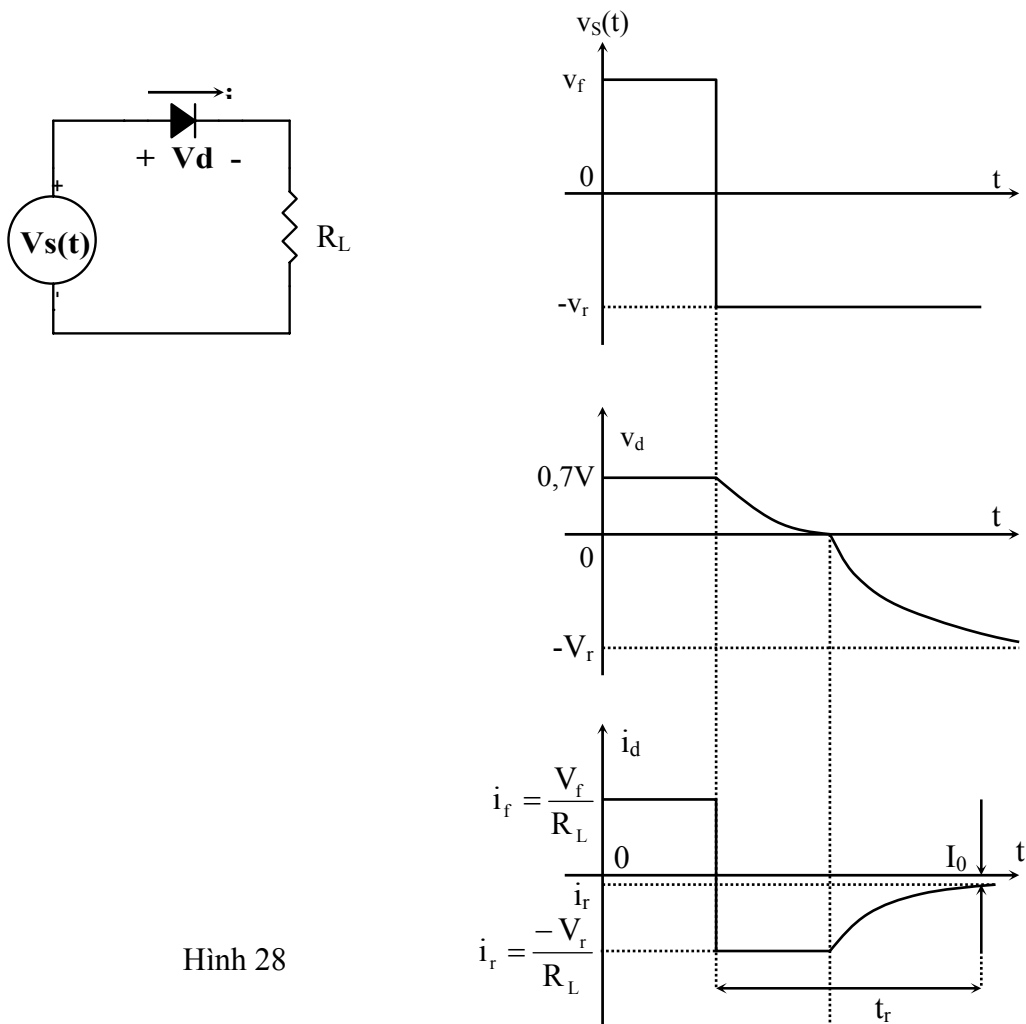
Hình 26

Hiệu ứng này do điện dung khuếch tán C_D của nối P-N khá lớn khi được phân cực thuận (C_D có trị từ 2000pF đến 15000pF). Tác dụng của điện dung này làm cho diode không thể thay đổi tức thời từ trạng thái dẫn sang trạng thái ngưng dẫn mà phải mất đi một thời gian (thường được gọi là thời gian hồi phục, kiểu mẫu diode phải kể đến tác dụng của điện dung của nối).



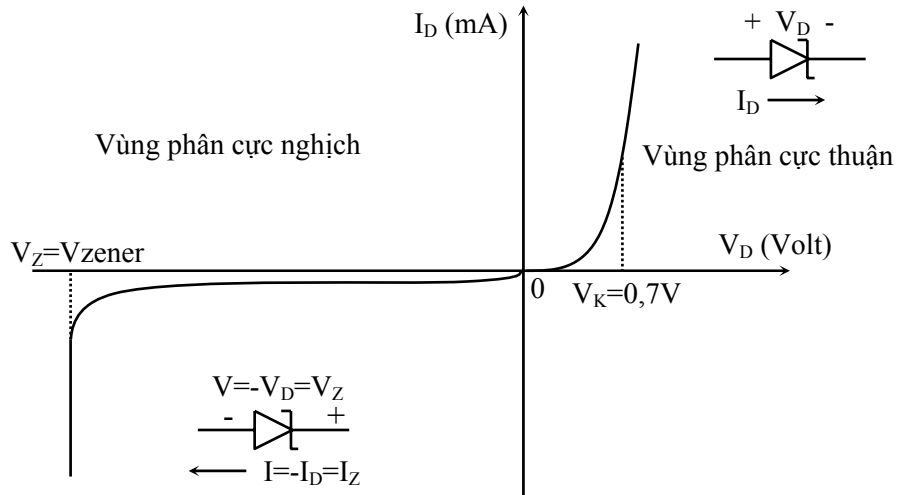
- r_B : Điện trở hai vùng bán dẫn P và N
- r_d : Điện trở động của nối P-N khi phân cực thuận (rất nhỏ)
- C_D : Điện dung khuếch tán
- r_r : Điện trở động khi phân cực nghịch (rất lớn)
- C_T : Điện dung chuyển tiếp

Để thấy rõ hơn thời gian hồi phục, ta xem đáp ứng của diode đối với hàm nấc (dạng sóng chữ nhật) được mô tả bằng hình vẽ sau.



Hình 28

Thông thường, giá trị của t_r có thể thay đổi từ nhỏ hơn 1 nano giây đến xấp xỉ $1\mu s$. Hiệu ứng của t_r trên diode chỉnh lưu (sóng sin) được diễn tả như hình sau. Người ta nhận thấy rằng, có thể bỏ qua thời gian hồi phục trên mạch chỉnh lưu khi $t_r < 0,1T$, với T là chu kỳ của sóng sin được chỉnh lưu.

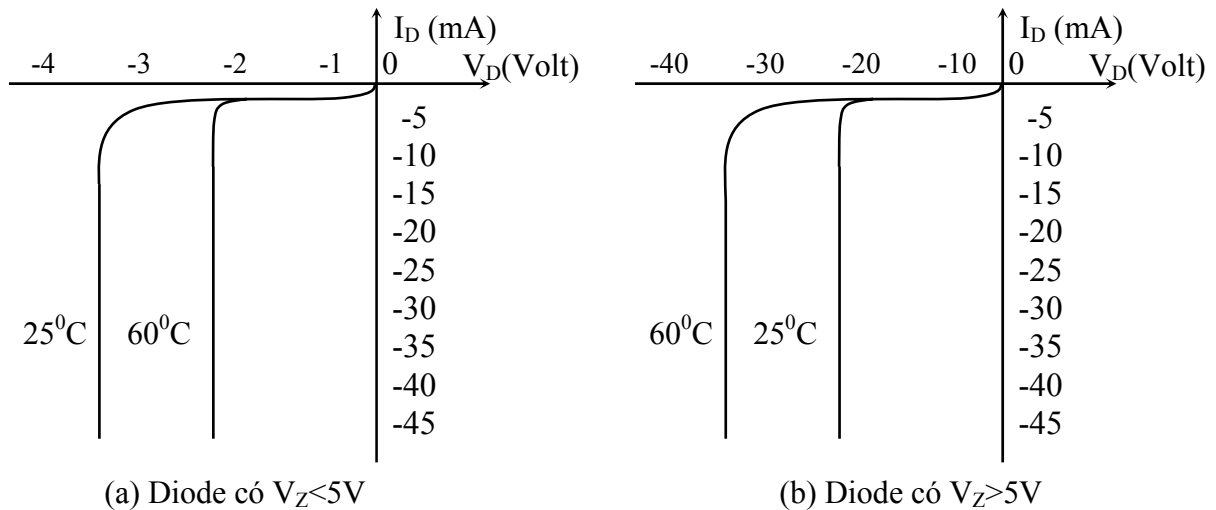


Hình 32

* Ảnh hưởng của nhiệt độ:

Khi nhiệt độ thay đổi, các hạt tải điện sinh ra cũng thay đổi theo:

- Với các diode Zener có điện thế Zener $V_Z < 5V$ thì khi nhiệt độ tăng, điện thế Zener giảm.
- Với các diode có điện thế Zener $V_Z > 5V$ (còn được gọi là diode tuyết đổ-diode avalanche) lại có hệ số nhiệt dương (V_Z tăng khi nhiệt độ tăng).
- Với các diode Zener có V_Z nằm xung quanh $5V$ gần như V_Z không thay đổi theo nhiệt độ.

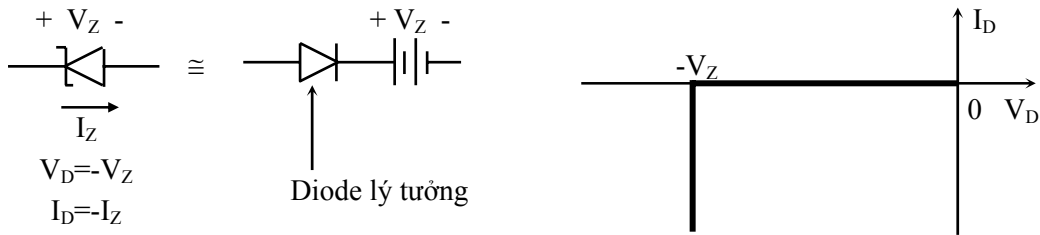


Hình 33

* Kiểu mẫu lý tưởng của diode Zener:

Trong kiểu mẫu lý tưởng, diode Zener chỉ dẫn điện khi điện thế phân cực nghịch lớn hay bằng điện thế V_Z . Điện thế ngang qua diode Zener không thay đổi và bằng điện thế

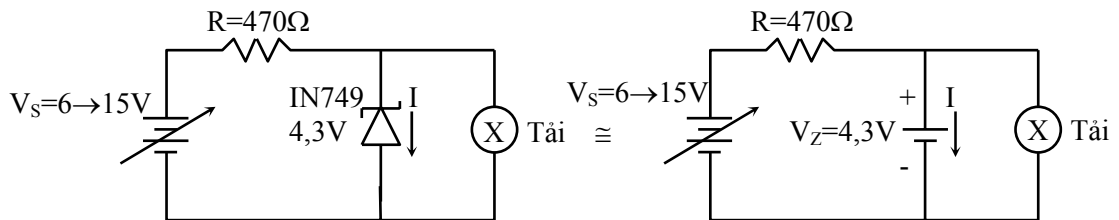
V_Z . Khi điện thế phân cực nghịch nhỏ hơn hay bằng điện thế V_Z , diode Zener không dẫn điện ($I_D=0$).



Hình 34

Do tính chất trên, diode zener thường được dùng để chế tạo điện thế chuẩn.

Thí dụ: mạch tạo điện thế chuẩn 4,3V dùng diode zener 1N749 như sau:



Hình 35

Khi chưa mắc tải vào, thí dụ nguồn $V_S=15V$, thì dòng qua zener là:

$$I = \frac{V_S - V_Z}{R} = \frac{15 - 4,3}{470} = 22,8\text{mA}$$

* Kiểu mẫu của diode zener đối với điện trở động:

Thực tế, trong vùng zener, khi dòng điện qua diode tăng, điện thế qua zener cũng tăng chút ít chứ không phải cố định như kiểu mẫu lý tưởng.

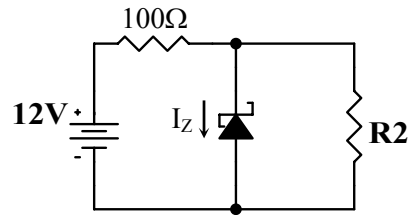
Người ta định nghĩa điện trở động của diode là:

$$r = Z_Z = \frac{V_{ZT} - V_{ZO}}{I_{ZT}}$$

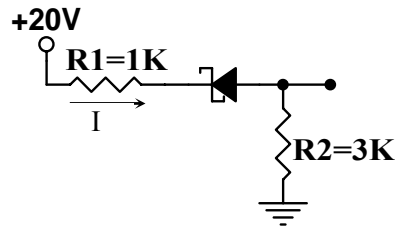
Trong đó: V_{ZO} là điện thế nghịch bắt đầu dòng điện tăng.

V_{ZT} là điện thế ngang qua hai đầu diode ở dòng điện sử dụng I_{ZT} .

3. Tính I_Z , V_O trong mạch điện sau khi $R_2 = 50\Omega$ và khi $R_2 = 200\Omega$. Cho biết Zener sử dụng có $V_Z = 6V$.



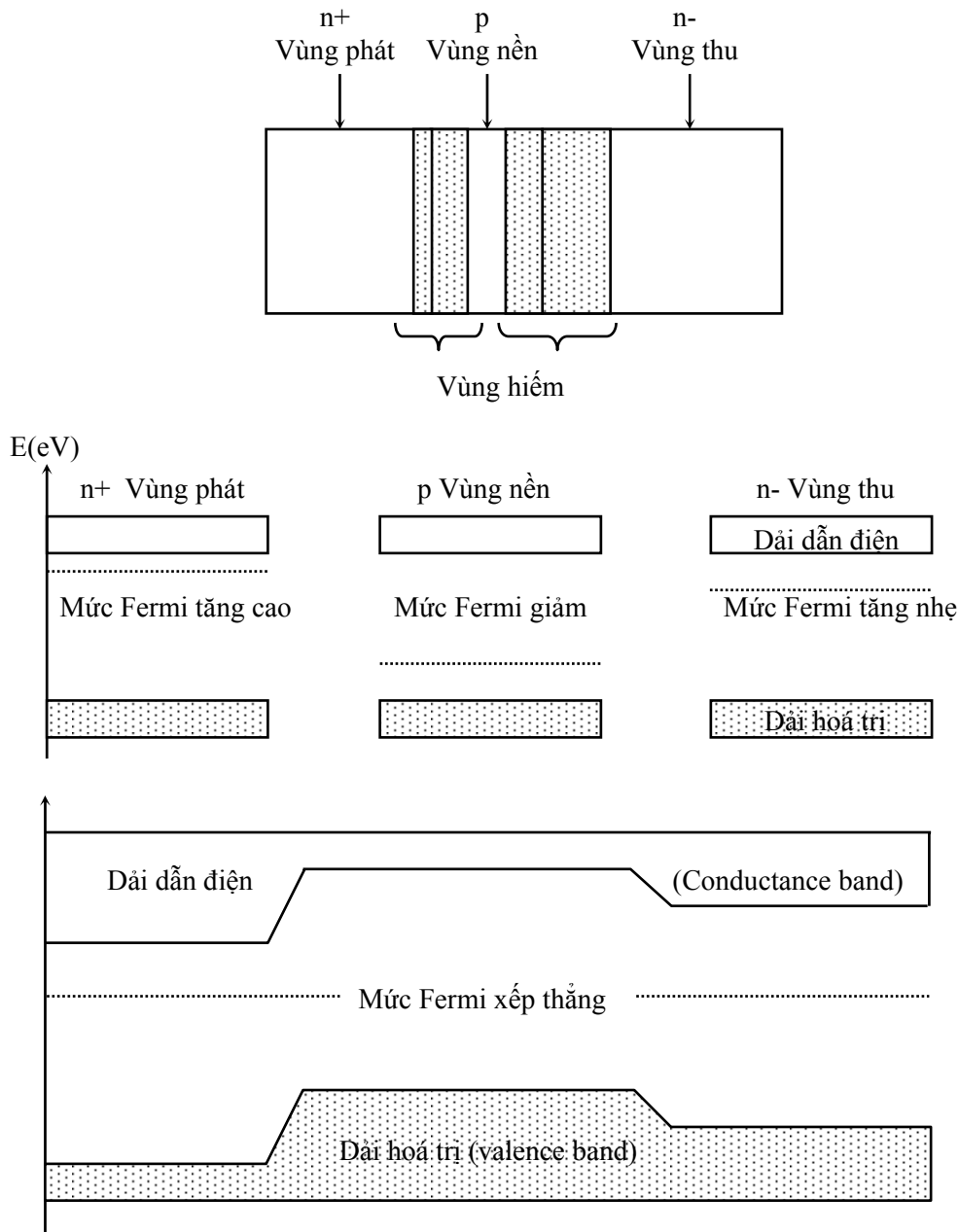
4. Tính I , V_O trong mạch sau, cho biết Zener có $V_Z = 8V$.



Khi nối P-N được xác lập, một rào điện thế sẽ được tạo ra tại nối. Các điện tử tự do trong vùng N sẽ khuếch tán sang vùng P và ngược lại, các lỗ trống trong vùng P khuếch tán sang vùng N. Kết quả là tại hai bên mỗi nối, bên vùng N là các ion dương, bên vùng P là các ion âm. Chúng đã tạo ra rào điện thế.

Hiện tượng này cũng được thấy tại hai nối của transistor. Quan sát vùng hiếm, ta thấy rằng kích thước của vùng hiếm là một hàm số theo nồng độ chất pha. Nó rộng ở vùng chất pha nhẹ và hẹp ở vùng chất pha đậm.

Hình sau đây mô tả vùng hiếm trong transistor NPN, sự tương quan giữa mức năng lượng Fermi, dải dẫn điện, dải hoá trị trong 3 vùng, phát nền, thu của transistor.



Hình 2

$$h_{FE} \approx \beta_{DC} = \frac{I_C}{I_B}$$

Như vậy: $I_C = \beta_{DC} \cdot I_B$

Nhưng: $I_E = I_C + I_B = \beta_{DC} \cdot I_B + I_B$

$$\Rightarrow I_E = (\beta_{DC} + 1) \cdot I_B$$

Độ lợi dòng điện trong cách ráp cực nền chung được cho bởi:

$$h_{FB} \approx \alpha_{DC} = \frac{I_C}{I_E}$$

β_{DC} có trị số từ vài chục đến vài trăm, thậm chí có thể lên đến hàng ngàn. α_{DC} có trị từ 0,95 đến 0,999... tùy theo loại transistor. Hai thông số β_{DC} và α_{DC} được nhà sản xuất cho biết.

Từ phương trình căn bản:

$$I_E = I_C + I_B$$

Ta có: $I_C = I_E - I_B$

Chia cả hai vế cho I_C , ta được:

$$1 = \frac{I_E}{I_C} - \frac{I_B}{I_C} = \frac{1}{\frac{I_C}{I_E}} - \frac{1}{\frac{I_C}{I_B}}$$

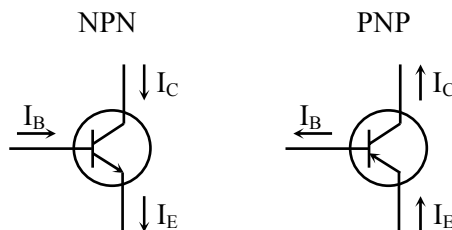
Như vậy: $1 = \frac{1}{\alpha_{DC}} - \frac{1}{\beta_{DC}}$

Giải phương trình này để tìm β_{DC} hay α_{DC} , ta được:

$$\beta_{DC} = \frac{\alpha_{DC}}{1 - \alpha_{DC}} \quad \text{và} \quad \alpha_{DC} = \frac{\beta_{DC}}{1 + \beta_{DC}}$$

* Ghi chú: các công thức trên là tổng quát, nghĩa là vẫn đúng với transistor PNP.

Ta chú ý dòng điện thực chạy trong hai transistor PNP và NPN có chiều như sau:



Hình 5

Thí dụ:

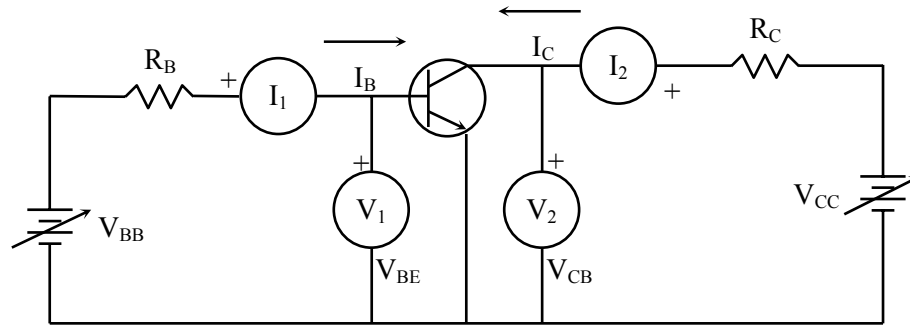
Một transistor NPN, Si được phân cực sau cho $I_C = 1\text{mA}$ và $I_B = 10\mu\text{A}$.

Tính β_{DC} , I_E , α_{DC} .

Giải: từ phương trình:

$$\beta_{DC} = \frac{I_C}{I_B}, \text{ Ta có: } \beta_{dc} = \frac{1\text{mA}}{10\mu\text{A}} = 100$$

Từ phương trình:

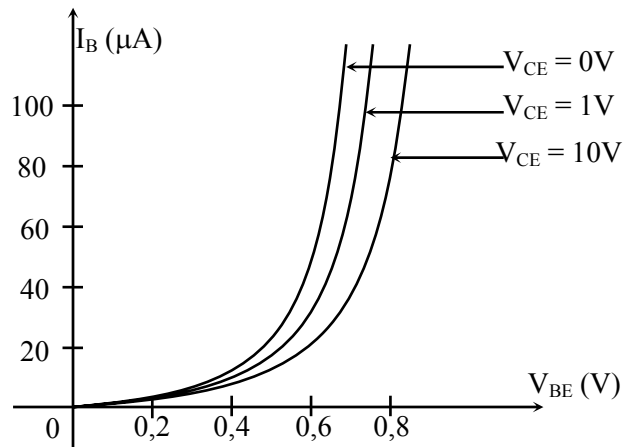


Hình 13

Đặc tuyến ngõ vào:

Biểu diễn sự thay đổi của dòng điện I_B theo điện thế ngõ vào V_{BE} . Trong đó hiệu thế thu phát V_{CE} chọn làm thông số.

Đặc tuyến như sau:

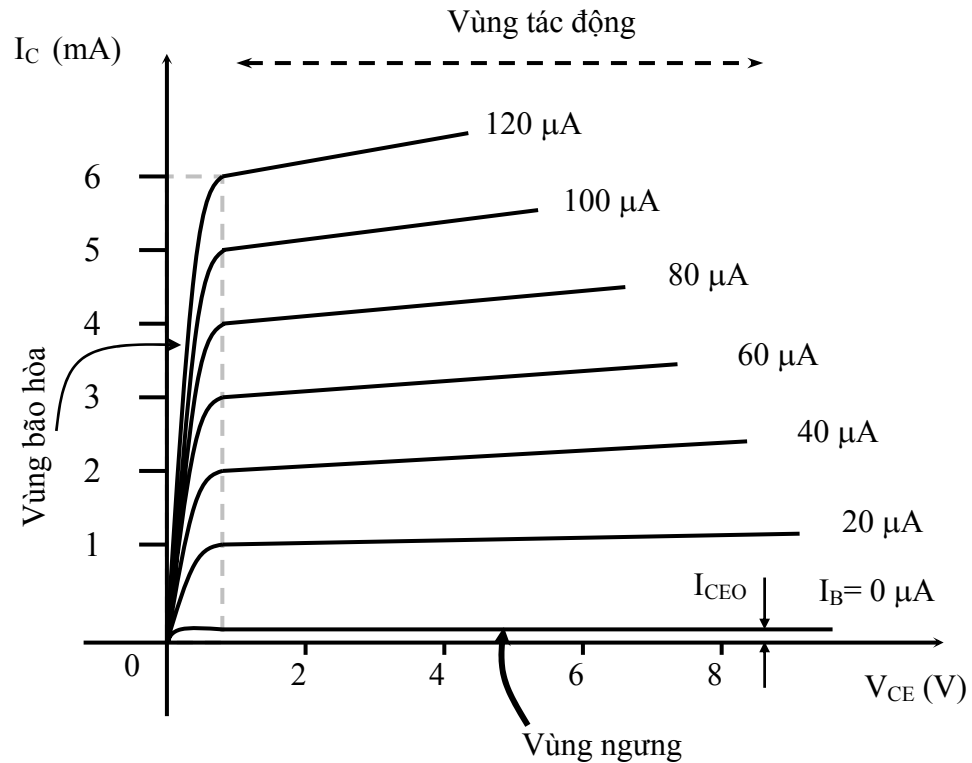


Hình 14

Đặc tuyến ngõ ra:

Biểu diễn dòng điện cực thu I_C theo điện thế ngõ ra V_{CE} với dòng điện ngõ vào I_B được chọn làm thông số.

Dạng đặc tuyến như sau:



Hình 15

- Ta thấy cũng có 3 vùng hoạt động của transistor: vùng bão hoà, vùng tác động và vùng ngưng.
- Khi nối tắt V_{BE} (tức $I_B=0$) dòng điện cực thu xấp xỉ dòng điện rỉ I_{CEO} .

Đặc tuyến truyền: (Transfer characteristic curve)

Từ đặc tuyến ngõ vào và đặc tuyến ngõ ra. Ta có thể suy ra đặc tuyến truyền của transistor. Đặc tuyến truyền biểu diễn sự thay đổi của dòng điện ngõ ra I_C theo điện thế ngõ vào V_{BE} với điện thế ngõ ra V_{CE} làm thông số.

Đặc tuyến có dạng như sau:

1. Mạch ngõ vào:

$$\text{Ta có: } V_{BE} + R_E I_E - V_{EE} = 0$$

$$\Rightarrow I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E}$$

Chú ý là $V_{BE} = 0,7V$ với BJT là Si và $V_{BE} = 0,3V$ nếu BJT là Ge.

2. Từ công thức $I_C = \alpha_{DC} I_E \cong I_E$.

Suy ra dòng điện cực thu I_C .

3. Mạch ngõ ra:

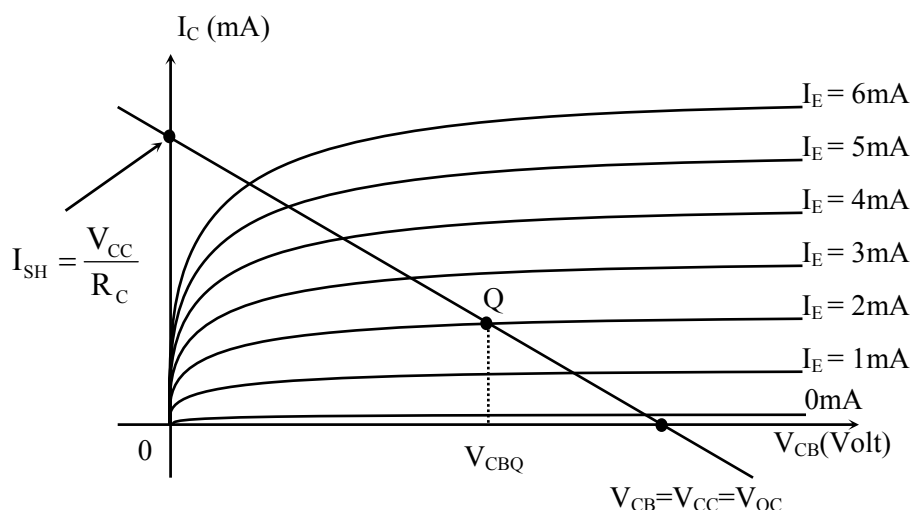
$$\text{Ta có: } V_{CB} - V_{CC} + R_C I_C = 0$$

$$\Rightarrow I_C = -\frac{V_{CB}}{R_C} + \frac{V_{CC}}{R_C}$$

Đây là phương trình đường thẳng lấy điện một chiều (đường thẳng lấy điện tĩnh). Trên đặc tuyến ra, giao điểm của đường thẳng lấy điện với I_E tương ứng (thông số) của đặc tuyến ra chính là điểm tĩnh điều hành Q.

Ta chú ý rằng:

- Khi $V_{CB} = 0 \Rightarrow I_C = I_{SH} = \frac{V_{CC}}{R_C}$ (Dòng điện bảo hoà)
- Khi $I_C = 0$ (dòng ngưng), ta có: $V_{CB} = V_{CC} = V_{OC}$

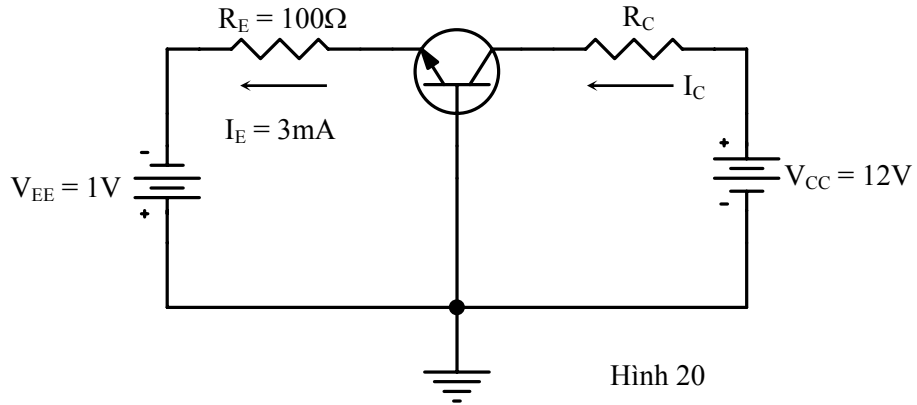


Hình 19

Một số nhận xét:

Để thấy ảnh hưởng tương đối của R_C, V_{CC}, I_E lên điểm điều hành, ta xem ví dụ sau đây:

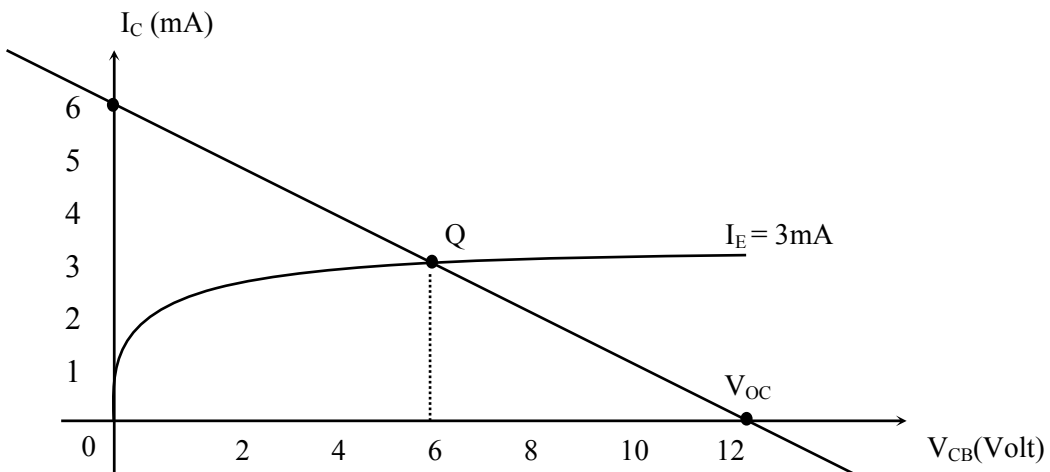
1. Ảnh hưởng của điện trở cực thu R_C : $R_C = 1,5K\Omega; 2K\Omega; 3 K\Omega$



Ta có:
$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E} = \frac{1 - 1,7}{0,1} = 3mA \approx I_C$$

* Khi $R_C = 2 K\Omega$, $I_C = -\frac{V_{CB}}{R_C} + \frac{V_{CC}}{R_C}$

$$3 = -\frac{V_{CB}}{2} + \frac{12}{2} \Rightarrow V_{CB} = 6mA$$

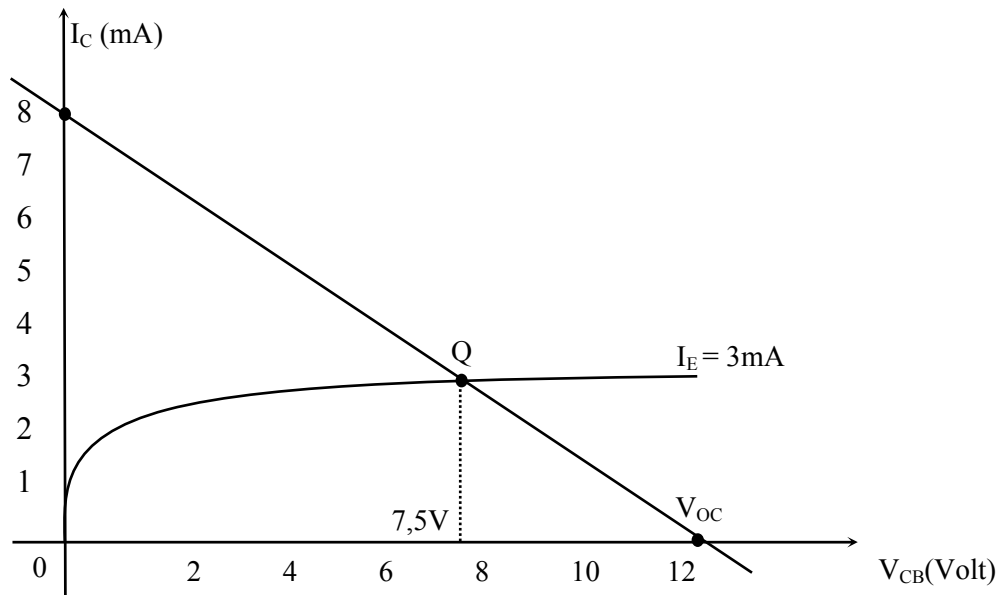


* Khi $R_C = 1,5 K\Omega$ (R_C giảm), giữ R_E, V_{EE}, V_{CC} không đổi.

$$I_C \neq I_E \neq 3mA$$

$$V_{CB} = V_{CC} - R_C \cdot I_C = 12 - 1,5 \times 3 = 7,5V$$

$$I_{SH} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{12}{1,5} = 8mA$$

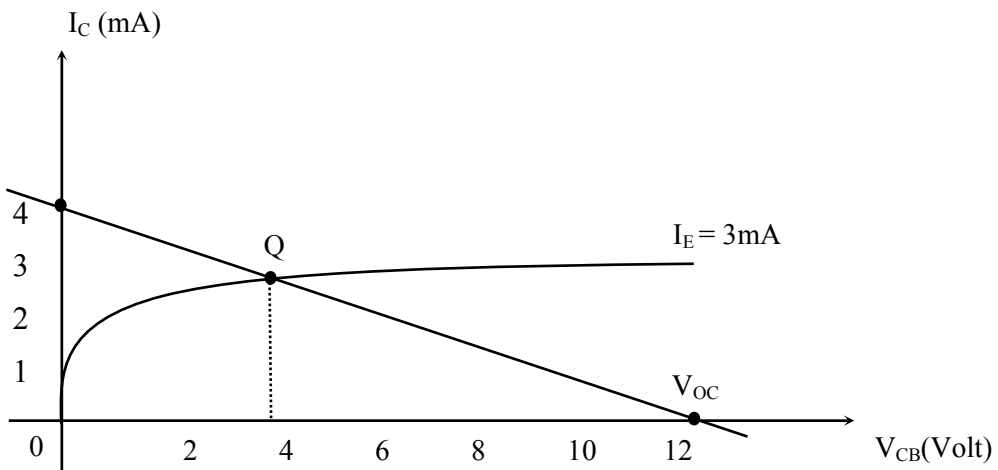


* Khi $R_C = 3 \text{ K}\Omega$ (R_C tăng) Hình 22

$$I_C \# I_E = 3 \text{ mA}$$

$$V_{CB} = V_{CC} - R_C \cdot I_C = 12 - 3 \times 3 = 3 \text{ V}$$

$$I_{SH} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{12}{3} = 4 \text{ mA}$$



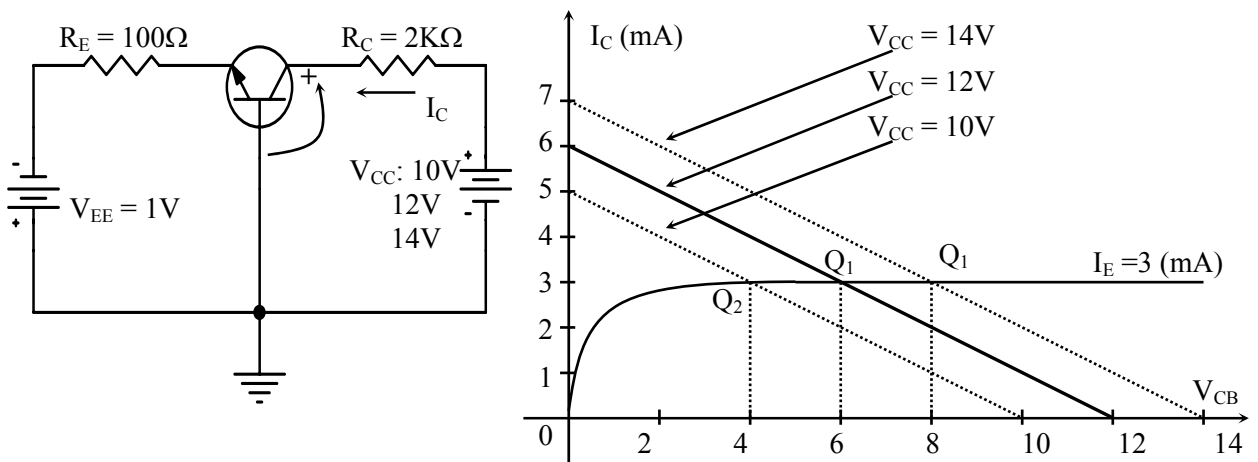
Hình 23

Như vậy, khi giữ các nguồn phân cực V_{CC} , V_{EE} và R_E cố định, thay đổi R_C , điểm điều hành Q sẽ chạy trên đặc tuyến tương ứng với $I_E = 3 \text{ mA}$. Khi R_C tăng thì V_{CB} giảm và ngược lại.

2. Ảnh hưởng của nguồn phân cực nối thu nền V_{CC} .

Nếu giữ I_E là hằng số (tức V_{EE} và R_E là hằng số), R_C là hằng số, thay đổi nguồn V_{CC} , ta thấy: Khi V_{CC} tăng thì V_{CB} tăng, khi V_{CC} giảm thì V_{CB} giảm.

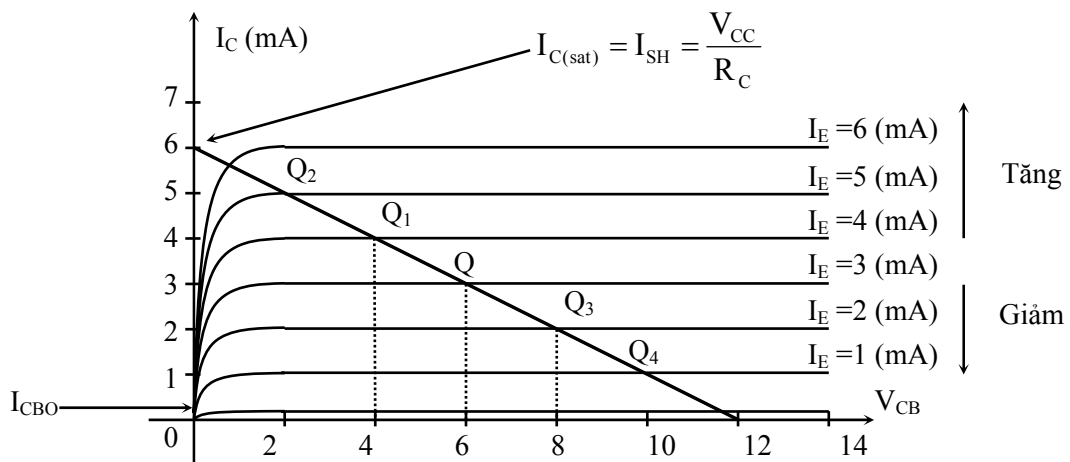
Thí dụ:



Hình 24

3. Ảnh hưởng của I_E lên điểm điều hành:

Nếu ta giữ R_C và V_{CC} cố định, thay đổi I_E (tức thay đổi R_E hoặc V_{EE}) ta thấy: khi I_E tăng thì V_{CB} giảm (tức I_C tăng), khi I_C giảm thì V_{CB} tăng (tức I_C giảm).



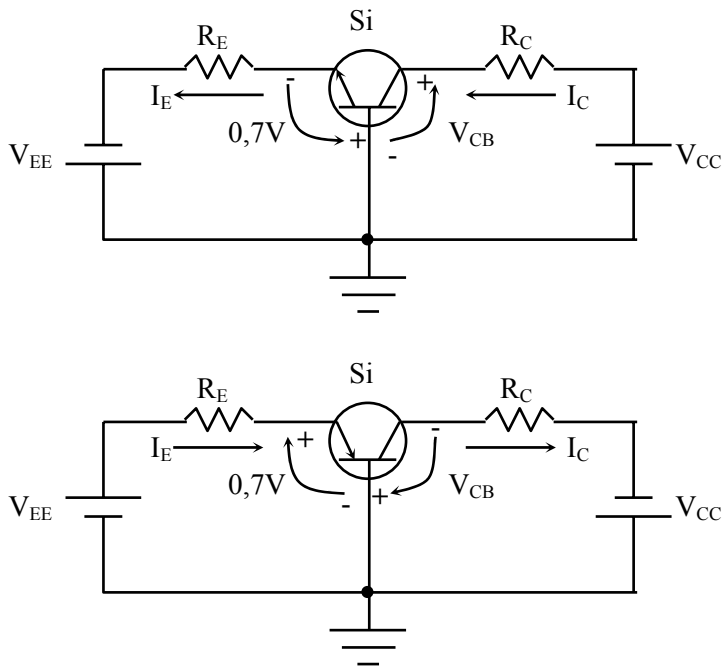
Hình 25

Khi I_E tăng thì I_C tăng theo và tiến dần đến trị I_{SH} . Transistor dần dần đi vào vùng bão hoà. Dòng tối đa của I_C , tức dòng bão hoà gọi là $I_C(sat)$. Như vậy:

$$I_C(sat) = I_{SH} = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

Lúc này, V_{CB} giảm rất nhỏ và xấp xỉ bằng 0V (thật sự là 0,2V).

Khi I_E giảm thì I_C giảm theo. Transistor đi dần vào vùng ngưng, V_{CB} lúc đó gọi là $V_{CB(off)}$ và $I_C = I_{CBO}$.



Hình 27

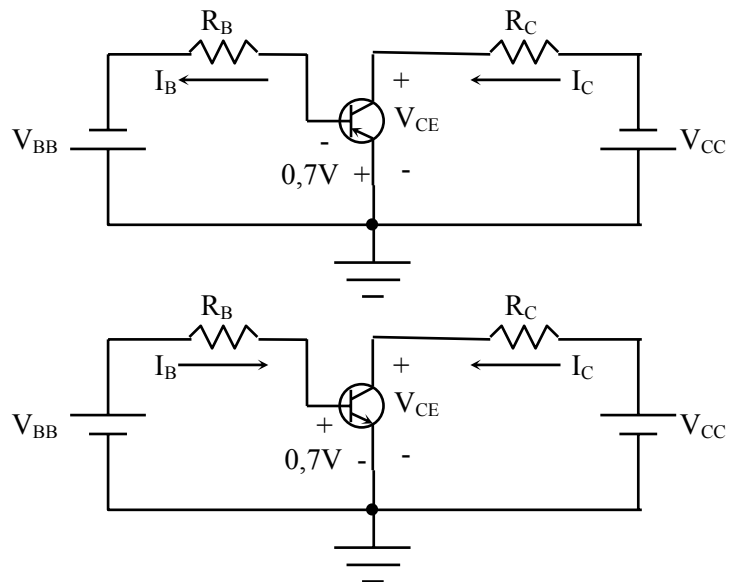
Ta dùng 3 bước:

Mạch nền phát (ngõ vào): $I_E = \frac{V_{EE} - 0,7}{R_E}$; $I_C \approx \alpha_{DC} \cdot I_E$

Áp dụng định luật kirchoff (ngõ ra), ta có:

- Với transistor NPN: $V_{CB} = V_{CC} - R_C \cdot I_C$; $V_{CB} > 0$
- Với transistor PNP: $V_{CB} = -V_{CC} + R_C \cdot I_C$; $V_{CB} < 0$

Thí dụ 2: Tính dòng điện I_B , I_C và điện thế V_{CE} của mạch cực phát chung.



Hình 28

Mạch nền phát (ngõ vào): $I_B = \frac{V_{BB} - 0,7}{R_B}$

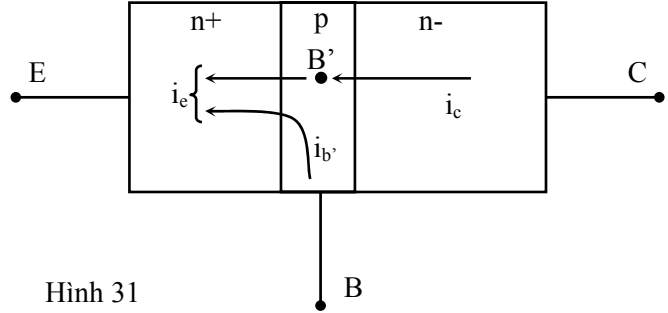
Dòng $I_C = \beta_{DC} \cdot I_B$

Mạch thu phát (ngõ ra)

$$v_{BE}(t) = V_{BE} + v_{be}(t)$$

Thành phần tức thời = thành phần DC + thành phần xoay chiều.

Trong mô hình các dòng điện chạy trong transistor ta thấy: điểm B' nằm trong vùng nền được xem như trung tâm giao lưu của các dòng điện. Do nối nền phát phân cực thuận nên giữa B' và E cũng có một điện trở động r_e giống như điện trở động r_d trong nối P-N khi phân cực thuận nên: $r_e = \frac{26mV}{I_E}$



Hình 31

Ngoài ra, ta cũng có điện trở r_b của vùng bán dẫn nền phát (ở đây, ta có thể coi như đây là điện trở giữa B và B'). Do giữa B' và C phân cực nghịch nên có một điện trở r_0 rất lớn. Tuy nhiên, vẫn có dòng điện $i_c = \alpha \cdot i_e = \beta i_b$ chạy qua và được coi như mắc song song với r_0 .

* α là độ lợi dòng điện xoay chiều trong cách mắc nền chung:

$$\alpha = \alpha_{ac} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} = \frac{di_C}{di_E} = \frac{i_c}{i_e}$$

Thông thường α hoặc α_{ac} gần bằng α_{DC} và xấp xỉ bằng đơn vị.

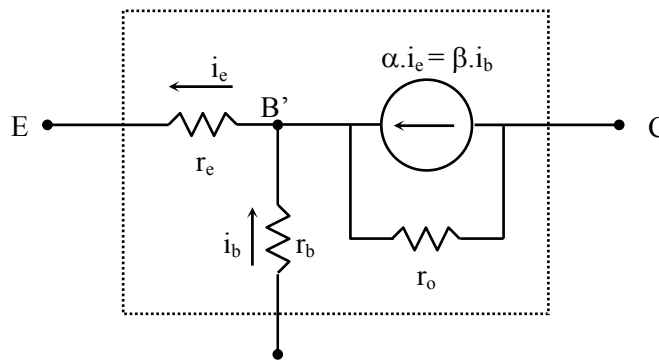
* β là độ lợi dòng điện xoay chiều trong cách mắc cực phát chung.

$$\beta = \beta_{ac} = h_{fe} = \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} = \frac{di_C}{di_B} = \frac{i_c}{i_b}$$

Thông thường β hoặc β_{ac} gần bằng β_{DC} và cũng thay đổi theo dòng i_c .

Trị số α , β cũng được nhà sản xuất cung cấp.

Như vậy, mô hình của transistor đối với tín hiệu xoay chiều có thể được mô tả như sau:



r_b thường có trị số khoảng vài chục Ω , r_0 rất lớn nên có thể bỏ qua trong mô hình của transistor.

Vì $i_e = (\beta + 1)i_b$ nên mạch trên có thể vẽ lại như hình phía dưới bằng cách coi như dòng i_e chạy trong mạch và phải thay r_b bằng $\frac{r_b}{\beta + 1}$.

Vậy:
$$R_{in} = \frac{V_{be}}{i_e} = \frac{r_b}{\beta + 1} + r_e = \frac{r_b + (\beta + 1)r_e}{\beta + 1}$$

Đặt:
$$h_{ie} = r_b + (\beta + 1)r_e$$

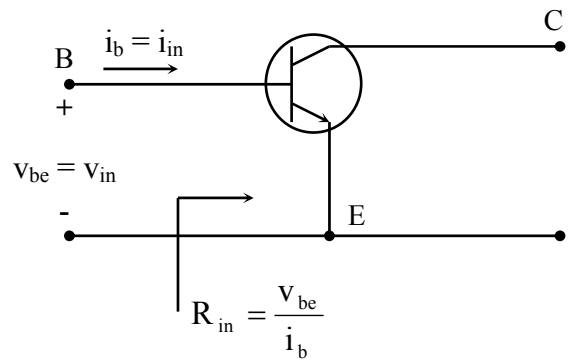
Suy ra:
$$R_{in} = \frac{h_{ie}}{\beta + 1}$$

Do $\beta \gg 1$, r_b nhỏ nên $\frac{r_b}{\beta + 1} \ll r_e$ nên người ta thường coi như:

$$R_{in} = r_e + \frac{r_b}{\beta + 1} \approx r_e$$

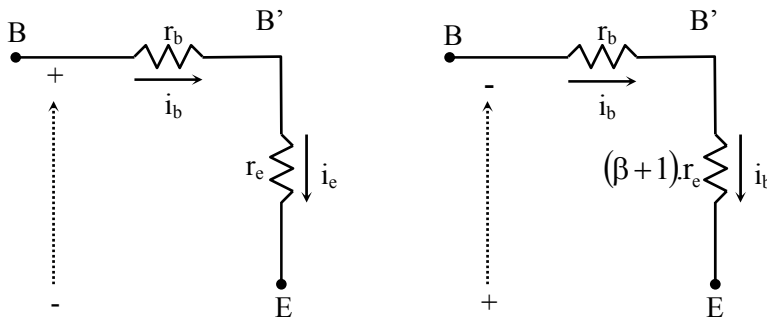
Tổng trở vào nhìn từ cực nền B:

Xem mô hình định nghĩa sau (hình 37):



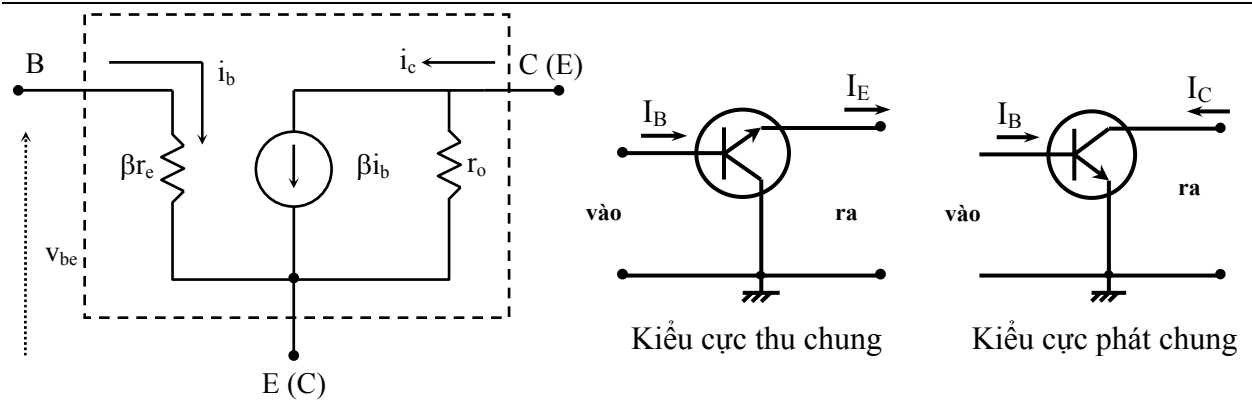
Hình 37

Mạch tương đương ngõ vào:



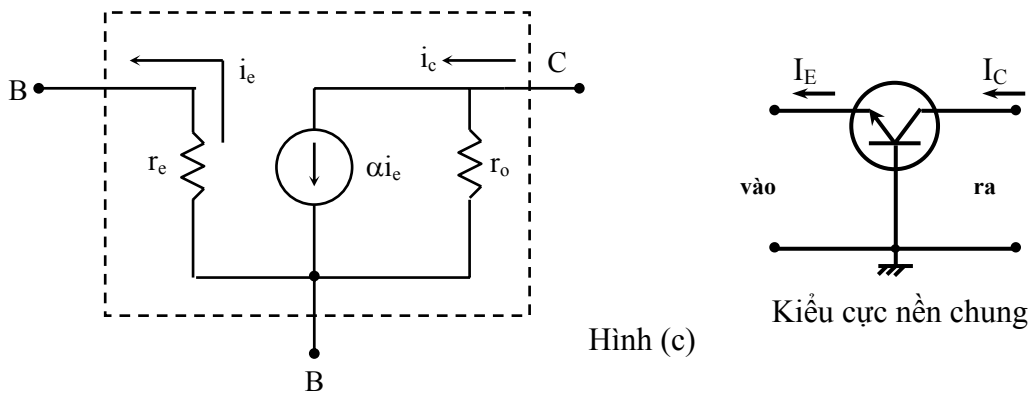
Hình 38

Do $i_e = (\beta + 1)i_b$ nên mạch hình (a) có thể được vẽ lại như mạch hình (b).



Hình 40(b)

- Kiểu cực nền chung



Hình (c)

Thường người ta có thể bỏ r_o trong mạch tương đương khi R_C quá lớn.

Kiểu thông số h: (h-parameter)

Nếu ta coi v_{be} và i_c là một hàm số của i_B và v_{CE} , ta có:

$$v_{BE} = f(i_B, v_{CE}) \text{ và } i_C = f(i_B, v_{CE})$$

Lấy đạo hàm:

$$v_{be} = dv_{BE} = \frac{\delta v_{BE}}{\delta i_B} di_B + \frac{\delta v_{BE}}{\delta v_{CE}} dv_{CE}$$

$$i_c = di_C = \frac{\delta i_C}{\delta i_B} di_B + \frac{\delta i_C}{\delta v_{CE}} dv_{CE}$$

Trong kiểu mẫu thông số h, người ta đặt:

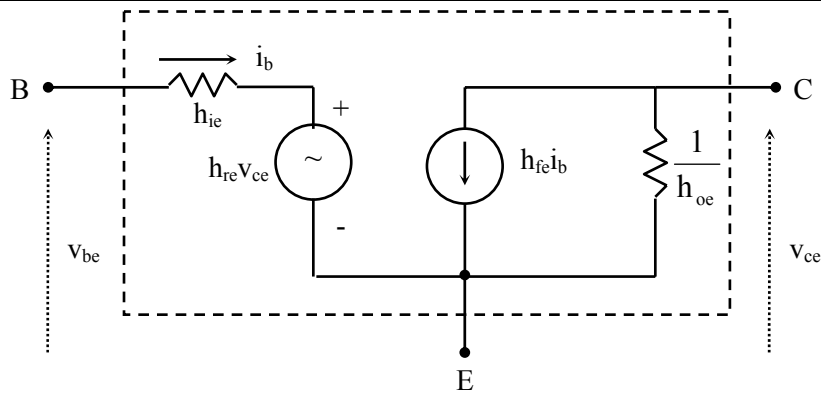
$$h_{ie} = \frac{\delta v_{BE}}{\delta i_B}; \quad h_{re} = \frac{\delta v_{BE}}{\delta v_{CE}}; \quad h_{fe} = \beta = \frac{\delta i_C}{\delta i_B}; \quad h_{oe} = \frac{\delta i_C}{\delta v_{CE}}$$

Vậy, ta có:

$$v_{be} = h_{ie} \cdot i_b + h_{re} \cdot v_{ce}$$

$$i_c = h_{fe} \cdot i_b + h_{oe} \cdot v_{ce}$$

Từ hai phương trình này, ta có mạch điện tương đương theo kiểu thông số h:



Hình 41

h_{re} thường rất nhỏ (ở hàng 10^{-4}), vì vậy, trong mạch tương đương người ta thường bỏ $h_{re} \cdot V_{ce}$.

So sánh với kiểu hỗn tạp, ta thấy rằng:

$$h_{ie} = r_b + (\beta + 1)r_e = r_b + r_\pi$$

Do $r_b \ll r_\pi$ nên $h_{ie} = r_\pi$

Nếu bỏ qua h_{re} , ta thấy:

$$i_b = \frac{V_{be}}{h_{ie}} \quad \text{Vậy: } h_{fe} i_b = h_{fe} \cdot \frac{V_{be}}{h_{ie}}$$

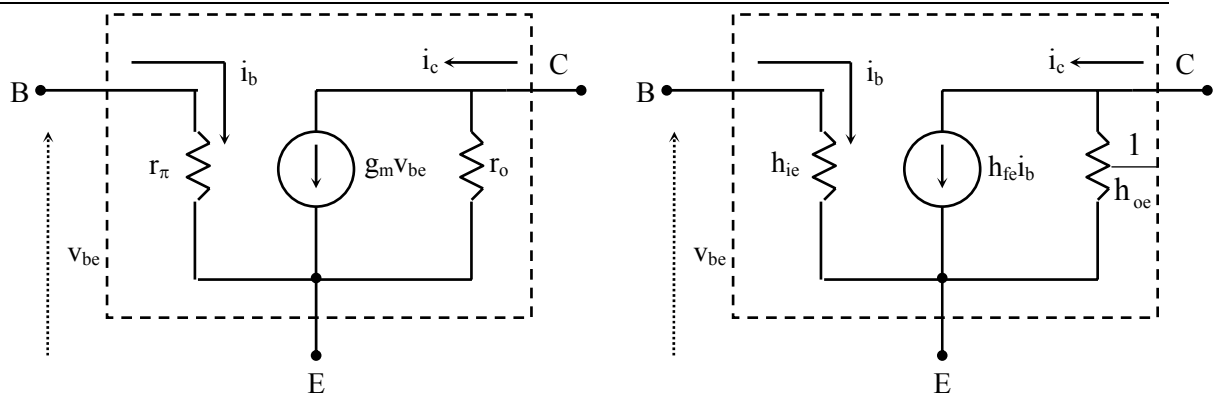
$$\text{Do đó, } g_m v_{be} = h_{fe} i_b = h_{fe} \frac{v_{be}}{h_{ie}};$$

$$\text{Hay } g_m = \frac{h_{fe}}{h_{ie}}$$

$$\text{Ngoài ra, } r_0 = \frac{1}{h_{oe}}$$

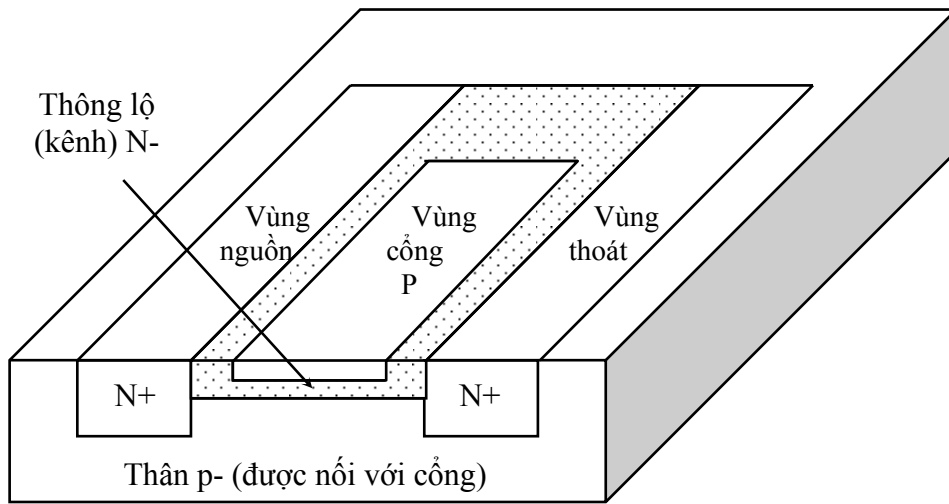
Các thông số h do nhà sản xuất cho biết.

Trong thực hành, r_0 hay $\frac{1}{h_{oe}}$ mắc song song với tải. Nếu tải không lớn lắm (khoảng vài chục $K\Omega$ trở lại), trong mạch tương đương, người ta có thể bỏ qua r_0 (khoảng vài trăm $K\Omega$).



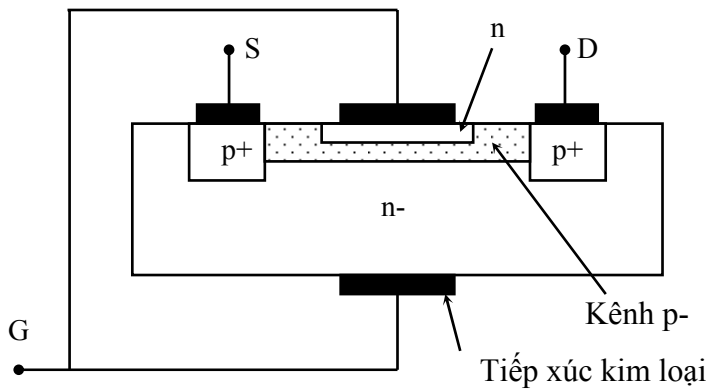
Hình 42

Mạch tương đương đơn giản: (có thể bỏ r_o hoặc $\frac{1}{h_{oe}}$)

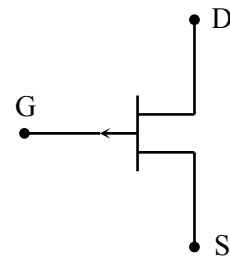


Hình 1

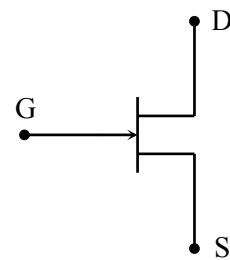
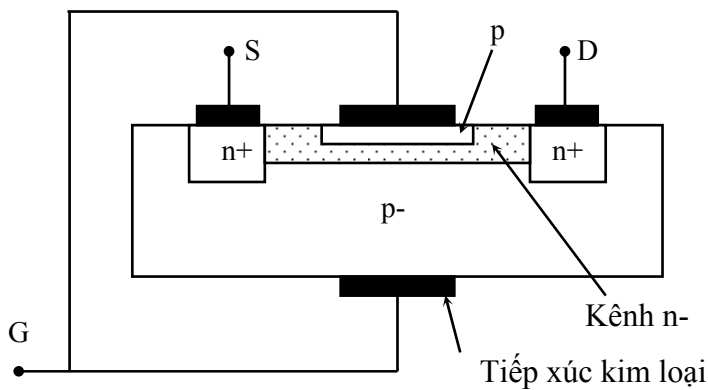
JFET Kênh P



Ký hiệu



JFET Kênh N



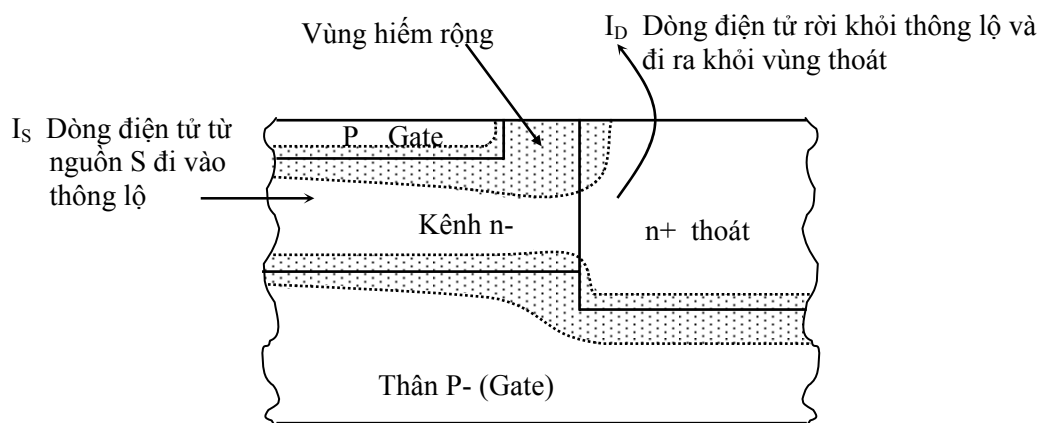
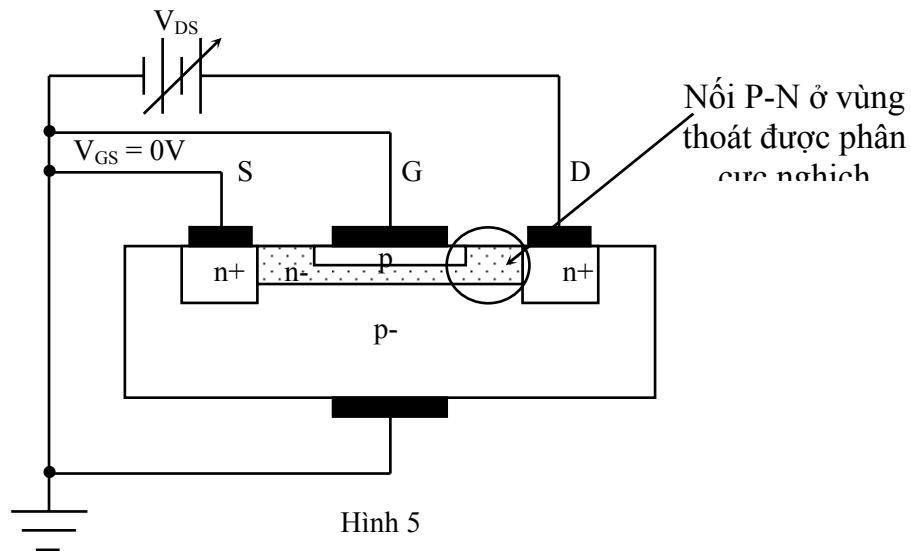
S (Source): cực nguồn
 D (Drain): cực thoát
 G (Gate): cực cổng

Hình 2

Nếu so sánh với BJT, ta thấy: cực thoát D tương đương với cực thu C, cực nguồn S tương đương với cực phát E và cực cổng G tương đương với cực nền B.

Bây giờ, nếu ta mắc cực nguồn S và cực cổng G xuống mass, nghĩa là điện thế $V_{GS}=0V$. Điều chỉnh điện thế V_{DS} giữa cực thoát và cực nguồn, chúng ta sẽ khảo sát dòng điện qua JFET khi điện thế V_{DS} thay đổi.

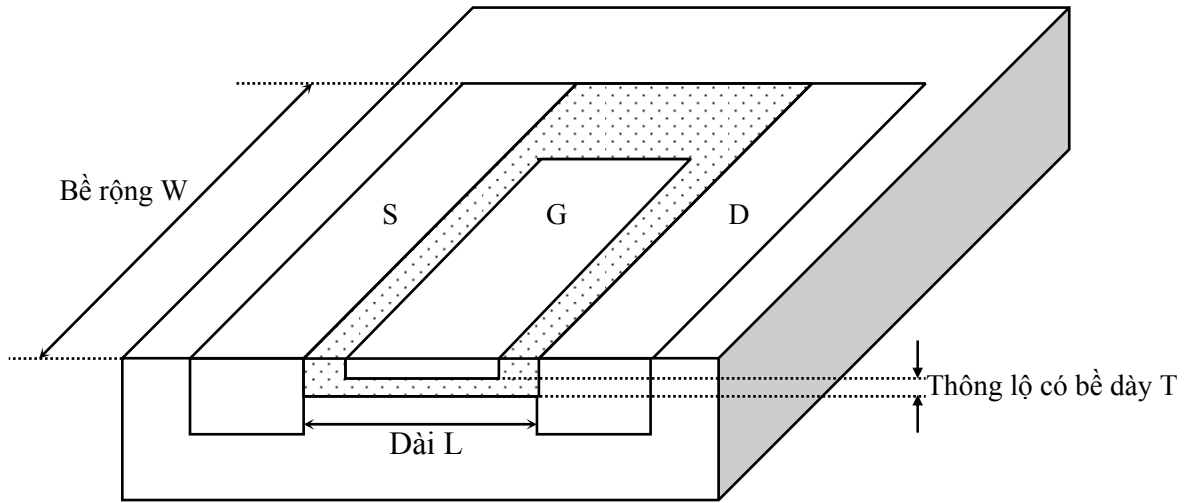
Vì vùng thoát n+ nối với cực dương và vùng cổng G nối với cực âm của nguồn điện V_{DS} nên nối PN ở vùng thoát được phân cực nghịch, do đó vùng hiếm ở đây rộng ra (xem hình vẽ)



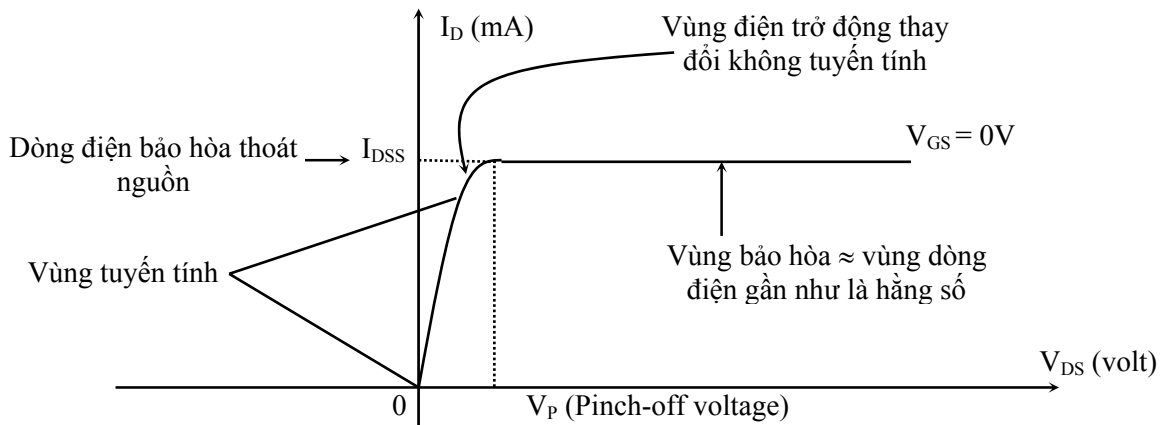
Khi V_{DS} còn nhỏ, dòng điện tử từ cực âm của nguồn điện đến vùng nguồn (tạo ra dòng I_S), đi qua thông lộ và trở về cực dương của nguồn điện (tạo ra dòng điện thoát I_D).

Nếu thông lộ có chiều dài L , rộng W và dày T thì điện trở của nó là:

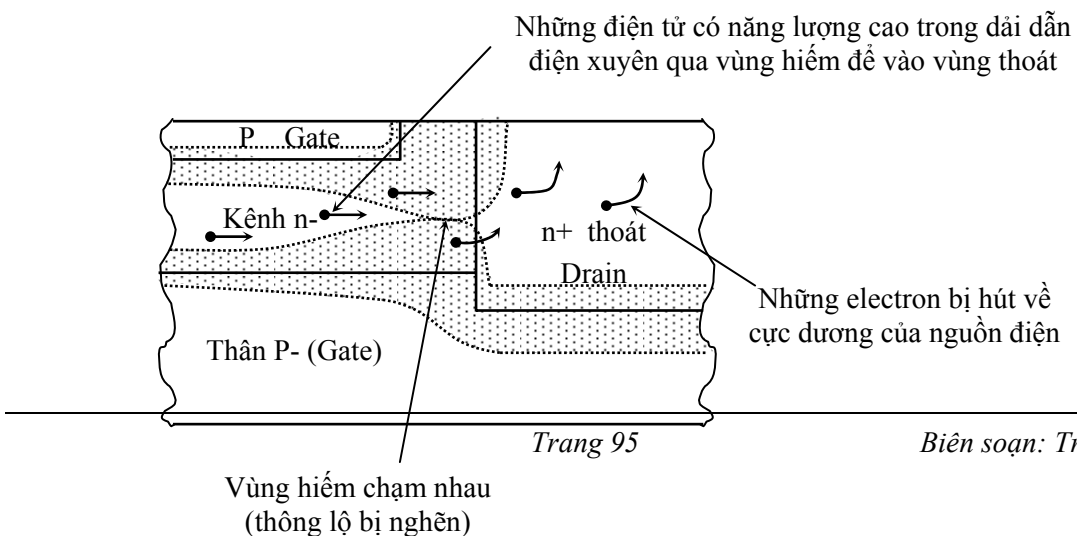
$R = \rho \cdot \frac{L}{WT}$; Trong đó, ρ là điện trở suất của thông lộ. Điện trở suất là hàm số theo nồng độ chất pha.



Hình 7



Hình 8

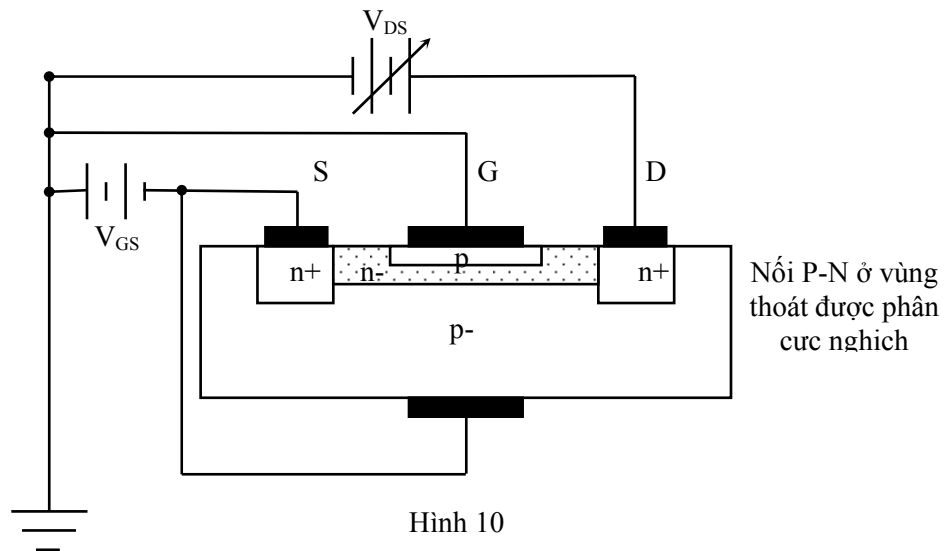


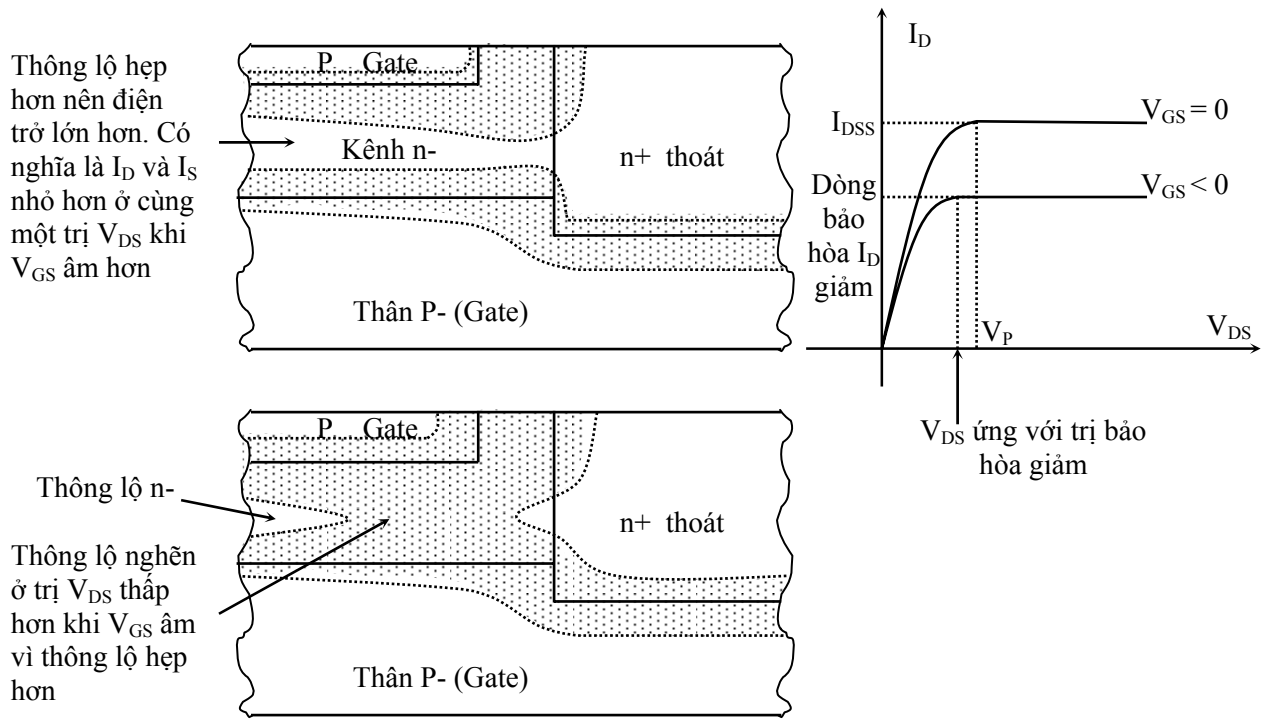
Khi V_{DS} còn nhỏ (vài volt), điện trở R của thông lộ gần như không thay đổi nên dòng I_D tăng tuyến tính theo V_{DS} . Khi V_{DS} đủ lớn, đặc tuyến không còn tuyến tính nữa do R bắt đầu tăng vì thông lộ hẹp dần. Nếu ta tiếp tục tăng V_{DS} đến một trị số nào đó thì hai vùng hiếm chạm nhau, ta nói thông lộ bị nghẽn (pinched off).

Trị số V_{DS} để thông lộ bắt đầu bị nghẽn được gọi là điện thế nghẽn V_P (pinched off voltage). Ở trị số này, chỉ có các điện tử có năng lượng cao trong dải dẫn điện mới có đủ sức xuyên qua vùng hiếm để vào vùng thoát và bị hút về cực dương của nguồn điện V_{DS} tạo ra dòng điện thoát I_D .

Nếu ta cứ tiếp tục tăng V_{DS} , dòng điện I_D gần như không thay đổi và được gọi là dòng điện bão hoà thoát - nguồn I_{DSS} (chú ý: ký hiệu I_{DSS} khi $V_{GS}=0V$).

Bây giờ, nếu ta phân cực cổng-nguồn bằng một nguồn điện thế âm V_{GS} (phân cực nghịch), ta thấy vùng hiếm rộng ra và thông lộ hẹp hơn trong trường hợp $V_{GS}=0V$. Do đó điện trở của thông lộ cũng lớn hơn.

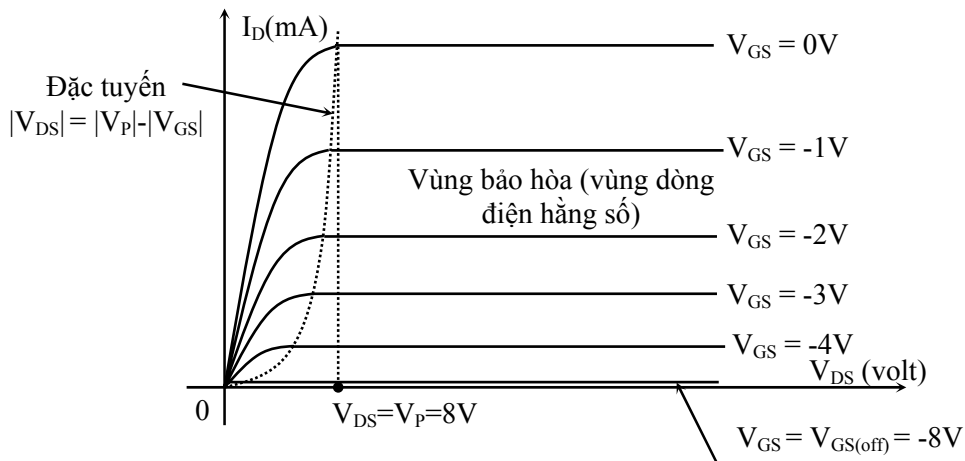




Hình 11

Khi V_{DS} còn nhỏ, I_D cũng tăng tuyến tính theo V_{DS} , nhưng khi V_{DS} lớn, thông lộ bị nghẽn nhanh hơn, nghĩa là trị số V_{DS} để thông lộ nghẽn nhỏ hơn trong trường hợp $V_{GS}=0V$ và do đó, dòng điện bảo hoà I_D cũng nhỏ hơn I_{DSS} .

Chùm đặc tuyến $I_D=f(V_{DS})$ với V_{GS} là thông số được gọi là đặc tuyến ra của JFET mắc theo kiểu cực nguồn chung.



Hình 12

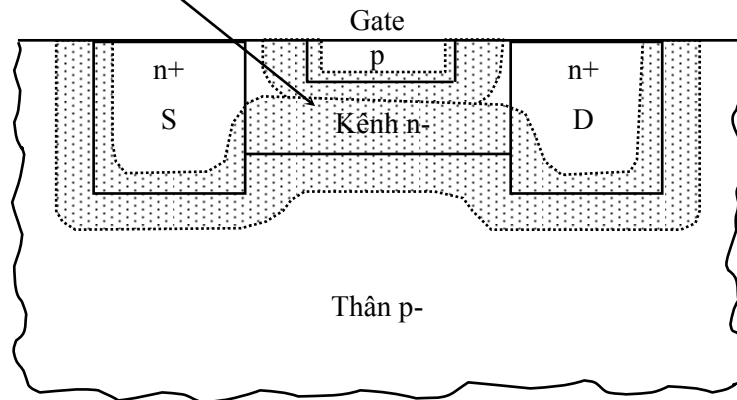
Khi V_{GS} càng âm, dòng I_D bảo hoà càng nhỏ. Khi V_{GS} âm đến một trị nào đó, vùng hiểm chiếm gần như toàn bộ thông lộ và các điện tử không còn đủ năng lượng để vượt qua được và khi đó $I_D = 0$. Trị số của V_{GS} lúc đó gọi là $V_{GS(off)}$. Người ta chứng minh được trị số này bằng với điện thế nghẽn.

$$|V_{GS(off)}| = |V_P|$$

Vì V_P chính là hiệu thế phân cực ngược các nối P-N vừa đủ để cho các vùng hiếm chạm nhau. Vì vậy, trong vùng bảo hoà ta có:

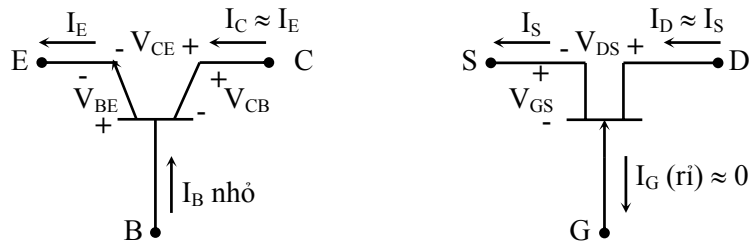
$$|V_{DS}| + |V_{GS}| = |V_P|$$

Vì nối công nguồn được phân cực nghịch, dòng điện I_G chính là dòng điện rỉ ngược nên rất nhỏ, do đó dòng điện chạy vào cực thoát D được xem như bằng dòng điện ra khỏi cực nguồn S. $I_D \approx I_S$. Không có hạt tải điện di chuyển qua thông lộ ($I_D = I_S = 0$)



Hình 13

So sánh với BJT, ta thấy:



Hình 14

Thí dụ: một JFET kênh N có $I_{DSS}=20mA$ và $V_{GS(off)}=-10V$.

Tính I_S khi $V_{GS}=0V$? Tính V_{DS} bảo hoà khi $V_{GS} = -2V$.

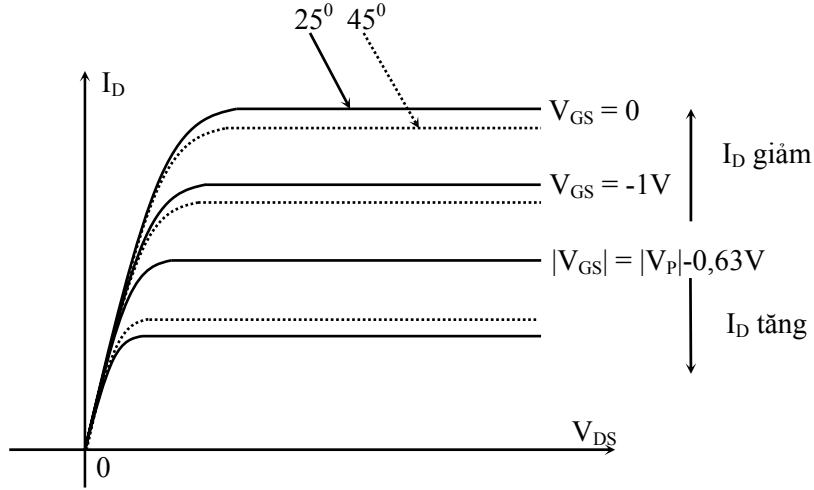
Giải:

Khi $V_{GS}=0V \Rightarrow I_D=I_{DSS}=20mA$ và $I_D=I_S=20mA$

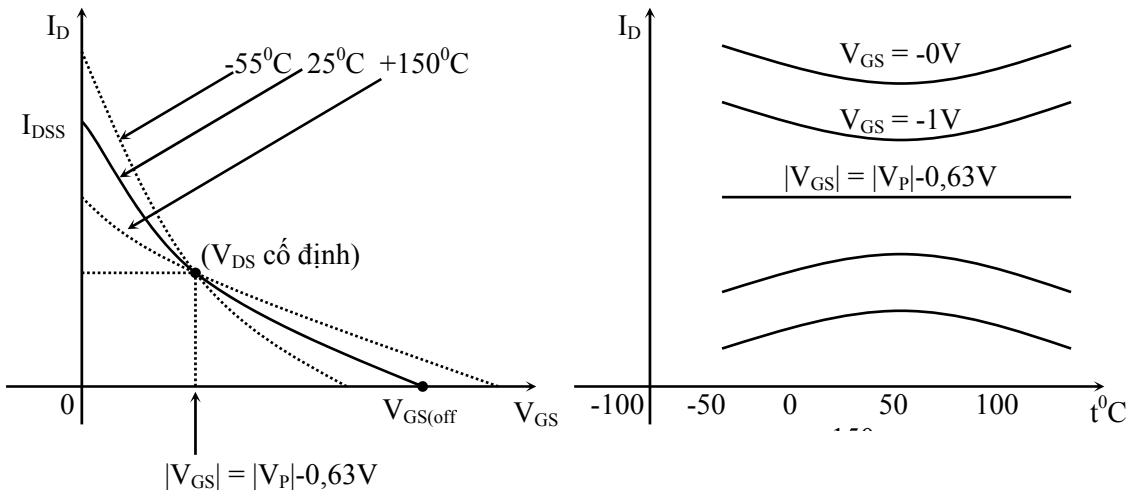
Ta có: $|V_P| = |V_{GS(off)}| = 10V$ và $|V_{DS}| = |V_P| - |V_{GS}| = 10 - 2 = 8V$

$|V_{GS}| = |V_P| - 0,63V$ với V_P là điện thế ngên ở nhiệt độ bình thường.

Các hình vẽ sau đây mô tả ảnh hưởng của nhiệt độ trên các đặc tuyến ra, đặc tuyến truyền và đặc tuyến của dòng I_D theo nhiệt độ khi V_{GS} làm thông số.

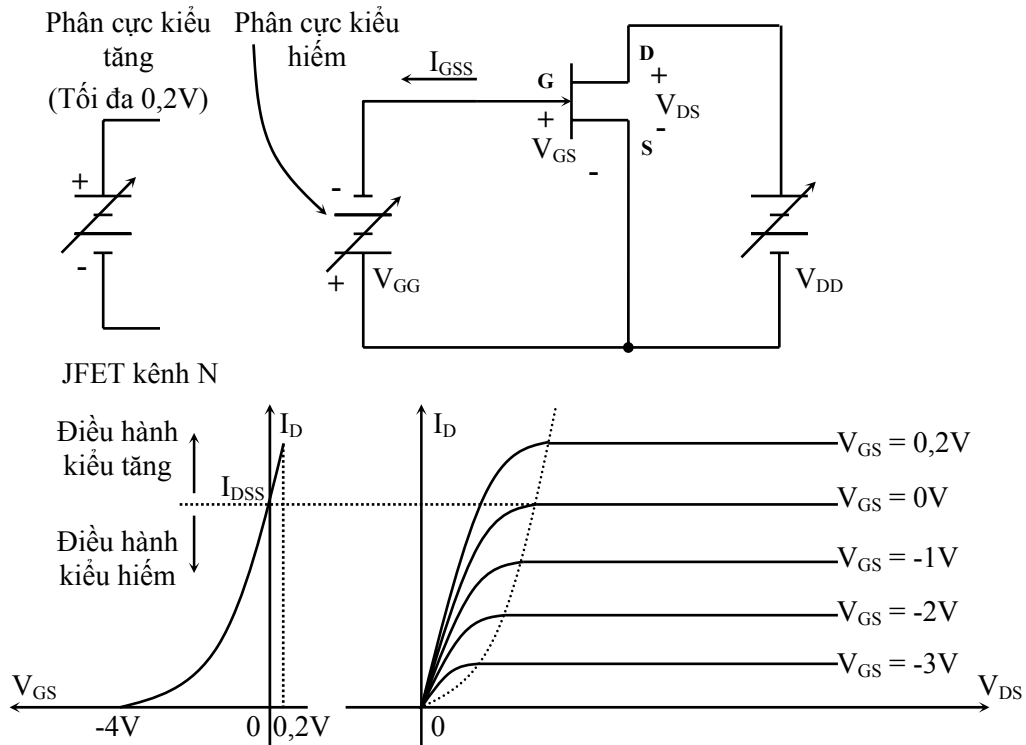


Hình 18

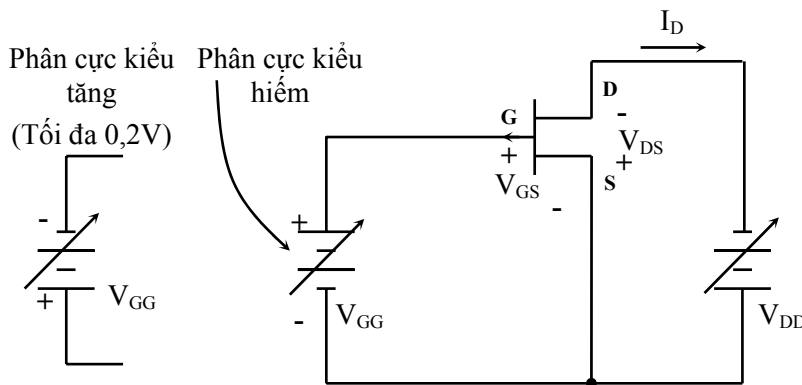


Hình 19

Ngoài ra, một tác dụng thứ ba của nhiệt độ lên JFET là làm phát sinh các hạt tải điện trong vùng hiếm giữa thông lộ-cổng và tạo ra một dòng điện rỉ cực cổng I_{GSS} (gate leakage current). Dòng I_{GSS} được nhà sản xuất cho biết. dòng rỉ I_{GSS} chính là dòng điện phân cực nghịch nối P-N giữa cực cổng và cực nguồn. Dòng điện này là dòng điện rỉ cổng-nguồn khi nối tắt cực nguồn với cực thoát. Dòng I_{GSS} tăng gấp đôi khi nhiệt độ tăng lên $10^{\circ}C$.



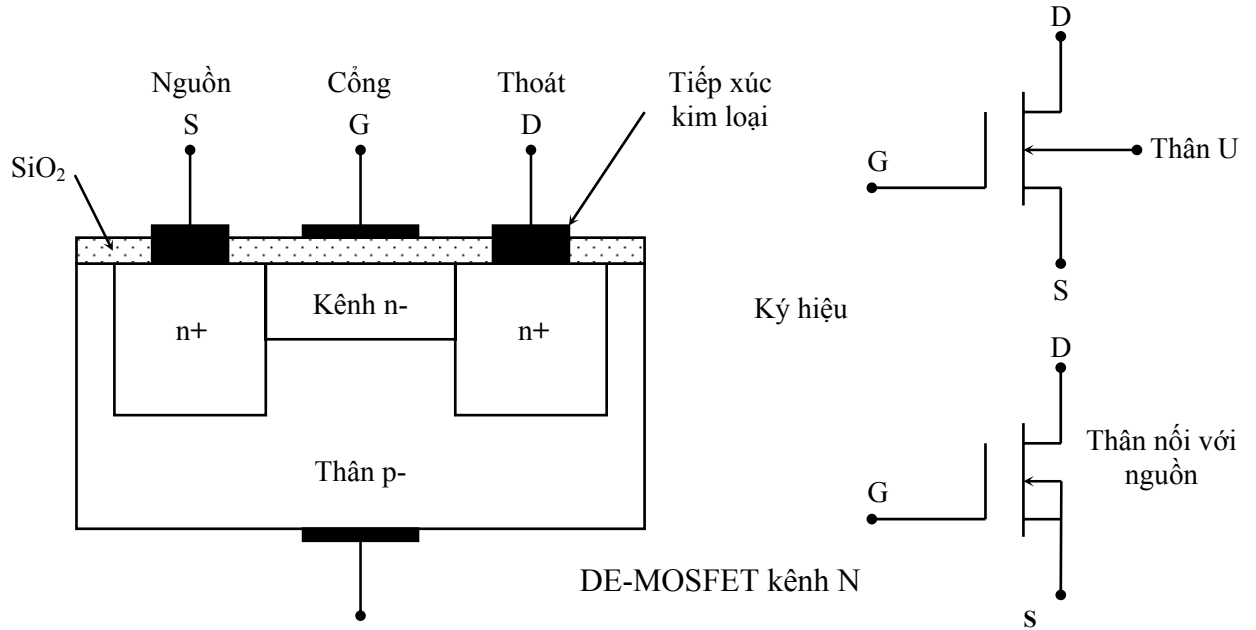
Hình 21



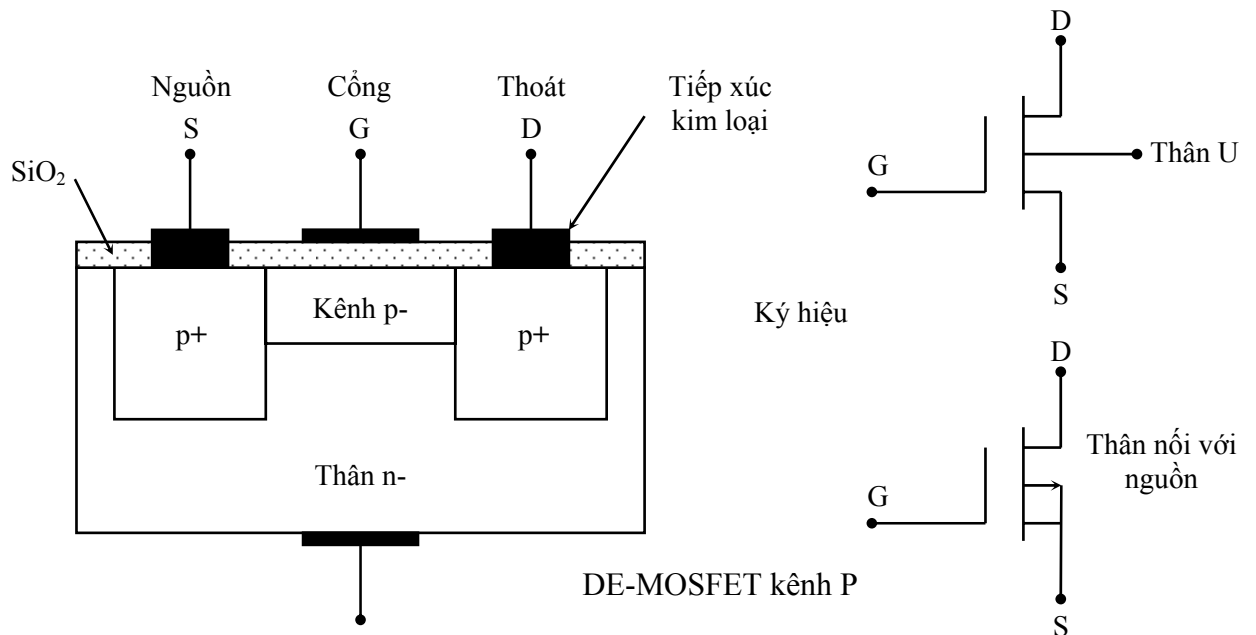
Hình 22

Tuy JFET có tổng trở vào khá lớn nhưng cũng còn khá nhỏ so với đèn chân không. Để tăng tổng trở vào, người ta đã tạo một loại transistor trường khác sao cho cực cổng cách điện hẳn cực nguồn. Lớp cách điện là Oxyt bán dẫn SiO_2 nên transistor được gọi là MOSFET.

Ta phân biệt hai loại MOSFET: MOSFET loại hiếm và MOSFET loại tăng.
 Hình sau đây mô tả cấu tạo căn bản MOSFET loại hiếm (DE - MOSFET) kênh N và kênh P.



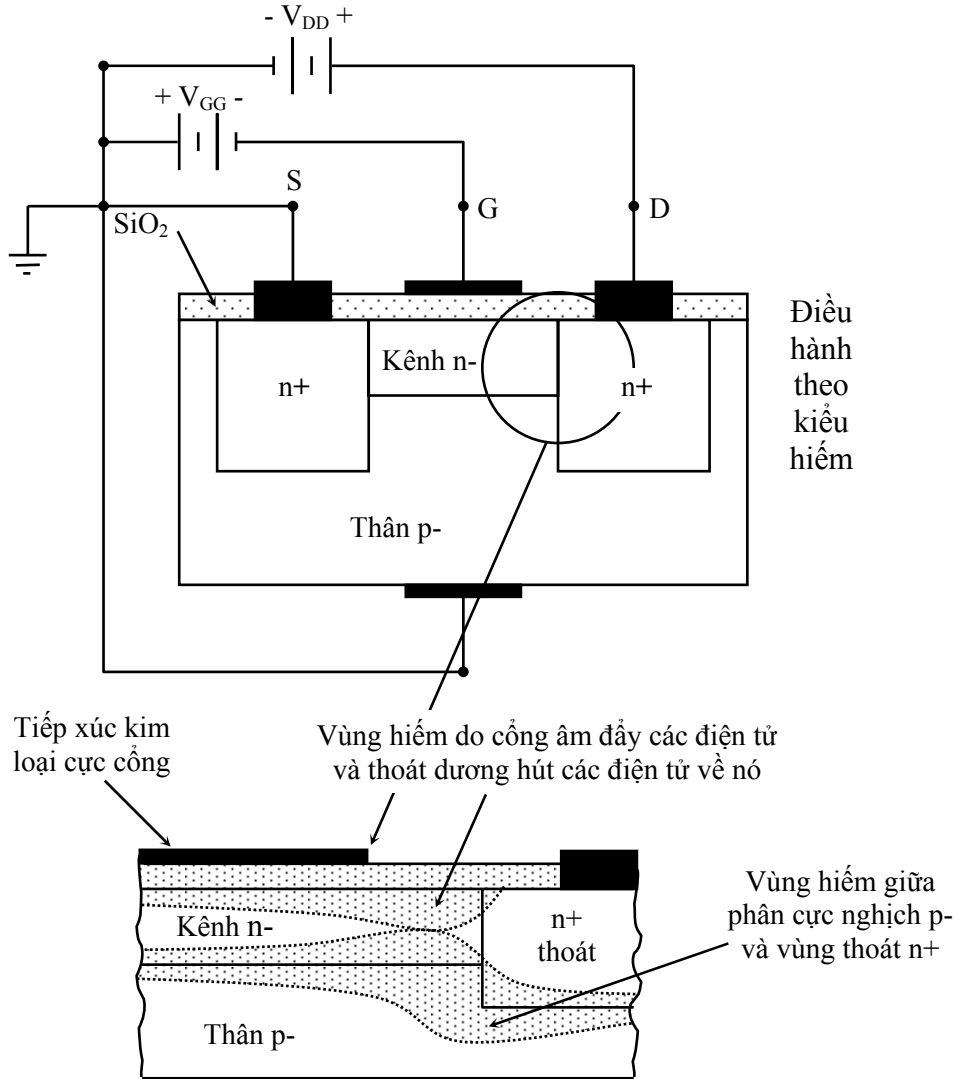
Hình 23



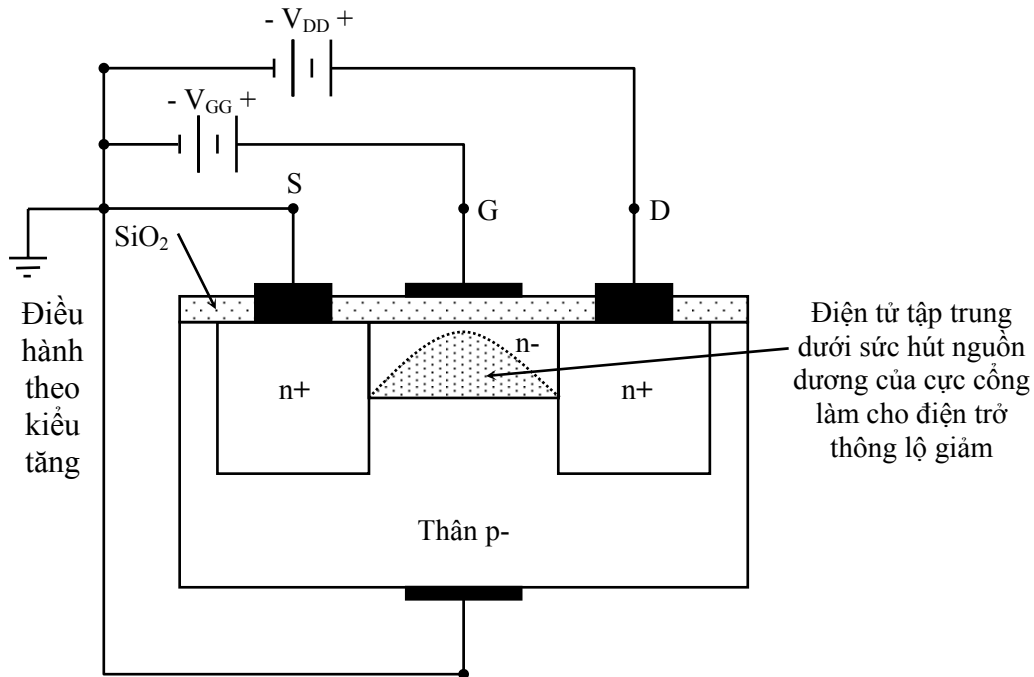
Hình 24

Chú ý rằng DE - MOSFET có 4 cực: cực thoát D, cực nguồn S, cực cổng G và thân U (substrate). Trong các ứng dụng thông thường, thân U được nối với nguồn S.

Để DE-MOSFET hoạt động, người ta áp một nguồn điện V_{DD} vào cực thoát và cực nguồn (cực dương của nguồn điện nối với cực thoát D và cực âm nối với cực nguồn S trong DE-MOSFET kênh N và ngược lại trong DE-MOSFET kênh P). Điện thế V_{GS} giữa cực cổng và cực nguồn có thể âm (DE-MOSFET kênh N điều hành theo kiểu hiếm) hoặc dương (DE-MOSFET kênh N điều hành theo kiểu tăng)



Hình 25



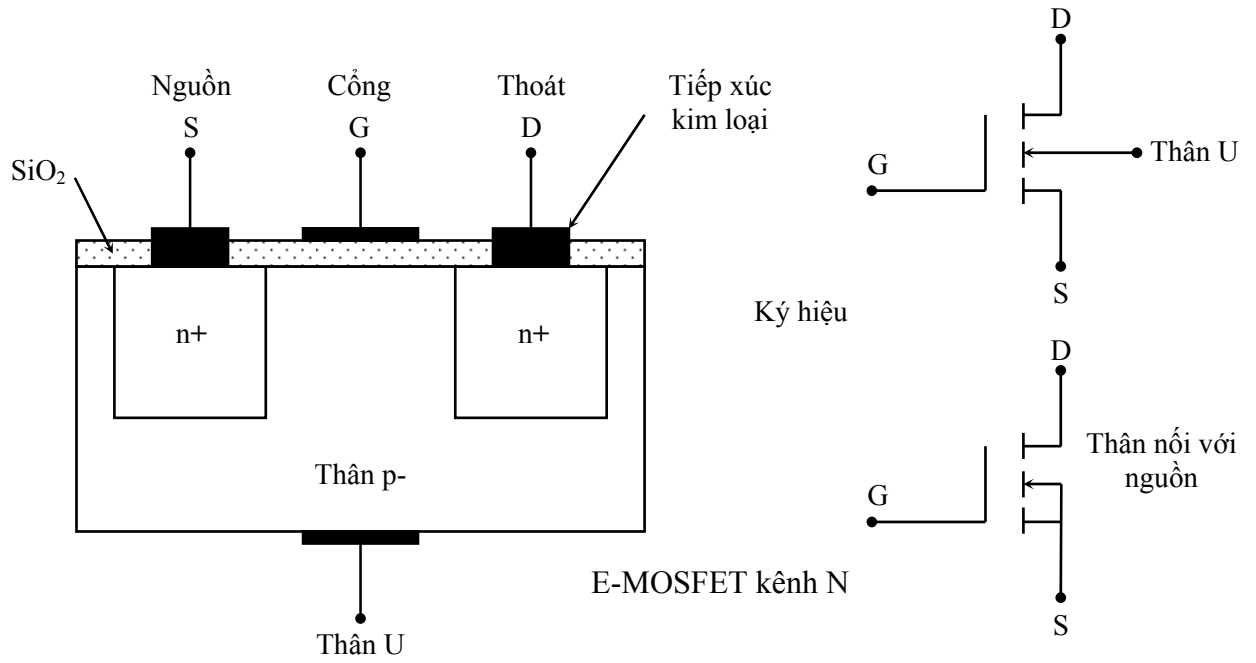
Hình 26

Khi $V_{GS} = 0V$ (cực cổng nối thẳng với cực nguồn), điện tử di chuyển giữa cực âm của nguồn điện V_{DD} qua kênh n- đến vùng thoát (cực dương của nguồn điện V_{DD}) tạo ra dòng điện thoát I_D . Khi điện thế V_{DS} càng lớn thì điện tích âm ở cổng G càng nhiều (do cổng G cùng điện thế với nguồn S) càng đẩy các điện tử trong kênh n- ra xa làm cho vùng hiếm rộng thêm. Khi vùng hiếm vừa chắn ngang kênh thì kênh bị nghẽn và dòng điện thoát I_D đạt đến trị số bảo hoà I_{DSS} .

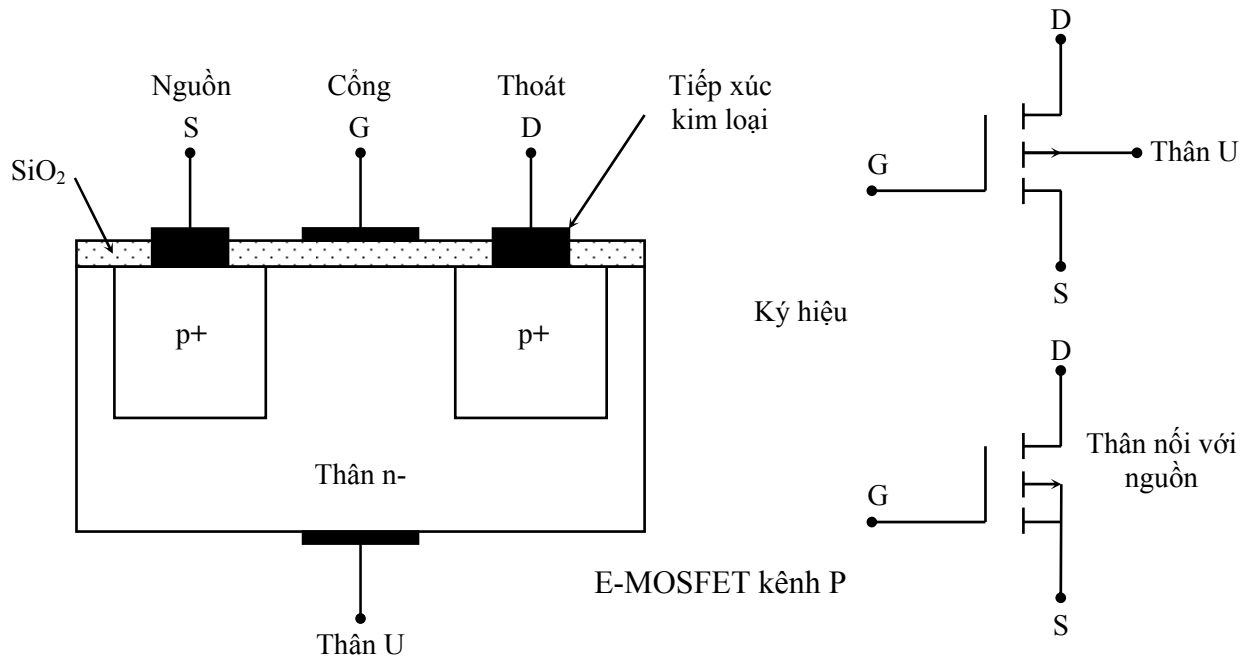
Khi V_{GS} càng âm, sự nghẽn xảy ra càng sớm và dòng điện bảo hoà I_D càng nhỏ.

Khi V_{GS} dương (điều hành theo kiểu tăng), điện tích dương của cực cổng hút các điện tử về mặt tiếp xúc càng nhiều, vùng hiếm hẹp lại tức thông lộ rộng ra, điện trở thông lộ giảm nhỏ. Điều này làm cho dòng thoát I_D lớn hơn trong trường hợp $V_{GS} = 0V$.

Vì cực cổng cách điện hẳn khỏi cực nguồn nên tổng trở vào của DE-MOSFET lớn hơn JFET nhiều. Cũng vì thế, khi điều hành theo kiểu tăng, nguồn V_{GS} có thể lớn hơn 0,2V. Thế nhưng ta phải có giới hạn của dòng I_D gọi là $I_{D_{MAX}}$. Đặc tuyến truyền và đặc tuyến ngõ ra như sau:

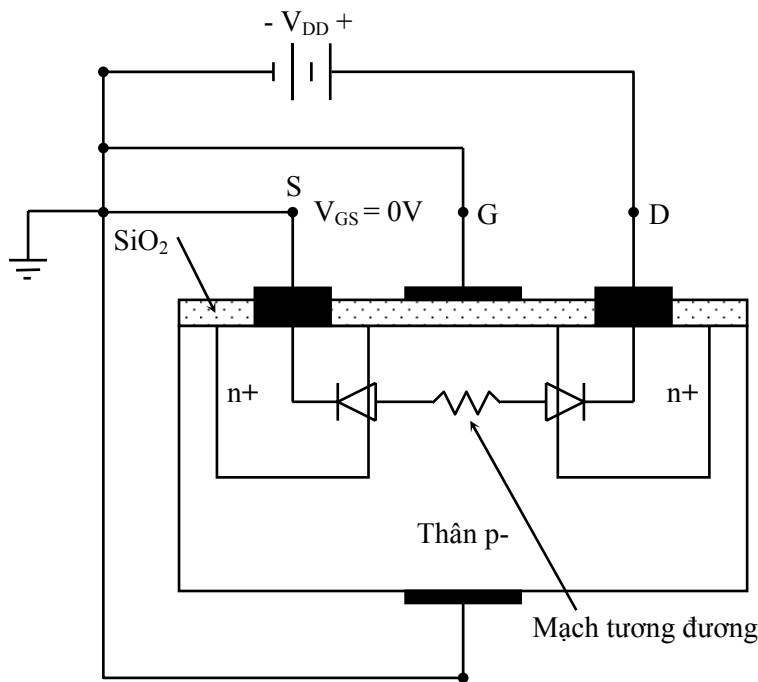


Hình 29



Hình 30

Khi $V_{GS} < 0V$, (ở E-MOSFET kênh N), do không có thông lộ nối liền giữa hai vùng thoát nguồn nên mặc dù có nguồn điện thế V_{DD} áp vào hai cực thoát và nguồn, điện tử cũng không thể di chuyển nên không có dòng thoát I_D ($I_D \neq 0V$). Lúc này, chỉ có một dòng điện rỉ rất nhỏ chạy qua.



Hình 31

Khi $V_{GS} > 0$, một điện trường được tạo ra ở vùng cổng. Do cổng mang điện tích dương nên hút các điện tử trong nền p- (là hạt tải điện thiểu số) đến tập trung ở mặt đối diện của vùng cổng. Khi V_{GS} đủ lớn, lực hút mạnh, các điện tử đến tập trung nhiều và tạo thành một thông lộ tạm thời nối liền hai vùng nguồn S và thoát D. Điện thế V_{GS} mà từ đó dòng điện thoát I_D bắt đầu tăng được gọi là điện thế thêm cổng - nguồn (gate-to-source threshold voltage) $V_{GS(th)}$. Khi V_{GS} tăng lớn hơn $V_{GS(th)}$, dòng điện thoát I_D tiếp tục tăng nhanh.

Người ta chứng minh được rằng:

$$I_D = K[V_{GS} - V_{GS(th)}]^2$$

Trong đó: I_D là dòng điện thoát của E-MOSFET

K là hằng số với đơn vị $\frac{A}{V^2}$

V_{GS} là điện thế phân cực cổng nguồn.

$V_{GS(th)}$ là điện thế thêm cổng nguồn.

Hằng số K thường được tìm một cách gián tiếp từ các thông số do nhà sản xuất cung cấp.

Thí dụ: Một E-MOSFET kênh N có $V_{GS(th)} = 3,8V$ và dòng điện thoát $I_D = 10mA$ khi $V_{GS} = 8V$. Tìm dòng điện thoát I_D khi $V_{GS} = 6V$.

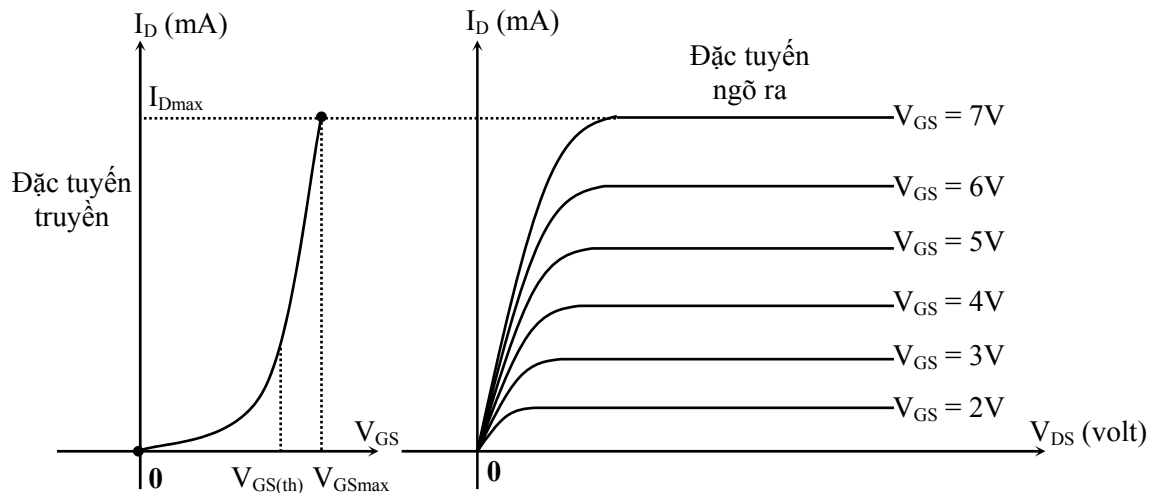
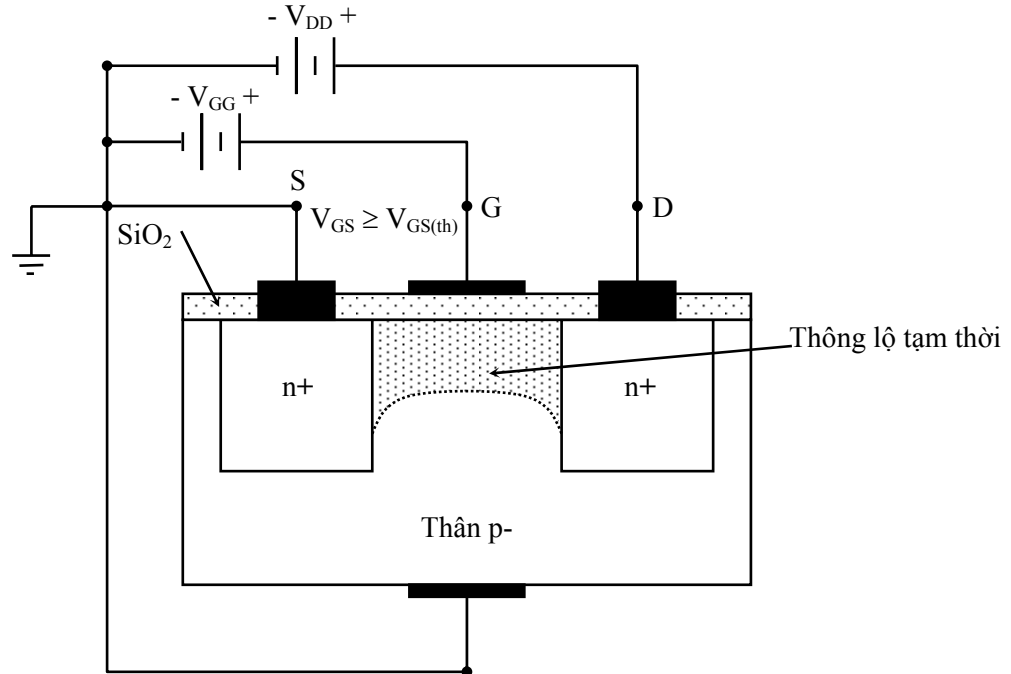
Giải: trước tiên ta tìm hằng số K từ các thông số:

$$K = \frac{I_D}{[V_{GS} - V_{GS(th)}]^2} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{[8 - 3,8]^2} = 5,67 \cdot 10^{-4} \frac{A}{V^2}$$

Vậy dòng thoát I_D và V_{GS} là:

$$I_D = K[V_{GS} - V_{GS(th)}]^2 = 5,67 \cdot 10^{-4} [6 - 3,8]^2$$

$$\Rightarrow I_D = 2,74 \text{ mA}$$



Hình 32

Dùng đặc tuyến truyền hay công thức: $I_D = I_{DSS} \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right]^2$ trong trường hợp DE-MOSFET hoặc công thức $I_D = K[V_{GS} - V_{GS(th)}]^2$ trong trường hợp E-MOSFET để xác định dòng điện thoát I_D .

Áp dụng định luật Krichoff ở mạch ngõ ra để tìm hiệu điện thế V_{DS} .

Bây giờ, ta thử ứng dụng vào mạch điện hình trên:

Mạch ngõ vào, ta có:

$$V_{GG} - R_G I_{GSS} + V_{GS} = 0$$

Suy ra, $V_{GS} = -V_{GG} + R_G I_{GSS}$

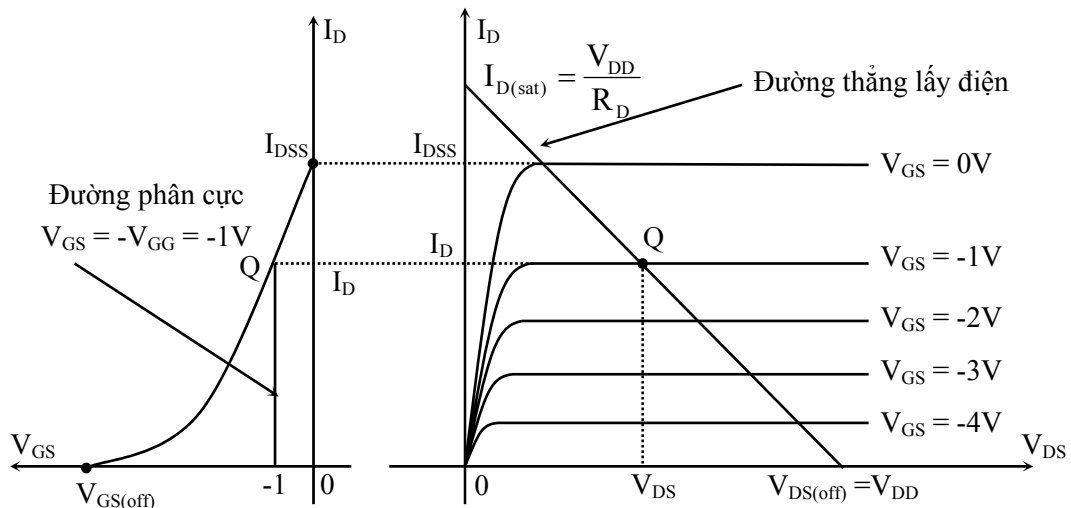
Vì dòng điện I_{GSS} rất nhỏ nên ta có thể bỏ qua.

Như vậy, $V_{GS} \approx -V_{GG}$

Trong trường hợp trên, $V_{GS} = -1$

Đây là phương trình biểu diễn đường phân cực (bias line) và giao điểm của đường thẳng này với đặc tuyến truyền là điểm điều hành Q.

Nhờ đặc tuyến truyền, ta có thể xác định được dòng thoát I_D .



Hình 35

- Để xác định điện thế V_{DS} , ta áp dụng định luật Kirchoff cho mạch ngõ ra:

$$V_{DD} = R_D I_D + V_{DS}$$

$$\Rightarrow V_{DS} = V_{DD} - R_D I_D$$

Đây là phương trình của đường thẳng lấy điện tĩnh. Giao điểm của đường thẳng này với đặc tuyến ngõ ra với $V_{GS} = -V_{GG} = -1V$ chính là điểm tĩnh điều hành Q.

theo tín hiệu. Ở thời điểm khi V_{GS} ít âm hơn, dòng thoát $i_D(t)$ tăng và khi V_{GS} âm nhiều hơn, dòng thoát $i_D(t)$ giảm. Vậy dòng điện thoát $i_D(t)$ thay đổi cùng chiều với $v_{GS}(t)$ và có trị số quanh dòng phân cực I_D tĩnh (được giả sử là 12,25mA). Độ gia tăng của $i_D(t)$ và độ giảm của $i_D(t)$ bằng nhau với tín hiệu nhỏ (giả sử là 0,035mA). (Xem hình trang sau).

Sự thay đổi dòng điện thoát $i_D(t)$ sẽ làm thay đổi hiệu số điện thế giữa cực thoát và cực nguồn.

Ta có $v_{DS}(t) = V_{DD} - i_D(t).R_D$. Khi $i_D(t)$ có trị số tối đa, thì $v_{DS}(t)$ có trị số tối thiểu và ngược lại. Điều này có nghĩa là sự thay đổi của $v_{DS}(t)$ ngược chiều với sự thay đổi của dòng $i_D(t)$ tức ngược chiều với sự thay đổi của hiệu thế ngõ vào $v_{GS}(t)$, người ta bảo điện thế ngõ ra ngược pha - lệch pha 180° so với điện thế tín hiệu ngõ vào.

Người ta định nghĩa độ lợi của mạch khuếch đại là tỉ số đỉnh đối đỉnh của hiệu thế tín hiệu ngõ ra và trị số đỉnh đối đỉnh của hiệu thế tín hiệu ngõ vào:

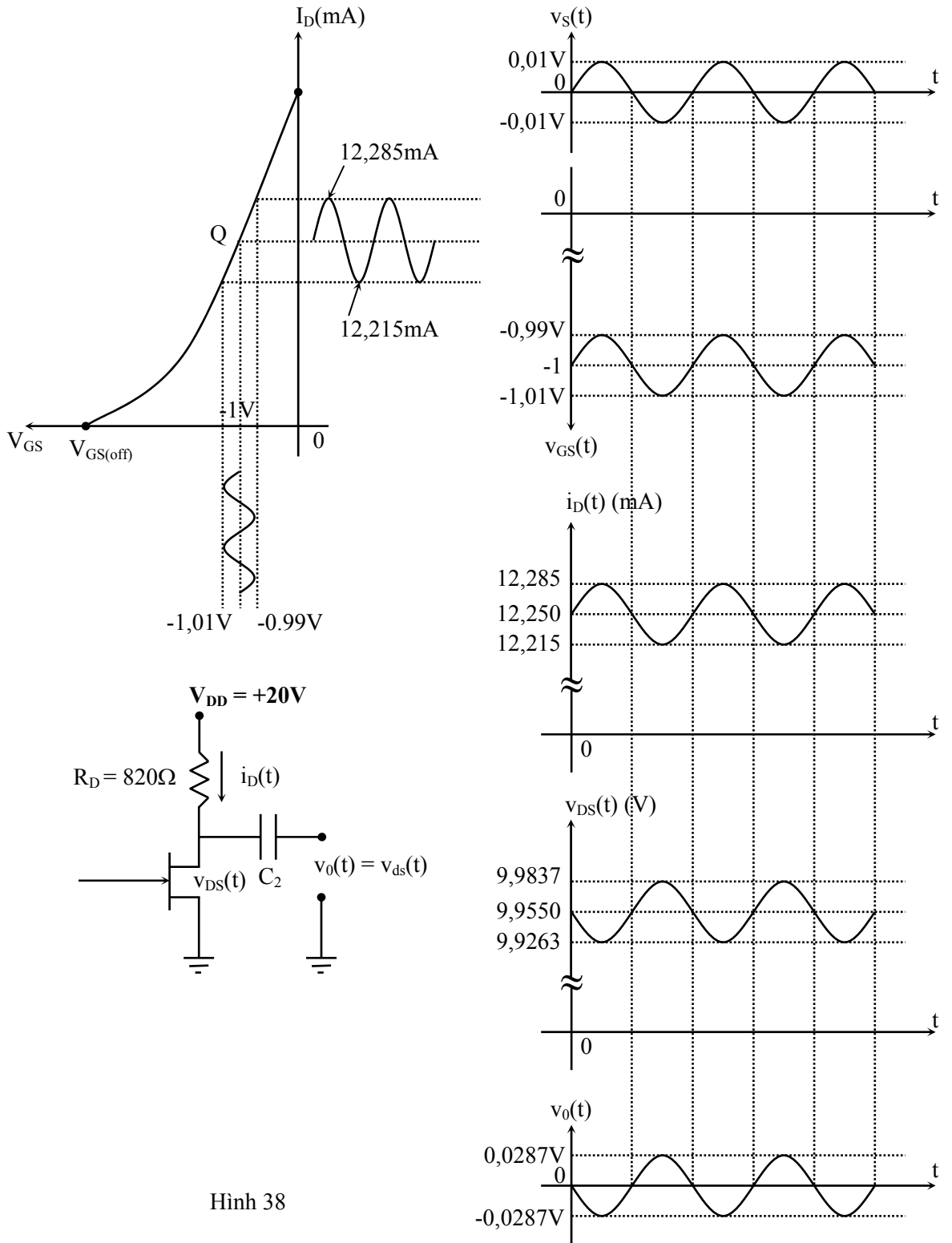
$$A_v = \frac{v_o(t)}{v_s(t)}$$

Trong trường hợp của thí dụ trên:

$$A_v = \frac{v_o(t)}{v_s(t)} = \frac{0,0574V_{P-P} \angle -180^\circ}{0,02V_{P-P}}$$

$$A_v = 2,87 \angle -180^\circ$$

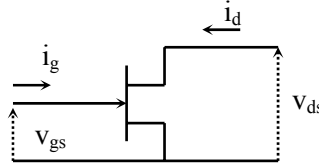
Người ta dùng dấu - để biểu diễn độ lệch pha 180°



Hình 38

* Mạch tương đương của FET với tín hiệu nhỏ:

Người ta có thể coi FET như một tứ cực có dòng điện và điện thế ngõ vào là v_{gs} và i_g . Dòng điện và điện thế ngõ ra là v_{ds} và i_d



Hình 39

Do dòng i_g rất nhỏ nên FET có tổng trở ngõ vào là:

$$r_{\pi} = \frac{v_{gs}}{i_g} \text{ rất lớn}$$

Dòng thoát i_d là một hàm số theo v_{gs} và v_{ds} . Với tín hiệu nhỏ (dòng điện và điện thế chỉ biến thiên quanh điểm điều hành), ta sẽ có:

$$i_D = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}} \right|_Q v_{gs} + \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{DS}} \right|_Q v_{DS}$$

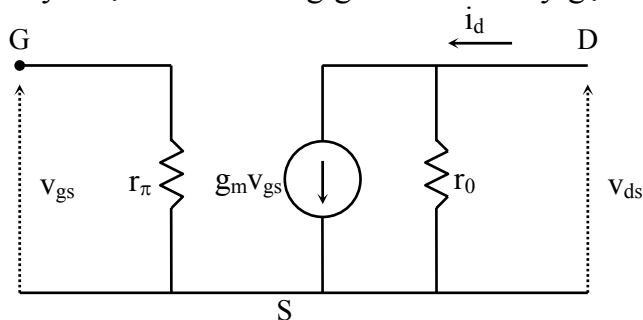
Người ta đặt:

$$g_m = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}} \right|_Q \quad \text{và} \quad \frac{1}{r_o} = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{DS}} \right|_Q$$

Ta có: $i_d = g_m v_{gs} + \frac{1}{r_o} v_{ds}$ (có thể đặt $\frac{1}{r_o} = g_o$)

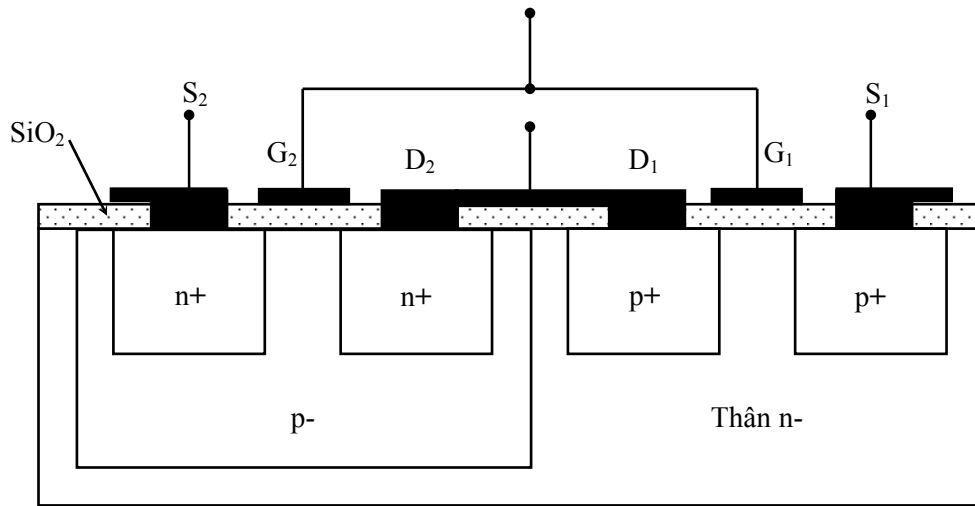
$$v_{gs} = r_{\pi} \cdot i_g$$

Các phương trình này được diễn tả bằng giản đồ sau đây gọi là mạch tương đương xoay chiều của FET.



Hình 40

Riêng đối với E-MOSFET, do tổng trở vào r_{π} rất lớn, nên trong mạch tương đương người ta có thể bỏ r_{π}



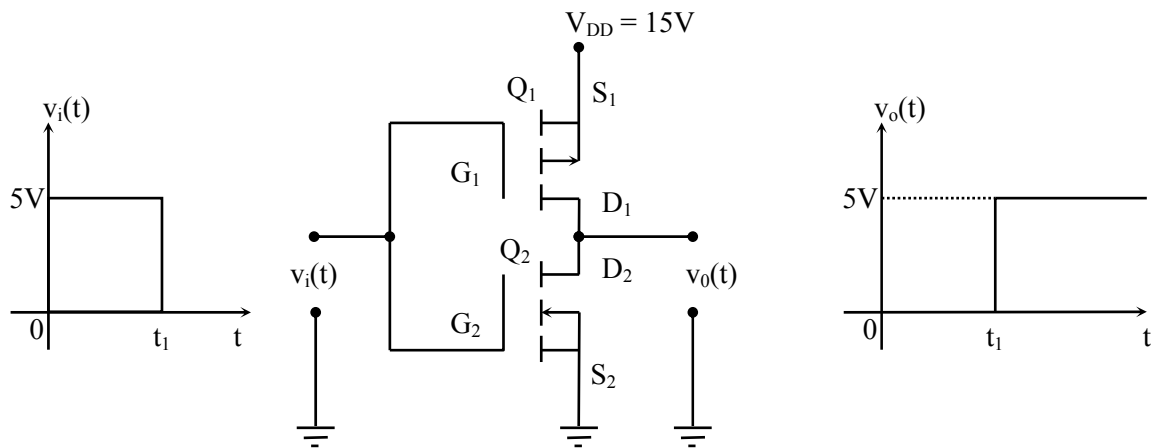
Hình 47

Cấu trúc CMOS được dùng rất nhiều trong IC tuyến tính và IC số

+ Bây giờ ta xét mạch căn bản như trên, ta thử xem đáp ứng của CMOS khi tín hiệu vào có dạng xung vuông như hình vẽ. Mạch này được ứng dụng làm công đảo và là tầng cuối của OP-AMP (IC thuật toán).

- Khi $v_i = 5V$ ($0 \leq t \leq t_1$); E-MOSFET kênh P ngưng vì $v_{GS}(t)=0V$, trong lúc đó E-MOSFET kênh N dẫn mạnh vì $v_{GS}(t)=5V$ nên điện thế ngõ ra $v_o(t)=0V$.

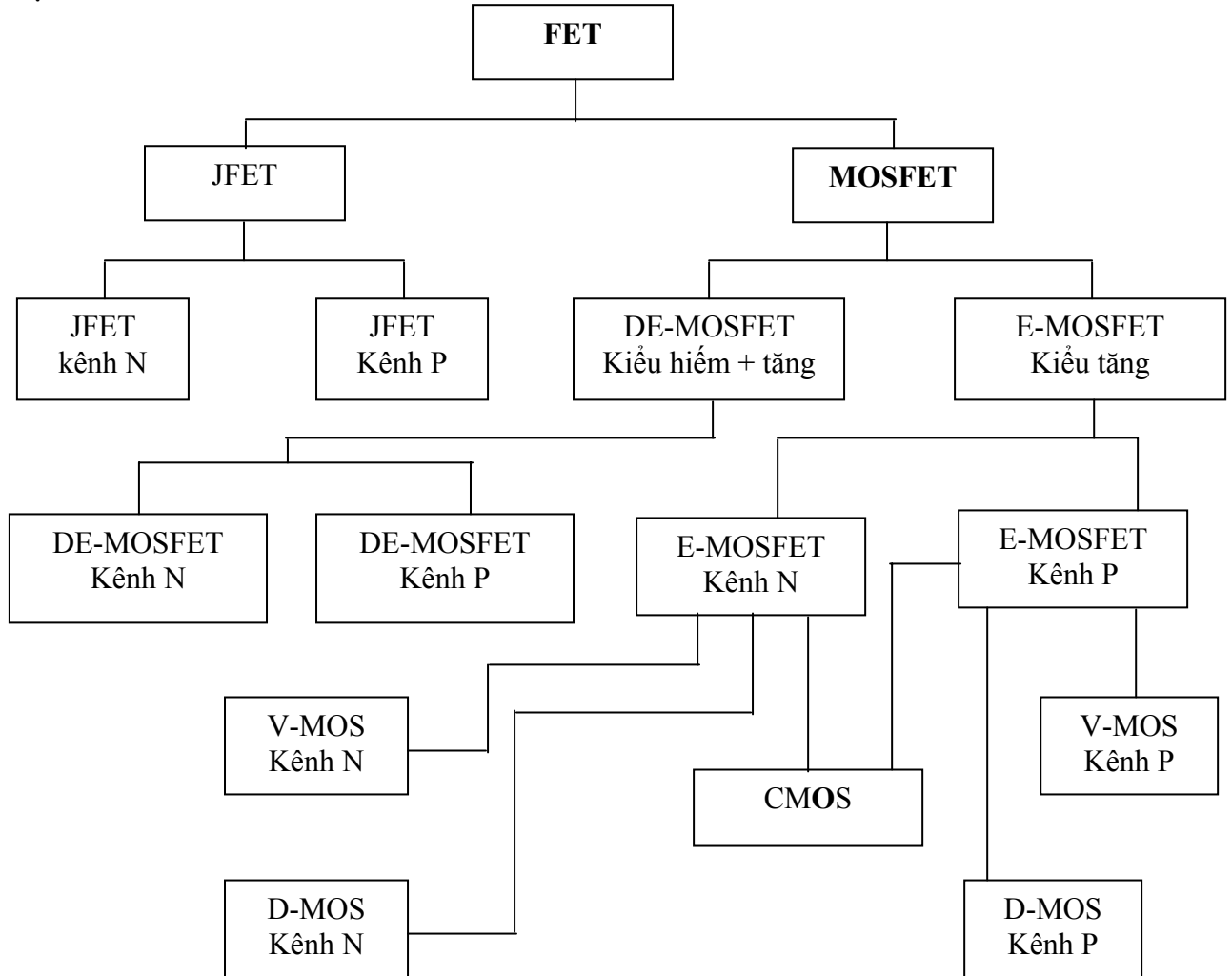
- Khi $v_i(t)=0V$ ($t \geq t_1$), E-MOSFET kênh P dẫn điện mạnh (vì $v_{GS}(t) = -5V$) trong lúc E-MOSFET kênh N không dẫn điện (vì $v_{GS}(t) = 0V$) nên điện thế ngõ ra $v_o(t)=V_{DD}=5V$.



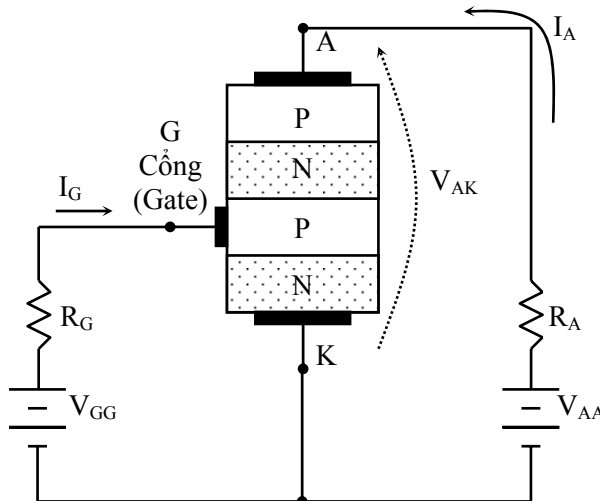
Hình 48

- Điện trở động r_{ds} khi hoạt động rất nhỏ (thường nhỏ hơn 1Ω)
- Có thể khuếch đại công suất ở tần số rất cao
- Dải thông của mạch khuếch đại công suất có thể lên đến vài chục MHz
- V-MOS và D-MOS cũng có kênh N và kênh P, nhưng kênh N thông dụng hơn
- V-MOS và D-MOS cũng có ký hiệu như E-MOSFET

Họ FET có thể tóm tắt như sau



Nếu ta mắc một nguồn điện một chiều V_{AA} vào SCR như hình sau. một dòng điện nhỏ I_G kích vào cực cổng G sẽ làm nối PN giữa cực cổng G và catot K dẫn phát khởi dòng điện anod I_A qua SCR lớn hơn nhiều. Nếu ta đổi chiều nguồn V_{AA} (cực dương nối với catod, cực âm nối với anod) sẽ không có dòng điện qua SCR cho dù có dòng điện kích I_G . Như vậy ta có thể hiểu SCR như một diode nhưng có thêm cực cổng G và để SCR dẫn điện phải có dòng điện kích I_G vào cực cổng.



Hình 2

Ta thấy SCR có thể coi như tương đương với hai transistor PNP và NPN liên kết nhau qua ngõ nền và thu

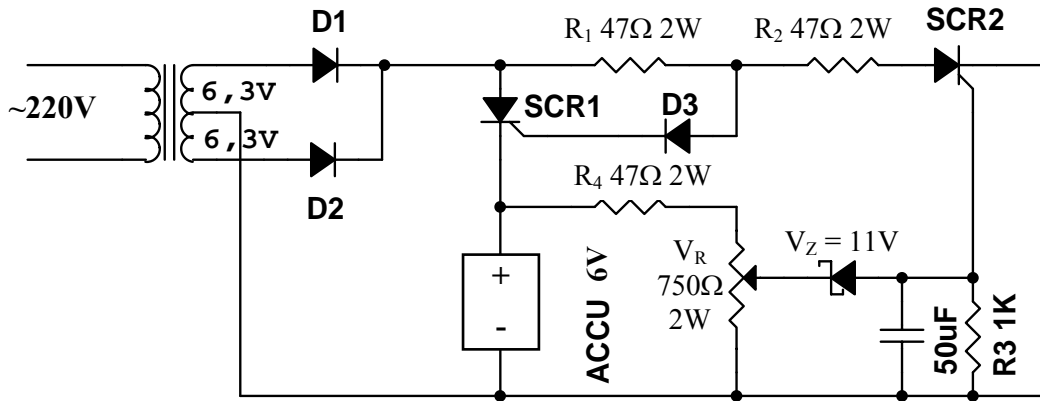
Khi có một dòng điện nhỏ I_G kích vào cực nền của Transistor NPN T_1 tức cổng G của SCR. Dòng điện I_G sẽ tạo ra dòng cực thu I_{C1} lớn hơn, mà I_{C1} lại chính là dòng nền I_{B2} của transistor PNP T_2 nên tạo ra dòng thu I_{C2} lại lớn hơn trước... Hiện tượng này cứ tiếp tục nên cả hai transistor nhanh chóng trở nên bão hòa. Dòng bão hòa qua hai transistor chính là dòng anod của SCR. Dòng điện này tùy thuộc vào V_{AA} và điện trở tải R_A .

Cơ chế hoạt động như trên của SCR cho thấy dòng I_G không cần lớn và chỉ cần tồn tại trong thời gian ngắn. Khi SCR đã dẫn điện, nếu ta ngắt bỏ I_G thì SCR vẫn tiếp tục dẫn điện, nghĩa là ta không thể ngắt SCR bằng cực cổng, đây cũng là một nhược điểm của SCR so với transistor.

Người ta chỉ có thể ngắt SCR bằng cách cắt nguồn V_{AA} hoặc giảm V_{AA} sao cho dòng điện qua SCR nhỏ hơn một trị số nào đó (tùy thuộc vào từng SCR) gọi là dòng điện duy trì I_H (holding current).

Bình thường đèn 6V cháy sáng nhờ nguồn điện qua mạch chỉnh lưu. Lúc này SCR ngưng dẫn do bị phân cực nghịch, accu được nạp qua D₁, R₁. Khi mất điện, nguồn điện accu sẽ làm thông SCR và thấp sáng đèn.

Mạch nạp accu tự động (trang sau)

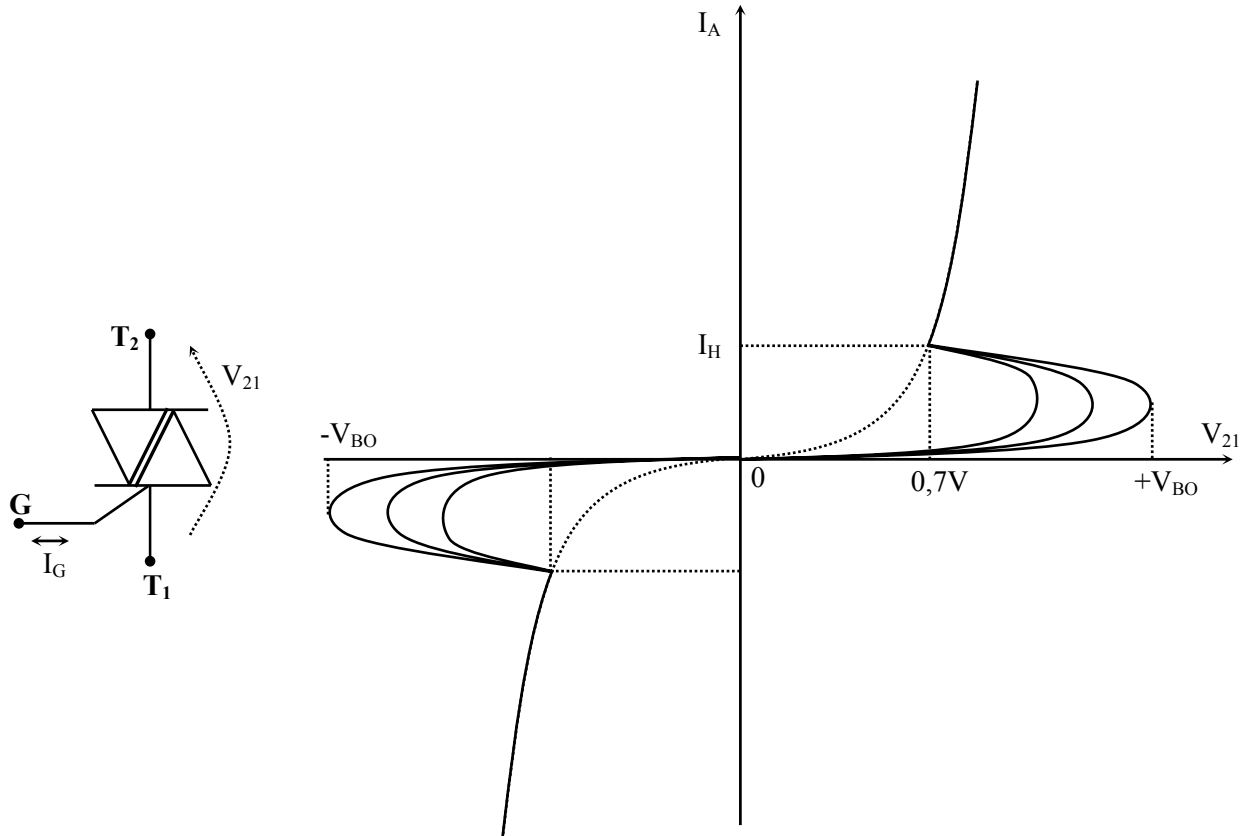


Hình 8

- Khi accu nạp chưa đầy, SCR₁ dẫn, SCR₂ ngưng
- Khi accu đã nạp đầy, điện thế cực dương lên cao, kích SCR₂ làm SCR₂ dẫn, chia bớt dòng nạp bảo vệ accu.
- VR dùng để chỉnh mức bảo vệ (giảm nhỏ dòng nạp)

Như vậy, ta thấy Triac như gồm bởi một SCR PNPN dẫn điện theo chiều từ trên xuống dưới, kích bởi dòng công dương và một SCR NPNP dẫn điện theo chiều từ dưới lên kích bởi dòng công âm. Hai cực còn lại gọi là hai đầu cuối chính (main terminal).

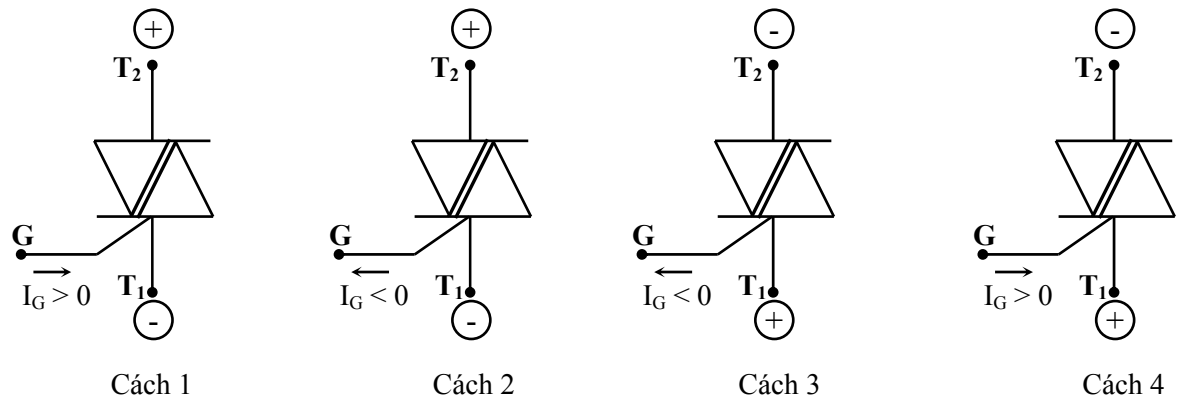
- Do đầu T_2 dương hơn đầu T_1 , để Triac dẫn điện ta có thể kích dòng công dương và khi đầu T_2 âm hơn T_1 ta có thể kích dòng công âm.



Hình 10

- Như vậy đặc tuyến V-I của Triac có dạng sau:

- Thật ra, do sự tương tác của vùng bán dẫn, Triac được náy theo 4 cách khác nhau, được trình bày bằng hình vẽ sau đây:

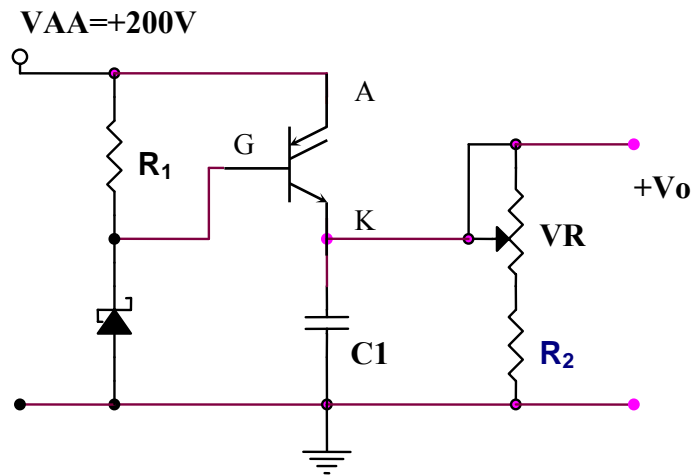


Hình 11

Tuy có ký hiệu khác với SCR và SCS nhưng các tính chất thì tương tự. Sự khác biệt cơ bản cũng là sự tiến bộ của GTO so với SCR hoặc SCS là có thể mở hoặc tắt GTO chỉ bằng một công (mở GTO bằng cách đưa xung dương vào cực cổng và tắt GTO bằng cách đưa xung âm vào cực cổng).

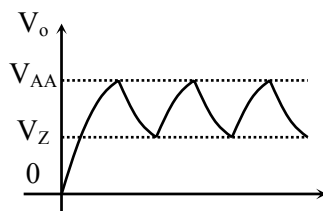
- So với SCR, GTO cần dòng điện kích lớn hơn (thường hàng trăm mA)

- Một tính chất quan trọng nữa của GTO là tính chuyển mạch. Thời gian mở của GTO cũng giống như SCR (khoảng $1\mu s$), nhưng thời gian tắt (thời gian chuyển từ trạng thái dẫn điện sang trạng thái ngưng dẫn) thì nhỏ hơn SCR rất nhiều (khoảng $1\mu s$ ở GTO và từ $5\mu s$ đến $30\mu s$ ở SCR). Do đó GTO dùng như một linh kiện có chuyển mạch nhanh. GTO thường được dùng rất phổ biến trong các mạch đếm, mạch tạo xung, mạch điều hoà điện thế... mạch sau đây là một ứng dụng của GTO để tạo tín hiệu răng cưa kết hợp với Diode Zener.



Hình 22

Khi cấp điện, GTO dẫn, anod và catod xem như nối tắt. C_1 nạp điện đến điện thế nguồn V_{AA} , lúc đó $V_{GK} < 0$ làm GTO ngưng dẫn. Tụ C_1 xả điện qua $R_3 = R_1 + R_2$. Thời gian xả điện tùy thuộc vào thời hằng $\tau = R_3 C_1$. Khi $V_o < V_Z$, GTO lại dẫn điện và chu kỳ mới lại được lập lại.



Hình 23

- Khi chưa áp V_{EE} vào cực phát E (cực phát E để hở) thời bán dẫn là một điện trở với nguồn điện thế V_{BB} , được ký hiệu R_{BB} và gọi là điện trở liên nền (thường có trị số từ 4 K Ω đến 10 K Ω). Từ mô hình tương đương ta thấy Diod được dùng để diễn tả nối P-N giữa vùng P và vùng n⁻. Điện trở R_{B1} và R_{B2} diễn tả điện trở của thời bán dẫn n⁻. Như vậy:
 $R_{BB} = R_{B1} + R_{B2} \Big|_{I_E=0}$

Vậy điện thế tại điểm A là:

$$V_A = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{BB} = \eta \cdot V_{BB} > 0$$

Trong đó: $\eta = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} = \frac{R_{B1}}{R_{BB}}$ được gọi là tỉ số nội tại (intrinsic stand – off)

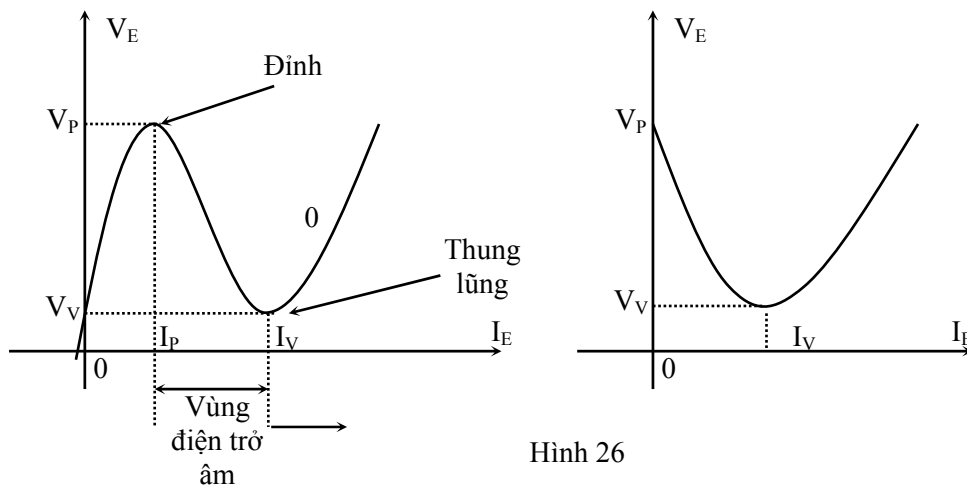
R_{BB} và η được cho bởi nhà sản xuất.

- Bây giờ, ta cấp nguồn V_{EE} vào cực phát và nền B_1 (cực dương nối về cực phát). Khi $V_{EE}=0V$ (nối cực phát E xuống mass), vì V_A có điện thế dương nên Diod được phân cực nghịch và ta chỉ có một dòng điện rỉ nhỏ chạy ra từ cực phát. tăng V_{EE} lớn dần, dòng điện I_E bắt đầu tăng theo chiều dương (dòng rỉ ngược I_E giảm dần, và triệt tiêu, sau đó dương dần). Khi V_E có trị số

$$V_E = V_D + V_A$$

$V_E = 0,5V + \eta V_{B2B1}$ (ở đây $V_{B2B1} = V_{BB}$) thì Diod phân cực thuận và bắt đầu dẫn điện mạnh.

Điện thế $V_E = 0,5V + \eta V_{B2B1} = V_P$ được gọi là điện thế đỉnh (peak-point voltage) của UJT.



Hình 26

Khi $V_E = V_P$, nối P-N phân cực thuận, lỗ trống từ vùng phát khuếch tán vào vùng n⁻ và di chuyển đến vùng nền B₁, lúc đó lỗ trống cũng hút các điện tử từ mass lên. Vì độ dẫn điện của chất bán dẫn là một hàm số của mật độ điện tử di động nên điện trở R_{B1} giảm. Kết quả là lúc đó dòng I_E tăng và điện thế V_E giảm. Ta có một vùng điện trở âm.

Điện trở động nhìn từ cực phát E trong vùng điện trở âm là:
$$r_d = - \frac{\Delta V_E}{\Delta I_E}$$

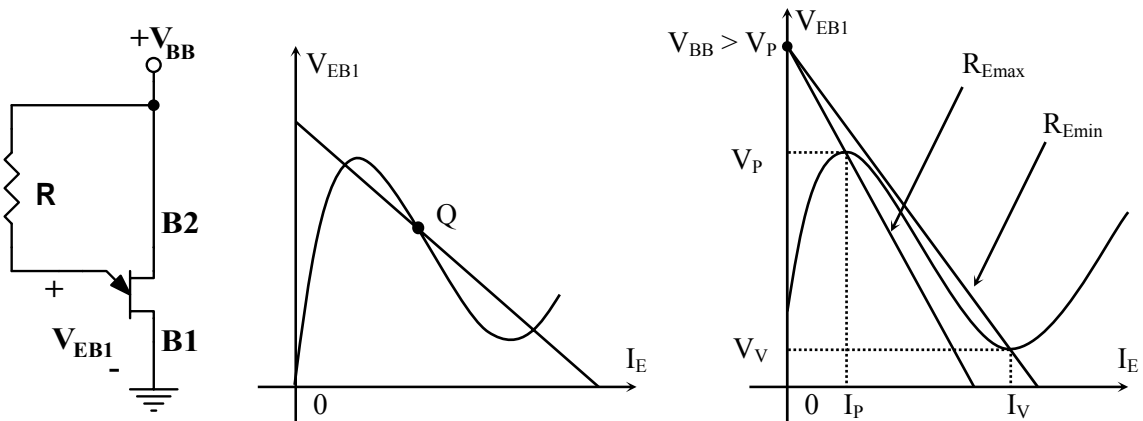
Khi I_E tăng, R_{B1} giảm trong lúc R_{B2} ít bị ảnh hưởng nên điện trở liên nền R_{BB} giảm. Khi I_E đủ lớn, điện trở liên nền R_{BB} chủ yếu là R_{B2}. Kết thúc vùng điện trở âm là vùng thung lũng, lúc đó dòng I_E đủ lớn và R_{B1} quá nhỏ không giảm nữa (chú ý là dòng ra cực nền B₁) gồm có dòng điện liên nền I_B cộng với dòng phát I_E) nên V_E không giảm mà bắt đầu tăng khi I_E tăng. Vùng này được gọi là vùng bảo hòa.

Như vậy ta nhận thấy:

- Dòng đỉnh I_P là dòng tối thiểu của cực phát E để đặt UJT hoạt động trong vùng điện trở âm. Dòng điện thung lũng I_V là dòng điện tối đa của I_E trong vùng điện trở âm.
- Tương tự, điện thế đỉnh V_P là điện thế thung lũng V_V là điện thế tối đa và tối thiểu của V_{EB1} đặt UJT trong vùng điện trở âm.

Trong các ứng dụng của UJT, người ta cho UJT hoạt động trong vùng điện trở âm, muốn vậy, ta phải xác định điện trở R_E để I_P < I_E < I_V

Thí dụ trong mạch sau đây, ta xác định trị số tối đa và tối thiểu của R_E



Hình 27

Đề ý là công G nằm ở vùng N gần anod nên để PUT dẫn điện, ngoài việc điện thế anod lớn hơn điện thế catod, điện thế anod còn phải lớn hơn điện thế công một điện thế ngưỡng của nối PN.

Ta có:
$$V_{GK} = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{BB} = \eta V_{BB}$$

Trong đó:
$$\eta = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}}$$
 như được định nghĩa trong UJT

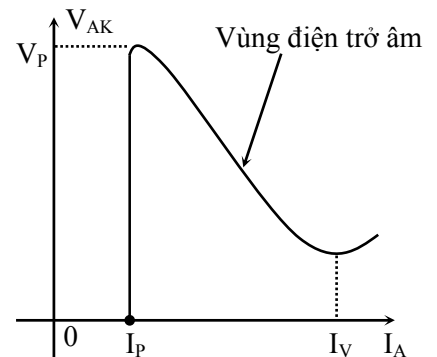
Tuy nhiên, nên nhớ là UJT, R_{B1} và R_{B2} là điện trở nội của UJT, Trong lúc ở PUT, R_{B1} và R_{B2} là các điện trở phân cực bên ngoài.

Đặc tuyến của dòng I_A theo điện thế công V_{AK} cũng giống như ở UJT

Điện thế đỉnh V_P được tính bởi:
$$V_P = V_D + \eta V_{BB}$$

mà $V_D = 0,7V$ (thí dụ Si)

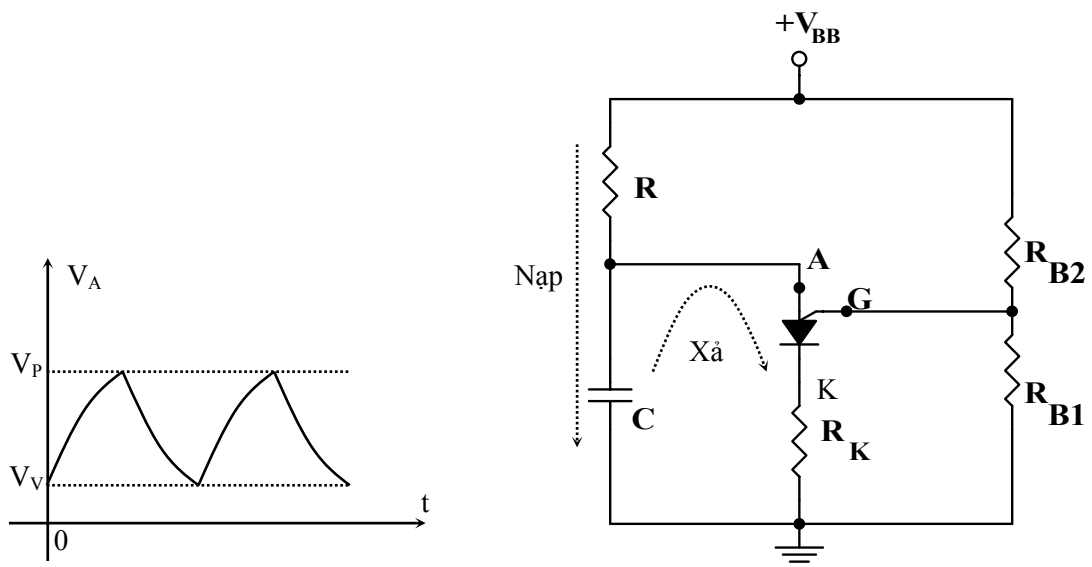
$$V_G = \eta V_{BB} \Rightarrow V_P = V_G + 0,7V$$



Hình 32

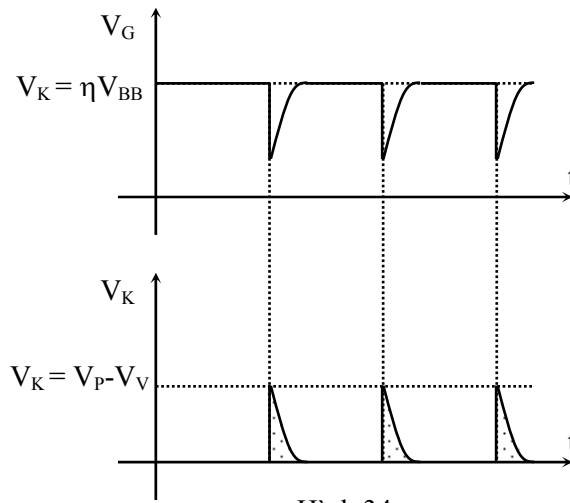
Tuy PUT và UJT có đặc tính giống nhau nhưng dòng điện đỉnh và thung lũng của PUT nhỏ hơn UJT

+ Mạch dao động thư giãn dùng PUT



Hình 33

Chú ý trong mạch dùng PUT, ngõ xả của tụ điện là anod. Tín hiệu ra được sử dụng thường lấy ở catod (và có thể dùng kích SCR như ở UJT)

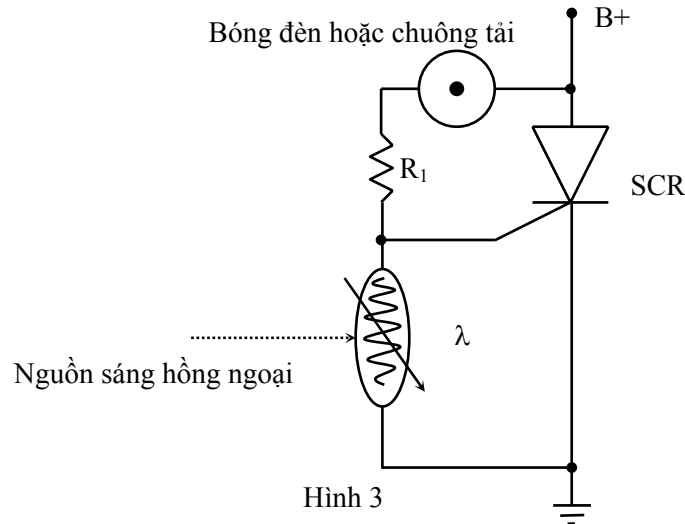


Hình 34

Vài ứng dụng của quang điện trở:

Quang điện trở được dùng rất phổ biến trong các mạch điều khiển

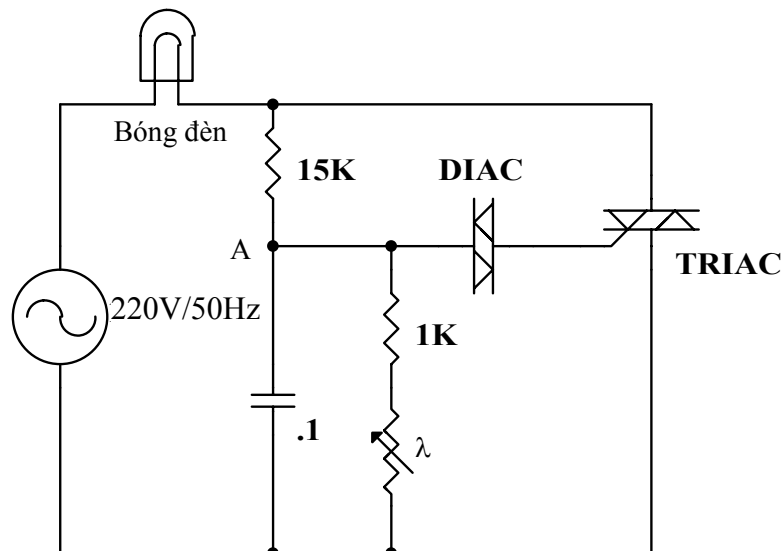
1. Mạch báo động:

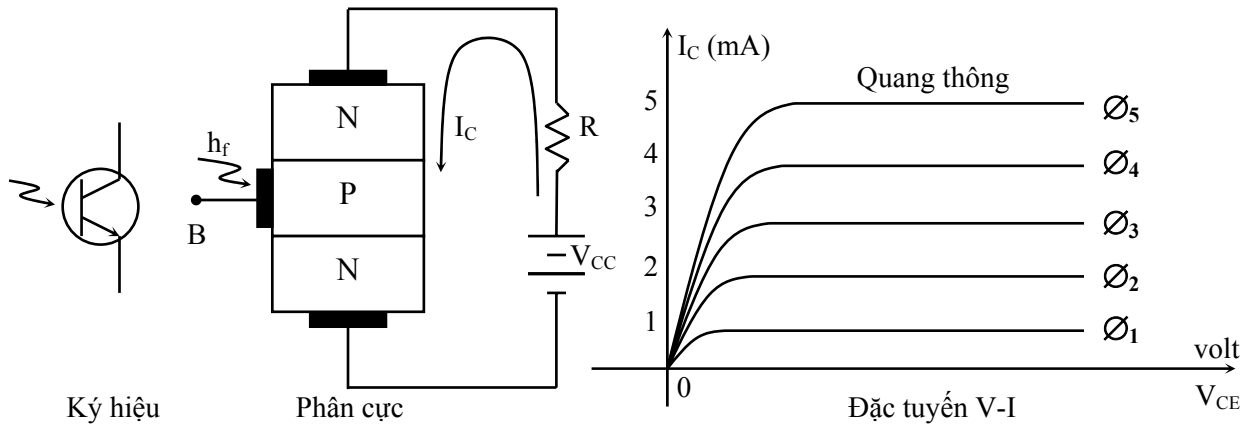


Khi quang điện trở được chiếu sáng (trạng thái thường trực) có điện trở nhỏ, điện thế cổng của SCR giảm nhỏ không đủ dòng kích nên SCR ngưng. Khi nguồn sáng bị chắn, R tăng nhanh, điện thế cổng SCR tăng làm SCR dẫn điện, dòng điện qua tải làm cho mạch báo động hoạt động.

Người ta cũng có thể dùng mạch như trên, với tải là một bóng đèn để có thể cháy sáng về đêm và tắt vào ban ngày. Hoặc có thể tải là một relais để điều khiển một mạch báo động có công suất lớn hơn.

2. Mạch mở điện tự động về đêm dùng điện AC:



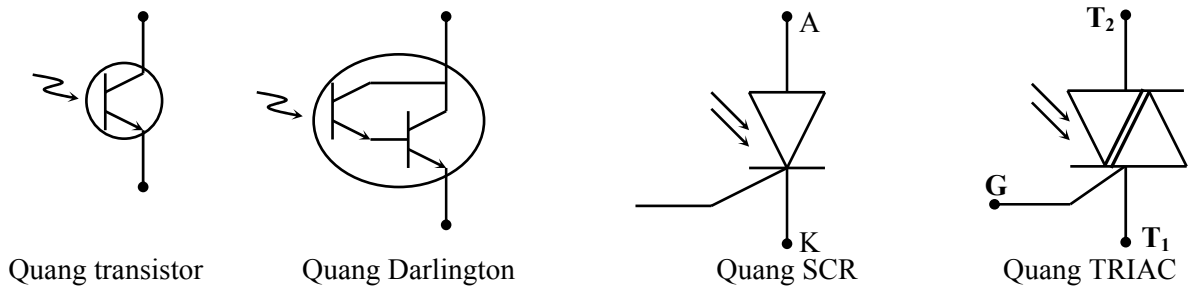


Hình 8

Khi có ánh sáng chiếu vào mối nối thu nên thì sự xuất hiện của các cặp điện tử và lỗ trống như trong quang diod làm phát sinh một dòng điện I_λ do ánh sáng nên dòng điện thu trở thành: $I_C = (\beta + 1)(I_{co} + I_\lambda)$

Như vậy, trong quang transistor, cả dòng tới lẫn dòng chiếu sáng đều được nhân lên $(\beta + 1)$ lần so với quang diod nên dễ dàng sử dụng hơn. Hình trên trình bày đặc tính V-I của quang transistor với quang thông là một thông số. Ta thấy đặc tuyến này giống như đặc tuyến của transistor thường mắc theo kiểu cực phát chung.

Có nhiều loại quang transistor như loại một transistor dùng để chuyển mạch dùng trong các mạch điều khiển, mạch đếm... loại quang transistor Darlington có độ nhạy rất cao. Ngoài ra người ta còn chế tạo các quang SCR, quang triac...

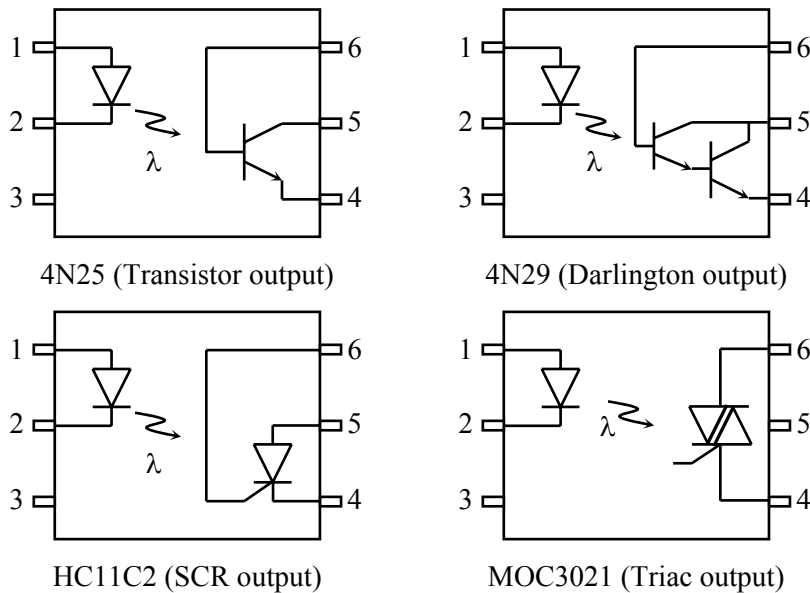


Hình 9

Vài ứng dụng của quang transistor:

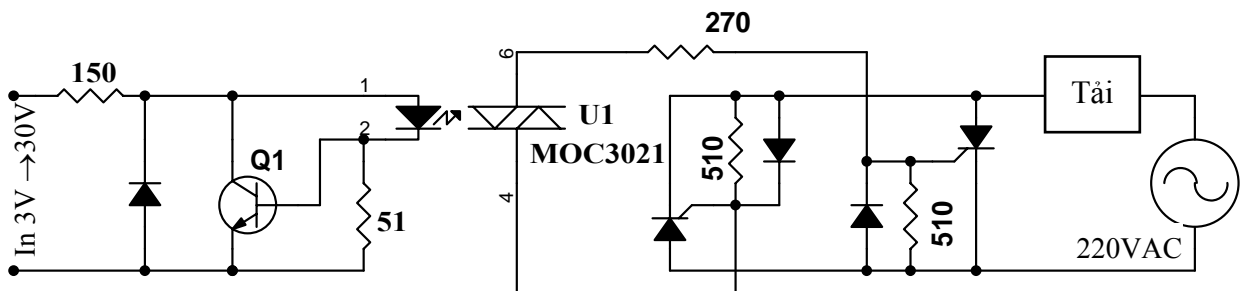
1. Quang kế:

Đây là mạch đơn giản để đo cường độ ánh sáng, biến trở 5K dùng để chuẩn máy nhờ một quang kế mẫu. Khi ánh sáng chiếu vào càng mạch, quang transistor càng dẫn mạnh, kim điện kế lệch càng nhiều. Dĩ nhiên ở mạch trên ta cũng có thể dùng quang điện trở hay quang diod nhưng kém nhạy hơn.



Hình 14

Hình sau đây giới thiệu một áp dụng của nối quang



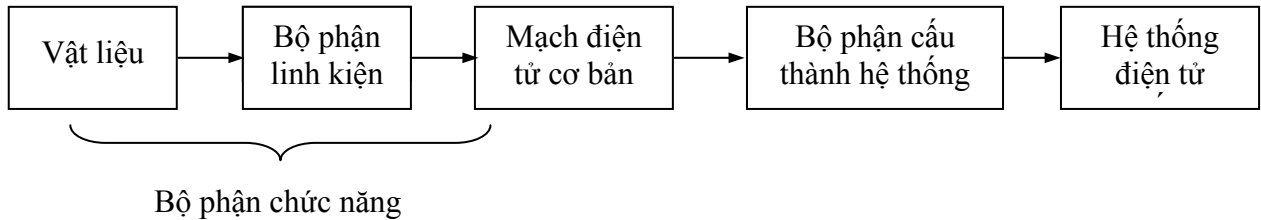
Hình 15

- Q1: Bảo vệ nối quang khi điện thế nguồn lớn (chia bớt dòng điện qua LED).
- Khi LED sáng, nối quang hoạt động kích hai SCR hoạt động (mỗi SCR hoạt động ở một bán kỳ khi có xung kích từ nối quang) cấp dòng cho tải.
- Khi LED tắt, nối quang ngưng, 2 SCR ngưng, ngắt dòng qua tải.
- Mạch này là một ví dụ về mạch SSR (Solid – State – Relay).

Vậy nếu một transistor có tuổi thọ là 10^8 h, thì một máy tính gồm 500000 ngàn transistor sẽ chỉ có tuổi thọ $\frac{10^8}{5 \cdot 10^5} = 200$ giờ

Các thành phần trong IC được chế tạo đồng thời và cũng cùng phương pháp, nên tuổi thọ IC xấp xỉ một tuổi thọ một transistor Planar.

4. Một hệ thống (hay một máy) điện tử có cấu tạo như hình vẽ:



Sự kết tụ áp dụng vào IC thường thực hiện ở giai đoạn bộ phận chức năng. Song khái niệm kết tụ không nhất thiết dừng lại ở giai đoạn này. Người ta vẫn nỗ lực để kết tụ với mật độ cực cao trong IC, nhằm hướng tới việc kết tụ toàn thể hệ thống điện tử trên một phiến (chíp)

Năm	1947	1950	1961	1966	1971	1980	1985	1990
Công nghệ	Phát minh Transistor	Linh kiện rời	SSI	MSI	LSI	VLSI	ULSI	GSi
Số Transistor trên 1 chip trong các sản phẩm thương mại	1	1	10	100→1000	1000→20000	20000→500000	>500000	>1000000
Các sản phẩm tiêu biểu		BJT Diode	Linh kiện planar, Cổng logic, Flip Flop	Mạch đếm, đa hợp, mạch cộng	Vi xử lý 8 bit, ROM, RAM	Vi xử lý 16 và 32 bit	Vi xử lý chuyên dụng, xử lý ảnh, thời gian thực	

SSI: Small scale integration: Tích hợp qui mô nhỏ

MSI: Medium scale intergration: Tích hợp qui mô trung bình

LSI: Large scale integration: Tích hợp theo qui mô lớn

GSi: Ultra large scale integration: Tích hợp qui mô khổng lồ

Tóm lại, công nghệ IC đưa đến những điểm lợi so với kỹ thuật linh kiện rời như sau:

- Giá thành sản phẩm hạ
- Kích cỡ nhỏ
- Độ khả tín cao (tất cả các thành phần được chế tạo cùng lúc và không có những

- a. Từ một nền P-Si (hoặc n-Si) đơn tinh thể
- b. Tạo một lớp epitaxy mỏng loại N-Si
- c. Phủ một lớp cách điện SiO₂

Bước 2:

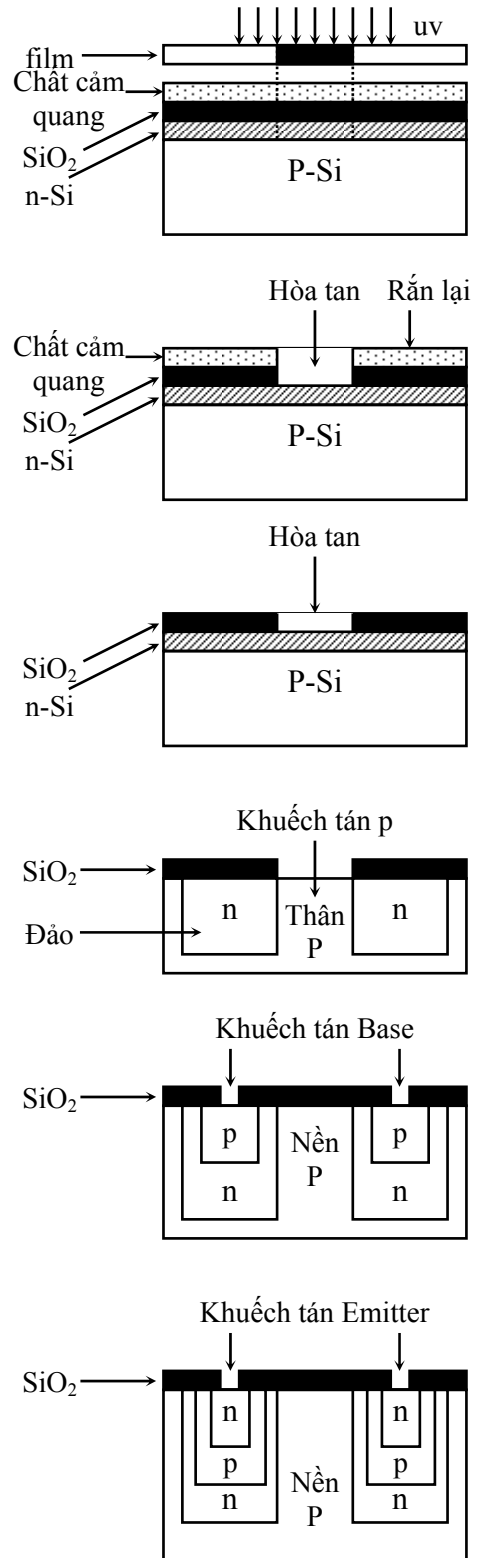
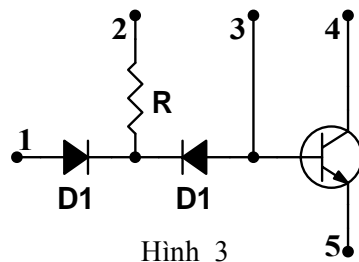
Dùng phương pháp quang khắc để khử lớp SiO₂ ở một số chỗ nhất định, tạo ra các cửa sổ ở bề mặt tinh thể. Từ các cửa sổ, có thể khuếch tán tạp chất vào.

Đầu tiên, vẽ sơ đồ những nơi cần mở cửa sổ, chụp hình sơ đồ rồi lấy phim âm bản, thu nhỏ lại. Những nơi cần mở cửa sổ là vùng tối trên phim

- a. Bôi một lớp cản quang trên bề mặt. Đặt phim ở trên rọi tia cực tím vào những nơi cần mở cửa sổ được lớp đen trên phim bảo vệ. Nhúng tinh thể vào dung dịch tricloetylen. Chỉ những nơi cần mở cửa sổ lớp cản quang mới bị hòa tan, các nơi khác rắn lại.
- b. Lại đem tinh thể nhúng vào dung dịch fluorhydric. Chỉ những nơi cần mở cửa sổ lớp SiO₂ bị hòa tan, những nơi khác nhờ lớp cản quang che chở.
- c. Đem tẩy lớp cản quang
- d. Khuếch tán chất bán dẫn P sâu đến thân, tạo ra các đảo N.
- e. Lại mở cửa sổ, khuếch tán chất bán dẫn P vào các đảo N (khuếch tán Base)
- f. Lại mở cửa sổ, khuếch tán chất bán dẫn N vào (khuếch tán Emitter)
- g. Phủ kim loại. Thực hiện các chỗ nối

Thí dụ:

Một mạch điện đơn giản như sau, được chế tạo dưới dạng IC đơn tinh thể.





ĐỀ CƯƠNG ÔN TẬP MÔN LINH KIỆN ĐIỆN TỬ



I. PHẦN TRẮC NGHIỆM

Học sinh, sinh viên chọn câu trả lời đúng nhất cho các câu sau:

- Một nguyên tử trung hòa điện khi nguyên tử có:
 - Số lượng proton lớn hơn số lượng electron
 - Số lượng proton nhỏ hơn số lượng electron
 - Số lượng proton bằng số lượng electron**
 - Cả ba câu đều sai
- Một nguyên tử khi không cân bằng điện thì trở thành ion:
 - Ion dương khi số lượng proton nhỏ hơn số lượng electron
 - Ion âm khi số lượng proton nhỏ hơn số lượng electron**
 - Câu a và b đều đúng
 - d.
- Các hạt mang điện tương tác nhau:
 - Các hạt trái dấu đẩy nhau
 - Các hạt cùng dấu đẩy nhau
 - Các hạt trái dấu hút nhau
 - Chỉ có câu a sai**
- Electron là hạt:
 - Không mang điện tích
 - Mang điện tích dương
 - Mang điện tích âm**
 - Chỉ có câu a sai
- Proton là hạt:
 - Mang điện tích dương**
 - Mang điện tích âm
 - Không mang điện tích
 - Chỉ có câu a đúng
- Hiệu điện thế giữa hai đầu đoạn mạch AB là U_{AB} :
 - $U_{AB} = V_A - V_B$**
 - $U_{AB} = V_B - V_A$
 - Câu a đúng b sai
 - Câu a sai b đúng
- Điện trở là một linh kiện:
 - Tích cực
 - Thụ động**
 - Dùng để tăng dòng điện
 - Khuếch đại điện áp
- Điện trở dây dẫn:
 - Tỷ lệ thuận với tiết diện của dây
 - Tỷ lệ nghịch với tiết diện của dây**
 - Không phụ thuộc tiết diện của dây
 - Bằng tiết diện của dây
- Biểu thức của định luật Ohm cho đoạn mạch là:
 - $U \blacksquare R$
 - $R \blacksquare \frac{U}{I}$
 - $I \blacksquare \frac{U}{R}$**
 - $U \blacksquare \frac{I}{R}$
- Điện trở quang là một linh kiện:
 - Thay đổi trị số khi tăng nhiệt độ
 - Thay đổi trị số khi giảm nhiệt độ
 - Thay đổi trị số khi giảm điện áp
 - Cả 3 câu đều sai**
- LDR (Light Dependent Resistor) là loại linh kiện có:
 - Trị số dòng điện luôn luôn tăng
 - Trị số điện áp luôn luôn giảm
 - Trị số điện trở thay đổi phụ thuộc ánh sáng chiếu vào nó**
 - Trị số điện trở thay đổi phụ thuộc điện áp đặt vào nó
- Nhiệt trở là điện trở có trị số:
 - Luôn luôn tăng theo nhiệt độ
 - Luôn luôn giảm theo nhiệt độ

13. Nhiệt trở âm NTC (Negative Temperature Coefficient) là nhiệt trở có trị số điện trở:
- Tăng khi nhiệt độ tăng
 - Giảm khi nhiệt độ giảm
 - Tăng khi nhiệt độ giảm**
 - Không đổi khi nhiệt độ thay đổi
14. Nhiệt trở dương PTC (Positive Temperature Coefficient) là nhiệt trở có trị số điện trở:
- Không đổi khi nhiệt độ thay đổi
 - Giảm khi nhiệt độ tăng
 - Tăng khi nhiệt độ giảm
 - Tăng khi nhiệt độ tăng**
15. Hai điện trở R_1, R_2 ghép nối tiếp, điện trở tương đương của chúng:
- $R_1 \blacksquare R_2$
 - $\frac{1}{R_1} \blacksquare \frac{1}{R_2}$
 - $\frac{R_1 \blacksquare R_2}{R_1 \cdot R_2}$
 - Cả 3 câu đều sai
16. Hai điện trở R_1, R_2 ghép song song, điện trở tương đương của chúng:
- $R_1 \blacksquare R_2$
 - $\frac{1}{R_1} \blacksquare \frac{1}{R_2}$
 - $\frac{R_1 \blacksquare R_2}{R_1 \cdot R_2}$
 - Cả 3 câu đều sai**
17. Điện trở $R_1=100K, R_2=2K2$ ghép nối tiếp, điện trở tương đương của chúng:
- 220K
 - 202K
 - 102K2**
 - Cả 3 câu đều sai
18. Điện trở tương đương của hai điện trở mắc song song $R_1=R_2=100K$:
- 100K
 - 200K
 - 50K**
 - Cả 3 câu đều sai
19. Điện trở tương đương của ba điện trở mắc song song với $R_1=R_2=R_3=3K3$ là:
- 3K3
 - 330Ω
 - 110Ω
 - 1100Ω**
20. Với điện trở ba vòng màu thì vòng thứ ba chỉ:
- Số tương ứng với màu
 - Sai số
 - Số số 0 thêm vào**
 - Nhiệt độ
21. Với điện trở 4 vòng màu thì vòng thứ tư chỉ:
- Sai số**
 - Số tương ứng với màu
 - Điện áp chịu đựng
 - Cả 3 câu đều sai
22. Với điện trở 5 vòng màu thì vòng thứ hai chỉ:
- Sai số
 - Nhiệt độ
 - Số số 0 thêm vào
 - Số tương ứng với màu**
23. Với điện trở 5 vòng màu thì vòng thứ tư chỉ:
- Số số 0 thêm vào**
 - Sai số
 - Điện áp chịu đựng được
 - Số tương ứng với màu
24. Với điện trở 5 vòng màu thì vòng thứ ba chỉ:
- Sai số
 - Số tương ứng với màu**
 - Số số 0 thêm vào
 - Cả 3 câu đều sai
25. Với điện trở ba vòng màu thì vòng thứ hai chỉ:
- Số số 0 thêm vào
 - Sai số
 - Điện áp chịu đựng được
 - Số tương ứng với màu**
26. Với điện trở 4 vòng màu thì vòng thứ ba chỉ:
- Nhiệt độ
 - Dòng điện cực đại

53. Tụ điện là một linh kiện có lớp điện môi:
- Luôn là giấy
 - Luôn là mica
 - Luôn là không khí
 - Cả ba câu đều sai**
54. Trên thân tụ ceramic có ghi .01. Giá trị điện dung của tụ là:
- 0,1 μ F
 - 0,01pF**
 - 0,01 μ F
 - 0,01F
55. Trên thân tụ điện có ghi 222 thì trị số điện dung của tụ là:
- 222F
 - 222pF
 - 2200pF(22x 10²Pf)**
 - Cả ba câu đều sai
56. Điện dung của tụ điện là đại lượng:
- Tỷ lệ thuận với khoảng cách giữa hai bản tụ
 - Tỷ lệ nghịch với khoảng cách giữa hai bản tụ
 - Tỷ lệ nghịch với bề dày của lớp điện môi
 - Chỉ có câu a sai**
57. Cuộn cảm là một linh kiện:
- Có tần số luôn thay đổi
 - Có tần số không thay đổi
 - Có dòng điện bằng không
 - Thụ động**
58. Hệ số tự cảm của cuộn dây:
- Không phụ thuộc vào số vòng dây quấn
 - Tỷ lệ nghịch với số vòng dây quấn
 - Tỷ lệ thuận với số vòng dây quấn**
 - Luôn bằng 10H (Henry)
59. Đơn vị của hệ số tự cảm là:
- F
 - m
 - Ω
 - H**
60. Đại lượng đặc trưng cho khả năng cản trở dòng xoay chiều của cuộn cảm được gọi là:
- Cảm kháng**
 - Dung kháng
 - Hệ số tự cảm
 - Điện trở thuần
61. Đơn vị của cảm kháng là:
- Ω**
 - m
 - A
 - H
62. Cảm kháng là đại lượng:
- Tỷ lệ nghịch với hệ số tự cảm
 - Tỷ lệ thuận với hệ số tự cảm**
 - Không phụ thuộc hệ số tự cảm
 - Bằng hệ số tự cảm
63. Trong quá trình nạp điện thì hiệu điện thế giữa hai đầu cuộn cảm:
- Giảm dần**
 - Tăng dần
 - Không đổi
 - Cả ba câu đều sai
64. Máy biến thế là máy:
- Chỉ làm tăng điện thế
 - Chỉ làm giảm điện thế
 - Có điện thế không đổi
 - Cả ba câu đều sai**
65. Máy tăng thế là máy có số vòng dây quấn ở cuộn thứ cấp:
- Lớn hơn số vòng dây quấn ở cuộn sơ cấp**
 - Nhỏ hơn số vòng dây quấn ở cuộn sơ cấp
 - Bằng số vòng dây quấn ở cuộn sơ cấp
 - Cả ba câu đều sai
66. Điện áp lấy ra ở cuộn thứ cấp của biến thế:
- Tỷ lệ thuận với số vòng dây quấn ở cuộn thứ cấp**
 - Tỷ lệ nghịch với số vòng dây quấn ở cuộn thứ cấp

- c. Không phụ thuộc số vòng dây quấn ở cuộn thứ cấp
d. Bằng số vòng dây quấn ở cuộn sơ cấp
67. Dòng điện chạy trên cuộn thứ cấp của biến thế:
a. Tỷ lệ thuận với số vòng dây quấn ở cuộn thứ cấp
b. **Tỷ lệ nghịch với số vòng dây quấn ở cuộn thứ cấp**
c. Câu a đúng, b sai
d. Câu a sai, b đúng
68. Bán dẫn thuần là bán dẫn:
a. **Duy nhất không pha bán dẫn khác vào**
b. Có pha thêm bán dẫn khác vết
c. Tinh khiết
d. Chỉ có câu b sai
69. Bán dẫn tạp chất là bán dẫn:
a. Thuần
b. **Có pha thêm bán dẫn khác vào**
c. Tinh khiết
d. Chỉ có câu b đúng
70. Chất bán dẫn là chất:
a. Luôn cho dòng điện chạy qua
b. Luôn cách điện
c. Câu a và b đúng
d. **Cả ba câu đều sai**
71. Si là chất:
a. **Bán dẫn**
b. Dẫn điện
c. Cách điện
d. Cả ba câu đều sai
72. Ge là chất:
a. Dẫn điện
b. Cách điện
c. **Bán dẫn**
d. Cả ba câu đều sai
73. Khi pha thêm một ít phốt pho vào tinh thể bán dẫn Si ta được:
a. Bán dẫn loại P
b. **Bán dẫn loại N**
c. Bán dẫn thuần
d. Bán dẫn tinh khiết
74. Khi pha thêm một ít Bo vào tinh thể bán dẫn Si ta được:
a. Bán dẫn loại N
b. **Bán dẫn loại P**
c. Câu a đúng, b sai
d. Câu a sai, b đúng
75. Khi pha thêm một lượng rất ít Indium (In) vào chất bán dẫn Si ta được:
a. Bán dẫn loại N
b. **Bán dẫn loại P**
c. Câu a đúng, b sai
d. Câu a sai, b đúng
76. Điện tử và lỗ trống là hạt tải:
a. Cùng mang điện tích âm
b. Cùng mang điện tích dương
c. Câu a và b đều đúng
d. **Cả ba câu đều sai**
77. Bán dẫn loại N là:
a. Bán dẫn thuần
b. **Bán dẫn có hạt tải đa số là điện tử, hạt tải thiểu số là lỗ trống**
c. Bán dẫn có hạt tải thiểu số là điện tử, hạt tải đa số là lỗ trống
d. Chất luôn luôn cách điện
78. Bán dẫn loại P là:
a. **Bán dẫn có hạt tải đa số là lỗ trống, hạt tải thiểu số là điện tử**
b. Bán dẫn có hạt tải thiểu số là lỗ trống, hạt tải đa số là điện tử
c. Bán dẫn tinh khiết
d. Chất luôn luôn cách điện
79. Diode bán dẫn có cấu tạo gồm:
a. **Một mối nối P-N**
b. Hai mối nối P-N
c. Ba mối nối P-N
d. Cả ba câu đều sai

80. Cực A của diode bán dẫn là:
- Anod
 - Catod
 - Cực dương của diode
 - Chỉ có câu b sai**
81. Khi phân cực thuận diode ta có:
- $V_A < V_K$
 - $V_A = V_K$
 - $V_A > V_K$**
 - Cả ba câu đều sai
82. Diode bán dẫn có điện thế $V_A < V_K$ thì diode được:
- Phân cực thuận
 - Không phân cực
 - Phân cực nghịch**
 - Cả ba câu đều sai
83. Diode bán dẫn là một linh kiện:
- Thụ động
 - Tích cực**
 - Khuếch đại dòng điện
 - Khuếch đại điện áp
84. Diode bán dẫn có điện thế $V_A > V_K$ thì diode được:
- Phân cực thuận**
 - Phân cực nghịch
 - Câu a đúng, b sai
 - Câu a sai, b đúng
85. Khi phân cực thuận diode có dòng điện chạy theo chiều:
- Từ A về K**
 - Từ K về A
 - Câu a và b đều đúng
 - Câu a và b đều sai
86. Khi phân cực nghịch diode có dòng điện rỉ chạy theo chiều:
- Từ K về A**
 - Từ A về K
 - Câu a và b đều đúng
 - Câu a và b đều sai
87. Diode Zener dùng để ổn áp ta phải:
- Phân cực thuận diode
 - Không phân cực
 - Phân cực nghịch diode**
 - Cả ba câu đều sai
88. Diode Zener chỉ ổn áp được mức điện áp:
- 5V
 - 12V
 - 6V
 - Cả ba câu đều sai**
89. Diode Varicap là diode:
- Biến dung**
 - Zener
 - Photodiode
 - LED
90. Diode trong UJT có nền N thì cực E tương ứng là:
- Cực K
 - Cực A**
 - Câu a đúng, b sai
 - Câu a sai, b đúng
91. Diode có điện trở thuận bằng điện trở nghịch $= 0\Omega$ thì:
- Diode tốt
 - Diode bị nối tắt**
 - Diode bị đứt
 - Cả ba câu đều sai
92. Diode cảm quang là diode:
- Phát sáng
 - Cảm nhận ánh sáng**
 - Varicap
 - Zener
93. Diode Zener dùng để:
- Phát quang
 - Tách sóng
 - Ổn áp**
 - Cả ba câu đều sai
94. Diode trong UJT có mấy tiếp giáp:
- 1 tiếp giáp**
 - 2 tiếp giáp
 - 3 tiếp giáp
 - 4 tiếp giáp
95. LED 7 đoạn gồm:
- 7 LED ghép anod chung**
 - 7 LED ghép catod chung

- c. 7 LED ghép song song
- d. **Câu a và b đúng**
96. LED là diode:
- a. Chỉ phát ra ánh sáng màu trắng
- b. Chỉ phát ra ánh sáng màu đỏ
- c. Chỉ phát ra ánh sáng màu xanh
- d. **Cả ba câu đều sai**
97. Mạch chỉnh lưu bán kỳ với điện AC có tần số 50Hz thì tần số dòng sóng ngõ ra là:
- a. **50Hz**
- b. 25Hz
- c. 100Hz
- d. 75Hz
98. Mạch chỉnh lưu toàn kỳ với điện AC có tần số 50Hz thì tần số dòng sóng ngõ ra là:
- a. 50Hz
- b. **100Hz**
- c. 25Hz
- d. 75Hz
99. Mạch chỉnh lưu toàn kỳ dùng cầu diode, trong đó sử dụng:
- a. 2 diode để chỉnh lưu
- b. 1 diode để chỉnh lưu
- c. 3 diode để chỉnh lưu
- d. **4 diode để chỉnh lưu**
100. Khi LED 7 đoạn hiển thị số 6 thì:
- a. Tất cả 7 LED đều sáng
- b. Tất cả 7 LED đều sáng trừ LED g tắt
- c. **6 LED sáng, 1 LED b tắt**
- d. Cả ba câu đều sai
101. Khi LED 7 đoạn hiển thị chữ E thì:
- a. Tất cả 7 LED đều sáng
- b. 6 LED sáng, 1 LED tắt
- c. **5 LED sáng, 2 LED b và c tắt**
- d. Cả ba câu đều sai
102. Mạch chỉnh lưu là mạch:
- a. Khuếch đại dòng điện
- b. Khuếch đại điện áp
- c. Câu a và b đúng
- d. **Câu a và b sai**
103. BJT có cấu tạo gồm:
- a. Một mối nối P-N
- b. **Hai mối nối P-N**
- c. Ba mối nối P-N
- d. Bốn mối nối P-N
104. Khi transistor PNP dẫn, đa số electron sẽ đi:
- a. Từ C đến E
- b. **Từ E đến C**
- c. Câu a và b đều đúng
- d. Cả ba câu đều sai
105. Khi transistor NPN dẫn, đa số electron sẽ đi:
- a. Từ C đến E
- b. **Từ E đến C**
- c. Câu a và b đều đúng
- d. Cả ba câu đều sai
106. Điều kiện để transistor NPN dẫn là:
- a. $V_B > V_E > V_C$
- b. **$V_C > V_B > V_E$**
- c. $V_C > V_E > V_B$
- d. $V_E > V_B > V_C$
107. Transistor mắc kiểu cực phát chung được gọi là mắc kiểu:
- a. CC
- b. **CE**
- c. CB
- d. Cả ba câu đều đúng
108. Transistor mắc kiểu cực nền chung được gọi là mắc kiểu:
- a. CC
- b. **CB**
- c. CE
- d. Cả ba câu đều sai
109. Transistor mắc kiểu cực thu chung được gọi là mắc kiểu:
- a. **CC**
- b. CB
- c. CE
- d. CS
110. Khi transistor mắc kiểu CE thì tín hiệu ngõ ra so với tín hiệu ngõ vào là:
- a. Cùng pha
- b. **Đảo pha**
- c. Câu a và b đều đúng
- d. Câu a và b đều sai
111. Khi transistor mắc kiểu CB thì tín hiệu ngõ ra so với tín hiệu ngõ vào là:

- a. V_{GS} càng âm thì I_D càng lớn b. $V_{GS} = 0V$ thì $I_D = 0A$
c. V_{GS} càng âm thì I_D càng nhỏ d. $V_{GS} = 0V$ thì $I_D < 0$
127. Theo họ đặc tuyến ngõ ra của JFET kênh N ta có:
a. I_D đạt giá trị bão hòa cao nhất ứng với $V_{GS} = 0V$
b. I_D đạt giá trị bão hòa cao nhất ứng với $V_{GS} = -1V$
c. I_D đạt giá trị bão hòa cao nhất ứng với $V_{GS} = -2V$
d. I_D giảm khi V_{DS} tăng
128. Đường tải tĩnh trên đặc tuyến ngõ ra của JFET có dạng:
a. Đường tròn b. Đường cong
c. Đường thẳng d. Cả ba câu đều sai
129. MOSFET loại tăng kênh N có cấu tạo khác MOSFET loại giảm kênh N:
a. Có sẵn kênh N b. Không có sẵn kênh N
c. Có sẵn kênh P d. Không có sẵn kênh P
130. MOSFET loại tăng kênh P có cấu tạo khác MOSFET loại giảm kênh P:
a. Có sẵn kênh P b. Không có sẵn kênh P
c. Câu a đúng, b sai d. Câu a sai, b đúng
131. MOSFET loại giảm kênh P có cấu tạo khác MOSFET loại tăng kênh P:
a. Có sẵn kênh P b. Không có sẵn kênh P
c. Có sẵn kênh N d. Không có sẵn kênh N
132. MOSFET loại giảm kênh N có cấu tạo khác MOSFET loại tăng kênh N:
a. Không có sẵn kênh N b. Có sẵn kênh N
c. Câu a sai, b đúng d. Câu a đúng, b sai
133. Hiệu điện thế giữa cực thoát và cực nguồn của MOSFET gọi là:
a. V_{GS} b. V_{BE}
c. V_{CE} d. V_{DS}
134. UJT là:
a. Transistor lưỡng nối b. Transistor hiệu ứng trường
c. Transistor đơn nối d. Quang transistor
135. Điện trở giữa B_1 và B_2 của UJT:
a. $40\Omega \div 1K$ b. $1K \div 30K$
c. $30K \div 300K$ d. $300K$ trở lên
136. SCR là một linh kiện có:
a. Vùng điện trở âm b. Vùng điện áp luôn âm
c. Đặc tuyến giống diode d. Cả ba câu đều sai
137. Để làm tắt được SCR khi đã dẫn, ta phải:
a. Ngắt dòng I_A b. Chỉ cho $V_{GK} = 0$
c. Ngắt dòng I_G d. Cả ba câu đều sai
138. Thyristor là một linh kiện có ba chân:
a. D, S, G b. B, C, E
c. A, K, G d. E, B_1 , B_2
139. SCR có điện áp $V_{AK} > 0$ thì trong SCR có:
a. 3 mối nối P-N được phân cực thuận b. 3 mối nối P-N được phân cực nghịch
c. 1 mối nối P-N được phân cực thuận và 2 mối nối P-N được phân cực nghịch
d. Cả ba câu đều sai
140. SCR có điện áp $V_{AK} < 0$ thì trong SCR có:
a. 3 mối nối P-N được phân cực nghịch b. 3 mối nối P-N được phân cực thuận
c. 1 mối nối P-N được phân cực nghịch và 2 mối nối P-N được phân cực thuận
d. Cả ba câu đều sai

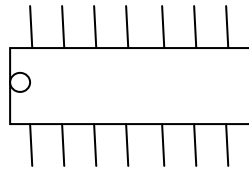
141. DIAC là một linh kiện:
- a. Chỉ dẫn điện theo một chiều
 - b. **Dẫn điện cả hai chiều**
 - c. Không dẫn điện
 - d. Cả ba câu đều sai
142. TRIAC là một linh kiện:
- a. Thu động
 - b. **Có vùng điện trở âm**
 - c. Câu a đúng, b sai
 - d. Câu a sai, b đúng
143. Mạch ổn áp là mạch có trị số điện áp ngõ ra:
- a. Không đổi
 - b. Luôn tăng
 - c. Luôn giảm
 - d. **Cả ba câu đều sai**
144. Mạch ổn dòng là mạch có trị số dòng điện qua tải:
- a. Luôn tăng
 - b. Luôn giảm
 - c. **Không đổi**
 - d. Cả ba câu đều sai
145. Nguồn cấp điện luôn là:
- a. Nguồn dòng
 - b. Nguồn áp
 - c. **Câu a và b đúng**
 - d. Câu a và b sai
146. Mạch ổn áp luôn có điện áp ngõ ra:
- a. Bằng điện áp ngõ vào
 - b. Gấp ba lần điện áp ngõ vào
 - c. Gấp 5 lần điện áp ngõ vào
 - d. **Cả ba câu đều sai**
147. Mạch khuếch đại hạng A là mạch khuếch đại:
- a. Toàn sóng
 - b. Một bán kỳ
 - c. Một nửa bán kỳ
 - d. Cả ba câu đều sai

KHUECH DAI THUAT TOAN

1. Phát biểu nào đúng về op_amp lưỡng cực và op_amp BiFET
 - a. Op_amp lưỡng cực có dòng phân cực lớn hơn so với op_amp BiFET*
 - b. Op_amp lưỡng cực có dòng phân cực nhỏ hơn so với op_amp BiFET
 - c. Op_amp lưỡng cực có dòng phân cực bằng dòng phân cực op_amp BiFET
 - d. Op_amp lưỡng cực và op_amp BiFET có dòng phân cực bằng 0
2. IC đóng gói được ký hiệu DIP(Dual Inline Package) có đặc điểm:
 - a. Có ba chân thẳng hàng
 - b. Có hai hàng chân *
 - c. Có một hàng chân
 - d. Có 4 hàng chân
3. IC đóng gói ký hiệu SO (Surface mount package) có đặc điểm
 - a. Có hai hàng chân
 - b. Có 4 hàng chân
 - c. Dùng để gắn lên bề mặt in*
 - d. Có một hàng chân
4. IC đóng gói được ký hiệu SIP(Single Inline Package) có đặc điểm:
 - a. Có ba chân thẳng hàng
 - b. Có hai hàng chân
 - c. Có một hàng chân*
 - d. Có 4 hàng chân
5. Trên thân Op_amp có ghi TL081C thì **“COMMERCE”**
 - a. IC được sản xuất cho cấp thương mại*
 - b. IC được sản xuất cho cấp công nghiệp

12. Cho IC như hình vẽ: IC được đóng gói dạng:

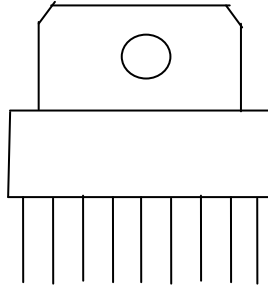
- a. DIP 14*
- b. DIP 7
- c. SIP 14
- d. SIP 7



hình 115

13. Cho IC như hình: IC được đóng gói dạng:

- a. DIP 9
- b. SIP 9*
- c. SIP 8
- d. DIP 8



hình 116

14. Các mạch khuếch đại transistor thông thường có các tụ điện để

- a. Ngăn các dòng phân cực DC*
- b. Ngăn các dòng phân cực AC
- c. Tín hiệu ra chỉ có dạng DC
- d. Tín hiệu ra lớn hơn tín hiệu vào

15. Phát biểu nào SAI về mạch khuếch đại vi sai

- a. Không có các tụ điện
- b. Những điện áp trôi DC sẽ bị triệt
- c. Sử dụng hai transistor
- d. Cấu tạo mạch đơn giản*

16. Cho một mạch khuếch đại có độ lợi áp A_v và độ lợi dòng A_i thì độ lợi công suất được tính

- a. $A_p = A_i + A_v$
- b. $A_p = A_i \cdot A_v$ *
- c. $A_p = A_i - A_v$
- d. $A_p = A_i / A_v$

17. Đáp ứng tần số của một mạch khuếch đại là

- a. Mô tả độ lợi thay đổi khi tần số tín hiệu vào thay đổi*
- b. Mô tả độ lợi thay đổi khi tần số tín hiệu ra thay đổi
- c. Mô tả công suất thay đổi khi tần số tín hiệu vào thay đổi
- d. Mô tả công suất thay đổi khi tần số tín hiệu ra thay đổi

18. Mạch KĐ vi sai có CMRR được tính theo độ lợi vi sai A_{vd} và độ lợi cách chung A_{vcm} là:

- a. $CMRR = A_{vcm}/A_{vd}$
- b. $CMRR = A_{vd}/A_{vcm}$
- c. $CMRR = 20\log(A_{vcm}/A_{vd})$
- d. $CMRR = 20\log(A_{vd}/A_{vcm})$ *

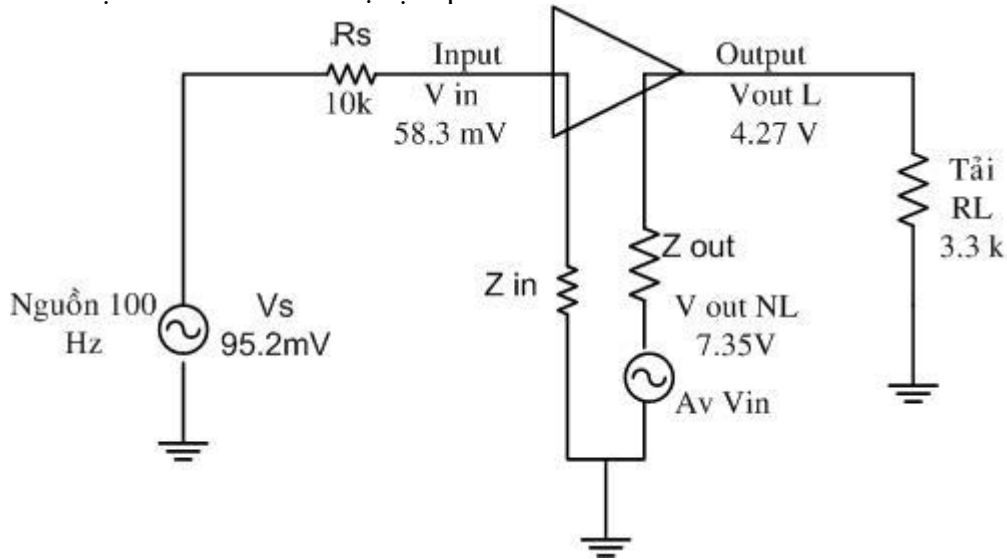
19. Mạch KĐ là mạch :

- a. tăng điện áp
- b. Cả 3 câu đúng *
- c. tăng dòng điện
- d. tăng công suất

20. Mạch KĐ sử dụng trong :

- a. hệ thống âm thanh (audio)
- b. các bộ thu radio và TV
- c. Cả 3 câu đúng *
- d. thiết bị đo lường

- c. 60 dB / decade
 35. Cho mạch như hình 2-6. Độ lợi áp là:




Hình 2-6

- a. 15.8
 c. 2.38
- b. 73.24 *
 d. 350.7
36. Cho mạch như hình 2-6. Độ lợi dòng là :
- a. 15.8
 c. 2.38
- b. 350.7 *
 d. 73.24
37. Cho mạch như hình 2-6. Độ lợi công suất là :
- a. 73.24
 c. 15.8
- b. 25680 *
 d. 350.7
38. Cho mạch như hình 2-6. Tổng trở vào là :
- a. 350.7K
 c. 2.38K
- b. 15.8 K *
 d. 73.24K
39. Cho mạch như hình 2-6. Tổng trở ra là :
- a. 350.7K
 c. 15.8K
- b. 2.38 K *
 d. 73.24K
40. Cho mạch như hình 2-6. Độ lợi áp theo dB là :
- a. 37.3 *
 c. 73.3
- b. 73.24
 d. 7.33
41. Cho mạch như hình 2-6. Độ lợi dòng theo dB là :
- a. 37.3
 c. 73.3
- b. 73.24
 d. 50.9 *
42. Cho mạch như hình 2-6. Độ lợi công suất theo dB là :
- a. 50.9
 c. 73.3
- b. 73.24
 d. 44.1 *
43. Mạch KĐVS sẽ :
- a. KĐ tín hiệu đồng pha
 c. Triệt tín hiệu ngược pha
- b. Triệt tín hiệu đồng pha *
 d. cả 3 câu sai
44. Op-amp có nghĩa là :
- a. KĐ thuật toán *
 c. KĐ vi sai
- b. KĐ tuyến tính
 d. KĐ phép toán
45. Mạch KĐ Op-amp sẽ có :
- a. Tổng trở ra rất thấp
 b. độ lợi vi sai rất cao

- c. tỉ số triệt cách chung rất cao d. cả 3 câu đúng *
46. Op-amp sẽ có các đặc tính chính :
- a. Tổng trở ra rất cao
b. Tổng trở vào rất thấp
c. ngõ vào đảo cùng điện áp ngõ vào không đảo *
d. cả 3 câu đúng
47. Op-amp có các loại chính :
- a. lưỡng cực b. ngõ vào FET
c. BIFET d. cả 3 câu đúng *
48. Op-amp có nguồn cấp điện trong khoảng :
- a. +/- 3 đến +/- 20V * b. +/- 9 đến +/- 12V
c. +/- 12 đến +/- 30V d. cả 3 câu đúng
49. Op-amp có nguồn cấp điện +/-15V có V_{sat} nhỏ hơn 1V. Điện áp ra đỉnh – đỉnh cực đại :
- a. 28V * b. 30V
c. 15V d. 14V
50. Hồi tiếp là :
- a. lấy một phần năng lượng ngõ ra đưa về ngõ vào *
b. lấy một phần năng lượng ngõ vào đưa về ngõ ra
c. lấy năng lượng ngõ ra đưa về ngõ vào
d. lấy năng lượng ngõ vào đưa về ngõ ra
51. Hồi tiếp dương có :
- a. tín hiệu hồi tiếp đồng pha với tín hiệu vào *
b. tín hiệu hồi tiếp ngược pha với tín hiệu vào
c. tín hiệu hồi tiếp lệch pha với tín hiệu vào
d. tín hiệu hồi tiếp được trừ với tín hiệu vào
52. Hồi tiếp âm có :
- a. tín hiệu hồi tiếp đồng pha với tín hiệu vào
b. tín hiệu hồi tiếp ngược pha với tín hiệu vào *
c. tín hiệu hồi tiếp lệch pha với tín hiệu vào
d. tín hiệu hồi tiếp được cộng thêm tín hiệu vào
53. Hồi tiếp dương có khuynh hướng :
- a. tăng độ méo trong mạch KĐ b. giảm BW hiệu dụng
c. làm mạch dễ bị dao động d. cả 3 câu đúng *
54. Hồi tiếp âm có :
- a. độ lợi KĐ bị giảm b. độ méo giảm
c. BW tăng d. cả 3 câu đúng *
55. Độ lợi vòng hở là :
- a. độ lợi không có hồi tiếp * b. độ lợi khi có hồi tiếp
c. độ lợi hồi tiếp d. cả 3 câu sai
56. Độ lợi vòng kín là :
- a. độ lợi không có hồi tiếp b. độ lợi khi có hồi tiếp *
c. độ lợi Avol d. cả 3 câu đúng
57. Một Op-amp có hệ số hồi tiếp 0.1. $A_{vol} = 200000$. Tính độ lợi :
- a. 9.9995 * b. 9.9990
c. 99.990 d. 99.995
58. Một Op-amp có hệ số hồi tiếp 0.1. $A_{vol} = 100000$. Tính độ lợi :
- a. 9.9990 * b. 9.9995

- a. Phụ thuộc vào giá trị tổng trở nguồn của mạch khuếch đại
 - b. Tổng trở ra rất nhỏ so với tổng trở tải để công suất ngõ ra lớn nhất. *
 - c. Phụ thuộc vào toàn bộ các linh kiện trong mạch.
 - d. Luôn luôn là một hằng số.
82. Băng thông độ lợi đơn vị, nghĩa là:
- a. Cho biết dải tần số mà độ lợi rất lớn.
 - b. Cho biết dải tần số mà độ lợi lớn hơn 1. *
 - c. Cho biết dải tần số mà công suất cực đại
 - d. Cho biết dải tần số mà công suất giảm đi phân nửa.
83. Băng thông -3dB, nghĩa là:
- a. Độ lớn áp nhỏ hơn 0.707 độ lợi dải giữa.
 - b. Độ lớn áp bằng 0.5 độ lợi dải giữa.
 - c. Độ lớn áp bằng 2 độ lợi dải giữa.
 - d. Độ lợi áp lớn hơn 0.707 độ lợi dải giữa. *
84. Băng thông -3dB, còn được gọi là:
- a. Điểm có công suất cực đại
 - b. Điểm có công suất rất nhỏ.
 - c. Điểm có công suất là hằng số.
 - d. Điểm nửa công suất *
85. Đáp ứng tần số là biểu đồ cho biết:
- a. Độ lợi thay đổi theo tần số tín hiệu ra.
 - b. Độ lợi thay đổi theo tần số tín hiệu vào. *
 - c. Độ lợi thay đổi theo dòng điện tín hiệu vào
 - d. Độ lợi thay đổi theo dòng điện tín hiệu ra.
86. Đáp ứng tần số là biểu đồ trong đó:
- a. Trục hoành là đại lượng biểu diễn theo thời gian, trục tung biểu diễn độ lợi áp.
 - b. Trục hoành là đại lượng biểu diễn theo độ lợi áp, trục tung biểu diễn tần số.
 - c. Trục hoành là đại lượng biểu diễn theo tần số, trục tung biểu diễn độ lợi áp. *
 - d. Trục hoành là đại lượng biểu diễn theo độ lợi áp, trục tung biểu diễn thời gian.
87. Mạch khuếch đại vi sai cơ bản là mạch gồm 2 transistor ghép chung với nhau theo kiểu:
- a. Cực E chung, nhưng 2 transistor khác nhau như: C1815 và D468,...
 - b. Cực E chung, nhưng 2 transistor giống nhau như: C1815 *
 - c. Cực C chung, nhưng 2 transistor giống nhau
 - d. Cực C chung, nhưng 2 transistor khác nhau.
88. Mạch khuếch đại vi sai là mạch với nguồn cấp điện là:
- a. Nguồn dương (+V_{cc}) thuần túy.
 - b. Nguồn âm (-V_{EE}) thuần túy.
 - c. Nguồn lưỡng cực (+V_{cc}, -V_{EE}) *
 - d. Nguồn điện xoay chiều.
89. Trong mạch khuếch đại vi sai, nếu ngõ vào và ra không ở điện thế OV thì ta phải:
- a. Mắc thêm tụ C_{in} ở ngõ vào để ngăn dòng DC chảy từ mạch về nguồn.
 - b. Mắc thêm tụ C_{out} ở ngõ ra để ngăn dòng DC chảy từ mạch vào tải.
 - c. Mắc thêm tụ C_{in} và C_{out} ở ngõ vào-ra để ngăn dòng DC chảy từ mạch về nguồn và tải. *
 - d. Mắc thêm bất kỳ linh kiện thụ động nào ở ngõ vào.
90. Công dụng mạch khuếch đại vi sai:
- a. Bất cứ nhiễu xuất hiện ở ngõ vào sẽ được khuếch đại ở ngõ ra.

- b. Làm giảm tính phức tạp của mạch so với mạch khuếch đại đơn thuần dùng 1 transistor.
- c. Tăng hệ số mạch khuếch đại 2 lần so với mạch khuếch đại đơn thuần dùng 1 transistor.
- d. Triệt tiêu hiện tượng trôi DC xuất hiện ở ngõ ra. *
91. Công dụng mạch khuếch đại vi sai:
- a. Trôi DC xuất hiện bằng nhau cả hai phía mạch khuếch đại được tăng cường ở ngõ ra.
- b. Triệt tiêu bất cứ nhiễu xuất hiện ở ngõ ra. *
- c. Tăng hệ số mạch khuếch đại 2 lần so với mạch khuếch đại đơn thuần dùng 1 transistor.
- d. Làm giảm tính phức tạp của mạch so với mạch khuếch đại đơn thuần dùng 1 transistor.
92. Trong mạch khuếch đại vi sai, tỉ số triệt cách chung (CMRR) là:
- a. Là một hằng số (khoảng 200).
- b. Là số rất nhỏ
- c. Tỉ số giữa độ lợi một ngõ vào với độ lợi cách chung. *
- d. Tỉ số giữa độ lợi ngõ vào với độ lợi cách chung.
93. Trong mạch khuếch đại vi sai, tỉ số triệt cách chung là:
- a. Là một hằng số (khoảng 200).
- b. Là số rất nhỏ
- c. $20\log(\text{độ lợi một ngõ vào}/\text{độ lợi cách chung})$. *
- d. $20\log(\text{độ lợi cách chung}/\text{độ lợi một ngõ vào})$.
94. Trong mạch khuếch đại vi sai, nếu điện áp phân cực Base của mỗi transistor khác nhau sẽ:
- a. Làm cho hiệu điện áp hai ngõ ra không đổi.
- b. Không ảnh hưởng tính chất ngõ ra của mạch.
- c. Không làm méo dạng tín hiệu ngõ ra so với ngõ vào.
- d. Xuất hiện điện áp Offset ra. *
95. Trong mạch khuếch đại vi sai, nếu điện áp phân cực Base của mỗi transistor khác nhau sẽ:
- a. Không làm méo dạng tín hiệu ngõ ra so với ngõ vào.
- b. Không ảnh hưởng tính chất ngõ ra của mạch.
- c. Xuất hiện dòng Offset vào. *
- d. Hiệu điện áp hai ngõ ra là không đổi.
96. Khuyết điểm mạch khuếch đại vi sai là:
- a. Không ứng dụng trong mạch tăng âm.
- b. Làm trôi điện áp DC.
- c. Làm giảm khả năng chống nhiễu.
- d. Mạch phức tạp *
97. Hãy cho biết phát biểu nào là SAI:
- a. Mạch khuếch đại vi sai có hai ngõ vào và hai ngõ ra.
- b. Mạch khuếch đại vi sai giảm trôi điện áp DC.
- c. Mạch khuếch đại vi sai làm tăng khả năng chống nhiễu.
- d. Mạch khuếch đại vi sai có cấu trúc đơn giản *
98. Mạch ổn dòng cơ bản (dạng mạch khuếch đại vi sai) có dòng tải:
- a. Phụ thuộc mức biến thiên 

- b. Phụ thuộc vào tải R_L
- c. Phụ thuộc vào nguồn cấp
- d. Luôn ổn định *

99. Hãy chọn phát biểu nào SAI. CMRR là:

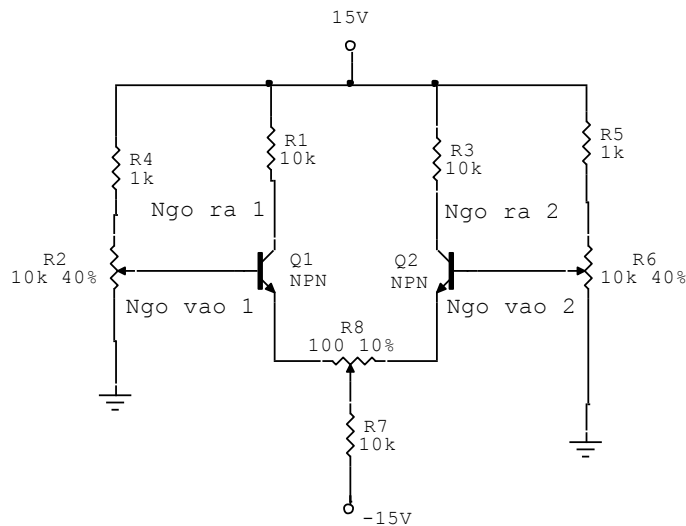
- a. Đại lượng đặc trưng cho khả năng chống nhiễu.
- b. Có giá trị rất lớn.
- c. Đại lượng có đơn vị tính bằng VA. *
- d. Tỷ số giữa A_v (vi sai) so với A_v (đồng pha)

100. Để tránh vấn đề Offset trong mạch khuếch đại vi sai, người ta mắc thêm:

- a. Tụ C_E song song với điện trở R_E .
- b. Mắc thêm tụ C_{in} ở 2 ngõ vào mạch khuếch đại.
- c. Mắc thêm tụ C_{out} ở 2 ngõ ra mạch khuếch đại.
- d. Cần mạch bù chính offset. *

101. Xét mạch khuếch đại vi sai như hình 2.2, nếu đưa tín hiệu vào cực Base của Q1, thì:

- a. Tín hiệu ngõ ra được lấy tại cực Base của Q2.
- b. Tín hiệu ngõ ra được lấy từ cực C của Q2 sẽ đảo (ngược) pha so với tín hiệu vào.
- c. Tín hiệu ngõ ra được lấy từ cực C của Q2 sẽ cùng pha so với tín hiệu vào. *
- d. Tín hiệu ngõ ra được lấy từ cực C của Q1 sẽ cùng pha so với tín hiệu vào.



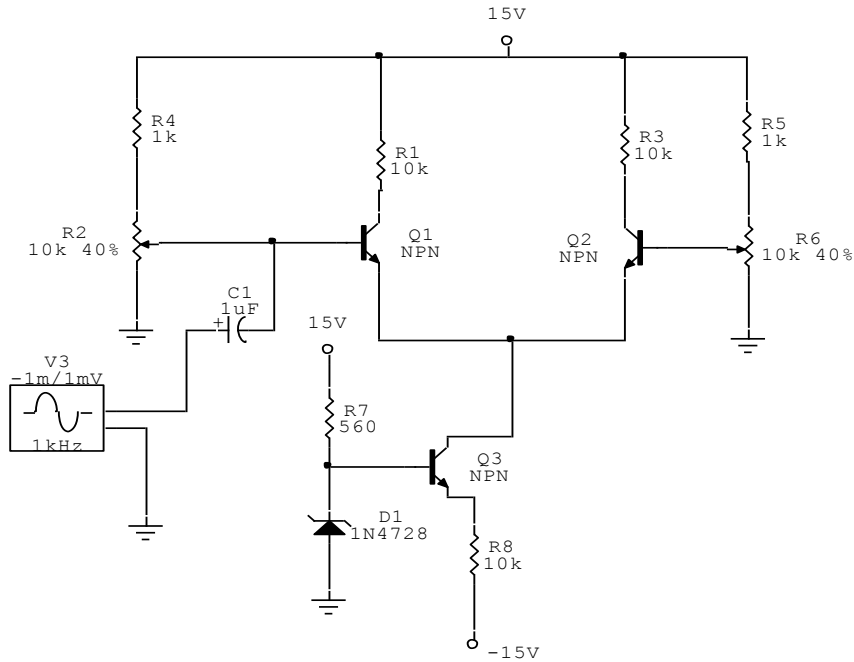
Hình 2.2

102. Xét mạch khuếch đại vi sai như hình 2.2, nếu đưa tín hiệu vào cực Base của Q2, thì:

- a. Tín hiệu ngõ ra được lấy tại cực Base của Q1.
- b. Tín hiệu ngõ ra được lấy từ cực C của Q2 sẽ đảo (ngược) pha so với tín hiệu vào. *
- c. Tín hiệu ngõ ra được lấy từ cực C của Q2 sẽ cùng pha so với tín hiệu vào.
- d. Tín hiệu ngõ ra được lấy từ cực C của Q1 sẽ cùng pha so với tín hiệu vào.

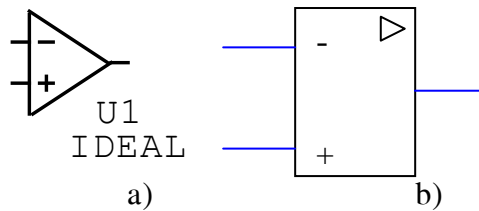
103. Hãy cho biết hình 2.3 là:

- a. Mạch khuếch đại ghép liên tầng
- b. Mạch khuếch đại ghép Darlington
- c. Mạch khuếch đại vi sai
- d. Mạch khuếch đại vi sai với nguồn dòng không đổi. *



Hình 2.3

104. Hãy cho biết các ký hiệu hình 2.4 là:
- Hình a là ký hiệu Op-amp, hình b là ký hiệu khuếch đại vi sai.
 - Hình a là ký hiệu mạch khuếch đại, hình b là ký hiệu khuếch đại vi sai.
 - Tất cả là ký hiệu khuếch đại vi sai.
 - Tất cả là ký hiệu khuếch đại Op-amp (hay khuếch đại thuật toán) *

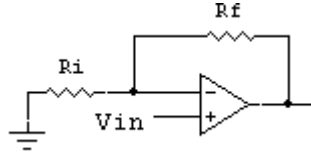


Hình 2.4

105. Mạch khuếch đại thuật toán (Op-amp) là mạch:
- Có 2 ngõ vào và 2 ngõ ra.
 - Có 2 ngõ vào và 1 ngõ ra.
 - Có 2 ngõ vào (đảo và không đảo) và 2 ngõ ra (đảo và không đảo).
 - Có 2 ngõ vào (đảo và không đảo) và 1 ngõ ra. *
106. Tầm giới hạn nguồn cung cấp Op-amp là:
- 3V đến 18V
 - 15V hay 12V
 - 3V đến 20V *
 - Tùy ý
107. Điện áp ngõ ra của Op-amp khác 0 khi điện áp các ngõ vào có giá trị:
- Khi $V_+ = 0, V_- = 0$
 - $|V_+ - V_-| = V_{\text{bất kỳ}}$ *
 - 2 ngõ vào bằng 0
 - $V_+ = V_- + V_{cc}$
108. Hãy cho biết IC HA17741 (thường dùng trong phòng thực hành ICTT), là loại:
- Op-amp BiFET.
 - Op-amp JFET.
 - Op-amp lưỡng cực. *
 - Op-amp đơn cực.
109. Hãy cho biết cách xác định thứ tự chân IC HA17741 (nhìn vào mã số) là:
- Tại chân có đánh dấu (chấm tròn) là chân số 8
 - Tùy ý
 - Xác định chân số 1, còn các chân 2 đến 8 tính theo quy tắc cùng chiều kim đồng hồ.

- d. Xác định chân số 1, còn các chân 2 đến 8 tính theo quy tắc ngược chiều kim đồng hồ. *
110. Tầm giới hạn nguồn cung cấp IC \blacksquare 741 là:
- \blacksquare 3V đến \blacksquare 18V *
 - \blacksquare 15V hay \blacksquare 12V
 - \blacksquare 3V đến \blacksquare 20V
 - Nguồn áp AC
111. op_amp LM741C có dòng phân cực cho mỗi ngõ vào khoảng:
- 80nA*
 - 80A
 - 80mA
 - 30pA
112. op_amp TL081C có dòng phân cực cho mỗi ngõ vào khoảng:
- 80nA
 - 30pA*
 - 30mA
 - 800pA
113. Xét mạch Op-amp với nguồn cấp điện \blacksquare 15V, gọi giá trị điện áp bão hoà dương là V_{sat+} và giá trị điện áp bão hoà âm là V_{sat-} , hãy cho biết:
- $V_{sat-} = -15V, V_{sat+} = +15V$
 - $V_{sat-} = -14V, V_{sat+} = +15V$
 - $V_{sat-} = -14V, V_{sat+} = +14V^*$
 - $V_{sat-} = -15V, V_{sat+} = +14V$
114. Chân số 8 của \blacksquare 741 (hay HA17741) có tác dụng:
- Là ngõ ra thứ 2 dự trữ của IC.
 - Là chân để nối đất (mass)
 - Là chân để mắc tụ C_E (tụ bypass).
 - Chân bỏ trống (Non-Connection) và đảm bảo số chân IC là chẵn trong dạng DIP *
115. Chân số 1 và 5 của \blacksquare 741 (hay HA17741) có tác dụng:
- Chân số 1 mắc tụ C_{in} , chân số 5 mắc tụ C_{out} .
 - Chân bỏ trống (Non-Connection)
 - Là 2 chân dùng để chỉnh Offset *
 - Là chân ngõ vào đảo (số 1) và ngõ vào không đảo (số 2).
116. Hãy cho biết IC HA17741, thường dùng trong phòng thực hành IC tuyến tính, có cấu trúc loại vỏ dạng:
- SIP (Single-In line Package), nghĩa là một hàng chân.
 - DIP (Dual-In line Package), nghĩa là hai hàng chân song song. *
 - IC dán.
 - TO-5
117. Xét về cấu trúc bên trong Op-amp là sự tích hợp mạch khuếch đại vi sai thỏa mãn tính chất:
- Tổng trở vào rất thấp, tổng trở ra rất thấp và độ lợi vi sai rất thấp.
 - Tổng trở vào rất cao, tổng trở ra rất cao và độ lợi vi sai rất cao.
 - Tổng trở vào rất cao, tổng trở ra rất thấp và độ lợi vi sai rất cao. *
 - Tổng trở vào rất thấp, tổng trở ra rất thấp và độ lợi vi sai rất cao.
118. Một Op-amp lý tưởng có hệ số khuếch đại vòng hở:
- Rất nhỏ.
 - Phụ thuộc vào hệ số hồi tiếp.
 - Phụ thuộc vào các linh kiện bên ngoài mạch.
 - Rất lớn *
119. Một Op-amp lý tưởng có:
- Z_{in} \blacksquare , Z_{out} \blacksquare , A_v \blacksquare
 - Z_{in} \blacksquare , Z_{out} \blacksquare , A_v rất nhỏ
 - Z_{in} \blacksquare , Z_{out} rất nhỏ, A_v \blacksquare *
 - Z_{in} \blacksquare , Z_{out} rất nhỏ, A_v rất nhỏ
120. Gọi điện áp ngõ vào đảo là V_{in-} và điện áp ngõ vào không đảo là V_{in+} . Op-amp lý tưởng luôn luôn có:

- d. $A_{vf} = -R_f/R_i$
145. Xét mạch hình 3.4, hãy cho biết kết luận nào sau đây là SAI:
- a. Đây là mạch khuếch đại không đảo dùng Op-amp BiFET.
- b. $V_{in} = \frac{R_f}{R_i + R_f} V_{out}$
- c. $A_{vf} = -R_f/R_k$ *
- d. $A_{vf} = 1 + R_f/R_i$



Hình 3.4

146. Xét mạch khuếch đại không đảo như hình 3.4, hãy cho biết kết luận nào sau đây là SAI:
- a. R_f là điện trở hồi tiếp
- b. Tổng trở vào $Z_{in} = R_i$ *
- c. $A_{vf} = 1 + R_f/R_i$
- d. Tín hiệu vào và tín hiệu ra cùng pha.
147. Xét mạch khuếch đại không đảo như hình 3.4, hãy cho biết kết luận nào sau đây là SAI:
- a. Tổng trở vào $Z_{in} =$ rất lớn.
- b. Tín hiệu vào và tín hiệu ra cùng pha.
- c. Hệ số khuếch đại phụ thuộc các linh kiện bên ngoài.
- d. Hệ số khuếch đại phụ thuộc vào V_{in} *
148. Xét mạch khuếch đại không đảo như hình 3.4, biết $A_{vf} = 11$, $R_i = 10K\Omega$, $R_f = 100K\Omega$ nguồn cấp điện $\pm 15V$. Người ta cho điện áp ngõ vào $-1.5V$. Hỏi giá trị điện áp ngõ ra:
- a. $-14V$ *
- b. $+14V$
- c. $+15V$
- d. $-15V$
149. Xét mạch khuếch đại không đảo như hình 3.4, biết $A_{vf} = 11$, $R_i = 10K\Omega$, $R_f = 100K\Omega$ nguồn cấp điện $\pm 15V$. Người ta cho điện áp ngõ vào $-1.3V$. Hỏi giá trị điện áp ngõ ra:
- a. $-14V$
- b. $+14V$
- c. $+13V$
- d. $-13V$ *
150. Xét mạch khuếch đại không đảo như hình 3.4, biết $A_{vf} = 11$, nguồn cấp điện $\pm 15V$. Hỏi giá trị điện trở R_i và R_f :
- a. $R_i = 560\Omega$, $R_f = 5.6K\Omega$ *
- b. $R_i = 720\Omega$, $R_f = 5.6K\Omega$
- c. $R_i = 560\Omega$, $R_f = 6.8K\Omega$
- d. $R_i = 720\Omega$, $R_f = 6.8K\Omega$
151. Xét mạch khuếch đại không đảo như hình 3.4, biết $R_f = 2K\Omega$, $A_{vf} = 10$, nguồn cấp điện $\pm 15V$. Người ta cho tín hiệu hình sin $10mV_{p-p}$ (đỉnh –đỉnh) tần số $10KHz$. Hỏi dạng sóng điện áp ngõ ra là:
- a. Đảo pha 180° , biên độ $110mV_{p-p}$, tần số $1KHz$.
- b. Cùng pha với ngõ vào, biên độ $110mV_{p-p}$, tần số $1KHz$.
- c. Cùng pha với ngõ vào, biên độ $110mV_{p-p}$, tần số $10KHz$. *
- d. Đảo pha 180° , biên độ $110mV_{p-p}$, tần số $10KHz$.
152. Xét mạch khuếch đại không đảo dùng Op-amp TL081C, $A_{vf} = 13$, nguồn cấp điện $\pm 15V$. Hỏi giá trị bằng thông:

c. BW độ lợi đơn vị / ($A_{vf} + 1$) và vô cùng

d. BW độ lợi đơn vị / A_{vf} và vô cùng *

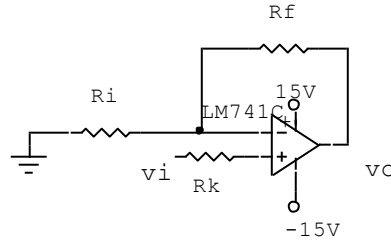
161. mạch KĐ không đảo dùng LM741C có $A_{vf} = 25$, $R_i = 3000$ điện trở hồi tiếp R_f là :

a. 72000 *

b. 3000

c. 75000

d. 38500



162. mạch KĐ không đảo dùng LM741C có $A_{vf} = 25$, $R_i = 3000$. BW là :

a. 72000

b. 40000 *

c. 75000

d. 38500

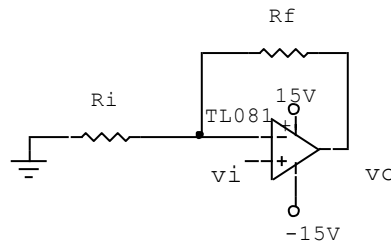
163. mạch KĐ không đảo dùng TL081C có $A_{vf} = 40$, điện trở hồi tiếp $R_f = 100K$. R_i là :

a. 2400

b. 2560 *

c. 75000

d. 38500



164. mạch KĐ không đảo dùng TL081C có $A_{vf} = 40$, điện trở hồi tiếp $R_f = 100K$. BW là

a. 2400

b. 2560

c. 75000 *

d. 38500

165. mạch KĐ đệm là :

a. mạch KĐ không đảo

b. mạch KĐ độ lợi đơn vị *

c. mạch KĐ theo

d. mạch KĐ đảo

166. mạch KĐ đệm dùng để :

a. bảo vệ tải

b. KĐ độ lợi đơn vị

c. nâng công suất đưa đến tải

d. cả 3 câu đúng *

167. mạch KĐ đệm đảo có :

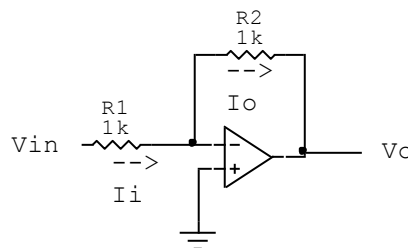
a. $R_i = R_f$

b. $A_{vf} = -1$

c. $BW = \frac{1}{2} BW$ đơn vị

d. cả 3 câu đúng *

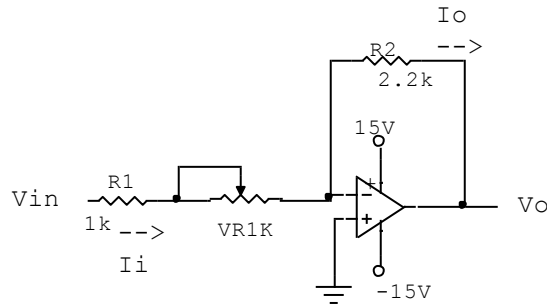
168. Cho mạch sau hình 168. dòng điện vào được tính



Hình 168

a. $I_i = V_{in} / (R_1 + R_2)$

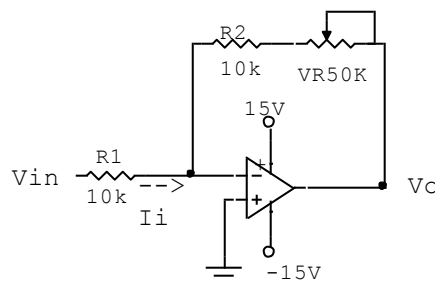
b. $I_i = V_{in} / (R_1 // R_2)$



Hình 176

Trị tuyệt đối hệ số khuếch đại điện áp A_v trong khoảng

- a. Từ 1.1 đến 2.2*
 - b. Từ 1 đến 2
 - c. Từ 0 đến 2.2
 - d. Từ -2.2 đến -1.1
180. Cho mạch sau hình 176. Khi chỉnh biến trở có giá trị tăng dần, chọn câu SAI
- a. trị tuyệt đối điện áp ra vo giảm
 - b. dòng vào I_i tăng*
 - c. dòng I_o giảm
 - d. Zin tăng
181. Cho mạch sau hình 176. Khi chỉnh biến trở có giá trị giảm dần, chọn câu SAI
- a. Trị tuyệt đối điện áp ra vo tăng
 - b. dòng vào I_i tăng
 - c. dòng I_o giảm*
 - d. Zin giảm
182. Cho mạch sau hình 176. Cho điện áp vào là 2V. Dòng điện vào I_i trong khoảng
- a. Từ 0A đến 2.2A
 - b. Từ 0A đến 1.1mA
 - c. Từ 1mA đến 2mA*
 - d. Từ 1A đến 2A
183. Cho mạch sau hình 176. Cho điện áp vào là 2V. Điện áp ra V_o trong khoảng:
- a. Từ 0V đến 2.2V
 - b. Từ 2.2V đến 4.4 V
 - c. Từ -1.1V đến -2.2V
 - d. Từ -4.4V đến -2.2V*
184. Cho mạch sau hình 176. Cho điện áp vào là -3V. Điện áp ra V_o trong khoảng:
- a. Từ 0V đến 3.3V
 - b. Từ 3.3V đến 6.6 V*
 - c. Từ -6.6V đến -3.3V
 - d. Từ -6.6V đến 6.6V
185. Cho mạch sau hình 176. Cho điện áp vào là 10V. Điện áp ra V_o trong khoảng:
- a. Từ -14V đến -11V*
 - b. Từ 11V đến 14V
 - c. Từ -22V đến -11V
 - d. Từ 11V đến 22V
186. Cho mạch sau hình 176. Cho điện áp vào là -10V. Điện áp ra V_o trong khoảng:
- a. Từ -14V đến -11V
 - b. Từ 11V đến 14V*
 - c. Từ -22V đến -11V
 - d. Từ 11V đến 22V
187. Cho mạch sau hình 182



Hình 182

Hệ số khuếch đại điện áp A_v trong khoảng

- a. Từ 1 đến 5
 - b. Từ -6 đến -1*
 - c. Từ 1 đến 6
 - d. Từ -5 đến 1
188. Cho mạch sau hình 182. Khi chỉnh biến trở tăng dần thì
- a. dòng vào I_i không đổi*
 - b. dòng vào I_i tăng
 - c. dòng vào I_i giảm
 - d. cả ba câu đều sai

- c. Điện tử
d. Hóa trị.
3. Phần phụ nguyên tử với khối lượng nhỏ nhất là :
- Điện tử .*
 - Proton
 - Nơtron
 - Hạt nhân
4. Tổng số hạt điện tử chứa trong lớp thứ 3 không vượt quá :
- 2
 - 8
 - 18 .*
 - 28
5. Các điện tử ở lớp ngoài cùng được xem như là các điện tử _____
- Chính
 - Phụ
 - Cơ bản
 - Hóa trị .*
6. Tính chất có hướng của điện năng được gọi là :
- Cực tính .*
 - Điện áp
 - Nguồn
 - Newton
7. Tính điện là :
- Dòng quy ước
 - Nạp tĩnh (không di chuyển).*
 - Dòng các electron
 - Dòng các proton
8. Một nguyên tử không cân bằng hay được nạp gọi là :
- Ion .*
 - Trơ
 - Nơtron
 - Hóa trị
9. Chất dẫn dòng điện rất ít được biết như là :
- Cách điện .*
 - Dẫn điện
 - Kim loại
 - Cuộn dây
10. Biên độ của cường độ dòng điện được đo bởi :
- Volt
 - Watt
 - Ampe .*
 - Ohm
11. Tỉ số của 1 joule trên 1 coulomb được gọi là :
- Volt .*
 - Watt
 - Ampe
 - Ohm

Dòng điện DC

12. Một dây được thay thế bởi dây dài gấp đôi và đường kính một nửa. Điện trở là :
- 1 / 4
 - 4 lần
 - 8 lần .*
 - Như nhau
13. Tất cả dòng mà đi ra khỏi một điểm trong mạch phải bằng với :
- Điện áp quanh mạch
 - Điện trở của mạch
 - Tổng các dòng từ nguồn
 - Dòng đi vào nút đó .*
14. Đối với dòng điện trong mạch tăng. Điện áp phải _____ và /hay điện trở phải _____.
- Tăng, giảm .*
 - Giảm , tăng
 - Tăng , tăng
 - Giảm, giảm.
15. Tính chất có hướng của điện được gọi là : _____.
- Dòng*
 - Biên độ
 - Pha
 - Cực tính .
16. Một mạch mà dòng có một chiều được gọi là _____.
- DC .*
 - AC
 - AM
 - FM
17. Cách năng lượng được dùng nhanh nhất là đo _____.
- Trở kháng
 - Nguồn .*
 - Công việc
 - Thế
18. Đơn vị cơ bản của năng lượng điện là :
- Volt
 - Ampe
 - Ohm
 - Watt .*
19. Động cơ điện DC làm việc ở 220 volts và 660 watts sẽ tạo dòng điện là :
- 1 amp
 - 2 amp
 - 3 amp .*
 - 4 amp
20. Mạch nối tiếp là mạch trong đó dòng là
- Tích của công suất và điện áp.
 - Tổng của điện trở chia cho điện áp
 - Tổng của các điện trở chia bởi điện áp
 - Giống trong mỗi phần .*

21. Mạch nối tiếp có 4 điện trở 100 Ohm. Điện trở tương đương là :
- 400 Ohm .*
 - 200 Ohm
 - 50 Ohm
 - 25 Ohm
22. Mạch song song có 4 điện trở 100 Ohm . Điện trở tương đương là :
- 400 Ohm .
 - 200 Ohm
 - 50 Ohm
 - 25 Ohm .*
23. Mạch RC có giá trị $R=200\text{ k}\Omega$ và $C=8\text{ }\mu\text{F}$ có thời hằng là :
- 0,4 sec (giây)
 - 1,6 sec .*
 - 4 sec
 - 16 sec

Điện AC

24. Dạng sóng trên màn hình máy hiện sóng thay đổi dương và âm quanh một trục là :
- Điện áp DC
 - Điện áp AC .*
 - Áp không đổi
 - Dạng pha
25. Giá trị trung bình của một chu kỳ đầy đủ của sóng sin thì bằng :
- 0,707 lần giá trị đỉnh
 - 0,637 lần giá trị đỉnh .*
 - 2 lần giá trị đỉnh
 - 0
26. Hầu hết máy đo AC volt và đo AC Ampe được đánh mẫu để đọc :
- Giá trị RMS hiệu dụng của sóng sin .*
 - Giá trị trung bình của sóng sin
 - 2 lần giá trị dc
 - 1 / 2 giá trị DC
27. Trở kháng của một mạch là _____ hoặc điện trở hay tổng trở một mình.
- Lớn hơn .*
 - Bằng với
 - Nhỏ hơn
 - 2 lần
28. Một thiết bị chuyển năng lượng điện từ mức dòng-áp này sang mức dòng –áp khác được gọi là :
- Transistor
 - Tụ điện
 - Diode
 - Biến thế .*

Diode và Transistor BJT

29. Diode dẫn điện khi nó :
- Được pha với nhôm
 - Phân cực ngược.
 - Phân cực thuận .*

d. Nạp điện âm

30. Càng thêm nhiều phốt pho vào silicon thì :

- a. Điện trở càng thấp .*
- b. Lỗ trống được tạo ra càng nhiều.
- c. Nó trở nên trở hơn
- d. Nó trở nên suy yếu hơn

31. Bơm Silicon với Aluminum tạo ra hạt mang điện tự do gọi là :

- a. Proton
- b. Điện tử
- c. Nơtron
- d. Lỗ trống . *

32. Lớp Si mỏng ở cả hai phía mối nối mà không có hạt dẫn nào gọi là :

- a. Vùng suy yếu , nghèo. *
- b. Vùng tối
- c. Vùng trở
- d. Vùng đẩy

33. Ngưỡng điện áp của diode mối nối PN Si là xấp xỉ :

- a. 0,2 volt
- b. 0,4 volt
- c. 0,7 volt .*
- d. 1,4 volt

34. Bán dẫn loại P của Diode được gọi là :

- a. Catốt
- b. Anode *
- c. Nền
- d. Phát

35. Một nguyên tử sử dụng điện tử ở lớp ngoài cùng để :

- a. Ổn định hóa hạt nhân
- b. Hủy khối lượng proton
- c. Tạo sự liên kết .*
- d. Phát sáng

36. Bán dẫn thuần khiết hay vật liệu bán dẫn khác là :

- a. Chất cách điện .*
- b. Chất dẫn điện
- c. Diode
- d. Transistor

37. Trong Transistor NPN, vùng P là :

- a. Catốt
- b. Cực phát
- c. Cực nền .*
- d. Cực thu

38. Khi transistor mở tất cả các đường, thì nó trong điều kiện ____.

- a. Bù
- b. Bảo hòa .*
- c. Thuận
- d. Nghịch

UJT, FET

39. Điều kiện dẫn của UJT :

a. $V_{B2} > V_E > V_{B1}$ * b. $V_{B2} < V_E < V_{B1}$

40. Điều kiện dẫn của JFET kênh N: a. $V_D > V_S > V_G$ * b. $V_D < V_S < V_G$

41. FET có ưu điểm hơn BJT là :

- a. Tổng trở vào lớn .*
- b. Tổng trở ra lớn.
- c. Tổng trở vào nhỏ
- d. Tổng trở ra nhỏ.

42. Mạch dao động tích thoát tạo ra xung :

- a. Răng cưa .*
- b. Sin
- c. Vuông
- d. Câu a và c đúng

Khuếch đại và Khuếch đại công suất

43. Mạch của hầu hết hệ thống điện tử như là TV gồm có hầu hết :

- a. Bộ điều chế
- b. Bộ dao động
- c. Khuếch đại .*
- d. Chính lưu

44. Mạch khuếch đại tín hiệu điện áp trong một bước được gọi là : _____ khuếch đại áp.

- a. Cầu
- b. Tầng .*
- c. Đường dẫn
- d. Mạng

45. Trong khuếch đại transistor, điện trở được nối từ cực nền với Vcc được gọi là điện trở _____ :

- a. Phân cực .*
- b. Tải
- c. Hồi tiếp
- d. Ổn định hóa

46. Nếu điện áp vào bộ khuếch đại là 0.05 volt và bộ khuếch đại tạo ra điện áp ra là 2 volt, khi đó hệ số khuếch đại áp là :

- a. 40 .*
- b. 120
- c. 200
- d. 400

47. Chỉ có một nửa chu kỳ của sóng tín hiệu vào được khuếch đại ở hoạt động lớp ____.

- a. A
- b. B .*
- c. C
- d. D

48. Điện trở emitter gây ra hồi tiếp _____.

- a. Hồi
- b. Cảm

d. Bộ cộng.*

59. Mạch thực hiện chức năng NOT được gọi là :

a. Chuyển đổi.

b. Mạch lật.

c. Cổng OR.

d. Ngịch đảo (inverter).*

60. Ngõ ra của cổng _____ là 1 chỉ nếu tất cả ngõ vào là 1.

a. NOT

b. NOR

c. OR

d. AND.*

61. Nếu tất cả ngõ vào là 0, thì ngõ ra là 0 đối với cổng _____.

a. OR.*

b. NOR

c. AND

d. câu b và c

62. Cổng AND được theo sau bộ đảo sẽ làm việc như là :

a. Cổng NAND.*

b. Cổng NOR

c. Bộ đảo âm

d. Cổng AND loại trừ (exclusive AND)

LINH KIẾN ĐIỆN TỬ

- 1./ Một nguyên tử trung hoà điện khi nguyên tử có:
 - a. số lượng proton lớn hơn số lượng electron.
 - b. Số lượng proton nhỏ hơn số lượng electron.
 - c. Số lượng proton bằng tổng số lượng electron và Neutron.
 - d. Số lượng proton bằng số lượng electron.*
- 2./ Một nguyên tử khi không cân bằng điện thì trở thành :
 - a. ion âm khi số lượng proton lớn hơn số lượng electron.
 - b. Ion âm khi số lượng proton nhỏ hơn số lượng electron.*
 - c. Ion dương khi số lượng electron lớn hơn số lượng proton.
 - d. Ion âm khi số lượng electron nhỏ hơn số lượng proton.
- 3./ Một nguyên tử khi không cân bằng điện thì trở thành :
 - a. Ion dương khi số lượng proton nhỏ hơn số lượng electron.
 - b. Ion âm khi số lượng proton lớn hơn số lượng electron.
 - c. Ion dương khi số lượng electron nhỏ hơn số lượng proton.*
 - d. Ion dương khi số lượng electron lớn hơn số lượng proton.
- 4./ Các hạt mang điện tương tác nhau:
 - a. Các hạt trái dấu đẩy nhau , các hạt cùng dấu hút nhau.
 - b. Các hạt cùng dấu hút nhau, các hạt trái dấu hút nhau.
 - c. Các hạt trái dấu hút nhau, các hạt cùng dấu đẩy nhau.*
 - d. Các hạt cùng dấu đẩy nhau , các hạt trái dấu đẩy nhau.
- 5./ Electron là hạt :
 - a. không mang điện tích .
 - b. Mang điện tích âm.*
 - c. Mang điện tích dương.
 - d. Bán dẫn.
- 6./ Proton là hạt:
 - a. Bán dẫn .
 - b. Không mang điện tích.
 - c. Mang điện tích âm.
 - d. Mang điện tích dương.*
- 7./ Hiệu điện thế giữa hai đầu đoạn mạch là U_{AB} :
 - a. $U_{AB} = V_B - V_A = - U_{BA}$
 - b. $U_{AB} = V_B + V_A = U_{BA}$
 - c. $U_{AB} = V_A - V_B = U_{BA}$
 - d. $U_{AB} = V_A - V_B = - U_{BA}$ *
- 8./ Độ lớn lực tương tác giữa hai điện tích điểm q_1, q_2 ở trạng thái đứng yên , cách nhau một khoảng r :
 - a. Tỷ lệ thuận với tích q_1q_2 và tỷ lệ nghịch với r^2 .*
 - b. Tỷ lệ thuận với tích q_1q_2 và tỷ lệ thuận với r^2 .
 - c. Tỷ lệ nghịch với tích q_1q_2 và tỷ lệ nghịch với r^2 .
 - d. Tỷ lệ nghịch với tích q_1q_2 và tỷ lệ thuận với r^2 .
- 9./ Nếu áp vào hai đầu tụ một hiệu điện thế xoay chiều $U_c = U_o \sin \omega t$ thì dòng xoay chiều :
 - a. $i_c = I_o \sin \omega t$
 - b. $i_c = I_o \sin(\omega t + \frac{\pi}{4})$

c. $i_c = I_0 \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$ *

d. $i_c = I_0 \cdot \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$

10./ Nếu áp vào hai đầu cuộn cảm một hiệu điện thế xoay chiều $u_L = U_0 \sin \omega t$

a. $i_L = I_0 \cdot \sin \omega t$

b. $i_L = I_0 \cdot \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$ *

c. $i_L = I_0 \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$

d. $i_L = I_0 \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{4}\right)$

11./ Điện trở dây dẫn :

a. Tỷ lệ thuận với tiết diện dây dẫn .

b. Tỷ lệ nghịch với tiết diện dây dẫn .*

c. Không phụ thuộc vào tiết diện của dây dẫn .

d. Bằng tiết diện của dây dẫn.

12./ Đoạn dây có độ dẫn 20s, điện trở sẽ là:

a. 20 Ω

b. 0,02 Ω

c. 0,05 Ω *

d. 0,5 Ω

13./ biểu thức của định luật Ohm cho đoạn mạch là:

a. $U=I \cdot R$

b. $R = \frac{U}{I}$

c. $I = \frac{U}{R}$ *

d. $U = \frac{I}{R}$

14./ Nhiệt trở là điện trở có trị số :

a. luôn luôn tăng theo nhiệt độ .

b. Luôn luôn giảm theo nhiệt độ.

c. Không thay đổi khi nhiệt độ thay đổi.

d. Thay đổi khi nhiệt độ thay đổi.*

15./ Nhiệt trở âm NTC (Negative Temperature Coefficient) là nhiệt trở có trị số điện trở:

a. Không đổi khi nhiệt độ thay đổi .

b. Giảm khi nhiệt độ giảm .

c. Tăng khi nhiệt độ tăng .

d. Tăng khi nhiệt độ giảm.*

16./ Nhiệt trở dương PTC (Positive Temperature Coefficient)

a. giảm khi nhiệt độ tăng .

b. Tăng khi nhiệt độ giảm.

c. Tăng khi nhiệt độ tăng.*

d. Không đổi khi nhiệt độ thay đổi.

17./ Điện trở tương đương của hai điện trở R_1, R_2 ghép nối tiếp là:

a. $R_1 + R_2$.*

b. $\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$

c. $\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

d. $\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 \cdot R_2}$

18./ Điện trở tương đương của hai điện trở R_1, R_2 ghép song song là:

a. $R_1 + R_2$.

b. $\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

c. $\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$

d. $\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 \cdot R_2} *$

19./ Điện trở $R = 2200 \Omega$; $R = 0,01 \text{ K}\Omega$ ghép nối tiếp. Điện trở tương đương của chúng:

a. 2300Ω

b. $22,01 \text{ K}\Omega$

c. $2,21 \text{ k}\Omega *$

d. $9,95 \Omega$

20./ Điện trở tương đương của ba điện trở mắc song song với $R_1 = R_2 = R_3 = 10 \text{ K}\Omega$ là:

a. $30 \text{ K}\Omega$

b. 330Ω

c. $0,33 \text{ K}\Omega$

d. $3300 \Omega *$

21./ Điện trở tương đương của hai điện trở mắc song song với $R_1 = R_2 = 0,5 \text{ K}\Omega$:

a. $1 \text{ K}\Omega$

b. $4 \text{ K}\Omega$

c. $0,4 \text{ K}\Omega$

d. $0,25 \text{ K}\Omega *$

22./ Với điện trở 3 vòng màu thì vòng thứ 3 chỉ:

a. số tương ứng với màu.

b. Sai số

c. Số số 0 thêm vào*

d. Nhiệt độ.

23./ Với điện trở 4 vòng màu thì vòng thứ tư chỉ:

a. Sai số *

b. Số tương ứng với màu

c. Số số 0 thêm vào

d. Điện áp chịu đựng được.

24./ Với điện trở 5 vòng màu thì vòng thứ hai chỉ:

a. Sai số

b. Số số 0 thêm vào

c. Số tương ứng với màu*

d. Nhiệt độ.

25./ Với điện trở 5 vòng màu thì vòng thứ tư chỉ:

a. Số tương ứng với màu.

- b. Số số 0 thêm vào.*
 c. Sai số
 d. Điện áp chịu đựng được.
- 26./ Với điện trở 5 vòng màu thì vòng thứ ba chỉ:
 a. Số số 0 thêm vào.
 b. Sai số
 c. Số tương ứng với màu*
 d. Nhiệt độ.
- 27./ Điện trở 3 vòng màu : Đỏ- Đỏ- Đỏ. Giá trị điện trở là:
 a. 222 \square
 b. 220 \square
 c. 22 K \square
 d. 2,2 K \square *
- 28./ Điện trở 4 vòng màu : A.B.C.D là lục –lam- cam-vàng kim. Giá trị điện trở là:
 a. 5,6 K \square
 b. 560 K \square
 c. 56 K \square *
 d. 560 \square
- 29./ Điện trở có 4 vòng màu A-B-C-D là cam- cam- cam- bạc. Giá trị điện trở là:
 a. 330 \square
 b. 3,3 K \square
 c. 330 K \square
 d. 33 K \square *
- 30./ Với điện trở 4 vòng màu thì vòng thứ ba chỉ :
 a. Nhiệt độ
 b. Số số 0 thêm vào *
 c. Sai số
 d. Số tương ứng với màu.
- 31./ Với điện trở 5 vòng màu thì vòng thứ năm chỉ :
 a. Số số 0 thêm vào
 b. Số tương ứng với màu
 c. Sai số*
 d. Nhiệt độ
- 32./ Khi giá trị của 1 điện trở tăng đến \square thì:
 a. Điện trở còn tốt.
 b. Điện trở bị đứt.*
 c. Điện trở bị nối tắt.
 d. Dòng qua điện trở lớn nhất.
- 33./ Một đoạn mạch điện có 2 điện trở R_1 và R_2 ghép song song:
 a. Nếu $R_1 \square R_2$ thì $I_1 \square I_2$ (I_1, I_2 là dòng qua R_1, R_2).
 b. Nếu $R_1 \square R_2$ thì $I_1 \square I_2$ *
 c. Nếu $R_1 \square R_2$ thì $U_1 \square U_2$ (U_1, U_2 là hiệu điện thế giữa 2 đầu R_1 và R_2)
 d. Nếu $R_1 \square R_2$ thì $U_1 \square U_2$
- 34./ Một đoạn mạch điện có 2 điện trở R_1 và R_2 ghép nối tiếp:
 a. Nếu $R_1 \square R_2$ thì $I_1 \square I_2$ (I_1, I_2 là dòng qua R_1, R_2)
 b. Nếu $R_1 \square R_2$ thì $I_1 \square I_2$

- c. Nếu $R_1 \parallel R_2$ thì $U_1 \parallel U_2$ (U_1, U_2 là hiệu điện thế giữa 2 đầu R_1 và R_2).*
- d. Nếu $R_1 \parallel R_2$ thì $U_1 \parallel U_2$
- 35./ Nếu $R_1 \parallel R_2$ thì điện trở tương đương của hai điện trở R_1 ghép song song với R_2 là:
- Bằng R_1
 - Bằng R_2
 - Gần bằng R_2
 - Gần bằng R_1 *
- 36./ Tụ điện là 1 linh kiện:
- Tích cực
 - Thụ động *
 - Bán dẫn
 - Có vùng điện trở âm.
- 37./ Điện dung của tụ điện là:
- Đại lượng đặc trưng cho khả năng tích điện của tụ*
 - Đại lượng đặc trưng cho khả năng cản trở dòng xoay chiều của tụ
 - Đại lượng dùng để biết điện thế làm việc của tụ .
 - Đại lượng không phụ thuộc vào chất điện môi của tụ .
- 38./ Điện dung của tụ có đơn vị :
- μF
 - H
 - F*
 - V
- 39./ Trong quá trình nạp điện , tụ điện có hiệu điện thế giữa hai đầu tụ:
- Lúc đầu tăng sau đó giảm
 - Lúc đầu giảm sau đó tăng .
 - Giảm dần theo hàm số mũ
 - Tăng dần theo hàm số mũ*
- 40./ Trong quá trình xả điện thì hiệu điện thế giữa hai đầu tụ:
- Không đổi
 - Giảm dần *
 - Tăng dần
 - Bằng không
- 41./ Điện dung tương đương của 2 tụ C_1, C_2 mắc song song là:
- $\frac{1}{C_1} \parallel \frac{1}{C_2}$
 - $C_1 + C_2$ *
 - $C_1 C_2$
 - $\frac{C_1 C_2}{C_1 \parallel C_2}$
- 42./ Điện dung tương đương của 2 tụ C_1, C_2 mắc nối tiếp:
- $\frac{C_1 C_2}{C_1 \parallel C_2}$ *
 - $\frac{1}{C_1} \parallel \frac{1}{C_2}$
 - $C_1 + C_2$

d. $\frac{C_1 \blacksquare C_2}{C_1 C_2}$

- 43./ Đại lượng đặc trưng cho khả năng cản trở dòng xoay chiều của tụ điện được gọi là:
- Cảm kháng
 - Dung kháng *
 - Điện trở thuần
 - Tổng trở
- 44./ Đơn vị của dung kháng là:
- F*
 - \blacksquare
 - H
 - mA
- 45./ Dung kháng là đại lượng :
- Không phụ thuộc điện dung của tụ
 - Bằng điện dung của tụ
 - Tỉ lệ thuận với điện dung của tụ
 - Tỉ lệ nghịch với điện dung của tụ*
- 46./ Cho 2 tụ giống nhau ghép nối tiếp . Sức cản tín hiệu xoay chiều của mạch ghép nối tiếp so với sức cản tín hiệu xoay chiều của mỗi tụ là:
- Lớn hơn *
 - Nhỏ hơn
 - Bằng nhau
 - Bằng $\frac{1}{2}$ lần.
- 47./ Cho 2 tụ giống nhau ghép song song . Sức cản tín hiệu xoay chiều của mạch ghép song song so với sức cản tín hiệu xoay chiều của mỗi tụ là:
- Bằng 2 lần
 - Bằng nhau
 - Lớn hơn
 - Nhỏ hơn*
- 48./ Tụ ceramic là loại tụ :
- Có phân cực tính
 - Không phân cực tính*
 - Có trị số luôn thay đổi
 - Có chất điện môi là mica
- 49./ Trên thân tụ ceramic có ghi .01 thì giá trị điện dung của tụ là:
- 0,1uF
 - 0,01 uF*
 - 0,01 pF
 - 0,01F
- 50./ Trên thân 1 tụ điện có ghi 222 thì trị số điện dung của tụ là:
- 222F
 - 222pF
 - 2200uF
 - 2200pF*
- 51./ Điện dung tương đương của 2 tụ mắc nối tiếp với $C_1 \blacksquare C_2 = 1000\text{pF}$:
- 500000 nF
 - 2000000nF

- c. 2nF
 - d. 0,5nF*
- 52./ Điện dung tương đương của 2 tụ mắc song song với $C_1 \blacksquare C_2 = 0,01\mu\text{F}$:
- a. 20pF
 - b. 20nF*
 - c. 0,02pF
 - d. 0,005uF
- 53./ Tụ hoá là loại tụ :
- a. Có phân cực tính.*
 - b. Không phân cực tính.
 - c. Có chất điện môi là mica.
 - d. Có chất điện môi là không khí.
- 54./ Đơn vị của hệ số tự cảm là:
- a. F
 - b. m
 - c. Ohm
 - d. H*
- 55./ Đại lượng đặc trưng cho khả năng cản trở dòng xoay chiều của cuộn cảm được gọi là:
- a. Cảm kháng.*
 - b. Dung kháng.
 - c. Hệ số tự cảm.
 - d. Điện trở thuần.
- 56./ Cảm kháng là đại lượng:
- a. Tỷ lệ nghịch với hệ số tự cảm.
 - b. Tỷ lệ thuận với hệ số tự cảm.*
 - c. Bằng hệ số tự cảm.
 - d. Không phụ thuộc vào hệ số tự cảm.
- 57./ Máy biến thế là máy:
- a. Chỉ làm tăng thế.
 - b. Chỉ làm giảm thế.
 - c. Làm điện thế không đổi.
 - d. Làm thay đổi điện thế.*
- 58./ Máy tăng thế là máy có vòng dây ở cuộn thứ cấp:
- a. Lớn hơn số vòng dây ở cuộn sơ cấp.*
 - b. Nhỏ hơn số vòng dây ở cuộn sơ cấp.
 - c. Bằng 0,5 lần số vòng dây ở cuộn sơ cấp.
 - d. Bằng số vòng dây ở cuộn sơ cấp.
- 59./ Điện áp lấy ra ở cuộn thứ cấp của biến thế:
- a. Bằng số vòng dây ở cuộn thứ cấp.
 - b. Không phụ thuộc số vòng dây ở cuộn thứ cấp.
 - c. Tỷ lệ thuận với số vòng dây ở cuộn thứ cấp.*
 - d. Tỷ lệ nghịch với số vòng dây ở cuộn thứ cấp.
- 60./ Dòng điện chạy trên cuộn thứ cấp của máy biếp áp:
- a. Tỷ lệ thuận với số vòng dây ở cuộn thứ cấp.
 - b. Tỷ lệ nghịch với số vòng dây ở cuộn thứ cấp.
 - c. Tỷ lệ nghịch với số vòng dây ở cuộn sơ cấp.
 - d. Không phụ thuộc vào số vòng dây của cuộn sơ cấp và thứ cấp.*

- 61./ Si là chất:
- Bán dẫn.*
 - Dẫn điện.
 - Cách điện.
 - Điện môi.
- 62./ Ge là chất:
- Dẫn điện.
 - Cách điện.
 - Bán dẫn.*
 - Điện môi.
- 63./ Khi pha thêm một ít photpho vào chất bán dẫn tinh khiết ta được:
- Chất bán dẫn loại P.
 - Chất bán dẫn loại N.*
 - Chất bán dẫn tinh khiết.
 - Chất bán dẫn thuần.
- 64./ Khi pha thêm một ít Al vào tinh thể bán dẫn tinh khiết ta được:
- Chất bán dẫn loại P.*
 - Chất bán dẫn loại N.
 - Chất bán dẫn tinh khiết.
 - Chất bán dẫn thuần.
- 65./ Chất bán dẫn thuần (tinh khiết) là:
- Chất bán dẫn có số electron nhiều hơn số lỗ trống.
 - Chất bán dẫn có số electron ít hơn số lỗ trống.
 - Chất bán dẫn có số electron bằng số lỗ trống.
 - Chất bán dẫn có số electron tự do bằng số lỗ trống.*
- 66./ Chất bán dẫn loại P là:
- Chất bán dẫn có số electron tự do nhiều hơn số lỗ trống.
 - Chất bán dẫn có số electron tự do ít hơn số lỗ trống.*
 - Chất bán dẫn có số electron tự do bằng số lỗ trống.
 - Chất bán dẫn có số electron ít hơn số lỗ trống.
- 67./ Chất bán dẫn loại N là:
- Chất bán dẫn có số electron tự do nhiều hơn số lỗ trống.*
 - Chất bán dẫn có số electron nhiều hơn số lỗ trống.
 - Chất bán dẫn có số electron tự do ít hơn số lỗ trống.
 - Chất bán dẫn có số electron bằng số lỗ trống.
- 68./ Chất bán dẫn có số electron tự do bằng số lỗ trống gọi là:
- Chất bán dẫn thuần (tinh khiết).*
 - Chất bán dẫn loại P.
 - Chất bán dẫn loại N.
 - Không xác định được.
- 69./ Chất bán dẫn có số electron tự do nhiều hơn số lỗ trống gọi là:
- Chất bán dẫn thuần (tinh khiết).
 - Chất bán dẫn loại P.
 - Chất bán dẫn loại N.*
 - Không xác định được.
- 70./ Chất bán dẫn có số electron tự do ít hơn số lỗ trống gọi là:
- Chất bán dẫn thuần (tinh khiết).

- b. Chất bán dẫn loại P. *
 - c. Chất bán dẫn loại N.
 - d. Không xác định được.
- 71./ Chất bán dẫn có số electron bằng số lỗ trống gọi là:
- a. Chất bán dẫn thuần (tinh khiết).*
 - b. Chất bán dẫn loại P.
 - c. Chất bán dẫn loại N.
 - d. Không xác định được.
- 72./ Diode bán dẫn có cấu tạo gồm:
- a. Một mối nối P-N.*
 - b. Hai mối nối P-N.
 - c. Ba mối nối P-N.
 - d. Bốn mối nối P-N.
- 73./ Khi phân cực thuận diode thì:
- a. $V_A < V_K$.
 - b. $V_A > V_K$.*
 - c. $V_A \ll V_K$.
 - d. $V_A = V_K$.
- 74./ Khi phân cực nghịch diode thì:
- a. $V_A \ll V_K$.
 - b. $V_A > V_K$.
 - c. $V_A < V_K$.*
 - d. $V_A = V_K$.
- 75./ Diode bán dẫn có điện thế $V_A < V_K$ thì diode được:
- a. Phân cực thuận.
 - b. Phân cực nghịch.*
 - c. Không phân cực.
 - d. Nối tắt.
- 76./ Diode bán dẫn có điện thế $V_A > V_K$ thì diode được:
- a. Phân cực thuận.*
 - b. Phân cực nghịch.
 - c. Không phân cực.
 - d. Hở mạch.
- 77./ Diode varicap là diode:
- a. Biến dung.*
 - b. Zener.
 - c. Photo diode.
 - d. LED.
- 78./ Diode zener dung để ổn áp ta phải:
- a. Phân cực thuận.
 - b. Phân cực nghịch.*
 - c. Không phân cực.
 - d. Luôn có $V_{AK} = 0,6v$
- 79./ Diode có điện trở thuận bằng điện trở nghịch và bằng không ohm thì:
- a. Diode tốt.
 - b. Diode có dòng nhỏ nhất.
 - c. Diode bị nối tắt.*

- d. Diode bị đứt.
- 80./ Diode có điện trở thuận bằng điện trở nghịch và bằng vô cùng ohm thì:
- Diode tốt.
 - Diode có dòng nhỏ nhất.
 - Diode bị nối tắt.
 - Diode bị đứt.*
- 81./ Mạch chỉnh lưu bán kỳ với điện AC có tần số 50Hz thì tần số dợn sóng ngõ ra là:
- 50 Hz.*
 - 25 Hz.
 - 75 Hz.
 - 100 Hz.
- 82./ Mạch chỉnh lưu toàn kỳ với điện AC có tần số 50Hz thì tần số dợn sóng ngõ ra là:
- 50 Hz.
 - 25 Hz.
 - 75 Hz.
 - 100 Hz.*
- 83./ Diode Zener dùng để:
- Phát quang.
 - Cảm quang.
 - Ổn áp.*
 - Tách sóng.
- 84./ Khi phân cực nghịch diode có dòng điện rỉ chạy theo chiều:
- Từ A về K và có giá trị rất lớn.
 - Từ A về K và có giá trị rất nhỏ.
 - Từ K về A và có giá trị rất lớn.
 - Từ K về A và có giá trị rất nhỏ.*
- 85./ Mạch chỉnh lưu cầu dùng:
- Một diode.
 - Hai diode.
 - Ba diode.
 - Bốn diode.*
- 86./ BJT có cấu tạo gồm:
- Một mối nối P-N.
 - Hai mối nối P-N.*
 - Ba mối nối P-N.
 - Bốn mối nối P-N.
- 87./ Khi BJT loại PNP dẫn, đa số electron sẽ đổ:
- Từ C đến E*
 - Từ E đến C
 - Cùng chiều với I_C
 - Cùng chiều với I_B
- 88./ Khi transistor NPN dẫn, đa số electron sẽ đổ:
- Từ C đến E
 - Từ E đến C*
 - Cùng chiều với I_B
 - Cùng chiều với I_c
- 89./ Điều kiện để transistor NPN dẫn là:

- a. V_B, V_E, V_C
- b. V_C, V_B, V_E *
- c. V_C, V_E, V_B
- d. V_E, V_B, V_C

90./ Khi transistor dẫn điện có dòng:

- a. I_C, I_B, I_E
- b. I_C, I_B, I_E
- c. I_E, I_C, I_B *
- d. I_E, I_B, I_C

91./ Toạ độ điểm phân cực của BJT là:

- a. I_C, I_B, V_{BE}
- b. I_C, I_D, V_{CE}
- c. V_{GS}, I_D, V_{DS}
- d. I_C, I_B, V_{CE} *

92./ Toạ độ điểm phân cực của BJT là:

- a. I_B tăng, I_C tăng, V_{CE} giảm .*
- b. I_B tăng, I_C tăng, V_{CE} tăng.
- c. I_B giảm, I_C giảm, V_{CE} giảm .
- d. I_B giảm, I_C tăng, V_{CE} giảm

93./ Khi BJT có $V_{BE}=0,8V$ thì BJT:

- a. Ngưng dẫn
- b. Hoạt động trong vùng khuếch đại tuyến tính.
- c. Dẫn bão hoà.*
- d. Có dòng I_C []

94./ Khi BJT làm việc ở vùng khuếch đại tuyến tính ta có:

- a. I_C []
- b. I_B []
- c. I_C [] *
- d. I_C [] I_B

95./ Hiệu điện thế giữa cực thu và cực phát của BJT gọi là:

- a. V_{BE}
- b. V_{CE} *
- c. V_{BC}
- d. V_{EB}

96./ Hiệu điện thế giữa cực nền và cực phát của BJT gọi là:

- a. V_{BC}
- b. V_{CE}
- c. V_{BE} *
- d. V_{CB}

97./ JFET là linh kiện có 3 chân:

- a. B,C,E

- b. D,S,G*
 - c. A,K,G
 - d. E,B₁,B₂.
- 98./ UJT là :
- a. Transistor lưỡng nối
 - b. Transistor hiệu ứng trường
 - c. Transistor đơn nối*
 - d. Quang Transistor
- 99./ UJT là 1 linh kiện có 3 chân:
- a. B,C,E
 - b. D,S,G
 - c. A,K,G
 - d. E,B₁,B₂*
- 100./ Diode trong UJT có nền N thì cực E tương ứng là:
- a. Cực K
 - b. Cực A*
 - c. Cực B
 - d. Cực C
- 101./ Diode trong UJT có mấy tiếp giáp:
- a. 1 tiếp giáp*
 - b. 2 tiếp giáp
 - c. 3 tiếp giáp
 - d. 4 tiếp giáp
- 102./ SCR là 1 linh kiện có:
- a. 1 mối nối P_N
 - b. 2 mối nối P_N
 - c. 3 mối nối P_N
 - d. 4 mối nối P_N*
- 103./ SCR là 1 linh kiện có:
- a. vùng điện trở âm*
 - b. Vùng điện áp luôn âm
 - c. Đặc tuyến giống đặc tuyến diode zener
 - d. Đặc tuyến giống đặc tuyến ngõ vào của BJT
- 104./ Để làm tắt được SCR khi đã dẫn , ta phải:
- a. Ngắt dòng I_A*
 - b. Chỉ cho V_{GK}=0
 - c. Ngắt dòng I_G
 - d. Chỉ cho V_G=0v
- 105./ DIAC là 1 linh kiện :
- a. Chỉ dẫn điện theo 1 chiều.
 - b. Dẫn điện cả 2 chiều*
 - c. Không dẫn điện
 - d. Luôn luôn dẫn điện
- 106./ Thyristor là linh kiện có 3 chân:
- a. D,S,G
 - b. B,C,E
 - c. A,K,G*

d. E,B₁,B₂

107./ TRIAC là 1 linh kiện:

- a. Thụ động
- b. Có vùng điện trở âm*
- c. Quang điện tử
- d. Chỉ dẫn điện với nguồn AC

108./ Diode cảm quang là diode:

- a. Phát sáng
- b. Cảm nhận ánh sáng*
- c. Varicap
- d. Zener

109./ Quang transistor là linh kiện :

- a. Phát ra ánh sáng
- b. Cảm nhận ánh sáng*
- c. Có vùng điện trở âm
- d. Có dòng ra nhỏ hơn dòng diode cảm quang khi đặt cùng môi trường.