
BẢO VỆ RO'LE VÀ TỰ ĐỘNG HÓA

PGS.TS LÊ KIM HÙNG, THS. ĐOÀN NGỌC MINH TÚ

Chương 1: KHÁI NIỆM VỀ BẢO VỆ ROLE

I. Khái niệm chung:

I.1. Nhiệm vụ của bảo vệ role:

Khi thiết kế và vận hành bất kỳ một hệ thống điện nào cần phải kể đến khả năng phát sinh hư hỏng và các tình trạng làm việc không bình thường trong hệ thống điện ấy. **Ngắn mạch** là loại sự cố có thể xảy ra và nguy hiểm nhất trong hệ thống điện. Hậu quả của ngắn mạch là:

- a) Trụt thấp điện áp ở một phần lớn của hệ thống điện
- b) Phá hủy các phần tử bị sự cố bằng tia lửa điện
- c) Phá hủy các phần tử có dòng ngắn mạch chạy qua do tác động nhiệt và cơ.
- d) Phá hủy ổn định của hệ thống điện

Ngoài các loại hư hỏng, trong hệ thống điện còn có các **tình trạng việc không bình thường**. Một trong những tình trạng việc không bình thường là quá tải. Dòng điện quá tải làm tăng nhiệt độ các phần dẫn điện quá giới hạn cho phép làm cách điện của chúng bị già cỗi hoặc đôi khi bị phá hủy.

Để ngăn ngừa sự phát sinh sự cố và sự phát triển của chúng có thể thực hiện các biện pháp để cắt nhanh phần tử bị hư hỏng ra khỏi mạng điện, để loại trừ những tình trạng làm việc không bình thường có khả năng gây nguy hiểm cho thiết bị và hộ dùng điện.

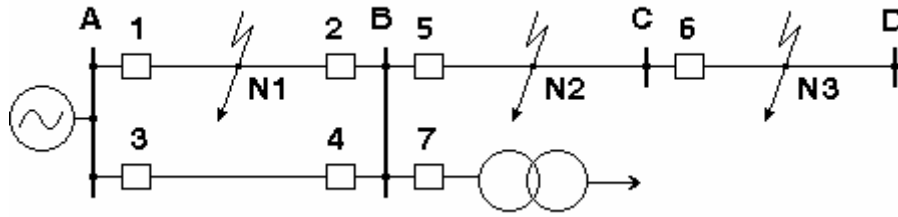
Để đảm bảo sự làm việc liên tục của các phần không hư hỏng trong hệ thống điện cần có những **thiết bị ghi nhận sự phát sinh của hư hỏng với thời gian bé nhất, phát hiện ra phần tử bị hư hỏng và cắt phần tử bị hư hỏng ra khỏi hệ thống điện**. Thiết bị này được thực hiện nhờ những khí cụ tự động có tên gọi là role. Thiết bị bảo vệ được thực hiện nhờ những role được gọi là thiết bị bảo vệ role (BVRL).

Như vậy **nhiệm vụ chính của thiết bị BVRL là tự động cắt phần tử hư hỏng ra khỏi hệ thống điện**. Ngoài ra thiết bị BVRL còn ghi nhận và phát hiện những tình trạng làm việc không bình thường của các phần tử trong hệ thống điện, tùy mức độ mà BVRL có thể tác động đi báo tín hiệu hoặc đi cắt máy cắt. Những thiết bị BVRL phản ứng với tình trạng làm việc không bình thường thường thực hiện tác động sau một thời gian duy trì nhất định (không cần phải có tính tác động nhanh như ở các thiết bị BVRL chống hư hỏng).

I.2. Yêu cầu cơ bản của mạch bảo vệ:

I.2.1. Tính chọn lọc:

Tác động của bảo vệ đảm bảo chỉ cắt phần tử bị hư hỏng ra khỏi hệ thống điện được gọi là **tác động chọn lọc**. Khi có nguồn cung cấp dự trữ cho hộ tiêu thụ, tác động như vậy tạo khả năng cho hộ tiêu thụ tiếp tục được cung cấp điện.



Hình 1.1 : Cắt chọn lọc trong mạng có một nguồn cung cấp

Yêu cầu tác động chọn lọc cũng không loại trừ khả năng bảo vệ tác động như là bảo vệ dự trữ trong trường hợp hỏng hóc bảo vệ hoặc máy cắt của các phần tử lân cận.

Cần phân biệt 2 khái niệm chọn lọc:

- Chọn lọc tương đối: theo nguyên tắc tác động của mình, bảo vệ có thể làm việc như là bảo vệ dự trữ khi ngắn mạch phần tử lân cận.
- Chọn lọc tuyệt đối: bảo vệ chỉ làm việc trong trường hợp ngắn mạch ở chính phần tử được bảo vệ.

I.2.2. Tác động nhanh:

Càng cắt nhanh phần tử bị ngắn mạch sẽ càng hạn chế được mức độ phá hoại phần tử đó, càng giảm được thời gian sụt thấp điện áp ở các hộ tiêu thụ và càng có khả năng giữ được ổn định của hệ thống điện.

Để giảm thời gian cắt ngắn mạch cần phải giảm thời gian tác động của thiết bị bảo vệ rơ le. Tuy nhiên trong một số trường hợp để thực hiện yêu cầu tác động nhanh thì không thể thỏa mãn yêu cầu chọn lọc. Hai yêu cầu này đôi khi mâu thuẫn nhau, vì vậy tùy điều kiện cụ thể cần xem xét kỹ càng hơn về 2 yêu cầu này.

I.2.3. Độ nhạy:

Bảo vệ rơ le cần phải đủ độ nhạy đối với những hư hỏng và tình trạng làm việc không bình thường có thể xuất hiện ở những phần tử được bảo vệ trong hệ thống điện.

Thông thường độ nhạy được đặc trưng bằng hệ số nhạy K_n . Đối với các bảo vệ làm việc theo các đại lượng tăng khi ngắn mạch (ví dụ, theo dòng), hệ số độ nhạy được xác định bằng tỷ số giữa đại lượng tác động tối thiểu (tức dòng ngắn mạch bé nhất) khi ngắn mạch trực tiếp ở cuối vùng bảo vệ và đại lượng đặt (tức dòng khởi động).

$$K_n = \frac{\text{đại lượng tác động tối thiểu}}{\text{đại lượng đặt}}$$

Thông thường yêu cầu $K_n = 1,5 \div 2$.

I.2.4. Tính bảo đảm:

Bảo vệ phải luôn luôn sẵn sàng khởi động và tác động một cách chắc chắn trong tất cả các trường hợp ngắn mạch trong vùng bảo vệ và các tình trạng làm việc không bình thường đã định trước.

Mặc khác bảo vệ không được tác động khi ngắn mạch ngoài. Nếu bảo vệ có nhiệm vụ dự trữ cho các bảo vệ sau nó thì khi ngắn mạch trong vùng dự trữ bảo vệ này phải khởi động nhưng không được tác động khi bảo vệ chính đặt ở gần chỗ ngắn mạch hơn chưa tác động. Để tăng tính đảm bảo của bảo vệ cần:

- Dùng những rơ le chất lượng cao.
- Chọn sơ đồ bảo vệ đơn giản nhất (số lượng rơ le, tiếp điểm ít)
- Các bộ phận phụ (cực nối, dây dẫn) dùng trong sơ đồ phải chắc chắn, đảm bảo.

- Thường xuyên kiểm tra sơ đồ bảo vệ.

II. Sơ đồ nối các máy biến dòng và role:

II.1. Sơ đồ các BI và role nối theo hình Y hoàn toàn:

Dòng vào mỗi role bằng dòng pha (hình 1.2). Trong chế độ làm việc bình thường hoặc khi ngắn mạch 3 pha thì :

$$\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 3\dot{I}_0 = 0$$

trong dây trung tính (dây trở về) không có dòng. Nhưng dây trung tính vẫn cần thiết để đảm bảo sự làm việc đúng đắn của sơ đồ khi ngắn mạch chạm đất. Sơ đồ có thể làm việc đối với tất cả các dạng ngắn mạch. Tuy nhiên để chống ngắn mạch một pha $N^{(1)}$ thường dùng những sơ đồ hoàn hảo hơn có bộ lọc dòng thứ tự không LI_0 .

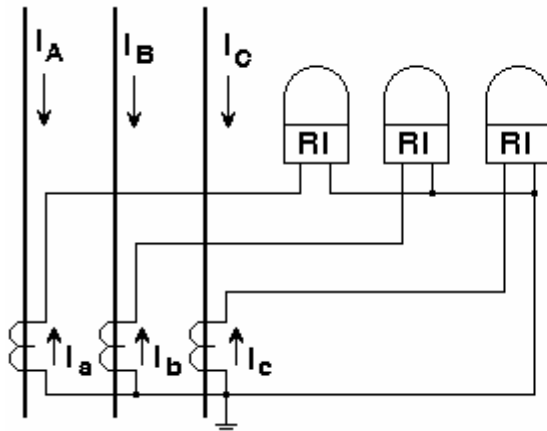
II.2. Sơ đồ các BI và role nối theo hình sao khuyết:

Dòng vào mỗi role bằng dòng pha. Dòng trong dây trở về bằng:

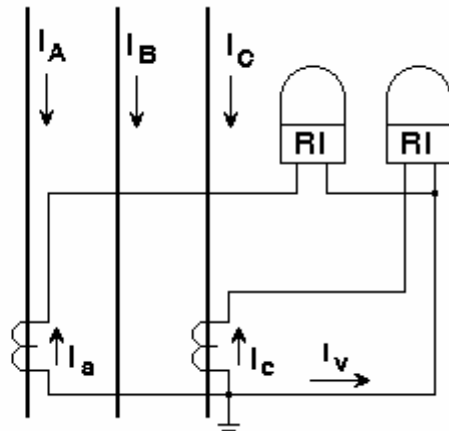
$$\dot{I}_v = -(\dot{I}_a + \dot{I}_c) \text{ hay } \dot{I}_v = \dot{I}_b \text{ (khi không có } I_0)$$

Dây trở về (hình 1.3) cần thiết ngay trong tình trạng làm việc bình thường để đảm bảo cho BI làm việc bình thường. Trong một số trường hợp ngắn mạch giữa các pha (có $I_b \neq 0$) cũng như khi ngắn mạch nhiều pha chạm đất, dây trở về cần thiết để đảm bảo cho bảo vệ tác động đúng.

Khi ngắn mạch 1 pha ở pha không đặt BI sơ đồ không làm việc do vậy sơ đồ chỉ dùng chống ngắn mạch nhiều pha.



Hình 1.2 : Sơ đồ sao hoàn toàn



Hình 1.3 : Sơ đồ sao khuyết

II.3. Sơ đồ 1 role nối vào hiệu dòng 2 pha (số8):

Dòng vào role là hiệu dòng 2 pha (hình 1.4) :

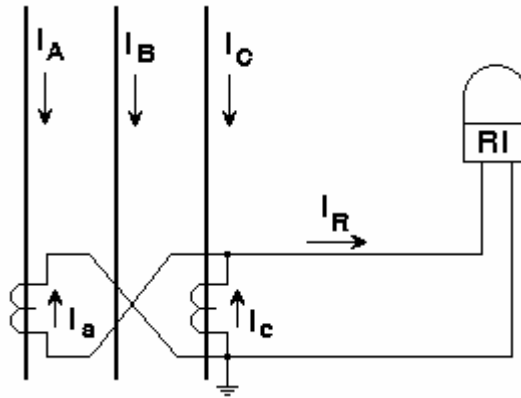
$$\dot{I}_R = \dot{I}_a - \dot{I}_c$$

Trong tình trạng đối xứng thì

$$I_R = \sqrt{3}I_a \text{ . Giống như sơ đồ sao}$$

khuyết, sơ đồ số 8 không làm việc khi ngắn mạch một pha $N^{(1)}$ đúng vào pha không đặt máy biến dòng.

Tất cả các sơ đồ nói trên đều phản ứng với $N^{(3)}$ và ngắn mạch giữa 2 pha bất kỳ (AB, BC, CA). Vì vậy để so sánh tương đối



Hình 1.4 : Sơ đồ số 8

giữa chúng người ta phải xét đến khả năng làm việc của bảo vệ trong một số trường hợp hư hỏng đặc biệt, hệ số độ nhạy, số lượng thiết bị cần thiết và mức độ phức tạp khi thực hiện sơ đồ.

II.4. Khả năng làm việc của các sơ đồ :

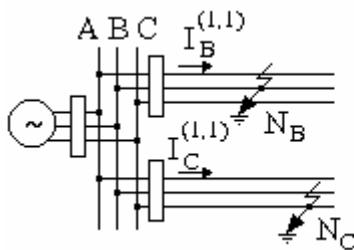
II.4.1. Khi chạm đất:

□ Khi chạm đất 2 pha tại 2 điểm trong các mạng điện hở có dòng chạm đất bé, ví dụ điểm chạm đất thứ nhất N_B trên pha B và điểm chạm đất thứ hai N_C trên pha C (hình 1.5), nếu bảo vệ của các đường dây nối theo *sơ đồ sao hoàn toàn và có thời gian làm việc như nhau thì chúng sẽ tác động, cả 2 đường dây đều bị cắt ra.*

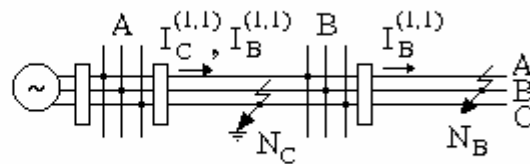
Nếu các bảo vệ nối theo *sơ đồ Y khuyết hay số 8* (BI đặt ở 2 pha A & C) thì chỉ có *một đường dây bị cắt.*

Để bảo vệ có thể tác động một cách hợp lí, BI phải đặt ở các pha cùng tên nhau (ví dụ A, C).

□ Khi xuất hiện hư hỏng trên hai đoạn kề nhau của đường dây hình tia (hình 1.6), nếu các bảo vệ *nối Y hoàn toàn thì đoạn xa nguồn hơn sẽ bị cắt vì có thời gian bé hơn.* Nếu *nối Y khuyết hay số 8* thì *đoạn gần nguồn hơn bị cắt ra*, điều đó không hợp lí.



Hình 1.5 : Chạm đất kép trên các đường dây khác nhau



Hình 1.6 : Chạm đất kép trên hai đoạn nối tiếp nhau của đường dây

II.4.2. Khi ngắn mạch hai pha sau máy biến áp nối Y/ Δ hoặc Δ /Y và ngắn mạch 1 pha sau máy biến áp nối Y/ Y_0 :

Khi ngắn mạch 2 pha sau máy biến áp nối Y/ Δ -11, sự phân bố dòng hư hỏng trong các pha như trên hình 1.7 (giả thiết máy biến áp có tỷ số biến đổi $n_B = 1$). Dòng của 1 pha

(pha B, khi ngắn mạch 2 pha ở pha A,B) bằng $\frac{2}{\sqrt{3}} I_N^{(2)}$, dòng ở hai pha kia (A và C) trùng pha nhau và bằng $\frac{1}{\sqrt{3}} I_N^{(2)}$. Đối với máy biến áp nối Δ/Y , phân bố dòng ở các pha cũng tương tự như vậy.

Phân tích sự làm việc của các bảo vệ trong trường hợp hư hỏng nói trên ta thấy:

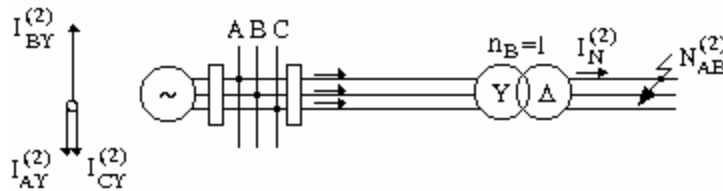
□ Bảo vệ nối theo sơ đồ sao hoàn toàn luôn luôn làm việc vì có dòng ngắn mạch lớn qua một trong các role của bảo vệ.

□ Bảo vệ nối theo sơ đồ hình sao khuyết với BI đặt ở các pha có dòng bằng $\frac{1}{\sqrt{3}} I_N^{(2)}$

thì có độ nhạy giảm đi 2 lần so với sơ đồ sao hoàn toàn.

□ Bảo vệ dùng 1 role nối vào hiệu dòng 2 pha trong trường hợp này sẽ không làm việc, bởi vì dòng trong nó $I_R = I_a - I_c = 0$. Tất nhiên điều này xảy ra ở 1 trong 3 trường hợp $N^{(2)}$ có thể có sau máy biến áp đang xét.

Khi ngắn mạch 1 pha sau máy biến áp nối Y/Y_0 ta cũng có quan hệ tương tự.



Hình 1.7: Ngắn mạch giữa 2 pha sau máy biến áp có tổ nối dây $Y/\Delta-11$

III. Các phần tử chính của bảo vệ:

Trường hợp chung thiết bị bảo vệ role bao gồm các phần tử cơ bản sau : các cơ cấu chính và phần logic.

Các cơ cấu chính kiểm tra tình trạng làm việc của đối tượng được bảo vệ, thường phản ứng với các đại lượng điện. Chúng thường khởi động không chậm trễ khi tình trạng làm việc đó bị phá hủy. Như vậy các cơ cấu chính có thể ở trong hai trạng thái: *khởi động* và *không khởi động*. Hai trạng thái đó của các cơ cấu chính tương ứng với những trị số nhất định của xung tác động lên phần logic của bảo vệ.

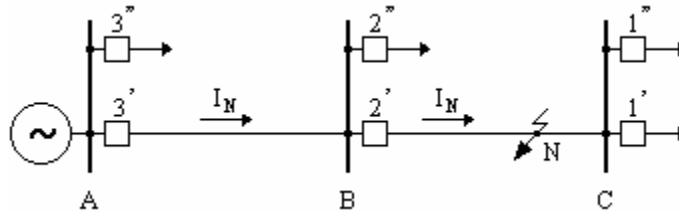
Khi bảo vệ làm việc phần logic nhận xung từ các cơ cấu chính, tác động theo tổ hợp và thứ tự của các xung. Kết quả của tác động này hoặc là làm cho bảo vệ khởi động kèm theo việc phát xung đi cắt máy cắt và báo tín hiệu hoặc là làm cho bảo vệ không khởi động.

Chương 2: BẢO VỆ DÒNG ĐIỆN CỰC ĐẠI

I. Nguyên tắc tác động:

Bảo vệ dòng điện cực đại là loại bảo vệ phản ứng với dòng trong phần tử được bảo vệ. Bảo vệ sẽ tác động khi dòng điện qua chỗ đặt thiết bị bảo vệ tăng quá một giá trị định trước nào đó.

Ví dụ khảo sát tác động của các bảo vệ dòng điện cực đại đặt trong mạng hình tia có 1 nguồn cung cấp (hình 2.1), các thiết bị bảo vệ được bố trí về phía nguồn cung cấp của tất cả các đường dây. Mỗi đường dây có 1 bảo vệ riêng để cắt hư hỏng trên chính nó và trên thanh góp của trạm ở cuối đường dây.



Hình 2.1: Bố trí các bảo vệ dòng điện cực đại trong mạng hình tia có 1 nguồn cung cấp

Dòng khởi động của bảo vệ I_{KD} , tức là dòng nhỏ nhất đi qua phần tử được bảo vệ mà có thể làm cho bảo vệ khởi động, cần phải lớn hơn dòng phụ tải cực đại của phần tử được bảo vệ để ngăn ngừa việc cắt phần tử khi không có hư hỏng.

Có thể đảm bảo khả năng tác động chọn lọc của các bảo vệ bằng 2 phương pháp khác nhau về nguyên tắc:

□ **Phương pháp thứ nhất** - bảo vệ được thực hiện có thời gian làm việc càng lớn khi bảo vệ càng đặt gần về phía nguồn cung cấp. Bảo vệ được thực hiện như vậy được gọi là **BV dòng điện cực đại làm việc có thời gian**.

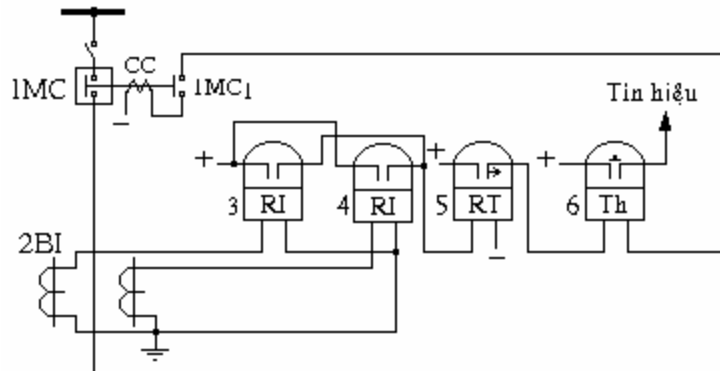
□ **Phương pháp thứ hai** - dựa vào tính chất: dòng ngắn mạch đi qua chỗ nối bảo vệ sẽ giảm xuống khi hư hỏng càng cách xa nguồn cung cấp. Dòng khởi động của bảo vệ I_{KD} được chọn lớn hơn trị số lớn nhất của dòng trên đoạn được bảo vệ khi xảy ra ngắn mạch ở đoạn kề (cách xa nguồn hơn). Nhờ vậy bảo vệ có thể tác động chọn lọc không thời gian. Chúng được gọi là **bảo vệ dòng điện cắt nhanh**.

Các bảo vệ dòng điện cực đại làm việc có thời gian chia làm hai loại tương ứng với **đặc tính thời gian độc lập** và **đặc tính thời gian phụ thuộc có giới hạn**. Bảo vệ có đặc tính thời gian độc lập là loại bảo vệ có thời gian tác động không đổi, không phụ thuộc vào trị số của dòng điện qua bảo vệ. Thời gian tác động của bảo vệ có đặc tính thời gian phụ thuộc giới hạn, phụ thuộc vào dòng điện qua bảo vệ khi bội số của dòng đó so với dòng I_{KD} tương đối nhỏ và ít phụ thuộc hoặc không phụ thuộc khi bội số này lớn.

** Các bộ phận chính của BV dòng cực đại:

Bảo vệ dòng cực đại có hai bộ phận chính: Bộ phận khởi động (ví dụ, sơ đồ bảo vệ như hình 2.2, bộ phận khởi động là các rơle dòng 3RI và 4RI) và bộ phận tạo thời gian làm việc (rơle thời gian 5RT). Bộ phận khởi động phản ứng với các hư hỏng và tác động đến

bộ phận tạo thời gian. Bộ phận tạo thời gian làm nhiệm vụ tạo thời gian làm việc đảm bảo cho bảo vệ tác động một cách có chọn lọc. Các role dòng điện được nối vào phía thứ cấp của BI theo sơ đồ thích hợp (xem mục II - chương 1).



Hình 2.2 : Sơ đồ nguyên lý của bảo vệ dòng cực đại

II. Bảo vệ dòng cực đại làm việc có thời gian:

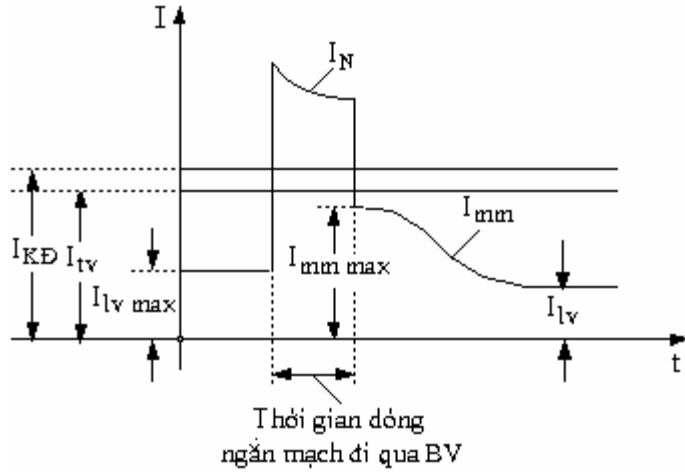
II.1. Dòng khởi động của BV:

Theo nguyên tắc tác động, dòng khởi động I_{KD} của bảo vệ **phải lớn hơn dòng điện phụ tải cực đại qua chỗ đặt bảo vệ**, tuy nhiên trong thực tế việc chọn I_{KD} còn phụ thuộc vào nhiều điều kiện khác.

Để xác định dòng khởi động ta xét sơ đồ mạng điện trên hình 2.1, giả sử chọn I_{KD} cho bảo vệ 3' đặt ở đầu đoạn đường dây AB, trước hết ta khảo sát trạng thái của nó khi hư hỏng ở điểm N trên đoạn BC kè phía sau nó (tính từ nguồn cung cấp).

Khi các bảo vệ làm việc đúng thì trong trường hợp này máy cắt của đoạn hư hỏng BC sẽ bị cắt ra. Bảo vệ 3' của đoạn không hư hỏng AB có thời gian lớn hơn sẽ không kịp tác động và cần phải trở về vị trí ban đầu của mình. Nhưng điều này sẽ xảy ra nếu dòng trở về của bảo vệ I_{TV} lớn hơn trị số tính toán của dòng mở máy I_{mm} (hình 2.3) đi qua đoạn AB đến các hộ tiêu thụ của trạm B. Dòng I_{TV} là dòng sơ cấp lớn nhất mà ở đó bảo vệ trở về vị trí ban đầu. Để an toàn, lấy trị số tính toán của dòng mở máy $I_{mmt} = I_{mmax}$, như vậy điều kiện để đảm bảo chọn lọc là: $I_{TV} > I_{mmax}$.

Khi xác định dòng I_{mmax} cần phải chú ý là đường dây BC đã bị cắt ra, còn các động cơ nối ở trạm B đã bị hãm lại do điện áp giảm thấp khi ngắn mạch và khi điện áp được khôi phục dòng mở máy của chúng tăng lên rất cao. Vì vậy dòng I_{mmax} thường lớn hơn nhiều so với dòng phụ tải cực đại I_{lvmax} . Đưa vào hệ số mở máy k_{mm} để tính đến dòng mở máy của các động cơ ở trạm B và việc cắt phụ tải của trạm C. Ta có $I_{mmax} = k_{mm} \cdot I_{lvmax}$.



Hình 2.3 : Đồ thị đặc trưng trạng thái của bảo vệ khi ngắn mạch ngoài

Sai số của dòng trở về của bảo vệ và các tính toán không chính xác... được kể đến bởi hệ số an toàn $k_{at} > 1$ (vào khoảng $1,1 \div 1,2$). Từ điều kiện đảm bảo sự trở về của bảo vệ đoạn AB, có thể viết :

$$I_{tv} = k_{at} \cdot k_{mm} \cdot I_{lvmax} \quad (2.1)$$

Tỉ số giữa dòng trở về của role (hoặc của bảo vệ) đối với dòng khởi động của role (hoặc của bảo vệ) gọi là hệ số trở về k_{tv} .

$$k_{tv} = \frac{I_{tv}}{I_{K\hat{A}}} \quad (2.2)$$

$$\text{Nhu vậy: } I_{K\hat{A}} = \frac{k_{at} \cdot k_{mm}}{k_{tv}} \cdot I_{lvmax} \quad (2.3)$$

Các role lí tưởng có hệ số trở về $k_{tv} = 1$; thực tế luôn luôn có $k_{tv} < 1$.

Dòng khởi động $I_{K\hat{D}R}$ của role khác với dòng khởi động $I_{K\hat{D}}$ của bảo vệ do hệ số biến đổi n_I của BI và sơ đồ nối dây giữa các role dòng và BI.

Trong một số sơ đồ nối role, dòng đi vào role không bằng dòng thứ cấp của các BI. Ví dụ như khi nối role vào hiệu dòng 2 pha, dòng vào role $I_R^{(3)}$ trong tình trạng đối xứng bằng $\sqrt{3}$ lần dòng thứ cấp $I_T^{(3)}$ của BI. Sự khác biệt của dòng trong role trong tình trạng đối xứng và dòng thứ cấp BI được đặc trưng bằng hệ số sơ đồ:

$$k_{s\hat{a}}^{(3)} = \frac{I_R^{(3)}}{I_T^{(3)}} \quad (2.4)$$

$$\text{Kê đến hệ sơ đồ, có thể viết: } I_{K\hat{A}R} = k_{s\hat{a}}^{(3)} \frac{I_{K\hat{A}}}{n_I} \quad (2.5)$$

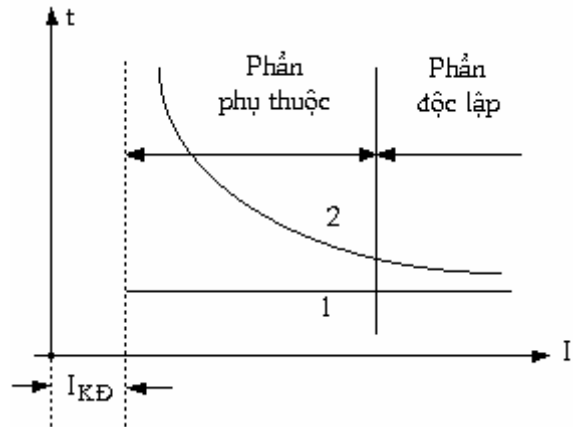
$$\text{Do vậy: } I_{K\hat{A}R} = \frac{k_{at} k_{mm} k_{s\hat{a}}^{(3)}}{k_{tv} n_I} I_{lvmax} \quad (2.6)$$

II.2. Thời gian làm việc:

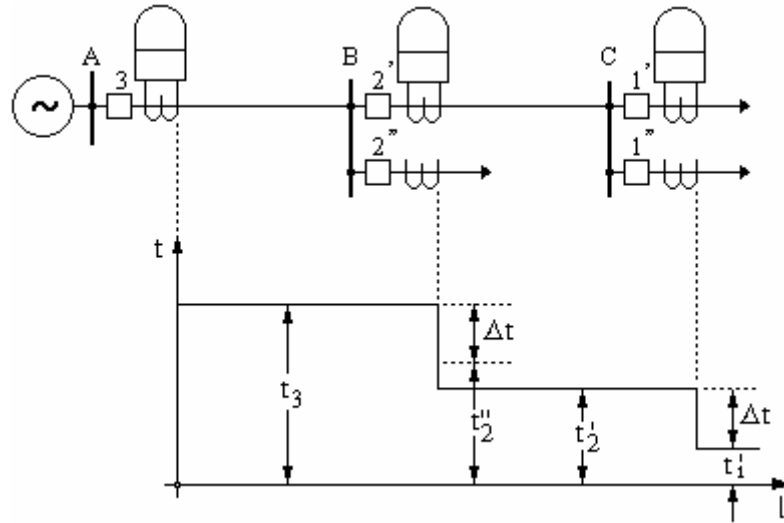
II.2.1. Bảo vệ có đặc tính thời gian độc lập:

Thời gian làm việc của bảo vệ có đặc tính thời gian độc lập (hình 2.4) được chọn theo nguyên tắc bậc thang (từng cấp), làm thế nào để cho bảo vệ đoạn sau gần nguồn hơn có thời gian làm việc lớn hơn thời gian làm việc lớn nhất của các bảo vệ đoạn trước một bậc chọn lọc về thời gian Δt .

Xét sơ đồ mạng như hình 2.5, việc chọn thời gian làm việc của các bảo vệ được bắt đầu từ bảo vệ của đoạn đường dây xa nguồn cung cấp nhất, tức là từ các bảo vệ 1' và 1'' ở trạm C. Giả thiết thời gian làm việc của các bảo vệ này đã biết, tương ứng là t_1' và t_1'' .



Hình 2.4 : Các dạng đặc tính thời gian của bảo vệ dòng cực đại
1- độc lập; 2- phụ thuộc



Hình 2.5 : Phối hợp đặc tính thời gian độc lập của các bảo vệ dòng cực đại

Thời gian làm việc t_2' của bảo vệ 2' tại trạm B được chọn lớn hơn thời gian làm việc lớn nhất của các bảo vệ tại trạm C một bậc Δt . Nếu $t_1' > t_1''$ thì $t_2' = t_1' + \Delta t$.

Thời gian làm việc t_3 của bảo vệ 3 ở trạm A cũng tính toán tương tự, ví dụ nếu có $t_2'' > t_2'$ thì $t_3 = t_2'' + \Delta t$.

Trường hợp tổng quát, đối với bảo vệ của đoạn thứ n thì:

$$t_n = t_{(n-1)\max} + \Delta t \quad (2.7)$$

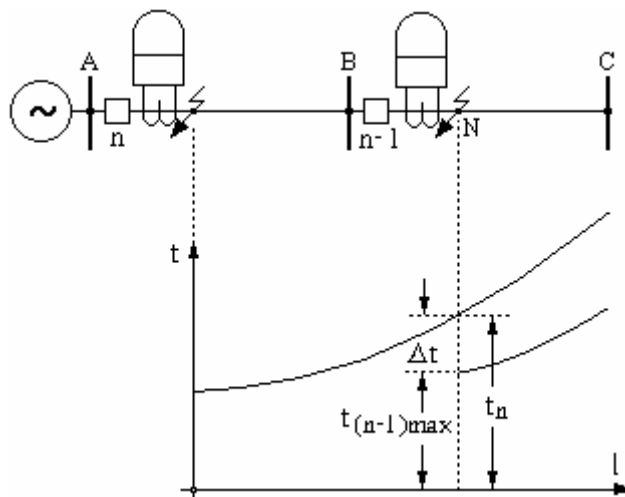
trong đó: $t_{(n-1)\max}$ - thời gian làm việc lớn nhất của các bảo vệ ở đoạn thứ $n-1$ (xa nguồn hơn đoạn thứ n).

II.2.2. Bảo vệ có đặc tính thời gian phụ thuộc có giới hạn:

Khi chọn thời gian làm việc của các bảo vệ có đặc tính thời gian phụ thuộc có giới hạn (hình 2.4) có thể có 2 yêu cầu khác nhau do giá trị của bội số dòng ngắn mạch ở cuối đoạn được bảo vệ so với dòng khởi động :

1. Khi bội số dòng lớn, bảo vệ làm việc ở phần độc lập của đặc tính thời gian: lúc ấy thời gian làm việc của các bảo vệ được chọn giống như đối với bảo vệ có đặc tính thời gian độc lập.

2. Khi bội số dòng nhỏ, bảo vệ làm việc ở phần phụ thuộc của đặc tính thời gian: trong trường hợp này, sau khi phối hợp thời gian làm việc của các bảo vệ kề nhau có thể giảm được thời gian cắt ngắn mạch.



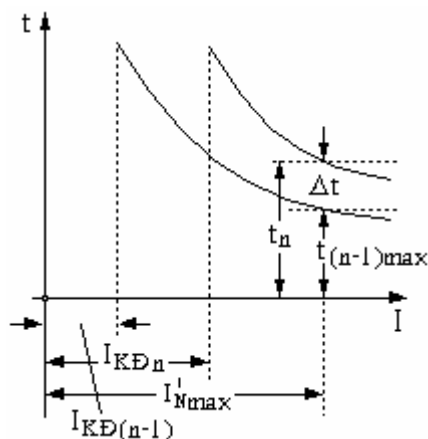
Hình 2.6 : Phối hợp các đặc tính của bảo vệ dòng cực đại có đặc tính thời gian phụ thuộc giới hạn.

N : Điểm ngắn mạch tính toán

Xét sơ đồ mạng hình 2.6, đặc tính thời gian của bảo vệ thứ n trên đoạn AB được lựa chọn thế nào để nó có thời gian làm việc là t_n lớn hơn thời gian $t_{(n-1)max}$ của bảo vệ thứ (n-1) trên đoạn BC một bậc Δt khi ngắn mạch ở điểm tính toán - đầu đoạn kề BC - gây nên dòng ngắn mạch ngoài lớn nhất có thể có I'_{Nmax} . Từ thời gian làm việc tìm được khi ngắn mạch ở điểm tính toán có thể tiến hành chỉnh định bảo vệ và tính được thời gian làm việc đối với những vị trí và dòng ngắn mạch khác.

Ngắn mạch càng gần nguồn dòng ngắn mạch càng tăng, vì vậy khi ngắn mạch gần thanh góp trạm A thời gian làm việc của bảo vệ đường dây AB giảm xuống và trong một số trường hợp có thể nhỏ hơn so với thời gian làm việc của bảo vệ đường dây BC.

Khi lựa chọn các đặc tính thời gian phụ thuộc thường người ta tiến hành vẽ chúng trong hệ tọa độ vuông góc (hình 2.7), trục hoành biểu diễn dòng trên đường dây tính đối về cùng một cấp điện áp của hệ thống được bảo vệ, còn trục tung là thời gian.



Hình 2.7 : Phối hợp đặc tính thời gian làm việc phụ thuộc có giới hạn của các bảo vệ dòng cực đại trong hệ tọa độ dòng - thời gian.

Dùng bảo vệ có đặc tính thời gian phụ thuộc có thể giảm thấp dòng khởi động so với bảo vệ có đặc tính thời gian độc lập vì hệ số mở máy k_{mm} có thể giảm nhỏ hơn. Điều này giải thích như sau: sau khi cắt ngắn mạch, dòng I_{mm} đi qua các đường dây không hư hỏng sẽ giảm xuống rất nhanh và bảo vệ sẽ không kịp tác động vì thời gian làm việc tương ứng với trị số của dòng I_{mm} (thường gần bằng I_{KD} của bảo vệ) là tương đối lớn.

Nhược điểm của bảo vệ có đặc tính thời gian phụ thuộc là :

- Thời gian cắt ngắn mạch tăng lên khi dòng ngắn mạch gần bằng dòng khởi động (ví dụ, khi ngắn mạch qua điện trở quá độ lớn hoặc ngắn mạch trong tình trạng làm việc cực tiểu hệ thống).
- Đôi khi sự phối hợp các đặc tính thời gian tương đối phức tạp.

II.2.3. Bậc chọn lọc về thời gian:

Bậc chọn lọc về thời gian Δt trong biểu thức (2.7) xác định hiệu thời gian làm việc của các bảo vệ ở 2 đoạn kề nhau $\Delta t = t_n - t_{(n-1)max}$. Khi chọn Δt cần xét đến những yêu cầu sau :

- Δt cần phải bé nhất để giảm thời gian làm việc của các bảo vệ gần nguồn.
- Δt cần phải thế nào để hư hỏng ở đoạn thứ $(n-1)$ được cắt ra trước khi bảo vệ của đoạn thứ n (gần nguồn hơn) tác động.

Δt của bảo vệ đoạn thứ n cần phải bao gồm những thành phần sau :

- * Thời gian cắt $t_{MC(n-1)}$ của máy cắt đoạn thứ $(n-1)$.
- * Tổng giá trị tuyệt đối của sai số dương $\max t_{ss(n-1)}$ của bảo vệ đoạn thứ n và của sai số âm $\max t_{ssn}$ của bảo vệ đoạn thứ n (có thể bảo vệ thứ n tác động sớm)
- * Thời gian sai số do quán tính t_{qm} của bảo vệ đoạn thứ n .
- * Thời gian dự trữ t_{dt} .

$$\text{Tóm lại:} \quad \Delta t = t_{MC(n-1)} + t_{ss(n-1)} + t_{ssn} + t_{qm} + t_{dt} \quad (2.8)$$

Thường Δt vào khoảng 0,25 - 0,6sec.

II.3. Độ nhạy của bảo vệ:

Độ nhạy của bảo vệ dòng max đặc trưng bằng hệ số độ nhạy K_n . Trị số của nó được xác định bằng tỉ số giữa dòng qua role I_R khi ngắn mạch trực tiếp ở cuối vùng bảo vệ và dòng khởi động role $I_{K\Delta R}$.

$$K_n = \frac{I_R}{I_{K\Delta R}} \quad (2.9)$$

Dạng ngắn mạch tính toán là dạng ngắn mạch gây nên trị số K_n nhỏ nhất.

Để đảm bảo cho bảo vệ tác động khi ngắn mạch qua điện trở quá độ, dựa vào kinh nghiệm vận hành người ta coi rằng trị số nhỏ nhất cho phép là $K_{n\min} \approx 1,5$. Khi K_n nhỏ hơn trị số nêu trên thì nên tìm cách dùng một sơ đồ nối role khác đảm bảo độ nhạy của bảo vệ lớn hơn. Nếu biện pháp này không đem lại kết quả khả quan hơn thì cần phải áp dụng các bảo vệ khác nhạy hơn.

Trường hợp tổng quát, yêu cầu đối với bảo vệ đặt trong mạng là phải tác động không những khi hư hỏng trên chính đoạn được nó bảo vệ, mà còn phải tác động cả khi hư hỏng ở đoạn kề nếu bảo vệ hoặc máy cắt của đoạn kề bị hỏng hóc (yêu cầu dự trữ cho bảo vệ của đoạn kề). Trong trường hợp này khi ngắn mạch trực tiếp ở cuối đoạn kề, hệ số độ nhạy không được nhỏ hơn 1,2.

Để so sánh độ nhạy của một sơ đồ bảo vệ ở những dạng ngắn mạch khác nhau người ta còn dùng hệ số độ nhạy tương đối $K_{ntđ}$, đo là tỷ số giữa K_n ở dạng ngắn mạch đang khảo sát với $K_n^{(3)}$ khi ngắn mạch 3 pha với điều kiện là dòng ngắn mạch có giá trị như nhau:

$$K_{ntđ} = \frac{K_n}{K_n^{(3)}} = \frac{I_R}{I_R^{(3)}} \quad (2.10)$$

Trong đó I_R và $I_R^{(3)}$ là dòng qua role ở dạng ngắn mạch khảo sát và $I_R^{(3)}$ khi dòng ngắn mạch sơ cấp có giá trị như nhau.

III. Đánh giá bảo vệ dòng cực đại làm việc có thời gian:

III.1. Tính chọn lọc:

Bảo vệ dòng cực đại chỉ đảm bảo được tính chọn lọc trong các mạng hình tia có một nguồn cung cấp bằng cách chọn thời gian làm việc theo nguyên tắc bậc thang tăng dần theo hướng từ xa đến gần nguồn. Khi có 2 nguồn cung cấp, yêu cầu chọn lọc không được thỏa mãn cho dù máy cắt và bảo vệ được đặt ở cả 2 phía của đường dây.

III.2. Tác động nhanh:

Càng gần nguồn thời gian làm việc của bảo vệ càng lớn. Ở các đoạn gần nguồn cần phải cắt nhanh ngắn mạch để đảm bảo sự làm việc liên tục của phần còn lại của hệ thống điện, trong khi đó thời gian tác động của các bảo vệ ở các đoạn này lại lớn nhất. Thời gian tác động chọn theo nguyên tắc bậc thang có thể vượt quá giới hạn cho phép.

III.3. Độ nhạy:

Độ nhạy của bảo vệ bị hạn chế do phải chọn dòng khởi động lớn hơn dòng làm việc cực đại $I_{lv\max}$ có kể đến hệ số mở máy k_{mm} của các động cơ. Khi ngắn mạch trực tiếp ở cuối đường dây được bảo vệ, độ nhạy yêu cầu là $\geq 1,5$ (khi làm nhiệm vụ bảo vệ chính). Độ nhạy như vậy trong nhiều trường hợp được đảm bảo. Tuy nhiên khi công suất nguồn thay đổi nhiều, cũng như khi bảo vệ làm nhiệm vụ dự trữ trong trường hợp ngắn mạch ở đoạn kề, độ nhạy có thể không đạt yêu cầu. Độ nhạy yêu cầu của bảo vệ khi làm nhiệm vụ dự trữ là $\geq 1,2$

III.4. Tính đảm bảo:

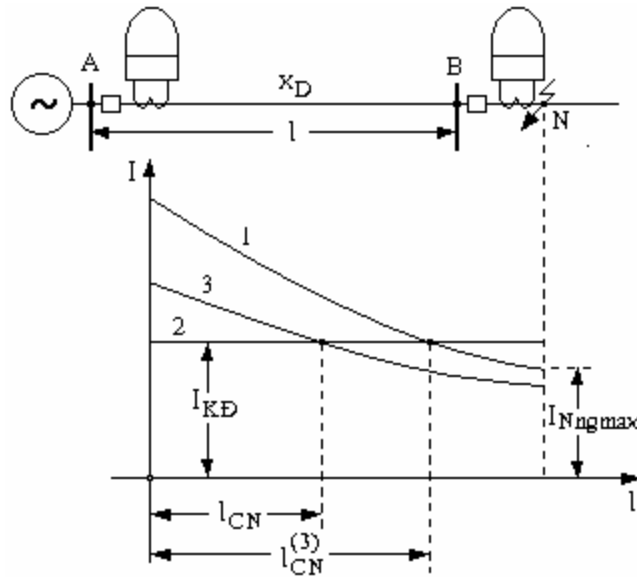
Theo nguyên tắc tác động, cách thực hiện sơ đồ, số lượng tiếp điểm trong mạch thao tác và loại role sử dụng, bảo vệ dòng cực đại được xem là loại bảo vệ đơn giản nhất và làm việc khá đảm bảo.

Do những phân tích trên, bảo vệ dòng cực đại được áp dụng rộng rãi trong các mạng phân phối hình tia điện áp từ 35KV trở xuống có một nguồn cung cấp nếu thời gian làm việc của nó nằm trong giới hạn cho phép. Đối với các đường dây có đặt kháng điện ở đầu đường dây, có thể áp dụng bảo vệ dòng cực đại được vì khi ngắn mạch dòng không lớn lắm, điện áp dư trên thanh góp còn khá cao nên bảo vệ có thể làm việc với một thời gian tương đối lớn vẫn không ảnh hưởng nhiều đến tình trạng làm việc chung của hệ thống điện.

IV. Bảo vệ dòng cắt nhanh:

IV.1. Nguyên tắc làm việc:

Bảo vệ dòng cắt nhanh (BVCN) là loại bảo vệ **đảm bảo tính chọn lọc bằng cách chọn dòng khởi động lớn hơn dòng ngắn mạch lớn nhất qua chỗ đặt bảo vệ khi hư hỏng ở ngoài phần tử được bảo vệ**, BVCN thường làm việc không thời gian hoặc có thời gian rất bé để nâng cao nhạy và mở rộng vùng BV.



Hình 2.15 : Đồ thị tính toán bảo vệ dòng cắt nhanh không thời gian đối với đường dây có nguồn cung cấp một phía

Xét sơ đồ mạng trên hình 2.15, BVCN đặt tại đầu đường dây AB về phía trạm A. Để bảo vệ không khởi động khi ngắn mạch ngoài (trên các phần tử nối vào thanh góp trạm B), dòng điện khởi động $I_{KĐ}$ của bảo vệ cần chọn lớn hơn dòng điện lớn nhất đi qua đoạn AB khi ngắn mạch ngoài. Điểm ngắn mạch tính toán là N nằm gần thanh góp trạm B phía sau máy cắt.

$$I_{KĐ} = k_{at} \cdot I_{Nngmax} \quad (2.13)$$

Trong đó :

I_{Nngmax} : Là dòng ngắn mạch lớn nhất khi ngắn mạch ngoài vùng bảo vệ (thường là dòng $N^{(3)}$)

k_{at} : hệ số an toàn; xét tới ảnh hưởng của thành phần không chu kỳ, việc tính toán không chính xác dòng ngắn mạch và sai số của role. Thường $k_{at} = 1,2 \div 1,3$.

Không kể đến k_{tv} vì khi ngắn mạch ngoài bảo vệ không khởi động.

IV.2. Vùng tác động của BV:

Khi hư hỏng càng gần thanh góp trạm A thì dòng điện ngắn mạch sẽ càng tăng theo đường cong 1 (hình 2.15). Vùng bảo vệ cắt nhanh l_{CN} được xác định bằng hoành độ của giao điểm giữa đường cong 1 và đường thẳng 2 (đường thẳng 2 biểu diễn dòng điện khởi động I_{KD}). Vùng $l_{CN}^{(3)}$ chỉ chiếm một phần chiều dài của đường dây được bảo vệ. Dòng ngắn mạch không đối xứng thường nhỏ hơn dòng khi ngắn mạch 3 pha. Vì vậy, đường cong I_N (đường cong 3) đối với các dạng ngắn mạch không đối xứng trong tình trạng cực tiểu của hệ thống có thể nằm rất thấp so với đường cong 1; vùng bảo vệ $l_{CN} < l_{CN}^{(3)}$, trong một số trường hợp l_{CN} có thể giảm đến 0.

IV.3. BVCN cho đường dây có 2 nguồn cung cấp:

Bảo vệ cắt nhanh còn có thể dùng để bảo vệ các đường dây có hai nguồn cung cấp. Trên hình 2.16, giả thiết BVCN được đặt ở cả 2 phía của đường dây AB. Khi ngắn mạch ngoài tại điểm N_A thì dòng ngắn mạch lớn nhất chạy qua các BVCN là $I_{NngmaxB}$ theo hướng từ thanh góp B vào đường dây. Khi ngắn mạch ngoài tại điểm N_B thì dòng ngắn mạch lớn nhất chạy qua các BVCN là $I_{NngmaxA}$ theo hướng từ thanh góp A vào đường dây. Để bảo vệ cắt nhanh không tác động nhầm khi ngắn mạch ngoài, cần phải chọn $I_{KD} > I_{Nngmax}$. Trong trường hợp đang xét (hình 2.16), $I_{NngmaxA} > I_{NngmaxB}$, vì vậy dòng tính toán $I_{Nngmax} = I_{NngmaxA}$. Dòng điện khởi động của bảo vệ chọn giống nhau cho cả hai phía:

$$I_{KD} = k_{at} \cdot I_{NngmaxA}$$

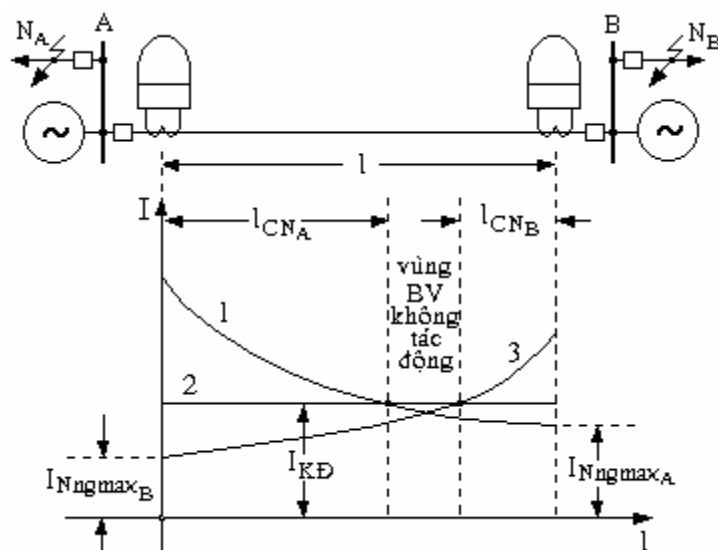
Vùng bảo vệ l_{CNA} và l_{CNB} được xác định bằng hoành độ giao điểm của các đường cong 1 ($I_{NA} = f(l)$) và 3 ($I_{NB} = f(l)$) với đường thẳng 2 (I_{KD}), gồm 3 đoạn:

- * Ngắn mạch trong đoạn l_{CNA} chỉ có BVCN phía A tác động
- * Ngắn mạch trong đoạn l_{CNB} chỉ có BVCN phía B tác động
- * Khi ngắn mạch trong đoạn giữa thì không có BVCN nào tác động. Tuy nhiên nếu $(l_{CNA} + l_{CNB}) > l$ thì khi ngắn mạch ở đoạn giữa cả hai BVCN sẽ cùng tác động.

** Hiện tượng khởi động không đồng thời:

Nếu giữa các trạm A,B ngoài đường dây được bảo vệ ra còn có các mạch liên lạc vòng phụ khác thì có thể xảy ra hiện tượng khởi động không đồng thời giữa các bảo vệ đặt ở 2 đầu A,B của đường dây và chiều dài vùng bảo vệ có thể tăng lên.

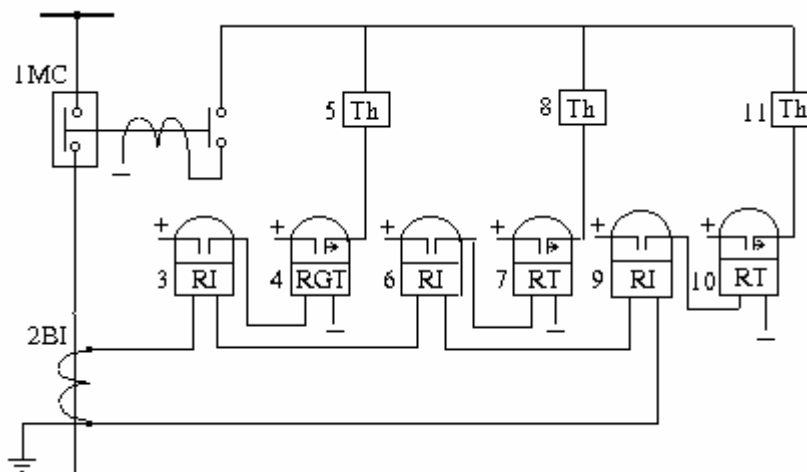
Hiện tượng mà *một bảo vệ chỉ bắt đầu khởi động sau khi một bảo vệ khác đã khởi động và cắt máy cắt được gọi là hiện tượng khởi động không đồng thời*. Khi kể đến tác động không đồng thời, BVCN thậm chí có thể bảo vệ được toàn bộ đường dây có nguồn cung cấp 2 phía.



Hình 2.16 : Đồ thị tính toán bảo vệ dòng cắt nhanh đối với đường dây có nguồn cung cấp từ 2 phía

V. Bảo vệ dòng có đặc tính thời gian nhiều cấp:

Bảo vệ dòng có đặc tính thời gian nhiều cấp (hay còn gọi là đặc tính thời gian phụ thuộc nhiều cấp) là sự kết hợp của các bảo vệ dòng cắt nhanh không thời gian, bảo vệ dòng cắt nhanh có thời gian và bảo vệ dòng cực đại. Sơ đồ nguyên lý một pha của bảo vệ như trên hình 2.18, đặc tính thời gian trên hình 2.19.



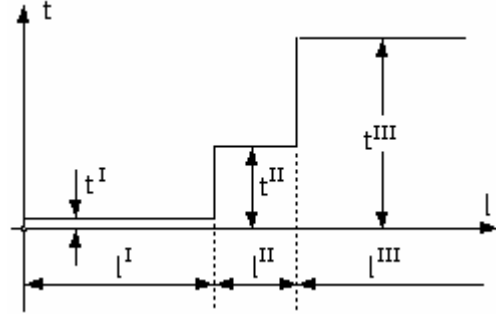
Hình 2.18 : Sơ đồ nguyên lý 1 pha của bảo vệ dòng có đặc tính thời gian nhiều cấp

Nguyên tắc làm việc của bảo vệ được khảo sát thông qua sơ đồ mạng hình tia có nguồn cung cấp 1 phía như hình 2.20. Các bảo vệ A và B đặt ở đầu đường dây AB và BC. Sự thay đổi giá trị của dòng ngắn mạch theo khoảng cách từ thanh góp trạm A đến điểm hư hỏng được đặc trưng bằng đường cong $I_N = f(l)$.

* **Cấp Thứ Nhất** của các bảo vệ A và B (role 3RI, 4RGT và 5Th trên hình 2.18) là cấp *cắt nhanh không thời gian* ($t^1 \leq 0,1$ giây). Để đảm bảo chọn lọc, dòng khởi động $I_{KĐA}$ và $I_{KĐB}$ được chọn lớn hơn dòng ngắn mạch ngoài cực đại. Phần I_A^1

và I_B^I của đường dây (xác định bằng đồ thị trên hình 2.20) là vùng thứ nhất của bảo vệ A và B, chúng chỉ chiếm một phần chiều dài của đường dây AB và BC.

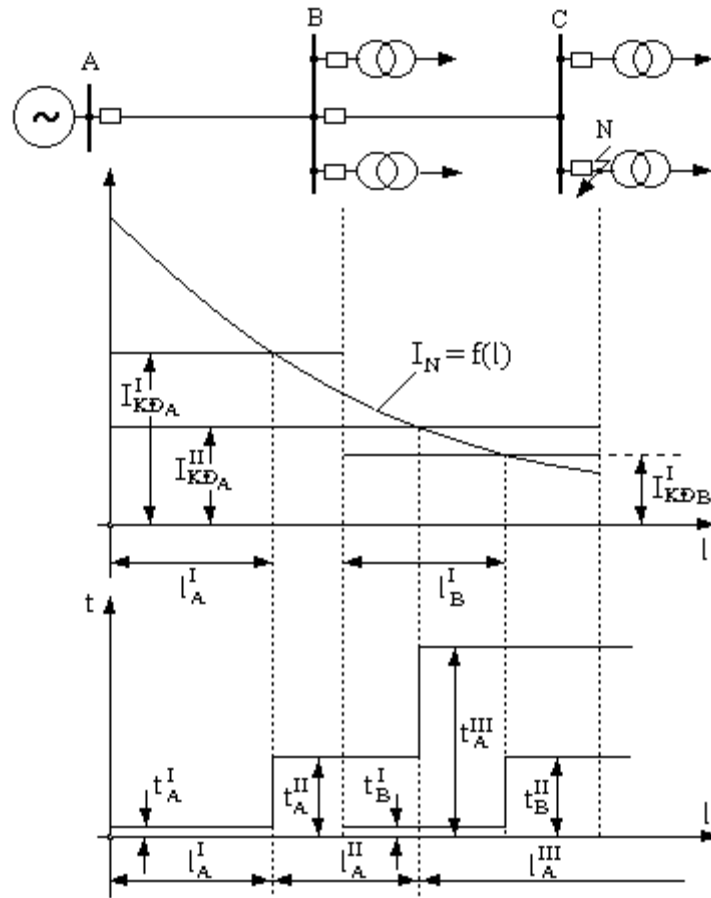
* **Cấp Thứ Hai** (role 6RI, 7RT và 8Th) là cấp *cắt nhanh có thời gian*, để đảm bảo chọn lọc được chọn với thời gian t^{II} lớn hơn thời gian tác động t^I của cấp thứ nhất và của bảo vệ không thời gian đặt ở các máy biến áp trạm B và C một bậc Δt . Khi chọn thời gian t^{II} như vậy, dòng khởi động $I_{KĐA}^{II}$ và $I_{KĐB}^{II}$ của cấp thứ hai được chọn lớn hơn dòng ngắn mạch cực đại khi hư hỏng ngoài vùng tác động của bảo vệ không thời gian đặt ở các phần tử kề trước (ví dụ, $I_{KĐA}^{II}$ được chọn lớn hơn dòng ngắn mạch cực đại khi hư hỏng ở cuối vùng l_B^I của cấp thứ nhất bảo vệ B hoặc hư hỏng trên thanh góp điện áp thấp của trạm B).



Hình 2.19 : Đặc tính thời gian của bảo vệ trên hình 2.18

Đối với bảo vệ A, nếu trường hợp tính toán là chỉnh định khối dòng ngắn mạch ở cuối vùng l_B^I của cấp thứ nhất bảo vệ B (dòng ngắn mạch lúc đó bằng dòng khởi động $I_{KĐB}^I$) thì ta có :

$$I_{KĐA}^{II} = k_{at} \cdot I_{KĐB}^I$$



Hình 2.20 : Đồ thị tính toán bảo vệ dòng có đặc tính thời gian nhiều cấp

Hệ số an toàn K_{at} tính đến sai số của role và máy biến dòng, lấy bằng $1,1 \div 1,15$. Vùng bảo vệ của cấp thứ hai bao gồm phần cuối đường dây, thanh góp của trạm và một phần các phần tử kê nối vào thanh góp này. Vùng thứ hai I_{II}^A của bảo vệ A được xác định bằng đồ thị trên (hình 2.20), trong trường hợp đang xét I_{II}^A chứa phần cuối đường dây AB, thanh góp B và phần đầu đường dây BC.

Độ nhạy cấp thứ hai của bảo vệ A và B được kiểm tra theo ngắn mạch trực tiếp ở cuối đường dây được bảo vệ AB và BC tương ứng. Yêu cầu hệ số K_n^{II} không được nhỏ hơn $1,3 \div 1,5$.

* **Cấp Thứ Ba** của bảo vệ A và B (role 9RI, 10RT, 11Th) là *bảo vệ dòng cực đại*, có dòng khởi động I_{KDA}^{III} và I_{KDB}^{III} lớn hơn dòng điện làm việc cực đại. Tác động chọn lọc của chúng được đảm bảo nhờ chọn thời gian t_{II}^A và t_{II}^B theo nguyên tắc bậc thang.

Vùng bảo vệ của cấp thứ ba I_{III}^A và I_{III}^B bắt đầu từ cuối vùng hai trở đi. Nhiệm vụ của cấp thứ ba là dự trữ cho hỏng hóc máy cắt hoặc bảo vệ của các phần tử kê, cũng như cắt ngắn mạch trên đường dây được bảo vệ khi 2 cấp đầu không tác động, ví dụ khi ngắn mạch qua điện trở quá độ lớn. Độ nhạy của cấp thứ ba được kiểm tra với ngắn mạch ở cuối phần tử kê. Yêu cầu hệ số K_n^{III} không được nhỏ hơn 1,2.

Ưu điểm cơ bản của bảo vệ dòng điện có đặc tính thời gian nhiều cấp là bảo đảm cắt khá nhanh ngắn mạch ở tất cả các phần của mạng điện. Nhược điểm chính là độ nhạy thấp, chiều dài vùng bảo vệ phụ thuộc vào tình trạng làm việc của hệ thống và dạng ngắn mạch, chỉ đảm bảo tính chọn lọc trong mạng hở có một nguồn cung cấp.

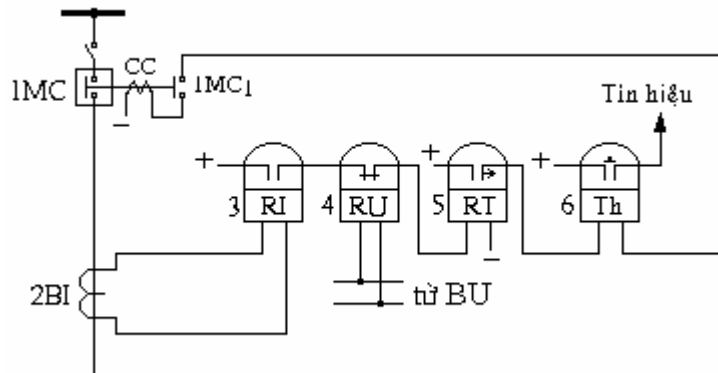
VI. Bảo vệ dòng có kiểm tra áp:

Để phân biệt giữa ngắn mạch và quá tải, đồng thời nâng cao độ nhạy về dòng của bảo vệ dòng cực đại, người ta dùng sơ đồ bảo vệ dòng có kiểm tra áp (hình 2.21). Khi ngắn mạch thì dòng điện tăng và điện áp giảm xuống do vậy cả role dòng RI và role áp RU đều khởi động dẫn đến cắt máy cắt. Trong trường hợp này, dòng khởi động của bảo vệ được tính theo biểu thức:

$$I_{K\dot{A}} = \frac{K_{at}}{K_{tv}} I_{lvmax}$$

Trong biểu thức trên không cần kể đến k_{mm} vì sau khi cắt ngắn mạch ngoài các động cơ tự khởi động nhưng không làm điện áp giảm nhiều, các role RU không khởi động và bảo vệ không thể tác động được.

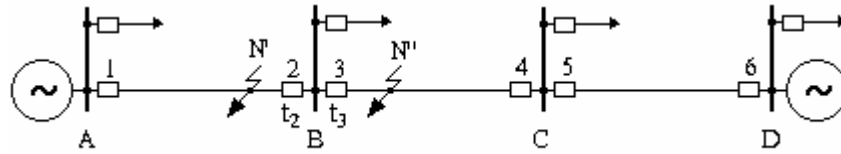
Rõ ràng là khi không kể đến hệ số k_{mm} thì dòng khởi động của bảo vệ dòng có kiểm tra áp sẽ nhỏ hơn nhiều so với dòng khởi động của bảo vệ dòng cực đại và tương ứng độ nhạy được nâng cao đáng kể.



Hình 2.21 : Sơ đồ nguyên lý 1 pha của bảo vệ dòng có kiểm tra áp

Chương 3: BẢO VỆ DÒNG CÓ HƯỚNG

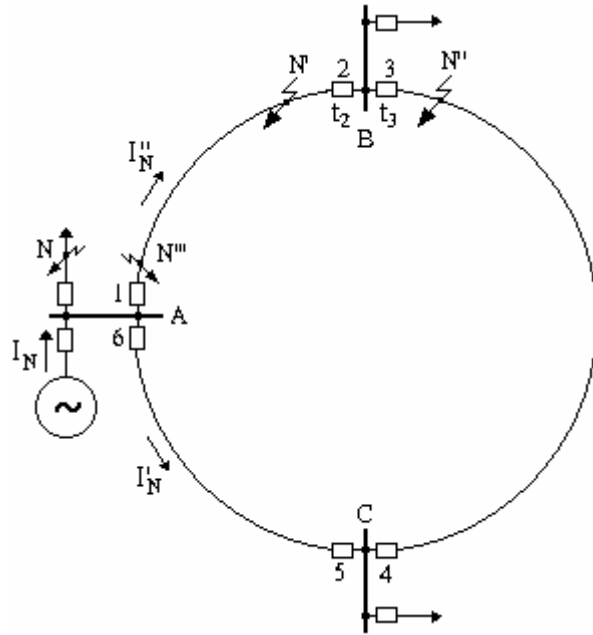
I. Nguyên tắc tác động:



Hình 3.1 : Mạng hở có nguồn cung cấp 2 phía.

Để đảm bảo cắt chọn lọc hư hỏng trong mạng hở có một vài nguồn cung cấp, cũng như trong mạng vòng có một nguồn cung cấp từ khoảng năm 1910 người ta bắt đầu dùng bảo vệ dòng có hướng.

Bảo vệ dòng điện có hướng là loại bảo vệ phản ứng theo giá trị dòng điện tại chỗ nối bảo vệ và góc pha giữa dòng điện đó với điện áp trên thanh góp của trạm có đặt bảo vệ. Bảo vệ sẽ tác động nếu dòng điện vượt quá giá trị định trước (dòng khởi động I_{KD}) và góc pha phù hợp với trường hợp ngắn mạch trên đường dây được bảo vệ.



Hình 3.2 : Mạng vòng có 1 nguồn cung cấp

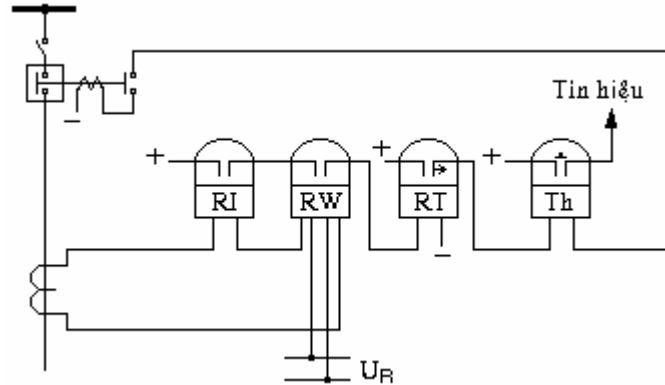
II. Sơ đồ BV dòng có hướng:

Trường hợp tổng quát, bảo vệ dòng điện có hướng gồm 3 bộ phận chính: **khởi động**, **định hướng công suất** và **tạo thời gian** (hình 3.3). Bộ phận định hướng công suất của bảo vệ được cung cấp từ máy biến dòng (BI) và máy biến điện áp (BU). Để bảo vệ tác động đi cắt, tất cả các bộ phận của bảo vệ cân phải tác động.

Bằng việc khảo sát sự làm việc của role định hướng công suất khi hư hỏng trong và ngoài vùng bảo vệ ta sẽ rút ra được những tính chất mới của bảo vệ dòng có thêm role định hướng công suất.

Khi ngắn mạch trên đoạn AB (tại điểm N' gần thanh góp B, hình 3.2) trong vùng tác động của bảo vệ 2, đồ thị véctơ các dòng điện $I'_{N'}$, $I''_{N'}$ và $I_N = I'_{N'} + I''_{N'}$ như trên hình 3.4a.

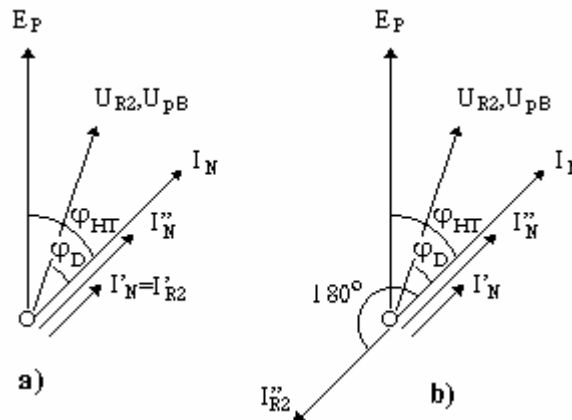
Các dòng điện này chậm sau sức điện động E_p của nguồn cung cấp một góc φ_{HT} và chúng tạo nên một góc φ_D so với áp dư U_{PB} trên thanh góp trạm B. Khi ngắn mạch trên đoạn BC gần thanh góp B (điểm N'' , hình 3.2), đồ thị vectơ các dòng điện đó thực tế vẫn giống như đối với điểm N' (hình 3.4b). Áp dư U_{PB} không thay đổi về góc pha. Nếu chọn dòng I_{R2} của bảo vệ 2 có hướng từ thanh góp B vào đường dây AB (hình 3.2) và lấy $U_{R2} = U_{PB}$ thì có thể xác định được quan hệ góc pha giữa I_{R2} và U_{R2} khi ngắn mạch ở điểm N' và N'' .



Hình 3.3 : Sơ đồ nguyên lý 1 pha của bảo vệ dòng có hướng.

Lấy vectơ điện áp U_{R2} làm gốc để xác định góc pha của I_{R2} . Góc lệch pha được coi là dương khi dòng chậm sau áp và âm khi vượt trước.

Khi ngắn mạch ở N' , công suất ngắn mạch hướng từ thanh góp B vào đường dây AB, lúc ấy $I'_{R2} = I'_N$ và $\varphi'_{R2} = \text{góc}(U_{R2}, I_{R2}) = \varphi_D$. Khi ngắn mạch ở N'' công suất ngắn mạch hướng từ đường dây AB đến thanh góp B, $I''_{R2} = -I''_N$ và $\varphi''_{R2} = \varphi_D - 180^\circ$. Như vậy khi dịch chuyển điểm hư hỏng từ vùng được bảo vệ ra vùng không được bảo vệ, góc pha của I_{R2} đặt vào role của bảo vệ 2 so với U_{R2} đã thay đổi 180° (giống như sự đổi hướng của công suất ngắn mạch). Nổi role định hướng công suất thế nào để nó khởi động khi nhận được góc φ'_{R2} (công suất ngắn mạch hướng từ thanh góp vào đường dây) và không khởi động khi nhận được góc φ''_{R2} khác với φ'_{R2} một góc 180° (công suất ngắn mạch hướng từ đường dây vào thanh góp) và như vậy ta có thể thực hiện được bảo vệ có hướng.

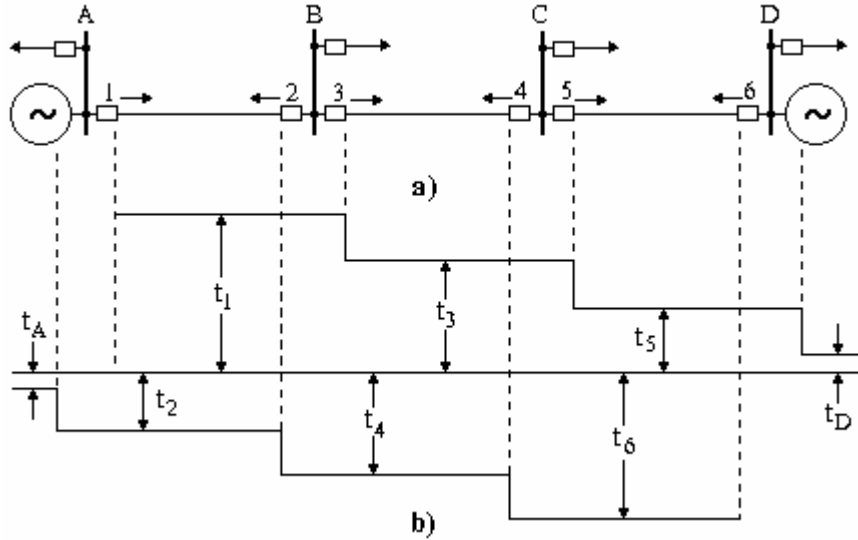


Hình 3.4 : Đồ thị vectơ áp và dòng khi hướng công suất NM đi từ thanh góp vào đường dây (a) và từ đường dây vào thanh góp (b)

III. Thời gian làm việc:

Bảo vệ dòng có hướng thường được thực hiện với *đặc tính thời gian độc lập*, thời gian làm việc của các bảo vệ được xác định theo **nguyên tắc bậc thang ngược chiều nhau**. Tất cả các bảo vệ của mạng được chia thành 2 nhóm theo hướng tác động của bộ phận định hướng công suất. Thời gian làm việc của mỗi nhóm được chọn theo nguyên tắc bậc thang như đã xét đối với bảo vệ dòng cực đại.

Xét ví dụ về nguyên tắc chọn thời gian làm việc của các bảo vệ trong mạng hở có nguồn cung cấp 2 phía (hình 3.5a).



Hình 3.5 : Đặc tính thời gian làm việc của các bảo vệ dòng có hướng

Bộ phận định hướng công suất chỉ làm việc khi hướng công suất ngăn mạch đi từ thanh góp vào đường dây được bảo vệ (quy ước vẽ bằng mũi tên ở bảo vệ). Các bảo vệ được chia thành 2 nhóm : 2, 4, 6, và 5, 3, 1.

Mỗi nhóm bảo vệ có thể chọn thời gian làm việc theo nguyên tắc bậc thang không phụ thuộc vào thời gian làm việc của nhóm kia. Trên hình 3.5b là đặc tính thời gian của các bảo vệ được chọn theo nguyên tắc bậc thang ngược chiều nhau.

Tương tự cũng có thể chọn thời gian làm việc của bảo vệ dòng cực đại có hướng cho mạng vòng có một nguồn cung cấp (hình 3.2). Điểm khác biệt là thời gian làm việc của bảo vệ 2 và 5 có thể chọn ≈ 0 .

IV. Hiện tượng khởi động không đồng thời:

Khi ngắn mạch, ví dụ ở đoạn AB rất gần thanh góp trạm A (điểm N''' - hình 3.2), hầu như toàn bộ dòng ngắn mạch đều hướng đến điểm ngắn mạch qua máy cắt 1, còn phần dòng chạy theo mạch vòng ngang qua máy cắt 6 rất bé (gần bằng 0). Kết quả là bảo vệ 2 sẽ không tác động được vào thời điểm đầu của ngắn mạch (dù rằng nó có thời gian làm việc bé nhất). Bảo vệ 1 của đường dây AB sẽ tác động trước cắt máy cắt 1, lúc ấy bảo vệ 2 mới có thể làm việc.

Hiện tượng 1 trong 2 bảo vệ ở hai phía của một đường dây chỉ có thể bắt đầu làm việc sau khi bảo vệ kia đã tác động và cắt máy cắt của mình được gọi là **hiện tượng khởi động không đồng thời** của các bảo vệ.

Phần chiều dài của đường dây được bảo vệ mà khi ngắn mạch trong đó sẽ xảy ra hiện tượng khởi động không đồng thời được gọi là **vùng khởi động không đồng thời**. Khởi động không đồng thời các bảo vệ là hiện tượng không tốt vì làm tăng thời gian loại trừ hư hỏng ở các mạng vòng.

V. Dòng khởi động của bảo vệ:

V.1. Chỉ định khởi dòng quá độ sau khi cắt ngắn mạch ngoài:

$$I_{KD} \geq \frac{k_{at} \cdot k_{mm}}{k_{tv}} \cdot I_{lvmax}$$

Trong đó: I_{lvmax} là dòng làm việc cực đại đi qua bảo vệ theo hướng phù hợp với hướng tác động của bộ phận định hướng công suất.

Một số bảo vệ dòng có hướng có thể không có bộ phận định hướng công suất (sẽ xét đến ở mục VI). Khi chọn dòng khởi động của các bảo vệ đó phải lấy I_{lvmax} không kể đến dấu của công suất phụ tải đi ngang qua bảo vệ. Chính vì vậy trong một số trường hợp để nâng cao độ nhạy của các bảo vệ, người ta vẫn đặt bộ phận định hướng công suất mặc dù về mặt thời gian để đảm bảo chọn lọc bảo vệ không cần phải có bộ phận này.

V.2. Chỉ định khởi dòng phụ tải:

Mạch điện áp của bảo vệ được cung cấp từ các BU có khả năng bị hư hỏng trong quá trình vận hành. Trị số và góc pha của điện áp U_R đặt vào role khi đó thay đổi và role định hướng công suất có thể xác định hướng không đúng. Để bảo vệ không tác động nhầm, dòng khởi động của bảo vệ cần chọn lớn hơn dòng phụ tải I_{lv} của đường dây được bảo vệ không phụ thuộc vào chiều của nó :

$$I_{KD} \geq \frac{k_{at}}{k_{tv}} \cdot I_{lv}$$

Trong một số trường hợp dòng khởi động chọn theo điều kiện này có thể lớn hơn theo điều kiện (a). Chẳng hạn như đối với bảo vệ 2 của đoạn gần nguồn trong mạng vòng (hình 3.2), công suất phụ tải luôn luôn hướng từ đường dây vào thanh góp, nếu không quan tâm đến hư hỏng trong mạch điện áp có thể chọn $I_{KD} < I_{lv}$. Để tăng độ nhạy của bảo vệ trong những trường hợp như vậy đôi khi cho phép chọn I_{KD} theo dòng phụ tải bình thường chứ không phải theo dòng làm việc cực đại với giả thiết là không hư hỏng mạch điện áp vào lúc phụ tải cực đại.

V.3. Chỉ định khởi dòng các pha không hư hỏng:

Đối với một số dạng hư hỏng, ví dụ $N^{(1)}$ trong mạng có trung tính nối đất trực tiếp, dòng các pha không hư hỏng bao gồm dòng phụ tải và dòng hư hỏng. Dòng này có thể rất lớn, role định hướng công suất nối vào dòng pha không hư hỏng có thể xác định không đúng dấu công suất ngắn mạch. Vì vậy dòng khởi động bảo vệ cần chọn lớn hơn giá trị cực đại của dòng các pha không hư hỏng.

Để tránh tác động nhầm người ta cũng có thể thực hiện sơ đồ tự động khóa bảo vệ khi trong mạng xuất hiện dòng thứ tự không. Để chống ngắn mạch chạm đất người ta dùng bảo vệ có hướng thứ tự không đặc biệt.

V.4. Phối hợp độ nhạy của bảo vệ các đoạn kề nhau:

Để phối hợp về độ nhạy giữa các bảo vệ cần chọn dòng khởi động của bảo vệ sau (thứ n - gần nguồn hơn) lớn hơn dòng cực đại đi qua nó khi ngắn mạch trong vùng tác động của bảo vệ trước (thứ $n-1$) kèm theo dòng ngắn mạch $I_N = I_{KĐn-1}$, với $I_{KĐn-1}$ là dòng khởi động của bảo vệ thứ $n-1$. Việc phối hợp được thực hiện đối với các bảo vệ tác động theo cùng một hướng.

Đối với mạng vòng (hình 3.2) không thực hiện điều kiện này có thể làm cho bảo vệ tác động không đúng khi cắt hư hỏng không đồng thời. Trong mạng vòng có một nguồn cung cấp việc phối hợp về độ nhạy thực tế dẫn đến điều kiện chọn:

$$I_{KĐn} \geq k_{at} \cdot I_{KĐn-1}$$

Hệ số an toàn k_{at} kể đến sai số của BI và role dòng cũng như kể đến ảnh hưởng của dòng phụ tải ở các trạm trung gian.

VI. Chỗ cần đặt bảo vệ có bộ phận định hướng công suất:

Khi chọn thời gian làm việc của bảo vệ dòng có hướng, chúng ta đã giả thiết tất cả các bảo vệ đều có bộ phận định hướng công suất. Tuy nhiên trong thực tế chúng chỉ cần thiết khi tính chọn lọc không thể đảm bảo được bằng cách chọn thời gian làm việc. Hay nói cách khác, bảo vệ sẽ không cần phải có bộ phận định hướng công suất nếu thời gian làm việc của nó lớn hơn thời gian làm việc của bảo vệ tất cả các phần tử khác trong trạm.

Ví dụ như khảo sát tác động của các bảo vệ trên hình 3.5 ta thấy rằng bảo vệ 6 có thể không cần bộ phận định hướng công suất, vì tính chọn lọc tác động của nó khi ngắn mạch ở các phần tử khác của trạm D được đảm bảo bằng thời gian làm việc $t_6 > t_D$. Cũng có thể thấy rằng bảo vệ 5 đặt ở đầu kia của đường dây CD có thời gian $t_5 < t_6$ và cần phải có bộ phận định hướng công suất. Như vậy ở mỗi một đường dây của mạng chỉ cần đặt bộ phận định hướng công suất cho bảo vệ ở đầu có thời gian làm việc bé hơn. Khi thời gian làm việc của cả 2 bảo vệ của một đường dây bằng nhau thì cả 2 không cần đặt bộ phận định hướng công suất.

Do vậy trong một số trường hợp, bằng cách tăng thời gian làm việc của các bảo vệ so với trị số tính toán, có thể không cần đặt bộ phận định hướng công suất ở phần lớn các bảo vệ của mạng.

VII. Độ nhạy của bảo vệ :

Độ nhạy của bảo vệ dòng cực đại có hướng được quyết định bởi hai bộ phận: khởi động dòng và định hướng công suất. Độ nhạy về dòng của bảo vệ được tính toán giống như đối với bảo vệ dòng cực đại.

Điều cần quan tâm đối với bảo vệ dòng có hướng là độ nhạy của bộ phận định hướng công suất. Khi xảy ra $N^{(3)}$ ở đầu đường dây được bảo vệ gần chỗ nối bảo vệ, điện áp từ các BU đưa vào bảo vệ có giá trị gần bằng không. Trong trường hợp này, bảo vệ và role định hướng công suất sẽ không khởi động.

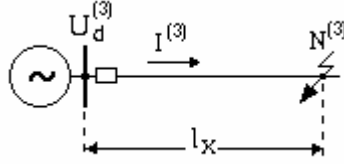
Vì vậy độ nhạy của bộ phận định hướng công suất được đặc trưng bằng *vùng chết*. Vùng chết là phần chiều dài đường dây được bảo vệ mà khi ngắn mạch trực tiếp trong đó bảo vệ sẽ không khởi động do áp đưa vào role định hướng công suất bé hơn áp khởi động tối thiểu $U_{KĐRmin}$ của nó.

Kinh nghiệm vận hành cho thấy ở mạng điện trên không vùng chết ít xuất hiện hơn so với ở mạng cáp, vì trong các mạng cáp thường xảy ra $N^{(3)}$ hơn.

Xét sơ đồ hình 3.6, gọi chiều dài vùng chết là l_x , áp dư tại chỗ đặt bảo vệ khi ngắn mạch 3 pha tại điểm N (điểm giới hạn của vùng chết) là:

$$U_d^{(3)} = \sqrt{3} \cdot I^{(3)} \cdot Z_1 \cdot l_x$$

trong đó Z_1 : tổng trở thứ tự thuận của 1Km đường dây.



Hình 3.6 : Ngắn mạch 3 pha trực tiếp ở biên giới của vùng chết

Trường hợp bộ phận định hướng dùng role điện cơ, để role có thể khởi động ở giới hạn của vùng chết cần có :

$$U_R \cdot \cos(\varphi_R + \alpha) = U_{K\overline{D}R\min}$$

Mặt khác ta có:

$$U_R = \frac{U_d^{(3)}}{n_U} = \frac{\sqrt{3}}{n_U} I^{(3)} \cdot Z_1 \cdot l_x$$

Với φ_R : góc giữa U_R và I_R

α : góc phụ của role, tùy thuộc cấu trúc của role

n_U : tỷ số biến đổi của BU

Như vậy :

$$l_x = \frac{n_U}{\sqrt{3}Z_1} \cdot \frac{U_{K\overline{A}R\min}}{I^{(3)} \cdot \cos\varphi_R \cdot \alpha}$$

VIII. Đặc tính của role định hướng công suất:

Trong tr. hợp lí tưởng, sự làm việc của role định hướng công suất thực hiện theo nguyên tắc điện cơ (ví dụ, role cảm ứng) cũng như theo các nguyên tắc khác (ví dụ, role so sánh trị tuyệt đối các đại lượng điện) được xác định bằng biểu thức:

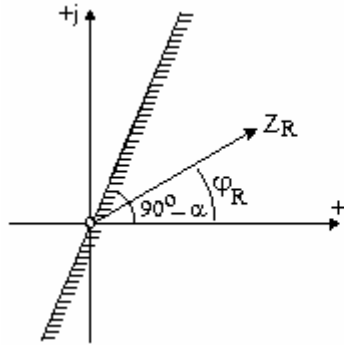
$$\cos(\varphi_R + \alpha) \geq 0 \quad (3.1)$$

Như vậy phạm vi góc φ_R mà role có thể khởi động được là:

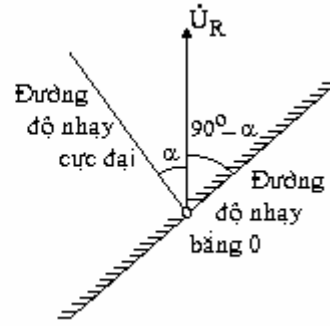
$$90^\circ \geq (\varphi_R + \alpha) \geq -90^\circ$$

hay

$$(90^\circ - \alpha) \geq \varphi_R \geq -(90^\circ + \alpha) \quad (3.2)$$



Hình 3.7 : Đặc tính góc của role định hướng công suất trong mặt phẳng phức tổng trở



Hình 3.8 : Đặc tính góc của role định hướng công suất trong mặt phẳng phức tổng trở khi cố định vector áp U_R

Đặc tính của role theo biểu thức (3.2) được gọi là *đặc tính góc*, có thể biểu diễn trên mặt phẳng phức tổng trở $Z_R = \dot{U}_R / \dot{I}_R$ (hình 3.7)

Góc φ_R được tính từ trục thực (+) theo hướng ngược chiều kim đồng hồ. Vectơ dòng I_R được giả thiết là cố định trên trục (+), còn vectơ U_R và Z_R quay đi một góc φ_R so với vectơ I_R . Trong mặt phẳng phức, đặc tính góc theo biểu thức (3.2) được biểu diễn bằng đường thẳng đi qua gốc tọa độ nghiêng một góc $(90^\circ - \alpha)$ so với trục (+). Đường thẳng này chia mặt phẳng phức thành 2 phần, phần có gạch chéo (hình 3.7) tương ứng với các góc φ_R mà lúc đó role định hướng công suất có thể khởi động được.

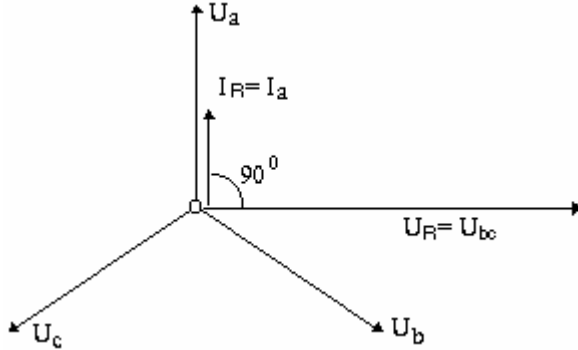
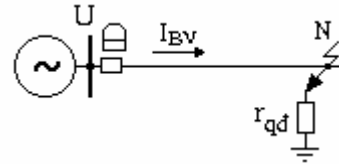
Biểu diễn đặc tính góc trên mặt phẳng phức tổng trở rất tiện lợi để khảo sát sự làm việc của role định hướng công suất đối với các dạng ngắn mạch khác nhau trong mạng điện. Trong một số trường hợp, người ta cố định hướng vector áp U_R (hình 3.8). Phạm vi tác động được giới hạn bởi một đường thẳng còn gọi là *đường độ nhạy bằng 0* (vì $\cos(\varphi_R + \alpha) = 0$). Đường thẳng này lệch so với U_R một góc $(90^\circ - \alpha)$ theo chiều kim đồng hồ. *Đường độ nhạy cực đại* (tương ứng với $\cos(\varphi_R + \alpha) = 1$) thẳng góc với đường độ nhạy bằng 0 và lệch so với U_R một góc α ngược chiều kim đồng hồ, góc tương ứng với nó $\varphi_R = \varphi_{Rn \max} = -\alpha$ được gọi là *góc độ nhạy cực đại*.

IX. NỖI ROLE ĐỊNH HƯỚNG CÔNG SUẤT VÀO

DÒNG PHA VÀ ÁP DÂY THEO SƠ ĐỒ 90° :

Bảng 3.1:

STT của rơle	I_R	U_R
1	I_a	U_{bc}
2	I_b	U_{ca}
3	I_c	U_{ab}

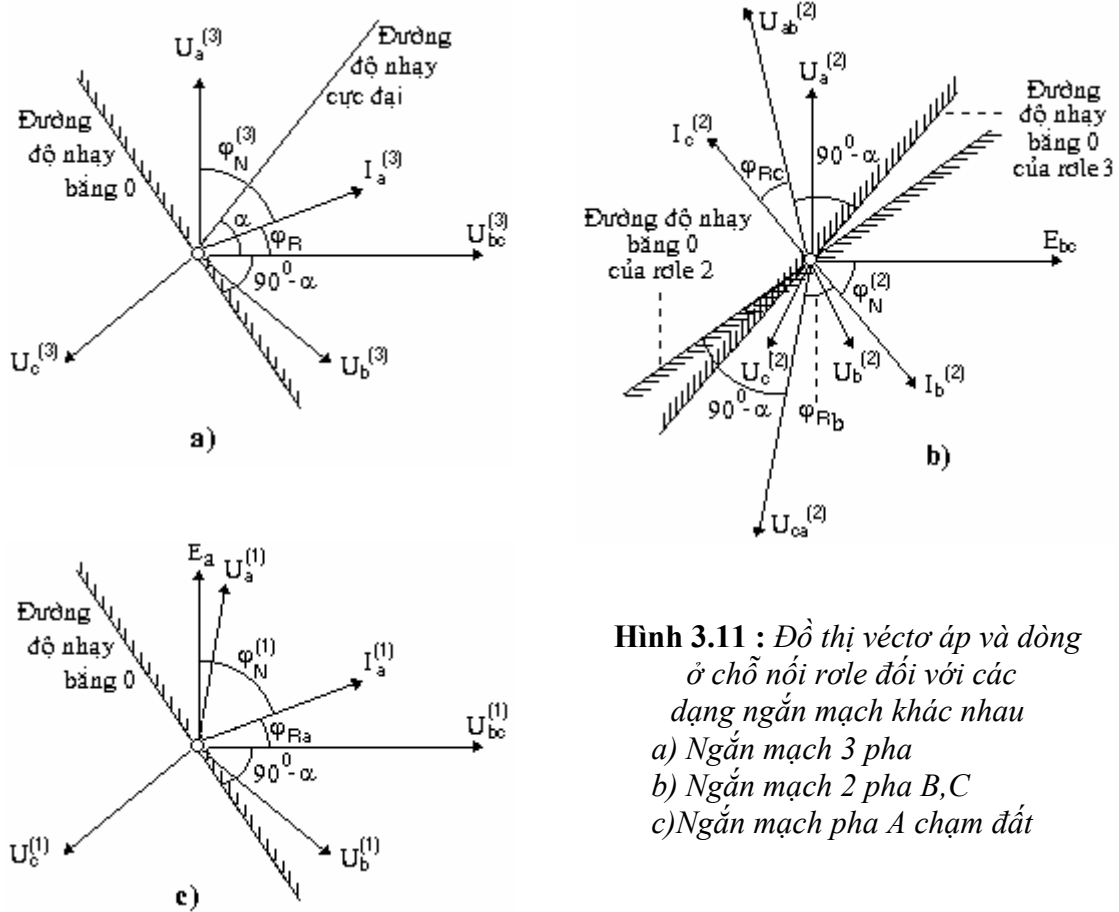
**Hình 3.9 :** Đồ thị vectơ áp và dòng khi nối rơle định hướng công suất theo sơ đồ 90^0 **Hình 3.10 :** Ngắn mạch trên đường dây

Trong sơ đồ này (bảng 3.1 và hình 3.9), đưa đến các đầu cực rơle là dòng một pha (ví dụ đối với rơle số 1, dòng $I_R = I_a$) và áp giữa hai pha khác (tương ứng $U_R = U_{bc}$) chậm sau dòng pha đó một góc 90^0 với giả thiết là dòng (I_a) trùng pha với áp pha cùng tên (U_a). Qua khảo sát cho thấy rằng, để sơ đồ làm việc đúng đắn cần có góc lệch của rơle $\alpha \approx 30^0 \div 45^0$, do đó rơle sẽ phản ứng với $\cos[\varphi_R + (30 \div 45^0)]$. Việc kiểm tra hoạt động của sơ đồ đối với các dạng ngắn mạch khác nhau có thể thực hiện bằng cách cho vị trí của vectơ U_R cố định và vectơ dòng I_R xoay quanh nó. Đường độ nhạy bằng 0 lúc đó lệch so với vectơ điện áp U_R một góc $90^0 - \alpha$ (về phía chậm sau), còn đường độ nhạy cực đại vượt trước U_R một góc α .

IX.1. Ngắn mạch 3 pha đối xứng:

Tất cả các rơle của sơ đồ đều làm việc trong những điều kiện giống nhau. Vì vậy ta chỉ khảo sát sự làm việc của một rơle (rơle số 1) có $I_{1R} = I_a^{(3)}$ và $U_{1R} = U_{bc}^{(3)}$. Đồ thị vectơ áp $U_{bc}^{(3)}$ ở chỗ nối rơle và vectơ dòng $I_a^{(3)}$ như trên hình 3.11a. Đường độ nhạy bằng 0 lệch với điện áp $U_{bc}^{(3)}$ một góc $90^0 - 45^0 = 45^0$ (giả thiết rơle có góc $\alpha = 45^0$). Góc $\varphi_N^{(3)}$ giữa $I_a^{(3)}$ và $U_a^{(3)}$ được xác định bằng tổng trở thứ tự thuận một pha của phần đường dây trước điểm ngắn mạch N và điện trở quá độ r_{qd} ở chỗ hư hỏng (hình 3.10).

Giá trị $\varphi_N^{(3)}$ nằm trong phạm vi $0 \leq \varphi_N^{(3)} \leq 90^0$. Từ đồ thị hình 3.11a ta thấy ở các giá trị $\varphi_N^{(3)}$ bất kỳ trong phạm vi trên, rơle sẽ làm việc đúng nếu $U_{bc}^{(3)}$ có giá trị đủ để rơle làm việc. Khi góc $\varphi_N^{(3)} = 45^0$ hướng vectơ dòng điện trùng với đường độ nhạy cực đại và do đó sơ đồ sẽ làm việc ở điều kiện thuận lợi nhất. Khi chọn $\alpha = 0$ sơ đồ có thể không tác động khi ngắn mạch ở đầu đường dây qua điện trở quá độ r_{qd} .



Hình 3.11 : Đồ thị vectơ áp và dòng ở chỗ nối role đối với các dạng ngắn mạch khác nhau
 a) Ngắn mạch 3 pha
 b) Ngắn mạch 2 pha B,C
 c) Ngắn mạch pha A chạm đất

IX.2. Ngắn mạch giữa 2 pha:

Điều kiện làm việc của các role nối vào dòng các pha hư hỏng là không giống nhau. Vì vậy, chẳng hạn như khi ngắn mạch giữa hai pha B, C cần xét đến sự làm việc của role số 2 có $I_{2R} = I_b^{(2)}$ và $U_{2R} = U_{ca}^{(2)}$ cũng như của role số 3 có $I_{3R} = I_c^{(2)}$ và $U_{3R} = U_{ab}^{(2)}$. Vấn đề cũng trở nên phức tạp hơn so với $N^{(3)}$ do góc pha giữa U_R và I_R thay đổi khi dịch chuyển điểm ngắn mạch N dọc theo đường dây. Trên hình 3.11b là đồ thị vectơ áp và dòng đối với trường hợp điểm ngắn mạch N nằm ở khoảng giữa đường dây (hình 3.10). Các đường độ nhảy bằng 0 lệch với các áp $U_{ca}^{(2)}, U_{ab}^{(2)}$ một góc 45° . Vị trí vectơ dòng $I_b^{(2)}$ lệch với sức điện động E_{bc} một góc $\varphi_N^{(2)}$. Góc $\varphi_N^{(2)}$ được xác định bằng tổng trở từ nguồn sức điện động đến chỗ ngắn mạch kể cả r_{qd} ; trị số của nó có thể thay đổi trong phạm vi $0 \leq \varphi_N^{(2)} \leq 90^\circ$. Từ đồ thị ta thấy, trị số của điện áp U_{2R} và U_{3R} luôn luôn lớn và cả hai role (số 2 và 3) đều làm việc đúng đắn ở giá trị $\varphi_N^{(2)}$ bất kỳ.

IX.3. Ngắn mạch một pha trong mạng có trung tính nối đất trực tiếp:

Ta khảo sát sự làm việc của role nối vào dòng pha hư hỏng (role số 1 khi ngắn mạch pha A). Đường độ nhảy bằng 0 lệch 45° so với vectơ áp giữa 2 pha không hư hỏng $U_{bc}^{(1)}$ (hình 3.11c). Góc $\varphi_N^{(1)}$ giữa sức điện động E_a và dòng $I_a^{(1)}$ có thể thay đổi trong phạm vi $0 \leq \varphi_N^{(1)} \leq 90^\circ$. Qua đồ thị ta thấy, role nối vào dòng pha hư hỏng luôn luôn làm việc đúng.

Từ những phân tích trên có thể rút ra kết luận như sau đối với sơ đồ 90° :

1) Sơ đồ có thể xác định đúng hướng công suất ngắn mạch trong các pha bị hư hỏng đối với tất cả các dạng hư hỏng cơ bản. Để được như vậy role định hướng công suất cần phải có góc lệch $\alpha \approx 45^\circ$.

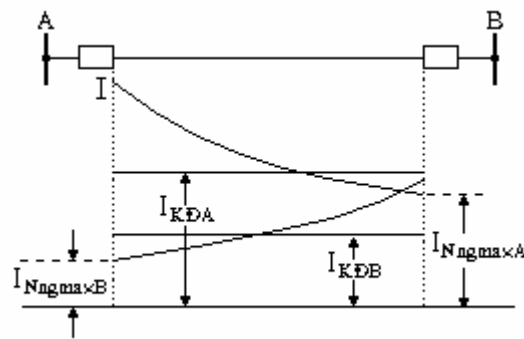
2) Vùng chết chỉ có thể xảy ra khi ngắn mạch 3 pha gần chỗ nối bảo vệ (U_R gần bằng không).

3) Khi $N^{(2)}$ và $N^{(1)}$, các role nối vào dòng pha không hư hỏng có thể làm việc không đúng do tác dụng của dòng phụ tải và dòng hư hỏng trong các pha này. Vì vậy cần phải làm thế nào để sơ đồ vẫn làm việc đúng dù cho có một vài role tác động nhằm do dòng các pha không hư hỏng.

Cũng có một số sơ đồ khác để nối rơ le định hướng công suất như sơ đồ 30^0 (ví dụ, $I_R = I_a$ và $U_R = U_{ab}$), hoặc sơ đồ 60^0 (ví dụ, $I_R = I_a$ và $U_R = -U_b$). Tuy nhiên các sơ đồ này có một số nhược điểm so với sơ đồ 90^0 , do vậy sơ đồ 90^0 được sử dụng rộng rãi hơn.

X. Bảo vệ dòng cắt nhanh có hướng:

Bảo vệ dòng cắt nhanh có hướng là bảo vệ có hướng không thời gian mà tính chọn lọc tác động đạt được bằng cách chọn dòng khởi động I_{KD} lớn hơn giá trị cực đại của dòng ngắn mạch ngoài I_{Nngmax} đi theo hướng tác động của bộ phận định hướng công suất nếu như điều kiện chỉnh định theo dòng điện khi dao động (đối với bảo vệ cắt nhanh nối vào dòng pha toàn phần) không phải là điều kiện tính toán.



Hình 3.21 : Đồ thị tính toán bảo vệ dòng cắt nhanh có hướng

Trên hình 3.21 là đồ thị biểu diễn sự thay đổi của giá trị dòng điện trên đường dây AB có 2 nguồn cung cấp khi dịch chuyển điểm ngắn mạch dọc theo đường dây. Dòng khởi động của bảo vệ cắt nhanh không có hướng đối với đường dây này được chọn lớn hơn giá trị lớn nhất của các dòng ngắn mạch ngoài, đối với trường hợp như trên hình 3.21 thì $I_{KD} = k_{at} \cdot I_{NngmaxA}$. Như vậy nối bảo vệ cắt nhanh về phía trạm B là không có ý nghĩa vì I_{KD} luôn luôn lớn hơn dòng ngắn mạch đi qua bảo vệ đặt phía trạm B.

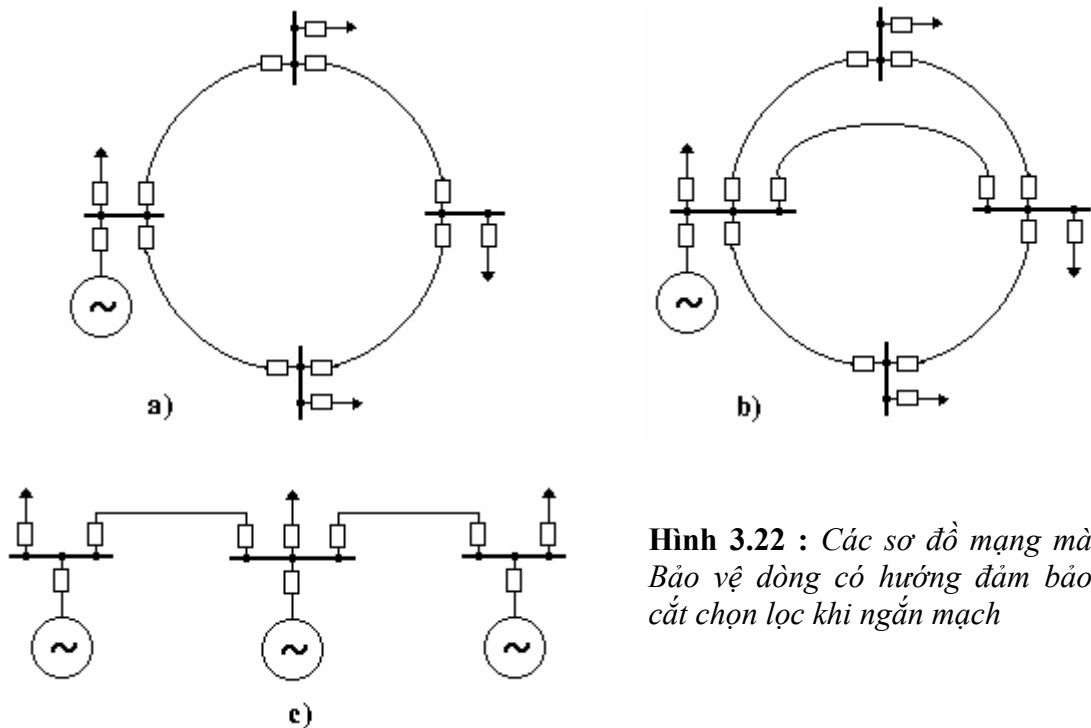
Nếu ta đưa thêm bộ phận định hướng công suất vào bảo vệ cắt nhanh ở trạm B, thì có thể chọn dòng khởi động của nó không kể đến dòng $I_{NngmaxA}$. Dòng khởi động của bảo vệ B sẽ nhỏ hơn so với trường hợp dùng bảo vệ cắt nhanh không hướng nêu trên và bằng $I_{KDB} = k_{at} \cdot I_{NngmaxB}$. Trong trường hợp này bảo vệ cắt nhanh về phía trạm B sẽ có thể bảo vệ được phần lớn đường dây AB.

XI. Đánh giá và phạm vi ứng dụng của Bảo vệ dòng có hướng:

XI.1. Tính chọn lọc:

Tính chọn lọc tác động của bảo vệ đạt được nhờ chọn thời gian làm việc theo nguyên tắc bậc thang ngược chiều nhau và dùng các bộ phận định hướng công suất.

Tính chọn lọc được đảm bảo trong các mạng vòng có một nguồn cung cấp khi không có những đường chéo không qua nguồn (hình 3.22a,b) và trong các mạng hình tia có số nguồn cung cấp tùy ý (hình 3.22c).

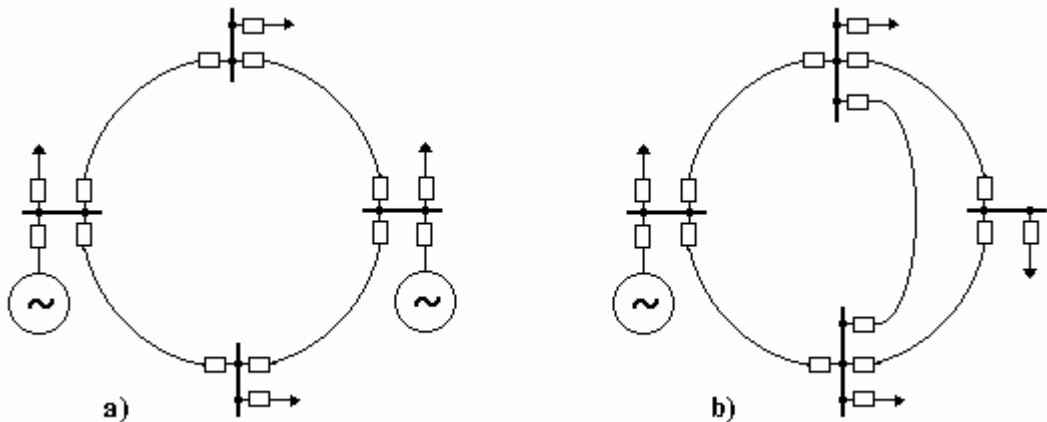


Hình 3.22 : Các sơ đồ mạng mà Bảo vệ dòng có hướng đảm bảo cắt chọn lọc khi ngắn mạch

Trong các mạng vòng có số nguồn cung cấp lớn hơn một (hình 3.23a), tính chọn lọc không thể đảm bảo vì không thể chọn thời gian làm việc theo nguyên tắc bậc thang. Bảo vệ cũng không đảm bảo chọn lọc trong các mạng vòng có một nguồn cung cấp có đường chéo không đi qua nguồn (hình 3.23b), trường hợp này phần mạng giới hạn bởi đường chéo có thể xem như có hai nguồn cung cấp.

XI.2. Tác động nhanh:

Giống như bảo vệ dòng cực đại (chương 2), trong đa số trường hợp bảo vệ có thời gian làm việc lớn.



Hình 3.23 : Các sơ đồ mạng mà Bảo vệ dòng có hướng không đảm bảo cắt chọn lọc khi ngắn mạch

XI.3. Độ nhạy:

Độ nhạy của bảo vệ bị giới hạn bởi dòng khởi động của bộ phận khởi động. Trong các mạng hở có 2 hay nhiều nguồn cung cấp, ở một số chế độ ví dụ như sau khi cắt một

trong các nguồn cung cấp có công suất lớn và cường bức kích từ máy phát của các nguồn còn lại thì dòng phụ tải cực đại có thể đạt tới giá trị lớn. Dòng khởi động được chỉnh định khởi dòng phụ tải này thường làm cho bảo vệ hoàn toàn không đủ độ nhạy. Để tăng độ nhạy đôi khi người ta dùng những bộ phận khởi động liên hợp dòng và áp.

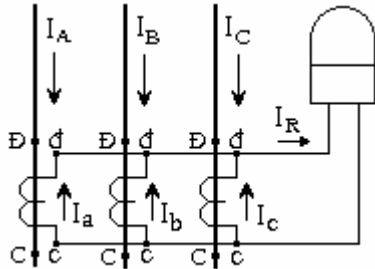
Từ những nhận xét trên ta thấy rằng bảo vệ dòng có hướng có thể sử dụng làm bảo vệ chính trong các mạng phân phối điện áp dưới 35kV khi nó đảm bảo được tính chọn lọc và tác động nhanh.

Bảo vệ dòng có hướng cũng được sử dụng rộng rãi làm bậc dự trữ trong các bảo vệ có đặc tính thời gian nhiều cấp.

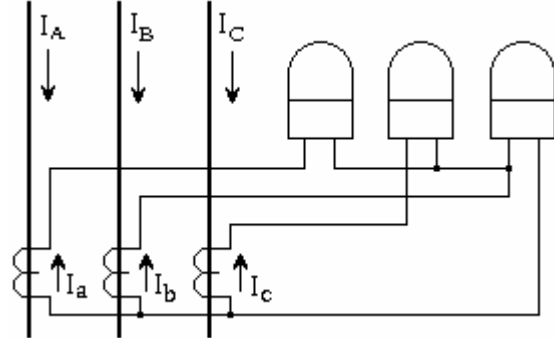
Chương 4: BẢO VỆ CHỐNG CHẠM ĐẤT

I. Bảo vệ dòng thứ tự không Trong mạng có dòng chạm đất lớn:

Bảo vệ dòng thứ tự không được thực hiện nhờ một role RI nối vào bộ lọc dòng thứ tự không LI_0 .



Hình 4.1 : Sơ đồ nối role vào bộ lọc dòng thứ tự không gồm 3BI



Hình 4.2 : Kết hợp sơ đồ bộ lọc - role dòng thứ tự không với sơ đồ sao khuyết

I.1. Dòng qua role:

Khi chiều của các dòng điện đã chấp nhận như trong sơ đồ hình 4.1 và 4.2, dòng điện qua role RI bằng:

$$\dot{I}_R = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c$$

Dòng thứ của BI tương ứng với sơ đồ thay thế (hình 2.13) là:

$$\dot{I}_T = \dot{I}_S - \dot{I}_\mu = \frac{\omega_S}{\omega_T} (\dot{I}_S - \dot{I}_\mu)$$

Ví dụ:
$$\dot{I}_a = \frac{\omega_S}{\omega_T} (\dot{I}_A - \dot{I}_{A\mu})$$

Vì vậy:
$$\dot{I}_R = \frac{\omega_S}{\omega_T} (\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C) - \frac{\omega_S}{\omega_T} (\dot{I}_{A\mu} + \dot{I}_{B\mu} + \dot{I}_{C\mu})$$

Tổng dòng từ hóa của 3 máy biến dòng quy đổi về phía thứ cấp của chúng được gọi là *dòng không cân bằng thứ cấp* của bộ lọc:

$$\dot{I}_{KCBT} = \frac{\omega_S}{\omega_T} (\dot{I}_{A\mu} + \dot{I}_{B\mu} + \dot{I}_{C\mu}) \quad (4.1)$$

Tổng: $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 3\dot{I}_0$; $\frac{\omega_T}{\omega_S} = n_l$

Vậy:
$$\dot{I}_R = \frac{3\dot{I}_0}{n_l} - \dot{I}_{KCBT} \quad (4.2)$$

Như vậy bảo vệ chỉ tác động đối với các dạng ngắn mạch có tạo nên dòng I_0 (ngắn mạch chạm đất).

Đối với các bộ lọc dùng BI lí tưởng có $I_{\mu} = 0$ thì $I_{KCBT} = 0$. Tuy nhiên thực tế các BI luôn luôn có dòng từ hóa và dòng từ hóa ở các pha là khác nhau mặc dù dòng sơ của các pha có trị số bằng nhau, vì vậy $I_{KCBT} \neq 0$.

I.2. Dòng khởi động của bảo vệ:

Trong tình trạng làm việc bình thường hoặc khi ngắn mạch giữa các pha (không chạm đất) thì dòng thứ tự không $I_0 = 0$. Do vậy để bảo vệ không tác động khi ngắn mạch giữa các pha ngoài vùng bảo vệ cần chọn:

$$I_{KD} = k_{at} \cdot I_{KCBS_{tt}} \quad (4.4)$$

Dòng $I_{KCBS_{tt}}$ được tính toán đối với trường hợp ngắn mạch ngoài không chạm đất và cho dòng lớn nhất.

Đồng thời để phối hợp độ nhạy giữa các bảo vệ thứ tự không thì dòng khởi động của bảo vệ đoạn sau (gần nguồn hơn) phải chọn lớn hơn bảo vệ đoạn trước một ít.

Dòng khởi động của bảo vệ thứ tự không thường bé hơn nhiều so với dòng làm việc cực đại của đường dây nên độ nhạy khá cao.

I.3. Thời gian làm việc:

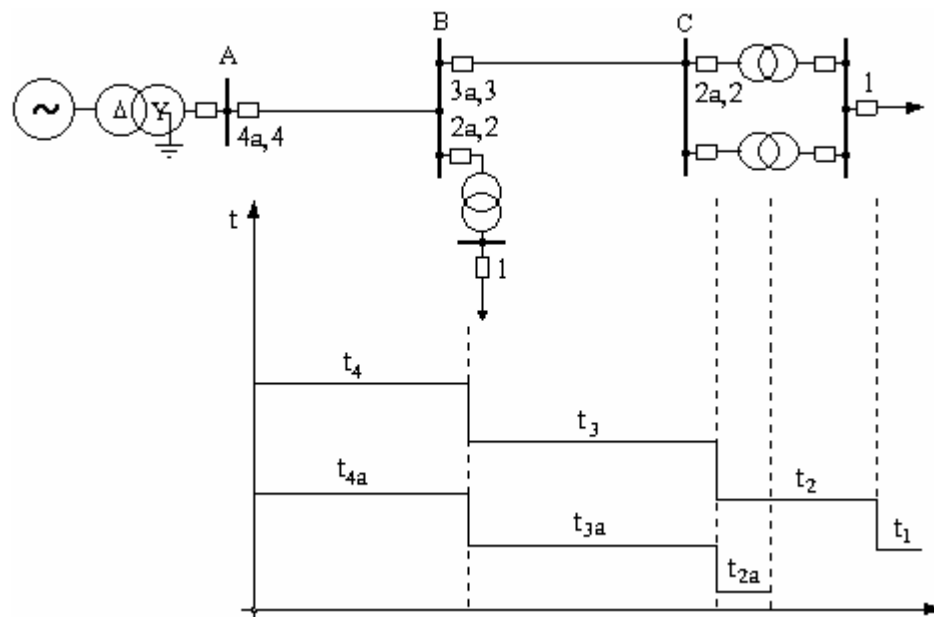
Bảo vệ dòng thứ tự không có **đặc tính thời gian độc lập**, được chọn theo **nguyên tắc bậc thang**. Xét ví dụ đối với mạng hở có một nguồn cung cấp và có trung tính được nối đất chỉ một điểm ở đầu nguồn (hình 4.3).

Bảo vệ 2a ở các trạm B, C có thể được chỉnh định không thời gian (thực tế $t_{2a} \approx 0,1$ giây) và thời gian tác động của các bảo vệ đường dây là:

$$t_{3a} = t_{2a} + \Delta t ; \quad t_{4a} = t_{3a} + \Delta t$$

Trên đồ thị hình 4.3 cũng vẽ đặc tính thời gian của các bảo vệ 1 ÷ 4 làm nhiệm vụ chống ngắn mạch nhiều pha trong mạng.

Từ hình 4.3 và những điều đã trình bày trên đây ta có thể thấy được ưu điểm chính của bảo vệ dòng thứ tự không so với bảo vệ nối vào dòng pha toàn phần là thời gian làm việc bé và độ nhạy cao.



Hình 4.3 : Đặc tính thời gian của bảo vệ dòng TTK và của bảo vệ

nối vào dòng pha trong mạng có trung tính nối đất trực tiếp

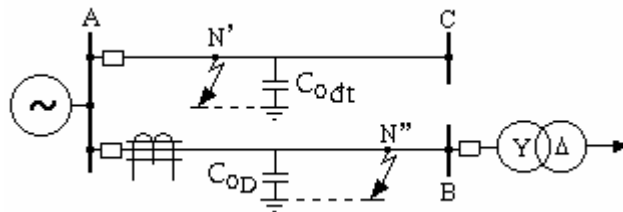
II. Bảo vệ dòng thứ tự không Trong mạng có dòng chạm đất bé:

Trong các mạng có dòng điện chạm đất bé (trung tính không nối đất hoặc nối đất qua cuộn dập hồ quang) giá trị dòng điện chạm đất một pha thường không quá vài chục Ampere. Ví dụ như ở mạng cáp, để chạm đất một pha không chuyển thành ngắn mạch nhiều pha thì chạm đất lớn nhất cho phép vào khoảng $20 \div 30A$. Những bảo vệ dùng rơle nối vào dòng điện pha toàn phần không thể làm việc với dòng điện sơ cấp bé như vậy, vì thế người ta dùng các bảo vệ nối qua bộ lọc dòng điện thứ tự không.

Bảo vệ được đặt ở đầu đường dây AB về phía trạm A trong mạng có trung tính cách đất (hình 4.15).

II.1. Dòng khởi động:

Dòng khởi động của bảo vệ được xác định theo điều kiện chọn lọc: **Bảo vệ không được tác động khi chạm đất ngoài hướng được bảo vệ.**



Hình 4.15 : Chạm đất 1 pha trong mạng có trung tính cách đất

Ví dụ khi pha C của đường dây AC bị chạm đất tại điểm N' (hình 4.14), qua bảo vệ đặt trên đường dây AB có dòng $3I_{0CD}$ do điện dung C_{0D} giữa pha của đường dây được bảo vệ đối với đất. Đồ thị dòng điện dung trong các pha của đường dây AB và thành phần thứ tự không của chúng như trên hình 4.16. Để bảo vệ không tác động cần chọn:

$$I_{KD} \geq k_{at} \cdot 3I_{0CD} \quad (4.7)$$

k_{at} : hệ số an toàn, có kể đến ảnh hưởng của dòng dung quá độ vào thời điểm đầu chạm đất (có thể lớn hơn giá trị ổn định rất nhiều). Đối với bảo vệ tác động không thời gian cần phải chọn $k_{at} = 4 \div 5$, bảo vệ tác động có thời gian có thể chọn k_{at} bé hơn.

Tuy nhiên chạm đất thường lặp đi lặp lại và rơle phải chịu tác động của những xung dòng điện liên tiếp, cho nên dù bảo vệ tác động có thời gian cũng không thể chọn k_{at} thấp hơn $2 \div 2,5$.

II.2. Thời gian làm việc:

Khi bảo vệ tác động báo tín hiệu thì không cần chọn thời gian làm việc theo điều kiện chọn lọc, bảo vệ thường làm việc không thời gian. Có một số bảo vệ theo điều kiện an toàn cần phải tác động không có thời gian đi cắt chạm đất, còn lại nói chung bảo vệ tác động đi cắt với thời gian được chọn theo nguyên tắc bậc thang.

II.3. Độ nhạy:

Khi chạm đất trong vùng bảo vệ, ví dụ tại điểm N'' trên pha C của đường dây AB (hình 4.15), để bảo vệ có thể tác động cần phải thực hiện điều kiện:

$$I_{BV} \geq I_{KD}$$

Trong đó : I_{BV} - là dòng điện đi qua bảo vệ.

Dòng qua bảo vệ I_{BV} sinh ra là do điện dung các pha của phần không hư hỏng trong hệ thống (đó chính là điện dung đẳng trị C_{0dt}):

$$I_{BV} = 3I_{0Cdt} = 3\omega C_{0dt}.U_p$$

Điện dung tổng $C_{0\Sigma}$ của các pha trong toàn hệ thống đối với đất là:

$$C_{0\Sigma} = C_{0dt} + C_{0D}$$

do vậy:

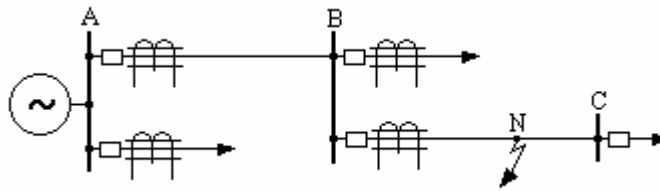
$$I_{BV} = 3\omega(C_{0\Sigma} - C_{0D}).U_p \quad (4.8)$$

Vị trí điểm chạm đất N'' trên đường dây được bảo vệ không ảnh hưởng đến trị số dòng I_{BV} , vì trở kháng và cảm kháng của đường dây rất nhỏ so với dung kháng.

Độ nhạy của bảo vệ được đặc trưng bằng hệ số độ nhạy:

$$K_n = \frac{I_{BV}}{I_{K\hat{A}}} = \frac{3\omega(C_{0\Sigma} - C_{0D})U_p}{I_{K\hat{A}}}$$

Khi chạm đất qua điện trở trung gian cần phải có $K_n \geq 1,25 \div 1.5$.



Hình 4.19 : Bố trí các bảo vệ chống chạm đất

Để nhanh chóng phát hiện phần tử bị chạm đất nên đặt bảo vệ bảo tín hiệu ở tất cả các đầu đường dây (hình 4.19). Khi xuất hiện chạm đất (ví dụ ở điểm N) bằng cách kiểm tra dần tín hiệu của các bảo vệ từ đầu nguồn A đến trạm C có thể xác định được đoạn đường dây bị chạm đất.

Chương 5: BẢO VỆ DÒNG SO LỆCH

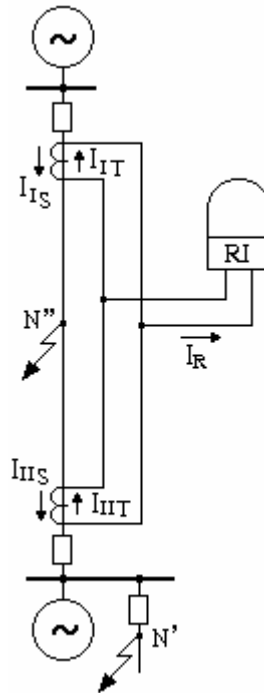
I. Nguyên tắc làm việc:

Bảo vệ dòng so lệch là loại bảo vệ dựa trên *nguyên tắc so sánh trực tiếp dòng điện ở hai đầu phần tử được bảo vệ*.

Các máy biến dòng BI được đặt ở hai đầu phần tử được bảo vệ và có tỷ số biến đổi n_I như nhau (hình 5.1). Quy ước hướng dương của tất cả các dòng điện theo chiều mũi tên như trên sơ đồ hình 4.1, ta có :

$$\dot{I}_R = \dot{I}_{IT} - \dot{I}_{IIT} \quad (5.1)$$

Dòng vào role bằng hiệu hình học dòng điện của hai BI, chính vì vậy bảo vệ có tên gọi là *bảo vệ dòng so lệch*.



Hình 5.1 : Sơ đồ nguyên lý 1 pha của bảo vệ dòng so lệch

a) Trong tình trạng làm việc bình thường hoặc khi ngắn mạch ngoài (ở điểm N'): Trường hợp lí tưởng (các BI không có sai số, bỏ qua dòng dung và dòng rò của đường dây được bảo vệ) thì:

$$\dot{I}_{IS} = \dot{I}_{IIS} \Rightarrow \dot{I}_{IT} = \dot{I}_{IIT} \Rightarrow \dot{I}_R = \dot{I}_{IT} - \dot{I}_{IIT} = 0$$

và bảo vệ sẽ không tác động.

b) Khi ngắn mạch trong (ở điểm N''): dòng I_{IS} và I_{IIS} khác nhau cả trị số và góc pha. Khi hướng dòng quy ước như trên thì dòng ở chỗ hư hỏng là:

$$\dot{I}_N = \dot{I}_{IS} - \dot{I}_{IIS} \Rightarrow \dot{I}_R = \dot{I}_{IT} - \dot{I}_{IIT} = \frac{\dot{I}_N}{n_I}$$

Nếu dòng I_R vào role lớn hơn dòng khởi động I_{KDR} của role, thì role khởi động và cắt phần tử bị hư hỏng.

Khi nguồn cung cấp là từ một phía ($I_{IIS} = 0$), lúc đó chỉ có dòng I_{IT} , dòng $I_R = I_{IT}$ và bảo vệ cũng sẽ khởi động nếu $I_R > I_{KDR}$.

Như vậy theo nguyên tắc tác động thì bảo vệ có **tính chọn lọc tuyệt đối** và để đảm bảo tính chọn lọc không cần phối hợp về thời gian. Vùng tác động của bảo vệ được giới hạn giữa hai BI đặt ở 2 đầu phân tử được bảo vệ.

II. Dòng không cân bằng:

Khi khảo sát nguyên tắc tác động của bảo vệ dòng so lệch ta đã giả thiết trong tình trạng làm việc bình thường hoặc khi ngắn mạch ngoài, lí tưởng ta có $I_{IT} = I_{IIT}$. Tuy nhiên trong thực tế :

$$\dot{I}_{IT} = \dot{I}'_{IS} - \dot{I}'_{I\mu}; \quad \dot{I}_{IIT} = \dot{I}'_{IIS} - \dot{I}'_{I\mu}$$

Như vậy, dòng trong role (khi không có ngắn mạch trong vùng bảo vệ, dòng trong role được gọi là **dòng không cân bằng** I_{KCB}) bằng:

$$\dot{I}_R = \dot{I}_{KCB} = \dot{I}_{IT} - \dot{I}_{IIT} = \dot{I}'_{II\mu} - \dot{I}'_{I\mu} \quad (5.2)$$

Ngay cả khi kết cấu của hai BI giống nhau, dòng từ hóa $I'_{II\mu}$ và $I'_{I\mu}$ của chúng thực tế là không bằng nhau. Vì vậy dòng không cân bằng có một giá trị nhất định nào đó.

Vẫn chưa có những phương pháp phù hợp với thực tế và đủ chính xác để tính toán dòng không cân bằng quá độ. Vì vậy để đánh giá đôi khi người ta phải sử dụng những số liệu theo kinh nghiệm. Trên hình 5.3b là quan hệ $i_{KCB} = f(t)$, khảo sát đồ thị đó và những số liệu khác người ta nhận thấy rằng :

- i_{KCB} quá độ có thể lớn hơn nhiều lần trị số xác lập của nó và đạt đến trị số thậm chí lớn hơn cả dòng làm việc cực đại.
- i_{KCB} đạt đến trị số cực đại không phải vào thời điểm đầu của ngắn mạch mà hơi chậm hơn một ít.
- trị số i_{KCB} xác lập sau ngắn mạch có thể lớn hơn rất nhiều so với trước ngắn mạch do ảnh hưởng của từ dư trong lõi thép. thời gian tồn tại trị số i_{KCB} lớn không quá vài phần mười giây.

Hình 5.3 : Đồ thị biểu diễn quan hệ theo thời gian của trị số tức thời của dòng ngắn mạch ngoài (a) và dòng không cân bằng trong mạch role của bảo vệ so lệch (b)

III. Dòng khởi động và độ nhạy:

III.1. Dòng điện khởi động:

Để đảm bảo cho bảo vệ so lệch làm việc đúng khi ngắn mạch ngoài, dòng khởi động của role cần phải chỉnh định tránh khỏi trị số tính toán của dòng không cân bằng:

$$I_{KDR} \geq k_{at} \cdot I_{KCBmaxtt} \quad (5.3)$$

$I_{KCBmaxtt}$: trị hiệu dụng của dòng không cân bằng cực đại tính toán tương ứng với dòng ngắn mạch ngoài cực đại.

Tương ứng dòng khởi động của bảo vệ là:

$$I_{KD} \geq k_{at} \cdot I_{KCBSmaxtt} \quad (5.4)$$

trong đó $I_{KCBSmaxtt}$ là dòng không cân bằng phía sơ cấp của BI tương ứng với $I_{KCBmaxtt}$ và được tính toán như sau:

$$I_{KCBSmaxtt} = f_{imax} \cdot k_{dn} \cdot k_{kck} \cdot I_{N ngmax} \quad (5.5)$$

với: $f_{i\max}$ - sai số cực đại cho phép của BI, $f_{i\max} = 10\%$.

$k_{đn}$ - hệ số đồng nhất của các BI, ($k_{đn} = 0 \div 1$), $k_{đn} = 0$ khi các BI hoàn toàn giống nhau và dòng điện qua cuộn sơ cấp của chúng bằng nhau, $k_{đn} = 1$ khi các BI khác nhau nhiều nhất, một BI làm việc không có sai số (hoặc sai số rất bé) còn BI kia có sai số cực đại.

k_{kck} - hệ số kể đến thành phần không chu kỳ trong dòng điện ngắn mạch.

$I_{N\ ng\max}$ - thành phần chu kỳ của dòng điện ngắn mạch ngoài lớn nhất.

III.2. Độ nhạy:

Độ nhạy của bảo vệ được đánh giá thông qua hệ số độ nhạy:

$$K_n = \frac{I_{N\min}}{I_{K\bar{A}}} \quad (5.6)$$

$I_{N\min}$: dòng nhỏ nhất có thể có tại chỗ ngắn mạch khi ngắn mạch trực tiếp trong vùng bảo vệ.

Yêu cầu độ nhạy của bảo vệ dòng so lệch $K_n \geq 2$

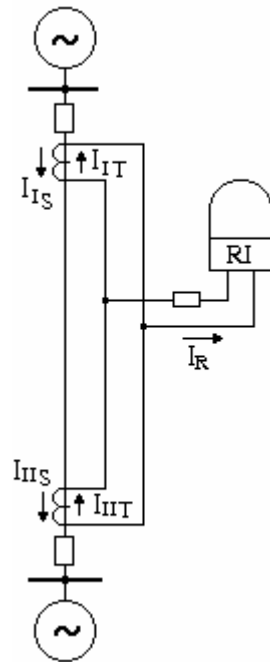
IV. Các biện pháp nâng cao độ nhạy:

□ Cho bảo vệ làm việc với thời gian khoảng 0,3 đến 0,5 sec để tránh khỏi những trị số quá độ lớn của dòng không cân bằng.

□ Nối nối tiếp với cuộn dây role một điện trở phụ (hình 5.4). Tăng điện trở mạch so lệch sẽ làm giảm thấp dòng không cân bằng cũng như dòng ngắn mạch thứ cấp (khi hư hỏng trong vùng bảo vệ). Tuy nhiên mức độ giảm thấp này không như nhau do tính chất khác nhau của dòng không cân bằng quá độ và của dòng ngắn mạch. Mức độ giảm dòng không cân bằng nhiều hơn do trong nó có chứa thành phần không chu kỳ nhiều hơn. Do sơ đồ rất đơn giản nên biện pháp này được sử dụng để thực hiện bảo vệ cho một số phần tử trong hệ thống điện.

□ Nối role qua máy biến dòng bảo hòa trung gian (BIG).

□ Dùng role có hãm.



Hình 5.4 : Bảo vệ dòng so lệch dùng điện trở phụ trong mạch role

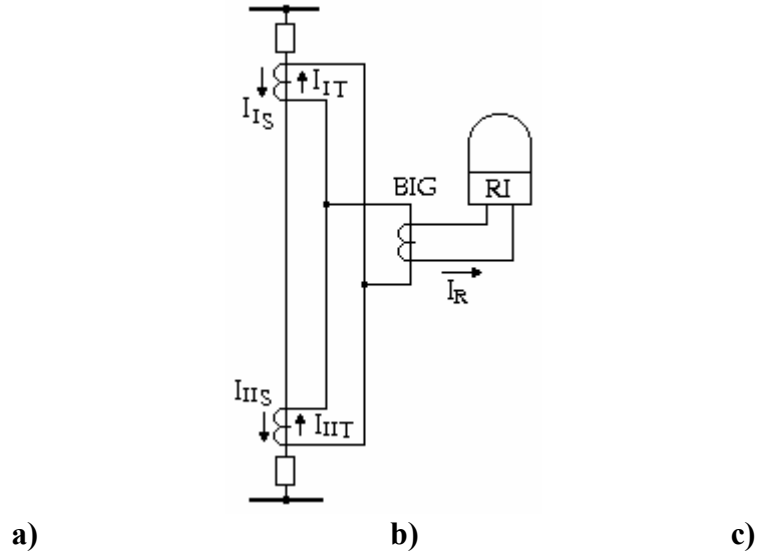
V. Bảo vệ so lệch dùng role nối qua BIG:

Sơ đồ nguyên lý của bảo vệ có role nối qua BIG trên hình 5.5a. Hoạt động của sơ đồ dựa trên cơ sở là trong dòng không cân bằng quá độ khi ngắn mạch ngoài (hình 5.3) thường có chứa thành phần không chu kỳ đáng kể làm dịch chuyển đồ thị biểu diễn trị tức thời của dòng i_{KCB} về 1 phía của trục thời gian.

Thông số của BI bảo hòa được lựa chọn thế nào để nó biến đổi rất kém thành phần không chu kỳ chứa trong i_{KCB} đi qua cuộn sơ của nó. Dùng sơ đồ thay thế của BI để phân tích, có thể thấy rằng phần lớn thành phần không chu kỳ đi qua nhánh từ hóa làm bảo hòa

mạch từ (giảm Z_{μ}). Trong điều kiện đó thành phần chu kỳ của i_{KCB} chủ yếu khép mạch qua nhánh từ hóa mà không đi vào rolet.

Điều kiện làm việc của BIG rất phức tạp bởi vì quan hệ phi tuyến khi biến đổi qua BI chính xếp chồng với quan hệ phi tuyến khi biến đổi i_{KCB} qua BIG. Phần tiếp theo ta sẽ khảo sát đồ thị vòng từ trễ của BIG và sự thay đổi trị tức thời của dòng theo thời gian (hình 5.5).



Hình 5.5 : Bảo vệ dòng so lệch dùng role nối qua BI bảo hòa trung gian

a) sơ đồ nguyên lý của bảo vệ

b) hoạt động của sơ đồ khi ngắn mạch trong vùng bảo vệ

c) hoạt động của sơ đồ khi ngắn mạch ngoài

VI. Bảo vệ dùng role so lệch có hãm:

Dòng so lệch thứ hay còn gọi là dòng làm việc bằng hiệu các dòng thứ $I_{LV} = I_{SLT} = I_{IT} - I_{II T}$ và dòng hãm bằng $1/2$ tổng dòng thứ $I_H = 0,5 \cdot (I_{IT} + I_{II T})$. Khi ngắn mạch ngoài, trị tuyệt đối của hiệu dòng luôn luôn nhỏ hơn $1/2$ tổng dòng thứ, tức là:

$$\left| I_{IT} - I_{II T} \right| < 0,5 \left| I_{IT} + I_{II T} \right|$$

hay : $I_{LV} < I_H$ (5.7)

Khi ngắn mạch trong, trị tuyệt đối của hiệu có thể xem là lớn hơn $1/2$ tổng:

$$\left| I_{IT} - I_{II T} \right| > 0,5 \left| I_{IT} + I_{II T} \right|$$

hay : $I_{LV} > I_H$ (5.8)

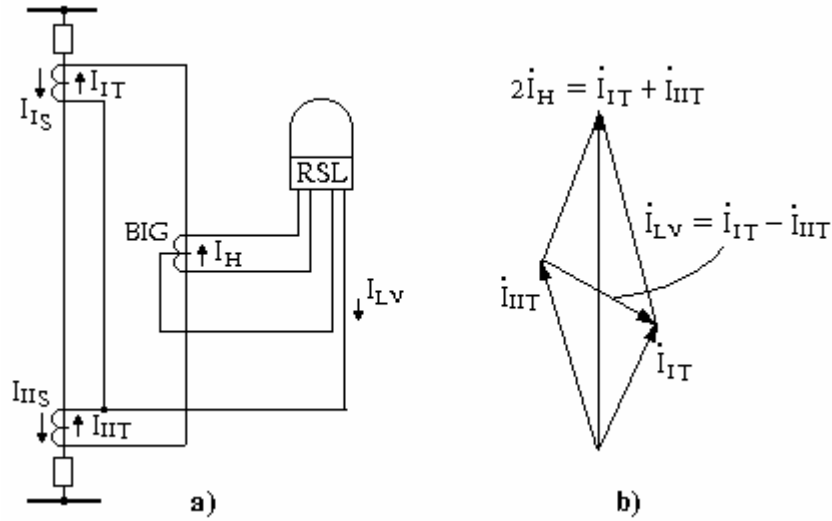
Khi ngắn mạch trong và có nguồn cung cấp chỉ từ một phía thì $I_{II T} = 0$; $I_{LV} = I_{IT}$; $I_H = 0,5 I_{IT}$.

Biểu thức (5.7) và (5.8) có thể được coi là cơ sở để thực hiện role có hãm. Các role này dựa vào việc so sánh 2 đại lượng:

$$\left| I_{IT} - I_{II T} \right| \text{ và } 0,5 \left| I_{IT} + I_{II T} \right|$$

Sơ đồ nối BI với role như hình 5.7b qua BIG có tỉ số biến đổi $n_I = 1$, cuộn sơ của BIG chia thành 2 phần bằng nhau, cuộn thứ có dòng hãm đưa vào bộ phận hãm của role;

dòng so lệch cung cấp cho bộ phận làm việc của role được lấy từ điểm giữa của cuộn sơ BIG.



Hình 5.7 : Bảo vệ dòng so lệch có hãm

- a) Đồ thị véc tơ dòng thứ trong mạch bảo vệ
b) Sơ đồ nguyên lý một pha của bảo vệ

VII. Đánh giá bảo vệ so lệch dọc:

VII.1. Tính chọn lọc:

Theo nguyên tắc tác động, bảo vệ có tính **chọn lọc tuyệt đối**. Khi trong hệ thống điện có dao động hoặc xảy ra tình trạng không đồng bộ, dòng ở 2 đầu phân tử được bảo vệ luôn bằng nhau và không làm cho bảo vệ tác động mất chọn lọc.

VII.2. Tác động nhanh:

Do bảo vệ có tính chọn lọc tuyệt đối nên không yêu cầu phải phối hợp về thời gian với bảo vệ các phân tử kề. Bảo vệ có thể được thực hiện để **tác động không thời gian**.

VII.3. Độ nhạy:

Bảo vệ có **độ nhạy tương đối cao** do dòng khởi động có thể chọn nhỏ hơn dòng làm việc của đường dây.

VII.4. Tính đảm bảo:

Sơ đồ phần role của bảo vệ không phức tạp lắm và làm việc **khá đảm bảo**.

Nhược điểm chủ yếu của bảo vệ là có dây dẫn phụ. Khi đứt dây dẫn phụ có thể làm kéo dài thời gian ngừng hoạt động của bảo vệ, hoặc bảo vệ có thể tác động không đúng (nếu bộ phận kiểm tra đứt mạch thứ không làm việc).

Giá thành của bảo vệ được quyết định bởi giá thành của dây dẫn phụ và chi phí lắp đặt chúng, do vậy đường dây dài giá thành sẽ rất cao.

Từ những phân tích trên cho thấy chỉ nên đặt bảo vệ so lệch dọc cho những đường dây có chiều dài không lớn chủ yếu là trong mạng $\geq 110\text{kV}$ khi không thể áp dụng các bảo vệ khác đơn giản và tin cậy hơn. Lúc ấy nên dùng chung cáp làm dây dẫn phụ của bảo vệ, đồng thời để thực hiện điều khiển xa, đo lường xa, thông tin liên lạc...

Bảo vệ so lệch dọc được áp dụng rộng rãi để bảo vệ cho máy phát, máy biến áp, thanh góp, ... do không gặp phải những khó khăn về dây dẫn phụ.

VIII. Bảo vệ so lệch ngang có hướng:

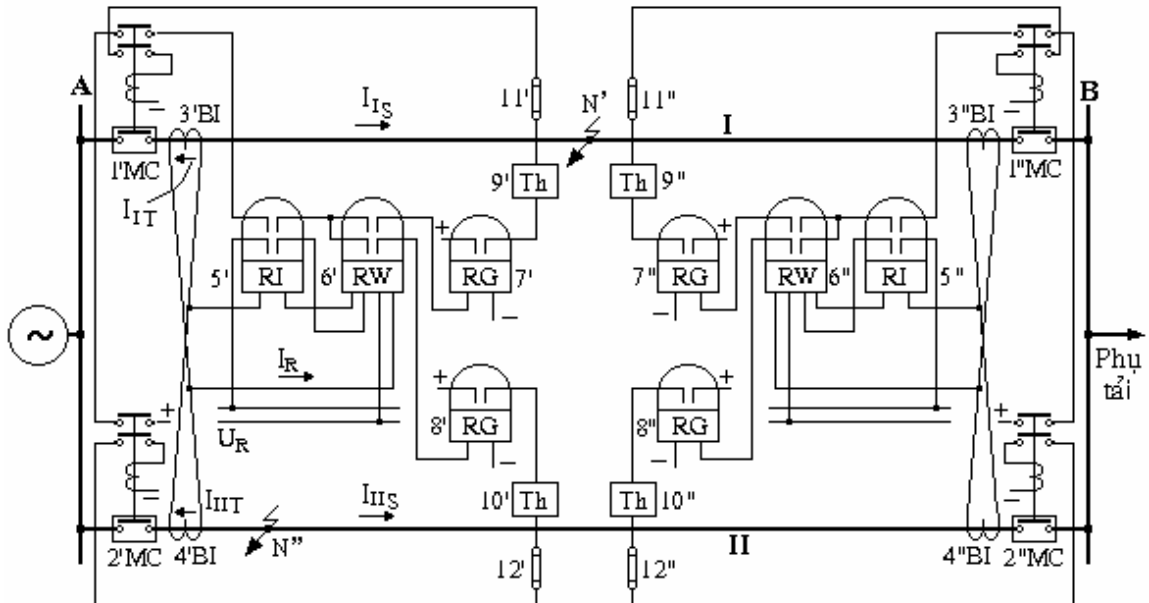
Nguyên tắc tác động bảo vệ so lệch ngang dựa vào việc so sánh dòng trên 2 đường dây song song, trong chế độ làm việc bình thường hoặc khi ngắn mạch ngoài các dòng này có trị số bằng nhau và cùng hướng, còn khi phát sinh hư hỏng trên một đường dây thì chúng sẽ khác nhau.

Bảo vệ được dùng cho 2 đường dây song song nối vào thanh góp qua máy cắt riêng. Khi hư hỏng trên một đường dây, bảo vệ cần phải cắt chỉ đường dây đó và giữ nguyên đường dây không hư hỏng lại làm việc. Muốn vậy bảo vệ phải được đặt ở cả 2 đầu đường dây và có thêm bộ phận định hướng công suất để xác định đường dây bị hư hỏng.

Sơ đồ nguyên lí 1 pha của bảo vệ trên hình 5.9. Các máy biến dòng đặt trên 2 đường dây có tỷ số biến đổi n_I như nhau, cuộn thứ của chúng nối với nhau thế nào để nhận được hiệu các dòng pha cùng tên. Role dòng 5RI làm nhiệm vụ của bộ phận khởi động, role 6RW tác động 2 phía là bộ phận định hướng công suất. Khi chiều dòng điện quy ước như trên hình 5.9, ta có dòng đưa vào các role này là $I_R = I_{IT} - I_{IIT}$.

Áp đưa vào 6RW được lấy từ BU nối vào thanh góp trạm. Role 6RW sẽ tác động đi cắt đường dây có công suất ngắn mạch hướng từ thanh góp vào đường dây và khi ở cả 2 đường dây đều có công suất ngắn mạch hướng từ thanh góp vào đường dây thì 6RW sẽ tác động về phía đường dây có công suất lớn hơn.

Trong chế độ làm việc bình thường hoặc khi ngắn mạch ngoài, dòng I_{IT} , I_{IIT} bằng nhau và trùng pha. Dòng vào role $I_R = I_{IT} - I_{IIT}$ gần bằng 0 ($I_R = I_{KCB}$), nhỏ hơn dòng khởi động I_{KDR} của bộ phận khởi động 5RI và bảo vệ sẽ không tác động.



Hình 5.9 : Bảo vệ so lệch ngang có hướng dùng cho 2 đường dây song song

Khi ngắn mạch trên đường dây I ở điểm N' (hình 5.9), dòng $I_I > I_{II}$. Về phía trạm A có $I_R = I_{IT} - I_{IIT}$; còn phía trạm B có $I_R = 2I_{IIT}$. Role 5RI ở cả 2 phía đều khởi động. Công suất ngắn mạch trên đường dây I phía A lớn hơn trên đường dây II; do vậy 6'RW khởi động về phía đường dây I và bảo vệ cắt máy cắt 1' MC. Về phía trạm B, công suất ngắn

mạch trên đường dây I có dấu dương (hướng từ thanh góp vào đường dây), còn trên đường dây II - âm. Do đó 6"RW cũng khởi động về phía đường dây I và cắt máy cắt 1"MC. Như vậy bảo vệ đảm bảo cắt 2 phía của đường dây hư hỏng I.

Khi ngắn mạch trên đường dây ở gần thanh góp (điểm N"), dòng vào role phía trạm B là $I_R \approx 0$ và lúc đầu nó không khởi động. Tuy nhiên bảo vệ phía trạm A tác động do dòng vào role khá lớn. Sau khi cắt máy cắt 2"MC, phân bố dòng trên đường dây có thay đổi và chỉ đến lúc này bảo vệ phía trạm B mới tác động cắt 2"MC. Hiện tượng khởi động không đồng thời vừa nêu là không mong muốn vì làm tăng thời gian loại trừ hư hỏng ra khỏi mạng điện.

Nguồn thao tác được đưa vào bảo vệ qua các tiếp điểm phụ của 1MC và 2MC. Khi cắt một máy cắt thì tiếp điểm phụ của nó mở và tách bảo vệ ra. Cần thực hiện như vậy vì 2 lí do sau:

□ Sau khi cắt 1 đường dây bảo vệ trở thành bảo vệ dòng cực đại không thời gian. Nếu không tách bảo vệ ra, nó có thể cắt không đúng đường dây còn lại khi xảy ra ngắn mạch ngoài.

□ Bảo vệ có thể cắt đường dây bị hư hỏng không đồng thời. Khi ngắn mạch tại điểm N", máy cắt 2"MC cắt trước, sau đó toàn bộ dòng hư hỏng sẽ đi đến chỗ ngắn mạch qua đường dây I. Nếu không tách bảo vệ phía trạm A ra, nó có thể cắt không đúng 1"MC của đường dây I không hư hỏng.

Chương 6: BẢO VỆ KHOẢNG CÁCH

I. Nguyên tắc tác động:

Bảo vệ khoảng cách là loại bảo vệ dùng rơ le tổng trở có thời gian làm việc phụ thuộc vào quan hệ giữa điện áp U_R và dòng điện I_R đưa vào rơ le và góc φ_R giữa chúng :

$$t = f\left(\frac{U_R}{I_R}, \varphi_R\right)$$

thời gian này tự động tăng lên khi khoảng cách từ chỗ nối bảo vệ đến điểm hư hỏng tăng lên. Bảo vệ đặt gần chỗ hư hỏng nhất có thời gian làm việc bé nhất

Nếu nối rơ le tổng trở của bảo vệ khoảng cách (BVKC) vào hiệu các dòng pha và điện áp dây tương ứng (ví dụ, 2 pha A,B) thì khi ngắn mạch 2 pha A, B ta có:

Dòng vào rơ le:

$$I_R = \frac{1}{n_I} (I_A - I_B)$$

Áp đặt vào rơ le:

$$U_R = \frac{1}{n_U} (U_A - U_B) = \frac{1}{n_U} (I_A - I_B) Z_1 l$$

Như vậy :

$$\frac{U_R}{I_R} = Z_1 \cdot l$$

Trong đó :

- Z_1 : tổng trở thứ tự thuận của 1 km đường dây.
- n_I, n_U : tỷ số biến đổi của BI và BU cung cấp cho bảo vệ.
- I_A, I_B : dòng chạy qua cuộn sơ cấp của BI đặt ở pha A, B.
- U_A, U_B : áp pha A, B tại chỗ nối bảo vệ (chỗ nối BU).
- l : khoảng cách từ chỗ đặt bảo vệ đến điểm ngắn mạch

Khi ấy:

$$t = f\left(\frac{U_R}{I_R}, \varphi_R\right) = f(Z_1 \cdot l, \varphi_R)$$

Ban đầu để đơn giản, coi bảo vệ có thời gian làm việc không phụ thuộc vào góc φ_R :

$$t = f(Z_1 \cdot l) \quad (6.1)$$

Như vậy thời gian làm việc t của bảo vệ không phụ thuộc vào giá trị của áp và dòng đưa vào bảo vệ mà chỉ phụ thuộc vào khoảng cách từ chỗ nối bảo vệ đến điểm hư hỏng.

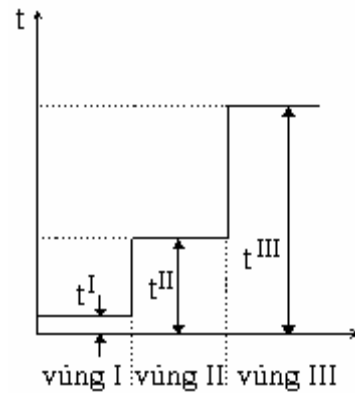
II. Đặc tính thời gian:

Là quan hệ giữa thời gian tác động của bảo vệ với khoảng cách hay tổng trở đến chỗ hư hỏng.

Hiện nay thường dùng bảo vệ có đặc tính thời gian hình bậc thang (nhiều cấp). Số vùng và số cấp thời gian thường ≤ 3 để sơ đồ bảo vệ được đơn giản (hình 6.1).

□ Vùng I có thời gian tác động t^I (t^I xác định bởi thời gian khởi động của các rơle, nếu không yêu cầu chỉnh định khởi thời gian tác động của chống sét ống). Khi xét đến sai số của bộ phận khoảng cách, cũng như do một số yếu tố khác, vùng I được chọn khoảng 80% đến 85% chiều dài đoạn được bảo vệ.

□ Vùng II có thời gian tác động t^{II} , thời gian t^{II} của tất cả các bảo vệ đều bằng nhau và để đảm bảo chọn lọc t^{II} phải lớn hơn một bậc Δt so với thời gian làm việc của bảo vệ chính đặt ở các phân tử kề.



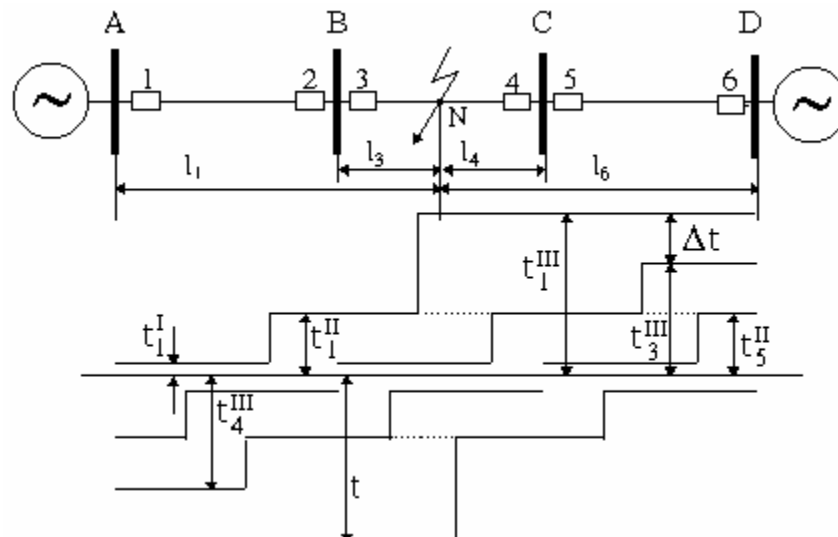
Hình 6.1 : Đặc tính thời gian nhiều cấp của bảo vệ khoảng cách

Chiều dài của vùng II phải có giá trị thế nào để đảm bảo bảo vệ tác động chắc chắn với thời gian t^{II} khi ngắn mạch ở cuối đoạn được bảo vệ. Khi thời gian t^{II} được chọn theo cách như trên thì chiều dài của vùng II bị giới hạn bởi yêu cầu chọn lọc của các bảo vệ. Xét đến các sai số đã nêu và tính đến chiều dài của vùng I, vùng II chiếm khoảng 30% đến 40% chiều dài đoạn kề.

□ Vùng III có thời gian tác động t^{III} dùng làm dự trữ cho các đoạn tiếp theo và bọc lấy toàn bộ những đoạn này. Thời gian t^{III} của các bảo vệ được chọn theo nguyên tắc bậc thang ngược chiều.

Khi ngắn mạch qua điện trở trung gian r_{qd} thời gian tác động của các vùng có thể tăng lên. Ví dụ, ngắn mạch ở vùng I qua r_{qd} , bảo vệ khoảng cách có thể làm việc với thời gian của cấp II hoặc cấp III (các đường nét chấm trên hình 6.1).

Sau đây xét một ví dụ cụ thể về đặc tính thời gian làm việc hình bậc thang có 3 cấp của bảo vệ khoảng cách (hình 6.2).



Hình 6.2 : Bảo vệ khoảng cách trong mạng hở có nguồn cung cấp từ 2 phía
a) Sơ đồ mạng được bảo vệ
b) Đặc tính thời gian nhiều cấp

Khi xảy ra ngắn mạch ở điểm N, các bảo vệ 3 và 4 của đường dây hư hỏng BC ở gần điểm ngắn mạch nhất (có khoảng cách l_3 và l_4) sẽ tác động với thời gian bé nhất t^I . Các bảo vệ 1 và 6 cũng khởi động nhưng chúng ở xa điểm ngắn mạch hơn ($l_1 > l_3$ và $l_6 > l_4$) nên

chúng chỉ có thể tác động như là một bảo vệ dự trữ trong trường hợp đoạn BC không được cắt ra bởi các bảo vệ 3 và 4.

Các bảo vệ 2 và 5 cũng cách điểm ngắn mạch một khoảng l_3 và l_4 (giống như bảo vệ 3 và 4), muốn chúng không tác động thì các bảo vệ này cũng như tất cả các bảo vệ khác phải có tính định hướng, bảo vệ chỉ tác động khi hướng công suất ngắn mạch đi từ thanh góp về phía đường dây được bảo vệ. Tính định hướng tác động của bảo vệ được đảm bảo nhờ bộ phận định hướng công suất riêng biệt hoặc là nhờ một bộ phận chung vừa xác định khoảng cách đến điểm ngắn mạch vừa xác định hướng của dòng công suất ngắn mạch.

III. Sơ đồ bảo vệ khoảng cách:

Trong trường hợp chung, bảo vệ khoảng cách có các bộ phận chính như sau:

* *Bộ phận khởi động*: có nhiệm vụ :

- Khởi động bảo vệ vào thời điểm phát sinh hư hỏng.
- Kết hợp với các bộ phận khác làm bậc bảo vệ cuối cùng.

Bộ phận khởi động thường được thực hiện nhờ role dòng cực đại hoặc role tổng trở cực tiểu.

* *Bộ phận khoảng cách* : đo khoảng cách từ chỗ nối bảo vệ đến điểm hư hỏng, thực hiện bằng role tổng trở.

* *Bộ phận tạo thời gian*: tạo thời gian làm việc tương ứng với khoảng cách đến điểm hư hỏng, được thực hiện bằng một số role thời gian khi bảo vệ có đặc tính thời gian nhiều cấp.

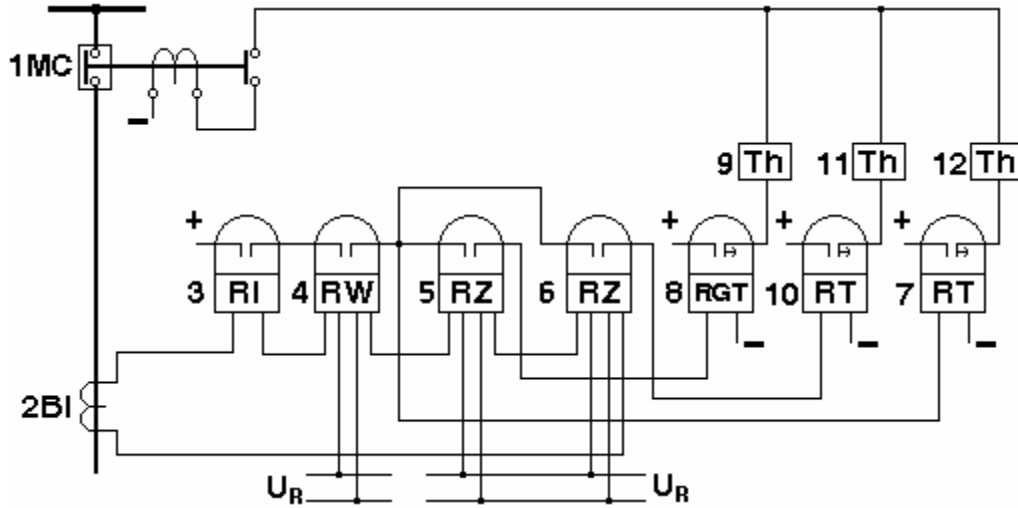
* *Bộ phận định hướng công suất*: để ngăn ngừa bảo vệ tác động khi hướng công suất ngắn mạch từ đường dây được bảo vệ đi vào thanh góp của trạm, được thực hiện bằng role định hướng công suất riêng biệt hoặc kết hợp trong bộ phận khởi động và khoảng cách, nếu các bộ phận này thực hiện bằng role tổng trở có hướng.

Trên hình 6.3 là sơ đồ nguyên lí một pha của bảo vệ khoảng cách có đặc tính thời gian nhiều cấp, có bộ phận khởi động dòng điện, không có các phần tử nào thực hiện chung nhiệm vụ của một số bộ phận.

Bộ phận khởi động dùng role dòng 3RI, bộ phận định hướng công suất - 4RW, bộ phận khoảng cách - cấp I: 5RZ, cấp II: 6RZ, và bộ phận tạo thời gian - cấp I: 8RGT, cấp II: 10RT, cấp III: 7RT.

Khi ngắn mạch trong vùng bảo vệ, 3RI và 4RW sẽ khởi động và khép tiếp điểm của chúng, cực (+) của nguồn thao tác được đưa đến tiếp điểm của 5RZ, 6RZ và đến cuộn dây của 7RT.

Nếu ngắn mạch xảy ra trong phạm vi vùng I, các role 5RZ, 8RGT sẽ khởi động và qua role 9Th sẽ đưa xung đi cắt 1MC với thời gian t^I . Nếu xảy ra hư hỏng ở xa hơn trong vùng II, role 5RZ không khởi động, các role 6RZ và 10RT tạo thời gian t^{II} của cấp thứ II sẽ khởi động và cho xung đi cắt 1MC qua role 11Th. Khi ngắn mạch xa hơn nữa trong vùng III, các role 5RZ và 6RZ sẽ không khởi động, 1MC bị cắt với thời gian t^{III} tạo nên bởi 7RT qua 12Th. Như vậy, trong sơ đồ đang xét bộ phận khoảng cách không kiểm soát vùng III và khi ngắn mạch trong vùng đó bảo vệ (theo hình 6.3) sẽ làm việc như là một bảo vệ dòng cực đại có hướng.



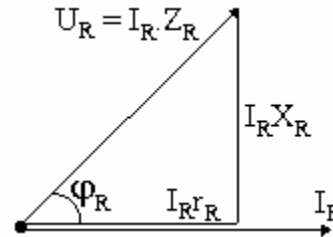
Hình 6.3 : Sơ đồ nguyên lý 1 pha của bảo vệ khoảng cách

IV. Tổng trở trên các cực của bộ phận khoảng cách:

Để thuận tiện cho tính toán và phân tích sự làm việc của các bộ phận khoảng cách, người ta đưa ra khái niệm về tổng trở trên các cực role.

Tổng trở giả tưởng này trong trường hợp chung không có ý nghĩa vật lý, nó chính là tỷ số giữa áp U_R và dòng I_R đưa vào role. Thực tế, khái niệm này được áp dụng rộng rãi do khi chọn đúng U_R & I_R (ví dụ, áp dư của nhánh ngắn mạch và dòng gây nên áp dư đó) thì tổng trở giả tưởng trên các cực của role sẽ tỷ lệ với khoảng cách từ thanh góp của trạm có đặt bảo vệ đến điểm ngắn mạch trên đường dây.

Tương tự như quan hệ vật lý đặc trưng bởi tam giác điện áp rơi, người ta phân ra (hình 6.4) tổng trở giả tưởng $Z_R = U_R/I_R$, điện trở giả tưởng tác dụng $r_R = U_R/I_R \cos\varphi_R$ và phản kháng $x_R = U_R/I_R \sin\varphi_R$. Tùy thuộc vào việc thực hiện bộ phận khoảng cách mà người ta dùng một trong các đại lượng giả tưởng nói trên.



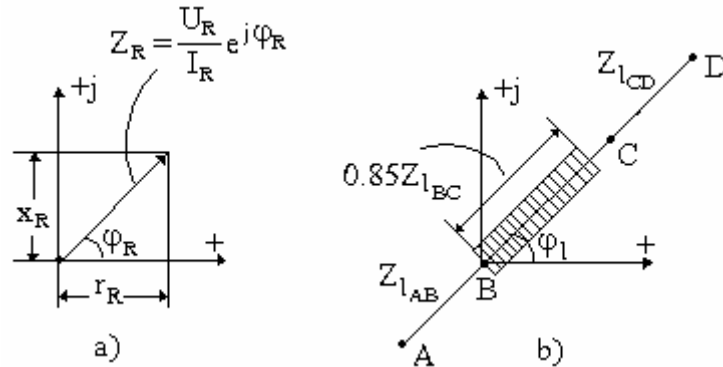
Hình 6.4 : Đồ thị vectơ áp và dòng đưa vào các cực của bộ phận khoảng cách

Các bộ phận khoảng cách và khởi động luôn luôn dùng các role thứ cấp mà áp và dòng đưa đến chúng thông qua các máy biến đổi đo lường. Liên hệ giữa tổng trở sơ và thứ cấp, ví dụ đối với role tổng trở, như sau :

$$Z_{RT} = \frac{U_{RT}}{I_{RT}} = \frac{n_I}{n_U} \cdot \frac{U_{RS}}{I_{RS}} = \frac{n_I}{n_U} Z_{RS} \quad (6.2)$$

Khi $n_I = n_U$ thì $Z_{RT} = Z_{RS}$. Để đơn giản, coi tổng trở thứ cấp bằng tổng trở sơ cấp, tức là coi các hệ số biến đổi n_I và n_U bằng nhau (coi $n_I = n_U = 1$).

V. Sử dụng mặt phẳng phức tổng trở để phân tích sự làm việc của role tổng trở :



Hình 6.5 : Biểu diễn trong mặt phẳng phức tổng trở
a) tổng trở ở đầu cực role b) đường dây được bảo vệ

Việc nghiên cứu sự làm việc của role tổng trở nối vào một điện áp và một dòng điện được tiến hành rất tiện lợi trong mặt phẳng phức tổng trở $Z_R = (U_R/I_R) \cdot e^{j\varphi_R}$ (hình 6.5a). Góc φ_R được tính từ trục (+) theo hướng ngược chiều kim đồng hồ, lúc đó vector I_R xem như là gắn chặt trên trục (+). Hình chiếu của vector Z_R lên trục j là thành phần phản kháng $x_R = Z_R \sin \varphi_R$ và lên trục (+) là thành phần tác dụng $r_R = Z_R \cos \varphi_R$.

Đường dây BC được bảo vệ có tổng trở mang tính cảm, biểu diễn trong phần tư thứ 1 bằng số phức $Z_{l_{BC}} = Z_{l_{BC}} \cdot e^{j\varphi_l}$. Role tổng trở đang xét đặt ở đầu đường dây BC về phía trạm B được xem như nằm ở gốc tọa độ (hình 6.5 b). Đường dây CD có tổng trở $Z_{l_{CD}} = Z_{l_{CD}} \cdot e^{j\varphi_l}$ nằm ở phần tư thứ 1 trên đường kéo dài của số phức $Z_{l_{BC}}$, còn đường dây AB có tổng trở $Z_{l_{AB}} = Z_{l_{AB}} \cdot e^{j\varphi_l}$ nằm ở phần tư thứ 3 trên đường kéo dài về phía ngược lại.

Vùng I của bảo vệ đường dây BC được đặc trưng bởi tổng trở $\approx 0,85 Z_{l_{BC}}$, khi không có những yếu tố làm sai lệch nhiều đến sự làm việc của bảo vệ thì role tổng trở cần có đặc tính khởi động bọc lấy số phức $0,85 Z_{l_{BC}}$ như vùng gạch chéo trên hình 6.5b. Thực tế để đảm bảo sự làm việc chắc chắn của bảo vệ, vùng khởi động của role tổng trở được mở rộng đáng kể (tất nhiên vị trí xác định điểm cuối của vùng bảo vệ thì không thể mở rộng).

Đặc tính khởi động $Z_{KD} = f(\varphi_R)$ biểu diễn trong mặt phẳng phức là đường cong bọc lấy vùng khởi động. Theo dạng đặc tính khởi động người ta phân ra một số loại role tổng trở sau :

V.1. Role tổng trở vô hướng:

$$Z_{KD} = k = \text{const} \quad (6.3)$$

Đặc tính của role là vòng tròn có tâm ở gốc tọa độ (hình 6.6 a). Trị số tổng trở khởi động của role này không phụ thuộc góc φ_R giữa U_R và I_R .

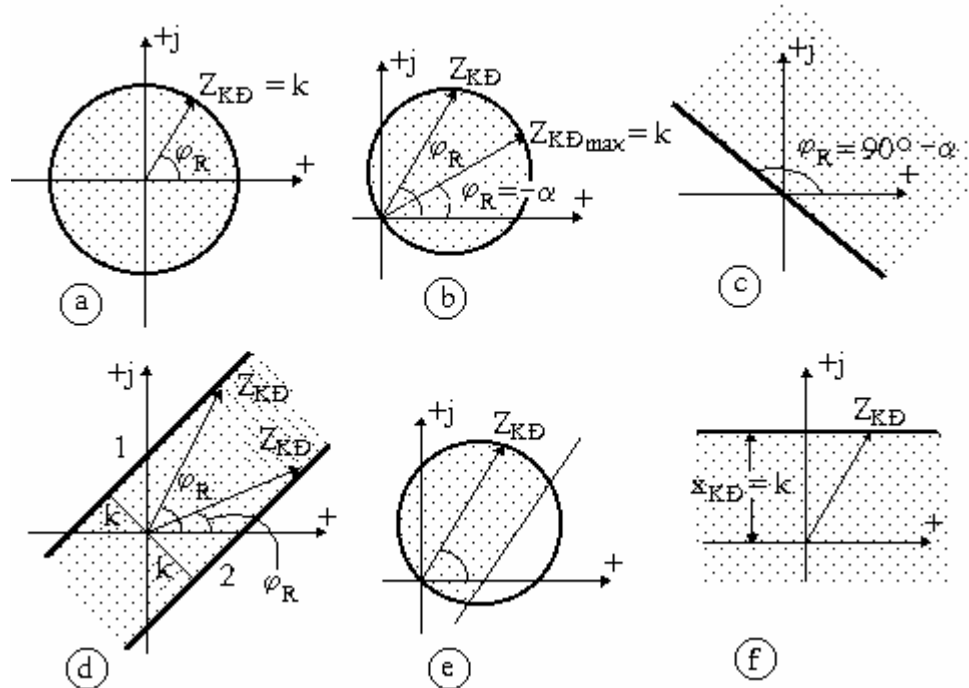
V.2. Role tổng trở có hướng có đặc tính vòng tròn:

$$Z_{KD} = k \cos(\varphi_R + \alpha) \quad (6.4)$$

Đặc tính của role là vòng tròn đi qua gốc tọa độ (hình 6.6 b). Role sẽ có độ nhạy lớn nhất đặc trưng bằng $Z_{KD_{\max}} = k$ khi $\alpha = -\varphi_R$. Thường chọn $\alpha = -\varphi_l$ do vậy khi xảy ra ngắn mạch trực tiếp trên đường dây, tương ứng với $\varphi_R = \varphi_l$, bảo vệ sẽ có độ nhạy lớn nhất.

Role định hướng công suất được xem như là role tổng trở có hướng có đặc tính vòng tròn với bán kính bằng vô cùng (hình 6.6c). Đặc tính như vậy là đường thẳng qua gốc tọa độ và tạo với trục (+) một góc ($90^\circ - \alpha$).

Nhược điểm của role tổng trở có hướng và role định hướng công suất là tồn tại vùng chết không những khi ngắn mạch ba pha mà cả khi ngắn mạch hai pha. Nguyên do là để role tổng trở làm việc đúng và để nhận được Z_R tỷ lệ với khoảng cách đến chỗ ngắn mạch, người ta đưa vào role dòng các pha hư hỏng và áp dư của các nhánh hư hỏng, nếu ngắn mạch trực tiếp ở gần chỗ đặt bảo vệ thì áp đưa vào role có thể tiến đến 0.



Hình 6.6 : Đặc tính khởi động của role tổng trở trong mặt phẳng phức
 a) vô hướng b) có hướng c) định hướng công suất
 d) hỗn hợp e) kết hợp role tổng trở có hướng và hỗn hợp
 f) phản kháng

V.3. Role hỗn hợp (tác dụng - phản kháng):

$$Z_{K\tilde{A}} = k \frac{1}{\cos(\varphi_R + \alpha)} \quad (6.5)$$

Đặc tính của role là các đường thẳng cách gốc tọa độ một khoảng bằng k (đường 1 và 2 - hình 6.6d). Đường 1 ứng với giá trị α nằm trong khoảng $(-\pi, -\pi/2)$, đường 2 - trong khoảng $(0, \pi/2)$. Góc độ nhạy bé nhất của role là $\varphi_R = -\alpha$. Đặc tính của role cắt các trục (+) và (+j) một khoảng tương ứng bằng

$$\frac{k}{\cos \alpha} \quad \text{và} \quad \frac{k}{\sin \alpha}$$

Role loại này thường không sử dụng độc lập để làm bộ phận đo khoảng cách. Có thể dùng nó cho bảo vệ đường dây dài tải nặng để cắt bớt một phần vùng khởi động, ví dụ như cắt bớt một phần vùng khởi động của role tổng trở có hướng (hình 6.6 e).

V.4. Role tổng trở phản kháng:

$$X_{KD} = k = \text{const} \quad (6.6)$$

Đặc tính của role là đường thẳng song song với trục (+) (hình 6.6 f). Đây là trường hợp riêng của role hỗn hợp khi $\alpha = -\pi/2$.

Role tổng trở có thể là cực đại hoặc cực tiểu. Loại role tổng trở cực tiểu thích hợp hơn để làm bộ phận khởi động và khoảng cách.

Chế độ làm việc của đường dây được bảo vệ có thể đặc trưng bằng tổng trở phức Z_R trên đầu cực role tổng trở. Số phức Z_R này được biểu diễn ở một vị trí xác định trên mặt phẳng phức tổng trở. Vì vậy phân tích sự làm việc của role tổng trở nối vào một áp và một dòng có thể thực hiện bằng phương pháp đồ thị khi so sánh vùng có chứa Z_R với vùng khởi động của bảo vệ.

VI. Sơ đồ nối role tổng trở vào áp dây và hiệu dòng pha :

Tổ hợp các dòng và áp ở đầu cực của 3 role tổng trở nối theo sơ đồ hình 6.9 được đưa ra trong bảng 6.1

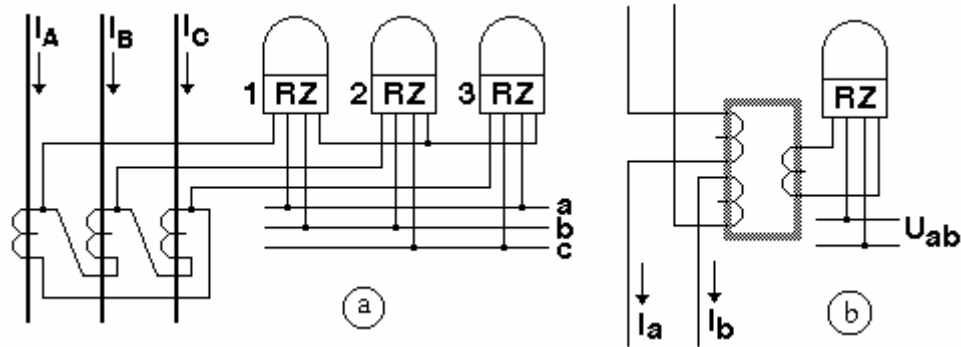
Khi $N^{(3)}$ tại điểm N (hình 6.10) cách chỗ đặt bảo vệ một khoảng l , ta có :

$$I_R^{(3)} = \sqrt{3}I^{(3)}, \quad U_R^{(3)} = \sqrt{3}.l^{(3)}.Z_1.l, \quad Z_R^{(3)} = \frac{U_R^{(3)}}{I_R^{(3)}} = Z_1.l$$

Trong đó: Z_1 - tổng trở thứ tự thuận của 1 Km đường dây quy về phía thứ cấp của các máy biến đổi đo lường theo (6.2).

Khi $N^{(2)}$, ví dụ B và C, chỉ có role 2RZ nhận điện áp của nhánh ngắn mạch là làm việc đúng. Đối với nó :

$$I_{R2}^{(2)} = 2I^{(2)}, \quad U_{R2}^{(2)} = U_{bc}^{(2)} = 2I^{(2)}Z_1l, \quad Z_{R2}^{(2)} = Z_1l = Z_R^{(3)}$$



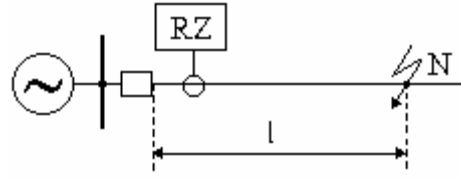
Hình 6.9 : Sơ đồ nối role tổng trở vào áp dây và hiệu dòng pha
a) khi các BI nối Δ b) khi dùng BI trung gian không bảo hòa

Bảng 6.1

Role	\dot{I}_R	\dot{U}_R
1RZ	$\dot{I}_a - \dot{I}_b$	\dot{U}_{ab}
2RZ	$\dot{I}_b - \dot{I}_c$	\dot{U}_{bc}
3RZ	$\dot{I}_c - \dot{I}_a$	\dot{U}_{ca}

Đưa vào đầu cực các role 1RZ và 3RZ là dòng điện $I^{(2)}$ và điện áp lớn hơn $U_{bc}^{(2)}$. Vì vậy, tổng trở trên các cực của role 1RZ và 3RZ tăng lên và bảo vệ sẽ không tác động nhầm.

Khi ngắn mạch 2 pha chạm đất (ví dụ B và C) trong mạng có dòng chạm đất lớn, cũng chỉ có 2RZ làm việc đúng. Đối với nó:



Hình 6.10 : Ngắn mạch trên đường dây được bảo vệ

$$U_{R2}^{(1,1)} = \left| \begin{array}{c} \dot{U}_b^{(1,1)} - \dot{U}_c^{(1,1)} \end{array} \right|$$

trong đó :

$$\dot{U}_b^{(1,1)} = \dot{I}_b^{(1,1)} \cdot Z_L \cdot l + \dot{I}_c^{(1,1)} \cdot Z_M \cdot l$$

$$\dot{U}_c^{(1,1)} = \dot{I}_c^{(1,1)} \cdot Z_L \cdot l + \dot{I}_b^{(1,1)} \cdot Z_M \cdot l$$

Khi thay $Z_L - Z_M = Z_1$, ta có :

$$Z_{R2}^{(1,1)} = \frac{U_{R2}^{(1,1)}}{I_{R2}^{(1,1)}} = \frac{\left| \begin{array}{c} \dot{I}_b^{(1,1)} - \dot{I}_c^{(1,1)} \end{array} \right|}{\left| \begin{array}{c} \dot{I}_b^{(1,1)} - \dot{I}_c^{(1,1)} \end{array} \right|} Z_1 l = Z_1 l = Z_R^{(3)}$$

Như vậy, sơ đồ đang xét đảm bảo tổng trở Z_R giống nhau đối với tất cả các dạng ngắn mạch nhiều pha ở một điểm. Sơ đồ nối role vào hiệu dòng pha còn được thực hiện qua máy biến dòng trung gian không bão hòa có 2 cuộn sơ (hình 6.9b).

Nhược điểm chủ yếu của sơ đồ là phải dùng 3 role tổng trở chỉ để chống ngắn mạch nhiều pha ở một điểm. Để khắc phục, người ta dùng chỉ 1 role tổng trở và thiết bị tự động chuyển mạch áp và dòng đối với các dạng ngắn mạch khác nhau.

VII. Sơ đồ nối role tổng trở vào áp pha và dòng pha có bù thành phần thứ tự không - Sơ đồ bù dòng :

Tổ hợp các dòng và áp ở đầu cực ba role tổng trở cho trong bảng 6.2. Khi $N^{(1)}$ chạm đất, ví dụ pha A, tại điểm N của đường dây (hình 6.10), chỉ có role 1RZ (hình 6.11) nối vào áp của nhánh ngắn mạch U_a là tác động đúng. Với:

$$\dot{U}_a = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_0$$

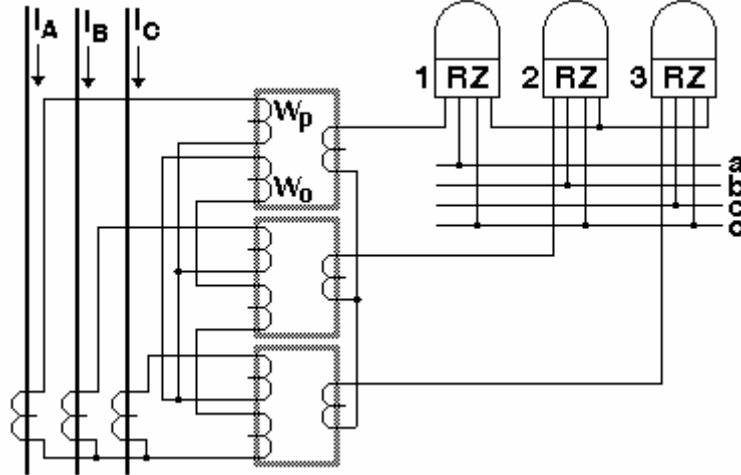
Áp của một thứ tự bất kỳ được xác định bằng tổng của áp ở điểm ngắn mạch N và áp rơi trên chiều dài l, ví dụ:

$$\dot{U}_0 = \dot{U}_{0N} + \dot{I}_0 Z_0 l$$

$$\text{Vì vậy: } \dot{U}_a = \dot{U}_{1N} + \dot{I}_1 Z_1 l + \dot{U}_{2N} + \dot{I}_2 Z_2 l + \dot{U}_{0N} + \dot{I}_0 Z_0 l$$

Tổng $\dot{U}_N = \dot{U}_{1N} + \dot{U}_{2N} + \dot{U}_{0N} = 0$ vì đó là áp tại điểm hư hỏng. Đối với đường dây thì $Z_1 = Z_2$. Do vậy :

$$\begin{aligned}\dot{U}_a &= \dot{I}_1 Z_1 + \dot{I}_2 Z_1 + \dot{I}_0 Z_0 \\ &= \dot{I}_1 Z_1 + \dot{I}_2 Z_1 + \dot{I}_0 Z_0 + (\dot{I}_0 Z_1 - \dot{I}_0 Z_1) \\ &= \dot{I}_a Z_1 + \dot{I}_0 (Z_0 - Z_1)\end{aligned}$$



Hình 6.11 : Sơ đồ nối role tổng trở vào áp pha và dòng pha có bù thành phần dòng điện thứ tự không

Bảng 6.2

Role	I_R	U_R
1RZ	$\dot{I}_a + k \cdot \dot{I}_0$	\dot{U}_a
2RZ	$\dot{I}_b + k \cdot \dot{I}_0$	\dot{U}_b
3RZ	$\dot{I}_c + k \cdot \dot{I}_0$	\dot{U}_c

Nếu chọn hệ số bù $k = \frac{\dot{Z}_0 - \dot{Z}_1}{\dot{Z}_1}$ thì tổng trở trên các cực của role 1RZ sẽ là:

$$Z_{R1}^{(1)} = \frac{|\dot{U}_a|}{|\dot{I}_a + k \dot{I}_0|} = \frac{\left| \dot{I}_a + \frac{\dot{Z}_0 - \dot{Z}_1}{\dot{Z}_1} \dot{I}_0 \right|}{|\dot{I}_a + k \dot{I}_0|} \cdot Z_1 = Z_1$$

Tổng trở trên các cực của role tổng trở 2RZ, 3RZ của các pha không hư hỏng tăng lên, vì vậy bảo vệ sẽ không tác động nhầm.

Góc tổng trở Z_0 và Z_1 là không như nhau, do vậy trong trường hợp tổng quát hệ số k là một số phức. Để thuận tiện, người ta bỏ qua sự khác biệt của góc tổng trở Z_1 , Z_0 và chọn $k = (Z_0 - Z_1)/Z_1$ hay $k = (x_0 - x_1)/x_1$. Trường hợp này tương ứng với sơ đồ hình 6.11, role tổng trở được cung cấp bằng dòng điện qua BI trung gian không bão hòa. Ví dụ: lấy $Z_0 \approx 3,5Z_1$ (đối với đường dây trên không có dây chống sét), ta sẽ có $k = 2,5$. Để tạo nên lực từ hóa tổng tỷ lệ với $I_p + kI_0$, quan hệ của số vòng W_p và W_0 của hai cuộn sơ có dòng I_p và $3I_0$ cần phải tương ứng với biểu thức:

$$W_p : W_0 = 1 : k/3 \approx 1 : 0,83.$$

Sơ đồ có thể tác động đúng không những khi ngắn mạch một pha mà cả khi ngắn mạch hai pha chạm đất và khi chạm đất kép ở các phần tử có $I_0 \neq 0$ trong mạng có dòng chạm đất bé.

Để kết luận, cần lưu ý rằng khi loại trừ sự bù dòng khỏi sơ đồ đã xét trên, tức là I_R là dòng pha thì : $Z_R = Z_1.l + (I_0/I_R).(Z_0 - Z_1).l$. Lúc đó tổng trở Z_R phụ thuộc không những vào khoảng cách l mà còn vào tỷ số I_0/I_R . Tỷ số này có thể thay đổi trong phạm vi rộng khi thay đổi chế độ làm việc của hệ thống. Chính điều đó làm cho hạn chế khả năng ứng dụng của sơ đồ.

VIII. Sơ đồ sử dụng một role tổng trở có chuyển mạch ở mạch điện áp để tác động khi ngắn mạch nhiều pha :

Sơ đồ được thực hiện nhờ role tổng trở $1RZ$ nối vào hiệu dòng hai pha (theo hình 6.12, $I_R = I_a - I_c$) và điện áp tỷ lệ hoặc bằng áp dư của nhánh ngắn mạch khi ngắn mạch giữa các pha. Các bộ phận khởi động dòng $2RI$ và $3RI$ nối vào dòng pha làm nhiệm vụ xác định dạng ngắn mạch và tự chuyển mạch điện áp.

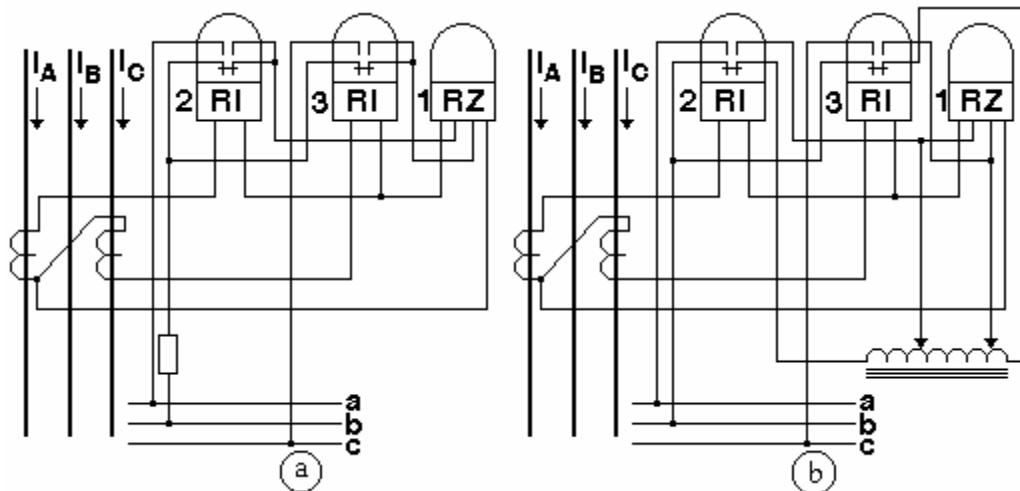
Khi $N^{(3)}$ hay $N_{AC}^{(2)}$, role $2RI$ và $3RI$ khởi động đưa áp U_{ac} đến role $1RZ$. Vì vậy:

$$Z_R^{(3)} = \frac{\sqrt{3}I^{(3)}Z_1l}{\sqrt{3}I^{(3)}} = Z_1l.$$

$$Z_{Rac}^{(2)} = \frac{2I^{(2)}Z_1l}{2I^{(2)}} = Z_1l.$$

Khi $N_{AB}^{(2)}$, $N_{BC}^{(2)}$ đưa đến $1RZ$ là dòng 1 pha, tương ứng là I_a , $-I_c$.

Để Z_R có được giá trị tỷ lệ với khoảng cách l , áp đưa đến role phải giảm 2 lần nhờ điện trở phụ (hình 6.12a) hoặc biến áp tự ngẫu (hình 6.12b). Sơ đồ hình 6.12b cần thiết đối với những role tổng trở làm việc theo cả giá trị và góc lệch pha giữa U_R và I_R (ví dụ role tổng trở có hướng, hình 6.6b).



Hình 6.12 : Sơ đồ nối một role tổng trở có chuyển mạch ở mạch điện áp để tác động khi ngắn mạch giữa các pha.

a. dùng điện trở phụ

b. dùng biến áp tự ngẫu

Như vậy, khi $N_{AB}^{(2)}$ ta có:

$$Z_{Rab}^{(2)} = \frac{0,5U_{ab}^{(2)}}{I_a^{(2)}} = 0,5 \frac{2I_a^{(2)}Z_1}{I_a^{(2)}} = Z_1$$

Như vậy, có thể đảm bảo Z_R như nhau đối với tất cả những dạng ngắn mạch giữa các pha. Tuy nhiên, khi $N_{AB}^{(2)}$ hoặc $N_{BC}^{(2)}$ thì dòng phụ tải qua pha không hư hỏng (tương ứng là dòng pha C hoặc A) sẽ ảnh hưởng đến sự làm việc của role.

Trị số Z_R cũng có thể sai lệch do bộ phận khởi động làm việc không đúng (chỉ có một role RI khởi động) trong trường hợp dòng ngắn mạch gần với dòng khởi động của chúng. Lúc đó, tổng trở Z_R có thể giảm nhiều do đưa tới role tổng trở một điện áp giảm thấp (trường hợp giới hạn giảm hai lần).

Ưu điểm của sơ đồ là tương đối đơn giản và chỉ dùng một role tổng trở. Tuy nhiên, xét đến những nhược điểm nêu trên và nhiều nhược điểm khác, sơ đồ chỉ hạn chế áp dụng, chẳng hạn như, cho bảo vệ chống ngắn mạch nhiều pha đường dây cắt.

IX. Các yếu tố ảnh hưởng đến sự làm việc của bảo vệ khoảng cách:

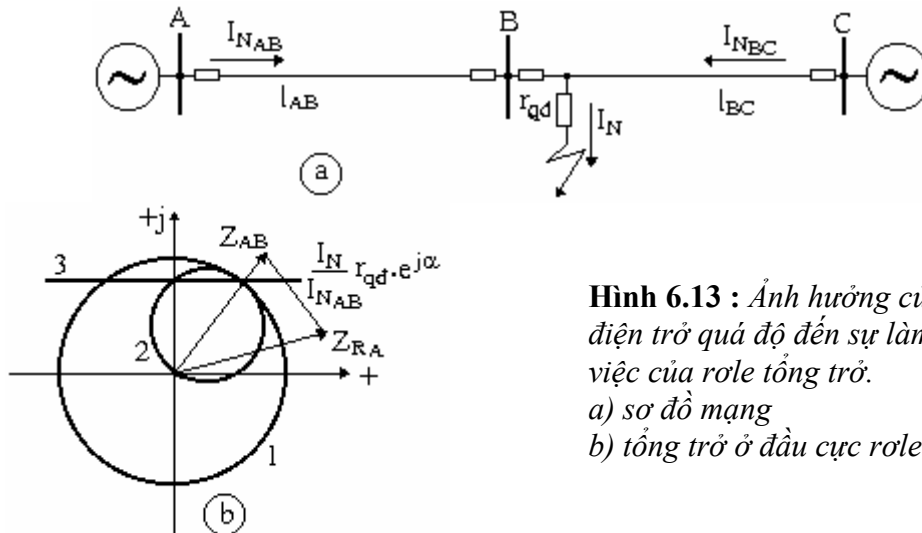
IX.1. Ảnh hưởng của điện trở quá độ đến đến sự làm việc của bộ phận khoảng cách :

Ảnh hưởng của điện trở quá độ r_{qd} đến sự làm việc của bộ phận khoảng cách được xét đối với mạng hở có nguồn cấp từ hai phía (hình 6.13)

Ở đầu cực role tổng trở đặt ở đường dây AB về phía trạm A (ví dụ, nối với áp dây và hiệu dòng pha) khi $N^{(2)}$ qua r_{qd} ở đầu đường dây BC sẽ có tổng trở bằng :

$$\begin{aligned} Z_{RA} &= \frac{\dot{U}_d}{\dot{I}_d} = \frac{\dot{I}_{NAB} Z_1 l_{AB} + \dot{I}_N r_{qđ}}{\dot{I}_{NAB}} = Z_1 l_{AB} + \frac{\dot{I}_N}{\dot{I}_{NAB}} r_{qđ} \\ &= Z_1 l_{AB} + \frac{I_N}{I_{NAB}} r_{qđ} e^{j\alpha} \end{aligned} \quad (6.13)$$

trong đó: α - góc lệch pha giữa dòng I_N ở điểm hư hỏng và dòng I_{NAB} .



Hình 6.13 : Ảnh hưởng của điện trở quá độ đến sự làm việc của role tổng trở.
a) sơ đồ mạng
b) tổng trở ở đầu cực role

Tương tự đối với role tổng trở nối vào đường dây BC về phía trạm C khi hư hỏng ở cùng điểm đó :

$$Z_{RC} = Z_1 I_{BC} + \frac{I_N}{I_{NBC}} r_{qđ} = Z_1 I_{BC} + \frac{I_N}{I_{NBC}} r_{qđ} e^{j\beta}$$

β - góc lệch pha giữa dòng I_N và dòng I_{NBC} trong đường dây BC, nếu β dương và I_N vượt trước I_{NBC} , thì góc α sẽ âm vì I_N chậm sau I_{NAB} .

Tổng trở ở đầu cực role của đường dây BC đặt về phía trạm B, dù khoảng cách từ nó đến điểm ngắn mạch bằng 0, vẫn có một giá trị hữu hạn:

$$Z_{RB} = \frac{I_N}{I_{NAB}} r_{qđ}$$

Các biểu thức nói trên cho thấy điện trở quá độ $r_{qđ}$ trong trường hợp chung làm sai lệch sự làm việc của các role tổng trở, tổng trở Z_R ở đầu cực của chúng sẽ không còn tỷ lệ với khoảng cách l đến điểm hư hỏng.

Tổng trở ở đầu cực role tăng lên do $r_{qđ}$ làm cho điểm ngắn mạch như là lùi xa hơn và bảo vệ có thể tác động với thời gian lớn hơn của cấp sau, ví dụ cấp II thay vì cấp I. Như vậy, do ảnh hưởng của $r_{qđ}$ bảo vệ khoảng cách sẽ có thể tác động chậm hơn nhưng vẫn không mất tính chọn lọc.

IX.2. Ảnh hưởng của trạm trung gian:

Trên hình 6.17a là một phần của mạng điện, xét ngắn mạch xảy ra ở đoạn BD cách thanh góp B một khoảng l . Qua các đoạn AB và CB có dòng I_{AB} và I_{CB} . Dòng ngắn mạch trên đoạn hư hỏng BD là:

$$I_{BD} = I_{AB} + I_{CB}$$

Khi ngắn mạch nhiều pha, tổng trở ở đầu cực role tổng trở đặt về phía trạm A của đường dây AB là :

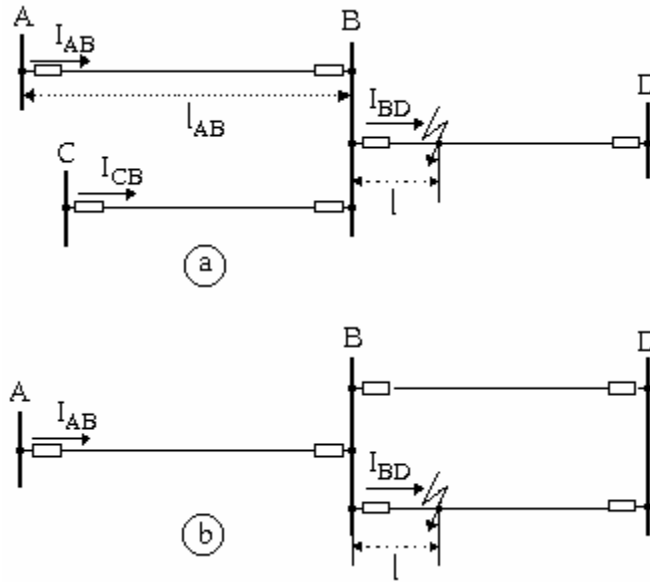
$$\begin{aligned} Z_{RA} &= \frac{I_{AB} \cdot Z_1 \cdot I_{AB} + I_{BD} \cdot Z_1 \cdot l}{I_{AB}} = Z_1 \cdot I_{AB} + \frac{I_{BD}}{I_{AB}} \cdot Z_1 \cdot l \\ &= Z_1 \cdot I_{AB} + \frac{1}{K_I} \cdot Z_1 \cdot l \end{aligned} \quad (6.14)$$

trong đó:

$$K_I = I_{AB} / I_{BD}$$

Như vậy, tổng trở ở đầu cực role A được xác định không những bằng vị trí của điểm hư hỏng, mà còn bằng hệ số phân bố dòng, hệ số này đặc trưng cho phần dòng của đoạn hư hỏng đi qua đoạn không hư hỏng.

Trong tính toán thực tế, thường bỏ qua góc lệch pha giữa các dòng và coi K_I là số thực. Lúc ấy, nếu $K_I < 1$ thì tổng trở Z_{RA} sẽ tăng lên, nghĩa là role tại trạm A sẽ đo được một tổng trở lớn hơn tổng trở thực tế và bảo vệ sẽ không tác động nhầm. Tuy nhiên nếu $K_I > 1$, ví dụ khi đường dây đơn nối với hai đường dây song song (hình 6.17b), bảo vệ A có thể tác động nhầm; để đảm bảo tác động chọn lọc của bảo vệ A trong trường hợp này, tổng trở khởi động của role tổng trở cấp II cần được tính chọn có xét đến sự giảm thấp của Z_{RA} do ảnh hưởng của trạm trung gian.



Hình 6.17 : Ảnh hưởng của hệ số phân bố dòng K_1 đến sự làm việc của role tổng trở đặt tại trạm A.

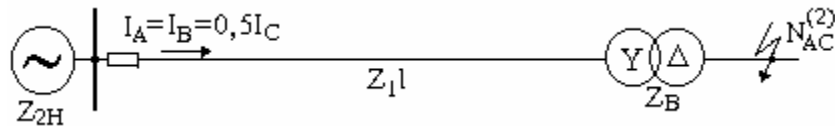
a) $K_1 < 1$

b) $K_1 > 1$

IX.3. Ảnh hưởng của tổ nối dây máy biến áp:

Khi giữa chỗ nối bảo vệ và điểm ngắn mạch có thêm các máy biến áp có tổ nối dây Y/Y (hay máy biến áp tự ngẫu), role tổng trở sẽ làm việc đúng, chỉ khác là giá trị Z_R ở đầu cực role là tổng của tổng trở các đoạn đường dây và các máy biến áp tương ứng.

Vấn đề đáng quan tâm ở đây là trường hợp các máy biến áp có tổ nối dây Y/ Δ hoặc Δ /Y, chúng sẽ có ảnh hưởng lớn đến sự làm việc của các role tổng trở khi xảy ra ngắn mạch hai pha.



Hình 6.18 : Ảnh hưởng của máy biến áp có tổ nối dây Y/ Δ đến sự làm việc của role tổng trở.

Khi ngắn mạch giữa các pha A và C sau máy biến áp nối Y/ Δ -11 (hình 6.18), ta có thể tính được tổng trở ở đầu cực các role nối vào dòng và áp giữa các pha đặt trên đường dây về phía nguồn cung cấp như sau :

$$Z_{Rab} = \infty \text{ (dòng các pha A,B bằng nhau, } I_{ab} = 0)$$

$$Z_{Rbc} = Z_{1l} + Z_B - j \frac{\sqrt{3}}{3} (Z_{2H} + Z_{1l} + Z_B)$$

$$Z_{Rca} = Z_{1l} + Z_B + j \frac{\sqrt{3}}{3} (Z_{2H} + Z_{1l} + Z_B)$$

trong đó : Z_{2H} - tổng trở thứ tự nghịch của nguồn cung cấp

Z_B - tổng trở của máy biến áp

Z_{1l} - tổng trở đường dây (coi $Z_1 = Z_2$).

Các biểu thức trên cho thấy, role tổng trở của bảo vệ đường dây có Z_R tăng lên (so với $Z_{1l} + Z_B$) và bảo vệ sẽ không tác động nhầm.

IX.4. Ảnh hưởng của sai số BI và BU:

Sai số của BI là do mạch từ BI bị bão hòa, làm giảm dòng thứ cấp so với giá trị xác định theo tỷ số biến đổi định mức. Điều đó làm giảm chiều dài vùng bảo vệ. Vì vậy, BI được kiểm tra theo đường cong sai số 10% đối với giá trị cực đại của dòng điện khi ngắn mạch ở cuối vùng bảo vệ thứ nhất.

Sai số về áp được quyết định bởi độ chính xác của bản thân BU cũng như do áp rơi trên các dây nối. Thường dùng các BU có công suất khá lớn, sai số của chúng nằm trong phạm vi cho phép. Tuy nhiên, nếu từ BU đến chỗ đặt bảo vệ có khoảng cách lớn thì thường phải dùng các dây dẫn phụ tiết diện lớn để giảm tổn thất điện áp trong chúng.

X. Đánh giá và lãnh vực ứng dụng của bảo vệ khoảng cách :

X.1. Tính chọn lọc :

Theo nguyên tắc tác động của mình, bảo vệ đảm bảo cắt chọn lọc hư hỏng trong các mạng có hình dáng bất kỳ với số nguồn cung cấp tùy ý.

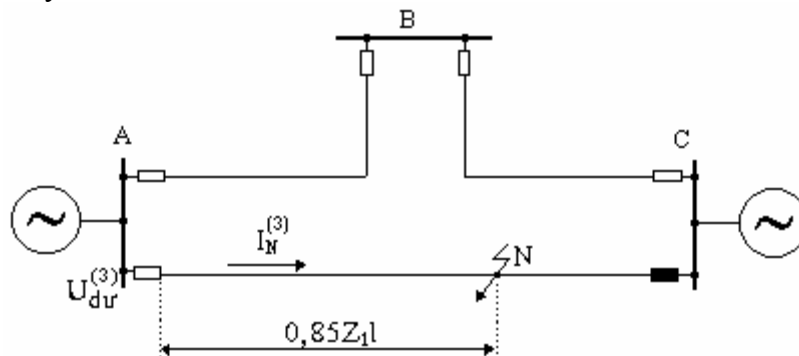
X.2. Tác động nhanh :

Tác động không thời gian chỉ được thực hiện đối với cấp I của bảo vệ, bao bọc không quá 85% chiều dài phần tử được bảo vệ. Khi tính đến tác động của các bảo vệ về hai phía của đường dây, sẽ có không ít hơn 30% chiều dài của đường dây mà khi hư hỏng xảy ra trong đó được cắt về một trong hai phía với thời gian của cấp II (thường là vào khoảng 0,5 sec). Thời gian cắt ngắn mạch kéo dài như vậy, dù là ngắn mạch ở xa thanh góp của trạm, đôi khi là không cho phép. Để đánh giá khả năng cho phép cắt ngắn mạch với thời gian làm việc của cấp II, có thể sử dụng tiêu chuẩn điện áp dư U_{dr} trên thanh góp của trạm. Cắt với thời gian cấp II được coi là cho phép, nếu trong tình trạng cắt không đồng thời ngắn mạch 3 pha (hình 6.27) ở đầu vùng II của bảo vệ có :

$$U_{dae}^{(3)} = 0,85 \cdot \sqrt{3} \cdot Z_1 \cdot I_N^{(3)} \geq 0,6 \cdot U_{\text{âm}}$$

X.3. Độ nhạy :

Độ nhạy của bảo vệ trước hết được xác định bởi các bộ phận khởi động của nó. Trong đa số trường hợp, độ nhạy đối với ngắn mạch trên đoạn được bảo vệ là đảm bảo được. Tuy nhiên, độ nhạy của bảo vệ khi làm nhiệm vụ dự trữ cho các hư hỏng ở đoạn kề có thể không đạt yêu cầu.



Hình 6.27 : Điều kiện tính toán để kiểm tra điện áp dư khi có ngắn mạch trong mạng điện

X.4. Tính đảm bảo :

Ngay cả những sơ đồ bảo vệ hiện đại đều bao gồm một số lượng đáng kể các bộ phận phức tạp cần thiết cho việc khởi động nhằm để bảo vệ làm việc đúng đắn. Điều đó sẽ làm phức tạp sự vận hành các bảo vệ và có thể làm mất khả năng làm việc đúng đắn của bảo vệ.

Mặc dù có một số nhược điểm đã phân tích ở trên, nguyên tắc khoảng cách vẫn được sử dụng rộng rãi trong thực tế để thực hiện các bảo vệ chống ngắn mạch nhiều pha. Điều này được giải thích là do chỉ có sử dụng nguyên tắc này mới có thể thực hiện được các bảo vệ cắt chọn lọc các đoạn đường dây và thanh góp của các trạm kề khi ngắn mạch nhiều pha trong các mạng có hình dáng bất kỳ. Bảo vệ khoảng cách cũng được dùng làm dự trữ khi sử dụng các bảo vệ dọc (như bảo vệ so lệch dọc, bảo vệ tần số cao) làm nhiệm vụ bảo vệ chính tác động không thời gian trên toàn bộ chiều dài của phần tử được bảo vệ.

Chương 7 : BẢO VỆ TẦN SỐ CAO VÀ VÔ TUYẾN

I. Các phương pháp thực hiện bảo vệ dọc:

Muốn cắt nhanh đường dây bị hư hỏng có thể sử dụng bảo vệ dọc dựa trên nguyên tắc so sánh các đại lượng điện ở hai đầu của đường dây. Việc liên lạc giữa hai đầu đường dây có thể thực hiện bằng dây dẫn phụ, kênh tần số cao, kênh vô tuyến... Bảo vệ dọc thực hiện *SO SÁNH TRỰC TIẾP* các đại lượng ở hai đầu đường dây nếu các đại lượng cần so sánh được truyền qua kênh liên lạc, và *SO SÁNH GIÁN TIẾP* nếu truyền qua kênh liên lạc là các tín hiệu khóa hoặc cho phép tác động.

Bảo vệ dòng so lệch dùng dây dẫn phụ (chương 5) là một loại bảo vệ dọc trong đó so sánh trực tiếp dòng điện ở hai đầu phân tử được bảo vệ.

Trong mạng điện áp cao, bảo vệ khoảng cách và bảo vệ dòng có hướng thường không đảm bảo yêu cầu tác động nhanh. Các bảo vệ so lệch dọc dùng dây dẫn phụ khi xét về mặt kinh tế - kỹ thuật chỉ được dùng đối với đường dây có chiều dài ngắn. Ở mạng 110KV trở lên, người ta sử dụng *BẢO VỆ TẦN SỐ CAO*, đó là loại bảo vệ dọc mà việc liên lạc giữa hai đầu đường dây được thực hiện bằng tín hiệu tần số cao (khoảng 50 ÷ 300 KHz) truyền theo dây dẫn của chính đường dây đó.

Có nhiều phương pháp thực hiện bảo vệ tần số cao. Những phương pháp chủ yếu là :

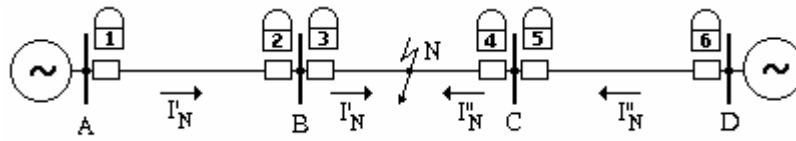
1) *BẢO VỆ TẦN SỐ CAO CÓ HƯỚNG* : dựa vào việc so sánh gián tiếp dấu công suất ở hai đầu đường dây.

2) *BẢO VỆ SO LỆCH PHA* : dựa vào việc so sánh trực tiếp góc pha của dòng điện ở hai đầu đường dây được bảo vệ.

BẢO VỆ VÔ TUYẾN là loại bảo vệ dọc mà liên lạc giữa các đầu đường dây được thực hiện bằng tín hiệu vô tuyến sóng cực ngắn. Các loại bảo vệ có hướng và so lệch pha nói trên nếu không dùng kênh liên lạc tần số cao, mà là kênh vô tuyến thì chúng sẽ không phải là bảo vệ tần số cao, mà là bảo vệ vô tuyến. Do tính chất khác nhau của kênh tần số cao và kênh vô tuyến nên sơ đồ thực hiện của các bảo vệ tương ứng cũng khác nhau.

Trường hợp tổng quát kênh tần số cao và vô tuyến có thể được dùng để truyền tín hiệu *KHÓA* hoặc *CHO PHÉP*. Khi có tín hiệu khóa từ đầu kia của đường dây truyền đến, thì bảo vệ ở đầu này sẽ bị ngăn cấm tác động và ngược lại, nhận được tín hiệu cho phép sẽ làm cho bảo vệ có thể tác động và cắt ngắn mạch. Tín hiệu có thể truyền qua kênh liên lạc một cách liên tục hoặc chỉ vào lúc phát sinh ngắn mạch.

Trên hình 7.1 là sơ đồ mạng điện được bảo vệ bằng các bảo vệ dọc. Các nửa bộ bảo vệ được đặt ở hai đầu mỗi đoạn đường dây. Giả sử xét ngắn mạch ở điểm N trên đoạn BC. Khi sử dụng bảo vệ tần số cao có tín hiệu cho phép thì trên đoạn hư hỏng tín hiệu phải truyền qua chỗ ngắn mạch. Lúc ấy độ tin cậy tác động của bảo vệ có thể bị giảm thấp. Nếu sử dụng tín hiệu khóa, thì trên đoạn không hư hỏng AB và CD tín hiệu được truyền đi một cách chắc chắn. Còn ở đoạn hư hỏng BC lúc này không yêu cầu phải truyền tín hiệu khóa và bảo vệ của đoạn này sẽ đảm bảo khởi động được. Như vậy, đối với bảo vệ tần số cao thì sử dụng tín hiệu khóa sẽ hợp lý hơn.



Hình 7.1: Mạng có nguồn cung cấp từ hai phía được bảo vệ bằng bảo vệ dọc

Kênh vô tuyến không có những nhược điểm nêu trên, do vậy có thể được sử dụng để truyền tín hiệu khóa cũng như tín hiệu cho phép.

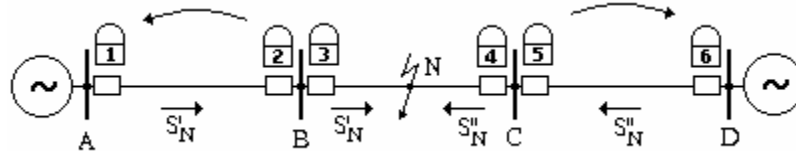
Kênh vô tuyến và kênh tần số cao cũng có thể sử dụng đồng thời cho bảo vệ rơle, điều khiển xa, đo lường xa và thông tin liên lạc.

II. Bảo vệ có hướng có khóa tần số cao:

II.1. Nguyên tắc làm việc:

Bảo vệ có hướng và có khóa làm việc dựa trên *nguyên tắc so sánh gián tiếp hướng (dấu) của công suất ngắn mạch ở hai đầu đoạn đường dây được bảo vệ*. Bảo vệ chỉ tác động khi công suất ngắn mạch ở hai đầu đường dây có hướng từ thanh góp vào đường dây (đối với công suất thứ tự nghịch và thứ tự không - từ đường dây vào thanh góp)

Xét sơ đồ mạng điện hình 7.4, giả sử ngắn mạch tại điểm N trên đoạn đường dây BC. Ở cả hai phía của đoạn này công suất ngắn mạch có hướng từ thanh góp về phía đường dây (đến chỗ ngắn mạch). Các bảo vệ 3,4 sẽ không gửi tín hiệu khóa đi và sẽ tác động cắt không thời gian máy cắt hai đầu đoạn BC. Ở các đoạn AB, CD không hư hỏng, công suất một phía có hướng từ đường dây vào thanh góp. Các bảo vệ 2 và 5 sẽ xác định công suất ngược hướng nên chúng không tác động, đồng thời sẽ gửi tín hiệu khóa đến các bảo vệ 1 và 6 ở đầu kia của đường dây làm cho các bảo vệ 1 và 6 cũng không tác động được.



Hình 7.4: Mạng có nguồn cung cấp từ hai phía được bảo vệ bằng bảo vệ có hướng có khóa

Theo nguyên tắc làm việc, bảo vệ đảm bảo tác động chọn lọc mà không yêu cầu phải phối hợp về thời gian với các bảo vệ khác. Do vậy bảo vệ được thực hiện để làm việc không thời gian. Đây là loại bảo vệ có tính chọn lọc tuyệt đối, nên không thể sử dụng để làm dự trữ khi ngắn mạch ở phần tử kề.

II.2. Sơ đồ thực hiện bảo vệ:

Xét sơ đồ bảo vệ như hình 7.5, trong sơ đồ này các bộ phận chính của bảo vệ có thể nối vào dòng và áp pha toàn phần hoặc các thành phần đối xứng của chúng.

Đối với mỗi nửa bộ bảo vệ, bộ phận khởi động gồm hai rơle dòng: 1RI và 2RI có độ nhạy khác nhau. Rơle 1RI có dòng khởi động bé hơn, làm nhiệm vụ khởi động máy phát tín hiệu khóa tần số cao. Rơle 2RI để tác động cắt máy cắt thông qua rơle định hướng công suất 3RW, và các rơle trung gian 4RG, 6RG.

Rơle 4RG có hai cuộn dây: làm việc và hãm. Cuộn làm việc nhận nguồn thao tác khi rơle 2RI và 3RW khởi động. Cuộn hãm được cấp dòng chỉnh lưu từ máy thu tần số cao khi có tín hiệu khóa tần số cao ở đầu vào của nó. Rơle 4RG tác động khi chỉ có dòng trong cuộn làm việc. Khi có dòng trong cuộn hãm hoặc trong cả hai cuộn dây thì rơle 4RG sẽ

không khởi động. Do vậy, nhờ có role 4RG mà bảo vệ chỉ tác động khi hư hỏng trên đoạn được bảo vệ vì lúc ấy không có tín hiệu khóa.

Để đảm bảo máy phát tần số cao không làm việc khi ngắn mạch trên đoạn đường dây được bảo vệ, trong sơ đồ sử dụng role trung gian 5RG có tiếp điểm thường kín. Bảo vệ tác động đi cắt máy cắt thông qua role trung gian 6RG và role tín hiệu 7Th.

II.3. Hoạt động của sơ đồ khi ngắn mạch:

II.3.1. Ngắn mạch ngoài: (về phía trạm B)

Role 1RI thực hiện khởi động máy phát tần số cao ở cả hai phía của đường dây. Máy phát gửi tín hiệu khóa đến role 4RG ở đầu kia của đường dây (theo kênh tần số cao), cũng như đến 4RG ở đầu này (trực tiếp qua máy thu). Đồng thời role 2RI khởi động đưa áp vào cuộn dây và đưa cực dương (+) nguồn thao tác đến tiếp điểm của role định hướng công suất 3RW. Role 3RW phía A khép tiếp điểm đưa nguồn đến role trung gian 5RG và cuộn làm việc của role 4RG. Role 5RG mở tiếp điểm làm hở mạch khởi động máy phát, máy phát tần số cao phía A ngừng làm việc. Tuy nhiên role 3RW phía B không khởi động do hướng công suất ngắn mạch đi vào thanh góp. Máy phát phía B vẫn tiếp tục làm việc, gửi tín hiệu khóa qua kênh tần số cao đến role 4RG ở phía A.

Như vậy ở phía A, role 4RG có dòng trong cả 2 cuộn làm việc và hãm nên nó không khởi động, bảo vệ không tác động. Ở phía B cũng tương tự, bảo vệ không tác động do 4RG chỉ có dòng trong cuộn hãm.

II.3.2. Ngắn mạch trong vùng bảo vệ khi có nguồn cung cấp từ hai phía:

Các role dòng 1RI, 2RI, role định hướng công suất 3RW và role trung gian 5RG khởi động ở cả hai phía của đường dây được bảo vệ. Máy phát tần số cao ở cả hai phía đều không làm việc do vậy không có tín hiệu khóa gửi đến cuộn hãm của các role trung gian 4RG. Lúc này role 4RG chỉ có dòng vào cuộn làm việc, nên chúng tác động và đường dây bị hư hỏng được cắt ra cả ở hai phía.

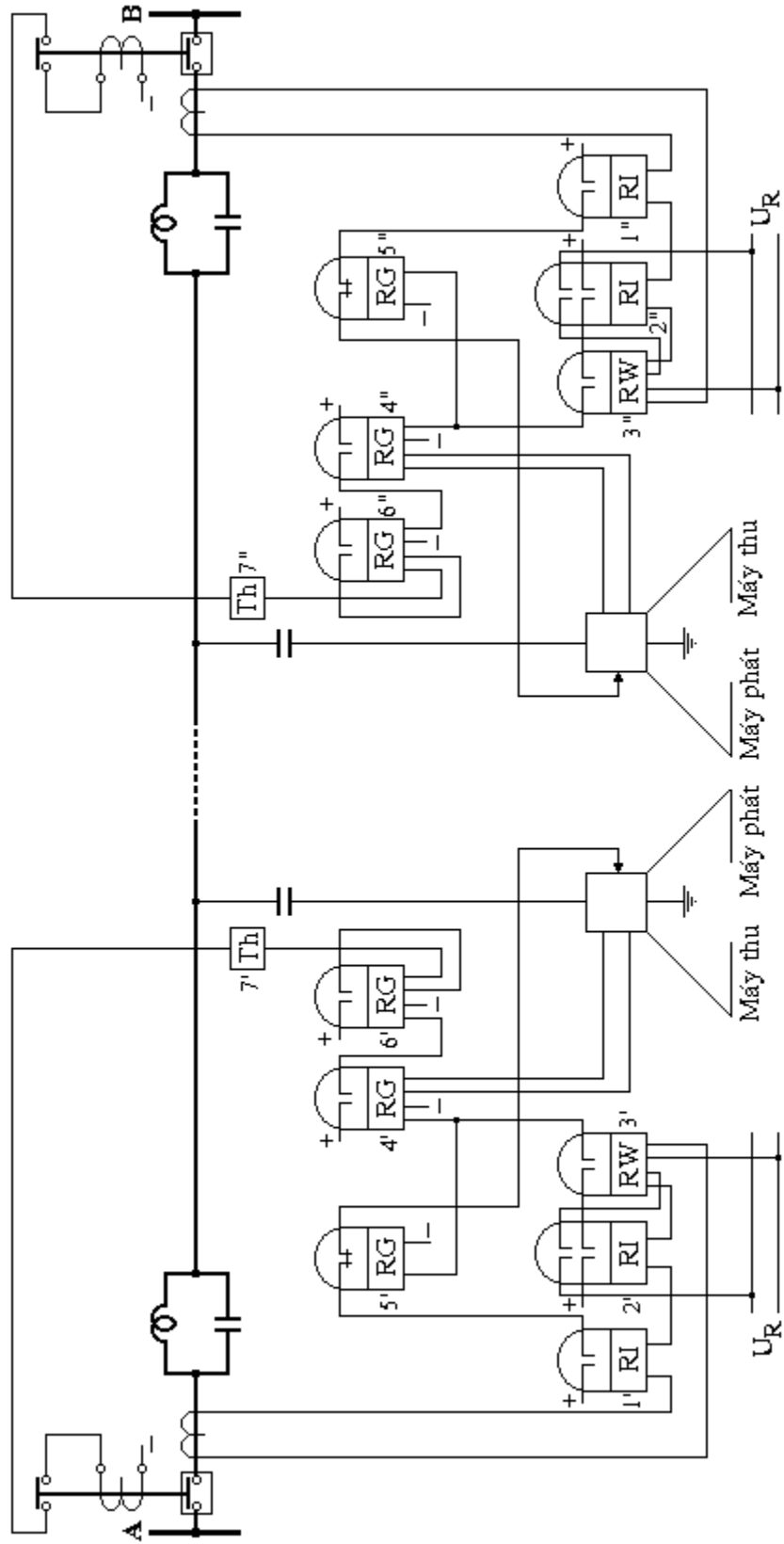
II.3.3. Ngắn mạch trong vùng bảo vệ khi chỉ có nguồn cung cấp từ 1 phía: (Giả sử chỉ có nguồn cung cấp ở phía trạm A)

Khi xảy ra ngắn mạch trong vùng bảo vệ, ở phía B bộ phận khởi động không làm việc, ở phía A sau khi role 5RG tác động, tín hiệu khóa sẽ không còn, role 4RG chỉ có dòng trong cuộn làm việc và bảo vệ tác động cắt đường dây bị hư hỏng về phía A.

Khi có nguồn cung cấp từ hai phía, có thể xảy ra hiện tượng khởi động không đồng thời nếu lúc đầu sự phân bố dòng như thế nào đó khiến cho bảo vệ chỉ khởi động về một phía. Lúc ấy bảo vệ tác động cắt đường dây giống như trường hợp có một nguồn cung cấp.

II.3.4. Ngắn mạch khi kênh tần số cao bị hỏng:

Khi ngắn mạch trên đoạn được bảo vệ và kênh thông tin bị hỏng, thì bảo vệ không làm việc sai bởi vì chỉ yêu cầu kênh làm việc tốt khi ngắn mạch ngoài. Trong trường hợp ngắn mạch ngoài nếu hỏng kênh thông tin thì bảo vệ có thể tác động nhầm. Tuy nhiên trong thực tế xác suất đó là rất bé.



Hình 7.5: Sơ đồ báo vệ cơ hướng có khóa tần số cao

II.4. Lí do đặt 2 role dòng ở bộ phận khởi động:

Khi xảy ra ngắn mạch ngoài, bảo vệ sẽ đảm bảo tác động đúng nếu bộ phận khởi động ở cả hai phía của đường dây đồng thời làm việc.

Giả thiết mỗi nửa bộ bảo vệ ở mỗi đầu đường dây chỉ dùng 1 role dòng làm nhiệm vụ khởi động. Khi dòng ngắn mạch ngoài xấp xỉ với dòng khởi động của role này, do sai số khác nhau của các máy biến dòng và role ở hai phía đường dây nên có thể chỉ có bộ phận khởi động ở một đầu đường dây làm việc. Điều đó khiến cho bảo vệ tác động không đúng và cắt đường dây không bị hư hỏng. Trường hợp tương tự cũng có thể xảy ra nếu các role ở một phía làm việc nhanh hơn phía kia.

Để ngăn ngừa tác động nhầm như vậy trong sơ đồ hình 7.5 sử dụng bộ phận khởi động gồm 2 role dòng : 1RI và 2RI có độ nhạy khác nhau. (1RI nhạy hơn khoảng 1,5 lần so với 2RI). Khi thực hiện sơ đồ như vậy, role 2RI chỉ có thể tác động đến mạch cắt nếu role 1RI nhạy hơn chắc chắn đã khởi động, đảm bảo khóa bảo vệ trong trường hợp ngắn mạch ngoài.

Cũng có thể thực hiện sơ đồ chỉ có 1 role dòng trong bộ phận khởi động nếu máy phát tần số cao được khởi động từ xa (sẽ xét đến ở mục III.9). Lúc ấy bộ phận khởi động ở một phía làm việc sẽ đồng thời khởi động cả hai máy phát tần số cao ở hai đầu đường dây.

II.5. Đặc điểm làm việc của bảo vệ khi ngắn mạch trên đường dây ở chế độ có nguồn cung cấp 1 phía:

⊖ *Đối với bảo vệ nối vào dòng và áp pha toàn phần:* Bộ phận khởi động quyết định sự làm việc của bảo vệ. Nếu bộ phận khởi động là loại dòng điện chỉnh định khởi động tải cực đại thì nửa bộ bảo vệ phía nguồn sẽ tác động. Nếu dùng bộ phận khởi động tổng trở thì bảo vệ có thể không tác động được do role tổng trở về phía nhận điện khởi động khi điện áp giảm thấp và dòng phụ tải vẫn còn tồn tại.

⊖ *Đối với bảo vệ nối vào thành phần thứ tự không:* Khi trung tính về phía nhận điện cách đất thì nửa bộ bảo vệ phía nguồn sẽ làm việc. Nếu nối đất trung tính phía nhận điện thì các nửa bộ bảo vệ ở hai phía đường dây đều làm việc đúng.

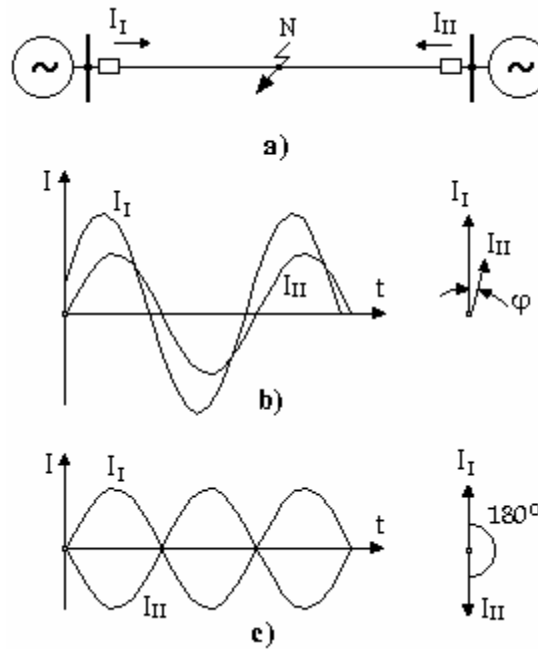
III. Bảo vệ so lệch pha tần số cao :

III.1. Nguyên tắc làm việc:

BẢO VỆ DÒNG LỆNH PHA TẦN SỐ CAO là loại bảo vệ dựa trên **nguyên tắc so sánh trực tiếp vector dòng ở hai đầu đường dây được bảo vệ**, các vector dòng được biến đổi thành tín hiệu tần số cao, truyền từ 1 phía của đường dây đến phía kia theo kênh tần số cao và được so sánh với nhau. Trong trường hợp sử dụng kênh vô tuyến thì đó là **BẢO VỆ DÒNG SO LỆCH VÔ TUYẾN**.

Các vector dòng được đặc trưng bởi độ lớn và góc pha. Do vậy để so sánh chúng cần có 2 kênh tần số cao (một - để truyền giá trị độ lớn của vector, một - góc pha). Trong đa số trường hợp bảo vệ chỉ thực hiện so sánh góc pha của dòng điện. Bảo vệ dựa vào việc so sánh góc pha của dòng điện được gọi là **BẢO VỆ SO LỆNH PHA**.

Khi ngắn mạch trên đường dây được bảo vệ (hình 7.10a) dòng I_I và I_{II} ở hai phía có góc lệch φ rất nhỏ (khi hướng quy ước là từ thanh góp vào đường dây). Trị số của φ được xác định từ góc lệch pha của các vector sức điện động đẳng trị E_I và E_{II} của hai phần hệ thống điện và sự khác nhau của góc tổng trở đến điểm ngắn mạch (hình 7.10b). Trong trường hợp này bảo vệ tác động cắt hư hỏng ở cả hai phía của đường dây. Khi ngắn mạch ngoài thì I_I và I_{II} có giá trị bằng nhau, nhưng lệch pha nhau một góc 180° (hình 7.10c), lúc này bảo vệ không tác động. Bảo vệ thường được thực hiện để đảm bảo tác động cả khi ngắn mạch trên đường dây làm việc ở chế độ có nguồn cung cấp 1 phía.



Hình 7.10 : Bảo vệ tác động dựa vào việc so sánh góc pha của dòng điện
 a) Sơ đồ mạng b) Ngắn mạch trên đường dây được bảo vệ c) Ngắn mạch ngoài

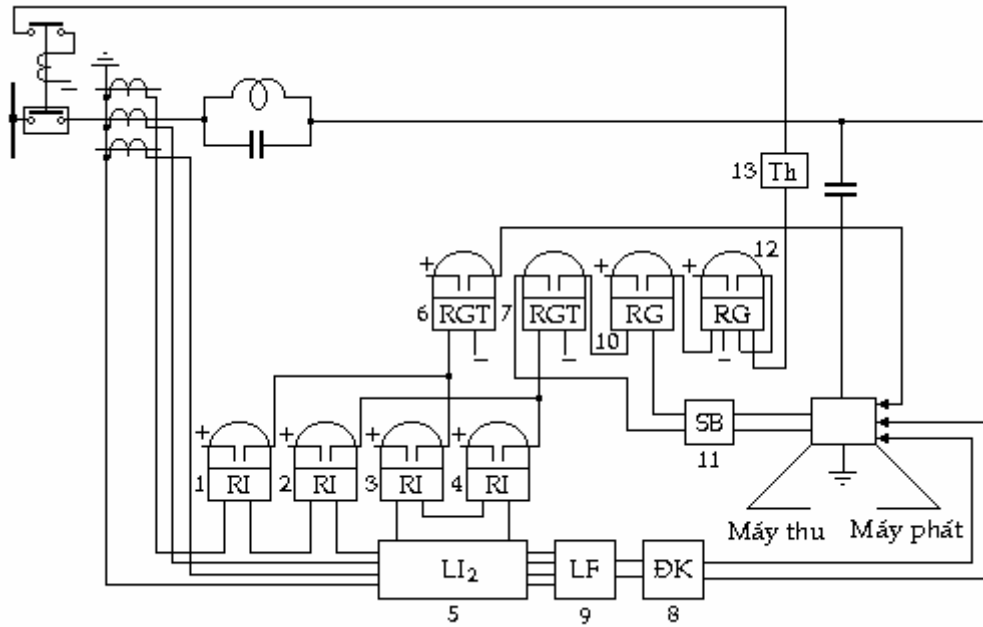
III.2. Sơ đồ thực hiện bảo vệ:

Ta khảo sát bảo vệ so lệch pha tần số cao có sơ đồ thực hiện như hình 7.11. Đối với mỗi nửa bộ bảo vệ ở mỗi đầu đường dây, bộ phận khởi động gồm 4 rơle dòng: 1RI, 2RI, 3RI, 4RI. Rơle 1RI và 2RI nối vào dòng pha toàn phần dùng để khởi động bảo vệ khi ngắn mạch 3 pha đối xứng. Rơle 3RI và 4RI nối vào thành phần thứ tự nghịch qua bộ lọc $5L_{I2}$ dùng để khởi động bảo vệ khi ngắn mạch không đối xứng. Rơle 1RI và 3RI có độ nhạy cao hơn (so với rơle 2RI và 4RI) để khởi động máy phát tần số cao thông qua rơle 6RGT, còn các rơle 2RI và 4RI cùng với rơle 7RGT để chuẩn bị cho mạch cắt.

Việc truyền thông tin về góc pha của dòng điện từ 1 đầu đến đầu kia của đường dây được thực hiện theo kênh tần số cao. Máy phát tần số cao sau khi đã làm việc sẽ được điều khiển trực tiếp bởi các dòng cần so sánh thông qua bộ phận điều khiển 8ĐK. Bộ phận này thực hiện đóng, mở máy phát theo chu kỳ tần số công nghiệp. Nhờ vậy dòng tần số cao bị khống chế bởi dòng ngắn mạch. Khi ngắn mạch, dòng tần số cao được truyền đi không liên tục như ở bảo vệ có hướng tần số cao. Độ dài của mỗi xung tín hiệu bằng nửa chu kỳ tần số công nghiệp. Pha của tín hiệu tần số cao đã được điều chế sẽ tương ứng với pha của dòng ngắn mạch ở đầu đường dây.

Để thực hiện bảo vệ với một kênh tần số cao, hệ thống dòng ba pha ở hai đầu đường dây được biến đổi thành dòng một pha nhờ bộ lọc thành phần đối xứng phức hợp 9LF (ví dụ, $I_1 + kI_2$), dòng đầu ra bộ lọc 9LF được đưa vào bộ phận điều khiển 8ĐK.

Việc so sánh góc pha của các dòng điện được thực hiện trong máy thu tần số cao. Máy thu sẽ cung cấp nguồn cho bộ phận thực hiện (rơle 10RG) qua thiết bị san bằng 11SB. Khi ngắn mạch trong vùng bảo vệ, rơle 10RG tác động đi cắt máy cắt qua rơle trung gian đầu ra 12RG và rơle tín hiệu 13Th.



Hình 7.11 : Sơ đồ nguyên lý của bảo vệ số lệch pha tần số cao

Máy thu tần số cao nhận tín hiệu từ máy phát của mình và từ máy phát ở đầu kia của đường dây, ở đầu ra máy thu chỉ có dòng vào những thời điểm mà đầu vào của nó không có tín hiệu tần số cao. Sơ đồ được thực hiện như thế nào để khi ngắt mạch ngoài thì các máy phát ở hai đầu đường dây làm việc trong những nửa chu kỳ tần số công nghiệp khác nhau; lúc ấy đầu vào máy thu tổng hợp lại sẽ có tín hiệu liên tục và đầu ra của nó không có dòng. Khi ngắt mạch trong vùng bảo vệ dòng đầu ra máy thu sẽ có tính chất gián đoạn. Thiết bị 11SB để san bằng dòng điện ở đầu ra máy thu trước khi đưa vào bộ phận thực hiện.

III.3. Hoạt động của bảo vệ khi ngắt mạch:

III.3.1. Ngắt mạch ngoài : (hình 7.12 a' - g')

Các rơle 1RI, 2RI (khi ngắt mạch ba pha đối xứng), 3RI, 4RI (khi ngắt mạch ba pha không đối xứng), 6RGT và 7RGT khởi động. Dòng ở hai đầu đường dây được bảo vệ lệch pha nhau một góc 180° . Do vậy, các máy phát sẽ làm việc không đồng thời và phát ra các tín hiệu tần số cao lệch pha nhau một nửa chu kỳ tần số công nghiệp. Tổng hợp lại ở đầu vào máy thu sẽ có tín hiệu liên tục. Không có dòng vào rơle 10RG và bảo vệ sẽ không tác động.

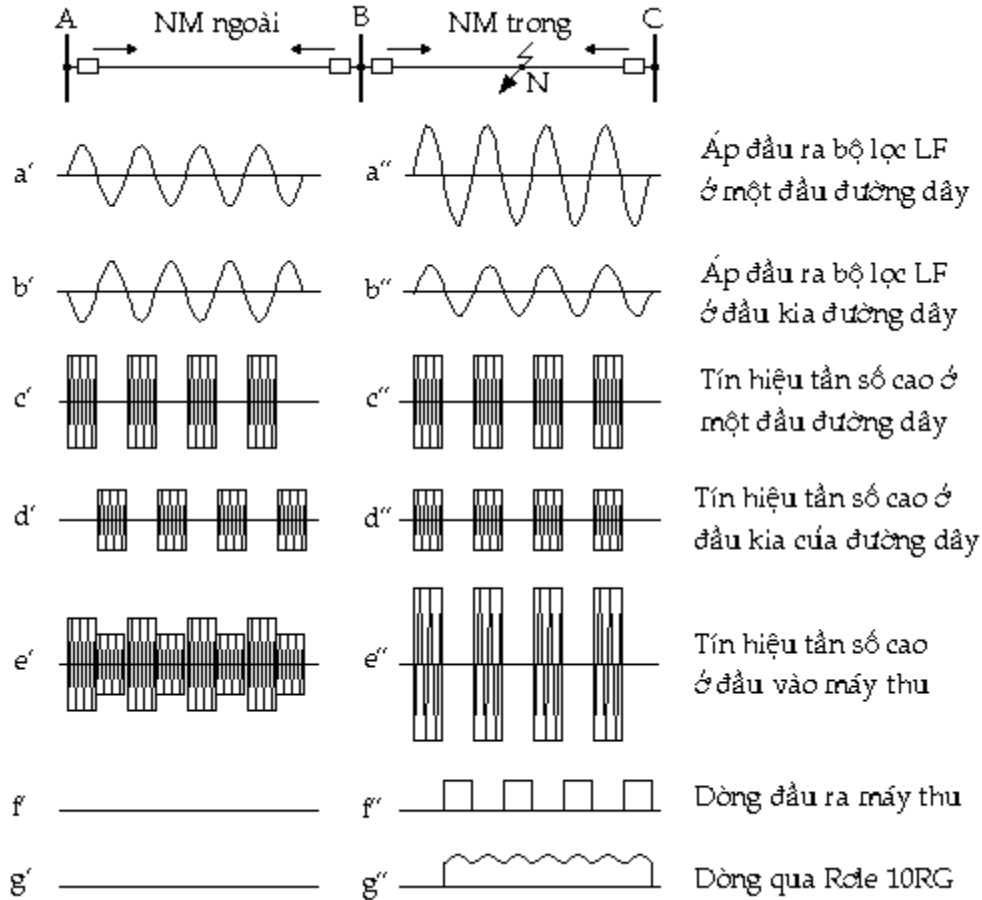
Để chắc chắn bảo vệ không tác động khi ngắt mạch ngoài, cần đảm bảo hai yêu cầu sau :

- ⊖ Máy phát tần số cao phải khởi động trước khi bộ phận so sánh pha làm việc. Yêu cầu này được thực hiện nhờ cuộn dây rơle 10RG chỉ kín mạch sau khi tiếp điểm của rơle 7RGT đóng lại có thời gian.

- ⊖ Chỉ ngừng máy phát tần số cao sau khi đã cắt ngắt mạch ngoài. Yêu cầu này được thực hiện nhờ rơle 6RGT có tiếp điểm mở chậm. Khi tiếp điểm này mở ra thì các máy phát sẽ ngừng làm việc, lúc ấy mạch cuộn dây 10RG đã hở.

III.3.2. Ngăn mạch trên đường dây được bảo vệ khi có nguồn cung cấp từ hai phía: (hình 7.12 a" - g")

Ban đầu, các role cũng làm việc giống như trường hợp (a) ngăn mạch ngoài. Dòng ở hai đầu đường dây trùng pha nhau (khi bỏ qua góc lệch pha của các sức điện động nguồn và các yếu tố khác). Các máy phát làm việc đồng bộ với nhau và phát tín hiệu tần số cao trùng pha nhau. Do vậy tín hiệu tổng hợp nhận được ở máy thu sẽ không liên tục và gây nên những xung dòng vuông góc ở đầu ra máy thu. Qua thiết bị san bằng 11SB dòng này được biến đổi thành dòng một chiều đưa vào cuộn dây role 10RG. Khi trị số dòng đủ lớn thì role 10RG tác động cắt đường dây qua role trung gian 12RG và role tín hiệu 13Th.

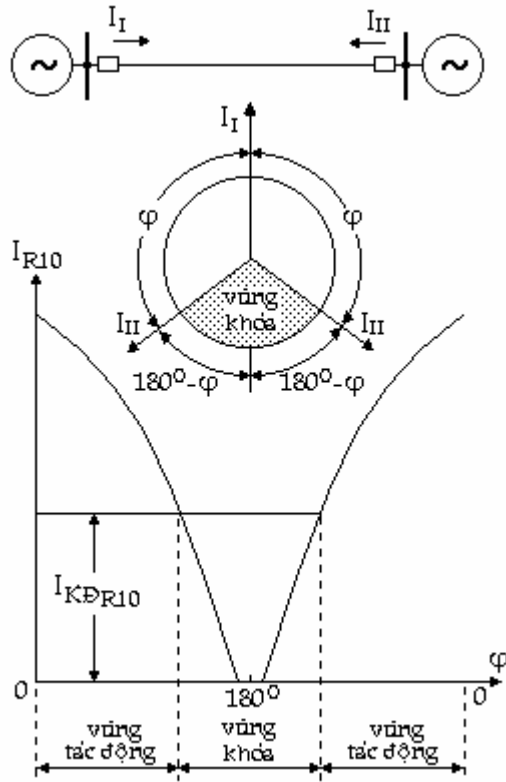


Hình 7.12 : Tác động của bảo vệ theo sơ đồ hình 7.11 khi ngăn mạch trong và ngoài vùng bảo vệ.

Thực tế khi ngăn mạch trong vùng bảo vệ dòng ở hai phía của đường dây hư hỏng thường lệch pha nhau một góc đáng kể do sức điện động của các phần hệ thống điện lệch pha nhau, do góc tổng trở của các phần hệ thống điện không bằng nhau, do sai số của BI và tính chất của bộ lọc phức hợp 9LF. Vì vậy góc lệch pha giữa các dòng ở đầu ra bộ lọc 9LF có thể tăng lên khiến cho bảo vệ không tác động được khi ngăn mạch trong vùng bảo vệ. Trị số góc lệch giới hạn được xác định theo điều kiện bảo vệ không được tác động khi ngăn mạch ngoài do những khác biệt trong sai số của BI, bộ lọc 9LF, tốc độ truyền sóng hữu hạn và góc lệch pha của dòng ở 2 đầu đường dây do dung dẫn.

Khả năng tác động của bảo vệ ứng với những góc lệch pha φ khác nhau của các dòng điện ở đầu ra các bộ lọc 9LF được đặc trưng bởi đặc tính pha (hình 7.13), đó là quan hệ giữa dòng i_{R10} trong cuộn dây role 10RG với góc lệch pha φ . Vùng tác động và không tác động của bảo vệ được xác định bởi giao điểm của đường cong $i_{R10} = f(\varphi)$ với đường thẳng

dòng khởi động i_{KDR10} của role 10RG. Vùng không tác động của bảo vệ tính theo góc φ chiếm khoảng $40 - 50^\circ$.



Hình 7.13 : Đặc tính pha của bảo vệ theo hình 7.11

III.3.3. Ngắt mạch trên đường dây được bảo vệ khi nguồn cung cấp từ 1 phía:

Khi bộ phận khởi động ở phía nhận điện không làm việc (ví dụ, dùng bộ phận khởi động theo dòng) thì máy phát tần số cao ở phía này không khởi động được. Do vậy ở phía nguồn, máy thu chỉ nhận được tín hiệu từ máy phát tại chỗ. Dòng trong máy thu có dạng giống như khi có nguồn cung cấp 2 phía (hình 7.12e"), role 10RG phía nguồn tác động cắt đường dây qua 12RG.

Bảo vệ cũng có thể cắt đúng đường dây bị hư hỏng có nguồn cung cấp 2 phía khi sự phân bố dòng lúc đầu không thuận lợi.

III.3.4. Ngắt mạch khi có hư hỏng kênh tần số cao :

Bảo vệ chỉ tác động không đúng khi ngắt mạch ngoài đồng thời kênh tần số cao của bảo vệ bị hư hỏng.

III.4. Lí do đặt 2 role ở bộ phận khởi động của bảo vệ:

Cũng giống như bảo vệ có khóa có khóa tần số cao, việc đặt 2 role khởi động (ví dụ, 1RI và 2RI) có độ nhạy khác nhau nhằm để khóa chắc chắn bảo vệ khi ngắt mạch ngoài. Nếu sử dụng bộ phận khởi động chỉ có một role thì bảo vệ có thể tác động không đúng trong trường hợp ngắt mạch ngoài mà chỉ có một bộ phận khởi động ở một phía làm việc, lúc ấy hoạt động của bảo vệ giống như khi hư hỏng trên đường dây được bảo vệ có nguồn cung cấp từ một phía.

III.5. Bộ phận điều khiển:

Phần tử chính của bộ phận điều khiển là bộ lọc các thành phần đối xứng dùng để biến đổi một hệ thống dòng ba pha thành dòng 1 pha. Khi ngắn mạch ngoài dòng ở đầu ra của bộ lọc về hai phía đường dây là như nhau. Do vậy việc tính chọn bộ lọc được thực hiện theo điều kiện đảm bảo tác động chắc chắn của bảo vệ khi ngắn mạch trong vùng bảo vệ. Nếu chỉ thực hiện so sánh góc pha của dòng thứ tự thuận, thì bảo vệ có thể không tác động khi ngắn mạch không đối xứng trên đường dây có nguồn cung cấp 1 phía do phía nhận điện có thành phần thứ tự thuận của dòng phụ tải (trong trường hợp bộ phận khởi động và máy phát ở phía nhận điện làm việc). Nếu chỉ so sánh góc pha của dòng thứ tự nghịch và thứ tự không (các thành phần này luôn luôn hướng từ chỗ ngắn mạch về phía các điểm trung tính), thì bảo vệ không đảm bảo tác động với tất cả các dạng ngắn mạch (ví dụ, ngắn mạch ba pha đối xứng). Vì vậy thường sử dụng các loại bộ lọc phức hợp như $(I_1 + kI_2)$ và $(I_1 + kI_0)$. Hệ số k cần phải tính chọn thế nào để khi ngắn mạch không đối xứng trong vùng bảo vệ sẽ có quan hệ $(kI_2 > I_1)$ và $(kI_0 > I_1)$.

III.6. Tính chọn trị số đặt và độ nhạy của bảo vệ:

III.6.1. Dòng khởi động của role dòng 1RI :

$$I_{KĐ1RI} = \frac{k_{at1}}{k_{tv} \cdot n_1} I_{lv \max}$$

Khi tính chọn $I_{KĐ1RI}$ không cần kể đến hệ số mở máy k_{mm} , vì sau khi cắt ngắn mạch ngoài các động cơ tự mở máy có thể làm trì hoãn sự trở về của bộ phận khởi động nhưng không làm cho bảo vệ dọc tác động nhầm.

III.6.2. Dòng khởi động của role dòng 2RI :

Để ngăn ngừa khả năng tác động nhầm của bảo vệ khi ngắn mạch ngoài, dòng khởi động của role 2RI được chọn lớn hơn so với role 1RI :

$$I_{KĐ2RI} = k_{at2} \cdot I_{KĐ1RI}$$

trong đó : $k_{at2} \approx 1,4 \div 1,5$

III.6.3. Dòng khởi động của bộ lọc - role dòng thứ tự nghịch LI₂-3RI:

Được chính định khởi dòng không cân bằng sơ cấp của bộ lọc (I'_{KCB}) trong chế độ vận hành bình thường với phụ tải cực đại và (I''_{KCB}) khi ngắn mạch ngoài ba pha với $I^{(3)}_{N.ng.max} = n_1 \cdot I_{KĐ1RI}$ (vì khi có dòng $I^{(3)}_{Nng}$ lớn hơn thì sẽ có tín hiệu khóa do tác động của các role 1RI ở hai đầu đường dây):

$$I_{KĐLI2-3RI} \geq \frac{k'_{at3}}{k_{tv}} \cdot I'_{KCB}$$

và :

$$I_{KĐLI2-3RI} \geq k''_{at3} \cdot I''_{KCB}$$

Để đảm bảo so sánh đúng góc pha dòng điện ở hai đầu đường dây, dạng đường bao tín hiệu tần số cao phải vuông góc. Muốn vậy điện áp ở đầu ra của bộ phận điều khiển không được nhỏ hơn trị số $U_{đk.min}$. Khi điện áp nhỏ hơn $U_{đk.min}$ đường bao đó sẽ có dạng hình thang và bảo vệ sẽ không mất tính chọn lọc khi ngắn mạch ngoài, vì vậy vẫn đảm bảo xung khóa liên tục. Tuy nhiên khi hư hỏng trong vùng bảo vệ với điện áp như vậy bảo vệ có thể không tác động. Do đó, dòng khởi động của các role 1RI và 3RI nên phối hợp với điện áp này như thế nào đó để bảo vệ chỉ tác động khi tín hiệu tần số cao có dạng như yêu cầu. Đối với role 3RI dòng khởi động tính theo điều kiện này có thể là quyết định.

Đối với bộ lọc nối vào dòng $I_1 + kI_2$, điều kiện tính toán để phối hợp là ngắn mạch 2 pha chạm đất có điện áp $k_1 \cdot |I_{1tt} + kI_{2tt}| = U_{đk.min}$; áp này có thể nhỏ hơn n lần so với áp $k_1 \cdot k \cdot I_{2tt}$. Trong trường hợp này cần thực hiện điều kiện:

$$I_{KĐLI2-3RI} > I_{2tt}$$

Điện áp $U_{đk.min}$ với giả thiết là $I_1 = 0$ sẽ tương ứng với dòng thứ tự nghịch sơ cấp của bộ lọc là: $I_{2đk.min}$. Do vậy cần chọn:

$$I_{KĐLI2-3RI} > n \cdot I_{2đk.min}$$

III.6.4. Dòng khởi động của bộ lọc - role LI₂-4RI :

Phân tích giống như đối với role 2RI, dòng khởi động của bộ lọc - role LI₂-4RI được chọn lớn hơn $I_{KĐLI2-3RI}$ và lấy bằng:

$$I_{KĐLI2-4RI} = k_{at4} \cdot I_{KĐLI2-3RI}$$

Trong đó: $k_{at4} \approx 2$.

III.6.5. Hệ số k của bộ lọc trong bộ phận điều khiển :

Hệ số k xác định theo điều kiện:

$$kI_2 \geq k_{at} I_1$$

Trường hợp tính toán là ngắn mạch 2 pha chạm đất ở một đầu đường dây, khi ấy tỉ số I_1 / I_2 là lớn nhất. Do vậy:

$$k \geq k_{at} \cdot \frac{I_1^{(1,1)}}{I_2^{(1,1)}}$$

Thường $k \approx 6 \div 8$; $k_{at} \approx 1,8 \div 2$

Để đảm bảo cho bảo vệ làm việc đúng (không tác động) khi ngắn mạch ngoài, cần chọn hệ số k như nhau ở các nửa bộ hai phía đường dây.

III.6.6. Kiểm tra độ nhạy của bảo vệ :

Độ nhạy của bảo vệ được xác định chủ yếu theo độ nhạy của các role khởi động 2RI và 4RI dùng để điều khiển mạch cắt của máy cắt.

Trong trường hợp nối role 4RI vào bộ lọc dòng thứ tự nghịch thì hệ số độ nhạy được tính toán với ngắn mạch một pha hoặc hai pha chạm đất ở một đầu đường dây tùy thuộc dạng hư hỏng nào có dòng nhỏ hơn.

Hệ số độ nhạy khi ngắn mạch 3 pha cũng được tính toán với hư hỏng ở một đầu của đường dây được bảo vệ.

Yêu cầu: $K_n \geq 1,5 \div 2$

IV. Đánh giá và lĩnh vực ứng dụng của bảo vệ tần số cao và vô tuyến:

Ưu điểm của bảo vệ tần số cao là: về nguyên tắc bảo vệ có thể tác động chọn lọc trong mạng có hình dáng bất kỳ với một số nguồn cung cấp bất kỳ, tác động nhanh, đủ độ nhạy cần thiết và khá tin cậy mặc dù thực hiện tương đối phức tạp.

Nhược điểm chủ yếu của bảo vệ tần số cao là phức tạp và giá thành cao. Do vậy bảo vệ tần số cao được sử dụng khi các bảo vệ khác đơn giản hơn không thỏa mãn các yêu cầu của bảo vệ role, nhất là khi yêu cầu phải tác động nhanh.

Tất cả các loại bảo vệ dọc đều đảm bảo cắt nhanh, kể cả bảo vệ dòng so lệch có dây dẫn phụ. Chi phí ban đầu đối với bảo vệ có dây dẫn phụ chủ yếu là giá thành của cáp và công lắp đặt nó, do vậy tăng tỷ lệ thuận với chiều dài dây dẫn. Chi phí đối với bảo vệ tần số cao có thể coi là độc lập với chiều dài đường dây được bảo vệ (không tính đến việc phải

sử dụng các bộ phận khởi động phức tạp hơn và máy phát có công suất lớn hơn cho đường dây dài)

Bảo vệ tần số cao có nhiều loại: bảo vệ có hướng, bảo vệ so lệch pha và bảo vệ có hướng có khóa tần số cao kết hợp với bảo vệ khoảng cách. Tất cả các phương án bảo vệ này đều có thể sử dụng trong thực tế, tuy nhiên mỗi phương án đều có đặc điểm sử dụng riêng.

Bảo vệ so lệch pha thực tế không chịu ảnh hưởng của dao động trong hệ thống điện, đặc biệt là khi thực hiện tự động đóng lại không đồng bộ; nó cũng có thể làm việc tốt trong chế độ làm việc không toàn pha. Do vậy loại bảo vệ này được sử dụng phổ biến. Tuy nhiên cần phải đặt thêm bảo vệ dự trữ cho đường dây. Các bảo vệ dự trữ thường dùng loại đơn giản hơn, ví dụ như bảo vệ chỉ phản ứng với ngắn mạch không đối xứng.

Bảo vệ có hướng có khóa tần số cao ít được sử dụng, ngoại trừ 1 số trường hợp đặc biệt, ví dụ để bảo vệ đường dây có nhánh rẽ vì lúc này sử dụng bảo vệ so lệch pha sẽ gặp nhiều khó khăn.

Hiện nay kênh vô tuyến đã được sử dụng rộng rãi. Kênh vô tuyến dùng cho bảo vệ, điều khiển xa và thông tin liên lạc sẽ khắc phục được khó khăn trong việc lựa chọn tần số truyền trên đường dây tải điện, loại trừ được những yêu cầu về xử lý tần số cao trên đường dây tải điện, đảm bảo chống nhiễu tốt hơn... Khi sử dụng kênh vô tuyến thì các bảo vệ dọc có thể thực hiện với tín hiệu cho phép mà trong một số trường hợp trở nên hợp lý hơn so với tín hiệu khóa.

Chương 8 : TỰ ĐỘNG ĐÓNG NGUỒN DỰ TRỮ (TĐĐ)

I. Ý NGHĨA CỦA TĐĐ:

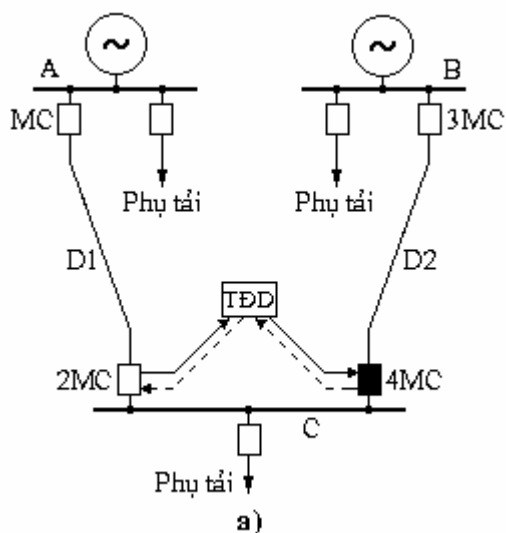
Sơ đồ nối điện của hệ thống điện cần đảm bảo độ tin cậy cung cấp cho các hộ tiêu thụ điện. Sơ đồ cung cấp từ hai hay nhiều nguồn điện đảm bảo độ tin cậy cao, vì cất sự cố một nguồn không làm cho hộ tiêu thụ bị mất điện.

Dù việc cung cấp cho hộ tiêu thụ từ nhiều phía có ưu điểm rõ ràng như vậy nhưng phần lớn các trạm có hai nguồn cung cấp trở lên đều làm việc theo sơ đồ một nguồn cung cấp. Tự dùng của nhà máy điện là một ví dụ.

Cách thực hiện sơ đồ như trên sẽ ít tin cậy nhưng đơn giản hơn và trong nhiều trường hợp làm giảm dòng ngắn mạch, giảm tổn thất điện năng trong MBA, đơn giản bảo vệ rơle...

Khi phát triển mạng điện, việc cung cấp từ một phía thường là giải pháp được lựa chọn vì những thiết bị điện và bảo vệ đã đặt trước đó không cho phép thực hiện sự làm việc song song của các nguồn cung cấp.

Nhược điểm của việc cung cấp từ một phía là cất sự cố nguồn làm việc sẽ làm ngừng cung cấp cho hộ tiêu thụ. Khắc phục bằng cách đóng nhanh nguồn dự trữ hay đóng máy cắt mà ở đó thực hiện việc phân chia mạng điện. Để thực hiện thao tác này người ta sử dụng thiết bị **TỰ ĐỘNG ĐÓNG NGUỒN DỰ TRỮ (TĐĐ)**.



Hình 8.1 : Các nguyên tắc thực hiện TĐĐ

II. Yêu cầu cơ bản đối với thiết bị TĐĐ:

Tất cả các thiết bị TĐĐ cần phải thỏa mãn những yêu cầu cơ bản sau đây:

1. Sơ đồ TĐĐ không được tác động trước khi máy cắt của nguồn làm việc bị cất ra để tránh đóng nguồn dự trữ vào khi nguồn làm việc chưa bị cất ra. Ví dụ trong sơ đồ hình 8.1a, khi ngắn mạch trên đường dây AC thì bảo vệ đường dây chỉ cất 1MC còn 2MC vẫn

đóng, nếu TĐD tác động đóng đường dây dự trữ BC thì có thể ngăn mạch sẽ lại xuất hiện.

2. Sơ đồ TĐD phải tác động khi mất điện áp trên thanh góp hộ tiêu thụ vì bất cứ lí do gì, chẳng hạn như khi cắt sự cố, cắt nhầm hay cắt tự phát máy cắt của nguồn làm việc, cũng như khi mất điện áp trên thanh góp của nguồn làm việc. Cũng cho phép đóng nguồn dự trữ khi ngăn mạch trên thanh góp của hộ tiêu thụ.

3. Thiết bị TĐD chỉ được tác động một lần để tránh đóng nguồn dự trữ nhiều lần vào ngăn mạch tồn tại.

Ví dụ, nếu ngăn mạch trên thanh góp C (hình 8.1a) thì khi TĐD đóng 4MC, thiết bị bảo vệ role lại tác động cắt 4MC, điều đó chứng tỏ ngăn mạch vẫn còn tồn tại, do vậy không nên cho TĐD tác động lần thứ 2.

4. Để giảm thời gian ngừng cung cấp điện, việc đóng nguồn dự trữ cần phải nhanh nhất có thể được ngay sau khi cắt nguồn làm việc.

Thời gian mất điện t_{md} phụ thuộc vào các yếu tố sau:

$$a) \quad t_{md} < t_{tkd}$$

t_{tkd} : khoảng thời gian lớn nhất từ lúc mất điện đến khi đóng nguồn dự trữ mà các động cơ nối vào thanh góp hộ tiêu thụ còn có thể tự khởi động.

$$b) \quad t_{md} > t_{khử\ ion}$$

$t_{khử\ ion}$: thời gian cần thiết để khử môi trường bị ion hóa do hồ quang tại chỗ ngăn mạch (trường hợp ngăn mạch trên thanh góp C - hình 8.1a)

5. Để tăng tốc độ cắt nguồn dự trữ khi ngăn mạch tồn tại, cần tăng tốc độ tác động của bảo vệ nguồn dự trữ sau khi thiết bị TĐD tác động. Điều này đặc biệt quan trọng khi hộ tiêu thụ bị mất nguồn cung cấp được thiết bị TĐD nối với nguồn dự trữ đang mang tải. Cắt nhanh ngăn mạch lúc này là cần thiết để ngăn ngừa việc phá hủy sự làm việc bình thường của nguồn dự trữ đang làm việc với các hộ tiêu thụ khác.

III. TĐD đường dây:

III.1. Sơ đồ:

Trong chế độ vận hành bình thường, đường dây AC làm việc (1MC, 2MC đóng), đường dây BC dự trữ (3MC đóng, 4MC mở). Role RGT có điện (hình 8.7), tiếp điểm của nó đóng. Nếu vì một lí do nào đó thanh góp C mất điện (ví dụ do ngăn mạch trên đường dây AC, do thao tác nhầm...), tiếp điểm của các role RU<, RU> sẽ đóng mạch role thời gian RT (đường dây dự trữ BC đang có điện). Sau một thời gian chậm trễ do yêu cầu chọn lọc của bảo vệ role, tiếp điểm RT đóng lại. Cuộn cắt CC của máy cắt có điện, máy cắt 2MC mở ra. Tiếp điểm phụ 2MC₃ đóng, cho dòng điện chạy qua cuộn đóng CĐ của máy cắt 4MC và đường dây dự trữ BC được đóng vào để cung cấp cho các hộ tiêu thụ.

III.2. Tính toán tham số của các phần tử trong sơ đồ:

III.2.1. Thời gian của role RT:

Khi ngăn mạch tại điểm N1 hoặc N2 (hình 8.8), điện áp dư trên thanh góp C có thể giảm xuống rất thấp làm cho các role điện áp RU< khởi động. Muốn TĐD tránh tác động trong trường hợp này cần phải chọn thời gian của role RT lớn hơn thời gian làm việc của các bảo vệ đặt tại máy cắt 7MC và 9MC:

$$t_{RT} = t_{BVA} + \Delta t \quad (8.1)$$

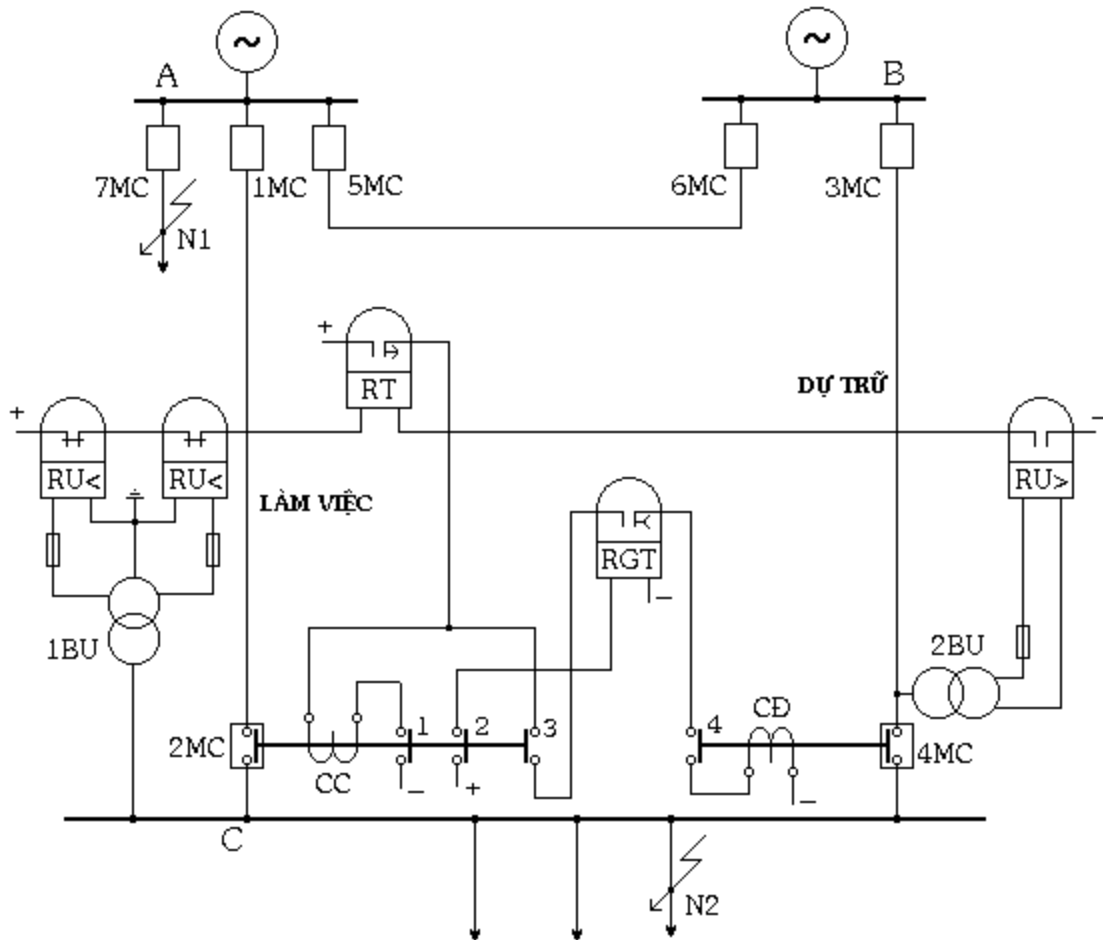
$$t_{RT} = t_{BVC} + \Delta t \quad (8.2)$$

trong đó:

t_{BVA} , t_{BVC} : thời gian làm việc lớn nhất của các bảo vệ phần tử nối vào thanh góp A và thanh góp C.

Δt : bậc chọn lọc về thời gian, bằng $(0,3 \div 0,5 \text{ sec})$.

Thời gian của role RT được chọn bằng trị số lớn hơn khi tính theo các biểu thức (8.1) và (8.2). Tuy nhiên, thời gian này càng nhỏ thì thời gian ngừng cung cấp điện cho các hộ tiêu thụ càng bé, vì vậy khi tính chọn cần phải đặt điều kiện thế nào để thời gian của role RT là nhỏ nhất có thể được.



Hình 8.7 : Sơ đồ thiết bị TĐĐ đường dây

III.2.2. Thời gian của role RGT:

Để đảm bảo thiết bị TĐĐ tác động đóng máy cắt 4MC chỉ một lần, cần chọn:

$$t_{RGT} = t_{D(4MC)} + t_{dự\ trữ} \quad (8.3)$$

trong đó:

$t_{D(4MC)}$: thời gian đóng của máy cắt 4MC.

$t_{dự\ trử}$: thời gian dự trữ.

Nếu thiết bị TĐĐ tác động đóng nguồn dự trữ vào ngắn mạch tồn tại và thiết bị bảo vệ rơle cắt nó ra, thì rơle RGT sẽ ngăn ngừa việc đóng trở lại vào ngắn mạch một lần nữa trong trường hợp thời gian của rơle RGT chọn theo (8.3) thỏa mãn điều kiện:

$$t_{RGT} = t_{Đ(4MC)} + t_{BV} + t_{C(4MC)} \quad (8.4)$$

t_{BV} : thời gian làm việc của bảo vệ đặt tại máy cắt 4MC của mạch dự trữ.

$t_{C(4MC)}$: thời gian cắt của máy cắt 4MC.

III.2.3. Điện áp khởi động của rơle điện áp giảm RU<:

Điện áp khởi động của rơle điện áp giảm RU< được chọn theo 2 điều kiện:

a) Rơle RU< phải khởi động khi mất điện ở thanh góp C (hình 8.7), nhưng không được khởi động khi ngắn mạch sau các kháng điện đường dây (điểm N2 -hình 8.8) hoặc sau các máy biến áp (điểm N3) nối vào thanh góp C:

$$U_{KĐRU<} = \frac{U_{Nmin}}{k_{at} \cdot n_U} \quad (8.5)$$

Trong đó:

U_{Nmin} :Điện áp dư bé nhất trên thanh góp C khi ngắn mạch ở điểm N1 hoặc N2

k_{at} : hệ số an toàn, vào khoảng 1,2 ÷ 1,3

n_U : hệ số biến đổi của máy biến điện áp 1BU (hình 8.7)

b) Rơle RU< không được khởi động khi tự khởi động các động cơ điện nối vào thanh góp C sau khi khôi phục nguồn cung cấp:

$$U_{KĐRU<} = \frac{U_{tkđ}}{k_{at} \cdot n_U} \quad (8.6)$$

$U_{tkđ}$: điện áp nhỏ nhất trên thanh góp C khi các động cơ điện tự khởi động

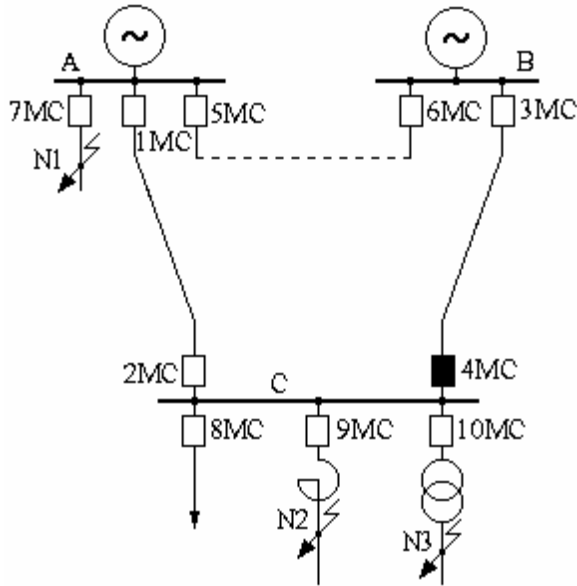
III.2.4. Điện áp khởi động của rơle điện áp tăng RU>:

Rơle RU> không được trở về khi trên mạch dự trữ có điện áp cao hơn điện áp làm việc cực tiểu $U_{lv\ min}$ ($U_{lv\ min}$ là điện áp nhỏ nhất mà các động cơ còn có thể tự khởi động được):

$$U_{KĐRU>} = \frac{U_{lv\ min}}{k_{at} \cdot k_{tv} \cdot n_U} \quad (8.7)$$

Trong đó:

n_U : hệ số biến đổi của máy biến điện áp 2BU (hình 8.7)

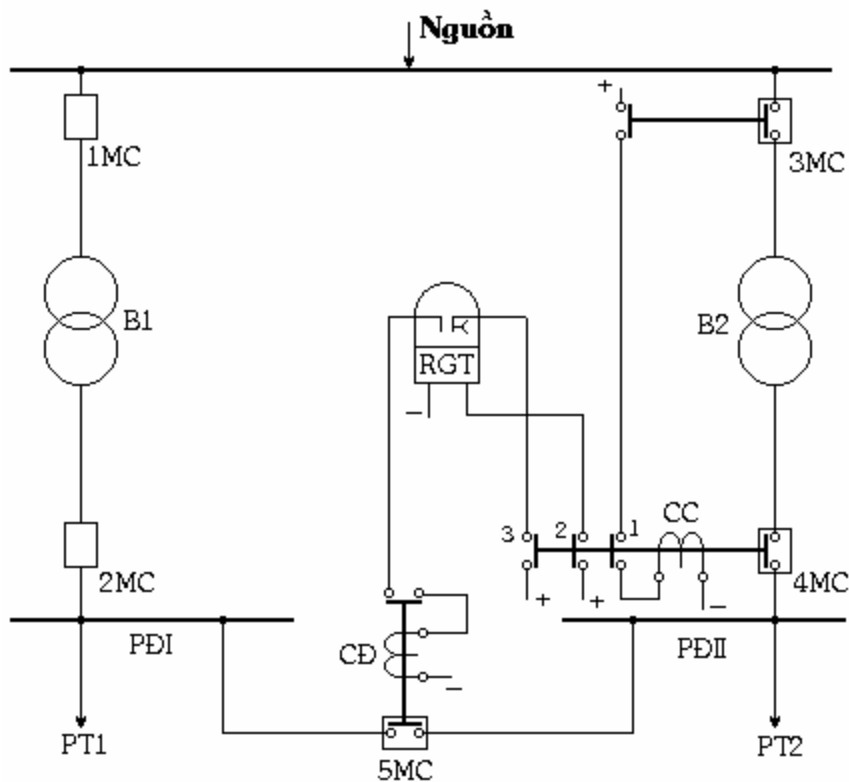


Hình 8.8 : Sơ đồ nối điện để tính toán tham số của TĐĐ

IV. TĐD ở trạm biến áp:

Ở các trạm biến áp người ta sử dụng các loại TĐD khác nhau như TĐD máy biến áp, TĐD máy cắt phân đoạn, TĐD máy cắt nối...

Trên hình 8.9 là sơ đồ TĐD máy cắt phân đoạn. Bình thường cả hai máy biến áp làm việc, máy cắt 5MC mở. Giả thiết máy biến áp B2 bị hư hỏng, thiết bị bảo vệ rơle tác động cắt máy cắt 3MC và 4MC, sau đó thiết bị TĐD sẽ khởi động và đóng máy cắt 5MC. Lúc này máy biến áp B1 sẽ làm nhiệm vụ cung cấp cho phụ tải 1 và phụ tải 2 ở cả hai phân đoạn.



Hình 8.9: Sơ đồ TĐD máy cắt phân đoạn

Lưu ý là nếu máy biến áp B1 được thiết kế chỉ đủ để cung cấp cho phụ tải phân đoạn I thì trong thiết bị TĐD cần phải có thêm mạch đưa tín hiệu đi cắt bớt những phụ tải kém quan trọng ở cả hai phân đoạn trước khi đóng máy cắt 5MC.

Trong sơ đồ, mạch điện mở máy cắt 4MC được nối qua tiếp điểm phụ của 3MC nhằm tạo sự liên động để khi mở máy cắt 3MC sẽ đồng thời mở luôn cả máy cắt 4MC.

Để cắt nhanh máy cắt phân đoạn khi ngắn mạch tồn tại trên thanh góp hạ áp của trạm, trong sơ đồ TĐD cần có thêm bộ phận tăng tốc độ tác động của bảo vệ máy cắt phân đoạn sau TĐD (không vẽ bộ phận này trên hình 8.9).

Khác với sơ đồ TĐD đường dây đã xét trước đây (hình 8.7), trong sơ đồ TĐD máy cắt phân đoạn không có bộ phận khởi động điện áp giảm vì không cần thiết trong trường hợp này. Cả 2 máy biến áp đều được cung cấp từ một thanh góp cao áp chung của trạm, khi mất điện trên thanh góp này tác động của thiết bị TĐD là vô ích.

Chương 9 : TỰ ĐỘNG ĐÓNG TRỞ LẠI NGUỒN ĐIỆN (TĐL)

I. Ý nghĩa của TĐL:

Kinh nghiệm vận hành cho thấy, đa số ngắn mạch xảy ra trên đường dây truyền tải điện năng đều có thể tự tiêu tan nếu cắt nhanh đường dây bằng các thiết bị bảo vệ rơle. Cắt nhanh đường dây làm cho hồ quang sinh ra ở chỗ ngắn mạch bị tắt và không có khả năng gây nên những hư hỏng nghiêm trọng cản trở việc đóng trở lại đường dây. Hư hỏng tự tiêu tan như vậy được gọi là *thoáng qua*. Đóng trở lại một đường dây có hư hỏng thoáng qua thường là *thành công*.

Những hư hỏng trên đường dây như đứt dây dẫn, vỡ sứ, ngã trụ không thể tự tiêu tan, vì vậy chúng được gọi là hư hỏng *tồn tại*. Khi đóng trở lại đường dây có xảy ra ngắn mạch tồn tại thì đường dây lại bị cắt ra một lần nữa, việc đóng trở lại như vậy là *không thành công*.

Để giảm thời gian ngừng cung cấp điện cho các hộ tiêu thụ, thao tác đóng trở lại đường dây cần được thực hiện một cách tự động nhờ các thiết bị *Tự ĐỘNG ĐÓNG TRỞ LẠI (TĐL)*. Thiết bị TĐL cũng có thể tác động cả khi máy cắt bị cắt ra do thao tác nhầm của nhân viên vận hành hoặc do thiết bị bảo vệ rơle làm việc không đúng.

Áp dụng TĐL có hiệu quả nhất là ở những đường dây có nguồn cung cấp một phía, vì trong trường hợp này TĐL thành công sẽ khôi phục nguồn cung cấp cho các hộ tiêu thụ. Ở mạng vòng, cắt một đường dây không làm ngừng cung cấp điện, tuy nhiên áp dụng TĐL là hợp lí vì làm tăng nhanh việc loại trừ chế độ không bình thường và khôi phục sơ đồ mạng đảm bảo vận hành kinh tế và tin cậy. Khả năng TĐL thành công ở những đường dây trên không vào khoảng 70÷90%.

II. Phân loại thiết bị TĐL:

Trong thực tế người ta có thể áp dụng những loại TĐL sau: TĐL 3 pha, thực hiện đóng cả 3 pha của máy cắt sau khi nó bị cắt ra bởi bảo vệ rơle. TĐL 1 pha, thực hiện đóng máy cắt 1 pha sau khi nó bị cắt ra bởi bảo vệ chống ngắn mạch một pha. TĐL hỗn hợp, đóng 3 pha (khi ngắn mạch nhiều pha) hay đóng 1 pha (khi ngắn mạch một pha).

Riêng TĐL 3 pha được phân ra thành một số dạng: TĐL đơn giản, TĐL tác động nhanh, TĐL có kiểm tra điện áp, TĐL có kiểm tra đồng bộ....

Theo loại thiết bị mà TĐL tác động đến có: TĐL đường dây, TĐL thanh góp, TĐL máy biến áp, TĐL động cơ điện.

Theo số lần tác động có: TĐL một lần và TĐL nhiều lần.

Theo cách thức tác động đến cơ cấu truyền động của máy cắt có: TĐL điện và TĐL cơ khí.

III. các yêu cầu cơ bản đối với thiết bị TĐL:

Tùy điều kiện cụ thể, sơ đồ TĐL dùng cho đường dây hoặc những thiết bị điện khác có thể khác nhau nhiều. Nhưng tất cả các thiết bị TĐL phải thỏa mãn những yêu cầu cơ bản sau:

1) Tác động nhanh: Thời gian tác động của TĐL cần phải càng nhỏ càng tốt để đảm bảo thời gian ngừng cung cấp điện là nhỏ nhất. Ở các đường dây có nguồn cung cấp từ 2 phía tác động nhanh của TĐL cần thiết để rút ngắn thời gian khôi phục tình trạng làm việc bình thường của mạng điện. Tuy nhiên thời gian TĐL bị hạn chế bởi điều kiện khử ion hoàn toàn môi trường tại chỗ ngắt mạch nhằm đảm bảo TĐL thành công:

$$t_{\text{khử ion}} < t_{\text{TĐL}} < t_{\text{kd}}$$

Khi TĐL máy cắt dầu không cần quan tâm đến $t_{\text{khử ion}}$, nhưng đối với máy cắt không khí do thời gian đóng của nó rất bé nên phải xét đến điều kiện khử ion.

Ngoài ra thời gian tác động của TĐL còn bị giới hạn bởi thời gian cần thiết để phục hồi khả năng truyền động của máy cắt khi đóng nó trở lại và khả năng cắt nếu ngắt mạch tồn tại.

2) TĐL phải tự động trở về vị trí ban đầu sau khi tác động để chuẩn bị cho các lần làm việc sau.

3) Sơ đồ TĐL cần phải đảm bảo số lần tác động đã định trước cho nó và không được tác động lặp đi lặp lại. Phổ biến nhất là loại TĐL một lần, trong một số trường hợp người ta cũng sử dụng TĐL hai lần và TĐL ba lần.

4) Khi đóng hay mở máy cắt bằng tay thì TĐL không được tác động. Khi đóng máy cắt bằng tay, nếu nó bị cắt ra ngay lập tức bởi bảo vệ role, chứng tỏ là đã đóng máy cắt vào ngắt mạch tồn tại, lúc ấy chắc chắn việc đóng trở lại sẽ không thành công. Sơ đồ TĐL cũng cần dự tính đến khả năng cấm TĐL trong trường hợp máy cắt bị cắt ra bởi một số bảo vệ nào đó. Ví dụ, thường không cho phép TĐL máy biến áp tác động khi bảo vệ số lệch máy biến áp làm việc (hư hỏng bên trong nó).

IV. TĐL đường dây có nguồn cung cấp 1 phía:

IV.1. Hoạt động của sơ đồ:

Trên hình 9.2 là sơ đồ của thiết bị TĐL một lần khởi động bằng phương pháp không tương ứng của đường dây có nguồn cung cấp 1 phía. Hoạt động của sơ đồ trong một số chế độ làm việc của mạng điện như sau:

□ Ở chế độ vận hành bình thường, khóa điều khiển KĐK ở vị trí đóng Đ₂, tiếp điểm KĐK_{IV} mở, role 3RG có điện phản ánh vị trí đóng của MC; tiếp điểm KĐK_I đóng, tụ C được nạp đầy điện qua điện trở nạp R. Trong khi đó, do máy cắt đang đóng nên tiếp điểm phụ của nó MC₂ mở ra và role 2RG không có điện. Sơ đồ đang ở trong tình trạng sẵn sàng để tác động.

□ Khi xảy ra ngắt mạch, thiết bị bảo vệ role BV tác động cắt máy cắt, tiếp điểm phụ MC₂ đóng lại, role 2RG có điện và đóng tiếp điểm trong mạch khởi động TĐL (điện

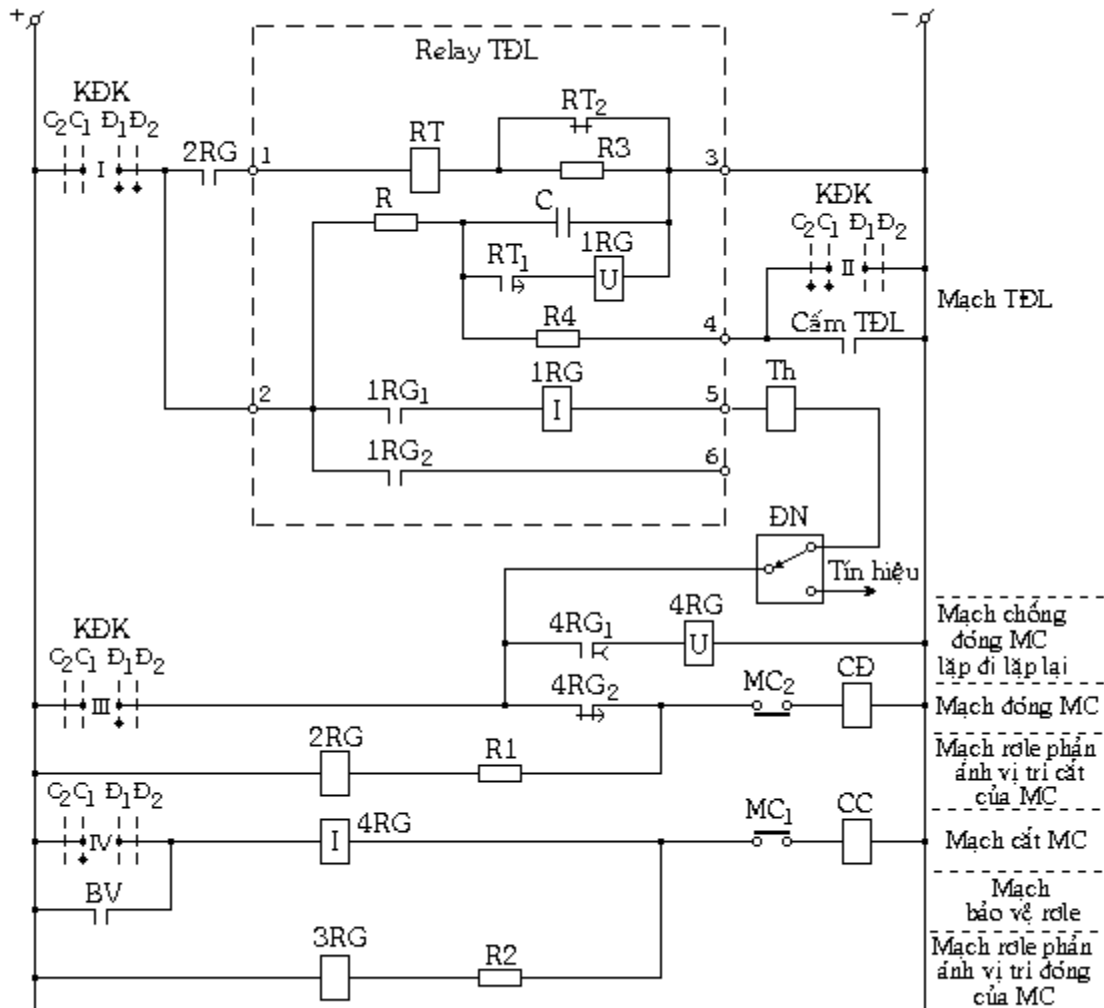
trở R1 hạn chế dòng trong mạch vừa đủ để 2RG làm việc nhưng không đủ để máy cắt đóng lại). Role RT có điện, sau một thời gian t_{RT} đặt trước tiếp điểm RT_1 khép lại. Tụ C phóng điện qua cuộn dây điện áp của role 1RG, tiếp điểm $1RG_1$ của nó khép lại và cuộn đóng CD của máy cắt có điện theo mạch: $(+) \rightarrow KĐK_I \rightarrow 1RG_1 \rightarrow$ cuộn dòng $1RG_1 \rightarrow Th \rightarrow ĐN \rightarrow 4RG_2 \rightarrow MC_2 \rightarrow CD \rightarrow (-)$. Lúc này máy cắt sẽ được đóng trở lại.

□ Nếu ngắn mạch tự tiêu tan: máy cắt sau khi được TĐL đóng lại sẽ giữ nguyên vị trí đóng, tụ C lại được nạp đầy để đưa sơ đồ trở lại trạng thái ban đầu chuẩn bị cho các lần làm việc sau.

□ Nếu ngắn mạch tồn tại: bảo vệ role lại tác động cắt máy cắt và TĐL lại khởi động như trình tự đã nêu trên. Nhưng vì tụ C đã phóng hết điện trong lần tác động trước, đến lúc này chưa được nạp đủ nên không thể làm cho role 1RG tác động được và máy cắt sẽ không thể đóng lại. Điều đó đảm bảo cho TĐL chỉ tác động một lần như đã định trước cho nó.

□ Khi mở máy cắt bằng tay (chuyển KĐK sang vị trí C_1): tiếp điểm $KĐK_I$ mở ra cắt nguồn vào RT và nguồn nạp tụ, tiếp điểm $KĐK_{II}$ nối tụ C vào điện trở phóng R4, năng lượng tích lũy ở tụ C sẽ phóng qua R4 biến thành nhiệt năng và tiêu tán ở R4. Nhờ vậy đảm bảo TĐL không thể tác động khi mở máy cắt bằng tay. Trong một số trường hợp, tiếp điểm “cấm TĐL” đóng lại, tụ C phóng điện và TĐL cũng không thể làm việc.

□ Khi đóng máy cắt bằng tay (KĐK ở vị trí $Đ_1$): tụ C bắt đầu được nạp điện, nếu máy cắt lại mở ra thì TĐL cũng không tác động được vì cho đến lúc này tụ C vẫn chưa nạp đầy.

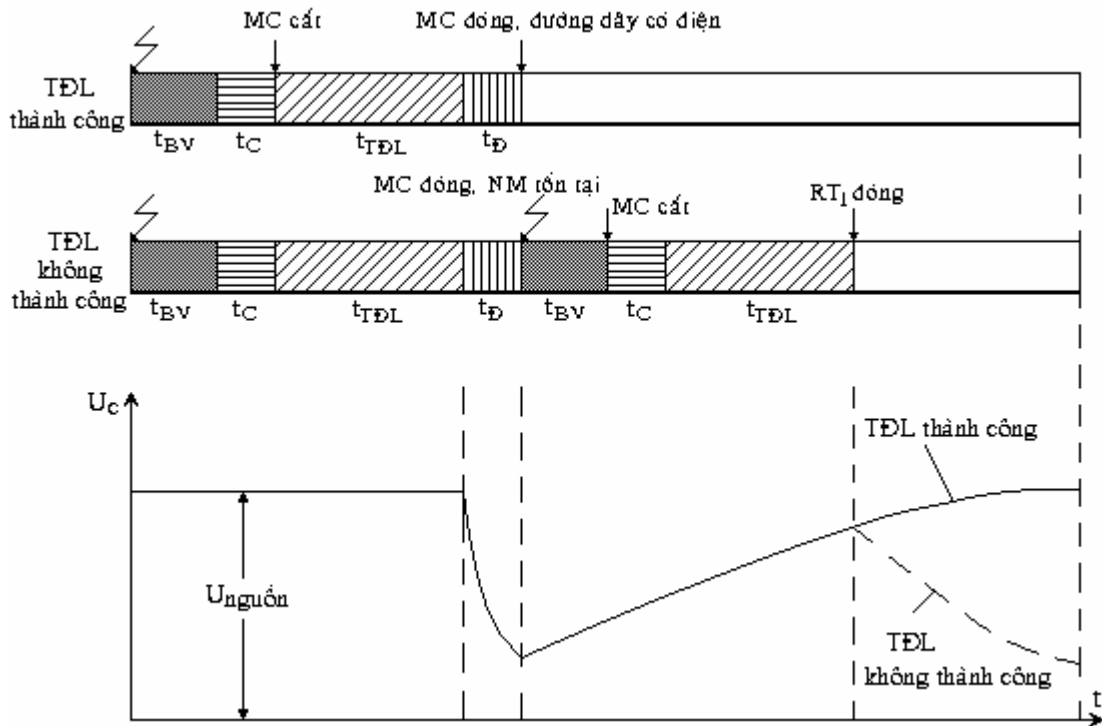


Hình 9.2: Sơ đồ thiết bị TDL một lần đường dây có nguồn cung cấp 1 phía

IV.2. Đặc điểm của sơ đồ:

- Sơ đồ khởi động theo phương pháp không tương ứng giữa vị trí của khóa điều khiển (tiếp điểm KDK_I) và vị trí của máy cắt (tiếp điểm 2RG của rơle phản ánh vị trí cắt của máy cắt).
- Tiếp điểm RT₂ và điện trở R3 nối song song để tăng lực khởi động ban đầu của RT và khi duy trì thì RT không bị phát nóng nhờ R3 cản bớt dòng.
- Rơle 1RG có hai cuộn dây, khi RT₁ khép, tụ C phóng qua cuộn dây điện áp 1RG_U, cuộn dây dòng điện 1RG_I làm nhiệm vụ tự giữ vì tụ C chỉ cung cấp một xung ngắn hạn đủ để khởi động 1RG chứ không duy trì được.
- Rơle 4RG có hai cuộn dây, để chống máy cắt đóng lặp đi lặp lại khi ngắn mạch tồn tại và hỏng hóc TDL. Ví dụ khi hỏng tiếp điểm 1RG_I (dính) và xảy ra ngắn mạch, cuộn cắt của máy cắt có điện, đồng thời cuộn dòng 4RG_I cũng có điện. Máy cắt mở ra và

các tiếp điểm $4RG_1$ đóng lại, $4RG_2$ mở ra. Nếu tiếp điểm $1RG_1$ bị dính thì ngay lập tức cuộn áp $4RG_U$ có điện để duy trì trạng thái của các tiếp điểm $4RG_1$, $4RG_2$. Do vậy mạch cuộn đóng của máy cắt bị hở và máy cắt không thể đóng lặp đi lặp lại.

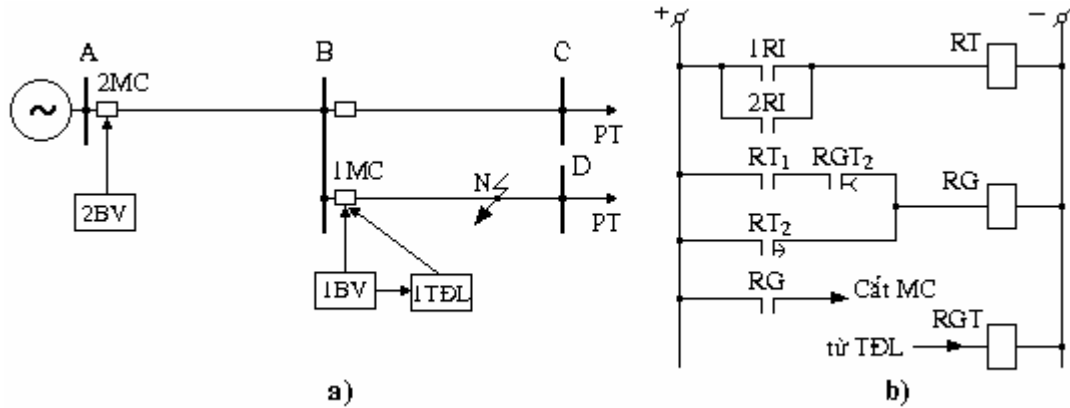


Hình 9.3: Biểu đồ thời gian trong chu trình TĐL một lần

V. Phối hợp tác động giữa bảo vệ rơle và tđl:

V.1. Tăng tốc độ tác động của bảo vệ sau TĐL:

Sau khi cắt chọn lọc đường dây bị hư hỏng, thiết bị TĐL sẽ tác động đóng máy cắt trở lại đồng thời nối tắt bộ phận tạo thời gian của bảo vệ chính (hoặc đưa bảo vệ tác động nhanh vào làm việc) trong một khoảng thời gian giới hạn nào đó, nhờ vậy đảm bảo cắt nhanh máy cắt trong trường hợp đóng trở lại đường dây vào ngắn mạch tồn tại.



Hình 9.4 : Tăng tốc độ tác động của bảo vệ sau TDL
a) Sơ đồ mạng điện b) Mạch tăng tốc

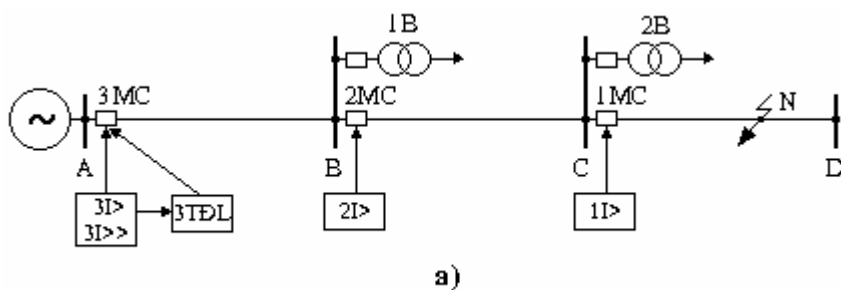
Xét sơ đồ mạng điện hình 9.4a và sơ đồ thực hiện tăng tốc hình 9.4b. Khi xảy ra ngắn mạch tại điểm N thì các tiếp điểm của role 1RI, 2RI của bảo vệ 1BV đóng mạch cuộn dây RT, tiếp điểm RT_1 đóng tức thời nhưng tiếp điểm RGT_1 đang mở nên cuộn dây RG không có điện. Sau thời gian t_{RT} thì tiếp điểm RT_2 đóng mạch cuộn dây RG để đi cắt máy cắt 1MC. Lúc này thiết bị TDL sẽ đưa xung đi đóng lại 1MC đồng thời khởi động RGT, tiếp điểm RGT_1 đóng. Nếu ngắn mạch tồn tại 1RI, 2RI và RT lại có điện nên RT_1 đóng mạch cuộn dây RG và cắt nhanh máy cắt 1MC. Nếu ngắn mạch tự tiêu tan (TDL thành công), thì sau một thời gian đủ để đóng chắc chắn 1MC tiếp điểm RGT_1 mở ra và bảo vệ 1BV lại làm việc với thời gian đặt trước cho nó.

Như vậy tăng tốc độ tác động của bảo vệ sau TDL cho phép rút ngắn thời gian cắt trở lại một hư hỏng tồn tại. Tuy nhiên cần lưu ý là bộ phận khởi động dòng của bảo vệ được tăng tốc phải chỉnh định khởi động tự khởi động của các động cơ (các động cơ bị hãm lại do mất điện trong quá trình ngắn mạch và trong chu trình TDL).

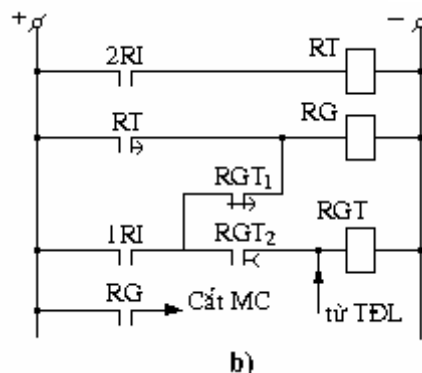
V.2. Tăng tốc độ tác động của bảo vệ trước TDL:

Cắt máy cắt lần thứ 1 bằng bảo vệ tác động nhanh không chọn lọc (ví dụ, bảo vệ dòng cắt nhanh), sau đó bảo vệ này bị khóa lại trong một khoảng thời gian nhất định để việc cắt máy cắt lần thứ 2 (nếu TDL không thành công) được thực hiện bởi các bảo vệ tác động chọn lọc.

Trong phương pháp tăng tốc độ tác động của bảo vệ trước TDL, cắt lần thứ 1 có thể xảy ra khi hư hỏng ở phần tử kề, tức là tác động không chọn lọc. Nếu hư hỏng tự tiêu tan và TDL thành công, thì tác động không chọn lọc trước đó của bảo vệ được sửa chữa bằng tác động của thiết bị TDL. Nhờ cắt nhanh ngắn mạch sẽ tạo khả năng TDL thành công lớn hơn.



Hình 9.5 : Tăng tốc độ tác động của bảo vệ trước TĐL
 a) Sơ đồ mạng điện
 b) Mạch tăng tốc



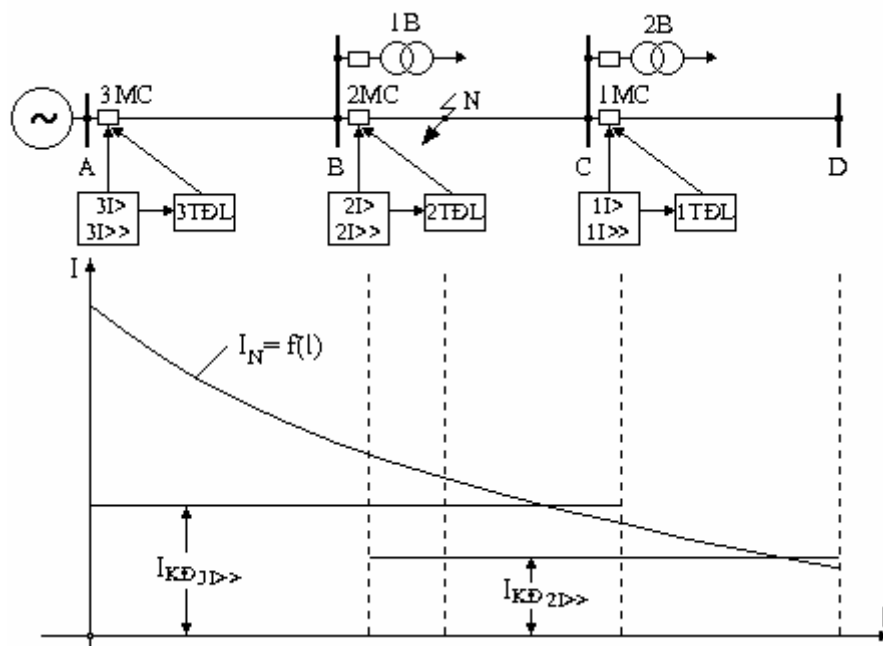
Sơ đồ bộ phận tăng tốc độ bảo vệ trước TĐL như trên hình 9.5b, tiếp điểm 1RI của bảo vệ cắt nhanh 3I>>, tiếp điểm 2RI là của bảo vệ dòng cực đại 3I>. Thiết bị TĐL đặt ở đoạn đường dây đầu tiên AB (hình 9.5a). Khi ngắn mạch trên một đoạn bất kỳ của đường dây ABCD (ví dụ, tại điểm N), lúc đầu bảo vệ cắt nhanh 3I>> tác động không thời gian đi cắt 3MC. Sau đó TĐL sẽ khởi động và đóng 3MC lại, đồng thời đưa tín hiệu đi khóa bảo vệ 3I>>. Nếu ngắn mạch tồn tại thì các bảo vệ sẽ làm việc một cách chọn lọc theo đặc tính thời gian của chúng, trong trường hợp này bảo vệ dòng cực đại 1I> có thời gian làm việc nhỏ nhất sẽ tác động cắt máy cắt 1MC. Cần lưu ý là việc khóa bảo vệ cắt nhanh 3I>> trên sơ đồ hình 9.5b được thực hiện nhờ tín hiệu từ thiết bị TĐL đưa đến RGT để làm hở mạch tác động của role 1RI.

Nhược điểm của phương pháp tăng tốc độ tác động của bảo vệ trước TĐL là nếu TĐL hoặc máy cắt 3MC bị hỏng thì tất cả các hộ tiêu thụ trên đường dây đều bị mất điện mặc dù ngắn mạch có thể chỉ ở đoạn cuối.

Muốn bảo vệ cắt nhanh 3I>> không tác động mất chọn lọc khi ngắn mạch sau các máy biến áp 1B, 2B cần phải chọn dòng khởi động của nó lớn hơn dòng ngắn mạch lớn nhất khi ngắn mạch sau các máy biến áp này. Điều này làm hạn chế phạm vi sử dụng của phương pháp, nhất là khi các đoạn đường dây khá dài và công suất các máy biến áp 1B, 2B khá lớn.

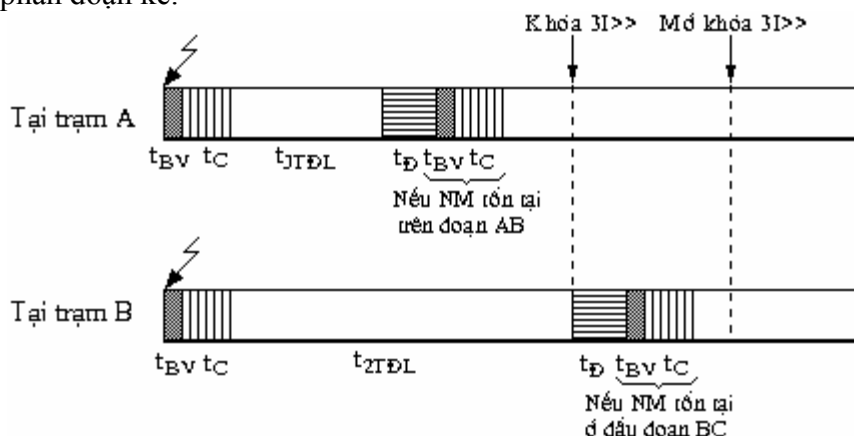
V.3. TĐL theo thứ tự:

Trong các mạng điện bao gồm nhiều đoạn đường dây nối tiếp nhau có thể thực hiện cắt nhanh ngắn mạch tồn tại cũng như thoáng qua nhờ phối hợp tác động của bảo vệ cắt nhanh và tác động theo thứ tự của thiết bị TĐL đặt tại máy cắt của những đoạn kề nhau.



Hình 9.6 : TĐL theo thứ tự

Xét sơ đồ mạng điện hình 9.6, tại các máy cắt 1MC, 2MC, 3MC tương ứng có trang bị: các thiết bị tự động đóng trở lại 1TĐL, 2TĐL, 3TĐL; các bảo vệ cắt nhanh không chọn lọc 1I>>, 2I>>, 3I>> và các bảo vệ dòng cực đại tác động chọn lọc 1I>, 2I>, 3I>. Dòng khởi động của bảo vệ cắt nhanh được chọn lớn hơn dòng khi ngắn mạch sau các máy biến áp 1B, 2B; vì vậy vùng bảo vệ sẽ bao gồm toàn bộ đoạn đường dây được bảo vệ và một phần đoạn kề.



Hình 9.7: Biểu đồ thời gian trong chu trình TĐL theo thứ tự

Xét sơ đồ mạng điện hình 9.6, tại các máy cắt 1MC, 2MC, 3MC tương ứng có trang bị: các thiết bị tự động đóng trở lại 1TĐL, 2TĐL, 3TĐL; các bảo vệ cắt nhanh không chọn lọc 1I>>, 2I>>, 3I>> và các bảo vệ dòng cực đại tác động chọn lọc 1I>, 2I>, 3I>. Dòng khởi động của bảo vệ cắt nhanh được chọn lớn hơn dòng khi ngắn mạch sau các máy biến áp 1B, 2B; vì vậy vùng bảo vệ sẽ bao gồm toàn bộ đoạn đường dây được bảo vệ và một phần đoạn kề.

Thời gian làm việc của các thiết bị TĐL được chọn tăng dần theo hướng từ nguồn trở đi:

$$t_{3TĐL} < t_{2TĐL} < t_{1TĐL}$$

Khi xảy ra ngắn mạch tại điểm N trên đoạn BC, các bảo vệ cắt nhanh 2I>> và 3I>> tác động cắt 2MC và 3MC. Thiết bị 3TĐL có thời gian nhỏ hơn nên tác động trước đóng trở lại 3MC. Vì đoạn AB không hư hỏng nên TĐL thành công. Sau đó 2TĐL sẽ tác động đóng 2MC lại. Nếu ngắn mạch là thoáng qua thì TĐL thành công. Nếu ngắn mạch tồn tại, bảo vệ cắt nhanh 2I>> sẽ tác động cắt 2MC của đoạn đường dây hư hỏng BC vì cho đến thời điểm này bảo vệ cắt nhanh 3I>> của đoạn AB đã bị khóa lại (xem biểu đồ thời gian trên hình 9.7).

Chương 10: TỰ ĐỘNG HÒA ĐỒNG BỘ

I. Các phương pháp hòa đồng bộ:

Việc đóng các máy phát điện vào làm việc trong mạng có thể tạo nên dòng cân bằng lớn và dao động kéo dài. Tình trạng không mong muốn đó xảy ra là do:

* Tốc độ góc quay của máy phát được đóng vào khác với tốc độ góc quay đồng bộ của các máy phát đang làm việc trong hệ thống điện.

* Điện áp ở đầu cực của máy phát được đóng vào khác với điện áp trên thanh góp của nhà máy điện.

Điều kiện để các máy phát điện đồng bộ có thể làm việc song song với nhau trong hệ thống điện là:

- rôto của các máy phát phải quay với một tốc độ gần như nhau.
- điện áp ở đầu cực các máy phát phải gần bằng nhau.
- góc lệch pha tương đối giữa các rôto không được vượt quá giới hạn cho phép.

Vì vậy để đóng máy phát điện đồng bộ vào làm việc song song với các máy phát khác của nhà máy điện hay hệ thống, cần phải sơ bộ làm cho chúng đồng bộ với nhau. *HÒA ĐỒNG BỘ là quá trình làm cân bằng tốc độ góc quay và điện áp của máy phát được đóng vào với tốc độ góc quay của các máy phát đang làm việc và điện áp trên thanh góp nhà máy điện, cũng như chọn thời điểm thích hợp đưa xung đi đóng máy cắt của máy phát.*

Có 2 phương pháp hòa đồng bộ : hòa đồng bộ chính xác và hòa tự đồng bộ.

□ Hòa đồng bộ chính xác :

Khi đóng máy phát bằng phương pháp hòa chính xác cần phải thực hiện những công việc sau :

- San bằng về trị số của điện áp máy phát được đóng vào U_F và điện áp mạng U_{HT} ($|U_F| \approx |U_{HT}|$)
- San bằng tốc độ góc quay của máy phát được đóng vào ω_F và tốc độ góc quay của các máy phát trong hệ thống ω_{HT} ($\omega_F \approx \omega_{HT}$).
- Làm cho góc pha của các véctơ điện áp máy phát và điện áp mạng trùng nhau vào lúc đóng máy cắt (Góc lệch pha giữa các véctơ điện áp máy phát và điện áp mạng $\delta \approx 0$)

Như vậy trình tự thực hiện hòa đồng bộ chính xác như sau: *Trước khi đóng một máy phát vào làm việc song song với các máy phát khác thì máy phát đó phải được kích từ trước, khi tốc độ quay và điện áp của máy phát đó xấp xỉ với tốc độ quay và điện áp của các máy phát khác cần chọn thời điểm thuận lợi để đóng máy phát sao cho lúc đó độ lệch điện áp giữa các máy phát gần bằng không, nhờ vậy dòng cân bằng lúc đóng máy sẽ nhỏ nhất.*

□ Hòa tự đồng bộ:

Khi đóng máy phát bằng phương pháp tự đồng bộ phải tuân theo những điều kiện sau :

- Máy phát không được kích từ (kích từ của máy phát đã được cắt ra bởi aptomat diệt từ).

- Tốc độ góc quay của máy phát đóng vào phải gần bằng tốc độ góc quay của các máy phát đang làm việc trong hệ thống.

Trình tự thực hiện: Trước khi đóng một máy phát vào làm việc song song với các máy phát khác thì máy phát đó chưa được kích từ, khi tốc độ quay của máy phát đó xấp xỉ với tốc độ quay của các máy phát khác thì máy phát đó được đóng vào, ngay sau đó dòng kích từ sẽ được đưa vào rôto và máy phát sẽ được kéo vào làm việc đồng bộ.

II. phương pháp hòa đồng bộ chính xác:

II.1. Điện áp phách và dòng cân bằng:

II.1.1. Điện áp phách:

Giả thiết điện áp ở đầu cực của máy phát và ở thanh góp của hệ thống là:

$$u_F = U \sin \omega_F t \quad \text{và} \quad u_{HT} = U \sin \omega_{HT} t$$

Điện áp phách $U_S = \Delta U$ là hiệu hình học của điện áp máy phát cần hòa và điện áp hệ thống, điện áp phách xuất hiện khi tốc độ góc quay của các vectơ điện áp này khác nhau (hình 10.1a).

$$u_S = u_F - u_{HT} = 2U \sin \frac{\omega_F - \omega_{HT}}{2} t \cdot \cos \frac{\omega_F + \omega_{HT}}{2} t = 2U \sin \frac{\omega_S}{2} t \cdot \cos \omega_{tb} \cdot t$$

trong đó :

$\omega_S = \omega_F - \omega_{HT}$: tốc độ góc trượt $\ll \omega_{db}$

$\omega_{tb} = (\omega_F + \omega_{HT})/2$: tốc độ góc trung bình $\approx \omega_{db}$

Đặt $\delta = \omega_S \cdot t$: góc lệch pha giữa các vectơ điện áp.

Khi $\cos \omega_{tb} \cdot t = 1$ thì:

$$u_S = U_S = 2U \sin \frac{\delta}{2} = 2U \sin \frac{\omega_F - \omega_{HT}}{2} \cdot t = 2U \sin \frac{\omega_S}{2} t \quad (10.1)$$

Đường cong $U_S = 2U \sin(\delta/2)$ là đường bao các giá trị biên độ của điện áp phách, biến thiên theo tần số phách f_S :

$$f_S = \frac{\omega_S}{2\pi} = \frac{\omega_F - \omega_{HT}}{2\pi} = f_F - f_{HT} = \frac{1}{T_S}$$

trong đó: T_S là chu kỳ trượt, tức là thời gian của một chu kỳ thay đổi biên độ điện áp phách.

Hình 10.1: Điện áp phách

- a) đồ thị vectơ b) sự thay đổi trị số tức thời của điện áp phách
c) sự thay đổi biên độ của điện áp phách

Theo dõi sự biến thiên của điện áp phách (hình 10.1), ta nhận thấy:

* T_S càng lớn thì tốc độ tương đối giữa hai máy phát càng nhỏ. Trên hình 10.1c là 2 chu kỳ thay đổi biên độ điện áp phách ứng với 2 giá trị tốc độ góc trượt ω_{S1} và ω_{S2} , trong đó $\omega_{S1} > \omega_{S2}$.

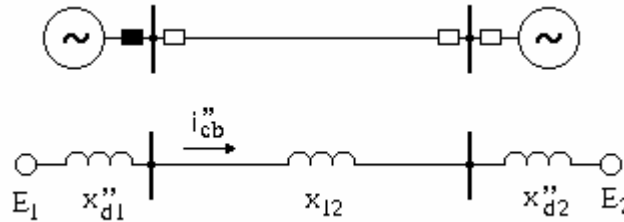
* Lúc $U_S = 0$ là thời điểm hai vector điện áp u_F và u_{HT} chập nhau rất thuận lợi để đóng máy.

II.1.2. Dòng cân bằng:

Dòng cân bằng là dòng chạy vòng qua các máy phát làm việc song song với nhau khi vector áp của chúng không bằng nhau.

Nếu hòa đồng bộ hai máy phát và khi sức điện động của chúng bằng nhau ($E_1 = E_2 = E''_0$) thì theo sơ đồ thay thế hình 10.2, dòng cân bằng sẽ được xác định bởi biểu thức:

$$i''_{cb} = \frac{\sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 2E''_d}{x''_{d1} + x''_{d2} + x_{12}} \sin \frac{\delta}{2}$$



Hình 10.2: Sơ đồ mạng và sơ đồ thay thế tính toán dòng cân bằng khi hòa đồng bộ

Khi $\delta = 180^\circ$ thì:

$$i''_{cb} = \frac{\sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 2E''_0}{x''_{d1} + x''_{d2} + x_{12}}$$

Nếu hòa máy phát vào hệ thống có công suất vô cùng lớn (tức $x''_{d1} + x_{12} \approx 0$) thì:

$$i''_{cb} = \frac{1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 2E''_0}{x''_d} = 2i_N^{(3)} \quad (10.2)$$

trong các biểu thức trên:

1,8 : hệ số kể đến thành phần không chu kỳ trong dòng siêu quá độ.

x''_{d1}, x''_{d2} : điện kháng siêu quá độ của các máy phát.

x_{12} : điện kháng đường dây liên lạc giữa hai máy phát.

$i_N^{(3)}$: dòng ngắn mạch 3 pha tại đầu cực máy phát.

II.2. Thiết bị tự động hòa đồng bộ chính xác:

II.2.1. Nguyên tắc chung:

Các thiết bị hòa đồng bộ tự động bao gồm các bộ phận thực hiện việc tự động điều chỉnh tần số và điện áp của máy phát đóng vào so với tần số và điện áp của hệ thống và bộ phận kiểm tra việc thực hiện tất cả các điều kiện hòa đồng bộ.

Để đóng máy phát đúng vào thời điểm thuận lợi (điểm 1 trên hình 10.1c) cần phải đưa xung đến máy cắt trước thời điểm này, bởi vì máy cắt có thời gian đóng riêng. Thời

gian đóng trước t_{dt} phải bằng thời gian đóng của máy cắt $t_{ĐMC}$. Thời điểm đưa xung đến máy cắt tương ứng với điểm 2 trên hình 10.1c, lúc này điện áp phách khác 0, trị số của nó được xác định bằng vị trí của điểm 2'. Góc giữa các vectơ điện áp máy phát và hệ thống tương ứng với t_{dt} gọi là góc đóng trước δ_{dt} .

$$\delta_{dt} = \omega_s \cdot t_{dt} \quad (10.3)$$

Tùy thuộc vào việc thực hiện bộ phận đóng trước, người ta chia ra 2 loại thiết bị hòa đồng bộ :

* Thiết bị hòa đồng bộ có góc đóng trước không đổi ($\delta_{dt} = \text{const.}$), đưa xung đi đóng khi góc δ đạt được một giá trị xác định không đổi.

* Thiết bị hòa đồng bộ có thời gian đóng trước không đổi ($t_{dt} = \text{const.}$), đưa xung đi đóng với thời gian đóng trước không đổi, bằng thời gian đóng $t_{ĐMC}$ của máy cắt.

Thiết bị hòa đồng bộ chính xác có thời gian đóng trước không đổi được áp dụng rộng rãi hơn.

II.2.2. Thiết bị hòa đồng bộ có thời gian đóng trước không đổi:

Ta xét một loại thiết bị hòa đồng bộ theo phương pháp hòa chính xác có thời gian đóng trước $t_{dt} = \text{const.}$, thiết bị gồm có 6 bộ phận chính (hình 10.3).

- *Bộ phận nguồn*: đảm bảo cung cấp cho các phân tử trong thiết bị hòa, đồng thời tạo nên điện áp phách U_s .

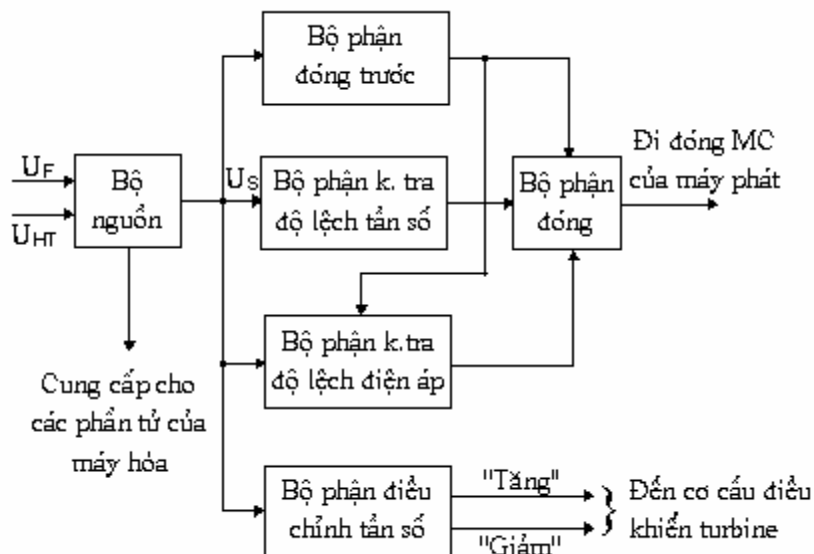
- *Bộ phận đóng trước*: đưa xung đi đóng máy cắt của máy phát trước thời điểm các vectơ U_F và U_{HT} chập nhau một khoảng thời gian $t_{dt} = \text{const.}$

- *Bộ phận kiểm tra độ lệch tần số của máy phát và hệ thống*: đảm bảo cho tín hiệu của bộ phận đóng trước thông qua đi đóng máy cắt khi độ lệch tần số không vượt quá giá trị cho phép.

- *Bộ phận kiểm tra độ lệch điện áp của máy phát và hệ thống*: cho phép tín hiệu đi đóng máy cắt thông qua khi điện áp của máy phát và hệ thống không lệch quá giá trị cho phép.

- *Bộ phận điều chỉnh tần số*: thực hiện việc điều chỉnh tần số của máy phát cần hòa so với tần số của các máy phát đang làm việc bằng cách tác động đến cơ cấu điều khiển turbine.

- *Bộ phận đóng*: tạo nên một độ dài nhất định của xung đi đóng MC.



Hình 10.3: Sơ đồ cấu trúc của máy hòa đồng bộ có $t_{dt} = const$.

Dưới đây ta sẽ khảo sát chi tiết một số bộ phận của thiết bị:

a) Bộ phận đóng trước:

Bộ phận đóng trước (hình 10.4a) bao gồm máy biến áp trung gian B4, phần tử chỉnh lưu, bộ lọc L, phần tử vi phân VP, cơ cấu không P1 và các role trung gian 1RG ÷ 3RG làm nhiệm vụ thay đổi trị số đặt về thời gian đóng trước.

Phần tử chính của bộ phận đóng trước là cơ cấu không P1, tín hiệu ở đầu ra của nó xuất hiện khi dòng điện ở 2 đầu vào đạt được giá trị bằng nhau (tại điểm a_1 và a_2 trên hình 10.4c). Tín hiệu ở đầu ra của bộ phận đóng trước là điện áp U_{dt} dạng xung chữ nhật tồn tại đến cuối chu kỳ trượt.

Dòng i_1 ở đầu vào thứ nhất của cơ cấu không P1 được xác định bằng giá trị điện áp phách U_S và điện trở R1 ÷ R3:

$$i_1 = \frac{U_S}{R} = \frac{2U}{R} \sin \frac{\omega_S t}{2} = K_1 2U \sin \frac{\omega_S t}{2} \quad (10.4)$$

trong đó: R bằng R1, R2 hoặc R3.

K_1 là hệ số tỷ lệ.

Dòng i_2 ở đầu vào thứ hai của cơ cấu không P1 được xác định bằng điện áp ở đầu ra VP (hình 10.4b). Phần tử vi phân tạo nên điện áp tỷ lệ với đạo hàm điện áp phách. Đầu vào của VP nhận được điện áp phách U_S .

Điện áp ở đầu ra VP bằng:

$$U_{ra} = RC \frac{dU_{vào}}{dt} \quad (10.5)$$

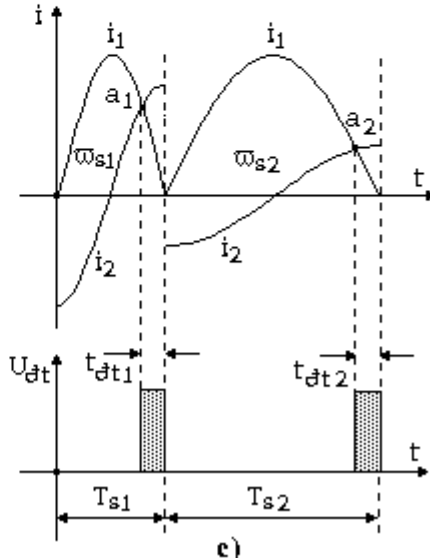
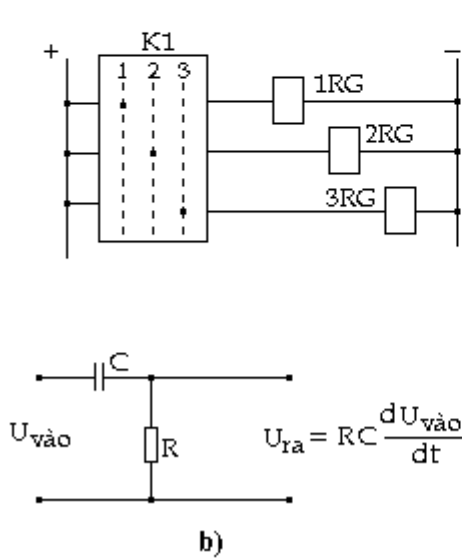
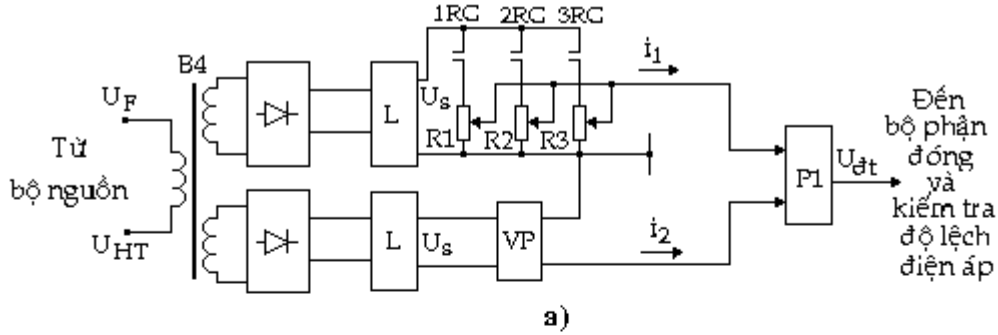
Phần tử vi phân VP được nối như thế nào để dòng i_2 tạo nên bởi điện áp U_{ra} có dạng:

$$i_2 = -K_2 \frac{dU_{vào}}{dt} \quad (10.6)$$

trong đó: $U_{\text{vào}}$ là điện áp đầu vào của phần tử vi phân ($U_{\text{vào}} = U_S$)

K_2 là hệ số tỷ lệ

Từ hình 10.4c ta thấy, vào thời điểm $t = T_S - t_{\text{dt}}$ thì $i_1 = i_2$ (vào thời điểm này phần tử không P1 sẽ cho tín hiệu đi đóng máy phát). Do vậy:



Hình 10.4: Bộ phận đóng trước của máy hòa đồng bộ
 a) Sơ đồ khối chức năng ; b) Sơ đồ phân tử vi phân VP;
 c) Đồ thị thời gian làm việc

$$K_1 2U \sin\left(\frac{\omega_s T_S}{2} - \frac{\omega_s t_{\text{dt}}}{2}\right) = -K_2 \omega_s U \cos\left(\frac{\omega_s T_S}{2} - \frac{\omega_s t_{\text{dt}}}{2}\right)$$

$$\omega_s T_S = 360^\circ \Rightarrow \text{tg} \frac{\omega_s t_{\text{dt}}}{2} = \frac{K_2 \omega_s}{2K_1}$$

$$\omega_s t_{\text{dt}} = \delta_{\text{dt}} \text{ nhỏ} \Rightarrow \frac{\omega_s t_{\text{dt}}}{2} = \frac{K_2 \omega_s}{2K_1}$$

$$\Rightarrow t_{\text{dt}} = \frac{K_2}{K_1} = \text{const.}$$

Như vậy, thời gian đóng trước tạo nên bởi cơ cấu không P1 là một đại lượng không đổi không phụ thuộc vào tốc độ góc trượt (trên hình 10.4c, ta thấy rằng $t_{\text{dt1}} = t_{\text{dt2}}$).

Để hiệu chỉnh cơ cấu không P1 có thời gian đóng trước bằng với thời gian đóng của máy cắt, dùng khóa chuyển mạch K1 điều khiển các role trung gian 1RG ÷ 3RG để thay đổi điện trở R1 ÷ R3 (hình 10.4a).

b) Bộ phận kiểm tra độ lệch tần số:

Bộ phận kiểm tra độ lệch tần số (hình 10.5a) gồm máy biến áp trung gian B5, phần tử chỉnh lưu, bộ lọc L, phần tử role P2, trigơ P3 và P5, phần tử thời gian P4 và P6.

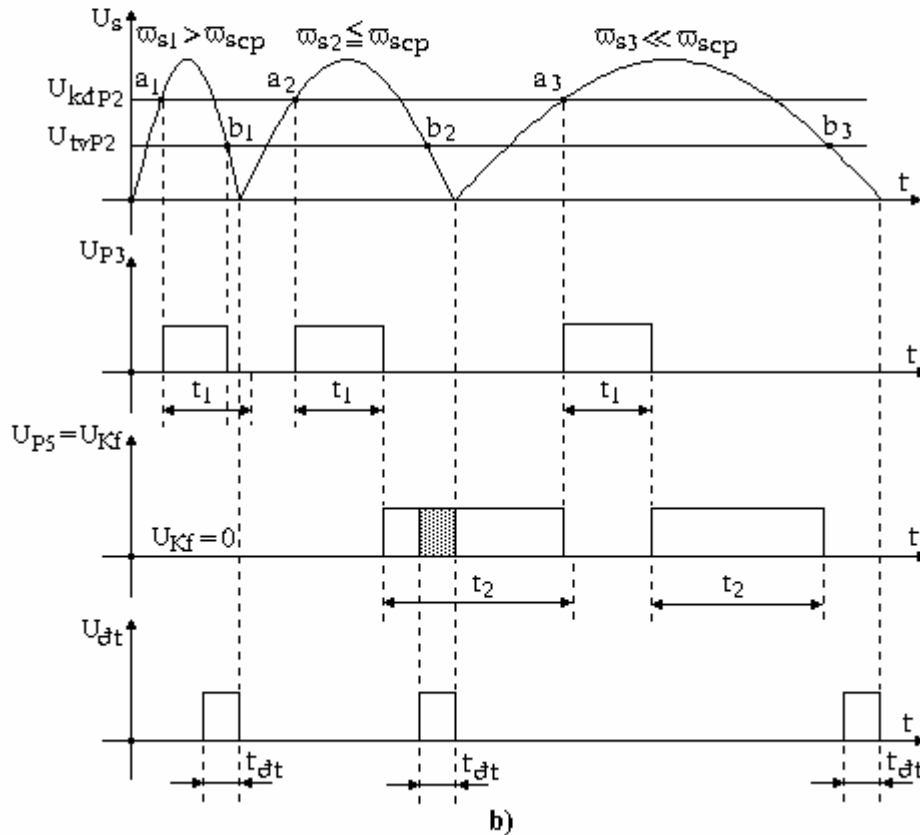
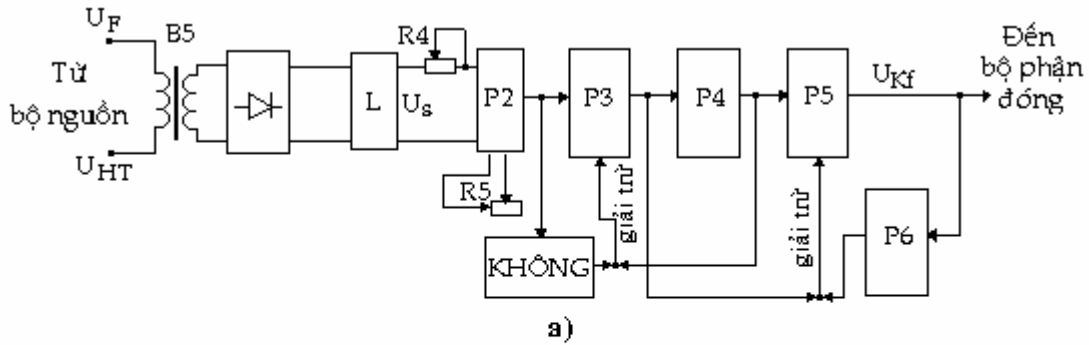
Ở đầu vào của bộ phận kiểm tra độ lệch tần số, cũng như ở đầu vào của bộ phận đóng trước, là điện áp phách u_s . Điện áp này sau khi chỉnh lưu để có U_S được đưa vào phần tử role P2. Tín hiệu ở đầu ra của phần tử P2 xuất hiện khi điện áp phách U_S đạt tới trị số điện áp khởi động $U_{kđP2}$ của phần tử P2. Tín hiệu này tồn tại đến khi nào điện áp phách giảm xuống nhỏ hơn điện áp trở về U_{tvp2} . Điện áp khởi động và trở về có thể điều chỉnh được nhờ điện trở R4 và R5. Trên đồ thị hình 10.5b, thời điểm khởi động của phần tử P2 tương ứng tại các điểm a_1, a_2, a_3 ; thời điểm trở về - điểm b_1, b_2, b_3 . Độ dài tín hiệu ở đầu ra của phần tử P2 tỷ lệ thuận với chu kỳ trượt. Để kiểm tra độ dài của chu kỳ trượt (hoặc độ lệch tần số), trong sơ đồ dùng 2 phần tử thời gian P4, P6 được điều khiển bởi các trigơ P3, P5.

Trigơ là một phần tử chuyển mạch được đặc trưng bằng 2 trạng thái cân bằng điện ổn định *có* hoặc *không có tín hiệu* ở đầu ra của nó. Trigơ chuyển từ trạng thái này sang trạng thái khác khi có tín hiệu đưa đến một trong những đầu vào của nó. Sau khi mất tín hiệu điều khiển, trigơ vẫn giữ nguyên trạng thái của mình.

Bộ phận kiểm tra độ lệch tần số làm việc như sau :

* Khi tốc độ góc trượt $\omega_{s1} > \omega_{scp}$ (ω_{scp} là tốc độ góc trượt lớn nhất cho phép lúc hòa đồng bộ): phần tử role P2 khởi động (tại điểm a_1) chuyển trigơ P3 sang trạng thái *có tín hiệu*, đảm bảo sự khởi động của phần tử thời gian P4. Ứng với tốc độ trượt này phần tử P4 có thời gian duy trì t_1 sẽ không tác động được, vì trước đó tại điểm b_1 phần tử P2 đã trở về và đồng thời phần tử logic KHÔNG đưa tín hiệu đi giải trừ trigơ P3. Điện áp ở đầu ra của bộ phận kiểm tra độ lệch tần số U_{kf} trong trường hợp này bằng không, làm ngăn cản tác động của thiết bị hòa đồng bộ.

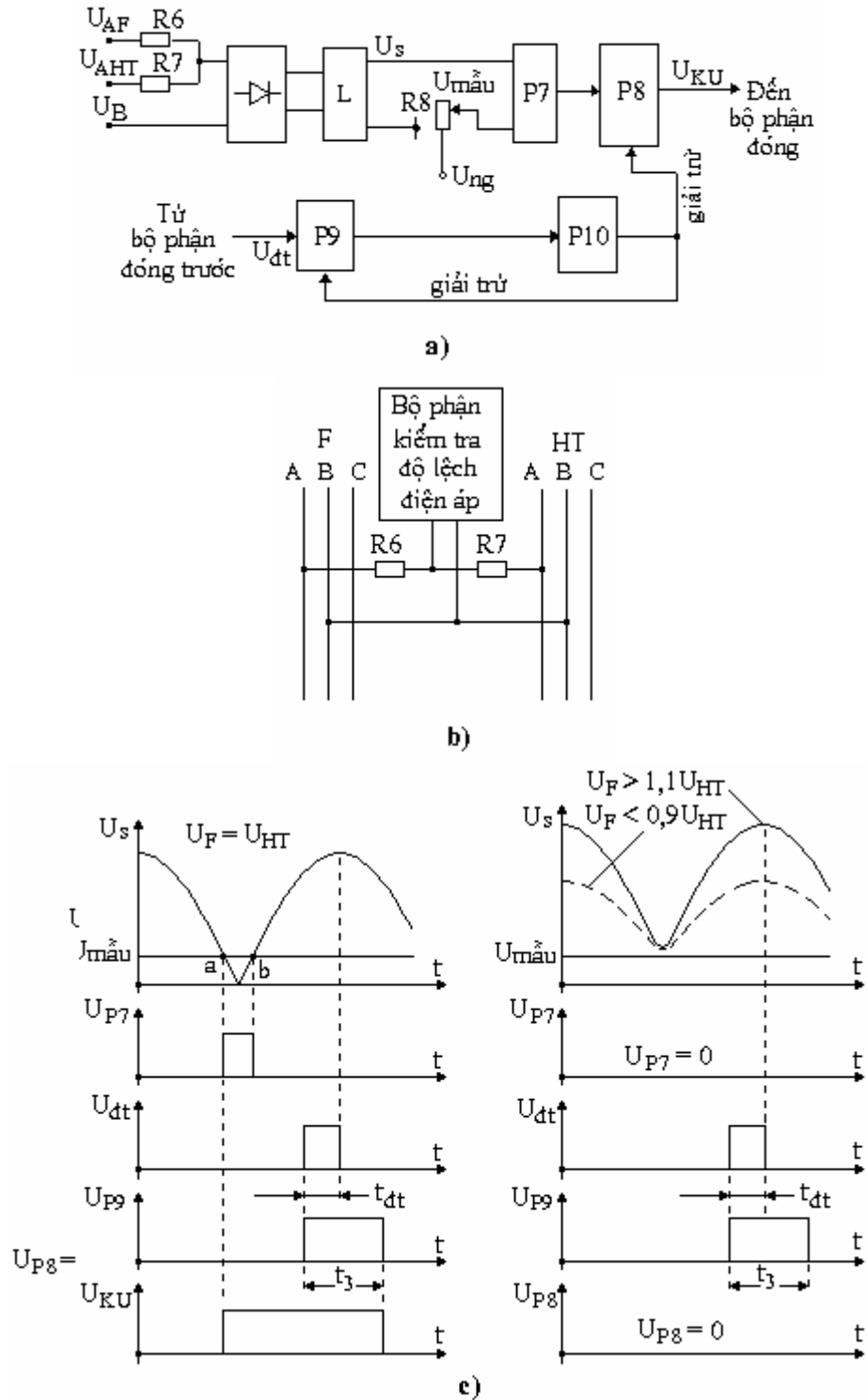
* Trong phạm vi tốc độ trượt cho phép $\omega_{s2} \leq \omega_{scp}$: ví dụ khi $\omega_{s2} = \omega_{scp}$, chu kỳ trượt lớn hơn trường hợp thứ nhất. Trong khoảng thời gian giới hạn giữa 2 điểm a_2 và b_2 , phần tử thời gian P4 làm việc thành công. Tín hiệu ở đầu ra của nó chuyển trigơ P3 sang trạng thái *không tín hiệu*, chuyển trigơ P5 sang trạng thái *có tín hiệu*.



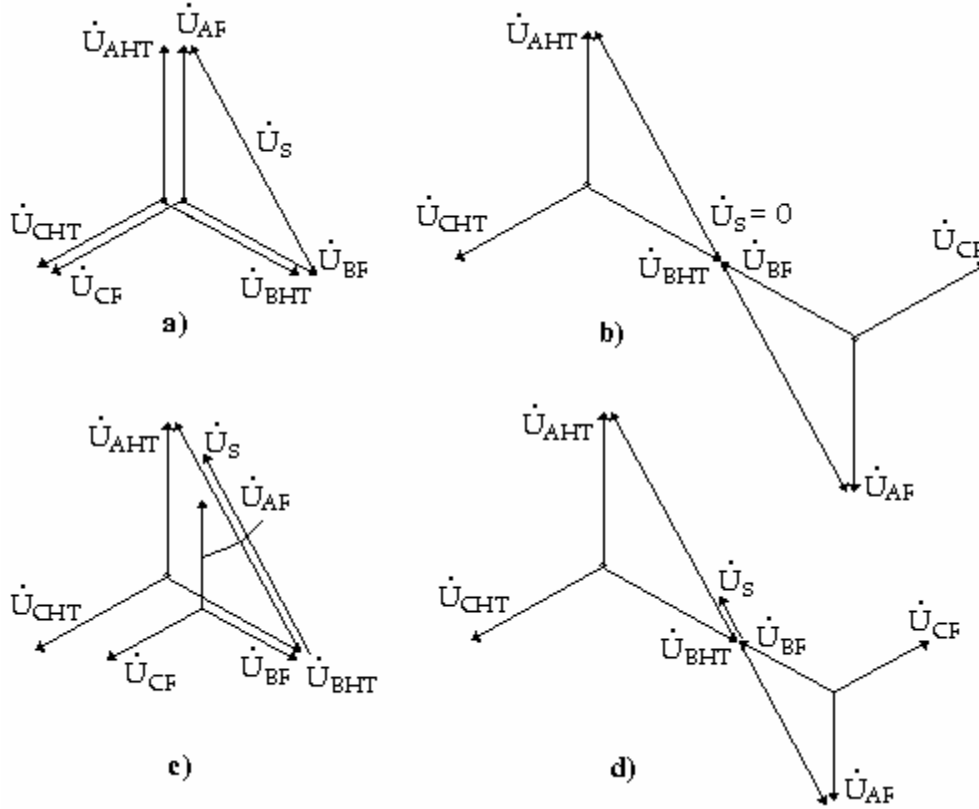
Hình 10.5: Bộ phận kiểm tra độ lệch tần số của máy hòa đồng bộ
a) Sơ đồ khối chức năng ; b) Đồ thị thời gian làm việc

Trigơ P5 là phân tử đầu ra của bộ phận kiểm tra độ lệch tần số, điện áp U_{Kf} ở đầu ra của nó được đưa đến bộ phận đóng của thiết bị hòa đồng bộ. Độ dài của tín hiệu đầu ra được xác định bằng thời gian duy trì t_2 của phân tử thời gian P6. Độ dài của tín hiệu đầu ra có thể nhỏ hơn khoảng thời gian t_2 nếu sau khi bộ phận kiểm tra độ lệch tần số làm việc, quá trình trượt tần số vẫn chưa chấm dứt. Tín hiệu đầu ra mất đi khi phân tử P2 khởi động trong chu kỳ trượt kế tiếp (điểm a_3 trên hình 10.5b).

Trong vùng tốc độ trượt cho phép, điện áp U_{Kf} ở đầu ra của bộ phận kiểm tra độ lệch tần số và điện áp $U_{đt}$ ở đầu ra của bộ phận đóng trước có một vùng trùng nhau (vùng gạch chéo), tại vùng đó khi đảm bảo tuân theo đúng những điều kiện hòa đồng bộ còn lại sẽ xuất hiện tín hiệu đi đóng máy cắt.



Hình 10.6: Bộ phận kiểm tra độ lệch điện áp của máy hòa đồng bộ
 a) Sơ đồ khối chức năng ; b) Sơ đồ nối vào điện áp phách
 c) Đồ thị thời gian làm việc



Hình 10.7: Đồ thị vectơ giải thích đặc tính thời gian của bộ phận kiểm tra độ lệch điện áp

- a) $\delta = 0$; $U_F = U_{HT}$ b) $\delta = 180^\circ$; $U_F = U_{HT}$
 c) $\delta = 0$; $U_F < U_{HT}$ d) $\delta = 180^\circ$; $U_F < U_{HT}$

* Khi tốc độ góc trượt $\omega_{s3} \ll \omega_{scp}$: Bộ phận kiểm tra độ lệch tần số khóa thiết bị hòa đồng bộ không những khi tần số trượt lớn hơn cho phép mà còn cả khi tốc độ trượt quá bé. Chế độ tốc độ trượt quá bé được đặc trưng bằng hiện tượng “treo” tần số của máy phát. Chế độ này không tốt vì quá trình tiến đến trùng khít vectơ điện áp máy phát và điện áp hệ thống diễn ra chậm chạp làm kéo dài thời gian đóng máy phát. Sự làm việc của các phần tử trong bộ phận này khi tốc độ trượt quá bé được minh họa trên đồ thị thời gian hình 10.5b. Từ đồ thị ta thấy rằng, điện áp U_{Kf} ở đầu ra của bộ phận kiểm tra độ lệch tần số và điện áp U_{dt} ở đầu ra của bộ phận đóng trước không trùng nhau về thời gian, điều này làm cho tín hiệu đi đóng máy cắt ở bộ phận đóng không xuất hiện.

c) Bộ phận kiểm tra độ lệch điện áp:

Bộ phận kiểm tra độ lệch điện áp (hình 10.6a) bao gồm phần tử chỉnh lưu, bộ lọc L, cơ cấu không P7, trigơ P8 và P9, phần tử thời gian P10. Đầu vào của bộ phận kiểm tra độ lệch điện áp là điện áp phách lấy giữa điểm giữa của phân áp R6-R7 với điện áp U_B (hình 10.6b). Điện áp phách mà bộ phận này sử dụng lệch 180° so với điện áp phách từ pha U_{AF} và U_{AHT} . Đường biểu diễn sự thay đổi điện áp phách ở đầu vào như trên hình 10.6c. Đồ thị vectơ giải thích tính chất thay đổi của điện áp phách trên hình 10.7. Từ đó ta thấy rằng, điện áp phách mà bộ phận này sử dụng có trị số cực đại khi $\delta = 0^\circ$, cực tiểu khi δ

=180°. Việc kiểm tra độ lệch điện áp máy phát và hệ thống được thực hiện ở vùng có góc $\delta \approx 180^\circ$. Vào thời điểm $\delta = 180^\circ$, nếu $U_F = U_{HT}$ thì điện áp phách bằng 0, nếu $U_F \neq U_{HT}$ thì điện áp phách lớn hơn 0.

Điện áp phách U_S đưa đến đầu vào thứ nhất của cơ cấu không P7, ở đầu vào thứ hai của nó là điện áp mẫu $U_{mẫu}$ từ bộ nguồn U_{ng} . Điện áp mẫu có thể điều chỉnh được nhờ điện trở R8. Điện áp mẫu lấy bằng độ lệch cho phép của điện áp máy phát và hệ thống, vào khoảng $(10 \div 11)\% U_{dm}$.

Bộ phận kiểm tra độ lệch điện áp làm việc như sau :

* Nếu $U_F = U_{HT}$ hay nếu độ lệch U_F và U_{HT} không vượt quá giá trị cho phép, thì cơ cấu không P7 khởi động. Tín hiệu ở đầu ra của P7 xuất hiện trong vùng góc $\delta \approx 180^\circ$ khi điện áp phách và điện áp mẫu bằng nhau (điểm a trên hình 10.6c), tại điểm b tín hiệu này mất đi. Trigrơ P8 ghi nhận sự khởi động của phần tử P7, tín hiệu ở đầu ra của P8 là điện áp U_{KU} được đưa đến bộ phận đóng. Độ dài của tín hiệu đầu ra được giới hạn bởi phần tử thời gian P10 điều khiển bằng trigrơ P9 theo tín hiệu từ bộ phận đóng trước. Thời gian t_3 của P10 được tính toán đủ để đảm bảo cho bộ phận đóng làm việc một cách chắc chắn trong vùng góc $\delta = 0^\circ$ (hay 360°).

* Nếu độ lệch điện áp máy phát U_F và hệ thống U_{HT} vượt quá giá trị cho phép, điện áp phách luôn luôn lớn hơn điện áp mẫu $U_{mẫu}$, vì vậy cơ cấu không P7 không khởi động, điện áp đầu ra U_{KU} bằng 0 và bộ phận đóng bị khóa.

d) Bộ phận điều chỉnh tần số:

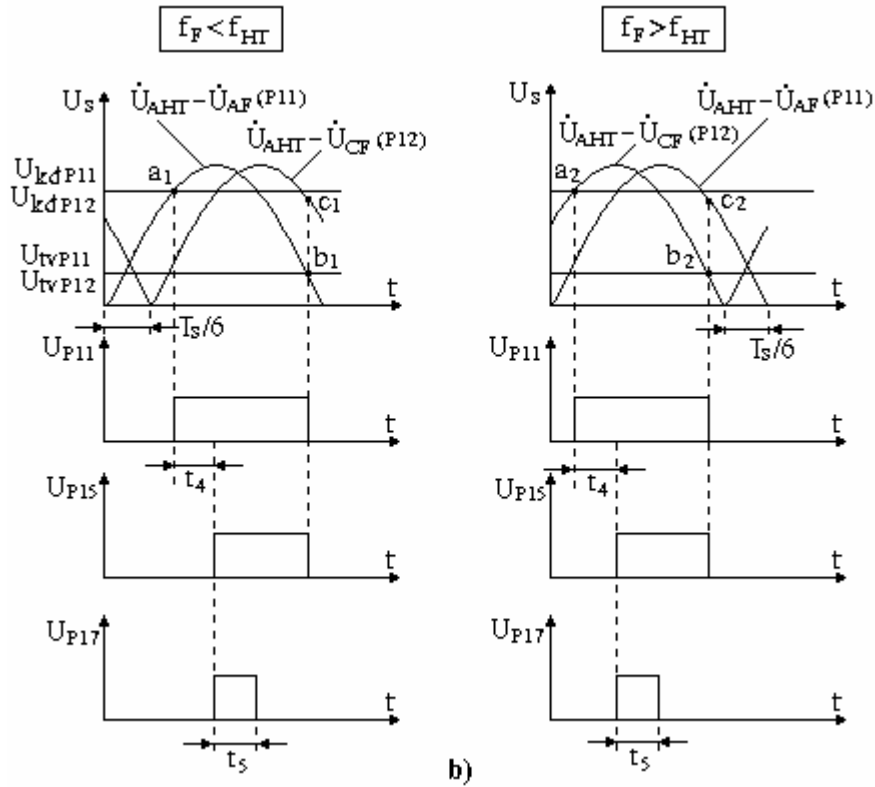
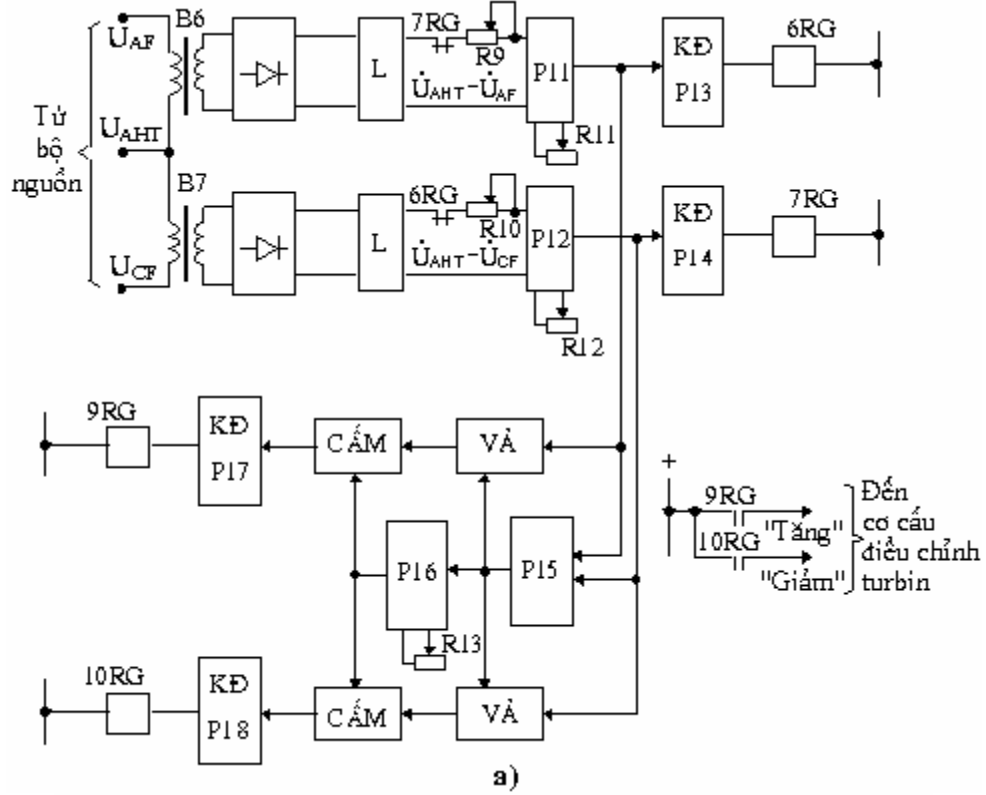
Bộ phận điều chỉnh tần số (hình 10.8a) bao gồm các máy biến áp trung gian B6 và B7, phần tử chỉnh lưu và bộ lọc L, phần tử role P11 và P12, bộ khuếch đại P13, P14, P17, P18, phần tử thời gian P15 và P16, role trung gian 6RG, 7RG và role đầu ra 9RG, 10RG. Bộ phận này có hai phần đối xứng: phần thứ nhất gồm các phần tử B6, P11, P13, 6RG, P17, 9RG có nhiệm vụ làm tăng tần số máy phát, phần thứ hai gồm các phần tử B7, P12, P14, 7RG, P18, 10RG làm giảm tần số máy phát. Phần tử P15 và P16 chung cho cả 2 phần.

Đưa vào máy biến áp B6 là điện áp phách tạo nên bởi U_{AHT} và U_{AF} , vào máy biến áp B7 là điện áp phách tạo nên bởi U_{AHT} và U_{CF} . Từ đồ thị vectơ trên hình 10.9 ta thấy: khi $f_F < f_{HT}$ ($\omega_S = \omega_F - \omega_{HT} < 0$), điện áp U_{P12} trên phần tử P12 chậm 60° sau điện áp U_{P11} trên phần tử P11; khi $f_F > f_{HT}$ ($\omega_S = \omega_F - \omega_{HT} > 0$), điện áp U_{P12} trên phần tử P12 vượt 60° trước điện áp U_{P11} trên phần tử P11. Tính chất thay đổi điện áp phách như vậy được dùng để xác định dấu của độ lệch tần số máy phát và tần số hệ thống nhằm tạo nên các tác động điều khiển tương ứng.

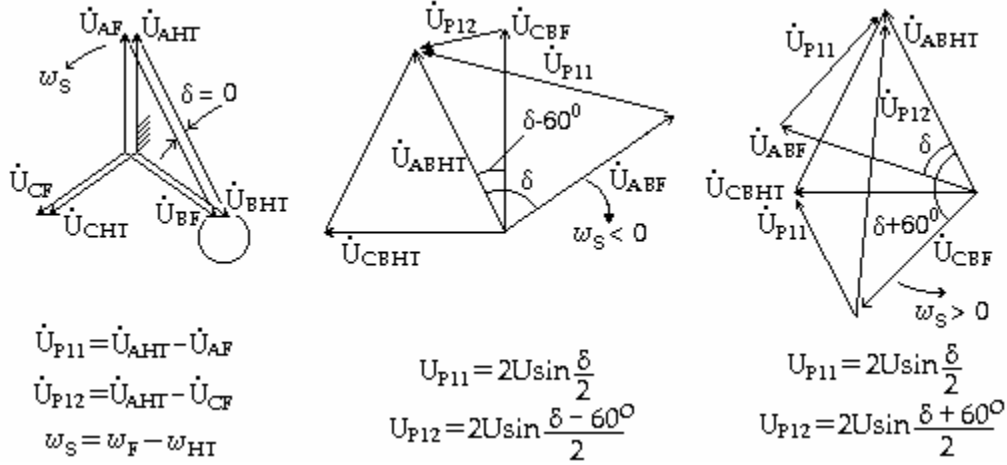
Phần tử role P11, P12 được chỉnh định ở cùng một điện áp khởi động và điện áp trở về như nhau, việc chỉnh định được thực hiện nhờ các điện trở R9 ÷ R12. Điện áp trở về được điều chỉnh khá thấp để vào thời điểm trở về của một phần tử (điểm b_1 hoặc b_2 trên hình 10.8b), điện áp trên phần tử kia sẽ nhỏ hơn điện áp khởi động (điểm c_1 hoặc c_2). Nhờ vậy loại trừ được khả năng cùng khởi động 2 phần tử role P11, P12 trong một chu kỳ trượt.

Bộ phận điều chỉnh tần số tác động như sau :

* Nếu $f_F < f_{HT}$ thì phần tử role P11 khởi động trước (điểm a_1 trên hình 10.8). Điện áp xuất hiện ở đầu ra của nó và qua bộ khuếch đại P13 làm role trung gian 6RG tác động. Tiếp điểm của 6RG mở ra cắt mạch điện áp đưa đến phần tử P12, khóa phần



Hình 10.8: Bộ phận điều chỉnh tần số
 a) Sơ đồ khối chức năng ; b) Đồ thị thời gian làm việc.

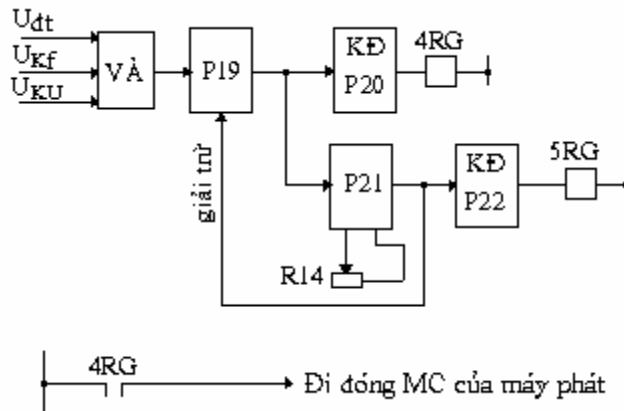


Hình 10.9: Đồ thị vector giải thích đặc tính của bộ phận điều chỉnh

động đi giảm tần số. Khóa liên động như vậy có tác dụng cho đến khi phần tử P11 trở về (điểm b₁). Khi P11 tác động, phần tử thời gian P16 sẽ khởi động sau thời gian chậm trễ t₄ của phần tử thời gian P15, qua phần tử P17 và role đầu ra 9RG đưa tín hiệu tác động đến cơ cấu điều khiển turbine theo hướng “tăng tốc độ”.

Thời gian t₄ cần thiết để loại trừ khả năng tác động đến turbine khi khởi động ngắn hạn phần tử P11 và P12 vào thời điểm đóng của máy hòa đồng bộ. Độ dài của tín hiệu đưa đến cơ cấu điều khiển turbine được giới hạn bởi thời gian t₅ tạo nên bằng phần tử P16. Trị số đặt của phần tử P16 có thể điều chỉnh được nhờ điện trở R13. Như vậy trong mỗi chu kỳ trượt, bộ phận này tạo nên một xung tác động đưa đến bộ điều chỉnh tần số quay của turbine. Tần số trượt càng lớn thì xung điều chỉnh càng dày, nghĩa là bộ phận điều chỉnh tần số thực hiện một sự điều chỉnh bằng xung tỉ lệ.

* Bộ phận điều chỉnh tần số cũng tác động tương tự khi $f_F > f_{HT}$ nhưng theo hướng ngược lại và tạo xung tác động làm “giảm tốc độ” của máy phát.



Hình 8.10: Sơ đồ khối chức năng của bộ phận đóng

e) Bộ phận đóng:

Bộ phận đóng trên hình 8.10 gồm có phần tử VA, trigơ P19, khuếch đại P20 và P22, role đầu ra 4RG, phần tử thời gian P21 và role giới hạn xung đóng 5RG. Tín hiệu đi đóng máy cắt của máy phát được tạo nên bởi phần tử VA khi tồn tại đồng thời 3 tín hiệu

ở đầu vào của nó: điện áp ở đầu ra của bộ phận đóng trước U_{dt} , điện áp ở đầu ra của bộ phận kiểm tra độ lệch tần số U_{kf} và điện áp ở đầu ra của bộ phận kiểm tra độ lệch điện áp U_{ku} . Tín hiệu này được ghi nhận bằng trigơ P19 và rơle đầu ra 4RG. Mạch giới hạn tín hiệu đi đóng máy cắt gồm các phần tử P21, P22 và rơle 5RG. Khi tín hiệu đi đóng máy cắt được phát đi thì phần tử thời gian P21 cũng khởi động. Sau thời gian duy trì t_6 của P21, rơle 5RG sẽ tác động, tiếp điểm của 5RG mở mạch cung cấp cho bộ phận nguồn của thiết bị hòa đồng bộ. Như vậy sau khi thực hiện thao tác tự động đóng máy phát, thiết bị hòa đồng bộ cũng sẽ được tự động tách ra.

III. phương pháp hòa TỰ đồng bộ:

III.1. Dòng cân bằng:

Điểm đặc biệt của phương pháp hòa tự đồng bộ là vào thời điểm đóng máy phát vào hệ thống sẽ kéo theo sự tăng vọt của dòng điện.

Theo sơ đồ thay thế hình 8.11b, dòng cân bằng xuất hiện khi đóng máy phát được xác định bằng công thức:

$$i_{cb}'' = \frac{\sqrt{2.1,8.U_{HT}}}{X_{dF}'' + X_{II} + X_{HT}} \quad (10.7)$$

trong đó:

X_{dF}'' : điện kháng siêu quá độ dọc trục của máy phát .

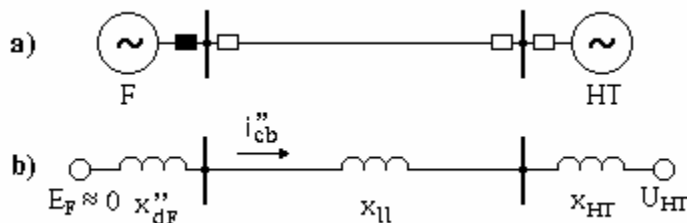
X_{HT} : điện kháng của hệ thống.

X_{II} : điện kháng của phần tử liên lạc giữa máy phát và hệ thống.

Khi đóng máy phát vào hệ thống có công suất vô cùng lớn ($X_{HT} = 0$; $X_{II} = 0$) thì:

$$i_{cb}'' = \frac{\sqrt{2.1,8.U_{HT}}}{X_{dF}''} \approx i_N^{(3)} \quad (10.8)$$

Ta thấy dòng cân bằng khi hòa tự đồng bộ xấp xỉ dòng ngắn mạch 3 pha ở đầu cực máy phát và nó nhỏ hơn dòng cân bằng lớn nhất khi hòa đồng bộ chính xác. Đóng máy phát bằng phương pháp tự đồng bộ cũng làm giảm thấp điện áp ở đầu cực của máy phát, ảnh hưởng không tốt đến sự làm việc của các hộ tiêu thụ nối với thanh góp điện áp máy phát của nhà máy điện.



Hình 8.11: Sơ đồ hòa tự đồng bộ máy phát điện
a) Sơ đồ nối điện b) Sơ đồ thay thế

Ưu điểm chính của phương pháp tự đồng bộ là có khả năng đóng máy phát vào mạng khá nhanh so với phương pháp hòa chính xác. Điều này đặc biệt quan trọng khi đóng máy phát trong điều kiện sự cố của mạng điện, lúc ấy cần phải đóng nhanh máy phát dự trữ.

III.2. Thiết bị hòa tự đồng bộ:

Ở các nhà máy nhiệt điện, việc hòa tự đồng bộ được thực hiện nửa tự động do sự phức tạp của quá trình tự động khởi động các phần nhiệt của nhà máy từ trạng thái tĩnh. Ở các nhà thủy điện, người ta áp dụng các thiết bị tự động khởi động các tổ máy phát thủy điện, vì vậy có thể sử dụng thiết bị hòa tự đồng bộ tự động cũng như nửa tự động.

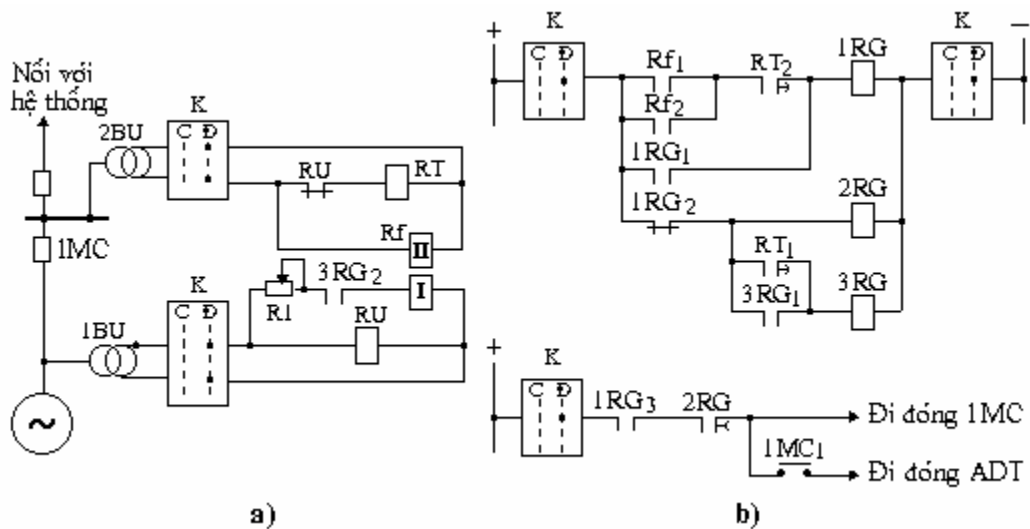
Thiết bị hòa tự đồng bộ nửa tự động đảm bảo tự động đóng máy cắt của máy phát chưa được kích từ khi tần số quay của máy phát gần bằng tần số quay của các máy phát khác đang làm việc. Việc điều chỉnh tần số quay của máy phát trước khi đóng vào có thể được tiến hành bằng tay bằng cách tác động đến bộ điều chỉnh tốc độ quay của turbine, máy phát được kích từ sau khi đóng máy cắt của nó.

Dưới đây, chúng ta khảo sát thiết bị hòa tự đồng bộ nửa tự động áp dụng ở các nhà máy nhiệt điện.

Phần tử chính của thiết bị (hình 8.12) là rơle hiệu tần số R_f , có nhiệm vụ kiểm tra độ lệch tần số của điện áp máy phát và hệ thống. Cuộn I của R_f nối vào máy biến điện áp 1BU của máy phát và nối nối tiếp với điện trở R_1 . Cuộn II của R_f nối với máy biến điện áp 2BU của hệ thống.

Thiết bị hòa tự đồng bộ nửa tự động được đưa vào làm việc bằng cách chuyển khóa điều khiển K sang vị trí Đ, đóng mạch 1BU, 2BU, mạch thao tác một chiều và mạch đầu ra.

Khi chưa được kích từ, trị số điện áp dư của mỗi máy phát một khác nhau. Để điện áp từ 1BU của các máy phát khác nhau đưa đến cuộn I của rơle R_f gần bằng nhau, mỗi máy phát được hiệu chỉnh với một trị số điện trở R_1 khác nhau. Việc điều chỉnh biến trở R_1 được thực hiện khi hiệu chỉnh thiết bị.



Hình 8.12: Sơ đồ thiết bị hòa tự đồng bộ nửa tự động
a) Mạch xoay chiều ; b) Mạch thao tác

Vào lúc đưa điện áp đến các cuộn dây của role Rf, tiếp điểm của role có thể đóng ngắn hạn. Để loại trừ tác động không đúng của thiết bị, cuộn dây I và II của Rf được nối vào 1BU và 2BU không cùng một lúc: trước tiên nối cuộn dây II, sau đó một thời gian (khoảng vài sec) được hiệu chỉnh ở tiếp điểm RT1 của role thời gian RT, cuộn dây I được nối vào nhờ role trung gian 3RG (qua tiếp điểm 3RG₂). Ngoài ra thời gian duy trì của tiếp điểm RT2 trong mạch gồm các tiếp điểm Rf₁ và Rf₂ cần thiết để loại trừ sự tác động không đúng của role vào lúc đưa điện áp đến cuộn I của role Rf.

Khi tần số trượt bằng tần số khởi động của role Rf, role đầu ra 1RG của thiết bị sẽ khởi động và tự duy trì bằng tiếp điểm 1RG₁. Tiếp điểm 1RG₃ khép mạch đóng máy cắt 1MC của máy phát. Sau khi đóng 1MC, aptomat diệt từ ADT của máy phát đóng lại đưa kích từ đến cuộn dây rôto máy phát (trạng thái đóng của máy phát được kiểm tra bằng tiếp điểm phụ 1MC₁). Máy phát đã được kích từ và sẽ được kéo vào làm việc đồng bộ.

Role 1RG tự giữ để đảm bảo đóng chắc chắn 1MC và ADT của máy phát. Role trung gian 2RG khi trở về có thời gian chậm trễ nhằm giới hạn độ dài tín hiệu đi đóng 1MC và ADT. Role Rf không được tính toán để chịu đựng lâu dài điện áp định mức từ 1BU của máy phát đã được kích từ. Do vậy để loại trừ tác hại đến cuộn dây I của nó, tiếp điểm 3RG₂ sẽ mở mạch cung cấp cho cuộn dây I sau khi 3RG trở về do 1RG₂ mở ra. Role RU nhận điện áp từ 1BU có nhiệm vụ khóa mạch đưa điện áp định mức của máy phát được kích từ đến cuộn I của role Rf trong trường hợp xảy ra thao tác nhầm lẫn của nhân viên vận hành (đóng kích từ trước khi đóng máy phát vào hệ thống). Tiếp điểm RU mở mạch cuộn dây RT và nhờ vậy loại trừ khả năng khởi động của 3RG.

Chương 11: TỰ ĐỘNG ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN ÁP VÀ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

I. Khái niệm chung:

Duy trì điện áp bình thường là một trong những biện pháp cơ bản để đảm bảo chất lượng điện năng của hệ thống điện. Điện áp giảm thấp quá mức có thể gây nên độ trượt quá lớn ở các động cơ không đồng bộ, dẫn đến quá tải về công suất phản kháng ở các nguồn điện. Điện áp giảm thấp cũng làm giảm hiệu quả phát sáng của các đèn chiếu sáng, làm giảm khả năng truyền tải của đường dây và ảnh hưởng đến độ ổn định của các máy phát làm việc song song. Điện áp tăng cao có thể làm già cỗi cách điện của thiết bị điện (làm tăng dòng rò) và thậm chí có thể đánh thủng cách điện làm hư hỏng thiết bị.

Điện áp tại các điểm nút trong hệ thống điện được duy trì ở một giá trị định trước nhờ có những phương thức vận hành hợp lý, chẳng hạn như tận dụng công suất phản kháng của các máy phát hoặc máy bù đồng bộ, ngăn ngừa quá tải tại các phần tử trong hệ thống điện, tăng và giảm tải hợp lý của những đường dây truyền tải, chọn tỷ số biến đổi thích hợp ở các máy biến áp ...

Điện áp cũng có thể được duy trì nhờ các thiết bị tự động điều chỉnh kích từ (TĐK) của các máy phát điện và máy bù đồng bộ, các thiết bị tự động thay đổi tỷ số biến đổi của máy biến áp, các thiết bị tự động thay đổi dung lượng của các tụ bù tĩnh ...

II. Thiết bị TĐK:

Thiết bị tự động điều chỉnh kích từ (TĐK) được sử dụng để duy trì điện áp theo một đặc tính định trước và để phân phối phụ tải phản kháng giữa các nguồn cung cấp trong tình trạng làm việc bình thường của hệ thống điện.

II.1. Các nguyên tắc thực hiện tự động điều chỉnh kích từ:

Máy phát được đặc trưng bằng sức điện động E_F và điện kháng X_F (hình 11.5). Áp đầu cực máy phát được xác định theo biểu thức :

$$U_F = E_F - j I_F X_F \quad (11.2)$$

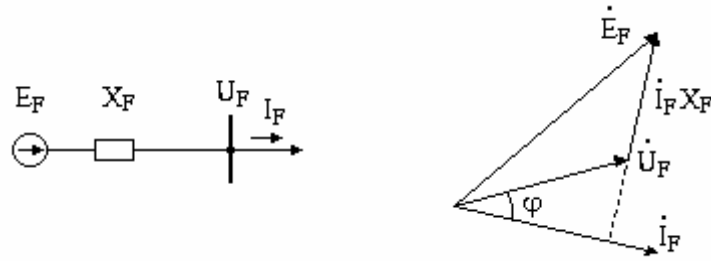
Nếu $E_F = \text{const}$, khi I_F thay đổi thì U_F thay đổi, để giữ $U_F = \text{const}$ thì phải thay đổi E_F tức là thay đổi kích từ máy phát.

Theo nguyên tắc tác động, thiết bị tự động điều chỉnh điện áp được chia thành 3 nhóm:

□ Điều chỉnh điện áp theo độ lệch của đại lượng được điều chỉnh (ví dụ, theo độ lệch của U_F).

□ Điều chỉnh điện áp tùy thuộc vào tác động nhiễu (ví dụ, theo dòng điện của máy phát I_F , theo góc φ giữa điện áp và dòng điện của máy phát, ...).

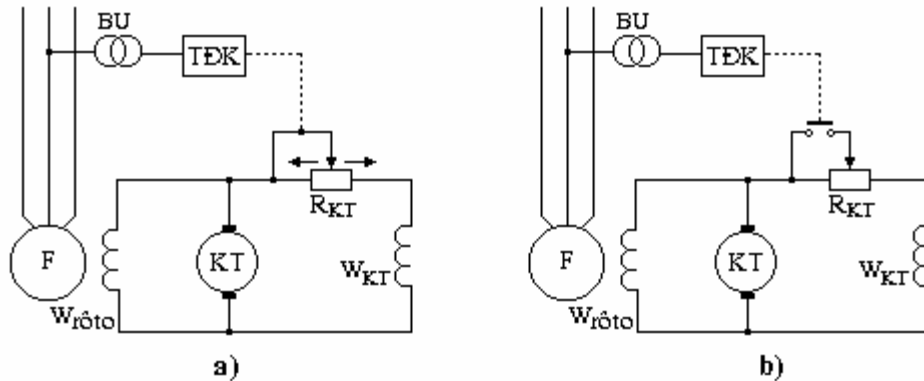
□ Điều chỉnh điện áp theo độ lệch của đại lượng được điều chỉnh và theo tác động nhiều.



Hình 11.5 : Sơ đồ thay thế và đồ thị vectơ điện áp của máy phát

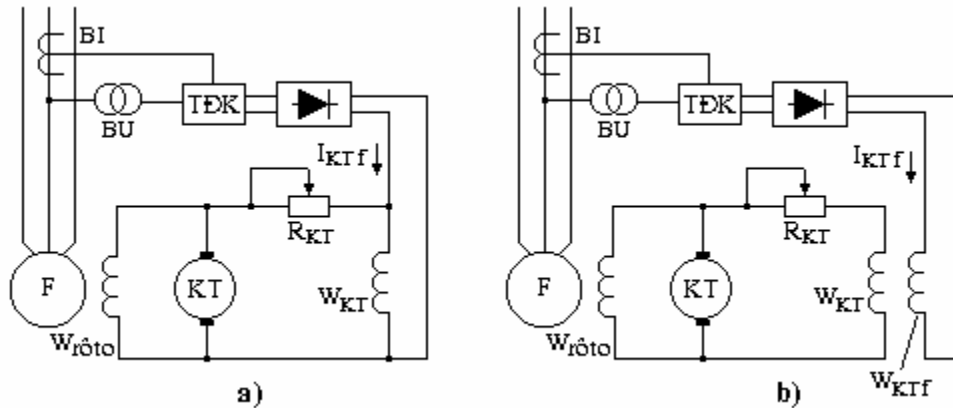
Đối với các máy phát điện dùng máy kích thích một chiều, các thiết bị điều chỉnh điện áp có thể chia thành 2 nhóm:

a) Thay đổi kích từ máy phát nhờ thay đổi R_{KT} trong mạch cuộn kích từ W_{KT} của máy kích thích KT một cách từ từ nhờ con trượt (hình 11.6 a) hoặc nối tắt một phần R_{KT} theo chu kỳ (hình 11.6 b).



Hình 11.6 : Thay đổi kích từ máy phát nhờ thay đổi R_{KT}

b) Thay đổi kích từ máy phát nhờ dòng kích từ phụ I_{KTf} tỷ lệ với ΔU hoặc I_F hoặc cả 2 đại lượng ΔU và I_F . Dòng kích từ phụ có thể đưa vào cuộn kích từ chính W_{KT} (hình 11.7 a) hoặc cuộn kích từ phụ W_{KTf} (hình 11.7 b) của máy kích thích.



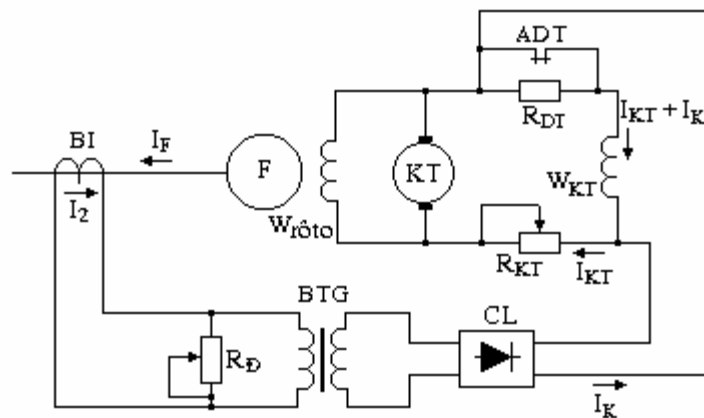
Hình 11.7 : Thay đổi kích từ máy phát nhờ dòng kích từ phụ

II.2. Compun dòng điện:

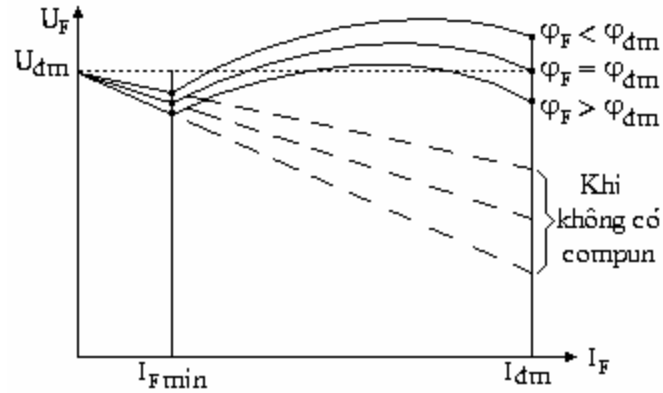
Thiết bị compun dòng điện tác động theo nhiều dòng điện I_F của máy phát. Sơ đồ cấu trúc của thiết bị compun kích từ máy phát như hình 11.8. Dòng thứ cấp I_2 của BI tỷ lệ với dòng I_F . Dòng này biến đổi qua máy biến áp trung gian BTG, được chỉnh lưu và được đưa vào cuộn kích từ W_{KT} của máy kích thích. Dòng đã được chỉnh lưu I_K gọi là dòng compun đi vào cuộn W_{KT} cùng hướng với dòng I_{KT} từ máy kích thích. Như vậy dòng tổng ($I_{KT} + I_K$) trong cuộn kích từ W_{KT} của máy kích thích phụ thuộc vào dòng I_F của máy phát.

Biến áp BTG để cách ly mạch kích từ của máy kích thích với mạch thứ BI có điểm nối đất, ngoài ra nhờ chọn hệ số biến đổi thích hợp có thể phối hợp dòng thứ I_2 của BI với dòng compun I_K .

Biến trở đặt R_d để thay đổi một cách đều đặn dòng I_K khi đưa thiết bị compun vào làm việc, cũng như khi tách nó ra.



Hình 11.8 : Sơ đồ cấu trúc của thiết bị compun kích từ máy phát



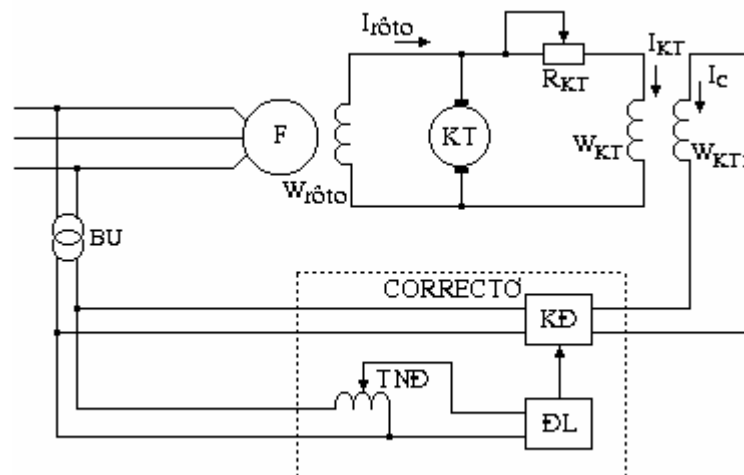
Hình 11.9 : Đặc tính thay đổi điện áp U_F của máy phát ứng với các $\cos\varphi$ khác nhau

Ưu điểm của thiết bị compun là đơn giản, tác động nhanh. Nhưng có một số nhược điểm:

- Compun tác động theo nhiều, không có phản hồi để kiểm tra và đánh giá kết quả điều chỉnh.

- Đối với sơ đồ nối compun vào cuộn kích từ W_{KT} của máy kích thích như hình 11.7a, khi $I_F < I_{Fmin}$ thì U_F thay đổi giống như trường hợp không có compun (hình 11.9). Dòng I_{Fmin} gọi là *ngưỡng* của compun. Thường $I_{Fmin} = (10 \div 30)\%I_{Fdm}$. Tuy nhiên máy phát thường không làm việc với phụ tải nhỏ như vậy nên nhược điểm này có thể không cần phải quan tâm.

- Compun không phản ứng theo sự thay đổi của điện áp và $\cos\varphi$, do vậy không thể duy trì một điện áp không đổi trên thanh góp điện áp máy phát. Trên hình 1.19 là đặc tính thay đổi điện áp U_F theo I_F . Ta thấy với cùng một giá trị I_F , thiết bị compun sẽ điều chỉnh điện áp U_F đến những giá trị khác nhau ứng với các trường hợp $\cos\varphi$ khác nhau.



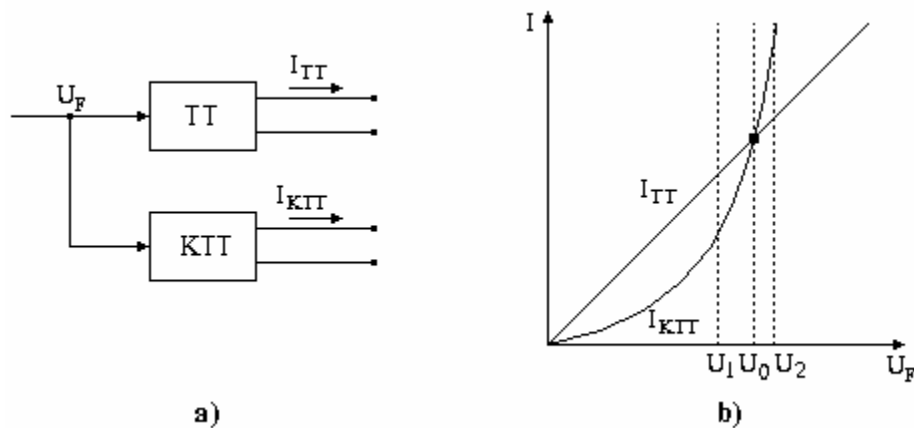
Hình 11.10 : Sơ đồ cấu trúc của corrector điện áp

II.3. Corrector điện áp:

Corrector điện áp là thiết bị tự động điều chỉnh kích từ tác động theo độ lệch điện áp, thường được dùng kết hợp với thiết bị compun kích từ để điều chỉnh điện áp ở đầu cực máy phát một cách hiệu quả.

Hình 11.10 là sơ đồ cấu trúc của corrector điện áp, trong đó bao gồm: bộ phận đo lường ĐL và bộ phận khuếch đại KĐ. Bộ phận đo lường ĐL nối với máy biến điện áp BU qua tự ngẫu đặt TNĐ. Khi điện áp thay đổi, bộ phận đo lường ĐL sẽ phản ứng và điều khiển sự làm việc của bộ phận khuếch đại KĐ. Tự ngẫu đặt TNĐ để thay đổi mức điện áp máy phát cần phải duy trì bởi corrector. Bộ phận khuếch đại KĐ cũng được cung cấp từ BU và đưa dòng corrector đã được chỉnh lưu I_C vào cuộn kích từ phụ W_{KTf} của máy kích thích. Dòng I_C đi qua cuộn kích từ phụ cùng hướng với dòng trong cuộn kích từ chính W_{KT} của máy kích thích.

Bộ phận đo lường gồm 2 phần tử (hình 11.11a): phần tử tuyến tính TT và phần tử không tuyến tính KTT. Phần tử tuyến tính TT tạo nên dòng điện tuyến tính I_{TT} tỷ lệ với điện áp U_F của máy phát, phần tử không tuyến tính KTT tạo nên dòng điện I_{KTT} phụ thuộc một cách không tuyến tính vào điện áp U_F của máy phát (hình 11.11b).



Hình 11.11 : Bộ phận đo lường

a) Sơ đồ khối chức năng b) Đặc tính quan hệ của dòng I_{TT} và I_{KTT} với áp đầu vào

Bộ phận đo lường làm việc theo nguyên tắc so sánh dòng I_{TT} và I_{KTT} . Từ đặc tính trên hình 11.11b ta thấy rằng: khi $U_F = U_0$ (U_0 là một điện áp xác định trên thanh góp nối máy phát), dòng $I_{TT} = I_{KTT}$, lúc ấy sẽ có dòng I_{Cmin} nhỏ nhất đưa ra từ corrector. Khi U_F giảm, ví dụ giảm đến U_1 thì $I_{TT} > I_{KTT}$ và tín hiệu từ bộ phận đo lường ĐL sẽ điều khiển bộ phận khuếch đại KĐ làm tăng dòng I_C đưa vào cuộn kích từ phụ W_{KTf} của máy kích thích để tăng U_F lên.

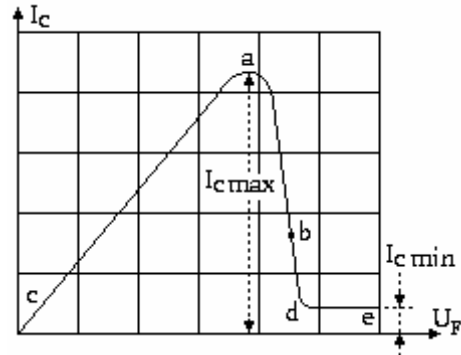
Khi điện áp U_F tăng, ví dụ tăng tới U_2 thì $I_{KTT} > I_{TT}$, lúc này cũng xuất hiện dòng $I_C > I_{Cmin}$ làm tăng U_F thêm nữa. Để ngăn ngừa corrector tác động không đúng như vậy, trong sơ đồ của corrector có bố trí một phần tử khóa khi $I_{KTT} > I_{TT}$.

Đặc tính của corrector là quan hệ giữa dòng I_C với điện áp trên thanh góp nối máy phát như hình 11.12.

Điểm **a**, tương ứng với khi $I_C = I_{Cmax}$, xác định khả năng tăng cường kích từ lớn nhất có thể đảm bảo bởi corrector. Dòng I_{Cmin} tại điểm **d** xác định khả năng giảm kích từ

thấp nhất khi U_F tăng. Sự giảm thấp của đặc tính ở đoạn **ac** là do điện áp nguồn cung cấp cho corrector bị giảm thấp cùng với sự giảm thấp U_F . Đoạn **de** nằm ngang do tác dụng của phần tử khóa khi $I_{KT} > I_{TT}$.

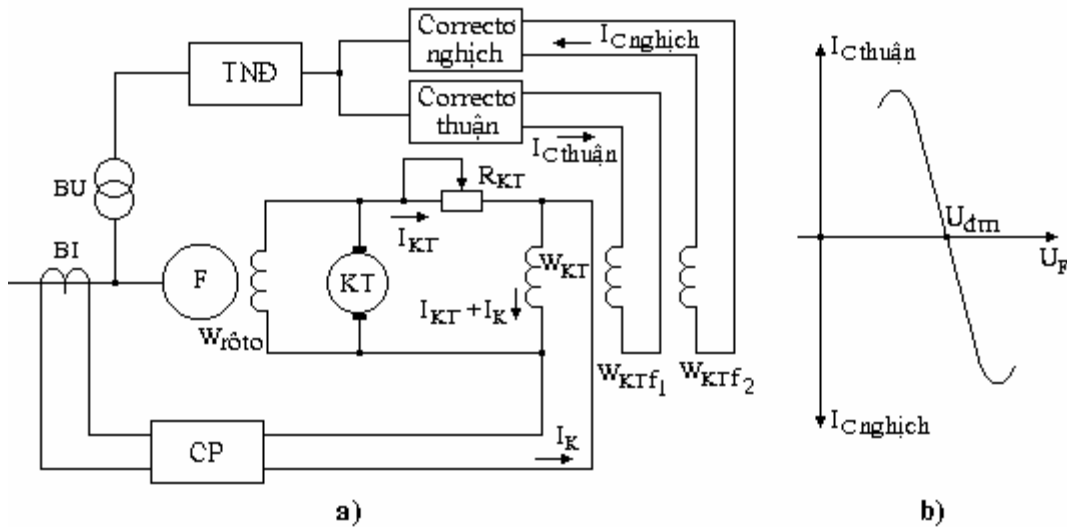
Sơ đồ corrector đã khảo sát trên là loại một hệ thống. Đầu ra của corrector một hệ thống thường nối như thế nào để I_C đi qua cuộn kích từ phụ W_{KTF} thuận chiều với dòng I_{KT} trong cuộn kích từ chính W_{KT} . Corrector nối như vậy được gọi là *corrector thuận*. Trong một số trường hợp người ta nối đầu ra của corrector thế nào để dòng I_C đi qua cuộn W_{KTF} ngược hướng với dòng I_{KT} trong cuộn kích từ chính W_{KT} . Corrector nối như vậy được gọi là *corrector nghịch*.



Hình 11.12 : Đặc tính của corrector

Ở những máy phát thủy điện công suất lớn, người ta dùng corrector 2 hệ thống (hình 11.13a) bao gồm 2 corrector một hệ thống. Một hệ thống là corrector thuận đưa dòng vào cuộn W_{KTF1} thuận chiều với dòng trong cuộn W_{KT} . Hệ thống thứ 2 là corrector nghịch đưa dòng vào cuộn W_{KTF2} theo hướng ngược lại.

Đặc tính của corrector 2 hệ thống (hình 11.13b) được lựa chọn thế nào để khi U_F giảm thì corrector thuận làm việc, còn khi U_F tăng thì corrector nghịch làm việc.



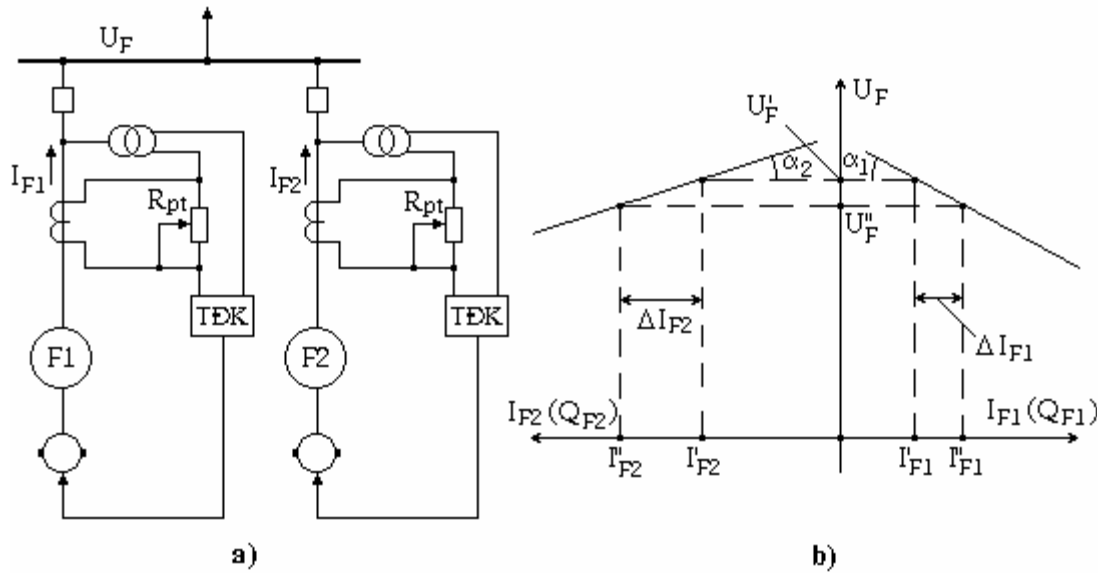
Hình 11.13 : Sơ đồ nguyên lí của corrector 2 hệ thống

CP : thiết bị compun TND : tụ ngẫu đặt
 a) Sơ đồ nối b) Đặc tính của corrector

II.4. Compun pha:

Phần tử chính của compun pha là một máy biến áp đặc biệt có từ hóa phụ BTP (hình 11.14). Trên lõi của BTP bố trí 2 cuộn sơ cấp (cuộn dòng W_1 và cuộn áp W_U), một cuộn thứ cấp W_T và một cuộn từ hóa phụ W_P .

áp và công suất phản kháng.



Hình 11.16 : Hai máy phát làm việc song song tại thanh góp điện áp máy phát
a) Sơ đồ b) Đặc tính điều chỉnh

III.1. Trường hợp 2 máy phát làm việc song song nối chung ở thanh góp điện áp máy phát:

Giả thiết các máy phát có đặc tính điều chỉnh như hình 11.16, hai máy phát có chung U'_F ứng với I'_{F1} và I'_{F2} . Khi tải tăng thì U_F giảm đến U''_F ứng với I''_{F1} và I''_{F2} . Để đảm bảo giữ không đổi sự phân phối công suất phản kháng giữa các máy phát làm việc song song theo một tỷ lệ định trước thì điều kiện cần và đủ là ở điểm nối chung các máy phát phải có đặc tính điều chỉnh phụ thuộc.

$$\frac{\Delta I_{F1}}{\Delta I_{F2}} = \frac{\text{tg}\alpha_1}{\text{tg}\alpha_2} = \frac{K_{PT1}}{K_{PT2}}$$

K_{PT} : Hệ số phụ thuộc, đặc trưng cho độ dốc của đặc tính. K_{PT} nhỏ thì độ dốc đặc tính ít và ΔI_F lớn, tức công suất phản kháng phân phối tỷ lệ nghịch với K_{PT}

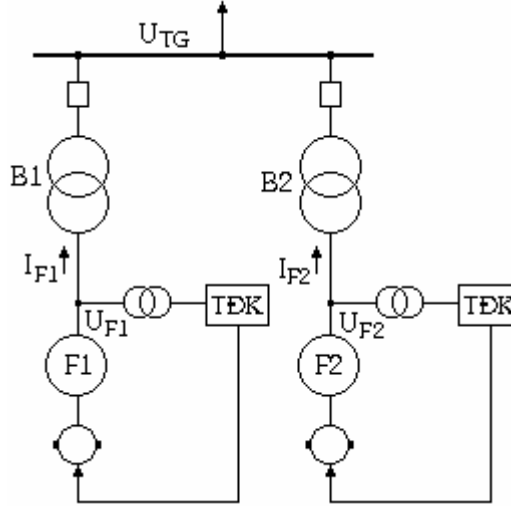
III.2. Trường hợp hai máy phát làm việc song song nối chung qua máy biến áp:

Nếu các máy phát làm việc song song nối chung qua máy biến áp (hình 11.17) thì mặc dù đặc tính điều chỉnh của chúng là độc lập, tỷ lệ phân phối công suất phản kháng giữa chúng vẫn ổn định vì ở điểm nối chung đặc tính điều chỉnh của chúng là phụ thuộc.

$$U_{F1} = U_{F2} = \text{hằng số}$$

$$U_{TG} = U_{F1} - I_{F1} \cdot X_{B1} = U_{F2} - I_{F2} \cdot X_{B2} \neq \text{hằng số}$$

Khi công suất phản kháng thay đổi, tức khi $I_{F\Sigma}$ và tương ứng I_{F1} và I_{F2} thay đổi thì U_{TG} thay đổi, do vậy chỉ cần tại điểm nối chung của các máy phát có đặc tính phụ thuộc thì sự phân bố công suất phản kháng giữa chúng là ổn định.



Hình 11.17 : Hai máy phát làm việc song song nối chung qua máy biến áp

IV. Điều chỉnh điện áp trong mạng phân phối:

Điện áp trên thanh góp hạ áp của trạm (hình 11.18) là:

$$U_B = \left(U_F - \frac{Pr + Qx}{U'_B} \right) \frac{1}{k}$$

trong đó: U_F : điện áp trên thanh góp đầu cực của máy phát.

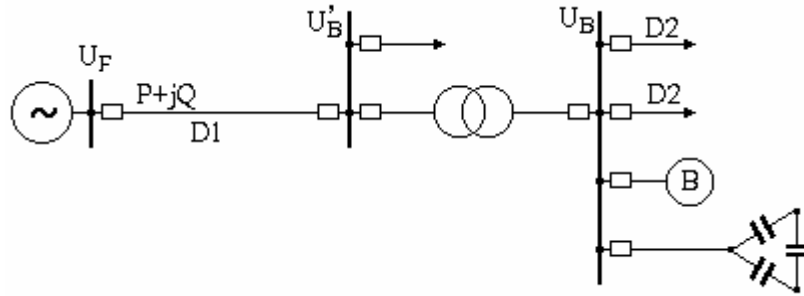
U'_B : điện áp trên thanh góp cao áp của trạm.

r, x : tổng điện trở tác dụng, phản kháng của đường dây và máy biến áp.

k : tỷ số biến đổi của máy biến áp.

Từ biểu thức trên có thể kết luận rằng, việc điều chỉnh điện áp U_B cung cấp cho các hộ tiêu thụ có thể thực hiện được bằng cách:

- thay đổi U_F (nhờ sử dụng TĐK).
- thay đổi tỷ số biến đổi k của máy biến áp
- thay đổi công suất phản kháng Q truyền trên đường dây bằng cách điều chỉnh kích từ của máy bù hay động cơ đồng bộ, hoặc đóng cắt bộ tụ bù ở trạm.

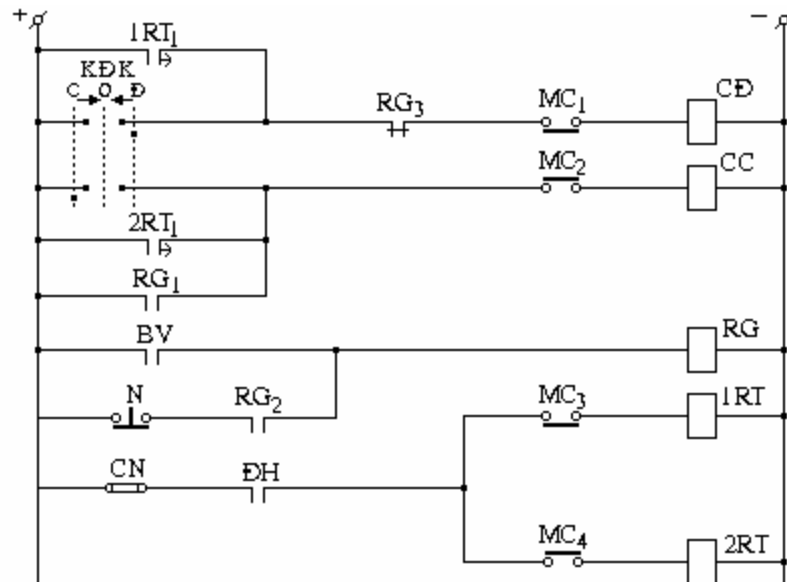


Hình 11.18 : Sơ đồ mạng để giải thích nguyên tắc điều chỉnh điện áp

*** Tự động điều khiển bộ tụ bù ở trạm:**

Xét một sơ đồ điều chỉnh điện áp bằng bộ tụ bù đặt ở trạm giảm áp. Việc điều khiển các bộ tụ được thực hiện theo một chương trình định trước, ví dụ nhờ đồng hồ điện. Trên hình 11.20, khi tiếp điểm của đồng hồ điện ĐH đóng vào một thời điểm đặt trước thì role thời gian 1RT tác động đóng tiếp điểm 1RT₁, cuộn đóng CĐ có điện, máy cắt đóng lại đưa bộ tụ bù vào làm việc.

Khi đóng máy cắt thì các tiếp điểm phụ liên động của nó cũng chuyển mạch để mở mạch cuộn dây role 1RT và đóng mạch cuộn dây role 2RT sẵn sàng cho thao tác cắt bộ tụ ra sau đó.



Hình 11.20 : Sơ đồ tự động đóng cắt bộ tụ bù

Đến thời điểm công suất phản kháng tiêu thụ giảm xuống thì tiếp điểm ĐH lại khép, role thời gian 2RT làm việc và máy cắt sẽ cắt ra.

Hai role thời gian 1RT và 2RT cần có thời gian đóng trễ nhằm mục đích mỗi lần đóng tiếp điểm ĐH chỉ kèm theo một thao tác đóng hoặc cắt bộ tụ.

Khi bảo vệ BV của bộ tụ tác động thì role RG có điện, tiếp điểm RG₂ đóng lại để tự giữ, tiếp điểm RG₃ mở mạch cuộn đóng CĐ của máy cắt, tiếp điểm RG₁ đóng đưa điện vào cuộn cắt CC và máy cắt sẽ cắt bộ tụ ra. Nút ấn N để giải trừ tự giữ của role RG.

Chương 12: TỰ ĐỘNG ĐIỀU CHỈNH TẦN SỐ

I. Khái niệm chung:

Tần số là một trong những tiêu chuẩn để đánh giá chất lượng điện năng. Tốc độ quay và năng suất làm việc của các động cơ đồng bộ và không đồng bộ phụ thuộc vào tần số của dòng xoay chiều. Khi tần số giảm thì năng suất của chúng cũng bị giảm thấp. Tần số tăng cao dẫn đến sự tiêu hao năng lượng quá mức. Do vậy và do một số nguyên nhân khác, tần số luôn được giữ ở định mức. Đối với hệ thống điện Việt nam, trị số định mức của tần số được quy định là 50Hz. Độ lệch cho phép khỏi trị số định mức là $\pm 0,1\text{Hz}$.

Việc sản xuất và tiêu thụ công suất tác dụng xảy ra đồng thời. Vì vậy trong chế độ làm việc bình thường, công suất P_F do máy phát của các nhà máy điện phát ra phải bằng tổng công suất do các phụ tải tiêu thụ P_{tt} và công suất tổn thất P_{th} trên đường dây truyền tải và các phần tử khác của mạng điện, nghĩa là tuân theo điều kiện cân bằng công suất tác dụng :

$$P_F = P_{tt} + P_{th} = P_{PT}$$

với P_{PT} - phụ tải tổng của các máy phát.

Khi có sự cân bằng công suất thì tần số được giữ không đổi. Nhưng vào mỗi thời điểm tùy thuộc số lượng hộ tiêu thụ được nối vào và tải của chúng, phụ tải của hệ thống điện liên tục thay đổi làm phá hủy sự cân bằng công suất và làm tần số luôn biến động. Để duy trì tần số định mức trong hệ thống điện yêu cầu phải thay đổi công suất tác dụng một cách tương ứng và kịp thời.

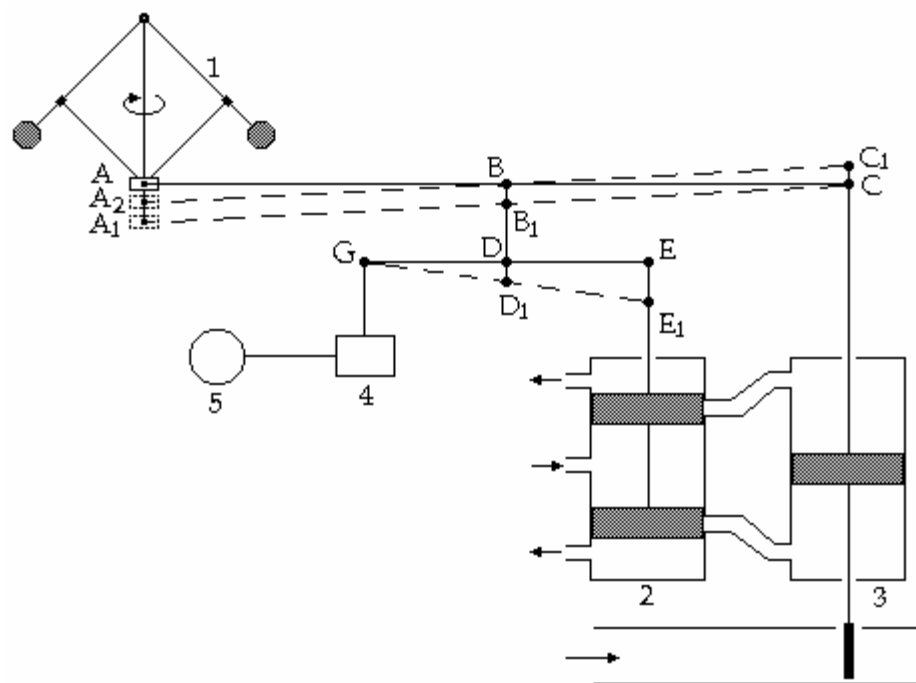
Như vậy vấn đề điều chỉnh tần số liên quan chặt chẽ với điều chỉnh và phân phối công suất tác dụng giữa các tổ máy phát và giữa các nhà máy điện. Tần số được điều chỉnh bằng cách thay đổi lượng hơi hoặc nước đưa vào tuốc-bin. Khi thay đổi lượng hơi hoặc nước vào tuốc-bin, công suất tác dụng của máy phát cũng thay đổi.

II. Bộ điều chỉnh tốc độ quay tuốc-bin sơ cấp:

Vào thời kỳ đầu phát triển hệ thống năng lượng, nhiệm vụ duy trì tần số được giao cho bộ điều chỉnh tốc độ quay kiểu ly tâm đặt tại tuốc-bin của các nhà máy thủy điện và nhà máy nhiệt điện. Bộ điều chỉnh này cũng được gọi là bộ điều chỉnh sơ cấp. Sơ đồ cấu trúc của một trong những loại bộ điều chỉnh sơ cấp như trên hình 12.1.

Cơ cấu đo lường là con lắc ly tâm 1 quay cùng với tuốc-bin. Khi tần số giảm, tốc độ quay của tuốc-bin giảm, quả cầu của con lắc hạ xuống và khớp nối của nó từ vị trí A chuyển đến A_1 . Tay đòn AC xoay quanh C làm khớp nối B chuyển đến vị trí B_1 , tay đòn GE quay quanh G làm khớp nối E chuyển đến vị trí E_1 và piston bình 2 di chuyển xuống dưới, dầu áp suất cao đi vào phía dưới piston bình 3, piston được nâng lên làm tăng

lượng hơi (hoặc nước) đi vào tuốc-bin, khớp nối B chuyển đến vị trí B₁ và khi tốc độ quay tăng lên, khớp nối từ A₁ chuyển đến vị trí A₂, đồng thời tay đòn AC xoay quanh C₁ nâng khớp nối B và các điểm D, E về vị trí cũ làm kín bình 3 và chấm dứt quá trình điều chỉnh.



Hình 12.1: Sơ đồ nguyên lý cấu tạo và tác động của bộ điều chỉnh tốc độ tuốc-bin

Vị trí mới của piston 3 và của khớp nối ở A₂ tương ứng với tốc độ quay nhỏ hơn của tuốc-bin. Như vậy tần số không trở về giá trị ban đầu. Bộ điều chỉnh như vậy gọi là bộ điều chỉnh có đặc tính phụ thuộc.

Để khôi phục tốc độ quay định mức, cũng như để điều khiển tuốc-bin bằng tay người ta dùng cơ cấu 4, nhờ nó thay đổi vị trí điểm G. Chẳng hạn như khi dịch chuyển điểm G lên trên, GE quay quanh D và hạ piston 2 xuống, lúc này bình 3 tăng lượng hơi (nước) vào tuốc-bin và tần số tăng lên.

Có thể điều khiển xa cơ cấu 4 nhờ động cơ 5.

III. Điều chỉnh và phân phối công suất tác dụng giữa các máy phát làm việc song song:

Bộ điều chỉnh tốc độ quay sơ cấp, cũng như thiết bị điều chỉnh tần số thứ cấp (sẽ xét dưới đây trong mục IV) có thể có 2 dạng đặc tính điều chỉnh: độc lập và phụ thuộc.

Bộ điều chỉnh có đặc tính độc lập duy trì tốc độ quay n hay tần số f của hệ thống không đổi khi phụ tải của máy phát thay đổi từ không tải đến định mức. Nhược điểm của dạng điều chỉnh này là không thể cho một số máy phát làm việc song song vì sự phân

phối phụ tải giữa chúng không xác định. Nếu 2 máy phát có đặc tính điều chỉnh độc lập làm việc song song với nhau, thì ở tần số định mức mỗi máy sẽ có một phụ tải nhất định nào đó, còn khi tần số giảm xuống cả 2 bộ điều chỉnh đều tác động tăng tải cho máy phát của mình nhằm để khôi phục tần số. Trong trường hợp này, các máy phát được tăng tải hoàn toàn tùy tiện và thậm chí một máy phát có bộ điều chỉnh nhạy hơn sẽ nhận hết tất cả phần phụ tải tăng thêm, còn máy phát kia không được tăng tải, hoặc chỉ bắt đầu tăng tải khi nào phụ tải của máy phát thứ nhất đạt giá trị cực đại mà tần số vẫn không được khôi phục.

Việc áp dụng bộ điều chỉnh tốc độ quay có đặc tính phụ thuộc cho các máy phát làm việc song song sẽ đảm bảo sự làm việc ổn định của chúng và sự phân phối phụ tải định trước.

Hệ số phụ thuộc đặc trưng cho độ dốc của đặc tính điều chỉnh (hình 12.2):

$$s = \frac{\Delta f}{\Delta P} = \operatorname{tg} \alpha \quad (12.1)$$

biểu diễn hệ số phụ thuộc trong đơn vị tương đối (đối với tần số định mức f_{dm} và công suất định mức P_{dm} của máy phát), ta có:

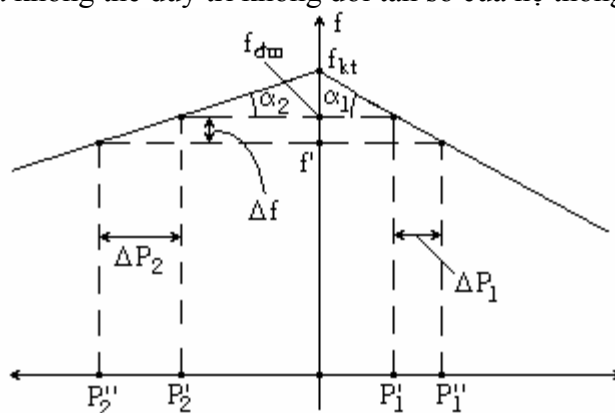
$$s_* = \frac{\frac{\Delta f}{f_{âm}}}{\frac{\Delta P}{P_{âm}}} = \frac{\Delta f}{f_{âm}} \cdot \frac{P_{âm}}{\Delta P} \quad (12.2)$$

hay :

$$s\% = \frac{\Delta f}{f_{âm}} \cdot \frac{P_{âm}}{\Delta P} \cdot 100 \quad (12.3)$$

Nếu các máy phát làm việc song song có đặc tính điều chỉnh phụ thuộc thì độ thay đổi công suất tác dụng tổng sẽ được phân phối giữa chúng tỷ lệ nghịch với hệ số phụ thuộc của mỗi máy (hình 12.2).

Thay đổi độ dốc của đặc tính có thể đảm bảo phân đóng góp cần thiết của máy phát trong việc điều chỉnh phụ tải của nhà máy điện. Nhược điểm của dạng điều chỉnh theo đặc tính phụ thuộc là không thể duy trì không đổi tần số của hệ thống.



Hình 12.2 : Sự phân phối công suất tác dụng giữa các máy phát làm việc song song

IV. Tự động giảm tải theo tần số (TGT):

IV.1. Ý nghĩa và các nguyên tắc chính thực hiện TGT:

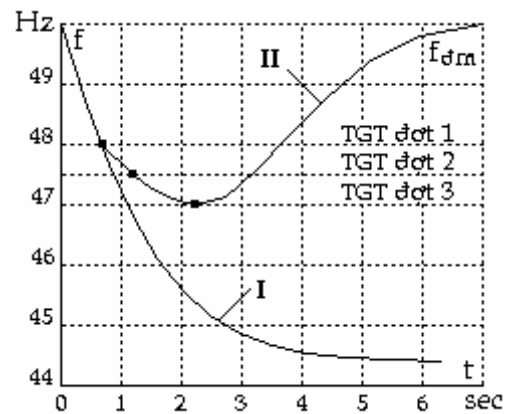
Khi xảy ra sự thiếu hụt công suất tác dụng làm giảm thấp tần số trong hệ thống điện, nếu còn công suất tác dụng dự trữ thì hệ thống điều chỉnh tần số và công suất đã xét ở trên sẽ hoạt động để duy trì được mức tần số định trước. Tuy nhiên, sau khi huy động toàn bộ công suất tác dụng dự trữ có thể có trong hệ thống điện nếu tần số vẫn không được khôi phục, thì biện pháp duy nhất có thể áp dụng lúc ấy là cắt bớt một số phụ tải ít quan trọng nhất. Thao tác đó được thực hiện nhờ một thiết bị tự động hóa có tên gọi là *THIẾT BỊ TỰ ĐỘNG GIẢM TẢI THEO TẦN SỐ (TGT)*. Cần lưu ý rằng, tác động của TGT luôn luôn liên quan đến những thiệt hại về kinh tế. Dầu vậy, TGT vẫn được áp dụng rộng rãi trong hệ thống điện.

Mức độ giảm thấp tần số không những phụ thuộc vào lượng công suất thiếu hụt, mà còn phụ thuộc vào tính chất của phụ tải. Các dụng cụ chiếu sáng và các thiết bị khác có phụ tải thuần tác dụng thuộc về nhóm các hộ tiêu thụ có công suất tiêu thụ không phụ thuộc vào tần số, khi tần số giảm công suất tiêu thụ vẫn giữ không đổi. Một nhóm các hộ tiêu thụ khác như động cơ điện xoay chiều có công suất tiêu thụ giảm khi tần số giảm. Phụ tải của các hộ tiêu thụ thuộc nhóm thứ 2 được coi là có khả năng tự điều chỉnh vì khi tần số giảm thấp đồng thời công suất tiêu thụ của chúng cũng bị giảm xuống.

Khi thực hiện tự động giảm tải theo tần số cần tính đến tất cả các trường hợp thực tế có thể dẫn đến việc cắt sự cố công suất phát và phân chia hệ thống điện thành các phần bị thiếu hụt công suất tác dụng. Công suất thiếu hụt càng lớn thì công suất phụ tải cần cắt ra càng lớn. Để tổng công suất phụ tải bị cắt ra do thiết bị tự động giảm tải theo tần số TGT gần bằng với công suất tác dụng thiếu hụt, thiết bị TGT cần được thực hiện để cắt tải theo từng đợt, tần số khởi động của mỗi đợt cắt tải là khác nhau.

Hình 12.9 là đường cong biểu diễn quá trình thay đổi tần số khi đợt xuất hiện thiếu hụt công suất tác dụng. Nếu trong hệ thống không có thiết bị TGT, do tác dụng tự điều chỉnh của phụ tải và tác động của bộ điều chỉnh tốc độ quay tuốc-bin nên tần số sẽ ổn định ở một giá trị xác lập nào đó (đường I). Để khôi phục tần số về giá trị định mức, cần cắt tải bằng tay.

Quá trình thay đổi tần số khi có thiết bị TGT sẽ diễn ra theo đường II. Giả sử thiết bị TGT có 3 đợt cắt tải với tần số khởi động của đợt là: 48; 47,5; 47 Hz. Khi tần số giảm xuống đến 48Hz (điểm 1) thì đợt 1 tác động cắt một phần phụ tải, nhờ vậy giảm được tốc độ giảm thấp tần số. Khi tần số tiếp tục giảm xuống đến 47,5Hz (điểm 2) thì đợt 2 tác động cắt thêm một số phụ tải, sự thiếu hụt công suất và tốc độ giảm thấp tần số được giảm nhiều hơn. Ở tần số 47 Hz (điểm 3), đợt 3 tác động cắt một công suất phụ tải



Hình 12.9 : Sự thay đổi tần số khi thiếu hụt công suất tác dụng

I. khi không có TGT II. khi có TGT

không những đủ để chấm dứt tình trạng giảm tần số mà còn đủ để khôi phục tần số đến hay gần đến giá trị định mức. Cần lưu ý là nếu lượng công suất thiếu hụt ít, thì có thể chỉ có đợt 1 hoặc chỉ có đợt 1 và đợt 2 tác động.

Ngoài các đợt tác động chính, thiết bị tự động giảm tải theo tần số cần phải có một đợt tác động đặc biệt để ngăn ngừa hiện tượng “tần số treo lơ lửng”. Hiện tượng này có thể sinh ra sau khi các đợt chính tác động nhưng tần số vẫn không trở về giá trị gần định mức mà duy trì ở một giá trị nào đó thấp hơn định mức. Tần số khởi động của đợt tác động đặc biệt vào khoảng 47,5 đến 48 Hz.

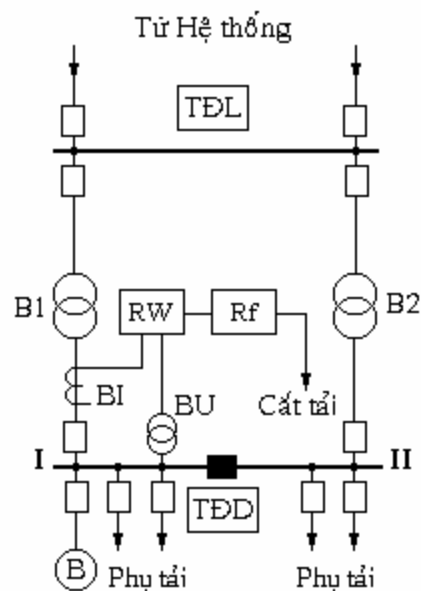
Tác động của thiết bị TGT phải phối hợp với các loại thiết bị tự động hóa khác trong hệ thống điện. Ví dụ như, để thiết bị TGT tác động có kết quả, các hộ tiêu thụ đã bị cắt ra khi tần số giảm thấp không được đóng lại bởi thiết bị TĐL hoặc TĐD.

IV.2. Ngăn ngừa TGT tác động nhầm khi tần số giảm ngắn hạn:

Khi mất liên lạc với hệ thống (cắt cả 2 đường dây nối với hệ thống hoặc cắt máy biến áp B1 trong sơ đồ hình 12.10), các hộ tiêu thụ điện nối vào phân đoạn I thanh góp hạ áp của trạm sẽ bị mất điện. Sau một thời gian ngắn nhờ tác động của các thiết bị tự động hóa như TĐL đường dây hoặc TĐD máy cắt phân đoạn, nguồn cung cấp lại được khôi phục cho các hộ tiêu thụ. Tuy nhiên, trong khoảng thời gian đó các hộ tiêu thụ của trạm có thể bị cắt ra bởi tác động nhầm của thiết bị TGT. Tình huống này xảy ra là do sau khi mất nguồn cung cấp, điện áp trên thanh góp trạm có máy bù đồng bộ hoặc động cơ không bị mất ngay mà duy trì trong một thời gian nào đó do quán tính.

Các động cơ không đồng bộ có thể duy trì điện áp trên thanh góp trạm vào khoảng $40 \div 50\%$ điện áp định mức trong vòng 1 giây, còn máy bù và động cơ đồng bộ duy trì điện áp cao hơn trong khoảng vài giây. Tốc độ quay của các máy bù và động cơ đồng bộ lúc này bị giảm thấp, nên tần số của điện áp duy trì cũng bị giảm xuống và TGT nối vào điện áp đó có thể tác động nhầm cắt các hộ tiêu thụ trước khi TĐL và TĐD kịp tác động.

Thực tế để ngăn ngừa tác động nhầm trong trường hợp này, người ta đặt một bộ khóa liên động vào sơ đồ thiết bị TGT. Role tần số Rf (hình 12.10) của thiết bị TGT sẽ bị không chế tác động bởi role định hướng công suất tác dụng RW (làm nhiệm vụ của bộ khóa liên động). Khi còn liên lạc với hệ thống, trạm sẽ tiêu thụ công suất tác dụng và role RW cho phép thiết bị TGT làm việc khi cần thiết. Sau khi mất nguồn cung cấp, sẽ không có công suất tác dụng đi qua máy biến áp



Hình 12.10 : Ngăn ngừa tác động nhầm của TGT khi các hộ tiêu thụ tạm thời bị mất điện

hoặc công suất tác dụng sẽ hướng về phía thanh góp cao áp của trạm, role Rf khóa role Rf và ngăn ngừa tác động nhầm của thiết bị TGT.

Khi không đặt bộ khóa liên động, người ta cũng có thể sửa chữa tác động nhầm của thiết bị TGT bằng cách áp dụng biện pháp TĐL sau tác động của TGT.

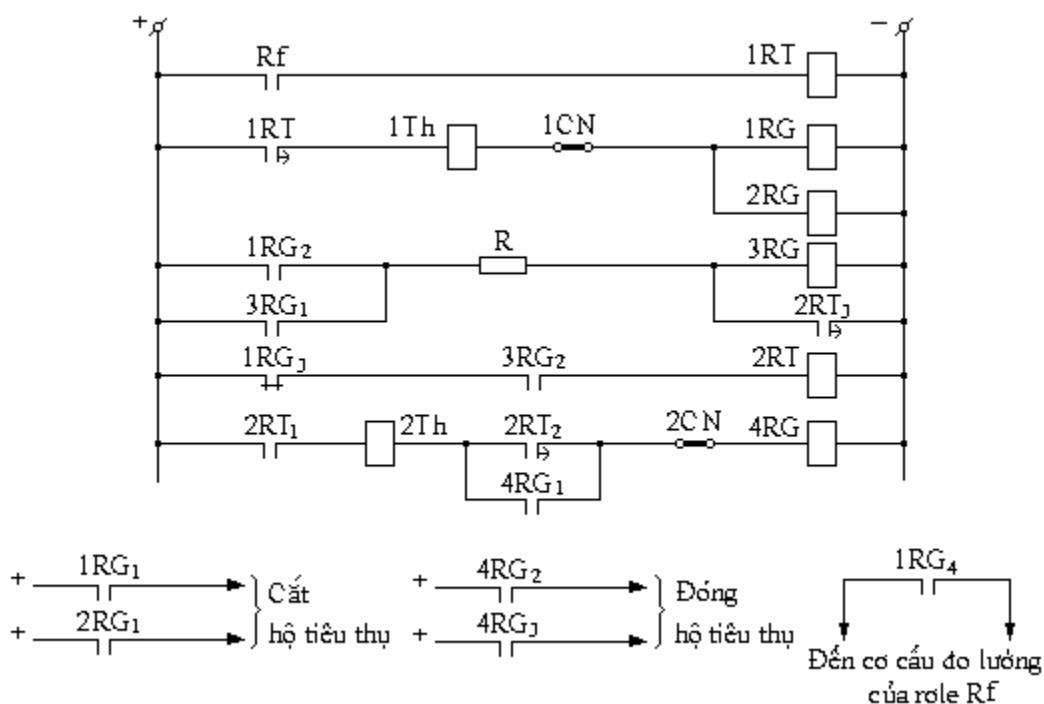
IV.3. Tự động đóng trở lại sau TGT (TĐLT):

Thiết bị tự động đóng trở lại theo tần số (TĐLT) là thiết bị tự động hóa cần thiết để tăng nhanh tốc độ khôi phục nguồn cung cấp cho các phụ tải đã bị cắt ra do thiết bị TGT.

Thiết bị TĐLT tác động ở tần số $49,5 \div 50$ Hz, cũng được thực hiện bao gồm một số đợt, thời gian tác động của đợt đầu tiên khoảng 10 đến 20 sec. Khoảng thời gian nhỏ nhất giữa các đợt kế nhau là 5 sec. Công suất phụ tải của các đợt TĐLT thường được phân chia đồng đều. Thứ tự đóng các phụ tải bằng thiết bị TĐLT ngược với thứ tự cắt các phụ tải do tác động của thiết bị TGT.

Để ngăn ngừa khả năng tần số giảm thấp trở lại sau khi thiết bị TĐLT làm việc (có thể làm cho thiết bị TGT khởi động một lần nữa), trong sơ đồ TĐLT cần phải đảm bảo chỉ tác động một lần. Cũng cần phải loại trừ khả năng chuyển mạch các hộ tiêu thụ sang một nguồn cung cấp khác nhờ thiết bị TĐD sau khi chúng đã bị cắt ra bởi thiết bị TGT, đồng thời khi tần số khôi phục cần phải đóng trở lại những hộ tiêu thụ đó nhanh nhất có thể được.

Hình 12.11 là sơ đồ một đợt TGT có kèm TĐLT. Trong sơ đồ sử dụng một role tần số Rf có tần số khởi động tự động thay đổi.



Hình 12.11 : Sơ đồ kết hợp thiết bị TGT và TĐLT

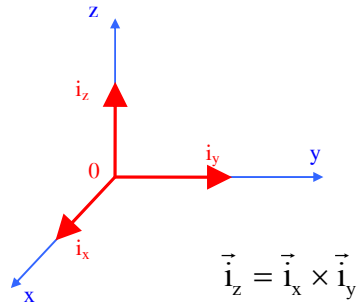
Khi tần số f giảm đến giá trị tần số khởi động của role Rf (tương ứng với trị số đặt của thiết bị TGT), tiếp điểm của Rf khép lại, role 1RT bắt đầu tính thời gian, sau khoảng thời gian t_{1RT} các role 1RG, 2RG tác động cắt bớt một số phụ tải. Tiếp điểm 1RG₄ đóng làm cho bộ phận đo lường của role tần số Rf có giá trị đặt tương ứng với tần số khởi động của thiết bị TĐLT. Lúc này tiếp điểm của role Rf chỉ mở ra khi tần số của hệ thống khôi phục đến trị số đặt mới vào khoảng $49,5 \div 50$ Hz. Tiếp điểm 1RG₂ đóng mạch cuộn dây role 3RG, tiếp điểm 3RG₁ đóng lại để tự giữ, tiếp điểm 3RG₂ đóng lại nhưng role 2RT lúc này chưa tác động được do tiếp điểm 1RG₃ đã mở.

Khi tần số khôi phục trở lại giá trị định mức hoặc gần định mức, tiếp điểm Rf và sau đó tiếp điểm 1RT mở ra. Các role trung gian 1RG và 2RG trở về, tiếp điểm 1RG₃ đóng làm cho role 2RT khởi động, sau một thời gian tiếp điểm 2RT₂ đóng mạch cuộn dây role trung gian 4RG. Tiếp điểm 4RG₁ đóng lại để tự giữ, tiếp điểm 4RG₂ và 4RG₃ đóng đưa xung đi đóng máy cắt của các hộ tiêu thụ đã bị cắt ra bởi thiết bị TGT.

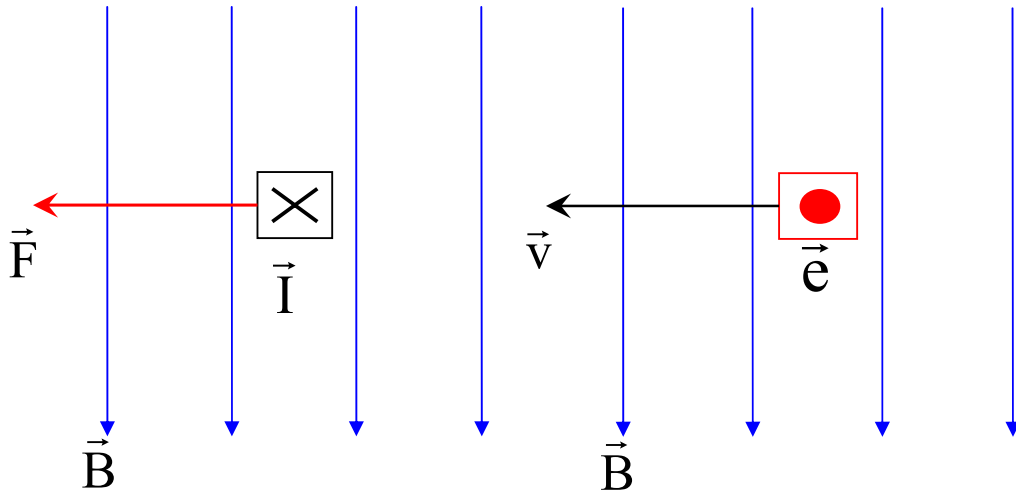
Sơ đồ sẽ trở về trạng thái ban đầu sau khi tiếp điểm 2RT₃ đóng lại. Role 3RG trở về và mở tiếp điểm 3RG₂ trong mạch cuộn dây role 2RT. Các role tín hiệu 1Th và 2Th để báo tín hiệu về trạng thái khởi động của thiết bị TGT và TĐLT.

Chương 2: MÁY ĐIỆN

Lực điện từ và sức điện động



Tích có hướng

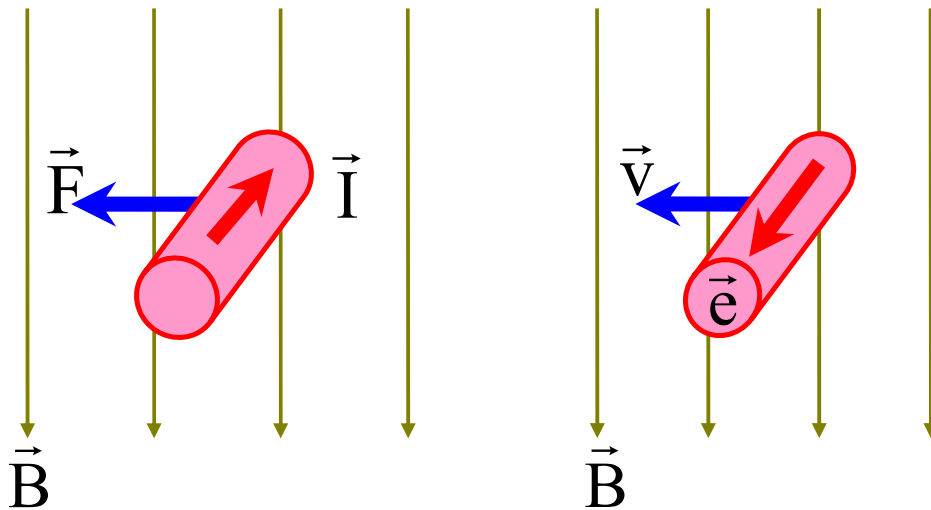


Định luật Bio-Savart:

$$\vec{F}_e = I(\vec{l} \times \vec{B})$$

Định luật Faraday:

$$\vec{e} = (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot l$$



Định luật Bio-Savart:

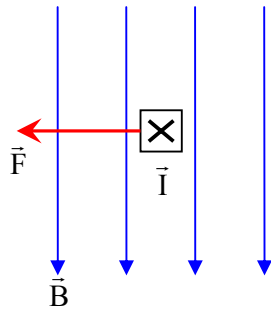
$$\vec{F}_e = I(\vec{l} \times \vec{B})$$

$$F_e = IlB$$

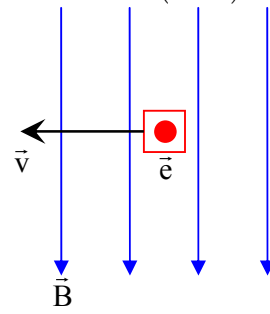
Định luật Faraday:

$$\vec{e} = (\vec{v} \times \vec{B})l$$

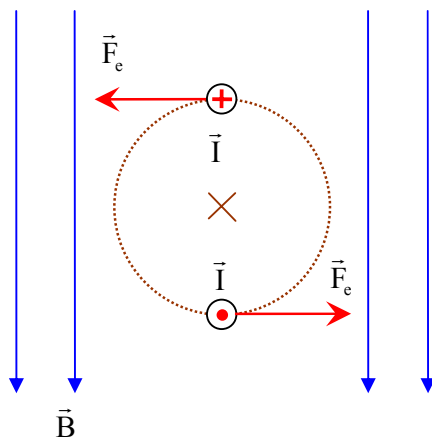
$$e = vBl$$



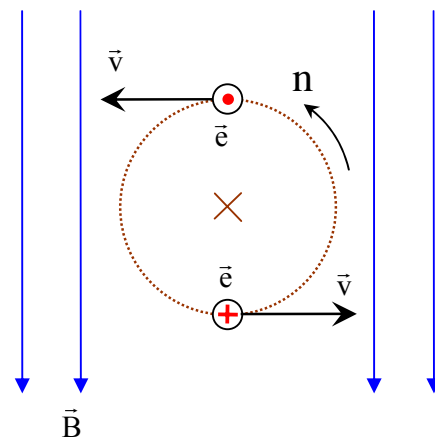
$$\vec{F}_e = I(\vec{l} \times \vec{B})$$



$$\vec{e} = (\vec{v} \times \vec{B})l$$

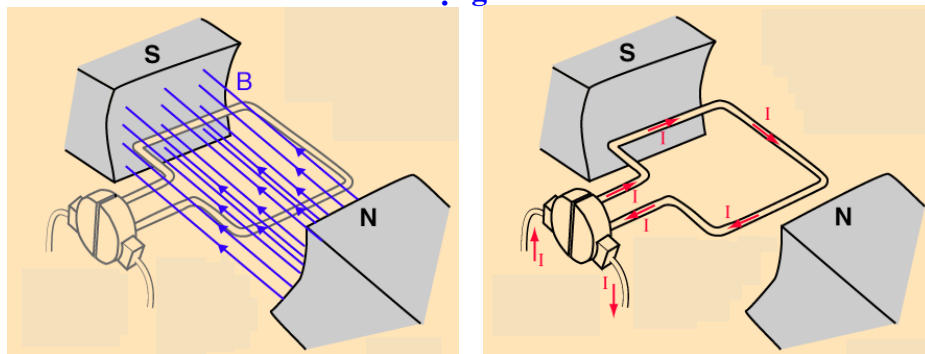


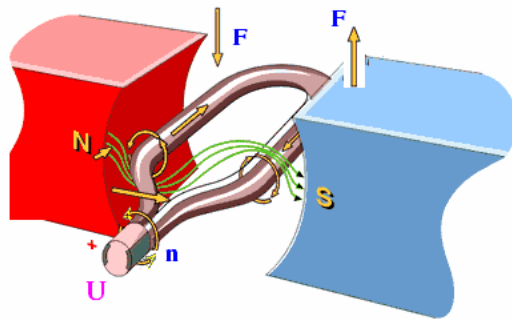
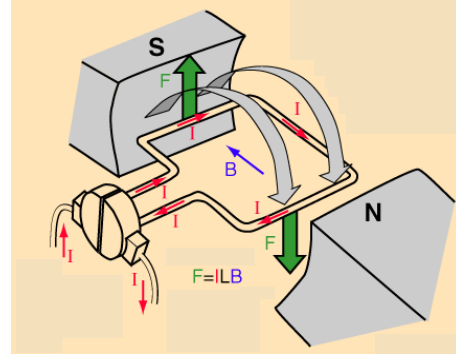
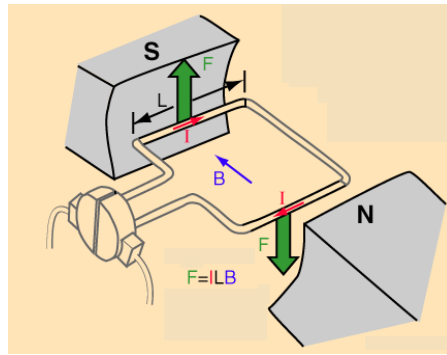
Động cơ



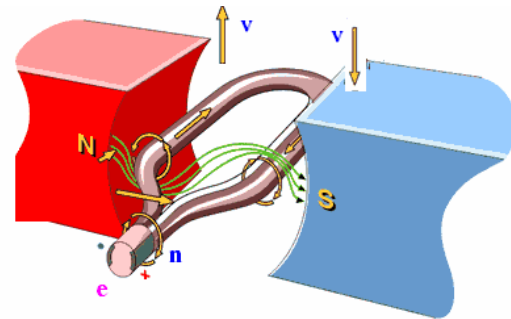
Máy phát .

Động cơ

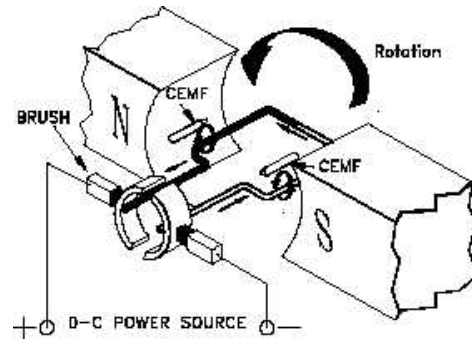
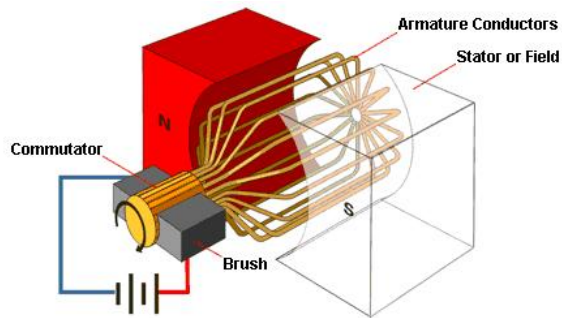




Động cơ



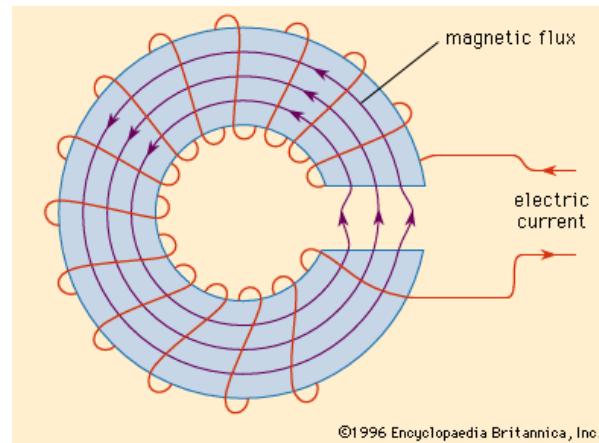
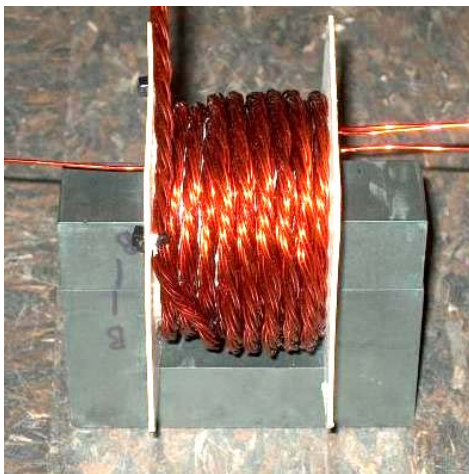
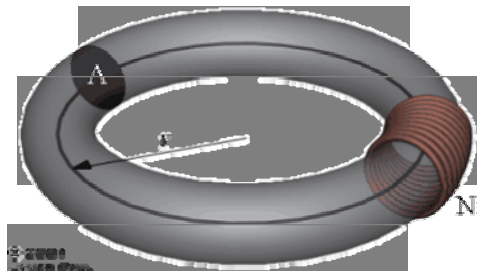
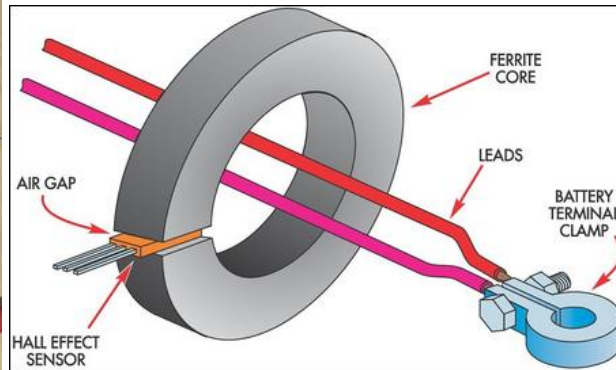
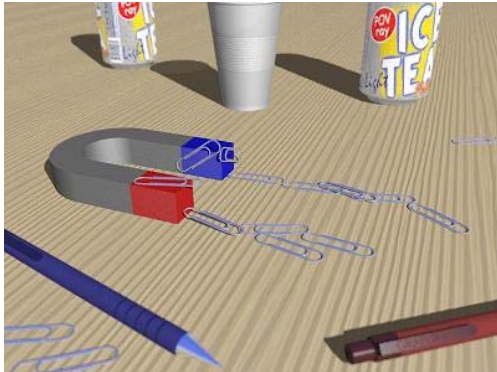
Máy phát.

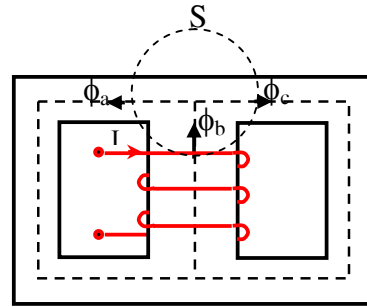
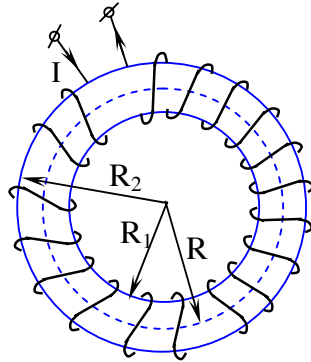
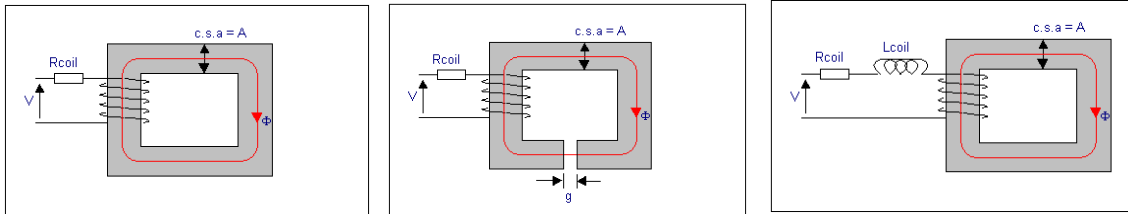


Máy phát

I.1. Khái niệm chung về mạch từ

I.1.1. Các công thức cơ bản





I.1.2. Sơ đồ thay thế của mạch từ

Định luật dòng điện toàn phần (hay định luật lưu số Ampère - Maxwell)

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int \vec{J} \cdot d\vec{A} \tag{1.1}$$

H: cường độ từ trường (A vòng /m)

J: mật độ dòng điện (A/m²)

(Tích phân đường cong của cường độ từ trường \vec{H} dọc theo một mạch vòng khép kín l bằng tổng đại số cường độ các dòng điện đi xuyên qua bề mặt A bất kỳ được bao bởi vòng kín l.)

❖ Đối với mạch từ kín chiều dài l có N dòng điện I chạy qua sinh ra cường độ từ trường đều H (hình vẽ):

Khi đó, phương trình $\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int \vec{J} \cdot d\vec{A}$ có thể viết

thành: $N \cdot I = H \cdot l$

Gọi $F = N \cdot I$ sức từ động

$\Phi = B \cdot S$ từ thông qua tiết diện S

$$\vec{B} = \mu \vec{H} = \mu_0 \mu_r \vec{H}$$

B (T - Tesla) Cảm ứng từ

μ [H/m] độ từ thẩm ($\mu = \mu_r \cdot \mu_0$)

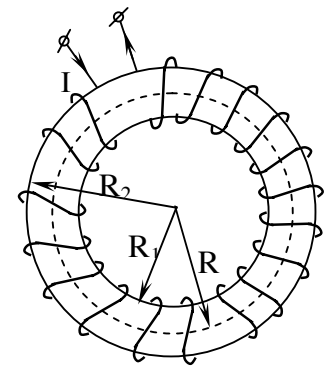
$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (H/m) hằng số từ hay độ từ thẩm chân không

μ_r () độ từ thẩm tương đối

Vật liệu sắt từ: $\mu_r = \mu_r(H)$ (phi tuyến và có giá trị từ vài chục đến vài chục ngàn).

Có: $F = NI = Hl = \frac{B}{\mu} l = BS \frac{1}{\mu S} = \Phi R_m$

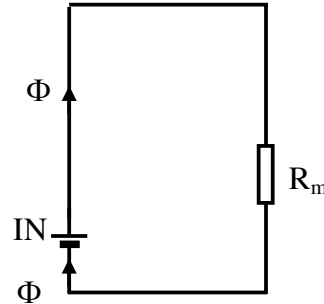
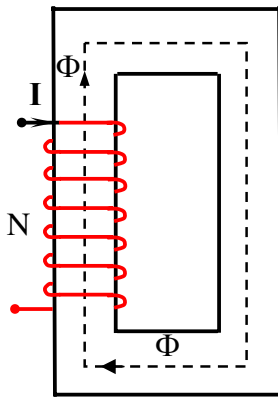
Với $R_m = \frac{1}{\mu S}$ [1/H] từ trở của mạch từ.



Định luật OHM đối với mạch từ: $F = NI = R_m \Phi$

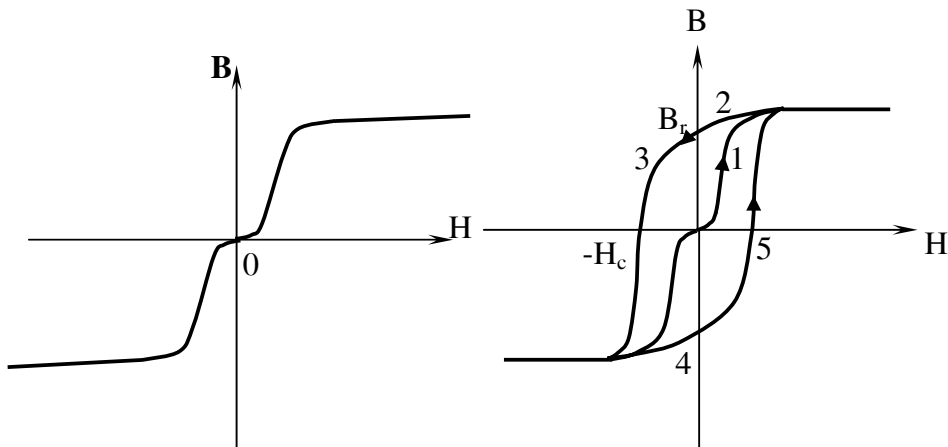
Vật liệu phi từ tính: $\mu_r \approx 1$

$U_m = \Phi R_m$ [A.vòng] được gọi là từ áp.



$$F = NI = \Phi R_m$$

I.1.3. Đặc tính của vật liệu sắt từ

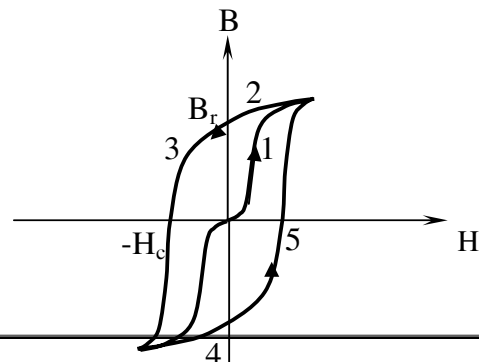


- Đường cong $B(H)$ của vật liệu sắt từ khi từ trường ngoài tác động là từ trường xoay chiều (hình 1.8):

Vật liệu sắt từ chia làm nhiều vùng con ($10^{-2} \div 10^{-6} \text{ cm}^3$) được từ hóa có các momen của các nguyên tử được định hướng song song nhau.

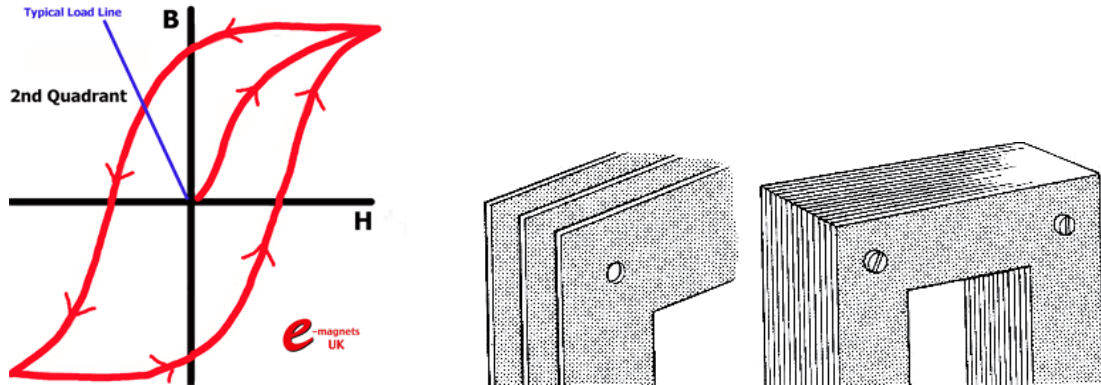
Trạng thái bảo hòa: các momen từ của các vùng con đều hướng theo chiều tác động của từ trường ngoài (trạng thái từ hóa giới hạn).

- Hiện tượng từ trễ: là hiện tượng khi giảm cường độ từ trường ngoài, B giảm chậm hơn khi tăng. Khi cường độ từ trường ngoài bằng 0 thì $B = B_r \neq 0$ gọi là từ dư.
- H_c là lực kháng từ: cường độ từ trường ngược để $B=0$.
- Hình vẽ **chu trình từ trễ**.
- Khi từ trường ngoài xoay chiều tác động, vật liệu sắt từ bị từ hóa tuần hoàn theo vòng từ trễ, gây nên sự phát nóng

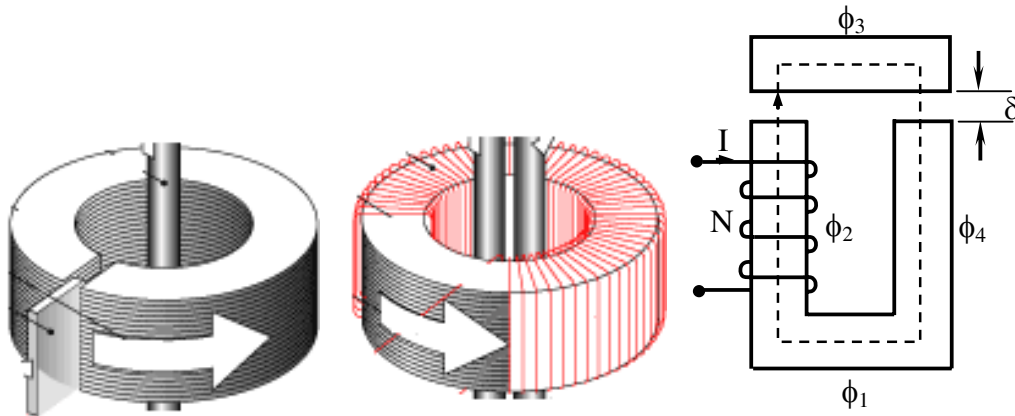


do ma sát nội bộ khi các momen từ đổi chiều.

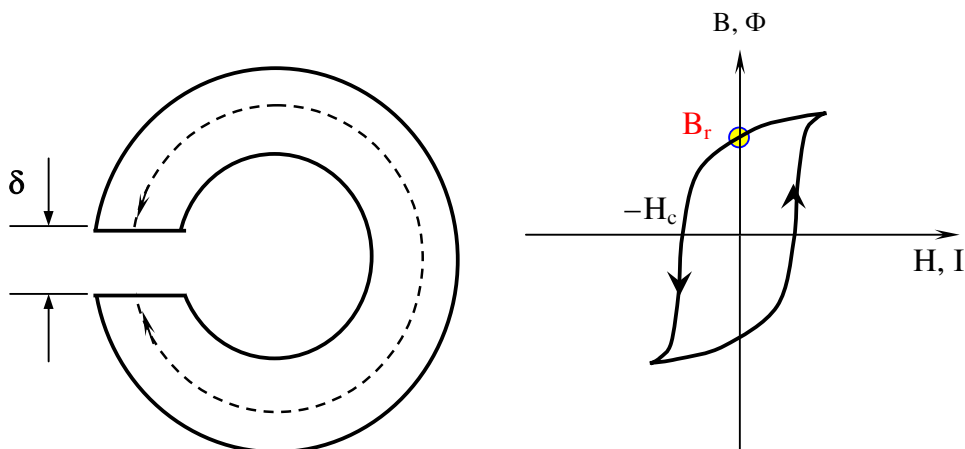
- Diện tích vòng từ trễ càng lớn hay tần số của từ trường ngoài càng cao thì tổn hao càng lớn.

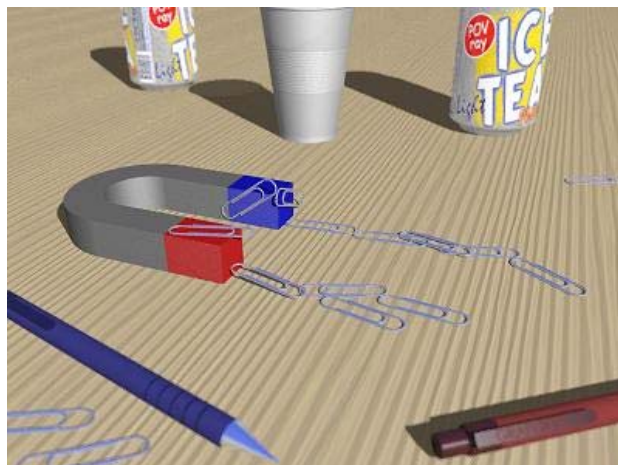
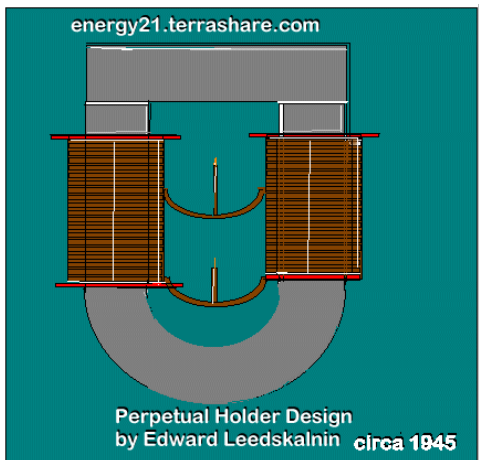


I.1.4. Các bài toán của mạch từ



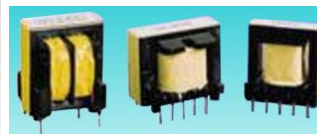
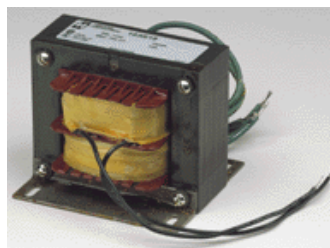
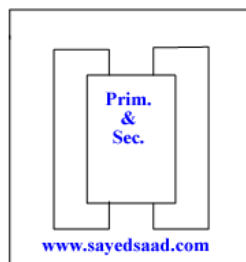
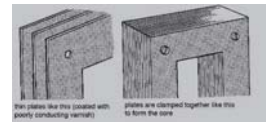
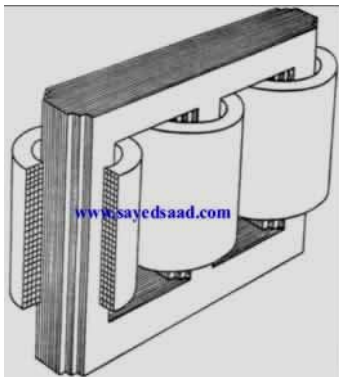
I.4. Nam châm vónh cõu (NCVC)

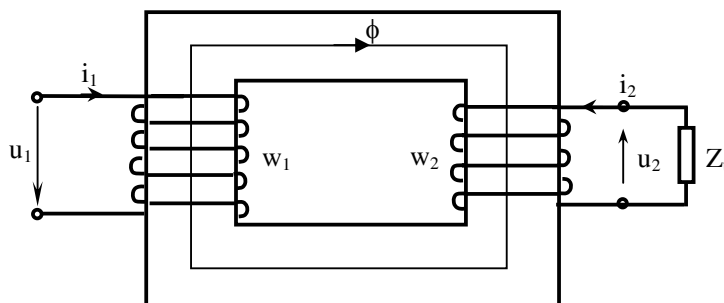




II. MÁY BIẾN ÁP

II.1. Giới thiệu chung về máy biến áp





II.1.1. Định nghĩa

Máy biến áp là thiết bị điện từ tĩnh làm nhiệm vụ truyền tải hoặc phân phối năng lượng. Gồm cuộn dây sơ cấp nối nguồn điện và cuộn dây cảm ứng nối tải là cuộn thứ cấp. Ký hiệu:



II.1.2. Các đại lượng định mức

MBA một pha: $U_{1dm}, U_{2dm} = U_{20}, I_{1dm}, I_{2dm}, S_{dm} = U_{2dm} \cdot I_{2dm} \approx U_{1dm} \cdot I_{1dm}$ [VA]

MBA bapha: U_{dm} dây, I_{dm} dây, $S_{dm} = \sqrt{3} U_{2dm} \cdot I_{2dm} \approx \sqrt{3} U_{1dm} \cdot I_{1dm}$ [VA]

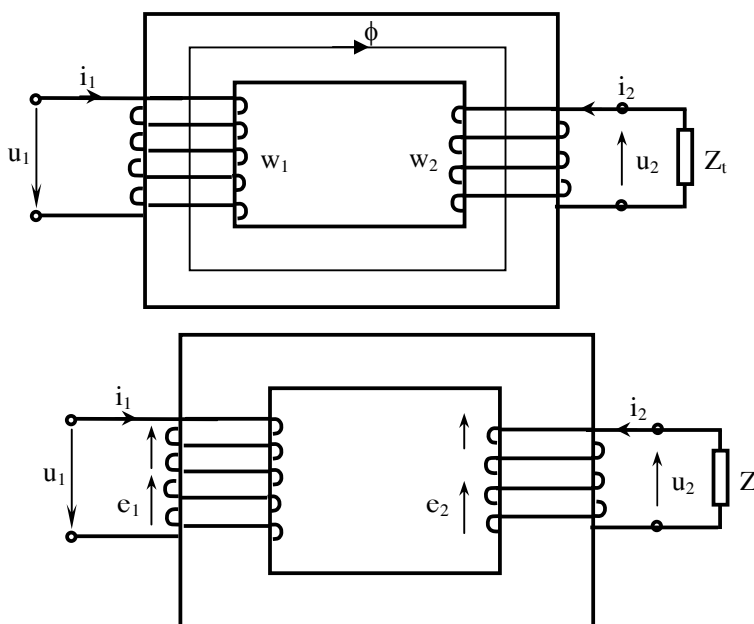
II.1.3. Cấu tạo của máy biến áp

Lõi: (0,35mm đến 0,5mm)

Dây quấn.

Vỏ máy: có thể chứa dầu máy biến áp (làm mát và cách điện MBA).

II.1.4. Nguyên lý hoạt động của máy biến áp



$$e_1 = -w_1 \frac{d\phi}{dt}$$

$$\dot{E}_1 = -\frac{j\omega w_1 \dot{\Phi}}{\sqrt{2}}$$

$$e_2 = -w_2 \frac{d\phi}{dt}$$

$$\dot{E}_2 = -\frac{j\omega w_2 \dot{\Phi}}{\sqrt{2}}$$

$$E_1 = -\frac{j\omega w_1 \Phi}{\sqrt{2}} \qquad E_2 = -\frac{j\omega w_2 \Phi}{\sqrt{2}}$$

Hay $E_1 = -\sqrt{2}\pi f w_1 \Phi$ $E_2 = -\sqrt{2}\pi f w_2 \Phi$
*(U_1 không đổi $\Rightarrow E_1$ xem như không đổi $\Rightarrow \Phi$ không đổi
 Từ thông Φ không đổi cả khi không tải và có tải)*

Tỷ số biến áp: $k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2}$

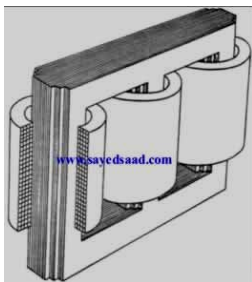
Nếu bỏ qua điện trở dây quấn và từ thông tỏa ra ngoài không khí ta có:

$$U_1 \approx E_1 \text{ và } U_2 \approx E_2$$

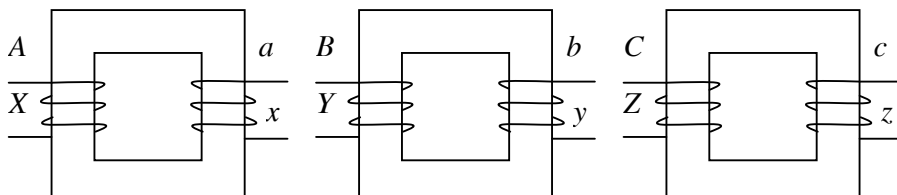
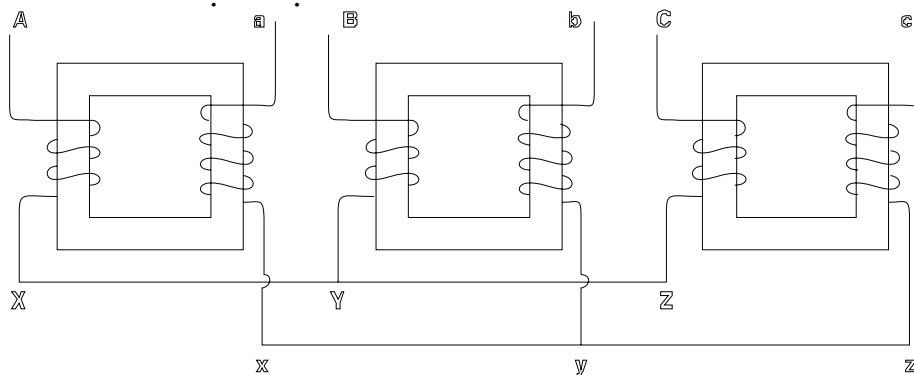
$$\Rightarrow k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} \approx \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

MÁY BIẾN ÁP BA PHA

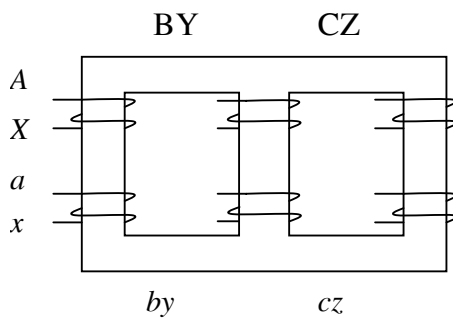
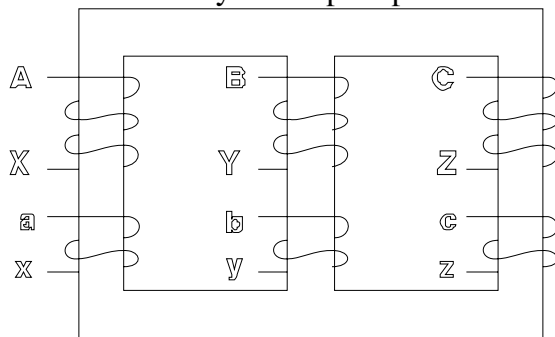




• Cấu tạo mạch từ:

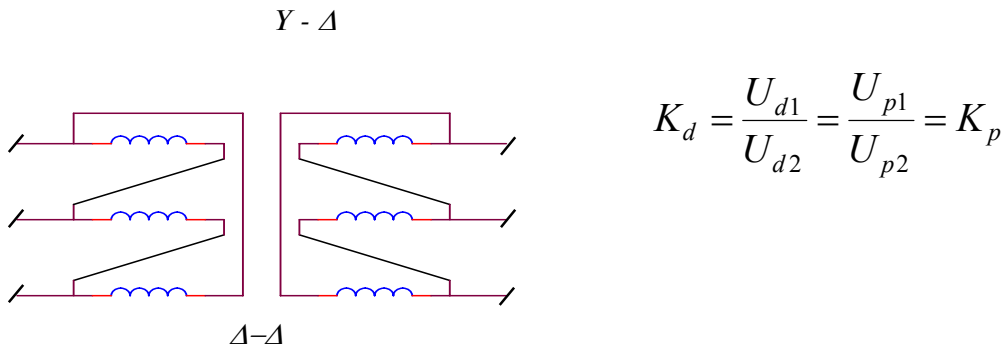
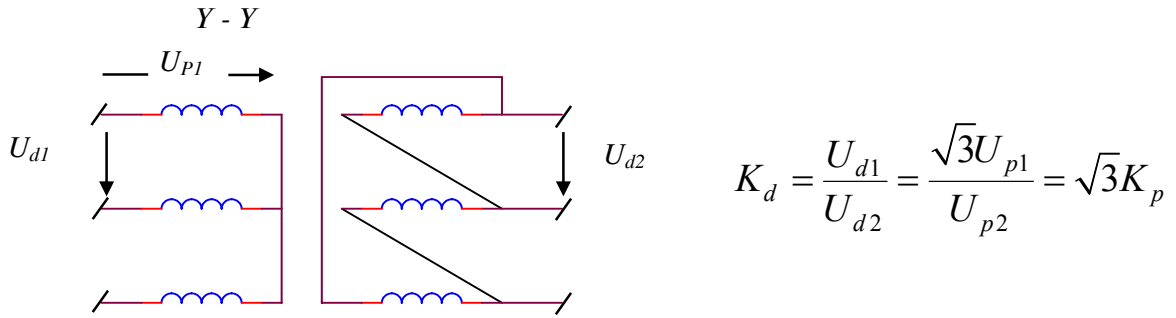
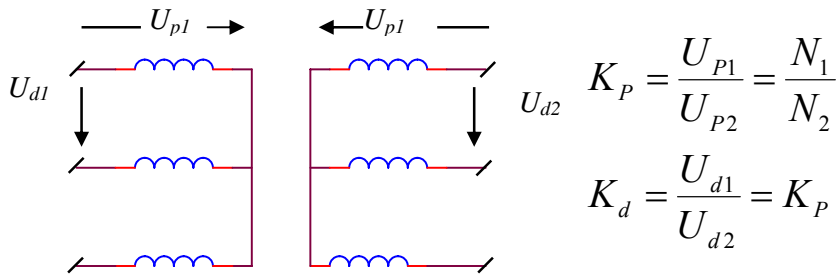


Tổ máy biến áp ba pha



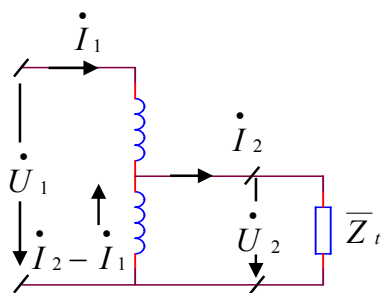
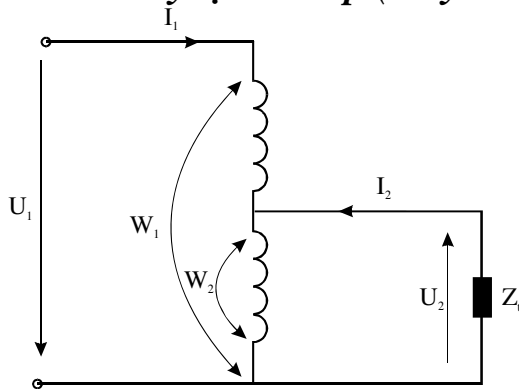
Máy biến áp ba pha 3 trụ

• Các cách đấu dây và tỷ số biến áp.



MÁY BIẾN ÁP ĐẶC BIỆT

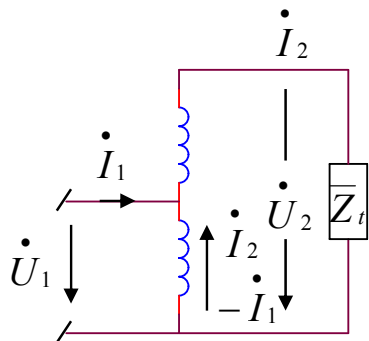
- *Máy tự biến áp (máy biến áp tự ngẫu)*



$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = K > 1$$

$$P = U_2 I_2 = U_2 I_1 + U_2 (I_2 - I_1)$$

$$\rightarrow P = P_d + P_{dt}$$



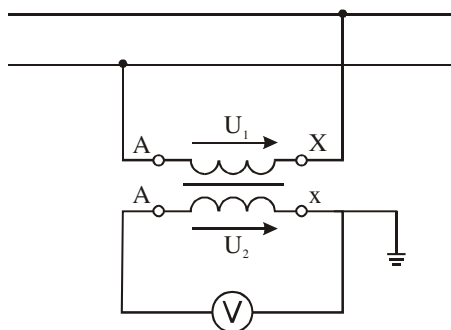
$$P_d = U_2 I_1$$

$$P_{dt} = U_2 (I_2 - I_1)$$

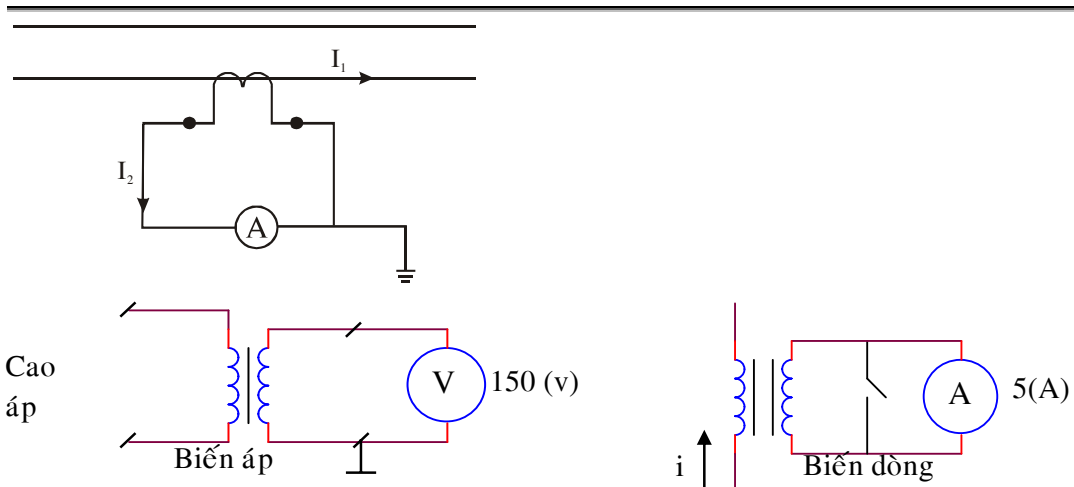
$$\frac{P_d}{P} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{1}{K} < 1$$

$$\frac{P_{dt}}{P} = \frac{I_2 - I_1}{I_2} = \frac{K - 1}{K} < 1$$

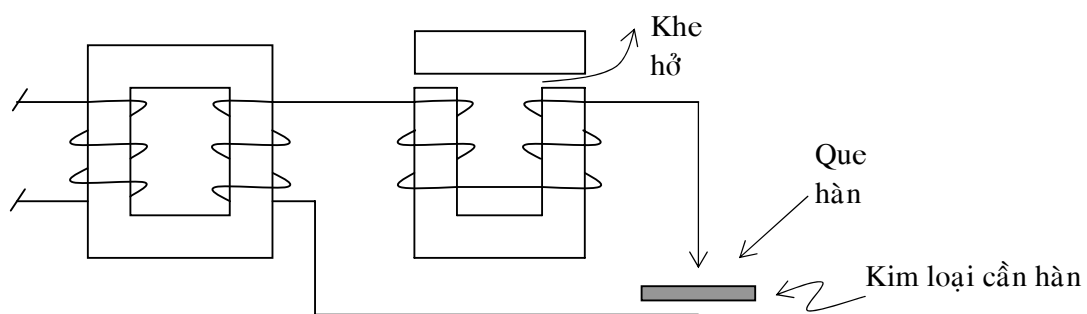
- *Máy biến điện đo lường. Máy biến điện áp*



- *Máy biến dòng điện*



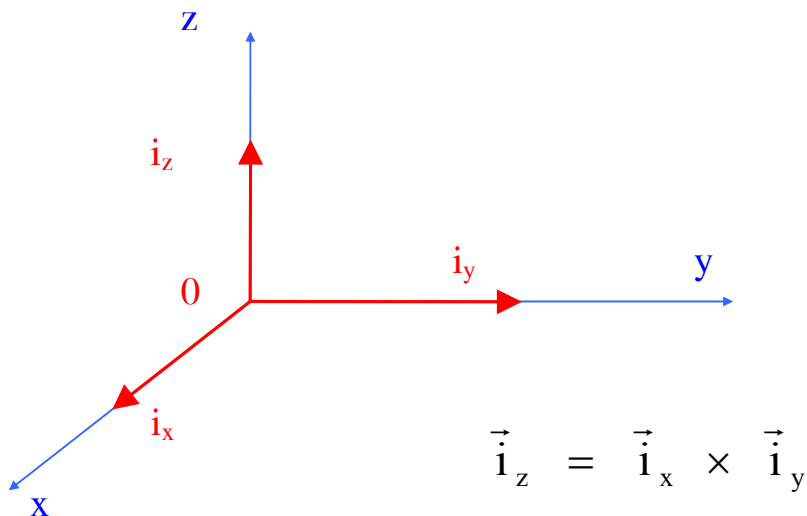
- Máy biến áp hàn điện.



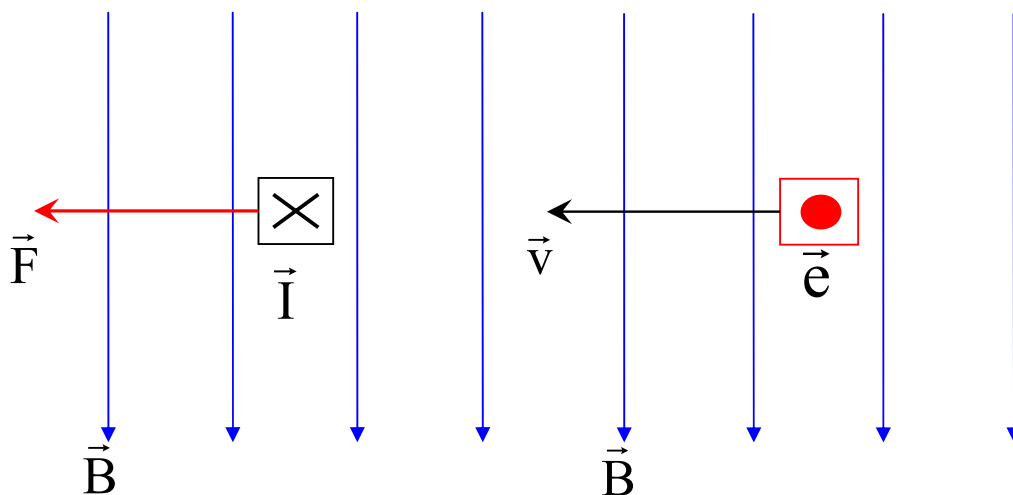
- Phương pháp hồ quang.
- Chế độ ngắn mạch thứ cấp.

III. CƠ BẢN VỀ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

III.1. Lực điện từ và sức điện động



Tích có hướng

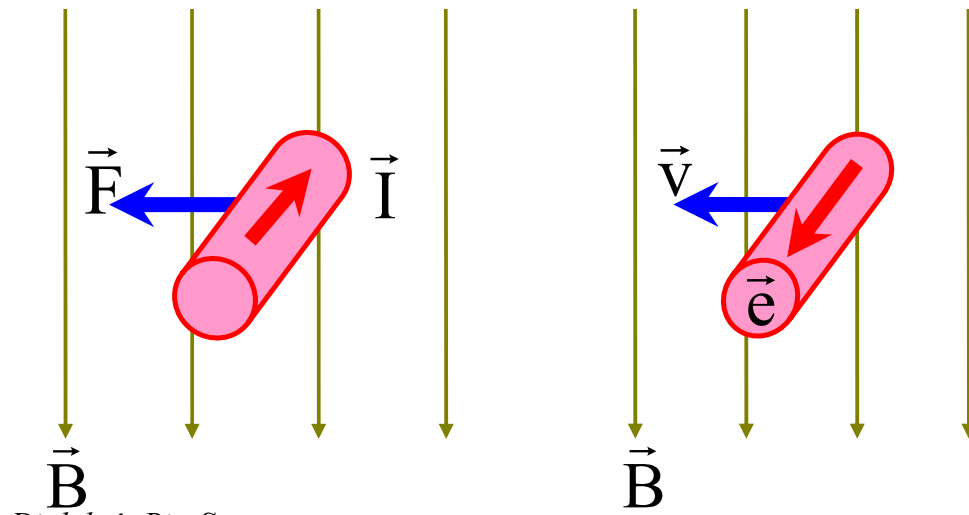


Định luật Bio-Savart:

$$\vec{F}_e = I(\vec{l} \times \vec{B})$$

Định luật Faraday:

$$\vec{e} = (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot l$$

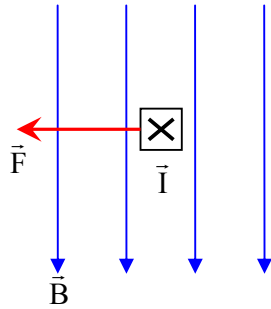


Định luật Bio-Savart:

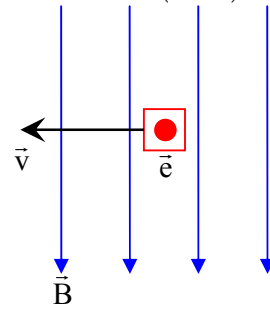
$$\vec{F}_e = I(\vec{l} \times \vec{B}) \quad F_e = IlB$$

Định luật Faraday:

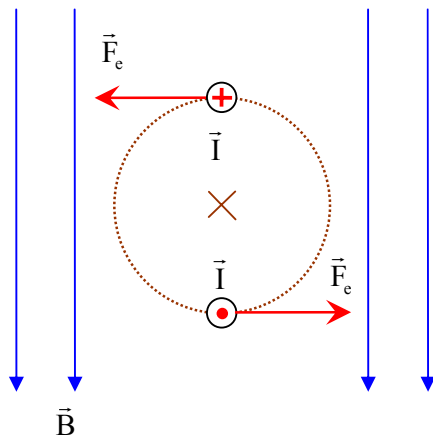
$$\vec{e} = (\vec{v} \times \vec{B})l \quad e = vBl$$



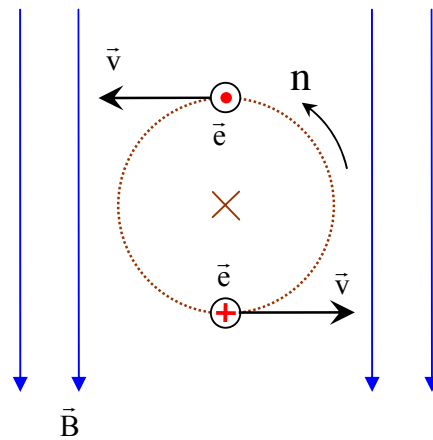
$$\vec{F}_e = I(\vec{l} \times \vec{B})$$



$$\vec{e} = (\vec{v} \times \vec{B})l$$

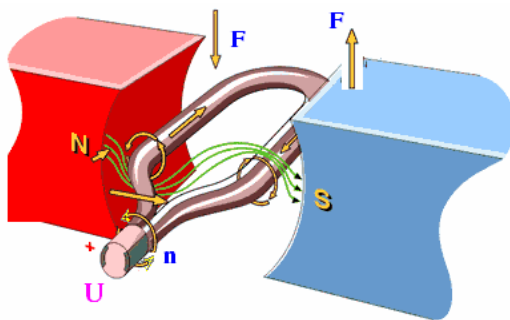
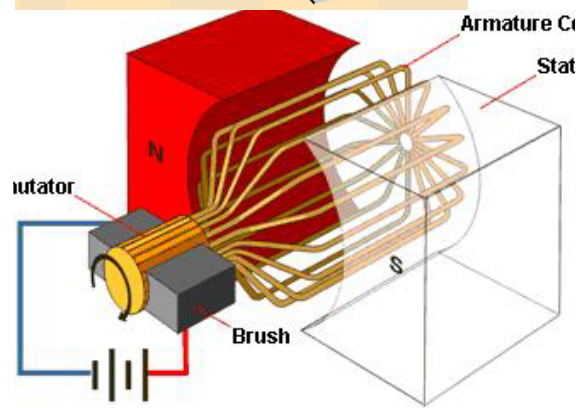
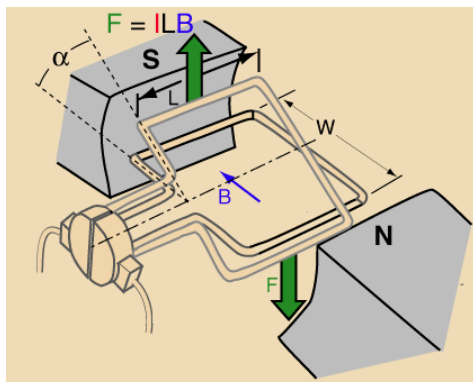
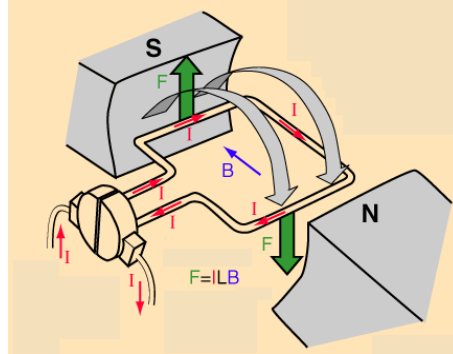
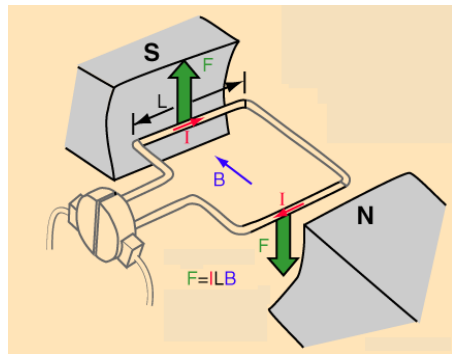
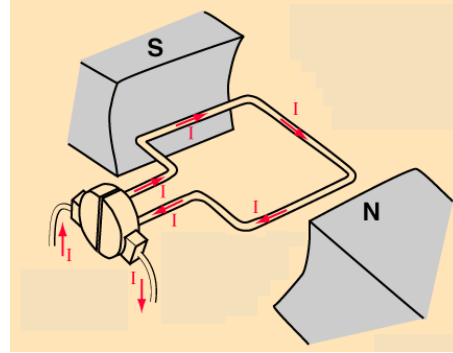
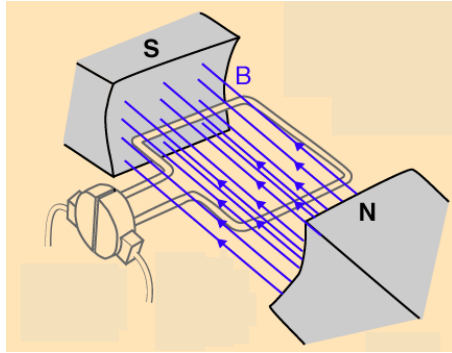


Động cơ

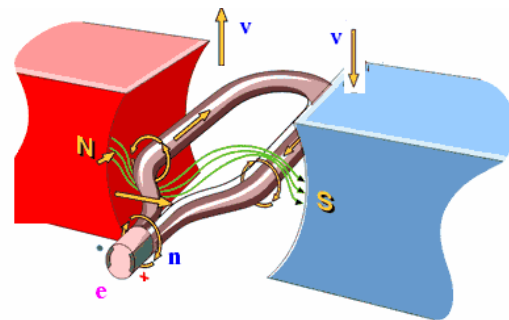


Máy phát .

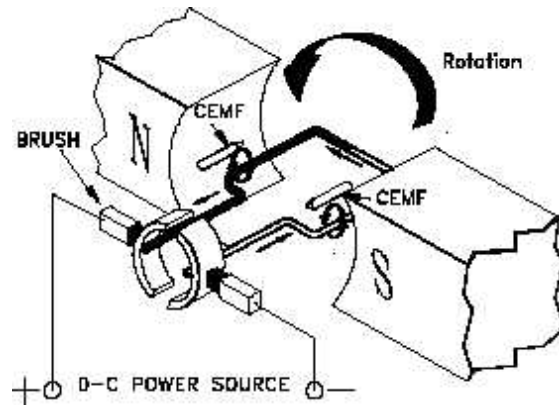
Động cơ



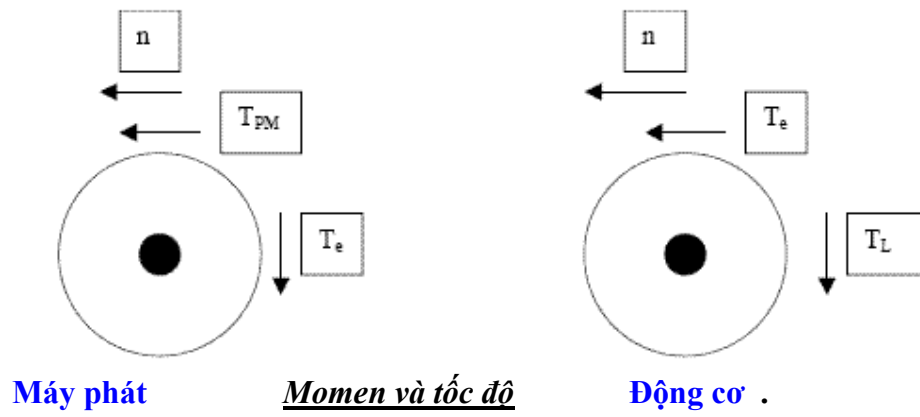
Động cơ



Máy phát.

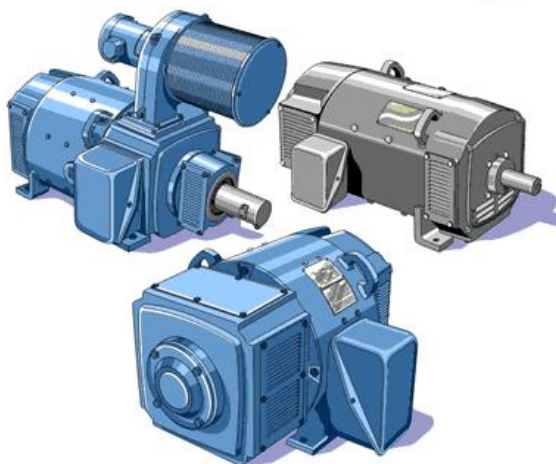
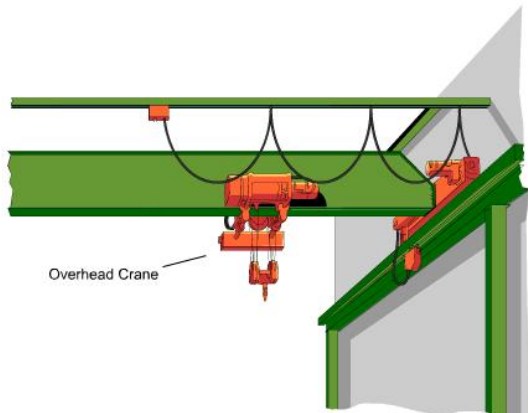
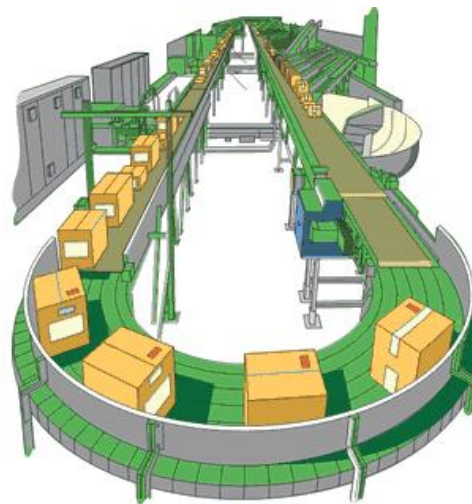


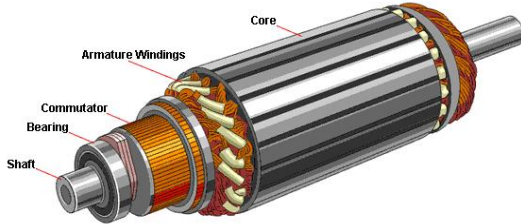
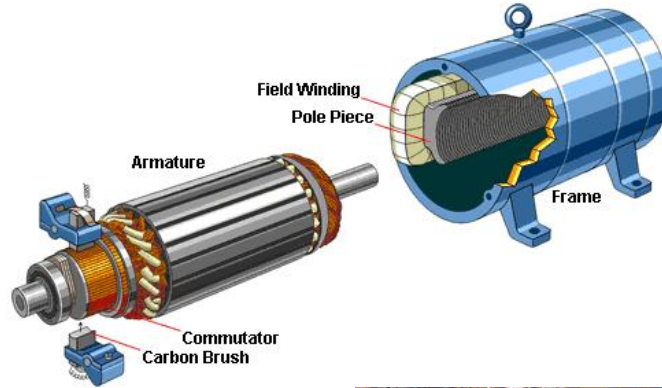
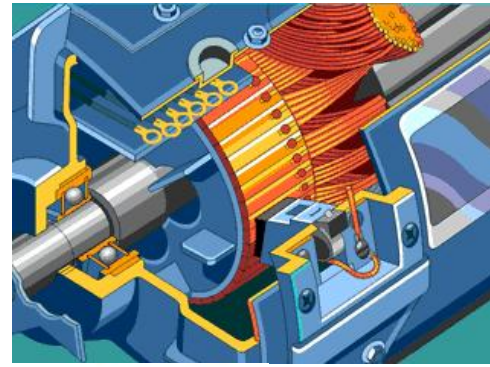
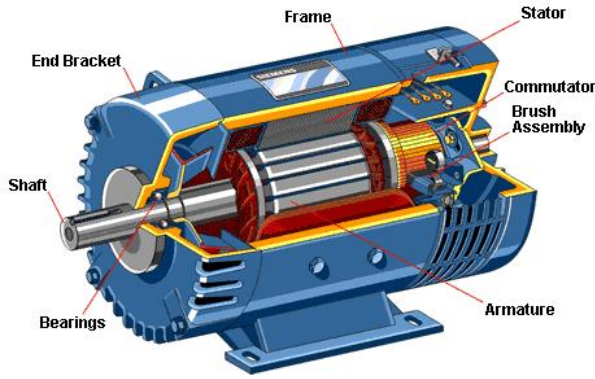
Máy phát



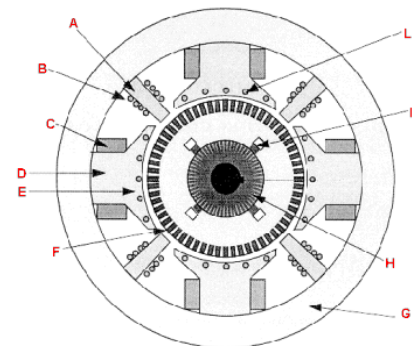
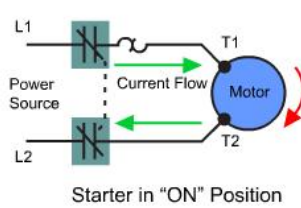
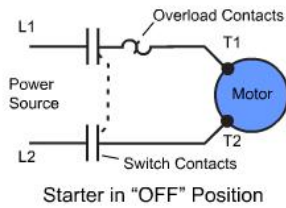
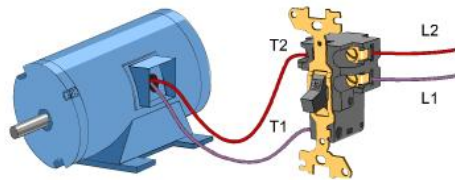
IV. MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

IV.1. Tổng quan

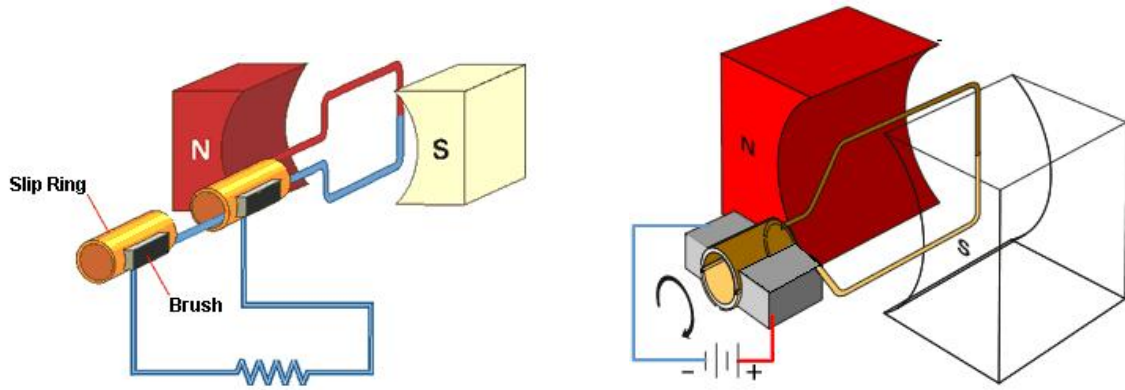




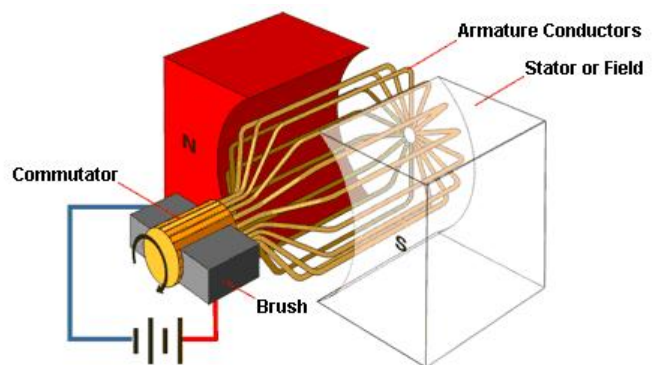
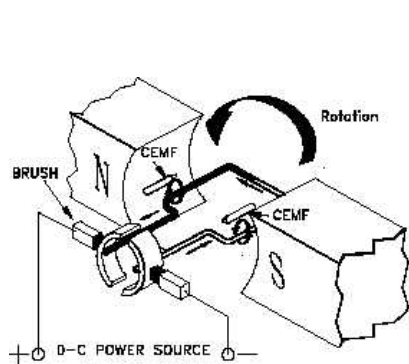
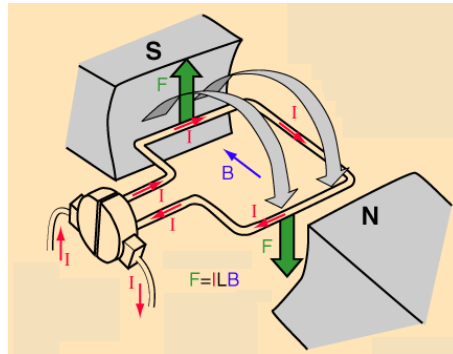
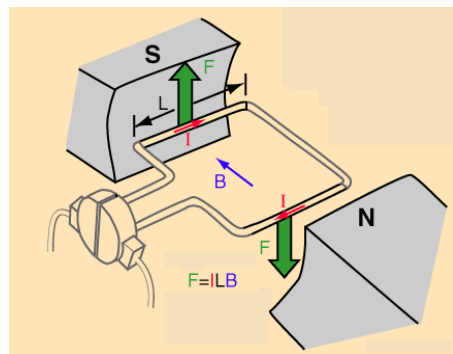
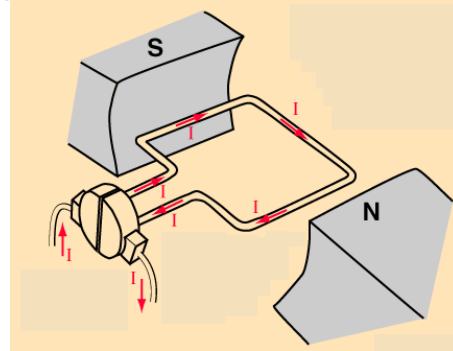
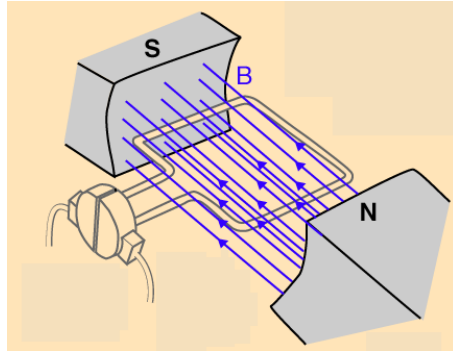
220 KW Exciter Armature for an Electric Utility generator

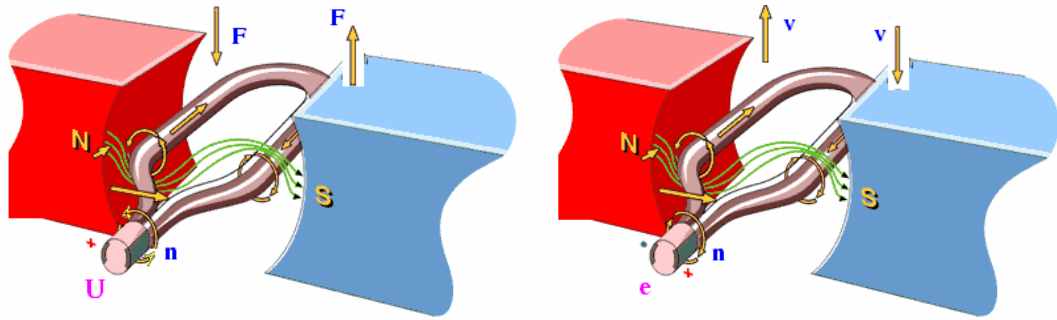


Nguyên lý hoạt động của máy điện một chiều

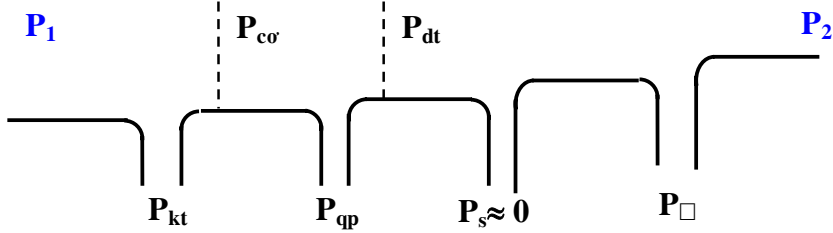
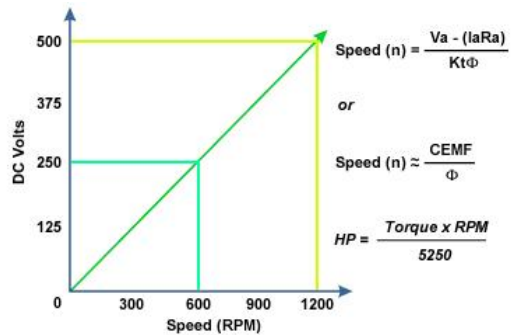
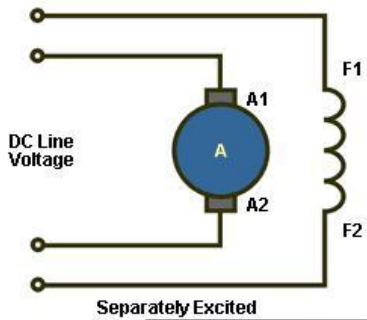
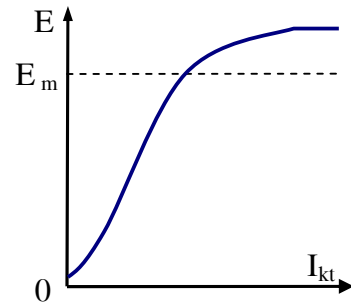
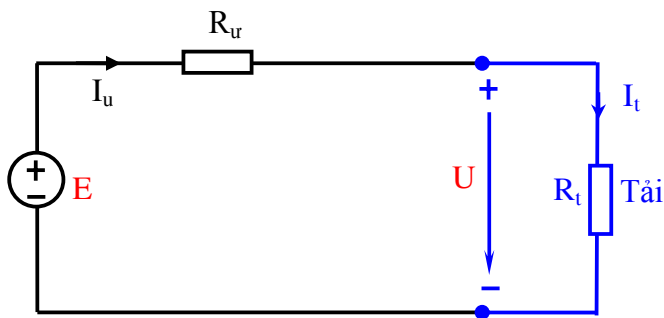
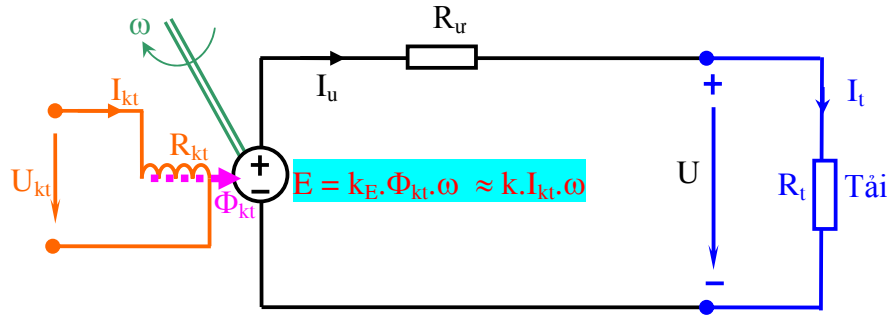


Động cơ

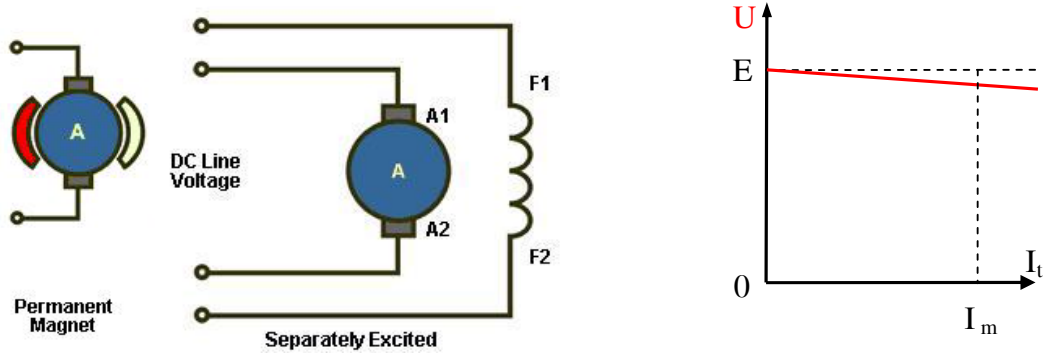
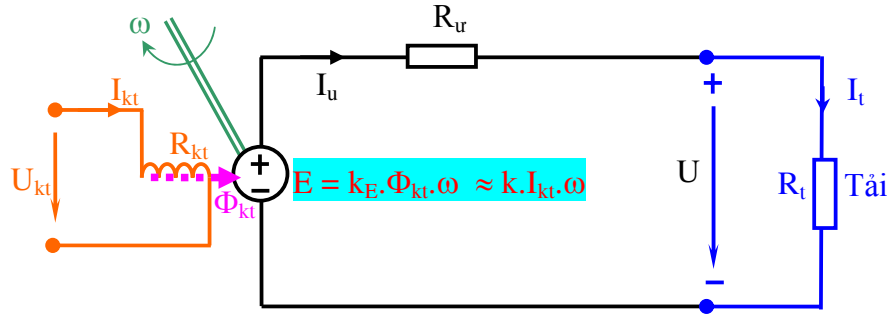




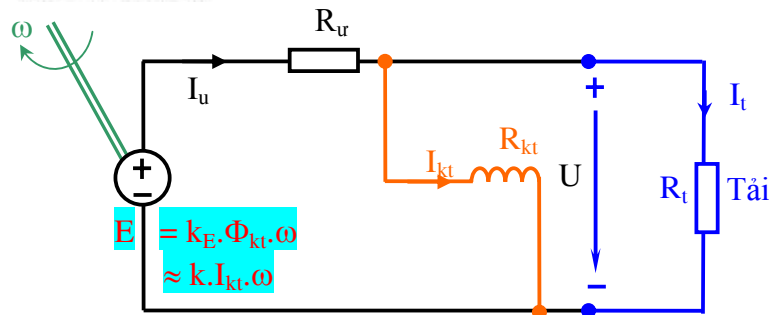
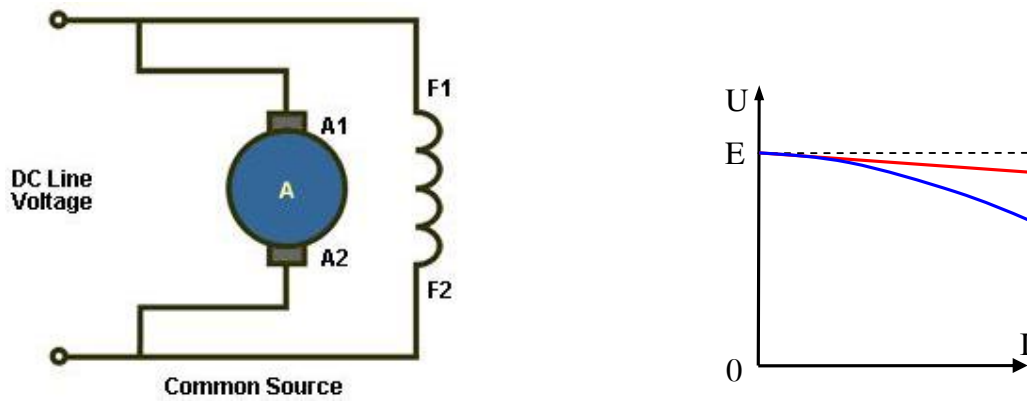
IV.2. Phân tích máy phát một chiều

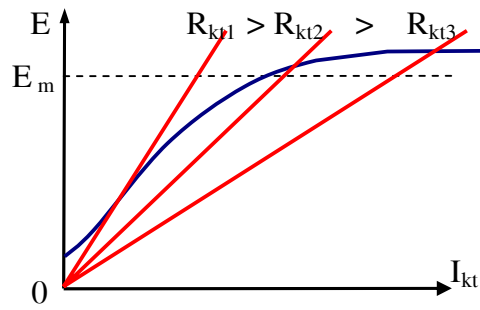


IV.2.1. Máy phát DC kích từ độc lập, NCVC

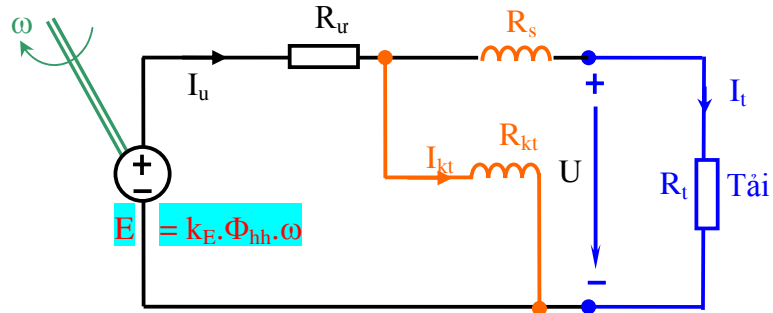


IV.2.2. Máy phát DC kích từ song song

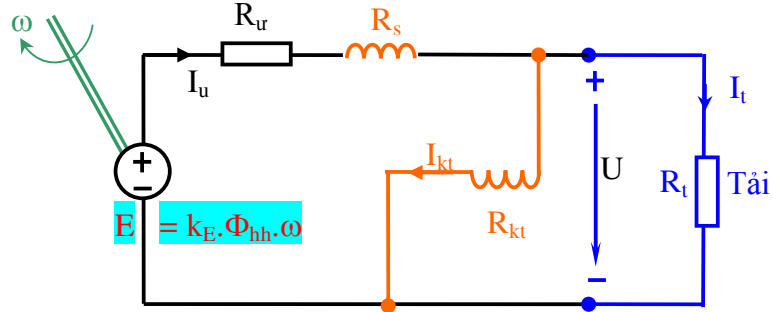




IV.2.3. Máy phát DC kích từ hỗn hợp

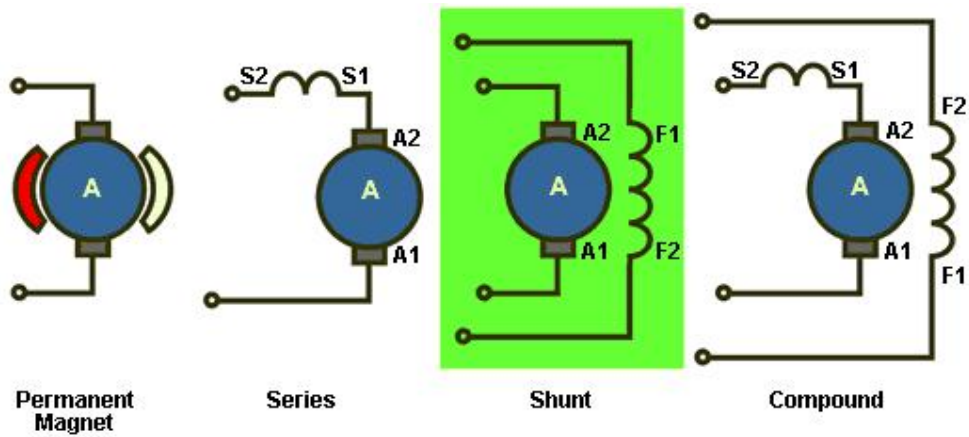


Kích từ hỗn hợp rẽ ngắn



Kích từ hỗn hợp rẽ dài

IV.3. Phân tích động cơ một chiều



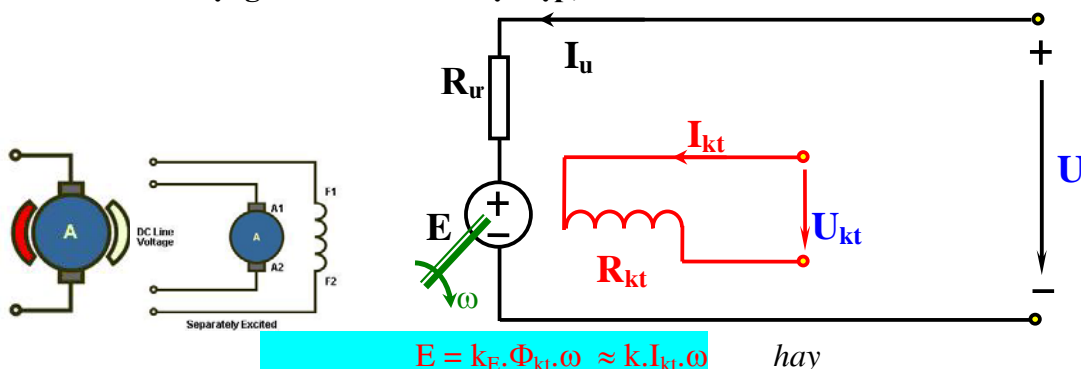
Permanent Magnet

Series

Shunt

Compound

IV.3.1. Động cơ DC kích từ độc lập, NCVC



$$E = k_E \Phi_{kt} \omega \approx k_E I_{kt} \omega \quad \text{hay}$$

$$\omega = \frac{E}{k_E \Phi_{kt}} = \frac{U - R_u I_u}{k_E \Phi_{kt}}$$

$$\omega^{(\text{rad/s})} = 2\pi \frac{n^{(\text{RPM})}}{60}$$

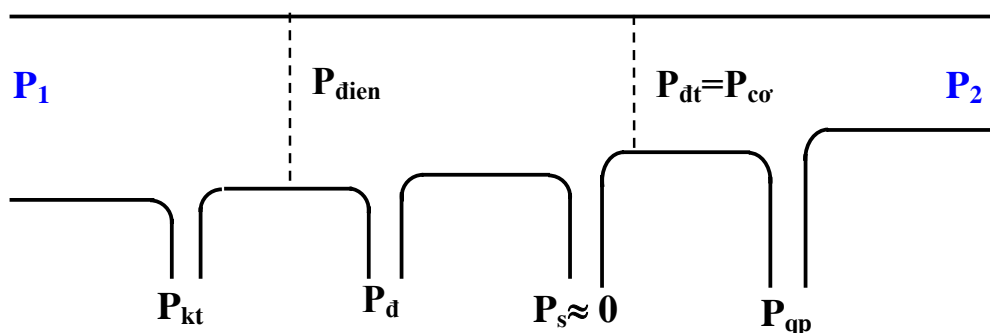
Câu 1. Một động cơ DC kích từ độc lập, 230V, điện trở phản ứng $0,2\Omega$, tốc độ không tải lý tưởng là 1000 vòng/phút. Ở chế độ định mức dòng điện phản ứng là 40A. Tính tốc độ và momen điện từ của động cơ? Biết từ thông kích từ không đổi và bằng định mức.

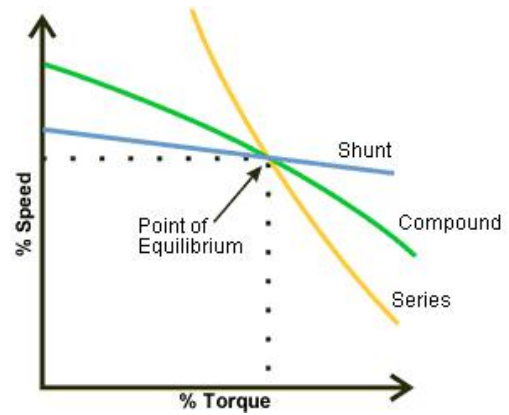
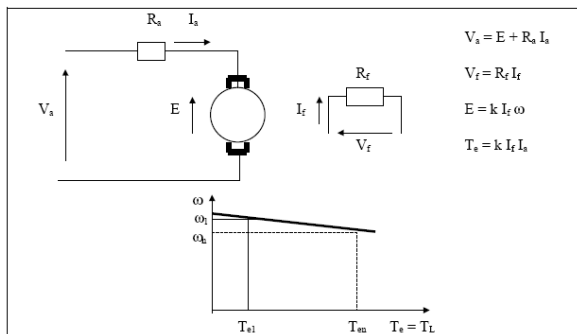
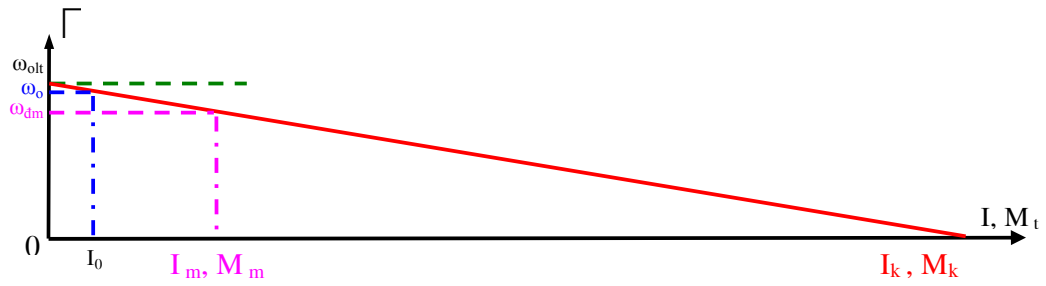
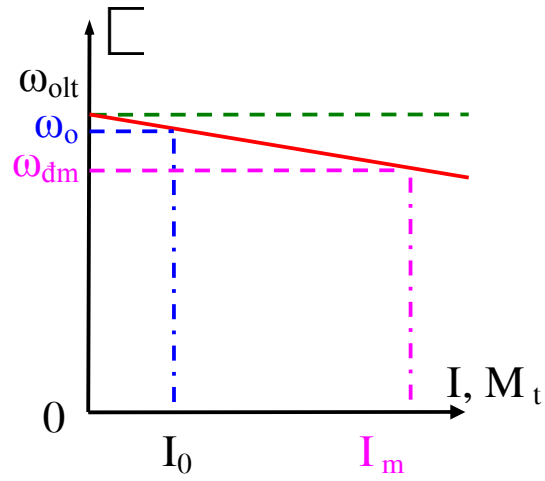
Câu 2. $T = 100\text{Nm}$. 1500RPM. 300Vdc, $I = ?$ $P = ?$,

$$T = \frac{P}{\omega}$$

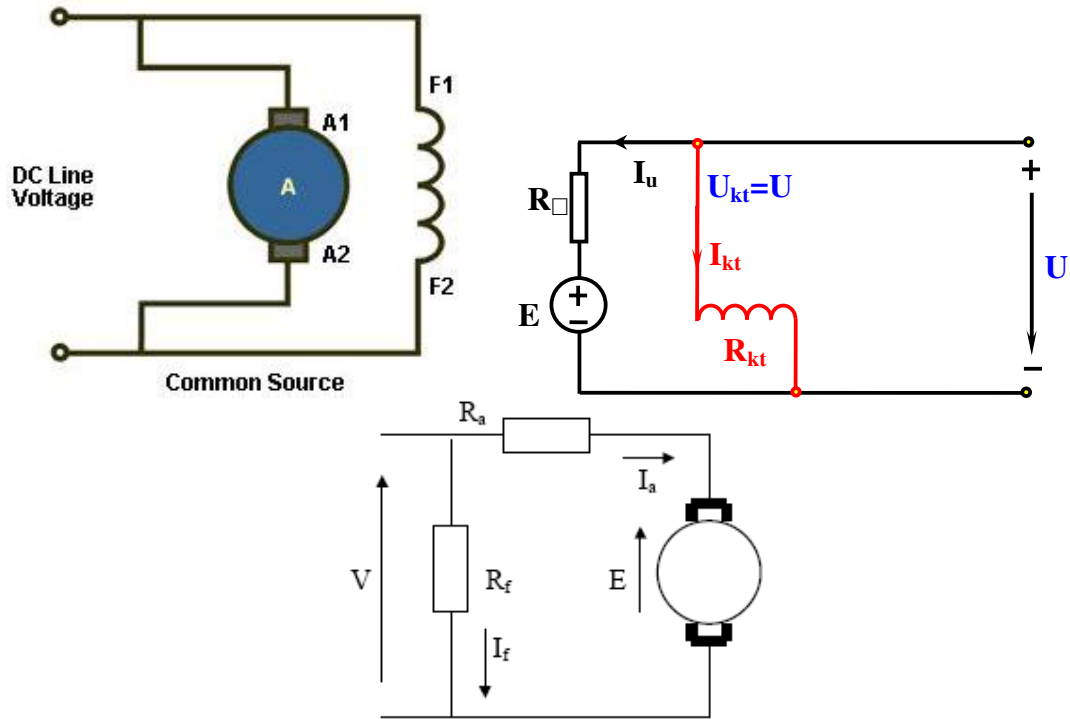
$$T_{dt} = \frac{P_{dt}}{\omega} = \frac{E_u I_u}{\omega}$$

$$T_{out} = \frac{P_{out}}{\omega}$$

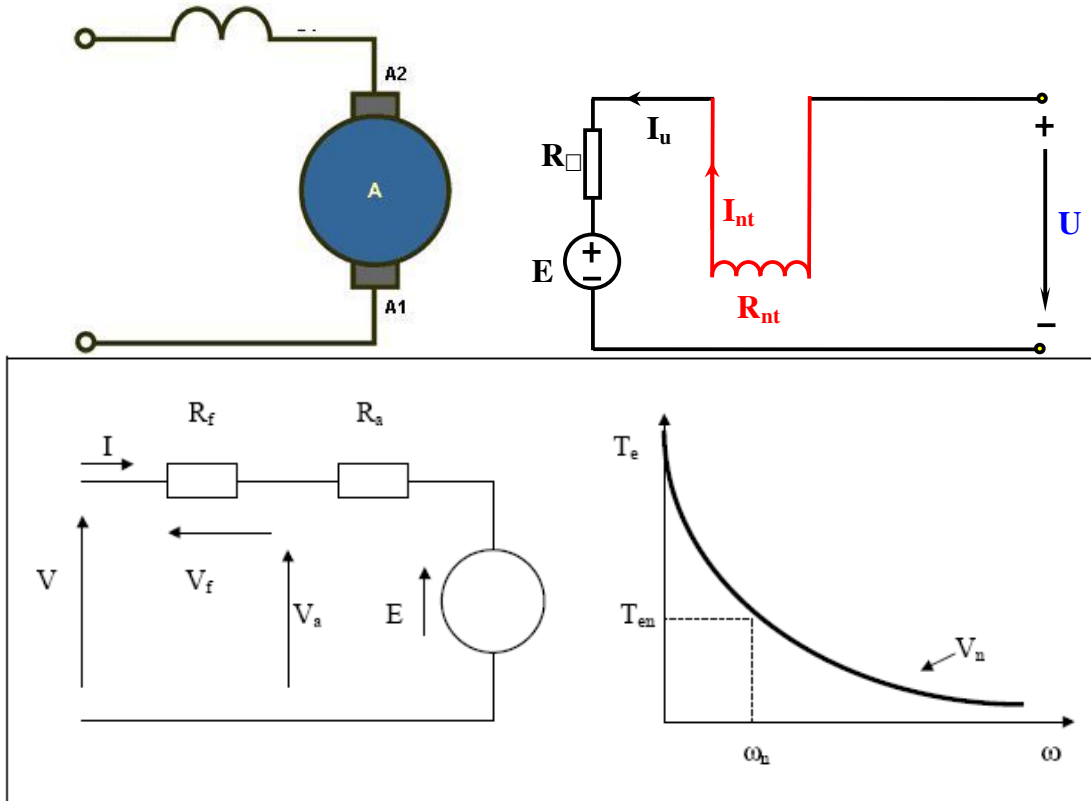




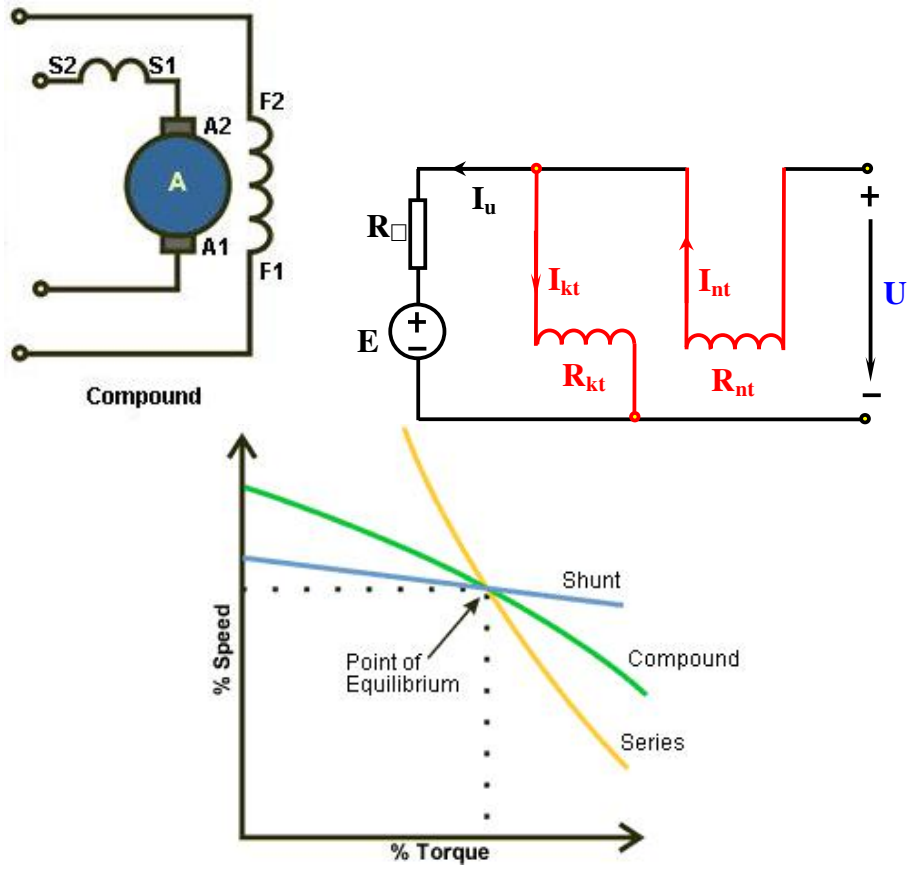
IV.3.2. Động cơ DC kích từ song song



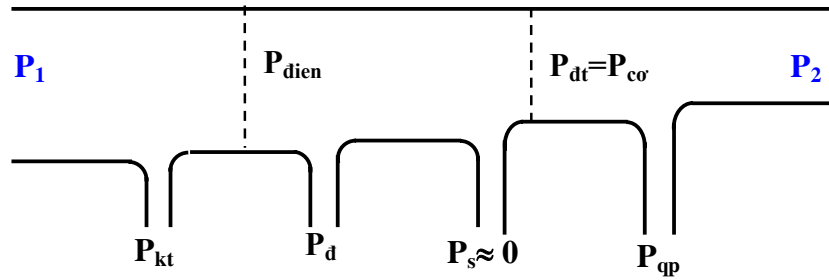
IV.3.3. Động cơ DC kích từ nối tiếp



IV.3.4. Động cơ DC kích từ hỗn hợp



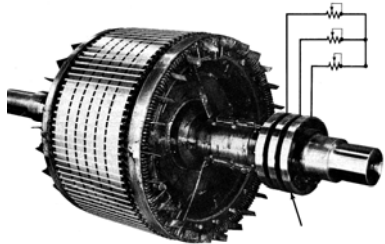
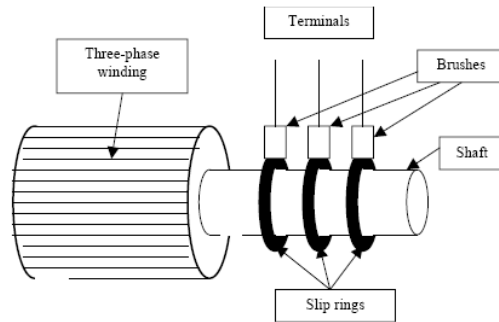
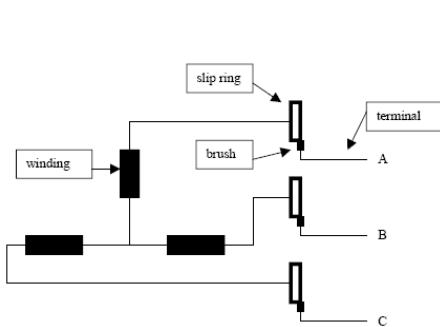
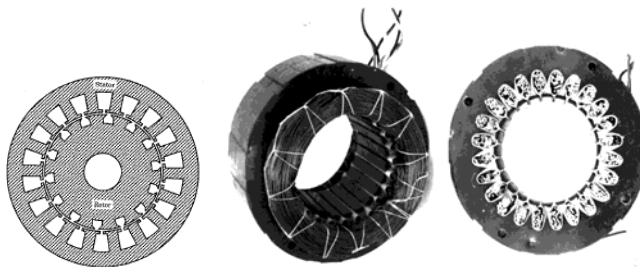
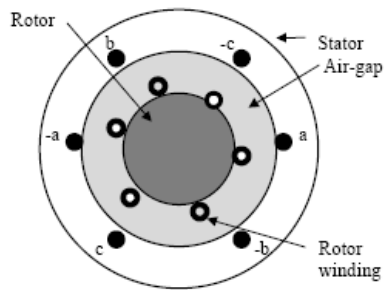
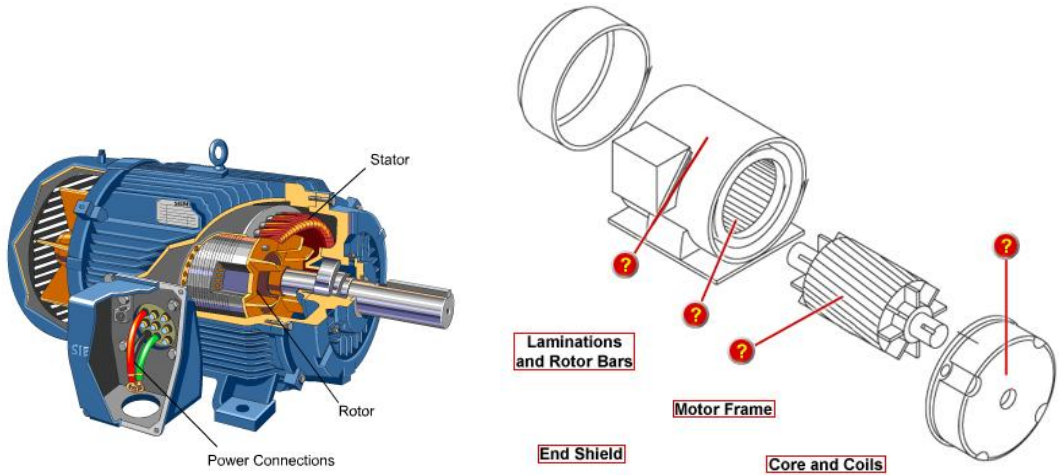
IV. Đặc tính động cơ DC



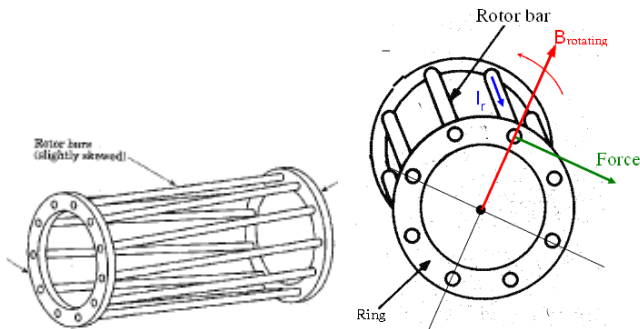
V. ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

V.1 Giới thiệu

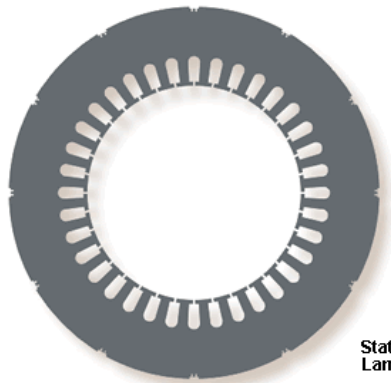
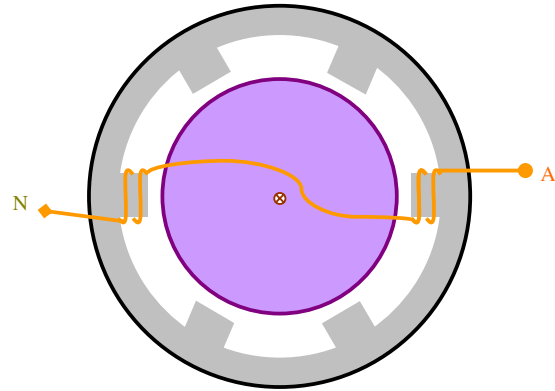
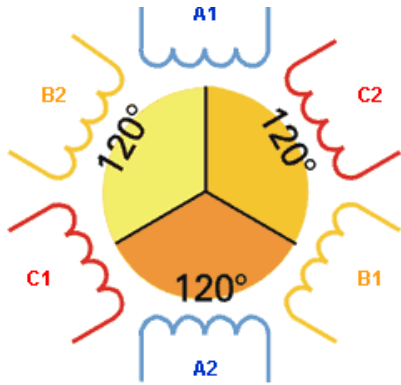
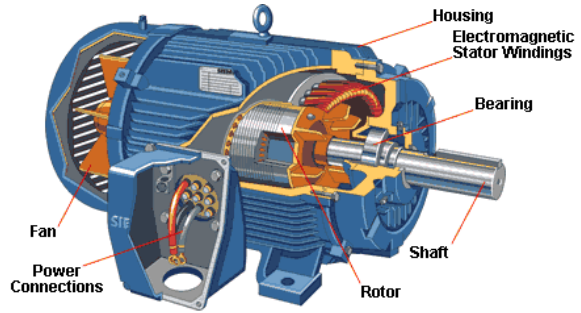
V.1.1. Cấu tạo



Rotor dây quấn

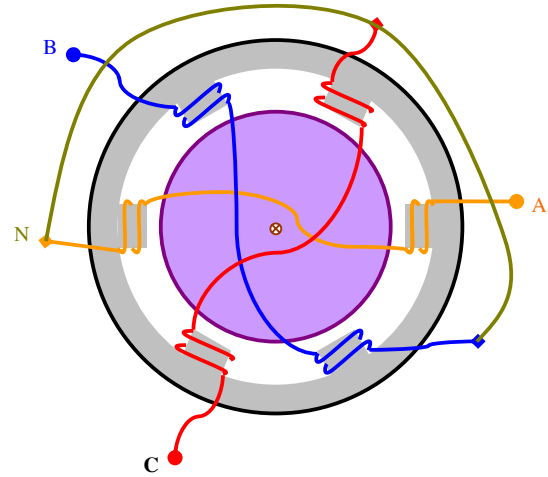


Rotor lồng sóc

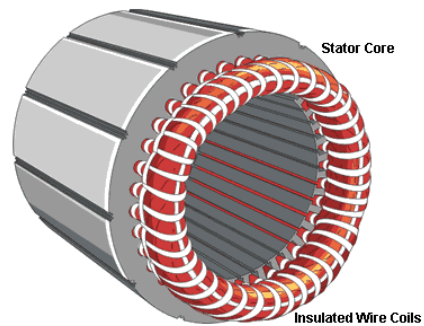
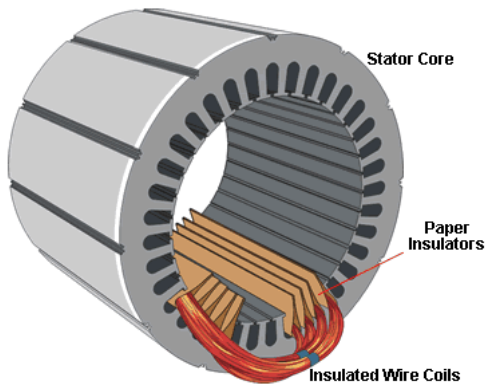


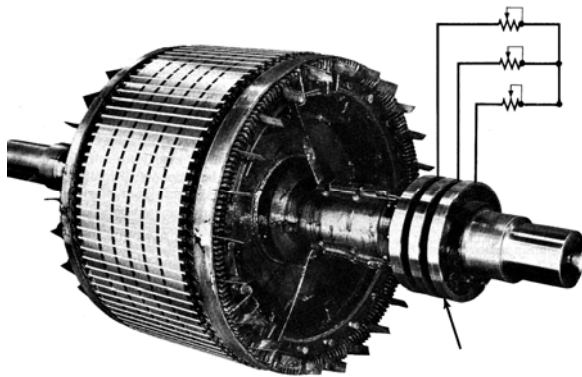
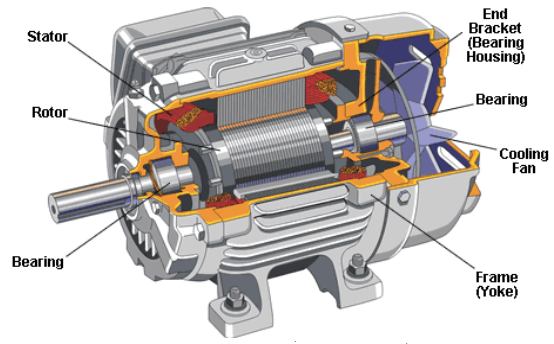
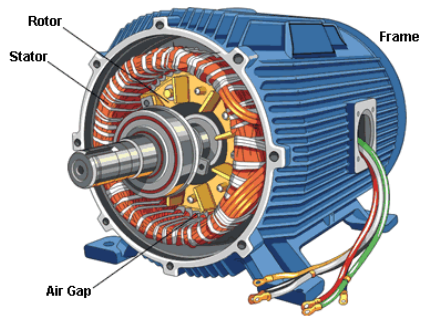
Stator Core Lamination

Stator cực từ ản

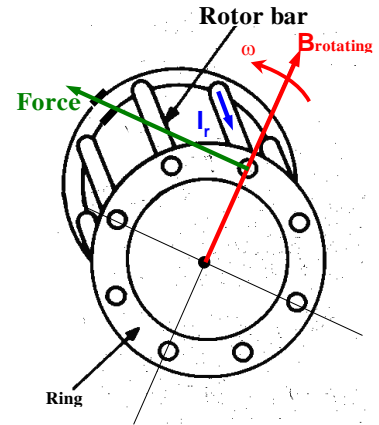


Stator cực từ lõi

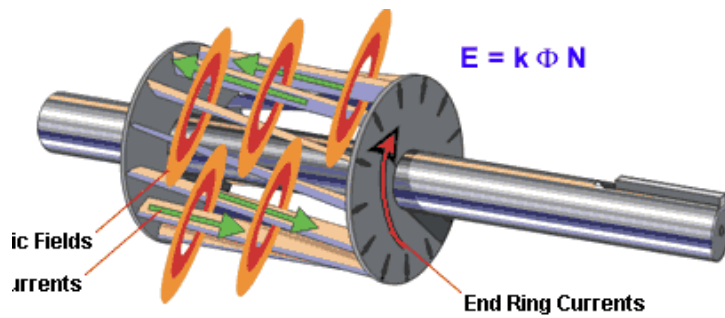
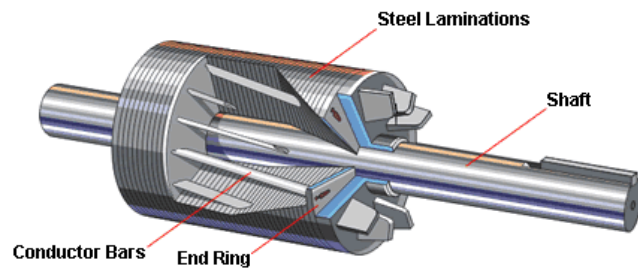
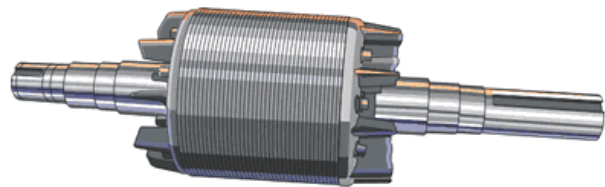
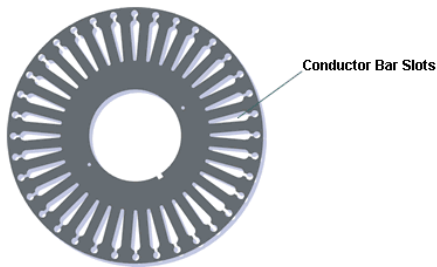




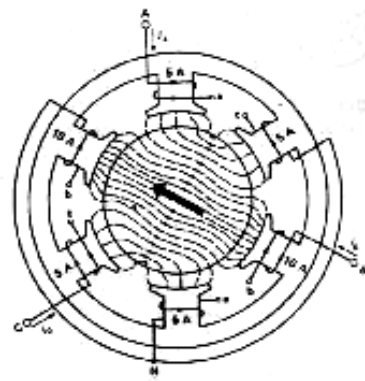
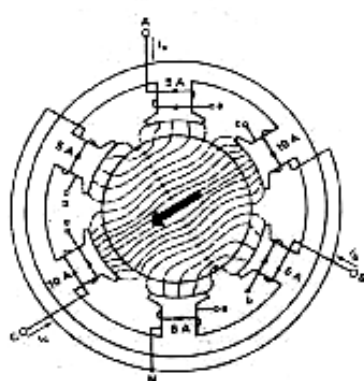
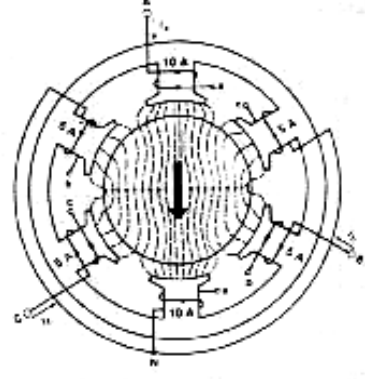
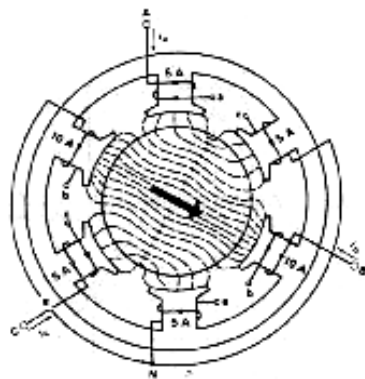
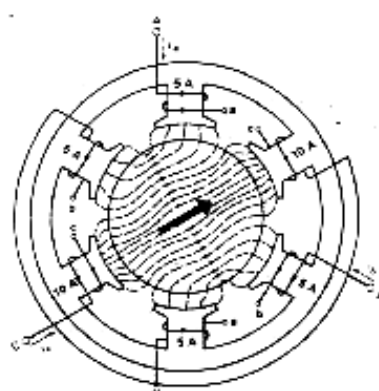
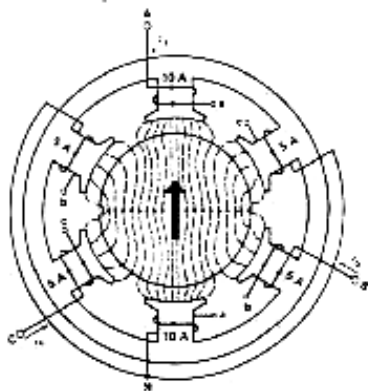
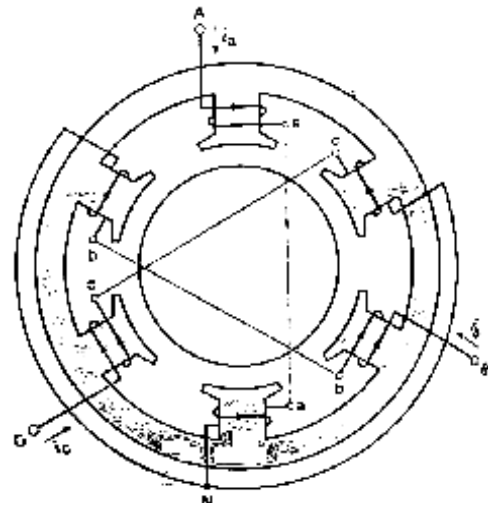
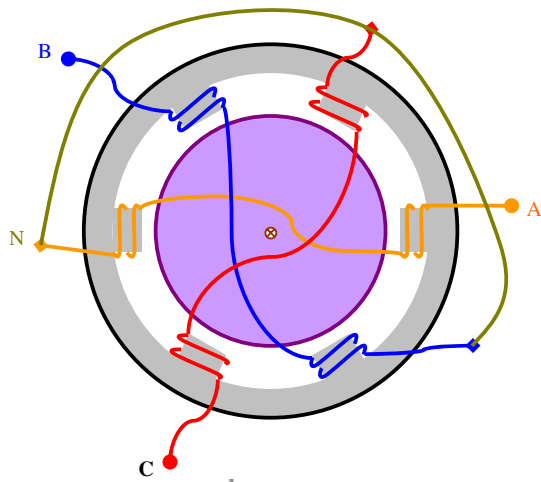
Rotor dây quấn



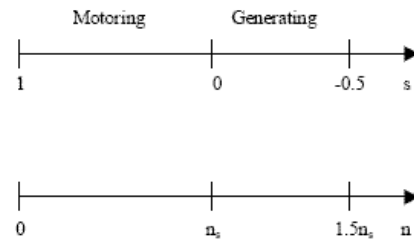
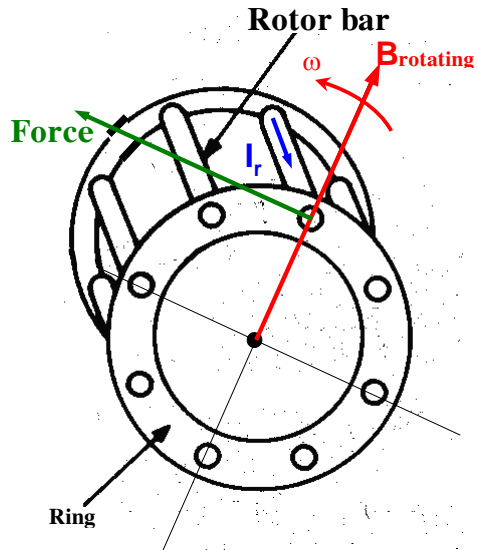
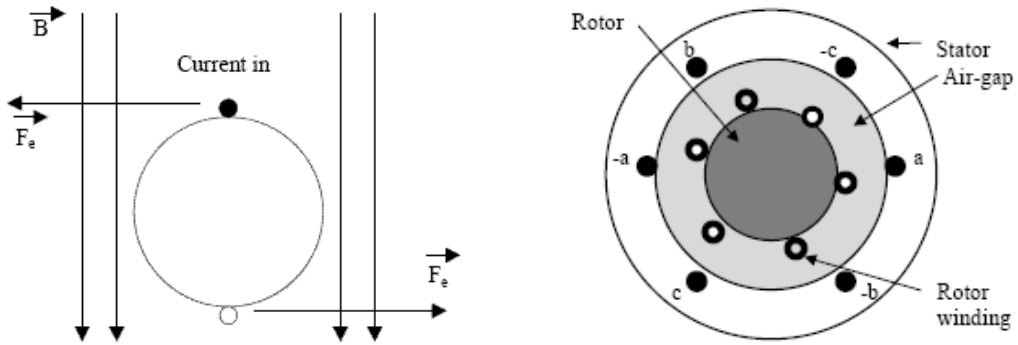
Rotor lồng sóc



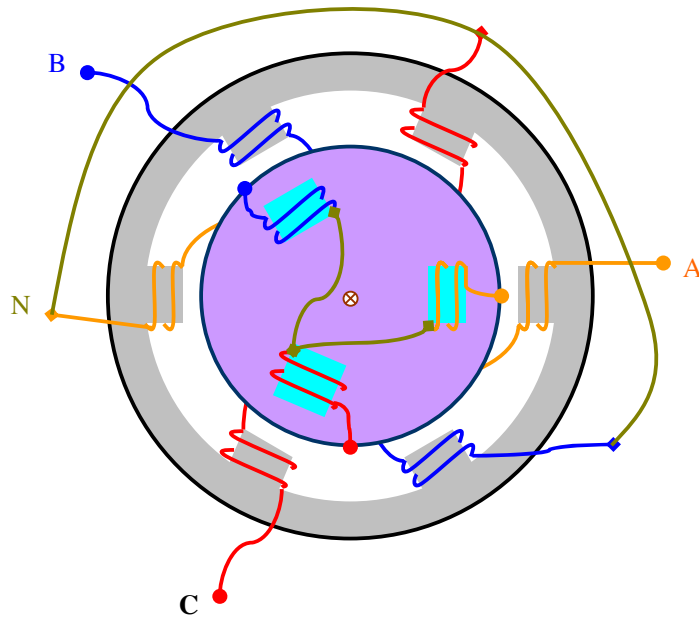
V.1.2. Từ trường quay



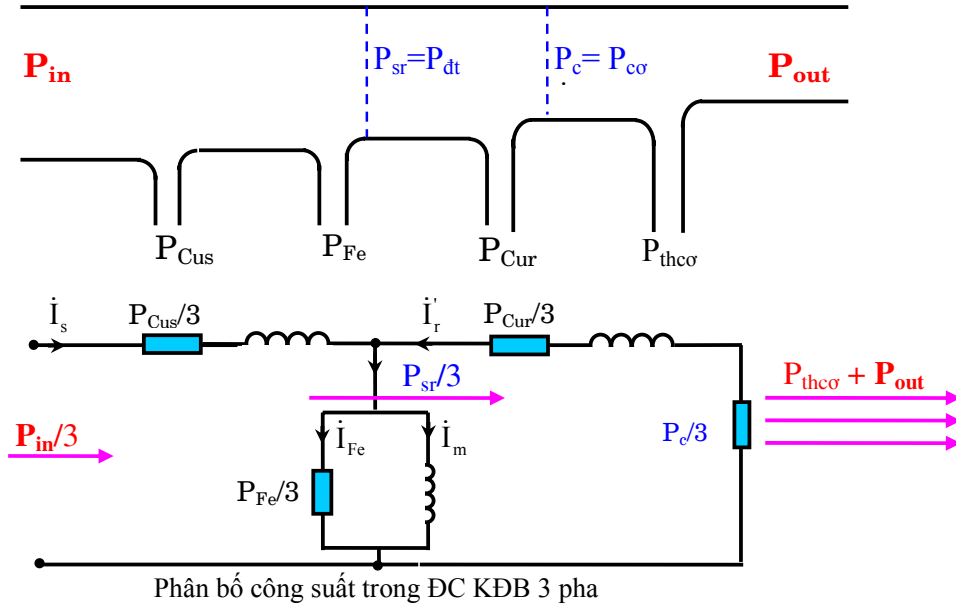
V.1.3. Nguyên lý làm việc



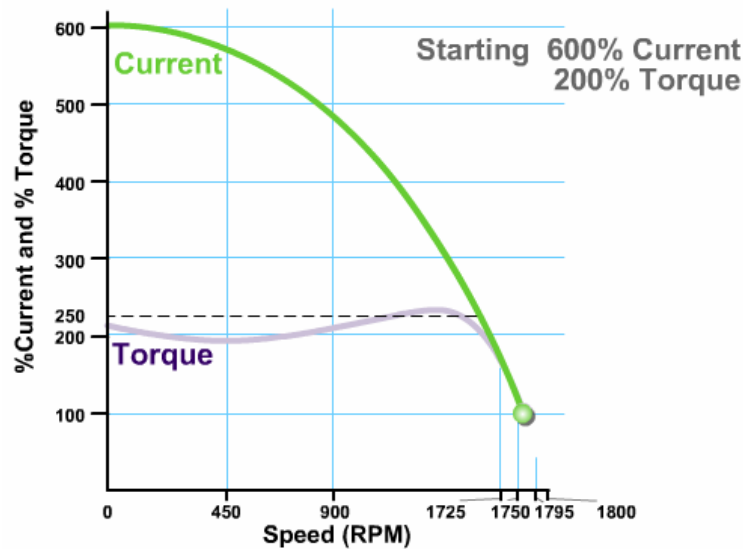
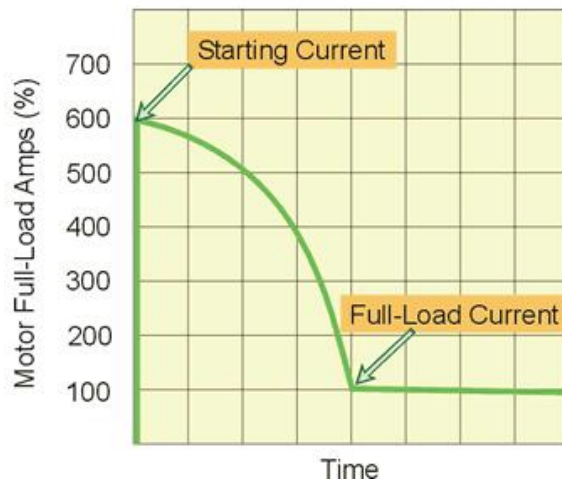
P	1	2	3	4
n_s [rpm]	3000	1500	1000	750

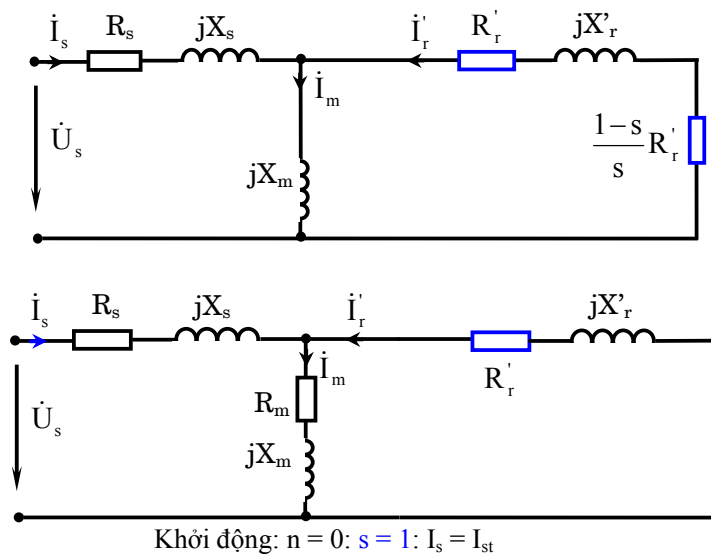


III. Phân bố công suất và hiệu suất

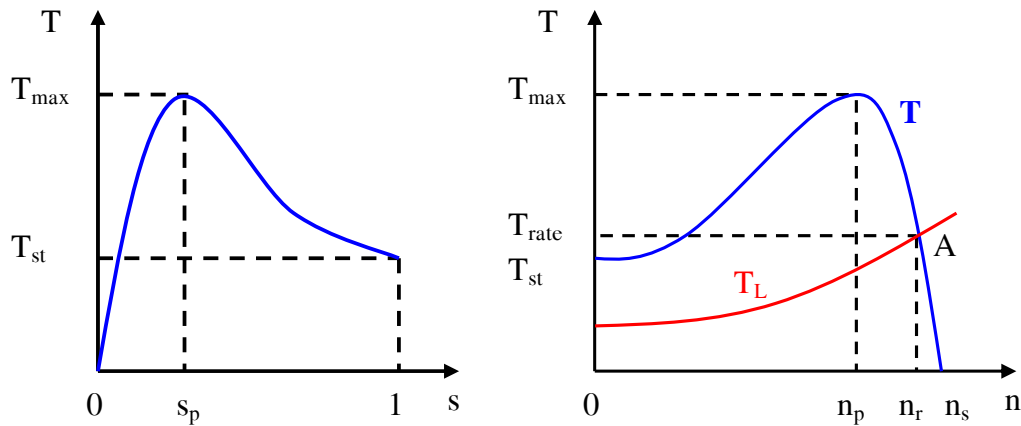


V. Khởi động động cơ không đồng bộ





VI. Đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ



Độ trượt tới hạn: s_p ứng với T_{max}

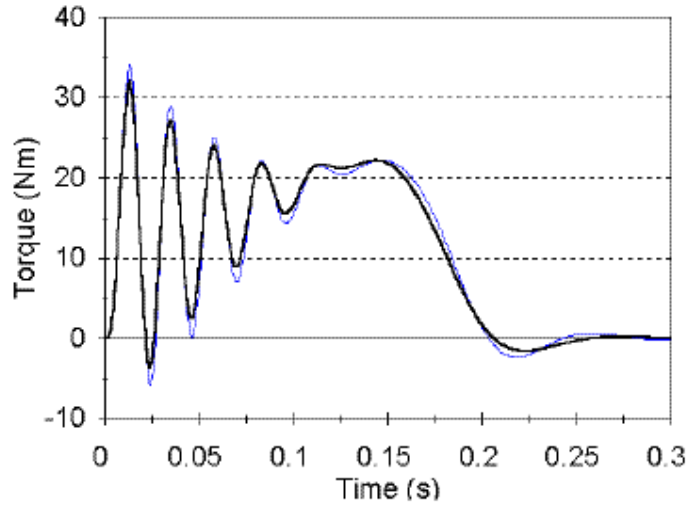
$$\frac{dT}{ds} = 0, \text{ hay } \frac{dT}{dn} = 0$$

$$s_p = \frac{R_r'}{\sqrt{R_s^2 + (X_s + X_r')^2}}$$

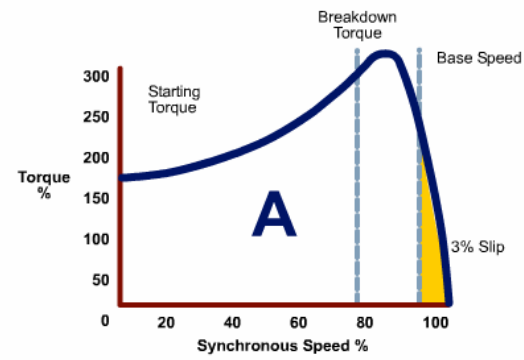
$$T_{max} = \frac{1}{\omega_s} \frac{\frac{3}{2} U_s^2}{R_s + \sqrt{R_s^2 + (X_s + X_r')^2}}$$

$$T_{st} = \frac{1}{\omega_s} \frac{3U_s^2 R_r'}{(R_s + R_r')^2 + (X_s + X_r')^2}$$

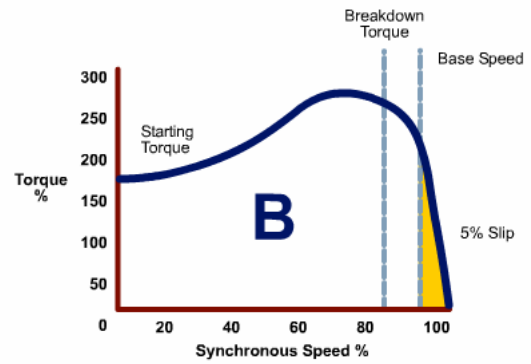
$$\frac{T}{T_{max}} = \frac{2}{\frac{s}{s_p} + \frac{s_p}{s}}$$



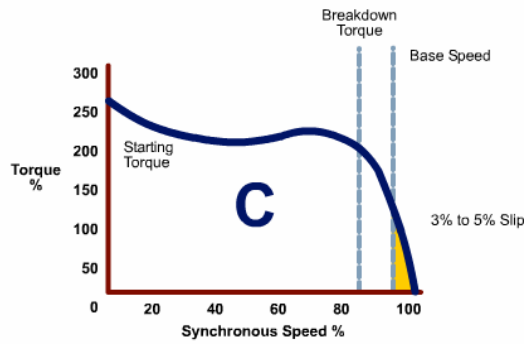
NEMA Design A



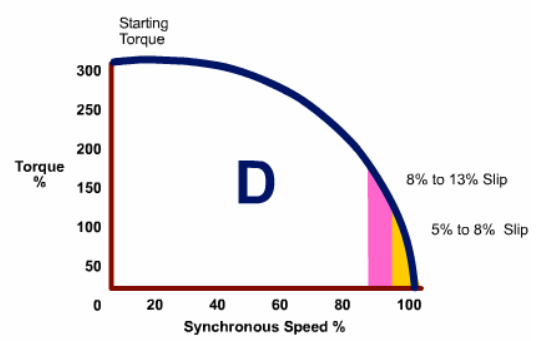
NEMA Design B



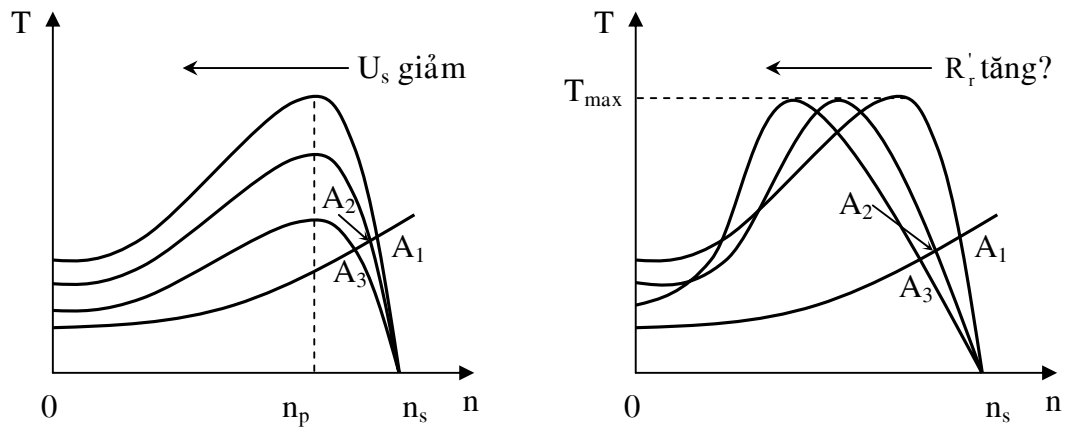
NEMA Design C



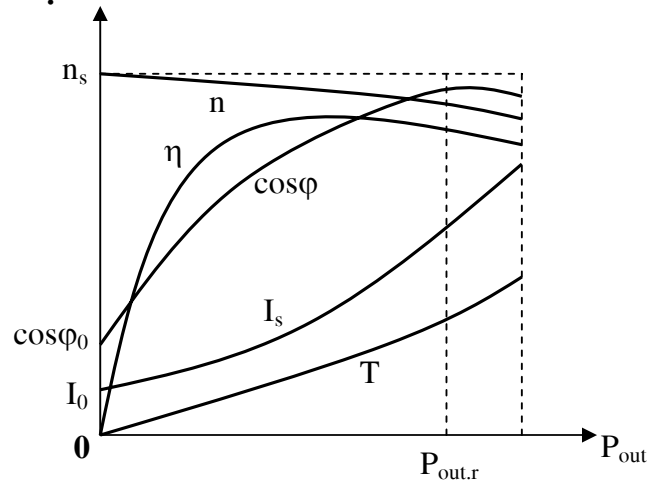
NEMA Design D



VII. Điều khiển tốc độ động cơ không đồng bộ



VIII. Các đặc tính vận hành



Altivar 21H

Bộ biến tần điều khiển tốc độ
cho động cơ không đồng bộ

Hướng dẫn sử dụng

0,75 ... 30 kW (1 ... 40 HP) / 200 - 240 V
0,75 ... 30 kW (1 ... 40 HP) / 380 - 480 V
UL Type 1 / IP20



Telemecanique

Mục lục

Trang

Các thông tin quan trọng -----	27
Các bước chuẩn bị -----	28
Các bước cài đặt bộ biến tần -----	29
Các khuyến cáo -----	30
Lắp đặt -----	31
Xác định LED nạp tụ điện -----	32
Các khuyến cáo đấu nối dây -----	33
Các đầu nối dây động lực -----	34
Các đầu nối dây điều khiển -----	35
Sơ đồ đấu nối dây -----	37
Module hiển thị tích hợp sẵn -----	40
Lập trình -----	41
Chế độ hiệu chỉnh -----	43
Chế độ giám sát -----	46

Các thông tin quan trọng

LƯU Ý

Vui lòng đọc bản hướng dẫn này và kiểm tra kỹ thiết bị để làm quen trước khi thực hiện lắp đặt, vận hành hay bảo trì bộ biến tần (BBT). Các thông điệp quan trọng dưới đây có thể xuất hiện trong tài liệu này hay trên thiết bị. Những thông điệp này cảnh báo các nguy hiểm có thể có hoặc làm rõ một quy trình nào đó.



Ký hiệu này cảnh báo có thể xảy ra nguy hiểm về điện cho người thao tác trên thiết bị nếu không thực hiện đúng theo hướng dẫn của nhà sản xuất đi kèm với ký hiệu này.



Ký hiệu này chỉ thị các rủi ro. Nó cảnh báo các hư hỏng cơ khí. Người sử dụng phải kiểm tra các yêu cầu đi kèm với ký hiệu này để tránh làm hư hỏng thiết bị.

DANGER

NGUY HIỂM chỉ thị một tình huống nguy hiểm sẽ dẫn đến chết người, hay phá hỏng thiết bị

WARNING

CẢNH BÁO chỉ thị một tình huống nguy hiểm có thể dẫn đến chết người, hay phá hỏng thiết bị

CAUTION

CẢNH BÁO chỉ thị một tình huống nguy hiểm có thể dẫn đến gây thương tích, hay phá hỏng thiết bị

LƯU Ý QUAN TRỌNG

Thiết bị điện chỉ được thao tác bởi người đã qua đào tạo. Schneider Electric sẽ không chịu trách nhiệm bất kỳ hành động nào thực hiện không đúng với các hướng dẫn trong tài liệu này. Tài liệu này không được sử dụng làm tài liệu hướng dẫn cho người chưa có kinh nghiệm.

© 2005 Schneider Electric

Các bước chuẩn bị

Đọc và hiểu rõ các yêu cầu này trước khi thực hiện bất kỳ thao tác nào trên BBT

⚠ DANGER

CÁC RỦI RO DO ĐIỆN ÁP

- Đọc và hiểu rõ hướng dẫn này trước khi lắp đặt hay vận hành BBT ATV21. Việc lắp đặt, sửa chữa hay bảo trì phải được thực hiện bởi người đã qua đào tạo.
- Người sử dụng phải tuân theo các tiêu chuẩn quốc tế về bảo vệ nối đất an toàn cho tất cả các thiết bị.
- Nhiều phần của BBT này, bao gồm cả phần mạch in vận hành ở điện áp dây.
KHÔNG ĐƯỢC CHẠM VÀO
Chỉ được sử dụng các công cụ đã được cách điện
- **KHÔNG** được chạm vào các linh kiện không có vỏ bọc hay các đầu bắt vít có điện áp.
- **KHÔNG** được nối tắt hai đầu cực PA và PC hay nối tắt DC bus qua tụ điện.
- Lắp đặt và đóng tất cả các miếng che nếu có trước khi cấp điện, khởi động hay dừng BBT.
- Trước khi bảo trì BBT
 - Cách ly với nguồn điện.
 - Đặt một biển báo "**KHÔNG ĐƯỢC ĐÓNG ĐIỆN**" tại khu vực cần cách ly.
 - Để phần kết nối điện ở vị trí mở.
- Cách ly tất cả các nguồn điện có liên quan đến BBT nếu có trước khi thực hiện việc bảo trì. Đợi cho đến khi đèn LED tắt hẳn. Đợi 10 phút sau đó để tụ điện xả hết năng lượng tích lũy, thực hiện đo điện áp trên DC bus theo hướng dẫn ở trang [32](#) kiểm tra điện áp này phải nhỏ hơn 45V phòng khi đèn LED không chỉ thị đúng có điện áp trên DC bus.

Các sai sót này có thể dẫn đến chết người hay làm hư hỏng thiết bị.

⚠ CAUTION

VẬN HÀNH BBT KHÔNG ĐÚNG

- Nếu BBT không được cấp điện trong một thời gian dài, điện dung của tụ điện có thể bị giảm
- Nếu không sử dụng BBT trong thời gian quá lâu, phải cấp điện lại cho BBT tối thiểu 5 giờ sau mỗi hai năm để đảm bảo tụ điện vận hành tốt, sau đó kiểm tra vận hành. Nhà sản xuất khuyến cáo không nên kết nối BBT trực tiếp vào điện áp dây. Nên tăng điện áp lên từ từ bằng cách sử dụng nguồn AC điều chỉnh được

Các bước cài đặt BBT

1 Kiểm tra thùng chứa BBT:

- Kiểm tra catalog đi kèm đúng với BBT đã đặt hàng.
- Kiểm tra BBT sau khi lấy ra khỏi hộp, xem có bị hư hỏng do di chuyển hay không.

2 Kiểm tra điện áp dây của nguồn điện

- Kiểm tra điện áp cung cấp phù hợp với dây điện áp yêu cầu của BBT

3 Lắp đặt BBT (trang 31)

- Lắp đặt BBT theo đúng hướng dẫn trong tài liệu đi kèm thiết bị
- Lắp đặt các phụ kiện đi kèm & các ngoại vi nếu có

4 Lắp dây vào BBT (trang 33).

- Nối dây từ BBT vào mô-tơ, phải đảm bảo rằng các đầu nối được đặt vào đúng cấp điện áp
- Nối dây từ nguồn vào BBT, phải đảm bảo rằng đang ngắt nguồn điện để thao tác
- Nối dây phần điều khiển
- Nối dây phần tham chiếu tốc độ

5 Bật điện cho BBT nhưng không đặt lệnh chạy.

6 Cài đặt menu AUF (trang 45).

- Cài đặt dây tốc độ làm việc của BBT
- Cài đặt bảo vệ nhiệt cho mô-tơ
- Cài đặt lại tần số làm việc của mô-tơ nếu không phải là 50 Hz.
- Cài đặt lại công suất của mô-tơ nếu không tương thích với công suất của BBT
- Nếu công suất của BBT và mô-tơ không tương thích, vui lòng tham khảo CD-ROM đi kèm BBT

7 Khởi động BBT

Các bước từ 1 đến 4 phải được thực hiện cách ly với nguồn điện



Tip:

- Thực hiện auto-tuning để tối ưu hóa vận hành của BBT.



Lưu ý: Kiểm tra dây nối tương thích với cấu hình của BBT

Các khuyến cáo

Chuyên chở và lưu trữ

Để bảo vệ BBT trước khi lắp đặt, việc chuyên chở và lưu trữ BBT phải được đặt trong thùng chứa. Phải đảm bảo nhiệt độ môi trường chung quanh BBT nằm trong giới hạn cho phép.

▲ WARNING

HƯ HỎNG ĐÓNG GÓI BBT

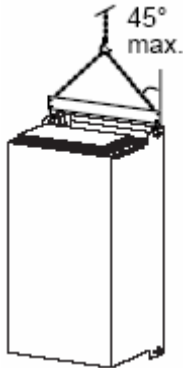
Nếu thùng chứa bị hỏng, có thể gây nguy hiểm cho việc tháo lắp và chuyên chở. Phải luôn luôn kiểm tra bên ngoài BBT trước khi thực hiện bất kỳ thao tác nào, vì các hư hỏng này có thể dẫn đến chết người hay nguy hiểm cho thiết bị.

▲ WARNING

HƯ HỎNG BBT

Không được lắp đặt hay vận hành bất kỳ BBT có dấu hiệu hư hỏng bên ngoài. Các hư hỏng này có thể dẫn đến chết người hay nguy hiểm cho thiết bị

Di chuyển vào vị trí lắp đặt



Các BBT ALTIVAR 21 có công suất lên đến cấp ATV21HD18M3X và ATV21HD18N4 có thể tháo rời các móc cầu hỗ trợ di chuyển ra khỏi vỏ bọc của BBT.

Với các dây công suất lớn hơn phải sử dụng một cần trục, và móc vào BBT tại các móc cầu. Những rủi ro như được mô tả trong phần cảnh báo dưới đây phải được lưu ý.

Cảnh báo

▲ CAUTION

ĐIỆN ÁP KHÔNG TƯƠNG THÍCH

Trước khi cấp điện hay cài đặt BBT, phải đảm bảo rằng điện áp cung cấp phải tương thích với điện áp dây yêu cầu được ghi trên nhãn của BBT. BBT có thể bị hỏng nếu điện áp nguồn cung cấp không tương thích với trị số này.

Sai sót này có thể dẫn đến gây thương tích cho người hay làm hư hỏng thiết bị

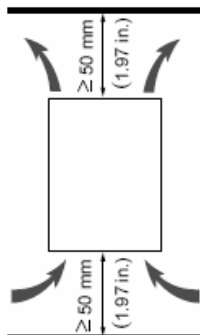
▲ DANGER

Trước khi thực hiện lệnh chạy hay đang truy cập vào một menu hiện hành nào đó, phải đảm bảo rằng ngõ vào logic gắn lệnh chạy không được kích hoạt (ở trạng thái 0) vì rằng tín hiệu này có thể gây ra khởi động BBT bất ngờ.

Sai sót này có thể dẫn đến chết người hay làm hư hỏng thiết bị

Lắp đặt BBT

Các điều kiện lắp đặt và nhiệt độ môi trường



Lắp đặt BBT ở vị trí thẳng đứng với góc nghiêng không quá $\pm 10^\circ$

Không được lắp đặt BBT gần với các thiết bị tỏa nhiệt

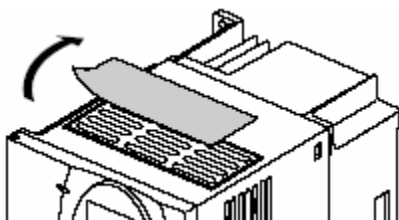
Đặt BBT trên bề mặt thông thoáng, để đảm bảo không khí có thể luân chuyển làm mát từ dưới lên trên BBT

Khoảng cách phía trước BBT tối thiểu khoảng: 10mm (0.4 inch)

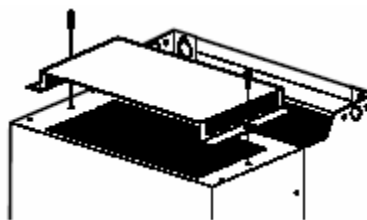
Đối với cấp bảo vệ IP20, khuyến cáo cho phép tháo bỏ miếng che phía trên của BBT để thoát nhiệt như trình bày trong hình phía dưới đây.

Tháo rời miếng che bảo vệ

Ví dụ với ATV21HU15M3X

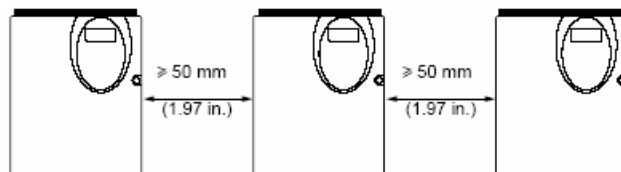


Ví dụ với ATV21HD22N4

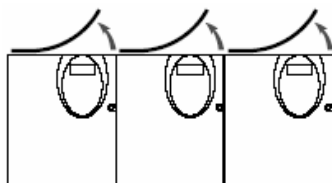


Ba dạng lắp đặt được khuyến cáo

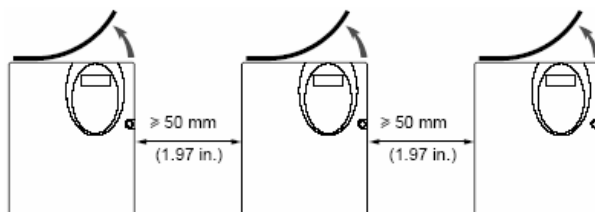
Lắp đặt dạng A: Khoảng trống ở mỗi bên ≥ 50 mm (1.97 inch), với miếng che bảo vệ được lắp bên trên.



Lắp đặt dạng B: Các BBT được lắp sát vào nhau, với miếng che bảo vệ bên trên được tháo ra (cấp bảo vệ IP20).



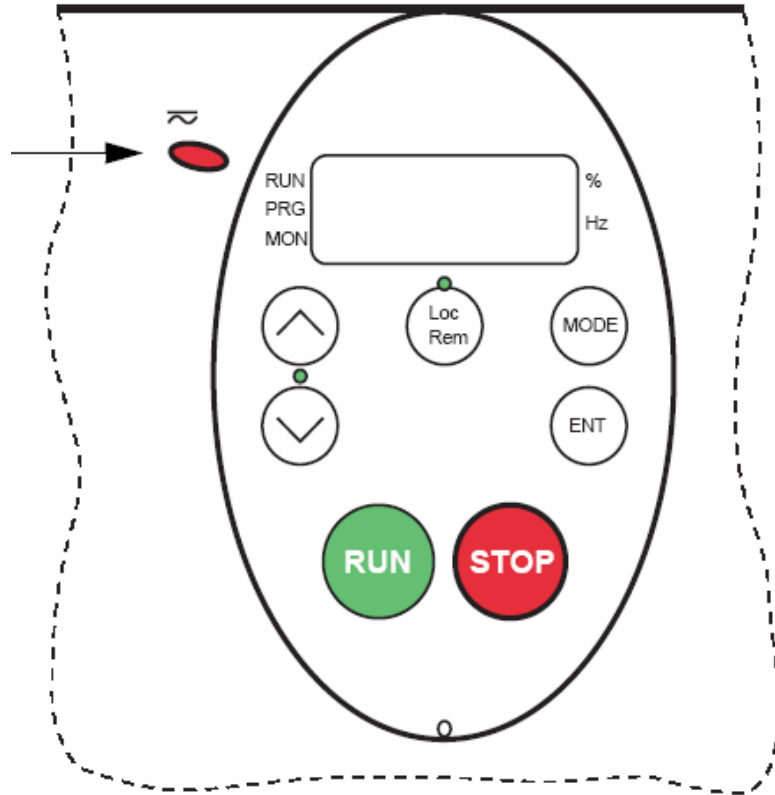
Lắp đặt dạng C: Khoảng trống ở mỗi bên ≥ 50 mm (1.97 inch), với miếng che bảo vệ bên trên được tháo ra.



Với các dạng lắp đặt này, BBT có thể làm việc hết công suất thiết kế khi nhiệt độ môi trường lên đến 40°C mà không cần giảm cấp BBT ngay cả khi BBT đang làm việc với tần số đóng cắt mặc định. Đối với các nhiệt độ môi trường khác, việc giảm cấp BBT hay thay đổi tần số đóng cắt có thể được áp dụng (xin tham khảo thêm catalog của BBT)

Xác định LED nạp tụ điện

Trước khi làm việc với BBT phải ngừng ứng dụng, đợi cho đến khi đèn LED tắt hẳn, rồi đo kiểm tra điện áp trên DC bus.



Thủ tục đo điện áp DC bus

▲ DANGER

NGUY HIỂM DO ĐIỆN ÁP

Đọc và hiểu rõ các hướng dẫn ở trang [28](#) trước khi thực hiện thủ tục này

Sai sót này có thể dẫn đến chết người hay làm hư hỏng thiết bị

Điện áp DC bus có thể vượt quá 1000Vdc. Sử dụng que đo điện áp khi thực hiện đo điện áp này. Quy trình:

1. Cách ly BBT với nguồn điện cung cấp
2. Đợi 10 phút để tụ điện của BBT xả hết.
3. Đo điện áp trên DC bus giữa hai đầu cực PA/+ và PC/- để kiểm tra điện áp này đã nhỏ hơn 45Vdc hay chưa.
4. Nếu điện áp DC trên tụ điện vẫn chưa xả hết, vui lòng liên hệ với đại diện của Schneider Electric (không được sửa chữa hay vận hành BBT)

Các khuyến cáo đấu nối dây

Phần động lực

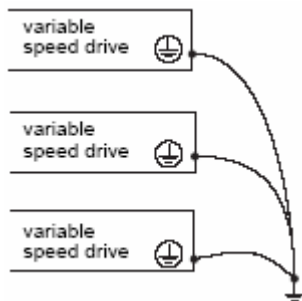
BBT phải được nối đất bảo vệ. Để tuân theo quy định về dòng điện rò (>3.5mA), phải sử dụng dây nối đất có tiết diện tối thiểu 10mm²(AWG6) để nối đất thiết bị

▲ DANGER

NGUY HIỂM DO ĐIỆN ÁP

Sử dụng sơ đồ nối đất như trình bày trong hình dưới đây. Panel lắp BBT phải được nối đất hoàn toàn trước khi cấp điện vào cho BBT

Sai sót này có thể dẫn đến chết người hay làm hư hỏng thiết bị



- Kiểm tra điện trở của nối đất bảo vệ phải nhỏ hơn hoặc bằng 1ohm.
- Nếu có nhiều BBT được kết nối vào cùng một điểm nối đất, đầu nối đất tiếp xúc của các BBT phải được lắp đối diện nhau.

▲ WARNING

LẮP DÂY KHÔNG ĐÚNG

- BBT ATV21 sẽ bị hư nếu cấp nguồn vào các terminal ngõ ra (U/T1, V/T2, W/T3).
- Kiểm tra kỹ phân đấu nối dây động lực cho ATV21 trước khi thực hiện cấp nguồn.
- Nếu dùng ATV21 để thay thế một BBT khác, phải kiểm tra kỹ tất cả dây nối vào ATV21 phải đúng theo các hướng dẫn trong tài liệu này

Sai sót này có thể dẫn đến chết người hay làm hư hỏng thiết bị

Khi lắp đặt thiết bị chống dòng rò cho nguồn điện cung cấp, cần sử dụng thiết bị loại A cho BBT một pha và thiết bị loại B cho BBT ba pha. Chọn model phù hợp có các tính năng sau đây:

- Chức năng lọc dòng điện HF
 - Phải có thời gian trễ để ngăn cắt nguồn điện do dòng điện rò bởi các điện dung ký sinh tại thời điểm tức thời sau khi cấp nguồn.
- Nếu lắp đặt nhiều BBT, nên lắp cho mỗi BBT một thiết bị chống dòng điện rò.

▲ WARNING

BẢO VỆ QUÁ DÒNG ĐIỆN KHÔNG PHÙ HỢP

- Thiết bị bảo vệ quá dòng điện phải có khả năng phối hợp bảo vệ.
- Khuyến cáo của nhà sản xuất là dùng cầu chì với thông số ghi trên nhãn của BBT để bảo vệ ngắn mạch cho BBT.
- Không được kết nối BBT vào một nhánh nguồn có khả năng cắt ngắn mạch không được chỉ định trên nhãn của BBT.

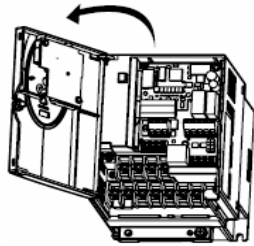
Sai sót này có thể dẫn đến chết người hay làm hư hỏng thiết bị

Các đầu nối dây động lực

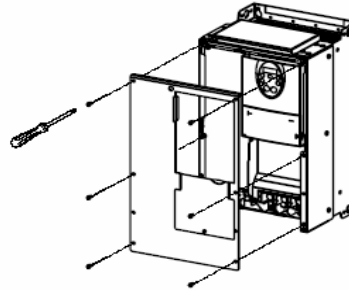
Đấu dây vào các terminal

Mở miếng che các terminal như mô tả dưới đây.

Ví dụ với ATV21HU15N4



Ví dụ với ATV21HD22N4



Chức năng của các terminal động lực

Terminal	Chức năng
	Đầu nối đất bảo vệ
R/L1 – S/L2 – T/L3	Đầu nối cấp nguồn điện cho BBT
U/T1 – V/T2 – W/T3	Đầu nối ngõ ra đến mô-tơ
PO	Không sử dụng
PA/+	Cực “+” của DC bus
PB	Không sử dụng
PC/-	Cực “-“ của DC bus



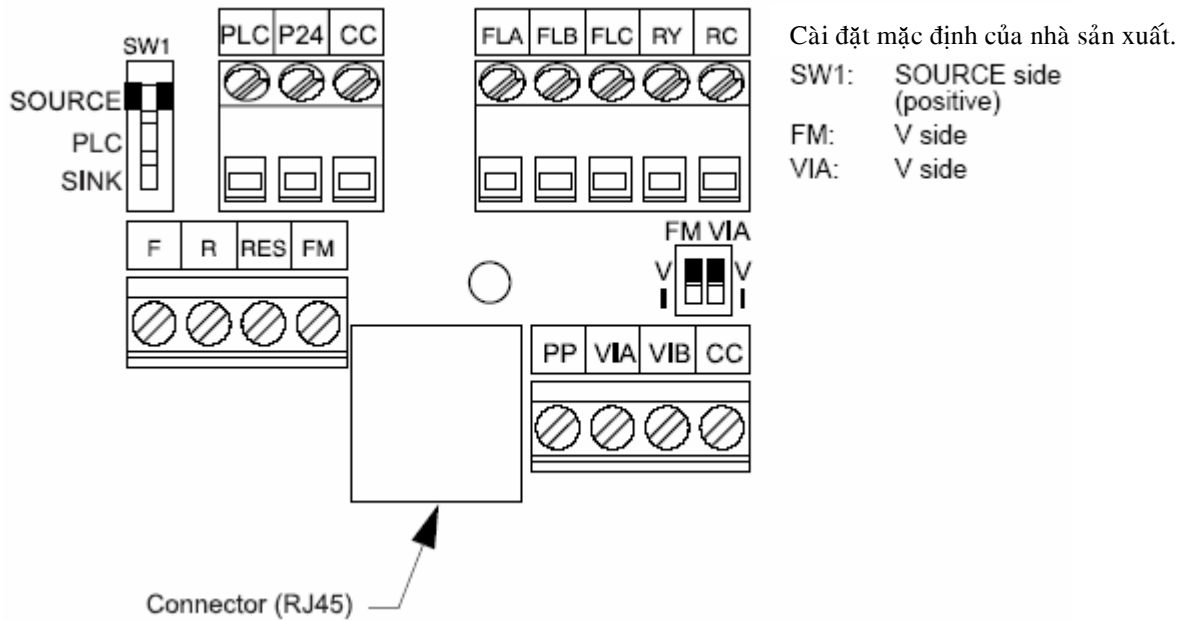
Các đầu nối PO, PA/+, PB, và PC/- chỉ có thể được dùng để đo điện áp trên DC bus.

Đặc tính kỹ thuật của các terminal động lực

ATV21H	Maximum wire size		Tightening torque
	mm ²	AWG	Nm (lb.in)
075M3X to U22M3X	1.5	14	1.4 (12.3)
U30M3X	2.5	12	1.4 (12.3)
U40M3X	2.5	10	1.4 (12.3)
U55M3X	6	8	2.8 (24.8)
U75M3X	10	8	2.8 (24.8)
D11M3X	16	6	5 (44.2)
D15M3X	25	4	5 (44.2)
D18M3X	35	3	5 (44.2)
D22M3X	35	2	12 (106.2)
D30M3X	70	1/0	41 (362.9)
075N4 to U55N4	2	14	1.4 (12.3)
U75N4	2	12	2.8 (24.8)
D11N4	3.5	10	2.8 (24.8)
D15N4	5.5	8	5 (44.2)
D18N4	8	8	5 (44.2)
D22N4	14	6	12 (106.2)
D30N4	22	4	12 (106.2)

Các đầu nối dây điều khiển

Card điều khiển giống nhau cho các BBT có công suất khác nhau



Kích thước dây tối đa: 2.5 mm²/AWG 14

Lực siết: 0.6 Nm (5.3 lb.in)

⚠ WARNING

LẮP DÂY ĐIỀU KHIỂN KHÔNG ĐÚNG

Các ngõ vào logic điều khiển được cài đặt mặc định ở chế độ “source”. Vui lòng kiểm tra kỹ hướng dẫn lắp đặt BBT ATV21 trước khi thực hiện thay đổi vị trí của công tắc này.

Sai sót này có thể dẫn đến chết người hay làm hư hỏng thiết bị

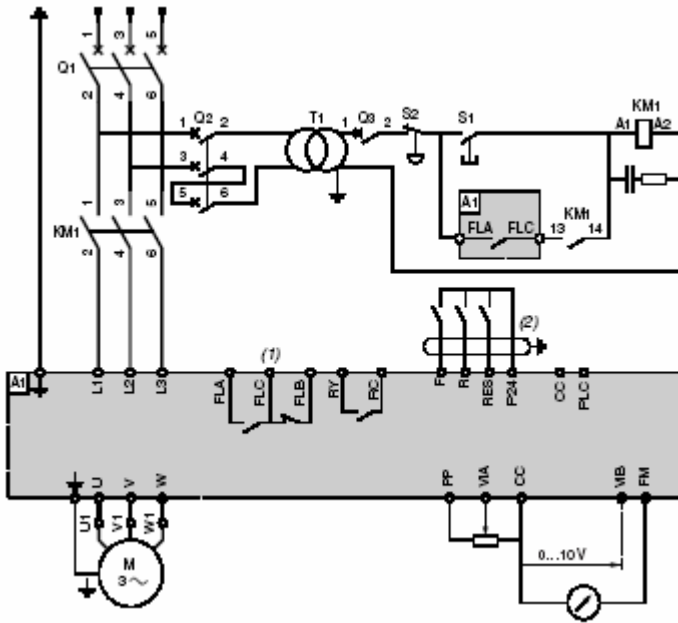
Các đầu nối dây điều khiển

Đặc tính kỹ thuật của các đầu nối dây điều khiển

Đầu nối	Chức năng	Đặc tính kỹ thuật
PLC	Ngõ vào cấp nguồn từ bên ngoài	Ngõ vào cho nguồn điện từ bên ngoài +24V, cung cấp cho các ngõ vào điều khiển logic. Điện áp cực đại cho phép là 50V
P24	Nguồn điện bên trong BBT	Có bảo vệ quá tải và ngắn mạch. Nguồn điện 24VDC (min. 21V, max. 27V), dòng điện cực đại 200mA
DC	Common	0V, common (2 đầu nối)
FLA, FLB, FLC	Các ngõ ra cài đặt rơ-le	Là ngõ ra rơ-le gồm một điểm chung nối với, một tiếp điểm N/O và một tiếp điểm N/C Khả năng làm việc tối thiểu: 3mA với điện áp 24Vdc Khả năng làm việc tối đa: • Đối với tải điện trở ($\cos\phi=1$): 5A với điện áp 50Vac, hay 30Vdc • Đối với tải điện cảm ($\cos\phi=0.4$ và $L/R=7ms$): 2A với điện áp 50Vac, hay 30Vdc Thời gian đáp ứng cực đại: $7ms\pm 0.5ms$ Tuổi thọ về điện: 100.000 lần thao tác.
		Là ngõ ra rơ-le trạng thái N/O Khả năng làm việc tối thiểu: 3mA với điện áp 24Vdc Khả năng làm việc tối đa: • Đối với tải điện trở ($\cos\phi=1$): 5A với điện áp 50Vac, hay 30Vdc • Đối với tải điện cảm ($\cos\phi=0.4$ và $L/R=7ms$): 2A với điện áp 50Vac, hay 30Vdc Thời gian đáp ứng cực đại: $7ms\pm 0.5ms$ Tuổi thọ về điện: 100.000 lần thao tác.
FRRES	Các ngõ vào điều khiển logic	3 ngõ vào logic lập trình, điện áp 24Vdc, tương thích với mức 1 PLC, tiêu chuẩn IEC 65A-68 Trở kháng: 3.5 k Ω Điện áp cực đại: 30V Thời gian lấy mẫu cực đại: $2ms\pm 0.5ms$ Cho phép cài đặt đa chức năng trên một ngõ vào logic
		Mức tích cực dương (Source): trạng thái 0 nếu $\leq 5V$ hay không nối dây, trạng thái 1 nếu $\geq 11V$
		Mức tích cực âm (Sink): trạng thái 0 nếu $\geq 16V$, trạng thái 1 nếu $\leq 10V$ hay không nối dây
FM	Ngõ ra analog	Là một ngõ ra analog dòng điện, có thể cài đặt thành ngõ ra điện áp dạng đóng cắt • Ngõ ra analog điện áp 0-10Vdc, trở kháng tải cực tiểu 470 Ω • Ngõ ra analog dòng điện X-Y mA bằng cách lập trình X và Y từ 0 đến 20mA, trở kháng tải cực đại 500 Ω Thời gian lấy mẫu cực đại: $2ms\pm 0.5ms$ Độ phân giải: 10 bits Cấp chính xác: $\pm 1\%$ với nhiệt độ xấp xỉ 60 $^{\circ}C$ Độ tuyến tính: $\pm 2\%$
PP	Nguồn điện bên trong BBT	Có bảo vệ quá tải và ngắn mạch. • 10.5Vdc $\pm 5\%$ cung cấp cho biến trở tham chiếu (1-10 k Ω), dòng điện cực đại 10mA
VIA	Ngõ vào analog	Là một ngõ vào analog dòng điện, có thể cài đặt thành ngõ vào điện áp dạng đóng cắt • Điện áp ngõ vào analog 0-10Vdc, trở kháng 30 k Ω (điện áp cho phép cực đại 24V) • Ngõ vào analog dòng điện X-Y mA bằng cách lập trình X và Y từ 0 đến 20mA, trở kháng cực đại 242 Ω Thời gian lấy mẫu cực đại: $2ms\pm 0.5ms$ Độ phân giải: 11 bits Cấp chính xác: $\pm 0.6\%$ với nhiệt độ xấp xỉ 60 $^{\circ}C$ Độ tuyến tính: $\pm 0.15\%$ của giá trị cực đại Ngõ vào analog này có thể được cài đặt thành ngõ vào logic, xem CD-ROM đi kèm BBT
		Là một ngõ vào analog điện áp, có thể cài đặt thành ngõ vào dòng điện hay đầu dò nhiệt độ PTC Chức năng ngõ vào điện áp: • Điện áp ngõ vào analog 0-10Vdc, trở kháng 30 k Ω (điện áp cho phép cực đại 24V) • Thời gian lấy mẫu cực đại: $2ms\pm 0.5ms$ • Độ phân giải: 11 bits • Cấp chính xác: $\pm 0.6\%$ với nhiệt độ xấp xỉ 60 $^{\circ}C$ • Độ tuyến tính: $\pm 0.15\%$ của giá trị cực đại Chức năng đầu dò PTC: • Có thể mắc nối tiếp được tối đa 6 probes • Trị số danh định < 1.5 k Ω • Điện trở ngắt 3 k Ω , giá trị reset 1.8 k Ω • Bảo vệ ngắn mạch < 50 Ω
VIB		

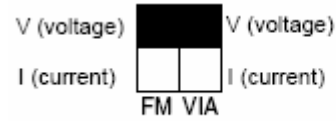
Sơ đồ đấu nối dây

Nguồn điện 3-pha

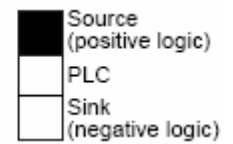


Công tắc (mặc định)

Chọn dạng điện áp/dòng điện cho các I/O analog (FM và VIA)



Chọn mức tích cực logic



Lưu ý: Tất cả các terminal nối dây được lắp ở phía dưới của BBT. Phải lắp đặt thiết bị chống nhiễu cho tất cả các mạch điện có tính chất cảm kháng được kết nối vào cùng một hệ thống điện với BBT như các mạch điều khiển rơ-le, công tắc tơ, van điện từ, đèn huỳnh quang, ..v.v.

Các thiết bị có thể dùng đi kèm với BBT Altivar: xem thêm catalog của BBT

Chức năng mặc định của các đầu nối dây

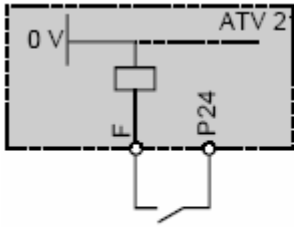
FLA-FLB-FLC	Rơ-le, mất kích hoạt khi báo lỗi, hoặc báo mất nguồn điện cung cấp
RY-RC	Rơ-le, kích hoạt khi tốc độ bằng hoặc thấp hơn giới hạn tốc độ thấp (LL)
F	Điều khiển chạy theo chiều thuận (điều khiển 2-dây)
R	Chạy với tốc độ cài đặt trước
RES	Xóa lỗi (reset)
VIA	Tham chiếu tốc độ 0-10V
VIB	Không gán chức năng
FM	Tần số ngõ ra

Sơ đồ đấu nối dây

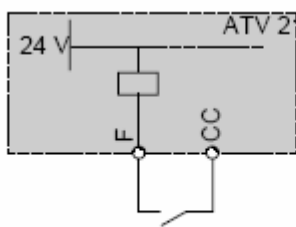
Các sơ đồ nối dây mẫu được khuyến cáo sử dụng

Các ngõ vào logic tương ứng với vị trí của công tắc chọn mức logic tích cực

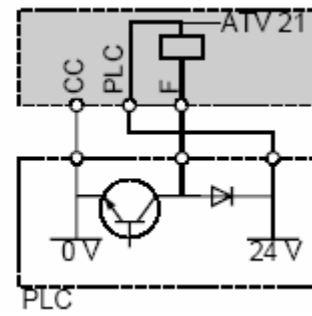
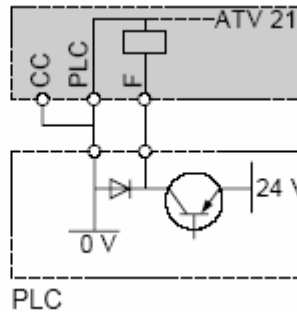
Vị trí "Source"



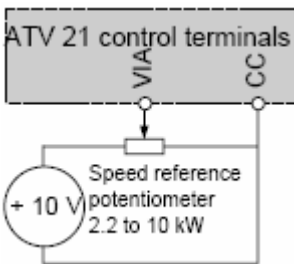
Vị trí "Sink"



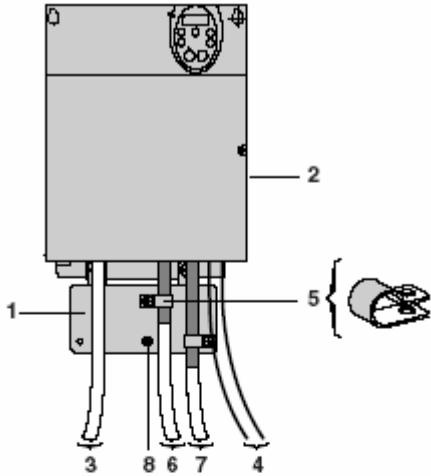
Vị trí "PLC" với ngõ ra transistor



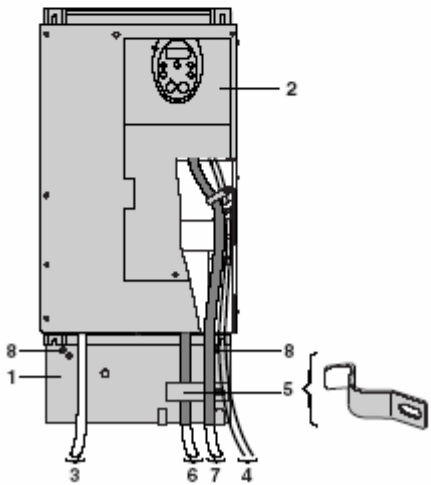
Ngõ vào analog điện áp
+ 10V từ bên ngoài



Sơ đồ đấu nối dây



ATV 21H075M3 to HD18M3X,
ATV 21H075N4 to HD18N4



ATV 21HD22M3X, HD30M3X,
ATV 21HD22N4, HD30N4

Đấu nối dây đúng theo yêu cầu của tiêu chuẩn IEC

Nguyên lý

- Phải thực hiện nối đất BBT, mô-tơ và vỏ bọc của cáp điện
- Sử dụng cáp điện có vỏ bọc để nối đất ở hai đầu cáp tại mô-tơ và tại BBT. Có thể sử dụng ống kim loại như là một phần của vỏ bọc để thực hiện nối đất dọc theo đường dây
- Phải đảm bảo cách ly tuyệt đối giữa cáp nguồn điện cung cấp vào BBT và cáp kết nối đến mô-tơ.

Sơ đồ lắp đặt cho các BBT ATV 21H●●●M3X và ATV 21H●●●N4

1 Miếng thép được lắp vào BBT (phục vụ nối đất)

2 Bộ biến tần UL Type 1/IP 20

3 Cáp nguồn điện cung cấp, không có bọc nhiều

4 Cáp nối vào các ngõ ra rơ-le báo lỗi, không có bọc nhiều.

5 Kẹp dùng cho nối đất vỏ bọc nhiều của các sợi cáp 6 và 7 đặt càng gần BBT càng tốt:

- Tháo vỏ bọc bên ngoài của cáp để lòi ra vỏ bọc nhiều.

- Gắn chặt cáp vào miếng kim loại 1 bằng cách siết chặt vít trên kẹp

Phần vỏ bọc nhiều phải được siết chặt để tiếp xúc tốt với miếng kim loại

6 Cáp kết nối đến mô-tơ, có bọc nhiều

7 Cáp kết nối vào mạch điều khiển có bọc nhiều

Với các ứng dụng cần nhiều dây dẫn, nên sử dụng cáp có tiết diện nhỏ (0.5mm²)

Đối với các sợi cáp 6 và 7, phần vỏ bọc nhiều phải được nối đất ở cả hai đầu

cáp. Các bọc nhiều phải liên tục, và khi kết nối phải có cầu đấu đặt trong hộp

kim loại chống nhiễu điện từ EMC

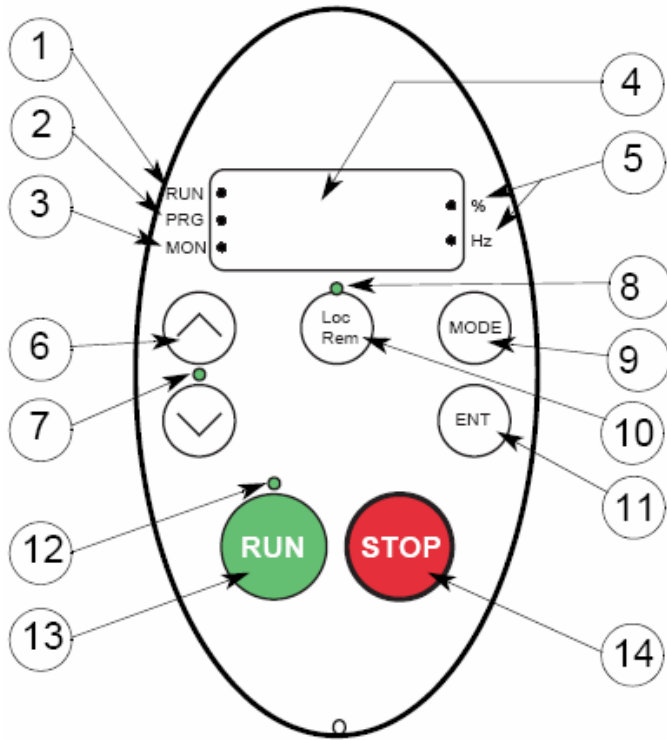
8 Vít nối đất. Sử dụng vít này để giữ chặt cáp kết nối đến mô-tơ trên BBT đối với các BBT có công suất nhỏ hơn khi không thể gắn trực tiếp vào bộ tản nhiệt được

Lưu ý: Phần trang bị nối đất đẳng thế HF giữa BBT, mô-tơ và vỏ bọc nhiều của cáp không thay thế cho dây PE (dây vàng sọc xanh) được gắn vào các terminal tương ứng trên từng thiết bị.

Nếu sử dụng thêm bộ lọc nhiễu điện từ EMC, nó phải được lắp bên dưới BBT và kết nối trực tiếp vào nguồn điện cung cấp thông qua một dây cáp chống nhiễu. Nối với dây 3 của BBT để thiết lập thành bộ lọc nhiễu bên ngoài.

Mô tả màn hình hiển thị tích hợp sẵn trên BBT

Các LED chỉ thị và phím cài đặt lắp trên màn hình hiển thị được mô tả như hình dưới đây.

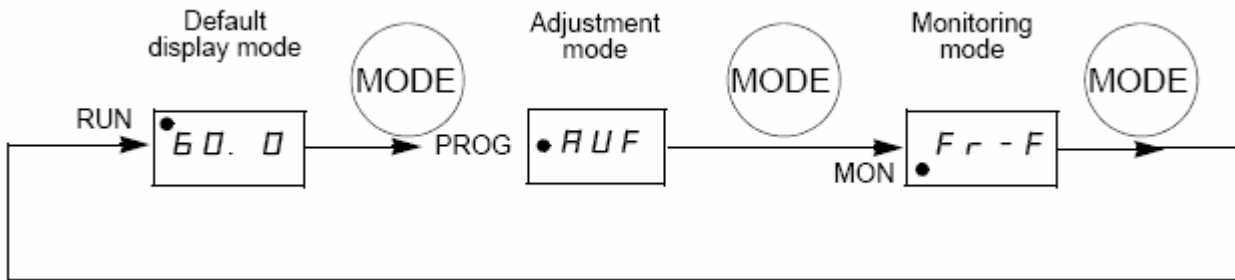


	LED/Key	Đặc tính kỹ thuật
1	Đèn LED RUN hiển thị	Đèn này sáng khi lệnh chạy được kích hoạt & nhấp nháy khi có tham chiếu tốc độ
2	Đèn LED PRG hiển thị	Đèn này sáng khi đang ở chế độ lập trình (AUF ... GrU)
3	Đèn LED MON hiển thị	Đèn này sáng khi đang ở chế độ giám sát (monitoring)
4	Hiển thị ký tự	Hiển thị 4 số dưới dạng LED 7 đoạn
5	Đèn LED đơn vị hiển thị	Giá trị số hiển thị được tính bằng Hz hay %
6	Các phím mũi tên, tăng giảm	Tùy theo chế độ: <ul style="list-style-type: none"> • Chuyển các menu • Thay đổi trị số • Thay đổi tham chiếu tốc độ, khi ở chế độ điều khiển tại chỗ
7	Đèn LED mũi tên	Đèn này sáng khi phím mũi tên làm thay đổi tham chiếu tốc độ
8	Đèn LED điều khiển tại chỗ	Thông báo chế độ điều khiển trực tiếp hay điều khiển từ xa
9	Đèn LED MODE	Chọn chế độ: <ul style="list-style-type: none"> • Chế độ hiển thị mặc định • Chế độ hiệu chỉnh • Chế độ giám sát Cũng có thể được dùng để di chuyển về menu trước đó
10	Phím bấm Loc/Rem	Dùng để chuyển chế độ điều khiển trực tiếp hay điều khiển từ xa
11	ENT	Enter, xác nhận lệnh
12	RUN LED	Đèn này sáng khi BBT đang thực hiện lệnh chạy ở chế độ "command" tại chỗ
13	RUN	Phím điều khiển lệnh chạy tại chỗ
14	STOP	Phím dừng/reset khi có xảy ra sự cố lỗi.

Lập trình

Truy cập vào các chế độ lập trình.

Sử dụng phím bấm “MODE”

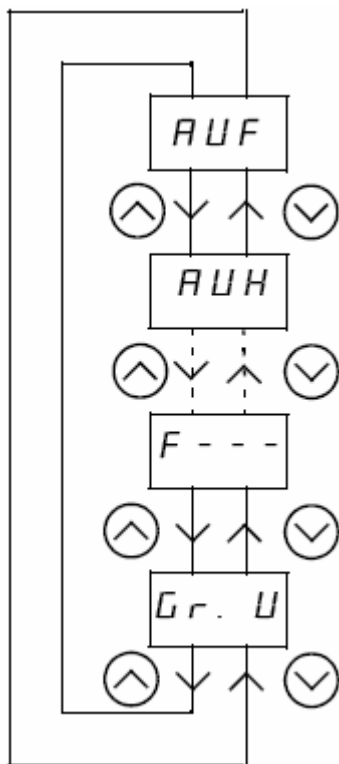


Mode hiển thị mặc định	<ul style="list-style-type: none"> • Kích hoạt khi bật nguồn BBT • Hiển thị liên tục các thông số của BBT (dòng điện, tốc độ, ..v.v.), báo lỗi.
Mode hiệu chỉnh	<ul style="list-style-type: none"> • Chế độ này dùng để hiệu chỉnh các thông số của BBT
Mode giám sát	<ul style="list-style-type: none"> • Chế độ này dùng để điều khiển tần số cài đặt, dòng điện, điện áp ngõ ra và các thông tin đến từ các đầu nối dây terminal.

Lưu ý: các thông tin chi tiết được trình bày rõ trong CD-ROM, được cung cấp kèm với BBT.

Truy cập vào các menu

Ví dụ ở chế độ hiệu chỉnh:

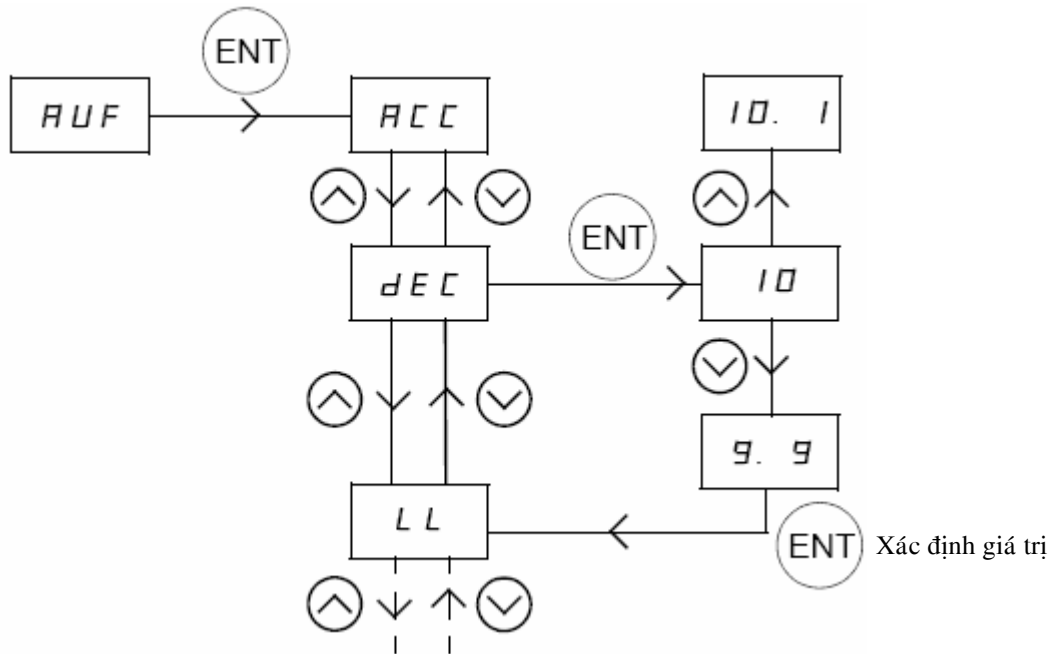


Lưu ý: Nhấn phím bấm “MODE” để quay lại cấp trước đó;

Lập trình

Truy cập vào các chế độ lập trình.

Ví dụ: Quick menu



Lưu ý: nhấn phím "MODE" để quay lại menu trước đó.

Ví dụ:

- Từ 9.9 đến dEC
- Từ dEC đến AUF

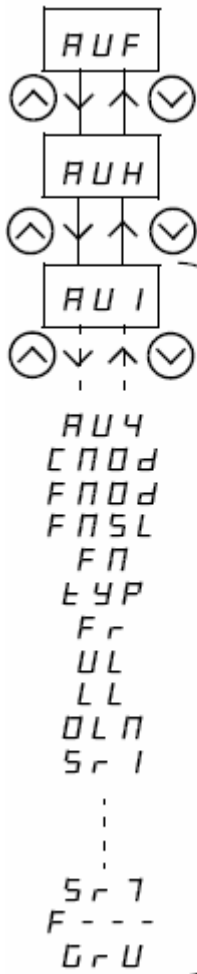
Chế độ hiệu chỉnh

Mô tả các menu

Sơ đồ dưới đây mô tả các menu khác nhau có thể được truy cập từ menu AUF

Menu AUF: Là menu khởi động nhanh, cho phép truy cập vào các thông số của ứng dụng hiện hành và gần như chứa đủ các thông tin cho các ứng dụng chính yếu của BBT

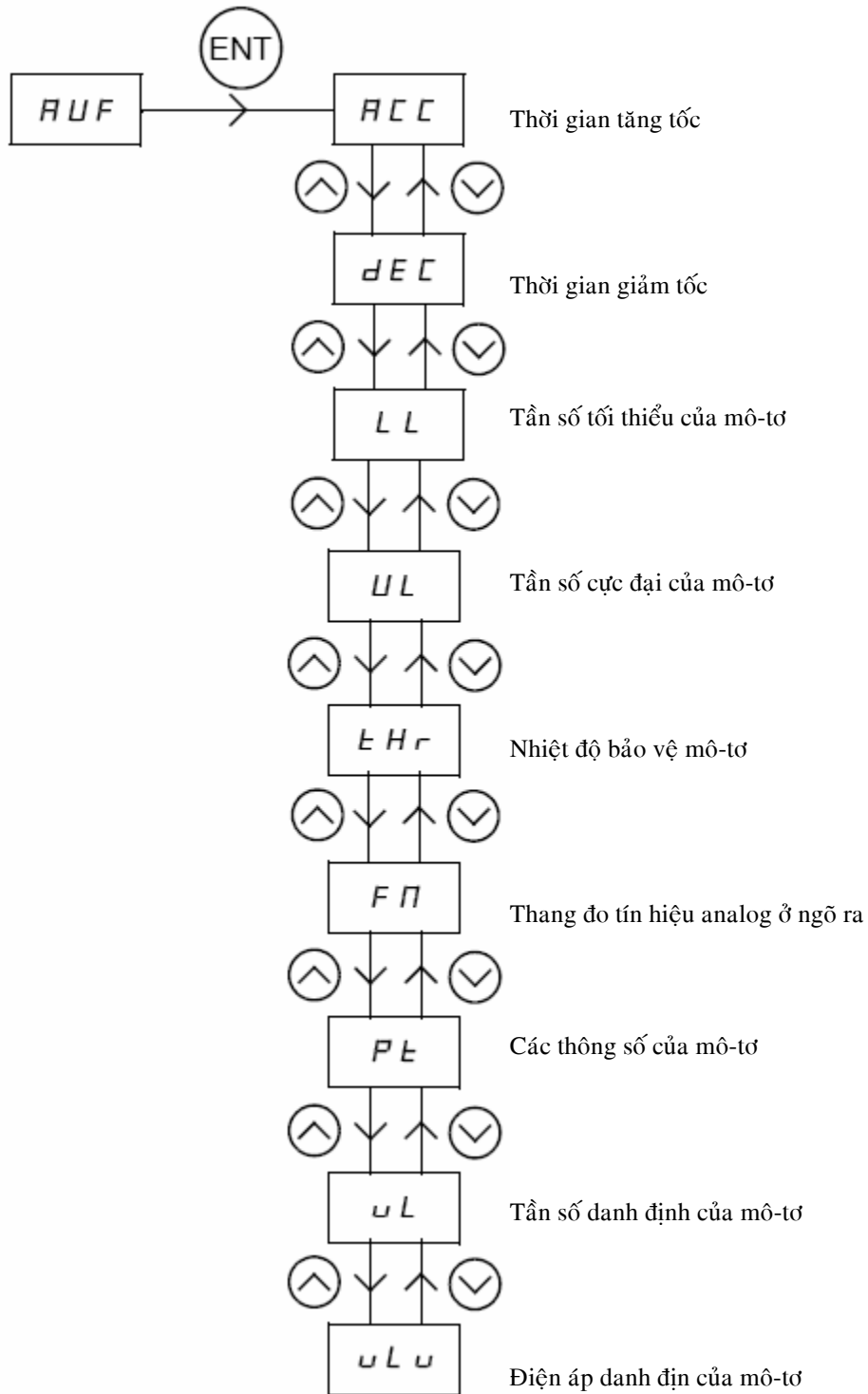
Menu AUH: Cho phép truy cập 5 thông số hiệu chỉnh gần nhất, theo thứ tự ngược (thông số hiệu chỉnh sau cùng sẽ xuất hiện đầu tiên)



Xem thêm chi tiết trong CD-ROM được cung cấp kèm theo BBT

Chế độ hiệu chỉnh

Sơ đồ dưới đây miêu tả các thông số khác nhau có thể được truy cập từ menu AUF



AUF menu

Bảng dưới đây miêu tả các thông số khác nhau có thể được truy cập từ menu AUF

Mã hiển thị	Mô tả chức năng	Khoảng hiệu chỉnh	Cài đặt mặc định
ACC	Thời gian tăng tốc, tính bằng giây	0.0 đến 32000	10.0
dEC	Thời gian giảm tốc, tính bằng giây	0.0 đến 32000	10.0
LL	Giới hạn tần số thấp (tốc độ tối thiểu của mô-tơ), tính bằng Hz	0.0 đến UL	0.0
UL	Giới hạn tần số cao (tốc độ tối đa của mô-tơ), tính bằng Hz	0.5 đến 200	50.0
tHr	Nhiệt độ bảo vệ mô-tơ, tính bằng % của dòng điện ngõ ra danh định của BBT	10 to 100	100
FN	Hiệu chỉnh thang đo (thang đo analog ngõ ra), xem chi tiết trong CD-ROM đi kèm thiết bị	-	-
Pf	Chọn chế độ điều khiển V/F (thông số mô-tơ)	0: V/F chế độ constant torque 1: V/F chế độ variable torque 2: Tự động tăng mômen 3: Điều khiển vector từ thông 4: Chế độ tiết kiệm năng lượng 5: Đồng bộ tốc độ với từ trường	1
uL	Tần số cơ bản (tần số danh định của mô-tơ), tính bằng Hz	25 đến 500.0	50.0
uLu	Điện áp cơ bản (điện áp danh định của mô-tơ), tính bằng Hz	50 đến 330 (ATV21●●●M3X) 50 đến 660 (ATV21●●●N4)	230 400

Chế độ giám sát

Hiển thị các thông tin liên quan đến lỗi

Hiển thị mã lỗi

Nếu BBT dừng bất ngờ, trên màn hình hình của BBT sẽ xuất hiện một mã lỗi. Mỗi lần dừng của BBT sẽ được lưu lại, thông tin về mỗi lần dừng có thể xem được bất kỳ lúc nào trong chế độ điều khiển trạng thái.

Bảng dưới đây liệt kê các mã lỗi khác nhau và giải thích.

Mã lỗi	Giải thích
n E r r	Không có lỗi
0 C 1 □ 0 C 1 P	Quá dòng điện khi tăng tốc
0 C 2 □ 0 C 2 P	Quá điện áp khi giảm tốc
0 C 3 □ 0 C 3 P	Quá dòng điện khi đang chạy ở tốc độ cố định
0 C L	Mô-tơ bị quá dòng điện trong lúc khởi động
0 C R	BBT bị quá dòng điện trong lúc khởi động
E P H 1	Lỗi trên một pha nguồn cung cấp hay tụ điện chính không xả được
E P H 0	Lỗi trên pha ở ngõ ra
0 P 1	Quá điện áp khi tăng tốc
0 P 2	Quá điện áp khi giảm tốc
0 P 3	Quá điện áp khi đang chạy ở tốc độ ổn định
0 L 1	BBT bị ngừng do quá tải
0 L 2	Mô-tơ bị ngừng do quá tải
0 L r	Hãm động năng gây ngừng ứng dụng do quá tải
0 H	Dừng ứng dụng do quá nhiệt hay bị hư đầu dò nhiệt
E	Dừng khẩn cấp
E E P 1	Lỗi EEPROM 1 (không ghi được)
E E P 2	Lỗi EEPROM 2 (lỗi khởi động)
E E P 3	Lỗi EEPROM 3 (không đọc được)
E r r 2	Lỗi bộ nhớ RAM
E r r 3	Lỗi bộ nhớ ROM
E r r 4	Dừng CPU1 do lỗi
E r r 5	Lỗi truyền thông
E r r 7	Lỗi phát hiện dòng điện
E r r 8	Lỗi option card

Chế độ giám sát

Mã lỗi	Giải thích
UC	Dừng do tải quá nhỏ
UPI	Dừng do thấp áp
Of	Dừng do quá mômen
EF2	Lỗi nối đất
Et n l	Tự động hiệu chỉnh lỗi
EtYP	Lỗi dạng biến tần
OH2	Lỗi nhiệt bên ngoài
E - 18	Đứt cáp VIA
E - 19	Lỗi truyền thông giữa các CPU
E - 20	Lỗi điều khiển V/F
E - 21	Lỗi CPU2
SOU†	Mất đồng bộ trong quá trình vận hành (do lỗi mô-tơ)

Lưu ý: Việc lưu lại các sự cố gây dừng ứng dụng (lưu lại các diễn biến đã xảy ra) có thể xem lại được. CD-ROM đi kèm với BBT cung cấp các thông tin chẩn đoán cao cấp



Đồ án điện tử công suất

**Động cơ điện một
chiều**

Các số liệu cho trước

$U_{dm} = 600V$; $I_{dm} = 10A$; $U_{kt} = 400V$; $I_{kt} = 0,9A$
Phạm vi điều chỉnh tốc độ 25:1

Chương I

GIỚI THIỆU VỀ ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

I ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

1 Tâm quan trọng của động cơ điện 1 chiều

Trong nền sản xuất hiện đại, động cơ điện 1 chiều vẫn được coi là 1 loại máy quan trọng. Mặc dù động cơ xoay chiều có tính ưu việt hơn như cấu tạo đơn giản hơn , công suất lớn . . . Nhưng động cơ điện xoay chiều không thể thay thế hoàn toàn động cơ điện 1 chiều. Đặc biệt là trong các ngành công nghiệp, giao thông vận tải, các thiết bị cần điều chỉnh tốc độ quay liên tục trong phạm vi rộng như máy cán thép, máy công cụ lớn đầu máy điện . Vì động cơ điện 1 chiều có những ưu điểm như khả năng điều chỉnh tốc độ rất tốt, khả năng mở máy lớn và khả năng quá tải. Bên cạnh đó động cơ điện 1 chiều cũng có những nhược điểm nhất định như giá thành đắt, chế tạo và bảo quản phức tạp . Nhưng do những ưu điểm của nó nên nó vẫn có 1 tầm quan trọng nhất định trong sản xuất.

Ngày nay hiệu suất của động cơ điện 1 chiều công suất nhỏ vào khoảng 75% - 85%, ở động cơ điện công suất trung bình và lớn vào khoảng 85% - 94%. Công suất lớn nhất của động cơ điện 1 chiều hiện nay vào khoảng 10000KW. Điện áp vào khoảng vài trăm đến 1000V. Hướng phát triển hiện nay là cải tiến tính năng vật liệu, nâng cao chỉ tiêu kinh tế của động cơ và chế tạo những máy công suất lớn.

2 Cấu tạo của động cơ điện 1 chiều

2.1 Phần tĩnh (Phần cảm hay stator)

Là phần đứng yên, bao gồm các bộ phận chính:

a) Cực từ chính :

Được làm bằng thép kĩ thuật dạng thép khối hoặc tấm, xung quanh có dây quấn cực từ chính gọi là kích từ. Nó thường được nối với nguồn 1 chiều. Nhiệm vụ là tạo ra từ thông trong máy.

b) Cực từ phụ :

Được đặt xen giữa các cực từ chính, xung quanh cực từ phụ có dây quấn cực từ phụ. Dây quấn cực từ phụ đấu nối tiếp với dây quấn roto, Nhiệm vụ của cực từ phụ là triệt tiêu từ trường phản ứng (Từ trường do dòng điện roto sinh ra). Trên vùng trung tính hình học để hạn chế xuất hiện tia lửa điện trên chổi than và cổ góp.

c) Vỏ máy (Gông từ)

Ngoài nhiệm vụ thông thường như các vỏ máy khác, vỏ máy điện 1 chiều còn tham gia dẫn từ, vì vậy nó phải được làm bằng thép dẫn từ.

2.2 Phần quay (Phần ứng hay roto)

a) Lõi thép roto

Dùng để dẫn từ, thường dùng những tấm thép kĩ thuật điện dày 0.5mm phủ cách điện mỏng ở 2 mặt rồi ép chặt lại để giảm tổn hao do dòng điện xoáy gây nên. Trên lá thép có dập rãnh để quấn dây

b) Dây quấn phân ứng

Là phần phát sinh ra suất điện động và có dòng điện chạy qua. Dây quấn phân ứng thường làm bằng dây đồng có sơn cách điện

c) Cổ góp

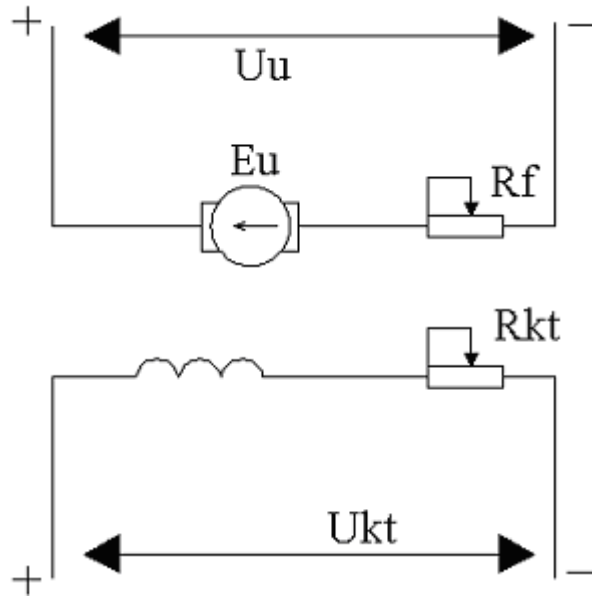
Dùng để đổi chiều dòng điện xoay chiều thành 1 chiều. Gồm nhiều phiến đồng ghép cách điện với nhau, bề mặt cổ góp được gia công với độ bóng thích hợp để đảm bảo tiếp xúc tốt giữa chổi than và cổ góp khi quay

2.3 Giới thiệu về động cơ điện 1 chiều kích từ độc lập

Cho đến nay động cơ điện 1 chiều vẫn còn dùng rất phổ biến trong các hệ thống truyền động chất lượng cao, dải công suất động cơ điện 1 chiều từ vài W đến vài MW. Giải đồ kết cấu chung của động cơ điện 1 chiều kích từ độc lập được thể hiện như hình vẽ dưới. Phần ứng được biểu diễn bởi vòng tròn bên trong có sức điện động E_r , ở phần stato có thể có vài dây quấn kích từ :

Dây quấn kích từ độc lập CKD, dây quấn kích từ nối tiếp, dây quấn cực từ phụ CF, dây quấn bù CB.

Khi nguồn điện 1 chiều có công suất không đủ lớn thì mạch điện phân ứng và mạch kích từ mắc vào 2 nguồn 1 chiều độc lập nhau, lúc này động cơ được coi là động cơ kích từ độc lập

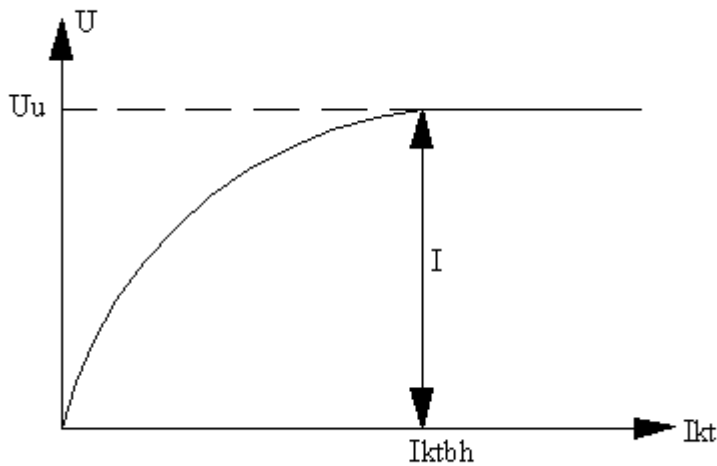


Nguyên lý làm việc

Khi đóng động cơ, Rôto quay đến tốc độ n , đặt điện áp U_{kt} nào đó lên dây quấn kích từ thì trong dây quấn kích từ có dòng điện i_k và do đó mạch kích từ của máy sẽ có từ thông ϕ , tiếp đó ở trong mạch phần ứng, trong dây quấn phần ứng sẽ có dòng điện i chạy qua tương tác với dòng điện phần ứng. Tăng từ từ dòng kích từ (bằng cách thay đổi R_{kt}) thì điện áp ở hai đầu động cơ sẽ thay đổi theo qui luật:

$$E_{dr} = (1\% \div 42\%) U_{dm}$$

Khi dòng i_{kt} còn nhỏ thì E_u hoặc U tăng tỉ lệ thuận với i_{kt} nhưng khi U_{kt} bắt đầu lớn thì từ thông ϕ trong lõi thép bắt đầu bão hoà. Cuối cùng khi $i_{kt} = i_{ktbh}$ thì $U = E_u$ bão hoà hoàn toàn.



2.4 Phương trình đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích từ độc lập :

Để thành lập phương trình đặc tính cơ ta xuất phát từ phương trình cân bằng điện áp của động cơ :

$$U_u = E_u + (R_u + R_f) \cdot I_u = E_u + R \cdot I_u \quad (1)$$

Trong đó :

U_u : điện áp phần ứng (V)

E_u : Sức điện động phần ứng (V)

R_u : Điện trở của mạch phần ứng

R_f : Điện trở phụ của mạch phần ứng

I_u : Dòng điện mạch phần ứng

Với $R_u = r_u + r_{cf} + r_b + r_{ct}$

r_u : Điện trở cuộn dây phần ứng

r_{cf} : Điện trở cuộn cực từ phụ

r_b : Điện trở cuộn bù

r_{ct} : Điện trở tiếp xúc của chổi than

Sức điện động E_u của phần ứng động cơ xác định theo biểu thức

$$E_u = \frac{pN}{2\pi a} \cdot \phi \cdot \omega = k \cdot \phi \cdot \omega \quad \rightarrow \quad \omega = \frac{E_u}{k \cdot \phi}$$

Trong đó :

p : Số đôi cực từ chính

N : Số thanh dẫn tác dụng của dây quấn phần ứng

a : Số đôi mạch nhánh song song của cuộn dây phần ứng

ϕ : Từ thông kích từ dưới 1 cực từ

ω : Vận tốc góc rad/s

$$k = \frac{pN}{2\pi a} : \text{Hệ số cấu tạo của động cơ}$$

Từ phương trình (1)

$$\Rightarrow E_u = U_u - (R_u + R_f) \cdot I_u$$

\Rightarrow Chia cả 2 vế cho $k\phi$

$$\Rightarrow \frac{E_u}{k\phi} = \frac{U_u}{k\phi} - \frac{R_u + R_f}{k\phi} \cdot I_u$$

$$\Rightarrow \varpi = \frac{U_u}{k\phi} - \frac{R_u + R_f}{k\phi} \cdot I_u \quad (2)$$

$\Rightarrow \varpi = f(I)$: Đặc tính cơ điện

Mặt khác mô men điện từ của của cơ điện được xác định bởi :

$$M_{dt} = k \cdot \phi \cdot I_u \Rightarrow I_u = \frac{M_{dt}}{K \cdot \phi}$$

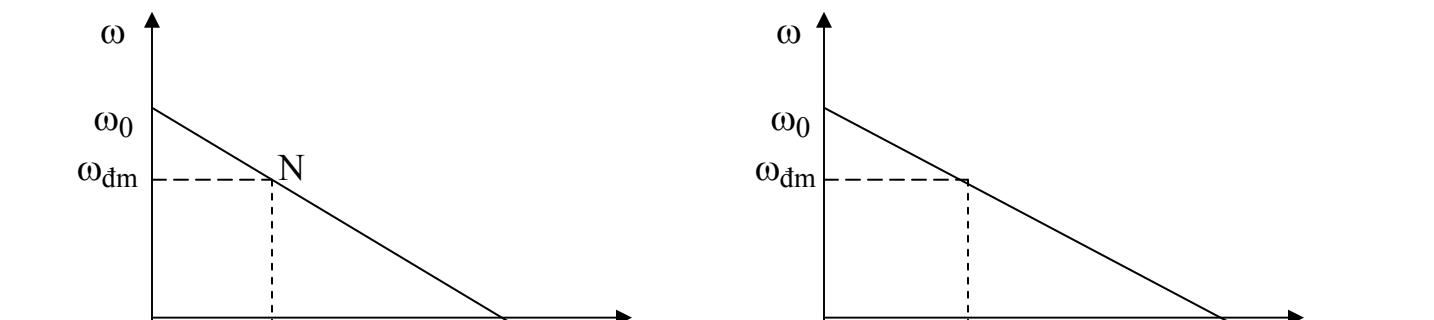
$$\text{Thế vào (2)} \Rightarrow \varpi = \frac{U_u}{k\phi} - \frac{R_u + R_f}{(k\phi)^2} \cdot M_{dt}$$

$\Rightarrow \varpi = f(M)$: Đặc tính cơ theo mômen

Nếu bỏ qua tổn thất cơ và tổn thất thép thì mô men cơ trên trục điện cơ bằng mô men điện từ , ta kí hiệu là M nghĩa là $M_{dt} = M_{cơ} = M$

$$\Rightarrow \varpi = \frac{U_u}{k\phi} - \frac{R_u + R_f}{(k\phi)^2} \cdot M \quad (3)$$

Giả thiết phản ứng phần ứng được bù đủ , từ thông $\phi = \text{const}$ thì phương trình đặc tính cơ điện (2) và phương trình đặc tính cơ là tuyến tính, đồ thị của chúng được thể hiện như sau :



$$\begin{matrix} & & I & & M \\ I_{dm} & & I_{nm} & & M_{dm} & & M_{nm} \end{matrix}$$

$$\omega = \frac{U_u}{k\phi} = \omega_0$$

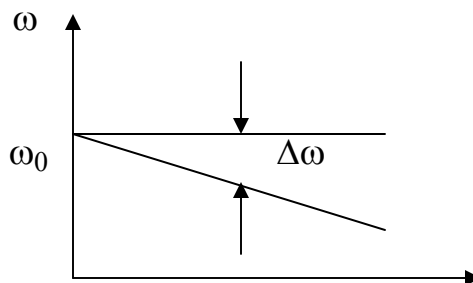
ω_0 : Gọi là tốc độ không tải lý tưởng của động cơ, còn khi $\omega_0 = 0$ ta có :

$$I_u = \frac{U_u}{R_u + R_f} = I_{nm}$$

I_{nm} , M_{nm} Gọi là dòng điện ngắn mạch và mômen ngắn mạch .

Nhận xét : Nếu cho U , $R_u + R_f$, ϕ là hằng số thì phương trình (3) sẽ là phương trình bậc nhất :

$$\begin{aligned} \omega &= \omega_0 + \Delta\omega \\ \Delta\omega &= \frac{R_u + R_f}{k \cdot \phi} M \quad \text{Độ sụt tốc độ} \end{aligned}$$



2.5 Ảnh hưởng của các tham số đến đặc tính cơ.

Từ phương trình đặc tính cơ :

$$\omega = \frac{U_u}{k\phi} - \frac{R_u + R_f}{(k\phi)^2} \cdot M$$

ta thấy có 3 tham số ảnh hưởng đến đặc tính cơ đó là : Từ thông động cơ ϕ , Điện áp phần ứng U_u , và điện trở phần ứng của động cơ . Ta lần lượt xét ảnh hưởng của từng tham số đó .

a) Ảnh hưởng của điện trở phần ứng :

Giả thiết $U_u = U_{dm} = \text{Const}$

Muốn thay đổi điện trở mạch phần ứng ta nối thêm điện trở phụ R_f vào mạch phần ứng .

- Tốc độ không tải lý tưởng : $\omega = \frac{U_{dm}}{k\phi} = const$
- Độ cứng của đặc tính cơ : $\beta = \frac{\Delta M}{\Delta \omega} = -\frac{k\phi}{R_u + R_f} = variable$

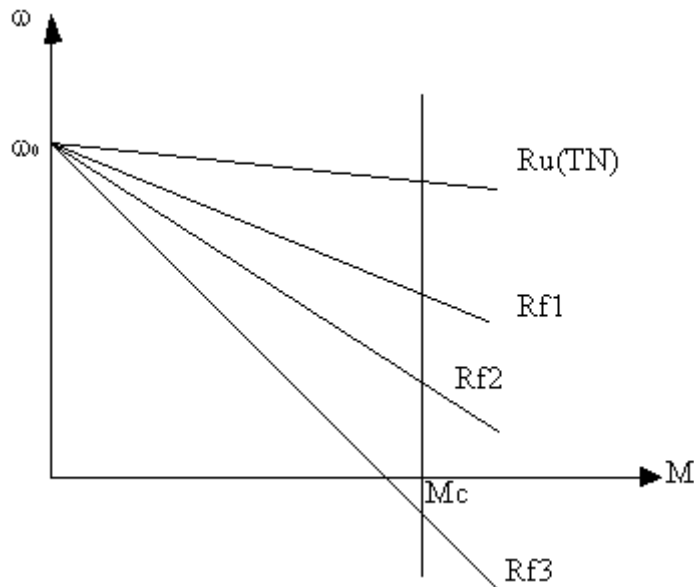
$R_f = 0$ ta có đặc tính cơ tự nhiên

R_f càng lớn thì β càng nhỏ dẫn tới đặc tính cơ càng dốc

Như vậy khi thay đổi điện trở phụ ta được 1 họ

đặc tính cơ như hình vẽ. ứng với một phụ tải M_c nào đó, nếu R_f càng lớn thì tốc độ càng giảm cho nên người ta sử dụng phương pháp này để hạn chế dòng điện và điều chỉnh tốc độ

Phương

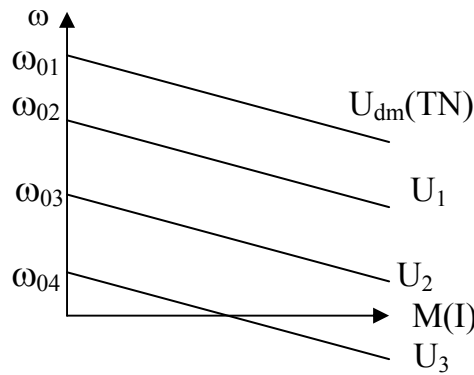


Đặc điểm :

- Tốc độ n bằng phẳng
 - Phạm vi điều chỉnh rộng
 - Vùng điều chỉnh tốc độ $n_{dc} < n_{dm}$
 - Việc điều chỉnh tốc độ thực hiện trong mạch phản ứng có dòng điện lớn, tổn hao vô ích nhiều, hệ số động cơ giảm
- b) Ảnh hưởng của điện áp phản ứng

Giả thiết $\phi = \phi_{dm} = const$, điện áp phản ứng $R_u = const$ trong thực tế thường giảm điện áp.

- Tốc độ không tải lý tưởng: $\omega_{0x} = \frac{U_x}{k \cdot \phi_{dm}} = \text{variable}$, U giảm thì ω_{0x} giảm
- Độ cứng đặc tính cơ: $\beta = -\frac{(k\phi)^2}{R_u} = \text{const}$



Như vậy khi thay đổi điện áp đặt vào phần ứng động cơ ta được một họ đặc tính cơ song song với đường đặc tính cơ tự nhiên. Nhận thấy rằng khi thay đổi điện áp, thực chất là giảm áp thì mô men ngắn mạch, dòng điện ngắn mạch của động cơ giảm và tốc độ của động cơ cũng giảm ứng với một phụ tải nhất định. Vì vậy phương pháp này cũng được sử dụng để điều chỉnh tốc độ và hạn chế dòng điện khi khởi động

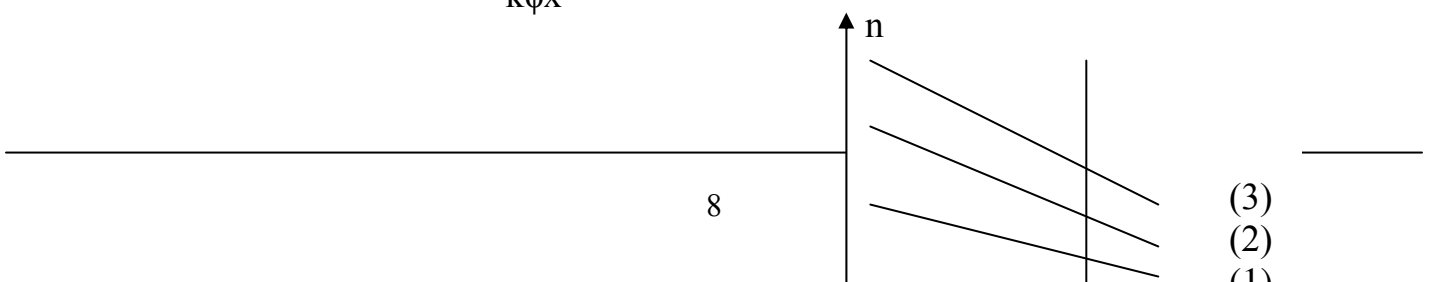
***.Đặc điểm**

- Tốc độ điều chỉnh bằng phẳng
- Phạm vi điều chỉnh rộng
- Vùng điều chỉnh tốc độ $n_{đc} < n_{đm}$
- Để thực hiện phương pháp này ta cần phải có nguồn điện áp thay đổi được (bộ biến đổi điện áp bằng điện tử công suất).

c. ảnh hưởng của từ thông

Giả thiết điện áp phần ứng $U_r = U_{dm} = \text{const}$, điện trở phần ứng $R_r = \text{const}$. Muốn thay đổi từ thông ta thay đổi dòng điện kích từ I_{kt} động cơ

- Tốc độ không tải: $\omega_{0x} = \frac{U_{dm}}{k\phi_x} = \text{var}$



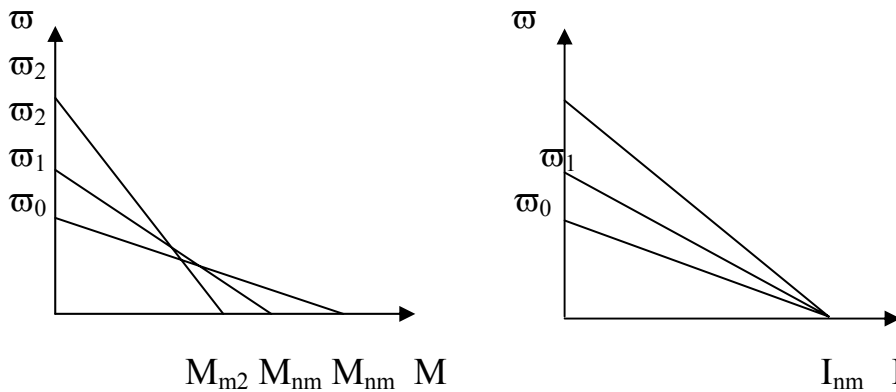
- Độ cứng đặc tính cơ : $\beta = -\frac{(k\phi x)^2}{R_u} = \text{var}$

(1) đường đặc tính cơ tự nhiên $\phi_{đm} = \phi$

(2) ,(3) đường đặc tính khi giảm ϕ với

$$\phi_{đm} = \phi_1 < \phi_2 < \phi_3$$

Khi giảm ϕ thì ω_{0x} tăng , giảm ta có một họ đặc tính cơ với ω_{0x} tăng dần và độ cứng của đặc tính giảm dần.



*.Đặc điểm

- Tốc độ bằng phẳng
- Phạm vi rộng
- Vùng điều chỉnh $n_{đm} < n_{đc}$
- Với điều chỉnh tốc độ thực hiện trong máy kích từ thì dòng điện nhỏ, tổn hao ít, hiệu suất cao.

Chương II

LỰA CHỌN CÁC PHƯƠNG ÁN

Theo đề bài là thiết kế nguồn cấp điện cho động cơ điện 1 chiều kích từ độc lập có đảo chiều theo nguyên tắc điều khiển chung với :

$$U_{đm} = 600 \text{ (V)} \quad I_{đm} = 10 \text{ (A)}$$

$$U_{kt} = 400 \text{ (V)} \quad I_{kt} = 0,9 \text{ (A)}$$

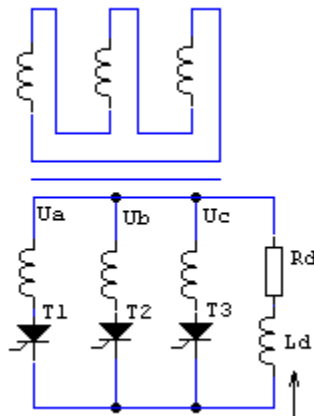
Phạm vi điều chỉnh 25 : 1

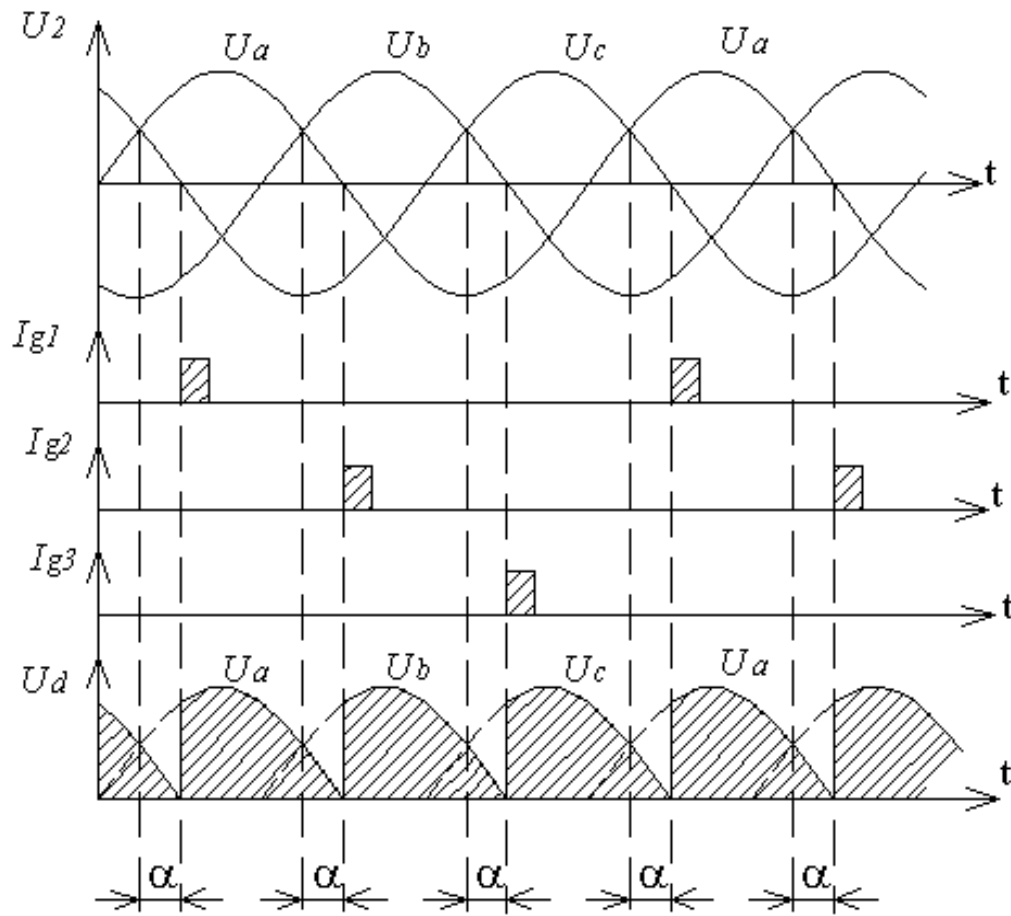
Ta xét 1 sơ đồ 3 pha :

D) : SƠ ĐỒ CHỈNH LƯU TIA 3 PHA

a) Nguyên lý :

Khi biến áp có ba pha đấu (Y) mỗi pha A,B,C đấu với một van, catốt đấu chung cho ta điện áp dương của tải còn trung tính biến áp sẽ là điện áp âm. Các pha A,B,C dịch pha nhau 120^0 theo các đường cong điện áp pha vì vậy ta có điện áp của một pha dương hơn điện áp của hai pha còn lại trong 1/3 chu kỳ. Từ đây thấy rằng tại mỗi một thời điểm chỉ có điện áp của một pha dương nên chỉ có một van dẫn mà thôi.





b. Nguyên lý hoạt động.

Khi anốt của van nào dương hơn thì van đó mới được kích mở, thời điểm hai điện áp của hai pha giao nhau được gọi là góc thông tự nhiên của các van bán dẫn. Trong trường hợp này ta xét với góc $\alpha = 75$ tính từ thời điểm mở tự nhiên

- ở thời điểm $\alpha = 75$ phát xung điều khiển I_{G1} , lúc này T_1 thoả mãn hai điều kiện $U_{AK} > 0$, $I_{G1} > 0 \rightarrow T_1$ mở (T_2, T_3 khoá). Do trong mạch có thêm điện cảm L nên xuất hiện giai đoạn điện áp âm của pha A tới khi xuất hiện xung điều khiển I_{G2} của T_2 lúc này tiristor T_2

thoả mãn hai điều kiện là $U_{AK} > 0, I_{G2} > 0 \rightarrow T_2$ dẫn (T_1, T_3 khoá) tương tự cho T_3 khi có xung điều khiển I_{G3} thì T_3 dẫn (T_1, T_2 khoá)

- Trong quá trình làm việc của các van như trên với giả thiết rằng L_d đủ lớn để cho dòng điện là liên tục.

- Trong khoảng thời gian van dẫn dòng điện bằng dòng điện của tải khi van khoá thì dòng điện van bằng '0' lúc này điện áp ngược mà van phải chịu bằng điện áp dây giữa pha có van khoá với pha có van đang dẫn

*Điện áp trung bình nhận được trên tải là

$$U_d = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} \sqrt{2} \cdot U_2 \sin\theta d\theta = \frac{3\sqrt{6}U_2}{2\pi} \cdot \cos\alpha = 1,17U_2 \cos\alpha$$

$$= U_{do} \cos\alpha$$

*Dòng điện trung bình nhận được trên tải là :

$$I_d = \frac{U_d}{R_d}$$

Nhận xét

- Khi tải thuần trở dòng điện và điện áp trên tải liên tục hay gián đoạn phụ thuộc vào góc mở của các transistor. Nếu góc của các transistor $\alpha < 30$ thì các đường cong U_d, i_d là liên tục

- Khi tải điện cảm (nhất là L_d đủ lớn) dòng điện và điện áp tải là các đường cong liên tục nhờ có năng lượng dự trữ trong điện cảm để duy trì dòng điện khi điện áp đổi chiều.

*Ưu điểm của sơ đồ

- Chỉ lưu tia3 pha có chất lượng điện áp một chiều tốt hơn chỉ lưu một pha
- Biên độ điện áp đập mạch thấp hơn
- Thành phần sóng hài bậc cao bé hơn, việc điều khiển các van bán dẫn trong trường hợp này cũng đơn giản

***Nhược điểm**

- Chế độ dòng điện trên tải phụ thuộc vào tính chất của tải là thuần trở hay là điện cảm nên có những chế độ dòng điện là liên tục và gián đoạn.

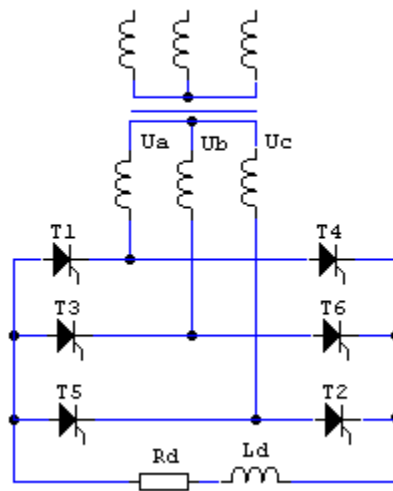
II) SƠ ĐỒ CHỈNH LƯU CẦU 3 PHA

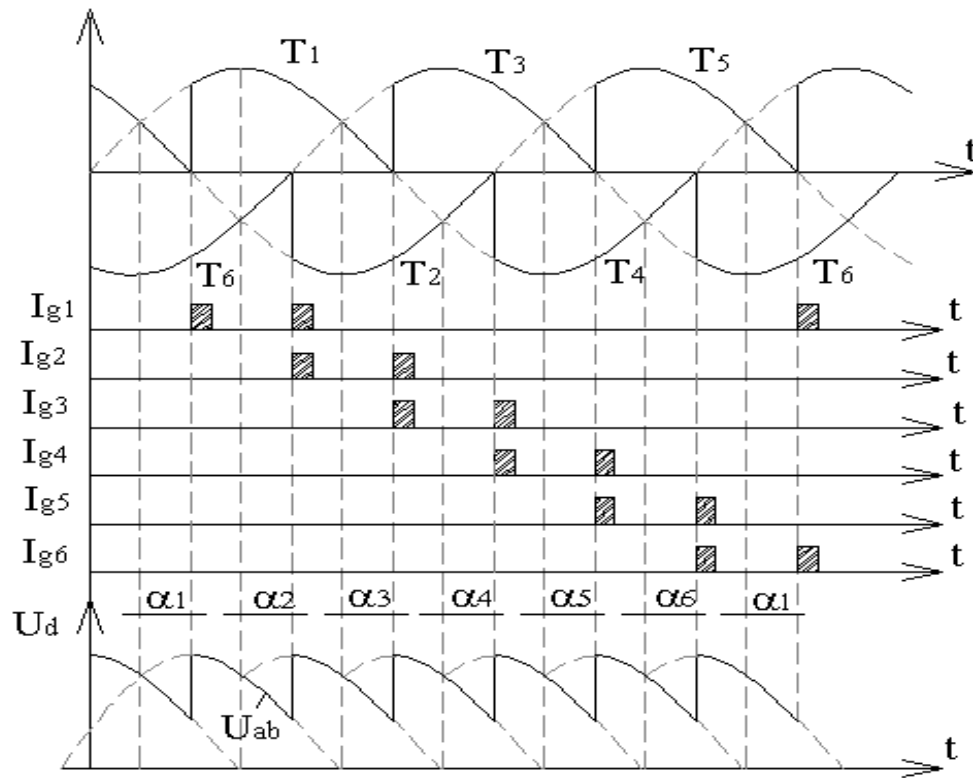
1. Chỉnh lưu cầu 3 pha điều khiển đối xứng

a. Nguyên lý.

Sơ đồ chỉnh lưu cầu 3 pha điều khiển đối xứng có thể coi như hai sơ đồ chỉnh lưu tia 3 pha mắc ngược chiều nhau, 3 transistor T_1, T_3, T_5 tạo thành một chỉnh lưu tia 3 pha cho điện áp dương tạo thành nhóm anốt. Còn T_2, T_4, T_6 là chỉnh lưu tia 3 pha cho điện áp âm tạo thành nhóm catốt, hai chỉnh lưu này ghép lại thành cầu 3 pha

Chỉnh lưu tia 3 pha điều khiển đối xứng thì dòng điện chạy qua tải là dòng điện chạy từ pha này sang pha kia, do đó tại mỗi thời điểm cần mở transistor chúng ta cần cấp hai xung điều khiển đồng thời (một xung ở nhóm anốt dương, một xung ở nhóm catốt âm)





b) Nguyên lý hoạt động

- Điện áp các pha thứ cấp biến áp

$$u_{2a} = \sqrt{2}U_2 \sin\theta$$

$$u_{2b} = \sqrt{2}U_2 \sin(\theta - \frac{2\pi}{3})$$

$$u_{2c} = \sqrt{2}U_2 \sin(\theta - \frac{4\pi}{3})$$

- Góc mở α được tính từ giao điểm của các nửa hình sin, giả thiết transistor T_5, T_6 đang cho dòng chảy qua. Tại thời điểm $\theta = \frac{\pi}{6} + \alpha$ cho xung điều khiển mở T_1 thì transistor T_1 mở vì $u_{2a} > 0$, sự mở của T_1 làm cho T_5 được khoá lại một cách tự nhiên vì $u_{2a} > u_{2c}$ lúc này T_6, T_1 cho dòng chảy qua, điện áp nhận được trên tải là

$$u_d = u_{ab} = u_{2a} - u_{2b}$$

- Thời điểm $\theta = \frac{3\pi}{6} + \alpha$ cho xung điều khiển mở T₂ transistor này mở vì khi T₆ dẫn dòng nó đặt điện áp u_{2b} lên anốt T₂ mà $u_{2b} > u_{2c}$. Sự mở của T₂ làm cho T₆ khoá lại một cách tự nhiên (vì $u_{2b} > u_{2c}$).

- Các xung điều khiển lệch nhau một góc $\frac{\pi}{3}$ được lần lượt đưa tới cực điều khiển của các transistor theo thứ tự 1 2 3 4 5 6 1.

Trong mỗi nhóm, khi 1 transistor mở nó sẽ khoá ngay transistor dẫn dòng trước nó

Thời điểm	Mở	Khoá
$\theta = \frac{\pi}{6} + \alpha$	T ₁	T ₅
$\theta = \frac{3\pi}{6} + \alpha$	T ₂	T ₆
$\theta = \frac{5\pi}{6} + \alpha$	T ₃	T ₁
$\theta = 7\frac{\pi}{6} + \alpha$	T ₄	T ₂
$\theta = \frac{9\pi}{6} + \alpha$	T ₅	T ₃
$\theta = \frac{11\pi}{6} + \alpha$	T ₆	T ₄

+) **Trị trung bình của điện áp trên tải.**

- Đường bao phía trên biểu diễn điện thế của điểm F(V_F), đường bao phía dưới biểu diễn điện thế của điểm G(V_G).

- Điện áp trên tải là:

$$U_d = V_F - V_G$$

$$U_d = \frac{6}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} \sqrt{2}U_2 \sin\theta d\theta = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U_2 \cos\alpha = 2,34U_2 \cos\alpha$$

cũng có thể tính $U_d = U_{dI} - U_{dII}$

U_{dI} là trị trung bình của u_{dI} do nhóm catôt chung tạo lên

U_{dII} là trị trung bình của u_{dII} do nhóm anốt chung tạo lên

$$U_{dI} = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} \sqrt{2}U_2 \sin\theta d\theta = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} U_2 \cos\alpha$$

$$U_{dII} = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{3\pi}{6}+\alpha}^{\frac{7\pi}{6}+\alpha} \sqrt{2}U_2 \sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) d\theta = -\frac{3\sqrt{6}}{2\pi} \cos\alpha$$

- Điện áp ngược mà các van phải chịu ở chính lưu cầu 3 pha sẽ bằng '0' khi van dẫn và sẽ bằng điện áp dây khi van khoá

- Dòng điện trên tải là : $I_d = \frac{U_d - E_d}{R_d}$

Nhận xét: Hình dáng điện áp nhận được trên tải không có sự xuất hiện của suất phản điện động E_d khi chế độ dòng điện trên tải là liên tục. Còn khi chế độ dòng điện gián đoạn suất phản điện động E_d sẽ xuất hiện trên điện áp U_d

***ưu điểm**

- Chất lượng điện áp trên tải tốt
- Độ bằng phẳng tương đối cao

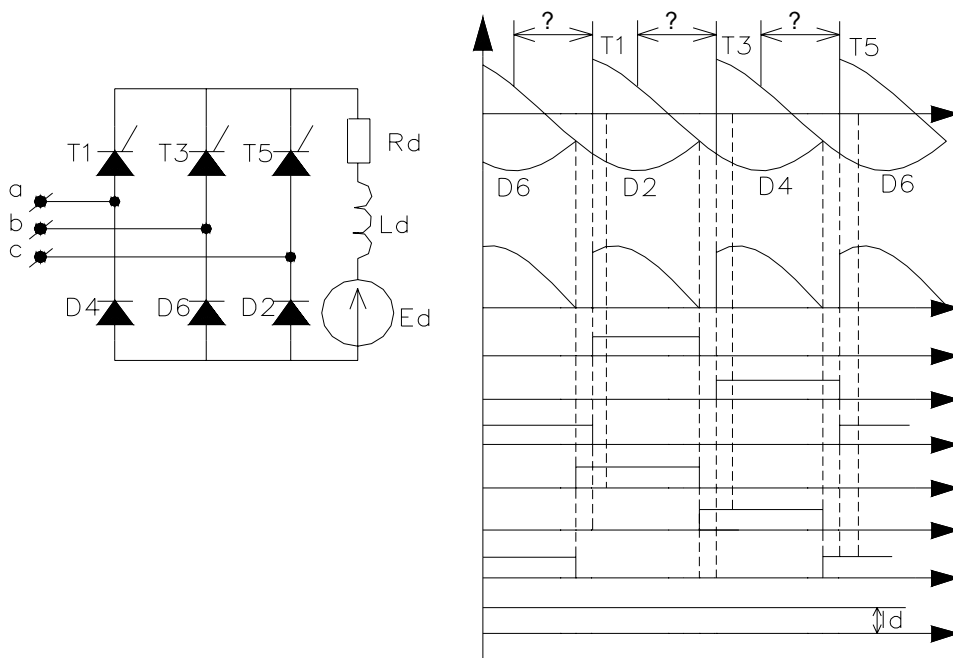
***nhược điểm**

- Cần phải mở đồng thời hai van theo đúng thứ tự pha do vậy không ít khó khăn khi chế tạo, vận hành và sửa chữa.

2.Chỉnh lưu cầu 3 pha điều khiển không đối xứng.

Loại chỉnh lưu này được cấu tạo từ một nhóm (anốt hoặc catốt) điều khiển và một nhóm không điều khiển.

Sơ đồ mô tả (sơ đồ mắc catốt chung)



Nguyên lý hoạt động .

- Trong khoảng $0 \rightarrow \theta_1$ T_5 và D_6 cho dòng tải $i_d = i_d$ chảy qua. D_6 đặt điện áp u_{2b} lên anốt D_2
- Khi $\theta > \theta_1$ điện thế catốt D_2 là u_{c2} bắt đầu nhỏ hơn u_{2b} điốt D_2 mở cho dòng i_d chảy qua D_2 và T_5 , $u_d = 0$.

- $\theta \rightarrow \theta_2$ cho xung điều khiển mở T_1 , trong khoảng $\theta_2 \rightarrow \theta_3$ thì T_1 và D_2 cho dòng I_d chảy qua, D_2 đặt điện thế u_{2c} lên catốt D_4
- Khi $\theta > \theta_3$ điện thế catốt D_4 là u_{2a} bắt đầu nhỏ hơn u_{2c} điốt D_4 mở dòng tải i_d chảy qua D_4 và T_1 , $u_d = 0$

Nhận xét: Trong chỉnh lưu cầu 3 pha bán điều khiển dạng điện áp ra khi $\alpha > 0$ chỉ có 3 đập mạch, vì vậy hệ số đập mạch của sơ đồ bán điều khiển thấp hơn hệ số đập mạch của sơ đồ điều khiển hoàn toàn

****ưu điểm***

- Sơ đồ đơn giản, rẻ tiền
- Sơ đồ chỉnh lưu bán điều khiển thì hệ số công suất $\cos\omega$ cao hơn so với sơ đồ chỉnh lưu điều khiển hoàn toàn
- So với sơ đồ điều khiển đối xứng thì sơ đồ chỉnh lưu bán điều khiển thì việc điều khiển các van bán dẫn thực hiện đơn giản hơn

****Nhược điểm***

- Điện áp chỉnh lưu chứa nhiều thành phần sóng hài lên cần phải có bộ lọc
- Không đảo được chiều dòng
- Không thực hiện được chế độ nghịch lưu phụ thuộc
- Dòng trung bình qua các van là khác nhau

$$I_{tbD} = \frac{\pi + \alpha}{2\pi} I_d$$
$$I_{tbT} = \frac{\pi - \alpha}{2\pi} I_d$$

* Nghịch lưu phụ thuộc

- Nghịch lưu là quá trình chuyển năng lượng từ phía dòng một chiều sang dòng xoay chiều (quá trình chuyển năng lượng ngược lại với chế độ CL). Trong hệ TĐĐ một chiều, động cơ điện cần làm việc ở những chế độ khác nhau trong đó có lúc động cơ trở thành máy phát điện. Năng lượng phát ra này trả về lưới điện xoay chiều. Để thoả mãn yêu cầu này bộ CL chuyển sang hoạt động ở chế độ nghịch lưu vì nó hoạt động (đồng bộ) theo nguồn xoay chiều nên gọi là nghịch lưu phụ thuộc.

-N như vậy mạch điện lúc này có 2 nguồn sức điện động :

e_1 :sđđ lưới xoay chiều

E_d :sđ đ một chiều

Ta biết rằng một nguồn sức điện động sẽ phát được năng lượng nếu chiều sức điện động và dòng điện trùng nhau, ngược lại nó sẽ nhận năng lượng khi chiều sức điện động và dòng điện ngược nhau. Xuất phát từ nguyên tắc trên ta thấy rằng với bộ chỉnh lưu chỉ cho phép dòng điện đi theo một chiều xác định thì để có chế độ nghịch lưu cần phải thực hiện hai điều kiện :

+Về phía một chiều :bằng cách nào đó chuyển đổi chiều E_d để có chiều dòng và E_d trùng nhau.

+Về phía xoay chiều :điều khiển mạch chỉnh lưu sao cho điện áp $u_d < 0$ để có dấu phù hợp dòng tức là bộ chỉnh lưu làm việc chủ yếu ở nửa chu kỳ âm của lưới điện.

+Trong trường hợp không đảo được chiều E_d ta buộc phải dùng một mạch chỉnh lưu khác đấu ngược với mạch cũ để dẫn được dòng điện theo chiều ngược lại.

-N như vậy nghịch lưu phụ thuộc thực chất là chế độ khi bộ chỉnh lưu làm việc với góc điều khiển lớn. Do đó toàn bộ các biểu thức tính toán vẫn đúng chỉ cần lưu ý rằng E_d có giá trị âm.

Kết luận : Từ các phương án đã đề xuất ở trên ta nhận thấy rằng sơ đồ chỉnh lưu cầu 3 pha là sơ đồ có chất lượng điện áp tốt nhất, hiệu suất sử dụng biến áp tốt nhất vì vậy với yêu cầu của tải là điều chỉnh tốc độ có đảo chiều quay nên ta chọn sơ đồ chỉnh lưu cầu 3 pha đối xứng để thiết kế nguồn cấp điện cho động cơ điện một chiều kích từ độc lập có đảo chiều quay là phù hợp nhất

Chương III

XÂY DỰNG CHI TIẾT TOÀN BỘ SƠ ĐỒ NGUYÊN LÝ MẠCH THIẾT KẾ

I GIỚI THIỆU VỀ NGUYÊN TẮC ĐIỀU KHIỂN CHUNG

a. Nguyên tắc :

Tại cùng một thời điểm cả hai bộ biến đổi đều nhận được xung điều khiển, nhưng chỉ có một bộ biến đổi làm việc cấp dòng cho tải còn bộ biến đổi kia làm việc ở chế độ đợi. Như vậy lúc nào hai bộ cũng đồng thời chạy do đó mà nó không còn thời gian chết trong quá trình đảo chiều dòng điện, vì vậy độ tác động là nhanh nhất. Tuy nhiên do hai bộ đều chạy nên sẽ có khả năng có dòng điện xuyên qua hai bộ gây ngắn mạch nguồn cho nên ta phải đưa thêm các cuộn kháng cân bằng để chống dòng ngắn mạch này.

b. Luật điều khiển

-Bộ biến đổi I(BĐI) làm việc ở đường đặc tính (1) có

$$U_{dI} = U_{d0} \cos \alpha_1$$

-Bộ biến đổi II(BĐII) làm việc ở đường đặc tính (2) có

$$U_{dII} = U_{d0} \cos \alpha_{II}$$

Ta có:

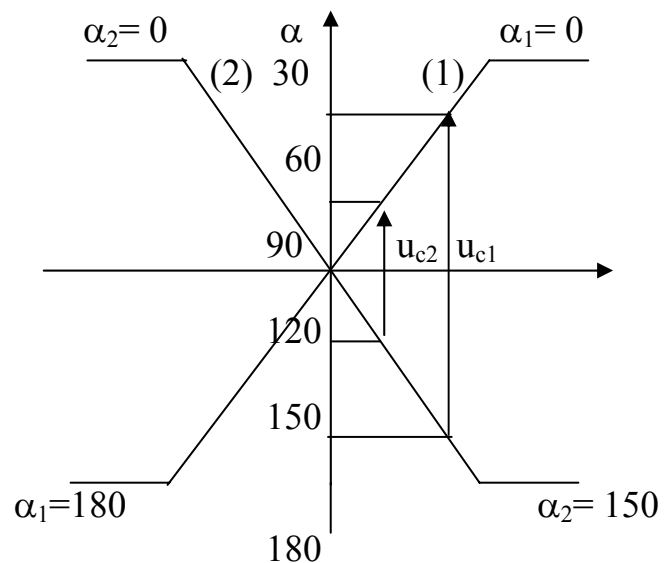
$$U_{dI} = U_{dII}$$

Suy ra

$$U_{d0} \cos \alpha_1 = - U_{d0} \cos \alpha_{II}$$

$$\rightarrow \cos \alpha_1 + \cos \alpha_{II} = 0$$

$$\rightarrow \alpha_1 + \alpha_{II} = 180 \text{ (Luật phối hợp điều khiển)}$$



Từ luật phối hợp điều khiển ta thấy rằng khi $\alpha_1 < 90 \rightarrow \alpha_{II} = 180 - \alpha_1 > 90$ do đó bộ biến đổi I(BĐI) làm việc ở chế độ chỉnh lưu còn bộ biến đổi II(BĐII) sẽ làm việc ở chế độ nghịch lưu

Vậy khi bộ I chạy ở chế độ chỉnh lưu thì bộ II bao giờ cũng chạy ở chế độ nghịch lưu nhưng không có dòng chảy → bộ nghịch lưu không chạy nên quá trình nghịch lưu chỉ chạy khi bắt đầu giảm dòng, giảm tốc độ, đảo chiều với tải sức điện động E_d như động cơ điện một chiều

****Ưu điểm của phương pháp điều khiển chung***

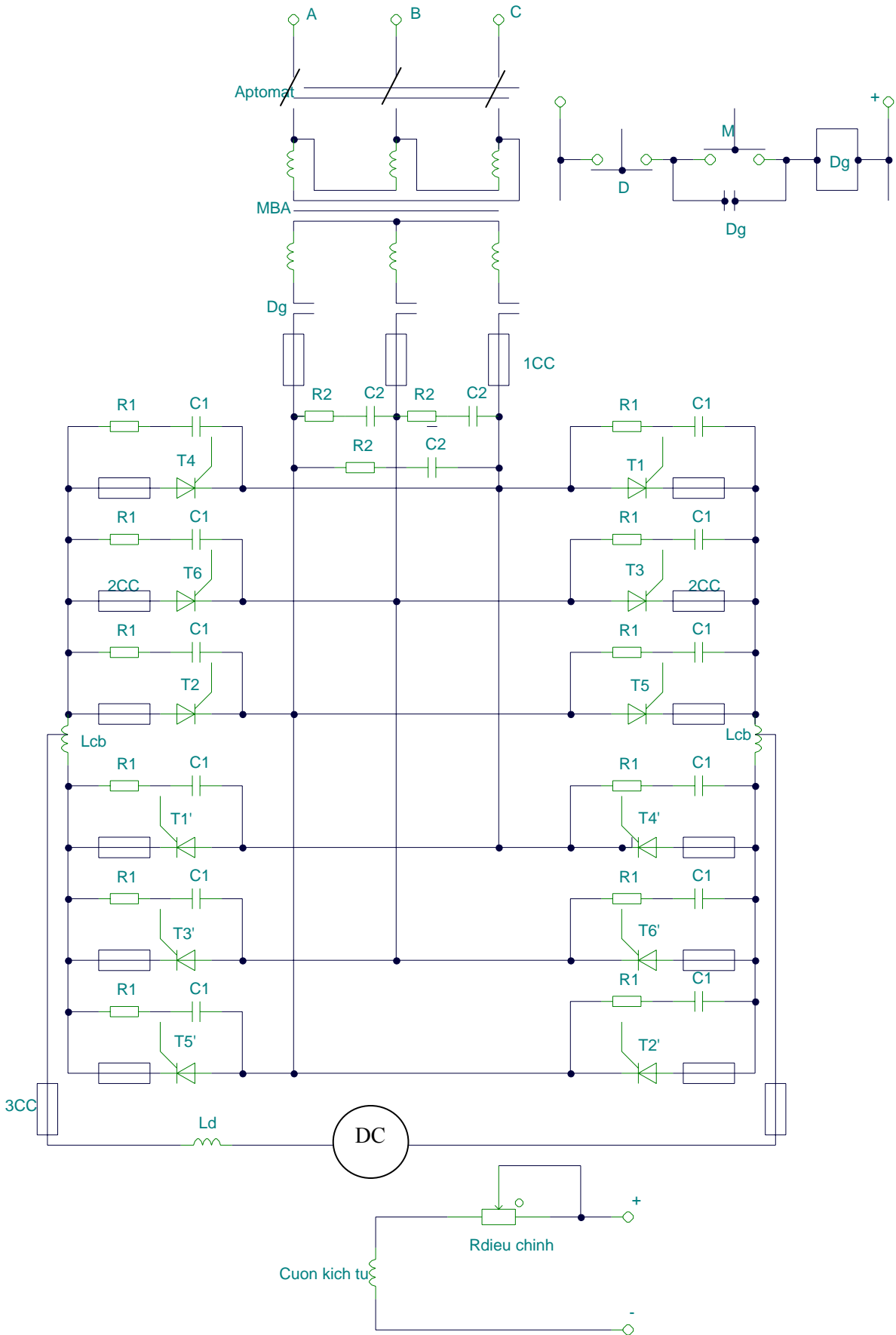
- Tốc độ đảo chiều rất nhanh cho phép đảo chiều với tần số cao

****Nhược điểm***

- Khó đảm bảo luật điều khiển vì vậy dễ xảy ra sự cố
- Cần phải có hai cuộn kháng cân bằng làm tăng kích thước của thiết bị, nếu cuộn kháng thiết kế không chính xác thì cũng sẽ gây ra sự cố trong quá trình làm việc như cháy van, cháy cuộn kháng

II SƠ ĐỒ NGUYÊN LÝ

a) Sơ đồ



b) Nguyên lý hoạt động của sơ đồ nguyên lý

Sơ đồ gồm hai bộ biến đổi BBD1 và BBD2 đấu song song ngược với nhau, có các cuộn kháng cân bằng L_{cb} để không cho dòng điện chạy từ bộ BBD1 sang bộ BBD2. Từng bộ biến đổi có thể làm việc ở chế độ chỉnh lưu hoặc nghịch lưu

Nếu góc α_I là góc mở đối với bộ BBD1 và góc α_{II} là góc mở đối với bộ BBD2 thì sự phối hợp giữa góc α_I, α_{II} phải được thực hiện theo quan hệ $\alpha_I + \alpha_{II} = 180$, sự phối hợp này gọi là phối hợp tuyến tính

Giả sử cần động cơ quay thuận ta có BBD1 làm việc ở chế độ chỉnh lưu

$\alpha_I = 0 \div 90 \rightarrow U_{dI} > 0$, bấy giờ $\alpha_{II} > 90 \rightarrow$ BBD2 làm việc ở chế độ nghịch lưu $U_{dII} < 0$.

Cả hai điện áp U_{dI} và U_{dII} đều đặt lên phần ứng của cuộn động cơ M, lúc này dòng điện chỉ có thể chảy từ bộ BBD1 sang động cơ mà không thể chảy từ bộ BBD1 sang BBD2 vì các tiristor không thể cho dòng chảy từ katốt sang anốt \rightarrow động cơ quay thuận

Khi $\alpha_I = \alpha_{II} = 90$ thì $U_{dI} = U_{dII} = 0$ động cơ ở trạng thái dừng

Giả sử với góc điều khiển $\alpha_I = 30 \rightarrow \alpha_{II} = 150$, động cơ quay thuận với $u_c = u_{c1}$, lúc này

điện áp trên BBD1 là $U_{dI} = U_0 \cos 30 = \frac{\sqrt{3}}{2} U_0$

$$\text{BBD2 là } U_{dII} = U_0 \cos 150 = - \frac{\sqrt{3}}{2} U_0$$

Vậy BBD1 làm việc ở chế độ chỉnh lưu còn bộ BBD2 làm việc ở chế độ nghịch lưu

Nếu cần giảm tốc độ quay của động cơ ta có $u_c = u_{c2}$ với góc mở $\alpha_I = 60 \rightarrow \alpha_{II} = 120$ lúc này điện áp trên BBD1 là $U_{dI} = U_0 \cos 60 = \frac{1}{2} U_0$

$$\text{BBD2 là } U_{dII} = U_0 \cos 120 = - \frac{1}{2} U_0$$

Do quán tính nên sức điện động E của động cơ vẫn còn giữ nguyên trị số tương ứng với trạng thái trước đó $E > U_{dI}$, bộ BBD1 bị khoá lại. Mặt khác $E > U_{dII}$, nên BBD2 làm việc ở chế độ nghịch lưu phụ thuộc trả năng lượng tích lũy trong động cơ về nguồn, lúc này dòng điện phần ứng động cơ đảo dấu chảy từ động cơ M vào BBD2, động cơ hãm tái sinh tốc độ giảm xuống đến giá trị tương ứng U_{dI} \rightarrow động cơ quay ngược

Nếu cho điện áp điều khiển $u_c < 0$ thì BBD2 làm việc ở chế độ chỉnh lưu, còn BBD1 làm việc ở chế độ nghịch lưu phụ thuộc.

III SƠ ĐỒ MẠCH ĐIỀU KHIỂN

a. Nguyên tắc điều khiển

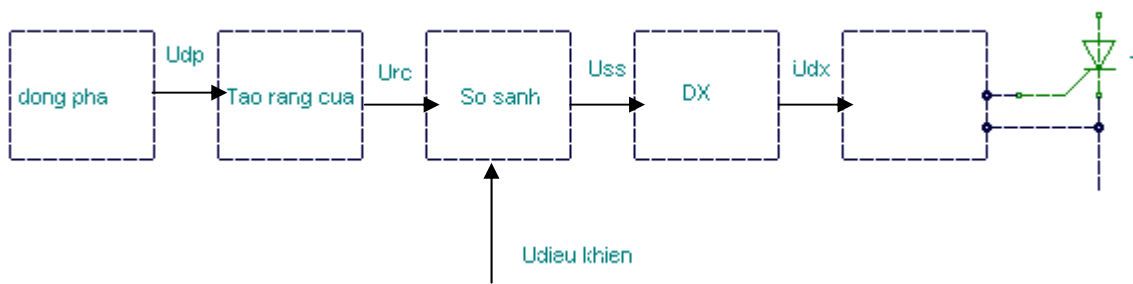
Trong thực tế người ta sử dụng hai nguyên tắc điều khiển: Nguyên tắc thẳng đứng tuyến tính và nguyên tắc thẳng đứng arccos. ở đây ta sử dụng nguyên tắc điều khiển thẳng đứng tuyến tính, theo nguyên tắc này người ta dùng hai điện áp

- Điện áp đồng bộ kí hiệu là u_s đồng bộ với điện áp đặt trên tiristor, thường đặt vào đầu đảo của khâu so sánh

- Điện áp điều khiển kí hiệu là u_{cm} (điện áp một chiều có thể điều chỉnh được biên độ) thường đặt vào đầu không đảo của khâu so sánh

Bấy giờ hiệu điện thế đặt vào khâu so sánh là $u_d = u_{cm} - u_s$, khi $u_s = u_{cm}$ khâu so sánh lật trạng thái ta nhận được sườn ra của điện áp đầu ra của khâu so sánh, sườn này thông qua đa hài một trạng thái ổn định tạo ra một xung điều khiển

b.Sơ đồ cấu trúc mạch điều khiển



c.Các khâu trong mạch điều khiển

Phần này trình bày về nguyên lí và cấu trúc sơ bộ của từng khâu trong mạch điều khiển. Cụ thể như sau :

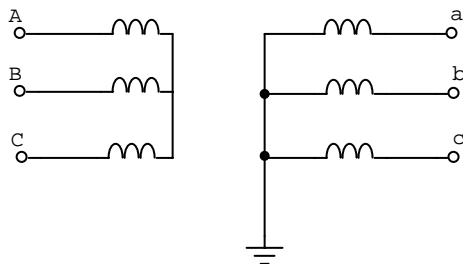
. Khâu đồng pha ĐB:

Khâu này tạo ra một điện áp có góc lệch pha có định với điện áp đặt lên vạm lực, phù hợp nhất cho mục đích này là sử dụng biến áp. Biến áp còn đạt thêm hai mục đích quan trọng nữa là :

- Chuyển đổi điện áp lực có giá trị cao sang giá trị phù hợp với mạch điều khiển có điện áp thấp.
- Cách li hoàn toàn về điện áp giữa mạch điều khiển và mạch lực .Điều này đảm bảo an toàn cho người sử dụng cũng như linh kiện của mạch điều khiển.

Do phạm vi điều chỉnh của mạch lực chỉ từ 0 độ cho tới 150 độ nên cuộn sơ cấp và thứ cấp của biến áp đồng pha đều có thể đấu Y.

Sơ đồ biến áp như sau :



.Khâu tạo điện áp răng cưa:

Khâu này hoạt động theo nhịp của điện áp nhằm hình thành điện áp có hình dạng thuận lợi để xác định điện áp. Ở đây U_t có dạng răng cưa. Được tạo ra bằng cách sử dụng Transistor kết hợp với một mạch tích phân.

.Khâu so sánh SS:

Khâu này tiến hành so sánh điện áp tựa và điện áp điều khiển, điểm cân bằng của hai điện áp này là điểm phát xung điều khiển, tức là thời điểm tính góc mở α . Khâu so sánh cũng sử dụng khuếch đại thuật toán OA

.Khâu dạng xung DX:

Khâu này tạo ra dạng xung của điện áp điều khiển sao cho phù hợp với mạch lực và tính chất tải. Ở đây ta sử dụng xung chùm là loại xung dễ điều khiển và hay gặp trong thực tế nhất.

Xung chùm thực chất là một chùm các xung có tần số cao gấp nhiều lần lưới điện ($f_{xc}=8:12\text{kHz}$). Độ rộng của xung chùm có thể được hạn chế trong khoảng 100—130 độ điện, về nguyên tắc nó phải kết thúc khi mà điện áp trên van lực mà nó điều khiển chuyển sang dấu âm.

Nguyên tắc tạo xung chùm là coi tín hiệu do bộ so sánh đi ra như tín hiệu cho phép hay cấm khâu khuếch đại xung được nhận xung tần số cao phát ra từ một bộ tạo dao động. Việc làm này được thực hiện bằng cách đưa tín hiệu khâu so sánh và tín hiệu bộ tạo dao động vào cùng một cổng Logic And.

Ở đây ta tạo ra dao động bằng một mạch tạo dao 555

.Khâu khuếch đại xung KĐX:

Có nhiệm vụ khuếch đại công suất của xung điều khiển đảm bảo chắc chắn mở van mạch lực. Ngoài ra khâu này còn làm nhiệm vụ cách li mạch lực và mạch điều khiển. Có hai loại cách li là cách li bằng biến áp và cách li bằng ánh sáng.

Ở đây ta sử dụng cách cách li bằng biến áp xung. Đồng thời tầng khuếch đại sử dụng một Transistor Darlington nhằm tăng hệ số khuếch đại lên hàng trăm lần.

.Khâu phản hồi:

Bao gồm hồi tiếp tốc độ, bộ khuếch đại tín hiệu. Do tín hiệu từ phía động cơ nhỏ nên ta phải bố trí bộ khuếch đại trước khi đưa vào bộ điều chỉnh. Bộ phản hồi có tác dụng nhận thông tin từ phía tải để báo cho mạch điều khiển biết về tốc độ động cơ. Tùy theo tốc độ của động cơ mà mạch điều khiển sẽ bố trí phát thêm công suất hay giảm công suất đi tới khi tốc độ đạt yêu cầu.

Khâu phản hồi còn có tác dụng ổn định tốc độ của động cơ, Giảm quá trình quá độ dòng điện lúc khởi động

.Các bộ phận khác trong mạch điều khiển :

Ngoài các khâu chính trên mạch điều khiển còn có các thiết bị khác. Đó là:

- Biến áp bảo vệ mạch điều khiển.

Các phần nguồn nuôi. Có nhiệm vụ tạo ra nguồn điện một chiều nuôi các linh kiện điện tử

d.Sơ đồ mạch điều khiển

**** Nguyên lý hoạt động của sơ đồ***

Đưa điện áp pha A: $U_A = 220\sqrt{2} \sin(\omega t)$ của máy biến áp đồng pha vào bộ chỉnh lưu hai nửa chu kỳ. Điện áp ra bộ chỉnh lưu là U_{CL} , điện áp này được đem so sánh với điện áp đặt (điện áp một chiều) bằng bộ so sánh thuận, điện áp U_{CL} vào bộ so sánh thuận có dạng tuần hoàn với chu kỳ T nên điện áp ra bộ so sánh thuận là U_s có dạng xung vuông góc cùng chu kỳ và đồng bộ với điện áp U_{CL} . Điện áp đồng bộ U_s này đưa vào cổng B của tranzitor.

Phần điện áp dương của xung vuông góc qua diốt D1 tới A2 tích phân thành điện áp răng cưa U_{rc} . Điện áp âm của điện áp chữ nhật làm mở thông Tranzitor, kết quả là A2 bị ngắn mạch ($U_{rc} = 0$) trong vùng U_s âm. Trên đoạn đầu ra của A2 ta có chuỗi điện áp răng cưa.

Điện áp răng cưa được so sánh với điện áp điều khiển tại đầu vào của A3. Tổng đại số $U_{rc} + U_{dk}$ quyết định dấu điện áp UD ở đầu ra của khuếch đại A3.

Mặt khác ta đưa đồng thời U_{rc} vào bộ trừ để tạo được điện áp đối xứng với điện áp răng cưa điện áp này cũng được đem ra so sánh với U_{dk} , thì tương ứng với góc điều khiển α_{II} , thoả mãn điều kiện $\alpha_I + \alpha_{II} = 180^\circ$. Mỗi khi $U_{cr} = U_{dk}$ tại đầu ra của bộ so sánh xuất hiện xung vuông. Xung vuông ra khỏi A3 kết hợp với xung chùm từ bộ 555 để đảm bảo Tiristor mở chắc đưa vào cổng AND. Điện áp ra cổng AND đưa vào bộ khuếch đại (BKĐ) qua BAX → tạo xung kích mở cổng G của Tiristor

Như vậy tại cùng một thời điểm ứng với một giá trị U_{dk0} thì T_1 và T_4 của bộ BD1 dẫn và T_1', T_4' làm việc ở chế độ đợi và đảm bảo theo nguyên tắc điều khiển chung $\alpha_I + \alpha_{II} = 180^\circ$

CHƯƠNG IV

TÍNH CHỌN MẠCH LỰC

A. MẠCH LỰC

I. Tính chọn tiristor

$$U_{dm} = 600(\text{V}), I_{dm} = 10(\text{A})$$

$$U_{kt} = 400(\text{V}), I_{kt} = 0,9(\text{A})$$

Tính chọn tiristor dựa vào các yếu tố cơ bản là dòng tải, sơ đồ đã chọn, điều kiện toả nhiệt, điện áp làm việc, các thông số cơ bản của van được tính đến như sau

-Điện áp ngược lớn nhất mà tiristor phải chịu

$$U_{ng \max} = \sqrt{6} \cdot U_{2 \max}$$

Phương trình cân bằng điện áp khi có tải

$$U_{do} \cos \alpha_{\min} = U_d + 2\Delta U_v + \Delta U_{dn} + \Delta U_{ba}$$

$\alpha_{\min} = 10^\circ$ là góc dự trữ khi có suy giảm điện áp lưới

$\Delta U_v = 1,8 (\text{V})$: sụt áp trên van

$\Delta U_{dn} = 0$: sụt áp trên dây nối

$\Delta U_{ba} = 6\% \cdot 600 = 36(\text{V}) = \Delta U_r + \Delta U_x$: sụt áp trên điện trở và điện kháng MBA

Thay số ta có

$$U_{do} = \frac{U_d + 2\Delta U_v + \Delta U_{dn} + \Delta U_{ba}}{\cos \alpha_{\min}} = \frac{600 + 2 \cdot 1,8 + 0 + 36}{\cos 10^\circ} = 649,46 (\text{V})$$

$$\Rightarrow U_2 = \frac{U_{do}}{3\sqrt{6}/\pi} = \frac{U_{do}}{2,34} = \frac{649,46}{2,34} = 277,5 (\text{V})$$

$$\Rightarrow U_{2\max} = U_2 + 5\% = 277,5 + 277,5 \cdot 5\% = 291,4 (\text{V})$$

$$\Rightarrow U_{ng \max} = \sqrt{6} \cdot U_{2 \max} = \sqrt{6} \cdot 291,4 = 713,8 (\text{V})$$

$$\Rightarrow U_{ng \text{ van}} = K_{dt} \cdot U_{ng \max} = 1,8 \cdot 713,8 = 1284,8 (\text{V})$$

$K_{dt} = 1,8$: hệ số dự trữ điện áp

-Dòng điện làm việc của

$$I_{lv} = \frac{1}{3} \cdot I_d = \frac{1}{3} \cdot 10 = 3,33 (\text{A})$$

Chọn điều kiện làm việc của van là có cánh toả nhiệt và đầy đủ diện tích toả nhiệt : Không có quạt đối lưu không khí, với điều kiện đó dòng điện định mức của van cần chọn :

$$I_{tbv} = k_i \cdot I_{lv}$$

K_i - hệ số dự trữ dòng điện, chọn $K_i = 3,2$

$$I_{tbv} = k_i \cdot I_{lv} = 3,2 \cdot 3,33 = 10,6 \text{ (A)}$$

Từ các thông số $U_{ng \text{ van}}$, I_{tbv} ta chọn 12 tiristor loại HT25/140J1

Ký hiệu	$U_{ng \text{ max}}$ (V)	$I_{dm \text{ max}}$ (A)	$I_{pik \text{ max}}$ (A)	$I_g \text{ max}$ (A)	$U_g \text{ max}$ (V)	$I_h \text{ max}$ (A)	$I_r \text{ max}$ (A)	$\Delta U \text{ max}$ (V)	t_{cm} (s)	du/dt (V/s)	T_{max} ($^{\circ}C$)
HT25/140J1	1400	25	400	50m	2,5	100m	3m	1,8	60 μ	1000	125

Trong đó

U_{ng} - Điện áp ngắn mạch cực đại

I_{dm} - Dòng điện làm việc cực đại

I_{pik} - Dòng điện đỉnh cực đại

I_g - Dòng điện xung điều khiển

U_g - Điện áp xung điều khiển

I_h - Dòng điện tự giữ

I_r - Dòng điện rò

ΔU_{max} - Sụt áp trên tiristor ở trạng thái dẫn

du/dt - Tốc độ biến thiên điện áp

t_{cm} - Thời gian chuyển mạch (mở và khoá).

T_{max} - Nhiệt độ làm việc cực đại

II. Tính toán MBA chỉnh lưu

a. Tính các thông số cơ bản

Chọn MBA 3 pha, 3 trụ sơ đồ đấu dây Δ/Y làm mát bằng không khí tự nhiên

- Điện áp pha sơ cấp MBA: $U_1 = 380(V)$

- Điện áp pha thứ cấp MBA

$$U_2 = \frac{U_{d0}}{3\sqrt{6}/\pi} = \frac{U_{d0}}{2,34} = \frac{649,46}{2,34} = 277,5$$

- Công suất tối đa của tải

$$P_{dmax} = U_{d0} \cdot I_d = 649,46 \cdot 10 = 4694,6(w)$$

- Công suất biến áp nguồn được tính

$$S_{ba} = K_s \cdot P_{dmax}$$

S_{ba} - Công suất biểu kiến MBA (W)

K_s - Hệ số công suất theo sơ đồ mạch lực $K_s = 1,05$

$$S_{ba} = 1,05 \cdot 6494,6 = 6819,33 \text{ (W)}$$

- Dòng điện hiệu dụng phía thứ cấp MBA.

$$I_2 = K_{hd} \cdot I_d$$

K_{hd} - Hệ số dòng điện hiệu dụng, $K_{hd} = \sqrt{\frac{2}{3}}$

$$\Rightarrow I_2 = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot 10 = 8,165 \text{ (A)}$$

- Dòng điện hiệu dụng sơ cấp MBA.

$$I_1 = K_{ba} \cdot I_2 = \frac{U_2}{U_1} \cdot I_2 = \frac{277,5}{380} \cdot 8,165 = 5,96 \text{ (A)}$$

b. Tính toán sơ bộ mạch từ (xác định kích thước bản mạch từ).

- Tiết diện sơ bộ trụ

$$Q_{fe} = k_q \sqrt{\frac{S_{ba}}{m \cdot f}}$$

K_q - hệ số phụ thuộc phương thức làm mát $K_q = 6$.

m - Số trụ của MBA, $m = 3$

f - Tần số nguồn xoay chiều $f = 50 \text{ (Hz)}$

Thay số:

$$Q_{fe} = 6 \cdot \sqrt{\frac{6819,33}{3 \cdot 50}} = 40,45 \text{ (cm}^2\text{)}$$

- Đường kính của trụ

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{fe}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 40,45}{\pi}} = 7,18 \text{ (cm)}$$

Chuẩn hoá đường kính trụ theo tiêu chuẩn: $d = 7,5 \text{ (cm)}$.

Chọn loại thép $\exists 330$ các lá thép có độ dày 0,5mm

Chọn sơ bộ mật độ từ cảm trong trụ $B_T = 1 \text{ (T)}$

c. Tính toán dây quấn.

- Số vòng dây mỗi pha sơ cấp MBA

$$W_1 = \frac{U_1}{4,44 \cdot f \cdot Q_{fe} \cdot B_T} = \frac{380}{4,44 \cdot 50 \cdot 40,45 \cdot 10^{-4} \cdot 1} = 423,17 \text{ (vòng)}$$

$$\rightarrow W_1 = 423 \text{ (vòng)}$$

- Số vòng dây mỗi pha thứ cấp MBA.

$$W_2 = \frac{U_2}{U_1} \cdot W_1 = \frac{277,5}{380} \cdot 423,17 = 309 \text{ (vòng)}$$

$$\Rightarrow W_2 = 309 \text{ (vòng)}$$

Chọn sơ bộ mật độ dòng điện trong MBA; với dây dẫn bằng đồng và loại MBA khô
 $J=(2 \div 2,75) \text{ A/mm}^2$, chọn $J=2,75 \text{ A/mm}^2$

- Tiết diện dây dẫn sơ cấp MBA

$$S_1 = \frac{I_1}{J_1} = \frac{5,96}{2,75} = 2,17 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Chọn dây dẫn tiết diện chữ nhật, cách điện cấp B, chuẩn hoá tiết diện theo tiêu chuẩn: $S_1 = 2,2 \text{ (mm}^2\text{)}$.

Kích thước dây có kẻ cách điện: $S_{1cd} = a_1 \cdot b_1 = 0,8 \cdot 2,63 \text{ (mm} \cdot \text{mm)}$

* Tính lại mật độ dòng điện trong cuộn sơ cấp

$$J_1 = J_1 = \frac{I_1}{S_2} = \frac{5,96}{2,2} = 2,71 \text{ (A/mm}^2\text{)}$$

- Tiết diện dây dẫn thứ cấp MBA.

$$S_2 = \frac{I_2}{J_2} = \frac{8,165}{2,75} = 2,97 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Chọn dây tiết diện chữ nhật, cách điện cấp B, chuẩn hoá tiết diện theo tiêu chuẩn: $S_2 = 3,07 \text{ (mm}^2\text{)}$

Kích thước dây có kẻ cách điện; $S_{2cd} = a_2 \cdot b_2 = 1,16 \cdot 2,83 \text{ (mm} \cdot \text{mm)}$

* Tính lại mật độ dòng điện trong cuộn thứ cấp

$$J_2 = \frac{I_2}{S_2} = \frac{8,165}{3,07} = 2,66 \text{ (A/mm}^2\text{)}$$

d. Kết cấu dây quấn sơ cấp

Thực hiện dây quấn kiểu đồng tâm bố trí theo chiều dọc trụ

- Tính sơ bộ số vòng dây trên một lớp của cuộn sơ cấp

$$W_{11} = \frac{h - 2h_g}{b_1} \cdot k_e$$

Trong đó

h- Chiều cao trụ, chọn chiều cao trụ = 25cm

h_g - Khoảng cách từ gông đến cuộn dây sơ cấp, chọn sơ bộ $h_g = 1,5 \text{ cm}$

k_e - Hệ số ép chặt; $k_e = 0,95$

Thay số

$$W_{11} = \frac{25 - 2.1,5}{0,263} \cdot 0,95 = 79,46 \text{ (vòng)} \approx 80 \text{ (vòng)}$$

- *Tính sơ bộ lớp dây ở cuộn sơ cấp*

$$n_{11} = \frac{W_1}{W_{11}} = \frac{423}{80} = 5,3 \text{ (lớp)}$$

Chọn số lớp $n_{11} = 6$ (lớp). Như vậy có 423 (vòng) chia thành 6 (lớp), lớp đầu có 80 vòng, lớp thứ 6 có $423 - 5.80 = 23$ (vòng)

- *Chiều cao thực tế của cuộn sơ cấp*

$$h_1 = \frac{W_{11} \cdot b_1}{k_e} = \frac{80 \cdot 0,263}{0,95} = 22,147 \text{ (cm)}$$

Chọn ống quấn dây làm bằng vật liệu cách điện có bề dày : $S_{01} = 0,1 \text{ cm}$

Khoảng cách từ trụ tới cuộn sơ cấp: $a_{01} = 1 \text{ cm}$

Đường kính trong của ống cách điện :

$$D_t = d_{fe} + 2 \cdot a_{01} - 2 \cdot S_{01} = 7,5 + 2 \cdot 1 - 2 \cdot 0,1 = 9,3 \text{ (cm)}$$

Đường kính trong của cuộn sơ cấp

$$D_{11} = D_t + 2 \cdot S_{01} = 9,3 + 2 \cdot 0,1 = 9,5 \text{ (cm)}$$

Chọn bề dày cách điện giữa các lớp dây ở cuộn sơ cấp : $c_{d11} = 0,1 \text{ (mm)}$

Bề dày cuộn sơ cấp

$$B_{d1} = (a_1 + c_{d11}) \cdot n_{11} = (0,8 + 0,1) \cdot 6 = 5,4 \text{ (mm)} = 0,54 \text{ (cm)}$$

Đường kính ngoài của cuộn sơ cấp

$$D_{n1} = D_{11} + 2 \cdot B_{d1} = 9,5 + 2 \cdot 0,54 = 10,58 \text{ (cm)}$$

Đường kính trung bình của cuộn sơ cấp

$$D_{tb1} = \frac{D_{11} + D_{n1}}{2} = \frac{9,5 + 10,58}{2} = 10,04 \text{ (cm)}$$

Chiều dài dây quấn sơ cấp

$$l_1 = W_1 \cdot \pi \cdot D_{tb1} = 423 \cdot \pi \cdot 10,04 = 13335,33 \text{ (cm)} = 133,35 \text{ (m)}$$

Chọn bề dày cách điện giữa cuộn sơ cấp và thứ cấp: $cd_{n1} = 1,0 \text{ (cm)}$

e. Kết cấu dây quấn thứ cấp

-Chọn sơ bộ chiều cao cuộn thứ cấp

$$h_1 = h_2 = 22,147(\text{cm})$$

-Tính sơ bộ số vòng dây trên một lớp

$$W_{22} = \frac{h_2}{b_2} \cdot k_e = \frac{22,147}{0,283} \cdot 0,95 = 74,35(\text{vòng}) \approx 75(\text{vòng})$$

-Tính sơ bộ số lớp dây quấn thứ cấp

$$n_{12} = \frac{W_2}{W_{22}} = \frac{309}{75} = 4,12(\text{lớp})$$

Chọn số dây quấn thứ cấp $n_{12} = 5(\text{lớp})$. Chọn 4 lớp đầu có số vòng 75 vòng, còn lớp thứ 5 có : $309 - 4 \cdot 75 = 9(\text{vòng})$

Chiều cao thực tế của cuộn thứ cấp

$$h_2 = \frac{W_{lc} \cdot b_2}{k_e} = \frac{75 \cdot 0,283}{0,95} = 22,34(\text{cm})$$

Đường kính trong của cuộn thứ cấp

$$D_{t2} = D_{n1} + 2 \cdot a_{12} = 10,58 + 2 \cdot 1 = 12,58(\text{cm})$$

Chọn bề dày cách điện giữa các lớp dây ở cuộn thứ cấp : $cd_{22} = 0,1(\text{mm})$

Bề dày cuộn thứ cấp

$$B_{d2} = (a_2 + cd_{22}) \cdot n_{12} = (0,116 + 0,01) \cdot 5 = 0,63(\text{cm})$$

Đường kính ngoài của cuộn thứ cấp

$$D_{n2} = D_{t2} + 2 \cdot B_{d2} = 12,58 + 2 \cdot 0,63 = 13,84(\text{cm})$$

Đường kính trung bình của cuộn thứ cấp

$$D_{tb2} = \frac{D_{t2} + D_{n2}}{2} = \frac{12,58 + 13,84}{2} = 13,21(\text{cm})$$

Chiều dài dây quấn thứ cấp ;

$$l_2 = \pi \cdot W_2 \cdot D_{tb2} = \pi \cdot 309 \cdot 13,21 = 12817,13(\text{cm}) = 128,17(\text{m})$$

f. Tính các thông số của máy biến áp

- Điện trở trong của cuộn sơ cấp MBA ở 75° C

$$R_1 = \rho \frac{l_1}{S_1} = 0,02133 \cdot \frac{133,35(\text{m})}{2,17(\text{mm}^2)} = 1,31 (\Omega)$$

$$\rho = 0,02133(\Omega\text{mm}^2/\text{m})$$

-Điện trở cuộn thứ cấp ở 75° C

$$R_2 = \rho \frac{l_2}{S_2} = 0,02133 \cdot \frac{128,17(\text{m})}{2,97(\text{mm}^2)} = 0,92 (\Omega)$$

-Điện trở của máy biến áp quy đổi về thứ cấp

$$R_{ba} = R_2 + R_1 \cdot \left(\frac{W_2}{W_1}\right)^2 = 0,92 + 1,31 \cdot \left(\frac{309}{423}\right)^2 = 1,62(\Omega)$$

-Sụt áp trên điện trở biến áp

$$\Delta U_r = R_{ba} \cdot I_d = 1,62 \cdot 10 = 16,2 (\text{V})$$

-Điện kháng MBA quy đổi về thứ cấp

$$X_{ba} = 8 \cdot \pi^2 (W_2)^2 \cdot \left(\frac{r}{h_{qd}}\right) \cdot \left(a_{12} + \frac{B_{d1} + B_{d2}}{3}\right) \cdot \omega \cdot 10^{-7}$$

$$= 8\pi^2 (308,9)^2 \cdot \left(\frac{6,29}{22,34}\right) \cdot \left(0,01 + \frac{0,54 + 0,63}{3} \cdot 10^{-2}\right) \cdot 314 \cdot 10^{-7} = 0,92 (\Omega)$$

r - Bán kính trong cuộn dây thứ cấp [m²].

h - Chiều cao cửa sổ lõi thép [m].

a₁₂- Bề dày cách điện các cuộn dây với nhau

-Điện cảm MBA quy đổi về thứ cấp

$$L_{ba} = \frac{X_{ba}}{\omega} = \frac{0,92}{314} = 2,93 \cdot 10^{-3} [\text{H}] = 2,93[\text{mH}]$$

-Sụt áp trên điện kháng MBA

$$\Delta U_x = \frac{3}{\pi} \cdot X_{ba} \cdot I_d = \frac{3}{\pi} \cdot 0,92 \cdot 10 = 8,8 (\text{V})$$

$$R_{dt} = \frac{3}{\pi} \cdot X_{ba} = \frac{3}{\pi} \cdot 0,92 = 0,88 \text{ (}\Omega\text{)}$$

-Sụt áp trên MBA

$$\Delta U_{ba} = \sqrt{\Delta U_r^2 + \Delta U_x^2} = \sqrt{16,2^2 + 8,8^2} = 18,43 \text{ (V)}$$

-Điện áp trên điện cơ khi có góc mở nhỏ $\alpha_{\min} = 10^0$

$$U = U_{d0} \cdot \cos\alpha_{\min} - 2 \cdot \Delta U_v - \Delta U_{ba} = 649,46 \cos 10^0 - 2 \cdot 1,8 - 18,43 = 617,56 \text{ (V)}$$

-Tổng trở ngắn mạch quy đổi về thứ cấp

$$Z_{ba} = \sqrt{R_{ba}^2 + X_{ba}^2} = \sqrt{1,62^2 + 0,92^2} = 1,86 \text{ (}\Omega\text{)}$$

-Tổng hao ngắn mạch trong MBA

$$\Delta P_n = 3 \cdot R_{ba} \cdot I_2^2 = 3 \cdot 1,62 \cdot 8,165^2 = 324 \text{ (W)}$$

$$\Delta P_n \% = \frac{\Delta P_n}{S} \cdot 100 = \frac{324}{6819,33} \cdot 100 = 4,75\%$$

-Điện áp ngắn mạch tác dụng

$$U_{nr} = \frac{R_{ba} \cdot I_2}{U_2} \cdot 100 = \frac{1,62 \cdot 8,165}{277,5} \cdot 100 = 4,77\%$$

-Điện áp ngắn mạch phản kháng

$$U_{nx} = \frac{X_{ba} \cdot I_2}{U_2} \cdot 100 = \frac{0,92 \cdot 8,165}{277,5} \cdot 100 = 2,7\%$$

-Điện áp ngắn mạch phần trăm

$$U_n = \sqrt{U_{Unr}^2 + U_{Unx}^2} = \sqrt{4,75^2 + 2,7^2} = 5,46 \text{ (V)}$$

-Dòng điện ngắn mạch xác lập

$$I_{2nm} = \frac{U_2}{Z_{ba}} = \frac{277,5}{1,86} = 149,2 \text{ (A)}$$

-Dòng điện ngắn mạch tức thời cực đại

$$I_{\max} = \sqrt{2} \cdot I_{2nm} (1 + e^{\frac{-\pi \cdot U_{nr}}{U_{nx}}}) = \sqrt{2} \cdot 149,2 (1 + e^{\frac{-\pi \cdot 4,75}{3,85}}) = 215,4 < I_{pik} = 400 \text{ (A)}$$

*Kiểm tra máy biến áp có đủ điện kháng để hạn chế tốc độ biến thiên của dòng điện chuyển mạch

Giả sử chuyển mạch từ T_1 sang T_3 ta có phương trình

$$2L_a \frac{di_c}{dt} = U_{23} - U_{2a} = \sqrt{6} U_2 \sin(\theta - \alpha)$$

$$\left(\frac{di_c}{dt}\right)_{\max} = \frac{\sqrt{6} U_2}{2L_a} = \frac{\sqrt{6} \cdot 277,5}{2 \cdot 2,93 \cdot 10^{-3}} = 115995,46 \text{ (A/s)}$$

$$= 0.116 \text{ (A/}\mu\text{s)}$$

Vậy máy biến áp thiết kế sử dụng được tốt

**Hiệu suất thiết bị chỉnh lưu*

$$\eta = \frac{U_d I_d}{S} = \frac{600 \cdot 10}{6819,33} = 87,98\%$$

**Xác định phạm vi góc điều khiển*

- Chọn góc mở cực tiểu $\alpha_{\min} = 10^0$ với góc mở này là góc dự trữ ta có thể bù được sự giảm điện áp lưới

- Khi góc mở nhỏ nhất $\alpha = \alpha_{\min}$ thì điện áp trên tải là max

$$U_{d\max} = U_{d0} \cos \alpha_{\min} = U_{d\text{dm}}$$

tương ứng với tốc độ động cơ sẽ lớn nhất $n_{\max} = n_{\text{đm}}$

- Khi góc mở lớn nhất $\alpha = \alpha_{\max}$ thì điện áp trên tải sẽ nhỏ nhất

$$U_{d\min} = U_{d0} \cos \alpha_{\max}$$

tương ứng với tốc độ động cơ là nhỏ nhất n_{\min}

$$\cos \alpha_{\max} = \frac{U_{d\min}}{U_{d0}} \Rightarrow \alpha_{\max} = \arccos\left(\frac{U_{d\min}}{U_{d0}}\right)$$

Trong đó $U_{d\min}$ được xác định bằng biểu thức sau

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{25}{1}$$

$$n_{\max} = U_{d\text{đm}} - I_{\text{đm}} R_{\Sigma}$$

$$n_{\min} = U_{d\text{đm}} - I_{\text{đm}} R_{\Sigma}$$

$$D = \frac{U_{d\text{đm}} - I_{\text{đm}} R_{\Sigma}}{U_{d\min} - I_{\text{đm}} R_{\Sigma}} \Rightarrow U_{d\min} = \frac{U_{d\text{đm}} + I_{\text{đm}} R_{\Sigma} (D - 1)}{D}$$

$$R_{\Sigma} = R_{\text{ba}} + R_{\text{dt}} = 1,62 + 1,25 = 2,87 (\Omega)$$

Thay số ta có

$$U_{d\min} = \frac{2,34 U_2 \cos \alpha_{\min} + I_{\text{đm}} R_{\Sigma} (D - 1)}{D}$$

$$U_{d\min} = \frac{2,34 \cdot 277,5 \cdot \cos 10^0 + 10 \cdot 2,87 (25 - 1)}{25} = 53,13 \text{ (V)}$$

$$\alpha_{\max} = \arccos\left(\frac{U_{d\min}}{U_{d0}}\right) = \arccos\left(\frac{53,13}{649,46}\right) = 85,3^0$$

III. Tính chọn các thiết bị bảo vệ

a. bảo vệ quá dòng điện

Bảo vệ ngắn mạch và quá tải về dòng điện dùng Aptomat hoặc cầu chì.

Nguyên tắc chọn thiết bị này là theo dòng điện với $I_{bv} = (1,1 \div 1,3)I_{lv}$. Dòng bảo vệ của Aptomat không được vượt quá dòng ngắn mạch của máy biến áp

b. Bảo vệ quá nhiệt độ cho các van tiristor

Khi van làm việc thì dòng điện chạy qua van nên có sụt áp trên van, do đó có tổn hao công suất ΔP . Tổn hao này sinh ra nhiệt đốt nóng van bán dẫn. Mặt khác van chỉ được phép làm việc dưới nhiệt độ cho phép T_{CP} nào đó. Nếu quá nhiệt độ cho phép thì các van bán dẫn sẽ bị phá hỏng. Để van bán dẫn làm việc an toàn không bị chọc thủng về nhiệt ta phải chọn và thiết kế hệ thống toả nhiệt hợp lý.

* *Tính toán tản nhiệt*

- Tổn thất công suất trên một tiristor

$$\Delta P = \Delta U \cdot I_{lv} = 1,8 \cdot 3,33 = 6 \text{ (W)}$$

- Diện tích bề mặt toả nhiệt

$$S_{tn} = \frac{\Delta P}{K_m \cdot \tau}$$

Trong đó : ΔP - Tổn hao công suất (W)

τ - Độ chênh lệch so với môi trường

Chọn nhiệt độ môi trường : $T_{mt} = 40^{\circ}\text{C}$ nhiệt độ làm việc cho phép của tiristor

$T_{cp} = 125^{\circ}\text{C}$. Chọn bên độ trên cánh toả nhiệt $T_{lv} = 70^{\circ}\text{C}$ $T = T_h - T_{mt} = 70 - 40 = 30^{\circ}\text{C}$

K_m — Hệ số toả nhiệt bằng đối lưu và bức xạ

Chọn $K_m = 6 \text{ [W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C]}$

$$\rightarrow S_{tn} = \frac{6}{6 \cdot 30} = 0,0333 \text{ (m}^2\text{)}$$

Chọn loại cánh tản nhiệt có 6 cánh, kích thước mỗi cánh

$$a \cdot b = 7 \cdot 7 \text{ (cm} \cdot \text{cm)}$$

⇒ tổng diện tích toả nhiệt của cánh

$$S = 6 \cdot 2 \cdot 7 \cdot 7 = 588 \text{ (cm}^2\text{)} = 0,0588 \text{ (m}^2\text{)}$$

c. Bảo vệ quá dòng điện cho van

Aptomat dùng để đóng ngắt mạch động lực, tự động bảo vệ quá tải và ngắn mạch Tiristor ngắn mạch đầu ra bộ biến đổi, ngắn mạch thứ cấp MBA, ngắn mạch ở chế độ nghịch lưu

Chọn 1 aptomat có

$$I_{dm} = 1,1 \cdot I_1 = 1,1 \sqrt{3} \cdot 5,96 = 11,36 \text{ (A)}$$

$$U_{dm} = 220 \text{ (V)}$$

có 3 tiếp điểm chính, có thể đóng cắt bằng tay hoặc bằng nam châm điện

Chỉ định dòng điện ngắn mạch

$$I_{nm} = 2,5 I_{td} = 2,5 \sqrt{3} \cdot 5,96 = 25,8 \text{ (A)}$$

Dòng quá tải

$$I_{qt} = 1,5I_{td} = 1,5 \sqrt{3} \cdot 5,96 = 15,48 \text{ (A)}$$

Chọn cầu dao có dòng điện định mức

$$I_{dm} = I_{qt} = 1,1I_{td} = 1,1 \sqrt{3} \cdot 5,96 = 11,35 \text{ (A)}$$

Cầu dao dùng để tạo khe hở an toàn khi sửa chữa hệ truyền động.

Dùng cầu chì dây chảy tác động nhanh để bảo vệ ngắn mạch cho các tiristor, ngắn mạch đầu ra của bộ chỉnh lưu

-Nhóm 1CC

Dòng định mức dây chảy nhóm 1CC

$$I_{1cc} = 1,1I_2 = 1,1 \cdot 8,165 = 8,98 \text{ (A)}$$

-Nhóm 2CC

Dòng định mức dây chảy nhóm 2CC

$$I_{1cc} = 1,1I_{IV} = 1,1 \cdot 3,33 = 3,663 \text{ (A)}$$

-Nhóm 3CC

Dòng định mức dây chảy nhóm 3CC

$$I_{1cc} = 1,1I_d = 1,1 \cdot 10 = 11 \text{ (A)}$$

Vậy chọn cầu chì có dây chảy là : với nhóm 1CC loại 10(A)

với nhóm 2CC loại 5(A)

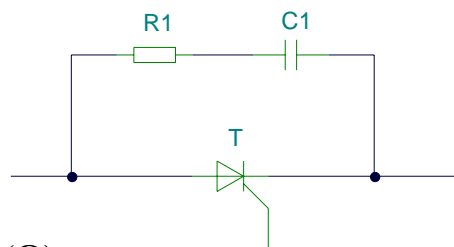
với nhóm 3CC loại 15(A)

d. bảo vệ quá điện áp cho van

- **Bảo vệ quá điện áp:** Do quá trình đóng cắt các tiristor được thực hiện bằng cách mắc các R,C song song với tiristor. Khi có chuyển mạch các điện tích tích tụ trong các lớp bán dẫn phóng ra ngoài tạo ra dòng điện ngược trong khoảng thời

gian ngắn, sự biến thiên nhanh chóng này gây ra sức điện động cảm ứng rất lớn trong các điện cảm làm cho quá điện áp giữa anốt và katốt của tiristor. Khi có mạch R,C mắc song

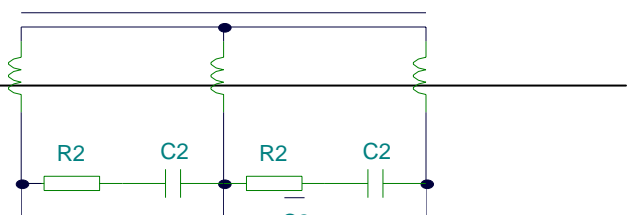
song với tiristor sẽ tạo ra mạch vòng phóng điện tích trong quá trình chuyển mạch nên tiristor không bị quá áp



Theo kinh nghiệm chọn

$$R_1 = (30 \div 50) \Omega \Rightarrow \text{ta chọn } R_1 = 50 \text{ (}\Omega\text{)}$$

$$C_1 = (0,22 \div 0,3) \mu\text{F} \Rightarrow \text{ta chọn } C_1 = 0,25 \mu\text{F}$$



- Bảo vệ xung điện áp từ lưới điện

Ta mắc mạch R,C như hình vẽ,
nhờ có mạch lọc này mà đỉnh xung
gần như nằm lại hoàn toàn trên
điện trở đường dây

Trị số R,C chọn theo kinh nghiệm

$$R_2 = 15\Omega, C_2 = 4\mu F$$

B. MẠCH KÍCH TỬ

I. Tính chọn Diode

$$U_{kt} = 400(V), I_{kt} = 0,9(A)$$

Tính chọn diode dựa vào các yếu tố cơ bản là dòng tải, sơ đồ đã chọn, điều kiện toả nhiệt, điện áp làm việc, các thông số cơ bản của van được tính đến như sau

-Điện áp ngược lớn nhất mà diode phải chịu

$$U_{ng \max} = \sqrt{2} \cdot U_{2 \max}$$

Phương trình cân bằng điện áp khi có tải

$$U_{do} \cos \alpha_{\min} = U_d + 2\Delta U_v + \Delta U_{dn} + \Delta U_{ba}$$

$\alpha_{\min} = 10^\circ$ là góc dự trữ khi có suy giảm điện áp lưới

$\Delta U_v = 1,8 (V)$: sụt áp trên van

$\Delta U_{dn} = 0$: sụt áp trên dây nối

$\Delta U_{ba} = 6\% \cdot 400 = 24(V) = \Delta U_r + \Delta U_x$: sụt áp trên điện trở và điện kháng MBA

Thay số ta có

$$U_{do} = \frac{U_d + 2\Delta U_v + \Delta U_{dn} + \Delta U_{ba}}{\cos \alpha_{\min}} = \frac{400 + 2 \cdot 1,8 + 0 + 24}{\cos 10^\circ} = 434,2 (V)$$

$$\Rightarrow U_2 = \frac{U_{do}}{2\sqrt{2}/\pi} = \frac{U_{do}}{0,9} = \frac{434,2}{0,9} = 482,4 (V)$$

$$\Rightarrow U_{2\max} = U_2 + 5\% = 482,4 + 482,4 \cdot 5\% = 506,5 (V)$$

$$\Rightarrow U_{ng \max} = \sqrt{2} \cdot U_{2 \max} = \sqrt{2} \cdot 506,5 = 716,3 (V)$$

$$\Rightarrow U_{ng \text{ van}} = K_{dt} \cdot U_{ng \max} = 1,8 \cdot 716,3 = 1289,34 (V)$$

$K_{dt} = 1,8$: hệ số dự trữ điện áp

-Dòng điện làm việc của

$$I_{lv} = \frac{1}{2} \cdot I_d = \frac{1}{2} \cdot 0,9 = 0,45 \text{ (A)}$$

Chọn điều kiện làm việc của van là có cánh tỏa nhiệt và đầy đủ diện tích tỏa nhiệt :Không có quạt đối lưu không khí, với điều kiện đó dòng điện định mức của van cần chọn :

$$I_{tbv} = k_i \cdot I_{lv}$$

K_i - hệ số dự trữ dòng điện, chọn $K_i = 3,2$

$$I_{tbv} = k_i \cdot I_{lv} = 3,2 \cdot 0,45 = 1,44 \text{ (A)}$$

Từ các thông số $U_{ng \text{ van}}$, I_{tbv} ta chọn 6 diode loại 1N-5408

$$U_{ng \text{ van}} = 1000V ; I_{tbv} = 3A$$

II. Tính toán MBA kích từ:

a. Tính các thông số cơ bản

Chọn MBA 1 pha, làm mát bằng không khí tự nhiên

- Điện áp pha sơ cấp MBA : $U_1=220(V)$

$$U_{kt} = 400(V), I_{kt} = 0,9(A)$$

- Điện áp pha thứ cấp MBA

$$U_2 = \frac{U_{d0}}{2\sqrt{2} / \pi} = \frac{U_{d0}}{0,9} = \frac{434,2}{0,9} = 482,4$$

- Công suất tối đa của tải

$$P_{dmax} = U_{d0} \cdot I_d = 434,2 \cdot 0,9 = 390,78 \text{ (w)}$$

- Công suất biến áp nguồn được tính

$$S_{ba} = K_s \cdot P_{dmax}$$

S_{ba} - Công suất biểu kiến MBA (W)

K_s - Hệ số công suất theo sơ đồ mạch lực $K_s=1,23$

$$S_{ba} = 1,23 \cdot 390,78 = 480,66 \text{ (W)}$$

- Dòng điện hiệu dụng phía thứ cấp MBA.

$$I_2 = K_{hd} \cdot I_d$$

K_{hd} - Hệ số dòng điện hiệu dụng , $K_{hd}=1,11$

$$\Rightarrow I_2 = 1,11 \cdot 0,9 = 1 \text{ (A)}$$

- Dòng điện sơ cấp MBA.

$$I_1 = K_{ba} \cdot I_2 = \frac{U_2}{U_1} \cdot I_2 = \frac{482,4}{220} \cdot 1 = 2,2 \text{ (A)}$$

b. Tính toán sơ bộ mạch từ (xác định kích thước bản mạch từ).

- Tiết diện sơ bộ trụ

$$Q_T = k_q \sqrt{\frac{S_{ba}}{m \cdot f}}$$

K_q - hệ số phụ thuộc phương thức làm mát $K_q = 6$.

m - Số trụ của MBA, $m = 1$

f - Tần số nguồn xoay chiều $f = 50$ (hz)

Thay số:

$$Q_T = 6 \cdot Q_{fe} = 6 \cdot \sqrt{\frac{480,66}{50}} = 18,6 (\text{cm}^2)$$

Chuẩn hoá tiết diện trụ

$$Q_T = 18,6 (\text{cm}^2)$$

$$a = 30 ; b = 64 ; h = 80 ; c = 32 ;$$

số lượng lá thép : 166 lá ;

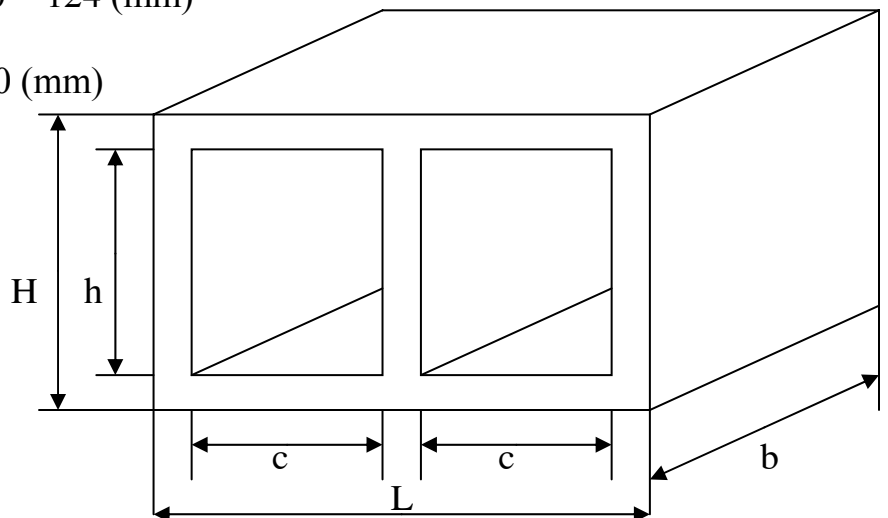
hệ số ép chặt $k_e = 0,85$

Chiều dài mạch từ :

$$L = 2c + 2a = 2 \cdot 32 + 2 \cdot 30 = 124 (\text{mm})$$

Chiều cao mạch từ

$$H = h + a = 80 + 30 = 110 (\text{mm})$$



Chọn sơ bộ mật độ từ cảm trong trụ $B_T = 1$ (T)

c. Tính toán dây quấn.

- Số vòng dây sơ cấp MBA

$$W_1 = \frac{U_1}{4,44 \cdot f \cdot Q_{fe} \cdot B_T} = \frac{220}{4,44 \cdot 50 \cdot 18,6 \cdot 10^{-4} \cdot 1} = 532,8 (\text{vòng})$$

$$\rightarrow W_1 = 533 (\text{vòng})$$

- Số vòng dây thứ cấp MBA.

$$W_2 = \frac{U_2}{U_1} \cdot W_1 = \frac{482,4}{220} \cdot 532,8 = 1168,3 (\text{vòng})$$

$$\Rightarrow W_2 = 1169(\text{vòng})$$

Chọn sơ bộ mật độ dòng điện trong MBA; với dây dẫn bằng đồng và loại MBA khô $J = (2 \div 2,75) \text{A/mm}^2$, chọn $J = 2,75 \text{A/mm}^2$

- Tiết diện dây dẫn sơ cấp MBA

$$S_1 = \frac{I_1}{J_1} = \frac{2,2}{2,75} = 0,8 (\text{mm}^2)$$

Chọn dây dẫn tiết diện tròn, cách điện cấp B, chuẩn hoá tiết diện theo tiêu chuẩn: $S_1 = 0,8495 (\text{mm}^2)$.

- Đường kính dây quấn sơ cấp

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,8495}{\pi}} = 1,04 (\text{mm})$$

- Đường kính dây quấn sơ cấp có cách điện (tra bảng):

$$d_{n1} = 1,12 (\text{mm})$$

- Tiết diện dây dẫn thứ cấp MBA.

$$S_2 = \frac{I_2}{J_2} = \frac{1}{2,75} = 0,364 (\text{mm}^2)$$

Chọn dây tiết diện tròn, cách điện cấp B, chuẩn hoá tiết diện theo tiêu chuẩn: $S_2 = 0,3729 (\text{mm}^2)$

- Đường kính dây quấn thứ cấp

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_2}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,3729}{\pi}} = 0,69 (\text{mm})$$

- Đường kính dây quấn sơ cấp có cách điện (tra bảng):

$$d_{n2} = 0,74 (\text{mm})$$

Chương V

TÍNH TOÁN MẠCH ĐIỀU KHIỂN

Các thông số cần đạt được của mạch điều khiển là :

- +Điện áp điều khiển của Trisistor $U_{đk} = 2.5 \text{V}$
- +Dòng điện điều khiển $I_{đk} = 50 \text{mA}$
- +Độ rộng xung chòm $t_x = 120 \mu\text{s}$
- +Tần số xung chòm $f_{xc} = \frac{1}{2t_x} = 4,167 \text{kHz}$
- +Mức độ sụt điện áp xung cho phép $\Delta U_x = 0.2 \text{V}$

+Điện áp nguồn nuôi mạch điều khiển 12V

Các khâu cần tính toán trong mạch điều khiển : là tất cả các khâu có trong mạch điều khiển đã trình bày ở chương nguyên lí mạch điều khiển.

Sau đây ta đi vào công việc tính toán cụ thể :

I. Tính toán biến áp xung :

-Chọn vật liệu làm lõi sắt : biến áp xung luôn phải làm việc pử tần số cao do đó các lõi thép thích hợp với tần số 50 Hz (lõi các lá thép kĩ thuật bình thường không thể đáp ứng được), mà phải sử dụng lõi sắt ferit. Ở đây miền từ hoá của lõi sắt là một phần.

-Tính toán thể tích lõi sắt :

$$V = \frac{K_{ba} \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot t_x \cdot \Delta U_x}{\Delta B \cdot \Delta H} \quad \text{trong đó}$$

+ K_{ba} hệ số máy biến áp là $K_{ba}=3$

+ U_2 là điện áp điều khiển $U_2=2,5 \text{ V}$

+ I_2 là dòng điện điều khiển $I_2=0,05 \text{ A}$

+ ΔU_x là độ sụt áp cho phép của xung điều khiển $\Delta U_x=0,2 \text{ V}$

+Do chế độ của lõi sắt làm việc ở miền từ hoá một phần theo đồ thị ta chọn

$\Delta B=0,2 \text{ T}$ và $\Delta H=30 \text{ A/m}$.

Thay vào công thức ta có :

$$V = \frac{3 \cdot 2,5 \cdot 0,05 \cdot 120 \cdot 10^{-6} \cdot 0,2}{0,2 \cdot 30} = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ (m}^3 \text{)}$$

$$V=1,5 \text{ cm}^3$$

Tra bảng các loại lõi sắt làm việc trong miền từ hoá một phần ta chọn lõi sắt có dạng trụ có các thông số sau đây :

+ Thể tích : $V=2 \text{ cm}^3$

+ Loại lõi sắt 2213

+ Đường kính ngoài 22mm

+ Đường kính trong 13mm

+ Diện tích lõi sắt $S_{\text{lõi}}=0,635 \text{ cm}^2$

+ Diện tích cửa sổ từ $S_{\text{cửa sổ}}=0,297 \text{ cm}^2$.

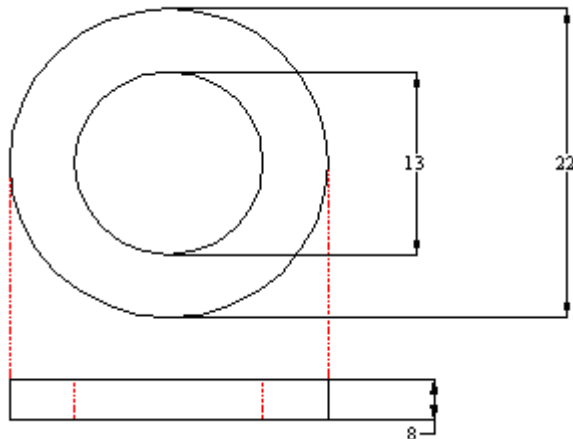
+ Chiều cao của lõi thép là 10 mm

Các thông số về cuộn sơ cấp máy biến áp :

+ Điện áp : $U_1=U_2 \cdot K_{ba}=2,5 \cdot 3=7,5 \text{ V}$

+Dòng điện $I_1=I_2/K_{ba}=0,05/3=0,01667 \text{ A}$

Hình dạng và kích thước lõi sắt như sau :

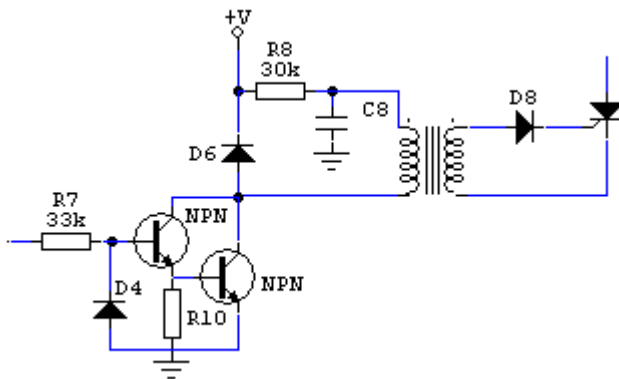


- Tính toán số vòng dây của cuộn sơ cấp và thứ cấp biến áp xung :

$$W_1 = \frac{U_{1.tx}}{\Delta B \cdot S_{ba}} = \frac{7,5 \cdot 120 \cdot 10^{-6}}{0,2 \cdot 0,635 \cdot 10^{-4}} = 70,8 \approx 71 \text{ (vòng)}$$

$$W_2 = \frac{W_1}{K_{ba}} = 24 \text{ (vòng)}$$

II Tính toán tầng khuếch đại xung điều khiển :



*Nguyên lí hoạt động :

Khi có xung kích đi vào cực B của T2 thì T2 mở, làm cho T1 mở theo, dòng điện từ nguồn nuôi sẽ qua cuộn sơ cấp tạo ra dòng xung trên cuộn thứ cấp máy biến áp. Diode Đ₈ dùng để ngăn xung âm đi vào cực điều khiển của Trisistor. Diode Đ₆ ngăn mạch cuộn sơ cấp máy biến áp khi xung T khoá lại để chống quá áp trên T₂. Điện trở R₁ có tác dụng hạn chế dòng vào Tranzistor

Tính toán mạch :

Tần số của xung chùm là $f_{xc} = 4,167 \text{ kHz}$. Chu kì lặp lại của xung cũng là của lưới điện tức là 0.02 s

Như đã tính trên :

$$U_1 = 7,5 \text{ V}$$

$$I_1 = 0,0167 \text{ A}$$

Chọn nguồn phải có công suất đủ lớn để bù sụt áp trên điện trở R_8 và đảm bảo cho điện áp U_1 nên chọn $E = 12 \text{ V}$.

Căn cứ vào E, I_1 ta chọn bóng T1 là ZTX300 có các tham số sau :

$$I_{Cmax} = 0.5 \text{ A}$$

$$P_{Cmax} = 0.3 \text{ W}$$

$$U_{CEmax} = 25 \text{ V}$$

$$\beta_{min} = 50 \text{ lần}$$

Chọn trở R_8 thỏa mãn khả năng dẫn dòng tối đa cho phép của T1 tức là :

$$R_8 > \frac{E}{I_{cmax}} = \frac{12}{0,5} = 24 \Omega \text{ nên chọn } R_8 \text{ là } 30 \Omega$$

Và chọn loại điện trở công suất vì công suất của điện trở này rất lớn vì dòng qua nó khá thường xuyên, lớn nhất khi góc điều khiển nhỏ nhất.

Kiểm tra độ sụt áp trên điện trở này khi T1 dẫn dòng :

$$U_{R8} = I_1 \cdot R_8 = 0,0167 \cdot 30 = 0,5 \text{ V}$$

$U_1 = E - U_{R8} = 12 - 0,5 = 11,5 > 7,5 \text{ V}$ vậy độ sụt áp trên điện trở R_8 đủ nhỏ để thỏa mãn điện áp cuộn dây thứ cấp.

Tuy nhiên để tăng giá trị xung điện áp ta sử dụng tụ C. Khi T đóng nó tích điện trên tụ tới giá trị điện áp của nguồn. Khi T mở tụ C phóng điện trở lại làm cho điện áp U_1 tăng lên dẫn tới tăng biên độ xung điện áp.

Chọn giá trị tụ C sao cho trong giai đoạn khoá tụ điện phải kịp nạp tới trị số bằng nguồn nên :

$$C < \frac{t_b}{3 \cdot R_8} \text{ trong đó } t_b \text{ là khoản thời gian nghỉ giữa 2 xung chòm liền nhau}$$

(khoảng thời gian không có xung) coi xung chòm là đối xứng thì thời gian này chính bằng thời gian có xung tức là :

$$t_b = \frac{1}{f_{xc}} = \frac{1}{4,167 \cdot 10^3} = 240 \mu\text{s} \text{ do đó}$$

$$C < \frac{240}{3 \cdot 30} = 2,67 \mu\text{F} \text{ do đó ta chọn tụ C là } 2,5 \mu\text{F}$$

Chọn T2 dựa vào dòng điện :

$$I_{CT2} = I_{BT1} = \frac{I_1}{\beta_1} = \frac{0,0167}{50} = 0,33 \cdot 10^{-3} \text{ rất nhỏ}$$

Chọn bóng T2 có các giá trị sau

Kí hiệu BC108

$$U_{cmax} = 45 \text{ V}$$

$$I_{cmax} = 0.2 \text{ A}$$

$$\beta_{min} = 110$$

Với điện trở R7 làm nhiệm vụ hạn chế dòng điện vào bóng T2 ta chọn

$$\frac{U_{vmax}}{I_{vmax}} < R_7 < \frac{\beta_1 \beta_2 E_{cs}}{s \cdot I_{lmax}}$$

Với s là hệ số bảo hòa có giá trị từ 1,2 – 1,5 ta lấy s = 1,2

Thay số :

$$\frac{12}{0,01} < R_7 < \frac{50 \cdot 110 \cdot 12}{1,2 \cdot 0,5}$$

$$1200 \Omega < R_7 < 110000$$

Chọn:

$$R_7 = 33 \text{ k}\Omega$$

Như vậy ta đã hoàn thành việc tính chọn tầng khuếch đại công suất cuối cùng cho mạch điều khiển.

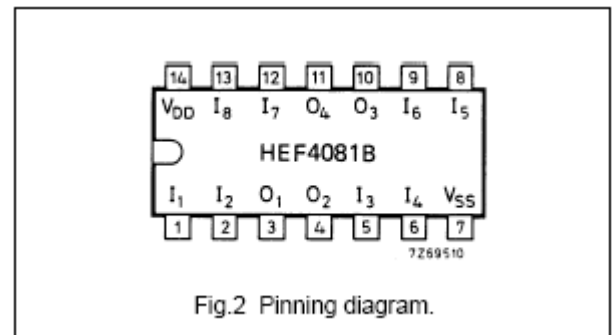
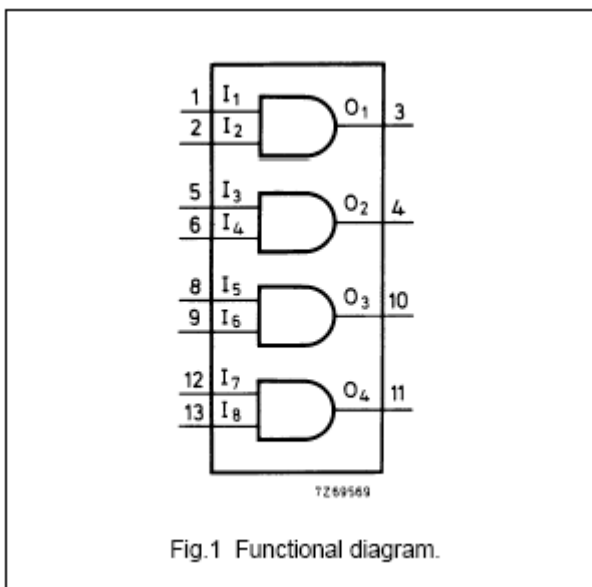
III Tính chọn các cổng Logic :

Toàn mạch điều khiển như đã chọn trên có tất cả 12 cổng AND . Như vậy ta chọn các IC sau đây làm cổng Logic .

Chọn cổng AND :

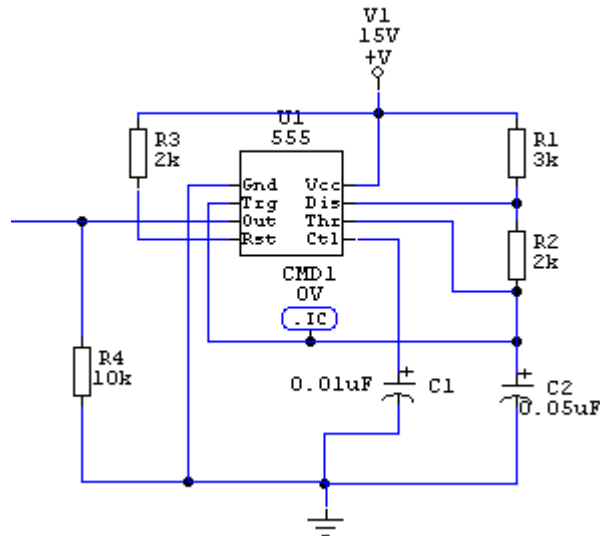
Do mạch điều khiển là mạch khá phức tạp, có thể xảy ra nhiều trong mạch điều khiển nên cần chọn IC có mức chênh lệch điện áp cao. Vì thế chọn IC là CMOS. Cổng AND ta chọn IC4081 có kết cấu như sau :

Sơ đồ chân 4081 :



IV. Tính toán khâu tạo dao động :

Trong khối tạo dao động ta dùng IC 555 để tạo dao động. Sơ đồ của khối này như sau:



Tính toán các số liệu:

Bộ tạo dao động có chu kì:

$$T = t_1 + t_2 = 0,7 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C + 0,7 \cdot R_2 \cdot C$$

$$= 0,7 \cdot (R_1 + 2 \cdot R_2) \cdot C$$

Để tạo dao động có tần số 4,167 kHz, tức là chu kì dao động:

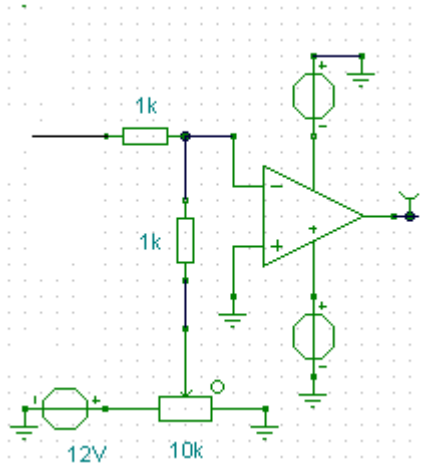
$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{4,167 \cdot 10^3} = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

Ta chọn $C_2 = 0,05 \mu\text{F}$, $R_1 = 3\text{k}\Omega$, $R_2 = 2\text{k}\Omega$. Các linh kiện khác chọn như trên sơ đồ.

Tần số thu được bằng:

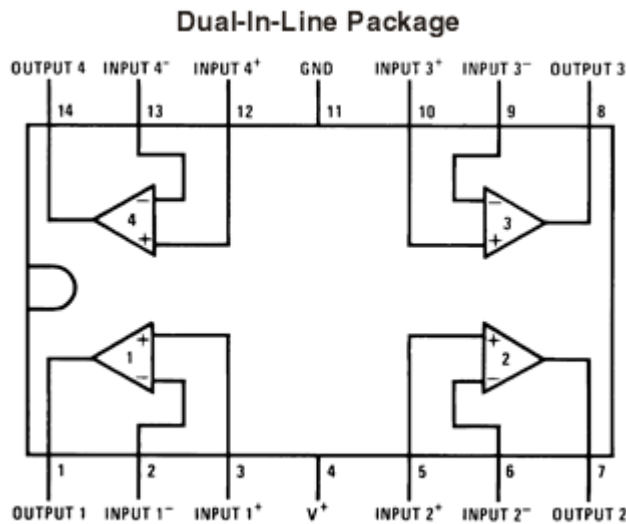
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,7(3+2 \cdot 2) \cdot 10^3 \cdot 0,05 \cdot 10^{-6}} = 4082\text{Hz} \approx 4,167\text{kHz}$$

V. Tầng so sánh với điện áp điều khiển :



Chọn khuếch đại thuật toán : Toàn mạch điều khiển có 30 IC khuếch đại thuật toán nên ta chọn LM324 cho toàn mạch.

Sơ đồ chân LM324 :



Các thông số của IC LM324 như sau:

Nguồn nuôi $V_{cc} = 12\text{ V}$

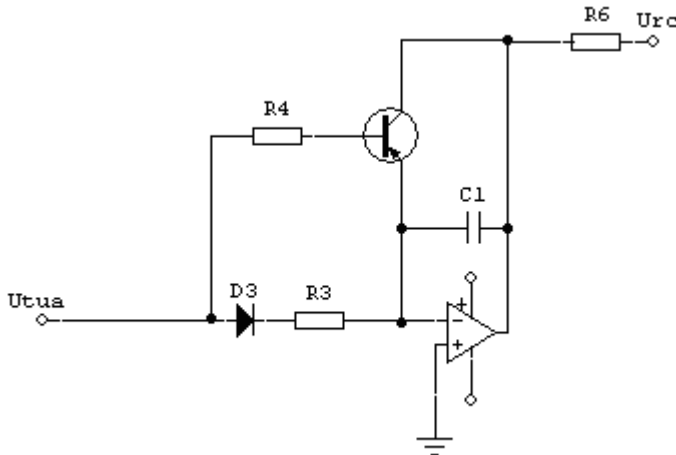
Công suất tiêu thụ : $P = 1260\text{ mW}$

Nhiệt độ làm việc cho phép : $0 - 70^{\circ}\text{ C}$

Tính chọn các phần tử : các điện trở R5, R6, R7 nhằm mục đích hạn chế dòng điện nên ta chọn đồng loạt trở 1k.

Biến trở VR2 ta chọn điện trở chỉnh 10k.

VI. Tính chọn mạch tạo điện áp răng cưa :



Chu kì dao động trong mạch là $T_{rc} = R_3 \cdot C_1$.

Để đảm bảo điện áp răng cưa của mạch có đỉnh nhọn ta chọn $T_{rc} = 0.01$ s.

Chọn tụ $C_1 = 0,2 \mu\text{F}$ do đó :

$$R_3 = \frac{T_{rc}}{C_1} = \frac{0,01}{0,2 \cdot 10^{-6}}$$

Vậy chọn điện trở $R_3 = 50 \text{ k}\Omega$

Chọn transistor là loại BC546A có các thông số sau :

$$I_c = 0.1 \text{ A} = 100 \text{ mA}$$

$$P_{cmax} = 0.625 \text{ W}$$

$$U_{ceo} = 65 \text{ V}$$

$$U_{ebo} = 80 \text{ V}$$

$$\text{Hệ số khuếch đại dòng điện là } \beta = 125 - 500 = 250$$

$$\text{Tần số hoạt động } 300 \text{ Mhz}$$

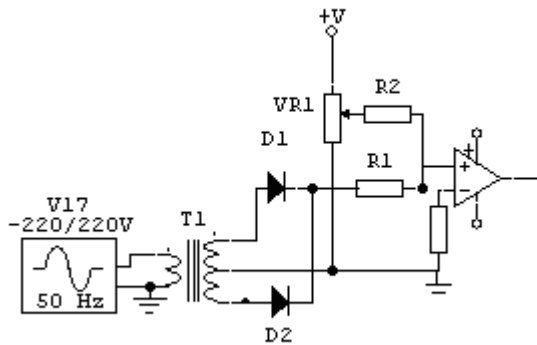
$$\text{Dòng điện cực đại qua Bazo là } I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{100}{250} = 0,4 \text{ mA}$$

Điện trở R_4 có tác dụng giảm dòng điện đi vào cực B của Trisistor nên chọn

$$R_4 > \frac{U_{N \max}}{I_B} = \frac{15}{0.4} = 37,5 \text{ k}\Omega$$

$$R_4 = 40 \text{ k}\Omega$$

VII. Tính chọn tầng tạo điện áp tựa :



Điện áp xoay chiều đồng pha là 10V. Nghĩa là biến áp đồng pha đã giảm điện áp xuống còn 10 V. Như đã nói trên các khuếch đại thuật toán chọn đồng loạt là LM324.

Điện trở R_1 cũng chọn 40k.

VR1 chọn điện trở chỉnh 10k.

R_2 chọn điện trở 1k.

Các điện trở tiếp mát của IC cũng chọn 1k. Điện trở R_{11} , R_{12} , R_{13} cũng chọn 1k. Do chúng cũng có nhiệm vụ bảo vệ tương tự nhau.

Riêng phần tính toán biến áp ta tính ở mục sau.

VIII. Tính toán khâu phản hồi cho mạch điều khiển :

1 Xác định phạm vi giá trị U_{dk}

Ta có :

$$U_{dk} = \frac{\alpha}{180} \cdot U_{cc}$$

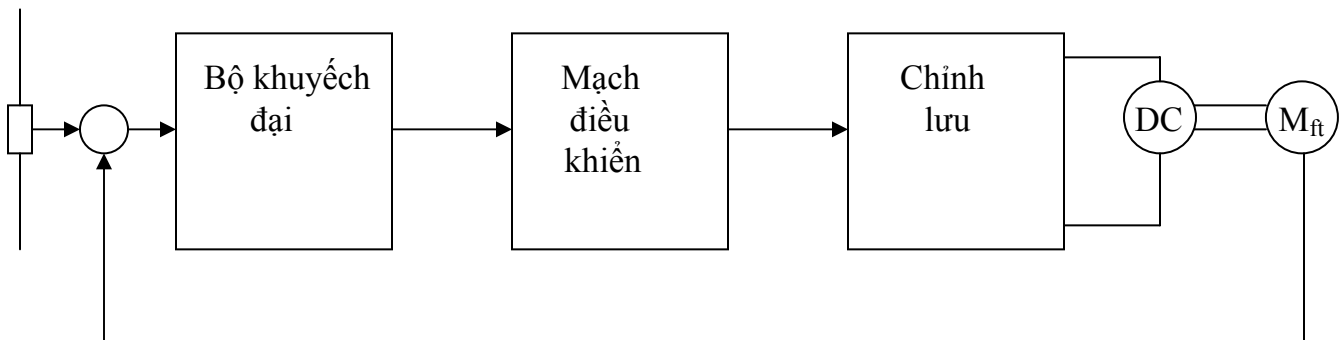
$$\text{Khi đó : } U_{dk \min} = \frac{\alpha_{\min} + 30}{180} U_{cc} = \frac{10 + 30}{180} \cdot 12 = 2,667 \text{ V}$$

$$U_{dk \max} = \frac{\alpha_{\max} + 30}{180} U_{cc} = \frac{85,3 + 30}{180} \cdot 12 = 7,687 \text{ V}$$

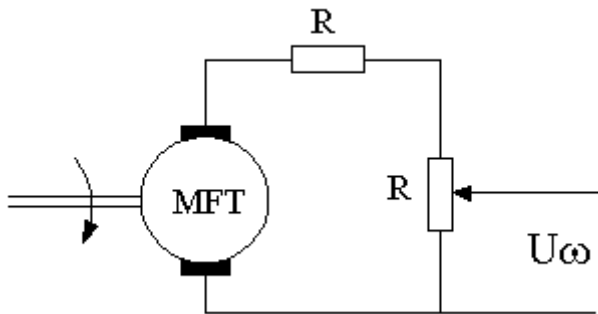
Vậy phạm vi điều chỉnh tốc độ là điều chỉnh giá trị U_{dk} trong khoảng 2,667÷7,687 V

2 ổn định tốc độ và chống quá tải

2.1 Sơ đồ khối



4.2.3 Chọn máy phát tốc



Lựa chọn máy phát tốc một chiều, trục của máy được gắn với động cơ có điện áp ra tỉ lệ với tốc độ:

$$U = k_{\omega} \cdot \omega$$

Chuẩn điện áp ra của máy là 250V khi tốc độ định mức, điều chỉnh biến trở R_t để điện áp ra phản hồi về là 10V.

IX. Tính toán biến áp cho mạch điều khiển:

Máy biến áp cho mạch điều khiển có ba nhiệm vụ:

1. Tạo điện áp đồng pha cho mạch điều khiển.
2. Tạo nguồn nuôi mạch điều khiển.
3. Cách li mạch điều khiển và nguồn điện áp lưới.

Quy trình tính toán cụ thể như sau:

1. Biến áp trục ba pha có ba trục, mỗi trục ứng với 1 pha. Mỗi pha bao gồm 1 cuộn dây sơ cấp và 2 cuộn dây thứ cấp. Một cuộn dây sơ cấp để cung cấp nguồn +12V, một cuộn thứ cấp để cung cấp nguồn -12V. Đồng thời hai cuộn dây này có một điểm chung để tạo ra điểm 0 và tạo điện áp đồng pha.

2. Điện áp lấy ra ở cuộn thứ cấp là điện áp đồng pha đồng thời là điện áp cung cấp cho mạch nguồn nên lấy $U_2 = 12V$.

3. Dòng điện đi vào cuộn thứ cấp là dòng qua IC LM324 nên lấy $I_2 = 50mA$.

4. Công suất cấp cho cuộn thứ cấp làm nhiệm vụ tạo điện áp đồng pha

$$P_{đp} = 6 \cdot U_{đp} \cdot I_{đp} = 6 \cdot 12 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 3,6 \text{ W}$$

5. Công suất tiêu thụ ở 30 IC LM324 là:

$$P_{LM324} = 30 \cdot 1260 \cdot 10^{-3} = 37,8 \text{ W}$$

6. Công suất tiêu thụ cho các IC logic bao gồm 9 cổng AND các công suất này khá nhỏ so với công suất của mạch điều khiển (công suất của 4081 là 2.5nW mỗi cổng) nên ta có thể không tính đến mà bù vào hệ số dự trữ công suất của máy biến áp.

7. Công suất biến áp xung cấp cho mạch điều khiển Trisistor:

$$P_{BAX} = 6 \cdot U_{đk} \cdot I_{đk} = 6 \cdot 2,5 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 0,75 \text{ W}$$

8. Công suất máy biến áp là:

$$S_{BA} = 3,6 + 37,8 + 0,75 = 42,15 \text{ W}$$

9. Bản thân máy biến áp có tổn thất trong lõi thép, điện trở dây quấn. Mạch điều khiển cũng có nhiều phần tử như trở, tụ... do đó ta lấy hệ số tổn hao của biến áp là 10% do đó

$$S_{BA} = 42,15 \cdot 110/100 = 46,365 \text{ W}$$

10. Dòng điện sơ cấp máy biến áp :

$$I_1 = \frac{S}{3 \cdot U_1} = \frac{46,365}{3 \cdot 220} = 0,07 \text{ (A)}$$

11. Dòng điện thứ cấp máy biến áp :

$$I_2 = \frac{S}{6 \cdot U_2} = \frac{46,365}{6 \cdot 12} = 0,64 \text{ (A)}$$

dòng điện này lớn hơn dòng điện đi vào IC

LM324 nên ta bố trí thêm 1 điện trở R_{11} để bảo vệ IC này, việc bảo vệ này có ở cả ba pha.

12. Tiết diện hình trụ của máy biến áp được tính theo công thức kinh nghiệm :

$$Q_T = k_Q \cdot \sqrt{\frac{S}{m \cdot f}}$$

Trong đó k_Q là hệ số phụ thuộc phương thức làm mát $k_Q = 6$; f là tần số lưới điện $f = 50\text{Hz}$; $m = 3$ là số trụ của biến áp. Nên ta tính được :

$$Q_T = 6 \cdot \sqrt{\frac{46,365}{3 \cdot 50}} = 3,33 \text{ cm}^2$$

Chuẩn hóa có $Q_T = 3,4 \text{ cm}^2$ ta có các thông số tương ứng của lõi thép như sau :

$a = 25\text{mm}$ Số lá thép là 68 lá thép

$h = 62,5\text{mm}$

$c = 25\text{mm}$

$V = 72,7\text{cm}^3$

$P = 60\text{W}$.

13. Chọn mật độ từ cảm là $B = 1\text{T}$ trong trụ, ta có số vòng dây cuộn sơ cấp :

$$W_1 = \frac{U_1}{4,44 \cdot f \cdot B \cdot Q_T} = \frac{220}{4,44 \cdot 50 \cdot 1 \cdot 3,4 \cdot 10^{-4}} = 2915 \text{ vòng.}$$

14. Chọn mật độ dòng điện là $J_1 = J_2 = 2,75\text{A/mm}^2$

Tiết diện dây sơ cấp là :

$$S_1 = \frac{S}{3 \cdot U_1 \cdot J_1} = \frac{46,365}{3 \cdot 220 \cdot 2,75} = 0,0255 \text{ mm}^2$$

Đường kính dây sơ cấp là :

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0255}{3,14}} = 0,18 \text{ mm}$$

Đường kính kê cả cách điện $d_{1cd} = 0,2 \text{ mm}$

15. Số vòng dây cuộn thứ cấp :

$$W_2 = W_1 \cdot \frac{U_2}{U_1} = 2915 \cdot \frac{12}{220} = 159 \text{ vòng.}$$

16. Tiết diện dây thứ cấp :

$$S_2 = \frac{S}{6 \cdot U_2 \cdot J_2} = \frac{46,365}{6 \cdot 12 \cdot 2,75} = 0,234 \text{ mm}^2.$$

17. Đường kính dây thứ cấp :

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_2}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,234}{3,14}} = 0,546 \text{ mm}$$

Chọn $d_2 = 0,55 \text{ mm}$. Đường kính có kể cách điện $d_{2cd} = 0,6 \text{ mm}$

18. Chọn hệ số lấp đầy là $k_{ld} = 0.7$. Ta tính bề rộng cửa sổ là :

$$c = \frac{\frac{\pi}{4} \cdot (d_{1cd}^2 \cdot W_1 + d_{2cd}^2 \cdot W_2)}{k_{ld} \cdot h} = \frac{3,14}{4} \cdot \frac{(0,2^2 \cdot 2915 + 0,6^2 \cdot 159)}{0,7 \cdot 62,5} = 3,12$$

$c = 3,12 \text{ mm}$ ta chọn $c = 12 \text{ mm}$.

19. Chiều dài của mạch từ :

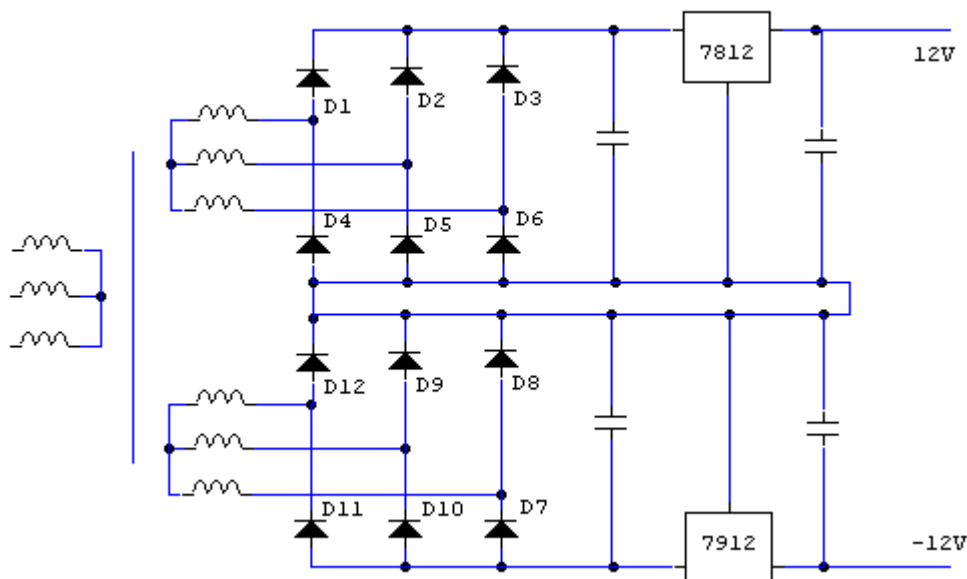
$$L = 2c + 3a = 2 \cdot 12 + 3 \cdot 25 = 99 \text{ mm}$$

20. Chiều cao của mạch từ :

$$H = h + 2a = 62,5 + 2 \cdot 25 = 112,5 \text{ mm}$$

X. Tính toán mạch tạo nguồn cho mạch điều khiển :

Mạch tạo nguồn là mạch chỉnh lưu ba pha, sử dụng Diod. Sau đó ta sử dụng các IC ổn áp để lọc lấy điện áp một chiều bằng phẳng cho mạch điện.



1. Dòng điện hiệu dụng đi qua Diod là :

$$I_{Dhd} = \frac{I_2}{\sqrt{2}} = \frac{0,64}{\sqrt{2}} = 0,453 \text{ A}$$

Chọn hệ số dự trữ dòng cho diode là 1,5 ta có diode phải chịu được dòng điện lớn nhất là :

$$I_{\text{Diode}} = 1,5 \cdot 0,453 = 0,68 \text{ A}$$

2. Điện áp ngược lớn nhất mà Diode phải chịu :

$$U_{\text{ngượcmax}} = \sqrt{6} U_2 = \sqrt{6} \cdot 12 = 29,4 \text{ V.}$$

Chọn hệ số dự trữ điện áp là 2 lần vì điện áp nguồn có thể tăng hay giảm theo lưới điện dẫn tới điện áp của cuộn thứ cấp U_2 cũng có thể thay đổi nên ta có :

$$U_D = 29,4 \cdot 2 = 58,8 \text{ V}$$

Căn cứ vào điện áp và dòng điện mà Diode phải chịu ta chọn Diode 1N-5401

Với các thông số như sau :

$$U_v = 100 \text{ V}$$

$$I_v = 3 \text{ A}$$

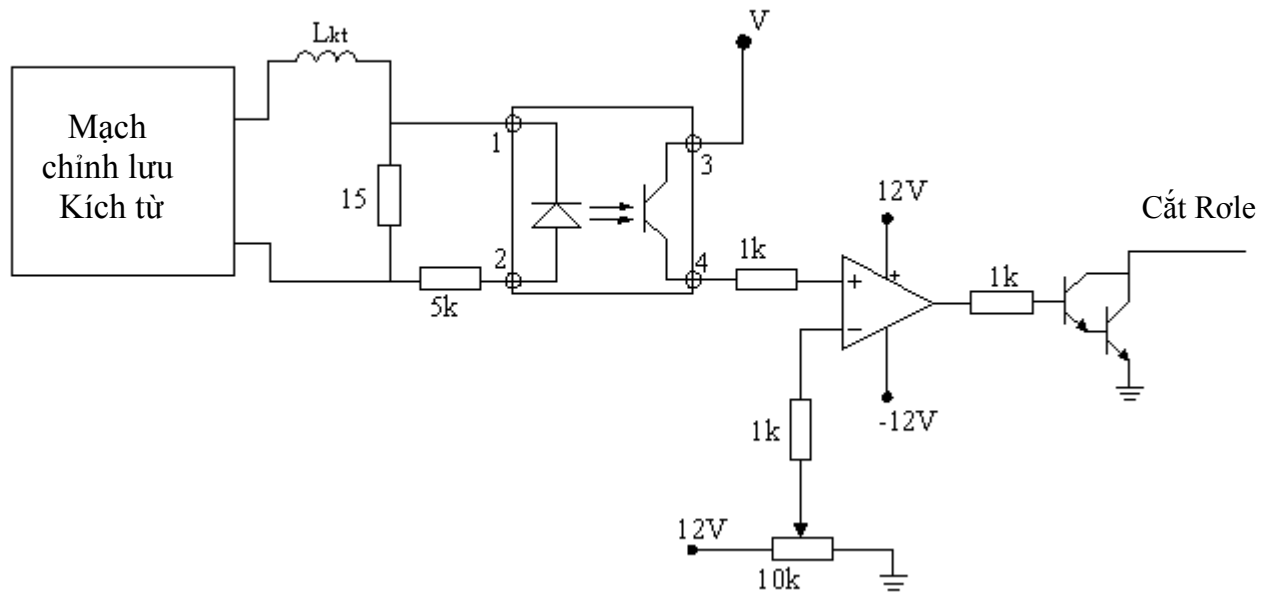
3. Chọn các tụ điện :

+ Các tụ C1, C2, C3, C4 là các tụ có giá trị 470 μF

Vậy ta tính song phần nguồn nuôi cho mạch điều khiển.

Khâu chống mất kích từ

Do yêu cầu của đồ án là khi mất điện phần kích từ thì sẽ ngừng cung cấp điện cho phần ứng nên ta sẽ sử dụng phần tử ghép quang để cắt mạch phần ứng khi không có dòng kích từ
Sơ đồ :



Hoạt động :

Phần tử ghép quang gồm 2 mạch :

Mạch phát sáng thường dùng đèn LED

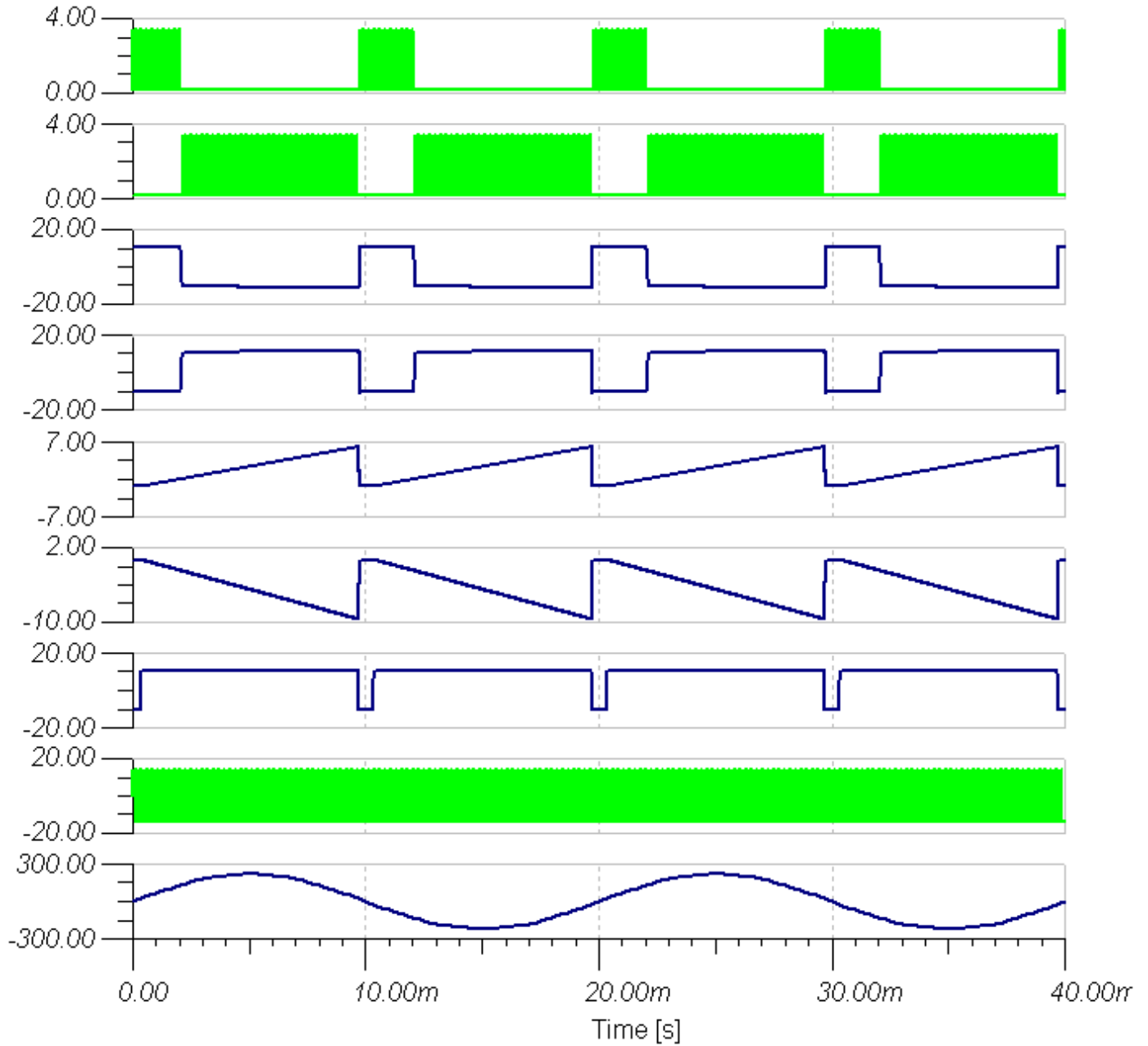
Mạch cảm quang thường là Photpho - Tranzitor

Khi có dòng kích từ đi qua làm cho điốt quang phát sáng => Tranzitor thông mạch, nên điện áp đi vào khâu so sánh là 5V.

Khi mất điện phần kích từ => không có dòng đi qua làm điốt tắt. Tranzitor ngắt. Điện áp đem so sánh sẽ giảm từ 5V về 0V, => có tín hiệu ra khỏi cổng so sánh. Tín hiệu này được khuếch đại lên nhờ tầng khuếch đại darlington đi vào ngắt Role mạch lực và mạch điều khiển làm cắt điện phần ứng bảo vệ hệ thống.

Chương VI

KIỂM CHỨNG MẠCH THIẾT KẾ BẰNG CHƯƠNG TRÌNH TINA



Vậy ta đã hoàn thành thiết kế đồ án.

Lời kết

Qua việc thiết kế đồ án đã giúp em hiểu rõ hơn những gì mình đã được học trong môn Điện tử công suất. Hiểu được những ứng dụng thực tế của các thiết bị công suất trong đời sống cũng như trong công nghiệp. Tuy nhiên do nội dung mới mẻ tầm hiểu biết hạn chế, hơn nữa đây là đồ án đầu tiên nên không tránh khỏi sai sót. Em mong các thầy cô chỉ bảo thêm để hoàn thành tốt hơn nhiệm vụ.

Em xin chân thành cảm ơn

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Bính
Điện tử công suất: NXB Khoa Học Kỹ Thuật - Hà Nội 1996
2. Cyril W.Lander
Điện tử công suất & điều khiển động cơ điện:
NXB khoa học và kỹ thuật- Hà Nội 1993
3. Phan Tử Thụ
Thiết kế Máy biến áp điện lực
4. СИПАБО □ H □ K П O П P O □ E K T □ □ □ E K T P O П P □ B O □ A
5. D.A.T.A.DIGEST Power Semiconductors 1998
6. D.A.T.A.DIGEST Thyristors 1999
7. H.Schreiber
Kỹ thuật điện tử qua sơ đồ - Hà Nội 1998
8. Nguyễn Minh Trí
Sơ đồ chân linh kiện bán dẫn - Hà Nội 1998
9. Phạm Quốc Hải
Hướng dẫn thiết kế mạch điện tử công suất
10. Võ Minh Chính - Phạm Quốc Hải - Trần Trọng Minh
Điện tử công suất
11. Phạm Văn Bình - Lê Văn Doanh
Thiết kế Máy biến áp: NXB Khoa Học Kỹ Thuật - Hà Nội 1999.

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA SƯ PHẠM KỸ THUẬT



BÀI GIẢNG
NGUYÊN LÝ MÁY

DÙNG CHO SINH VIÊN CHUYÊN NGÀNH CƠ KHÍ CHẾ TẠO MÁY
(LƯU HÀNH NỘI BỘ)

BIÊN SOẠN :
LÊ CUNG - BỘ MÔN NGUYÊN LÝ - CHẾ TẠO MÁY

ĐÀ NẴNG 2007

CHƯƠNG MỞ ĐẦU

§1. Khái niệm về máy và cơ cấu

1. Máy

Máy là tập hợp các vật thể do con người tạo ra, nhằm mục đích thực hiện và mở rộng các chức năng lao động.

• Căn cứ vào chức năng, có thể chia máy thành các loại:

a. Máy năng lượng: dùng để truyền hay biến đổi năng lượng, gồm hai loại:

+ Máy- động cơ: biến đổi các dạng năng lượng khác thành cơ năng, ví dụ động cơ nổ, động cơ điện, tuốcbin...

+ Máy biến đổi cơ năng: biến đổi cơ năng thành các dạng năng lượng khác, ví dụ máy phát điện, máy nén khí...

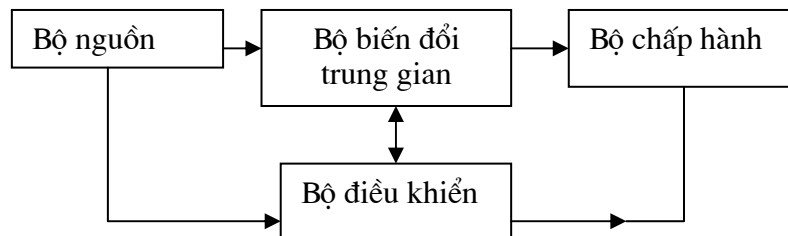
b. Máy làm việc (máy công tác): có nhiệm vụ biến đổi hoặc hình dạng, kích thước hay trạng thái của vật thể (gọi là máy công nghệ), hoặc thay đổi vị trí của vật thể (gọi là máy vận chuyển).

Trên thực tế, nhiều khi không thể phân biệt như trên, vì các máy nói chung đều có động cơ dẫn động riêng. Những máy như vậy gọi là *máy tổ hợp*. Ngoài động cơ và bộ phận làm việc, trong máy tổ hợp còn có các thiết bị khác như thiết bị kiểm tra, theo dõi, điều khiển... Khi các chức năng điều khiển của con người đối với toàn bộ quá trình làm việc của máy đều được đảm nhận bởi các thiết bị nói trên, máy tổ hợp trở thành *máy tự động*.

c. Máy truyền và biến đổi thông tin, ví dụ máy tính điện tử...

d. Ngoài các loại máy trên đây, còn nhiều loại máy có chức năng đặc biệt như tim nhân tạo, tay máy, người máy...

• Khi phân tích hoạt động của một máy, có thể xem máy là một hệ thống gồm các bộ phận điển hình, theo sơ đồ khối sau:



+ *Bộ nguồn:* cung cấp năng lượng cho toàn máy.

+ *Bộ chấp hành:* trực tiếp thực hiện nhiệm vụ công nghệ của máy.

+ *Bộ biến đổi trung gian:* thực hiện các biến đổi cần thiết từ bộ nguồn đến bộ chấp hành.

+ *Bộ điều khiển:* thực hiện các thông tin, thu thập các tin tức làm việc của máy và đưa ra các tín hiệu cần thiết để điều khiển máy.

2. Cơ cấu

• Trong các bộ phận của máy, tập hợp các vật thể có chuyển động xác định, làm nhiệm vụ truyền hay biến đổi chuyển động gọi là *cơ cấu*.

• Theo đặc điểm các vật thể hợp thành cơ cấu, có thể xếp các cơ cấu thành các lớp:

+ Cơ cấu chỉ gồm các vật rắn tuyệt đối.

+ Cơ cấu có vật thể đàn hồi, ví dụ cơ cấu dùng dây đai, cơ cấu có lò xo, cơ cấu dùng tác dụng của chất khí, chất lỏng, cơ cấu di chuyển nhờ thủy lực.

+ Cơ cấu dùng tác dụng của điện từ.

§2. Nội dung và phương pháp nghiên cứu của môn học Nguyên lý máy

- Môn học Nguyên lý máy nghiên cứu vấn đề chuyển động và điều khiển chuyển động của cơ cấu và máy. Ba vấn đề chung của các loại cơ cấu và máy mà môn học Nguyên lý máy nghiên cứu là vấn đề về *cấu trúc*, *động học* và *động lực học*.

Ba vấn đề nêu trên được nghiên cứu dưới dạng hai bài toán: bài toán *phân tích* và bài toán *tổng hợp*.

Bài toán *phân tích cấu trúc* nhằm nghiên cứu các nguyên tắc cấu trúc của cơ cấu và khả năng chuyển động của cơ cấu tùy theo cấu trúc của nó.

Bài toán *phân tích động học* nhằm xác định chuyển động của các khâu trong cơ cấu, khi không xét đến ảnh hưởng của các lực mà chỉ căn cứ vào quan hệ hình học của các khâu.

Bài toán *phân tích động lực học* nhằm xác định lực tác động lên cơ cấu và quan hệ giữa các lực này với chuyển động của cơ cấu.

- Bên cạnh các phương pháp của môn học Cơ học lý thuyết, để nghiên cứu các vấn đề động học và động lực học của cơ cấu, người ta sử dụng các phương pháp sau đây:

- + Phương pháp đồ thị (phương pháp vẽ - dựng hình)

- + Phương pháp giải tích

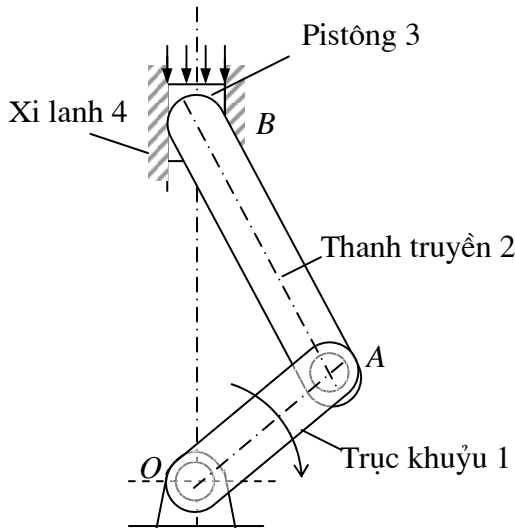
Ngoài ra, các phương pháp thực nghiệm cũng có một ý nghĩa quan trọng trong việc nghiên cứu các bài toán về Nguyên lý máy.



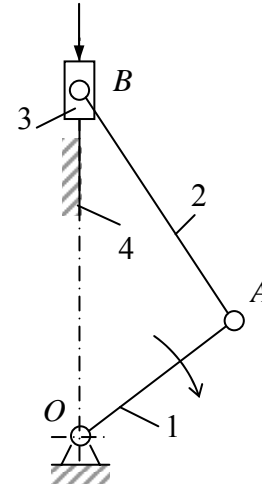
CẤU TRÚC CƠ CẤU

§1. Khái niệm và định nghĩa

1) Khâu và chi tiết máy



Hình 1.1

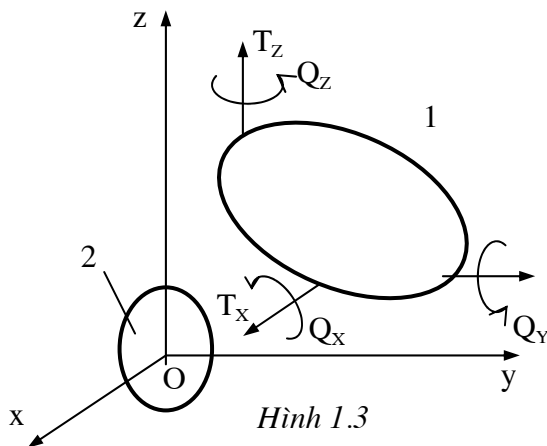


Hình 1.2

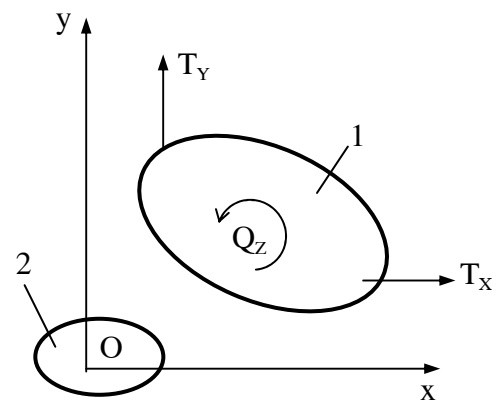
• Ví dụ về máy và cơ cấu

Xét động cơ đốt trong kiểu pittông-tay quay được dùng để biến đổi năng lượng của khí cháy bên trong xi lanh (nhiệt năng, hóa năng) thành cơ năng trên trục khuỷu (máy này được gọi là máy năng lượng - hình 1.1).

Động cơ đốt trong bao gồm nhiều cơ cấu. Cơ cấu chính trong máy là cơ cấu tay quay-con trượt OAB (hình 1.2) làm nhiệm vụ biến chuyển tịnh tiến của pistông (3) thành chuyển động quay của trục khuỷu (1).



Hình 1.3



Hình 1.4

• Khâu và chi tiết máy

+ Máy và cơ cấu gồm nhiều bộ phận có chuyển động tương đối đối với nhau. Mỗi bộ phận có chuyển động riêng biệt này của máy được gọi là một khâu.

Khâu có thể là một vật rắn không biến dạng, vật rắn biến dạng (ví dụ lò xo...) hoặc có dạng dây dẻo (ví dụ dây đai trong bộ truyền đai...).

Trong toàn bộ giáo trình này, trừ những trường hợp đặc biệt, ta xem khâu như là một vật rắn không biến dạng (vật rắn tuyệt đối).

+ Khâu có thể là một chi tiết máy độc lập hay do một số chi tiết máy ghép cứng lại với nhau.

Mỗi *chi tiết máy* là một bộ phận hoàn chỉnh, không thể tháo rời nhỏ hơn được nữa của máy.

- Ví dụ, cơ cấu tay quay con trượt OAB (hình 1.2) có 4 khâu: Trục khuỷu (1), thanh truyền (2), pittông (3) và xi lanh (4) gắn liền với vỏ máy. Trong hệ quy chiếu gắn liền với khâu (4) (vỏ máy, xi lanh), mỗi khâu có chuyển động riêng biệt: Khâu (1) quay xung quanh tâm O, khâu (2) chuyển động *song phẳng*, khâu (3) chuyển động tịnh tiến, khâu (4) cố định. Trục khuỷu thông thường là một chi tiết máy độc lập. Thanh truyền gồm nhiều chi tiết máy như thân, bạc lót, đầu to, bu lông, đai ốc... ghép cứng lại với nhau.

2) Nói động, thành phần khớp động và khớp động

• *Bậc tự do tương đối giữa hai khâu*

+ Số bậc tự do tương đối giữa hai khâu là số khả năng chuyển động *độc lập* tương đối của khâu này đối với khâu kia (tức là số khả năng chuyển động độc lập của khâu này trong một hệ quy chiếu gắn liền với khâu kia).

+ Khi *để rời hai khâu trong không gian*, giữa chúng sẽ có 6 bậc tự do tương đối.

Thật vậy, trong hệ tọa độ vuông góc Oxyz gắn liền với khâu (1), khâu (2) có 6 khả năng chuyển động: T_x, T_y, T_z (chuyển động tịnh tiến dọc theo các trục Ox, Oy, Oz) và Q_x, Q_y, Q_z (chuyển động quay xung quanh các trục Ox, Oy, Oz). Sáu khả năng này hoàn toàn độc lập với nhau (hình 1.3).

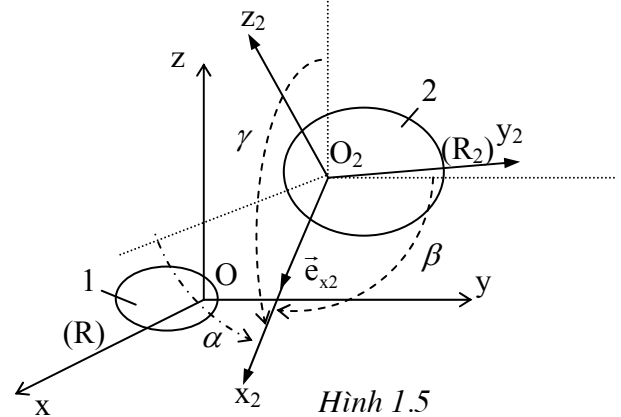
+ Tuy nhiên, khi *để rời hai khâu trong mặt phẳng*, số bậc tự do tương đối giữa chúng chỉ còn lại là 3: chuyển động quay Q_z xung quanh trục Oz vuông góc với mặt phẳng chuyển động Oxy của hai khâu và hai chuyển động tịnh tiến T_x, T_y dọc theo các trục Ox, Oy nằm trong mặt phẳng này (hình 1.4).

+ Số bậc tự do tương đối giữa hai khâu cũng chính là *số thông số vị trí độc lập cần cho trước* để xác định hoàn toàn vị trí của khâu này trong một hệ quy chiếu gắn liền với khâu kia (hình 1.5).

Thật vậy, để xác định hoàn toàn vị trí của khâu (2) trong hệ quy chiếu R gắn liền với khâu (1), nghĩa là để xác định hoàn toàn vị trí của hệ quy chiếu R_2 gắn liền với khâu (2) so với hệ quy chiếu R, cần biết 6 thông số:

+ Ba tọa độ $x_{O_2}, y_{O_2}, z_{O_2}$ của gốc O_2 của hệ quy chiếu R_2 trong hệ R.

+ Ba góc chỉ phương α, β, γ xác định phương chiều của vectơ đơn vị \vec{e}_{x_2} của trục O_2x_2 của hệ R_2 trong hệ R.



Hình 1.5

• *Nói động, thành phần khớp động, khớp động*

+ Để tạo thành cơ cấu, người ta phải tập hợp các khâu lại với nhau bằng cách thực hiện các *phép nối động*.

Nói động hai khâu là bất chúng tiếp xúc với nhau theo một quy cách nhất định trong suốt quá trình chuyển động.

Nói động hai khâu làm hạn chế bớt số bậc tự do tương đối giữa chúng.

+ Chỗ trên mỗi khâu tiếp xúc với khâu được nối động với nó gọi là *thành phần khớp động*.

+ Tập hợp hai thành phần khớp động của hai khâu trong một phép nối động gọi là một *khớp động*.

3) Các loại khớp động và lược đồ khớp

• *Các loại khớp động*

+ Căn cứ vào *số bậc tự do tương đối bị hạn chế đi* khi nối động (còn gọi là *số ràng buộc* của khớp), ta phân khớp động thành các loại: khớp loại 1, loại 2, loại 3, loại 4, loại 5 lần lượt hạn chế 1, 2, 3, 4, 5 bậc tự do tương đối.

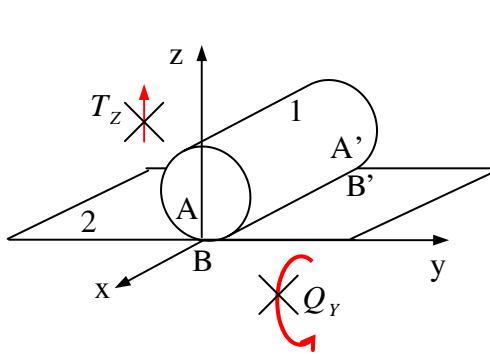
Không có khớp loại 6, vì khớp này hạn chế 6 bậc tự do tương đối giữa hai khâu, khi đó hai khâu là *ghép cứng* với nhau. Không có khớp loại 0, vì khi đó hai khâu để rời hoàn toàn trong không gian (liên kết giữa hai khâu lúc này được gọi là *liên kết tự do*).

+ Căn cứ vào *đặc điểm tiếp xúc của hai khâu* khi nối động, ta phân khớp động thành các loại:

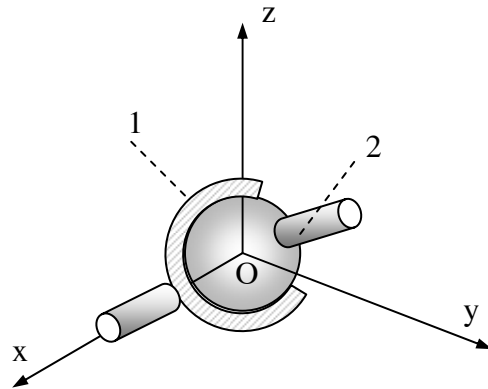
Khớp cao: nếu thành phần khớp động là các *điểm* hay các *đường* (hai khâu tiếp xúc nhau theo điểm hoặc đường)

Khớp thấp: nếu thành phần khớp động là các *mặt* (hai khâu tiếp xúc nhau theo mặt).

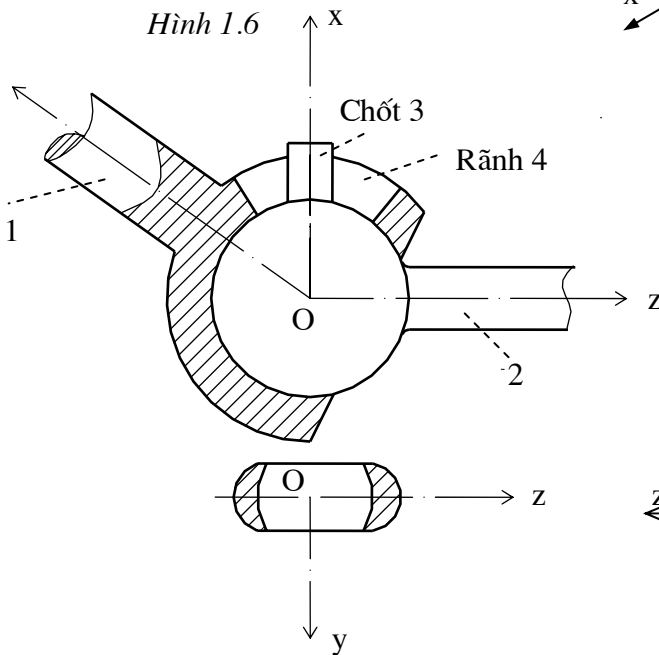
• **Ví dụ về khớp động**



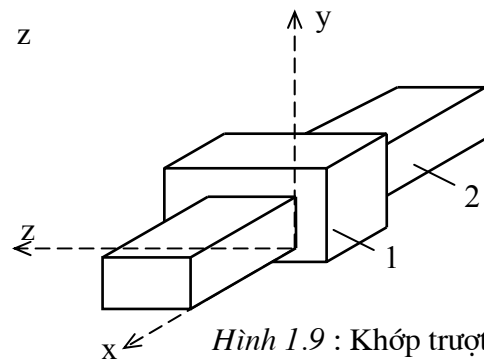
Hình 1.6



Hình 1.7



Hình 1.8 : Khớp cầu có chốt



Hình 1.9 : Khớp trượt

+ **Ví dụ 1:** Cho hình trụ tròn xoay (khâu 1) tiếp xúc với tấm phẳng (khâu 2) theo một đường sinh, ta được một khớp động (hình 1.6). Số bậc tự do tương đối bị hạn chế đi là 2 (hai chuyển động Q_y, T_z không thể xảy ra vì khi đó hình trụ không còn tiếp xúc với tấm phẳng theo đường sinh nữa). Khớp động này là khớp loại 2. Thành phần khớp động trên khâu 1 là đường sinh AA' của nó hiện đang tiếp xúc với mặt phẳng của khâu 2. Thành phần khớp động trên khâu 2 là đoạn thẳng BB' hiện trùng với đường sinh AA'. Thành phần khớp động là các đường nên khớp động này là một khớp cao.

+ **Ví dụ 2:**

Hai hình cầu tiếp xúc với nhau (hình 1.7) cho ta một khớp động. Số bậc tự do tương đối bị hạn chế đi là 3 (hạn chế ba chuyển động T_x, T_y, T_z), nên đây là một khớp cầu loại 3. Thành phần khớp động là các mặt cầu, do vậy khớp cầu nói trên là một khớp thấp.

+ Ví dụ 3:

Khớp cầu có chốt (hình 1.8): Khác với khớp cầu loại 3 trên đây, trên khâu 2 của khớp cầu này có gắn thêm chốt 3, trên khâu 1 có xẻ rãnh 4. Khi đó, khâu hai chỉ còn hai khả năng chuyển động tương đối so với khâu 1: chuyển động quay Q_x xung quanh trục x và chuyển động quay Q_y xung quanh trục y. Khớp này hạn chế 4 bậc tự do tương đối, do vậy là khớp loại 4. Thành phần khớp động là các mặt cầu nên đây là một khớp thấp.

+ Ví dụ 4:

Khớp tịnh tiến (*khớp trượt* – hình 1.9): số bậc tự do tương đối bị hạn chế đi là 5 (chỉ để lại chuyển động tịnh tiến T_x) nên khớp trượt là khớp loại 5. Thành phần khớp động là các mặt phẳng, nên khớp trượt là một khớp thấp.

+ Ví dụ 5:

Khớp quay (*khớp bản lề* – hình 1.10): số bậc tự do tương đối bị hạn chế đi là 5 (chỉ để lại chuyển động quay Q_x) nên khớp quay là một khớp loại 5. Thành phần khớp động là các mặt trụ tròn xoay A và các phần mặt phẳng B, nên đây là một khớp thấp.

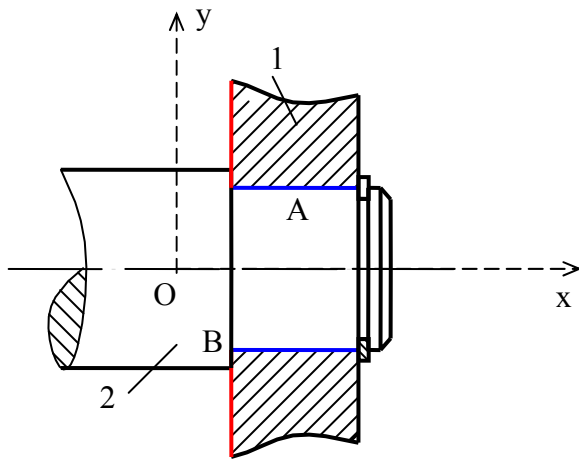
+ Ví dụ 6:

Khớp vít (ví dụ vít me-đai ốc – hình 1.11): khâu 1 có hai khả năng chuyển động tương đối so với khâu 2, đó là hai chuyển động T_z và Q_z . Tuy nhiên hai khả năng chuyển động này phụ thuộc lẫn nhau (khi giữ vít me cố định và xoay đai ốc một góc nào đó quanh trục Oz thì đai ốc sẽ tịnh tiến một khoảng xác định dọc theo trục Oz). Do vậy khớp vít là khớp loại 5. Thành phần khớp động là các mặt ren vít nên đây là một khớp thấp.

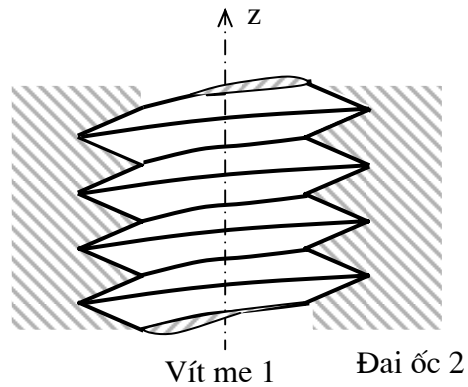
• Lược đồ khớp

Trên thực tế, kết cấu khâu và khớp rất phức tạp. Để thuận tiện cho việc nghiên cứu các bài toán về cơ cấu, người ta biểu diễn các khớp động khác nhau bằng các lược đồ quy ước. Lược đồ một số khớp thông dụng:

Khớp cầu (khớp thấp, loại 3)	
Khớp cầu có chốt (Khớp thấp, loại 4)	
Khớp tịnh tiến (khớp thấp, loại 5)	
Khớp bản lề (khớp thấp, loại 5)	
Khớp vít (khớp thấp, loại 5)	
Khớp cao phẳng (khớp bánh răng phẳng, khớp cam phẳng...) (khớp cao, loại 4)	



Hình 1.10 : Khớp quay



Hình 1.11: Khớp vít

4) Kích thước động của khâu và lược đồ khâu

+ *Kích thước động của khâu* là các thông số xác định vị trí tương đối giữa các thành phần khớp động trên khâu.

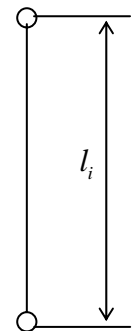
Ví dụ, thanh truyền (2) trong động cơ đốt trong (hình 1.1) được nối với tay quay (1) và với pittông (3) bằng các khớp quay, các thành phần khớp động trên thanh truyền là các mặt trụ trong có đường trục song song với nhau. Kích thước động của thanh truyền là khoảng cách l_i giữa hai đường trục của các khớp quay.

+ Mỗi khâu có thể có một hay nhiều kích thước động.

Ví dụ, khâu 3 trên hình 1.14 được nối động với ba khâu 6, 2 và 4 bằng các khớp quay D, C, E. Khâu 3 có ba kích thước động, đó là khoảng cách trục l_{EC}, l_{DE}, l_{DC} giữa các khớp quay.

+ Khâu được biểu diễn bằng các lược đồ gọi là *lược đồ động của khâu*, trên đó thể hiện các kích thước động của nó và lược đồ các khớp động nối nó với các khâu khác.

Ví dụ lược đồ động của khâu thanh truyền (2) trong động cơ đốt trong cho trên hình 1.12.



Hình 1.12

5) Chuỗi động và cơ cấu

• Chuỗi động

+ *Chuỗi động* là tập hợp các khâu được nối với nhau bằng các khớp động.

+ Dựa trên cấu trúc chuỗi động, ta phân chuỗi động thành hai loại: chuỗi động hở và chuỗi động kín.

Chuỗi động *hở* là chuỗi động trong đó các khâu chỉ được nối với một khâu khác.

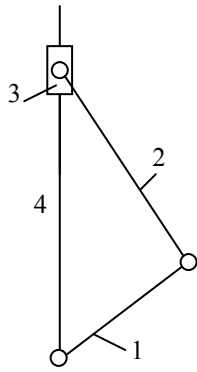
Chuỗi động *kín* là chuỗi động trong đó mỗi khâu được nối ít nhất với hai khâu khác (các khâu tạo thành các chu vi khép kín, mỗi khâu tham gia ít nhất hai khớp động).

+ Dựa trên tính chất chuyển động, ta phân biệt chuỗi động không gian và chuỗi động phẳng.

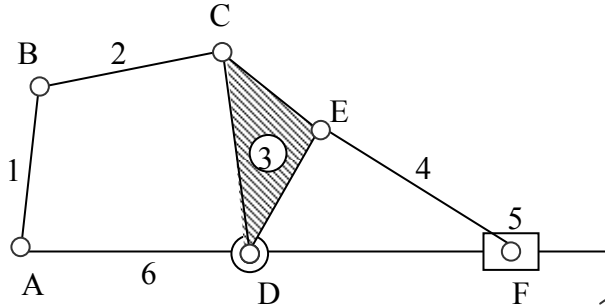
Chuỗi động *không gian* có các khâu chuyển động trên các mặt phẳng không song song với nhau, còn trong chuỗi động *phẳng*, tất cả các khâu chuyển động trên những mặt phẳng song song với nhau.

+ Ví dụ, chuỗi động trên hình 1.13, có 4 khâu nối nhau bằng 3 khớp quay và 1 khớp trượt, các khớp quay có đường trục song song với nhau và vuông góc với phương trượt của khớp trượt, do đó cả 4 khâu có mặt phẳng chuyển động song song với nhau. Hơn nữa mỗi khâu trong chuỗi động nối động với 2 khâu khác, nên chuỗi động nói trên là một chuỗi động *phẳng kín*. Tương tự, chuỗi động trên hình 1.14 cũng là chuỗi động phẳng kín.

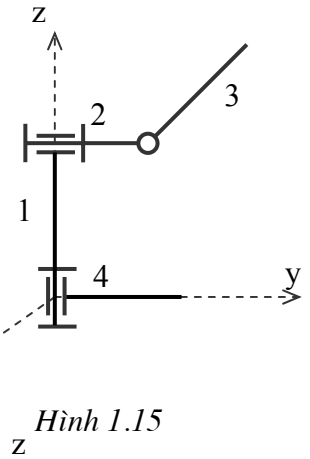
Chuỗi động trên hình 1.15 gồm 4 khâu, nối nhau bằng 3 khớp quay có đường trục vuông góc với nhau từng đôi một, do đó các khâu chuyển động trong các mặt phẳng không song song với nhau. Mặc khác, khâu 3 và khâu 4 chỉ được nối với một khâu khác nên đây là một chuỗi động không gian hở.



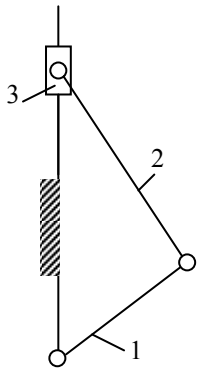
Hình 1.13



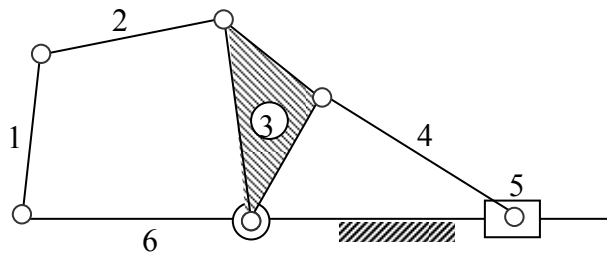
Hình 1.14



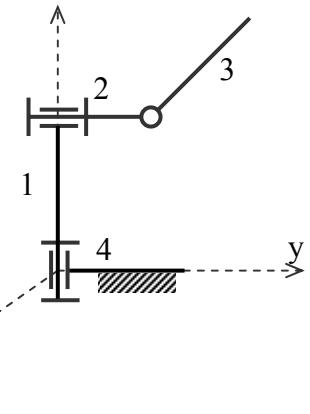
Hình 1.15



Hình 1.16



Hình 1.17



Hình 1.18

• Cơ cấu

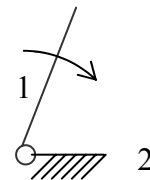
+ Cơ cấu là một chuỗi động, trong đó một khâu được chọn làm hệ quy chiếu (và gọi là *giá*), các khâu còn lại có chuyển động xác định trong hệ quy chiếu này (và gọi là các *khâu động*). Thông thường, coi giá là cố định.

Tương tự như chuỗi động, ta cũng phân biệt cơ cấu *phẳng* và cơ cấu *không gian*.

+ Ví dụ, chọn khâu 4 trong chuỗi động phẳng kín hình 1.13, khâu 6 trong chuỗi động phẳng kín hình 1.14 làm *giá*, ta được các cơ cấu phẳng. Chọn khâu 4 trong chuỗi động không gian hở hình 1.15 làm *giá*, ta có cơ cấu không gian.

Hình 1.16: cơ cấu tay quay con trượt dùng để biến chuyển động quay của khâu 1 thành chuyển động tịnh tiến của khâu 3 và ngược lại. Hình 1.17: cơ cấu 6 khâu phẳng sử dụng trong máy sàng lắc, dùng để biến chuyển động quay của khâu 1 thành chuyển động tịnh tiến qua lại của con trượt 5. Hình 1.18: cơ cấu tay máy ba bậc tự do.

+ Cơ cấu thường được tạo thành từ chuỗi động kín. Cơ cấu được tạo thành từ chuỗi động hở như cơ cấu tay máy (hình 1.18), cơ cấu rôto máy điện (hình 1.19).



Hình 1.19

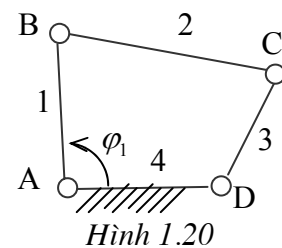
§2. Bậc tự do của cơ cấu

1) Khái niệm bậc tự do của cơ cấu

+ Số bậc tự do của cơ cấu là số thông số vị trí độc lập cần cho trước để vị trí của toàn bộ cơ cấu hoàn toàn xác định.

Số bậc tự do của cơ cấu cũng chính bằng số quy luật chuyển động cần cho trước để chuyển động của cơ cấu hoàn toàn xác định.

+ Ví dụ: Xét cơ cấu bốn khâu bản lề ABCD (hình 1.20) gồm giá cố định 4 và ba khâu động 1, 2, 3. Nếu cho trước thông số



Hình 1.20

$\varphi_1 = (\overline{AD}, \overline{AB})$ để xác định vị trí của khâu 1 so với giá thì vị trí của cơ cấu hoàn toàn xác định. Thật vậy, do kích thước động l_{AB} đã cho trước nên vị trí điểm B hoàn toàn xác định. Do điểm D và các kích thước l_{BC}, l_{CD} đã cho trước nên vị trí điểm C và do đó vị trí các khâu 2 và 3 hoàn toàn xác định. Nếu cho trước quy luật chuyển động của khâu (1) : $\varphi_1 = \varphi_1(t)$ thì chuyển động của các khâu 2 và 3 sẽ hoàn toàn xác định. Như vậy cơ cấu bốn khâu bản lề có 1 bậc tự do: $W = 1$.

2) Công thức tính bậc tự do của cơ cấu

- Xét cơ cấu gồm giá cố định và n khâu động.

Gọi : W_0 : tổng số bậc tự do của các khâu động của cơ cấu khi để rời nhau trong hệ quy chiếu gắn liền với giá. R : tổng số các ràng buộc do các khớp trong cơ cấu tạo ra.

Khi đó bậc tự do của cơ cấu sẽ bằng: $W = W_0 - R$

Do mỗi khâu động khi để rời sẽ có 6 bậc tự do nên tổng số bậc tự do của n khâu động:

$$W_0 = 6n$$

Để tính bậc tự do của cơ cấu, cần tính R.

- Đối với các cơ cấu mà lược đồ không có một đa giác nào cả, tức là không có khớp nào là khớp đóng kín (ví dụ cơ cấu tay máy hình 1.18), sau khi nối n khâu động lại với nhau và với giá bằng p_j khớp loại j, tổng số các ràng buộc bằng: $R = \sum_j jp_j$ (mỗi khớp loại j hạn chế j bậc

tự do tương đối, nghĩa là tạo ra j ràng buộc).

Do đó:
$$W = 6n - \sum_j jp_j \quad (1.1)$$

Ví dụ, với cơ cấu tay máy (hình 1.18): $n = 3, p_5 = 3$ (ba khớp quay loại 5) $\Rightarrow W = 3.6 - (3.5) = 3$.

- Đối với các cơ cấu mà lược đồ là một hay một số đa giác đóng kín, hoặc đối với một số cơ cấu có các đặc điểm về hình học, ta phải xét đến các ràng buộc trùng và ràng buộc thừa trong công thức tính bậc tự do. Khi đó:

$$W = 6n - \left(\sum_j jp_j - R_{trung} - R_{thua} \right) \quad (1.2)$$

Ngoài ra, trong số các bậc tự do được tính theo công thức (1.2), có thể có những bậc tự do không có ý nghĩa đối với vị trí các khâu động trong cơ cấu, nghĩa là không ảnh hưởng gì đến cấu hình của cơ cấu. Các bậc tự do này gọi là bậc tự do thừa và phải loại đi khi tính toán bậc tự do của cơ cấu.

Tóm lại, công thức tổng quát để tính bậc tự do:

$$W = 6n - \left(\sum_j jp_j - R_{trung} - R_{thua} \right) - W_{thua} \quad (1.3)$$

Với : R_{trung} : số ràng buộc trùng; R_{thua} : số ràng buộc thừa; W_{thua} : số bậc tự do thừa.

3) Công thức tính bậc tự do của cơ cấu phẳng

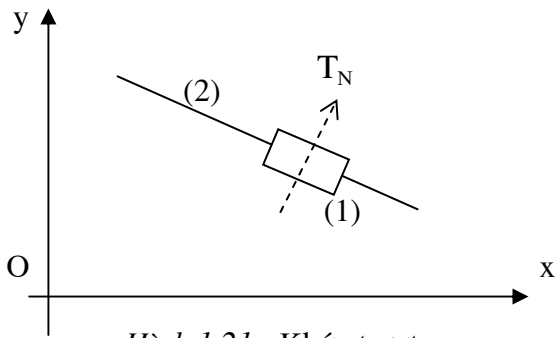
- Với cơ cấu phẳng, ngay khi còn để rời nhau trong hệ quy chiếu gắn liền với giá, các khâu được xem như nằm trên cùng một mặt phẳng (hay trên các mặt phẳng song song nhau). Do đó tổng số bậc tự do của n khâu động: $W_0 = 3n$

Gọi Oxy là mặt phẳng chuyển động của cơ cấu thì các bậc tự do T_Z, Q_X, Q_Y của mỗi khâu đã bị hạn chế.

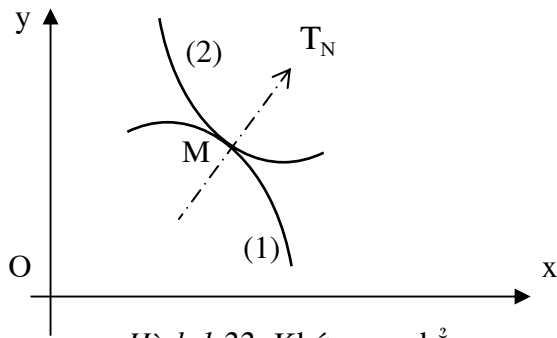
Mỗi khớp quay có trục quay Oz vuông góc với mặt phẳng Oxy chỉ còn hạn chế hai bậc tự do là chuyển động tịnh tiến T_X và T_Y .

Mỗi khớp trượt có phương trượt nằm trong mặt phẳng Oxy (hình 1.21) chỉ còn hạn chế hai bậc tự do là chuyển động quay Q_Z và chuyển động tịnh tiến T_N trong mặt phẳng Oxy theo phương vuông góc với phương trượt.

Mỗi khớp cao loại 4 như khớp bánh răng phẳng, khớp cam phẳng (hình 1.22) chỉ còn hạn chế một bậc tự do là chuyển động tịnh tiến T_N trong mặt phẳng Oxy theo phương pháp tuyến chung của hai thành phần khớp cao.



Hình 1.21: Khớp trượt



Hình 1.22: Khớp cao phẳng

Trong cơ cấu phẳng thường chỉ dùng ba loại khớp trên nên tổng số các ràng buộc do các khớp trong cơ cấu **phẳng** tạo ra: $R = 2p_5 + p_4$

Như vậy, bậc tự do của cơ cấu:
$$W = 3n - (2p_5 + p_4) \quad (1.4)$$

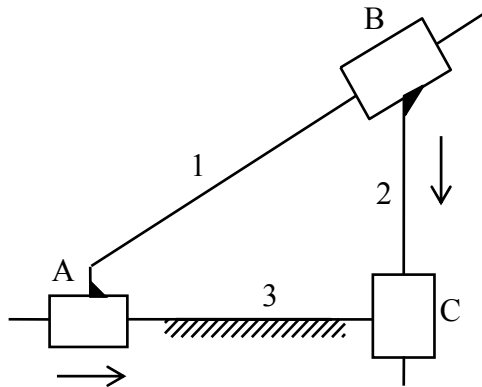
Thông thường có thể dùng công thức (1.4) để tính bậc tự do của cơ cấu.

Ví dụ, cơ cấu 4 khâu bản lề phẳng (hình 1.20): $n = 3$; $p_5 = 4$; $p_4 = 0 \Rightarrow W = 3.3 - (2.4 + 0) = 1$

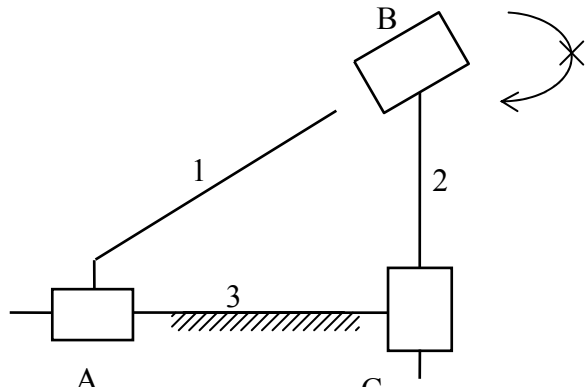
Tuy nhiên, kể đến các ràng buộc trùng, ràng buộc thừa và bậc tự do thừa, công thức tổng quát để tính bậc tự do của cơ cấu **phẳng** như sau:

$$W = 3n - (2p_5 + p_4 - R_{trung} - R_{thua}) - W_{thua} \quad (1.5)$$

• Ví dụ về ràng buộc trùng



Hình 1.23



Hình 1.24

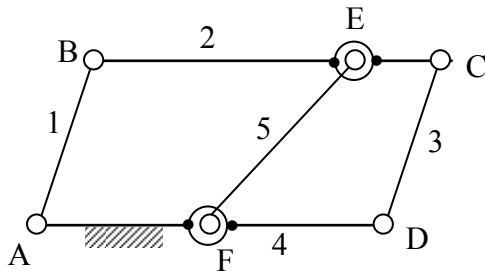
Trong cơ cấu phẳng, ràng buộc trùng chỉ có tại các khớp đóng kín của đa giác gồm 3 khâu nối với nhau bằng 3 khớp trượt.

Ví dụ xét cơ cấu trên hình 1.23. Giả sử lấy khớp B làm khớp đóng kín. Khi nối khâu 1, khâu 3 và khâu 2 bằng các khớp A và C, khâu 2 không thể quay tương đối so với khâu 1 quanh trục Oz (trục Oz vuông góc với mặt phẳng chuyển động của cơ cấu), tức là có một ràng buộc *gián tiếp* Q_z giữa khâu 1 và khâu 2 (hình 1.24). Khi nối *trực tiếp* khâu 1 và khâu 2 bằng khớp đóng kín B, khớp B lại tạo thêm ràng buộc Q_z . Như vậy, ở đây có một ràng buộc trùng: $R_{trung} = 1$.

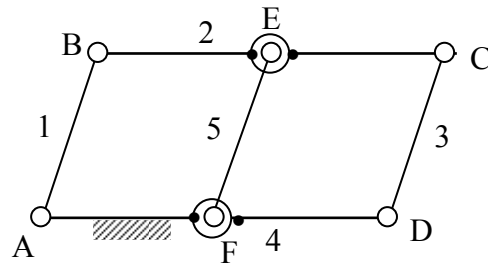
Tóm lại, bậc tự do của cơ cấu ($n = 2$, $p_5 = 3$, $p_4 = 0$):

$$W = 3n - (2p_5 + p_4 - R_{trung}) = 3.2 - (2.3 - 1) = 1.$$

• Ví dụ về ràng buộc thừa



Hình 1.25



Hình 1.26

Xét hệ cho trên hình 1.25: $n = 4$, $p_5 = 6$. Bậc tự do của hệ tính theo công thức (1.4): $W = 3n - (2p_5 + p_4) = 3.4 - (2.6 + 0) = 0$. Điều này có nghĩa hệ đã cho là một khung tĩnh định.

Tuy nhiên nếu thay đổi cấu trúc hệ như hình 1.26 với kích thước động thỏa mãn điều kiện: $l_{AB} = l_{CD} = l_{EF}$; $l_{AF} = l_{BE}$; $l_{BC} = l_{AD}$ thì hệ sẽ chuyển động được và thực sự là một cơ cấu, tức là bậc tự do thực của hệ phải lớn hơn 0.

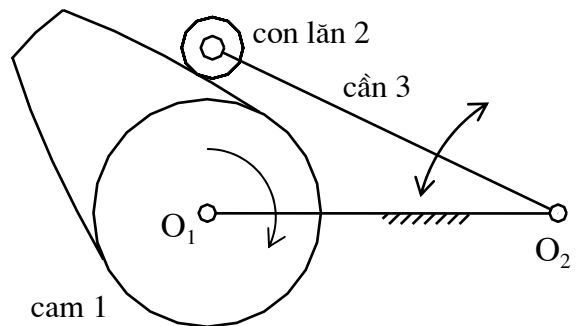
Điều này được giải thích như sau: Khi chưa nối khâu 2 và khâu 4 bằng khâu 5 và hai khớp quay E, F thì hệ là một cơ cấu bốn khâu bản lề phẳng có bậc tự do $W = 1$, có lược đồ là một hình bình hành ABCD. Do đặc điểm hình học của cơ cấu, khoảng cách giữa hai điểm E của khâu 2 và điểm F của khâu 4 với $l_{AF} = l_{BE}$ luôn luôn không đổi khi cơ cấu chuyển động. Thế mà, việc nối điểm E của khâu 2 và điểm F của khâu 4 bằng khâu 5 và hai khớp quay E, F chỉ nhằm mục đích giữ cho hai điểm E và F cách nhau một khoảng không đổi, nên ràng buộc do khâu 5 và 2 khớp quay E, F là ràng buộc thừa. Mặc khác, khi thêm khâu 5 và hai khớp quay E, F vào cơ cấu sẽ tạo thêm cho cơ cấu một bậc tự do bằng ($n = 1$, $p_5 = 2$): $W = 3.n - (2p_5 + p_4) = 3.1 - (2.2) = -1$, tức là tạo ra một ràng buộc. Như vậy số ràng buộc thừa trong trường hợp này sẽ bằng: $R_{thua} = 1$.

Tóm lại, bậc tự do của cơ cấu: $W = 3n - (2p_5 + p_4 - R_{thua}) = 3.4 - (2.6 + 0 - 1) = 1$.

• Ví dụ về bậc tự do thừa

Trong cơ cấu cam cần lắc đáy lăn (dùng để biến chuyển động quay liên tục của cam 1 thành chuyển động lắc qua lại theo một quy luật cho trước của cần 3 - hình 1.27), ta có: $n = 3$, $p_5 = 3$ (ba khớp quay loại 5); $p_4 = 1$ (một khớp cam phẳng loại 4). Bậc tự do của hệ tính theo công thức (1.4): $W = 3.3 - (2.3 + 1) = 2$.

Tuy nhiên, bậc tự do của cơ cấu: $W = 1$, bởi vì khi cho cam quay đều thì chuyển động của cần hoàn toàn xác định. Ở đây có một bậc tự do thừa: $W_{thua} = 1$, đó là chuyển động quay của con



Hình 1.27: Cơ cấu cam cần lắc đáy lăn

lăn xung quanh trục của mình, bởi vì khi cho con lăn quay xung quanh trục này, cấu hình của cơ cấu hoàn toàn không thay đổi.

Tóm lại, bậc tự do của cơ cấu: $W = 3n - (2p_5 + p_4) - W_{thua} = 3.3 - (2.3 + 1) - 1 = 1$.

4) Khâu dẫn - Khâu bị dẫn - Khâu phát động

• Khâu dẫn

Khâu dẫn là khâu có thông số vị trí cho trước (hay nói khác đi, có quy luật chuyển động cho trước).

Ví dụ trong cơ cấu 4 khâu bản lề hình 1.20, khâu dẫn là khâu 1 có quy luật chuyển động $\varphi_1 = \varphi_1(t)$ cho trước.

Thông thường, khâu dẫn được chọn là khâu nối với giá bằng khớp quay và chỉ cần một thông số để xác định vị trí của nó. Thế mà, số bậc tự do của cơ cấu là số thông số vị trí cần cho trước để vị trí của cơ cấu hoàn toàn xác định, do đó thông thường cơ cấu có bao nhiêu bậc tự do sẽ cần có bấy nhiêu khâu dẫn.

• **Khâu bị dẫn**

Ngoài giá và khâu dẫn ra, các khâu còn lại được gọi là *khâu bị dẫn*.

Khái niệm khâu dẫn, khâu bị dẫn không có ý nghĩa đối với các cơ cấu rôbốt. Trong các cơ cấu này, không có khâu nào mà chuyển động hoàn toàn phụ thuộc vào chuyển động của một hay một số khâu khác, chuyển động của mỗi khâu được điều khiển bằng một kích hoạt riêng biệt.

• **Khâu phát động**

Khâu phát động là khâu được nối trực tiếp với nguồn năng lượng làm cho máy chuyển động. Ví dụ, với động cơ đốt trong hình 1.1, khâu phát động là pittông. Còn khâu dẫn thường được chọn là khâu có vận tốc góc không đổi hay theo yêu cầu làm việc phải có vận tốc góc không đổi, ở đây chọn trục khuỷu làm khâu dẫn.

Khâu phát động có thể trùng hay không trùng với khâu dẫn, tuy nhiên thông thường người ta chọn khâu dẫn trùng với khâu phát động.

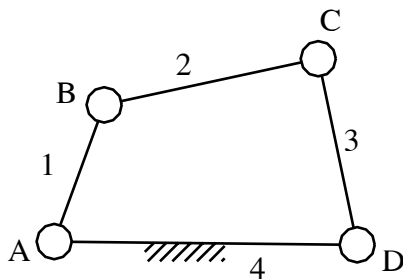
§3. Xếp hạng cơ cấu phẳng

1) Nhóm Atxua – Hạng của nhóm

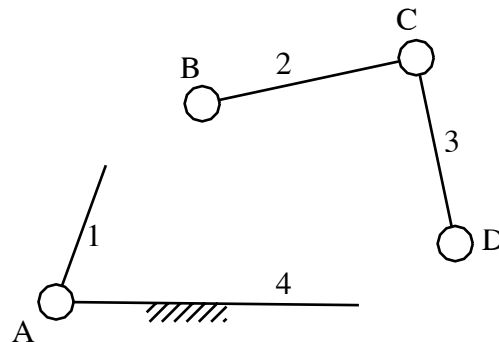
• **Nhóm tĩnh định :**

Xét cơ cấu bốn khâu bản lề ABCD (hình 1.28). Tách khỏi cơ cấu khâu dẫn 1 và giá 4, sẽ còn lại một nhóm gồm hai khâu 2 và 3 nối với nhau bằng khớp quay C (hình 1.29). Ngoài ra trên mỗi khâu còn một thành phần khớp và được gọi là *khớp chờ* : khớp chờ B và khớp chờ C. Như vậy nhóm còn lại gồm có hai khâu ($n = 2$) và ba khớp quay ($p_5 = 3$), bậc tự do của nhóm: $W = 3.2 - 2.3 = 0$. Đây là một nhóm tĩnh định vì khi cho trước vị trí của các khớp chờ thì vị trí của khớp trong C hoàn toàn xác định.

Nhóm tĩnh định là nhóm có bậc tự do bằng 0 và không thể tách thành các nhóm nhỏ hơn có bậc tự do bằng 0.



Hình 1.28

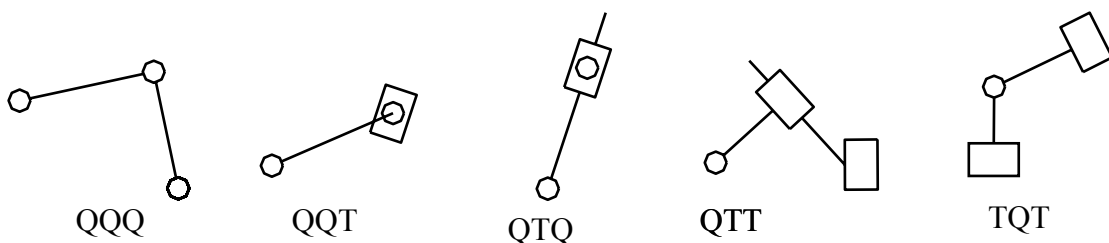


Hình 1.29

• **Hạng của nhóm tĩnh định**

+ Nhóm tĩnh định chỉ có hai khâu và ba khớp được gọi là *nhóm Atxua hạng II*.

Có năm loại nhóm Atxua hạng II như sau (hình 1.30):



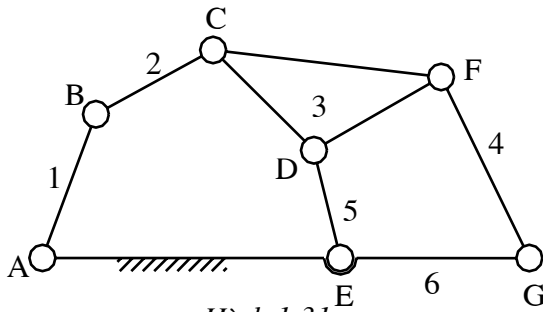
Hình 1.30

Nhóm gồm có hai khâu và ba khớp trượt không phải là một nhóm tĩnh định vì bậc tự do của nhóm bằng 1.

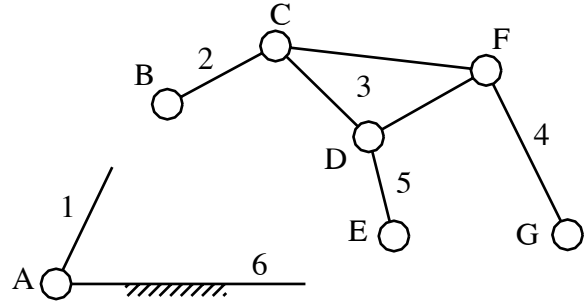
+ *Nhóm Atxua có hạng cao hơn II:*

Nếu các khớp trong của một nhóm tĩnh định tạo thành một đa giác thì hạng của nhóm Atxua được lấy bằng số đỉnh của đa giác, nếu tạo thành nhiều đa giác thì hạng của nhóm lấy bằng số đỉnh của đa giác nhiều đỉnh nhất.

Ví dụ cơ cấu trên hình 1.31 có thể tách thành khâu dẫn 1 nối giá bằng khớp và một nhóm tĩnh định BCDEG (hình 1.32). Các khớp chờ là khớp B, E, G. Các khớp trong là khớp C, D, E. Nhóm này có một đa giác khép kín là CDF có ba đỉnh nên là nhóm hạng III.



Hình 1.31



Hình 1.32

2) Hạng của cơ cấu

+ Cơ cấu hạng I là cơ cấu có một khâu động nối với giá bằng khớp quay, ví dụ cơ cấu roto máy điện.

+ Cơ cấu có số khâu động lớn hơn 1 có thể coi là tổ hợp của một hay nhiều cơ cấu hạng I với một số nhóm Atxua. Nếu cơ cấu chỉ có một nhóm Atxua thì hạng của cơ cấu là hạng của nhóm. Nếu cơ cấu có nhiều nhóm Atxua thì hạng của cơ cấu lấy bằng hạng của nhóm Atxua có hạng cao nhất.

Ví dụ cơ cấu trên hình 1.31 là cơ cấu hạng III.

Việc xếp hạng cơ cấu có ý nghĩa thiết thực trong việc nghiên cứu các một số bài tính động học và lực học của cơ cấu.



BÀI TẬP CHƯƠNG I:

Bài 1: Tính bậc tự do của cơ cấu động cơ đốt trong kiểu chữ V (hình 1.33).

Bài 2: Tính bậc tự do của cơ cấu vẽ đường thẳng của Lipkin (hình 1.34).

Cho : $l_{AD} = l_{AE}$; $l_{BD} = l_{DC} = l_{CE} = l_{EB}$; $l_{AF} = l_{FB}$

Bài 3: Tính bậc tự do của cơ cấu chuyển động theo quỹ đạo cho trước (hình 1.35).

Bài 4: Tính bậc tự do của cơ cấu vẽ đường thẳng (hình 1.36).

Cho $l_{ED} = l_{FG} = l_{FD}$; $l_{CD} = l_{CF} = 1.96l_{ED}$; $l_{ED} = l_{EG}$

BÀI GIẢI:

Bài 1:

Số khâu động: $n = 5$

Số khớp loại 5 (khớp thấp): $p_5 = 7$ (5 khớp quay A, B, C, D, E và 2 khớp trượt C,E)

Số khớp loại 4 (khớp cao): $p_4 = 0$

$$\Rightarrow W = 3n - (2p_5 + p_4) = 3.5 - (2.7 + 1.0) \Rightarrow \boxed{W = 1}$$

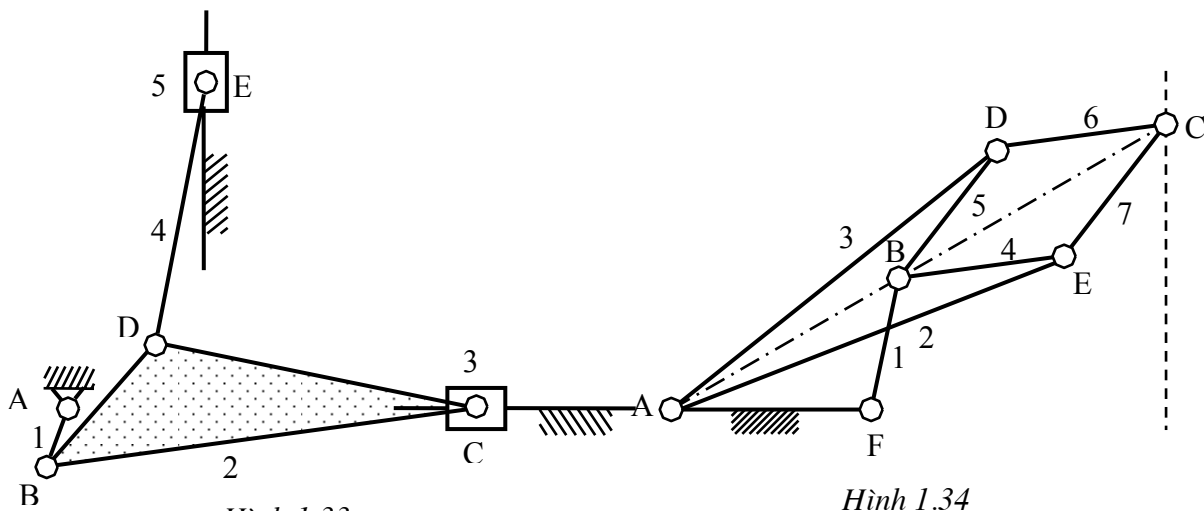
Bài 2:

Số khâu động: $n = 7$

Số khớp loại 5 (khớp thấp): $p_5 = 10$ (10 khớp quay: tại A có 2 khớp quay vì có 3 khâu nối động với nhau, tại B có 2 khớp quay, tại C có 1 khớp quay, tại D có 2 khớp quay, tại E có 2 khớp quay, tại F có 1 khớp quay).

Số khớp loại 4 (khớp cao): $p_4 = 0$

$$\Rightarrow W = 3n - (2p_5 + p_4) = 3.7 - (2.10 + 1.0) \Rightarrow \boxed{W = 1}$$



Hình 1.33

Hình 1.34

Bài 3:

Số khâu động: $n = 5$

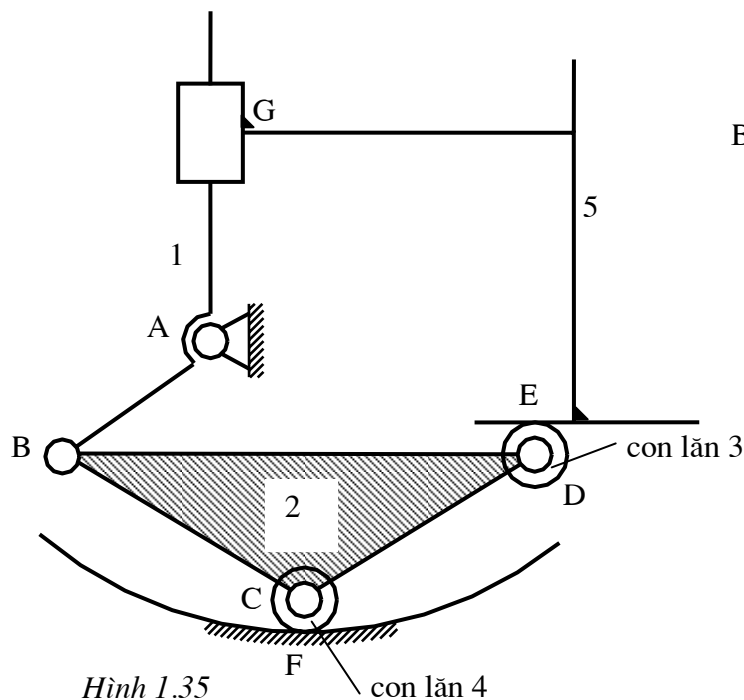
Số khớp loại 5 (khớp thấp): $p_5 = 5$ (4 khớp quay: A, B, C, D; 1 khớp trượt G)

Số khớp loại 4 (khớp cao): $p_4 = 2$ (2 khớp cao tại E và F)

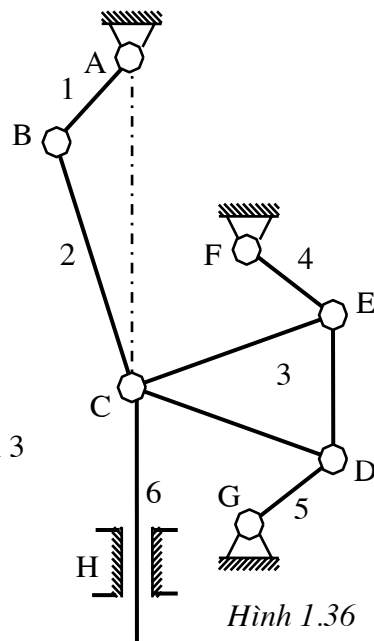
$$\Rightarrow W = 3n - (2p_5 + p_4) = 3.5 - (2.5 + 1.2) \Rightarrow W = 3$$

Trong cơ cấu nói trên có 2 bậc tự do thừa: $W_{thua} = 2$, đó là chuyển động quay của con lăn 3 và con lăn 4 quanh trục của mình.

Tóm lại, bậc tự do của cơ cấu: $\boxed{W = 1}$



Hình 1.35



Hình 1.36

Bài 4:

Số khâu động: $n = 6$

Số khớp loại 5 (khớp thấp): $p_5 = 9$ (1 khớp quay tại A, 1 khớp quay tại B, 2 khớp quay tại C, 1 khớp quay tại D, 1 khớp quay tại E, 1 khớp quay tại F, 1 khớp quay tại G, 1 khớp trượt tại H.

Số khớp loại 4 (khớp cao): $p_4 = 0$

$$\Rightarrow W = 3n - (2p_5 + p_4) = 3.6 - (2.9 + 1.0) \Rightarrow W = 0$$

Tuy nhiên, do đặc điểm hình học của cơ cấu, nên khi chưa nối điểm C trên khâu 3 với giá bằng khâu 6, khớp quay C và khớp trượt H thì điểm C trên khâu 3 vẫn chuyển động tịnh tiến theo đường thẳng đứng. Việc nối điểm C trên khâu 3 với giá bằng khâu 6, khớp quay C và khớp trượt H cũng chỉ có tác dụng làm cho điểm C trên khâu 3 chuyển động tịnh tiến theo phương thẳng đứng. Do vậy ràng buộc này là ràng buộc thừa. Mặc khác, việc nối điểm C trên khâu 3 với giá bằng khâu 6, khớp quay C và khớp trượt H tạo nên số bậc tự do bằng $W = 3n - (2p_5 + p_4) = 3.1 - (2.2 + 1.0) = -1$ (với $n = 1, p_5 = 2, p_4 = 0$), tức là tạo nên 1 ràng

buộc \Rightarrow Số ràng buộc thừa: $R_{thua} = 1$

$$\text{Tóm lại, bậc tự do của cơ cấu: } W = 3n - (2p_5 + p_4 - R_{thua}) = 3.6 - (2.9 + 1.0 - 1) \Rightarrow \boxed{W = 1}$$



PHÂN TÍCH ĐỘNG HỌC CƠ CẤU PHẪNG

- Nội dung bài toán phân tích động học cơ cấu:

Số liệu cho trước:

- + Lược đồ động của cơ cấu
- + Khâu dẫn và quy luật chuyển động của khâu dẫn

Yêu cầu:

Xác định quy luật chuyển động của cơ cấu

- Bài toán phân tích động học cơ cấu bao gồm ba bài toán :

- + Bài toán vị trí và quỹ đạo
- + Bài toán vận tốc
- + Bài toán gia tốc

• Có nhiều phương pháp khác nhau để giải bài toán phân tích động học cơ cấu. Chương này chủ yếu giới thiệu phương pháp họa đồ (phương pháp vẽ - dựng hình).

§1. Bài toán vị trí (chuyển vị) và quỹ đạo

- Số liệu cho trước

- + Lược đồ động của cơ cấu
- + Khâu dẫn

- Yêu cầu

- + Xác định quy luật chuyển vị của các khâu bị dẫn theo góc quay (góc vị trí) φ của khâu dẫn:
- Quy luật chuyển vị $s = s(\varphi)$ nếu khâu bị dẫn tịnh tiến.
- Quy luật chuyển vị $\psi = \psi(\varphi)$ nếu khâu bị dẫn quay xung quanh một điểm cố định.
- + Quỹ đạo của một điểm bất kỳ trên cơ cấu

- Ví dụ

➤ Số liệu cho trước

- + Lược đồ động của cơ cấu tay quay- con trượt (hình 2.1)
- + Khâu dẫn là khâu AB

➤ Yêu cầu

- + Xác định quy luật chuyển vị $s = s(\varphi)$ của con trượt C
- + Xác định quỹ đạo của điểm D trên thanh truyền BC

➤ Cách xây dựng đồ thị $s = s(\varphi)$

+ Dựng vòng tròn tâm A, bán kính l_{AB} . Chia vòng tròn (A, l_{AB}) thành n phần đều nhau bằng các điểm B_1, B_2, \dots, B_n .

+ Vòng tròn (B_1, l_{BC}) cắt phương trượt Ax của con trượt C tại điểm C_1 .

Chọn vị trí C_0 của con trượt C tương ứng với vị trí B_0 của điểm B làm gốc để xác định s. Chiều dương để xác định s là chiều ngược chiều Ax. Chọn Ax làm gốc để xác định góc quay φ của khâu dẫn AB. Chiều dương để xác định φ là chiều quay của ω_1 . Khi đó $s_i = \overline{C_0C_i}$ là chuyển

vị của con trượt C ứng với góc quay $\varphi_i = \widehat{xAB_i}$ của khâu dẫn AB.

+ Với các cặp (φ_i, s_i) khác nhau, ta dựng được đồ thị chuyển vị $s = s(\varphi)$ của con trượt C theo góc quay φ của khâu dẫn AB (hình 2.1).

➤ Cách xây dựng quỹ đạo của điểm D trên thanh truyền BC

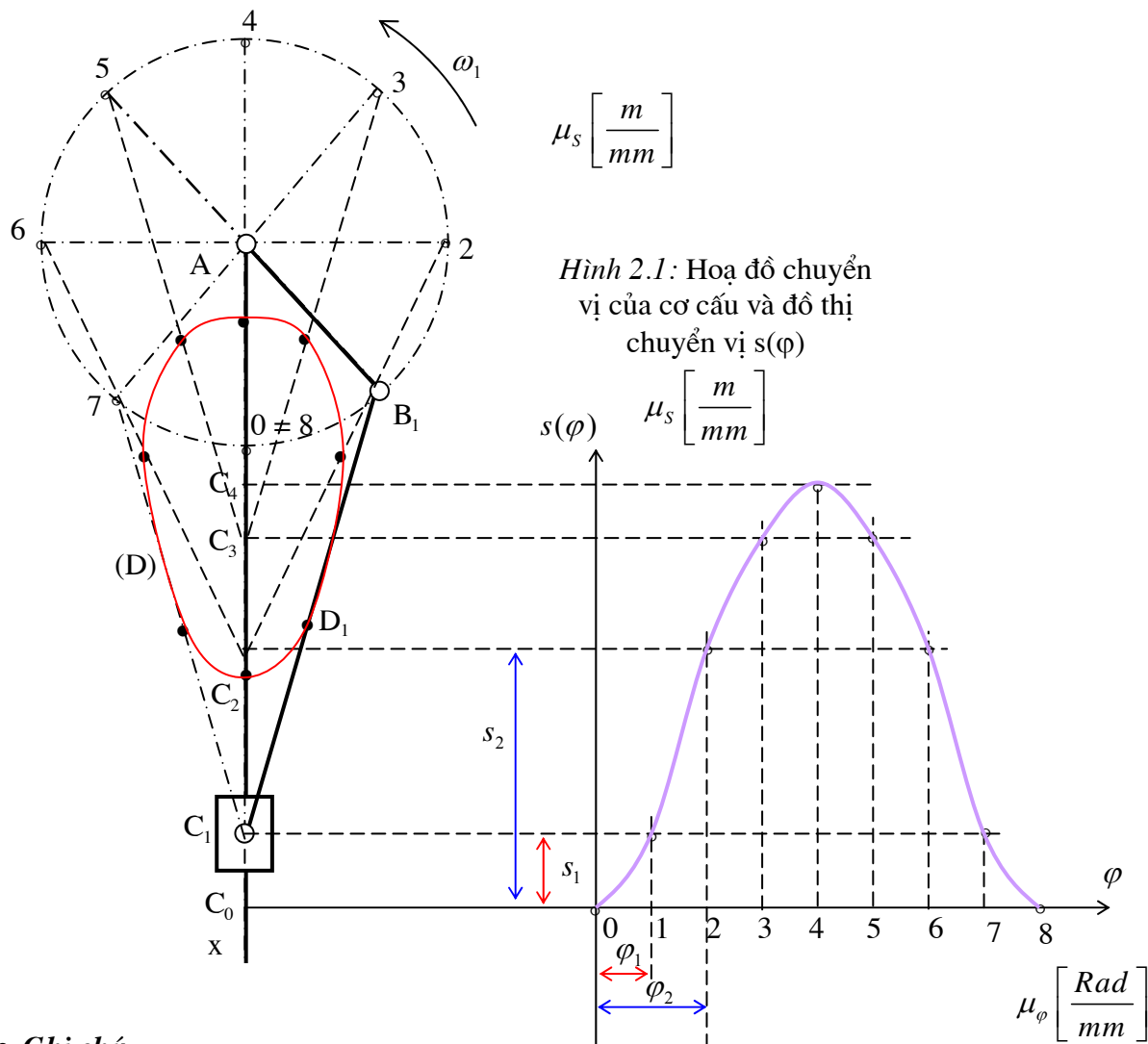
+ Khi dựng các vị trí B_iC_i của thanh truyền BC, ta dựng các điểm D_i tương ứng trên B_iC_i .

+ Nối các điểm D_i này lại, ta được quỹ đạo (D) của điểm D (hình 2.1).

Đường cong (D), quỹ đạo của một điểm D trên thanh truyền BC được gọi là *đường cong thanh truyền*.

Vì cơ cấu chuyển động có chu kỳ là với chu kỳ bằng $\Phi = 2\pi$ (bởi vì sau một vòng quay của khâu dẫn AB, cơ cấu trở về vị trí ban đầu) nên quỹ đạo của điểm D là đường cong kín.

Chu kỳ Φ được gọi là chu kỳ vị trí hay chu kỳ động học của cơ cấu.



Hình 2.1: Hoạ đồ chuyển vị của cơ cấu và đồ thị chuyển vị $s(\varphi)$

• **Ghi chú**

+ Hình vẽ biểu diễn vị trí tương đối giữa các khâu ứng với các vị trí khác nhau của khâu dẫn AB được gọi là *hoạ đồ chuyển vị* của cơ cấu.

Hình vẽ biểu diễn vị trí tương đối giữa các khâu ứng với một vị trí xác định của khâu dẫn AB được gọi là *hoạ đồ cơ cấu*.

+ Khi dựng hoạ đồ chuyển vị của cơ cấu, ta đã dùng một tỷ xích là μ_l xác định như sau:

$$\mu_l = \frac{\text{Giá trị thực của kích thước}}{\text{Kích thước của đoạn biểu diễn}} = \frac{l_{AB}}{AB} \left[\frac{m}{mm} \right].$$

Tương tự như trên, các trục s và φ của đồ thị chuyển vị $s = s(\varphi)$ cũng có tỷ xích lần lượt là

$$\mu_s \left[\frac{m}{mm} \right] \text{ và } \mu_\varphi \left[\frac{Rad}{mm} \right].$$

§2. Bài toán vận tốc

• **Số liệu cho trước**

+ Lược đồ động của cơ cấu

+ Khâu dẫn và quy luật vận tốc của khâu dẫn

• **Yêu cầu**

Xác định vận tốc của tất cả các khâu của cơ cấu tại một vị trí cho trước.

• **Ví dụ 1**

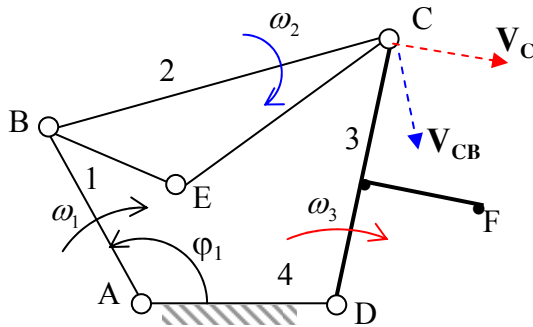
➤ **Số liệu cho trước**

+ Lược đồ động của cơ cấu bốn khâu bản lề ABCD

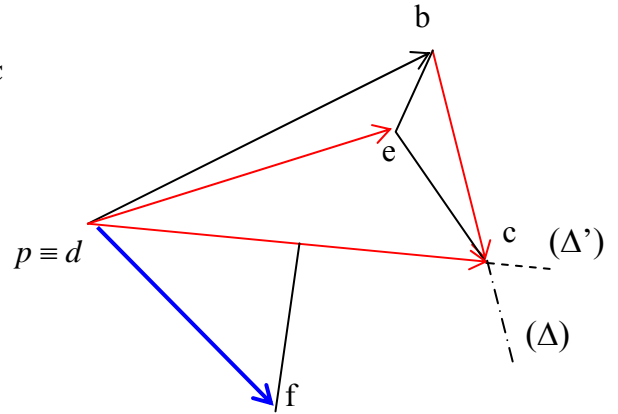
+ Khâu dẫn AB có vận tốc góc là ω_1 với $\omega_1 =$ hằng số

➤ **Yêu cầu**

Xác định vận tốc của tất cả các khâu của cơ cấu tại vị trí khâu dẫn có vị trí xác định bằng góc φ_1 (hình 2.2)



Hình 2.2: Cơ cấu bốn khâu bản lề



Hình 2.3: Họạ đồ vận tốc

➤ **Phương pháp giải bài toán vận tốc**

+ Vận tốc của một khâu coi như được xác định nếu biết *hoặc* vận tốc góc của khâu và vận tốc dài của một điểm trên khâu đó, *hoặc* vận tốc dài của hai điểm trên khâu. Do vậy với bài toán đã cho, chỉ cần xác định vận tốc \vec{V}_C của điểm C trên khâu 2 (hay trên khâu 3).

+ Để giải bài toán vận tốc, ta cần viết phương trình vận tốc.

Hai điểm B và C thuộc cùng một khâu (khâu 2), phương trình vận tốc như sau:

$$\vec{V}_C = \vec{V}_B + \vec{V}_{CB} \quad (2.1)$$

Khâu AB quay xung quanh điểm A, nên vận tốc $\vec{V}_B \perp AB$ và $V_B = \omega_1 l_{AB}$.

\vec{V}_{CB} là vận tốc tương đối của điểm C so với điểm B: $\vec{V}_{CB} \perp BC$ và $V_{CB} = \omega_2 l_{BC}$. Do ω_2 chưa biết nên giá trị của \vec{V}_{CB} là một ẩn số của bài toán.

Khâu 3 quay quanh điểm D, do đó: $\vec{V}_C \perp DC$ và $V_C = \omega_3 l_{DC}$. Do ω_3 chưa biết nên giá trị của \vec{V}_C là một ẩn số của bài toán.

+ Phương trình (2.1) có hai ẩn số và có thể giải được bằng phương pháp họạ đồ:

Chọn một điểm p làm gốc. Từ p vẽ \overline{pb} biểu diễn \vec{V}_B . Qua b, vẽ đường thẳng Δ song song với phương của \vec{V}_{CB} . Trở về gốc p, vẽ đường thẳng Δ' song song với phương của \vec{V}_C . Hai đường Δ và Δ' giao nhau tại điểm c. Suy ra: \overline{pc} biểu diễn \vec{V}_C , vectơ \overline{bc} biểu diễn \vec{V}_{CB} (hình 2.3).

+ Hình vẽ (2.3) gọi là *họạ đồ vận tốc* của cơ cấu. Điểm p gọi là *gốc họạ đồ*.

Tương tự như khi vẽ họạ đồ cơ cấu, họạ đồ vận tốc cũng được vẽ với tỷ xích là μ_V :

$$\mu_V = \frac{\text{giá trị thực của vận tốc}}{\text{kích thước của đoạn biểu diễn}} = \frac{V_B}{pb} \left[\frac{m}{mm \cdot s} \right]$$

Đo các đoạn pc và bc trên họạ đồ vận tốc, ta có thể xác định giá trị của các vận tốc \vec{V}_C và \vec{V}_{CB} :

$$\boxed{V_C \left[\frac{m}{s} \right] = \mu_V \left[\frac{m/s}{mm} \right] \cdot pc [mm]}; \quad \boxed{V_{CB} \left[\frac{m}{s} \right] = \mu_V \left[\frac{m/s}{mm} \right] \cdot bc [mm]}$$

+ Cách xác định vận tốc góc của khâu 3 và khâu 2

$$\text{Ta có: } \omega_3 = \frac{V_C}{l_{CD}} \text{ và } \omega_2 = \frac{V_{CB}}{l_{BC}}$$

Chiều của ω_3 và ω_2 được suy từ chiều của \vec{V}_C và \vec{V}_{CB} (hình 2.2).

+ Cách xác định vận tốc \vec{V}_E của một điểm E trên khâu 2:

Do hai điểm B và E thuộc cùng một khâu (khâu 2), ta có phương trình vận tốc:

$$\vec{V}_E = \vec{V}_B + \vec{V}_{EB} \quad (2.2)$$

\vec{V}_{EB} là vận tốc tương đối của điểm E so với điểm B: $\vec{V}_{EB} \perp BE$ và $V_{EB} = \omega_2 l_{BE}$.

Phương trình (2.2) có hai ẩn số là giá trị và phương của \vec{V}_E nên có thể giải bằng phương pháp họa đồ như sau: Từ b vẽ \vec{be} biểu diễn \vec{V}_{EB} . Suy ra: \vec{pe} biểu diễn \vec{V}_E .

+ Hai điểm C và E cũng thuộc cùng một khâu (khâu 2), do đó ta có: $\vec{V}_E = \vec{V}_C + \vec{V}_{EC}$ với \vec{V}_{EC} là vận tốc tương đối của điểm E so với điểm C. Mặt khác, từ hình 2.3 ta thấy: $\vec{pe} = \vec{pc} + \vec{ce}$. Thế mà \vec{pc} biểu diễn \vec{V}_C , \vec{pe} biểu diễn \vec{V}_E . Do vậy \vec{ce} biểu diễn \vec{V}_{EC} .

• Nhận xét về họa đồ vận tốc

+ Trên họa đồ vận tốc (hình 2.3) ta thấy:

Các vectơ có gốc tại p, mút tại b, c, e... biểu diễn vận tốc *tuyệt đối* của các điểm tương ứng trên cơ cấu: \vec{pb} biểu diễn \vec{V}_B ; \vec{pc} biểu diễn \vec{V}_C ; \vec{pe} biểu diễn \vec{V}_E ...

Các vectơ không có gốc tại p như \vec{bc} , \vec{be} , \vec{ce} biểu diễn vận tốc *tương đối* giữa hai điểm tương ứng trên cơ cấu: \vec{bc} biểu diễn \vec{V}_{CB} ; \vec{be} biểu diễn \vec{V}_{EB} ; \vec{ce} biểu diễn \vec{V}_{EC} ...

+ Định lý đồng dạng thuận:

Hình nối các điểm trên cùng một khâu đồng dạng thuận với hình nối mút các vectơ vận tốc tuyệt đối của các điểm đó trên họa đồ vận tốc.

Thật vậy, ba điểm B, C, E thuộc cùng khâu 2 (hình 2.2). Mút của các vectơ vận tốc của các điểm B, C, E lần lượt là b, c, e. Vì $BC \perp bc$ (hay \vec{V}_{CB}); $BE \perp be$ (hay \vec{V}_{EB}); $CE \perp ce$ (hay \vec{V}_{EC}) nên $\triangle BCE \approx \triangle bce$. Mặt khác, thứ tự các chữ B, C, E và b, c, e đều đi theo cùng một chiều như nhau: hai tam giác BCE và bce đồng dạng thuận với nhau.

Định lý đồng dạng thuận được áp dụng để xác định vận tốc của một điểm bất kỳ trên một khâu khi đã biết vận tốc hai điểm khác nhau thuộc khâu đó.

Ví dụ xác định vận tốc của điểm F trên khâu 3 (hình 2.2): Do ba điểm C, D, F thuộc cùng khâu 3 và mút của các vectơ vận tốc của các điểm C, D lần lượt là c và $d \equiv p$ nên khi vẽ tam giác cdf trên họa đồ vận tốc đồng dạng thuận với tam giác CDF trên cơ cấu thì \vec{pf} sẽ biểu diễn vận tốc \vec{V}_F của điểm F (hình 2.3).

+ Dạng họa đồ vận tốc chỉ phụ thuộc vào vị trí cơ cấu (hay nói khác đi, chỉ phụ thuộc vào góc vị trí φ_1 của khâu dẫn), do đó các tỷ số: $\frac{V_{CB}}{\omega_1}$, $\frac{\omega_2}{\omega_1}$, $\frac{V_C}{\omega_1}$, $\frac{\omega_3}{\omega_1}$... chỉ phụ thuộc vào vị trí cơ cấu,

$$\text{nghĩa là: } \frac{V_{CB}}{\omega_1} = \frac{V_{CB}}{\omega_1}(\varphi_1); \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1}(\varphi_1); \frac{V_C}{\omega_1} = \frac{V_C}{\omega_1}(\varphi_1); \frac{\omega_3}{\omega_1} = \frac{\omega_3}{\omega_1}(\varphi_1) \dots$$

• Ví dụ 2

➤ Số liệu cho trước

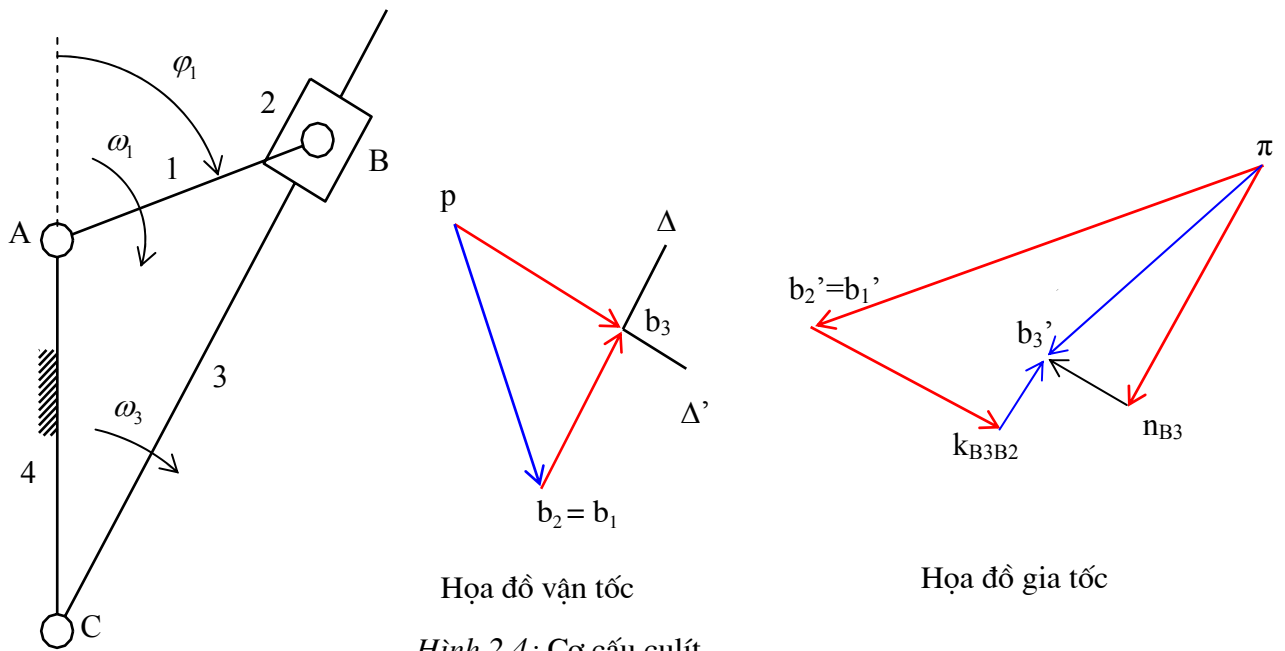
- + Lược đồ động của cơ cấu bốn culít (hình 2.4)
- + Khâu dẫn AB có vận tốc góc là ω_1 với $\omega_1 =$ hằng số

➤ **Yêu cầu**

Xác định vận tốc của tất cả các khâu của cơ cấu tại vị trí (thời điểm) khâu dẫn có vị trí xác định bằng góc φ_1 .

• **Giải**

+ Hai khâu 1 và 2 nối nhau bằng khớp quay nên: $\vec{V}_{B_1} = \vec{V}_{B_2}$. Khâu 2 và khâu 3 nối nhau bằng khớp trượt nên $\omega_2 = \omega_3$. Do vậy, đối với bài toán này, chỉ cần tìm vận tốc \vec{V}_{B_3} của điểm B₃ trên khâu 3.



Hình 2.4: Cơ cấu culít

+ Hai điểm B₃ và B₂ thuộc hai khâu khác nhau nối nhau bằng khớp trượt, do đó phương trình vận tốc như sau:

$$\vec{V}_{B_3} = \vec{V}_{B_2} + \vec{V}_{B_3B_2} \tag{2.3}$$

Do $\vec{V}_{B_2} = \vec{V}_{B_1}$ và khâu 1 quay xung quanh điểm A nên $\vec{V}_{B_2} = \vec{V}_{B_1} \perp AB$ và $V_{B_2} = V_{B_1} = \omega_1 l_{AB}$.

$\vec{V}_{B_3B_2}$ là vận tốc trượt tương đối của điểm B₃ so với điểm B₂: $\vec{V}_{B_3B_2}$ song song với phương trượt của khớp trượt B. Giá trị của $\vec{V}_{B_3B_2}$ là một ẩn số của bài toán.

Khâu 3 quay quanh điểm C, do đó: $\vec{V}_{B_3} \perp CB$ và $V_{B_3} = \omega_3 l_{CB}$. Do ω_3 chưa biết nên giá trị của \vec{V}_{B_3} là một ẩn số của bài toán.

+ Phương trình (2.3) có hai ẩn số và có thể giải được bằng phương pháp họa đồ :

Chọn một điểm p làm gốc. Từ p vẽ $\overline{pb_2}$ biểu diễn $\vec{V}_{B_2} = \vec{V}_{B_1}$. Qua b₂, vẽ đường thẳng Δ song song với phương của $\vec{V}_{B_3B_2}$ (tức là song song với BC). Trở về gốc p, vẽ đường thẳng Δ' song song với phương của \vec{V}_{B_3} (tức là vuông góc với BC). Hai đường Δ và Δ' giao nhau tại điểm b₃. Suy ra : $\overline{pb_3}$ biểu diễn \vec{V}_{B_3} , $\overline{b_2b_3}$ biểu diễn $\vec{V}_{B_3B_2}$ (hình 2.4).

§3. Bài toán gia tốc

• **Số liệu cho trước**

- + Lược đồ động của cơ cấu
- + Khâu dẫn và quy luật vận tốc, quy luật gia tốc của khâu dẫn

• **Yêu cầu**

Xác định gia tốc của tất cả các khâu của cơ cấu tại một vị trí cho trước.

• **Ví dụ 1**

➤ **Số liệu cho trước**

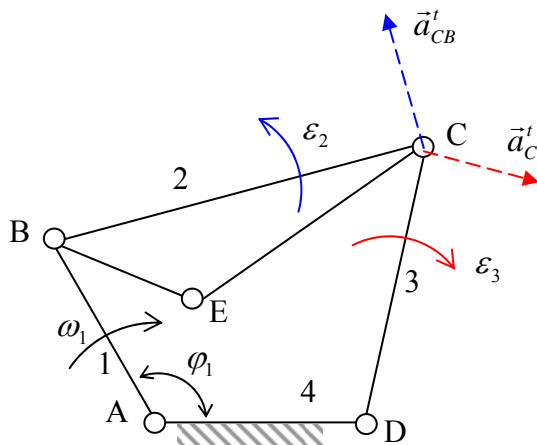
- + Lược đồ động của cơ cấu bốn khâu bản lề ABCD (hình 2.5).
- + Khâu dẫn AB có vận tốc góc ω_1 với $\omega_1 =$ hằng số (gia tốc góc của khâu 1: $\varepsilon_1 = 0$)

➤ **Yêu cầu**

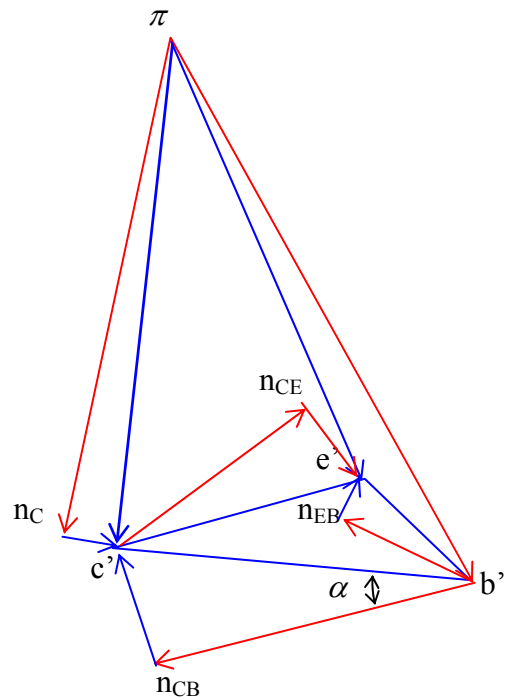
Xác định gia tốc của tất cả các khâu của cơ cấu tại vị trí khâu dẫn có vị trí xác định bằng góc φ_1 (hình 2.5).

➤ **Phương pháp giải bài toán gia tốc**

- + Giả sử bài toán vận tốc đã giải xong.
- + Gia tốc của một khâu coi như được xác định nếu biết *hoặc* gia tốc dài của hai điểm trên khâu đó, *hoặc* vận tốc góc, gia tốc góc của khâu và gia tốc dài của một điểm trên khâu đó. Do vậy, với bài toán đã cho, chỉ cần xác định gia tốc \vec{a}_C của điểm C trên khâu 2 (hay khâu 3).



Hình 2.5 : Cơ cấu bốn khâu bản lề



Hình 2.6 : Họa đồ gia tốc

+ Để giải bài toán gia tốc, cần viết phương trình gia tốc.

Hai điểm B và C thuộc cùng một khâu (khâu 2), nên phương trình vận tốc như sau:

$$\vec{a}_C = \vec{a}_B + \vec{a}_{CB}$$

Hay:
$$\vec{a}_C = \vec{a}_B + \vec{a}_{CB}^n + \vec{a}_{CB}^t \tag{2.4}$$

Khâu 1 quay đều quanh tâm A nên gia tốc \vec{a}_B của điểm B hướng từ B về A và $a_B = \omega_1^2 l_{AB}$.

\vec{a}_{CB} là gia tốc tương đối của điểm C so với điểm B.

\vec{a}_{CB}^n là thành phần pháp tuyến của \vec{a}_{CB} : $a_{CB}^n = \omega_2^2 l_{BC} = \frac{V_{CB}^2}{l_{BC}}$ và \vec{a}_{CB}^n hướng từ C về B.

\vec{a}_{CB}^t là thành phần tiếp tuyến của \vec{a}_{CB} : $a_{CB}^t = \varepsilon_2 l_{BC}$ và $\vec{a}_{CB}^t \perp BC$.

Mặt khác do khâu 3 quay quanh tâm D nên ta có:

$$\vec{a}_C = \vec{a}_C^n + \vec{a}_C^t \quad (2.5)$$

Trong đó :

\vec{a}_C^n là thành phần hướng tâm của gia tốc \vec{a}_C : \vec{a}_C^n hướng từ C về D, $a_C^n = \omega_3 l_{DC} = \frac{V_C^2}{l_{DC}}$

\vec{a}_C^t là thành phần tiếp tuyến của gia tốc \vec{a}_C : $\vec{a}_C^t \perp DC$ và $a_C^t = \varepsilon_3 l_{DC}$. Do ε_3 chưa biết nên giá trị của \vec{a}_C^t là một ẩn số của bài toán.

Từ (2.4) và (2.5) suy ra :

$$\vec{a}_C^t + \vec{a}_C^n = \vec{a}_C = \vec{a}_B + \vec{a}_{CB}^n + \vec{a}_{CB}^t \quad (2.6)$$

+ Phương trình (2.6) có hai ẩn số là giá trị của \vec{a}_C^t và \vec{a}_{CB}^t nên có thể giải bằng phương pháp họa đồ như sau:

Chọn điểm π làm gốc. Từ π vẽ $\overline{\pi b'}$ biểu diễn \vec{a}_B . Qua b' vẽ $\overline{b'n_{CB}}$ biểu diễn \vec{a}_{CB}^n . Qua n_{CB} vẽ đường thẳng Δ song song với \vec{a}_{CB}^t . Trở về gốc π , vẽ vectơ $\overline{\pi n_C}$ biểu diễn \vec{a}_C^n . Qua n_C vẽ đường thẳng Δ' song song với \vec{a}_C^t . Hai đường thẳng Δ và Δ' giao nhau tại c'. Suy ra : $\overline{\pi c'}$ biểu diễn \vec{a}_C , $\overline{n_C c'}$ biểu diễn \vec{a}_C^t , $\overline{n_{CB} c'}$ biểu diễn \vec{a}_{CB}^t (hình 2.6).

+ Hình vẽ (2.6) gọi là *họa đồ gia tốc* của cơ cấu. Điểm π gọi là *gốc học đồ*.

Tương tự như khi vẽ họa đồ vận tốc, họa đồ gia tốc cũng được vẽ với tỷ xích là μ_a :

$$\mu_a = \frac{\text{giá trị thực của gia tốc}}{\text{kích thước của đoạn biểu diễn}} = \frac{a_B}{\pi b'} \left[\frac{m}{mm.s^2} \right]$$

Do đoạn $\pi c'$ trên họa đồ gia tốc, ta có thể xác định giá trị của gia tốc \vec{a}_C :

$$\boxed{a_C \left[\frac{m}{s^2} \right] = \mu_a \left[\frac{m/s^2}{mm} \right] . \pi c' [mm]}$$

+ Cách xác định gia tốc góc của khâu 3 và khâu 2:

Ta có: $\varepsilon_3 = \frac{a_C^t}{l_{CD}}$ và $\varepsilon_2 = \frac{a_{CB}^t}{l_{BC}}$.

Chiều của ε_3 và ε_2 được suy từ chiều của \vec{a}_C^t và \vec{a}_{CB}^t (hình 2.5).

+ Cách xác định gia tốc \vec{a}_E của điểm E trên khâu 2:

Do hai điểm B và E thuộc cùng một khâu (khâu 2), ta có phương trình gia tốc:

$$\vec{a}_E = \vec{a}_B + \vec{a}_{EB}^n + \vec{a}_{EB}^t \quad (2.7)$$

Trong đó :

\vec{a}_{EB} là gia tốc tương đối của điểm E so với điểm B.

\vec{a}_{EB}^n là thành phần pháp tuyến của \vec{a}_{EB} : $a_{EB}^n = \omega_2^2 l_{BE} = \frac{V_{EB}^2}{l_{BE}}$ và \vec{a}_{EB}^n hướng từ E về B.

\vec{a}_{EB}^t là thành phần tiếp tuyến của \vec{a}_{EB} : $a_{EB}^t = \varepsilon_2 l_{BE}$ và $\vec{a}_{EB}^t \perp BE$.

Phương trình (2.7) có hai ẩn số là giá trị và phương của \vec{a}_E nên có thể giải bằng phương pháp họa đồ như sau:

Từ b' vẽ $\overline{b'n_{EB}}$ biểu diễn \vec{a}_{EB}^n . Qua n_{EB} vẽ $\overline{n_{EB}e'}$ biểu diễn \vec{a}_{EB}^t . Suy ra : $\overline{\pi e'}$ biểu diễn \vec{a}_E (hình 2.6).

+ Hai điểm C và E cũng thuộc cùng một khâu (khâu 2), do đó ta có: $\vec{a}_E = \vec{a}_C + \vec{a}_{EC}$ với \vec{a}_{EC} là vận tốc tương đối của điểm E so với điểm C. Mặt khác, từ hình 2.6 ta thấy: $\overrightarrow{\pi e'} = \overrightarrow{\pi c'} + \overrightarrow{c' e'}$. Thế mà $\overrightarrow{\pi e'}$ biểu diễn \vec{a}_E , $\overrightarrow{\pi c'}$ biểu diễn \vec{a}_C . Do vậy $\overrightarrow{c' e'}$ biểu diễn \vec{a}_{EC} .

• **Nhận xét về họa đồ gia tốc**

+ Trên họa đồ gia tốc (hình 2.6), ta thấy :

Các vectơ có gốc tại π , mút tại b, c, e... biểu diễn gia tốc *tuyệt đối* của các điểm tương ứng trên cơ cấu: $\overrightarrow{\pi b'}$ biểu diễn \vec{a}_B ; $\overrightarrow{\pi c'}$ biểu diễn \vec{a}_C ; $\overrightarrow{\pi e'}$ biểu diễn \vec{a}_E ...

Các vectơ không có gốc tại π như $\overrightarrow{b'c'}$, $\overrightarrow{b'e'}$, $\overrightarrow{c'e'}$ biểu diễn vận tốc *tương đối* giữa hai điểm tương ứng trên cơ cấu: $\overrightarrow{b'c'}$ biểu diễn \vec{a}_{CB} ; $\overrightarrow{b'e'}$ biểu diễn \vec{a}_{EB} ; $\overrightarrow{c'e'}$ biểu diễn \vec{a}_{EC} ...

+ **Định lý đồng dạng thuận:**

Hình nối các điểm trên cùng một khâu đồng dạng thuận với hình nối mút các vectơ gia tốc tuyệt đối của các điểm đó trên họa đồ gia tốc.

Thật vậy xét ba điểm B, C, E thuộc cùng khâu 2 (hình 2.6). Mút của các vectơ gia tốc của các

điểm B, C, E lần lượt là b', c', e'. Ta có: $tg(\overrightarrow{b'c'}, \overrightarrow{b'n_{CB}}) = \frac{a'_{CB}}{a^n_{CB}} = \frac{\varepsilon_2 l_{BC}}{\omega_2^2 l_{BC}} = \frac{\varepsilon_2}{\omega_2^2} = tg\alpha$ hay

$tg(\overrightarrow{b'c'}, \overrightarrow{BC}) = tg\alpha$. Tương tự: $tg(\overrightarrow{b'e'}, \overrightarrow{EB}) = tg\alpha$ và $tg(\overrightarrow{c'e'}, \overrightarrow{EC}) = tg\alpha$. Điều đó có nghĩa là các cạnh b'c', b'e', c'e' của tam giác b'c'e' đã lần lượt quay đi một góc α theo cùng một chiều so với các cạnh tương ứng CB, EB, EC của tam giác BCE, nên hai tam giác BCE và bce đồng dạng thuận với nhau.

• **Ví dụ 2**

➤ **Số liệu cho trước**

+ Lược đồ động của cơ cấu culít (hình 2.4)

+ Khâu dẫn AB có vận tốc góc ω_1 với $\omega_1 =$ hằng số (tức là gia tốc góc của khâu 1: $\varepsilon_1 = 0$)

➤ **Yêu cầu**

Xác định gia tốc của tất cả các khâu của cơ cấu tại vị trí khâu dẫn có vị trí xác định bằng góc φ_1 .

➤ **Phương pháp giải bài toán gia tốc**

+ Hai khâu 1 và 2 nối nhau bằng khớp quay nên: $\vec{a}_{B_1} = \vec{a}_{B_2}$. Khâu 2 và khâu 3 nối nhau bằng khớp trượt nên $\omega_2 = \omega_3$ và $\varepsilon_2 = \varepsilon_3$. Do vậy, đối với bài toán này, chỉ cần tìm vận tốc \vec{a}_{B_3} của điểm B₃ trên khâu 3.

+ Hai điểm B₃ và B₂ thuộc hai khâu khác nhau nối nhau bằng khớp trượt, do đó phương trình gia tốc như sau:

$$\vec{a}_{B_3} = \vec{a}_{B_2} + \vec{a}_{B_3B_2}^k + \vec{a}_{B_3B_2}^r \tag{2.8}$$

Do $\vec{a}_{B_2} = \vec{a}_{B_1}$ và khâu 1 quay đều xung quanh điểm A nên $\vec{a}_{B_2} = \vec{a}_{B_1}$ hướng từ B về A, $a_{B_2} = a_{B_1} = \omega_1^2 l_{AB}$.

$\vec{a}_{B_3B_2}^r$ là vận tốc trượt tương đối của điểm B₃ so với điểm B₂: $\vec{a}_{B_3B_2}^r$ song song với phương trượt của khớp trượt B. Giá trị của $\vec{a}_{B_3B_2}^r$ là một ẩn số của bài toán.

$\vec{a}_{B_3B_2}^k$ là gia tốc Côriôlít trong chuyển động tương đối của khâu 3 so với khâu 2:

$\vec{a}_{B_3B_2}^k = 2\omega_2 \wedge \vec{V}_{B_3B_2}$, phương chiều của $\vec{a}_{B_3B_2}^k$ là chiều của vectơ $\vec{V}_{B_3B_2}$ quay 90⁰ theo chiều của ω_2 , $a_{B_3B_2}^k = 2\omega_2 V_{B_3B_2}$.

Mặt khác, điểm B₃ thuộc khâu 3, khâu 3 quay quanh điểm C, do đó:

$$\vec{a}_{B_3} = \vec{a}_{B_3}^n + \vec{a}_{B_3}^t \tag{2.9}$$

Trong đó :

$\vec{a}_{B_3}^n$ là thành phần hướng tâm của \vec{a}_{B_3} : $\vec{a}_{B_3}^n$ hướng từ B về C và $a_{B_3}^n = \omega_3^2 l_{CB} = \frac{V_{B_3}^2}{l_{CB}}$.

$\vec{a}_{B_3}^t$ là thành phần tiếp tuyến của \vec{a}_{B_3} : $\vec{a}_{B_3}^t \perp CB$ và $a_{B_3}^t = \varepsilon_3 l_{CB}$. Do ε_3 chưa biết nên giá trị của $\vec{a}_{B_3}^t$ là một ẩn số của bài toán.

Từ (2.8) và (2.9) suy ra:

$$\vec{a}_{B_3}^t + \vec{a}_{B_3}^n = \vec{a}_{B_3} = \vec{a}_{B_2} + \vec{a}_{B_3B_2}^k + \vec{a}_{B_3B_2}^r \quad (2.10)$$

+ Phương trình (2.10) có hai ẩn số là giá trị của $\vec{a}_{B_3}^t$ và của $\vec{a}_{B_3B_2}^r$ nên có thể giải được bằng phương pháp hạ đồ :

Chọn một điểm π làm gốc. Từ π vẽ $\overline{\pi b_2'}$ biểu diễn \vec{a}_{B_2} . Qua b_2' vẽ $\overline{b_2' k}$ biểu diễn $\vec{a}_{B_3B_2}^k$.

Qua k vẽ đường thẳng Δ song song với $\vec{a}_{B_3B_2}^r$ tức là song song với phương trượt của con trượt

B. Trở về gốc π , vẽ $\overline{\pi n_{B_3}}$ biểu diễn $\vec{a}_{B_3}^n$. Qua n_{B_3} vẽ đường thẳng Δ' song song với phương của

$\vec{a}_{B_3}^t$ tức là vuông góc với CB. Hai đường Δ và Δ' giao nhau tại điểm b_3' . Suy ra rằng $\overline{\pi b_3'}$

biểu diễn \vec{a}_{B_3} , $\overline{kb_3'}$ biểu diễn $\vec{a}_{B_3B_2}^r$, $\overline{n_{B_3} b_3'}$ biểu diễn $\vec{a}_{B_3}^t$ (hình 2.4).

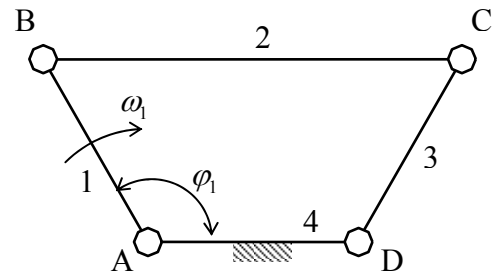
Phương pháp phân tích động học trên đây được gọi là *phương pháp hạ đồ vectơ*, thường được sử dụng rộng rãi cho các cơ cấu phẳng trong đó tất cả khớp động đều là khớp thấp: khớp quay và khớp trượt.



BÀI TẬP CHƯƠNG II :

Bài 1:

Vẽ đồ vận tốc và họa đồ gia tốc của cơ cấu và xác định vận tốc góc, gia tốc góc của khâu 3 tại vị trí có $\varphi_1 = 120^\circ$. Cho biết: $l_{BC} = 2l_{AB} = 2l_{CD} = 2l_{AD} = 0.1m$; $\omega_1 = 10rad/s =$ hằng số. Xác định vận tốc góc và gia tốc góc của khâu 3 (hình 2.7).



Hình 2.7

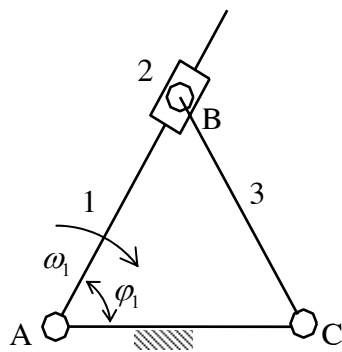
Bài 2:

Vẽ đồ vận tốc và họa đồ gia tốc của cơ cấu và xác định vận tốc góc, gia tốc góc của khâu 3 tại vị trí có $\varphi_1 = 60^\circ$. Cho biết: $l_{BC} = l_{AC} = 0.1m$; $\omega_1 = 10rad/s =$ và bằng hằng số. Xác định vận tốc góc và gia tốc góc của khâu 3 (hình 2.8).

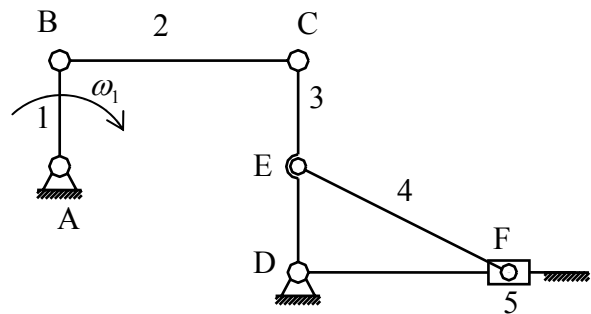
Bài 3:

Tính vận tốc và gia tốc điểm F trong cơ cấu máy sàng lắc nếu tay quay quay đều với vận tốc góc $\omega_1 = 20Rad/s$ tại vị trí AB và CD thẳng đứng, BC nằm ngang. Cho biết:

$$l_{AB} = l_{CE} = l_{DE} = \frac{l_{BC}}{2} = \frac{l_{DF}}{2} = 0,1m \text{ (hình 2.9).}$$



Hình 2.8



Hình 2.9

BÀI GIẢI :

Bài 1 :

+ Phương trình vận tốc :

$$\vec{V}_C = \vec{V}_B + \vec{V}_{CB} \quad (2.11)$$

Với : $\vec{V}_B \perp AB$; $V_B = \omega_1 l_{AB}$

$\vec{V}_{CB} \perp BC$; $V_{CB} = \omega_2 l_{BC}$

$\vec{V}_C \perp DC$

Phương trình (2.11) có hai ẩn số và có thể giải được bằng phương pháp họa đồ.

Họa đồ vận tốc như trên hình 2.10.

Từ họa đồ vận tốc, suy ra:

$$V_C = V_B = \omega_1 l_{AB} = 10 \cdot 0,05 = 0,5m/s$$

$$\omega_3 = \frac{V_C}{l_{DC}} = \frac{0,5}{0,05} = 10rad/s$$

Chiều của ω_3 được suy từ chiều của \vec{V}_C như trên hình 2.10.

+ Phương trình gia tốc :

$$\vec{a}_C^t + \vec{a}_C^n = \vec{a}_C = \vec{a}_B + \vec{a}_{CB}^n + \vec{a}_{CB}^t \quad (2.12)$$

Với : \vec{a}_B hướng từ B về A; $a_B = \omega_1^2 l_{AB} = (10)^2 \cdot 0,05 = 5m/s^2$

\vec{a}_{CB}^n hướng từ C về B; $a_{CB}^n = \omega_2^2 l_{BC} = \frac{V_{CB}^2}{l_{BC}} = \frac{(0,5)^2}{0,1} = 2,5m/s^2$

$\vec{a}_{CB}^t \perp BC$; $a_{CB}^t = \varepsilon_2 l_{BC}$

\vec{a}_C^n hướng từ C về D; $a_C^n = \omega_3^2 l_{DC} = (10)^2 \cdot 0,05 = 5m/s^2$

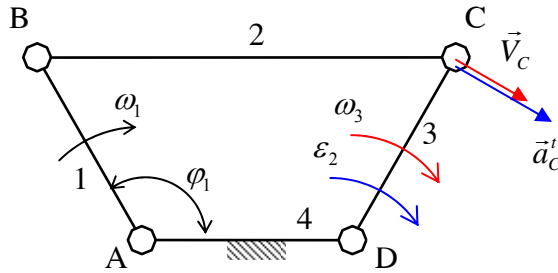
$\vec{a}_C^t \perp DC$; $a_C^t = \varepsilon_3 l_{DC}$

Phương trình (2.12) có hai ẩn số và có thể giải bằng phương pháp họa đồ.

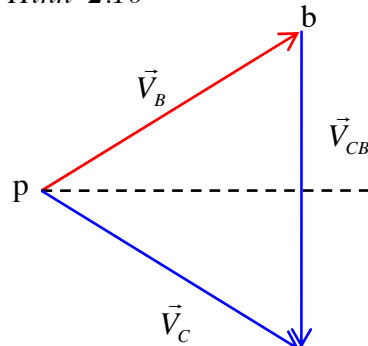
Họa đồ gia tốc cho trên hình 2.10.

Từ họa đồ gia tốc suy ra: $a_C^t = \frac{a_B \sqrt{3}}{3} = \frac{5\sqrt{3}}{3} = 2,88m/s^2$ và $\varepsilon_3 = \frac{a_C^t}{l_{DC}} = \frac{5\sqrt{3}}{3 \cdot 0,05} = 57,7rad/s$

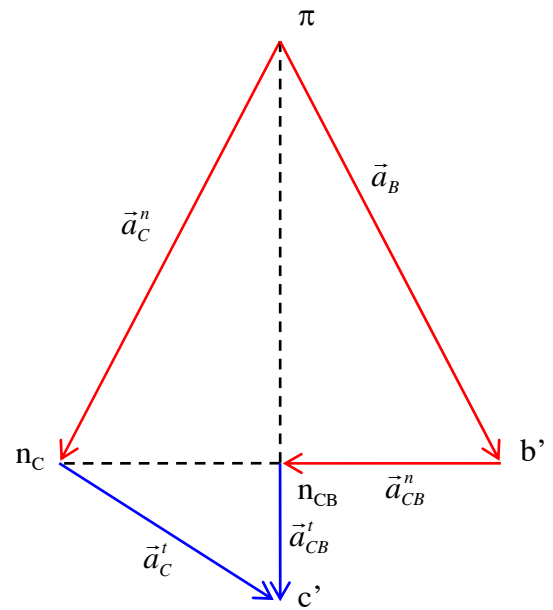
Chiều của ε_3 được suy từ chiều của \vec{a}_C^t như trên hình 2.10.



Hình 2.10



Họa đồ vận tốc



Họa đồ gia tốc

Bài 2 :

+ Ta có : $\vec{V}_{B_3} = \vec{V}_{B_2}$ và $\omega_2 = \omega_1$.

Phương trình vận tốc :

$$\vec{V}_{B_2} = \vec{V}_{B_1} + \vec{V}_{B_2B_1} \quad (2.13)$$

Với : $\vec{V}_{B_1} \perp AB$; $V_{B_1} = \omega_1 l_{AB}$; $\vec{V}_{B_2B_1} // AB$; $\vec{V}_{B_2} = \vec{V}_{B_3} \perp CB$; $V_{B_2} = V_{B_3} = \omega_3 l_{CB}$

Phương trình (2.13) có hai ẩn số và có thể giải bằng phương pháp họa đồ.

Họa đồ vận tốc như trên hình 2.11. Từ họa đồ vận tốc suy ra:

$$V_{B_3} = 2V_{B_1} = 2\omega_1 l_{AB} = 2 \cdot 10 \cdot 0,1 = 2m/s;$$

$$\omega_3 = \frac{V_{B_3}}{l_{CB}} = \frac{2}{0,1} = 20rad/s$$

Chiều của ω_3 suy từ chiều của \vec{V}_{B_3} như trên hình 2.11.

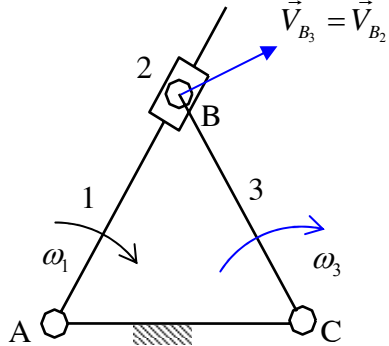
+ Phương trình gia tốc :

$$\vec{a}_{B_3}^t + \vec{a}_{B_3}^n = \vec{a}_{B_3} = \vec{a}_{B_2} = \vec{a}_{B_1} + \vec{a}_{B_2B_1}^k + \vec{a}_{B_2B_1}^r \quad (2.14)$$

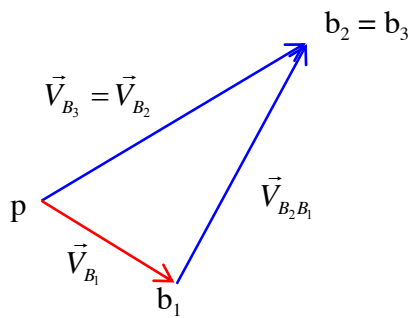
Với : \vec{a}_{B_1} hướng từ B về A, $a_{B_1} = \omega_1^2 l_{AB} = (10)^2 \cdot 0,1 = 10m/s^2$

$a_{B_2B_1}^k = 2V_{B_2B_1}\omega_1 = 2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10 = 20\sqrt{3} m/s^2$, chiều của $\vec{a}_{B_2B_1}^k$ là chiều của $\vec{V}_{B_2B_1}$ quay đi 90° theo chiều ω_1 ; $\vec{a}_{B_2B_1}^r // AB$

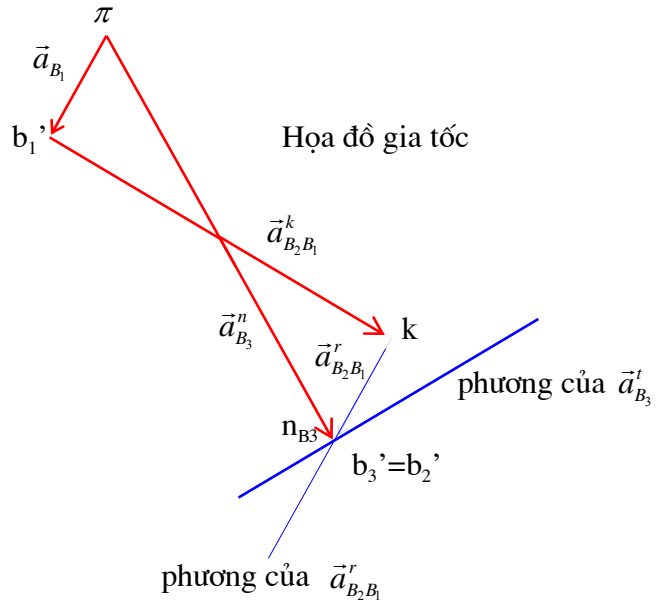
$\vec{a}_{B_3}^n$ hướng từ B về C, $a_{B_3}^n = \omega_3^2 l_{CB} = (20)^2 \cdot 0,1 = 40 m/s^2$; $\vec{a}_{B_3}^t \perp CB$; $a_{B_3}^t = \varepsilon_3 l_{CB}$
 Phương trình (2.14) có hai ẩn số và có thể giải bằng phương pháp họa đồ.
 Họa đồ gia tốc như trên hình 2.11. Từ họa đồ gia tốc suy ra $\vec{a}_{B_3}^t = 0$ do đó $\varepsilon_3 = 0$.



Hình 2.11



Họa đồ vận tốc



Bài 3 :

+ Cơ cấu máy sàng lác bao gồm khâu dẫn 1 và hai nhóm tĩnh định hạng II. Nhóm gần khâu dẫn gồm hai khâu 2 và 3 và ba khớp quay B, C, D (khớp chờ là khớp quay B và khớp quay D). Nhóm xa khâu dẫn gồm hai khâu 4 và 5 và ba khớp : 2 khớp quay E, F và 1 khớp trượt F (khớp chờ là khớp quay E và khớp trượt F).

Bài toán vận tốc được giải cho nhóm gần khâu dẫn trước, sau đó đến nhóm xa khâu dẫn.

+ Hai điểm C và B thuộc cùng khâu 2, ta có:

$$\vec{V}_C = \vec{V}_B + \vec{V}_{CB} \quad (2.15)$$

Với : $\vec{V}_B \perp AB$, $V_B = \omega_1 l_{AB}$, $\vec{V}_{CB} \perp BC$, $V_{CB} = \omega_2 l_{BC}$, $\vec{V}_C \perp DC$, $V_C = \omega_3 l_{DC}$

Giải phương trình (2.15) bằng phương pháp họa đồ, ta suy được vận tốc \vec{V}_C .

Dựa vào định lý đồng dạng thuận, ta suy được vận tốc \vec{V}_E của điểm E trên khâu 3 : $\vec{V}_E = \frac{\vec{V}_C}{2}$

Hai điểm F và E thuộc cùng khâu 4, ta có:

$$\vec{V}_F = \vec{V}_E + \vec{V}_{FE} \quad (2.16)$$

Trong đó : $\vec{V}_E = \frac{\vec{V}_C}{2}$, $\vec{V}_{FE} \perp EF$, $V_{FE} = \omega_4 l_{EF}$, \vec{V}_F song song với phương trượt của con trượt F.

Giải phương trình (2.16) bằng phương pháp họa đồ, ta suy được vận tốc \vec{V}_F .

Họa đồ vận tốc như trên hình 2.12.

Từ đó suy ra : $\vec{V}_C = \vec{V}_B$; $V_C = V_B = \omega_1 l_{AB} = 20 \cdot 0,1 = 2 m/s$,

$$\vec{V}_F = \vec{V}_E = \frac{\vec{V}_C}{2} \text{ và } V_F = V_E = \frac{V_C}{2} = \frac{2}{2} = 1m/s, \vec{V}_{CB} = 0; \vec{V}_{EF} = 0; \omega_2 = 0; \omega_4 = 0$$

+ Hai điểm C và B thuộc cùng khâu 2, ta có:

$$\vec{a}'_C + \vec{a}''_C = \vec{a}_C = \vec{a}_B + \vec{a}''_{CB} + \vec{a}'_{CB} \quad (2.17)$$

Với: \vec{a}_B hướng từ B về A, $a_B = \omega_1^2 l_{AB} = (20)^2 \cdot 0,1 = 40m/s^2$, \vec{a}''_{CB} hướng từ C về B,

$$a''_{CB} = \omega_2^2 l_{BC} = 0, \vec{a}'_{CB} \perp CB, a'_{CB} = \varepsilon_3 l_{BC}, \vec{a}''_C \text{ hướng từ C về D, } a''_C = \frac{V_C^2}{l_{DC}} = \frac{2^2}{0,2} = 20m/s^2,$$

$$\vec{a}'_C \perp DC, a'_C = \varepsilon_3 l_{CD}.$$

Giải phương trình (2.17) bằng phương pháp họa đồ, ta suy được vận tốc \vec{a}_C .

Dựa vào định lý đồng dạng thuận, ta suy được gia tốc \vec{a}_E của điểm E trên khâu 3: $\vec{a}_E = \vec{a}_C/2$.

+ Hai điểm F và E thuộc cùng khâu 4, ta có:

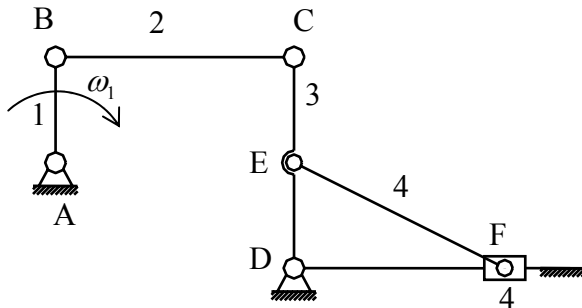
$$\vec{a}_F = \vec{a}_E + \vec{a}''_{FE} + \vec{a}'_{FE} \quad (2.18)$$

Với: $\vec{a}_E = \vec{a}_C/2$, $a''_{FE} = \omega_4^2 l_{EF} = 0$, $\vec{a}'_{FE} \perp EF$, $a'_{FE} = \varepsilon_4 l_{EF}$, \vec{a}_F song song với phương trượt của con trượt F.

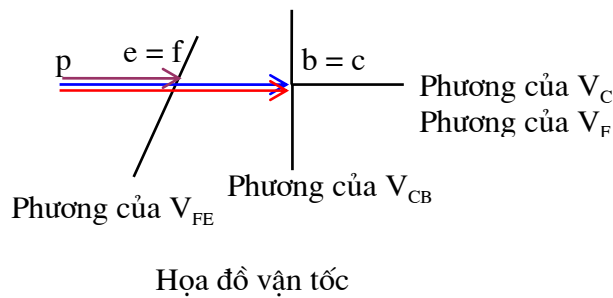
Giải phương trình (2.18) bằng phương pháp họa đồ, ta suy được gia tốc \vec{a}_F .

Họa đồ gia tốc như trên hình 2.12.

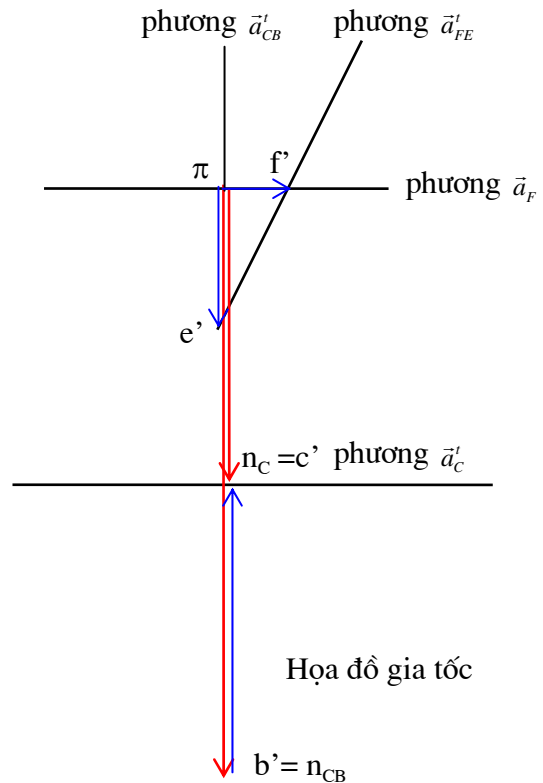
$$\text{Từ đó suy ra: } a_F = \frac{a_E}{2} = \frac{10}{2} = 5m/s^2$$



Hình 2.12



Họa đồ vận tốc



Họa đồ gia tốc

Ghi chú: Khi vẽ họa đồ vận tốc trong hai bài tập trên, cần lưu ý rằng họa đồ cơ cấu, họa đồ vận tốc và gia tốc có các hình dạng đặc biệt, do vậy ta không cần sử dụng tỷ xích mà chỉ sử dụng quan hệ giữa các cạnh trên họa đồ để tính toán giá trị của vận tốc và gia tốc.



§2. Số liệu cho trước, giả thiết và nội dung của bài toán phân tích lực cơ cấu

• Số liệu cho trước

- + Lực đồ động của cơ cấu, khâu dẫn và vận tốc góc ω_1 của khâu dẫn
- + Các ngoại lực tác động lên các khâu
- + Các thông số quán tính gồm:
Khối lượng m_i và vị trí trọng tâm S_i của mỗi khâu
Momen quán tính J_{Si} đối với trọng tâm của các khâu chuyển động quay.

• Các giả thiết của bài toán phân tích lực cơ cấu

- + Khi phân tích lực trên khâu dẫn, người ta thường giả thiết khâu dẫn quay đều, tức là có vận tốc góc bằng hằng số.
- + Mặt khác, các khớp động thường được bôi trơn đầy đủ nên giá trị lực ma sát trong khớp động thường khá nhỏ so với giá trị áp lực khớp động tương ứng, do vậy khi giải bài toán phân tích lực người ta thường bỏ qua lực ma sát, nghĩa là đồng nhất áp lực khớp động với phản lực khớp động.
- + Đối với cơ cấu phẳng, để bài toán phân tích lực được đơn giản, ta giả thiết các lực tác dụng lên cơ cấu nằm trong cùng một mặt phẳng song song với mặt phẳng chuyển động của cơ cấu.

• Nội dung của bài toán phân tích lực cơ cấu

Bài toán phân tích lực cơ cấu bao gồm các vấn đề sau:

- + *Phân tích lực trên khâu bị dẫn*, cụ thể là xác định áp lực tại các khớp động trong các nhóm tĩnh định của cơ cấu.
 - + *Phân tích lực khâu dẫn*, cụ thể là xác định lực hay momen lực cần phải đặt trên khâu dẫn để bảo đảm cho khâu dẫn có vận tốc bằng hằng như đã giả thiết. Lực và momen lực nói trên lần lượt được gọi là *lực cân bằng* ký hiệu là \vec{P}_{cb} và *momen cân bằng* ký hiệu là \vec{M}_{cb} .
- Ngoài ra, còn phải xác định áp lực tại khớp động nối khâu dẫn với giá.

Chương này chỉ trình bày bài toán phân tích lực trên *cơ cấu phẳng* và sử dụng *phương pháp họa đồ vectơ*.

§3. Nguyên tắc và trình tự giải bài toán phân tích lực cơ cấu

1) Nguyên lý Đalămbe

- \vec{p} lực khớp động là nội lực đối với cơ cấu. Để làm xuất hiện các lực này trong công thức tính toán, ta phải hình dung tách các khớp động ra. Tại mỗi thành phần khớp động được tách ra, ta đặt phản lực tương ứng.

Ví dụ trong cơ cấu 4 khâu bản lề (hình 3.2), khi hình dung tách các khớp B, C, D ra, ta phải đặt tại các thành phần khớp động B, C, D các phản lực tương ứng: $\vec{N}_{43}; \vec{N}_{23}; \vec{N}_{32}; \vec{N}_{21}; \vec{N}_{12}$ (hình 3.3).

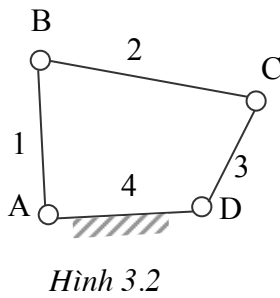
- Khi cơ cấu chuyển động, các khâu nói chung có gia tốc, hệ lực gồm ngoại lực và các áp lực đặt trên các thành phần khớp của nó không phải là một hệ lực cân bằng. Như vậy không thể viết các phương trình cân bằng lực để giải tìm áp lực khớp động.

Tuy nhiên, theo nguyên lý Đalămbe, nếu ngoài các ngoại lực và các áp lực tại các thành phần khớp động trên khâu, nếu thêm vào đó các lực quán tính và momen lực quán tính của khâu và coi chúng như là những ngoại lực thì sẽ được một hệ lực cân bằng. Khi đó có thể viết các phương trình cân bằng lực của tĩnh học cho khâu và giải để xác định các áp lực khớp động.

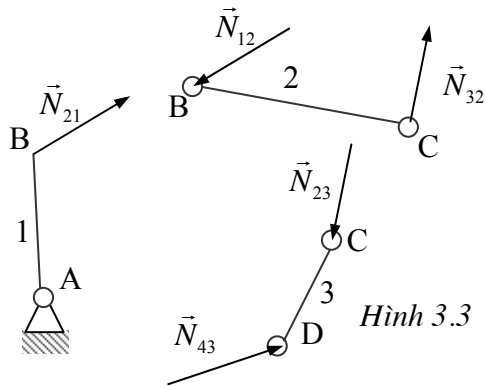
2) Điều kiện tĩnh định của bài toán phân tích áp lực khớp động

- Khi viết phương trình cân bằng lực của tĩnh học, nếu chúng ta viết cho từng khâu một, thì số phương trình cân bằng lực có thể nhỏ hơn số ẩn cần tìm. Ví dụ với khâu 3 trong cơ cấu 4 khâu bản lề (hình 3.3) thì số ẩn số là 4 (phương và giá trị của các lực $\vec{N}_{43}; \vec{N}_{23}$), số phương trình cân bằng lực bằng 3 (2 phương trình hình chiếu và 1 phương trình momen).

Vì vậy cần phải viết phương trình cân bằng lực cho một *nhóm các khâu bị dẫn kề nhau* thì số ẩn số mới có thể bằng số phương trình cân bằng lực lập được.



Hình 3.2



Hình 3.3

• Xét một nhóm gồm n khâu bị dẫn kề nhau, trong đó có p_5 khớp loại 5 và p_4 khớp loại 4 (kể cả các khớp chờ của nhóm).

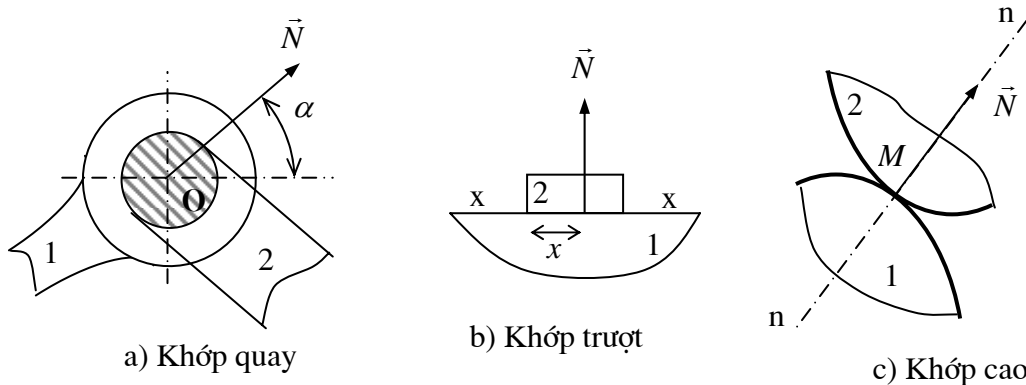
Đối với cơ cấu phẳng, ta thường gặp các khớp thấp loại 5 là khớp quay, khớp trượt và các khớp cao loại 4 như khớp bánh răng phẳng, khớp cam phẳng.

+ Đối với khớp quay (hình 3.4a), do áp suất giữa các thành phần khớp quay đồng quy tại tâm quay O của khớp, do đó áp lực \vec{N} cũng đi qua tâm quay O . Để xác định áp lực \vec{N} trong khớp quay, cần xác định giá trị của \vec{N} và góc α xác định phương của \vec{N} .

+ Đối với khớp trượt (hình 3.4b), do áp suất giữa các thành phần khớp đều vuông góc với phương trượt xx , do đó áp lực \vec{N} trong khớp trượt cũng vuông góc với phương trượt xx . Để xác định áp lực \vec{N} trong khớp trượt, cần xác định giá trị của \vec{N} và thông số x xác định điểm đặt của \vec{N} .

Như vậy, áp lực tại mỗi khớp động loại 5 (khớp quay, khớp trượt) ứng với hai ẩn số của bài toán phân tích lực.

+ Đối với khớp cao phẳng (hình 3.4c), áp lực \vec{N} có điểm đặt là điểm tiếp xúc M của hai thành phần khớp cao, có phương song song với phương pháp tuyến chung nn tại M , do đó để xác định \vec{N} chỉ cần xác định giá trị của \vec{N} , tức là áp lực tại mỗi khớp động loại 4 ứng với hai ẩn số của bài toán phân tích lực.



Hình 3.4

Như vậy số ẩn số cần tìm đối với nhóm nói trên là $2p_5 + p_4$.

Vì với mỗi khâu (xem như là vật rắn tuyệt đối) ta viết được 3 phương trình cân bằng lực (2 phương trình hình chiếu và 1 phương trình momen), nên số phương trình cân bằng lực lập được bằng $3n$.

Để giải được bài toán phân tích lực, số phương trình cân bằng lực lập được phải bằng số ẩn số cần tìm, tức là phải có điều kiện :

$$3n - (2p_5 + p_4) = 0$$

$$(3.1)$$

• Tóm lại để giải được bài toán phân tích lực ta phải xét đồng thời các khâu, các khớp trong một *nhóm tĩnh định*. Điều kiện (3.1) được gọi là *điều kiện tĩnh định* của bài toán phân tích áp lực khớp động.

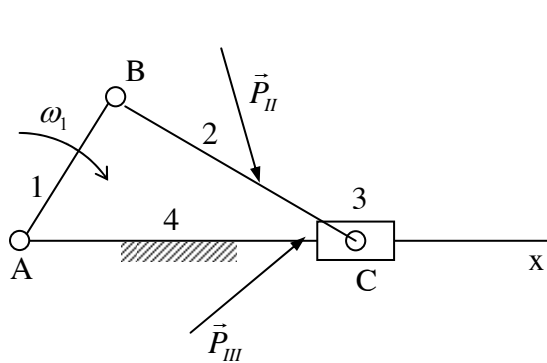
3) Trình tự và ví dụ giải bài toán phân tích áp lực khớp động

• **Số liệu cho trước**

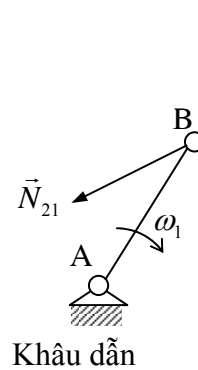
- Lực đồ động của cơ cấu tay quay con trượt
- Khâu dẫn là khâu 1, vận tốc góc khâu dẫn bằng ω_1 với $\omega_1 =$ hằng số
- Ngoại lực tác động lên các khâu:
 Khâu 2 chịu tác động của lực \vec{P}_2 , momen \vec{M}_2 và trọng lượng \vec{G}_2
 Khâu 3 chịu tác động của lực \vec{P}_3 , momen \vec{M}_3 và trọng lượng \vec{G}_3 .
- Khối lượng m_i , vị trí khối tâm S_i và momen quán tính J_{S_i} đối với trọng tâm của mỗi khâu.

• **Yêu cầu**

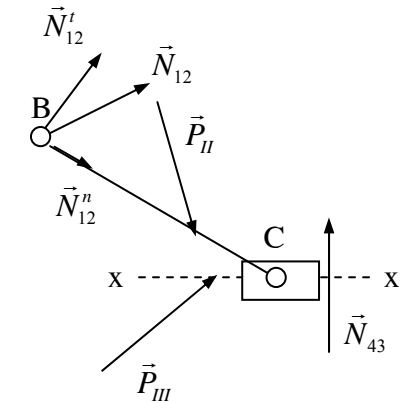
Giải bài toán phân tích áp lực khớp động tại vị trí đang xét của cơ cấu (hình 3.5)



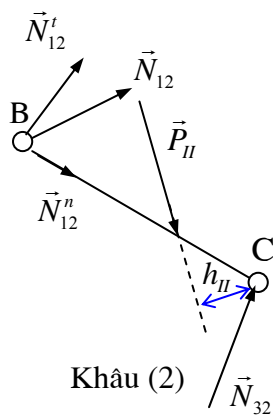
Hình 3.5a : Cơ cấu tay quay - con trượt



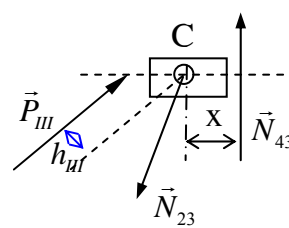
Hình 3.5b



Nhóm tĩnh định (2+3)

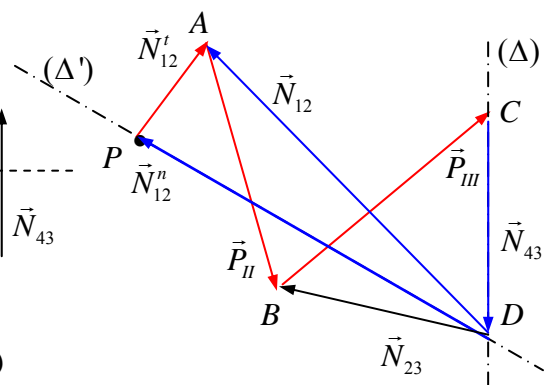


Hình 3.5c



Khâu (3)

Hình 3.5d



Hình 3.5e : Hoạ đồ lực của cơ cấu

a) Tính lực trên các khâu bị dẫn

Để phân tích lực trên các khâu bị dẫn, ta tiến hành theo trình tự sau đây:

- Tách cơ cấu thành các nhóm tĩnh định, còn lại là khâu dẫn (hoặc các khâu dẫn) nối giá. Cơ cấu tay quay con trượt chỉ có một nhóm tĩnh định, đó là nhóm gồm hai khâu (khâu 2, khâu 3) và ba khớp (khớp quay B, khớp quay C và khớp trượt C). Khớp chờ của nhóm là khớp quay B và khớp trượt C. Khớp trong của nhóm là khớp quay C.

Cơ cấu có một bậc tự do nên sau khi tách nhóm tĩnh định ra, chỉ còn lại một khâu dẫn AB nối giá bằng khớp quay.

- Xác định lực và momen lực quán tính tác động lên các khâu.
- Đặt các ngoại lực, các lực và momen lực quán tính, các áp lực khớp chờ lên các nhóm.

Giả sử rằng hệ lực gồm các ngoại lực kể cả lực và momen lực quán tính tác động lên khâu 2 được thu gọn thành lực \vec{P}_{II} , lên khâu 3 thành lực \vec{P}_{III} (hình 3.5b).

- Viết và giải phương trình cân bằng lực cho các nhóm.

Bài toán phân tích áp lực khớp động được giải cho các nhóm xa khâu dẫn trước sau đó đến nhóm gần khâu dẫn.

- Hệ lực tác động lên nhóm (2+3) gồm các lực $\vec{P}_{II}, \vec{P}_{III}, \vec{N}_{12}, \vec{N}_{43}$ là một hệ lực cân bằng, ta có:

$$\vec{N}_{12} + \vec{P}_{II} + \vec{P}_{III} + \vec{N}_{43} = 0 \quad (3.2)$$

Phương trình (3.2) có 3 ẩn số (giá trị và phương của \vec{N}_{12} , giá trị của \vec{N}_{43}), chưa thể giải được.

- Để giảm số ẩn số, ta phân tích \vec{N}_{12} thành hai thành phần: \vec{N}_{12}^n song song với BC, \vec{N}_{12}^t vuông góc với BC. Giá trị của \vec{N}_{12}^t xác định như sau:

Momen đối với điểm C của tất cả các lực tác động lên khâu 2 (hình 3.5c):

$$\sum M_C = P_{II} \cdot h_{II} - N_{12}^t \cdot l_{BC} = 0 \quad \Rightarrow \quad N_{12}^t = \frac{P_{II} \cdot h_{II}}{l_{BC}}$$

- Phương trình (3.1) trở thành:

$$\vec{N}_{12}^n + \vec{N}_{12}^t + \vec{P}_{II} + \vec{P}_{III} + \vec{N}_{43} = 0 \quad (3.3)$$

Phương trình (3.3) có hai ẩn số và có thể giải bằng phương pháp họa đồ (hình 3.5): Chọn một điểm P làm gốc. Từ P vẽ vector \vec{PA} biểu diễn lực \vec{N}_{12}^t . Qua điểm A vẽ vector \vec{AB} biểu diễn \vec{P}_{II} . Qua điểm B vẽ vector \vec{BC} biểu diễn \vec{P}_{III} . Qua điểm C, vẽ đường thẳng (Δ) song song với phương của \vec{N}_{43} . Qua gốc P vẽ đường thẳng song song với phương của \vec{N}_{12}^n . Hai đường thẳng này cắt nhau tại điểm D. Suy ra : vector \vec{CD} biểu diễn \vec{N}_{43} , vector \vec{DP} biểu diễn \vec{N}_{12}^n , vector \vec{DA} biểu diễn \vec{N}_{12} .

- Xác định điểm đặt của lực \vec{N}_{43} :

Momen đối với điểm C của tất cả các lực tác động lên khâu 3 (hình 3.5d):

$$\sum M_C = N_{43} \cdot x - P_{III} \cdot h_{III} = 0 \quad \Rightarrow \quad x = \frac{P_{III} \cdot h_{III}}{N_{43}}$$

- Hệ lực tác động lên khâu 3 gồm $\vec{P}_{III}, \vec{N}_{23}, \vec{N}_{43}$ (hình 3.5d) là một hệ lực cân bằng, ta có:

$$\vec{N}_{23} + \vec{N}_{43} + \vec{P}_{III} = 0 \quad (3.4)$$

Phương trình (3.4) có hai ẩn số là giá trị và chiều \vec{N}_{23} nên có thể giải được bằng phương pháp họa đồ (hình 3.5e). Suy ra : vector \vec{DB} biểu diễn \vec{N}_{23} .

Ghi chú :

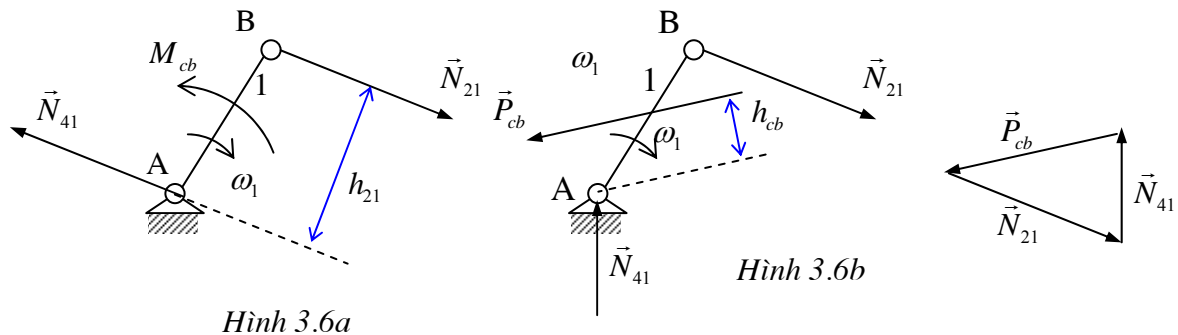
Cách sắp xếp phương trình cân bằng lực (3.3) như sau :

- + Hai lực chưa biết được sắp xếp hai đầu.
- + Các lực thuộc cùng một khâu được sắp xếp gần nhau
- + Hai thành phần của cùng một lực được sắp xếp gần nhau.

b) Tính lực trên khâu dẫn

• Với cơ cấu một bậc tự do, sau khi tách các nhóm tĩnh định, sẽ còn lại một khâu dẫn nối giá. Với cơ cấu tay quay con trượt, sau khi tách nhóm tĩnh định (2+3) sẽ còn lại khâu dẫn AB nối giá bằng khớp quay A (hình 3.6).

Theo giả thiết của bài toán phân tích lực cơ cấu, khâu dẫn có vận tốc $\omega_1 =$ hằng số, tức là luôn luôn ở trạng thái cân bằng. Để bảo đảm điều kiện cân bằng lực này, phải đặt lên khâu dẫn một lực cân bằng \vec{P}_{cb} hay một momen cân bằng \vec{M}_{cb} để cân bằng với toàn bộ tác động của phần còn lại của cơ cấu lên khâu dẫn (tức là cân bằng với lực \vec{N}_{21}).



Hình 3.6a

Hình 3.6b

• **Trường hợp đặt lên khâu dẫn một momen cân bằng \vec{M}_{cb} (hình 3.6a) :**

Momen đối với điểm A của tất cả các lực tác động lên khâu dẫn:

$$\sum M_A = M_{cb} - N_{21} \cdot h_{21} = 0 \quad \Rightarrow \quad M_{cb} = N_{21} \cdot h_{21}$$

Xét cân bằng lực khâu dẫn, ta có: $\vec{N}_{41} = -\vec{N}_{21}$

• **Trường hợp đặt lên khâu dẫn một lực cân bằng \vec{P}_{cb} (hình 3.6b):**

Momen đối với điểm A của tất cả các lực tác động lên khâu dẫn:

$$\sum M_A = P_{cb} \cdot h_{cb} - N_{21} \cdot h_{21} = 0 \quad \Rightarrow \quad P_{cb} = \frac{N_{21} \cdot h_{21}}{h_{cb}}$$

Hệ lực tác động lên khâu dẫn 1 gồm \vec{P}_{cb} , \vec{N}_{21} , \vec{N}_{41} là một hệ lực cân bằng, ta có:

$$\vec{P}_{cb} + \vec{N}_{21} + \vec{N}_{41} = 0 \quad (3.5)$$

Giải phương trình (3.5) bằng phương pháp hoạ đồ, suy được \vec{N}_{41} (hình 3.6b).

4) Phương pháp di chuyển khả dĩ để tính \vec{M}_{cb} hay \vec{P}_{cb}

• Ta có thể tính \vec{M}_{cb} hay \vec{P}_{cb} mà không cần phân tích áp lực khớp động trên toàn bộ cơ cấu để tìm ra \vec{N}_{21} bằng cách áp dụng nguyên lý di chuyển khả dĩ: “Tổng công suất tức thời của một hệ lực cân bằng bằng 0”.

• Hệ lực gồm các ngoại lực \vec{P}_i , các momen ngoại lực M_i tác động lên cơ cấu (trong đó kể cả các lực và momen lực quán tính tác động lên cơ cấu) và momen cân bằng \vec{M}_{cb} (hay lực cân bằng \vec{P}_{cb}) là một hệ lực cân bằng.

• **Trường hợp đặt lên khâu dẫn một momen cân bằng \vec{M}_{cb} , ta có:**

$$\sum \vec{P}_i \vec{V}_i + \sum \vec{M}_i \vec{\omega}_i + \vec{M}_{cb} \vec{\omega}_1 = 0$$

$$\Rightarrow M_{cb} = -\frac{1}{\omega_1} \left[\sum \vec{P}_i \vec{V}_i + \sum \vec{M}_i \vec{\omega}_i \right]$$

Trong đó: \vec{P}_i, \vec{M}_i là ngoại lực và momen ngoại lực tác động lên khâu thứ i (kể cả lực và momen lực quán tính); \vec{V}_i : vận tốc điểm đặt lực \vec{P}_i ; $\vec{\omega}_i$: vận tốc góc khâu thứ i trên đó có đặt momen \vec{M}_i .

Nếu $M_{cb} > 0$ thì \vec{M}_{cb} cùng chiều với $\vec{\omega}_1$. Nếu $M_{cb} < 0$ thì \vec{M}_{cb} ngược chiều với $\vec{\omega}_1$.

• **Trường hợp đặt lên khâu dẫn một lực cân bằng \vec{P}_{cb} , ta có:**

$$\sum \vec{P}_i \vec{V}_i + \sum \vec{M}_i \vec{\omega}_i + \vec{P}_{cb} \vec{V}_{cb} = 0$$

$$\Rightarrow \vec{P}_{cb} \vec{V}_{cb} = -\sum \left[\vec{P}_i \vec{V}_i + \vec{M}_i \vec{\omega}_i \right]$$

Trong đó: \vec{V}_{cb} là vận tốc điểm đặt lực \vec{P}_{cb} .



MA SÁT TRONG KHỚP ĐỘNG

§1. Đại cương

1) Khái niệm

• *Ma sát là hiện tượng xảy ra ở chỗ hai vật thể tiếp xúc với nhau với một áp lực nhất định, khi giữa hai vật thể này có chuyển động tương đối hay có xu hướng chuyển động tương đối. Khi đó sẽ xuất hiện một lực có tác dụng cản lại chuyển động tương đối gọi là lực ma sát.*

• Ngoài hiện tượng ma sát nói trên gọi là ma sát *ngoài*, còn xuất hiện một hiện tượng xảy ra bên trong của một vật thể khi nó bị biến dạng gọi là ma sát *trong*.

• Ma sát thường là một loại lực cản có hại. Một mặt nó tiêu hao công suất, giảm hiệu suất của máy. Công của lực ma sát phần lớn biến thành nhiệt làm nóng các thành phần khớp động. Mặt khác, ma sát làm mòn các chi tiết máy, do đó sức bền giảm sút và chi tiết máy có thể bị hỏng.

• *Phân loại ma sát*

✓ Tùy theo tính chất tiếp xúc giữa hai bề mặt vật thể, ta phân biệt các kiểu ma sát sau đây:

- Ma sát *khô* : khi hai bề mặt vật thể trực tiếp tiếp xúc với nhau.

- Ma sát *ướt* : khi hai bề mặt vật thể được ngăn cách nhau hoàn toàn bằng một lớp chất lỏng bôi trơn.

Giữa hai kiểu ma sát này, còn có những kiểu ma sát trung gian:

- Ma sát *nửa khô* : khi giữa hai bề mặt vật thể có những vết chất lỏng, nhưng phần lớn diện tích tiếp xúc vẫn là chất rắn.

- Ma sát *nửa ướt*: khi phần lớn diện tích hai bề mặt vật thể được một lớp chất lỏng bôi trơn ngăn cách, nhưng vẫn còn những chỗ chất rắn trực tiếp tiếp xúc với nhau.

✓ Khi giữa hai bề mặt vật thể mới chỉ có xu hướng chuyển động tương đối, ma sát giữa chúng là ma sát *tĩnh*, ngược lại khi giữa hai bề mặt vật thể có chuyển động tương đối, ma sát giữa chúng là ma sát *động*.

✓ Tùy theo tính chất của chuyển động tương đối (hoặc xu thế chuyển động tương đối) giữa hai bề mặt vật thể, ta phân biệt các kiểu ma sát sau:

- Ma sát *trượt* : khi hai bề mặt vật thể trượt tương đối đối với nhau.

- Ma sát *lăn* : khi hai bề mặt vật thể lăn tương đối trên nhau.

2) Ma sát trượt khô - Định luật Coulomb

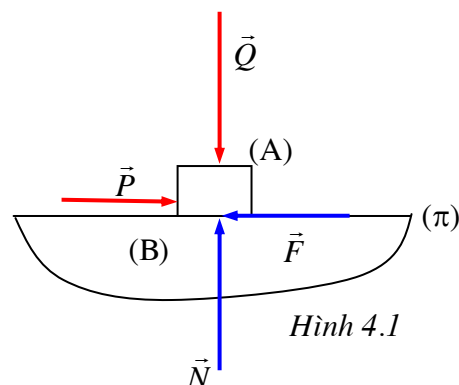
a) Lực ma sát

• Xét hai vật rắn A và B tiếp xúc nhau theo một mặt phẳng (π) (hình 4.1). Đặt lên vật A một lực \vec{Q} vuông góc với mặt phẳng (π). Dưới tác dụng của lực này, sẽ xuất hiện một áp lực \vec{N} từ B tác động lên A.

Ta có : $\vec{N} = -\vec{Q}$.

Đặt thêm lên A lực \vec{P} song song với mặt phẳng tiếp xúc (π) (lực \vec{P} được đặt tại một điểm rất gần với mặt tiếp xúc, để không gây ra một momen đủ lớn làm vật A bị lật).

• Cho giá trị của lực \vec{P} tăng dần từ 0. Lúc đầu ta thấy A chưa chuyển động so với B. Khi P đạt đến một giá trị P_0 nhất định thì ta thấy A bắt đầu chuyển động tương đối so với B.



Sau khi A đã chuyển động tương đối so với B, để duy trì chuyển động *đều* của A thì lực \vec{P} chỉ cần có một giá trị P_d gần bằng và nhỏ hơn P_0 : $P_d < P_0$.

Nếu $P > P_0$ thì ta thấy A chuyển động nhanh dần so với B.

• Có thể giải thích quá trình trên như sau :

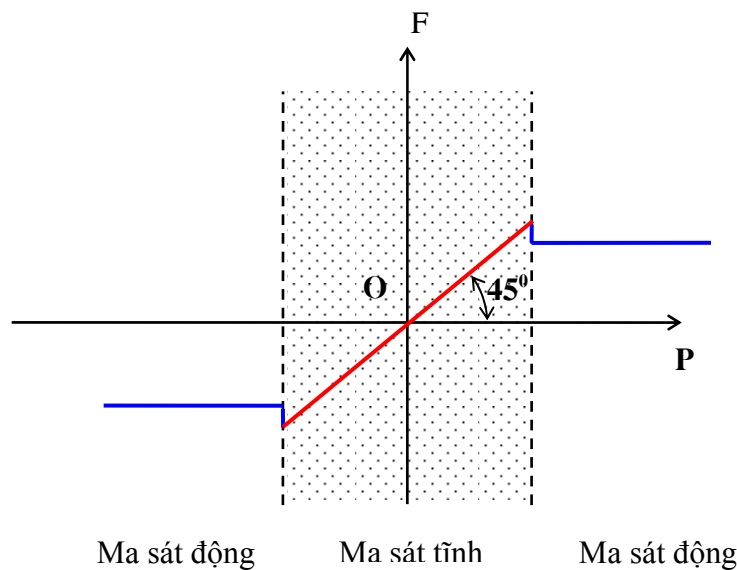
✓ Khi cho P tăng dần từ 0 thì A chỉ mới có xu hướng chuyển động tương đối so với B. Ma sát giữa A và B lúc này là *ma sát tĩnh*. Điều kiện cân bằng lực của A chứng tỏ phải có một lực \vec{F}_t luôn luôn cân bằng với \vec{P} : $\vec{F}_t = -\vec{P}$. Lực \vec{F}_t được gọi là lực ma sát tĩnh. Lực ma sát tĩnh tăng dần theo giá trị của lực \vec{P} .

Khi P đạt đến giá trị P_0 thì A bắt đầu chuyển động tương đối so với B. Điều này chứng tỏ rằng giá trị của lực ma sát tĩnh \vec{P} không tăng nữa mà đạt đến giá trị cực đại $F_{tmax} : F_{tmax} = P_0$.

✓ Khi P đạt đến giá trị P_0 và A chuyển động tương đối so với B. Giữa A và B bây giờ có hiện tượng *ma sát động*.

Nếu A chuyển động *đều* so với B thì từ điều kiện cân bằng lực của A ta thấy phải có một lực \vec{F} cân bằng với lực \vec{P} . Lực \vec{F} gọi là *lực ma sát động*. Thế mà để chuyển động tương đối của A so với B là chuyển động *đều* thì lực \vec{P} chỉ cần có một giá trị là P_d với $P_d < P_0$ nên : $F = P_d < P_0 = F_{tmax}$: lực ma sát động nhỏ hơn lực ma sát tĩnh cực đại.

Hình 4.2 biểu diễn lực ma sát tĩnh và lực ma sát động theo lực đẩy P.



Hình 4.2

b) Định luật Coulomb về ma sát trượt khô

• Lực ma sát động \vec{F} không phụ thuộc vào lực gây ra chuyển động là lực \vec{P} mà phụ thuộc vào áp lực \vec{N} .

Thực nghiệm cho thấy giữa *lực ma sát động* \vec{F} và áp lực \vec{N} có mối quan hệ sau : $F = f.N$

Hệ số f được gọi là *hệ số ma sát trượt*.

• Hệ số ma sát f :

- phụ thuộc vào vật liệu bề mặt tiếp xúc.
- phụ thuộc vào trạng thái bề mặt tiếp xúc.
- không phụ thuộc vào áp lực và diện tích tiếp xúc.
- hầu như không phụ thuộc vào vận tốc trượt tương đối giữa hai bề mặt tiếp xúc.

- tăng cùng với thời gian tiếp xúc ban đầu (tức là thời gian có áp lực \vec{N} mà không có lực đẩy \vec{P}).

Định luật Coulomb chỉ phản ánh gần đúng quy luật của ma sát trượt khô, tuy nhiên vẫn có thể áp dụng nó trong rất nhiều bài tính kỹ thuật.

c) Hình nón ma sát

• Xét hai vật thể A và B tiếp xúc nhau theo mặt phẳng (π) (hình 4.3).

Đặt lên A một lực \vec{Q} . Dưới tác động của lực \vec{Q} , B sẽ tác động lên A áp lực \vec{N} vuông góc với mặt phẳng (π): $\vec{N} = -\vec{Q}$.

Đặt thêm lên A một lực đẩy \vec{P} song song với mặt phẳng (π). Tại chỗ tiếp xúc giữa A và B sẽ phát sinh lực ma sát \vec{F} với $F = f.N$.

• Xét một hình nón (N) có đỉnh O nằm tại chỗ tiếp xúc, có trục vuông góc với mặt phẳng (π), có nửa góc ở đỉnh bằng φ với $tg\varphi = f$ với f là hệ số ma sát. Góc φ được gọi là góc ma sát. Hình nón (N) được gọi là hình nón ma sát.

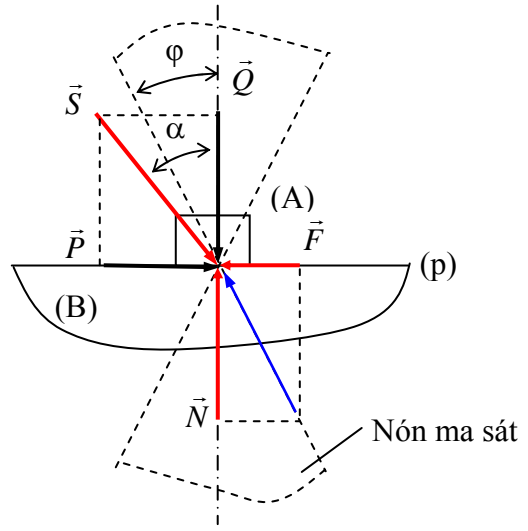
• Gọi \vec{S} là hợp lực của \vec{P} và \vec{Q} : $\vec{S} = \vec{P} + \vec{Q}$ và α là góc giữa \vec{S} và \vec{Q} .

Tùy theo quan hệ giữa \vec{P} và \vec{Q} mà α có thể lớn hơn, bằng hay nhỏ hơn góc ma sát φ .

- Khi hợp lực \vec{S} nằm ngoài nón ma sát (N) (hay $\alpha > \varphi$) thì $P = Qtg\alpha > Ntg\varphi = N.f = F$: chuyển động tương đối của A so với B là chuyển động nhanh dần.

- Khi hợp lực \vec{S} nằm trên mép nón ma sát (N) (hay $\alpha = \varphi$) thì $P = F$: chuyển động tương đối của A so với B là chuyển động đều.

- Khi hợp lực \vec{S} nằm trong nón ma sát (N) (hay $\alpha < \varphi$) thì $P < F$: vật A không chuyển động tương đối so với B.



Hình 4.3

d) Hiện tượng tự hãm

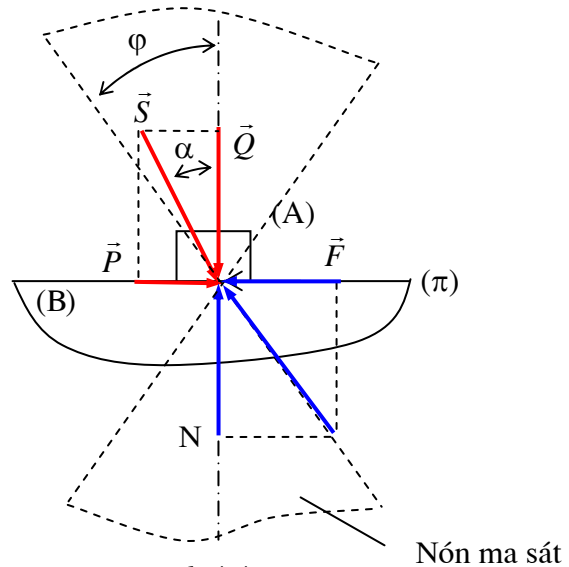
Vẫn xét trường hợp vật A tiếp xúc với vật B theo mặt phẳng như trên hình 4.3. Tuy nhiên thay vì tác động lên A hai lực \vec{P} và \vec{Q} độc lập nhau, ta tác động lên A một lực \vec{S} duy nhất (hình 4.4).

Lực \vec{S} hợp với trục của hình nón ma sát một góc bằng α và được phân làm hai thành phần:

- Thành phần \vec{Q} vuông góc với mặt phẳng (π). Dưới tác động của \vec{Q} , B tác động lên A áp lực \vec{N} : $\vec{N} = -\vec{Q}$

- Thành phần \vec{P} song song với mặt phẳng (π): $P = Qtg\alpha$. \vec{P} gây nên xu hướng chuyển động tương đối hoặc chuyển động tương đối, do đó tại chỗ tiếp xúc giữa A và B xuất hiện lực ma sát \vec{F} với $F = f.N = Ntg\varphi$.

Khi lực \vec{S} nằm trong hình nón ma sát (N), hay $\alpha < \varphi$ thì cho dù giá trị của lực \vec{S} có lớn bao nhiêu đi nữa, ta vẫn luôn có $P = Qtg\alpha < Ntg\varphi = N.f = F$, nghĩa là lực đẩy P luôn luôn nhỏ hơn lực ma sát F: A không thể chuyển động tương đối so với B. Hiện tượng này được gọi là hiện tượng tự hãm trong ma sát trượt khô khi tiếp xúc theo mặt phẳng.



Hình 4.4

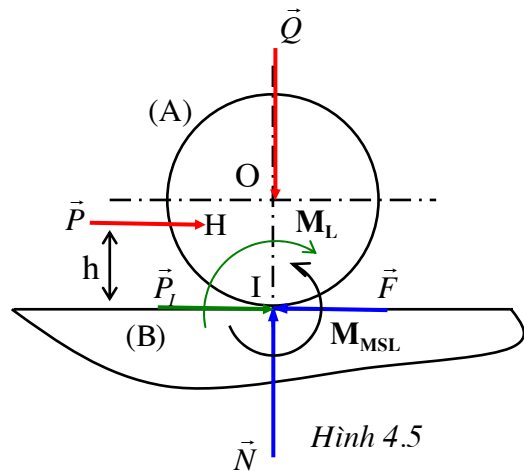
3) Ma sát lăn

a) Hiện tượng ma sát lăn

• Xét hình trụ A tiếp xúc với mặt phẳng B theo một đường sinh của nó. Hình 4.5 trình bày mặt cắt ngang của hình trụ A và mặt phẳng B. Ta sẽ xét bài toán trên mặt cắt ngang này.

Đặt lên hình trụ A lực \vec{Q} đi qua tâm O của hình trụ và vuông góc với mặt phẳng B. Dưới tác động của \vec{Q} , B tác động lên A áp lực \vec{N} vuông góc với mặt phẳng B: $\vec{N} = -\vec{Q}$.

Đặt tiếp lên B lực \vec{P} có giá trị không đổi, có điểm đặt là H, có phương song song với mặt phẳng B. Điểm đặt H của lực \vec{P} cách mặt phẳng B một khoảng bằng h, giả sử $P < f \cdot Q$.



Lực \vec{P} đặt tại H tương đương với lực \vec{P}_I đặt tại điểm tiếp xúc I và momen $M_L = P \cdot h$.

• Xét lực \vec{P}_I đặt tại I. Lực này có xu hướng làm cho vật A trượt trên mặt phẳng B. Do đó tại điểm tiếp xúc I, xuất hiện lực ma sát \vec{F} cản lại chuyển động này: $F = f \cdot N$.

Do $P < f \cdot Q = f \cdot N = F$ nên A không thể trượt trên B.

• Xét momen $M_L = P \cdot h$. Cho giá trị momen M_L tăng dần từ 0 (bằng cách tăng dần khoảng cách h từ giá trị 0). Lúc đầu A chưa chuyển động.

Khi M_L đạt đến một giá trị nhất định M_{L0} thì A bắt đầu lăn trên B.

Nếu giữ nguyên giá trị $M_L = M_{L0}$ thì A sẽ lăn đều trên B.

Nếu tiếp tục tăng M_L thì A sẽ lăn nhanh dần.

• Có thể giải thích quá trình trên như sau :

✓ Khi momen M_L tăng dần từ 0 thì A mới chỉ có xu hướng lăn trên B. Giữa A và B lúc này có hiện tượng *ma sát lăn tĩnh*. Điều kiện cân bằng lực của A chứng tỏ phải có một momen M_{MSLT} cản lại chuyển động lăn. Đây chính là momen ma sát lăn tĩnh.

Momen ma sát tĩnh M_{MSLT} tăng dần theo giá trị của momen M_L . Khi M_L đạt giá trị M_{L0} thì A bắt đầu lăn trên B, điều này chứng tỏ M_{MSLT} đã đến một đạt giá trị cực đại.

✓ Khi M_L đạt giá trị M_{L0} và A lăn trên B, ma sát giữa A và B bây giờ là *ma sát lăn động*. Nếu A lăn *đều* trên B thì theo điều kiện cân bằng lực của A chứng tỏ phải có một momen M_{MSL} cản lại chuyển động lăn: $M_{MSL} = M_{L0} \cdot M_{MSL}$ được gọi là momen ma sát lăn động.

• Thực nghiệm cho thấy *momen ma sát lăn động* tỷ lệ thuận với áp lực N: $M_{MSL} = k_L \cdot N$.

Hệ số k_L được gọi là hệ số ma sát lăn. Hệ số ma sát lăn k_L phụ thuộc vào tính chất đàn hồi của vật liệu.

b) Nguyên nhân của hiện tượng ma sát lăn

• Tính đàn hồi trễ của vật liệu

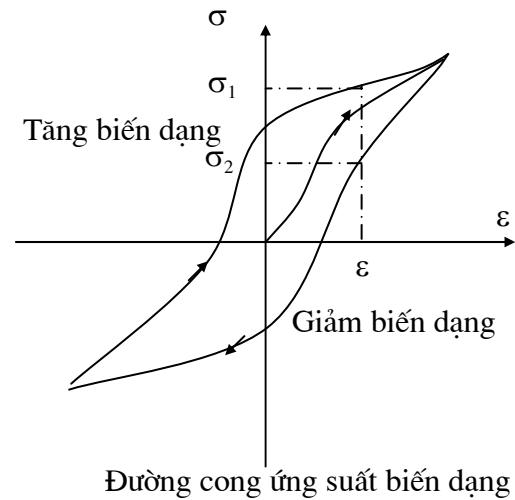
Có thể giải thích hiện tượng ma sát lăn nhờ *tính đàn hồi trễ của vật liệu* như sau:

Với cùng một biến dạng, thì ứng suất khi tăng biến dạng sẽ lớn hơn ứng suất khi giảm biến dạng. Hình 4.6a mô tả quan hệ giữa ứng suất biến dạng và được gọi là đường cong ứng suất - biến dạng.

Trên hình 4.6a ta thấy với cùng một biến dạng ϵ , ứng suất σ_1 khi tăng biến dạng lớn hơn ứng suất σ_2 khi giảm biến dạng.

• **Giải thích hiện tượng ma sát lăn**

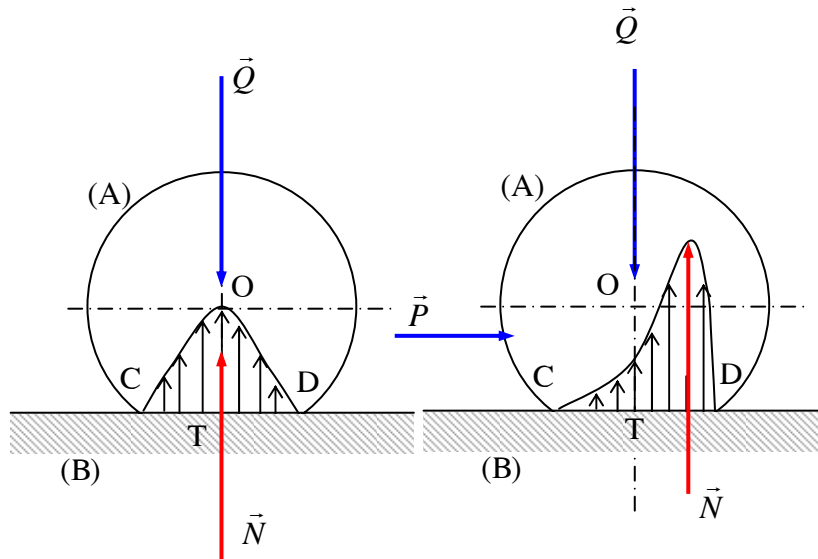
✓ Khi đặt lên A ngoại lực \vec{Q} đi qua O và giả sử chỉ có A biến dạng còn B không biến dạng, thì A và B sẽ tiếp xúc nhau theo cung CD. Biến dạng ở vùng tiếp xúc phân bố đối xứng nhau qua phương của lực \vec{Q} . Do ứng suất tỷ lệ với biến dạng, nên phân bố ứng suất cũng tương tự. áp lực \vec{N} từ B tác động lên A là tổng của các ứng suất này sẽ đi qua tâm O và $\vec{N} = -\vec{Q}$ (Hình 4.6b).



Hình 4.6a

✓ Khi đặt tiếp lên A lực đẩy \vec{P} và A đang lăn trên B thì biến dạng vẫn phân bố đối xứng qua phương của lực \vec{Q} như trước, nhưng trên cung DT có quá trình tăng biến dạng, còn trên cung CT có quá trình giảm biến dạng, do đó ứng suất không còn phân bố đối xứng nữa, mà lệch về phía D. Do sự phân bố lệch của các ứng suất nên áp lực \vec{N} từ B lên A cũng lệch về phía D một đoạn k_L (hình 4.6c).

Hai lực \vec{N} và \vec{Q} với $\vec{N} = -\vec{Q}$ tạo thành một ngẫu lực có momen $M_{MSL} = k_L \cdot Q$ cản lại chuyển động lăn của hình trụ A và đây chính là momen ma sát lăn M_{MSL} với k_L là hệ số ma sát lăn.



Hình 4.6b :

Hình 4.6c :

c) Các trường hợp chuyển động của vật A

Tùy theo giá trị của lực \vec{P} và khoảng cách h mà hình trụ A có các chuyển động khác nhau so với mặt phẳng B :

- ✓ Khi $P < F$ và $M_L < M_{MSL}$ thì A không lăn không trượt (đứng yên) so với B.
- ✓ Khi $P > F$ và $M_L < M_{MSL}$ thì A trượt không lăn so với B.
- ✓ Khi $P < F$ và $M_L > M_{MSL}$ thì A lăn không trượt so với B
- ✓ Khi $P > F$ và $M_L > M_{MSL}$ thì A vừa lăn vừa trượt so với B.

d) Vòng tròn ma sát lăn - Hiện tượng tự hãm khi lăn

✓ Xét hình trụ A tiếp xúc với mặt phẳng B theo một đường sinh của nó (hình 4.7).

Đặt lên hình trụ A lực \vec{Q} vuông góc với mặt phẳng B và có phương nằm cách tâm O của hình trụ một khoảng bằng x.

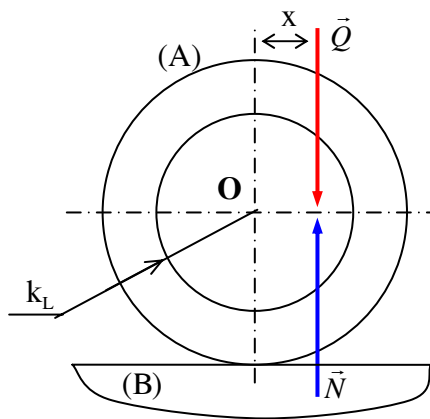
Ngoại lực \vec{Q} vừa có tác dụng gây ra áp lực \vec{N} từ B tác động lên A : $\vec{N} = -\vec{Q}$, vừa có tác dụng gây ra momen lăn M_L có giá trị bằng : $M_L = Qx$.

✓ Xét vòng tròn tâm O, bán kính k_L với k_L là hệ số ma sát lăn. Vòng tròn tâm O bán kính k_L được gọi là *vòng tròn ma sát lăn*.

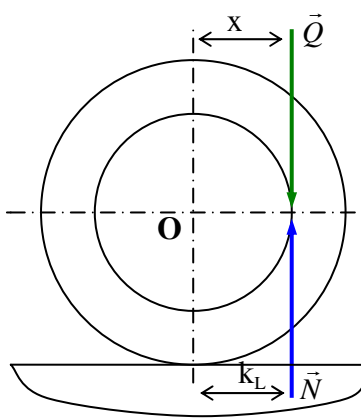
Khi \vec{Q} cắt vòng tròn ma sát lăn tức là khi $x < k_L$ (hình 4.7a), thì dù giá trị của \vec{Q} có lớn bao nhiêu đi nữa, vẫn luôn có $M_L = Q \cdot x < M_{MSL} = Q \cdot k_L$: A không thể lăn trên mặt phẳng B. Hiện tượng này được gọi là hiện tượng tự hãm khi lăn.

Khi \vec{Q} tiếp xúc với vòng tròn ma sát lăn tức là khi $x = k_L$ (hình 4.7b) thì $M_L = M_{MSL}$: chuyển động lăn của A trên mặt phẳng B là đều.

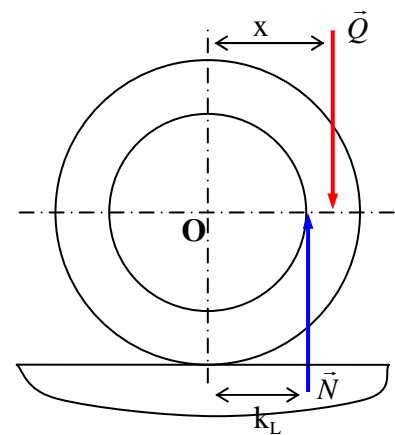
Khi \vec{Q} không cắt vòng tròn ma sát lăn tức là khi $x > k_L$ (hình 4.7c) thì $M_L > M_{MSL}$: chuyển động lăn của A trên B là nhanh dần.



Hình 4.7a :



Hình 4.7b :



Hình 4.7c :

§2. Ma sát trượt khô trong khớp trượt

1) Ma sát trong rãnh hình tam giác

✓ Trong khớp trượt, các thành phần khớp động có thể là *mặt phẳng* hay *mặt trụ*. Mô hình sử dụng khi nghiên cứu định luật Coulomb chính là một khớp trượt trong đó mỗi thành phần khớp động là một mặt phẳng.

Đối với rãnh hình tam giác (hình 4.8), mỗi thành phần khớp động là hai mặt phẳng ab và cd làm với nhau một góc nhị diện bằng 2γ . Gọi f là hệ số ma sát trượt.

Ta tìm cách quy trường hợp ma sát trong rãnh hình tam giác về ma sát trên mặt phẳng.

✓ Đặt lên A ngoại lực \vec{Q} vuông góc với phương trượt và nằm trên mặt phân giác của góc nhị diện 2γ . Khi đó trên các mặt phẳng tiếp xúc ab và cd xuất hiện các áp lực \vec{N}_1 và \vec{N}_2 từ B tác động lên A. Áp lực \vec{N}_1 vuông góc với mặt phẳng ab, áp lực \vec{N}_2 vuông góc với mặt phẳng cd.

Tổng áp lực \vec{N} từ B tác động lên A nằm theo phương của \vec{Q} :

$$\vec{N} = \vec{N}_1 + \vec{N}_2 \quad (4.1)$$

Do tính chất đối xứng của rãnh nên : $N_1 = N_2$

Chiếu (4.1) lên phương của \vec{Q} :

$$N = N_1 \sin \gamma + N_2 \sin \gamma \quad \Rightarrow \quad N = 2N_1 \sin \gamma \quad (4.2)$$

✓ Nếu đặt thêm lên A lực \vec{P} song song với phương trượt để tạo ra chuyển động tương đối của A so với B, thì trên các mặt phẳng ab và cd xuất hiện các lực ma sát \vec{F}_1 và \vec{F}_2 song song với phương trượt :

$$F_1 = f.N_1$$

$$F_2 = f.N_2$$

Tổng lực ma sát từ B tác động lên A :

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \Rightarrow F = F_1 + F_2$$

$$\Rightarrow F = fN_1 + fN_2$$

$$\Rightarrow F = 2fN_1 \tag{4.3}$$

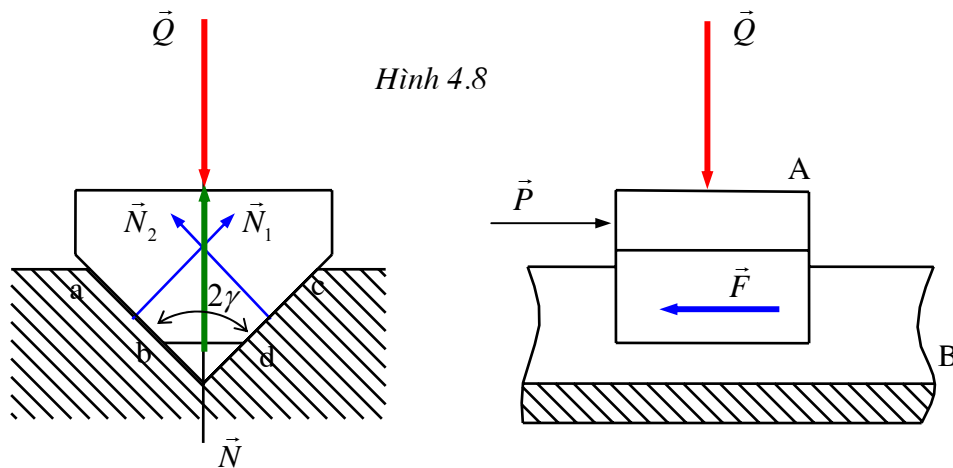
Từ (4.2) và (4.3), suy ra : $F = \frac{f}{\sin \gamma} N$

Hay : $F = f' . N$ (4.4)

Với : $f' = \frac{f}{\sin \gamma}$ (4.5)

f' được gọi là *hệ số ma sát thay thế*.

✓ Như vậy, ma sát trong rãnh hình tam giác có thể quy về ma sát trên mặt phẳng bằng cách sử dụng hệ số ma sát thay thế f' . Biểu thức (4.5) cho thấy ma sát trong rãnh hình tam giác lớn hơn ma sát trên mặt phẳng.



Hình 4.8

2) Ma sát trên mặt phẳng nghiêng

Xét vật A nằm trên mặt phẳng nghiêng B. Vật A tiếp xúc với B theo mặt phẳng và chịu tác động của một lực \vec{Q} thẳng đứng. Gọi α là góc nghiêng của mặt phẳng. Gọi f là hệ số ma sát trượt, φ là góc ma sát với $tg \varphi = f$.

✓ Khi $\alpha < \varphi$ thì \vec{Q} nằm trong nón ma sát (hình 4.9a) và vật A bị tự hãm khi đi xuống (dù \vec{Q} có giá trị lớn bao nhiêu đi nữa, vật A vẫn không thể đi xuống trên mặt phẳng nghiêng).

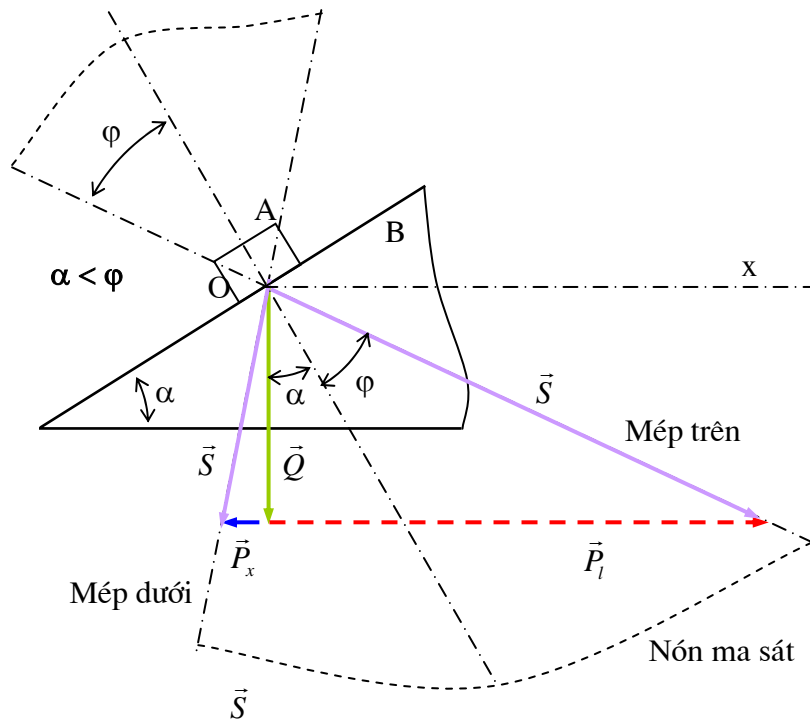
Để cho vật A đi lên đều hay đi xuống đều, phải tác động lên A một lực đẩy \vec{P} sao cho hợp lực $\vec{S} = \vec{P} + \vec{Q}$ nằm trên mép trên hay mép dưới của nón ma sát.

Giả sử lực đẩy \vec{P} có phương nằm ngang (vuông góc với \vec{Q}).

Dựa trên hình 4.9a, ta suy được :

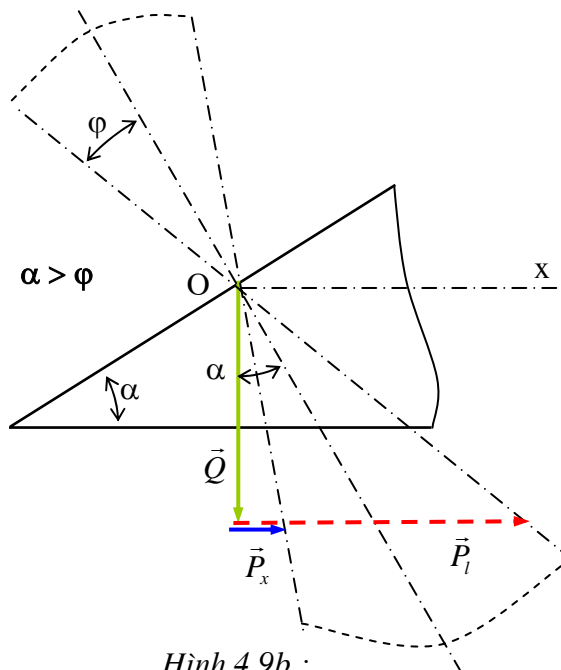
- Để A đi lên đều : $P = P_l = Qtg(\varphi + \alpha)$

- Để A đi xuống đều : $P = P_x = Qtg(\varphi - \alpha)$



Hình 4.9a

- ✓ Khi $\alpha > \varphi$ (hình 4.9b) thì \vec{Q} nằm ngoài nón ma sát (N) và vật A đi xuống nhanh dần.



Hình 4.9b :

Tương tự như trên, ta có :

Để A đi lên đều :

$$P = P_l = Q \operatorname{tg}(\alpha + \varphi)$$

Để A đi xuống đều :

$$P = P_x = Q \operatorname{tg}(\alpha - \varphi)$$

- ✓ Trong cả hai trường hợp trên, nếu $\alpha + \varphi \geq \frac{\pi}{2}$ thì mép trên của nón ma sát nằm phía trên đường thẳng nằm ngang Ox (hình 4.9a, b). Khi đó dù giá trị của lực \vec{P} có lớn bao nhiêu đi nữa thì hợp lực $\vec{S} = \vec{P} + \vec{Q}$ cũng không thể vượt ra ngoài mép trên của nón ma sát : A bị tự hãm khi đi lên.

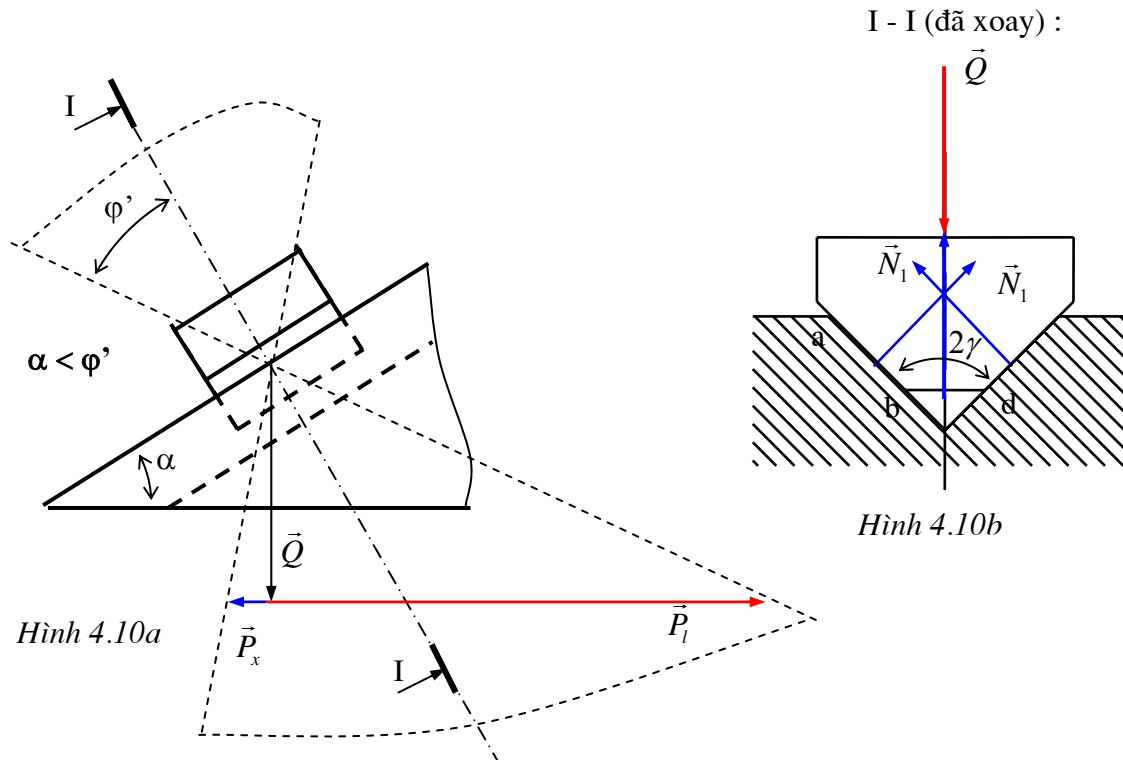
3) Ma sát trên rãnh nghiêng hình tam giác

✓ Xét vật A nằm trên rãnh nghiêng hình tam giác B (hình 4.10a). Hình 4.10b mô tả mặt cắt ngang của rãnh nghiêng, 2γ là góc nhị diện của rãnh nghiêng. Gọi α là góc nghiêng của phương trượt của rãnh nghiêng so với mặt phẳng nằm ngang, φ là góc ma sát.

Giả sử vật A chịu tác động của lực \vec{Q} thẳng đứng.

✓ Tương tự như trên, có thể quy trường hợp ma sát trên rãnh nghiêng hình tam giác về trường hợp ma sát trên mặt phẳng nghiêng, bằng cách thay hệ số ma sát f bằng hệ số ma sát thay thế

$$f' = \frac{f}{\sin \gamma}, \text{ thay góc ma sát } \varphi \text{ bằng góc ma sát thay thế } \varphi' \text{ với } \operatorname{tg} \varphi' = f'.$$



Lực đẩy nằm ngang để vật đi lên hay đi xuống đều cũng như điều kiện tự hãm khi vật đi lên hay đi xuống trên rãnh nghiêng được suy luận tương tự như trường hợp vật đi lên hay đi xuống trên mặt phẳng nghiêng :

- Khi $\alpha < \varphi'$ thì vật A bị tự hãm khi đi xuống trên rãnh nghiêng.

- Lực đẩy nằm ngang \vec{P} để vật A đi lên hay đi xuống đều trên rãnh nghiêng:

$$\text{Khi } \alpha < \varphi' : \boxed{P = P_l = Q \operatorname{tg}(\varphi' + \alpha)}; \quad \boxed{P = P_x = Q \operatorname{tg}(\varphi' - \alpha)}$$

$$\text{Khi } \alpha > \varphi' : \boxed{P = P_l = Q \operatorname{tg}(\alpha + \varphi')}; \quad \boxed{P = P_x = Q \operatorname{tg}(\alpha - \varphi')}$$

- Khi $\alpha + \varphi' \geq \frac{\pi}{2}$ thì vật A bị tự hãm khi đi lên.

4) Ma sát trong khớp ren vít

a) Cấu tạo của khớp ren vít

• Cho hình trụ (Γ) và đường xoắn ốc trên (Γ) có góc xoắn là α . (M) là mặt phẳng đi qua trục zz của hình trụ. Đặt trên (M) một hình chữ nhật abcd, cạnh ad nằm trên một đường sinh của hình trụ, đỉnh a nằm trên đường xoắn ốc.

Cho (M) quay quanh trục zz và luôn giữ cho a chạy trên đường xoắn ốc thì khi đó các cạnh ab, cd của hình chữ nhật sẽ vạch nên những mặt gọi là *mặt ren vuông* (hình 4.11).

- Nếu thay hình chữ nhật abcd bằng hình thang hay hình tam giác thì mặt ren được tạo ra sẽ là mặt ren thang hay mặt ren tam giác.

- Khớp ren vít gồm có hai khâu: đai ốc có ren trong và vít có ren ngoài (hình 4.12a, 4.12b).

Khớp ren vuông (hình 4.12a), khớp ren hình thang dùng để biến chuyển quay thành chuyển động tịnh tiến trong kích vít, trong cơ cấu vít me-đai ốc. Khớp ren hình tam giác (hình 4.12b) thường dùng trong các mối ghép dùng để ghép chặt các chi tiết máy với nhau.

b) Ma sát trong khớp ren vuông

✓ Gọi \vec{Q} là tải trọng dọc trục (thẳng đứng) đặt lên đai ốc A. Ta cần tính momen M_r cần thiết để vận cho đai ốc đi lên (vận vào) hay đi xuống (nói ra) trên vít (hình 4.12a).

✓ Ma sát trong khớp ren vuông có thể xem như ma sát trên mặt phẳng nghiêng, góc nghiêng của mặt phẳng là góc xoắn α của đường xoắn ốc.

✓ Việc vận đai ốc vào hay nói lỏng đai ốc ra bằng cách tác động lên đai ốc momen M_r tương đương với việc đai ốc đi lên hay đi xuống đều trên mặt phẳng nghiêng nhờ một lực đẩy lực đẩy nằm ngang \vec{P} :

$$P = Q \operatorname{tg}(\alpha \pm \varphi), \text{ trong đó: } M_r = P r_{tb}$$

Suy ra momen để vận đai ốc vào hay nói lỏng đai ốc :

$$M_r = Q r_{tb} \operatorname{tg}(\alpha \pm \varphi)$$

✓ Việc đai ốc không tự nói lỏng ra dù giá trị của lực \vec{Q} có lớn đến bao nhiêu đi nữa tương đương với việc đai ốc bị tự hãm khi đi xuống trên mặt phẳng nghiêng, tức là khi :

$$\alpha < \varphi$$

c) Ma sát trong khớp ren hình tam giác

Gọi β là nửa góc ở đỉnh của hình tam giác (β còn được gọi là góc tiết diện ren).

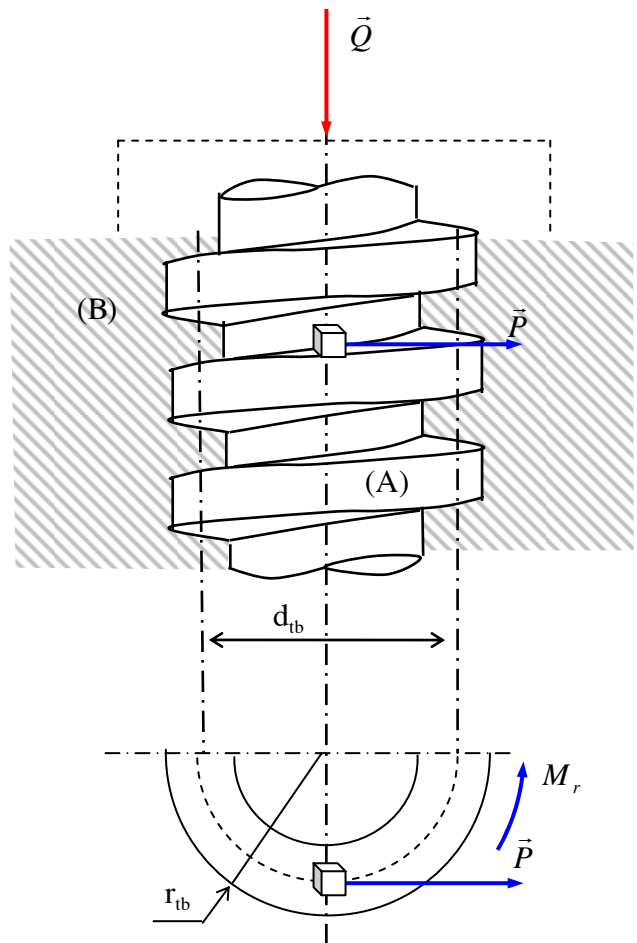
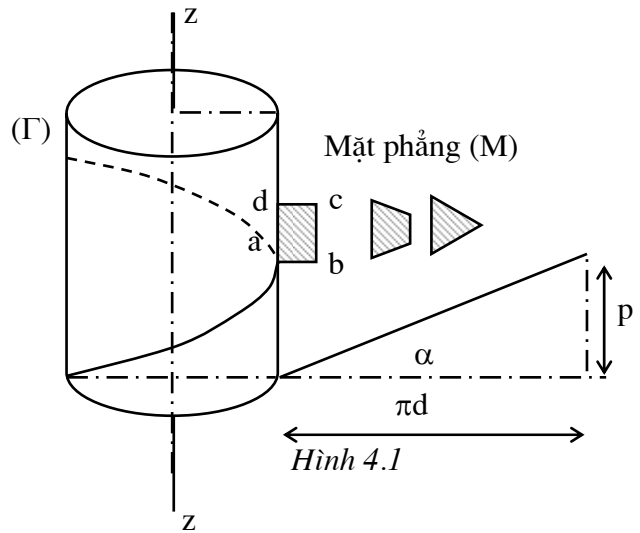
Ma sát trong khớp ren tam giác có thể xem như ma sát trên rãnh nghiêng hình tam giác với góc nghiêng của phương trượt của rãnh nghiêng bằng góc xoắn α của đường xoắn

ốc, góc nhị diện của rãnh bằng 2γ (hình 4.12b) với : $\gamma = \frac{\pi}{2} - \beta$

Lý luận tương tự như trường hợp ma sát trong khớp ren vuông, ta có :

- Momen để vận đai ốc vào hay nói lỏng đai ốc :

$$M_r = r_{tb} \cdot Q \operatorname{tg}(\alpha \pm \varphi')$$



Hình 4.12a

Với φ' là góc ma sát thay thế :

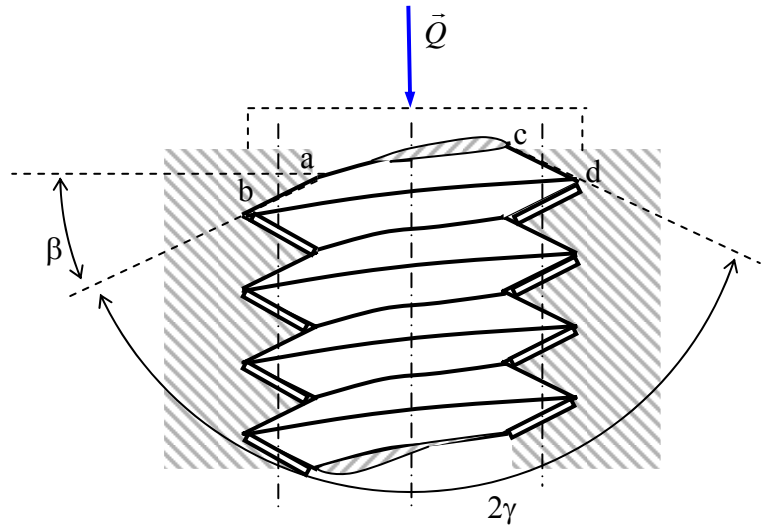
$$\operatorname{tg} \varphi' = f'$$

f' là hệ số ma sát thay thế :

$$f' = \frac{f}{\sin \gamma} \quad \text{hay} \quad \boxed{f' = \frac{f}{\cos \beta}}$$

- Điều kiện để đai ốc không tự
nới lỏng ra dù giá trị của lực \bar{Q}
có lớn đến bao nhiêu đi nữa :

$$\alpha < \varphi'$$

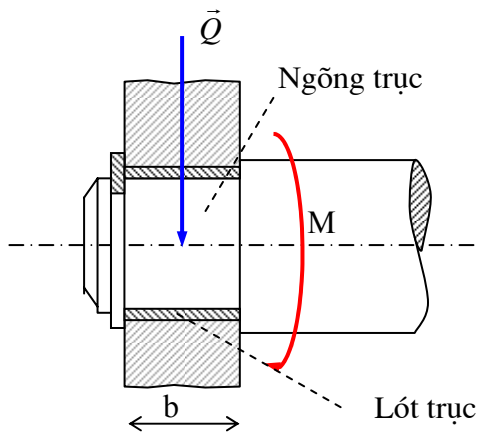


Hình 4.12b

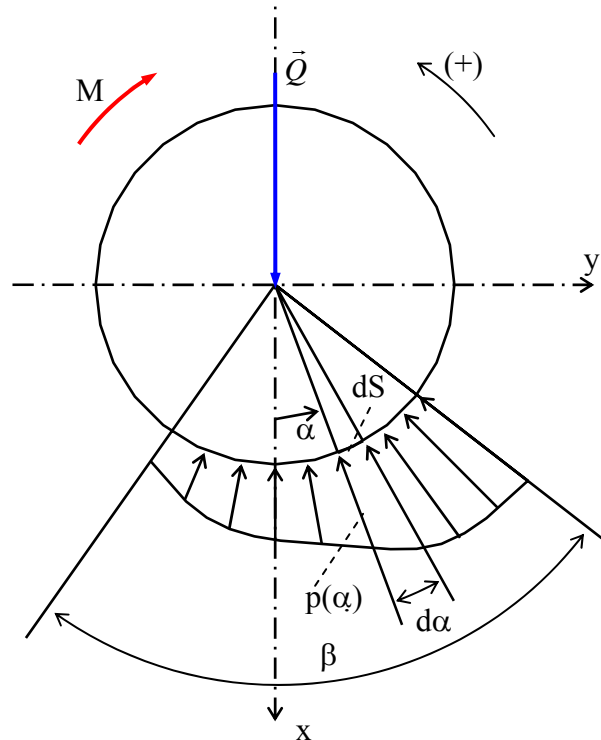
§3. Ma sát trượt trong khớp quay

Trong khớp quay có hai khâu được nối với nhau là trục và ổ trục. Chi tiết trong ổ trục trực tiếp tiếp xúc với trục là *lót trục*. Phần trục trực tiếp tiếp xúc với lót trục được gọi là *ngõng trục*. Hình 4.13b mô tả một mặt cắt ngang của khớp quay. Ta sẽ sử dụng mặt cắt ngang này để nghiên cứu bài toán.

1) Momen ma sát trong khớp quay



Hình 4.13a



Hình 4.13b

• Giả sử trục quay đều dưới tác dụng của tải trọng \bar{Q} thẳng đứng qua tâm O của trục và momen M nằm trong mặt phẳng vuông góc với trục quay (hình 4.13b).

Trục và lót trục tiếp xúc theo cung tròn $\widehat{AB} = \beta$. Giả sử áp suất từ lót trục tác dụng lên ngõng trục phân bố theo quy luật $p(\alpha)$ nào đó trong cung tiếp xúc \widehat{AB} .

Hãy xác định momen ma sát M_{MS} trong khớp quay.

• Xét phân tố diện tích tiếp xúc dS , chắn cung $d\alpha$. Vị trí của dS được xác định bằng góc α so với phương của lực \bar{Q} (so với trục Ox). Chiều dương của trục Ox và chiều dương để xác định các góc định hướng như trên hình 4.13b.

Ta có : $dS = brd\alpha$

với r là bán kính ngõng trục, b là chiều dài tiếp xúc giữa lót trục và ngõng trục.

✓ Trên dS , áp lực từ lót trục tác dụng lên ngõng trục là $d\vec{N}$. Do dS khá nhỏ nên có thể xem như áp suất phân bố đều trên dS và có giá trị bằng $p(\alpha)$. Do đó :

$$dN = p(\alpha)dS = brp(\alpha)d\alpha$$

Do các áp suất $p(\alpha)$ đều đi qua tâm O của trục nên áp lực $d\vec{N}$ cũng đi qua tâm O .

✓ Khi trục quay, trên dS xuất hiện lực ma sát $d\vec{F}$ có chiều hướng ngược với chiều quay của trục. Cũng do dS khá nhỏ nên có thể xem dS là một mặt phẳng, theo định luật Coulomb ta có :

$$d\vec{F} \perp d\vec{N} \text{ và } dF = fdN = brfp(\alpha)d\alpha$$

với f là hệ số ma sát trượt.

✓ Momen ma sát trên phần tử diện tích dS :

$$dM_{MS} = rdF = bfr^2 p(\alpha)d\alpha$$

Suy ra, momen ma sát từ lót trục tác dụng lên ngõng trục :

$$M_{MS} = \int_{\beta} dM_{MS} = \int_{\beta} bfr^2 p(\alpha)d\alpha$$

$$\Rightarrow M_{MS} = bfr^2 \int_{\beta} p(\alpha)d\alpha \quad (4.6)$$

• Công thức (4.6) mới chỉ cho ta quan hệ giữa momen ma sát M_{MS} và áp suất $p(\alpha)$. Để tính M_{MS} theo tải trọng \vec{Q} cần xác định quan hệ giữa \vec{Q} và $p(\alpha)$.

Gọi : $d\vec{R} = d\vec{N} + d\vec{F}$

Ta có : $dR = \sqrt{dN^2 + dF^2} = \sqrt{dN^2 + (fdN)^2} = dN\sqrt{1 + f^2}$

$$\Rightarrow dR = br\sqrt{1 + f^2} p(\alpha)d\alpha$$

Và : $\text{tg}(d\vec{R}, d\vec{N}) = \frac{dF}{dN} = f = \text{tg}\varphi$ (hình 4.14a)

$$\Rightarrow (d\vec{R}, d\vec{N}) = \varphi$$

Mặt khác : $(d\vec{N}, \vec{Q}) = \pi - \alpha$

$$\Rightarrow (d\vec{R}, \vec{Q}) = (d\vec{R}, d\vec{N}) + (d\vec{N}, \vec{Q}) = \varphi + (\pi - \alpha)$$

$$\Rightarrow (d\vec{R}, \vec{Q}) = \pi + \varphi - \alpha$$

Từ điều kiện cân bằng lực của trục (hình 4.13b và hình 4.14a) suy ra :

$$\vec{Q} + \int_{\beta} d\vec{R} = 0 \quad (4.7)$$

Chiếu phương trình (4.7) lên phương của lực \vec{Q} , suy ra :

$$Q + \int_{\beta} dR \cos(d\vec{R}, \vec{Q}) = 0$$

$$\Rightarrow Q + \int_{\beta} br\sqrt{1 + f^2} p(\alpha)d\alpha \cos(\pi + \varphi - \alpha) = 0$$

$$\Rightarrow Q = br\sqrt{1 + f^2} \int_{\beta} p(\alpha) \cos(\varphi - \alpha)d\alpha \quad (4.8)$$

Từ (4.6) và (4.8) suy được :

$$M_{MS} = \frac{\int_{\beta} p(\alpha) d\alpha}{\int_{\beta} p(\alpha) \cos(\varphi - \alpha) d\alpha} r \frac{f}{\sqrt{1+f^2}} Q \quad (4.9)$$

Đây là công thức tổng quát để tính momen ma sát trong khớp quay.

Gọi : $f' = \frac{f}{\sqrt{1+f^2}}$ là hệ số ma sát thay thế.

$$\lambda = \frac{\int_{\beta} p(\alpha) d\alpha}{\int_{\beta} p(\alpha) \cos(\varphi - \alpha) d\alpha} \text{ là hệ số phân bố áp suất} \quad (4.10)$$

Suy ra : $M_{MS} = \lambda f' r Q$

2) Tổng áp lực \vec{N} và tổng lực ma sát \vec{F}

a) Quan hệ giữa tổng áp lực \vec{N} và lực ma sát \vec{F}

Trên phần tử diện tích tiếp xúc dS khá nhỏ (và được coi như là một mặt phẳng), áp lực $d\vec{N}$ và lực ma sát $d\vec{F}$ có quan hệ như sau theo định luật Coulomb : $d\vec{F} \perp d\vec{N}$ và $dF = fdN$

Gọi \vec{N} là tổng áp lực và \vec{F} là tổng lực ma sát trong khớp quay :

$$\vec{N} = \sum d\vec{N} \text{ và } \vec{F} = \sum d\vec{F}$$

Giữa tổng áp lực \vec{N} và tổng lực ma sát \vec{F} cũng có quan hệ như sau : $\vec{F} \perp \vec{N}$ và $F = fN$. Hãy chứng minh điều này.

➤ Cách thứ nhất

Ta có : $(d\vec{N}, \vec{Ox}) = -\pi - \alpha$ (hình 4.14a)

Và : $(d\vec{F}, \vec{Ox}) = (d\vec{F}, d\vec{N}) + (d\vec{N}, \vec{Ox}) = \frac{\pi}{2} - \pi - \alpha \Rightarrow (d\vec{F}, \vec{Ox}) = -\frac{\pi}{2} - \alpha$

Biểu diễn $d\vec{N}$ và $d\vec{F}$ bằng số phức, ta có :

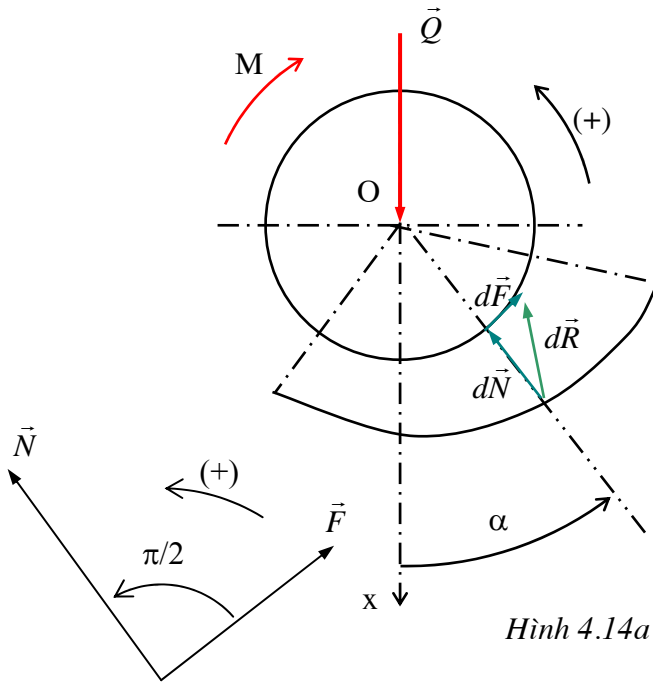
$$\begin{cases} d\vec{N} = e^{j(-\pi-\alpha)} dN \\ d\vec{F} = e^{j(-\frac{\pi}{2}-\alpha)} dF \end{cases}$$

Như vậy :
$$\begin{cases} \vec{N} = \sum d\vec{N} = \sum e^{j(-\pi-\alpha)} dN = e^{-j\pi} \sum e^{-j\alpha} dN \\ \vec{F} = \sum d\vec{F} = \sum e^{j(-\frac{\pi}{2}-\alpha)} dF = e^{-j\frac{\pi}{2}} \sum e^{-j\alpha} fdN \end{cases}$$

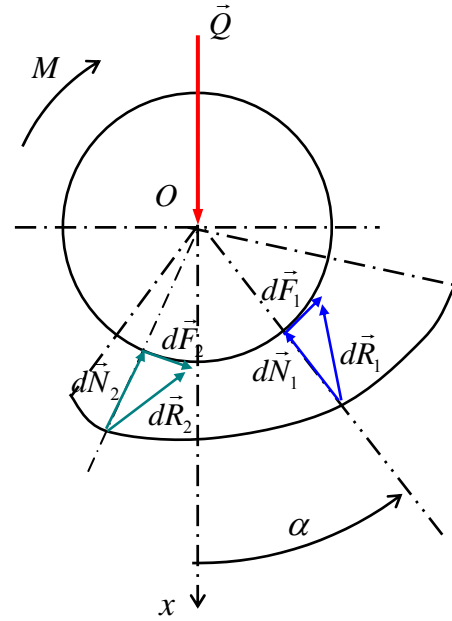
Suy ra : $\vec{F} = e^{j\frac{\pi}{2}} f\vec{N}$

Điều này chứng tỏ : $F = fN$ và : $(\vec{F}, \vec{N}) = \frac{\pi}{2}$ hay $\vec{F} \perp \vec{N}$

➤ **Cách thứ hai**



Hình 4.14a



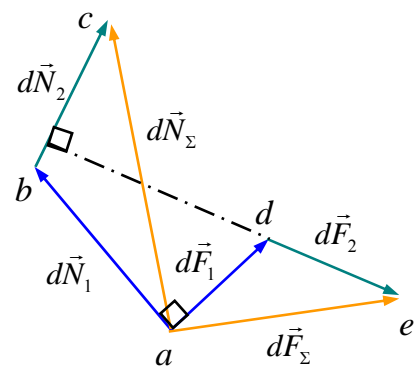
Hình 4.14b

✓ Xét hai phân tố diện tích tiếp xúc bất kỳ dS_1 và dS_2 (hình 4.14b). Trên dS_1 , lực ma sát và áp lực từ lót trực tác động lên ngõng trục là $d\vec{F}_1$ và $d\vec{N}_1$ với $d\vec{F}_1 \perp d\vec{N}_1$ và $dF_1 = f dN_1$. Trên dS_2 , lực ma sát và áp lực từ lót trực tác động lên ngõng trục là $d\vec{F}_2$ và $d\vec{N}_2$ với $d\vec{F}_2 \perp d\vec{N}_2$ và $dF_2 = f dN_2$.

Gọi $d\vec{F}_\Sigma = d\vec{F}_1 + d\vec{F}_2$ và $d\vec{N}_\Sigma = d\vec{N}_1 + d\vec{N}_2$

✓ Hãy chứng minh rằng : $d\vec{F}_\Sigma \perp d\vec{N}_\Sigma$ và $dN_\Sigma = f dF_\Sigma$

Dựa vào hoạ đồ lực trình bày trên hình vẽ 4.14c, ta thấy rằng hai tam giác abc và ade đồng dạng với nhau. Thật vậy :



Hình 4.14c

góc $\hat{b} = \text{góc } \hat{d}$ (góc có cạnh vuông góc)

$$\frac{ab}{ad} = \frac{dN_1}{dF_1} = \frac{bc}{de} = \frac{dN_2}{dF_2} = \frac{1}{f}$$

Suy ra : $ac \perp ae; \frac{ac}{ae} = \frac{1}{f}$ tức là : $d\vec{F}_\Sigma \perp d\vec{N}_\Sigma$ và $dN_\Sigma = f dF_\Sigma$

Với hai phân tố bất kỳ, tổng áp lực và tổng lực ma sát tuân theo định luật Coulomb. Do vậy bằng phương pháp quy nạp toán học, ta có thể kết luận rằng : $\boxed{F = fN}$ và $\boxed{\vec{F} \perp \vec{N}}$

b) Tổng áp lực \vec{N} và tổng lực ma sát \vec{F}

• **Tổng áp lực \vec{N}**

✓ **Điểm đặt :**

Do các $d\vec{N}$ đều đi qua tâm O của trục nên tổng áp lực \vec{N} đi qua tâm O (hình 4.16).

✓ **Phương chiều :**

Gọi $\vec{R} = \vec{N} + \vec{F}$. Điều kiện cân bằng lực của trục cho ta : $\vec{Q} = -\vec{R}$

Thế mà : $tg(\vec{R}, \vec{N}) = \frac{F}{N} = f = tg\varphi$

$$\Rightarrow (\vec{R}, \vec{N}) = \varphi$$

$$\Rightarrow (-\vec{Q}, \vec{N}) = \varphi$$

Như vậy, tổng áp lực \vec{N} hợp với phương của lực \vec{Q} một góc bằng góc ma sát φ .

✓ Giá trị

$$N = R \cos \varphi = \frac{Q}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi}} = \frac{Q}{\sqrt{1 + f^2}} \Rightarrow \boxed{N = \frac{Q}{\sqrt{1 + f^2}}}$$

• Tổng lực ma sát \vec{F}

✓ Phương chiều

Như đã chứng minh ở trên tổng lực ma sát \vec{F} vuông góc với tổng áp lực \vec{N} : $\vec{F} \perp \vec{N}$

✓ Giá trị

$$F = fN \Rightarrow \boxed{F = \frac{fQ}{\sqrt{1 + f^2}} = f'Q}$$

✓ Điểm đặt

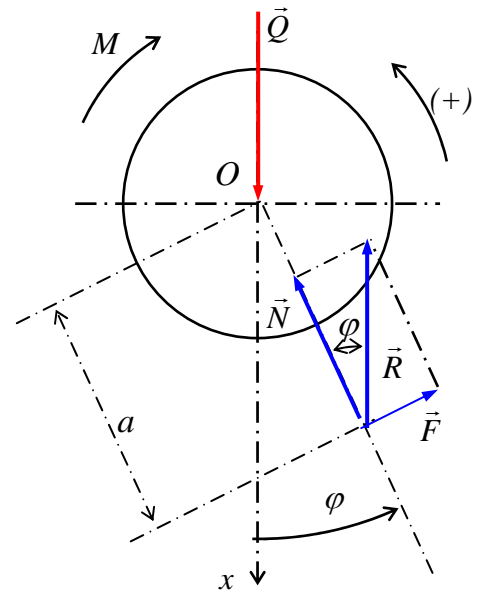
Cánh tay đòn a của lực F được xác định như sau:

$$M_{MS} = \sum dM_{MS} = \sum M(d\vec{F})_{/O} = aF$$

$$\Rightarrow a = \frac{M_{MS}}{F} = \frac{\lambda r f' Q}{F} = \frac{\lambda r F}{F}$$

$$\Rightarrow \boxed{a = \lambda r}$$

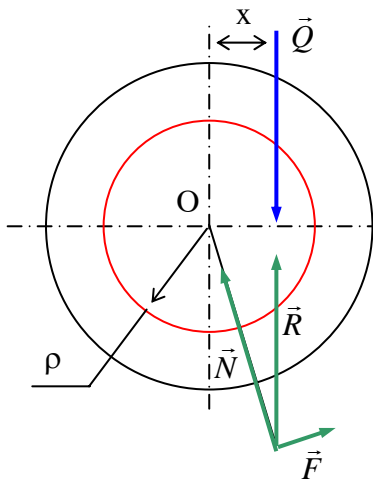
Từ biểu thức (4.10) chúng ta thấy rằng $\lambda \geq 1$ nên $a \geq r$



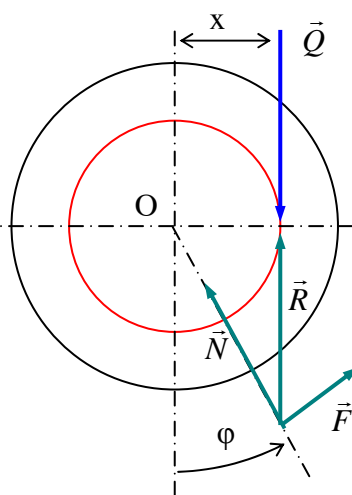
Hình 4.16

3) Vòng tròn ma sát và hiện tượng tự hãm trong khớp quay

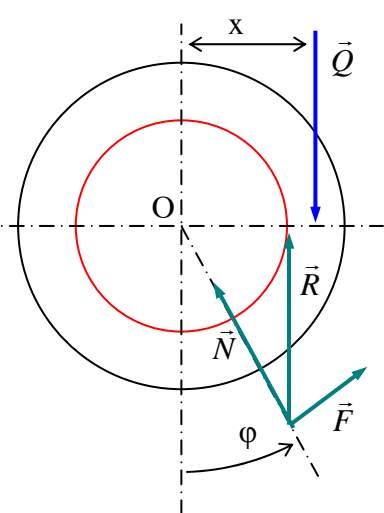
• Xét vòng tròn tâm O (O là tâm của trục) bán kính $\rho = \lambda r f'$. Vòng tròn (O, ρ) được gọi là vòng tròn ma sát trong khớp quay (hình 4.17a, b, c).



Hình 4.17a



Hình 4.17b



Hình 4.17c

• Giả sử trục chịu tác dụng của tải trọng \vec{Q} (thẳng đứng) lệch khỏi tâm O một khoảng bằng x . Lực \vec{Q} tạo ra momen $M_q = Qx$ có xu hướng làm cho trục quay quanh tâm O.

✓ Khi \vec{Q} cắt vòng tròn (O, ρ) tức là khi $x < \rho$ thì $M_q = Qx < Q\rho = \lambda r f' Q = M_{MS}$: dù giá trị của lực \vec{Q} có lớn bao nhiêu đi nữa, trục vẫn không quay được. Hiện tượng này gọi là hiện tượng tự hãm trong khớp quay (hình 4.17a).

✓ Khi \vec{Q} tiếp xúc với vòng tròn (O, ρ) tức là khi $x = \rho$ thì $M_q = M_{MS}$: chuyển động quay của trục là đều (hình 4.17b).

✓ Khi \vec{Q} cắt vòng tròn (O, ρ) tức là khi $x > \rho$ thì $M_q > M_{MS}$: chuyển động quay của trục là nhanh dần (hình 4.17c).

4) Các trường hợp cụ thể của khớp quay

a) Khớp quay có độ hở

Trong khớp quay có độ hở, bán kính ngõng trục nhỏ hơn bán kính lót trục. Hình 4.18a mô tả mặt cắt ngang của khớp quay có độ hở. Ta sẽ sử dụng mặt cắt ngang này khi nghiên cứu bài toán.

• Đặt lên trục một lực \vec{Q} thẳng đứng, đi qua tâm O của trục. Dưới tác dụng của \vec{Q} , trục và lót trục tiếp xúc nhau tại điểm thấp nhất A.

Đặt thêm lên trục một momen M nằm trong mặt phẳng chuyển động của trục.

Cho M tăng dần từ 0. Khi M lớn hơn momen cản lăn giữa trục và lót trục, trục bắt đầu lăn và leo lên lót trục cho đến khi điểm tiếp xúc giữa trục và lót trục đạt đến điểm B với $\widehat{AB} = \varphi$ (với φ là góc ma sát trượt) thì trục dừng lại tại đó (hình 4.18b). Nếu momen M bằng momen ma sát trượt M_{MS} trong khớp quay thì trục sẽ quay đều, còn nếu M lớn hơn M_{MS} thì trục sẽ quay nhanh dần.

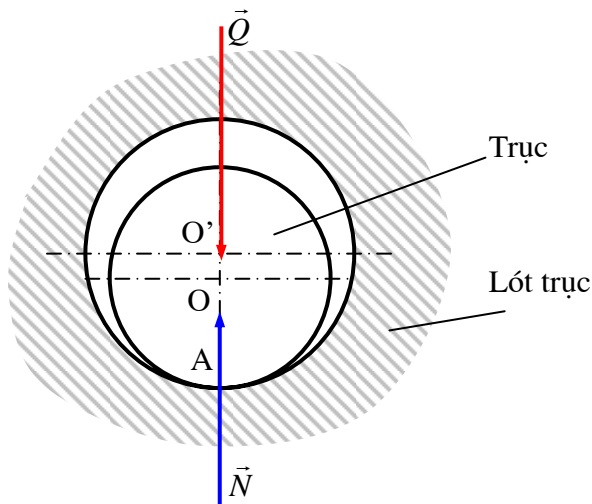
Điều này có thể giải thích như sau: Bề mặt lót trục có thể xem như là tập hợp các mặt phẳng nghiêng liên tiếp có góc nghiêng tăng liên tục từ 0. Tại điểm A góc nghiêng của mặt phẳng nghiêng bằng 0. Lúc đầu $\alpha < \varphi$ nên trục bị tự hãm và không thể trượt xuống trên mặt phẳng nghiêng. Nhờ đó trục sẽ lăn và leo lên dần lên lót trục. Khi leo đến điểm B thì $\alpha = \varphi$, trục hết bị tự hãm, không thể leo lên cao hơn mà trượt tại chỗ. Khi đó, nếu $M = M_{MS}$ thì trục quay đều, nếu $M > M_{MS}$ thì trục quay nhanh dần.

• Do trục và lót trục tiếp xúc nhau theo một điểm B nên tổng áp lực \vec{N} và tổng lực ma sát \vec{F} từ lót trục tác dụng lên trục tập trung tại điểm B (hình 4.18b).

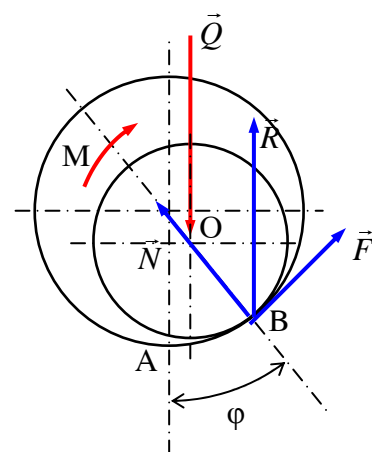
Cánh tay đòn a của lực \vec{F} : $[a = r]$ với r là bán kính của ngõng trục.

Hệ số phân bố áp suất: $[\lambda = 1]$.

Momen ma sát trong khớp quay có độ hở bằng: $M_{MS} = rf'Q$



Hình 4.18a



Hình 4.18b :

b) Khớp quay khít còn mới

Khi bán kính ngõng trục và lót trục bằng nhau thì khớp quay được gọi là khớp quay khít.

• Đối với khớp quay khít mới chế tạo, trục và lót trục tiếp xúc trên nửa cung tròn \widehat{AIB} . áp suất từ lót trục tác dụng lên trục xem như phân bố đều trên cung tiếp xúc: $p(\alpha) = p_0 =$ hằng số. Do đó áp lực \vec{N} nằm trên đường thẳng đối xứng OI của cung \widehat{AIB} (hình 4.19). Khi trục quay đều dưới tác dụng của tải trọng \vec{Q} và momen M, ta có : $(-\vec{Q}, \vec{N}) = \varphi$

$$\text{Hệ số phân bố áp suất : } \lambda = \frac{\int_{-\frac{\pi}{2}+\varphi}^{\frac{\pi}{2}+\varphi} p_0 d\alpha}{\int_{-\frac{\pi}{2}+\varphi}^{\frac{\pi}{2}+\varphi} p_0 \cos(\varphi - \alpha) d\alpha} = \frac{\pi}{2}$$

$$\text{Suy ra : } \boxed{\lambda = \frac{\pi}{2} \quad a = \frac{\pi}{2} r \quad M_{MS} = \frac{\pi}{2} r f' Q} \quad (4.11)$$

c) Khớp quay khít đã chạy mòn

• Trên thực tế, trục được làm bằng thép tôi cứng, lót trục làm bằng vật liệu mềm hơn (đồng thanh, béc bít...) nên có thể giả sử chỉ có lót trục bị mòn, còn trục không mòn, mà chỉ lún xuống một lượng là u_0 theo phương của áp lực \vec{N} (hình 4.20).

Trục và lót trục tiếp xúc nhau theo nửa vòng tròn $AIB = \beta = \pi$ đối xứng nhau qua \vec{N} .

Khi trục quay đều dưới tác dụng của lực và momen M thì $(-\vec{Q}, \vec{N}) = \varphi$.

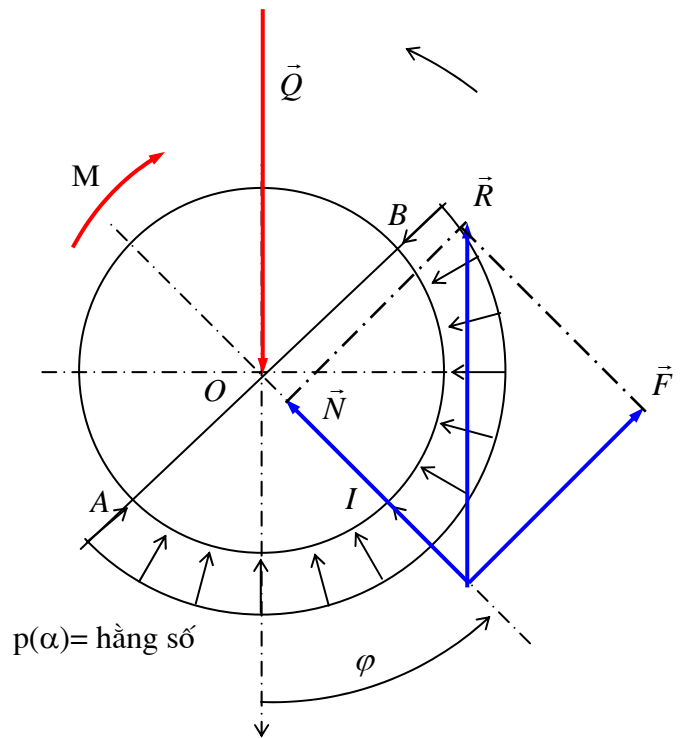
• Tại một điểm tiếp xúc M bất kỳ giữa trục và lót trục (vị trí của điểm M được xác định bằng góc α), độ mòn CM theo phương áp lực \vec{N} là như nhau và bằng u_0 , còn độ mòn DM theo phương hướng tâm O của trục bằng :

$$u(\alpha) = DM = CM \cos \widehat{DMC}$$

$$\Rightarrow u(\alpha) = u_0 \cos(\alpha - \varphi)$$

• Giả sử toàn bộ công ma sát được dùng để làm mòn ổ. Khi đó áp suất $p(\alpha)$ tại điểm tiếp xúc M sẽ tỷ lệ với độ mòn $u(\alpha)$. Suy ra : $p(\alpha) = p_0 \cos(\alpha - \varphi)$ nghĩa là áp suất phân bố theo quy luật hình cosin.

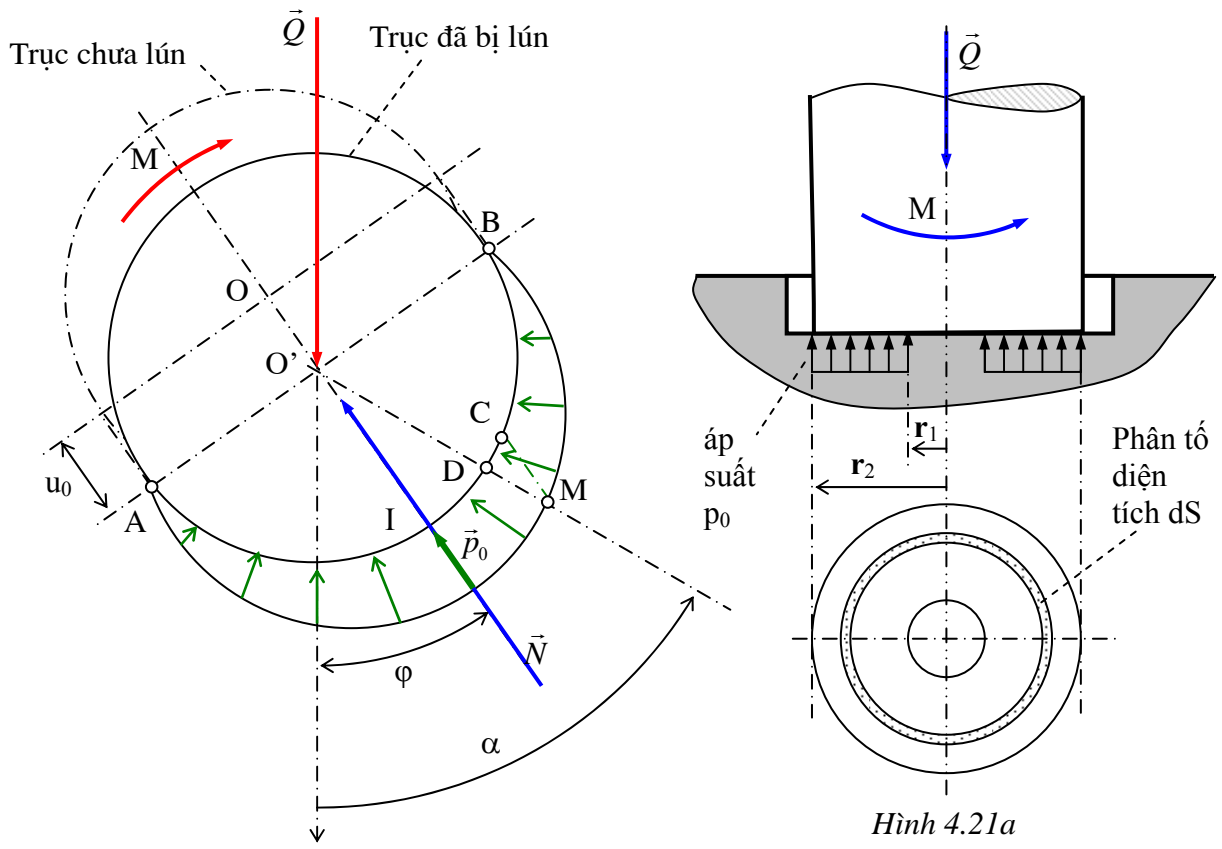
$$\text{• Từ đó : } \lambda = \frac{\int_{-\frac{\pi}{2}+\varphi}^{\frac{\pi}{2}+\varphi} p_0 \cos(\alpha - \varphi) d\alpha}{\int_{-\frac{\pi}{2}+\varphi}^{\frac{\pi}{2}+\varphi} p_0 \cos^2(\alpha - \varphi) d\alpha} = \frac{4}{\pi}$$



Hình 4.19

Suy ra : $\lambda = \frac{4}{\pi}$ $a = \frac{4}{\pi} r$ $M_{MS} = \frac{4}{\pi} r f' Q$ (4.12)

Từ các biểu thức (4.11) và (4.12) ta thấy rằng momen ma sát trượt trong khớp quay khít đã chạy mòn nhỏ hơn momen ma sát trong khớp quay khít còn mới.



Hình 4.20

Hình 4.21a

§4. Ma sát trong khớp quay chặn

Khớp quay chặn dùng để chịu lực chiều trục tác dụng lên trục. Trong khớp quay chặn, trục và lót trục tiếp xúc nhau theo một hình vành khăn bán kính trong là r_1 , bán kính ngoài là r_2 (hình 4.21a).

1) Khớp quay chặn còn mới (ổ chặn)

- Trong khớp quay chặn còn mới, khi chế tạo chính xác, có thể giả thiết áp suất phân bố đều trên toàn bộ diện tích tiếp xúc giữa trục và lót trục. Giá trị áp suất bằng p_0 (hình 4.21a).
- Xét phân tố diện tích tiếp xúc dS hình vành khăn có bán kính trong r , bán kính ngoài $r+dr$. Ta có : $dS = 2\pi r dr$

Trên phân tố dS , áp lực $d\vec{N}$ và lực ma sát $d\vec{F}$ từ lót trục lên trục lần lượt bằng:

$$dN = p_0 dS = 2\pi p_0 r dr$$

$$dF = f dN = 2\pi f p_0 r dr$$

Momen của lực $d\vec{F}$ đối với trục quay :

$$dM_{MS} = r dF = 2\pi f p_0 r^2 dr$$

Do đó momen ma sát trong khớp quay chặn :

$$M_{MS} = \int dM_{MS} = \int_{r_1}^{r_2} 2\pi f p_0 r^2 dr$$

$$\Rightarrow M_{MS} = \frac{2}{3} \pi f p_0 (r_2^3 - r_1^3) \tag{4.13a}$$

$$\text{Xét cân bằng của trục, ta có : } p_0 = \frac{Q}{\pi(r_2^2 - r_1^2)} \quad (4.13b)$$

Thay (4.13b) vào (4.13a) suy ra :

$$M_{MS} = \frac{2}{3} fQ \frac{(r_2^3 - r_1^3)}{(r_2^2 - r_1^2)}$$

2) Khớp quay chặn đã chạy mòn

• Thông thường trục được làm bằng thép tôi cứng, lót trục làm bằng vật liệu mềm hơn nên có thể xem như chỉ có lót trục mòn còn trục không bị mòn, sau khi mòn mặt tiếp xúc giữa trục và lót trục vẫn phẳng (hình 4.21b). Như vậy, độ mòn u tại mọi điểm tiếp xúc I (xác định bằng bán kính r) là như nhau.

• Thí nghiệm cho thấy độ mòn u tại điểm tiếp xúc I tỷ lệ với áp suất p và vận tốc trượt tương đối $v = r\omega$ tại điểm đó.

Do vậy : $u = Cpv$ với C là hằng số tỷ lệ.

Suy ra : $u = Cpr\omega$

Hay: $pr = \frac{u}{C\omega} = A = \text{hằng số}$

Nghĩa là áp suất trên bề mặt tiếp xúc giữa trục và lót trục phân bố theo quy luật hình hypecbôn.

• Xét phân tố diện tích tiếp xúc dS hình vành khăn bán kính trong r , bán kính ngoài $r+dr$.

Ta có : $dS = 2\pi r dr$

Trên phân tố dS , áp lực $d\vec{N}$ và lực ma sát $d\vec{F}$ từ lót trục lên trục lần lượt bằng:

$$dN = p dS = 2\pi p r dr = 2\pi A dr$$

$$dF = f dN = 2\pi A f dr$$

Momen ma sát trên phân tố dS :

$$dM_{MS} = r dF = 2\pi A f r dr$$

Do đó momen ma sát trong khớp quay chặn :

$$M_{MS} = \int dM_{MS} = \int_{r_1}^{r_2} 2\pi A f r dr$$

$$\Rightarrow M_{MS} = \pi A f (r_2^2 - r_1^2) \quad (4.14a)$$

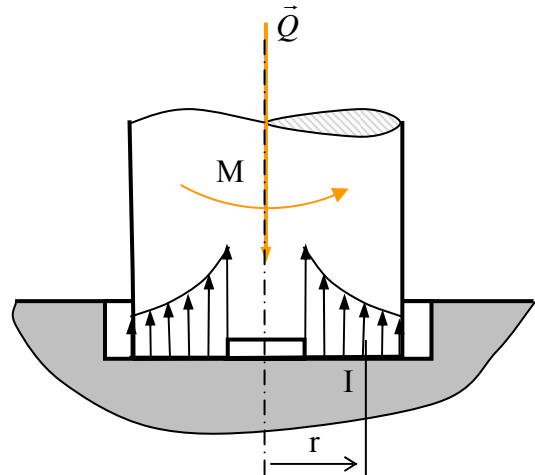
Xét cân bằng của trục :

$$Q = \int dN = \int_{r_1}^{r_2} 2\pi A dr$$

$$\Rightarrow Q = 2\pi A (r_2 - r_1) \quad (4.14b)$$

Thay (4.14b) vào (4.14a) suy ra :

$$M_{MS} = fQ \frac{(r_2 + r_1)}{2}$$



Hình 4.21b



CÂN BẰNG MÁY

§1. Nội dung của cân bằng máy

1) Tác hại của lực quán tính

• Cơ cấu nói chung chuyển động có gia tốc, do đó trên các khâu trong cơ cấu xuất hiện các lực quán tính. Lực quán tính biến thiên có chu kỳ bằng chu kỳ vị trí Φ của cơ cấu, nên thành phần phản lực do nó gây ra (còn gọi là thành phần *phản lực động phụ*) cũng biến thiên có chu kỳ.

Khi vận tốc của máy lớn thì thành phần phản lực động phụ này có thể rất lớn so với thành phần phản lực do ngoại lực gây ra.

• Phản lực động phụ là nguyên nhân gây ra các hiện tượng có hại như tăng thêm ma sát trong khớp động, giảm hiệu suất của máy, tăng độ mòn của các thành phần khớp.

Do biến thiên có chu kỳ, phản lực động phụ là một trong những nguyên nhân gây ra hiện tượng rung động có hại của máy và móng máy. Khi tần số kích thích gần bằng tần số riêng của máy, trong máy sẽ xuất hiện hiện tượng cộng hưởng, máy rung động mạnh, các chi tiết máy bị phá hủy nhanh chóng. Hiện tượng rung động tác hại đến độ chính xác của sản phẩm được gia công trên máy, ảnh hưởng đến sức khoẻ công nhân và môi trường xung quanh.

2) Nội dung của cân bằng máy

• Để giảm rung cho máy và nền móng, đảm bảo biên độ rung không vượt quá giới hạn cho phép đồng thời giảm ma sát trong khớp động, nhờ đó tăng độ bền mòn của các thành phần khớp và tăng hiệu suất máy, cần phải khử *hoàn toàn* hay *một phần* phản lực động phụ bằng cách *thay đổi* hoặc *phân bố lại* khối lượng các khâu sao cho các lực quán tính tác dụng lên cơ cấu cân bằng lẫn nhau, không truyền lên khớp động hay truyền lên móng máy. Đây chính là nội dung của cân bằng máy.

• Như vậy, để máy cân bằng, phải có : $\sum \vec{P}_{qi} = 0$ và $\sum \vec{M}_{qi} = 0$, với $\sum \vec{P}_{qi}$ và $\sum \vec{M}_{qi}$ lần lượt là tổng các lực quán tính và momen lực quán tính tác động lên các khâu trong cơ cấu.

- Có hai loại bài tính cân bằng máy :
 - + Cân bằng vật quay
 - + Cân bằng cơ cấu nhiều khâu

§2. Cân bằng vật quay

Vật quay mỏng là vật quay mà khối lượng của nó coi như phân bố trên cùng một mặt phẳng vuông góc với trục quay, ví dụ đĩa xích, bánh răng... (khi tỷ số chiều dài L theo phương trục quay và bán kính R vật quay: $L/R \ll 1$)

Vật quay dày là vật quay mà khối lượng của nó coi như phân bố trên các mặt phẳng khác nhau vuông góc với trục quay, ví dụ rôto của động cơ điện, puli nhiều bậc... (khi tỷ số L/R không nhỏ lắm).

1) Cân bằng vật quay mỏng

a) Nguyên tắc cân bằng vật quay mỏng

• Xét một vật quay mỏng (gọi là *đĩa*) có các khối lượng m_i ($i = 1, 2, 3, \dots$) coi như phân bố trong cùng một mặt phẳng vuông góc với trục quay. Vị trí của khối lượng m_i được xác định bằng bán kính vectơ \vec{r}_i trong hệ toạ độ Oxy gắn liền với đĩa.

- Khi đĩa quay đều với vận tốc góc ω , mỗi khối lượng m_i gây ra một lực quán tính ly tâm \vec{P}_{qi} :

$$\vec{P}_{qi} = \omega^2 m_i \vec{r}_i$$

Các lực quán tính \vec{P}_{qi} nằm trong cùng một mặt phẳng và đồng quy tại tâm O của đĩa. Hợp lực của chúng bằng: $\sum \vec{P}_{qi} = \omega^2 \sum m_i \vec{r}_i$

- Gọi m và S lần lượt là khối lượng và khối tâm của đĩa: $m = \sum m_i$. Vị trí của khối tâm S được xác định bằng bán kính vectơ \vec{r}_S trong hệ tọa độ Oxy gắn liền với đĩa, ta có:

$$m \vec{r}_S = \sum m_i \vec{r}_i$$

+ Nếu $\vec{r}_S = 0$ tức là khi khối tâm của đĩa nằm trên trục quay thì $\sum m_i \vec{r}_i = 0$. Khi đó $\sum \vec{P}_{qi} = \omega^2 \sum m_i \vec{r}_i = 0$ và đĩa được coi như được cân bằng.

+ Nếu $\vec{r}_S \neq 0$ thì $\sum \vec{P}_{qi} \neq 0$, khi đó đĩa chưa cân bằng. Để cân bằng đĩa, phải gắn trên đĩa một khối lượng m_{cb} tại vị trí được xác định bằng bán kính vectơ \vec{r}_{cb} trong hệ tọa độ Oxy gắn liền với đĩa, sao cho lực quán tính $\vec{P}_{cb} = \omega^2 m_{cb} \vec{r}_{cb}$ do nó gây ra cân bằng với hợp lực $\sum \vec{P}_{qi}$:

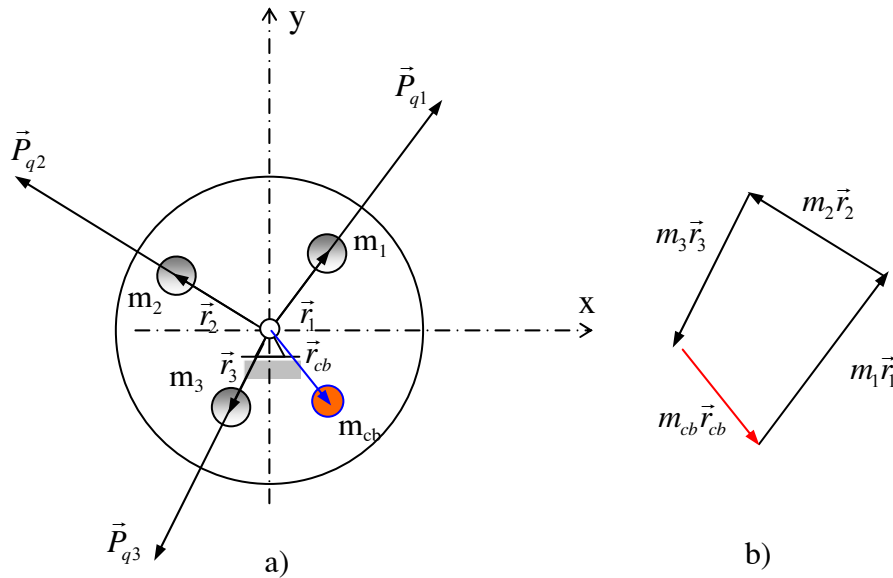
$$\vec{P}_{cb} + \sum \vec{P}_{qi} = 0$$

Hay: $m_{cb} \vec{r}_{cb} + \sum m_i \vec{r}_i = 0$

Suy ra: $m_{cb} \vec{r}_{cb} = -\sum m_i \vec{r}_i = -m \vec{r}_S$

Khối lượng m_{cb} được gọi là *đối trọng cân bằng* và đại lượng $m_{cb} \vec{r}_{cb}$ được gọi là *momen tĩnh* của nó.

- Tóm lại để cân bằng vật quay mỏng *cân và chỉ* cần một đối trọng cân bằng m_{cb} đặt trong cùng mặt phẳng với các khối lượng mất cân bằng m_i .



Hình 5.1

• Ghi chú

+ Gọi \vec{r}_S' là bán kính vectơ xác định vị trí khối tâm mới S' của đĩa.

Ta có: $(m + m_{cb}) \vec{r}_S' = \sum m_i \vec{r}_i + m_{cb} \vec{r}_{cb}$

Do $m_{cb} \vec{r}_{cb} = -\sum m_i \vec{r}_i$ nên $\vec{r}_S' = 0$.

Như vậy, thực chất của cân bằng vật quay mỏng là *phân bố lại* khối lượng của đĩa sao cho $\vec{r}_S' = 0$, hay khối tâm mới S' của đĩa nằm trên trục quay.

+ Thay vì đặt một đối trọng cân bằng m_{cb} tại vị trí \vec{r}_{cb} , có thể *bớt đi* một khối lượng m_{cb} tại vị trí xuyên tâm đối $-\vec{r}_{cb}$.

+ Trong trường hợp nếu kết cấu của đĩa không cho phép hoặc không tiện cho việc thêm hay bớt khối lượng m_{cb} tại các vị trí \vec{r}_{cb} và $-\vec{r}_{cb}$, có thể dùng hai đối trọng cân bằng m_{cb1} và m_{cb2} lần lượt đặt tại các vị trí được xác định bằng các bán kính vectơ \vec{r}_{cb1} và \vec{r}_{cb2} , sao cho:

$$m_{cb1}\vec{r}_{cb1} + m_{cb2}\vec{r}_{cb2} = m_{cb}\vec{r}_{cb}$$

+ Có thể dùng phương pháp họa đồ như trên hình 5.1b để xác định đại lượng $m_{cb}\vec{r}_{cb}$.

b) Phương pháp cân bằng vật quay mỏng

Để cân bằng vật quay mỏng, cần xác định momen tĩnh $m_{cb}\vec{r}_{cb}$ của đối trọng cân bằng, tức là khối lượng m_{cb} và bán kính vectơ \vec{r}_{cb} xác định vị trí của khối lượng này. Việc này được tiến hành bằng thí nghiệm. Khi thí nghiệm ta thường chọn trước \vec{r}_{cb} , do đó cần tìm m_{cb} .

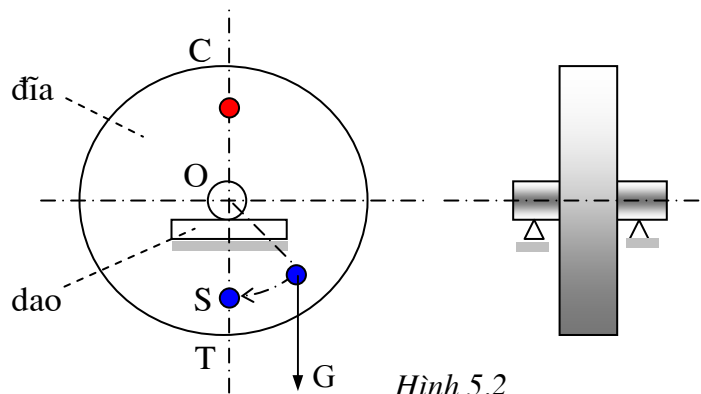
Có nhiều phương pháp khác nhau để cân bằng vật quay mỏng như phương pháp dò trực tiếp, phương pháp đòn cân, phương pháp đối trọng thử. Sau đây sẽ trình bày *phương pháp dò trực tiếp*.

- Đặt trục của đĩa cân cân bằng lên hai lưỡi dao nằm ngang, song song với nhau (hình 5.2). Nếu đĩa chưa cân bằng tức là $\vec{r}_S \neq 0$ thì đĩa sẽ tự lựa một vị trí sao cho trọng tâm S nằm ở vị trí thấp nhất (nằm trên bán kính thẳng đứng hướng xuống \overline{OT} của đĩa).

Đáp máttít vào một điểm thuận tiện trên bán kính thẳng đứng hướng lên \overline{OC} của đĩa. Thêm hoặc bớt máttít cho đến khi đĩa cân bằng *phiếm định* (nghĩa là dù đặt đĩa trên dao ở vị trí nào, đĩa cũng nằm yên và không lăn).

Tại vị trí đáp máttít ta gắn cố định một đối trọng có khối lượng bằng khối lượng máttít, hoặc tại vị trí xuyên tâm đối của vị trí gắn máttít, ta khoan đi một khối lượng như vậy.

- Phương pháp dò trực tiếp có ưu điểm là thiết bị đơn giản nhưng nhược điểm là dò mất nhiều thời gian và không chính xác do có ma sát lăn giữa trục và dao.



Hình 5.2

• Ghi chú :

Các phương pháp cân bằng vừa nêu trên đây được thực hiện khi không cho đĩa quay, do đó được gọi là phương pháp *cân bằng tĩnh* và việc cân bằng vật quay mỏng được gọi là *cân bằng tĩnh*.

2) Cân bằng vật quay dày

a) Nguyên tắc cân bằng vật quay dày

- Trong vật quay dày, khối lượng coi như phân bố trên các mặt phẳng khác nhau và vuông góc với trục quay. Sau khi trọng tâm S của vật quay dày đã được đưa về nằm trên trục quay,

tức là tổng lực quán tính của nó : $\sum \vec{P}_{qi} = 0$ (vật quay coi như đã cân bằng tĩnh), vật quay dày vẫn có thể chịu tác động một momen lực quán tính $\sum \vec{M}_{qi} = 0$ vuông góc với trục quay.

• Xét vật quay dày (hình 5.3) có hai khối lượng m_1, m_2 lần lượt nằm trên hai mặt phẳng (1) và (2) vuông góc với trục quay. Vị trí của m_1 và m_2 lần lượt được xác định bằng các bán kính vectơ \vec{r}_1 và \vec{r}_2 .

Giả sử $m_1 = m_2$ và $\vec{r}_1 = -\vec{r}_2$.

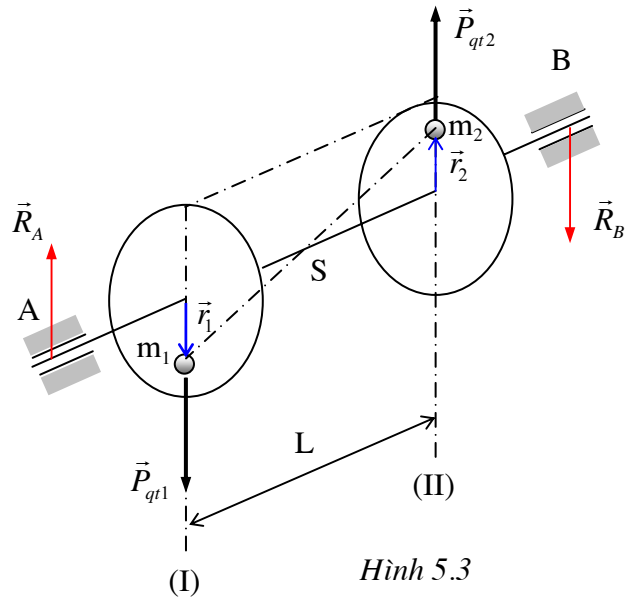
Cho vật quay đều với vận tốc góc ω . Các khối lượng m_1, m_2 gây nên lực quán tính ly tâm bằng : $\vec{P}_{q1} = \omega^2 m_1 \vec{r}_1$ và $\vec{P}_{q2} = \omega^2 m_2 \vec{r}_2$

Rõ ràng: $\sum \vec{P}_q = \vec{P}_{q1} + \vec{P}_{q2} = 0$ và vật quay đã được cân bằng tĩnh, khối tâm S của vật đã nằm trên trục quay.

Tuy nhiên, do \vec{P}_{q1} và \vec{P}_{q2} không nằm trên cùng một mặt phẳng, chúng không triệt tiêu lẫn nhau mà tạo thành một ngẫu lực có momen: $M_q = P_{q1} \cdot L = \omega^2 m_1 r_1 L$. Ngẫu lực này

gây ra các phản lực động phụ \vec{R}_A và \vec{R}_B trong các khớp quay A và B.

• Như vậy, để cân bằng vật quay dày, cần phải cân bằng cả lực quán tính và momen lực quán tính, nghĩa là phải có: $\sum \vec{P}_{qi} = 0$ và $\sum \vec{M}_{qi} = 0$



Hình 5.3

• Nguyên tắc cân bằng vật quay dày

Để cân bằng vật quay dày cần và chỉ cần hai đối trọng cân bằng. Hai đối trọng này được đặt trong hai mặt phẳng khác nhau tùy chọn và vuông góc với trục quay.

Chứng minh

Xét vật quay dày có n khối lượng m_i phân bố trên các mặt phẳng (1), (2),..., (i),..., (n) vuông góc với trục quay. Vị trí của khối lượng m_i trên mặt phẳng (i) được xác định bằng bán kính vectơ \vec{r}_i (hình 5.4).

Cho trục quay đều với vận tốc góc ω . Khối lượng m_i gây ra lực quán tính $\vec{P}_{qi} = \omega^2 m_i \vec{r}_i$.

Gọi (I) và (II) là hai mặt phẳng tùy chọn gắn liền với vật quay và vuông góc với trục quay.

Chia mỗi lực quán tính \vec{P}_{qi} thành hai thành phần là $\vec{P}_{qi(I)}$ và $\vec{P}_{qi(II)}$ song song với \vec{P}_{qi} và lần lượt nằm trên các mặt phẳng (I) và (II) :

$$\vec{P}_{qi} = \vec{P}_{qi(I)} + \vec{P}_{qi(II)}$$

Trên mặt phẳng (I), hệ lực gồm các lực $\vec{P}_{qi(I)}$ là một hệ lực đồng quy. Để cân bằng chúng, ta đặt trên mặt phẳng (I) một đối trọng cân bằng $m_{cb(I)}$ tại vị trí xác định bằng bán kính vectơ $\vec{r}_{cb(I)}$, sao cho lực quán tính $\vec{P}_{cb(I)} = \omega^2 m_{cb(I)} \vec{r}_{cb(I)}$ do nó gây ra cân bằng với các lực $\vec{P}_{qi(I)}$:

$$\vec{P}_{cb(I)} + \sum \vec{P}_{qi(I)} = 0$$

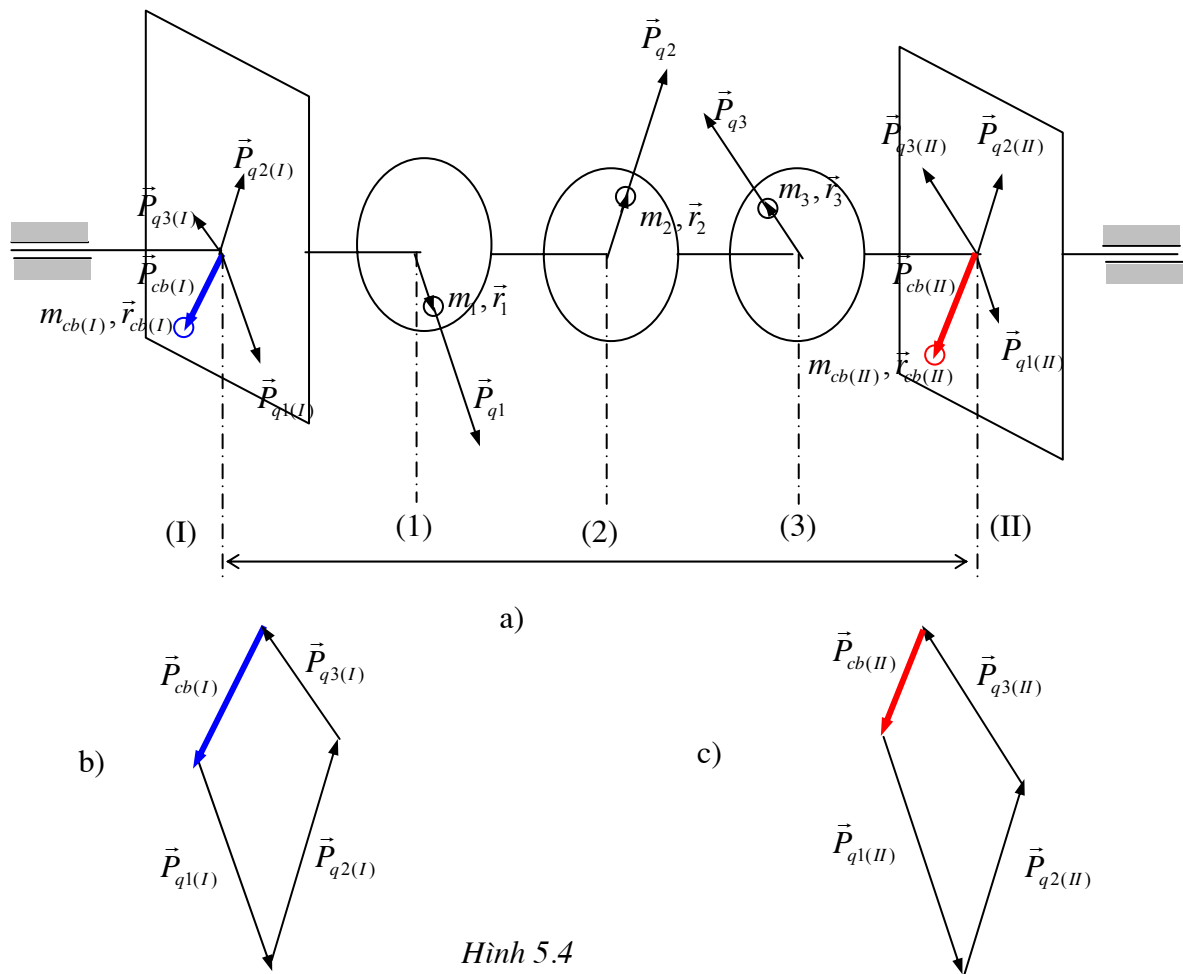
$$\Rightarrow \boxed{m_{cb(I)} \vec{r}_{cb(I)} = -\frac{1}{\omega^2} \sum \vec{P}_{qi(I)}}$$

Tương tự, trên mặt phẳng (II), ta đặt một đối trọng $m_{cb(II)}$ tại vị trí xác định bằng bán kính vectơ $\vec{r}_{cb(II)}$ để cân bằng hệ lực gồm các lực đồng quy $\sum \vec{P}_{qi(II)}$:

$$m_{cb(II)} \vec{r}_{cb(II)} = -\frac{1}{\omega^2} \sum \vec{P}_{qi(II)}$$

Ta có thể dùng phương pháp họa đồ như trên hình 5.4b và 5.4c để xác định đại lượng $m_{cb(I)} \vec{r}_{cb(I)}$ và $m_{cb(II)} \vec{r}_{cb(II)}$.

Mặt phẳng (I) và (II) được gọi là các *mặt phẳng cân bằng*. Các đại lượng $m_I \vec{r}_I = -m_{cb(I)} \vec{r}_{cb(I)}$ và $m_{II} \vec{r}_{II} = -m_{cb(II)} \vec{r}_{cb(II)}$ được gọi là các *lượng mất cân bằng* của vật quay dày.



Hình 5.4

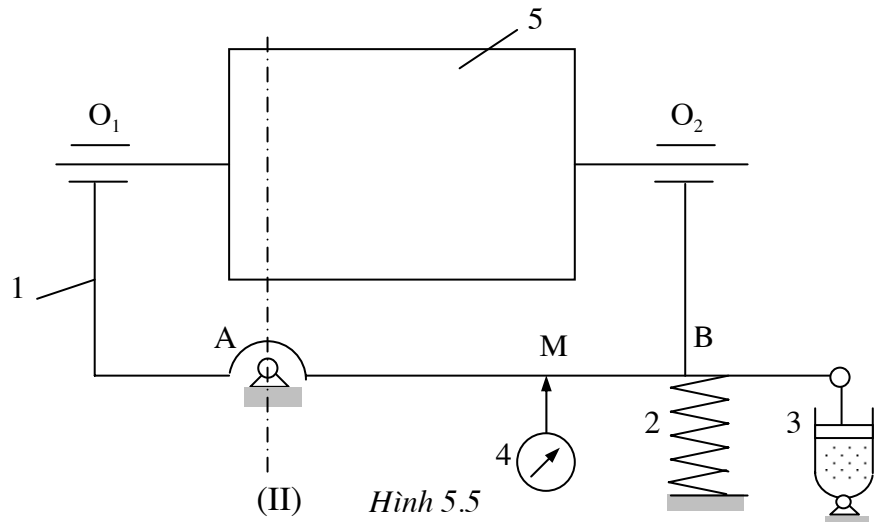
b) Phương pháp cân bằng vật quay dày

- Muốn cân bằng vật quay dày, cần phải xác định các lượng mất cân bằng $m_I \vec{r}_I = -m_{cb(I)} \vec{r}_{cb(I)}$ và $m_{II} \vec{r}_{II} = -m_{cb(II)} \vec{r}_{cb(II)}$ của nó. Để xác định các lượng mất cân bằng, phải tiến hành thí nghiệm trên máy cân bằng động. Thí nghiệm được thực hiện khi vật quay đang ở trạng thái chuyển động, nên việc cân bằng vật quay dày còn được gọi là *cân bằng động*.

- Có nhiều phương pháp và kiểu thiết bị khác nhau để xác định các lượng mất cân bằng. ở đây, chỉ giới thiệu một kiểu máy cân bằng động có một gối đỡ đàn hồi và phương pháp ba lần thử.

- **Mô tả máy cân bằng động**

Máy gồm một khung (1) đặt trên một gối đỡ cứng A và một gối đỡ đàn hồi B. Lò xo (2) dùng để đỡ và duy trì dao động của khung. Hộp giảm chấn dầu (3) để dập tắt các dao động tự do của khung. Đồng hồ đo (4) hay cảm biến để đo biên độ dao động tại một điểm M trên khung.



Hình 5.5

• **Phương pháp ba lần thử**

Trên vật quay cân bằng, ta chọn hai mặt phẳng (I) và (II) vuông góc với trục quay, trên đó sẽ đặt các đối trọng cân bằng.

➤ Để xác định lượng mất cân bằng $m_1 \vec{r}_1$ trên mặt phẳng (I), ta gá vật quay lên máy sao cho mặt phẳng (II) đi qua gối đỡ A.

Do mặt phẳng (II) đi qua gối đỡ A nên khi cho vật quay thì chỉ có lực quán tính do lượng mất cân bằng trên mặt phẳng (I) gây ra mới làm cho khung dao động lắc quanh điểm A.

Chuyển vị góc của khung quanh điểm A tỷ lệ với thành phần thẳng đứng của lực quán tính do lượng mất cân bằng trên mặt phẳng (I) gây ra. Trong thực tế cân bằng, do chuyển vị lắc của khung khá bé, nên có thể xem chuyển vị góc nói trên tỷ lệ với chuyển vị dài của một điểm M trên khung. Nói khác đi, lực quán tính do khối lượng mất cân bằng trên mặt phẳng (I) gây ra tỷ lệ với biên độ dao động đo được tại điểm M.

+ Cho vật quay đều với vận tốc góc ω , vận tốc này sẽ dùng cho các lần thử kế tiếp.

Lượng mất cân bằng $m_1 \vec{r}_1$ trên mặt phẳng (I) gây ra lực quán tính : $\vec{P}_1 = \omega^2 m_1 \vec{r}_1$. Biên độ dao động đo được tại M trên khung là A_1 .

Do đó : $|\vec{P}_1| = k A_1$ với k là hệ số tỷ lệ.

+ Gắn thêm lên vật quay, trong mặt phẳng (I), tại vị trí xác định bằng bán kính vectơ \vec{r} , một đối trọng thử có khối lượng m. Cho vật quay đều với vận tốc góc ω .

Lượng mất cân bằng trên mặt phẳng (I) bây giờ là $m \vec{r}$ và $m_1 \vec{r}_1$ gây ra lực quán tính :

$$\vec{P}_a = \vec{P}_1 + \vec{P}$$

Với $\vec{P} = \omega^2 m \vec{r}$ là lực quán tính ly tâm do đối trọng thử m gây ra.

Biên độ dao động đo được tại M là A_a .

Do đó : $|\vec{P}_a| = k \cdot A_a$

+ Tháo đối trọng thử m ra và gắn nó vào vật quay trong mặt phẳng (I), tại vị trí xác định bằng bán kính vectơ $-\vec{r}$. Cho vật quay đều với vận tốc góc ω .

Lượng mất cân bằng trên mặt phẳng (I) bây giờ là $-m \vec{r}$ và $m_1 \vec{r}_1$ gây ra lực quán tính :

$$\vec{P}_b = \vec{P}_1 - \vec{P}$$

Biên độ dao động đo được tại M là A_b .

Do đó : $|\vec{P}_b| = k \cdot A_b$

- Thực hiện xong ba lần thử, ta dựng hình để xác định lượng mất cân bằng $m_I \vec{r}_I$ (hình 5.6). Dựng hình bình hành OACB có hai cạnh lần lượt là $|\vec{P}_a|$ và $|\vec{P}_b|$, đường chéo OC sẽ bằng :

$$OC = 2|\vec{P}_I|$$

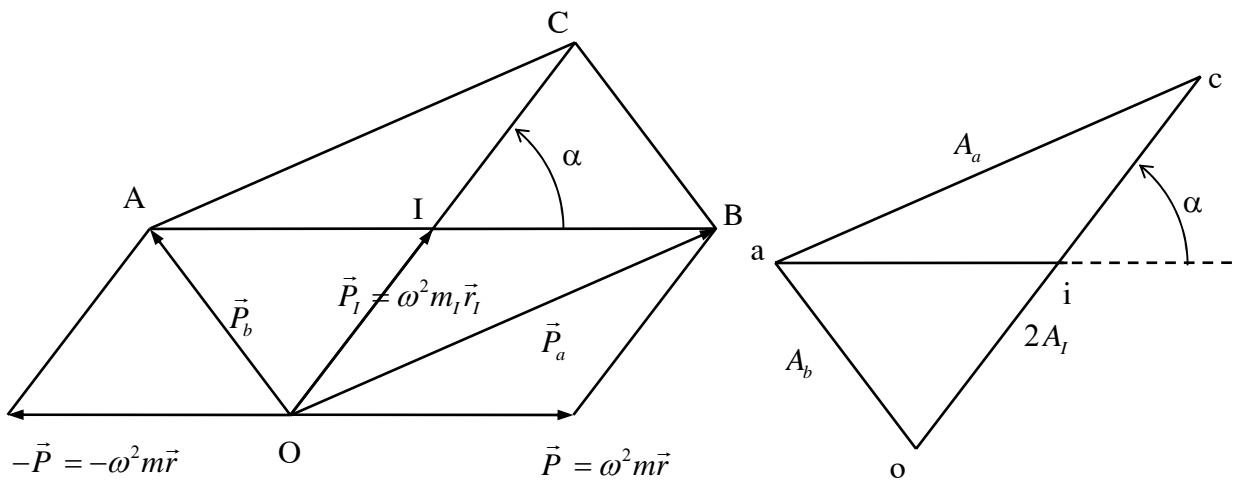
Với các giá trị A_b, A_a, A_I đo được, ta dựng tam giác oac có cạnh ba cạnh lần lượt là :
 $oa = A_b; ac = A_a; oc = 2A_I$

Hai tam giác OAB và oab đồng dạng với nhau vì có các cạnh tỷ lệ : $\frac{OA}{oa} = \frac{AC}{ac} = \frac{OC}{oc} = k$. Do

đó, nếu gọi I là trung điểm của OC, i là trung điểm của oc và $(\vec{oi}, \vec{ai}) = \alpha$ thì :

+ $(\vec{IB}, \vec{IC}) = \alpha$ tức là góc hợp bởi các bán kính vectơ \vec{r}_I và bán kính vectơ \vec{r} bằng $(\vec{r}, \vec{r}_I) = \alpha$: phương chiều của bán kính vectơ \vec{r}_I đã xác định.

$$+ \frac{oi}{ai} = \frac{OI}{AI} \Rightarrow \frac{oi}{ai} = \frac{P_I}{P} = \frac{m_I r_I}{mr} \Rightarrow \boxed{m_I r_I = mr \cdot \frac{oi}{ai}}$$



Hình 5.6

Như vậy ta xác định được lượng mất cân bằng $m_I \vec{r}_I$ trên mặt phẳng (I), từ đó xác định được khối lượng đối trọng cân bằng và vị trí đặt đối trọng trên mặt phẳng (I) :

$$m_{cb(I)} \vec{r}_{cb(I)} = -m_I \vec{r}_I$$

- Để xác định lượng mất cân bằng $m_{II} \vec{r}_{II}$ trên mặt phẳng (II), ta gá vật quay lên máy sao cho mặt phẳng (I) đi qua gối đỡ A. Làm lại thí nghiệm như trên sẽ xác định được $m_{II} \vec{r}_{II}$, từ đó xác định được khối lượng đối trọng cân bằng và vị trí đặt đối trọng trên mặt phẳng (II):

$$m_{II} \vec{r}_{II} = -m_{cb(II)} \vec{r}_{cb(II)}$$

§3. Cân bằng cơ cấu nhiều khâu

- Khi cơ cấu chuyển động nói chung khối tâm chung của cơ cấu (khối tâm chung của các khâu động) luôn luôn chuyển động. Ớng với mỗi vị trí của cơ cấu, khối tâm chung S có một vị trí hoàn toàn xác định.

Hệ lực quán tính tác động lên các khâu của cơ cấu khi thu gọn về khối tâm chung S gồm : hợp lực \vec{P}_q của các lực quán tính và hợp lực \vec{M}_q của các momen lực quán tính. Cơ cấu hoàn toàn cân bằng nếu như $\vec{P}_q = 0$ và $\vec{M}_q = 0$. Việc cân bằng momen lực quán tính \vec{M}_q khá phức tạp và khó thực hiện, nên thông thường chỉ cân bằng lực quán tính \vec{P}_q và vì vậy việc cân bằng cơ cấu được gọi là *cân bằng tĩnh*.

• Lực quán tính trên cơ cấu bằng: $\vec{P}_q = -m\vec{a}_S$ với m là tổng khối lượng các khâu động, \vec{a}_S là gia tốc khối tâm chung S của cơ cấu. Để cân bằng lực quán tính, tức là để $\vec{P}_q = 0$, phải có $\vec{a}_S = 0$, nghĩa là S phải chuyển động thẳng đều hay S cố định. Tuy nhiên, cơ cấu chuyển động có chu kỳ nên khối tâm chung S không thể chuyển động đều, do đó để $\vec{P}_q = 0$ thì S phải cố định.

• Tóm lại để *cân bằng tĩnh* cơ cấu hay nói khác đi để cân bằng lực quán tính \vec{P}_q , cần phải *thay đổi* hay *phân bố lại* khối lượng các khâu sao cho khối tâm chung S của cơ cấu là cố định.

• **Vị trí khối tâm chung của cơ cấu**

+ Xét cơ cấu bốn khâu bản lề phẳng (hình 5.7a).

Khối lượng các khâu động 1, 2, 3 lần lượt bằng m_1, m_2, m_3 . Khối tâm S_1, S_2, S_3 của các khâu 1, 2, 3 được xác định bằng bán kính vectơ $\vec{r}_{S_1} = \overline{AS_1}$, $\vec{r}_{S_2} = \overline{AS_2}$, $\vec{r}_{S_3} = \overline{AS_3}$.

Hãy xét một vị trí bất kỳ của cơ cấu. Khối tâm chung S của hệ các khâu 1, 2, 3 được xác định

bằng bán kính vectơ: $\vec{r}_S = \overline{AS} = \frac{\sum(m_i \overline{AS}_i)}{m}$ với: $m = \sum m_i$.

Gọi: $\vec{s}_1 = \overline{AS_1}$, $\vec{s}_2 = \overline{BS_2}$ và $\vec{s}_3 = \overline{CS_3}$.

Ta có: $\vec{r}_{S_1} = \vec{s}_1$

$$\vec{r}_{S_2} = \vec{l}_1 + \vec{s}_2$$

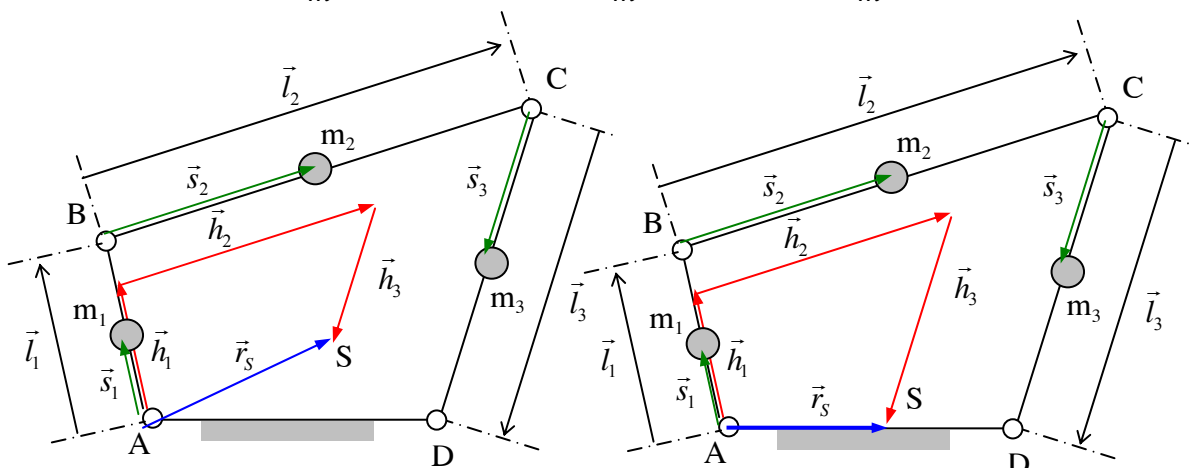
$$\vec{r}_{S_3} = \vec{l}_1 + \vec{l}_2 + \vec{s}_3$$

$$\Rightarrow \vec{r}_S = \frac{1}{m} [m_1 \vec{s}_1 + m_2 (\vec{l}_1 + \vec{s}_2) + m_3 (\vec{l}_1 + \vec{l}_2 + \vec{s}_3)]$$

$$\Rightarrow \vec{r}_S = \frac{m_1 \vec{s}_1 + m_2 \vec{l}_1 + m_3 \vec{l}_1}{m} + \frac{m_2 \vec{s}_2 + m_3 \vec{l}_2}{m} + \frac{m_3 \vec{s}_3}{m}$$

$$\Rightarrow \boxed{\vec{r}_S = \vec{h}_1 + \vec{h}_2 + \vec{h}_3}$$

$$\text{Với: } \vec{h}_1 = \frac{m_1 \vec{s}_1 + m_2 \vec{l}_1 + m_3 \vec{l}_1}{m}, \quad \vec{h}_2 = \frac{m_2 \vec{s}_2 + m_3 \vec{l}_2}{m}, \quad \vec{h}_3 = \frac{m_3 \vec{s}_3}{m}$$



Hình 5.7a

Hình 5.7b

• **Điều kiện cân bằng tĩnh của cơ cấu**

+ Trong trường hợp khối tâm các khâu 1, 2, 3 lần lượt nằm trên đoạn AB, BC và CD, ta thấy: Các vectơ $\vec{h}_1, \vec{h}_2, \vec{h}_3$ lần lượt có phương chiều của $\vec{l}_1, \vec{l}_2, \vec{l}_3$ và giá trị của chúng không phụ thuộc vào vị trí cơ cấu, do đó nếu S nằm trên AD thì khi cơ cấu chuyển động, S luôn luôn cố định (hình 5.7b).

+ Hoặc nếu $\vec{h}_1 = \vec{h}_2 = \vec{h}_3 = 0$ tức là $\vec{r}_S = \overline{AS} = 0$ thì khối tâm chung S của cơ cấu sẽ luôn trùng với điểm cố định A.

+ Như vậy để cân bằng tĩnh cơ cấu cần đặt các đối trọng cân bằng trên các khâu sao cho khối tâm chung mới S' về nằm trên AD hay về trùng với điểm A.

+ Hình 5.7c trình bày một phương pháp bố trí đối trọng cân bằng m_I, m_{II}, m_{III} trên các khâu để đưa khối tâm chung mới S' về trùng với điểm A.

Vị trí khối tâm chung mới của cơ cấu S' được xác định bằng bán kính vectơ $\vec{r}_{S'}$:

$$\vec{r}_{S'} = \frac{1}{m'} \left[m_I \vec{s}_1 + m_I \vec{l}_I + m_2 (\vec{l}_1 + \vec{s}_2) + m_{II} (\vec{l}_1 + \vec{l}_{II}) + m_3 (\vec{l}_1 + \vec{l}_2 + \vec{s}_3) + m_{III} (\vec{l}_1 + \vec{l}_2 + \vec{l}_{III}) \right]$$

Trong đó m' là khối lượng của cơ cấu kể cả khối lượng các đối trọng.

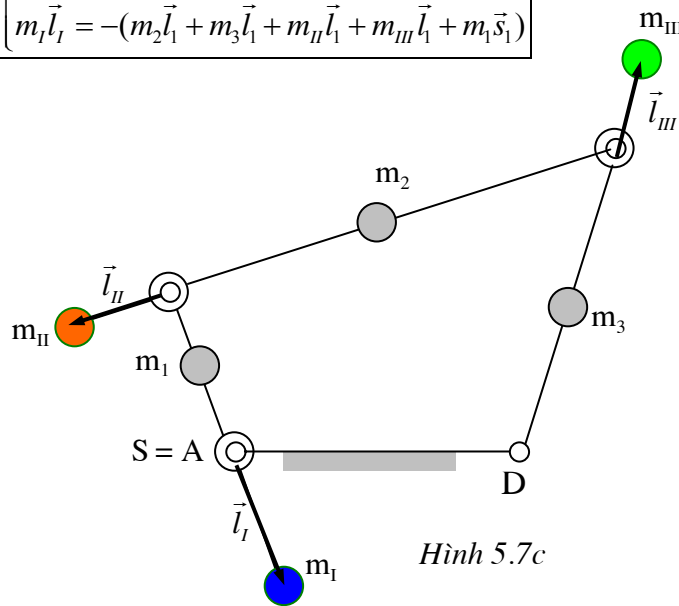
$$\text{Hay: } \vec{r}_{S'} = \frac{m_I \vec{s}_1 + m_I \vec{l}_I + m_2 \vec{l}_1 + m_{II} \vec{l}_1 + m_3 \vec{l}_1 + m_{III} \vec{l}_1}{m'} + \frac{m_2 \vec{s}_2 + m_{II} \vec{l}_{II} + m_3 \vec{l}_2 + m_{III} \vec{l}_2}{m'} + \frac{m_3 \vec{s}_3 + m_{III} \vec{l}_{III}}{m'}$$

$$\vec{r}_{S'} = \vec{h}_1' + \vec{h}_2' + \vec{h}_3'$$

Để đưa khối tâm chung mới S' về trùng với điểm A phải có $\vec{h}_1' = \vec{h}_2' = \vec{h}_3' = 0$.

Suy ra :

$$\begin{cases} m_{III} \vec{l}_{III} = -m_3 \vec{s}_3 \\ m_{II} \vec{l}_{II} = -(m_2 \vec{s}_2 + m_3 \vec{l}_2 + m_{III} \vec{l}_2) \\ m_I \vec{l}_I = -(m_2 \vec{l}_1 + m_3 \vec{l}_1 + m_{II} \vec{l}_1 + m_{III} \vec{l}_1 + m_1 \vec{s}_1) \end{cases}$$



CHUYỂN ĐỘNG THỰC CỦA MÁY

Bài toán phân tích động lực học cơ cấu gồm hai nội dung :

- + Xác định lực tác động lên máy hay cơ cấu
- + Quan hệ giữa những lực này với chuyển động của cơ cấu.

Chương này nghiên cứu quan hệ giữa các lực tác động lên cơ cấu và chuyển động của cơ cấu.

§1. Đặt vấn đề

➤ Khi nghiên cứu bài toán phân tích động học và phân tích lực trên cơ cấu, ta đã giả thiết vận tốc góc của khâu dẫn $\omega_1 =$ hằng số. Tuy nhiên, trong thực tế, dưới tác động của các ngoại lực, máy sẽ có một chuyển động xác định (và nói chung vận tốc góc thực ω_1 của khâu dẫn dao động xung quanh một giá trị trung bình ω_{tb} nhất định). Do vậy cần phải nghiên cứu chuyển động thực của máy.

Vì chuyển động của các khâu trong máy phụ thuộc chuyển động của khâu dẫn, nên muốn biết chuyển động thực của máy, chỉ cần nghiên cứu chuyển động thực của khâu dẫn (*Bài toán chuyển động thực của máy*).

➤ Nếu biên độ dao động của vận tốc góc thực ω_1 của khâu dẫn vượt quá một giá trị cho phép, ta phải làm đều chuyển động máy, tức là tìm cách giảm biên độ của ω_1 sao cho phù hợp với yêu cầu (*Bài toán làm đều chuyển động máy*).

§2. Phương trình chuyển động

Phương trình động lực học cho phép xác định vận tốc góc thực của máy được gọi là *phương trình chuyển động* của máy. Sau đây, chúng ta sẽ suy diễn phương trình chuyển động của máy viết dưới dạng động năng.

1) Các đại lượng thay thế

a) Momen quán tính thay thế

• Giả sử máy có n khâu động. Gọi m_i, J_{Si} : khối lượng và momen quán tính (đối với trọng tâm) của khâu thứ i; V_{Si} và ω_i lần lượt là vận tốc trọng tâm S_i và vận tốc góc của khâu thứ i tại một thời điểm t nhất định.

• Tại thời điểm t, ta có :

$$\text{Động năng của khâu thứ } i : E_i = m_i \frac{V_{Si}^2}{2} + J_{Si} \frac{\omega_i^2}{2}$$

$$\text{Động năng của máy : } E = \sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n \left(m_i \frac{V_{Si}^2}{2} + J_{Si} \frac{\omega_i^2}{2} \right)$$

$$\Rightarrow E = \frac{\omega_1^2}{2} \sum_{i=1}^n \left[m_i \left(\frac{V_{Si}}{\omega_1} \right)^2 + J_{Si} \left(\frac{\omega_i}{\omega_1} \right)^2 \right]$$

$$\text{Đặt : } \boxed{J_T = \sum_{i=1}^n \left[m_i \left(\frac{V_{Si}}{\omega_1} \right)^2 + J_{Si} \left(\frac{\omega_i}{\omega_1} \right)^2 \right]} \quad (6.1)$$

$$\text{Suy ra : } \boxed{E = J_T \frac{\omega_1^2}{2}}$$

• Đại lượng J_T có thứ nguyên của momen quán tính và được gọi là *momen quán tính thay thế về khâu dẫn 1 của tất cả các khâu trong máy*.

Nguyên tắc thay thế là sự tương đương về động năng : Động năng E của toàn bộ cơ cấu bằng động năng của một khâu có vận tốc góc bằng vận tốc góc ω_1 của khâu dẫn, có momen quán tính bằng momen quán tính thay thế J_T .

- Vì $\frac{V_{Si}}{\omega_1}; \frac{\omega_i}{\omega_1}$ chỉ phụ thuộc vào góc quay φ của khâu dẫn mà không phụ thuộc vào ω_1 , nên J_T

cũng chỉ phụ thuộc vào φ : $J_T = J_T(\varphi)$.

Momen quán tính nói chung là một đại lượng biến thiên theo φ và có chu kỳ là chu kỳ động học ϕ (hay chu kỳ vị trí) của cơ cấu.

b) Momen thay thế của các lực

- Gọi \vec{P}_i và \vec{M}_i : lực và momen lực tác động lên khâu thứ i.

\vec{V}_i và ω_i : vận tốc điểm đặt lực \vec{P}_i và vận tốc góc của khâu i tại thời điểm t.

- Tại thời điểm t :

Công suất tức thời của các lực đặt trên khâu thứ i :

$$N_i = \vec{P}_i \vec{V}_i + \vec{M}_i \vec{\omega}_i$$

Công suất tức thời của tất cả các lực đặt trên các khâu trong máy :

$$N = \sum_{i=1}^n N_i = \sum_{i=1}^n [\vec{P}_i \vec{V}_i + \vec{M}_i \vec{\omega}_i]$$

Hay :

$$N = \omega_1 \sum_{i=1}^n \left[\vec{P}_i \frac{\vec{V}_i}{\omega_1} + \vec{M}_i \frac{\vec{\omega}_i}{\omega_1} \right]$$

- Gọi M_T là một momen lực đặt trên khâu dẫn, có phương trùng với $\vec{\omega}_1$, có giá trị :

$$M_T = \sum_{i=1}^n \left[\vec{P}_i \frac{\vec{V}_i}{\omega_1} + \vec{M}_i \frac{\vec{\omega}_i}{\omega_1} \right] \quad (6.2)$$

M_T cùng chiều với $\vec{\omega}_1$ nếu $M_T > 0$. M_T ngược chiều với $\vec{\omega}_1$ nếu $M_T < 0$.

Suy ra công suất của momen lực M_T : $\vec{M}_T \vec{\omega}_1 = M_T \cdot \omega_1 = \omega_1 \sum_{i=1}^n \left[\vec{P}_i \frac{\vec{V}_i}{\omega_1} + \vec{M}_i \frac{\vec{\omega}_i}{\omega_1} \right] = N$ tức là bằng

công suất của tất cả các lực tác động lên cơ cấu.

Đại lượng \vec{M}_T được gọi là *momen thay thế về khâu dẫn của tất cả các lực tác động lên cơ cấu*. Nguyên tắc thay thế là sự tương đương về công suất : Công suất của tất cả các lực tác động lên cơ cấu N bằng công suất của momen \vec{M}_T coi như đặt trên khâu dẫn.

- Momen thay thế M_T có thể chỉ phụ thuộc vào φ : $M_T = M_T(\varphi)$, có thể chỉ phụ thuộc vào ω_1 : $M_T = M_T(\omega_1)$ hay có thể phụ thuộc vào cả φ và ω_1 : $M_T = M_T(\varphi, \omega_1)$

2) Phương trình chuyển động của máy

- Định lý về độ biến thiên động năng : $\Delta_E|_{t_0}^t = A|_{t_0}^t$

Với : $\Delta_E|_{t_0}^t$: độ biến thiên động năng của máy trong khoảng thời gian $\Delta t = t - t_0$

$A|_{t_0}^t$: tổng công của các lực tác động lên máy cũng trong Δt .

- Ta có : $\Delta_E|_{t_0}^t = E - E_0$

Với E và E_0 : động năng của máy tại thời điểm t và t_0 .

Gọi φ và φ_0 là góc vị trí của khâu dẫn tương ứng với các thời điểm t và t_0 .

Suy ra :

$$\Delta_E|_{t_0}^t = J_T(\varphi) \frac{\omega_1^2(\varphi)}{2} - J_T(\varphi_0) \frac{\omega_1^2(\varphi_0)}{2}$$

- Tổng công của các ngoại lực tác động lên cơ cấu trong Δt :

$$\Delta_E \Big|_{t_0}^t = \int_{t_0}^t N dt = \int_{t_0}^t M_T \omega_1 dt$$

Hay :

$$\Delta_E \Big|_{t_0}^t = \int_{\varphi_0}^{\varphi} M_T d\varphi$$

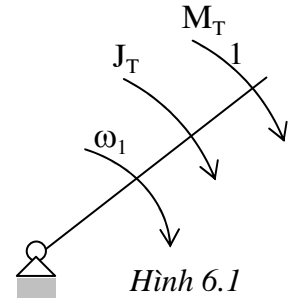
- Suy ra phương trình động năng của máy :

$$J_T(\varphi) \frac{\omega_1^2(\varphi)}{2} - J_T(\varphi_0) \frac{\omega_1^2(\varphi_0)}{2} = \int_{\varphi_0}^{\varphi} M_T d\varphi \quad (6.3)$$

3) Khâu thay thế

Xét một khâu có vận tốc góc ω_1 của khâu dẫn, có momen quán tính thay thế tại từng thời điểm bằng momen quán tính thay thế J_T , trên đó đặt một momen lực tại từng thời điểm bằng momen thay thế M_T của các lực. Khâu này được gọi là *khâu thay thế* (hình 6.1).

Ta thấy phương trình (6.2) cũng chính là phương trình chuyển động của khâu thay thế, do đó việc nghiên cứu chuyển động thực của cơ cấu nhiều khâu có thể quy về việc nghiên cứu chuyển động thực của khâu thay thế.

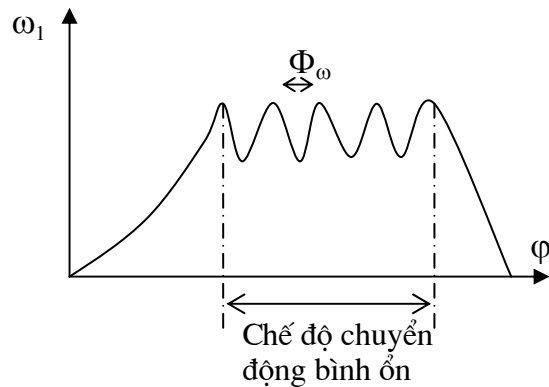


§2. Vận tốc góc thực của khâu dẫn

1) Các chế độ chuyển động của máy

- Khi máy chuyển động, nói chung vận tốc góc ω_1 của khâu dẫn biến thiên theo góc quay φ của nó (có thể tăng dần, giảm dần hay dao động xung quanh một giá trị trung bình ω_b cố định).

- Tùy theo tính chất biến thiên của ω_1 mà có các chế độ chuyển động khác nhau của máy.



Hình 6.2

a) Chế độ chuyển động bình ổn

- Chế độ chuyển động bình ổn là chế độ chuyển động ứng với vận tốc góc của khâu dẫn biến thiên có chu kỳ quanh một giá trị trung bình ω_b cố định.

Nói chung, chế độ chuyển động bình ổn ứng với giai đoạn làm việc của máy.

- Từ (6.3) suy ra :

$$\omega_1(\varphi) = \sqrt{\frac{J_T(\varphi_0)}{J_T(\varphi)} \cdot \omega_1^2(\varphi_0) + \frac{2}{J_T(\varphi)} \int_{\varphi_0}^{\varphi} M_T d\varphi} \quad (6.4)$$

Để $\omega_1(\varphi)$ biến thiên có chu kỳ, thì sau từng khoảng thời gian nhất định, phải đồng thời có:

$$\left\{ \begin{array}{l} J_T(\varphi) \equiv J_T(\varphi_0) \\ \int_{\varphi_0}^{\varphi} M_T d\varphi \equiv 0 \end{array} \right.$$

Do $J_T(\varphi)$ biến thiên có chu kỳ là chu kỳ động học Φ của cơ cấu, nên sau mỗi chu kỳ Φ :

$$J_T(\varphi_0 + n\Phi) \equiv J_T(\varphi_0) \text{ với } n \text{ là số nguyên}$$

Như vậy, còn cần phải có $\int_{\varphi_0}^{\varphi} M_T d\varphi = A|_{\varphi_0}^{\varphi}$ triệt tiêu có chu kỳ.

- Gọi Φ_A là chu kỳ triệt tiêu của công A, ta có : $\int_{\varphi_0}^{\varphi_0+m\Phi_A} M_T d\varphi = A|_{\varphi_0}^{\varphi_0+m\Phi_A} = 0$ với m là số nguyên.

Gọi Φ_{ω} là bội số chung nhỏ nhất của Φ và Φ_A , tức là $\Phi_{\omega} = p\Phi = q\Phi_A$ với p, q là số

nguyên, suy ra:

$$\begin{cases} J_T(\varphi_0 + \Phi_{\omega}) \equiv J_T(\varphi_0 + p\Phi) = J_T(\varphi_0) \\ \int_{\varphi_0}^{\varphi_0+\Phi_{\omega}} M_T d\varphi = \int_{\varphi_0}^{\varphi_0+q\Phi_A} M_T d\varphi = 0 \end{cases} \quad (6.5)$$

- Ta thấy : $\omega_1(\varphi + \Phi_{\omega}) = \sqrt{\frac{J_T(\varphi_0)}{J_T(\varphi_0 + \Phi_{\omega})} \cdot \omega_1^2(\varphi_0) + \frac{2}{J_T(\varphi_0 + \Phi_{\omega})} \int_{\varphi_0}^{\varphi_0+\Phi_{\omega}} M_T d\varphi}$ (6.6)

Kết hợp với biểu thức(6.5) suy ra : $\omega_1(\varphi + \Phi_{\omega}) = \omega_1(\varphi_0)$

Như vậy, Φ_{ω} chính là chu kỳ biến thiên của $\omega_1(\varphi)$ và được gọi là *chu kỳ động lực học* (hay chu kỳ làm việc) của máy: $\Phi_{\omega} = p\Phi = q\Phi_A$

• Điều kiện để máy chuyển động bình ổn

Điều kiện để máy chuyển động bình ổn là công $A|_{\varphi_0}^{\varphi}$ phải triệt tiêu có chu kỳ.

Thế nhưng $A|_{\varphi_0}^{\varphi} = A_D|_{\varphi_0}^{\varphi} + A_C|_{\varphi_0}^{\varphi}$, trong đó : $A_D|_{\varphi_0}^{\varphi}$ và $A_C|_{\varphi_0}^{\varphi}$ lần lượt là công của các lực phát động và các lực cản tác động lên máy trong khoảng thời gian từ t_0 đến t.

Suy ra điều kiện để máy chuyển động bình ổn là *công động và công cản phải cân bằng nhau sau một khoảng thời gian nhất định*: $A_D|_{\varphi_0}^{\varphi} = -A_C|_{\varphi_0}^{\varphi}$

b) Chuyển động không bình ổn

- ω với vận tốc góc của khâu dẫn có xu thế tăng dần hay giảm dần. Chuyển động này nói chung ứng với giai đoạn mở máy hay tắt máy.
- Nếu như công $A|_{\varphi_0}^{\varphi}$ không triệt tiêu có chu kỳ, tức là luôn luôn dương hay luôn luôn âm, thì máy sẽ chuyển động không bình ổn.

2) Xác định vận tốc góc thực của khâu dẫn

- Có thể giải phương trình động năng (6.3) để xác định vận tốc góc thực $\omega_1(\varphi)$ của khâu dẫn. Chương này chỉ trình bày phương pháp đồ thị.

Trong phương trình (6.3), J_T chỉ phụ thuộc góc quay φ khâu dẫn. Còn M_T có thể chỉ phụ thuộc vào φ , chỉ phụ thuộc ω_1 hay phụ thuộc đồng thời vào φ và ω_1 . Tùy theo tính chất biến thiên của M_T mà có các phương pháp khác nhau để xác định $\omega_1(\varphi)$.

- Trong trường hợp M_T là hàm của góc quay φ : $M_T = M_T(\varphi)$, có thể dùng đồ thị $E(J_T)$ để xác định $\omega_1(\varphi)$.

- **Xác định vận tốc góc thực $\omega_1(\varphi)$ của khâu dẫn dựa vào đồ thị $E(J)$**

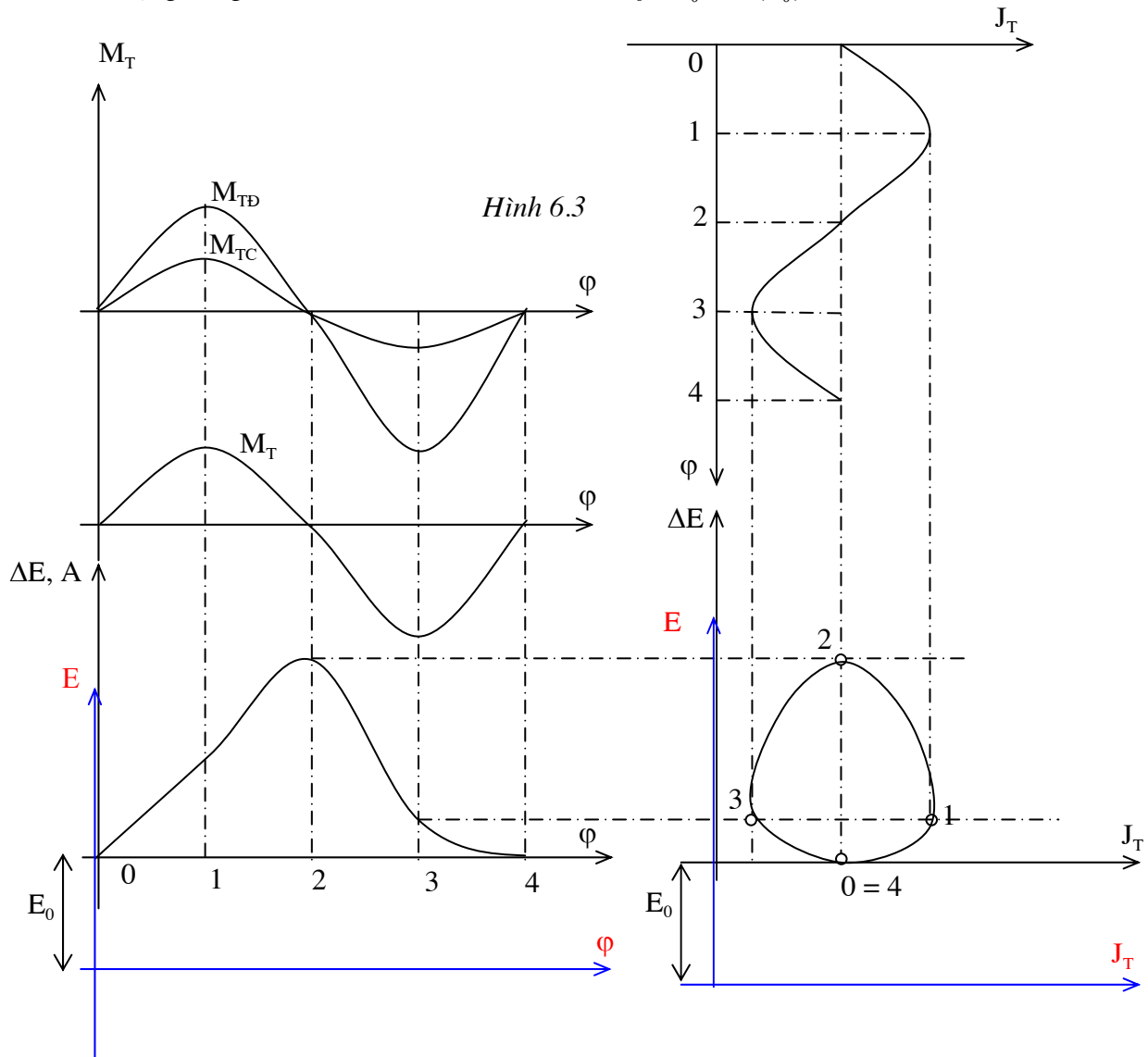
➤ **Số liệu cho trước**

+ Đồ thị momen thay thế của tất cả các lực phát động : $M_{TD} = M_{TD}(\varphi)$

+ Đồ thị momen thay thế của tất cả các lực cản : $M_{TC} = M_{TC}(\varphi)$

+ Đồ thị momen quán tính thay thế của tất cả các khâu : $J_T = J_T(\varphi)$

+ Động năng của cơ cấu ở thời điểm ban đầu t_0 : $E_0 = E(\varphi_0)$



Hình 6.3

➤ **Xây dựng đồ thị $E(J_T)$:**

Trình tự tiến hành như sau (hình 6.3):

+ Do $M_T = M_{TD} + M_{TC}$ nên nếu cộng đồ thị $M_{TD}(\varphi)$ và $M_{TC}(\varphi)$ sẽ suy được đồ thị $M_T(\varphi)$.

+ Vì $A|_{\varphi_0}^{\varphi} = \int_{\varphi_0}^{\varphi} M_T d\varphi$, do vậy nếu từ đồ thị $M_T(\varphi)$, dùng phương pháp tích phân đồ thị sẽ suy được đồ thị $A(\varphi)$.

+ Do $\Delta E|_{\varphi_0}^{\varphi} = A|_{\varphi_0}^{\varphi}$ nên đồ thị $A(\varphi)$ cũng chính là đồ thị $\Delta E(\varphi)$.

+ Ta có: $E(\varphi) = E_0 + \Delta E|_{\varphi_0}^{\varphi}$. Do vậy khi dịch trục φ của đồ thị $\Delta E(\varphi)$ xuống phía dưới một đoạn E_0 sẽ suy được đồ thị $E(\varphi)$.

+ Bằng cách khử φ từ hai đồ thị $E(\varphi)$ và $J_T(\varphi)$ sẽ xây dựng được đồ thị $E(J_T)$.

➤ **Cách khử φ từ hai đồ thị $E(\varphi)$ và $J_T(\varphi)$**

Ông với một giá trị φ_k nhất định, nhờ đồ thị $E(\varphi)$ và đồ thị $J_T(\varphi)$, ta xác định được các giá trị $E(\varphi_k)$ và $J_T(\varphi_k)$ tương ứng. Với cặp giá trị $[J_T(\varphi_k); E(\varphi_k)]$ sẽ xác định được điểm K tương ứng của đồ thị $E(J_T)$. Đồ thị $E(J_T)$ chính là tập hợp các điểm K vừa xác định.

➤ **Xác định $\omega_1(\varphi)$**

- Từ phương trình (6.3) hay từ biểu thức

$$E = J_T \frac{\omega_1^2}{2}, \text{ suy ra : } E(\varphi_k) = J_T(\varphi_k) \frac{\omega_1^2(\varphi_k)}{2}$$

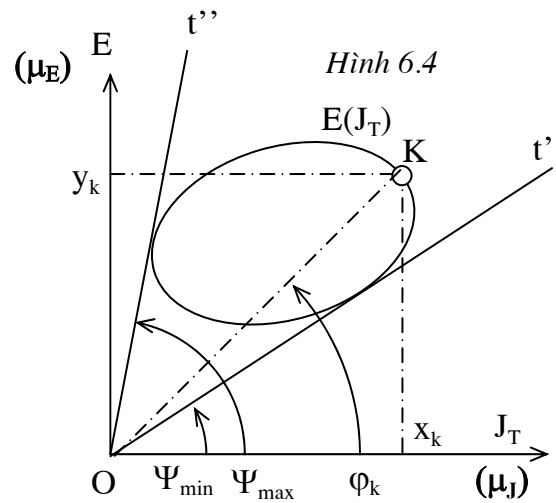
$$\Rightarrow \omega_1^2(\varphi_k) = \frac{2E(\varphi_k)}{J_T(\varphi_k)}$$

Giá trị φ_k ứng với một điểm K trên đồ thị $E(J_T)$.

Gọi (x_k, y_k) là tọa độ của điểm K. $\mu_J; \mu_E$ là tỷ xích các trục của đồ thị $E(J_T)$, ta có :

$$\text{Ta có : } \frac{E(\varphi_k)}{J_T(\varphi_k)} = \frac{y_k \mu_E}{x_k \mu_J} = \text{tg} \Psi_k \cdot \frac{\mu_E}{\mu_J}$$

$$\text{Suy ra : } \omega_1(\varphi) = \sqrt{\frac{2\mu_E}{\mu_J} \text{tg} \Psi_k} \quad (6.6)$$



➤ **Ghi chú**

+ Trong chế độ chuyển động bình ổn, cứ sau một chu kỳ động lực học Φ_ω của máy, $J_T(\varphi)$ và $A(\varphi)$ (hay $\Delta E(\varphi)$) trở về giá trị ban đầu, do đó điểm K cũng trở về vị trí ban đầu. Vì vậy đường cong $E(J_T)$ là một đường cong kín không bao quanh gốc O.

+ Việc cho φ_k biến thiên cũng tương ứng với việc cho điểm K chạy trên đường cong $E(J_T)$ và ngược lại.

+ Trong chế độ chuyển động bình ổn, $E(J_T)$ là đường cong kín không bao quanh gốc O. Do đó, nếu gọi Ot' và Ot'' là tiếp tuyến dưới và trên của đồ thị $E(J_T)$ lần lượt hợp với trục hoành góc Ψ_{\min} và Ψ_{\max} thì Ψ_k sẽ dao động giữa hai cực trị $\Psi_{\min}, \Psi_{\max} : \Psi_{\min} \leq \Psi_k \leq \Psi_{\max}$. Ông với các cực trị Ψ_{\min}, Ψ_{\max} , ta có các cực trị $\omega_{\min}, \omega_{\max}$ của vận tốc góc khâu dẫn :

$$\omega_{1(\varphi)_{\min}}^{\max} = \sqrt{\frac{2\mu_E}{\mu_J} \text{tg} \Psi_{k_{\min}}^{\max}} \quad \Rightarrow \quad \omega_{\min} \leq \omega_k \leq \omega_{\max}$$

§4. Làm đều chuyển động máy

1) Đại cương về làm đều chuyển động máy

a) Hệ số không đều

- Trong giai đoạn chuyển động bình ổn, vận tốc góc thực $\omega_1(\varphi)$ khâu dẫn biến thiên có chu kỳ xung quanh một giá trị trung bình nhất định (nghĩa là khâu dẫn chuyển động không đều).
- Để đánh giá tính không đều của chuyển động, người ta dùng hệ số không đều δ :

$$\delta = \frac{\omega_{1\max} - \omega_{1\min}}{\omega_{tb}}$$

Trong đó : $\omega_{1\max}; \omega_{1\min}$ là các cực trị của $\omega_1(\varphi)$ và $\omega_{tb} = \frac{\omega_{1\max} + \omega_{1\min}}{2}$

- Đối với mỗi máy, người ta quy định một giá trị cho phép $[\delta]$ của hệ số không đều.

Nếu $\delta \leq [\delta]$: máy được gọi là chuyển động đều.

b) Vận tốc cực đại và cực tiểu cho phép của khâu dẫn

Øng với mỗi giá trị ω_{tb} của khâu dẫn và giá trị hệ số không đều cho phép $[\delta]$, ta suy được các cực trị cho phép của vận tốc góc thực $\omega_1(\varphi)$ của khâu dẫn. Ta có :

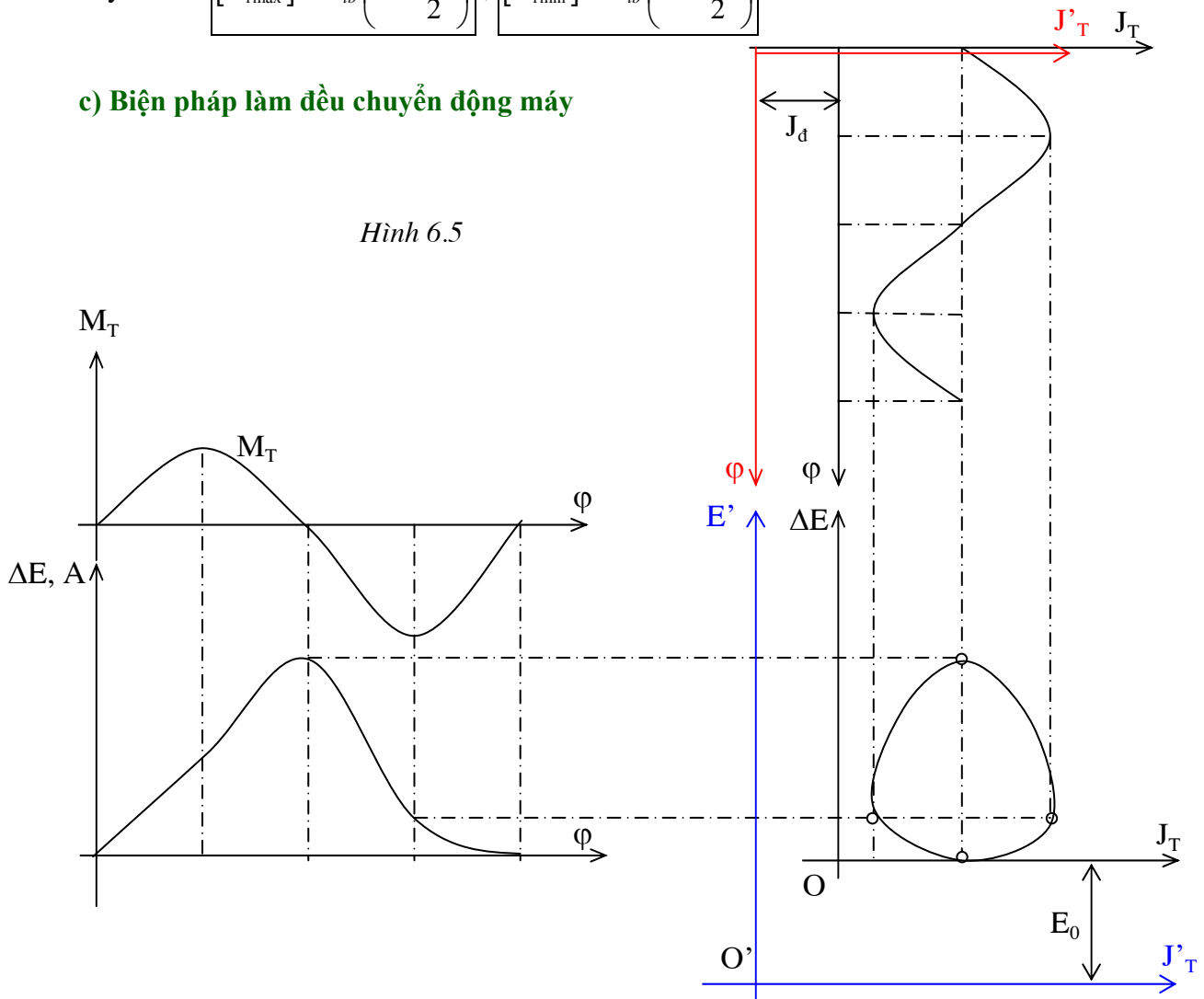
$$[\omega_{1\max}] + [\omega_{1\min}] = 2\omega_{tb}$$

$$[\omega_{1\max}] - [\omega_{1\min}] = \omega_{tb} [\delta]$$

Suy ra :
$$[\omega_{1\max}] = \omega_{tb} \left(1 + \frac{[\delta]}{2} \right), \quad [\omega_{1\min}] = \omega_{tb} \left(1 - \frac{[\delta]}{2} \right)$$

c) Biện pháp làm đều chuyển động máy

Hình 6.5

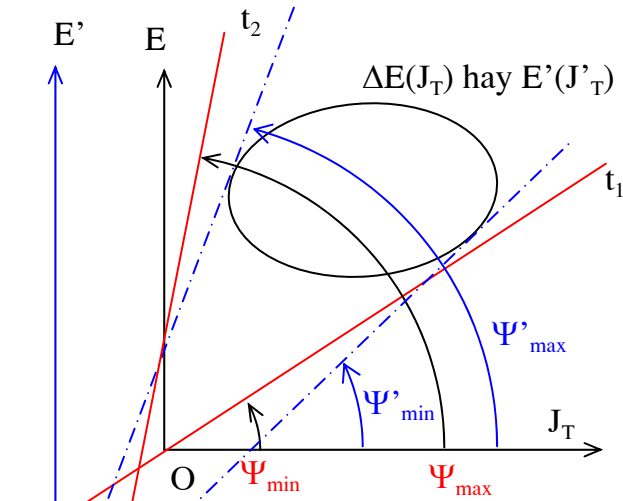


• Khi $\delta > [\delta]$: máy được gọi là chuyển động không đều. Khi đó, phải làm đều chuyển động máy, tức là giữ nguyên ω_{tb} , tìm cách giảm hệ số không đều δ sao cho: $\delta \leq [\delta]$.

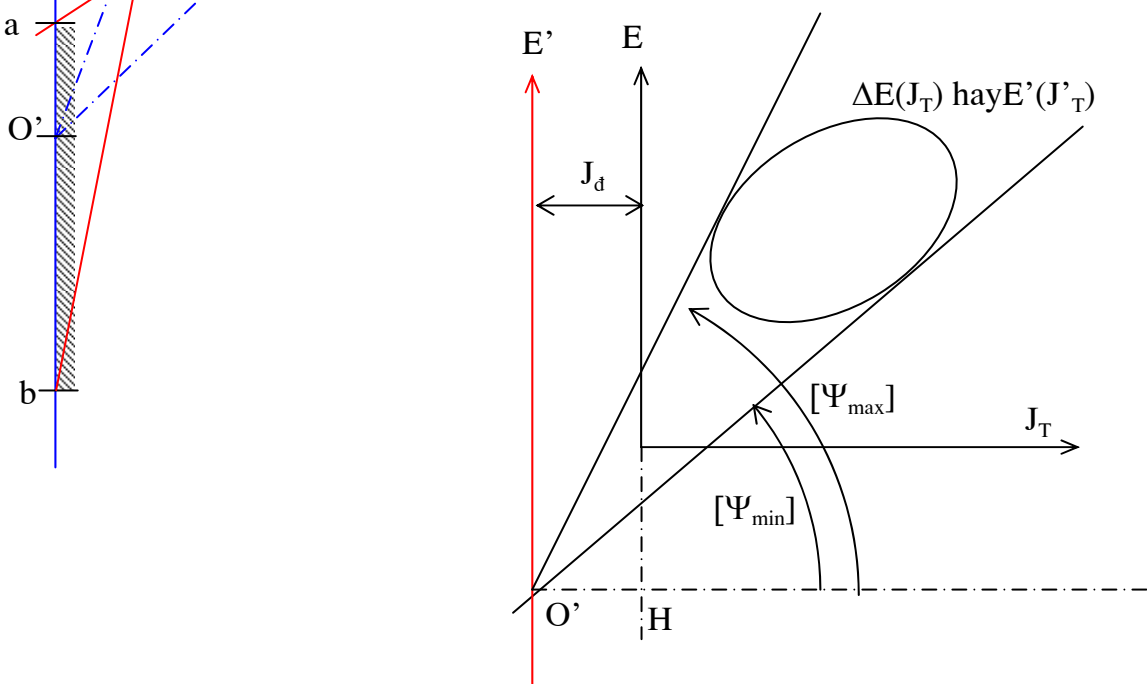
• Thông thường, momen quán tính thay thế J_T của máy biến thiên tuần hoàn theo góc quay của khâu dẫn φ và gồm hai phần : $J_T = J_C + J_\varphi$

Với J_C là momen quán tính thay thế cho bản thân khâu dẫn và các khâu có tỷ số truyền cố định đối với khâu dẫn; J_φ là momen quán tính thay thế cho các khâu còn lại của máy, J_φ là đại lượng biến thiên theo góc quay φ của khâu dẫn.

- Dễ dàng chứng minh được rằng: Khi giữ nguyên ω_{tb} và tăng momen quán tính thay thế J_T thêm một lượng J_d với $J_d =$ hằng số (momen quán tính thay thế lúc này bằng $J'_T = J_T + J_d$) thì hệ số không đều δ sẽ giảm xuống.



Hình 6.6



Hình 6.7

- Trong trường hợp M_{TD} và M_{TC} chỉ phụ thuộc vào góc quay φ : $M_{TD} = M_{TD}(\varphi)$; $M_{TC} = M_{TC}(\varphi)$ có thể dùng đồ thị $\Delta E(J_T)$ để chứng minh như sau :
 - ✓ Khi tăng J_T thêm một lượng J_d với $J_d =$ hằng số (tức là momen quán tính thay thế lúc này bằng $J'_T = J_T + J_d$), vận tốc góc ω_1 của khâu dẫn có thể bị thay đổi, nhưng do J_T chỉ phụ thuộc φ , nên đồ thị $J_T(\varphi)$ không đổi dạng, chỉ có trục φ dời về phía trái một lượng J_d (hình 6.5).
 - Đồ thị $E(J_T)$ trở thành $E'(J'_T)$. Vận tốc ω_1 của khâu dẫn trở thành ω'_1 .
 - ✓ Do momen thay thế $M_T = M_{TD} + M_{TC}$ chỉ phụ thuộc vào góc quay φ , nên đồ thị $\Delta E(\varphi)$ không thay đổi.
 - ✓ Từ đó suy ra rằng đồ thị $\Delta E(J_T)$ và $E(J_T)$ không đổi dạng. Chỉ có trục E' của đồ thị $E'(J'_T)$ dời về phía trái một lượng J_d . Góc O' của đồ thị $E'(J'_T)$ nằm tại một vị trí xác định trên trục E' (hình 6.6).

✓ Từ O kẻ hai tiếp tuyến dưới t_1 và trên t_2 với đồ thị $E(J_T)$, suy được hai góc Ψ_{\min}, Ψ_{\max} ứng với các cực trị $\omega_{\min}, \omega_{\max}$ của ω_1 (hình 6.6).

✓ Gọi $a = t_1 \cap \text{trục } E'$, $b = t_2 \cap \text{trục } E'$. Ta xét ba trường hợp sau :

▪ Trường hợp O' thuộc nửa đường thẳng $ay+$:

Từ O' kẻ hai tiếp tuyến dưới và trên với đồ thị $E'(J_T)$, ta suy ra được hai góc $\Psi'_{\min}, \Psi'_{\max}$ ứng với các cực trị $\omega'_{\min}, \omega'_{\max}$ của ω'_1 .

$$\text{Ta thấy : } \Psi'_{\max} < \Psi_{\max} \Rightarrow \omega'_{\min} < \omega_{\min} \Rightarrow \omega'_{tb} = \frac{\omega'_{1\max} + \omega'_{1\min}}{2} < \frac{\omega_{1\max} + \omega_{1\min}}{2} = \omega_{tb}$$

Tức là ω_{tb} giảm xuống (trái với giả thiết).

▪ Trường hợp điểm O' thuộc $by-$:

Tương tự như trên, ta cũng thấy rằng ω_{tb} tăng lên (trái với giả thiết).

▪ Trường hợp điểm O' thuộc ab :

Ta có: $\Psi'_{\max} < \Psi_{\max}, \Psi'_{\min} > \Psi_{\min} \Rightarrow \omega'_{\max} < \omega_{\max}, \omega'_{\min} > \omega_{\min}$, do vậy có thể giữ nguyên giá trị ω_{tb} .

$$\text{Khi } \omega_{tb} \text{ được giữ nguyên thì : } \delta = \frac{\omega'_{1\max} - \omega'_{1\min}}{\omega_{tb}} < \frac{\omega_{1\max} - \omega_{1\min}}{\omega_{tb}} = \delta$$

Tức là hệ số không đều δ đã giảm xuống.

• Biện pháp làm đều chuyển động máy

Từ chứng minh trên, ta thấy rằng : Để hệ số không đều giảm xuống, cần tăng momen quán tính thay thế J_T thêm một lượng J_d với $J_d =$ hằng số. Muốn vậy phải lắp trên khâu dẫn (hay trên khâu có tỷ số truyền cố định đối với khâu dẫn) một khối lượng phụ gọi là bánh đà.

Giá trị momen quán tính J_d của bánh đà phải được chọn sao cho: $\delta \leq [\delta]$.

Ta sẽ xét trường hợp giới hạn : $\delta = [\delta]$.

2) Xác định momen quán tính của bánh đà

• Trường hợp M_{TD} và M_{TC} chỉ phụ thuộc vào góc quay φ : $M_{TD} = M_{TD}(\varphi), M_{TC} = M_{TC}(\varphi)$, có thể dùng đồ thị $\Delta E(J_T)$ để xác định momen quán tính của bánh đà (phương pháp này được gọi là phương pháp Vit-ten-bauơ).

• Số liệu cho trước

Đồ thị $M_{TD} = M_{TD}(\varphi), M_{TC} = M_{TC}(\varphi), J_T = J_T(\varphi)$. Cho thêm ω_{tb} và $[\delta]$.

• Giả sử bánh đà có momen quán tính J_d được lắp vào khâu dẫn. Khi lắp bánh đà vào khâu dẫn, momen quán tính thay thế J_T sẽ tăng thêm một lượng J_d với $J_d =$ hằng số : $J'_T = J_d + J_T$. Vận tốc góc ω_1 có thể bị thay đổi, nhưng do J_T chỉ phụ thuộc vào góc quay φ , do đó đồ thị $J_T(\varphi)$ không đổi dạng, chỉ có trục hoành dời về bên trái một lượng J_d . Do M_T chỉ phụ thuộc góc quay φ nên đồ thị $\Delta E(\varphi)$ và $E(\varphi)$ cũng không đổi dạng (hình 6.5).

• Từ đó suy ra rằng đồ thị $\Delta E(J_T)$ và $E(J_T)$ cũng không đổi dạng : đồ thị $\Delta E(J_T)$ và $E'(J_T)$ trước và sau khi lắp bánh đà có dạng như nhau. Trục E' của $E'(J_T)$ dời về bên trái so với trục ΔE một lượng là J_d . Góc O' của đồ thị $E'(J_T)$ nằm tại một vị trí nào đó trên trục E' .

• Do vậy, momen quán tính của bánh đà được xác định bằng cách : Từ góc O' của đồ thị $E'(J_T)$ hạ đoạn thẳng O'H vuông góc với trục E' . Momen quán tính của bánh đà :

$$J_d = O'H \cdot \mu_J$$

• **Cách xác định góc O' của đồ thị $E'(J_T)$**

Nếu biết trước đồ thị $E'(J_T)$ và góc O' của đồ thị này, có thể suy ra các góc $[\Psi_{\max}], [\Psi_{\min}]$ tương ứng với các cực trị cho phép $[\omega_{\max}], [\omega_{\min}]$ của vận tốc góc $\omega_1(\varphi)$ của khâu dẫn : Từ góc O', kẻ hai tiếp tuyến trên và dưới với đồ thị $E'(J_T)$, $[\Psi_{\max}], [\Psi_{\min}]$ chính là góc hợp bởi hai tiếp tuyến nói trên với trục hoành.

Ngược lại, nhờ biết trước đồ thị $E'(J_T)$, nhưng chưa biết góc O', có thể xác định góc O' như sau : Kẻ hai tiếp tuyến trên t_2 và dưới t_1 với đồ thị $E'(J_T)$, lần lượt hợp với trục hoành góc $[\Psi_{\max}], [\Psi_{\min}]$. Giao điểm của hai tiếp tuyến trên chính là góc O' của đồ thị $E'(J_T)$ (hình 6.7).

• **Cách xác định $[\Psi_{\max}], [\Psi_{\min}]$**

Giá trị $[\Psi_{\max}], [\Psi_{\min}]$ tương ứng với các cực trị cho phép của $\omega_1(\varphi)$ và với hệ số không đều cho phép $[\delta]$.

$$\begin{aligned} \text{Thế mà : } \quad \text{tg} \left[\Psi_{\min}^{\max} \right] &= \frac{\mu_J}{2\mu_E} [\omega_{\min}^{\max}]^2 \\ \Rightarrow \quad \text{tg} \left[\Psi_{\min}^{\max} \right] &= \frac{\mu_J}{2\mu_E} \omega_{tb}^2 \left[1 \pm \frac{[\delta]}{2} \right]^2 \quad \text{với } [\delta] \ll 1 \\ \Rightarrow \quad \boxed{\text{tg} \left[\Psi_{\min}^{\max} \right]} &= \frac{\mu_J}{2\mu_E} \omega_{tb}^2 (1 \pm [\delta]) \end{aligned}$$

• **Trình tự xác định momen quán tính của bánh đà bằng đồ thị $\Delta E(J_T)$:**

Tóm lại, có thể xác định momen quán tính của bánh đà theo trình tự sau :

+ Cộng hai đồ thị $M_{TD} = M_{TD}(\varphi); M_{TC} = M_{TC}(\varphi)$, ta được đồ thị $M_T(\varphi)$.

+ Tích phân đồ thị $M_T(\varphi)$ suy được đồ thị $A(\varphi)$. Đây cũng chính là đồ thị $\Delta E(\varphi)$.

+ Khử φ từ hai đồ thị $J_T(\varphi)$ và $\Delta E(\varphi)$ suy được đồ thị $\Delta E(J_T)$.

+ Tính $[\Psi_{\max}], [\Psi_{\min}]$ theo biểu thức $\text{tg} \left[\Psi_{\min}^{\max} \right] = \frac{\mu_J}{2\mu_E} \omega_{tb}^2 (1 \pm [\delta])$.

+ Kẻ hai tiếp tuyến trên t_2 và dưới t_1 với đồ thị $E'(J_T)$ (hay cũng chính là đồ thị $\Delta E(J_T)$), lần lượt hợp với trục hoành góc $[\Psi_{\max}], [\Psi_{\min}]$

+ Gọi $O' = t_1 \cap t_2$. Hạ $O'H$ vuông góc với trục tung của đồ thị $\Delta E(J_T)$

Ta có : $\boxed{J_d = O'H \cdot \mu_J}$

• **Ghi chú**

✓ Phương pháp Vittenbauer chỉ được dùng để xác định momen quán tính của bánh đà trong trường hợp M_{TD} và M_{TC} chỉ phụ thuộc vào góc quay φ .

✓ Trường hợp M_{TD} và M_{TC} có phụ thuộc vào vận tốc góc ω_1 của khâu dẫn, không thể dùng phương pháp này để tính bánh đà. Bởi vì, trong trường hợp này, khi lắp bánh đà vào khâu dẫn, vận tốc góc ω_1 đã bị thay đổi, các đồ thị M_{TD} và M_{TC} cũng bị thay đổi theo, dạng của đồ thị $E'(J_T)$ không còn giống dạng đồ thị $\Delta E(J_T)$ nữa, nghĩa là ta không thể xác định được dạng của đồ thị $E'(J_T)$, không thể kẻ hai tiếp tuyến như trên hình 6.7 để tìm góc O' và xác định momen quán tính của bánh đà.

✓ Trường hợp bánh đà được lắp trên khâu thứ i có tỷ số truyền cố định đối với khâu dẫn, thì momen quán tính J_d tìm được trên đây chính là momen quán tính thay thế của bánh đà về khâu dẫn. Momen quán tính thực J_d^i của bánh đà được tính như sau :

$$J_d^i = J_d \left(\frac{\omega_1}{\omega_i} \right)^2$$

Trong đó : ω_i là vận tốc góc của khâu thứ i có lắp bánh đà.



HIỆU SUẤT

§1. Khái niệm về hiệu suất

• Ta đã biết rằng khi máy chuyển động bình ổn, sau từng khoảng thời gian bằng chu kỳ động lực học Φ_ω của máy, công động cung cấp cho máy và công cản mà máy tiêu hao phải cân bằng nhau: $A_D = -A_C$

Thế mà : $A_C = A_{MS} + A_{CI}$

Với : A_{CI} và A_{MS} lần lượt là công dùng để khắc phục các lực cản có ích và công tiêu hao bởi các lực ma sát trong các khớp động trong một chu kỳ động lực học của máy.

Do đó : $A_D = -(A_{MS} + A_{CI})$

Như vậy, công động cung cấp cho máy một phần được dùng để khắc phục các lực cản có ích, phần còn lại tiêu hao do ma sát trong các khớp động.

• Để đánh giá hiệu quả sử dụng công động của máy, người ta sử dụng hiệu suất η :

$$\eta = \frac{|A_{CI}|}{A_D} \quad (7.1)$$

• Do $A_D = -(A_{MS} + A_{CI}) \Rightarrow |A_{CI}| = A_D - |A_{MS}| \Rightarrow \eta = \frac{A_D - |A_{MS}|}{A_D}$

$$\Rightarrow \eta = 1 - \frac{|A_{MS}|}{A_D} \quad (7.2)$$

• Gọi $\varphi = \frac{|A_{MS}|}{A_D}$ là hệ số tổn thất, ta có : $\eta = 1 - \varphi$ (7.3)

• Trong cơ cấu, công của lực ma sát luôn luôn khác không, do đó từ (7.2) suy ra: $\eta < 1$.

Khi $|A_{MS}| = A_D$, tức là toàn bộ công động cung cấp bị tiêu hao do ma sát trong các khớp động, từ (7.2) suy ra: $\eta = 0$.

Để máy hay cơ cấu chuyển động được, phải có: $A_D > |A_{MS}|$, do đó từ (7.2) suy ra: $\eta > 0$.

Tóm lại: $0 \leq \eta < 1$

Khi tính toán nếu hiệu suất $\eta < 0$ thì điều này chứng tỏ rằng cơ cấu đang rơi vào trạng thái tự hãm.

§2. Hiệu suất của một chuỗi khớp động (hay chuỗi cơ cấu)

Hiệu suất của từng khớp động có thể xác định bằng thực nghiệm hay tính toán. Trong các tài liệu kỹ thuật, thường cho trước hiệu suất của các khớp động thông dụng, ví dụ hiệu suất của một cặp bánh răng, của ổ bi... Làm thế nào để xác định hiệu suất của một chuỗi khớp động hay của một chuỗi cơ cấu ?

1) Trường hợp chuỗi khớp động nối tiếp

Xét một chuỗi gồm n khớp động nối tiếp (hình 7.1).

Gọi η_i là hiệu suất của khớp động thứ i.

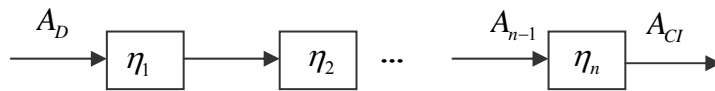
✓ Xét khớp động thứ 1 : Gọi A_D là công động cung cấp. Công có ích nhận được là A_1 . Hiệu

suất của khớp : $\eta_1 = \frac{|A_1|}{A_D}$.

- ✓ Với khớp động thứ 2, công cung cấp là $|A_1|$, công có ích nhận được là A_2 . Hiệu suất của khớp động : $\eta_2 = \frac{|A_2|}{|A_1|}$.
- ✓ Với khớp động thứ n, công cung cấp là $|A_{n-1}|$, công có ích nhận được là A_{CI} . Hiệu suất của khớp : $\eta_n = \frac{|A_{CI}|}{|A_{n-1}|}$.
- ✓ Với chuỗi khớp động, cung cấp là A_D , công có ích nhận được là A_{CI} .

Do đó, hiệu suất của chuỗi khớp động nối tiếp :

$$\eta_n = \frac{|A_{CI}|}{A_D} = \frac{|A_{CI}|}{|A_{n-1}|} \cdot \frac{|A_{n-1}|}{|A_{n-2}|} \cdots \frac{|A_2|}{|A_1|} \cdot \frac{|A_1|}{A_D} \Rightarrow \eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdots \eta_n \Rightarrow \eta = \prod_{i=1}^n \eta_i$$



Hình 7.1

2) Trường hợp chuỗi khớp động song song

Xét một chuỗi gồm n khớp động song song (hình 7.2).

Gọi η_i là hiệu suất của khớp động thứ i.

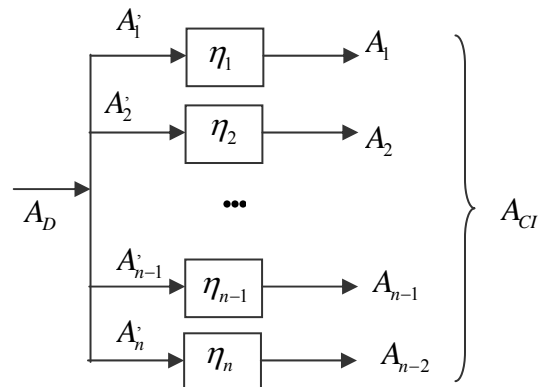
- ✓ Với khớp động thứ i: Công cung cấp A_i^* , công có ích nhận được A_i . Hiệu suất của khớp:

$$\eta_i = \frac{|A_i|}{A_i^*}$$

- ✓ Với toàn bộ chuỗi khớp động : Công suất

$$\text{cung cấp } A_S = \sum_{i=1}^n A_i^* \Rightarrow A_S = \sum_{i=1}^n \frac{|A_i|}{\eta_i}. \text{ Công}$$

$$\text{suất có ích nhận được } A_{CI} = \sum_{i=1}^n A_i.$$



Hình 7.2

Do đó, hiệu suất của chuỗi khớp động song song:

$$\eta = \frac{|A_{CI}|}{A_S} = \frac{\left| \sum_{i=1}^n A_i \right|}{\sum_{i=1}^n \frac{|A_i|}{\eta_i}} = \frac{\sum_{i=1}^n |A_i|}{\sum_{i=1}^n \frac{|A_i|}{\eta_i}}$$

3) Trường hợp chuỗi khớp động hỗn hợp

Xét trường hợp tổng quát : Hệ thống gồm m chuỗi khớp động nối tiếp bố trí song song với nhau (hình 7.3). Mỗi chuỗi khớp động nối tiếp gồm n khớp động.

- ✓ Với toàn bộ hệ thống: Công cung cấp : $A_S = \sum_{j=1}^m A_j^*$, công có ích nhận được : $A_{CI} = \sum_{j=1}^m A_j$

$$\text{Hiệu suất của hệ thống : } \eta = \frac{|A_{CI}|}{A_D} = \frac{\left| \sum_{j=1}^m A_j \right|}{\sum_{j=1}^m A_j^*} = \frac{\sum_{j=1}^m |A_j|}{\sum_{j=1}^m A_j^*} \quad (7.4)$$

✓ Với chuỗi khớp động *nối tiếp* thứ j : Công cung cấp : A_j , công có ích nhận được : A_j .

Hiệu suất của chuỗi khớp động *nối tiếp* thứ j : $\eta_j = \frac{|A_j|}{A_j}$. Suy ra : $A_j = \frac{|A_j|}{\eta_j}$.

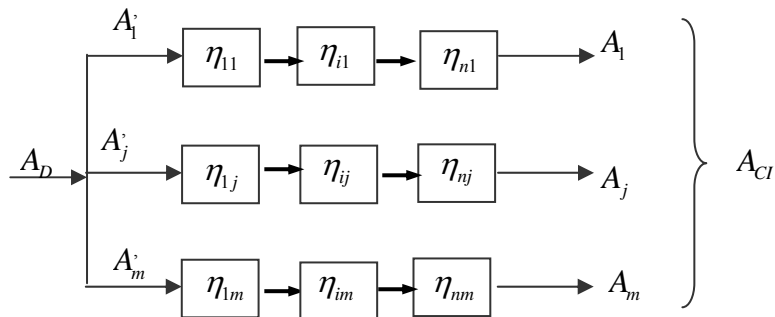
Gọi η_{ij} là hiệu suất của mỗi khớp động trong chuỗi *nối tiếp* thứ j ($i = 1, \dots, n$), ta có:

$$\eta_j = \prod_{i=1}^n \eta_{ij} .$$

$$\text{Do đó : } A_j = \frac{|A_j|}{\eta_j} = \frac{|A_j|}{\prod_{i=1}^n \eta_{ij}} \quad (7.5)$$

Thay (7.5) vào (7.4), suy ra :

$$\eta = \frac{|A_{Cl}|}{A_D} = \frac{\sum_{j=1}^m |A_j|}{\sum_{j=1}^m \frac{|A_j|}{\prod_{i=1}^n \eta_{ij}}}$$



Hình 7.3



ĐIỀU CHỈNH TỰ ĐỘNG CHUYỂN ĐỘNG CỦA MÁY

§1. Đặt vấn đề

- Để máy chuyển động bình ổn, sau một khoảng thời gian nhất định, công động và công cản phải cân bằng nhau : $A_D = A_C$. Khi đó vận tốc góc ω_1 của khâu dẫn biến thiên có chu kỳ xung quanh một giá trị trung bình ω_{tb} xác định. Nếu biên độ dao động của ω_1 vượt quá giá trị cho phép, thì phải dùng bánh đà để làm đều chuyển động máy. Đây là nội dung của bài toán làm đều chuyển động thực của máy.
- Tuy nhiên, trong quá trình làm việc, tải trọng của máy có thể biến thiên bất thường. Khi đó công động và công cản không cân bằng nhau nữa, chuyển động của máy sẽ mất bình ổn. Để bảo đảm chuyển động của máy luôn luôn bình ổn, mặc dù có sự thay đổi bất thường của tải trọng, phải dùng biện pháp *điều chỉnh tự động* để điều chỉnh công động cung cấp cho máy sao cho công động và công cản trở lại cân bằng nhau.
- Điều chỉnh tự động chuyển động của máy là một lĩnh vực hẹp của lý thuyết điều chỉnh tự động.
- Có thể dùng các bộ điều chỉnh khác nhau dùng đến các thiết bị điện, điện tử hay cơ khí, ở đây, chỉ giới thiệu bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm là loại chỉ dùng các thiết bị cơ khí. Bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm được sử dụng rộng rãi trong các động cơ nổ.

§2. Bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm trực tiếp

1) Cấu tạo

Bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm trực tiếp bao gồm các phần tử sau đây (hình 8.1) :

Trục quay OO

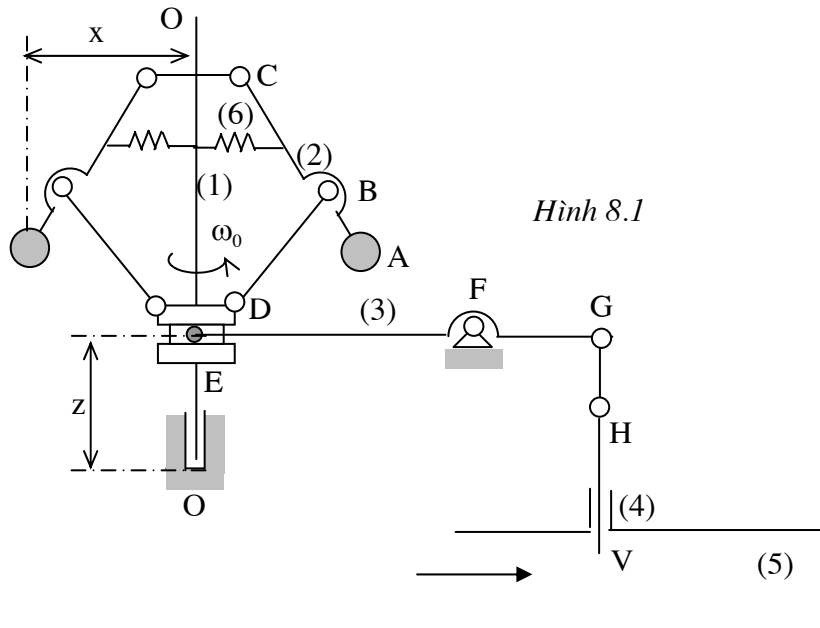
Cơ cấu tay quay con trượt kép ABCD mang quả nặng A.

Hệ thống cánh tay đòn EFGH.

Van V.

ống dẫn chất sinh công.

Lò xo.



2) Nguyên lý làm việc

- Trục quay OO được nối với khâu dẫn của máy bằng một cơ cấu có tỷ số truyền không đổi, do đó vận tốc góc trung bình của trục quay OO tỷ lệ với vận tốc góc trung bình ω_1 của khâu dẫn.
 - Khi máy chuyển động bình ổn, trục OO có vận tốc góc trung bình là ω_0 .
- Lúc này, lực ly tâm do các quả nặng A : $P_A = 2m_A\omega_0^2x$
- Với : m_A : khối lượng của quả nặng A
 x : khoảng cách từ tâm quả nặng A đến trục OO.
- Lực ly tâm P_A có xu hướng kéo quả nặng A đi lên và được gọi là *lực nâng*.

Trọng lượng quả nặng, trọng lượng các khâu, lực phục hồi của lò xo... có xu hướng kéo quả nặng đi xuống. Các lực này được gọi là *lực hạ*.

Dưới tác động của lực nâng và lực hạ, quả nặng A hay cơ cấu sẽ có một vị trí cân bằng nhất định, ứng với một giá trị của lực nâng P_A hay ứng với một vị trí nhất định của con trượt D (xác định bằng tọa độ z). Vị trí cân bằng này ứng với một giá trị nhất định của ω_0 .

- Khi có sự thay đổi bất thường của tải trọng bên ngoài, ví dụ khi tải trọng tăng. Khi đó công cản A_C mà máy tiêu thụ tăng lên, vận tốc ω_0 giảm xuống, khiến lực nâng P_A giảm xuống, làm cho quả nặng A và con trượt D đi xuống, thông qua hệ thống cánh tay đòn EFGH mở rộng van V, tăng thêm chất sinh công đi vào động cơ. Nhờ đó công động A_D cung cấp cho máy tăng lên, sự cân bằng giữa công động và công cản được phục hồi, vận tốc góc ω_0 trở lại ổn định (hình 8.2).

3) Một số khái niệm cơ bản

Hãy làm quen với một vài khái niệm cơ bản dùng trong lý thuyết điều khiển tự động :

+ Động cơ nổ được gọi *đối tượng cần điều chỉnh*

+ Vận tốc góc ω_0 của trục quay OO được gọi là *thông số cần điều chỉnh*

+ Sự thay đổi bất thường của tải trọng bên ngoài được gọi là *kích động*

+ Sự sai lệch của thông số điều chỉnh ω_0 so với giá trị ban đầu được gọi là *tín hiệu điều chỉnh*

+ Con trượt D và cơ cấu tay quay con trượt kép ABCD có nhiệm vụ phát hiện sự sai lệch của thông số điều chỉnh so với yêu cầu được gọi là *phần tử nhạy*

+ Hệ thống cánh tay đòn EFGH chịu tác động của *phần tử nhạy* và có nhiệm vụ đóng mở van V, điều chỉnh chất sinh công đi vào động cơ, để đưa thông số điều chỉnh trở về giá trị yêu cầu, được gọi là *phần tử chấp hành*.

+ Hệ thống gồm *bộ điều chỉnh tự động* và *đối tượng cần điều chỉnh* (động cơ) được gọi là *hệ điều chỉnh tự động*.

4) Ưu nhược điểm của bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm trực tiếp

Bộ điều chỉnh vừa nêu trên đây được gọi là bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm trực tiếp. Sở dĩ có tên gọi như vậy, bởi vì phần tử nhạy của bộ điều chỉnh này được nối trực tiếp với phần tử chấp hành.

- *Ưu điểm*

Bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm trực tiếp có kết cấu đơn giản.

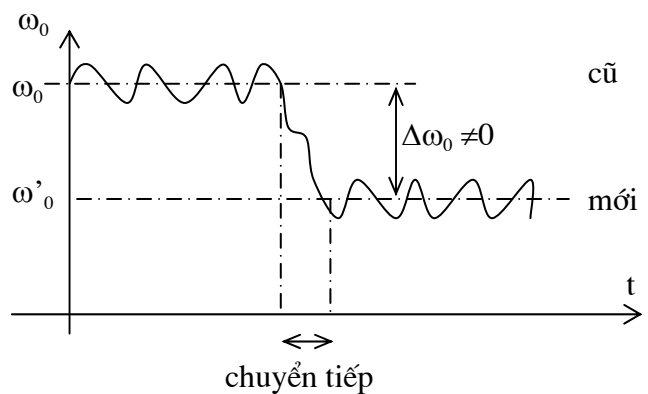
- *Nhược điểm*

- Bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm trực tiếp không nhạy với các tín hiệu nhỏ :

Công phát sinh do sự biến thiên của lực quán tính P_A khi ω_0 thay đổi, vừa dùng để nâng hạ các quả nặng (tức là cung cấp năng lượng cho phần tử nhạy), vừa được dùng để đóng mở van V (tức là dẫn động phần tử chấp hành). Do đó, khi kích động không đủ lớn, năng lượng nói trên không đủ để dẫn động phần tử chấp hành, hệ thống sẽ không hoạt động.

- Bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm trực tiếp để lại một sai số tĩnh khác không sau quá trình điều chỉnh:

Khi chuyển động bình ổn mới được xác lập, công cản A_C và do vậy công động A_D đã khác trước, do đó vị trí van V và con trượt D cũng phải khác trước. Vì mỗi vị trí của con trượt D ứng với một vận tốc ω_0



Hình 8.2

nhất định, nên trong chế độ chuyển động bình ổn mới được tái lập, vận tốc ω_0 đã có một trị số ω_0 khác trước : $\omega_0 \neq \omega_0$. Sai số $\Delta\omega = \omega_0 - \omega_0$ được gọi là sai số tĩnh : $\Delta\omega \neq 0$ (hình 8.2).

§3. Các bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm gián tiếp

- ✓ Để khắc phục nhược điểm không nhạy với các tín hiệu nhỏ của bộ điều chỉnh trực tiếp, người ta dùng bộ điều chỉnh *gián tiếp*, trong đó năng lượng dẫn động phần tử chấp hành không lấy trực tiếp từ phần tử nhạy mà thông qua một phần tử khuếch đại.
- ✓ Trong các bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm gián tiếp, phần tử khuếch đại là một hệ thống thủy lực còn được gọi là *động cơ trợ động*.

1) Bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm gián tiếp phi tĩnh

a) Cấu tạo

Khác với bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm trực tiếp ở chỗ có thêm một *hệ thống thủy lực* gồm pittông 1 và 2 chuyển động trong các xi lanh 1 và 2 chứa dầu và các ống dẫn a, b, c, d, e (hình 8.3).

b) Nguyên lý làm việc

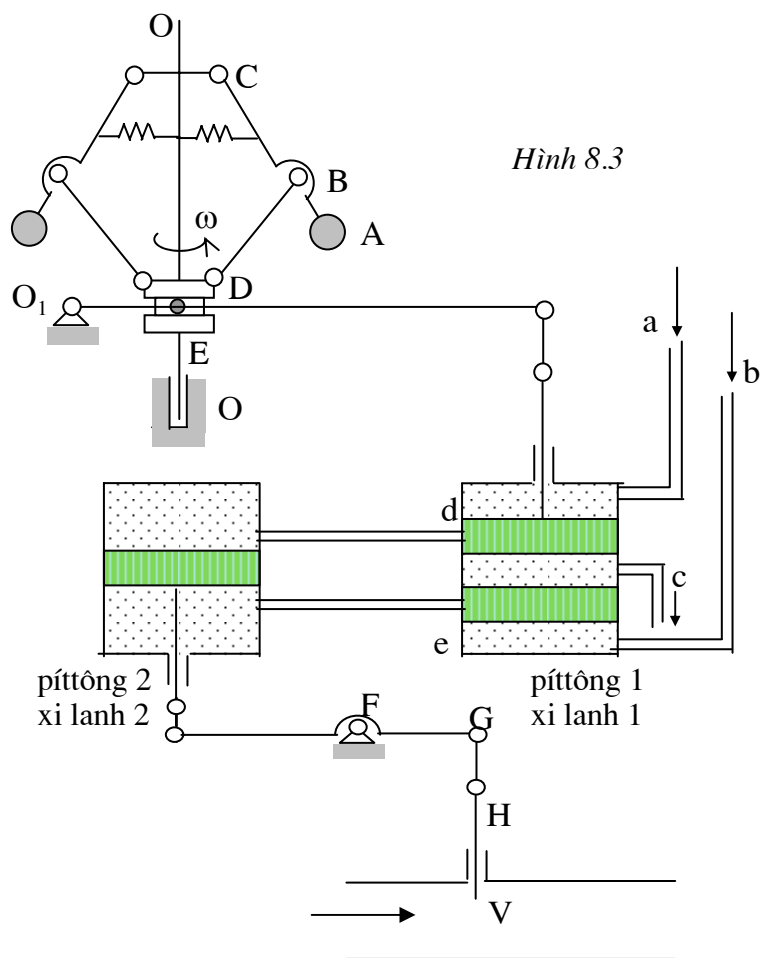
- Khi máy chuyển động bình ổn, cơ cấu có một vị trí cân bằng nhất định ứng với một vị trí nhất định của con trượt D, ứng với một vận tốc góc trung bình ω_0 nhất định của trục quay OO. Khi đó pittông nằm ở vị trí đóng kín các cửa d, e. Các khoang của xi lanh 2 được tức dầu, sẽ được giữ ở một vị trí xác định, ứng với một vị trí xác định của van V.

- Khi có sự thay đổi bất thường của tải trọng bên ngoài, ví dụ khi tải trọng tăng. Khi đó công cản A_C mà máy tiêu thụ tăng lên, vận tốc ω_0 giảm xuống, khiến lực nâng P_A giảm xuống, làm cho quả nặng A và con trượt D đi xuống, thông qua hệ thống cánh tay đòn EFGH kéo pittông 1 đi xuống, cửa a thông với d, cửa e thông với c, dầu cao áp từ ống a đi qua ống d vào khoang trên của xi lanh 2, dầu ở mặt dưới của pittông 2 theo ống e và c thoát ra ngoài. Nhờ đó pittông 2 đi xuống, thông qua hệ thống cánh tay đòn EFGH mở rộng van V, tăng thêm chất sinh công đi vào động cơ, khiến công động A_D cung cấp cho máy tăng lên, *một mặt* phục hồi sự cân bằng giữa công động và công cản, vận tốc góc ω_0 tăng trở lại.

Mặt khác, khi vận tốc góc ω_0 bắt đầu tăng trở lại, lực nâng P_A tăng lên, con trượt D và pittông 1 đi lên trở lại, đóng dần hai cửa d, e. Chỉ khi nào pittông 1 trở về vị trí đóng kín hoàn toàn hai cửa d, e (vị trí ban đầu) thì pittông 2 mới thôi đi xuống và van V mới ngừng hẳn, không mở rộng nữa.

c) Ưu nhược điểm

- *Ưu điểm*



Hình 8.3

- Bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm gián tiếp *phi tĩnh* nhạy với những tín hiệu nhỏ, bởi vì năng lượng để dẫn động phần tử chấp hành không lấy trực tiếp từ phần tử nhạy mà thông qua phần tử khuếch đại.

- Bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm gián tiếp *phi tĩnh* không để lại sai số tĩnh :

$\Delta\omega = \omega'_0 - \omega_0 = 0$. Thật vậy, khi chế độ chuyển động bình ổn *mới* được

xác lập, công cản A_C và do vậy công động A_D đã khác trước, do đó vị trí van V cũng khác trước. Tuy nhiên vị trí pittông 1 vẫn nằm tại vị trí đóng

kín các cửa d và e, nghĩa là vẫn như trong chế độ bình ổn ban đầu, do đó vị trí của con trượt D cũng như vận tốc góc ω_0 vẫn không khác trước : $\omega'_0 = \omega_0$ tức là sai số tĩnh $\Delta\omega = \omega'_0 - \omega_0 = 0$ (hình 8.4).

• *Nhược điểm*

Trong bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm gián tiếp *phi tĩnh* có thể xảy ra hiện tượng mất ổn định động lực học : Thật vậy, khi công động A_D tăng lên để phục hồi chế độ chuyển động bình ổn thì ω_0 hiện đang giảm tăng trở lại, làm cho pittông 1 đi lên trở lại, trở về vị trí đóng kín hai cửa d và e. Chỉ khi nào pittông 1 đóng kín hoàn toàn hai cửa d và e thì van V mới ngừng hẳn, không mở rộng nữa. Tuy nhiên, do có quán tính, van V có thể đã mở quá mức cần thiết, làm cho A_D lớn A_C , quá trình điều chỉnh ngược lại có thể xảy ra, khiến cho van V có thể dao động liên tục (hiện tượng này được gọi là hiện tượng mất ổn định động lực học).

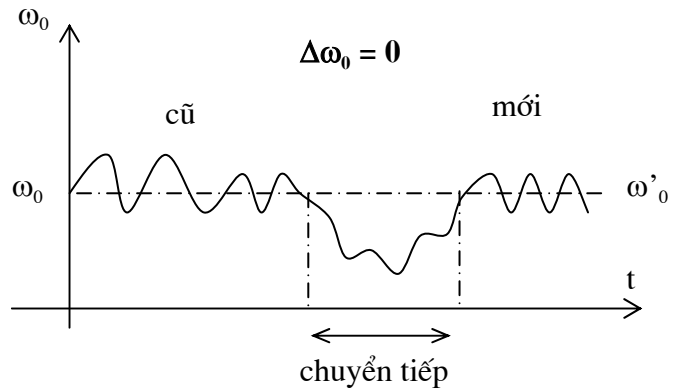
2) Bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm gián tiếp có liên hệ ngược cứng

Để khắc phục hiện tượng mất ổn định động lực học của bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm gián tiếp *phi tĩnh* thì cần phải đóng dẫn hai cửa d và e của xi lanh 1 ngay trong quá trình đóng mở van V, tức là ngay trong quá trình điều chỉnh.

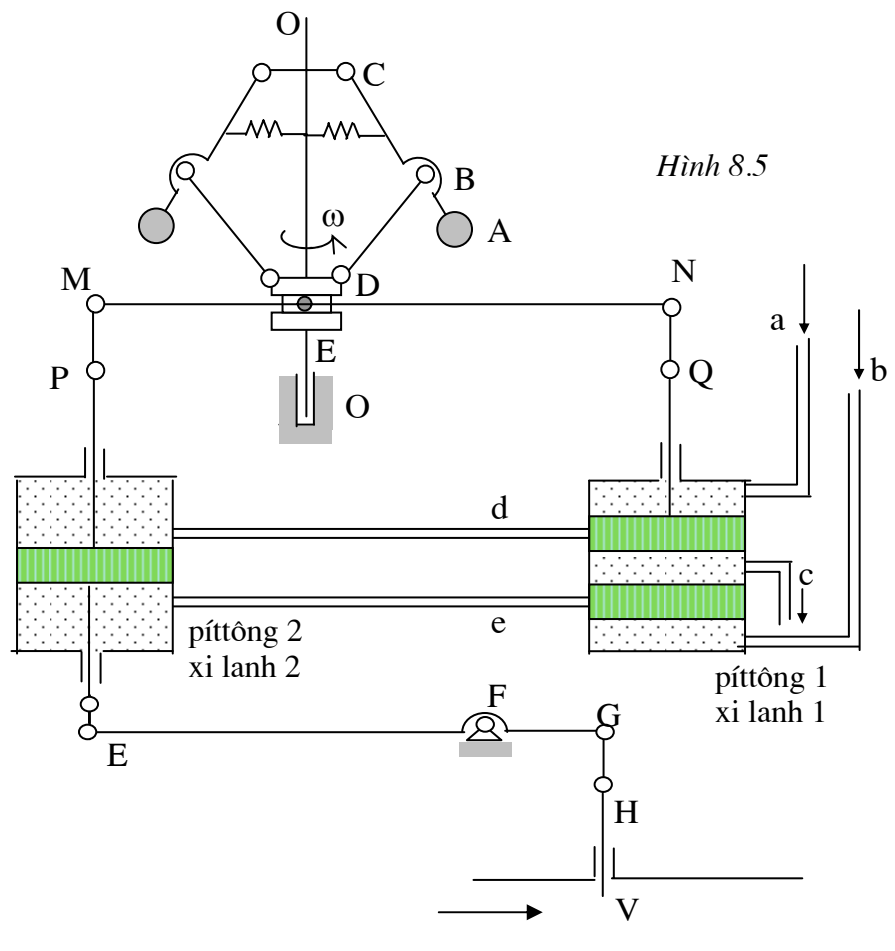
Muốn vậy, phải có thêm một *liên hệ ngược* sao cho ngay khi hệ thống cánh tay đòn EFGH hoạt động đóng mở van V thì đồng thời, thông qua liên hệ ngược, cũng đưa pittông 1 về vị trí đóng dẫn hai cửa d, e.

a) Cấu tạo

Tương tự như bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm gián tiếp *phi tĩnh*, nhưng ở đây có thêm liên hệ ngược. là hệ thống cánh



Hình 8.4



Hình 8.5

tay đòn PMDNQ nối từ phần tử chấp hành EFGH đến pittông 1. Liên hệ ngược này được gọi là *liên hệ ngược cứng* vì hệ thống cánh tay đòn PMDNQ là hệ thống cứng, giữa tín hiệu hai đầu liên hệ ngược có quan hệ tỷ lệ (hình 8.5).

b) Nguyên lý làm việc

- Khi máy chuyển động bình ổn, cơ cấu có một vị trí cân bằng nhất định ứng với một vị trí nhất định của con trượt D, hay ứng với một vận tốc góc trung bình ω_0 nhất định của trục quay OO. Khi đó pittông nằm ở vị trí đóng kín các cửa d, e. Các khoang của xilanh 2 được tức dầu, sẽ được giữ ở một vị trí xác định, ứng với một vị trí xác định của van V.

- Khi có sự thay đổi bất thường của tải trọng bên ngoài, ví dụ khi tải trọng tăng. Khi đó công cản A_c mà máy tiêu thụ tăng lên, vận tốc ω_0 giảm xuống, khiến lực nâng P_A giảm xuống, làm cho quả nặng A và con trượt D đi xuống. Do lúc bắt đầu quá trình điều chỉnh, hai khoang của pittông 2 được tức dầu, nên khi con trượt D đi xuống, điểm N và vì vậy pittông 1 cũng đi xuống, mở ống a thông với d, ống e thông với c. Dầu cao áp từ a qua d vào khoang trên của pittông 2, dầu từ khoang dưới của pittông 2 qua e và c chảy ra ngoài, khiến cho pittông 2 đi xuống:

- Một mặt, thông qua hệ thống cánh tay đòn EFGH, mở rộng van V, tăng thêm chất sinh công đi vào động cơ, nhờ đó công động A_D tăng lên, *phục hồi* sự cân bằng giữa công động và công cản.

- Mặt khác, thông qua liên hệ ngược PMDNQ, kéo pittông 1 đi lên, đóng dần dần hai cửa d và e. Khi sự cân bằng giữa công động và công cản được phục hồi hoàn toàn thì pittông 1 cũng vừa đóng kín hai cửa d và e, van V không mở rộng thêm nữa. Nhờ vậy khác phục được hiện tượng mất ổn định động lực học.

c) Ưu nhược điểm

- *Ưu điểm*

Khắc phục được hiện tượng mất ổn định động lực học.

- *Nhược điểm*

Bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm gián tiếp có liên hệ ngược *cứng* để lại sai số tĩnh khác 0. Thật vậy, khi chế độ chuyển động bình ổn *mới* được phục hồi, công động A_D và vì vậy vị trí van V khác trước. Do hệ thống cánh tay đòn HGFEPM là một hệ thống cứng nên vị trí điểm M cũng phải khác trước. Trong khi đó khi chuyển động bình ổn mới được tái lập, vị trí pittông 1 và do vậy vị trí điểm N vẫn như cũ, nên con trượt D phải có một vị trí mới khác trước ứng với một vận tốc góc ω_0' khác trước : sai số tĩnh $\Delta\omega = \omega_0' - \omega_0 \neq 0$.

3) Bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm gián tiếp có liên hệ ngược mềm

Để khắc phục nhược điểm là để lại sai số tĩnh khác 0 của bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm gián tiếp có liên hệ ngược cứng, đồng thời vẫn bảo đảm vẫn đảm bảo được tính ổn định động lực học của hệ thống, người ta phải dùng *liên hệ ngược mềm*. Liên hệ ngược mềm cũng nối từ điểm E đến điểm M như liên hệ ngược cứng, nhưng có bố trí thêm một lò xo và một bộ giảm chấn, nhờ đó quan hệ chuyển vị của hai điểm E và M không còn là tuyến tính.

Với liên hệ ngược mềm, hai nhược điểm là mất ổn định động lực học và sai số tĩnh khác không của các bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm được khắc phục.

§3. Nhận xét về cấu trúc của một hệ điều chỉnh tự động

Một hệ điều chỉnh tự động nói chung bao gồm (hình 8.6)

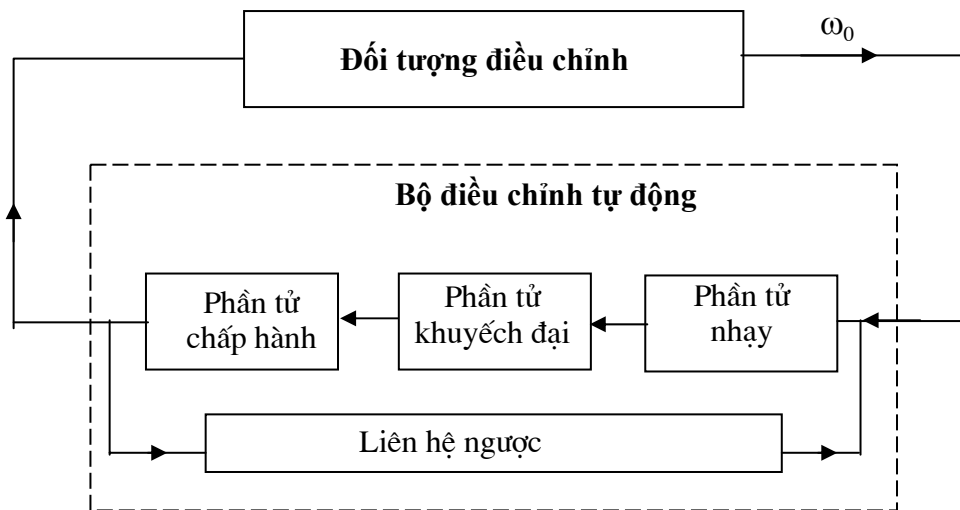
Đối tượng cần điều chỉnh với thông số cần điều chỉnh

2. Bộ điều chỉnh tự động gồm có các phần tử :

+ *Phần tử nhạy* : có nhiệm vụ phát hiện độ lệch của thông số điều chỉnh so với yêu cầu và đưa ra tín hiệu điều khiển.

+ *Phần tử khuếch đại* : nhằm tăng thêm công suất của tín hiệu điều khiển.

- + *Phần tử chấp hành*: có nhiệm vụ thực hiện động tác điều chỉnh để đưa thông số điều chỉnh trở về giá trị yêu cầu
- + Ngoài ra, còn có *liên hệ ngược* (hay còn gọi là phản hồi phụ) để cải thiện điều kiện làm việc của hệ thống.



Hình 8.6



CƠ CẤU CAM

§1. Đại cương

1) Khái niệm về cơ cấu cam

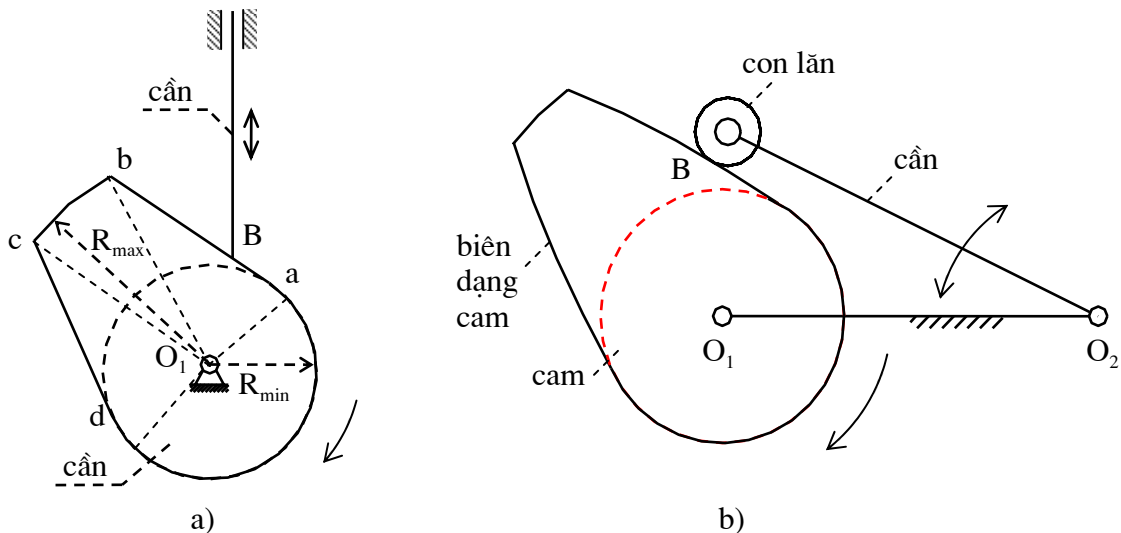
• Cơ cấu cam là cơ cấu có khớp cao, được dùng để tạo nên chuyển động qua lại (có thể có lúc dừng) theo một quy luật cho trước của khâu bị dẫn.

Khâu dẫn của cơ cấu được gọi là *cam*, còn khâu bị dẫn được gọi là *cần* (hình 9.1).

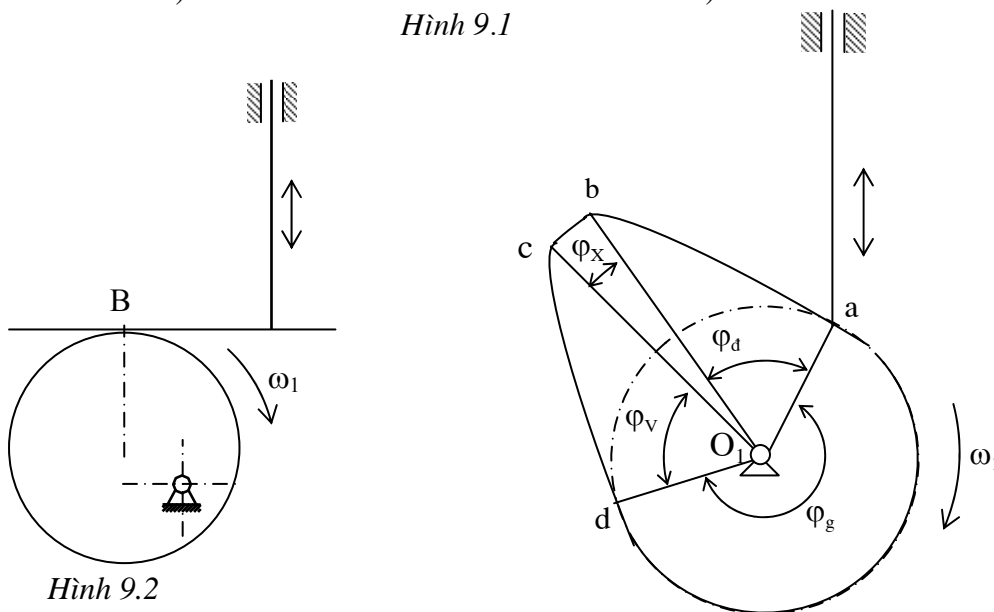
• Cơ cấu *cam phẳng* là cơ cấu cam, trong đó cam và cần chuyển động trong cùng một mặt phẳng hay trong các mặt phẳng song song với nhau. Trong chương này, chúng ta chỉ nghiên cứu *cơ cấu cam phẳng*.

• Trong cơ cấu cam, cam và cần được nối với giá bằng khớp thấp (khớp trượt, khớp quay) và được nối với nhau bằng khớp cao. Thông thường, cam được nối với giá bằng khớp quay.

Khi cần nối với giá bằng khớp trượt, tức là cần chuyển động tịnh tiến qua lại, ta có cơ cấu cam *cần đẩy* (hình 9.1a). Khi cần nối với giá bằng khớp quay, tức là cần chuyển động lắc qua lại, ta có cơ cấu cam *cần lắc* (hình 9.1b).



Hình 9.1



Hình 9.2

Hình 9.3 : Các góc công nghệ

Thành phần khớp cao trên cam trong khớp cao nối cam với cần là một đường cong kín gọi là *biên dạng cam*. Bán kính vectơ lớn nhất của biên dạng cam là R_{\max} , bán kính vectơ nhỏ nhất là R_{\min} (hình 9.1a).

Thành phần khớp cao trên cần trong khớp cao nối cần với cam có thể là một *điểm* hay một *đường thẳng*. Khi thành phần khớp cao này là một điểm, ta có *cần đáy nhọn* (hình 9.1a), còn khi nó là một đường thẳng, ta có *cần đáy bằng* (hình 9.2).

Để giảm ma sát và mòn, ta lắp trên cần đáy nhọn một con lăn, khi đó cần được gọi là *cần đáy lăn* (hình 9.1b).

- Xét cơ cấu cam cần đẩy đáy nhọn như trên hình 9.1a. Cam và cần tiếp xúc nhau tại điểm B. Biên dạng cam có bốn phần khác nhau: Hai cung tròn bc và da có tâm O_1 và có bán kính lần lượt bằng R_{\max} và R_{\min} . Khi cho cam quay (1) quay liên tục, cần (2) sẽ chuyển động được nhờ sự thay đổi của bán kính vectơ $\overline{O_1B}$ của điểm tiếp xúc B giữa cam và cần.

Với chiều quay của cam (1) như hình 9.1a, ta thấy khi điểm tiếp xúc B nằm trong cung ab, bán kính vectơ $\overline{O_1B}$ tăng dần từ R_{\min} đến R_{\max} : cần đi xa dần tâm cam (từ vị trí gần đến vị trí xa tâm cam nhất); ứng với cung cd, bán kính vectơ $\overline{O_1B}$ giảm dần: cần đi về gần tâm cam (từ vị trí xa đến vị trí gần tâm cam nhất); ứng với cung tròn bc (hay cung tròn ad), bán kính vectơ $\overline{O_1B}$ không đổi: cần sẽ đứng yên ở vị trí xa tâm cam nhất (hay gần tâm cam nhất).

2) Các thông số cơ bản của cơ cấu cam

a) Thông số hình học của cam

- Bán kính vectơ lớn nhất R_{\max} và bán kính vectơ nhỏ nhất R_{\min} của biên dạng cam.
- *Các góc công nghệ* là góc được xác định trên biên dạng cam ứng với các cung làm việc khác nhau của biên dạng này. Để cần chuyển động qua lại và có lúc dừng thì trên biên dạng cam phải có bốn góc công nghệ :

Góc công nghệ đi xa γ_d : ứng với giai đoạn cần đi xa tâm cam

Góc công nghệ đứng xa γ_x : ứng với giai đoạn cần đứng yên ở vị trí xa tâm cam nhất

Góc công nghệ về gần γ_v : ứng với giai đoạn cần về gần tâm cam

Góc công nghệ đứng gần γ_g : ứng với giai đoạn cần đứng yên ở vị trí gần tâm cam nhất

Để cần chuyển động qua lại, tối thiểu trên biên dạng cam phải có hai góc γ_d và γ_v .

b) Thông số động học của cơ cấu cam

- Đối với cơ cấu cam cần đẩy đáy nhọn (hình 9.4a) :
Độ lệch tâm $e = O_1H_0$, trong đó H_0 là chân của đường vuông góc hạ từ tâm cam O_1 đến giá trượt xx của cần.

Khi $e = 0$ tức là khi giá trượt xx đi qua O_1 , ta có cơ cấu cam *cần đẩy chính tâm*.

Đối với cơ cấu cam cần lắc đáy nhọn (hình 9.4b) :

- Khoảng cách tâm cam - tâm cần $l_{O_1O_2}$

- Chiều dài cần $l_{O_2B_0}$ (chiều dài đoạn thẳng nối tâm cần và đáy nhọn của cần)

- *Các góc định kỳ* là góc quay của cam ứng với các giai đoạn chuyển động khác nhau của cần. Có bốn góc định kỳ tương ứng với bốn góc công nghệ nói trên :

Góc định kỳ đi xa φ_d ứng với giai đoạn cần đi xa dần tâm cam

Góc định kỳ đứng xa φ_x ứng với giai đoạn cần đứng yên ở vị trí xa tâm cam nhất

Góc định kỳ về gần φ_v ứng với giai đoạn cần đi về gần tâm cam

Góc định kỳ đứng gần φ_g ứng với giai đoạn cần đứng yên ở vị trí gần tâm cam nhất

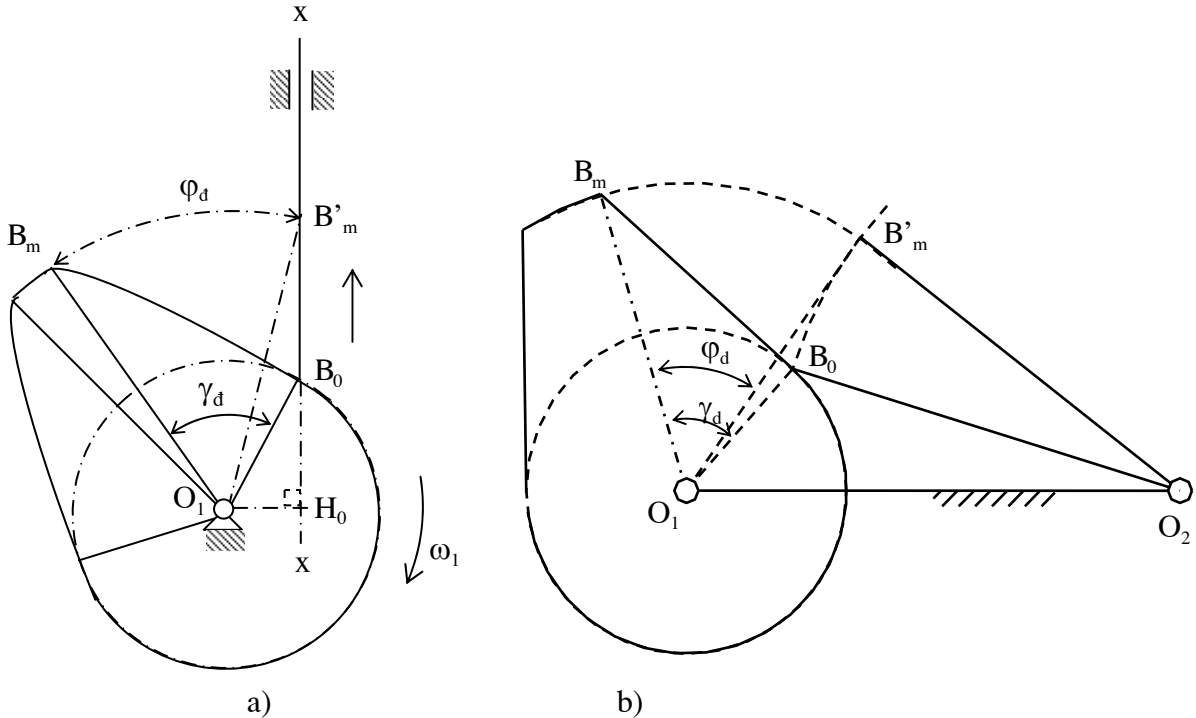
- *Cách xác định góc định kỳ đi xa trong cơ cấu cam cần đẩy đáy nhọn (hình 9.4a)*

✓ Gọi B_0 và B_m là điểm đầu và điểm cuối của cung đi xa trên biên dạng cam : $\widehat{B_0O_1B_m} = \gamma_d$.

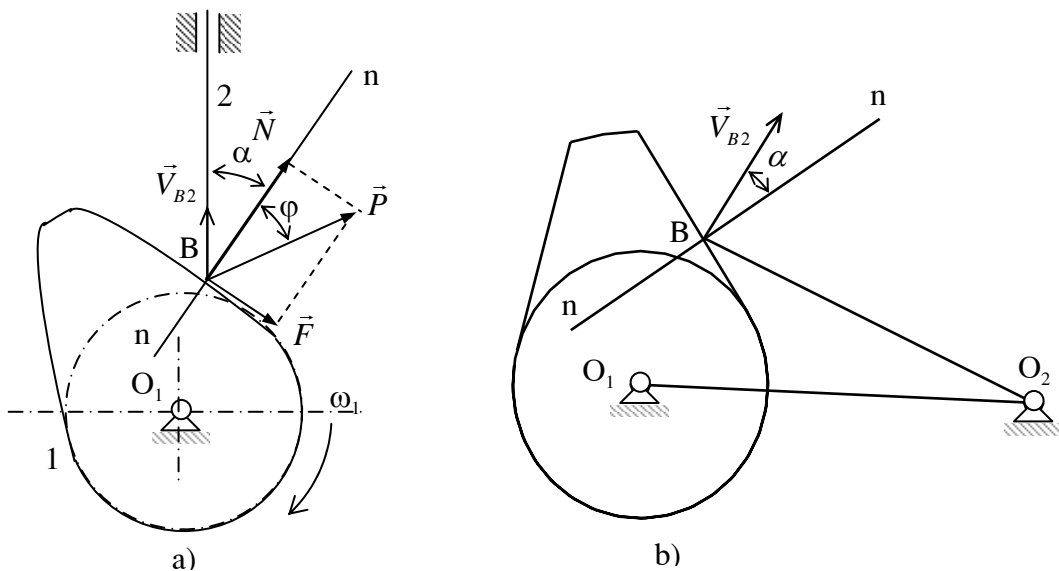
Giả sử ban đầu cam và cần đang tiếp xúc nhau tại điểm B_0 , lúc này đáy cần đang ở vị trí gần tâm cam O_1 nhất. Gọi B'_m là giao điểm của vòng tròn tâm O_1 bán kính $R_{\max} = O_1B_m$ với giá

trượt xx. Cho cam quay từ vị trí ban đầu đến khi điểm B_m đến trùng với điểm B'_m , khi đó đáy cần sẽ đến vị trí B'_m xa tâm cam O_1 nhất. Như vậy, góc định kỳ đi xa bằng $\varphi_d = \widehat{B_m O_1 B'_m}$.

✓ Tương tự đối với cơ cấu cam cần lắc đáy nhọn (hình 9.4b), nếu gọi B'_m là giao điểm của vòng tròn tâm O_1 bán kính $R_{\max} = O_1 B_m$ với vòng tròn tâm O_2 bán kính $l_{\text{cần}} = O_2 B_0$ thì góc định kỳ đi xa bằng $\varphi_d = \widehat{B_m O_1 B'_m}$.



Hình 9.4 : Góc định kỳ φ_d



Hình 9.5 : Góc áp lực đáy cần

- Nói chung các góc công nghệ và các góc định kỳ tương ứng không bằng nhau :

$$\gamma_d \neq \varphi_d; \quad \gamma_v \neq \varphi_v$$

Đối với cơ cấu cam cần đẩy đáy nhọn, để góc công nghệ và góc định kỳ tương ứng bằng nhau, thì giá trượt xx phải đi qua tâm cam O_1 , tức là ứng với cơ cấu cam cần đẩy đáy nhọn chính tâm (hình 9.4a), còn đối với cơ cấu cam cần lắc đáy nhọn, phải có điều kiện : ba điểm O_1 , B_0 và B'_m thẳng hàng (hình 9.4b).

c) Thông số lực học của cơ cấu cam

• Góc áp lực đáy cần là góc hợp bởi pháp tuyến Bn của biên dạng cam tại điểm tiếp xúc B giữa cam và cần và vận tốc \vec{V}_{B2} của đáy cần B tại vị trí này : $\alpha = (Bn, \vec{V}_{B2})$ (hình 9.5).

Góc áp lực đáy cần α nói chung biến thiên theo vị trí tiếp xúc B giữa cam và cần.

• Góc áp lực đáy cần đặc trưng cho khả năng truyền lực của cơ cấu cam. Thật vậy, xét cơ cấu cam cần đẩy đáy nhọn trên hình 9.5a. Gọi \vec{N} và \vec{F} lần lượt là áp lực và lực ma sát từ cam tác dụng lên cần, và $\vec{P} = \vec{N} + \vec{F}$ thì công suất được truyền từ cam sang cần: $W = P.V_{B2} \cdot \cos(\alpha + \varphi)$ với φ là góc ma sát giữa cam và cần. Khi góc áp lực α càng bé, công suất truyền động càng lớn, hay nói khác đi hiệu quả của lực đẩy \vec{P} càng lớn.

§2. Phân tích động học cơ cấu cam

Nội dung của bài toán phân tích động học cơ cấu cam :

+ Số liệu cho trước : Lược đồ động của cơ cấu cam, quy luật chuyển động của cam.

+ Yêu cầu : Xác định quy luật chuyển động của cần, cụ thể là xác định quy luật chuyển vị, quy luật vận tốc và quy luật gia tốc của cần.

Trong chương này chủ yếu giới thiệu phương pháp đồ thị (phương pháp vẽ - dựng hình).

1) Bài toán chuyển vị

+ Số liệu cho trước : Lược đồ động của cơ cấu cam.

+ Yêu cầu : Xác định quy luật chuyển vị của cần theo góc quay φ của cam, cụ thể là quy luật biến thiên góc lắc $\psi = \psi(\varphi)$ của cần theo góc quay φ của cam đối với cơ cấu cam cần lắc, quy luật chuyển vị $s = s(\varphi)$ của cần theo góc quay φ của cam đối với cơ cấu cam cần đẩy.

a) Xác định quy luật chuyển vị của cần trong cơ cấu cam cần đẩy đáy nhọn

• Øng với cung đứng xa và cung đứng gần trên biên dạng cam, chuyển vị s của cần là không đổi, do đó ta chỉ cần xác định chuyển vị của cần ứng với cung đi xa và cung về gần.

• Giả sử ban đầu cần và cam đang tiếp xúc nhau tại điểm gần tâm cam nhất B_0 (điểm đầu của cung đi xa). Gọi H_0 là chân đường vuông góc hạ từ O_1 xuống giá trượt xx của cần. Tại vị trí ban đầu này, giá trượt xx của cần tiếp xúc với vòng tròn tâm là O_1 , bán kính $e = O_1H_0$ (gọi là vòng tròn tâm sai) tại điểm H_0 (hình 9.6).

• Chuyển vị của cần so với giá không phụ thuộc vào việc chọn khâu nào làm hệ quy chiếu, do đó ta có thể xét chuyển vị của cần so với giá trong hệ quy chiếu gắn liền với cam, tức là xét trong chuyển động tương đối của cơ cấu đối với cam.

• Trong chuyển động tương đối này, cam coi như đứng yên, còn cần và giá coi như quay xung quanh tâm cam O_1 với vận tốc góc bằng $-\omega_1$, tuy nhiên giá trượt xx của cần vẫn luôn tiếp xúc với vòng tròn tâm sai (O_1, e).

Khi cho giá quay từ vị trí ban đầu ứng với điểm H_0 đến vị trí mà điểm tiếp xúc giữa giá trượt xx và vòng tròn (O_1, e) là điểm H_i thì góc quay của giá trong chuyển động tương đối bằng $\varphi_i = \widehat{H_0O_1H_i}$. Góc quay $\varphi_i = \widehat{H_0O_1H_i}$ cũng chính bằng góc quay của cam trong chuyển động tuyệt đối (hình 9.6).

Tại vị trí mới này của giá, giao điểm B_i của biên dạng cam và đường thẳng qua H_i tiếp xúc với vòng tròn (O_1, e) chính là điểm tiếp xúc tương ứng của cam và cần. Lấy điểm H_i làm gốc để xác định chuyển vị s_i của cần so với giá thì $s_i = \overline{H_iB_i}$ chính là chuyển vị tương ứng của cần so với giá.

Như vậy, trong chuyển động tuyệt đối của cơ cấu, $s_i = \overline{H_iB_i}$ cũng chính là chuyển vị của cần so với giá tương ứng với góc quay $\varphi_i = \widehat{H_0O_1H_i}$ của cam.

• Từ đó có thể xây dựng đồ thị chuyển vị $s = s(\varphi)$ của cần theo trình tự sau đây :

- Xác định góc định kỳ đi xa φ_d : Vẽ vòng tròn tâm sai (O_1, e) . Qua B_m , kẻ đường thẳng tiếp xúc với vòng (O_1, e) tại điểm H_m . Suy ra : $\varphi_d = \widehat{H_0O_1H_m}$.

- Chia cung $\widehat{H_0H_m}$ của vòng tròn (O_1, e) thành n phần đều nhau bằng các điểm $H_0, H_1, H_2, \dots, H_i, \dots, H_m$. Tương ứng trên trục φ của đồ thị $s(\varphi)$, chia đoạn $0m$ biểu thị góc φ_d thành n phần đều nhau bằng các điểm $0, 1, 2, \dots, i, \dots, m$, ta có được các giá trị $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_i, \dots, \varphi_m = \varphi_d$.

- Từ H_i , kẻ tiếp tuyến với vòng tròn (O_1, e) cắt biên dạng cam tại điểm B_i .

Suy ra: $s_i = \widehat{H_iB_i}$ chính là chuyển vị của cần ứng với góc quay $\varphi_i = \widehat{H_0O_1H_i}$ của cam (góc để xác định chuyển vị của cần là điểm H_0). Nếu kẻ vòng tròn có tâm là O_1 , bán kính là O_1B_i , cắt giá trượt xx' tại điểm B_i' thì ta cũng có:

$$s_i = \widehat{H_iB_i} = \widehat{H_0B_i'}$$

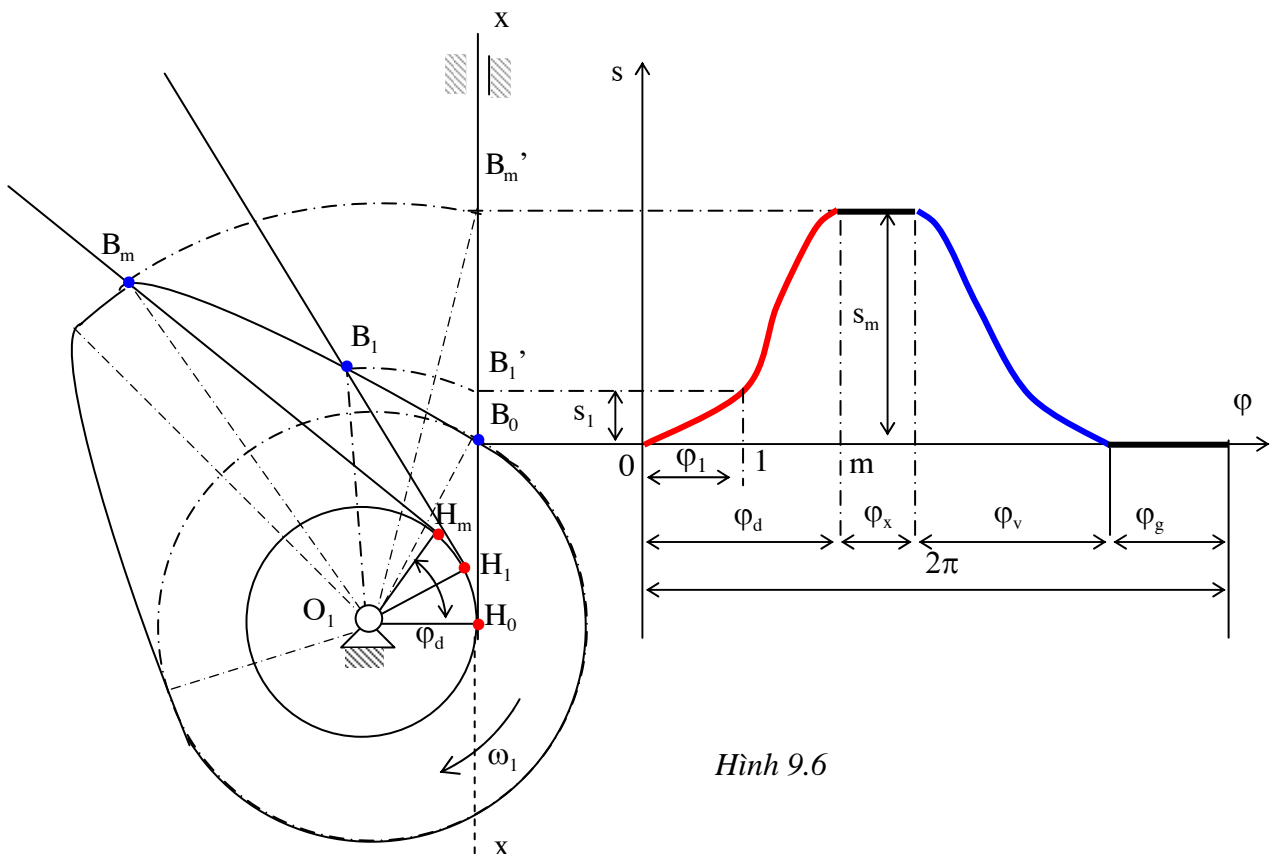
Nếu lấy điểm gần tâm cam nhất của cần (điểm B_0) làm gốc để xác định chuyển vị s_i , thì :

$$s_i = \widehat{H_iB_i} - \widehat{H_0B_0} = \widehat{B_0B_i'}$$

- Với các cặp (φ_i, s_i) khác nhau, ta xây dựng từng điểm của đồ thị $s(\varphi)$. Nối các điểm này lại sẽ được phần đồ thị chuyển vị $s = s(\varphi)$ của cần ứng với góc định kỳ đi xa φ_d .

- Tiến hành tương tự như trên để xây dựng phần đồ thị chuyển vị $s = s(\varphi)$ của cần ứng với góc định kỳ về gần φ_v .

- Ông với các góc định kỳ đi xa φ_x và về gần φ_g , đồ thị chuyển vị $s = s(\varphi)$ của cần là các đoạn thẳng nằm ngang.



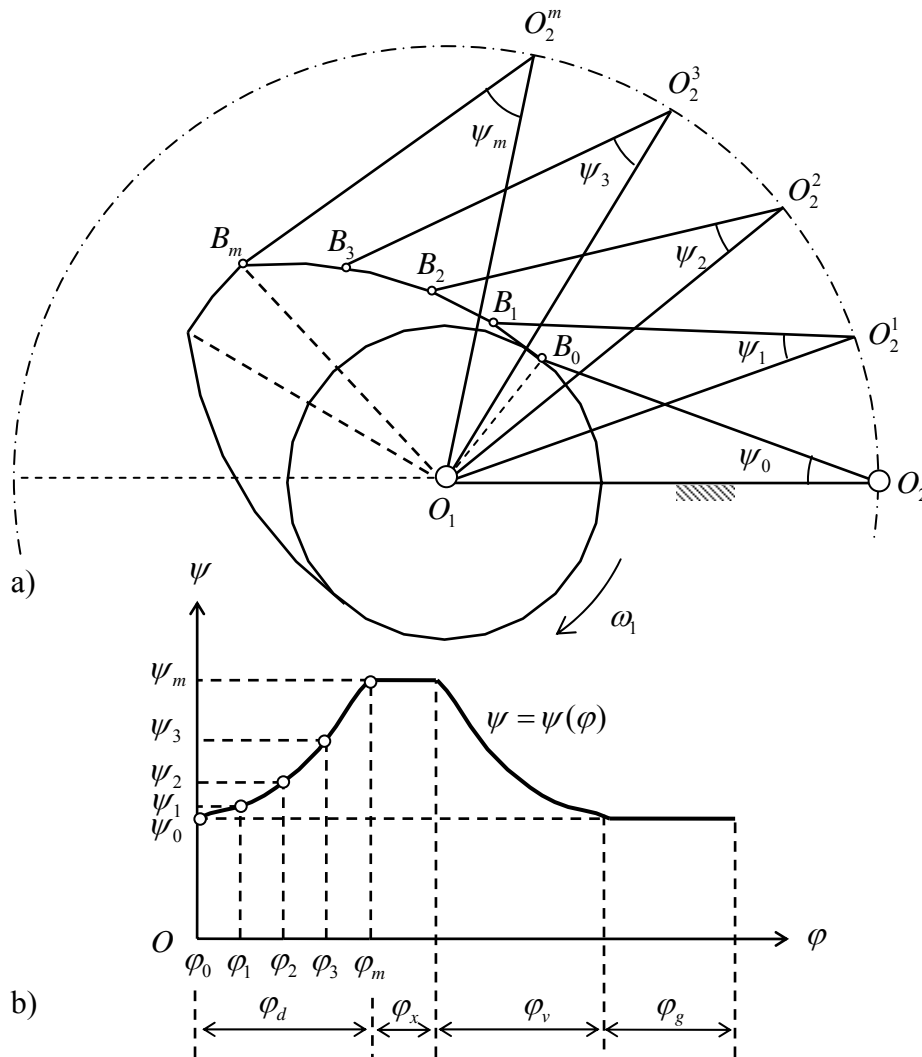
Hình 9.6

b) Xác định quy luật chuyển vị của cần trong cơ cấu cam cần lắc đẩy nhọn

• Tương tự như trong cơ cấu cam cần đẩy đẩy nhọn, ta cũng xét chuyển động tương đối của cơ cấu đối với cam. Trong chuyển động tương đối này, cần và giá quay xung quanh tâm cam O_1 với vận tốc góc bằng $-\omega_1$, tâm cần O_2 vạch nên vòng tròn tâm cần (có tâm O_2 , bán kính bằng $l_{cán} = O_2B_0$). Khi cho giá quay theo chiều $-\omega_1$, từ vị trí ban đầu ứng với O_1O_2 đến vị trí

$O_1O_2^i$, tức là quay một góc $\varphi_i = \widehat{O_2O_1O_2^i}$ thì điểm tiếp xúc giữa cam và cần di chuyển đến vị trí B_i , giao điểm của vòng tròn tâm O_2^i , bán kính $l_{\text{cần}}$ với biên dạng cam. Góc lắc tương ứng của cần so với giá sẽ bằng: $\psi_i = \widehat{O_1O_2^iB_i}$.

Như vậy, trong chuyển động tuyệt đối của cơ cấu, $\psi_i = \widehat{O_1O_2^iB_i}$ chính là góc lắc của cần so với giá ứng với góc quay $\varphi_i = \widehat{O_2O_1O_2^i}$ của cam (hình 9.7).



Hình 9.7

- Từ đó có thể xây dựng đồ thị biến thiên góc lắc $\psi = \psi(\varphi)$ của cần theo trình tự sau :
 - Xác định góc định kỳ đi xa φ_d : Vẽ vòng tròn tâm cần ($O_1, l_{\text{cần}}$). Vẽ vòng tròn tâm B_m , bán kính $l_{\text{cần}}$, cắt vòng tròn tâm cần tại O_2^m . Ta có : $\varphi_d = \widehat{O_2O_1O_2^m}$.
 - Chia cung $\widehat{O_2O_2^m}$ của vòng tròn tâm cần thành n phần đều nhau bằng các điểm $O_2, O_2^1, O_2^2, \dots, O_2^i, \dots, O_2^m$. Tương ứng trên trục φ của đồ thị $\psi(\varphi)$, ta cũng chia đoạn biểu thị góc φ_d thành n phần đều nhau, ta có được các giá trị $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_i, \dots, \varphi_m = \varphi_d$.
 - Từ O_2^i , vẽ vòng tròn tâm O_2^i , bán kính $l_{\text{cần}}$, cắt biên dạng cam tại B_i . B_i chính là điểm tiếp xúc tương ứng giữa cam và cần. Suy ra $\psi_i = \widehat{O_1O_2^iB_i}$ chính là chuyển vị góc của cần ứng với góc quay $\varphi_i = \widehat{O_2O_1O_2^i}$ của cam.

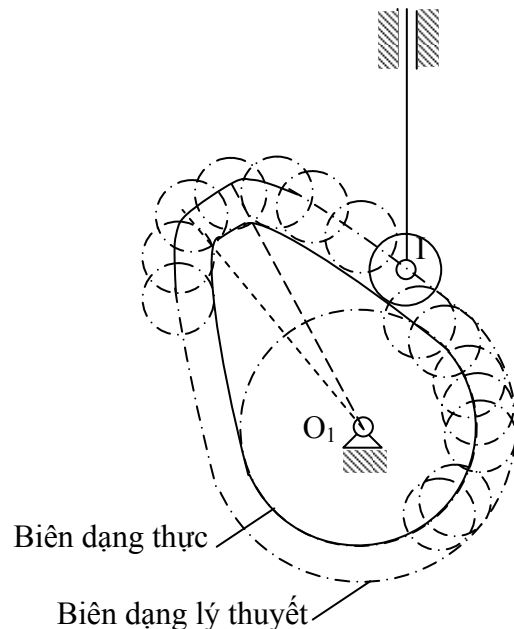
- Với các cặp (φ_i, ψ_i) khác nhau, ta xây dựng được đồ thị chuyển vị $\psi = \psi(\varphi)$ của cần tương ứng với góc định kỳ đi xa φ_d .
- Tiến hành tương tự như trên để xây dựng đồ thị $\psi = \psi(\varphi)$ của cần tương ứng với các góc φ_v .
- Øng với các góc định kỳ đi xa φ_x và về gần φ_g , đồ thị $\psi = \psi(\varphi)$ của cần là các đoạn thẳng nằm ngang.

c) Xác định quy luật chuyển vị của cần trong cơ cấu cam cần đáy lăn

• Trong chuyển động tương đối của cơ cấu đối với cam, tâm I của con lăn vạch nên một đường cong cách đều biên dạng cam một khoảng bằng bán kính r_L của con lăn. Đường cong cách đều này gọi là *biên dạng cam lý thuyết*, còn biên dạng cam ban đầu gọi là *biên dạng cam thực*.

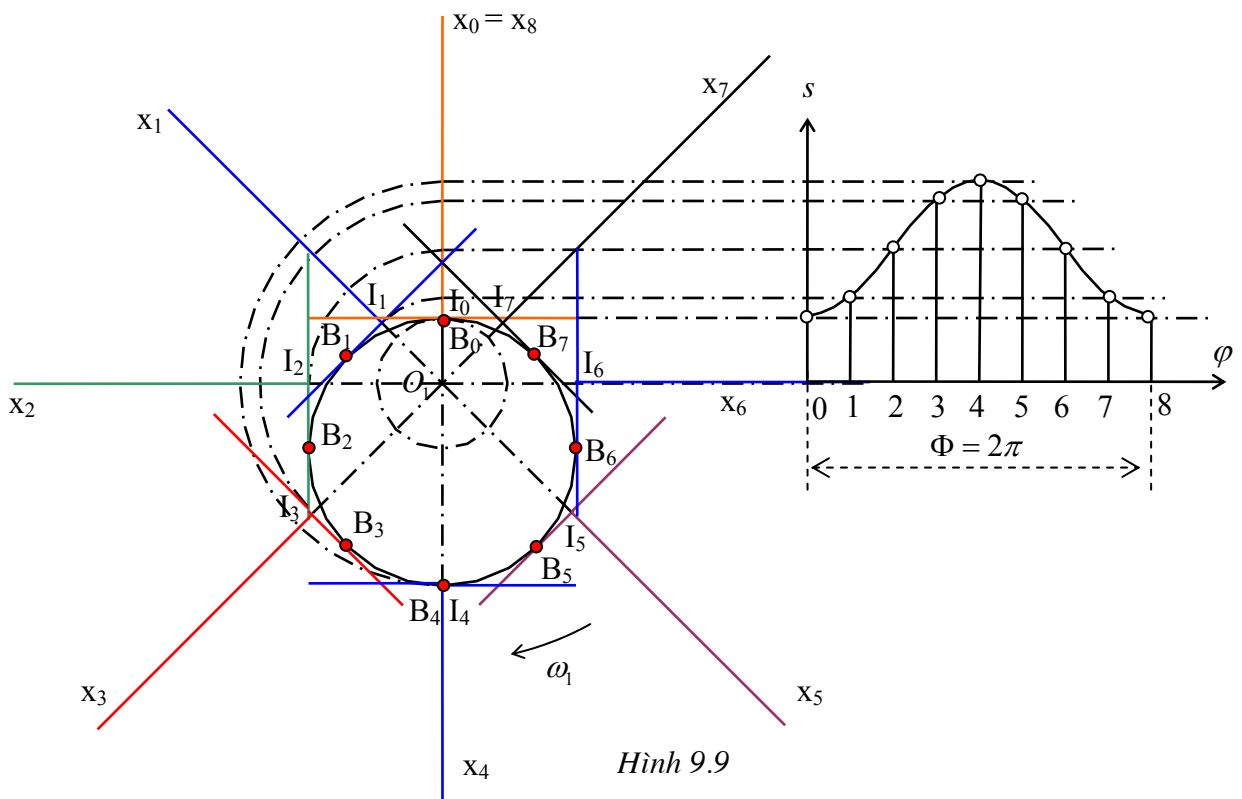
Như vậy bài toán phân tích động học cơ cấu cam cần đáy lăn được quy về bài toán phân tích động học cơ cấu cam cần *đáy nhọn* với đáy nhọn nằm tại tâm I của con lăn, còn biên dạng được sử dụng khi phân tích động học là biên dạng cam lý thuyết.

• *Cách vẽ biên dạng cam lý thuyết từ biên dạng cam thực* : Vẽ một họ vòng tròn con lăn có tâm nằm trên biên dạng thực, có bán kính bằng r_L . Bao hình của họ vòng tròn nói trên chính là biên dạng cam lý thuyết tương ứng (hình 9.8).



Hình 9.8 : Cách vẽ biên dạng thực từ biên dạng lý thuyết

d) Xác định quy luật chuyển vị của cần trong cơ cấu cam cần đáy đáy bằng



Hình 9.9

- Tương tự như trong cơ cấu cam cần đẩy đáy nhọn, ta cũng xét chuyển động tương đối của cơ cấu đối với cam. Trong *chuyển động tương đối* này, cần và giá coi như quay quanh tâm cam O_1 với vận tốc góc bằng $-\omega_1$, tuy nhiên giá trượt xx của cần vẫn luôn đi qua tâm O_1 (hình 9.9). Khi cho giá quay theo chiều $-\omega_1$, từ vị trí ban đầu O_1x_0 đến vị trí O_1x_i , tức là quay được một góc $\varphi_i = \widehat{x_0O_1x_i}$, thì điểm tiếp xúc giữa đáy cần và cam di chuyển đến vị trí B_i . Nếu lấy tâm cam O_1 làm gốc để xác định chuyển vị s_i của cần so với giá, thì $s_i = \overline{O_1I_i}$ chính là chuyển vị tương ứng của cần so với giá trong chuyển động tương đối.

Như vậy, trong chuyển động tuyệt đối của cơ cấu, $s_i = \overline{O_1I_i}$ chính là chuyển vị của cần so với giá tương ứng với góc quay $\varphi_i = \widehat{x_0O_1x_i}$ của cam.

- Từ đó có thể xây dựng đồ thị chuyển vị $s = s(\varphi)$ của cần theo trình tự sau đây :

- Qua tâm cam O_1 , các kẻ đường thẳng O_1x_i phân bố đều xung quanh O_1 . Suy ra : $\varphi_i = \widehat{x_0O_1x_i}$.
- Tương ứng trên trục φ của đồ thị $s(\varphi)$, ta cũng chia đoạn biểu thị góc $\Phi = 2\pi$ thành n phần đều nhau bằng các điểm $0, 1, 2, \dots, i, \dots, m$, ta có được các giá trị $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_i, \varphi_m = \Phi = 2\pi$ (trên hình 9.9, ta chia làm 8 phần).
- Kẻ đường thẳng I_iB_i vuông góc với O_1x_i và tiếp xúc với biên dạng cam tại B_i . Điểm B_i chính là điểm tiếp xúc tương ứng giữa cần và cam. Suy ra $s_i = \overline{O_1I_i}$ chính là chuyển vị của cần ứng với góc quay $\varphi_i = \widehat{x_0O_1x_i}$ của cam.
- Với các cặp (φ_i, s_i) khác nhau, ta xây dựng được đồ thị chuyển vị $s = s(\varphi)$ của cần.

2) Bài toán vận tốc và gia tốc

- **Nội dung của bài toán vận tốc và gia tốc**

- ✓ **Số liệu cho trước**

Lược đồ động của cơ cấu cam, vận tốc góc ω_1 của cam.

Giả thiết $\omega_1 =$ hằng số (tức là gia tốc góc của cam : $\varepsilon_1 = 0$).

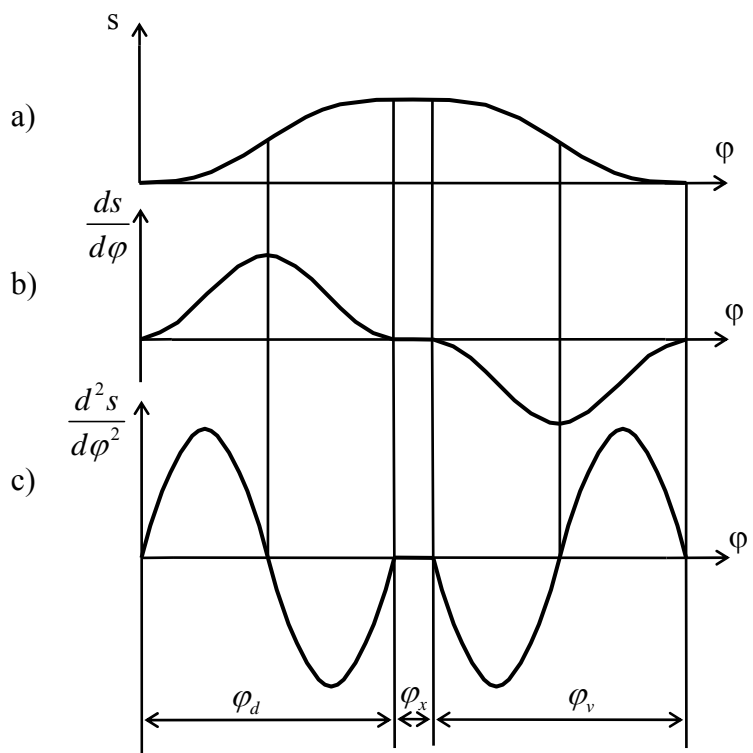
- ✓ **Yêu cầu**

Xác định quy luật vận tốc và gia tốc của cần theo góc quay φ của khâu dẫn. Đối với cần đẩy, quy luật vận tốc dài và gia tốc dài là $v = v(\varphi)$ và $a = a(\varphi)$. Đối với cần lắc, quy luật vận tốc góc và gia tốc góc là $\omega = \omega(\varphi)$ và $\varepsilon = \varepsilon(\varphi)$.

- Trước đây, khi giải bài toán vận tốc và gia tốc, ta đã dùng phương pháp hoạ đồ vectơ. Phương pháp này được sử dụng chủ yếu cho các cơ cấu phẳng toàn khớp thấp. Đối với cơ cấu cam là cơ cấu có khớp cao, để thuận tiện ta sử dụng phương pháp đồ thị động học.

Sau đây trình bày cách giải bài

toán vận tốc và gia tốc cho **cơ cấu cam cần đẩy đáy nhọn** bằng phương pháp đồ thị động học.



Hình 9.10 : Đồ thị vận tốc và gia tốc của cần

• **Bài toán vận tốc**

Ta có :
$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{ds}{d\varphi} \frac{d\varphi}{dt} = \omega_1 \frac{ds}{d\varphi} \tag{9.1}$$

Từ đồ thị chuyển vị $s(\varphi)$, dùng phương pháp vi phân đồ thị, ta suy được đồ thị $\frac{ds}{d\varphi}(\varphi)$ (hình

9.10b). Do $\omega_1 =$ hằng số, nên từ biểu thức (9.1) ta thấy đồ thị $\frac{ds}{d\varphi}(\varphi)$ cũng có thể dùng để biểu diễn vận tốc dài $v(\varphi)$ của cần.

• **Bài toán gia tốc**

Ta có :

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\omega_1 \frac{ds}{d\varphi} \right) = \frac{d\omega_1}{dt} \frac{ds}{d\varphi} + \omega_1 \frac{d^2s}{dt \cdot d\varphi} = \varepsilon_1 \frac{ds}{d\varphi} + \omega_1 \frac{d\varphi}{dt} \frac{d^2s}{d\varphi^2} = \varepsilon_1 \frac{ds}{d\varphi} + \omega_1^2 \frac{d^2s}{d\varphi^2}$$

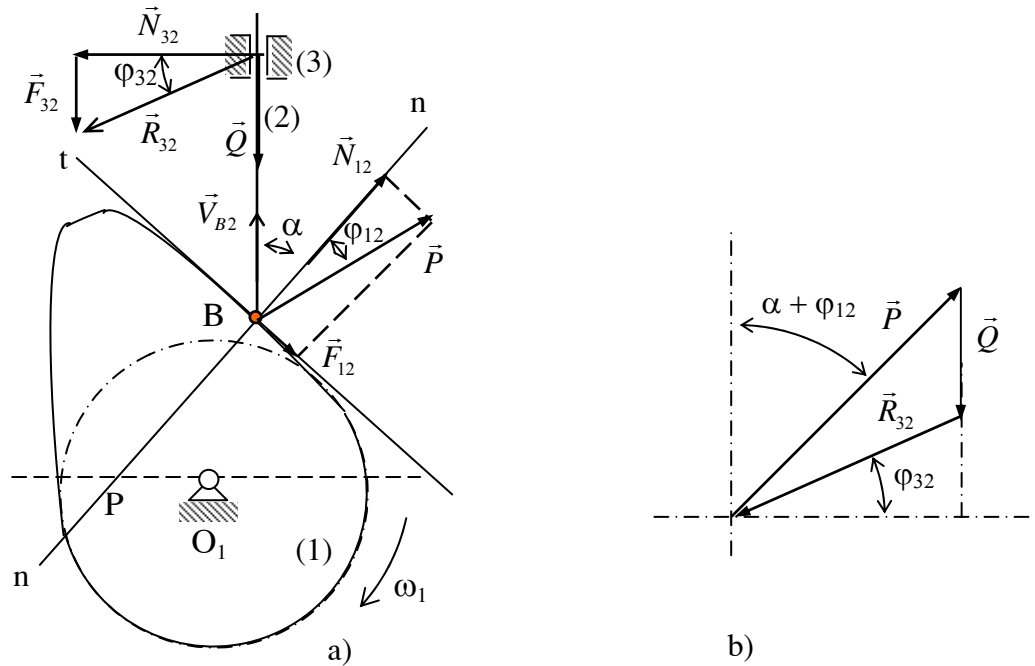
Do : $\varepsilon_1 = 0 \Rightarrow a = \omega_1^2 \frac{d^2s}{d\varphi^2} \tag{9.2}$

Từ đồ thị $\frac{ds}{d\varphi}(\varphi)$, dùng phương pháp vi phân đồ thị, ta suy được đồ thị $\frac{d^2s}{d\varphi^2}(\varphi)$ (hình 9.10c).

Do $\omega_1 =$ hằng số, nên biểu thức (9.2) cho thấy đồ thị $\frac{d^2s}{d\varphi^2}(\varphi)$ cũng có thể dùng để biểu diễn gia tốc $a(\varphi)$ của cần.

§3. Phân tích lực trên cơ cấu cam

1) Lực tác dụng trên cơ cấu cam - Góc áp lực tới hạn và góc áp lực cực đại cho phép



Hình 9.11

Hãy xét cơ cấu cam cần đẩy đáy nhọn (hình 9.11a). Gọi B là điểm tiếp xúc giữa cam và cần, nn là pháp tuyến của biên dạng cam tại điểm tiếp xúc B.

- Lực tác dụng lên cần bao gồm :
 - ✓ Lực từ cam tác động lên cần :
 - ↳ p lực \vec{N}_{12} nằm theo phương pháp tuyến nn.

Lực ma sát \vec{F}_{12} vuông góc với pháp tuyến nn.

Gọi \vec{P} là hợp lực của \vec{N}_{12} và \vec{F}_{12} : $\vec{P} = \vec{N}_{12} + \vec{F}_{12}$. Góc giữa \vec{P} và \vec{N}_{12} bằng góc ma sát φ_{12} giữa cam và cần.

- ✓ Tải trọng \vec{Q} (bao gồm trọng lượng, lực quán tính của cần, lực phục hồi của lò xo bảo toàn khớp cao giữa cam và cần...).
- ✓ Lực từ giá tác động lên cần :

↳ p lực \vec{N}_{32} vuông góc với giá trượt xx của cần.

Lực ma sát \vec{F}_{32} song song với giá trượt xx của cần.

Gọi \vec{R}_{32} là hợp lực của \vec{N}_{32} và \vec{F}_{32} : $\vec{R}_{32} = \vec{N}_{32} + \vec{F}_{32}$. Góc giữa \vec{R}_{32} và \vec{N}_{32} bằng góc ma sát φ_{32} giữa cần và giá.

- Điều kiện cân bằng lực của cần cho ta : $\vec{R}_{32} + \vec{P} + \vec{Q} = 0$

Từ hoạ đồ lực trên hình 9.11b, suy ra :

$$\frac{P}{\sin\left(\frac{\pi}{2} + \varphi_{32}\right)} = \frac{Q}{\sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha - \varphi_{32} - \varphi_{12}\right)} \Rightarrow P = Q \frac{\cos \varphi_{32}}{\cos(\alpha + \varphi_{32} + \varphi_{12})} \quad (9.3)$$

- Từ biểu thức (9.3) ta thấy khi $\alpha + \varphi_{32} + \varphi_{12} = \frac{\pi}{2}$ thì $P \rightarrow \infty$. Điều này có nghĩa là ngay khi

lực cản Q rất nhỏ, cho dù giá trị của lực đẩy \vec{P} có giá trị lớn bao nhiêu đi nữa, cơ cấu vẫn không thể chuyển động được : cơ cấu cam rơi vào trạng thái *tự hãm*.

Góc áp lực ứng với khi cơ cấu bị tự hãm gọi là *góc áp lực tới hạn* và được ký hiệu là α_{th} :

$$\alpha_{th} = \frac{\pi}{2} - \varphi_{32} - \varphi_{12}$$

Như vậy, khi $\alpha \leq \alpha_{th}$ thì cơ cấu cam bị tự hãm.

- Để tránh hiện tượng tự hãm của cơ cấu, hơn thế nữa để cơ cấu làm việc được nhẹ nhàng, bảo đảm một hiệu suất hợp lý, phải thiết kế sao cho *tại mọi vị trí tiếp xúc* giữa đáy cần và cam, góc áp lực đáy cần phải nhỏ hơn hay bằng một *giá trị cực đại cho phép* $[\alpha_{max}]$:

$$\forall \alpha_i : \alpha_i \leq [\alpha_{max}]$$

Trong đó : $[\alpha_{max}] < \alpha_{th}$

2) Quan hệ giữa góc áp lực, vị trí tâm cam và quy luật chuyển động của cần

- Xác định góc áp lực và pháp tuyến của biên dạng cam

a) Trường hợp cơ cấu cam cần đẩy đáy nhọn

• Hãy xét cơ cấu cam cần đẩy đáy nhọn (hình 9.12). Giả sử cam và cần đang tiếp xúc nhau tại điểm B, tại đó pháp tuyến với biên dạng cam là nn. Hạ O_1H_0 vuông góc với giá trượt xx của cần. Góc giữa pháp tuyến nn và vận tốc \vec{V}_{B2} của điểm tiếp xúc B trên đáy cần chính là góc áp lực đáy cần α .

- Ta hãy tìm tâm quay tức thời của cần trong chuyển động tương đối đối với cam.

Trong chuyển động tương đối này, vận tốc của điểm B_2 trên đáy cần là $\vec{V}_{B2/(1)}$ vuông góc với pháp tuyến nn, còn vận tốc của điểm H_0 trên cần là $\vec{V}_{H02/(1)}$ vuông góc với O_1H_0 . Do đó, tâm quay tức thời của cần trong chuyển động tương đối đối với cam là điểm $P = O_1H_0 \cap nn$.

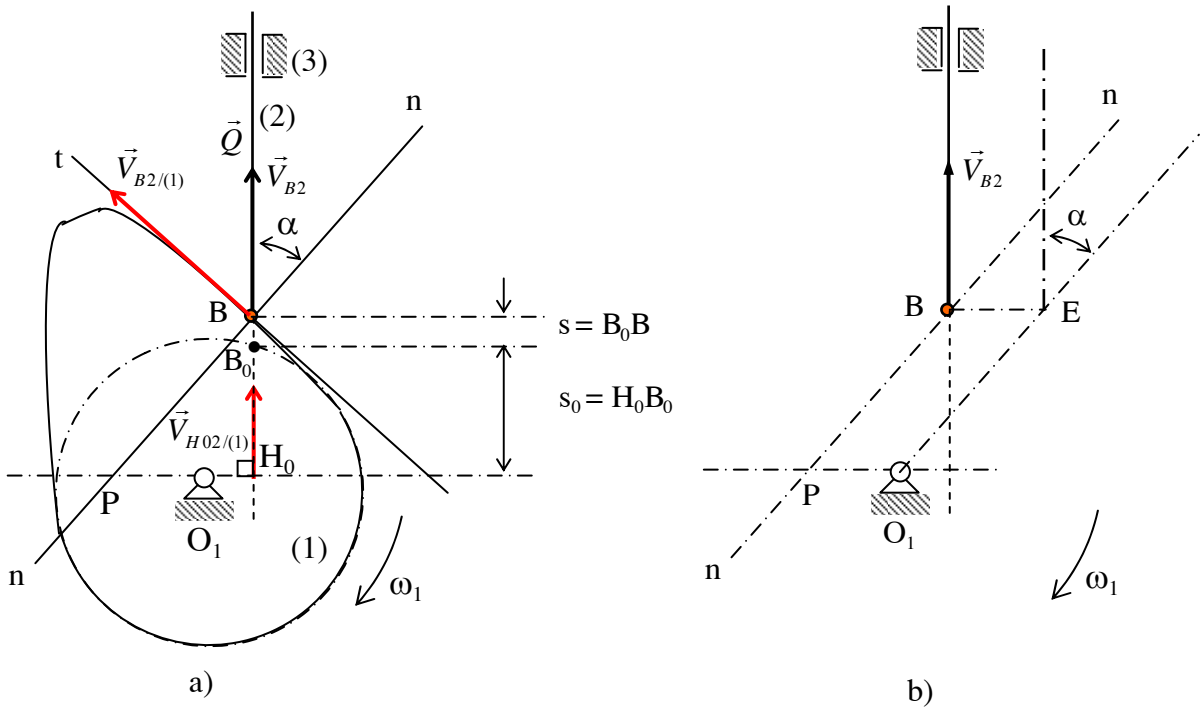
Nếu gọi P_1 và P_2 là hai điểm lần lượt thuộc khâu (1) và (2) hiện đang trùng nhau tại P, thì trong chuyển động tuyệt đối của cơ cấu, ta có :

$$\vec{V}_{P_1} = \vec{V}_{P_2}$$

$$\Rightarrow \omega_1 PO_1 = \left| \frac{ds}{dt} \right| \text{ với } s \text{ là chuyển vị của cần.}$$

$$\Rightarrow PO_1 = \left| \frac{ds}{d\varphi} \right| \text{ với } \varphi \text{ góc quay của cam.}$$

Hơn nữa, trên hình 9.12a ta thấy phương chiều của vectơ $\overline{PO_1}$ là phương chiều của vectơ \vec{V}_{B_2} quay đi 90° theo chiều của ω_1 .



Hình 9.12

- Tại vị trí tiếp xúc B giữa cam và cần (hình 9.12a), ta có :

$$tg\alpha = \frac{PH_0}{H_0B} = \frac{PO_1 + O_1H_0}{H_0B} \Rightarrow tg\alpha = \frac{\left| \frac{ds}{d\varphi} \right| + e}{s_0 + s} \quad (9.4)$$

Trong đó: s là chuyển vị của cần (gốc để xác định chuyển vị s là điểm B_0 , vị trí gần tâm cam nhất của đáy cần), e là độ lệch tâm của cơ cấu, $s_0 = H_0B_0 = \sqrt{R_{\max}^2 - e^2}$, R_{\min} : bán kính nhỏ nhất của biên dạng cam.

Hệ thức (9.4) cho ta mối quan hệ giữa góc áp lực đáy cần α , vị trí tâm cam O_1 (hay tâm sai e) và quy luật chuyển động của cần (s và $\frac{ds}{d\varphi}$).

- **Xác định góc áp lực và pháp tuyến của biên dạng cam**

Nếu biết vị trí B của đáy cần (B cũng là điểm tiếp xúc giữa đáy cần và biên dạng cam), tâm cam O_1 , vận tốc \vec{V}_{B_2} của điểm B trên đáy cần và giá trị $\frac{ds}{d\varphi}$ tương ứng thì có thể xác định được góc áp lực đáy cần α và pháp tuyến nn của biên dạng cam tại điểm tiếp xúc B nói trên như

sau: Dựng điểm E với $BE = \left| \frac{ds}{d\varphi} \right|$, phương chiều của vectơ \overline{BE} là phương chiều của vectơ \vec{V}_{B_2}

quay đi 90° theo chiều của ω_1 . Nối O_1E . Ta thấy $\overline{BE} = \overline{PO_1}$ nên O_1E song song với PB . Như vậy pháp tuyến nn của biên dạng cam tại điểm tiếp xúc B là đường thẳng song song với O_1E ; góc giữa \vec{V}_{B_2} và O_1E chính là góc áp lực đáy cần (hình 9.12b).

b) Trường hợp cơ cấu cam cần lắc đáy nhọn

- Trong chuyển động tương đối của cơ cấu đối với cam, vận tốc $\vec{V}_{B_2}/(1)$ của điểm B_2 trên cần vuông góc với pháp tuyến nn của biên dạng cam tại điểm tiếp xúc B, vận tốc $\vec{V}_{O_2}/(1)$ của điểm O_2 trên cần vuông góc với O_1O_2 . Do đó tâm quay tức thời P trong chuyển động tương đối giữa cần và cam là $P = O_1O_2 \cap nn$ (hình 9.13a).

- Tương tự cơ cấu cam cần lắc đáy nhọn, ta cũng tìm được mối quan hệ giữa góc áp lực đáy cần α , vị trí tâm cam O_1 , vị trí tâm cần O_2 và quy luật chuyển động của cần (ψ và $\frac{d\psi}{d\varphi}$).

• Xác định góc áp lực và pháp tuyến của biên dạng cam

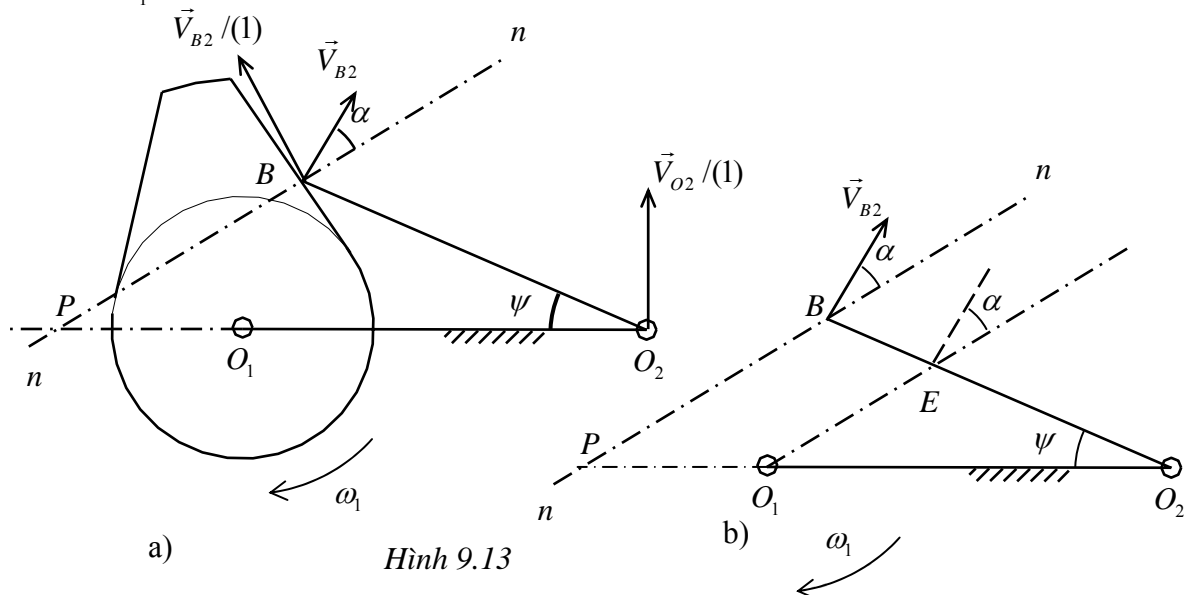
+ Do P là tâm quay tức thời trong tương đối giữa cần và cam, nên trong chuyển động tuyệt đối, ta có :

$$\vec{V}_{P_1} = \vec{V}_{P_2} \Rightarrow \omega_1 PO_1 = \left| \frac{d\psi}{dt} \right| PO_2 \Rightarrow PO_1 = \left| \frac{d\psi}{d\varphi} \right| PO_2 \quad (9.5)$$

Từ O_1 kẻ đường thẳng O_1E song song với PB , suy ra : $\frac{PO_1}{PO_2} = \frac{BE}{l_{can}}$

Kết hợp với biểu thức (9.5), suy ra : $BE = l_{can} \left| \frac{d\psi}{d\varphi} \right|$.

Hơn thế nữa, phương chiều của vectơ \overline{BE} chính là phương chiều của vectơ \vec{V}_{B_2} quay 90° theo chiều ω_1 .



Hình 9.13

+ Như vậy nếu biết vị trí B của đáy cần, tâm cam O_1 , vận tốc \vec{V}_{B_2} của điểm B trên đáy cần và giá trị $\frac{d\psi}{d\varphi}$ tương ứng thì có thể xác định được góc áp lực đáy cần α và phương của pháp

tuyến nn của biên dạng cam tại điểm tiếp xúc B như sau : Dựng điểm E với $BE = l_{can} \left| \frac{d\psi}{d\varphi} \right|$,

phương chiều của vectơ \overline{BE} là phương chiều của vectơ \vec{V}_{B_2} quay 90° theo chiều ω_1 . Nối O_1E . Pháp tuyến nn sẽ là đường thẳng song song với O_1E và góc giữa \vec{V}_{B_2} và O_1E chính là góc áp lực đáy cân.

§4. Tổng hợp cơ cấu cam

• Nội dung của bài toán tổng hợp cơ cấu cam

Cho trước quy luật chuyển động của cân, phải thiết kế cơ cấu cam thực hiện được quy luật chuyển động này.

Với cơ cấu cam cân đẩy: cho trước quy luật chuyển vị $s = s(\varphi)$ của cân theo góc quay φ của cam, với cơ cấu cam cân lắc: cho trước quy luật biến thiên góc lắc $\psi = \psi(\varphi)$ của cân $\psi = \psi(\varphi)$ theo góc quay φ của cam.

• Bài toán tổng hợp cơ cấu cam gồm hai bước :

- + Xác định vị trí tâm cam
- + Tổng hợp động học cơ cấu cam hay xác định biên dạng cam

1) Tổng hợp cơ cấu cam cân đáy nhọn

Trong cơ cấu cam cân đáy nhọn, góc áp lực đáy cân α thay đổi theo vị trí tiếp xúc giữa cam và cân. Ở với mỗi vị trí tiếp xúc, góc áp lực đáy cân α có một giá trị xác định.

Để bảo đảm cho cơ cấu cam làm việc được nhẹ nhàng, không bị tự hãm, thì góc áp lực đáy cân α ứng với mọi vị trí tiếp xúc phải nhỏ hơn hay bằng một giá trị cực đại cho phép :

$$\forall \alpha_i : \alpha_i \leq [\alpha_{\max}] < \alpha_{th} \quad (9.6)$$

Thế mà, như chứng minh ở phần trên, khi cho trước quy luật chuyển động của cân, góc áp lực đáy cân α lại phụ thuộc vào vị trí tâm cam O_1 . Như vậy, để thoả mãn điều kiện (9.6), cần phải chọn vị trí tâm cam O_1 một cách hợp lý.

a) Xác định vị trí tâm cam cân đáy nhọn

• Miền tâm cam trong cơ cấu cam cân đáy nhọn

✓ Xét cơ cấu cam cân đáy nhọn (hình 9.14). Gọi B_i là điểm tiếp xúc giữa cam và cân và α_i là góc áp lực đáy cân tại vị trí đang xét.

Khi cho trước tâm cam O_1 , nếu dựng điểm E_i với

$$B_iE_i = \left| \frac{ds}{d\varphi} \right| \text{ trong đó } \left| \frac{ds}{d\varphi} \right| \text{ là giá trị tuyệt đối}$$

của $\left(\frac{ds}{d\varphi} \right)$ ứng với vị trí nói trên, phương chiều

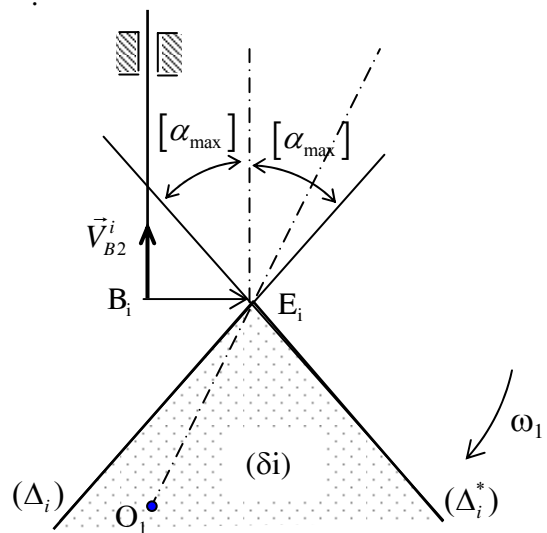
của vectơ $\overline{B_iE_i}$ là phương chiều của vectơ vận tốc $\vec{V}_{B_2}^i$ của điểm B_i trên đáy cân quay đi 90° theo chiều ω_1 , thì góc áp lực α_i ứng với vị trí tiếp xúc B_i chính là góc giữa $\vec{V}_{B_2}^i$ và $\overline{O_1E_i}$.

✓ Ngược lại, khi chưa biết vị trí tâm cam O_1 , nếu qua E_i kẻ đường thẳng (Δ_i) hợp với vận tốc $\vec{V}_{B_2}^i$ một góc bằng $[\alpha_{\max}]$ (hình 9.14) thì :

Khi O_1 thuộc đường (Δ_i) , ta có : $\alpha_i = [\alpha_{\max}]$

Khi O_1 nằm phía dưới (Δ_i) , ta có : $\alpha_i < [\alpha_{\max}]$

Khi O_1 nằm phía trên (Δ_i) , ta có : $\alpha_i > [\alpha_{\max}]$



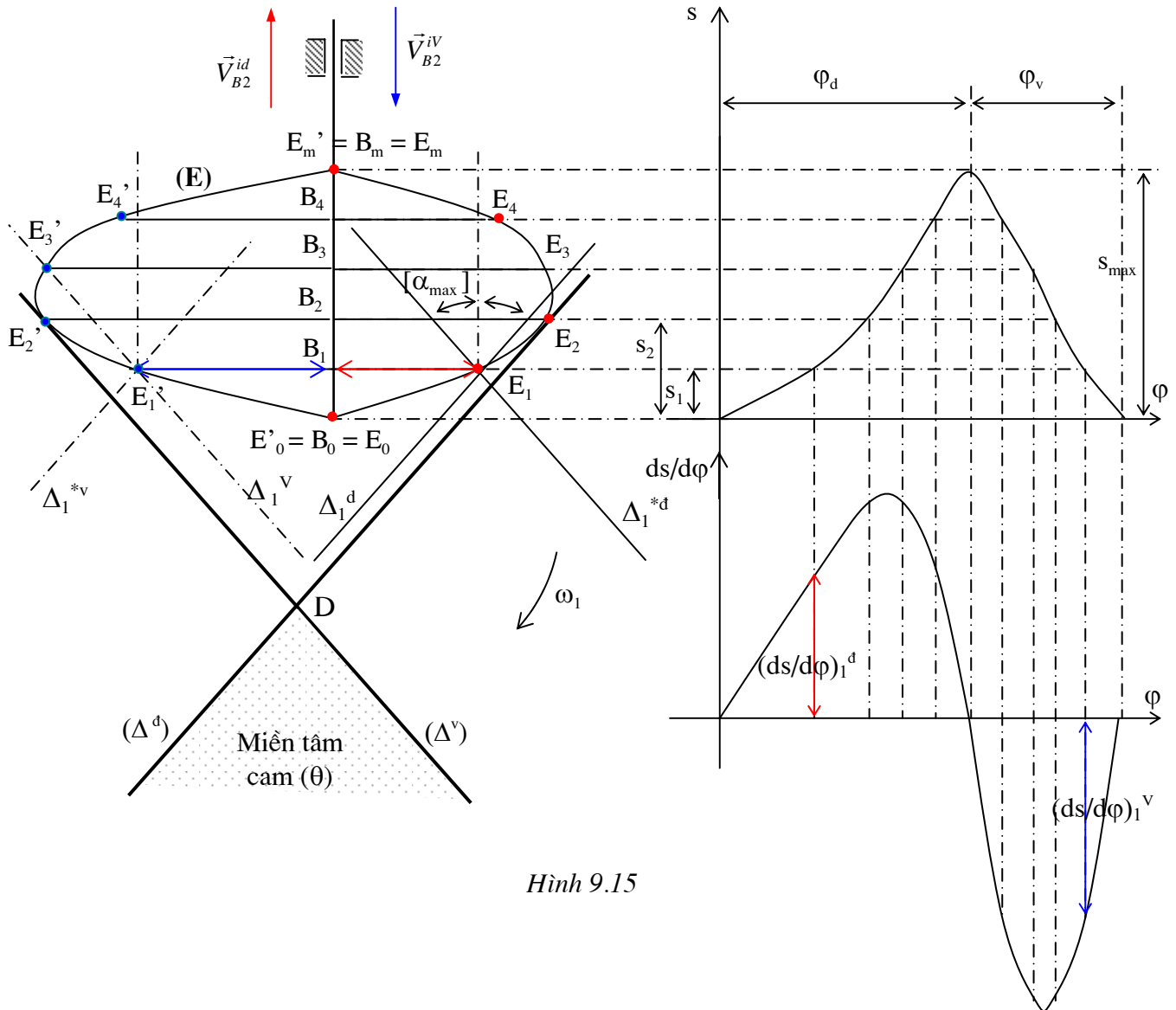
Hình 9.14

Lưu ý rằng ta có thể đặt đường (Δ_i) về phía bên phải hay về phía bên trái của điểm E_i , ứng với phía phải ta có đường (Δ_i) , còn ứng với phía trái ta có đường (Δ_i^*) .

✓ Như vậy để thỏa mãn điều kiện $\alpha_i \leq [\alpha_{\max}]$ thì tâm cam O_1 phải nằm phía dưới hai đường thẳng (Δ_i) và (Δ_i^*) , hay nói khác đi tâm cam O_1 phải nằm trong miền (δ_i) .

✓ Để thỏa mãn điều kiện $\forall \alpha_i, \alpha_i \leq [\alpha_{\max}]$ thì tâm cam O_1 phải nằm phía dưới mọi đường thẳng (Δ_i) và (Δ_i^*) , tức là trong miền (θ) giao của mọi miền (δ_i) nói trên (hình 9.15).

✓ **Cách dựng hình để tìm miền tâm cam**



Hình 9.15

Ta cần dựng tất cả được các đường (Δ_i) và (Δ_i^*) ứng với các vị trí tiếp xúc khác nhau, khi biết trước đồ thị chuyển vị $s = s(\varphi)$ và góc áp lực cực đại cho phép $[\alpha_{\max}]$.

Trình tự tiến hành :

- Dựng giá trượt xx của cần (xx song song với trục s của đồ thị $s = s(\varphi)$). Dựng điểm B_0 - vị trí gần tâm cam nhất của đáy cần, điểm B_m - vị trí xa tâm cam nhất của đáy cần.
- Chia hành trình $s_{\max} = B_0B_m$ của cần thành n phần đều nhau nhờ các điểm $B_0, B_1, \dots, B_i, \dots, B_m$.

- Từ đồ thị $s = s(\varphi)$, dùng phương pháp vi phân đồ thị, suy được đồ thị $\frac{ds}{d\varphi}(\varphi)$. Từ đó xác định được giá trị $\left(\frac{ds}{d\varphi}\right)_i$ tương ứng với vị trí B_i của đáy cần.

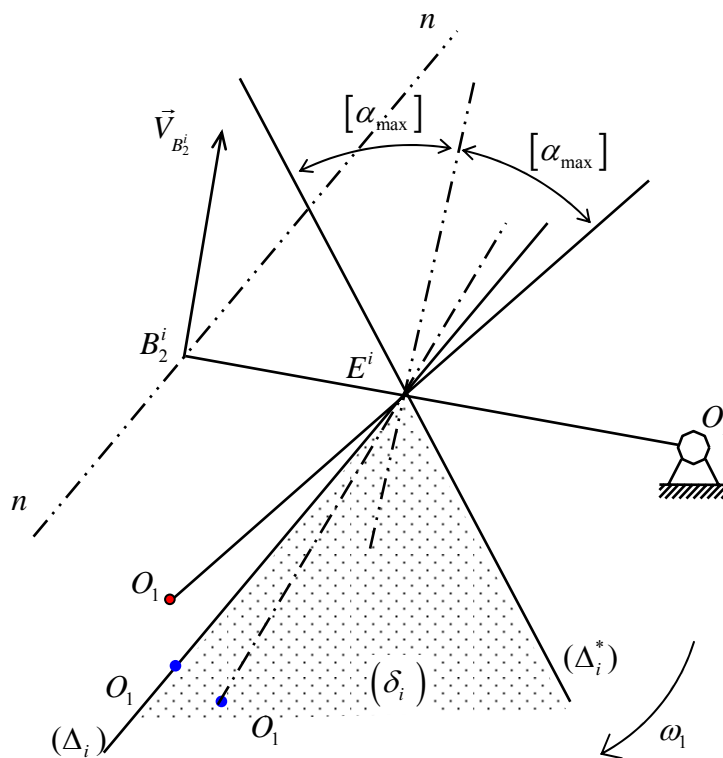
- Từ B_i , dựng điểm E_i tương ứng. Øng với góc φ_d , ta dựng được các điểm $E_0, E_1, E_2, E_3, \dots, E_m$ ứng với góc φ_v , ta dựng được các điểm $E'_0, E'_1, E'_2, E'_3, \dots, E'_m$.

Ví dụ để dựng điểm E_1 ứng với góc φ_d ta tiến hành như sau : Dựng đoạn $B_1E_1 = \left|\frac{ds}{d\varphi}\right|_1^d$, phương

chiều của vectơ $\overline{B_1E_1}$ là phương chiều của vectơ vận tốc $\vec{V}_{B_2}^{1d}$ của điểm B_1 trên đáy cần ứng với hành trình đi quay một góc 90° theo chiều ω_1 .

- Từ E_i , dựng hai đường (Δ_i) và (Δ_i^*) tương ứng : ứng với góc φ_d sẽ có các đường (Δ_i^d) và (Δ_i^{*d}) , còn ứng với góc φ_v sẽ có các đường (Δ_i^v) và (Δ_i^{*v}) .

- Miền tâm cam (θ) chính là miền nằm dưới mọi đường (Δ_i^d) , (Δ_i^{*d}) , (Δ_i^v) và (Δ_i^{*v}) nói trên.



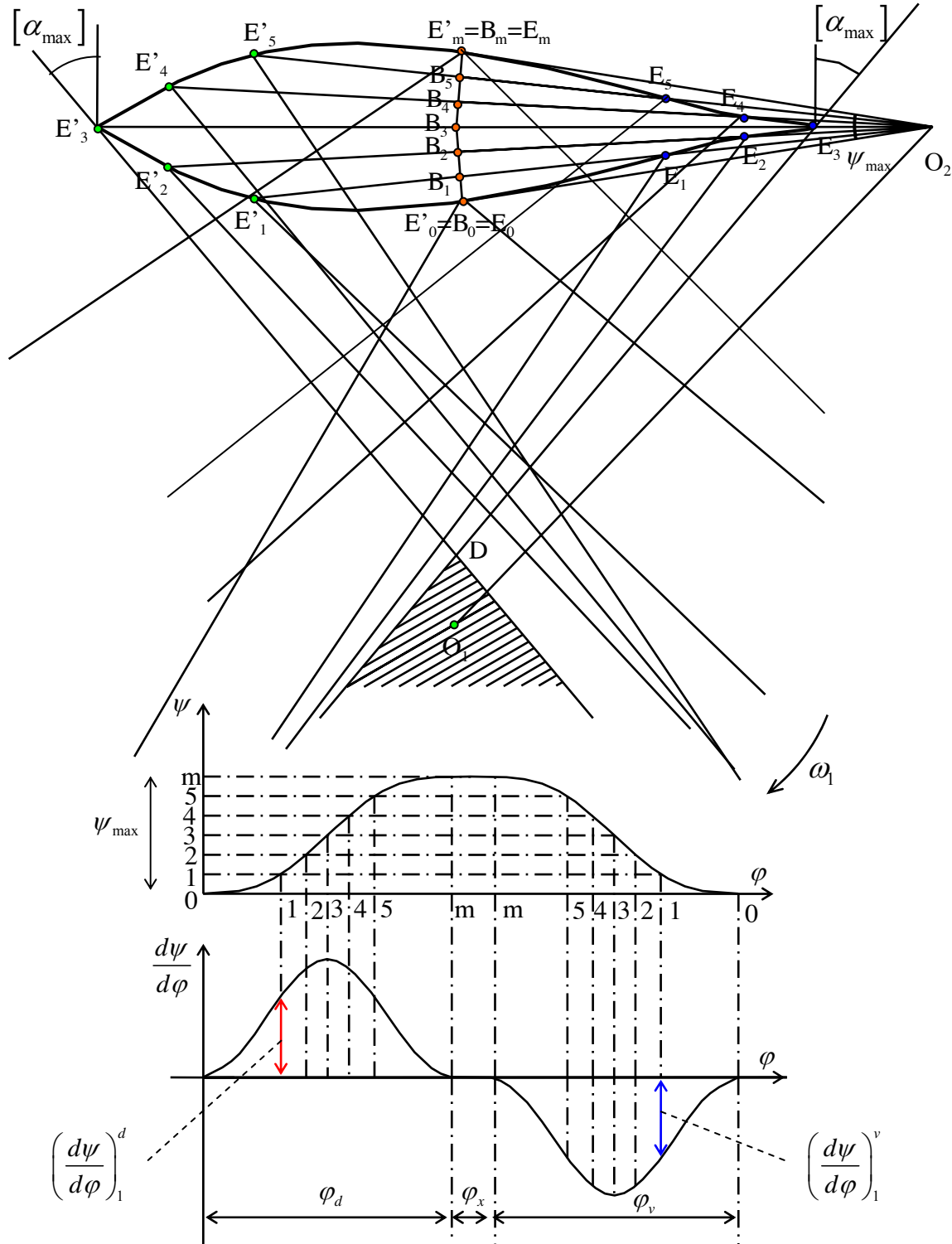
Hình 9.16

✓ **Ghi chú**

Đối với cơ cấu cam cần đáy nhọn, các đường (Δ_i^{*d}) và (Δ_i^v) song song với nhau, các đường (Δ_i^d) và (Δ_i^{*v}) song song với nhau, do vậy chỉ cần nối các điểm E_i thành đường cong kín (E) và kẻ hai tiếp tuyến (Δ^d) và (Δ^v) ở phía dưới của (E), hợp với phương trượt xx một góc bằng $[\alpha_{\max}]$: miền tâm cam là miền nằm phía dưới hai đường (Δ^d) và (Δ^v) .

• **Miền tâm cam trong cơ cấu cam lắc đáy nhọn**

✓ Tương tự như trên, để thỏa mãn điều kiện $\forall \alpha_i, \alpha_i \leq [\alpha_{\max}]$ thì tâm cam O_1 phải nằm phía dưới mọi đường thẳng (Δ_i) và (Δ_i^*) . Điểm E_i được xác định như sau: Từ B_i dựng điểm E_i với $B_i E_i = l_{\text{can}} \left| \frac{d\psi}{d\varphi} \right|$, trong đó $\left| \frac{d\psi}{d\varphi} \right|$ là giá trị tuyệt đối của $\left(\frac{d\psi}{d\varphi} \right)_i$ ứng với vị trí nói trên, l_{can} là chiều dài của cần lắc, phương chiều của $\overrightarrow{B_i E_i}$ là phương chiều của vectơ vận tốc $\vec{V}_{B_2}^i$ của điểm B_i trên đáy cam quay đi 90° theo chiều ω_1 . Đường (Δ_i) và (Δ_i^*) hợp với vận tốc $\vec{V}_{B_2}^i$ một góc $[\alpha_{\max}]$ (hình 9.16).



Hình 9.17

✓ **Cách dựng hình để tìm miền tâm cam**

- Từ đồ thị $\psi = \psi(\varphi)$, ta xác định được góc lắc cực đại ψ_{\max} của cần. Dựng cung tròn B_0B_m có tâm là tâm cần O_2 , bán kính bằng chiều dài cần l_{can} và chắn một góc bằng ψ_{\max} .

- Chia góc lắc cực đại ψ_{\max} của cần thành n phần đều nhau bằng các điểm $B_0, B_1, B_2, \dots, B_i, \dots, B_m$. Chia đoạn biểu diễn ψ_{\max} trên trục tung của đồ thị $\psi = \psi(\varphi)$ cũng thành n phần đều nhau bằng các điểm $0, 1, 2, \dots, i, \dots, m$.

- Từ đồ thị $\psi = \psi(\varphi)$, dùng phương pháp vi phân đồ thị, suy được đồ thị $\frac{d\psi}{d\varphi}(\varphi)$. Từ đó xác

định giá trị $\left(\frac{d\psi}{d\varphi}\right)_i$ tương ứng với vị trí B_i của đáy cần (tức là tương ứng với giá trị ψ_i trên trục tung của đồ thị $\psi = \psi(\varphi)$).

- Từ B_i , dựng điểm E_i tương ứng. Øng với góc φ_d , ta dựng được các điểm $E_0, E_1, E_2, E_3, \dots, E_m$. ứng với góc φ_v , ta dựng được các điểm $E'_0, E'_1, E'_2, E'_3, \dots, E'_m$.

Ví dụ để dựng điểm E_1 ứng với góc φ_d , ta tiến hành như sau : Dựng đoạn $B_1E_1 = l_{\text{can}} \left| \frac{d\psi}{d\varphi} \right|_1^d$.

Phương chiều của $\overline{B_1E_1}$ là phương chiều của vectơ vận tốc $\vec{V}_{B_2}^{id}$ của điểm B_1 trên đáy cần ứng với hành trình đi quay một góc 90° theo chiều ω_1 .

- Từ điểm E_i , dựng hai đường (Δ_i) và (Δ_i^*) tương ứng. Øng với góc φ_d sẽ có các đường (Δ_i^d) và (Δ_i^{*d}) , còn ứng với góc φ_v sẽ có các đường (Δ_i^v) và (Δ_i^{*v}) .

- Miền tâm cam (θ) chính là miền nằm dưới mọi đường (Δ_i^d) , (Δ_i^{*d}) , (Δ_i^v) và (Δ_i^{*v}) (hình 9.17).

• **Ghi chú**

✓ Tâm cam O_1 có thể chọn tại một vị trí nào đó trong miền tâm cam (θ) . Khi chọn O_1 tại đỉnh D của miền (θ) thì kích thước cơ cấu cam sẽ nhỏ gọn nhất.

✓ Khi chọn xong tâm cam O_1 , ta biết thêm một số thông số sau :

- Đối với cơ cấu cam cần lắc đáy nhọn :

Bán kính vectơ nhỏ nhất $R_{\min} = O_1B_0$ và lớn nhất $R_{\max} = O_1B_m$

Khoảng cách tâm cam tâm cần : $l_{O_1O_2}$

- Đối với cơ cấu cam cần đẩy đáy nhọn :

Bán kính vectơ nhỏ nhất $R_{\min} = O_1B_0$ và lớn nhất $R_{\max} = O_1B_m$

Độ lệch tâm $e = O_1H_0$ (H_0 là hình chiếu của O_1 lên giá trượt xx của cần).

✓ Nếu $[\alpha_{\max}]$ càng nhỏ thì miền tâm cam (θ) càng xa điểm B_0 - vị trí gần tâm cam nhất của đáy cần, cơ cấu cam càng công kênh.

b) Tổng hợp động học cơ cấu cam (Vẽ biên dạng cam)

Bài toán tổng hợp động học chính là bài toán ngược của bài toán phân tích động học.

• **Tổng hợp động học cơ cấu cam cần đẩy đáy nhọn**

✓ **Số liệu cho trước**

Quy luật chuyển vị của cần : $s = s(\varphi)$, bán kính vectơ nhỏ nhất R_{\min} , độ lệch tâm e .

✓ **Yêu cầu**

Vẽ biên dạng cam thực hiện quy luật chuyển động đã cho của cần.

✓ **Cách vẽ biên dạng cam (hình 9.6)**

- Dụng giá trượt xx của cần (xx song song với trục s của đồ thị $s = s(\varphi)$). Dụng điểm B_0 - vị trí gần tâm cam nhất của đáy cần. Dụng tam giác $O_1B_0H_0$ với $O_1B_0 = R_{\min}$, $O_1H_0 = e$, $O_1H_0 \perp xx$. Tâm cam chính là điểm O_1 .
- Vẽ vòng tròn tâm sai (O_1, e) . Trên vòng tròn (O_1, e) , xuất phát từ điểm H_0 lần lượt đặt các góc $\varphi_d, \varphi_x, \varphi_v, \varphi_g$ theo chiều ngược với chiều của ω_1 .
- Chia cung φ_d trên vòng tròn (O_1, e) làm n phần đều nhau bằng các điểm $H_0, H_1, H_2, \dots, H_i, \dots, H_m$. Đồng thời cũng chia đoạn biểu diễn góc φ_d trên trục φ của đồ thị $s = s(\varphi)$ làm n phần đều nhau, ta được các giá trị $\varphi_0, \varphi_1, \dots, \varphi_i, \dots, \varphi_m$. Dựa vào đồ thị $s(\varphi)$, xác định giá trị chuyển vị s_i của cần tương ứng với góc quay φ_i của cam.
- + Qua điểm H_i kẻ tiếp tuyến với vòng tròn (O_1, e) , trên tiếp tuyến này dụng điểm B_i với $H_iB_i = H_0B_0 + s_i$. Điểm B_i chính là một điểm thuộc biên dạng cam. Nối các điểm B_i bằng một đường cong trơn, ta được biên dạng cam ứng với góc φ_d . Tương ứng điểm H_m , ta có được điểm B_m .
- Làm tương tự để vẽ biên dạng cam ứng với góc φ_v .
- Biên dạng ứng với các góc φ_g và góc φ_x là hai cung tròn tâm O_1 , bán kính lần lượt là $R_{\min} = O_1B_0$ và $R_{\max} = O_1B_m$.

• Tổng hợp động học cơ cấu cam cần lắc đáy nhọn

✓ Số liệu cho trước

Quy luật biến thiên góc lắc của cần : $\psi = \psi(\varphi)$, bán kính vector nhỏ nhất R_{\min} , chiều dài cần l_{can} , khoảng cách tâm cam tâm cần $l_{O_1O_2}$.

✓ Yêu cầu

Vẽ biên dạng cam thực hiện quy luật chuyển động đã cho của cần.

✓ Cách vẽ biên dạng cam (hình 9.7)

- Dụng vòng tròn tâm cần có tâm O_1 bán kính bằng $l_{O_1O_2}$. Trên vòng tròn tâm cần, xuất phát từ vị trí ban đầu O_2 của tâm cần, lần lượt đặt các góc $\varphi_d, \varphi_x, \varphi_v, \varphi_g$ theo chiều ngược với chiều của ω_1 .
- Chia cung φ_d trên vòng tròn tâm cần làm n phần đều nhau bằng các điểm $O_2, O_2^1, O_2^2, \dots, O_2^i, \dots, O_2^m$. Đồng thời cũng chia đoạn biểu diễn góc φ_d trên trục φ của đồ thị $\psi = \psi(\varphi)$ làm n phần đều nhau, ta được các giá trị $\varphi_0, \varphi_1, \dots, \varphi_i, \dots, \varphi_m$. Dựa vào đồ thị $\psi = \psi(\varphi)$, xác định giá trị chuyển vị ψ_i của cần tương ứng với góc quay φ_i của cam.
- Qua O_2^i kẻ đường thẳng hợp với $O_1O_2^i$ một góc bằng ψ_i , trên đó dụng điểm B_i với $O_2^iB_i = l_{can}$. Điểm B_i chính là một điểm thuộc biên dạng cam. Nối các điểm B_i bằng một đường cong, ta được biên dạng cam ứng với góc φ_d . Tương ứng điểm O_2^m , ta có được điểm B_m .
- Làm tương tự để vẽ biên dạng cam ứng với góc φ_v .
- Biên dạng cam ứng với các góc φ_g và φ_x là hai cung tròn tâm O_1 , bán kính lần lượt là $R_{\min} = O_1B_0$ và $R_{\max} = O_1B_m$.

2) Tổng hợp cơ cấu cam cần đáy lẩn

- Trong chuyển động tương đối của cơ cấu đối với cam, tâm I của con lăn vạch nên biên dạng lý thuyết, đồng thời tại điểm tiếp xúc B_1 giữa biên dạng cam và con lăn, pháp tuyến của biên dạng lý thuyết và biên dạng thực trùng nhau. Do vậy, bài toán tổng hợp cơ cấu cam cần đáy

lăn được quy về bài toán tổng hợp cơ cấu cam cần đẩy nhọn với đáy nhọn nằm tại tâm I của con lăn, biên dạng cam vẽ được chính là biên dạng cam lý thuyết.

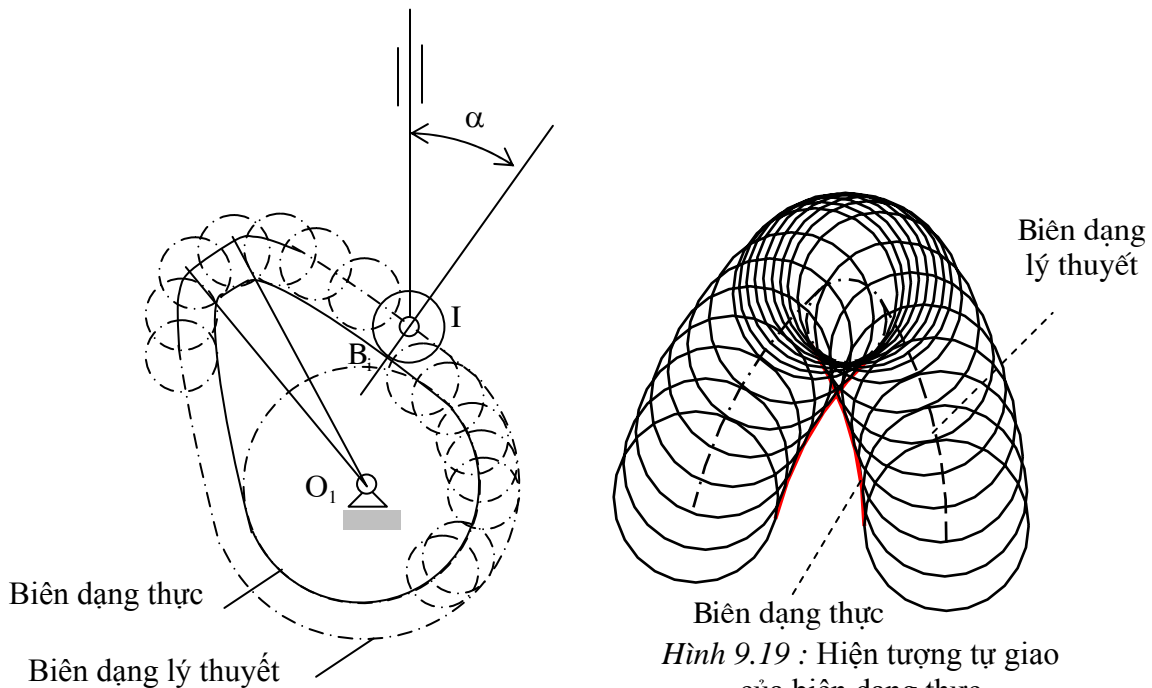
• **Cách vẽ biên dạng thực từ biên dạng lý thuyết**

Vẽ họ vòng tròn con lăn có tâm I, có bán kính bằng bán kính r_L của con lăn, tâm I nằm trên biên dạng lý thuyết. Bao hình của họ vòng tròn con lăn nói trên chính là biên dạng cam thực cần tìm (hình 9.18).

• **Cách chọn bán kính con lăn r_L**

Khi bán kính r_L càng lớn, tổn thất do ma sát ở đáy cần càng bé. Tuy nhiên, nếu r_L lớn đến mức $r_L > \rho_{\min}$ với ρ_{\min} là bán kính cong nhỏ nhất của biên dạng cam lý thuyết, thì trên biên dạng cam thực có thể xảy ra hiện tượng tự giao. Còn nếu $r_L = \rho_{\min}$ thì trên biên dạng thực có thể có điểm nhọn, tại điểm nhọn sẽ có va đập giữa cần và cam và điểm nhọn dễ bị mòn.

Trên hình 9.19, ta thấy khi $r_L > \rho_{\min}$ và biên dạng cam thực là bao hình phía trong của họ vòng tròn con lăn thì trên biên dạng cam thực sẽ có hiện tượng tự giao. Do đó trong trường hợp này, bán kính r_L phải thỏa mãn điều kiện : $r_L < \rho_{\min}$, thông thường nên lấy $r_L = 0,7 \rho_{\min}$.



Hình 9.18 : Cách vẽ biên dạng thực từ biên dạng lý thuyết

Hình 9.19 : Hiện tượng tự giao của biên dạng thực

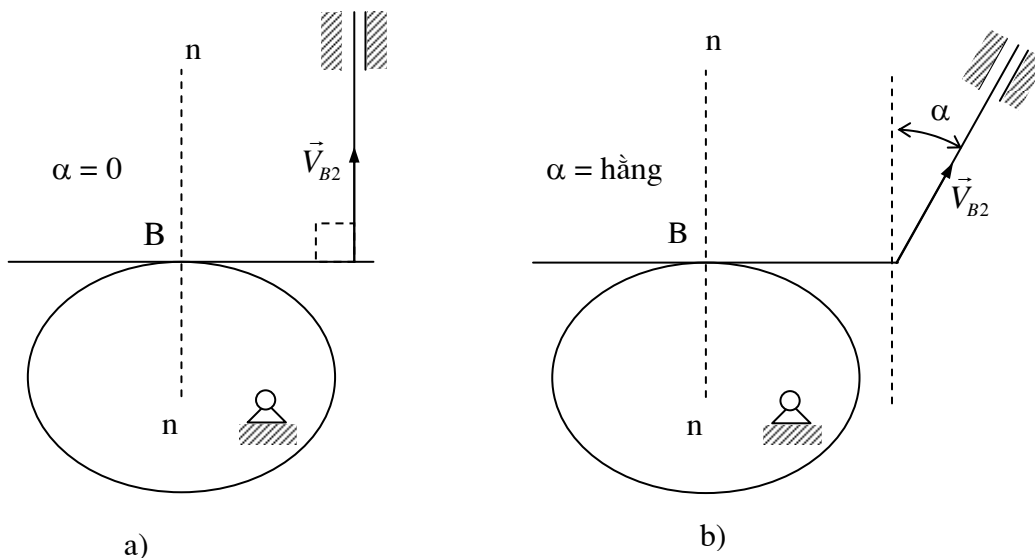
3) Tổng hợp cơ cấu cam cần đẩy đáy bằng

a) Xác định vị trí tâm cam

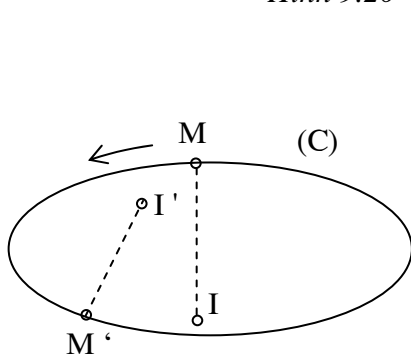
• Với cơ cấu cam cần đẩy đáy bằng, góc áp lực đáy cần α chính là góc hợp bởi đường thẳng vuông góc với đáy cần và giá trượt xx của cần. Do đó góc α không phụ thuộc vị trí tâm cam như trong cơ cấu cam cần đẩy nhọn, mà chỉ phụ thuộc vào hình dạng đáy cần: nếu đáy cần vuông góc giá trượt xx thì $\alpha = 0$ (hình 9.20a), nếu không α bằng hằng số (hình 9.20b). Như vậy, khi tổng hợp cơ cấu cam cần đẩy đáy bằng, không cần đưa ra điều kiện :

$$\forall \alpha_i, \alpha_i \leq [\alpha_{\max}]$$

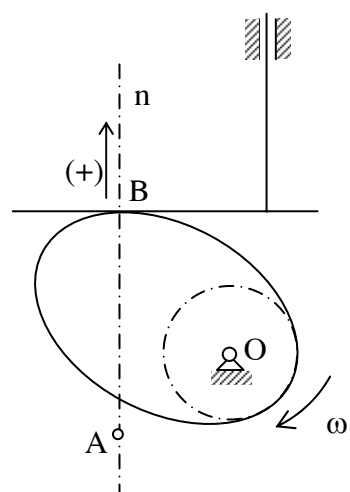
• Tuy nhiên, với cơ cấu cam cần đẩy đáy bằng, để mọi điểm của biên dạng cam có thể tiếp xúc được liên tục với cần thì biên dạng cam phải là một đường cong lồi. Khi cho trước quy luật chuyển động của cần, tùy theo vị trí tâm cam O_1 mà cam có thể lồi hay lõm. Do đó, cần phải chọn vị trí tâm cam hợp lý để biên dạng cam là một đường cong lồi.



Hình 9.20



Hình 9.21



Hình 9.22

• **Đường cong lồi**

Cho đường cong kín (C) và một điểm M chạy trên đường cong này theo một chiều cố định. Đường cong kín (C) được gọi là *lồi* khi tại mọi vị trí của điểm M trên đường cong này, tâm cong của đường cong luôn nằm về một phía của nó. Ví dụ đường cong trên hình 9.21 là một đường cong lồi, bởi vì khi cho M chạy trên đường cong này theo chiều ngược chiều kim đồng hồ, thì tâm cong I của đường cong ứng với M luôn luôn nằm về phía trái của nó.

• **Điều kiện lồi của biên dạng cam**

✓ Xét cơ cấu cam cần đẩy đáy bằng (hình 9.22). Gọi B là điểm tiếp xúc giữa cam và đáy cần, nn và A lần lượt là pháp tuyến của biên dạng cam và tâm cong của biên dạng cam ứng với điểm tiếp xúc B.

Khi xét chuyển động tương đối của cần so với cam, thì điểm tiếp xúc B coi như chạy dọc theo biên dạng cam theo chiều $-\omega_1$. Để biên dạng cam là lồi, tâm cong A phải luôn luôn nằm phía trái của điểm B. Như vậy trong chuyển động tuyệt đối, tâm cong A phải luôn nằm phía dưới điểm B.

Từ đó, nếu chọn chiều dương trên pháp tuyến nn hướng lên trên như trên hình 9.22 thì điều kiện lồi của biên dạng cam:

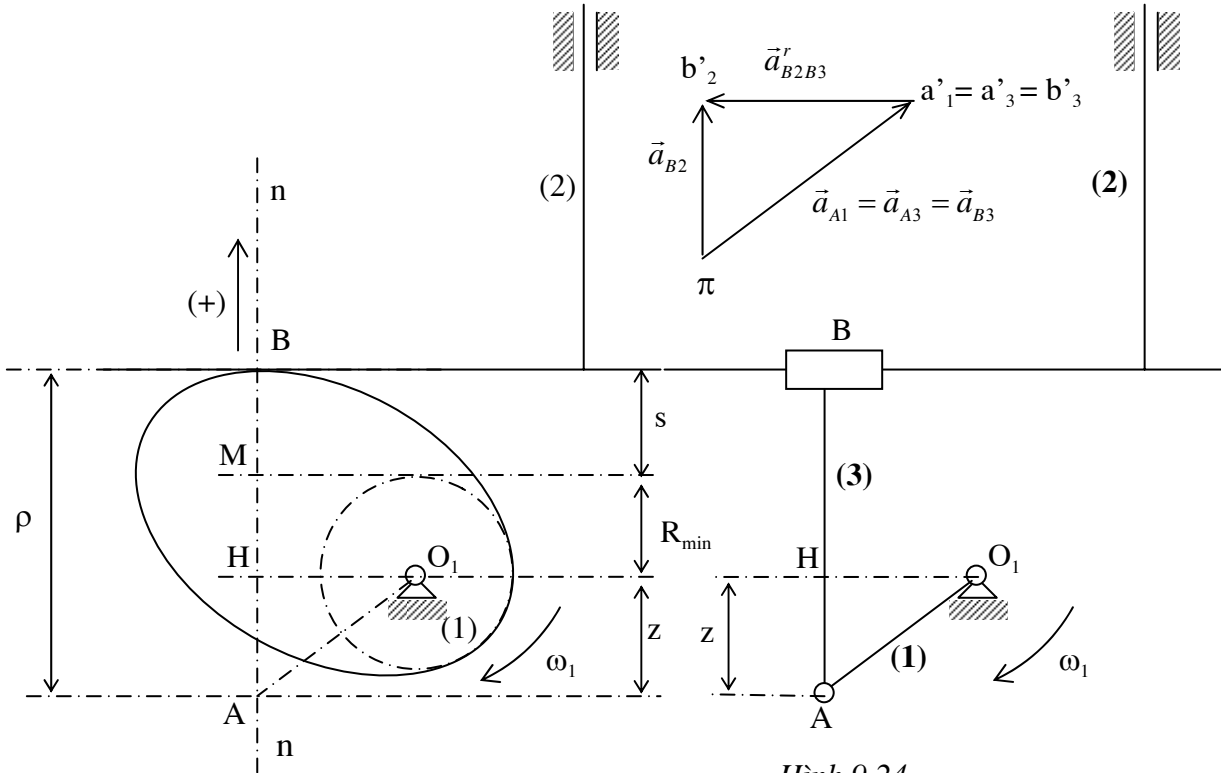
$$\boxed{\rho = \overline{AB} > 0} \quad (\rho \text{ là bán kính cong của biên dạng cam tại điểm tiếp xúc B})$$

✓ Sau đây suy diễn điều kiện lồi cho trường hợp đáy cần *vuông góc* với giá trượt xx.

Từ O_1 vẽ đường thẳng O_1H vuông góc với AB. Đường thẳng song song với đáy cần và tiếp xúc với vòng tròn tâm O_1 bán kính R_{\min} (R_{\min} là bán kính nhỏ nhất của biên dạng cam), cắt AB tại

M. Ta có : $s = \overline{MB}$ chính là chuyển vị của cần tại vị trí đang xét, gốc để xác định chuyển vị s là vị trí gần tâm cam nhất của cần.

Ta có : $\rho = \overline{AB}$
 $\Rightarrow \rho = \overline{AH} + \overline{HM} + \overline{MB}$
 $\Rightarrow \boxed{\rho = z + R_{\min} + s}$



Hình 9.23

Hình 9.24

✓ **Tính z**

Tại thời điểm hay vị trí đang xét của cơ cấu, ta thay thế khớp cao tại B bằng khâu (3) và hai khớp thấp : khớp trượt đặt tại B có phương trượt song song với đáy cần, khớp quay đặt tại tâm cong A. Sau khi thay thế như vậy, vận tốc và gia tốc của các điểm tương ứng trên khâu (1), khâu (2) trong hai cơ cấu hình 9.23 và hình 9.24 là hoàn toàn như nhau.

Với cơ cấu trên hình 9.24, do hai điểm B_2 và B_3 là hai điểm trùng nhau thuộc hai khâu khác nhau nối nhau bằng khớp trượt, nên phương trình gia tốc:

$$\vec{a}_{B_2} = \vec{a}_{B_3} + \vec{a}_{B_2B_3}^k + \vec{a}_{B_2B_3}^r \quad (9.7)$$

Khâu (3) nối với khâu (2) bằng khớp trượt, khâu (3) lại nối giá bằng khớp trượt, nên khâu (3) chuyển động tịnh tiến. Suy ra : $\vec{a}_{B_3} = \vec{a}_{A_3} = \vec{a}_{A_1}$.

$\vec{a}_{B_2B_3}^r$ là gia tốc tương đối của điểm B_2 so với điểm B_3 , $\vec{a}_{B_2B_3}^r$ song song với đáy cần.

$a_{B_2B_3}^k = 2 \cdot \omega_3 \cdot V_{B_2B_3} = 0$ do $\omega_3 = 0$.

\vec{a}_{B_2} song song với phương trượt của cần.

Từ phương trình (9.7), ta dựng được hoạ đồ gia tốc (hình 9.24).

Hai tam giác AO_1H và $\pi a'_1 b'_2$ đồng dạng nên :

$$\frac{\pi b'_2}{AH} = \frac{\pi a'_1}{O_1A} \Rightarrow \frac{a_{B_2}}{z} = \frac{a_{A_1}}{O_1A} \Rightarrow \frac{d^2 s}{dt^2} = \frac{\omega_1^2 \cdot O_1A}{O_1A} \Rightarrow z = \frac{d^2 s}{dt^2 \cdot \omega_1^2} \Rightarrow \boxed{z = \frac{d^2 s}{d\varphi^2}}$$

✓ Gọi $\min\left(s + \frac{d^2s}{d\varphi^2}\right)$ là cực trị âm của đồ thị $s + \frac{d^2s}{d\varphi^2}$. Như vậy, để biên dạng cam là lồi (tức là ứng với mọi vị trí tiếp xúc giữa cam và cần đều có $\rho > 0$), ta phải có điều kiện :

$$\rho = R_{\min} + \min\left(s + \frac{d^2s}{d\varphi^2}\right) > 0 \Rightarrow R_{\min} > \left| \min\left(s + \frac{d^2s}{d\varphi^2}\right) \right|$$

✓ Gọi (Δ) là đường thẳng tiếp xúc với đồ thị $s + \frac{d^2s}{d\varphi^2}$ tại điểm có cực trị âm của nó. Ta thấy, nếu tâm cam O_1 nằm phía dưới (Δ) thì $R_{\min} > \left| \min\left(s + \frac{d^2s}{d\varphi^2}\right) \right|$ và biên dạng cam là lồi.

Tóm lại, miền tâm cam là miền nằm phía dưới đường thẳng (Δ) (hình 9.25).

• **Ghi chú**

Sau khi chọn được tâm cam O_1 , ta xác định thêm được bán kính nhỏ nhất R_{\min} của biên dạng cam (khoảng cách từ tâm cam O_1 đến vị trí thấp nhất của đáy cần).

b) Tổng hợp động học cơ cấu cam cần đẩy đáy bằng

✓ **Số liệu cho trước**

Quy luật chuyển vị của cần : $s = s(\varphi)$, bán kính vectơ nhỏ nhất R_{\min} .

✓ **Yêu cầu**

Vẽ biên dạng cam thực hiện quy luật chuyển động đã cho của cần.

✓ **Cách vẽ biên dạng cam (hình 9.9)**

- Dụng giá trượt xx của cần (xx song song với trục s của đồ thị $s = s(\varphi)$). Dụng điểm B_0 - vị trí gần tâm cam nhất của đáy cần. Dụng điểm O_1 nằm trên giá trượt xx với $O_1B_0 = R_{\min}$, đây chính là tâm cam.

- Chia mặt phẳng làm n phần đều nhau bằng các điểm tia $O_0x_0, O_1x_1, O_2x_2, \dots, O_1x_i, \dots, O_1x_m$. Đồng thời cũng chia đoạn biểu diễn góc $\Phi = 2\pi$ trên trục φ của đồ thị $s = s(\varphi)$ làm n phần đều nhau, ta được các giá trị $\varphi_0, \varphi_1, \dots, \varphi_i, \dots, \varphi_m = \Phi = 2\pi$ (ở đây ta chia làm 8 phần).

- Dựa vào đồ thị $s(\varphi)$, xác định giá trị chuyển vị s_i của cần tương ứng với góc quay φ_i của cam.

- Trên tia O_1x_i , dựng điểm I_i với $O_1I_i = s_i$. Qua điểm I_i vẽ đường thẳng (D_i) vuông góc với đáy cần. Bao hình của họ đường thẳng (D_i) nói trên chính là biên dạng cam cần tìm.

§5. Biện pháp bảo toàn khớp cao

✓ Đối với cơ cấu cam là cơ cấu có khớp cao, cần phải có biện pháp thích hợp để bảo đảm sự tiếp xúc liên tục giữa các thành phần khớp cao của cam và cần (biện pháp này được gọi là biện pháp bảo toàn khớp cao).

✓ Có hai cách bảo toàn khớp cao : bảo toàn bằng lực và bảo toàn bằng hình.

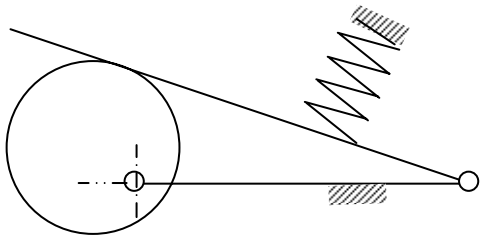
• **Bảo toàn bằng lực**

Dùng lực phục hồi của lò xo (hình 9.26a), dùng trọng lượng của cần (hình 9.26b) hoặc nhờ áp lực của chất lỏng...

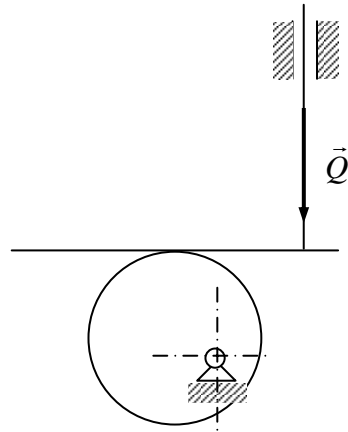
• **Bảo toàn bằng hình**

Dùng các ràng buộc hình học phụ như dùng cam rãnh (với cam rãnh, hai biên dạng cam là hai đường cách đều nhau - hình 9.26c), cam vành (dùng hai con lăn tiếp xúc ở hai phía vành cam - hình 9.26d), cam kép (hai cơ cấu cam cho cùng một quy luật chuyển động của cần - hình 9.26e), cam đều cử (đây chính là cơ cấu cam cần đẩy chính tâm, biên dạng cam có đặc điểm là khoảng cách giữa mọi cặp điểm đối ứng trên biên dạng cam lý thuyết của cam là một hằng số

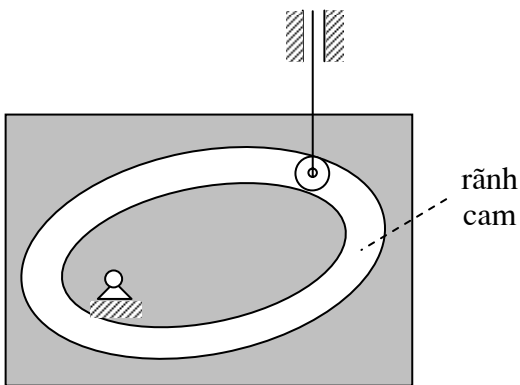
- hình 9.26f), cam cân khung (biên dạng cam có đặc điểm là khoảng cách giữa hai tiếp tuyến song song của nó là một hằng số - hình 9.26g)...



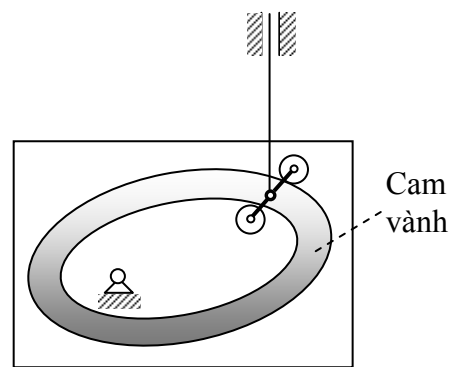
Hình 9.26a



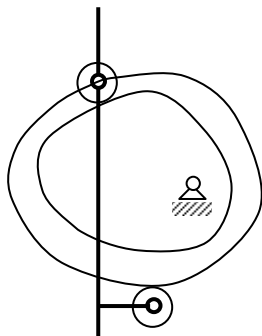
Hình 9.26b



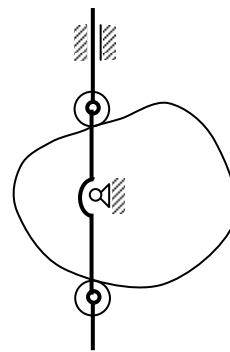
Hình 9.26c : Cam rãnh



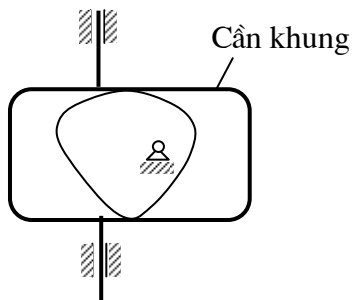
Hình 9.26d: Cam vành



Hình 9.26e : Cam kép



Hình 9.26f : Cam đều cử



Hình 9.26g : Cam cân khung



CƠ CẤU BÁNH RĂNG THÂN KHAI PHẪNG

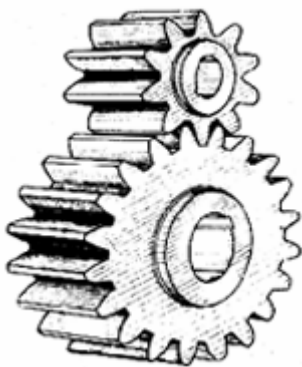
§1. Đại cương

1) Khái niệm

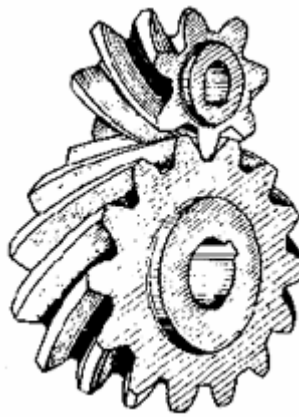
• Cơ cấu bánh răng có hai khâu động được nối với nhau bằng khớp cao, dùng để truyền chuyển động quay giữa hai trục với một tỉ số truyền xác định (thường là bằng *hằng số*). Hai khâu động được gọi là *bánh răng*.

- Tỷ số truyền của cơ cấu : $i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$ với ω_1, ω_2 : vận tốc góc của trục dẫn và trục bị dẫn.

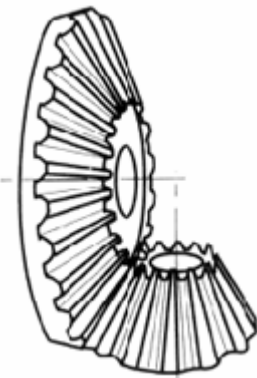
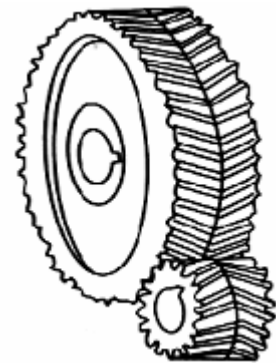
Hình 10.1a



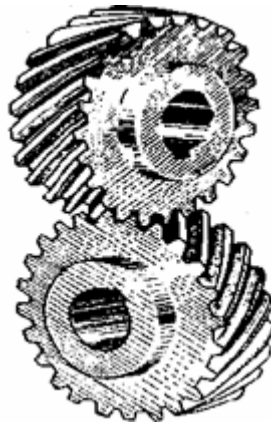
Hình 10.1b



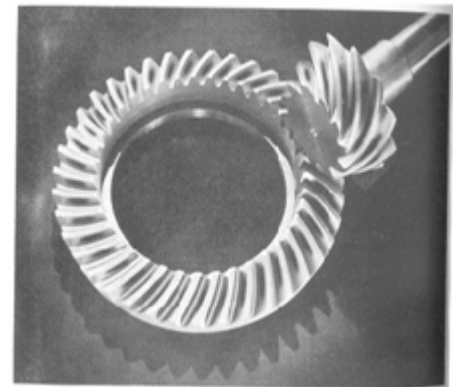
Hình 10.1c



Hình 10.1d



Hình 10.1e



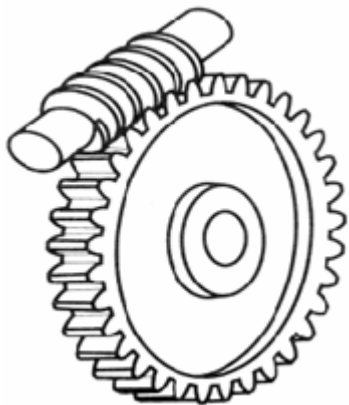
Hình 10.1f

• Cơ cấu bánh răng truyền chuyển động giữa hai trục *song song* gọi là cơ cấu bánh răng *phẳng* (ví dụ cơ cấu bánh răng trụ tròn răng thẳng - hình 10.1a, cơ cấu bánh răng trụ tròn răng nghiêng và răng chữ V - hình 10.1b và 10.1c).

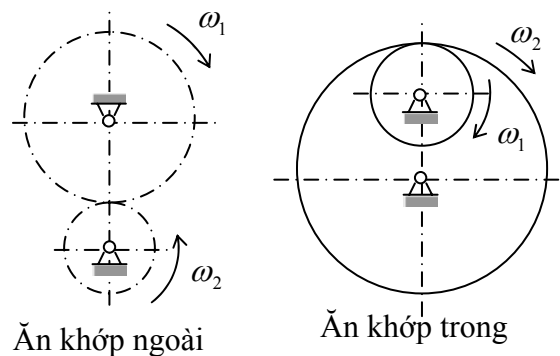
Cơ cấu bánh răng truyền chuyển động giữa hai trục *không song song* gọi là cơ cấu bánh răng *không gian*. Hai trục có thể cắt nhau, ví dụ cơ cấu bánh răng nón - hình 10.1d; có thể chéo nhau, ví dụ cơ cấu bánh răng trụ trục chéo - hình 10.1e, cơ cấu bánh răng nón chéo - hình 10.1f, cơ cấu bánh vít-trục vít - hình 10.1g).

• Người ta cũng chia cơ cấu bánh răng thành: Cơ cấu bánh răng ăn khớp ngoài (ngoại tiếp) khi vành răng bánh nọ nằm ngoài bánh kia, vận tốc góc hai bánh ngược chiều nhau; cơ cấu bánh răng ăn khớp trong (nội tiếp) khi vành răng bánh nhỏ nằm trong vành răng bánh lớn, vận tốc góc hai bánh cùng chiều nhau (hình 10.2).

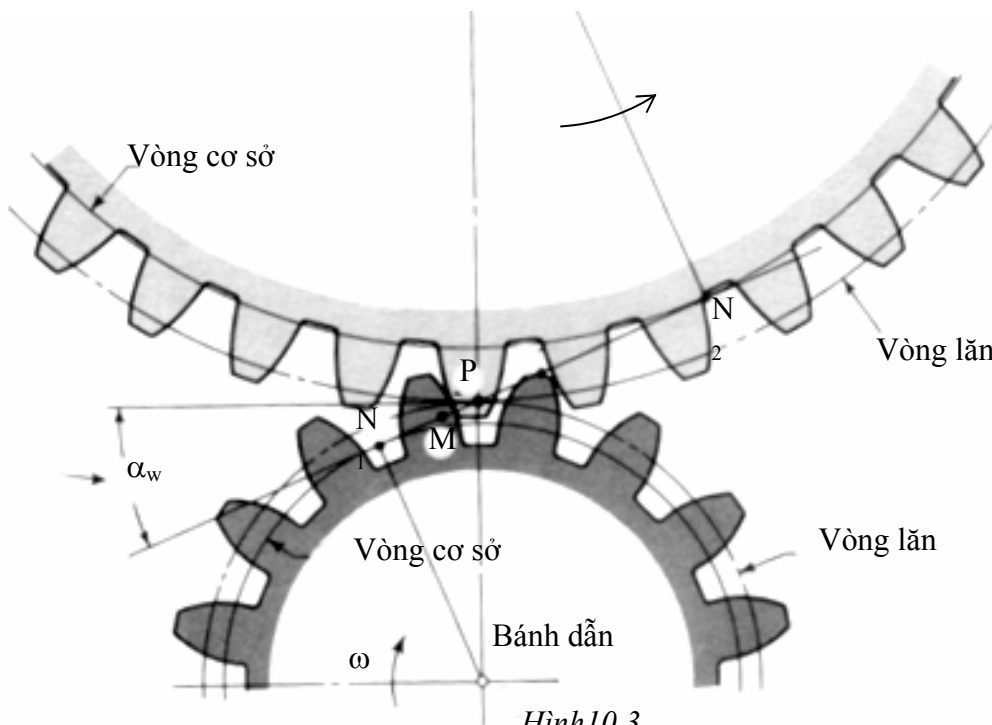
- Khi truyền động, các răng của bánh dẫn lần lượt thay nhau tiếp xúc với các răng của bánh bị dẫn, đẩy bánh bị dẫn cùng chuyển động. Quá trình này được gọi là quá trình *ăn khớp* của cặp bánh răng (hình 10.3).



Hình 10.1g



Hình 10.2



Hình 10.3

- Bánh răng trụ tròn răng thẳng hay răng nghiêng, có dạng *hình trụ* tròn xoay. *Vành răng* gồm các răng giống hệt nhau bố trí cách đều nhau. Trên một mặt cắt vuông góc với trục quay của bánh răng hình trụ, vành răng được giới hạn bởi hai vòng tròn đồng tâm O: vòng đỉnh (O, r_a), vòng chân (O, r_f). Giữa vòng đỉnh và vòng chân có vòng chia (O, r) chia răng thành hai phần: đỉnh răng và chân răng. Mỗi răng của bánh răng được giới hạn bởi hai đoạn đường cong, gọi là *biên dạng răng* (hay *cạnh răng*), đối xứng nhau qua đường thẳng đi qua tâm O của bánh răng. Mỗi khoảng trống giữa hai răng gọi là một *rãnh răng*.

Ta có quan hệ :
$$p_x = s_x + w_x$$

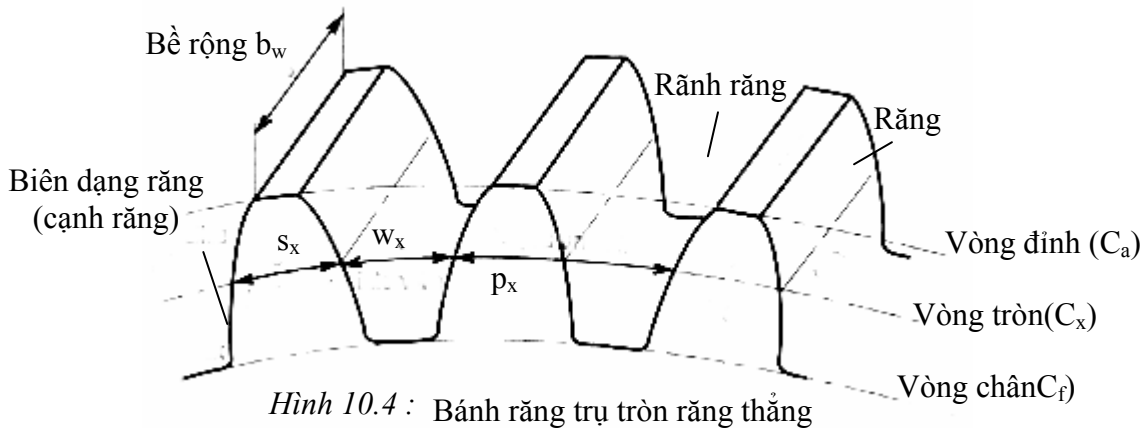
Trên vòng tròn (C_x) tâm O bán kính r_x với $r_f \leq r_x \leq r_a$, ta có các khái niệm (hình 10.4):

Bước răng p_x : khoảng cách giữa hai biên dạng răng cùng phía của hai răng kề nhau.

Chiều dày răng s_x : khoảng cách của hai biên dạng răng của một răng.

Chiều rộng rãnh w_x : khoảng cách của hai biên dạng răng của một rãnh răng.

Gọi Z là số răng của bánh răng. Do các răng được bố trí cách đều nhau trên vành răng, nên chu vi của vòng (C_x) bằng : $2\pi r_x = Zp_x \Rightarrow p_x = \frac{2\pi r_x}{Z}$



2) Định lý cơ bản về ăn khớp bánh răng

(Điều kiện để tỷ số truyền của một cặp biên dạng răng bằng hằng số)

Tỷ số truyền trong cơ cấu bánh răng phụ thuộc vào dạng đường cong được chọn làm biên dạng răng (còn gọi là cạnh răng). Với điều kiện nào tỷ số truyền của một cặp biên dạng răng bằng hằng số ?

a) Tỷ số truyền của cặp biên dạng răng

Xét hai biên dạng răng (b_1) và (b_2) bất kỳ lần lượt thuộc bánh răng (1) và (2) tiếp xúc nhau tại điểm M (hình 10.5). Gọi M_1 và M_2 là hai điểm thuộc bánh răng (1) và (2) hiện đang trùng nhau tại M . Gọi nn là pháp tuyến chung tại M của (b_1) và (b_2). Bánh (1) và bánh (2) lần lượt quay quanh tâm O_1 và O_2 với vận tốc góc ω_1 và ω_2 .

Xét chuyển động tương đối của cơ cấu đối với bánh (1).

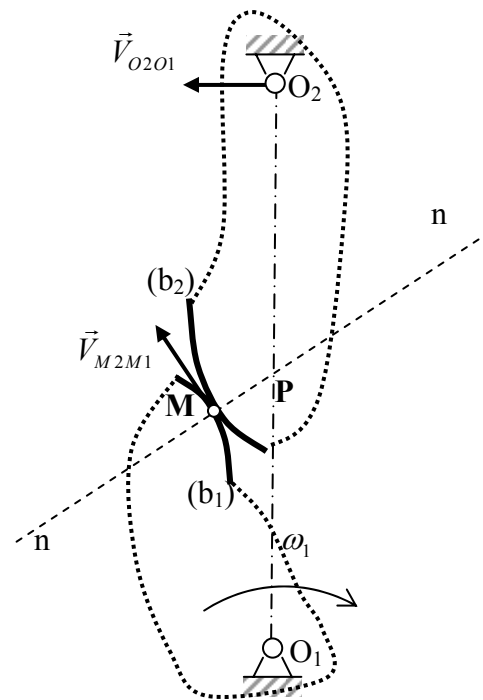
Trong chuyển động tương đối này, vận tốc của điểm O_2 trên bánh (2) : $\vec{v}_{O_2O_1} \perp O_1O_2$, vận tốc của điểm M_2 trên bánh (2) nằm trên tiếp tuyến chung tại M với hai biên dạng : $\vec{v}_{M_2M_1} \perp nn$. Do đó, tâm quay tức thời P trong chuyển động tương đối của bánh (2) so với bánh (1) : $P = O_1O_2 \cap nn$

Trong chuyển động tuyệt đối của cơ cấu, ta có : $\vec{v}_{P_1} = \vec{v}_{P_2}$ với P_1 và P_2 là hai điểm lần lượt thuộc bánh (1) và bánh (2) hiện đang trùng nhau tại P .

Từ đó suy ra : $\omega_1 O_1P = \omega_2 O_2P$

Như vậy tỷ số truyền của cặp biên dạng răng (b_1) và

$$(b_2) \text{ bằng : } i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{O_2P}{O_1P}$$



Hình 10.5

b) Định lý cơ bản về ăn khớp (Định lý Willis)

Do các tâm quay O_1 và O_2 cố định nên để tỷ số truyền i_{12} của cặp biên dạng răng bằng hằng số thì điểm P phải là điểm cố định trên O_1O_2 .

Từ đó ta có định lý cơ bản về ăn khớp như sau: "Để thực hiện được một tỷ số truyền bằng hằng số, cặp biên dạng răng ăn khớp với nhau phải thoả mãn điều kiện : Pháp tuyến chung nn tại vị trí tiếp xúc bất kỳ M phải cắt đường nối tâm O_1O_2 của hai bánh răng tại một điểm P cố định".

c) Một vài khái niệm và định nghĩa

- Điểm tiếp xúc M của hai biên dạng răng được gọi là *điểm ăn khớp*. Hai biên dạng (b_1) và (b_2) được gọi là cặp biên dạng *ăn khớp* (hay cặp biên dạng *đối tiếp*).

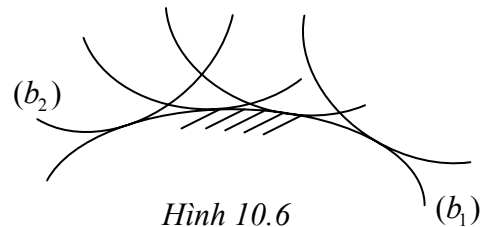
- Điểm P, tâm quay tức thời trong chuyển động tương đối giữa hai bánh gọi là *tâm ăn khớp*. Trường hợp tỷ số truyền $i_{12} =$ hằng số thì P là điểm cố định trên O_1O_2 . Khi cơ cấu chuyển động, P vạch nên trên bánh (1) vòng tròn $C_{w1}(O_1, r_{w1} = O_1P)$ và trên bánh (2) vòng tròn $C_{w2}(O_2, r_{w2} = O_2P)$.

Do $\vec{v}_{P1} = \vec{v}_{P2}$ nên (C_{w1}) và (C_{w2}) lăn không trượt với nhau. Hai vòng tròn này được gọi là hai *vòng lăn*.

- Khi ăn khớp (khi tiếp xúc và đẩy nhau chuyển động), hai biên dạng (b_1) (b_2) vừa lăn vừa trượt trên nhau. Vận tốc trượt tương đối giữa hai biên dạng răng là \vec{v}_{M2M1} nằm theo phương tiếp tuyến chung tại điểm tiếp xúc M : $v_{M2M1} = |\omega_2 - \omega_1| \cdot PM$ (hình 10.5).

Khi tiếp xúc tại tâm ăn khớp P thì $PM = 0$, vận tốc trượt tương đối $\vec{v}_{M2M1} = 0$.

- Hai biên dạng răng ăn khớp với nhau là *bao hình của nhau* trong chuyển động tương đối giữa chúng. Thật vậy, trong chuyển động tương đối của khâu (2) đối với khâu (1), (b_1) coi như đứng yên, còn (b_2) chuyển động và luôn tiếp xúc với (b_1) , do đó trong chuyển động tương đối này, (b_1) là bao hình các vị trí khác nhau của (b_2) (hình 10.6).



Hình 10.6

3) Biên dạng răng thân khai

- Hai biên dạng ăn khớp (b_1) , (b_2) là bao hình của nhau trong chuyển động tương đối giữa chúng, nên về nguyên tắc khi chọn trước đường cong (b_1) làm biên dạng răng cho bánh (1) thì bằng phương pháp bao hình hoàn toàn có thể xác định được đường cong (b_2) làm biên dạng thứ hai, thoả mãn điều kiện tỷ số truyền bằng hằng số của cặp biên dạng. Nói khác đi, có vô số cặp đường cong tương ứng nhau mà khi dùng làm cặp biên dạng răng sẽ thoả mãn điều kiện tỷ số truyền bằng hằng số.

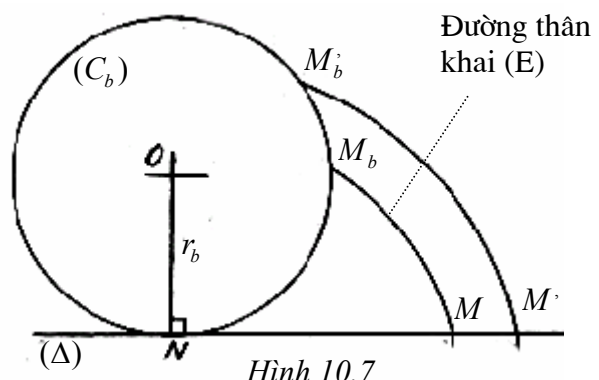
- Trong thực tế, người ta thường dùng các đường cong sau đây làm biên dạng răng : Đường xicloid, đường tròn, đường thân khai vòng tròn, trong đó đường thân khai vòng tròn được sử dụng rộng rãi hơn cả.

- Trong chương này, ta chỉ nghiên cứu *bánh răng có biên dạng răng là đường thân khai*, truyền chuyển động quay giữa hai trục với tỉ số truyền bằng *hằng số* và chỉ nghiên cứu trường hợp cặp bánh răng ngoại tiếp.

a) Đường thân khai vòng tròn và tính chất

• Định nghĩa

Khi cho đường thẳng (Δ) lăn không trượt trên vòng tròn $C_b(O, r_b)$ thì một điểm M bất kỳ trên đường (Δ) sẽ vạch nên một đường cong (E) gọi là *đường thân khai* vòng tròn. Vòng tròn $C_b(O, r_b)$ gọi là *vòng tròn cơ sở* của đường thân khai. Điểm M_b gọi là gốc của đường thân khai (E) trên vòng cơ sở (hình 10.7).



Hình 10.7

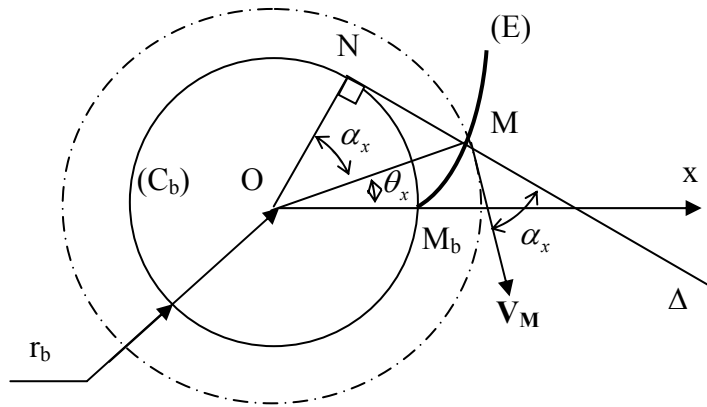
• Tính chất

- ✓ Đường thân khai (E) không có điểm nào nằm trong vòng tròn cơ sở (C_b)
- ✓ Pháp tuyến tại điểm M của (E) cũng là tiếp tuyến tại điểm N của vòng tròn cơ sở (C_b) và ngược lại.

✓ Tâm cong tại điểm M của (E) là điểm N nằm trên vòng tròn cơ sở (C_b). Bán kính cong tại điểm M của (E) là đoạn NM bằng cung lẩn $\widehat{M_bM} : NM = \widehat{M_bM}$

✓ Các đường thân khai (E) và (E') cùng vòng tròn cơ sở có thể chồng khít lên nhau. Khoảng cách trên các pháp tuyến chung bằng chiều dài cung giữa gốc của chúng trên vòng tròn cơ sở :

$$\overline{MM'} = \widehat{M_bM'_b}$$



Hình 10.8

b) Phương trình đường thân khai

✓ Dùng phương trình tham số trong hệ tọa độ cực (hình 10.8).

Chọn hệ tọa độ cực tâm O, trục $\overline{Ox} = \overline{OM_b}$.

Tọa độ của điểm M thuộc đường thân khai vòng tròn (E) :

$$M \begin{cases} \vec{r}_x = \overline{OM} \text{ (bán kính vectơ)} \\ \theta_x = \widehat{MOM_b} \text{ (góc tọa độ)} \end{cases}$$

Thế mà: $\theta_x = \widehat{NOM_b} - \widehat{NOM} = \frac{\widehat{NM_b}}{r_b} - \alpha_x$ với $\alpha_x = (\vec{r}_x, \overline{ON})$

Theo tính chất của đường thân khai:

$$NM = \widehat{NM_b} \Rightarrow \frac{\widehat{NM_b}}{r_b} = \frac{NM}{r_b} = \text{tg} \alpha_x \Rightarrow \theta_x = \text{tg} \alpha_x - \alpha_x$$

Mặt khác, ta có : $r_x = \frac{r_b}{\cos \alpha_x}$

Do đó, phương trình đường thân khai :

$$\begin{cases} r_x = \frac{r_b}{\cos \alpha_x} \\ \theta_x = \text{tg} \alpha_x - \alpha_x = \text{inv}(\alpha_x) \end{cases}$$

Với $\text{inv}(\alpha_x) = \alpha_x - \text{tg} \alpha_x$ gọi là hàm thân khai (involute function).

✓ Góc α_x được gọi là góc áp lực của đường thân khai trên vòng $C_x(O, r_x)$ bởi vì α_x chính là góc giữa pháp tuyến (Δ) của biên dạng thân khai (E) tại điểm M thuộc vòng tròn $C_x(O, r_x)$ với vận tốc của điểm M trên vòng tròn khi $C_x(O, r_x)$ quay quanh điểm O.

c) Biên dạng thân khai thỏa mãn định lý cơ bản về ăn khớp

• Khi dùng đường thân khai vòng tròn làm biên dạng răng thì trong quá trình ăn khớp của hai biên dạng, tỉ số truyền i_{12} bằng hằng số (hình 10.9).

Thật vậy, xét hai biên dạng thân khai (E_1) và (E_2) có vòng cơ sở là $C_{b1}(O_1, r_{b1}), C_{b2}(O_2, r_{b2})$, tiếp xúc với nhau tại một vị trí bất kỳ M. Gọi nn là pháp tuyến chung tại M của hai biên dạng.

Theo tính chất đường thân khai, pháp tuyến chung nn tại điểm M của (E_1) và (E_2) cũng là tiếp tuyến chung N_1N_2 của hai vòng tròn cơ sở (C_{b1}) và (C_{b2}). Do hai vòng cơ sở cố định nên tiếp tuyến chung N_1N_2 cũng cố định.

Như vậy, pháp tuyến chung nn tại điểm M bất kỳ của hai biên dạng thân khai (E_1) và (E_2) luôn cắt đường nối tâm O_1O_2 tại một điểm P cố định: cặp biên dạng thân khai thoả mãn định lý cơ bản về ăn khớp (tức là bảo đảm tỷ số truyền $i_{12} = \text{hằng số}$).

d) Một vài khái niệm

• Đường ăn khớp - Đoạn ăn khớp lý thuyết

Đường ăn khớp là quỹ tích các vị trí tiếp xúc M giữa hai biên dạng răng trong quá trình ăn khớp.

Trong quá trình ăn khớp của cặp biên dạng răng thân khai (E_1), (E_2), điểm tiếp xúc M luôn luôn di chuyển trên đường thẳng N_1N_2 , tiếp tuyến chung của hai vòng tròn cơ sở (C_{b1}) , (C_{b2}) . Đường thẳng N_1N_2 chính là đường ăn khớp của cặp biên dạng thân khai. Tuy nhiên, trong cặp bánh răng ngoại tiếp, điểm tiếp xúc M không thể chạy vượt ra ngoài đoạn N_1N_2 : đoạn thẳng N_1N_2 được gọi là đoạn ăn khớp lý thuyết.

• Góc ăn khớp

Góc α_w tạo bởi pháp tuyến chung tại điểm tiếp xúc M của hai biên dạng (cũng chính là đường ăn khớp nn) và tiếp tuyến chung tt tại P với hai vòng lăn (C_{b1}) , (C_{b2}) : $\alpha_w = (\text{nn}, \text{tt})$

Ta có:
$$\cos \alpha_w = \frac{r_{b1}}{r_{w1}} = \frac{r_{b2}}{r_{w2}}$$

Với cặp biên dạng thân khai, hai tâm quay O_1, O_2 cho trước, các bán kính r_{b1}, r_{b2} của các vòng tròn cơ sở là không đổi nên đường ăn khớp N_1N_2 cố định. Như vậy, góc ăn khớp α_w trong cặp biên dạng thân khai là không đổi.

• Khả năng dịch trục của cặp biên dạng răng thân khai

Ta có: $r_{b1} = O_1P \cdot \cos \alpha_w = r_{w1} \cos \alpha_w$

Và $r_{b2} = O_2P \cdot \cos \alpha_w = r_{w2} \cos \alpha_w$

$$\Rightarrow i_{12} = \frac{O_2P}{O_1P} = \frac{r_{w2}}{r_{w1}} = \frac{r_{b2}}{r_{b1}}$$

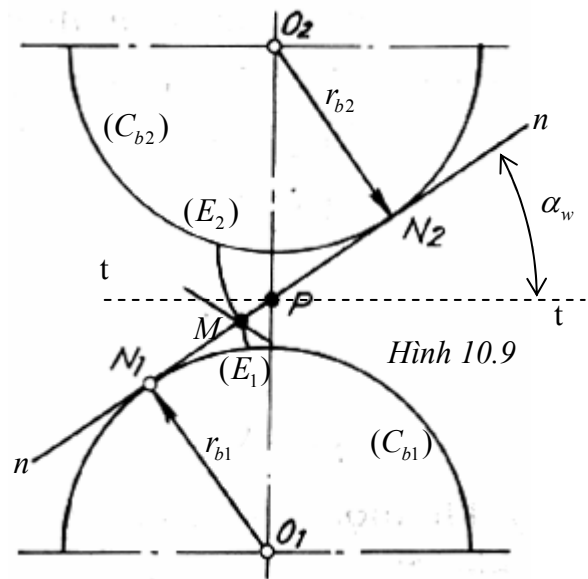
Nghĩa là tỷ số truyền có thể xác định theo bán kính các vòng tròn cơ sở, không phụ thuộc vào khoảng cách trục $a_w = O_1O_2 = r_{w1} + r_{w2}$. Do đó, khi thay đổi (một chút ít) khoảng cách trục a_w của cặp biên dạng răng thân khai cho trước, thì bán kính các vòng lăn r_{w1}, r_{w2} đều thay đổi, nhưng tỷ số truyền i_{12} vẫn không thay đổi, bởi vì bán kính các vòng cơ sở r_{b1}, r_{b2} vẫn không thay đổi.

Đặc điểm quan trọng này của cặp bánh răng thân khai gọi là khả năng dịch trục. Khi lắp ráp, nếu khoảng cách trục a_w của cặp bánh răng thân khai có không chính xác thì tỷ số truyền vẫn không thay đổi.

§2. Điều kiện để tỷ số truyền của một cặp bánh răng thân khai bằng hằng số

• Với một cặp bánh răng thân khai, mỗi cặp biên dạng răng ăn khớp (E_1) và (E_2) bị giới hạn bởi hai vòng đỉnh răng (C_{a1}) và (C_{a2}) .

Giả sử bánh dẫn là bánh (1) và có chiều quay như hình 10.10. Cặp biên dạng (E_1), (E_2) tiếp xúc nhau tại M. Pháp tuyến chung tại M của (E_1), (E_2) là đường thẳng nn, tiếp xúc với hai



Hình 10.9

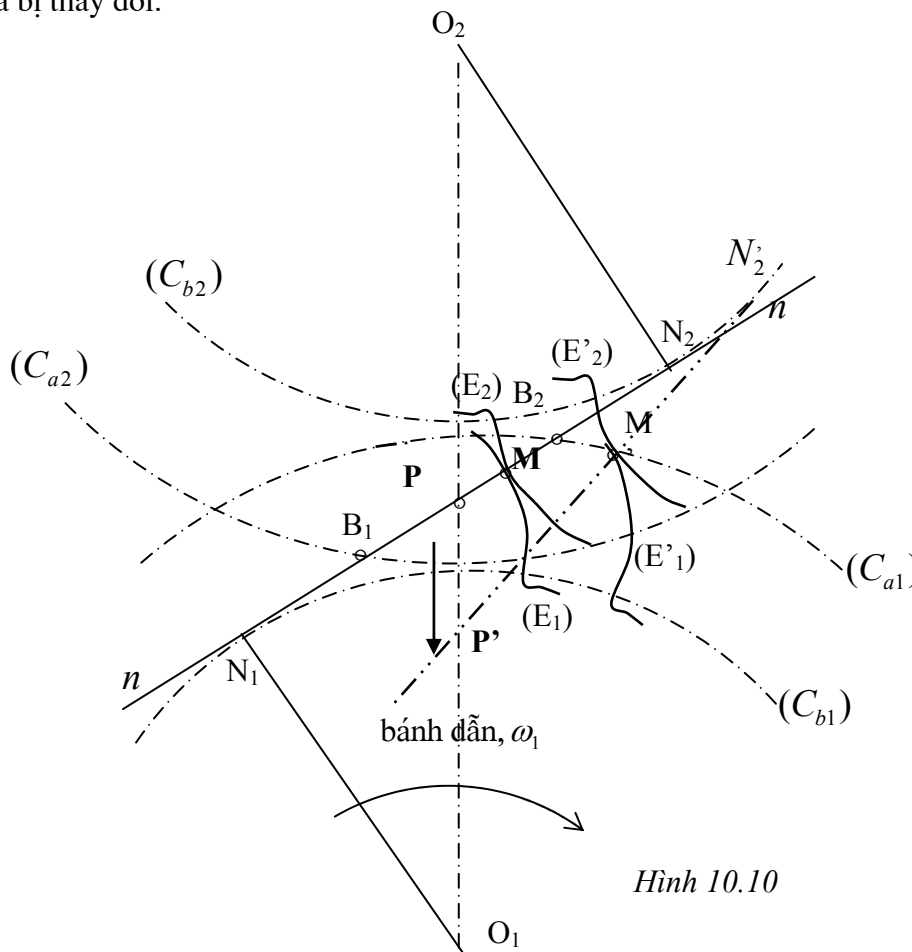
vòng tròn cơ sở $(C_{b1}), (C_{b2})$. Đường N_1N_2 chính là đường ăn khớp của cặp biên dạng $(E_1), (E_2)$. Gọi $B_1 = (C_{a2}) \cap (N_1N_2)$ và $B_2 = (C_{a1}) \cap (N_1N_2)$.

Chỉ khi nào điểm tiếp xúc M của **cặp biên dạng răng** $(E_1), (E_2)$ di chuyển trong đoạn B_1B_2 , từ điểm B_1 đến điểm B_2 , thì pháp tuyến chung nn của cặp biên dạng mới cắt đường nối tâm O_1O_2 tại điểm P cố định. Lúc đó tỷ số truyền của cặp biên dạng là hằng số.

Điểm B_1 gọi là điểm vào khớp, điểm B_2 gọi là điểm ra khớp.

Đoạn thẳng B_1B_2 gọi là **đoạn ăn khớp thực**.

- Sau điểm ra khớp B_2 , nếu cặp biên dạng nói trên còn tiếp tục đẩy nhau chuyển động, ví dụ đẩy nhau tại vị trí $(E'_1), (E'_2)$, chúng sẽ tiếp xúc nhau tại điểm M' nằm trên vòng đỉnh (C_{a1}) của biên dạng (E'_1) . Tại M', pháp tuyến của (E'_1) là vô định vì M' là điểm nhọn, còn pháp tuyến của (E'_2) là đường thẳng $M'N'_2$, tiếp tuyến với vòng tròn (C_{b2}) . Khi đó, pháp tuyến chung tại điểm M' của $(E'_1), (E'_2)$ sẽ là đường thẳng $M'N'_2$ và tâm ăn khớp bây giờ là $P' = M'N'_2 \cap O_1O_2$. Điểm P đã tiến dần về phía tâm quay O_1 , tỷ số truyền i_{12} của cặp biên dạng đã bị thay đổi.



- Tóm lại, trong cặp bánh răng thân khai, **mỗi cặp biên dạng** ăn khớp $(E_1), (E_2)$ chỉ cho tỷ số truyền i_{12} bằng hằng số khi điểm tiếp xúc M của chúng chạy trong đoạn ăn khớp thực B_1B_2 , từ điểm B_1 đến điểm B_2 .

- Quá trình ăn khớp của cặp bánh răng thân khai là **sự liên tục kế tiếp nhau vào tiếp xúc** của nhiều **cặp biên dạng** răng ăn khớp. Do đó, để tỷ số truyền i_{12} của một **cặp bánh răng** là hằng số, thì mỗi cặp biên dạng răng chỉ được tiếp xúc với nhau trong đoạn ăn khớp thực B_1B_2 . Muốn vậy thì khi cặp biên dạng ăn khớp thứ nhất $(E_1), (E_2)$ đang tiếp xúc tại B_2 (đang bắt đầu ra khớp tại B_2) thì cặp biên dạng kế tiếp $(E'_1), (E'_2)$ phải **bắt đầu vào tiếp xúc** hay **đã vào tiếp xúc** trên đoạn ăn khớp thực B_1B_2 .

Điều kiện này gọi là điều kiện *ăn khớp đều* của cặp bánh răng thân khai. Để thỏa mãn điều kiện ăn khớp đều, cần phải thỏa mãn đồng thời hai điều kiện sau đây : Điều kiện ăn khớp đúng và điều kiện ăn khớp trùng.

1) Điều kiện ăn khớp đúng và ăn khớp trùng của cặp bánh răng thân khai

- Giả sử cặp biên dạng thứ nhất là (E_1) , (E_2) đang chuẩn bị ra khớp tại điểm B_2 . Cặp biên dạng kế tiếp là (E_1') , (E_2') phải đang tiếp xúc nhau tại một điểm M nằm trong đoạn B_1B_2 . Gọi p_{N_1} và p_{N_2} là bước răng đo trên đường ăn khớp N_1N_2 (khoảng cách đo trên đường ăn khớp giữa hai biên dạng răng cùng phía kề nhau, còn gọi là bước ăn khớp). Để (E_1') và (E_2') có thể tiếp xúc với nhau, phải có điều kiện :

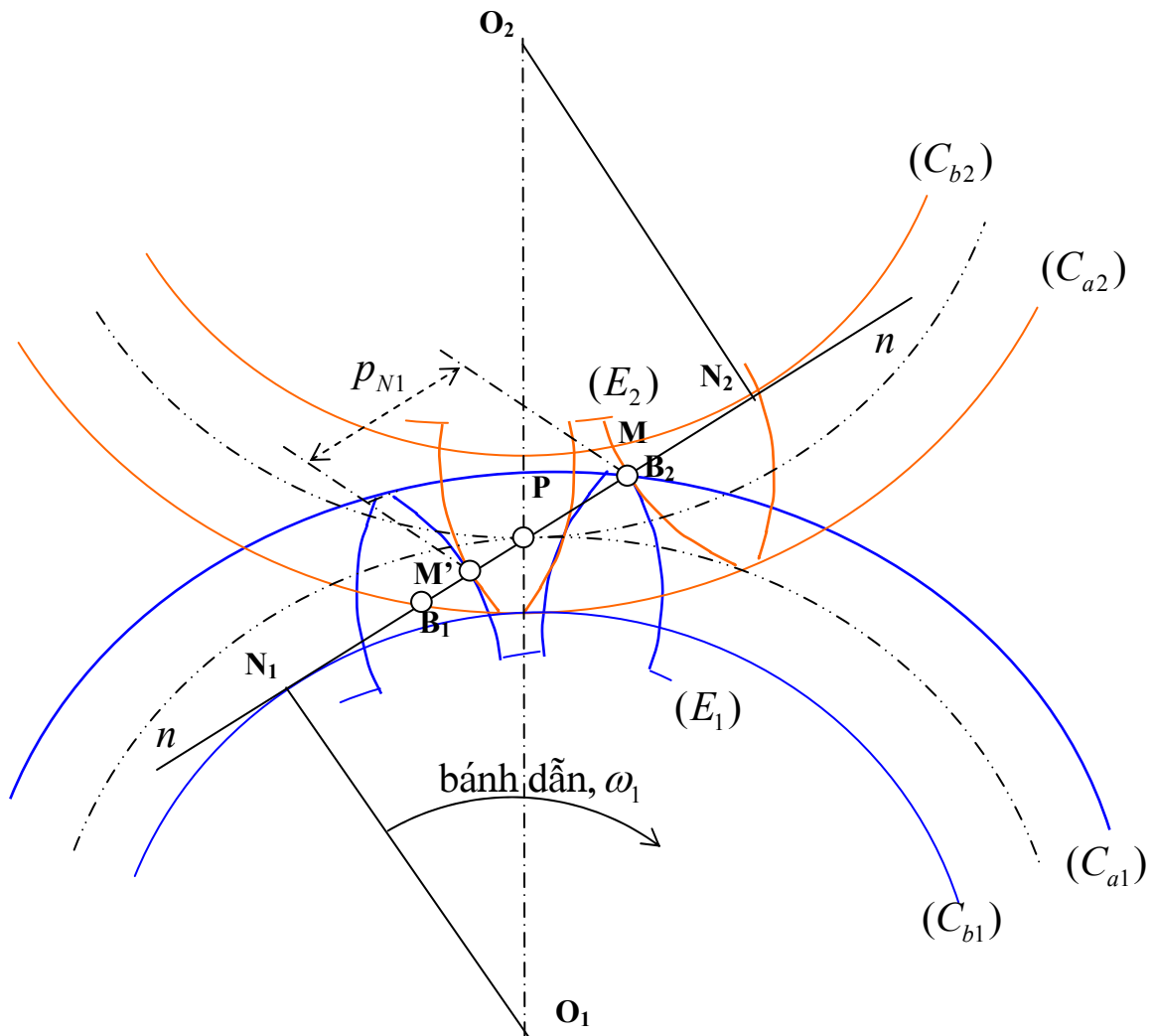
$$\boxed{p_{N_1} = p_{N_2} = p_N} \quad (10.1)$$

Hơn nữa, để (E_1') và (E_2') có thể tiếp xúc với nhau tại một điểm M' nằm trong đoạn ăn khớp thực B_1B_2 , phải có thêm điều kiện: $p_N \leq B_1B_2$

Hay :
$$\boxed{\varepsilon = \frac{B_1B_2}{p_N} \geq 1} \quad (10.2)$$

Điều kiện (10.1) được gọi là điều kiện ăn khớp đúng.

Điều kiện (10.2) được gọi là điều kiện ăn khớp trùng. $\varepsilon = \frac{B_1B_2}{p_N}$ được gọi là hệ số trùng khớp.



Hình 10.11 : Điều kiện ăn khớp đúng và ăn khớp trùng

- Theo tính chất đường thân khai, ta có : $p_{N_1} = p_{b_1}$; $p_{N_2} = p_{b_2}$ với p_{b_1} ; p_{b_2} là bước răng đo trên vòng cơ sở của bánh (1) và bánh (2).

Điều kiện ăn khớp đúng viết lại như sau : $p_{b1} = p_{b2} = p_b$

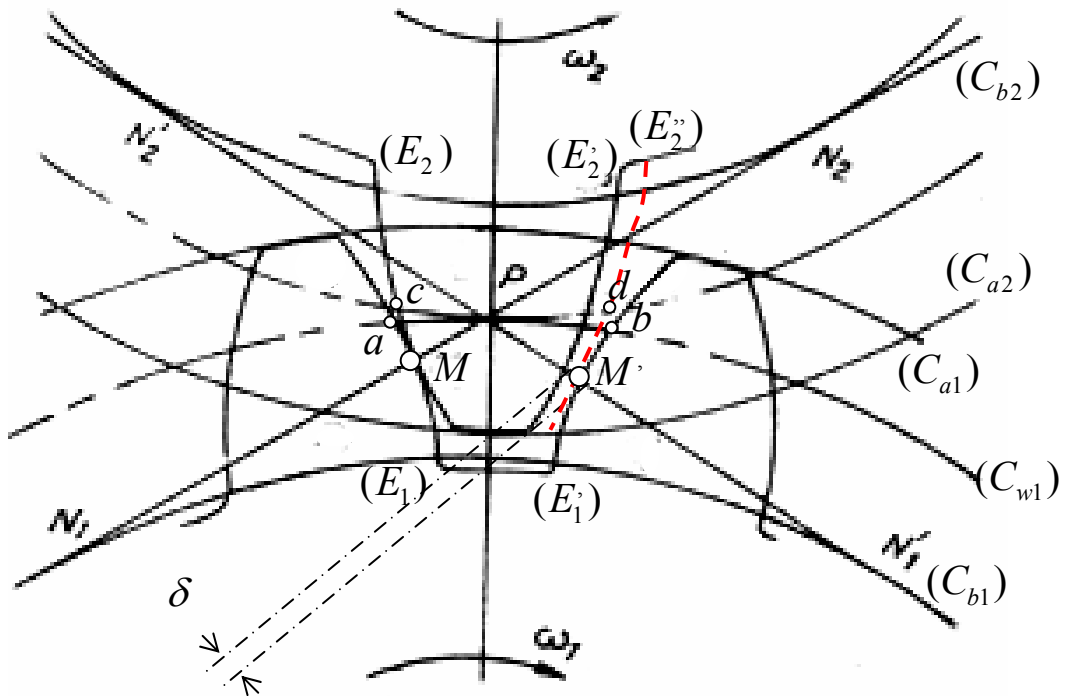
Điều kiện ăn khớp đúng cũng có thể viết theo bước răng trên vòng lăn : $p_{w1} = p_{w2}$ với $p_{w1}; p_{w2}$ là bước răng trên vòng lăn của bánh (1) và bánh (2).

2) Điều kiện ăn khớp khít của cặp bánh răng thân khai

- Sau khi điều kiện ăn khớp đúng và ăn khớp trùng đã thoả mãn, tỷ số truyền i_{12} của cặp bánh răng sẽ bằng hằng số nếu như bánh dẫn không đổi chiều quay.
- Với bánh (1) là bánh dẫn và có chiều quay ω_1 thì cặp biên dạng làm việc là $(E_1), (E_2)$ đang tiếp xúc nhau tại M, đoạn ăn khớp lý thuyết là N_1N_2 , đoạn ăn khớp thực là B_1B_2 . Nếu bánh dẫn đổi chiều quay thì cặp biên dạng làm việc đổi phía thành $(E'_1), (E'_2)$, đoạn ăn khớp lý thuyết và đoạn ăn khớp thực trở thành $N'_1N'_2$ và $B'_1B'_2$ (hình 10.12). Nếu giữa $(E'_1), (E'_2)$ không tiếp xúc (giữa hai biên dạng có khe hở δ gọi là *khe hở cạnh răng*) thì trước tiên sẽ có hiện tượng gián đoạn truyền động, sau đó là va đập. Do đó trong quá trình chuyển tiếp từ khi cặp biên dạng $(E_1), (E_2)$ thôi ăn khớp đến khi cặp biên dạng $(E'_1), (E'_2)$ vào ăn khớp, tỷ số truyền i_{12} của cặp bánh răng đã bị thay đổi. Như vậy, để tỷ số truyền i_{12} của cặp bánh răng bằng hằng số khi bánh dẫn (1) đổi chiều quay thì, tương ứng với điểm M', cặp biên dạng làm việc phải là $(E'_1), (E'_2)$ đang tiếp xúc với nhau.

Ăn khớp không có khe hở cạnh răng δ được gọi là *ăn khớp khít*.

- *Suy diễn điều kiện ăn khớp khít (hình 10.12)*



Hình 10.12 : Điều kiện ăn khớp khít

✓ Gọi $a = (E_1) \cap (C_{w1})$; $b = (E'_1) \cap (C_{w1})$; $c = (E_2) \cap (C_{w2})$; $d = (E'_2) \cap (C_{w2})$

Khi bánh dẫn quay theo chiều ω_1 đến khi điểm tiếp xúc M của $(E_1), (E_2)$ trùng với P thì :

$$a \rightarrow P \text{ và } c \rightarrow P. \text{ Vì } (C_{w1}), (C_{w2}) \text{ lăn không trượt trên nhau nên : } \widehat{aP} = \widehat{cP} \quad (10.3)$$

Khi bánh dẫn quay theo chiều ngược lại đến khi điểm tiếp xúc M' của $(E'_1), (E'_2)$ trùng với P thì:

$$b \rightarrow P \text{ và } d \rightarrow P. \text{ Vì } (C_{w1}), (C_{w2}) \text{ lăn không trượt trên nhau nên : } \widehat{bP} = \widehat{dP} \quad (10.4)$$

Từ (10.3) và (10.4) suy ra : $\widehat{ab} = \widehat{cd}$, nghĩa là : $\boxed{W_{W1} = S_{W2}}$.

Tương tự , ta cũng có : $\boxed{S_{W1} = W_{W2}}$

Với W_{W1}, W_{W2} lần lượt là chiều rộng rãnh trên vòng lăn của bánh (1) và bánh (2); S_{W1}, S_{W2} lần lượt là chiều dày răng trên vòng lăn của bánh (1) và bánh (2).

✓ Tóm lại, điều kiện ăn khớp khít của cặp bánh răng thân khai: *Chiều dày răng trên vòng lăn của bánh nọ bằng chiều rộng rãnh trên vòng lăn của bánh kia.*

• Tuy nhiên trên thực tế, để bù lại các sai số do chế tạo và lắp ráp, để phòng ngừa sự dẫn nở vì nhiệt và lưu thông dầu bôi trơn, người ta thường tạo ra một khe hở cạnh răng nhất định, do đó rất khó bảo đảm được điều kiện ăn khớp khít.

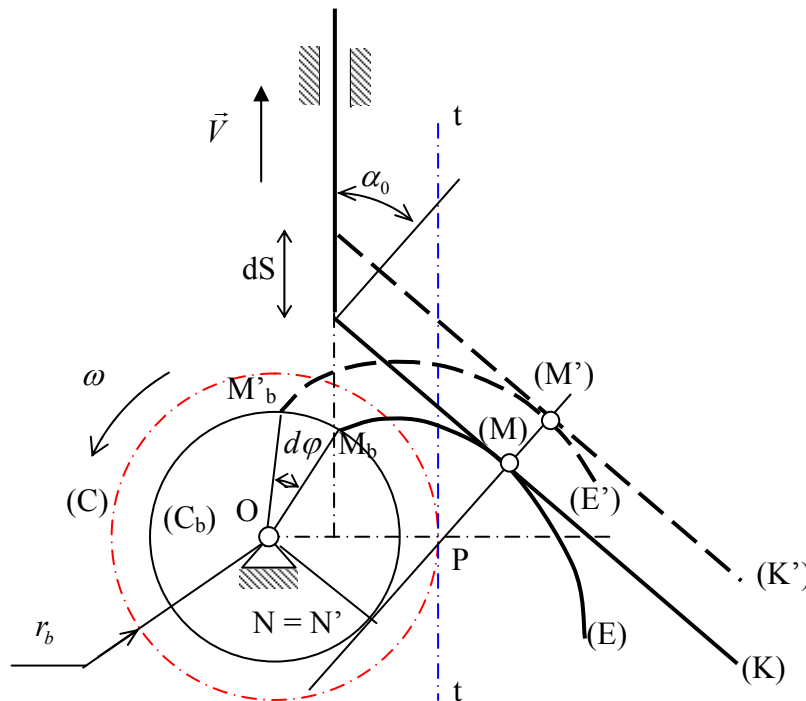
§3. Các thông số chế tạo cơ bản của bánh răng thân khai

1) Phương pháp bao hình để tạo hình biên dạng thân khai

• Xét cơ cấu cam cần đẩy đáy bằng, có biên dạng cam là đường thân khai (E), có vòng tròn cơ sở là $C_b(O, r_b)$, đáy cần là đường thẳng (K), góc áp lực đáy cần là α_0 (hình 10.13).

Lúc đầu, cam và cần ở vị trí (E) và (K), tiếp xúc nhau tại điểm M, pháp tuyến chung tại M của (E) và (K) là đường thẳng NM tiếp xúc với vòng cơ sở (C_b). Sau khoảng thời gian dt, cam và cần đến vị trí mới là (E') và (K'), tiếp xúc nhau tại M', cần đi được một đoạn dS, cam quay được một góc $d\varphi$, pháp tuyến chung tại M' của (E') và (K') là đường thẳng N'M' tiếp xúc với vòng cơ sở (C_b).

Do (K) và (K') song song với nhau nên $NM \equiv N'M'$.



Hình 10.13 : Nguyên tắc bao hình để tạo hình biên dạng răng thân khai

• Ta có : $dS = \frac{MM'}{\cos \alpha_0}$ và $d\varphi = \frac{\widehat{M_b M'_b}}{r_b} = \frac{MM'}{r_b} \Rightarrow \frac{dS}{d\varphi} = \frac{r_b}{\cos \alpha_0}$ (10.5)

Gọi V và ω lần lượt là vận tốc tịnh tiến của cần và vận tốc góc của cam, ta có :

$$\frac{dS}{dt} = V \quad (10.6)$$

Và: $\frac{d\varphi}{dt} = \omega$ (10.7)

Từ (10.5), (10.6) và (10.7) suy ra: $\frac{V}{\omega} = \frac{r_b}{\cos \alpha_0}$ hay: $V = \frac{r_b}{\cos \alpha_0} \cdot \omega$

• Từ O, vẽ đường thẳng vuông góc với phương trượt của cần, cắt NM tại P. Đặt $r = OP$.

Ta có: $r = \frac{r_b}{\cos \alpha_0} \Rightarrow V = r \cdot \omega$

Gọi (C) là vòng tròn tâm O, bán kính $r = OP$ gắn trên cam. (tt) là đường thẳng gắn cứng trên cần, song song với phương trượt của cần và tiếp xúc với (C) tại điểm P.

Do $V = r \cdot \omega$, tức là vận tốc tịnh tiến của cần bằng vận tốc tiếp tuyến của vòng tròn (C) nên đường thẳng (tt) lăn không trượt trên vòng tròn (C).

• Như vậy, khi cho cam và cần tiếp xúc và đẩy nhau chuyển động thì $V = \frac{r_b}{\cos \alpha_0} \cdot \omega$ và đường

thẳng (tt) gắn trên cần sẽ lăn không trượt với vòng tròn (C) gắn trên cam.

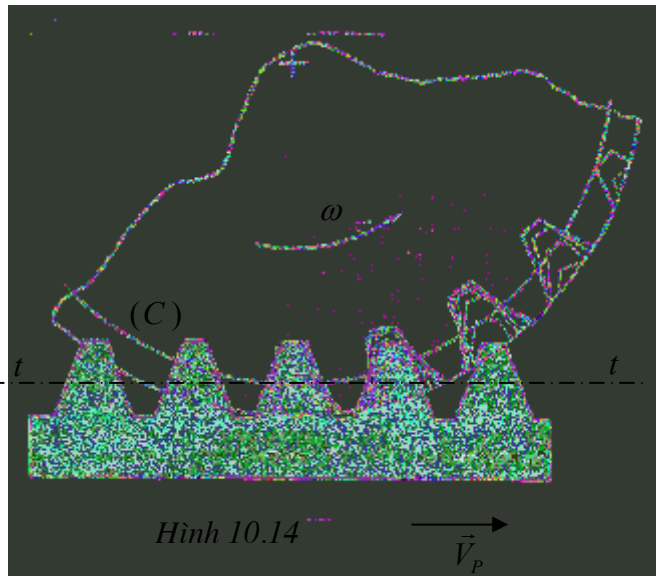
Ngược lại, khi cho (tt) gắn trên cần lăn không trượt với vòng tròn (C) gắn trên cam, tức là cho cam quay với vận tốc góc ω , cần tịnh tiến với vận tốc V với $V = \frac{r_b}{\cos \alpha_0} \cdot \omega$, thì cam và cần sẽ

tiếp xúc và đẩy nhau chuyển động và do đó biên dạng thân khai (E) sẽ là bao hình của các vị trí khác nhau của (K) trong chuyển động tương đối đối với cam.

• Từ đó, suy ra phương pháp bao hình để tạo hình biên dạng răng thân khai:

✓ Cho đường thẳng (tt) lăn không trượt với vòng tròn (C). Gọi (K) là đoạn thẳng gắn cứng trên (tt), có pháp tuyến làm với (tt) một góc bằng α_0 . Tại những thời điểm khác nhau trong chuyển động tương đối của (tt) đối với vòng (C), ta ghi lại các vết của (K) trên mặt phẳng gắn liền với vòng (C). Ta sẽ nhận được những đường thẳng mà bao hình là đường thân khai vòng tròn (hình 10.16).

✓ Nếu thay vì đoạn thẳng (K), ta gắn cứng lên (tt) thanh răng hình thang thì trên mặt phẳng gắn liền với vòng tròn (C), sẽ nhận được những họ đường thẳng mà bao hình là các cặp biên dạng thân khai đối xứng với nhau từng đôi một của bánh răng thân khai (hình 10.14).



Hình 10.14

2) Thanh răng sinh và thông số của thanh răng sinh

• Thanh răng dùng để tạo hình bánh răng thân khai gọi là *thanh răng sinh*. Hình dạng và kích thước thanh răng sinh quyết định hình dạng và kích thước của dao dùng cắt bánh răng theo phương pháp bao hình, do đó thanh răng sinh được tiêu chuẩn hoá.

Thanh răng sinh có các răng hình thang cân, giống hệt nhau và bố trí cách đều nhau.

Đường thẳng t_0t_0 song song với đường đỉnh và đường chân, chia đôi răng theo chiều cao gọi là *đường trung bình*. Trên t_0t_0 , chiều rộng răng s_0 bằng chiều rộng rãnh w_0 : $s_0 = w_0$.

• Các thông số của thanh răng sinh

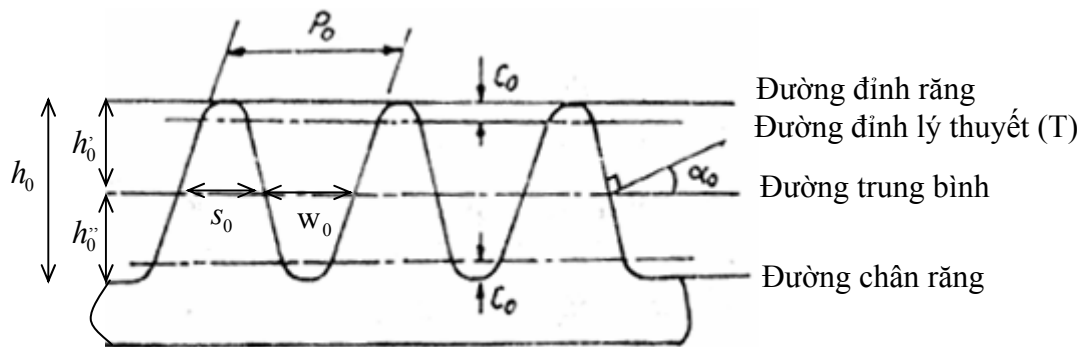
✓ Bước răng của thanh răng p_0 (khoảng cách giữa hai biên dạng răng cùng phía của hai răng kề nhau đo trên một đường thẳng song song với đường đỉnh hoặc đường chân)

- ✓ Modul: $m_0 = \frac{P_0}{\pi}$. Modul m_0 được tiêu chuẩn hoá.
- ✓ Góc áp lực của thanh răng α_0 : nửa góc ở đỉnh của hình thang cân. Góc α_0 cũng được tiêu chuẩn hoá: $\alpha_0 = 20^\circ$ và là một thông số về hình dạng răng.
- ✓ Chiều dày răng s_0 và chiều rộng rãnh w_0 đo trên đường trung bình.

Ta có: $s_0 = w_0 = \frac{P_0}{2} = \frac{\pi m_0}{2}$

- ✓ Chiều cao đỉnh răng h_0^+ và chiều cao chân răng h_0^- (khoảng cách từ đường trung bình đến đường đỉnh và đường chân): $h_0^+ = h_0^- = 1,25m_0$
- ✓ Chiều cao răng $h_0 = 2,5m_0$
- ✓ Chiều cao phần lượn tròn ở đỉnh răng và ở chân răng: $c_0 = 0,25m_0$

Thực ra, phần lượn tròn ở đỉnh răng không có ý nghĩa gì trong việc tạo hình biên dạng thân khai, do vậy người ta thường dùng chiều cao lý thuyết của đỉnh răng $h_0^+ = 1,25m_0$ và chiều cao lý thuyết của chân răng $h_0^- = 1,25m_0$.



Hình 10.15: Thanh răng sinh

3) Các thông số chế tạo cơ bản của bánh răng thân khai

➤ Trong phương pháp tạo biên dạng răng bằng bao hình nói trên, vòng tròn (C) được gọi là vòng chia của bánh răng. Đường thẳng (tt), gắn cứng với thanh răng sinh và lăn không trượt với vòng chia (C), được gọi là đường chia.

Bán kính vòng chia r phụ thuộc vào vận tốc V của thanh răng và vận tốc góc ω của bánh răng

được tạo hình: $r = \frac{V}{\omega} = \frac{r_b}{\cos \alpha_0}$.

➤ **Các thông số chế tạo cơ bản của bánh răng thân khai**

- Bước răng p trên vòng chia:

Vì vòng chia lăn không trượt với đường chia nên $p = p_0$

Modul của bánh răng: $m = \frac{P}{\pi} \Rightarrow m = \frac{P}{\pi} = \frac{P_0}{\pi} = m_0$.

- Góc áp lực α trên vòng chia:

Góc ăn khớp của thanh răng và bánh răng trong quá trình tạo hình bánh răng thân khai bằng phương pháp bao hình (góc giữa pháp tuyến PN với cạnh răng của thanh răng sinh và đường chia (tt)) (hình 10.16).

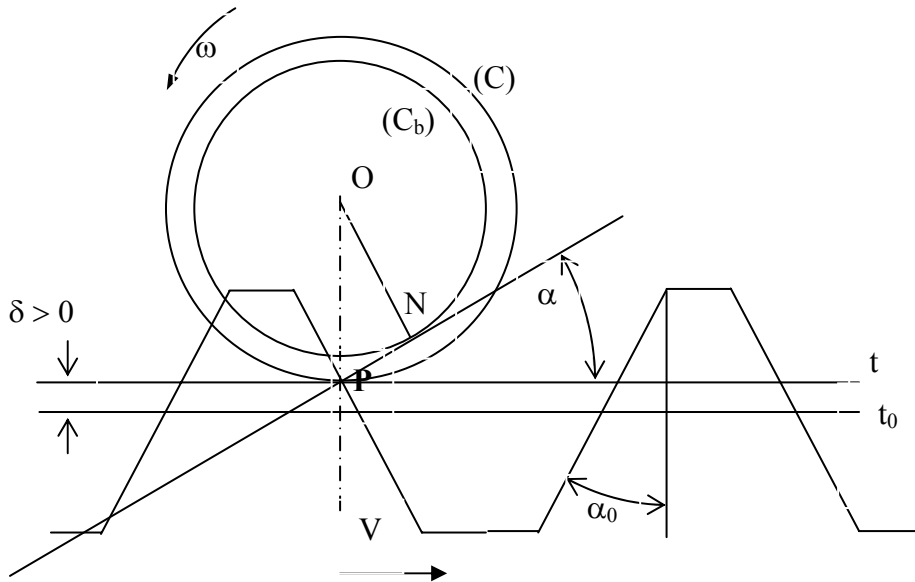
Ta có: $\cos \alpha = \frac{r_b}{r}$ và $\alpha = \alpha_0$

- Số răng Z của bánh răng được cắt:

Chu vi vòng chia: $Zp = 2\pi r \Rightarrow Z\pi m = 2\pi r \Rightarrow \boxed{Z = \frac{2r}{m}}$ hay : $\boxed{r = \frac{1}{2}mZ}$

• **Khoảng dịch dao δ - Hệ số dịch dao x :**

Trong quá trình tạo hình bánh răng thân khai bằng phương pháp bao hình, đường trung bình t_0t_0 của thanh răng sinh không nhất thiết phải trùng với đường chia tt. Khoảng cách giữa đường trung bình t_0t_0 và đường chia tt gọi là *khoảng dịch dao δ* . Hệ số $x = \frac{\delta}{m}$ gọi là *hệ số dịch dao*.



Hình 10.16

Quy ước về dấu:

$x = 0$: nếu đường trung bình tiếp xúc với vòng chia

$x > 0$: nếu đường trung bình nằm ngoài vòng chia

$x < 0$: nếu đường trung bình cắt vòng chia.

Bánh răng có $x = 0$ gọi là bánh răng *tiêu chuẩn*; bánh răng có $x \neq 0$ gọi là bánh răng *dịch dao* (nếu $x > 0$ - bánh răng dịch dao dương; nếu $x < 0$ - bánh răng dịch dao âm).

Bốn thông số m, α, Z và x là bốn thông số cơ bản của bánh răng thân khai. m là thông số về kích thước, tất cả các kích thước của bánh răng đều được tính theo m . α là thông số về biên dạng răng. Khi biết bốn thông số trên, kích thước của bánh răng hoàn toàn xác định.

• **Xác định một vài kích thước của bánh răng**

✓ Với bánh răng tiêu chuẩn ($x = 0$) : Đường chia và đường trung bình trùng nhau.

Do đó trên đường chia, ta có : $s_0 = w_0 = \frac{p_0}{2} = \frac{\pi m_0}{2}$

Mặt khác, đường chia và vòng chia lăn không trượt trên nên : $s = w_0, w = s_0$, với s và w là chiều dày răng và chiều rộng rãnh của bánh răng đo trên vòng chia.

Suy ra : $\boxed{s = w = \frac{p}{2} = \frac{\pi m}{2}}$

✓ Với bánh răng dịch dao (hình 10.17) :

Trên đường chia tt, chiều dày răng của thanh răng :

$$s_0 = A'B' = AB - 2AA'$$

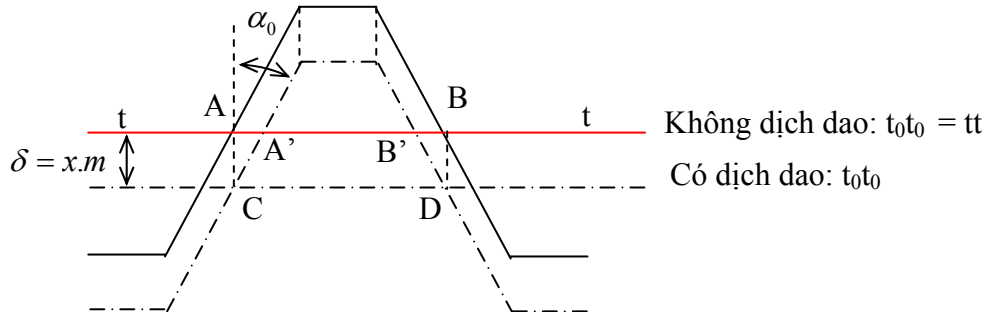
$$\Rightarrow s_0 = \frac{\pi m_0}{2} - 2xm_0 \cdot \text{tg}\alpha_0$$

$$\Rightarrow s_0 = m_0 \left(\frac{\pi}{2} - 2x \cdot \text{tg}\alpha_0 \right)$$

Do đường chia (tt) lăn không trượt trên vòng chia (C), nên: $w = s_0$

$$\Rightarrow w = s_0 = m \left(\frac{\pi}{2} - 2x \cdot \text{tg} \alpha \right)$$

Bằng cách lý luận tương tự, ta cũng suy được : $s = m \left(\frac{\pi}{2} + 2x \cdot \text{tg} \alpha \right)$



Hình 10.17

• Ghi chú

Chu vi vòng cơ sở : $Z \cdot p_b = 2\pi r_b \Rightarrow$ Bước răng trên vòng cơ sở : $p_b = \frac{2\pi r_b}{Z}$

Mặt khác : $r = \frac{1}{2} mZ$ và $r = \frac{r_b}{\cos \alpha} \Rightarrow p_b = \pi m \cos \alpha$.

Do đó, có thể viết lại điều kiện ăn khớp đúng như sau :

$$p_{b1} = p_{b2}$$

$$\Leftrightarrow \pi m_1 \cos \alpha_1 = \pi m_2 \cos \alpha_2$$

$$\Leftrightarrow \boxed{m_1 = m_2 = m} \text{ và } \boxed{\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha}$$

Như vậy để thỏa mãn điều kiện ăn khớp đúng, hai bánh răng ăn khớp phải có cùng môđun và góc áp lực trên vòng chia, tức là hai bánh răng phải được tạo hình từ cùng một thanh răng sinh.

4) Hiện tượng cắt chân răng – Số răng và hệ số dịch dao tối thiểu

a) Hiện tượng cắt chân răng

• Hiện tượng cắt chân răng là hiện tượng phần biên dạng thân khai gần gốc M_b bị dao thanh răng cắt lẹm đi trong quá trình cắt bánh răng bằng phương pháp bao hình (hình 10.18).

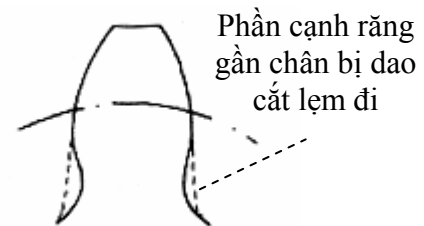
• Trong quá trình tạo hình bánh răng thân khai bằng thanh răng sinh, điểm tiếp xúc M của cạnh răng (K) của thanh răng và biên dạng (E) của bánh răng vạch nên đường thẳng PN gọi là đường ăn khớp của quá trình tạo hình.

Hiện tượng cắt chân răng xảy ra khi đường đỉnh lý thuyết (T) của thanh răng cắt đường ăn khớp PN tại một điểm không thuộc nửa đường thẳng Nx (hình 10.19).

Chứng minh

✓ Giả sử đường đỉnh lý thuyết (T) của thanh răng cắt đường ăn khớp PN tại một điểm S không thuộc nửa đường thẳng Nx. Giả sử tại thời điểm đang xét, cạnh răng (K) của thanh răng và biên dạng thân khai (E) đang tiếp xúc nhau tại điểm N: biên dạng (E) đang nằm bên phải của cạnh răng (K).

✓ Khi vòng chia (C) quay được một góc $d\varphi$, biên dạng (E) và cạnh răng (K) dịch chuyển đến vị trí mới (E') và (K'). Biên dạng (E) đi được một khoảng $\widehat{NN'}$ trên vòng tròn (C_b), một



Hình 10.18

$$\Rightarrow PQ = r \sin^2 \alpha = \frac{1}{2} mZ \cdot \sin^2 \alpha$$

$$\text{Và: } e = h - \delta = 1 \cdot m_0 - x \cdot m_0$$

$$\Rightarrow e = m(1 - x)$$

Do vậy điều kiện để không xảy ra hiện tượng cắt chân răng :

$$e = m(1 - x) \leq PQ = \frac{1}{2} mZ \cdot \sin^2 \alpha$$

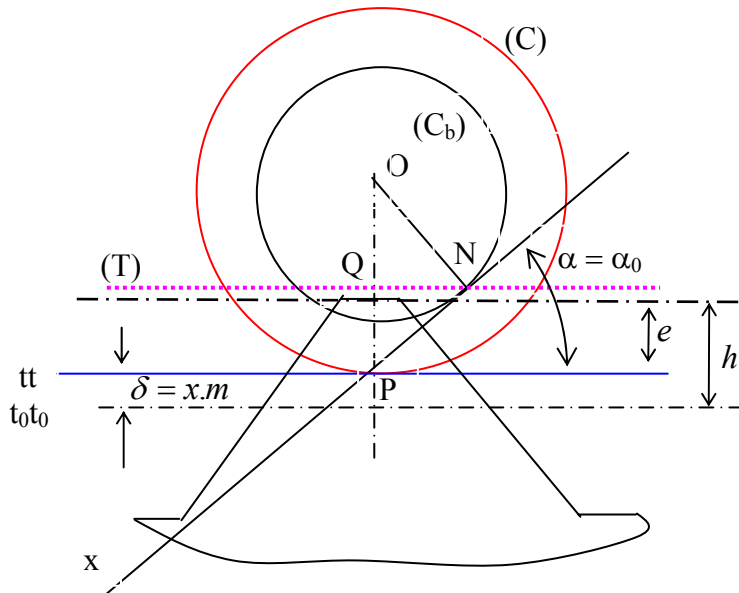
$$\text{Với } \alpha = 20^\circ, \text{ ta có: } \sin^2 \alpha = \frac{2}{17}$$

Do đó hệ số dịch dao và số răng của bánh răng phải thỏa mãn điều kiện: $1 - x \leq \frac{Z}{17}$

+ Khi biết trước hệ số dịch dao x , số răng tối thiểu của bánh răng: $Z_{\min} = 17(1 - x)$

+ Khi biết trước số răng Z , hệ số dịch dao tối thiểu của bánh răng: $x_{\min} = \frac{17 - Z}{17}$

Đối với bánh răng tiêu chuẩn ($x = 0$), để không xảy ra hiện tượng cắt chân răng, số răng tối thiểu của bánh răng phải là $Z = 17$.



Hình 10.21 : Tính hệ số dịch dao và số răng tối thiểu

§4. Các thông số ăn khớp của cặp bánh răng thân khai

1) Phương trình ăn khớp khít

- Giả sử điều kiện ăn khớp đúng đã thỏa mãn, tức là :

$$p_{b1} = p_{b2} = p_b \Leftrightarrow p_{w1} = p_{w2} = p_w \Leftrightarrow \begin{cases} m_1 = m_2 = m \\ \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha \end{cases}$$

Điều kiện ăn khớp khít : $s_{w1} = w_{w2}$; $s_{w2} = w_{w1}$

Thế mà : $p_w = s_{w1} + w_{w1}$

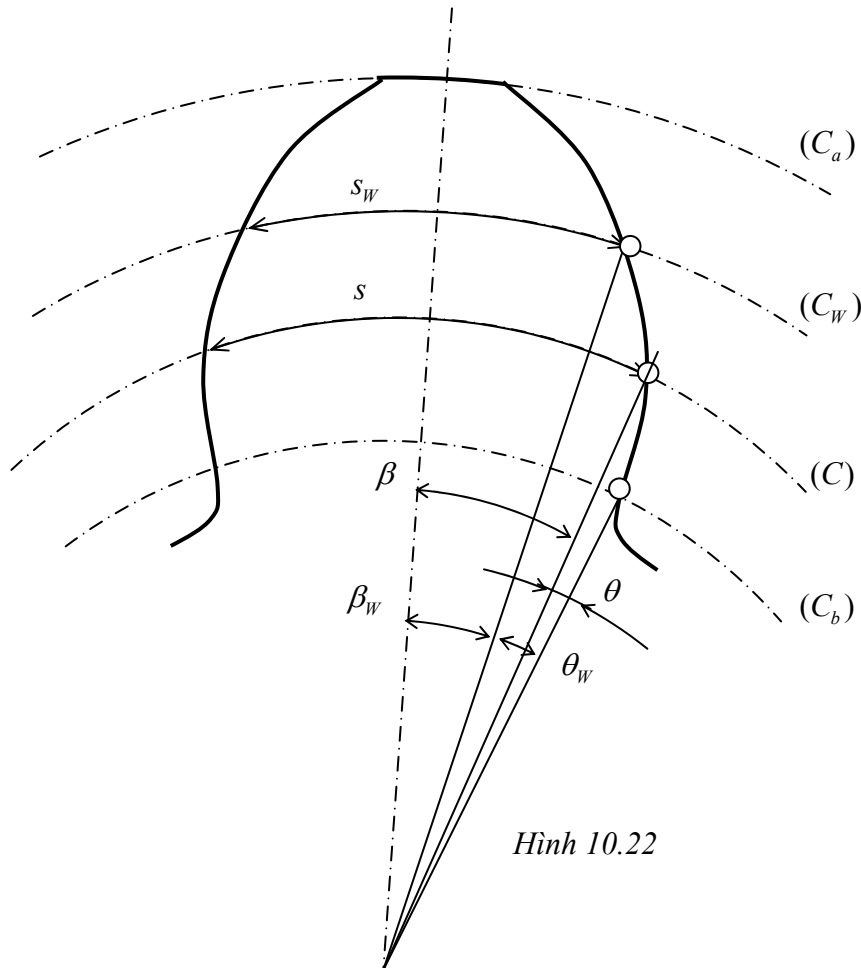
$$\text{Suy ra: } \boxed{p_w = s_{w1} + s_{w2}} \quad (10.8)$$

Hệ thức (10.8) cũng là một dạng của điều kiện ăn khớp khít.

- **Tính bước p_w trên vòng lăn**

$$\text{Ta có: } r_b = r \cos \alpha \text{ và } r_b = r_w \cdot \cos \alpha_w \Rightarrow r_w = r \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w}$$

$$\begin{aligned} \text{Chu vi vòng lăn : } 2\pi r_w = p_w \cdot Z &\Rightarrow p_w = \frac{2\pi r_w}{Z} \Rightarrow p_w = \frac{2\pi}{Z} r \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w} \\ \Rightarrow p_w = \frac{2\pi}{Z} \frac{1}{2} mZ \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w} &\Rightarrow \boxed{p_w = \pi m \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w}} \end{aligned} \quad (10.9)$$



Hình 10.22

• **Tính $s_{w1}; s_{w2}$ trên vòng lăn : (hình 10.23)**

Ta có : $\beta_w + \theta_w = \beta + \theta$ trong đó : $\beta_w = \frac{s_w}{2r_w}$; $\beta = \frac{s}{2r}$

Mặt khác, dựa vào phương trình đường thân khai, ta có : $\theta_w = \text{inv}(\alpha_w)$; $\theta = \text{inv}(\alpha)$

$$\Rightarrow \frac{s_w}{2r_w} + \text{inv}(\alpha_w) = \frac{s}{2r} + \text{inv}(\alpha)$$

$$\Rightarrow s_w = 2r_w \left(\frac{s}{2r} + \text{inv}(\alpha) - \text{inv}(\alpha_w) \right)$$

Mà : $r_w = r \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w}$; $r = \frac{1}{2} mZ$; $s = m \left(\frac{\pi}{2} + 2x \cdot \text{tg} \alpha \right)$

Suy ra : $s_w = m \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w} \left(\frac{\pi}{2} + 2x \cdot \text{tg} \alpha + Z (\text{inv}(\alpha) - \text{inv}(\alpha_w)) \right)$

Như vậy : $s_{w1} = m \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w} \left(\frac{\pi}{2} + 2x_1 \cdot \text{tg} \alpha + Z_1 (\text{inv}(\alpha) - \text{inv}(\alpha_w)) \right)$ (10.10a)

$$s_{w2} = m \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w} \left(\frac{\pi}{2} + 2x_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha + Z_2 (\operatorname{inv}(\alpha) - \operatorname{inv}(\alpha_w)) \right) \quad (10.10b)$$

Thay (10.9) và (10.10) vào (10.8), ta có :

$$\pi m \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w} = m \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w} \left[\pi + 2(x_1 + x_2) \operatorname{tg} \alpha + (Z_1 + Z_2) (\operatorname{inv}(\alpha) - \operatorname{inv}(\alpha_w)) \right]$$

Suy ra :
$$\operatorname{inv}(\alpha_w) = \frac{2(x_1 + x_2)}{Z_1 + Z_2} \operatorname{tg} \alpha + \operatorname{inv}(\alpha) \quad (10.11)$$

Phương trình (10.11) được gọi là phương trình ăn khớp khít của cặp bánh răng thân khai.

• *Ý nghĩa của phương trình ăn khớp khít*

Phương trình (10.11) cho ta mối liên hệ giữa một thông số ăn khớp cơ bản của cặp bánh răng (góc ăn khớp α_w) và các thông số chế tạo cơ bản của từng bánh răng trong cơ cấu ($\alpha, x_1, x_2, Z_1, Z_2$). Do đó phương trình ăn khớp khít cho phép :

- Hoặc căn cứ vào các thông số chế tạo của từng bánh răng, suy ra điều kiện ăn khớp của cặp bánh răng.
- Hoặc tùy theo yêu cầu ăn khớp, có thể chọn các thông số chế tạo (x_1, x_2) cho thích hợp.

2) Các chế độ ăn khớp của cặp bánh răng thân khai

Từ phương trình ăn khớp khít (10.11), ta thấy rằng khi cho trước α, Z_1, Z_2 thì ứng với các giá trị khác nhau của tổng $x = x_1 + x_2$, ta có các giá trị khác nhau của góc ăn khớp α_w , nghĩa là có các chế độ ăn khớp khác nhau.

• **Chế độ ăn khớp tiêu chuẩn**

Khi $x_1 = x_2 = 0$: cặp bánh răng được gọi là *cặp bánh răng tiêu chuẩn*.

• **Chế độ ăn khớp dịch chỉnh đều**

Khi $x_1 = -x_2$: cặp bánh răng được gọi là *cặp bánh răng dịch chỉnh đều*.

• **Chế độ ăn khớp dịch chỉnh dương**

Khi $x_1 + x_2 > 0$: cặp bánh răng được gọi là *cặp bánh răng dịch chỉnh dương*.

3) Các thông số ăn khớp và đặc điểm của chúng trong từng chế độ ăn khớp

➤ **Góc ăn khớp α_w**

Khi $x_1 + x_2 > 0$: Từ (10.11) suy ra : $\operatorname{inv}(\alpha_w) > \operatorname{inv}(\alpha)$ hay $\alpha_w > \alpha$

Khi $x_1 + x_2 = 0$: Tương tự, ta có : $\alpha_w = \alpha$

➤ **Bán kính vòng lăn r_w**

Ta có :
$$r_{w1} = r_1 \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w} ; r_{w2} = r_2 \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w}$$

Khi $x_1 + x_2 > 0$ thì $r_{w1} > r_1, r_{w2} > r_2$

Khi $x_1 + x_2 = 0$ thì $r_{w1} = r_1, r_{w2} = r_2$

➤ **Khoảng cách trục của cặp bánh răng a_w**

Ta có :
$$a_w = r_{w1} + r_{w2} = (r_1 + r_2) \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w} \Rightarrow a_w = \frac{1}{2} m (Z_1 + Z_2) \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w}$$

Đặt $a_0 = \frac{1}{2} m (Z_1 + Z_2)$; a_0 được gọi là khoảng cách trục tiêu chuẩn

Khi $x_1 + x_2 > 0$ thì $a_w > a_0$

Khi $x_1 + x_2 = 0$ thì $a_w = a_0$

➤ **Tỷ số truyền i_{12}**

$$\text{Ta có : } i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_{w2}}{r_{w1}} = \frac{r_{b2}}{r_{b1}} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{\frac{1}{2} m_2 Z_2}{\frac{1}{2} m_1 Z_1}$$

Điều kiện ăn khớp đúng của cặp bánh răng : $m_1 = m_2$

$$\text{Do đó : } i_{12} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

4) Một vài đặc điểm của việc dịch dao và dịch chỉnh ăn khớp

Việc chế tạo bánh răng có dịch dao không phức tạp và đắt hơn bánh răng không dịch dao, chỉ khác là khi cắt răng có dịch dao dương hay âm đã dùng các đoạn thân khai khác nhau của cùng một vòng tròn cơ sở để làm cạnh răng.

• **Với bánh răng dịch dao dương $x > 0$**

◦ Số răng tối thiểu của bánh răng để không xảy ra hiện tượng cắt chân răng : $Z_{\min} = 17(1 - x)$.

Như vậy với bánh răng dịch dao dương, số răng tối thiểu Z_{\min} có thể nhỏ hơn 17 mà không bị cắt chân răng.

◦ Khi dịch dao dương, người ta đã dùng phần đường thân khai xa gốc hơn để làm biên dạng răng. Bán kính cong của phần làm việc của biên dạng răng tăng lên, nhờ đó sức bền tiếp xúc tăng lên.

Tuy nhiên dịch dao dương làm chiều rộng răng trên vòng đỉnh giảm xuống, có thể gây nên hiện tượng nhọn đỉnh răng. Khi thiết kế cần kiểm tra điều kiện không nhọn đỉnh răng : $s_a \leq 0,4.m$ với m và s_a lần lượt là môđun và chiều dày răng trên vòng đỉnh.

◦ Khi dịch dao dương, chiều dày chân răng tăng lên, nhờ đó sức bền uốn tăng lên.

• **Với cặp bánh răng dịch chỉnh**

Với cặp bánh răng dịch chỉnh, ta có thể phân bố hệ số dịch dao x_1, x_2 một cách hợp lý sao cho bảo đảm sức bền uốn đều ở chân răng hai bánh. Mặt khác, nếu khéo chọn hệ số dịch dao x_1, x_2 thì hệ số trượt lớn nhất ở chân răng hai bánh có thể cân bằng nhau, nhờ đó bảo đảm được độ bền mòn đều ở chân răng hai bánh.

• **Với cặp bánh răng dịch chỉnh dương**

◦ Dịch chỉnh dương $x_1 + x_2 > 0$ dùng để bảo đảm một khoảng cách trục cho trước của cơ cấu bánh răng. Thật vậy, với cặp bánh răng có $x_1 + x_2 = 0$ thì khoảng cách trục

$a_w = a_0 = \frac{1}{2} m(Z_1 + Z_2)$, trong đó m được tiêu chuẩn hoá $m = 1 ; 1,5 ; 2 ; 2,5, \dots$, Z_1, Z_2 là số nguyên. Do đó không thể bảo đảm được một khoảng cách trục lẻ tùy ý cho trước của cặp bánh răng.

Với cặp bánh răng dịch chỉnh dương : $x_1 + x_2 > 0$, khoảng cách trục bằng :

$$a_w = \frac{1}{2} m(Z_1 + Z_2) \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w}$$

tùy ý cho trước.

◦ Tuy nhiên dịch chỉnh dương có thể làm giảm hệ số trùng khớp của cặp bánh răng, do đó không nên chọn $x_1 + x_2$ quá lớn. Khi thiết kế cần kiểm tra điều kiện ăn khớp trùng : $\varepsilon \geq 1$.

§5. Hiện tượng trượt biên dạng răng

• Hai biên dạng ăn khớp với nhau là các bao hình của nhau, do đó trong quá trình ăn khớp chúng *vừa lăn vừa trượt* trên nhau.

Vận tốc trượt tương đối $\vec{V}_{M_2M_1}$ tại điểm tiếp xúc M của hai biên dạng nằm theo phương tiếp tuyến chung tt với hai biên dạng tại điểm tiếp xúc M : $V_{M_2M_1} = PM \cdot |\bar{\omega}_2 - \bar{\omega}_1|$, trong đó P là tâm ăn khớp (hình 10.5).

Vận tốc trượt $\vec{V}_{M_2M_1}$ càng lớn khi vị trí tiếp xúc giữa chúng càng xa tâm ăn khớp và chỉ bằng không khi vị trí tiếp xúc trùng với tâm ăn khớp.

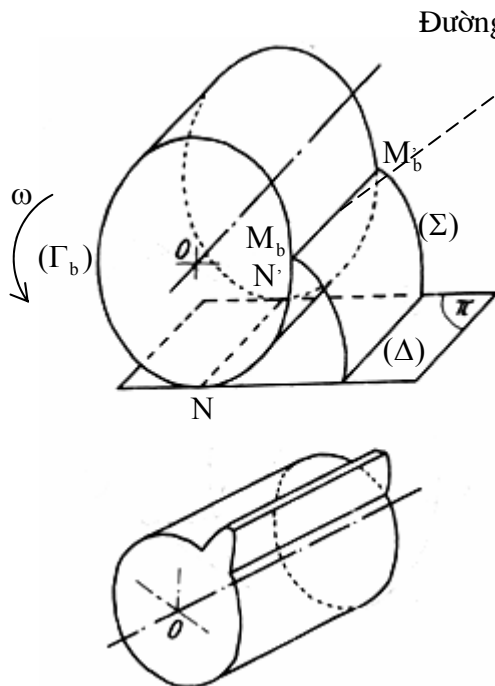
Hiện tượng trượt tương đối này được gọi là hiện tượng *trượt biên dạng*.

- Hiện tượng trượt biên dạng làm mòn bề mặt làm việc của răng, làm giảm hiệu suất của bộ truyền bánh răng. Độ mòn của biên dạng răng do hiện tượng trượt gây ra ở phần chân răng bao giờ cũng lớn hơn độ mòn ở phần đầu răng.

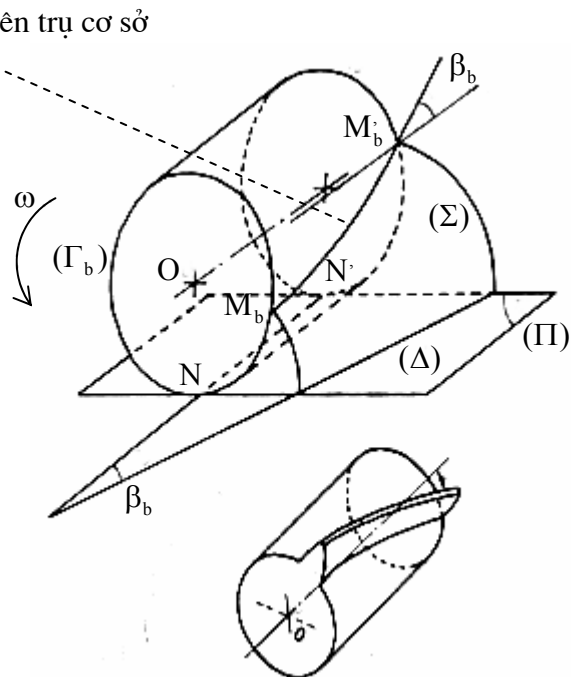
§6. Bánh răng trụ tròn răng thẳng và răng nghiêng

Trong phần trên, chúng ta chỉ mới nghiên cứu bánh răng thân khai *phẳng* trên một tiết diện vuông góc với trục quay của bánh răng. Khi xét đến bề rộng bánh răng thì tùy theo hình dạng đường răng (giao tuyến của mặt răng với một mặt trụ đồng trục với trục quay) sẽ có các kiểu bánh răng khác nhau :

- Bánh răng trụ tròn *răng thẳng* : đường răng là một đường thẳng
- Bánh răng trụ tròn *răng nghiêng* : đường răng là một đường xoắn ốc trụ tròn
- Bánh răng trụ tròn *răng chữ V* : đường răng là hai đường xoắn ốc trụ tròn nối tiếp và đối chiều nhau.



Hình 10.23 : Bánh răng trụ tròn răng thẳng



Hình 10.24 : Bánh răng trụ tròn răng nghiêng

1) Bánh răng trụ tròn răng thẳng

a) Mặt răng

• Tạo hình mặt răng

Cho mặt phẳng (Π) lăn không trượt trên mặt trụ (Γ_b) theo đường sinh NN'. Gọi (Δ) là một đường thẳng thuộc mặt phẳng (Π) và song song với NN'. Khi đó, đường thẳng (Δ) vạch nên một mặt (Σ) gọi là *mặt trụ thân khai*. Mặt trụ (Γ_b) được gọi là *mặt trụ cơ sở* (hình 10.23).

• Tính chất

✓ Giao tuyến của mặt răng (Σ) với một mặt phẳng vuông góc với trục OO' của mặt trụ cơ sở (Γ_b) là một đường thân khai vòng tròn (E) .

- ✓ Giao tuyến của mặt răng (Σ) và mặt trụ cơ sở (Γ_b) là một đường sinh M_bM_b' của mặt trụ cơ sở (Γ_b).
- ✓ Giao tuyến của mặt răng (Σ) với mặt phẳng (Π), tiếp xúc với mặt trụ cơ sở (Γ_b), là một đường thẳng (Δ) song song với trục OO' của mặt trụ cơ sở (Γ_b).
- ✓ Tiếp diện (Π) với mặt trụ cơ sở (Γ_b) cũng là pháp diện của mặt trụ thân khai (Σ) và ngược lại.

b) Đặc điểm tiếp xúc của hai mặt răng

- Cho mặt phẳng (Π) lăn không trượt trên mặt trụ (Γ_{b1}) theo đường sinh N_1N_1' . Khi đó, đường thẳng (Δ_1) thuộc mặt phẳng (Π) với $(\Delta_1) // N_1N_1'$ vạch nên một mặt răng (Σ_1) của bánh răng (1).

Cũng cho mặt phẳng (Π) lăn không trượt trên mặt trụ (Γ_{b2}) theo đường sinh N_2N_2' . Khi đó, đường thẳng (Δ_2) thuộc mặt phẳng (Π) với $(\Delta_2) // N_2N_2'$ vạch nên một mặt răng (Σ_2) của bánh răng (2) (hình 10.23).

Vì hai trục quay O_1O_1 và O_2O_2 song song với nhau nên $(\Delta_1) // (\Delta_2)$. Do vậy khi cho bánh (1) quay theo chiều ω_1 thì có lúc đường thẳng (Δ_1) đến trùng với đường thẳng (Δ_2). Hay nói khác đi, khi ăn khớp hai mặt răng (Σ_1) và (Σ_2) tiếp xúc nhau theo một đường thẳng (Δ) song song với các trục của hai bánh răng và nằm trong mặt phẳng ăn khớp (Π) - mặt phẳng tiếp xúc với chung của hai mặt trụ cơ sở (Γ_{b1}) và (Γ_{b2}).

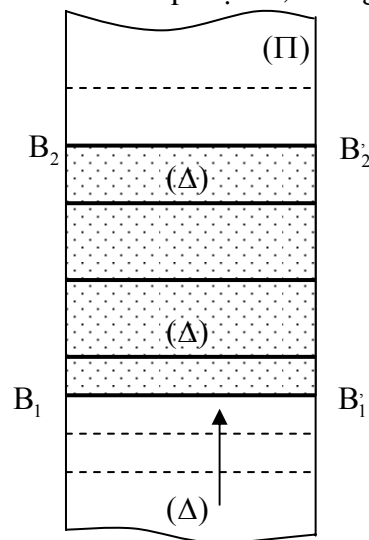
• Ghi chú

- ✓ Bánh răng trụ tròn răng thẳng có thể xem như là một hình khối do một mặt cắt vuông góc với trục của nó vạch ra khi chuyển động tịnh tiến dọc theo trục này. Khi đó, các phần tử hình học trước đây là điểm trở thành đường, là đoạn trở thành miền, là vòng tròn trở thành mặt trụ... Ví dụ vòng chia, vòng lăn, vòng đỉnh.... trở thành mặt trụ chia, mặt trụ lăn, mặt trụ đỉnh.... ; đoạn ăn khớp thực trở thành miền ăn khớp thực... ; đường ăn khớp trở thành mặt phẳng ăn khớp...

- ✓ Thông số chế tạo của bánh răng trụ tròn răng thẳng hoàn toàn giống như các thông số chế tạo xét trên một mặt cắt ngang (mặt cắt vuông góc với trục quay), chỉ thêm một thông số là bề rộng b_w của bánh răng.

- ✓ Do hai mặt răng (Σ_1) và (Σ_2) không phải dài vô hạn mà bị giới hạn bởi hai mặt trụ đỉnh răng (Γ_{a1}), (Γ_{a2}) và hai mặt đầu của các bánh răng, nên hai mặt răng chỉ có thể tiếp xúc nhau trong miền ăn khớp thực $B_1B_1B_2B_2$ (hình 10.25) với B_1B_1 và B_2B_2 lần lượt là giao tuyến của mặt trụ đỉnh (Γ_{a2}) và (Γ_{a1}) với mặt phẳng ăn khớp (Π). Khi đường thẳng tiếp xúc chung (Δ) của hai mặt răng di chuyển đến vị trí B_1B_1 thì hai mặt răng mới vào khớp theo đoạn B_1B_1 . Khi (Δ) di chuyển đến B_2B_2 thì hai mặt răng ra khớp theo đoạn

B_2B_2 . Như vậy, với cặp bánh răng trụ tròn răng thẳng, hai mặt răng vào khớp và ra khớp *đột ngột* trên suốt bề rộng bánh răng : ăn khớp không êm, có va đập và tiếng ồn.



Hình 10.25 : Quá trình ăn khớp của cặp bánh răng trụ tròn răng thẳng

2) Bánh răng trụ tròn răng nghiêng

a) Mặt răng

• Tạo hình mặt răng

Cho mặt phẳng (Π) lăn không trượt trên mặt trụ (Γ_b) theo đường sinh NN' . Gọi (Δ) là một đường thẳng thuộc mặt phẳng (Π) và hợp với NN' một góc $\beta_b \neq 0$. Khi đó, đường thẳng (Δ) vạch nên một mặt (Σ) gọi là *mặt xoắn ốc thân khai*. Mặt trụ (Γ_b) được gọi là mặt trụ cơ sở (hình 10.24).

• Tính chất

- ✓ Giao tuyến của mặt răng (Σ) với một mặt phẳng vuông góc với trục OO' của mặt trụ cơ sở (Γ_b) là một đường thân khai vòng tròn (E).
- ✓ Giao tuyến của mặt răng (Σ) và mặt trụ cơ sở (Γ_b) là đường xoắn ốc trụ tròn $M_bM'_b$, có góc nghiêng β_b , bởi vì $M_bM'_b$ chính là vết in của đường thẳng (Δ) trên mặt trụ cơ sở (Γ_b).
- ✓ Giao tuyến của mặt răng (Σ) với mặt phẳng (Π), tiếp xúc với mặt trụ cơ sở (Γ_b), là một đường thẳng (Δ) hợp với đường sinh NN' của mặt trụ cơ sở (Γ_b) một góc bằng β_b .
- ✓ Tiếp diện (Π) với mặt trụ cơ sở (Γ_b) cũng là pháp diện của mặt xoắn ốc thân khai (Σ) và ngược lại.

• Ghi chú

Bánh răng trụ tròn răng nghiêng có thể coi như là một hình khối do một tiết diện ngang vạch ra, khi cho tiết diện này chuyển động xoắn ốc dọc theo trục thẳng góc xuyên tâm của nó. Do vậy, giao tuyến của mặt răng với các mặt trụ đồng trục với trục quay OO là những đường xoắn ốc trụ tròn có cùng bước xoắn.

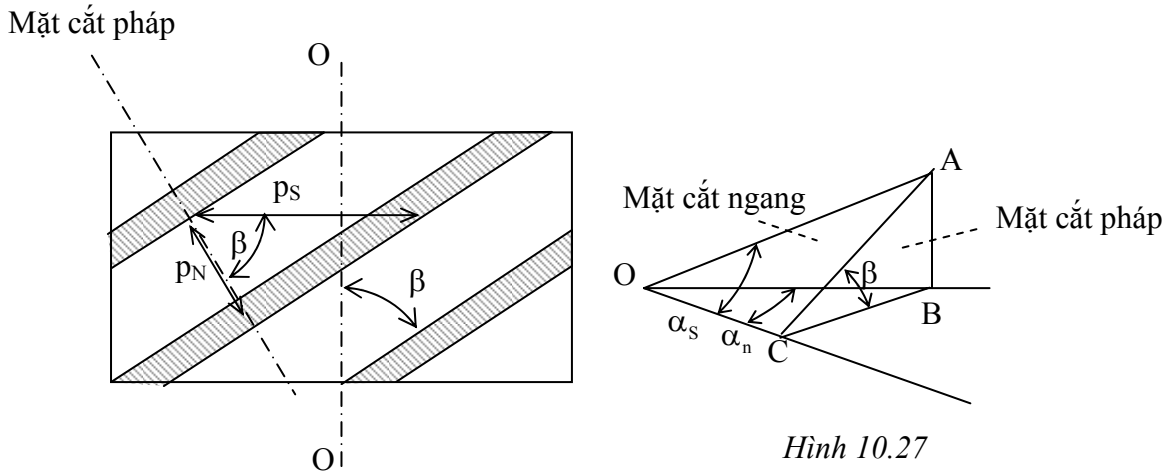
b) Đặc điểm tiếp xúc của hai mặt răng

Cho mặt phẳng (Π) lăn không trượt trên mặt trụ (Γ_{b1}) theo đường sinh $N_1N'_1$. Khi đó, đường thẳng (Δ_1) của mặt phẳng (Π) với $(\Delta_1, N_1N'_1) = \beta_b$ sẽ vạch nên một mặt răng (Σ_1) của bánh răng (1). Cũng cho mặt phẳng (Π) lăn không trượt trên mặt trụ (Γ_{b2}) theo đường sinh $N_2N'_2$. Khi đó, đường thẳng (Δ_2) của mặt phẳng Π với $(\Delta_2, N_2N'_2) = \beta_b$ sẽ vạch nên một mặt răng (Σ_2) của bánh răng (2) (hình 10.24).

Vì hai trục quay O_1O_1 và O_2O_2 song song với nhau nên $(\Delta_1) // (\Delta_2)$. Do vậy khi cho bánh (1) quay theo chiều ω_1 thì có lúc đường thẳng (Δ_1) đến trùng với đường thẳng (Δ_2). Hay nói khác đi, khi ăn khớp, hai mặt răng (Σ_1) và (Σ_2) tiếp xúc nhau theo một đường thẳng (Δ) hợp với hai trục quay của hai bánh răng một góc β_b . Đường thẳng (Δ) nằm trong mặt phẳng ăn khớp (Π) của cặp bánh răng.

c) Các thông số chế tạo của bánh răng trụ tròn răng nghiêng

➤ Ngoài những thông số chế tạo như trong cặp bánh răng trụ tròn răng thẳng là m, α, Z, x và một số thông số chế tạo khác như bán kính vòng đỉnh r_a , bán kính vòng chân r_f , bề rộng bánh răng b_w ..., trong bánh răng trụ tròn răng nghiêng còn thêm một số thông số đặc trưng cho độ nghiêng của răng.



Hình 10.26 : Hình khai triển của mặt trụ chia

➤ **Thông số xét trên mặt cắt vuông góc với trục quay của bánh răng (mặt cắt ngang) :**

✓ Bước răng trên vòng chia, được gọi là *bước trên mặt đầu*, ký hiệu p_s (hay còn gọi là bước răng ngang).

Môđun bánh răng, được gọi là *môđun mặt đầu*, ký hiệu m_s (hay còn gọi là môđun ngang).

Ta có : $m_s = \frac{p_s}{\pi}$ và $r = \frac{1}{2} m_s Z$

✓ Góc áp lực trên vòng chia, được gọi là *góc áp lực mặt đầu*, ký hiệu α_s (hay còn gọi là góc áp lực ngang). Ta có : $\cos \alpha_s = \frac{r_b}{r}$

✓ Bước răng trên vòng cơ sở, được gọi là *bước cơ sở trên mặt đầu*, ký hiệu p_{bs}

• **Thông số đặc trưng cho độ nghiêng của bánh răng**

✓ Góc nghiêng của đường răng trên mặt trụ cơ sở β_b

✓ Góc nghiêng của đường răng trên mặt trụ chia β

Góc nghiêng của đường răng trên mặt trụ lăn β_w

Ta có : $\operatorname{tg} \beta = \frac{\operatorname{tg} \beta_b}{\cos \alpha_s}$

• **Thông số đo trên mặt cắt vuông góc với đường răng trên mặt trụ chia (mặt cắt pháp)**

✓ Bước pháp p_n là bước răng đo trên giao tuyến giữa mặt trụ chia và một mặt cắt pháp

Môđun pháp : $m_n = \frac{p_n}{\pi}$

Ta có (hình 10.26) : $p_n = p_s \cdot \cos \beta \Rightarrow m_n = m_s \cdot \cos \beta$

✓ Góc áp lực pháp α_n :

Ta có (hình 10.27): $\operatorname{tg} \alpha_n = \operatorname{tg} \alpha_s \cdot \cos \beta$

• **Ghi chú :** Trong bánh răng nghiêng, α_n và m_n được tiêu chuẩn hóa : $\alpha_n = 20^\circ$

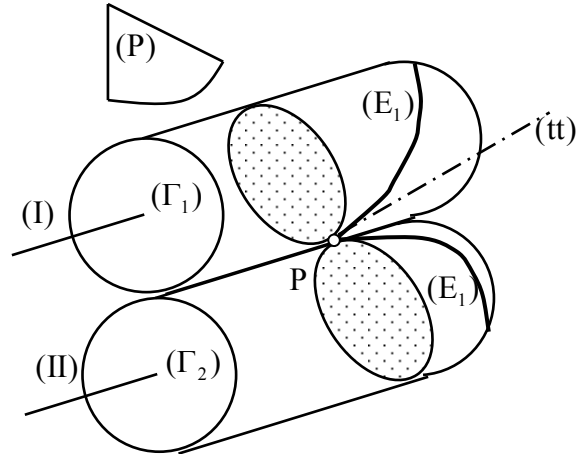
d) Bánh răng thay thế của bánh răng trụ tròn răng nghiêng

✓ Để thuận tiện cho việc giải một số bài toán về cấu tạo và động lực học của cặp bánh răng trụ tròn răng nghiêng, người ta tìm cách quy về các bài toán tương ứng của cặp bánh răng trụ tròn răng thẳng bằng khái niệm bánh răng thay thế.

✓ Giả sử cặp bánh răng là dịch chỉnh không ($x_1 + x_2 = 0$). Khi đó mặt trụ lăn trùng với mặt trụ chia tương ứng.

✓ Xét mặt phẳng (P) vuông góc tại P với hai đường răng (E_1) và (E_2) trên mặt trụ chia (Γ_1) và (Γ_2) (tức là vuông góc với tiếp tuyến chung tt của (E_1) và (E_2)). Giao của mặt phẳng (P) với (Γ_1) và (Γ_2) là hai tiết diện hình êlíp.

Tại lân cận tâm ăn khớp P , ta thấy sự ăn khớp của cặp bánh răng trụ tròn răng nghiêng tương đương với sự ăn khớp của cặp bánh răng trụ tròn răng thẳng có tiết diện là các hình êlíp. Tuy nhiên tại lân

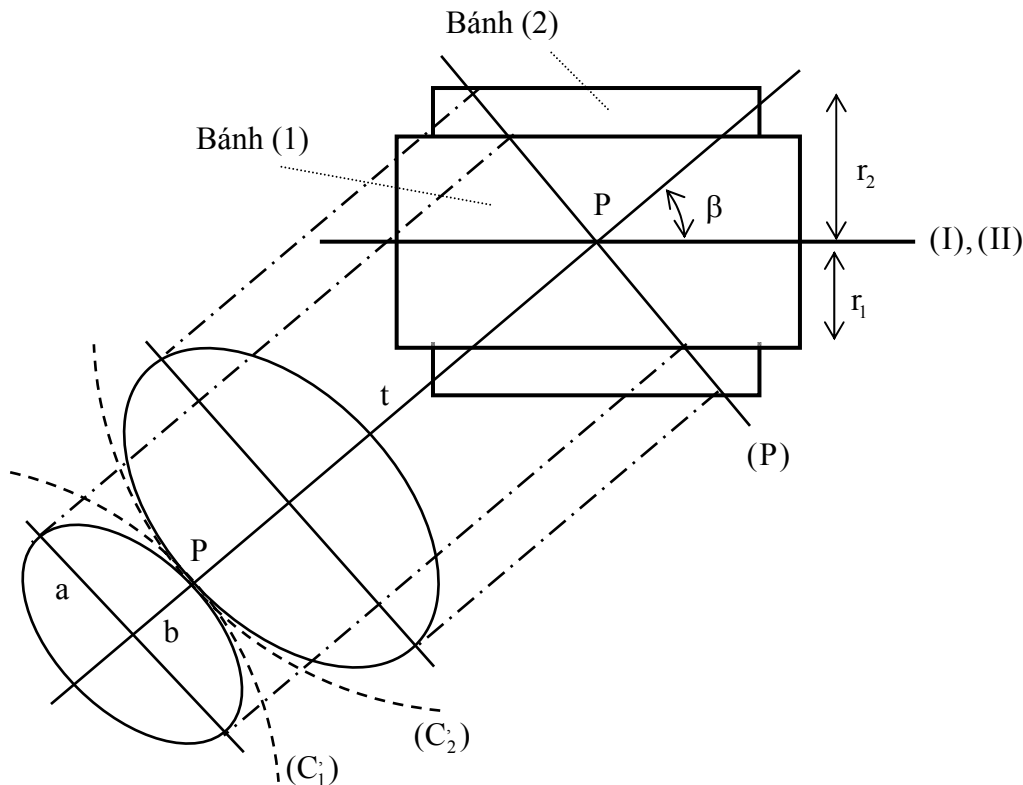


Hình 10.28 : Cặp bánh răng êlíp trên mặt cắt pháp

cận tâm ăn khớp P , hai hình êlíp gần trùng với hai vòng tròn mặt tiếp (C_1) và (C_2).

Do đó, tại lân cận tâm ăn khớp P , có thể xem như sự ăn khớp của cặp bánh răng trụ tròn răng nghiêng tương đương với sự ăn khớp của cặp bánh răng trụ tròn răng thẳng, có vòng chia là hai vòng tròn (C_1), (C_2), có môđun là m' đúng bằng môđun pháp m_n của cặp bánh răng trụ tròn răng nghiêng.

Cặp bánh răng trụ tròn răng thẳng nói trên gọi là *cặp bánh răng trụ tròn răng thẳng thay thế* cho cặp bánh răng trụ tròn răng nghiêng đang xét.



Hình 10.29 : Bánh răng thay thế

✓ **Thông số của bánh răng thay thế**

+ Bán kính vòng chia r_1, r_2 của cặp bánh răng thay thế

Gọi : r_1, r_2, β lần lượt là các bán kính mặt trụ chia và góc nghiêng của đường răng trên mặt trụ chia của cặp bánh răng trụ tròn răng nghiêng.

Theo tính chất của êlíp, bán kính vòng tròn mật tiếp tại P : $\rho = \frac{a^2}{b}$ trong đó : a là bán trục lớn, b là bán trục nhỏ của êlíp.

Với vòng tròn mật tiếp (C_1) (hình 10.29), ta có : $a = \frac{r_1}{\cos \beta}$; $b = r_1$

Do đó bán kính vòng tròn mật tiếp (C_1) bằng : $r_1' = \frac{r_1}{\cos^2 \beta}$

Tương tự, với vòng tròn mật tiếp (C_2), ta có : $r_2' = \frac{r_2}{\cos^2 \beta}$

+ Số răng Z_1, Z_2 của cặp bánh răng thay thế

Ta có : $Z_1' = \frac{2r_1'}{m} = \frac{2r_1}{\cos^2 \beta \cdot m_n}$ với : $m_n = m_s \cos \beta$;

m_s, m_n là môđun mặt đầu và môđun pháp của bánh răng trụ tròn răng nghiêng. Do đó, số răng của bánh răng trụ tròn răng thẳng thay thế :

$$Z_1' = \frac{2r_1}{\cos^3 \beta \cdot m_s} \Rightarrow Z_1 = \frac{Z_1'}{\cos^3 \beta}$$

$$\text{Tương tự : } Z_2 = \frac{Z_2'}{\cos^3 \beta}$$

với Z_1, Z_2 : số răng của cặp bánh răng trụ tròn răng nghiêng : $Z_1 = \frac{2r_1}{m_s}$; $Z_2 = \frac{2r_2}{m_s}$.

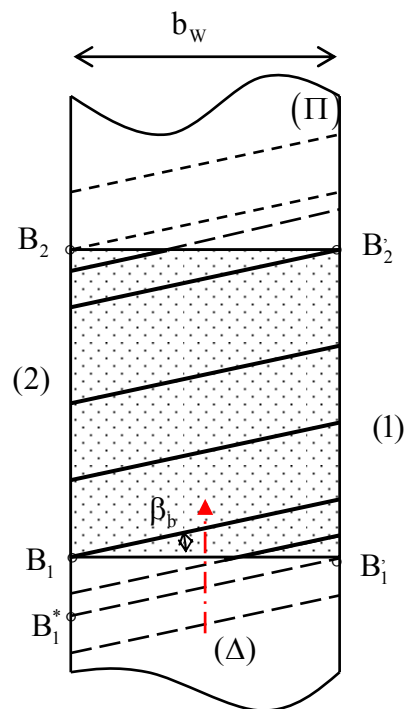
e) Đặc điểm ăn khớp của cặp bánh răng trụ tròn răng nghiêng

- Trên hai mặt trụ lăn trong cặp bánh răng trụ tròn răng nghiêng ngoại tiếp, hai đường răng là hai đường xoắn ốc có cùng góc nghiêng nhưng hướng xoắn ngược nhau : $\beta_{w1} = -\beta_{w2}$

- Như đã chứng minh trên đây, hai mặt răng (Σ_1) và (Σ_2) trong cặp bánh răng trụ tròn răng nghiêng tiếp xúc nhau theo một đường thẳng (Δ) hợp với hai trục quay của hai bánh răng một góc β_b và nằm trong mặt phẳng ăn khớp (Π), tiếp diện chung của hai mặt trụ cơ sở.

- Tương tự như trong bánh răng trụ tròn răng thẳng, do hai mặt răng (Σ_1) và (Σ_2) không phải dài vô hạn mà bị giới hạn bởi hai hình trụ đỉnh răng (Γ_{a1}), (Γ_{a2}) và hai mặt đầu của các bánh răng, nên hai mặt răng chỉ có thể tiếp xúc nhau trong miền ăn khớp thực $B_1 B_1' B_2 B_2'$ (hình 10.30).

Khi đường thẳng tiếp xúc chung (Δ) của hai mặt răng di chuyển đến vị trí $B_1' B_1'$ thì hai mặt răng vào khớp tại một điểm B_1' trên mặt đầu thứ nhất. Chiều dài tiếp xúc giữa hai mặt răng tăng dần. Khi (Δ) đến vị trí B_1 thì hai mặt răng tiếp xúc nhau trên suốt chiều dài răng. Khi (Δ) đến vị trí điểm B_2 ,



Hình 10.30 : Quá trình ăn khớp của cặp bánh răng trụ tròn răng nghiêng

chiều dài tiếp xúc bắt đầu giảm dần. Khi (Δ) đến vị trí điểm B_2 , hai mặt răng bắt đầu ra khớp tại một điểm B_2 trên mặt đầu thứ hai.

Tóm lại, cặp bánh răng trụ tròn răng nghiêng vào khớp tại một điểm trên một mặt đầu, chiều dài tiếp xúc nằm chéo trên mặt răng và tăng dần đến một giá trị cực đại, sau đó giảm dần và ra khớp tại một điểm trên mặt đầu bên kia. Do đó, quá trình ăn khớp diễn ra êm hơn so với cặp bánh răng trụ tròn răng thẳng.

• **Điều kiện ăn khớp đúng và ăn khớp trùng với cặp bánh răng trụ tròn răng nghiêng**

✓ Điều kiện ăn khớp đúng : $p_{N1} = p_{N2} = p_N$

Với $p_{N1}; p_{N2}$ là bước răng đo trên mặt phẳng ăn khớp (Π) của cặp bánh răng trong mặt cắt ngang, tức là đo trên đường thẳng B_1B_2 .

✓ Điều kiện ăn khớp trùng :

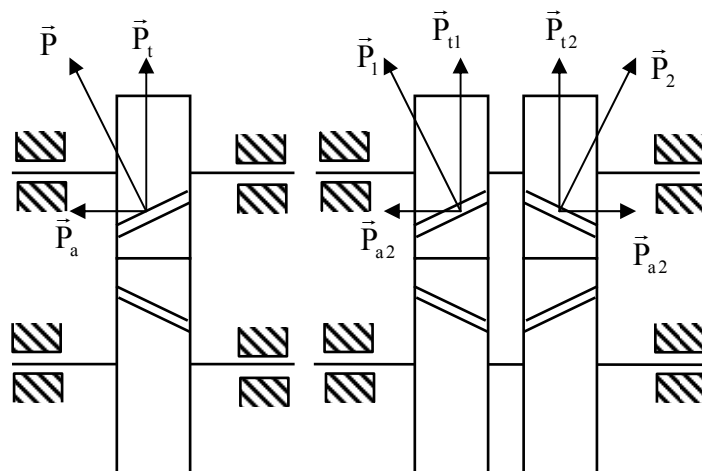
Khi cặp bánh răng thứ (1) đang ra khớp tại điểm B_2 thì cặp răng kế tiếp phải đã hoặc đang vào khớp tại điểm B_1 . Muốn vậy phải có : $p_N \leq B_1^* B_2$.

Suy ra hệ số trùng khớp của cặp bánh răng nghiêng :

$$\varepsilon_{nghieng} = \frac{B_1^* B_2}{p_N} = \frac{B_1 B_2}{p_N} + \frac{B_1^* B_1}{p_N} \Rightarrow \varepsilon_{nghieng} = \varepsilon_{thang} + \frac{b_w \cdot \text{tg} \beta_b}{p_N}$$

với : b_w là bề rộng bánh răng, β_b là góc nghiêng của đường răng trên mặt trụ cơ sở, ε_{thang} : là hệ số trùng khớp của cặp bánh răng trụ tròn răng thẳng tương ứng.

Như vậy, với các điều kiện khác như nhau, hệ số trùng khớp trong cặp bánh răng trụ tròn răng nghiêng lớn hơn trong cặp bánh răng trụ tròn răng thẳng.



Hình 10.31 : Bánh răng nghiêng và bánh răng chữ V

• **Số răng tối thiểu của bánh răng trụ tròn răng nghiêng**

Gọi Z_1, Z_2 là số răng của cặp bánh răng trụ tròn răng nghiêng, Z_1', Z_2' là số răng của cặp bánh răng trụ tròn răng thẳng thay thế. Ta có : $Z_{1,2} = Z_{1,2}' \cdot \cos^3 \beta$.

Khi bánh răng trụ tròn răng thẳng thay thế bị cắt chân răng thì bánh răng trụ tròn răng nghiêng tương ứng cũng bị cắt chân răng. Thế mà, trong bánh răng trụ tròn răng thẳng tiêu chuẩn ($x = 0$), số răng tối thiểu để không xảy ra hiện tượng cắt chân răng là 17: $Z_{1,2min}' = 17$. Do vậy, với bánh răng trụ tròn răng nghiêng tiêu chuẩn : $Z_{1,2min} = Z_{1,2min}' \cdot \cos^3 \beta = 17 \cdot \cos^3 \beta < 17$, nghĩa là số răng tối thiểu của bánh răng trụ tròn răng nghiêng tiêu chuẩn có thể nhỏ hơn 17 mà không bị cắt chân răng.

- Bánh răng trụ tròn răng nghiêng có nhược điểm là khi ăn khớp có thành phần phản lực chiều trục khác 0, do đó đòi hỏi phải có biện pháp cố định bánh răng trên trục và phải dùng ổ đỡ chặn, khiến cho kết cấu gối đỡ trục cũng như việc tính chọn ổ cũng phức tạp hơn. Để khắc phục nhược điểm này, người ta dùng bánh răng chữ V hoặc trên mỗi trục lắp hai bánh răng nghiêng có góc nghiêng đối ứng nhau. Khi đó thành phần phản lực chiều trục triệt tiêu lẫn nhau, không truyền lên các gối đỡ trục (hình 10.31).



CƠ CẤU BÁNH RĂNG KHÔNG GIAN

Cơ cấu bánh răng không gian là cơ cấu bánh răng được dùng để truyền chuyển động quay giữa hai trục không song song với nhau. Hai trục có thể chéo nhau như trong cơ cấu bánh vít - trục vít, cơ cấu bánh răng trụ trục chéo, cơ cấu bánh răng nón chéo. Hai trục có thể giao nhau như trong cơ cấu bánh răng nón răng thẳng.

§1. Cơ cấu bánh răng nón răng thẳng

1) Mặt lăn và tỷ số truyền

✓ Mặt lăn trong cơ cấu bánh răng nón răng thẳng là hai mặt nón tròn xoay (N_1) và (N_2) có chung đỉnh O (hình 11.1).

✓ Thật vậy, xét một cặp bánh răng nón răng thẳng, hai trục quay (I) và (II) giao nhau dưới một góc δ .

Gọi P là một điểm sao cho $\vec{V}_{P1} = \vec{V}_{P2}$ trong đó P_1, P_2 là hai điểm lần lượt thuộc bánh (1) và bánh (2) hiện đang trùng nhau tại P.

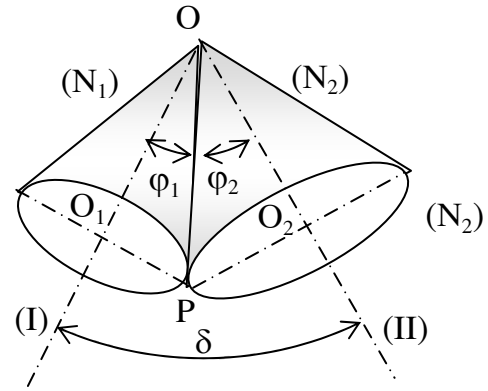
Nếu từ P hạ PO_1 và PO_2 lần lượt vuông góc với hai trục quay (I) và (II), ta có :

$$V_{P1} = \omega_1 \cdot O_1P \quad \text{và} \quad V_{P2} = \omega_2 \cdot O_2P$$

$$\Rightarrow \omega_1 \cdot O_1P = \omega_2 \cdot O_2P$$

$$\Rightarrow \omega_1 \cdot OP \cdot \sin \varphi_1 = \omega_2 \cdot OP \cdot \sin \varphi_2$$

$$\Rightarrow \boxed{i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\sin \varphi_2}{\sin \varphi_1}}$$



Hình 11.1

Bởi vì góc giao nhau giữa hai trục $\delta = \varphi_1 + \varphi_2$ bằng hằng số và cặp bánh răng thực hiện tỷ số truyền i_{12} không đổi nên các góc φ_1, φ_2 không đổi, tức là đường thẳng OP cố định.

Nếu lấy một điểm P bất kỳ trên đường thẳng OP, ta đều chứng minh được : $\vec{V}_{P1} = \vec{V}_{P2}$

Như vậy đường thẳng OP là trục quay tức thời trong chuyển động tương đối của khâu (2) đối với khâu (1).

Khi cơ cấu chuyển động, đường thẳng OP lần lượt vạch nên trên bánh (1) và bánh (2) hai mặt nón tròn xoay $(N_1), (N_2)$ có chung đỉnh O. Do $\vec{V}_{P1} = \vec{V}_{P2}$ nên hai mặt nón $(N_1), (N_2)$ lăn không trượt với nhau theo đường OP ($(N_1), (N_2)$ được gọi là hai mặt lăn của cặp bánh răng nón).

2) Mặt răng và đặc điểm tiếp xúc

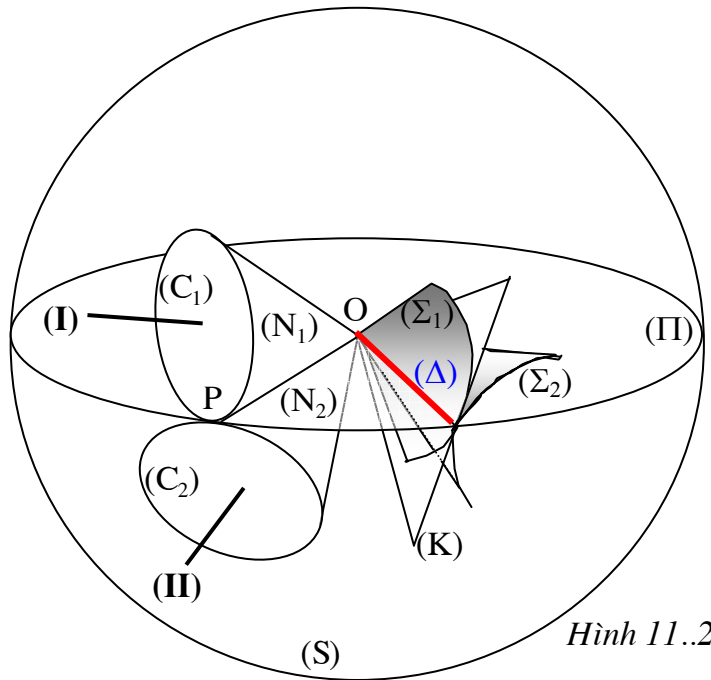
• Gọi $(N_1), (N_2)$ là hai mặt nón lăn của cặp bánh răng nón đang ăn khớp với nhau. Đỉnh của $(N_1), (N_2)$ trùng nhau tại O (hình 11.2).

Xét một hình cầu (S), tâm O. Hình cầu (S) lần lượt giao với mặt nón $(N_1), (N_2)$ theo hai vòng tròn (C_1) và (C_2) . (C_1) và (C_2) được gọi là hai vòng lăn của cặp bánh răng nón.

Gọi (II) là vòng tròn lớn của hình cầu (S) sao cho mặt phẳng chứa (II) tiếp xúc với các mặt nón lăn $(N_1), (N_2)$. Gọi (K) là mặt phẳng gắn trên (II) và đi qua điểm O.

• Cho mặt phẳng (II) lăn không trượt trên hình nón (N_1) theo đường sinh OP. Khi đó, bao hình các vị trí khác nhau của mặt phẳng (K) trong chuyển động tương đối với bánh (1) sẽ tạo nên mặt răng (Σ_1) . Tương tự, khi cho mặt phẳng (II) lăn không trượt trên hình nón (N_2) theo đường sinh OP thì bao hình các vị trí khác nhau của mặt phẳng (K) trong chuyển động tương đối với bánh (2) sẽ tạo nên mặt răng (Σ_2) . Hai mặt răng (Σ_1) và (Σ_2) là hai mặt nón thân khai.

Như vậy, các mặt răng trong cơ cấu bánh răng nón răng thẳng là hai mặt chóp (Σ_1) và (Σ_2) có chung đỉnh O, và do đó chúng tiếp xúc với nhau theo đường thẳng (Δ) đi qua điểm O.



Hình 11.2

• **Ghi chú**

Trong phương pháp tạo hình mặt răng nói trên, nếu mặt phẳng (K) đi qua điểm O, ta có cặp bánh răng nón *răng thẳng*, còn nếu mặt phẳng (K) không đi qua điểm O, ta có cặp bánh răng nón *răng nghiêng*.

Để tạo hình bánh răng nón, thay vì dùng thanh răng sinh như trong bánh răng trụ tròn răng thẳng, ta dùng bánh răng dẹt sinh. Bánh răng dẹt sinh là một bánh răng nón đặc biệt có mặt lăn là mặt phẳng (II), mặt răng là mặt phẳng (K). Chuyển động tạo hình trong bánh răng trụ tròn răng thẳng là chuyển động tịnh tiến của thanh răng sinh, còn trong bánh răng nón là chuyển động quay của bánh dẹt sinh.

3) Các thông số của bánh răng nón

- Thông số của bánh răng trụ tròn được định nghĩa trên một mặt cắt vuông góc với hai trục quay, đồng thời cũng vuông góc với một đường sinh của chung của hai mặt lăn.

Trong bánh răng nón, mặt cắt vuông góc với hai trục quay và đồng thời vuông góc với đường sinh chung OP của hai nón lăn chính là *mặt cầu* (S). Do đó, nếu xét tương tự như trong bánh răng trụ tròn thì thông số của bánh răng nón sẽ được xác định trên mặt cầu (S).

Tuy nhiên, việc xác định thông số trên mặt cầu không thuận tiện. Hơn nữa, xung quanh các vòng lăn (C_1), (C_2), mặt cầu (S) gần trùng với hai mặt nón (N'_1), (N'_2), lần lượt trục giao với (N_1), (N_2) và tiếp xúc với (S) theo (C_1), (C_2). Các mặt nón (N'_1), (N'_2) được gọi là hai *mặt nón phụ lớn*.

Do vậy, thông số của bánh răng nón được xác định trên hai mặt nón phụ lớn (N'_1), (N'_2) (hình 11.3).

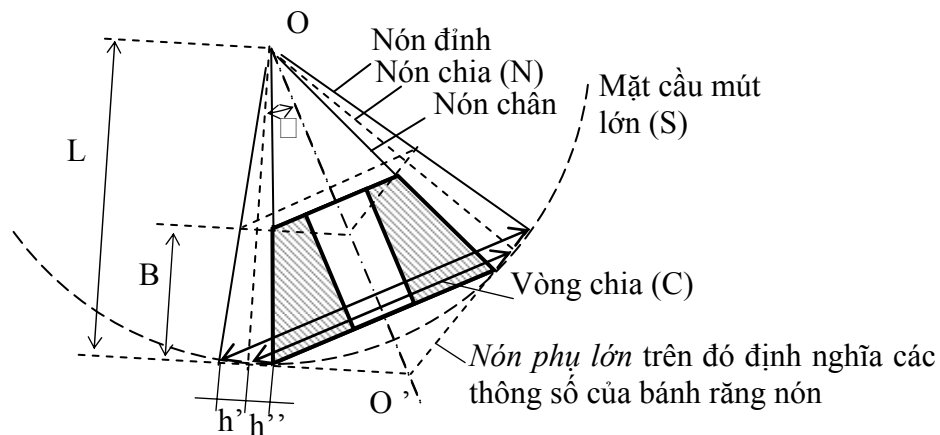
- Trong cặp bánh răng nón, để bảo đảm góc giao nhau giữa hai trục, chỉ có thể dùng cặp bánh răng tiêu chuẩn hay cặp bánh răng dịch chỉnh đều, do đó vòng lăn và vòng chia tương ứng trùng nhau.

- *Thông số của bánh răng nón trên mặt nón phụ lớn (N') (hình 11.3)*

✓ Bước răng p trên vòng chia (C)

Chu vi vòng chia bằng $2\pi r = pZ \Rightarrow p = \frac{2\pi r}{Z}$

- ✓ Modul m của bánh răng : $\boxed{m = \frac{p}{\pi}} \Rightarrow \boxed{r = \frac{1}{2} mZ}$
- ✓ Chiều cao đỉnh răng h' và chiều cao chân răng h'' :
 $h' = m$
 $h'' = 1,25.m$
- ✓ Chiều dài đường sinh L : $L = \frac{r}{\sin \varphi}$
- ✓ Bề dày B của bánh răng, thông thường : $B = 0,3.L$
- ✓ Bán kính vòng đỉnh : $r_a = r + h' \cos \varphi = m \left(\frac{Z}{2} + \cos \varphi \right)$
- ✓ Bán kính vòng chân : $r_f = r - h'' \cos \varphi = m \left(\frac{Z}{2} - 1,25 \cdot \cos \varphi \right)$



Hình 11.3

4) Bánh răng thay thế của bánh răng nón

• Gọi OP là đường sinh chung của hai nón chia $(N_1), (N_2)$; O'_1, O'_2 là đỉnh của hai mặt nón phụ $(N'_1), (N'_2)$; (Π) là mặt phẳng vuông góc tại P với đường thẳng OP . Mặt phẳng (Π) tiếp xúc với các hình nón $(N'_1), (N'_2)$ theo đường thẳng $O'_1P O'_2$ (hình 11.4).

• Tại lân cận tâm ăn khớp P , ta thấy sự ăn khớp của cặp bánh răng nón tương đương với sự ăn khớp của cặp bánh răng hình phễu trên mặt nón phụ lớn $(N'_1), (N'_2)$. Tuy nhiên, tại lân cận điểm P , hai mặt nón phụ $(N'_1), (N'_2)$ lại gần trùng với mặt phẳng (Π) . Như vậy có thể nói rằng tại lân cận điểm P , sự ăn khớp của cặp bánh răng nón tương đương với sự ăn khớp của cặp bánh răng trụ tròn răng thẳng, có vòng chia là lần lượt là $C'_1(O'_1, O'_1P), C'_2(O'_2, O'_2P)$, có modul m' đúng bằng modul m của bánh răng nón.

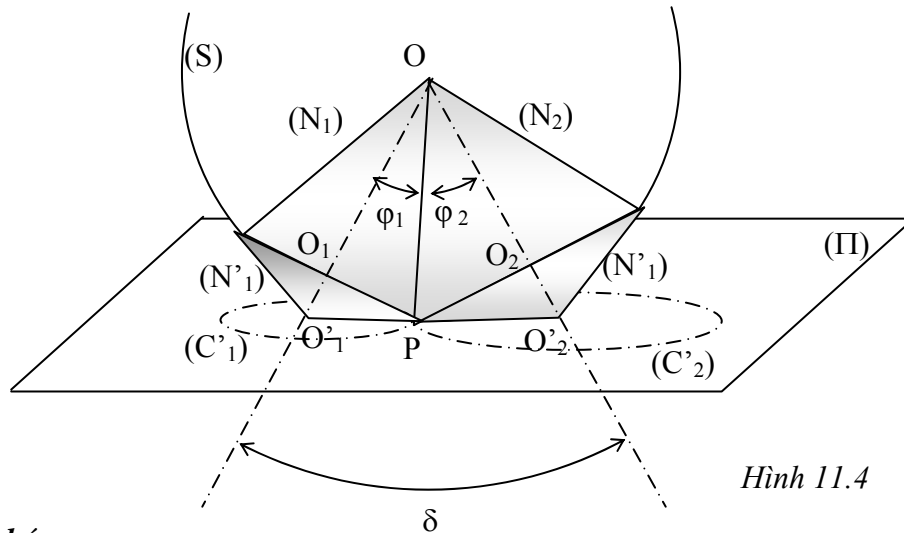
Cặp bánh răng trụ tròn răng thẳng nói trên được gọi là cặp bánh răng trụ tròn răng thẳng thay thế cho cặp bánh răng nón.

• Gọi : r'_1, r'_2 là bán kính vòng chia của cặp bánh răng thẳng thay thế ; r_1, r_2 là bán kính vòng chia của cặp bánh răng nón.

Ta có : $r_1 = O_1P, r'_1 = O'_1P \Rightarrow r'_1 = \frac{r_1}{\cos \varphi_1}$. Tương tự : $r'_2 = \frac{r_2}{\cos \varphi_2}$.

Gọi Z_1, Z_2 là số răng của cặp bánh răng thẳng thay thế, Z_1, Z_2 là số răng của cặp bánh răng

nón, ta có : $Z_1 = \frac{2r'_1}{m} = \frac{2r_1}{m \cos \varphi_1} \Rightarrow \boxed{Z_1 = \frac{Z_1}{\cos \varphi_1}}$. Tương tự : $\boxed{Z_2 = \frac{Z_2}{\cos \varphi_2}}$



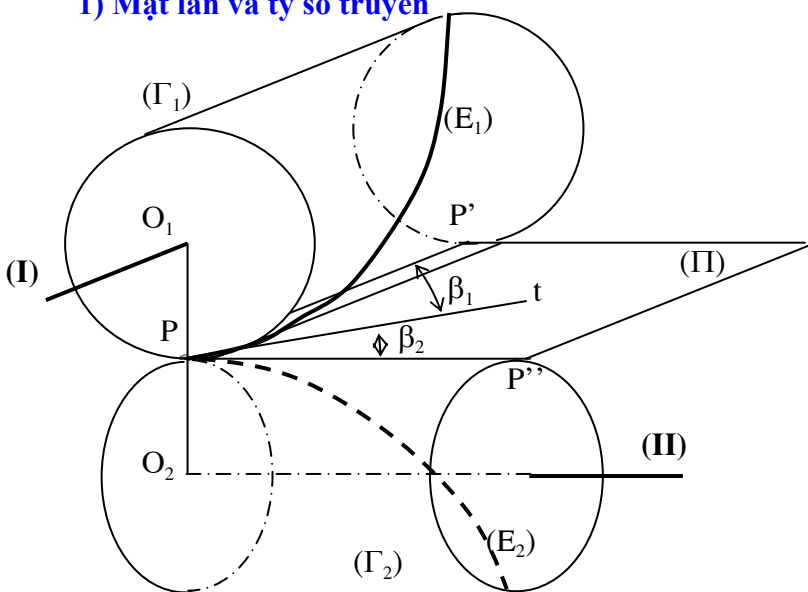
Hình 11.4

• Ghi chú

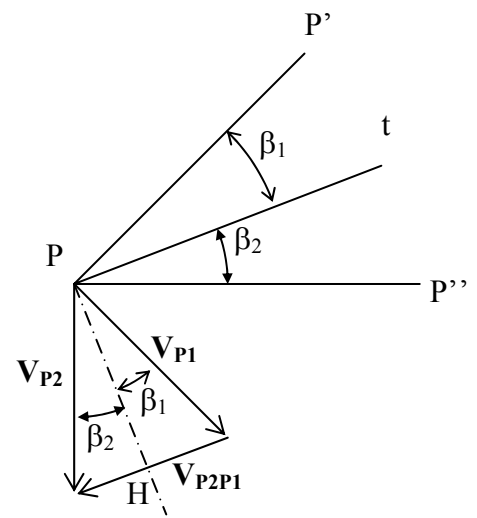
Gọi Z là số răng của bánh răng nón, Z' là số răng của bánh răng trụ tròn răng thẳng thay thế. Ta có : $Z = Z' \cos \varphi$. Khi bánh răng trụ tròn răng thẳng thay thế bị cắt chân răng thì bánh răng nón cũng bị cắt chân răng. Thế mà, trong bánh răng trụ tròn răng thẳng tiêu chuẩn ($x = 0$), số răng tối thiểu để không xảy ra hiện tượng cắt chân răng là $17 : Z'_{\min} = 17$. Do vậy, với bánh răng nón tiêu chuẩn: $Z_{\min} = Z'_{\min} \cos \varphi = 17 \cdot \cos \varphi < 17$, nghĩa là số răng tối thiểu của bánh răng nón tiêu chuẩn có thể nhỏ hơn 17 mà không bị cắt chân răng.

§2. Cơ cấu bánh răng trụ chéo

1) Mặt lăn và tỷ số truyền



Hình 11.5



Hình 11.6

• Cơ cấu bánh răng trụ chéo thực chất là một cặp bánh răng trụ tròn răng nghiêng ngoại tiếp, có góc nghiêng không đối ứng $\beta_1 \neq -\beta_2$, được dùng để truyền chuyển động giữa hai trục quay chéo nhau. Do vậy, hai mặt lăn $(\Gamma_1), (\Gamma_2)$ trong cơ cấu bánh răng trụ chéo là hai mặt trụ tròn xoay.

• Gọi P là điểm tiếp xúc của hai mặt trụ lăn $(\Gamma_1), (\Gamma_2)$. Gọi $(E_1), (E_2)$ là đường răng trên mặt trụ lăn của hai bánh răng. Đây là hai đường xoắn ốc trụ tròn, giả sử đang tiếp xúc với

nhau tại điểm P. Gọi tt là tiếp tuyến chung tại P với $(E_1), (E_2)$; tt nằm trong tiếp diện chung $(PP'P'')$ tại P của $(\Gamma_1), (\Gamma_2)$; góc hợp bởi tt với PP' và với PP'' lần lượt là β_1 và β_2 .

Góc chéo nhau giữa hai trục : $\delta = (PP', PP'') = \beta_1 + \beta_2$

Gọi O_1O_2 là đường vuông góc chung của hai trục (I) và (II).

Khoảng cách trục của cặp bánh răng : $A_w = O_1O_2 = O_1P + O_2P = r_1 + r_2$

Trong đó : r_1, r_2 là bán kính của mặt trụ lăn $(\Gamma_1), (\Gamma_2)$

- Gọi P_1 và P_2 lần lượt là hai điểm thuộc bánh răng (1) và (2), đang trùng nhau tại P, ta có :

$$\vec{V}_{P_2} = \vec{V}_{P_1} + \vec{V}_{P_2P_1} \quad \text{Với : } \vec{V}_{P_2} \perp PP''; \vec{V}_{P_1} \perp PP'; \vec{V}_{P_2P_1} // tt$$

Họa đồ vận tốc trên hình 11.6 cho ta :

$$PH = V_{P_2} \cos \beta_2 = V_{P_1} \cos \beta_1 \Rightarrow \omega_2 r_2 \cos \beta_2 = \omega_1 r_1 \cos \beta_1$$

$$\Rightarrow \boxed{i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2 \cos \beta_2}{r_1 \cos \beta_1}} \quad (11.1)$$

Như vậy, tỷ số truyền trong cặp bánh răng trụ chéo không chỉ phụ thuộc vào bán kính vòng lăn r_1, r_2 , mà còn phụ thuộc vào góc nghiêng β_1, β_2 của đường răng trên mặt trụ lăn.

- Vận tốc $\vec{V}_{P_2P_1}$ là vận tốc trượt tương đối giữa hai điểm P_2 và P_1 và được gọi là vận tốc trượt dọc theo đường răng.

- Gọi m_{s1}, m_{s2} là môđun ngang; Z_1, Z_2 là số răng; m_{n1}, m_{n2} là môđun pháp của các bánh răng, ta có : $r_1 = \frac{1}{2} m_{s1} \cdot Z_1, r_2 = \frac{1}{2} m_{s2} \cdot Z_2, m_{n1} = m_{s1} \cos \beta_1, m_{n2} = m_{s2} \cos \beta_2$

Từ (11.1) suy ra : $i_{12} = \frac{m_{s2} \cdot Z_2 \cos \beta_2}{m_{s1} \cdot Z_1 \cos \beta_1} \Rightarrow i_{12} = \frac{m_{n2} \cdot Z_2}{m_{n1} \cdot Z_1}$

Điều kiện ăn khớp đúng của cặp bánh răng : $m_{n1} = m_{n2}$

Do đó : $\boxed{i_{12} = \frac{Z_2}{Z_1}}$

- Thực tế thường dùng cặp bánh răng trụ chéo có $\delta = 90^\circ$, khi đó : $\beta_2 = 90^\circ - \beta_1$

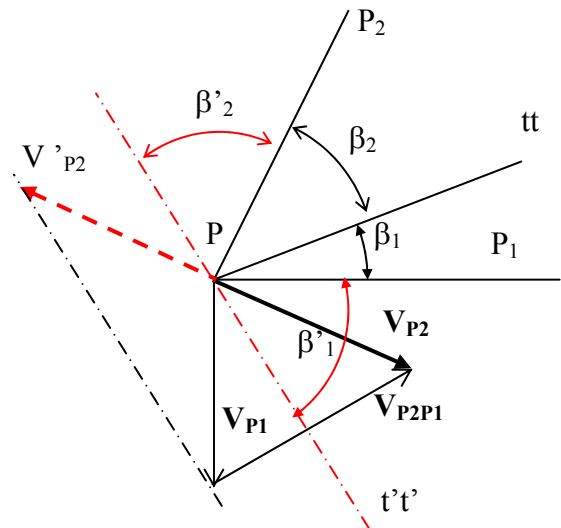
$$\Rightarrow i_{12} = \frac{r_2 \sin \beta_1}{r_1 \cos \beta_1} \Rightarrow \boxed{i_{12} = \frac{r_2}{r_1} \operatorname{tg} \beta_1}$$

• **Ghi chú**

Khi thiết kế cặp bánh răng trụ chéo, với một chiều quay cho trước của bánh dẫn, có thể chọn tùy ý chiều quay của bánh bị dẫn, bằng cách chọn góc nghiêng β_1, β_2 cho phù hợp (chứ không cần thêm bánh răng trung gian như trong cặp bánh răng trụ tròn).

Thật vậy, khi muốn đổi chiều quay của bánh bị dẫn (2), tức là muốn \vec{V}_{P_2} trở thành $\vec{V}'_{P_2} = -\vec{V}_{P_2}$ thì tiếp tuyến chung tt trở thành $t't'$ (hình 11.7). Muốn vậy, phải thay đổi góc nghiêng β_1, β_2 của hai bánh răng sao cho góc nghiêng mới β'_1, β'_2 thỏa mãn hệ thức:

$$\beta'_1 + \beta'_2 = 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2) \quad (11.2)$$



Hình 11.7

2) Mặt răng và đặc điểm tiếp xúc

Mặt răng của cặp bánh răng trụ chéo là hai mặt xoắn ốc thân khai $(\Sigma_1), (\Sigma_2)$. Hai mặt răng $(\Sigma_1), (\Sigma_2)$ trong cặp bánh răng trụ chéo chỉ tiếp xúc nhau tại một điểm.

Do tiếp xúc điểm nên phần làm việc trên mặt răng của mỗi bánh răng trụ chéo là một đường cong nằm vát chéo trên mặt răng. Cũng do tiếp xúc điểm và hiện tượng trượt dọc theo đường răng, nên mặt răng chóng bị mòn và mòn không đều. Vì vậy cặp bánh răng trụ chéo chỉ truyền được công suất không lớn.

§3. Cơ cấu trục vít - bánh vít trụ tròn

- Cơ cấu bánh vít trụ tròn được dùng để truyền động giữa hai trục chéo nhau một góc δ . Thông thường, hai trục trục giao với nhau: $\delta = 90^\circ$

- Hãy xét một cặp bánh răng trụ chéo đặc biệt (hình 11.8). Bánh răng (1) có góc nghiêng β_1 rất lớn. Bánh răng (2) có góc nghiêng β_2 rất nhỏ.

Khi đó, đường răng (E_1) của bánh (1) quấn nhiều vòng trên mặt trụ lăn (Γ_1) . Đường răng (E_2) của bánh (2) là những đoạn ngắn trên mặt trụ lăn (Γ_2) .

Bánh răng (1) được gọi là *trục vít trụ tròn*, răng của trục vít được gọi là *ren vít*. Bánh răng (2) được gọi là *bánh vít*. Đây chính là bộ truyền bánh vít - trục vít thân khai.

Vì là cặp bánh răng trụ chéo nên hai mặt răng trong cặp bánh vít - trục vít thân khai tiếp xúc nhau theo điểm.

- Tỷ số truyền (giống như cặp bánh răng trụ chéo):

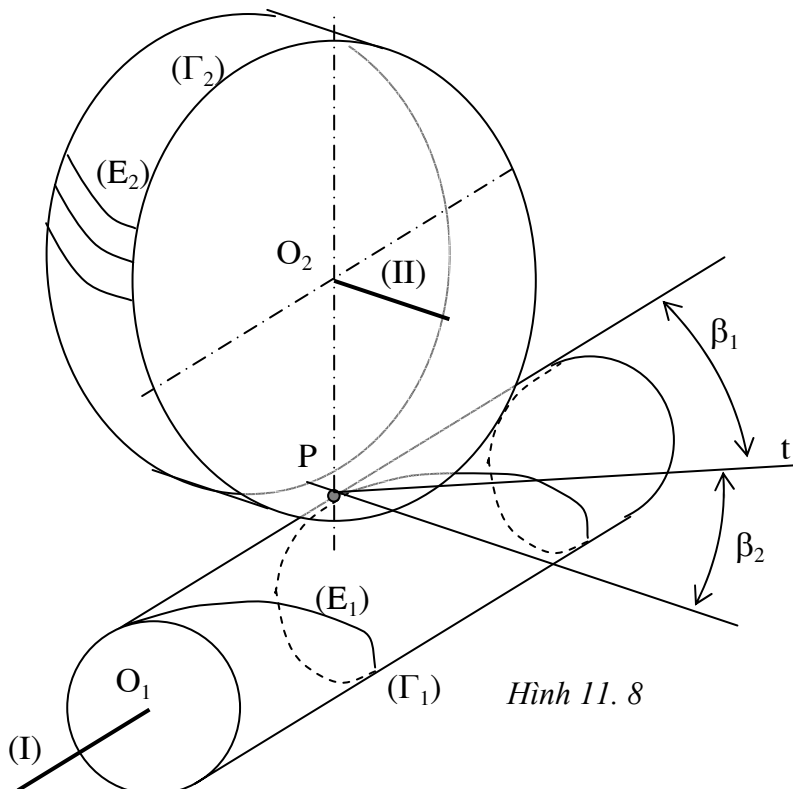
$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2 \cos \beta_2}{r_1 \cos \beta_1}$$

Thông thường, người ta dùng cặp bánh vít - trục vít trụ tròn có góc giao nhau giữa hai trục

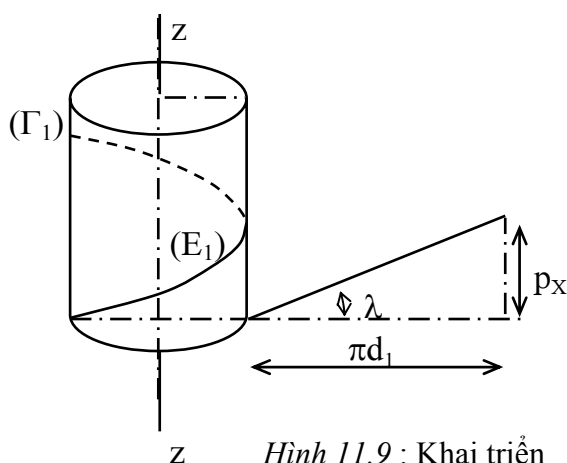
$$\delta = \beta_1 + \beta_2 = 90^\circ \text{ nên: } i_{12} = \frac{r_2}{r_1} \operatorname{tg} \beta_1$$

Với trục vít, thay vì dùng khái niệm góc nghiêng β_1 , người ta dùng khái niệm góc xoắn ốc λ của ren vít trên mặt trụ lăn (Γ_1) :

$$\lambda = 90^\circ - \beta_1$$



Hình 11.8



Hình 11.9 : Khai triển mặt trụ lăn (Γ_1)

Suy ra :
$$i_{12} = \frac{r_2}{r_1 \operatorname{tg} \lambda}$$

• Gọi p_x là bước xoắn ốc của đường ren (E_1) trên mặt trụ lăn (Γ_1) của trục vít, d_1 là đường kính của mặt trụ lăn (Γ_1) (hình 11.9), ta có :
$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{p_x}{2\pi r_1} \quad (11.2)$$

Gọi p là bước ren theo chiều trục của trục vít, Z_1 là số răng của trục vít (Z_1 được gọi là số mối ren), ta có :
$$p_x = Z_1 \cdot p \quad (11.3)$$

Mặt khác, bước ren p theo chiều trục của trục vít bằng bước răng p_{s2} trên mặt đầu (bước răng ngang) của bánh vít :

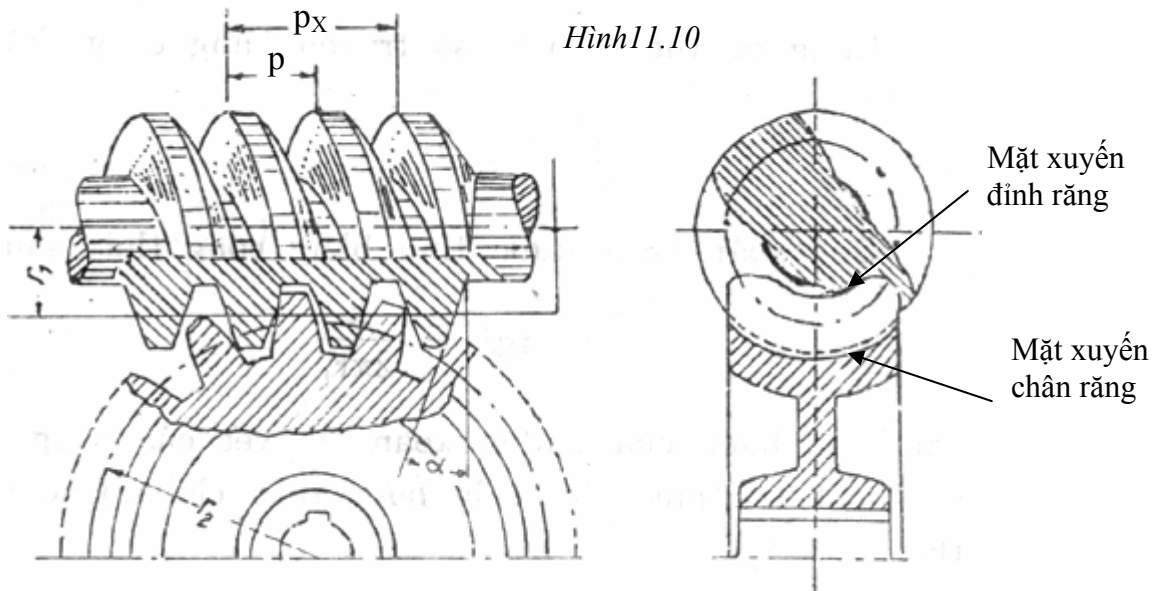
$$p = p_{s2} = \pi \cdot m_{s2} \quad (11.4)$$

Với m_{s2} là mô đun mặt đầu của bánh vít.

Từ (11.2), (11.3), (11.4) suy ra :
$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{Z_1 m_{s2}}{d_1} = \frac{Z_1 m_1}{d_1}$$

Trong đó : $m_1 = m_{s2}$ được gọi là mô đun của trục vít.

Để hạn chế số lượng dao cắt bánh vít, ứng với mỗi giá trị của mô đun m_1 , người ta quy định một số giá trị nhất định của $q = \frac{d_1}{m_1}$. Suy ra :
$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{Z_1}{q} \quad \text{và} : \quad d_1 = m_1 q$$



• Cặp bánh vít - trục vít trụ tròn trong đó bánh vít là một bánh răng thân khai răng nghiêng có nhược điểm là tiếp xúc điểm (do đó mặt răng chóng mòn và mòn không đều).

Để khắc phục nhược điểm này, người ta thay đổi cấu tạo mặt răng bánh vít : Mặt răng của bánh vít được cắt bằng dao phay lăn có hình dạng giống hệt như trục vít sẽ ăn khớp với nó và quá trình chuyển động khi cắt giống hệt như quá trình chuyển động khi ăn khớp sau này giữa trục vít và bánh vít. Khi đó mặt chân răng của bánh vít bây giờ là một mặt xuyên chân răng (chứ không còn là mặt trụ như trong bánh răng thân khai); tiếp xúc giữa bánh vít và trục vít bây giờ là tiếp xúc đường. Để tăng chất lượng ăn khớp, phần giữa của mặt trụ đỉnh răng của bánh vít cũng được chế thành mặt xuyên đỉnh răng (hình 11.10).



HỆ BÁNH RĂNG

§1. Đại cương

1) Đặt vấn đề

- ✓ Mỗi cặp bánh răng chỉ thực hiện một tỷ số truyền i không lớn lắm, thông thường $i \leq 5$. Nếu dùng một cặp bánh răng để thực hiện một tỷ số truyền lớn sẽ dẫn đến bất hợp lý về kích thước, trọng lượng, kết cấu của bộ truyền và lãng phí về vật liệu chế tạo. Do đó, để thực hiện một tỷ số truyền i lớn, phải dùng *hệ bánh răng*, gồm nhiều cặp bánh răng phối hợp nhau.
- ✓ Ngoài ra, hệ bánh răng có những công dụng khác như thực hiện nhiều tỷ số truyền (hộp tốc độ...), truyền động với nhiều bậc tự do (hộp vi sai ô tô...) thực hiện các chuyển động có yêu cầu đặc biệt (cơ cấu máy bện cáp, cơ cấu máy tiện trục khuỷu, cơ cấu máy trộn hỗn hợp bê tông..)

2) Các loại hệ bánh răng

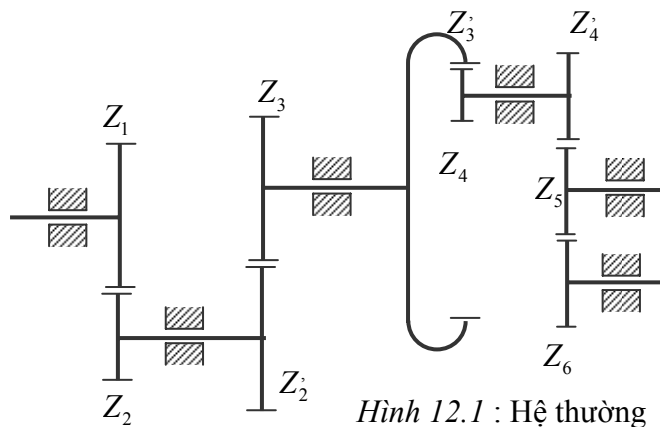
a) Hệ bánh răng thường

✓ Hệ bánh răng thường là hệ bánh răng trong đó các bánh răng đều có đường trục cố định (trong một hệ quy chiếu gắn liền với giá).

✓ Hệ gồm nhiều cặp bánh răng nối tiếp nhau trên hình 12.1 là một hệ bánh răng thường. Bậc tự do của hệ :

$$W = 3n - 2p_5 - p_4 \text{ với : } p_5 = 6 ;$$

$$p_4 = 5 ; n = 6 \Rightarrow W = 1$$



Hình 12.1 : Hệ thường

b) Hệ bánh răng vi sai

✓ Hệ bánh răng vi sai là hệ bánh răng mà trong đó mỗi cặp bánh răng có ít nhất một bánh răng có đường trục di động (không cố định trong hệ quy chiếu gắn liền với giá).

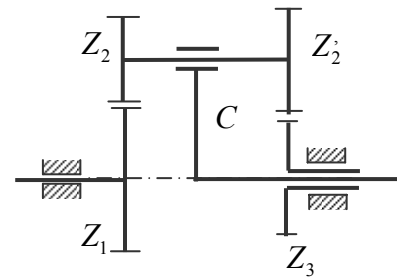
Bánh răng có đường trục cố định gọi là bánh răng *trung tâm*, bánh răng có đường trục di động gọi là bánh răng *vệ tinh*. Khâu động mang trục của bánh vệ tinh gọi là *cần*.

✓ Hệ bánh răng cho trên hình 12.2 là một hệ bánh răng vi sai. Bậc tự do của hệ: $W = 3n - 2p_5 - p_4$ với : $p_5 = 4 ;$

$p_4 = 2 ; n = 4 \Rightarrow W = 2$. Bánh trung tâm là bánh (1) và bánh (3), bánh vệ tinh là bánh (2) và (2'). Cần là khâu động (C) mang hai bánh vệ tinh (2), (2').

Khi cố định cần (C), hệ vi sai nói trên trở thành hệ thường.

✓ Trong chương này, chúng ta chỉ xét các hệ vi sai có hai bậc tự do.



Hình 12.2 : Hệ vi sai

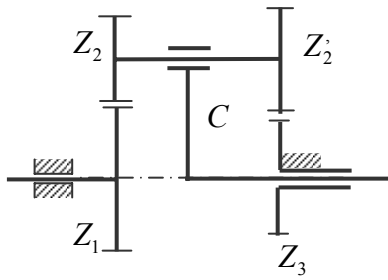
c) Hệ bánh răng hành tinh

✓ Hệ bánh răng hành tinh là hệ bánh răng vi sai (có $W = 2$) trong đó có một bánh răng trung tâm cố định.

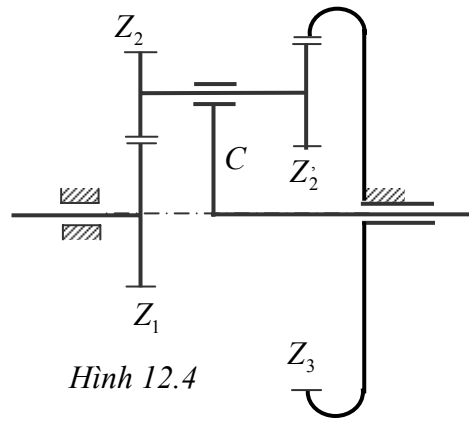
Khi cố định bánh trung tâm (3) của hệ vi sai trên hình 12.2 thì hệ này trở thành một hệ hành tinh (hình 12.3). Bậc tự do của hệ : $W = 3n - 2p_5 - p_4$ với : $p_5 = 3 ; p_4 = 2 ; n = 3 \Rightarrow W = 1$.

Hình 12.4, 12.5 mô tả một số hệ hành tinh trong đó có sử dụng cặp bánh răng nội tiếp.

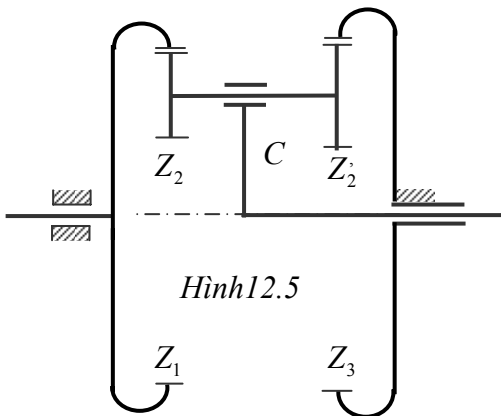
✓ Trong hệ vi sai và hành tinh phẳng (hình 12.2, 12.3, 12.4, 12.5), đường trục của các bánh trung tâm (1), (3), và đường trục của cần (C) phải nằm trên cùng một đường thẳng. Điều kiện này được gọi là *điều kiện đồng trục* của hệ.



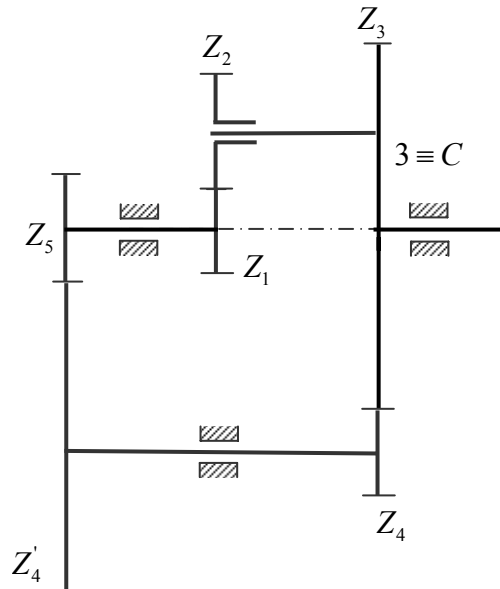
Hình 12.3 : Hệ hành tinh



Hình 12.4



Hình 12.5



Hình 12.6 : Hệ vi sai kín

d) Hệ vi sai kín

Hệ vi sai kín là hệ vi sai trong đó các bánh trung tâm đều không cố định, nhưng hai bánh trung tâm hoặc một bánh trung tâm và cần được nối với nhau bằng một hệ thường.

Ví dụ hệ trên hình 12.6 là một hệ vi sai kín. Đây là một hệ hỗn hợp gồm một hệ vi sai (Z_1, Z_2, Z_2', C) và một hệ thường (Z_3, Z_4, Z_4', Z_5). Hệ thường nối bánh trung tâm Z_1 và cần C của hệ vi sai. Bậc tự do của hệ vi sai kín : $W = 1$.

§2. Phân tích động học hệ bánh răng

1) Tỷ số truyền trong hệ bánh răng thường

a) Hệ thường phẳng (hình 12.1)

- Tỷ số truyền của hệ : $i_{16} = \frac{\bar{\omega}_1}{\bar{\omega}_6}$

Với $\bar{\omega}_1, \bar{\omega}_6$ là giá trị đại số của vận tốc góc trục vào (1) và trục ra (6) của hệ.

$$\text{Ta có: } i_{16} = \frac{\bar{\omega}_1}{\bar{\omega}_6} = \frac{\bar{\omega}_1}{\bar{\omega}_2} \cdot \frac{\bar{\omega}_2}{\bar{\omega}_3} \cdot \frac{\bar{\omega}_3}{\bar{\omega}_4} \cdot \frac{\bar{\omega}_4}{\bar{\omega}_5} \cdot \frac{\bar{\omega}_5}{\bar{\omega}_6}$$

$$\text{Suy ra: } i_{16} = i_{12} \cdot i_{2'3} \cdot i_{3'4} \cdot i_{4'5} \cdot i_{56}$$

Tỷ số truyền của mỗi cặp bánh răng có thể tính theo số răng: $i_{12} = -\frac{Z_2}{Z_1}; \dots, i_{3'4} = +\frac{Z_4}{Z_3} \dots$ Dấu

(-) ứng với cặp bánh răng ngoại tiếp, dấu (+) ứng với cặp bánh răng nội tiếp.

$$\text{Do đó: } i_{16} = \frac{\bar{\omega}_1}{\bar{\omega}_6} = \left(-\frac{Z_2}{Z_1}\right) \left(-\frac{Z_3}{Z_2}\right) \left(+\frac{Z_4}{Z_3}\right) \left(-\frac{Z_5}{Z_4}\right) \left(-\frac{Z_6}{Z_5}\right)$$

$$\text{Hay: } \boxed{i_{16} = \frac{\bar{\omega}_1}{\bar{\omega}_6} = (-1)^k \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_3}{Z_2} \cdot \frac{Z_4}{Z_3} \cdot \frac{Z_6}{Z_4}}$$

Trong đó k là số cặp bánh răng ngoại tiếp.

• **Ghi chú**

Trong hệ bánh răng thường hình 12.1, bánh răng (5) ăn khớp đồng thời với hai bánh răng trên trục trước và trục liền sau nó nên số răng của nó không có mặt trong công thức tỷ số truyền i_{16} . Bánh răng (5) được gọi là bánh răng *nối không*. Bánh răng nối không không có ý nghĩa đối với giá trị tuyệt đối của tỷ số truyền, mà chỉ có ý nghĩa đối với chiều quay của trục ra. Ngoài ra còn có ý nghĩa về kết cấu.

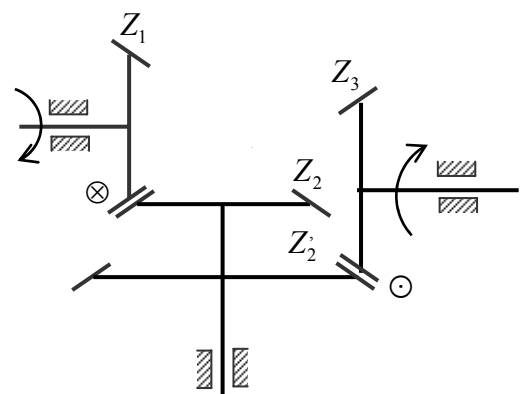
b) Hệ thường không gian

Do các trục quay không song song với nhau nên dấu của vận tốc góc và của tỷ số truyền không còn ý nghĩa nữa, vì vậy ta chỉ dùng giá trị tuyệt đối.

$$\text{Tỷ số truyền } i_{13}: \quad |i_{13}| = \frac{\omega_1}{\omega_3} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \cdot \frac{\omega_2}{\omega_3}$$

$$\text{Suy ra: } \boxed{|i_{13}| = \frac{\omega_1}{\omega_3} = \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_3}{Z_2}}$$

Chiều quay của trục ra (bánh răng Z_3) được xác định dựa trên chiều quay của trục vào (bánh răng Z_1) nhờ phương pháp đánh dấu như trên hình 12.7.



Hình 12.7 : Hệ thường không gian

2) Quan hệ vận tốc góc trong hệ vi sai

Hệ vi sai có 2 bậc tự do đó vận tốc góc khâu bị dẫn cuối cùng phụ thuộc vào vận tốc góc của hai khâu dẫn. Do vậy ở đây, ta không tính tỷ số truyền mà tìm quan hệ vận tốc góc của khâu bị dẫn cuối cùng và hai khâu dẫn.

a) Hệ vi sai phẳng

Hãy xác định quan hệ giữa các vận tốc góc $\bar{\omega}_1; \bar{\omega}_3; \bar{\omega}_C$ của bánh (1), (3) và cần (C) trong hệ vi sai trên hình 12.2.

- Xét chuyển động *tương đối* của hệ đối với cần (C).

Trong chuyển động tương đối này, đường trục của các bánh răng đều cố định, do đó hệ trở thành hệ thường, vận tốc góc của các khâu (1), (3) trở thành: $\bar{\omega}_1^C = \bar{\omega}_1 - \bar{\omega}_C$; $\bar{\omega}_3^C = \bar{\omega}_3 - \bar{\omega}_C$.

Tỷ số truyền giữa khâu (1) và (3) trong chuyển động tương đối :

$$i_{13}^C = \frac{\bar{\omega}_1^C}{\bar{\omega}_3^C} = \frac{\bar{\omega}_1 - \bar{\omega}_C}{\bar{\omega}_3 - \bar{\omega}_C}$$

Thế nhưng trong chuyển động tương đối, hệ trở thành hệ thường, tỷ số truyền i_{13}^C có thể tính

$$\text{theo các số răng: } i_{13}^C = \left(-\frac{Z_2}{Z_1}\right) \left(-\frac{Z_3}{Z_2}\right)$$

$$\text{Tóm lại: } \boxed{\frac{\bar{\omega}_1 - \bar{\omega}_C}{\bar{\omega}_3 - \bar{\omega}_C} = i_{13}^C = \left(-\frac{Z_2}{Z_1}\right) \left(-\frac{Z_3}{Z_2}\right)} \quad (12.1)$$

- Tương tự như trên, ta cũng có: $\boxed{\frac{\bar{\omega}_1 - \bar{\omega}_C}{\bar{\omega}_2 - \bar{\omega}_C} = i_{12}^C = -\frac{Z_2}{Z_1}}$

b) Hệ vi sai không gian

• *Điều kiện đồng trục* trong hệ vi sai không gian: Mọi bánh trung tâm và cần đều đồng trục, mọi mặt nón lăn phải có chung một đỉnh (hình 12.8).

• *Quan hệ giữa các vận tốc góc $\vec{\omega}_1, \vec{\omega}_2, \vec{\omega}_C$* :

Xét chuyển động tương đối của hệ đối với cần (C) trong hệ vi sai không gian (hình 12.8).

Trong chuyển động tương đối này, hệ vi sai không gian trở thành hệ thường không gian, vận tốc góc của khâu (1), khâu (2): $\vec{\omega}_1^C = \vec{\omega}_1 - \vec{\omega}_C$, $\vec{\omega}_2^C = \vec{\omega}_2 - \vec{\omega}_C$

Tỷ số truyền giữa khâu (1) và khâu (2) trong chuyển động tương đối đối với cần C :

$$|i_{12}^C| = \frac{|\vec{\omega}_1^C|}{|\vec{\omega}_2^C|} = \frac{|\vec{\omega}_1 - \vec{\omega}_C|}{|\vec{\omega}_2 - \vec{\omega}_C|}$$

Do trong chuyển động tương đối, hệ trở thành hệ thường nên : $|i_{12}^C| = \frac{Z_2}{Z_1}$

Suy ra:
$$\frac{|\vec{\omega}_1 - \vec{\omega}_C|}{|\vec{\omega}_2 - \vec{\omega}_C|} = |i_{12}^C| = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (12.2)$$

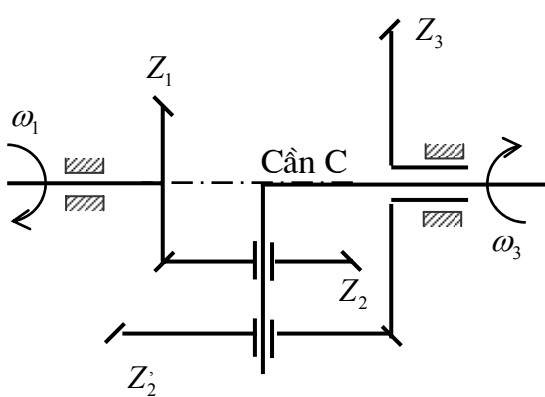
Ta có: $|\vec{\omega}_2 - \vec{\omega}_C|^2 = \omega_2^2 + \omega_C^2 - 2\vec{\omega}_2\vec{\omega}_C$

Do $\vec{\omega}_2 \perp \vec{\omega}_C \Rightarrow \vec{\omega}_2\vec{\omega}_C = 0 \Rightarrow |\vec{\omega}_2 - \vec{\omega}_C|^2 = \omega_2^2 + \omega_C^2$

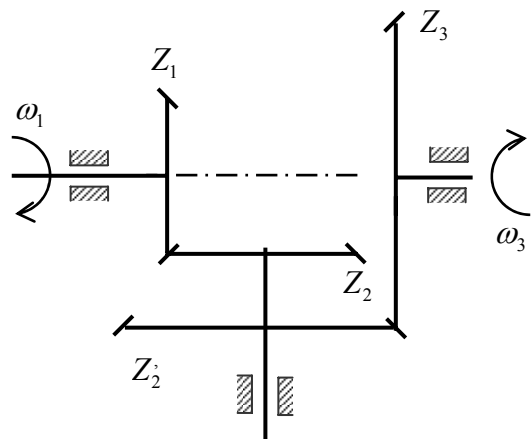
Do $\vec{\omega}_1 // \vec{\omega}_C \Rightarrow |\vec{\omega}_1 - \vec{\omega}_C| = |\omega_1 - \omega_C|$

Tóm lại : $|i_{12}^C| = \frac{|\vec{\omega}_1^C|}{|\vec{\omega}_2^C|} = \frac{|\omega_1 - \omega_C|}{\sqrt{\omega_2^2 + \omega_C^2}}$ với $|i_{12}^C|$ được tính toán như trong hệ thường không gian.

• *Quan hệ giữa các vận tốc góc $\vec{\omega}_1, \vec{\omega}_3, \vec{\omega}_C$* :



Hình 12.8 : Hệ vi sai không gian



Hình 12.9 : Hệ thường tương ứng

Tương tự như trên, khi xét chuyển động tương đối của hệ đối với cần C, ta có:

$$|i_{13}^C| = \frac{|\vec{\omega}_1^C|}{|\vec{\omega}_3^C|} = \frac{|\vec{\omega}_1 - \vec{\omega}_C|}{|\vec{\omega}_3 - \vec{\omega}_C|} = \frac{Z_2}{Z_1} \frac{Z_3}{Z_2}$$

Vì $\vec{\omega}_1, \vec{\omega}_3, \vec{\omega}_C$ cùng phương nên có thể dùng các giá trị đại số $\bar{\omega}_1, \bar{\omega}_3, \bar{\omega}_C$ của vận tốc góc và có thể xét đến dấu của tỷ số truyền i_{13}^C .

Bằng phương pháp đánh dấu trong hệ thường tương ứng (hình 12.9) ta thấy $\bar{\omega}_1^C$ và $\bar{\omega}_3^C$ ngược chiều nhau. Suy ra :

$$i_{13}^C = \frac{\bar{\omega}_1^C}{\bar{\omega}_3^C} = -\frac{Z_2}{Z_1} \frac{Z_3}{Z_2}$$

Tóm lại:
$$i_{13}^C = \frac{\bar{\omega}_1 - \bar{\omega}_C}{\bar{\omega}_3 - \bar{\omega}_C} = -\frac{Z_2}{Z_1} \frac{Z_3}{Z_2}$$

3) Tỷ số truyền trong hệ hành tinh

Hệ hành tinh có một bậc tự do. Từ quan hệ vận tốc góc trong hệ vi sai, dễ dàng suy ra tỷ số truyền trong hệ hành tinh.

Xét hệ hành tinh phẳng như trên hình 12.3, trong đó bánh trung tâm (3) cố định: $\bar{\omega}_3 = 0$

Từ (12.1) suy ra :
$$\frac{\bar{\omega}_1 - \bar{\omega}_C}{-\bar{\omega}_C} = i_{13}^C.$$

Hay:
$$i_{1C} = \frac{\bar{\omega}_1}{\bar{\omega}_C} = 1 - i_{13}^C \quad \text{với: } i_{13}^C = \left(-\frac{Z_2}{Z_1}\right) \left(-\frac{Z_3}{Z_2}\right)$$

Tương tự, ta có:
$$i_{2C} = \frac{\bar{\omega}_2}{\bar{\omega}_C} = 1 - i_{23}^C \quad \text{với: } i_{23}^C = \left(-\frac{Z_3}{Z_2}\right)$$

Lưu ý bánh (3) là bánh trung tâm cố định.

Từ đó suy ra:
$$i_{12} = \frac{\bar{\omega}_1}{\bar{\omega}_2} = \frac{i_{1C}}{i_{2C}} = \frac{1 - \left(-\frac{Z_2}{Z_1}\right) \left(-\frac{Z_3}{Z_2}\right)}{1 - \left(-\frac{Z_3}{Z_2}\right)}$$

§5. Chọn số răng các bánh răng trong hệ hành tinh

➤ Số răng trong hệ hành tinh được chọn dựa trên yêu cầu về tỷ số truyền, đồng thời phải thỏa mãn các điều kiện:

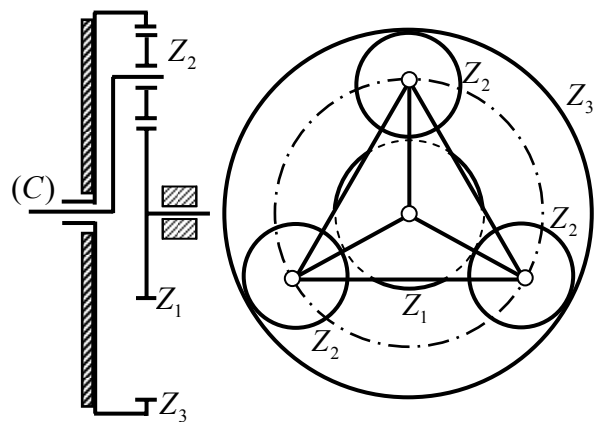
▪ Điều kiện đồng trục

Trong hệ hành tinh phẳng trên hình 12.3, 12.4, 12.5, đường trục của các bánh trung tâm (1), (3), và đường trục của cần (C) phải nằm trên cùng một đường thẳng.

▪ Điều kiện lắp

Trong hệ hành tinh, khi chuyển động, các bánh vệ tinh (hay các khối bánh vệ tinh) gây nên các lực ly tâm. Để cân bằng các lực ly tâm, cần (C) có dạng một chạc gồm nhiều nhánh phân bố đều, mỗi nhánh mang ổ trục của một bánh vệ tinh (hay một khối bánh vệ tinh) (hình 12.10). Dùng nhiều bánh vệ tinh phân bố đều, lực tác dụng sẽ phân bố cho các bánh vệ tinh, nhờ đó môđun các bánh răng có thể nhỏ, kích thước hướng kính của hệ hành tinh sẽ nhỏ gọn. Đồng thời, lực hướng tâm tác dụng lên trục của bánh trung tâm và cần (C) gần như bằng không.

Vấn đề đặt ra là phải lắp được các bánh vệ tinh lên các nhánh của cần (C), sao cho các



Hình 12.10

bánh vệ tinh đồng thời ăn khớp với các bánh trung tâm. Đây chính là điều kiện lắp của hệ hành tinh.

➤ Xét hệ hành tinh hình 12.10. Cần phải xác định các số răng của hệ để đồng thời bảo đảm được tỷ số truyền, điều kiện *đồng trục* và điều kiện *lắp*. Giả sử các bánh răng đều tiêu chuẩn và cùng môđun.

1) Điều kiện đồng trục

Để các bánh trung tâm Z_1, Z_3 và cần (C) đồng trục với nhau, phải có :

$$r_3 = r_1 + 2r_2 \quad (12.3)$$

Trong đó r_1, r_2, r_3 là bán kính vòng lăn của các bánh 1, 2, 3.

Do các bánh răng ăn khớp với nhau phải có cùng môđun m , hệ thức (12.3) trở thành:

$$\frac{1}{2}mZ_3 = \frac{1}{2}mZ_1 + 2 \cdot \frac{1}{2}mZ_2$$

$$\Rightarrow Z_3 = Z_1 + 2Z_2$$

$$\text{Hay: } Z_2 = \frac{Z_3 - Z_1}{2}$$

Do Z_2 là số nguyên nên các số răng Z_3, Z_1 phải đều cùng là số lẻ hay đều cùng là số chẵn.

2) Điều kiện lắp

Để có thể lắp được, cung in đậm (t) trên hình 12.11 phải bằng số nguyên lần bước răng p trên vòng lăn của các bánh.

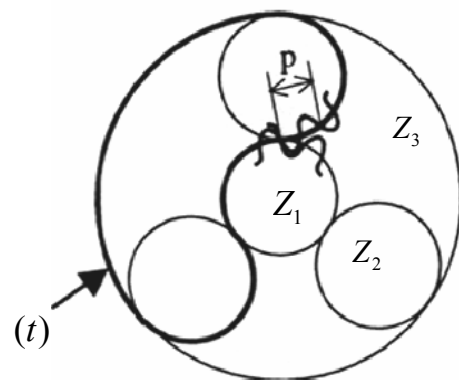
Do đó: $Z_2 \frac{Z_1}{n} + \frac{Z_3}{n} = k$ phải là số nguyên, với n

là số bánh răng vệ tinh hay số chạc của cần (C).

$$\text{Suy ra: } Z_1 + Z_3 = n(k - Z_2)$$

Như vậy $Z_1 + Z_3$ phải là bội số của n .

Tóm lại để thỏa mãn cả hai điều kiện đồng trục và điều kiện lắp, cần phải có điều kiện: $Z_1 + Z_3$ phải là bội số của n nếu n chẵn; bội số của $2n$ nếu n lẻ.



Hình 12.11
Khối bánh răng cố định

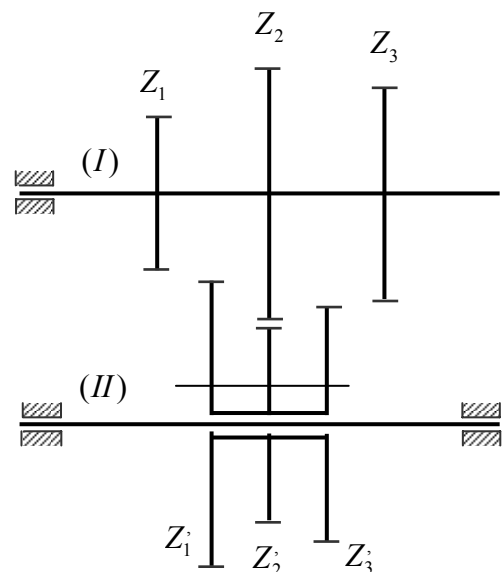
§3. Công dụng của hệ bánh răng

1) Công dụng của hệ thường

- Hệ bánh răng thường được dùng để thực hiện các tỷ số truyền lớn mà một cặp bánh răng không thể thực hiện được (hệ được gọi là hộp giảm tốc nếu trục ra quay chậm hơn trục vào, hộp tăng tốc nếu trục ra quay nhanh hơn trục vào); dùng để thực hiện nhiều tỷ số truyền khác nhau (hộp số, hộp biến tốc).

Ví dụ hộp số (hình 12.12) có hai khối bánh răng: Khối (1) có ba bánh răng gắn cố định trên trục (I). Khối (2) có 3 bánh răng có thể di động dọc trục (II) (và được gọi là khối bánh răng di trượt). Bán kính vòng lăn của các bánh thỏa mãn điều kiện:

$$r_1 + r_1' = r_2 + r_2' = r_3 + r_3'$$



Khối bánh răng di trượt
Hình 12.12

Mặt khác, khoảng cách giữa các vành răng của các bánh răng trên trục (I) và (II) được tính toán sao cho khi cho khối bánh răng di trượt di chuyển dọc theo trục (II), chỉ có thể có 1 cặp trong 3 cặp bánh răng là ăn khớp với nhau thôi.

Khi cho cặp bánh răng (2,2') ăn khớp với nhau, tỷ số truyền giữa hai trục (I) và (II) bằng :

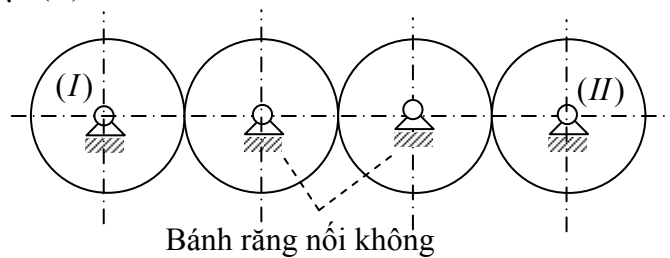
$$i_{I,II} = -\frac{Z_2'}{Z_2}. \text{ Khi cho cặp bánh răng (1,1')} \text{ ăn khớp với nhau (gạt khối bánh răng di trượt sang}$$

bên trái) thì : $i_{I,II} = -\frac{Z_1'}{Z_1}$. Khi cho cặp bánh răng (3,3') ăn khớp với nhau (gạt khối bánh răng

di trượt sang bên phải) thì : $i_{I,II} = -\frac{Z_3'}{Z_3}$. Nghĩa là hộp số nói trên thực hiện được ba tỷ số

truyền khác nhau giữa hai trục (I) và trục (II).

- Hệ bánh răng thường được dùng để truyền động giữa hai trục xa nhau với một tỷ số truyền chính xác (hình 12.13). Nếu dùng một cặp bánh răng để truyền động từ trục (I) sang trục (II) sẽ dẫn đến không hợp lý về mặt kích thước và chế tạo. Nếu dùng bộ truyền đai hay xích thì tỷ số truyền không chính xác.



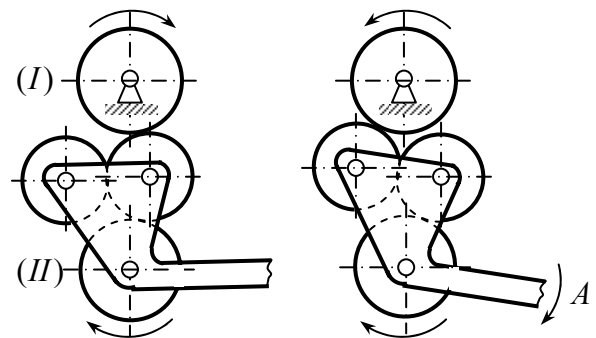
Hình 12.13

- Hệ bánh răng thường còn dùng để đảo chiều quay trục bị dẫn (hình 12.14). Khi kéo chạc A xuống, trục bị dẫn (II) sẽ đổi chiều quay.

2) Công dụng của hệ vi sai

Hệ vi sai có hai bậc tự do, do đó nó được sử dụng trong các trường hợp cần *tổng hợp* hai chuyển động quay độc lập thành một chuyển động quay hay *phân tích* một chuyển động quay thành hai chuyển động quay độc lập.

Phần này giới thiệu hộp vi sai trong ô tô, dùng để phân tích một chuyển động quay thành hai chuyển động quay độc lập.



Hình 12.14 : Cơ cấu đảo chiều trục bị dẫn (II)

• Hộp vi sai trong ô tô

Gọi \vec{V} , \vec{V}_1 , \vec{V}_3 lần lượt là vận tốc ô tô và vận tốc của tâm bánh xe sau (1) và (3); ω_1 , ω_3 lần lượt là vận tốc các bánh (1) và (3) (hình 12.15).

✓ Khi xe chạy trên đường thẳng:

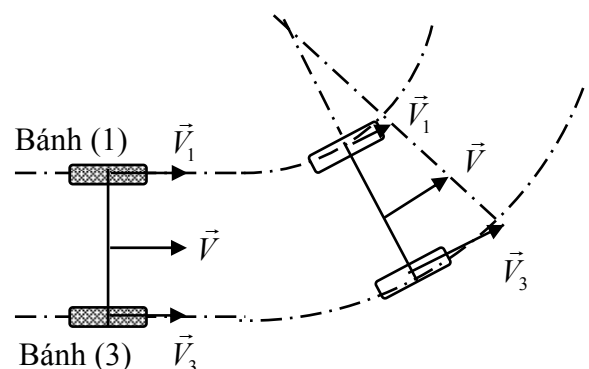
$$\vec{V}_1 = \vec{V}_3 = \vec{V} \Rightarrow \omega_1 = \omega_3$$

✓ Khi xe chạy trên đường vòng:

$$V_1 < V_3$$

Do đó, để xe đi vòng dễ dàng, không bị trượt trên mặt đường, phải có $\omega_1 < \omega_3$.

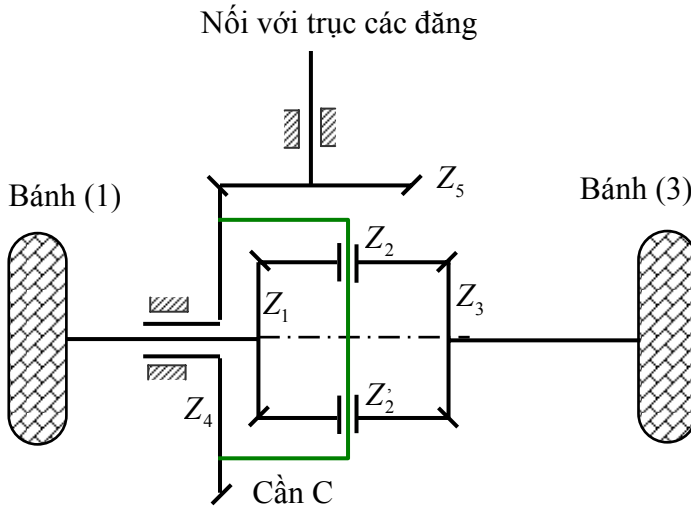
Thế mà, bánh (1) và bánh (3) cùng nhận chuyển động từ trục động cơ (thông qua trục các đăng), lại phải có hai vận tốc góc khác nhau, do đó cần phải sử dụng hộp vi sai để phân tích một chuyển động quay thành hai chuyển động quay độc lập.



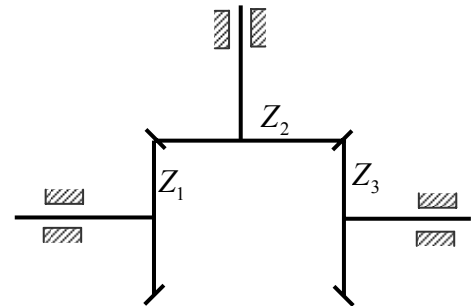
Hình 12.15

• **Cấu tạo hộp vi sai**

Hộp vi sai ô tô gồm hai cặp bánh răng nón (1,2) và (2,3) với $Z_1 = Z_3$. Bánh vệ tinh (2) có trục vuông góc với trục các bánh trung tâm (1) (3) và cần C. Chuyển động từ trục động cơ được truyền tới cần C thông qua khớp các đăng và cặp bánh răng nón (4,5).



Hình 12.16 : Hộp vi sai ô tô



Hình 12.7 : Hệ thường tương ứng

• **Nguyên lý làm việc**

Ta có :
$$i_{13}^C = \frac{\bar{\omega}_1 - \bar{\omega}_C}{\bar{\omega}_3 - \bar{\omega}_C} = -\frac{Z_2 Z_3}{Z_1 Z_2} = -\frac{Z_3}{Z_1} = -1$$

(Dấu của tỷ số truyền được xác định bằng phương pháp đánh dấu trong hệ thường tương ứng trên hình 12.17)

Suy ra :
$$\bar{\omega}_1 + \bar{\omega}_3 = 2\bar{\omega}_C = \text{hằng số} \tag{12.4}$$

✓ Khi xe chạy trên đường thẳng, sức cản lăn trên hai bánh (1) và (3) như nhau, do đó vận tốc góc hai bánh (1) và (3) như nhau : $\bar{\omega}_1 = \bar{\omega}_3 \Rightarrow \bar{\omega}_1 = \bar{\omega}_3 = \bar{\omega}_C$.

✓ Khi xe chạy trên đường vòng, sức cản lăn trên bánh (1) lớn hơn trên bánh (3), vì vậy bánh (1) quay chậm lại, ω_1 giảm xuống. Từ (12.4) suy ra rằng vận tốc góc ω_3 của bánh (3) tăng lên, nhờ đó xe đi vòng dễ dàng, không bị trượt trên mặt đường.

3) Công dụng của hệ hành tinh

• Hệ hành tinh cho phép thực hiện một tỷ số truyền lớn, có thể rất lớn. Ví dụ xét hệ hành tinh trên hình 12.3.

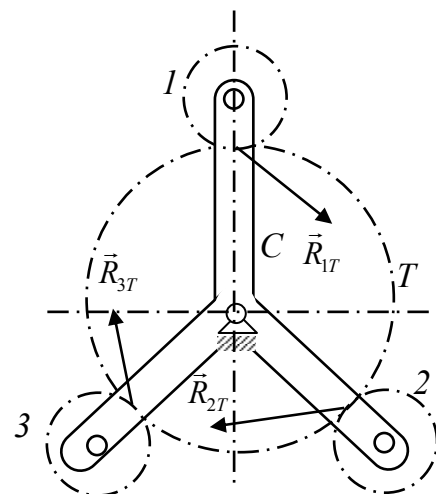
Ta có :
$$i_{1C} = \frac{\bar{\omega}_1}{\bar{\omega}_C} = 1 - i_{13}^C = 1 - \frac{Z_2 Z_3}{Z_1 Z_2}$$

Nếu chọn hợp lý số răng của các bánh răng, ví dụ chọn : $Z_2 = 99, Z_3 = 101, Z_1 = Z_2 = 100$ thì :

$$i_{1C} = \frac{1}{10000}$$

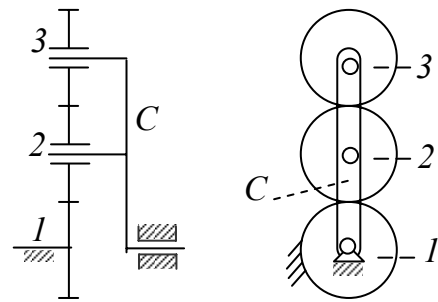
Tuy nhiên, khi chọn tỷ số truyền và khâu dẫn cần chú ý sao cho hiệu suất của hệ không quá thấp và đặc biệt phải tránh hiện tượng tự hãm.

• Ngay cả khi tỷ số truyền nhỏ và vừa, người ta cũng dùng hệ hành tinh vì nó có một số ưu điểm sau đây về kết cấu và tải trọng: Cần C thường có nhiều chạc phân bố đều, trên đó lắp các khối bánh vệ tinh giống nhau, vì vậy phản lực trên trục của cần C và trên trục các bánh trung tâm

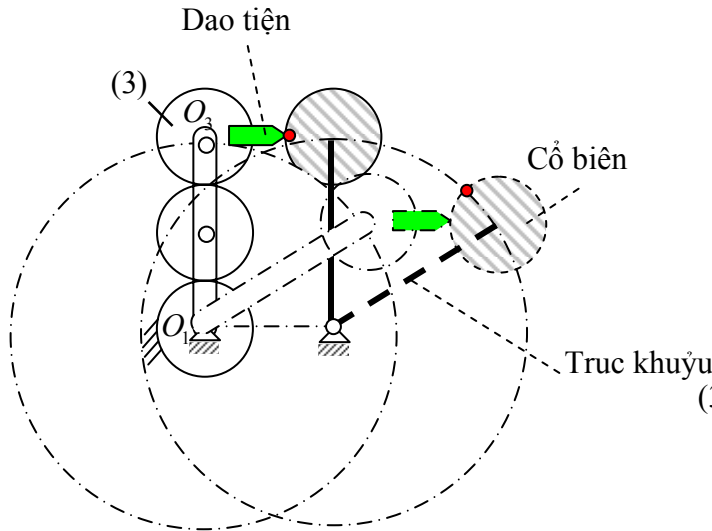


Hình 12.18 : $\vec{R}_{1T} + \vec{R}_{2T} + \vec{R}_{3T} \approx 0$

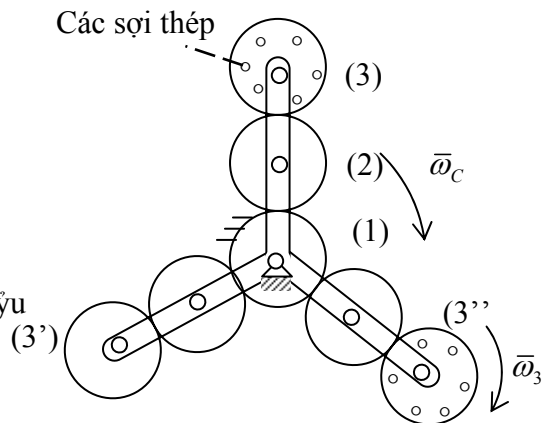
gần như bằng 0 (hình 12.18). Mỗi bánh răng chỉ chịu một phần tải trọng nên có thể làm nhỏ, nhờ đó kích thước khuôn khổ của hệ thống nhỏ gọn. Mặt khác, trong hệ hành tinh, thường dùng các cặp bánh răng nội tiếp có nhiều ưu điểm về mặt sức bền so với cặp bánh răng ngoại tiếp.



Hình 12.19



Hình 11.20: Cơ cấu máy tiện trục khuỷu



Hình 12.21: Cơ cấu máy bện cáp

• Hệ hành tinh được dùng để tạo những chuyển động đặc biệt cần thiết cho một số quá trình công nghệ.

Ví dụ xét hệ hành tinh trên hình 12.19. Bánh (1) là bánh trung tâm cố định.

$$\text{Ta có: } i_{3C} = \frac{\bar{\omega}_3}{\bar{\omega}_C} = 1 - i_{31}^C = 1 - \frac{Z_2}{Z_3} \frac{Z_1}{Z_2} = 1 - \frac{Z_1}{Z_3}$$

✓ Nếu lấy $Z_1 = Z_3$ thì $i_{3C} = 0 \Rightarrow$ khi cần C quay đều thì $\omega_3 = 0$: bánh (3) chuyển động tịnh tiến tròn. Trong trường hợp này, hệ hành tinh được sử dụng trong cơ cấu máy tiện trục khuỷu, dùng để tiện ổ biên (hình 12.20).

Để tiện ổ biên của trục khuỷu, ta gá trục khuỷu lên máy tiện sao cho tâm O_1 của ổ chính trùng với tâm trục chính máy tiện. Dao tiện được gá trên bánh răng (3). Khi cho trục khuỷu và cần C của hệ hành tinh quay với cùng vận tốc góc, do bánh (3) và dao tiện chuyển động tịnh tiến tròn, dao tiện sẽ luôn luôn đuổi theo ổ biên và có một chuyển động tương đối trên chu vi ổ biên, thực hiện chuyển động cắt cần thiết.

✓ Nếu lấy $Z_1 \neq Z_3$ thì hệ hành tinh này được sử dụng trong cơ cấu máy bện cáp hay cơ cấu máy bện xơ dứa (hình 12.21). Các dây cáp được bện lại từ các nhánh cáp, các nhánh cáp lại được bện từ các sợi thép. Nếu chiều bện các nhánh cáp trong cùng một dây cùng chiều với chiều bện các sợi thép trong cùng một nhánh, ta gọi là cáp bện xuôi. Ngược lại, ta có cáp bện ngược.

Trong cơ cấu máy bện cáp, các sợi thép được mắc trên các bánh (3), (3') và (3''). Khi cần C quay thì các bánh (3), (3') và (3'') cũng quay theo, các sợi thép được bện lại thành các nhánh, đồng thời các nhánh cũng được bện thành dây cáp.

Khi chọn $Z_1 < Z_3 \Rightarrow i_{3C} > 0 \Rightarrow \bar{\omega}_3$ cùng chiều $\bar{\omega}_C$: ta được cáp bện xuôi. Khi $Z_1 > Z_3 \Rightarrow i_{3C} < 0 \Rightarrow \bar{\omega}_3$ ngược chiều $\bar{\omega}_C$: ta được cáp bện ngược



CƠ CẤU PHẪNG TOÀN KHỚP THẤP

§1. Đại cương

1) Khái niệm về cơ cấu phẳng toàn khớp thấp

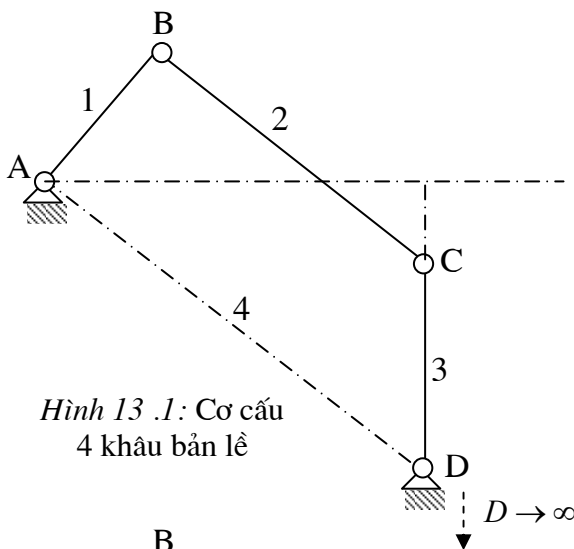
Cơ cấu phẳng toàn khớp thấp là cơ cấu phẳng trong đó chỉ dùng các khớp quay và khớp trượt với điều kiện các khớp quay trong cơ cấu phải có đường trục song song với nhau, các khớp trượt trong cơ cấu phải có phương trượt nằm trong các mặt phẳng song song với nhau và vuông góc với đường trục của các khớp quay.

Điều kiện nói trên được gọi là *điều kiện phẳng* của cơ cấu.

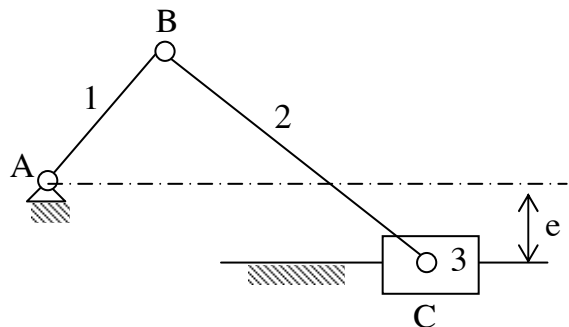
2) Các cơ cấu phẳng toàn khớp thấp thông dụng

✓ Các cơ cấu phẳng toàn khớp thấp thông dụng là các cơ cấu có bốn khâu và sáu khâu. Cơ cấu phẳng toàn khớp thấp có 4 khâu được gọi là cơ cấu 4 khâu phẳng gồm có các cơ cấu hạng II.

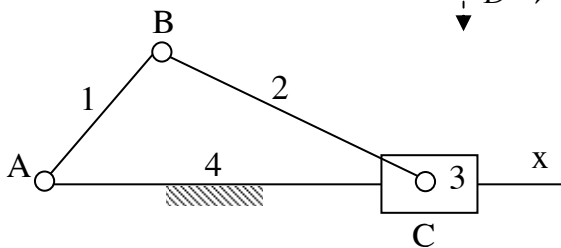
Cơ cấu 4 khâu phẳng toàn khớp quay gọi là cơ cấu 4 khâu bản lề.



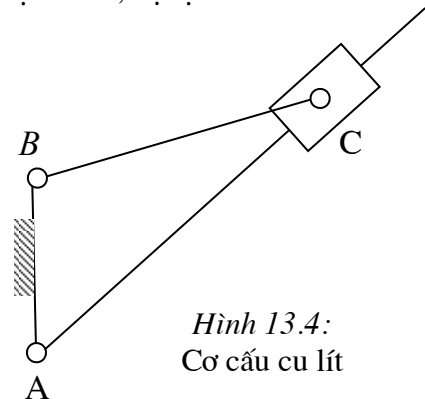
Hình 13.1: Cơ cấu 4 khâu bản lề



Hình 13.2: Cơ cấu tay quay con trượt lệch tâm, độ lệch tâm : e



Hình 13.3 : Cơ cấu tay quay con trượt chính tâm



Hình 13.4: Cơ cấu culít

✓ Các cơ cấu bốn khâu phẳng thông dụng được cho trên hình 13.1, 13.2, 13.3, 13.4.

Hình 13.1 : Cơ cấu bốn khâu bản lề.

Hình 13.2 và 13.3: Cơ cấu tay quay con trượt.

Hình 13.4 : Cơ cấu culít.

✓ Mỗi cơ cấu 4 khâu phẳng có một khâu cố định là giá, một khâu không nối giá gọi là thanh truyền và hai khâu nối với giá gọi là các khâu nối giá.

Trong các cơ cấu 4 khâu phẳng thông dụng, có ít nhất một khâu được nối với giá bằng khớp bản lề. Nếu khâu nối giá này quay được liên tục quanh giá của nó thì được gọi là tay quay, nếu không được gọi là cần lắc.

✓ Cơ cấu 4 khâu bản lề là dạng cơ bản nhất của cơ cấu 4 khâu phẳng.

Các cơ cấu 4 khâu phẳng khác đều có thể xem là biến thể của cơ cấu 4 khâu bản lề.

Ví dụ : Xét cơ cấu 4 khâu bản lề ABCD (hình 13.1). Khi cho khớp quay D tiến tới vô cùng trên phương CD thì chuyển động quay của khâu 3 quanh tâm D biến thành chuyển động tịnh tiến với phương trượt vuông góc với CD, do đó khớp quay D giữa khâu 3 và giá sẽ biến thành khớp trượt có phương trượt vuông góc với CD. Cơ cấu trở thành cơ cấu tay quay con trượt lệch tâm (hình 13.2).

Khoảng cách e từ tâm quay A đến giá trượt của con trượt C được gọi là độ lệch tâm của cơ cấu.

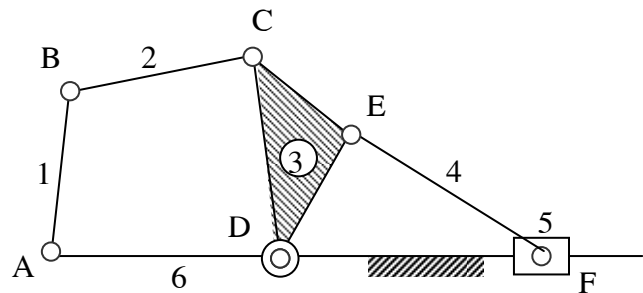
Khi $e = 0$, cơ cấu trở thành cơ cấu tay quay con trượt chính tâm (hình 13.3).

Thay vì chọn khâu 4 trong cơ cấu tay quay con trượt chính tâm là giá, ta chọn giá là khâu AB (khâu 1), cơ cấu trở thành cơ cấu culít (hình 13.4).

✓ Các cơ cấu phẳng hạng II đều có thể xem là biến thể hay phát triển của

cơ cấu 4 khâu bản lề. Ví dụ cơ cấu máy sàng lắc hạng II trên hình 13.5 có thể xem là tổ hợp của một cơ cấu bốn khâu bản lề ABCD và một cơ cấu tay quay con trượt DEF.

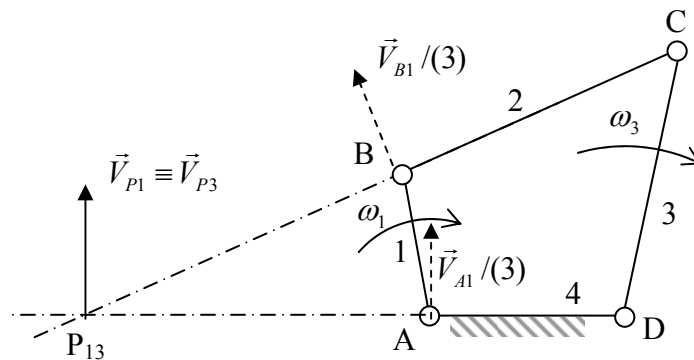
✓ Các cơ cấu phẳng toàn khớp thấp nói chung được dùng để biến đổi và truyền chuyển động. Bên cạnh đó còn dùng để tạo ra các quỹ đạo chuyển động đặc biệt.



Hình 13.5: Cơ cấu máy sàng

§2. Cơ cấu bốn khâu bản lề

1) Tỷ số truyền trong cơ cấu 4 khâu bản lề



Hình 13.6 : Cơ cấu bốn khâu bản lề

- Hãy xác định tỷ số truyền $i_{13} = \frac{\omega_1}{\omega_3}$ giữa khâu 1 và khâu 3 trong cơ cấu 4 khâu bản lề, với

ω_1 và ω_3 là vận tốc góc của các khâu nối giá 1 và 3.

Ta có thể dùng phương pháp tâm vận tốc tức thời để xác định i_{13} như sau :

Xét chuyển động tương đối của cơ cấu đối với khâu 3. Trong chuyển động này, khâu 4 và khâu 2 quay xung quanh các khớp bản lề C và D (hình 13.6). Gọi $\vec{V}_{B1}/(3)$ và $\vec{V}_{A1}/(3)$ lần lượt là vận tốc của điểm B và A trên khâu 1 trong chuyển động tương đối này, ta có : $\vec{V}_{B1}/(3) \perp BC$ và $\vec{V}_{A1}/(3) \perp AD$.

Như vậy điểm P, giao điểm của BC và AD, chính là tâm vận tốc tức thời của khâu 1 trong chuyển động tương đối đối với khâu 3.

Trong chuyển động tuyệt đối của cơ cấu, ta có : $\vec{V}_{P1} = \vec{V}_{P3}$, với P_1 và P_3 là hai điểm lần lượt thuộc khâu 1 và khâu 3 hiện đang trùng với điểm P.

$$\text{Suy ra : } V_{P1} = \omega_1 AP = V_{P3} = \omega_3 DP \quad \Rightarrow \quad \boxed{i_{13} = \frac{\omega_1}{\omega_3} = \frac{DP}{AP}}$$

Nếu xét giá trị đại số của vận tốc góc, ta có:
$$i_{13} = \frac{\bar{\omega}_1}{\bar{\omega}_3} = \frac{DP}{AP}$$

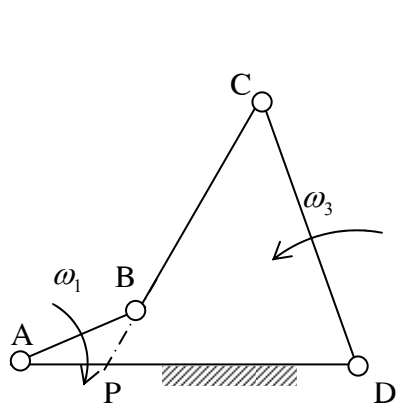
• **Định lý Willis**

Từ lý luận trên đây, ta có định lý Willis như sau : Trong cơ cấu 4 khâu bản lề, đường thanh truyền BC chia giá AD thành hai đoạn tỷ lệ nghịch với vận tốc góc của hai khâu nối giá:

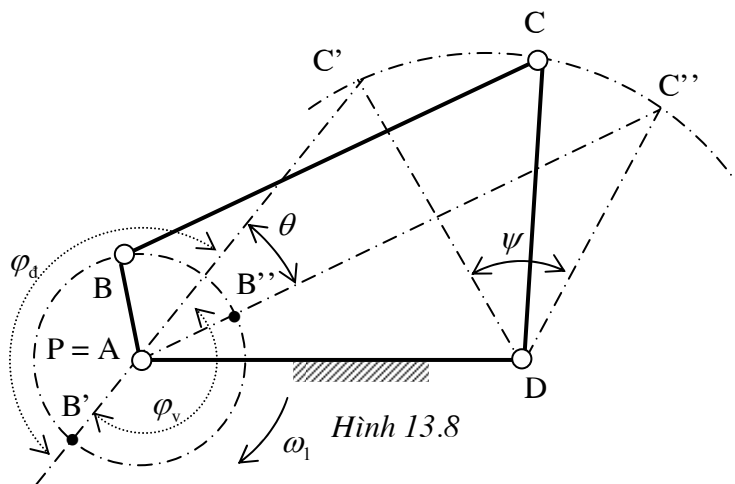
$$i_{13} = \frac{\bar{\omega}_1}{\bar{\omega}_3} = \frac{DP}{AP}$$

• **Nhận xét**

- ✓ Khi cơ cấu chuyển động, phương của thanh truyền BC và do đó vị trí của điểm P thay đổi nên tỷ số truyền i_{13} cũng thay đổi : nếu $\omega_1 =$ hằng số thì $\omega_3 \neq$ hằng số và ngược lại.
- ✓ Khi điểm P chia ngoài đoạn AD thì ω_1 và ω_3 cùng chiều nhau, khi đó $i_{13} > 0$ (hình 13.6). Khi điểm P chia trong đoạn AD thì ω_1 và ω_3 ngược chiều nhau và $i_{13} < 0$ (hình 13.7).

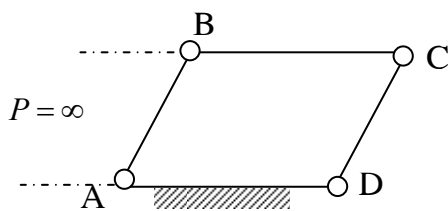


Hình 13.7 : P chia trong AD

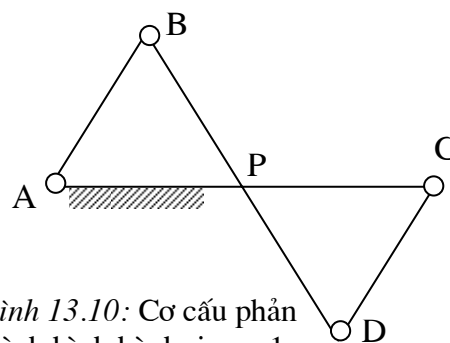


Hình 13.8

- ✓ Khi tay quay AB và thanh truyền BC chập nhau (vị trí B'C') hay duỗi thẳng (vị trí B''C'') thì điểm P trùng với điểm A (hình 13.8). Khi đó khâu nối giá 3 có vận tốc góc $\omega_3 = 0$, khâu 3 dừng lại sau đó đổi chiều quay. Hai vị trí DC' và DC'' được gọi là hai vị trí dừng (vị trí biên) của khâu 3. Khâu 3 là cần lắc. Góc ψ giữa hai vị trí biên gọi là góc lắc của khâu 3.
- ✓ Tỷ số truyền $i_{13} =$ hằng số trong các trường hợp đặc biệt sau đây (hình 13.9, hình 13.10) :



Hình 13.9: Cơ cấu hình bình hành:
 $AB = CD; AD = BC; i_{13} = 1$



Hình 13.10: Cơ cấu phản hình bình hành; $i_{13} = -1$

2) Hệ số về nhanh

- ✓ Trong cơ cấu 4 khâu bản lề, khi khâu nối giá 1 là tay quay, khâu nối giá 3 là cần lắc, chuyển động của cần lắc 3 gồm hai hành trình (hình 13.8): Hành trình đi (làm việc) ứng với khâu dẫn đi từ vị trí AB' đến vị trí AB'', ứng với góc quay φ_d của khâu dẫn AB và hành trình về (về không) ứng với khâu dẫn đi từ vị trí AB'' đến vị trí AB', ứng với góc quay φ_v của khâu dẫn AB.

✓ Hệ số về nhanh được định nghĩa như sau:

$$k = \frac{\varphi_d}{\varphi_v}$$

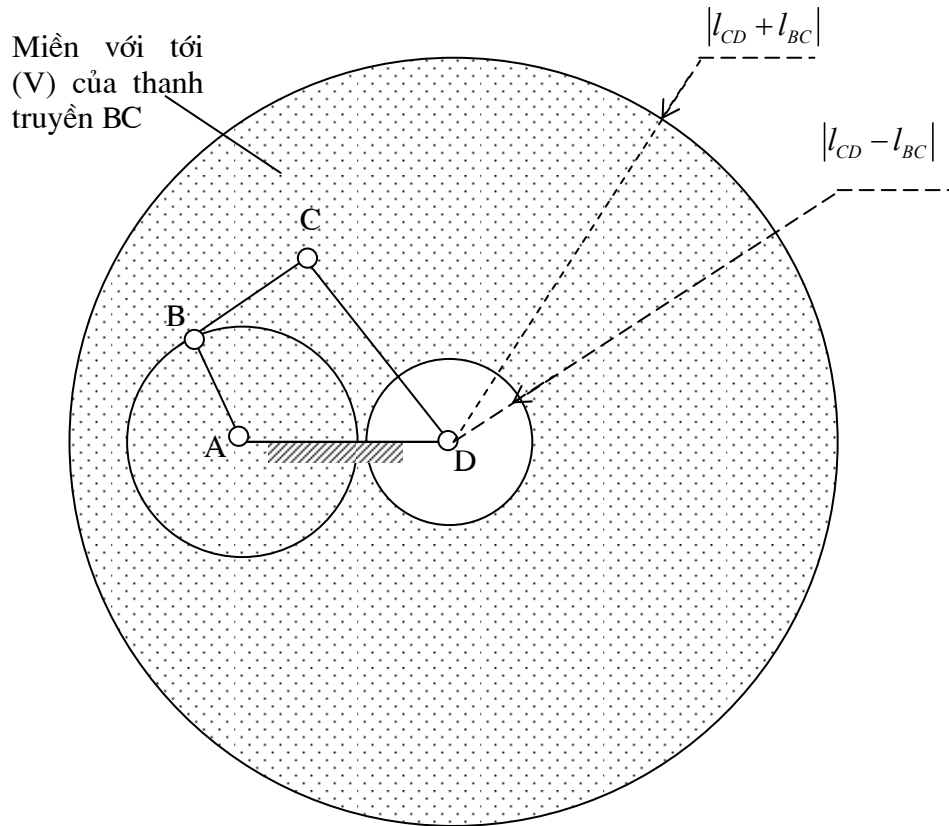
✓ Hệ số về nhanh k đặc trưng cho năng suất của máy. Do vậy, khi chọn chiều quay của khâu dẫn AB, lưu ý chọn sao cho $\varphi_d > \varphi_v$, tức là sao cho $k > 1$.

✓ Với chiều quay khâu dẫn như trên hình 13.8, ta có :

$$\varphi_d = \pi + \theta \quad \text{và} \quad \varphi_v = \pi - \theta \quad \Rightarrow \quad k = \frac{\varphi_d}{\varphi_v} = \frac{\pi + \theta}{\pi - \theta} > 1$$

3) Điều kiện quay toàn vòng của khâu nối giá

Khi cơ cấu bốn khâu bản lề nhận chuyển động từ động cơ hay thông qua một hệ truyền động như cơ cấu bánh răng, cơ cấu truyền động đai, truyền động xích... thì khâu nối giá nhận chuyển động này bắt buộc phải là một tay quay. Vì vậy, việc xác định điều kiện quay toàn vòng của khâu nối giá có ý nghĩa quan trọng trong việc thiết kế cơ cấu.



Hình 13.11

• Xét cơ cấu 4 khâu bản lề ABCD. Hãy xét điều kiện quay toàn vòng của khâu nối giá AB. Tưởng tượng tháo khớp B ra. Quỹ tích của điểm B_1 trên khâu AB là vòng tròn (A, l_{AB}) . Quỹ tích của điểm B_2 trên khâu BC là hình vành khăn (V) giới hạn bởi hai vòng tròn $(D, l_{CD} + l_{BC})$ và $(D, |l_{CD} - l_{BC}|)$. Miền (V) được gọi là *miền với tới* của đầu B_2 của thanh truyền BC.

Nếu vòng tròn (A, l_{AB}) nằm gọn trong miền với tới (V) của đầu B_2 của thanh truyền BC (hình 13.11) thì khi B_1 đi đến đâu, B_2 cũng có thể với tới được đến đó. Khi đó khâu AB quay được toàn vòng.

Còn nếu vòng tròn (A, l_{AB}) không nằm gọn trong miền với tới (V) thì khâu AB không quay được toàn vòng (khâu AB là cần lắc).

• Điều kiện quay toàn vòng của khâu nối giá AB

Một khâu nối giá AB quay được toàn vòng khi và chỉ khi quỹ tích (A, l_{AB}) của nó nằm gọn trong miền với tới (V) của đầu B_2 thanh truyền BC kể nó, tức là:

$$\begin{cases} l_{AB} + l_{AD} \leq l_{CD} + l_{BC} \\ |l_{AB} - l_{AD}| \geq |l_{CD} - l_{BC}| \end{cases}$$

• **Quy tắc Grasshof**

Để phán đoán điều kiện quay toàn vòng của khâu nối giá, ta có thể dùng quy tắc Grasshof: Trong cơ cấu bốn khâu bản lề :

1) Nếu tổng chiều dài khâu ngắn nhất và khâu dài nhất *nhỏ hơn hoặc bằng* tổng chiều dài của hai khâu còn lại thì:

a) Khi lấy khâu *kề* với khâu ngắn nhất làm giá, khâu ngắn nhất sẽ là tay quay, khâu nối giá còn lại sẽ là cần lắc.

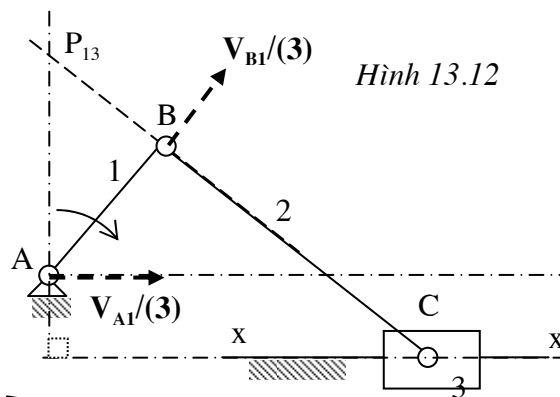
b) Khi lấy khâu ngắn nhất làm giá, cả hai khâu nối giá đều là tay quay.

c) Khi lấy khâu *đối diện* với khâu ngắn nhất làm giá, cả hai khâu nối giá đều là cần lắc.

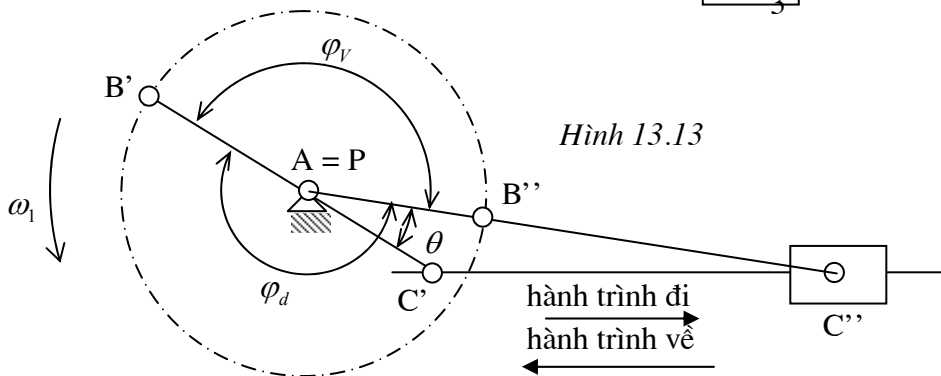
2) Nếu tổng chiều dài khâu ngắn nhất và khâu dài nhất *lớn hơn* tổng chiều dài của hai khâu còn lại thì khi lấy khâu nào làm giá, cả hai khâu nối giá đều là cần lắc.

§3. Cơ cấu tay quay con trượt

1) Quan hệ vận tốc



Hình 13.12



Hình 13.13

• Hãy xác định quan hệ giữa vận tốc góc ω_1 của khâu 1 và vận tốc V_3 của con trượt C trong cơ cấu tay quay con trượt (hình 13.12). Xét chuyển động tương đối của cơ cấu đối với khâu 3.

Trong chuyển động này, vận tốc của điểm B_1 và A_1 trên khâu 1 lần lượt là $\vec{V}_{B_1}/(3)$ và $\vec{V}_{A_1}/(3)$, với $\vec{V}_{B_1}/(3) \perp BC$ và $\vec{V}_{A_1}/(3)$ song song với phương trượt xx của con trượt C.

Do đó điểm P, giao điểm của BC và đường thẳng qua A và vuông góc với phương trượt xx, chính là tâm quay tức thời trong chuyển động tương đối giữa khâu 1 và khâu 3.

Nếu gọi P_1 và P_3 là hai điểm của khâu 1 và khâu 3 hiện đang trùng với điểm P thì trong chuyển động tuyệt đối của cơ cấu, ta có :

$$\vec{V}_{P_1} = \vec{V}_{P_3} \Rightarrow V_{P_1} = \omega_1 AP = V_{P_3} = V_3 \Rightarrow \boxed{\omega_1 AP = V_3}$$

• **Nhận xét**

- ✓ Khi cơ cấu chuyển động, phương của thanh truyền BC và do đó vị trí của điểm P thay đổi : nếu $\omega_1 =$ hằng số thì $V_3 \neq$ hằng số và ngược lại.
- ✓ Khi tay quay AB và thanh truyền BC chập nhau (vị trí B'C') hay duỗi thẳng (vị trí B''C'') thì điểm P trùng với điểm A, khi đó $V_3 = 0$: khâu (3) dừng lại và đổi chiều chuyển động. Hai vị trí C' và C'' được gọi là hai vị trí dừng (vị trí biên) của khâu 3 (hình 13.13).

2) Hệ số về nhanh

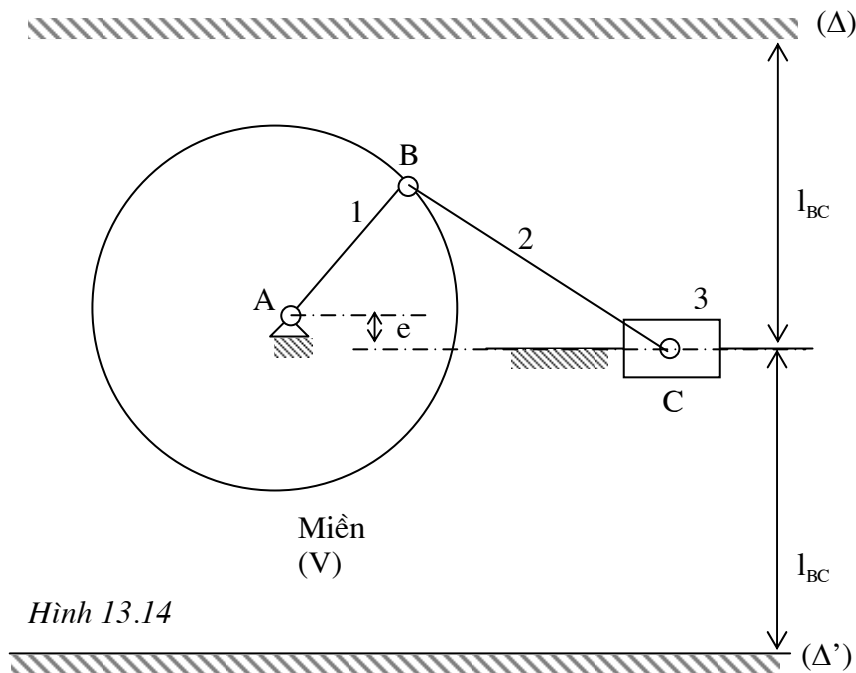
- ✓ Chuyển động của con trượt C gồm hai hành trình: Hành trình đi (làm việc) ứng với khâu dẫn đi từ vị trí AB' đến vị trí AB'', ứng với góc quay φ_d của khâu AB và hành trình về (về không) ứng với khâu dẫn đi từ vị trí AB'' đến vị trí AB', ứng với góc quay φ_v của khâu AB (hình 13.13).

Tương tự như cơ cấu 4 khâu bản lề, hệ số về nhanh : $k = \frac{\varphi_d}{\varphi_v}$

- ✓ Với cơ cấu tay quay con trượt chính tâm: $\varphi_d = \varphi_v \Rightarrow k = 1$

Với cơ cấu tay quay con trượt lệch tâm và chiều quay khâu dẫn AB được chọn như trên hình

13.13, ta có : $\varphi_d = \pi + \theta$ và $\varphi_v = \pi - \theta \Rightarrow k = \frac{\varphi_d}{\varphi_v} = \frac{\pi + \theta}{\pi - \theta}$



Hình 13.14

3) Điều kiện quay toàn vòng

Miền với tới (V) của đầu B₂ thanh truyền BC giới hạn bởi hai đường thẳng (Δ) và (Δ') song song với phương trượt xx và cách xx một khoảng bằng l_{BC} (hình 13.14).

Do đó điều kiện quay toàn vòng của khâu nối giá AB : $l_{BC} \geq l_{AB} + e$

§3. Cơ cấu culít

1) Tỷ số truyền

Xét cơ cấu culít trên hình 13.15. Hãy xác định tỷ số truyền $i_{13} = \frac{\omega_1}{\omega_3}$ giữa khâu 1 và khâu 3.

- Xét chuyển động tương đối của cơ cấu đối với khâu 3.

Trong chuyển động này, khâu 4 xem như quay quanh C, khâu 2 xem như chuyển động tịnh tiến với phương trượt là Cx. Do đó vận tốc của điểm A₁ và B₁ thuộc khâu 1 lần lượt là $\vec{V}_{A_1}/(3)$ và $\vec{V}_{B_1}/(3)$ với $\vec{V}_{A_1}/(3) \perp AC$ và $\vec{V}_{B_1}/(3) // Cx$. Suy ra tâm quay tức thời trong chuyển động tương đối giữa khâu 3 và khâu 1 chính là điểm P, giao điểm của AC và đường thẳng qua B và vuông góc với Cx.

Trong chuyển động tuyệt đối của cơ cấu, ta có :

$$\vec{V}_{P_1} = \vec{V}_{P_3} \Rightarrow V_{P_1} = \omega_1 AP = V_{P_3} = \omega_3 CP \Rightarrow \boxed{i_{13} = \frac{\omega_1}{\omega_3} = \frac{CP}{AP}}$$

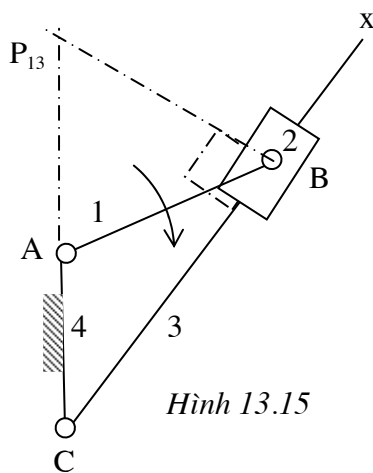
• **Nhận xét**

✓ Nếu $I_{AB} = I_{AC}$ thì khi cơ cấu chuyển động, P luôn luôn cố định (hình 13.16).

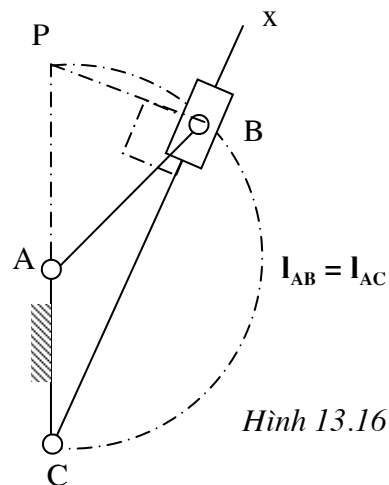
Suy ra : $I_{PA} = I_{AB} = I_{AC} \Rightarrow \boxed{i_{13} = \frac{\omega_1}{\omega_3} = \frac{CP}{AP} = 2}$

✓ Ngoài trường hợp nói trên, khi cơ cấu chuyển động, phương trượt Cx và vị trí con trượt B luôn thay đổi, nên vị trí điểm P và i_{13} luôn thay đổi: nếu $\omega_1 =$ hằng số thì $\omega_3 \neq$ hằng số và ngược lại.

✓ Khi AB vuông góc với phương trượt Cx thì điểm P trùng với điểm A, khi đó $\omega_3 = 0$: khâu 3 dừng lại và đổi chiều quay. Hai vị trí Cx' và Cx'' là hai vị trí biên của khâu 3. Góc θ giữa Cx' và Cx'' là góc lắc của khâu 3 (hình 13.17).



Hình 13.15



Hình 13.16

2) Hệ số về nhanh

Trường hợp khâu 3 là cần lắc, chuyển động của nó gồm hai hành trình (hình 13.17) : Hành trình đi (làm việc) ứng với góc quay φ_d của khâu dẫn AB, hành trình về (về không) ứng với góc quay φ_v của khâu dẫn AB.

Hệ số về nhanh : $\boxed{k = \frac{\varphi_d}{\varphi_v}}$

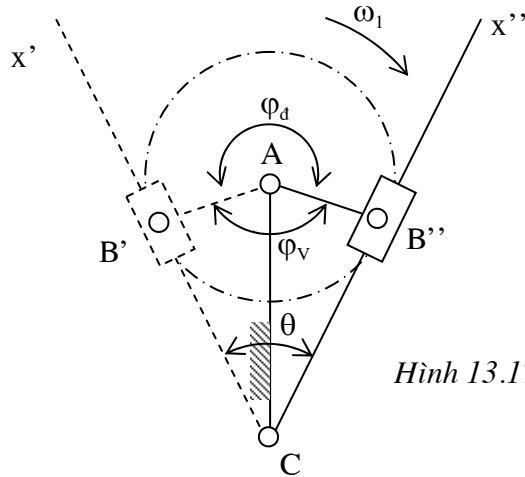
Với chiều quay của khâu dẫn AB như trên hình 13.17, ta có :

$$\boxed{k = \frac{\varphi_d}{\varphi_v} = \frac{\pi + \theta}{\pi - \theta}}$$

3) Điều kiện quay toàn vòng

• **Khâu nối giá AB**

Giả sử tháo khớp quay B ra. Quỹ tích của điểm B₁ trên khâu 1 là vòng tròn (A, I_{AB}). Miền với tới của điểm B₂ trên con trượt B là toàn bộ mặt phẳng. Do đó khâu nối giá AB luôn là tay quay (hình 13.18).



Hình 13.17

• **Khâu nối giá Cx**

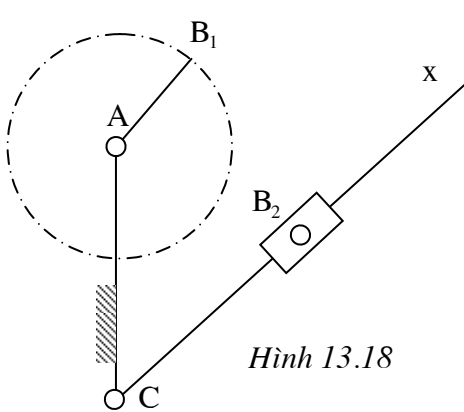
Giả sử tháo khớp trượt B ra. Điểm B₃ trên khâu 3 không có vị trí xác định trên Cx, mà có thể vẽ nên một đường cong bất kỳ trên mặt phẳng hình vẽ.

Miền với tới của điểm B₂ trên khâu 2 suy biến thành vòng tròn (A, l_{AB}).

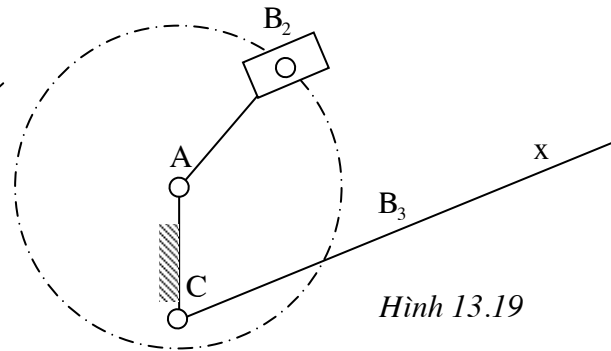
Nếu điểm C nằm trong hay trên vòng tròn (A, l_{AB}) như trên hình 13.19 thì khâu Cx sẽ cắt vòng tròn (A, l_{AB}), do đó khi khâu Cx quay đến bất kỳ vị trí nào cũng đều đóng khớp trượt B lại được để tạo thành cơ cấu : Khâu Cx quay được toàn vòng.

Nếu điểm C nằm ngoài (A, l_{AB}) thì khâu Cx không quay được toàn vòng.

Tóm lại, điều kiện quay toàn vòng của khâu Cx: $l_{AC} \leq l_{AB}$



Hình 13.18



Hình 13.19



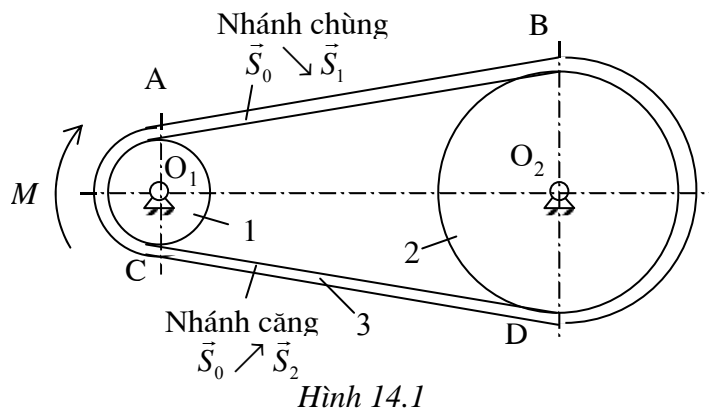
CÁC CƠ CẤU ĐẶC BIỆT

§1. Cơ cấu truyền động đai

• Cơ cấu truyền động đai dùng để truyền chuyển động quay giữa hai trục O_1 và O_2 , nhờ ma sát giữa các bánh đai (1), (2) và dây đai (3) (hình 14.1).

• Để có ma sát giữa các bánh đai và dây đai, cần phải có một sức căng ban đầu trên dây đai. Do vậy, khi cơ cấu chưa chuyển động, ở hai nhánh AB và CD đã có một sức căng ban đầu S_0 . Khi tác động vào bánh đai (1) một momen M , nhánh đai CD bị kéo căng thêm, lực căng S_0 tăng thành S_2 (nhánh đai này được gọi là nhánh căng hay nhánh dẫn); còn nhánh AB chùng bớt lại, lực căng S_0 giảm thành S_1 (nhánh đai này được gọi là nhánh chùng hay nhánh bị dẫn) :

$$S_1 < S_0 < S_2$$



Hình 14.1

1) Quan hệ giữa lực căng S_1 và S_2 trên hai nhánh của bộ truyền đai (Công thức Euler)

• Đai ôm lấy puli một góc $\widehat{AO_1C} = \beta$ gọi là cung ôm.

Lực căng trên đoạn dây đai AC tăng từ S_1 ở A đến S_2 ở C (hình 14.2).

• Xét một phân tố dây đai mn, chắn cung $d\alpha$, vị trí mn được xác định bằng góc α .

Lực tác dụng lên phân tố dây đai mn bao gồm : Lực căng $\vec{S} \perp Om$ và $(\vec{S} + d\vec{S}) \perp On$; lực ma sát $d\vec{F} \perp d\vec{N}$; áp lực $d\vec{N}$ và lực li tâm $d\vec{C}$ nằm theo phân giác của góc $\widehat{mO_1n}$

• Momen đối với điểm O_1 của các lực tác dụng lên phân tố mn :

$$S.R + dF.R - (S+dS).R = 0 \text{ với } R \text{ là bán kính của bánh đai.}$$

$$\Rightarrow dF = dS$$

• Gọi f là hệ số ma sát giữa puli và dây đai, ta có :

$$dF = f . dN$$

$$\Rightarrow dN = \frac{dS}{f}$$

• Điều kiện cân bằng lực của phân tố mn cho ta :

$$\vec{S} + (\vec{S} + d\vec{S}) + d\vec{N} + d\vec{F} + d\vec{C} = 0$$

Chiếu lên phương của $d\vec{N}$:

$$-S \cdot \sin \frac{d\alpha}{2} - (S + dS) \cdot \sin \frac{d\alpha}{2} + dN + dC = 0$$

$$\Rightarrow -2S \cdot \sin \frac{d\alpha}{2} - dS \cdot \sin \frac{d\alpha}{2} + dN + dC = 0$$

Với : $dN = \frac{dS}{f}$

$$dC = \mu R.d\alpha \cdot \frac{V^2}{R} = \mu V^2 .d\alpha$$

μ : khối lượng một đơn vị chiều dài dây đai

V : vận tốc dài của dây đai

Do dS và $d\alpha$ là vô cùng bé nên $\sin \frac{d\alpha}{2} \approx \frac{d\alpha}{2}$ và $dS \sin \frac{d\alpha}{2} \approx 0$

$$\text{Suy ra: } -S.d\alpha + \frac{dS}{f} + \mu V^2 .d\alpha = 0$$

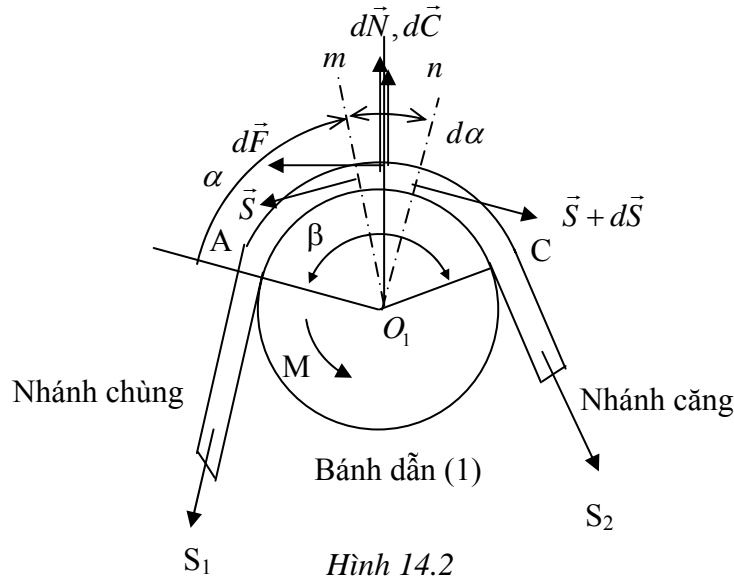
$$\Rightarrow \frac{dS}{(S - \mu V^2)} = f d\alpha$$

$$\Rightarrow \int_{S_1}^{S_2} \frac{dS}{(S - \mu V^2)} = \int_0^\beta f d\alpha$$

$$\Rightarrow \boxed{S_2 - \mu V^2 = (S_1 - \mu V^2) e^{f\beta}} \quad (14.1)$$

Công thức 14.1 được gọi là công thức Euler.

- Khi đai đứng yên, hệ thức 14.1 trở thành : $S_2 = S_1 e^{f\beta}$



Hình 14.2

2) Momen ma sát trong bộ truyền đai

- Momen ma sát của lực dF đối với tâm O_1 bằng :

$$dM_{MS} = R.dF = R . dS$$

Suy ra momen ma sát trong bộ truyền đai :

$$M_{MS} = \int_{\beta} dM_{MS} = \int_{S_1}^{S_2} R.dS = R(S_2 - S_1) \quad (14.2)$$

- Trừ hai vế của hệ thức (14.1) với S_1 , suy ra:

$$S_2 - S_1 = (S_1 - \mu V^2) e^{f\beta} - S_1 + \mu V^2$$

$$\Rightarrow S_2 - S_1 = (S_1 - \mu V^2)(e^{f\beta} - 1)$$

Thay vào (14.2), suy được :

$$M_{MS} = R(S_2 - S_1) = R(S_1 - \mu V^2)(e^{f\beta} - 1) \quad (14.3)$$

- Giả thiết rằng sự thay đổi lực căng trên hai nhánh bộ truyền đai là như nhau:

$$S_2 - S_0 = S_0 - S_1 \Rightarrow S_2 + S_1 = 2S_0 \quad (14.4)$$

- Cộng hai vế của hệ thức (14.1) với S_1 , suy ra:

$$\begin{aligned}
S_2 + S_1 &= (S_1 - \mu V^2) e^{f\beta} + S_1 + \mu V^2 \\
\Rightarrow 2S_0 &= S_2 + S_1 = (S_1 - \mu V^2) e^{f\beta} + S_1 + \mu V^2 \\
\Rightarrow S_1 &= \frac{2S_0 + \mu V^2 (e^{f\beta} - 1)}{e^{f\beta} + 1} \quad (14.5)
\end{aligned}$$

• Thay (14.5) vào (14.3) suy ra :

$$M_{MS} = 2R \frac{(e^{f\beta} - 1)}{e^{f\beta} + 1} (S_0 - \mu V^2) \quad (14.6)$$

Đây cũng chính là momen lớn nhất mà bộ truyền đai có thể truyền động được và M_{MS} đặc trưng cho khả năng tải của bộ truyền đai.

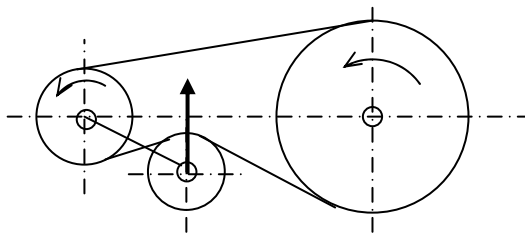
3) Nhận xét về khả năng tải của bộ truyền đai

Từ hệ thức (14.6), ta có thể rút ra các kết luận sau:

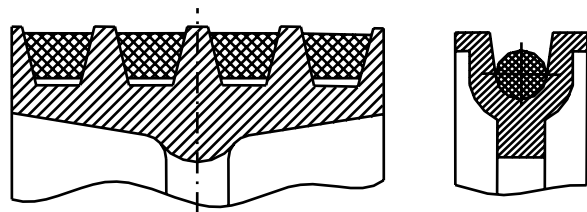
• Khi vận tốc dài V của đai tăng thì M_{MS} giảm : khả năng tải của bộ truyền đai giảm.

Vận tốc giới hạn của đai ứng với: $S_0 - \mu V^2 \geq 0 \Rightarrow V_{gh} \leq \sqrt{\frac{S_0}{\mu}}$

• Khi lực căng ban đầu S_0 tăng thì khả năng tải của bộ truyền đai cũng tăng lên. Tuy nhiên, khi S_0 tăng, lực tác dụng lên hai trục của bộ truyền tăng và đai chóng bị rão.



Hình 14.3 : Puli căng đai



Hình 14.4 : Đai thang, đai tròn

• Vì $\frac{dM_{MS}}{d\beta} > 0$ nên khi góc ôm β tăng thì khả năng tải của bộ truyền đai cũng tăng theo.

Để tăng góc ôm β , cần chú ý :

- + Khi lắp ráp dây đai nên đặt nhánh chùng ở phía trên.
- + Khoảng cách giữa hai trục của puli không nên lấy quá nhỏ (nếu quá nhỏ sẽ khiến cho góc ôm β trên bánh nhỏ giảm xuống). Tuy nhiên, khoảng cách trục không nên lấy quá lớn, bởi vì khi đó kích thước bộ truyền sẽ công kênh, các nhánh đai bị rung.
- + Đường kính hai bánh đai không nên chênh lệch quá nhiều (tỷ số truyền không nên lấy quá lớn), làm cho góc ôm β trên bánh nhỏ giảm xuống.
- + Dùng puli căng đai để tăng góc ôm β , đồng thời khống chế lực căng trên dây đai (hình 14.3). Tuy nhiên khi đó đai bị uốn nhiều, chóng hỏng vì mỏi.

• Vì $\frac{dM_{MS}}{df} > 0$ nên khi hệ số ma sát f tăng, khả năng tải của bộ truyền cũng tăng lên.

Để tăng f cần:

- + Chọn vật liệu dây đai có hệ số ma sát cao
- + Dùng đai thang, đai tròn (hình 14.4) có hệ số ma sát thay thế f' lớn hơn f .

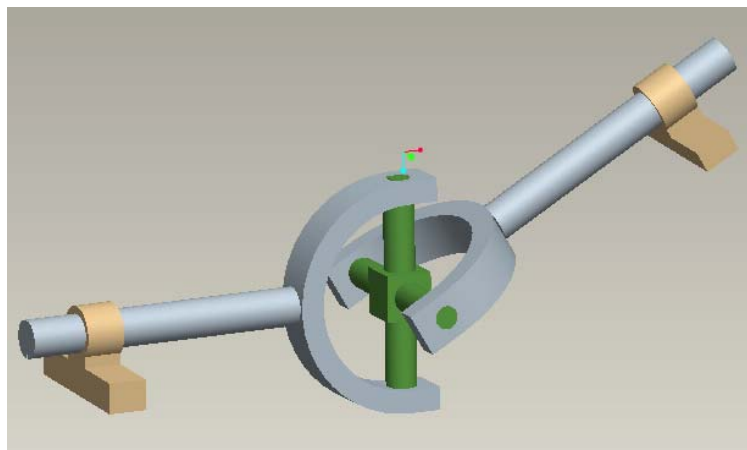
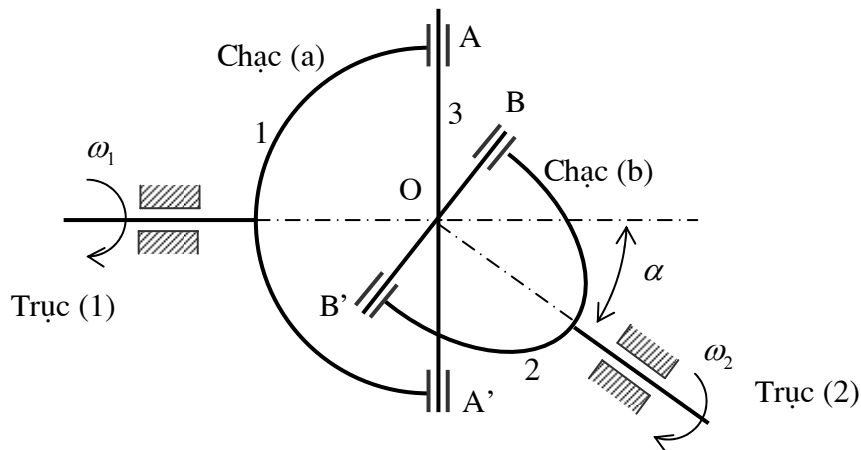
§2. Cơ cấu Các đăng (Cardan)

Cơ cấu các đăng, còn gọi là khớp các đăng, được dùng để truyền chuyển động quay giữa hai trục giao nhau một góc α có thể thay đổi tùy ý trong quá trình chuyển động.

1) Cấu tạo

Lược đồ cấu tạo của cơ cấu các đặng cho trên hình 14.5. Hai trục (1) và (2) giao nhau tại O và hợp với nhau một góc α . Mỗi đầu trục mang một chạc (a) và (b). Hai chạc này được nối với nhau thông qua khâu hình chữ thập (3) bằng các khớp quay A, A' và B, B'. AA' vuông góc với trục (1). BB' vuông góc với trục (2). AA' vuông góc với BB'.

Khi khâu (1) quay tròn thì khâu (2) cũng quay tròn, còn khâu chữ thập (3) chuyển động phức tạp quanh điểm O.



Hình 14.5: Cơ cấu các đặng

2) Phân tích động học

• Gọi α là góc hợp bởi trục (1) và trục (2) (hình 14.6). Trên hình 14.6, trục (1) và trục (2) tạo nên mặt phẳng thẳng đứng. Vị trí ban đầu của AA' nằm trong mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng chứa trục (1) và trục (2). Vị trí ban đầu của BB' nằm trong mặt phẳng chứa trục (1) và trục (2).

Khi trục (1) quay, A và A' vạch nên vòng tròn (C_A) vuông góc với trục (1). Khi đó B và B' vạch nên vòng tròn (C_B) vuông góc với trục (2). Khi điểm A di chuyển trên vòng tròn (C_A) đến vị trí mới là A_1 , thì trên vòng tròn (C_B), điểm B cũng có vị trí mới là B_1 . AA' là giao tuyến của các mặt phẳng chứa vòng tròn (C_A) và (C_B).

Góc quay của khâu (1) và khâu (2) lần lượt là $\theta_1 = (\overline{OA}, \overline{OA_1})$ và $\theta_2 = (\overline{OB}, \overline{OB_1})$.

Từ A_1 hạ A_1H vuông góc với mặt phẳng của vòng tròn (C_B), từ H hạ HI vuông góc với AA'. Theo định lý ba đường vuông góc, ta suy ra: $A_1I \perp AA'$.

Như vậy, góc $\widehat{HIA_1}$ chính là góc nhị diện hợp bởi các mặt phẳng chứa vòng tròn (C_A) và (C_B) . Do trục (1) và trục (2) lần lượt vuông góc với mặt phẳng chứa vòng tròn (C_A) và (C_B) , nên góc $\widehat{HIA_1}$ cũng chính là góc giữa hai trục (1) và (2) : $\widehat{HIA_1} = \alpha$.

Dựa vào tam giác A_1HI vuông tại H, ta có : $\cos \alpha = \frac{IH}{IA_1}$ (14.7)

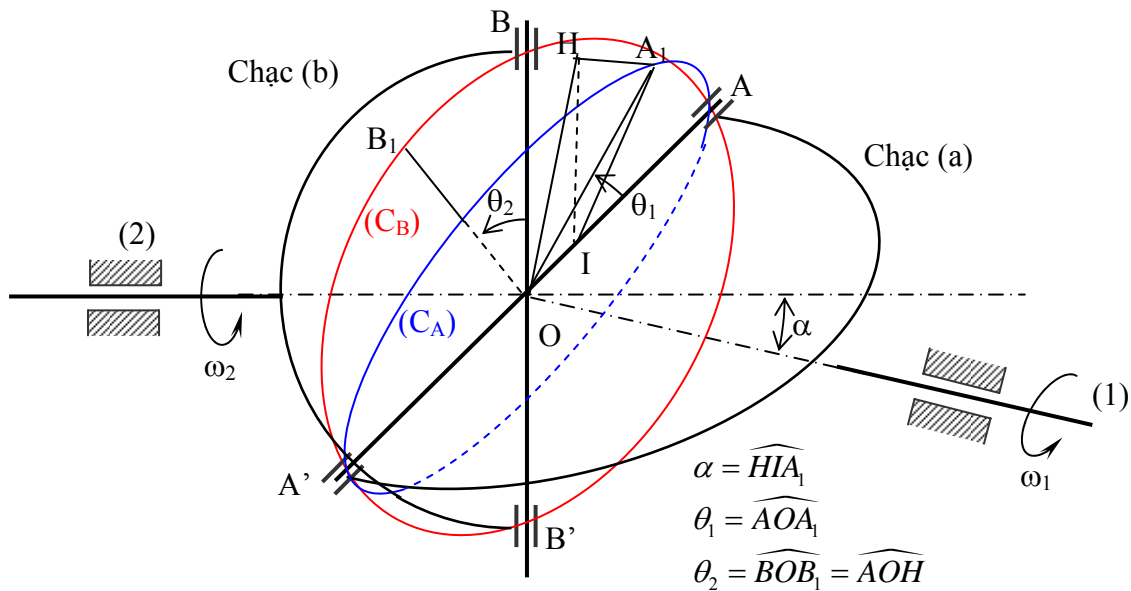
Dựa vào tam giác OA_1I vuông tại I, ta có : $\operatorname{tg} \theta_1 = \frac{IA_1}{OI}$ (14.8)

Mặt khác, do $OB_1 \perp OA_1$ (vì chúng là vị trí mới của hai thanh OA và OB luôn luôn vuông góc với nhau) và OB_1 trục giao với HA_1 (vì HA_1 vuông góc với mặt phẳng (C_B) chứa OB_1), nên OB_1 vuông góc với mặt phẳng OHA_1 . Suy ra : $OB_1 \perp OH$.

Từ đó suy ra rằng : $\widehat{AOH} = \widehat{BOB_1} = \theta_2$ (góc có cạnh thẳng góc).

Dựa vào tam giác OIH vuông tại I, ta có : $\operatorname{tg} \theta_2 = \operatorname{tg} \widehat{IOH} = \frac{IH}{OI}$ (14.9)

Từ (14.7), (14.8) và (14.9) suy ra : $\boxed{\operatorname{tg} \theta_1 \cdot \cos \alpha = \operatorname{tg} \theta_2}$ (14.10)



Hình 14.6

• Đạo hàm hai vế của (14.10) theo t :

$$(1 + \operatorname{tg}^2 \theta_1) \cdot \omega_1 \cdot \cos \alpha = (1 + \operatorname{tg}^2 \theta_2) \cdot \omega_2$$

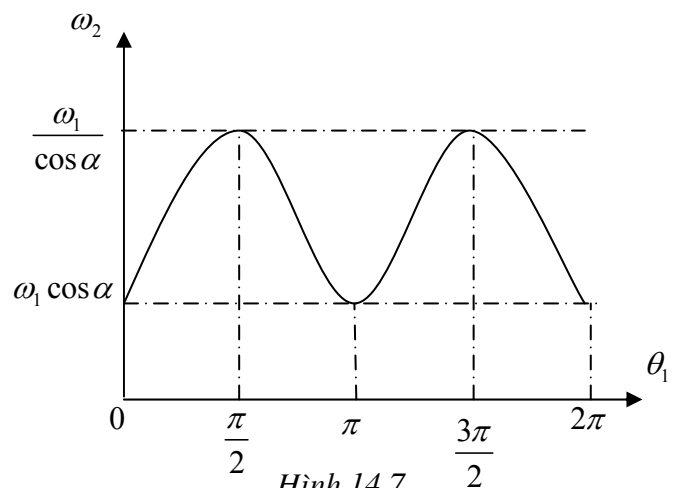
$$\Rightarrow i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \theta_2}{(1 + \operatorname{tg}^2 \theta_1) \cos \alpha}$$

$$\Rightarrow \boxed{i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \theta_1 \cdot \cos^2 \alpha}{(1 + \operatorname{tg}^2 \theta_1) \cos \alpha}}$$

• Khi $\theta_1 = 0$ và $\theta_1 = \pi$ thì :

$$\omega_{2\min} = \omega_1 \cos \alpha.$$

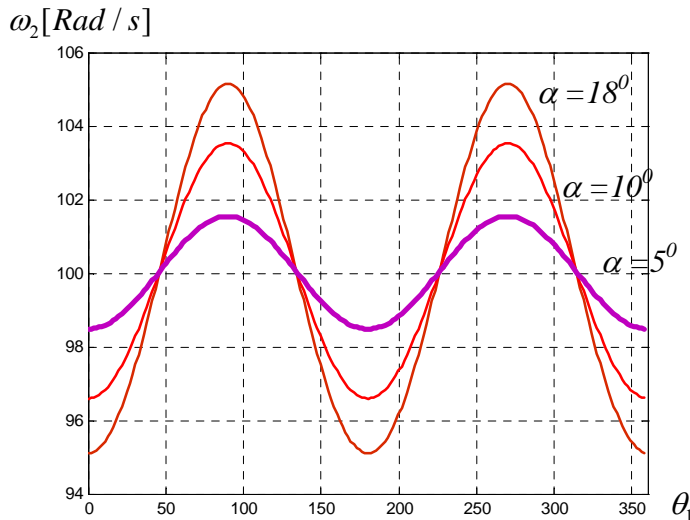
Khi $\theta_1 = \frac{\pi}{2}$ và $\theta_1 = \frac{3\pi}{2}$ thì :



$$\omega_{2\max} = \frac{\omega_1}{\cos \alpha}$$

Đồ thị biểu diễn ω_2 theo góc quay θ_1 của trục (1) cho trên hình 14.7.

- Khi góc hợp nhau giữa hai trục $\alpha = 0$ thì tỷ số truyền $i_{12} = 1$. Khi góc $\alpha \neq 0$ thì tỷ số truyền $i_{12} \neq$ hằng số. Khi α càng lớn thì biên độ dao động của ω_2 càng lớn, gây ra dao động xoắn lớn trong các bộ phận bị dẫn (hình 14.8).



Hình 14.8

Đồ thị biểu diễn sự biến thiên của vận tốc góc ω_2 theo góc quay θ_1 của khâu dẫn ứng với các giá trị khác nhau của góc α giữa hai trục quay ($\omega_1 = 100$ Rad/s)

3) Cơ cấu các đăng kép

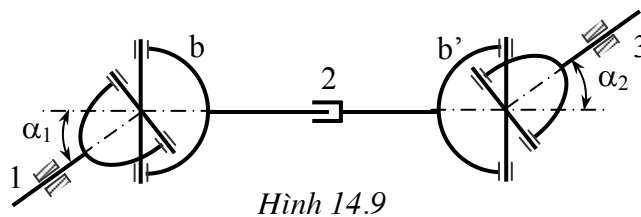
Để trục dẫn (1) và trục bị dẫn (3) có cùng vận tốc góc phải dùng cơ cấu các đăng kép. Trục (1) được nối với trục (3) thông qua trục (2) và hai khớp các đăng.

Ta có:
$$i_{21} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \theta_2 \cdot \cos^2 \alpha_1}{(1 + \operatorname{tg}^2 \theta_2) \cos \alpha_1}$$

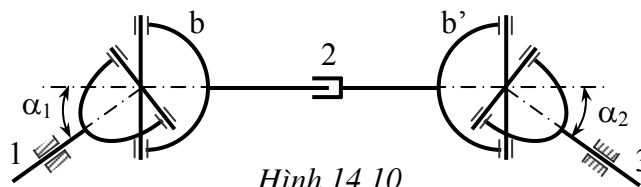
Với θ_2 góc quay của chạc (b) tính từ mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng chứa trục (2) và (1).

$$i_{23} = \frac{\omega_2}{\omega_3} = \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \theta_2' \cdot \cos^2 \alpha_2}{(1 + \operatorname{tg}^2 \theta_2') \cos \alpha_2}$$

Với θ_2' góc quay của chạc (b') tính từ vuông góc với mặt phẳng chứa trục (2) và (1).



Hình 14.9



Hình 14.10

Do đó:
$$i_{13} = \frac{\omega_1}{\omega_3} = \frac{(1 + \operatorname{tg}^2 \theta_2) \cos \alpha_1}{1 + \operatorname{tg}^2 \theta_2 \cdot \cos^2 \alpha_1} \cdot \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \theta_2' \cdot \cos^2 \alpha_2}{(1 + \operatorname{tg}^2 \theta_2') \cos \alpha_2}$$

Để i_{13} bằng hằng số, phải có hai điều kiện:

+ $\alpha_1 = \alpha_2$

+ $\theta_2 = \theta_2'$ (hai góc quay của hai đầu chạc nằm trên trục (2) phải bằng nhau).

Như vậy, trong trường hợp trục (1) và trục (3) nằm trong cùng một mặt phẳng (trục (1) và (3) song song như trên hình 14.9 hay cắt nhau như trên hình 14.10) thì hai chạc (b) và (b') của trục (2) phải nằm trên cùng một mặt phẳng.

§3. Cơ cấu Man

Cơ cấu Man được dùng để truyền chuyển động quay liên tục của khâu dẫn thành chuyển động quay gián đoạn lúc quay lúc dừng có chu kỳ của khâu bị dẫn. Cơ cấu Man được dùng trong cơ cấu thay dao của máy tự động, cơ cấu cấp phối tự động, cơ cấu đưa phim của máy chiếu phim...

1) Cấu tạo

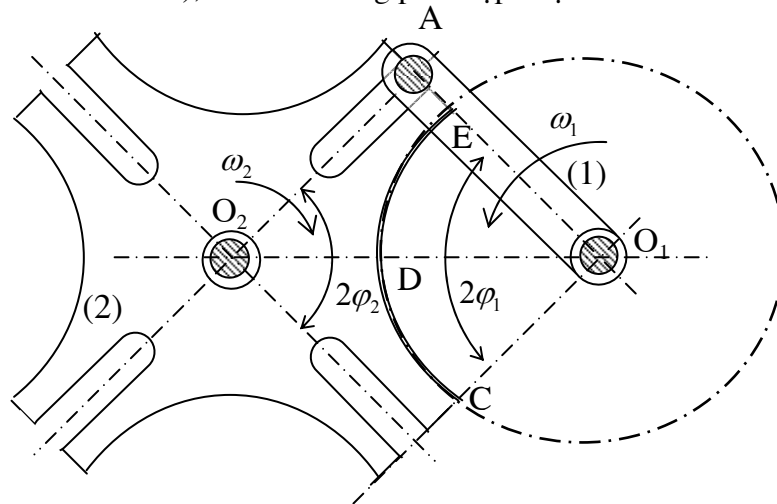
➤ Cơ cấu Man ngoại tiếp gồm một đĩa tròn (1) có lắp chốt A, và đĩa hình sao (2) có nhiều rãnh hướng tâm đối xứng qua tâm O_2 . Khi đĩa (1) quay, có lúc chốt A lọt vào một rãnh của đĩa (2), khi đó đĩa (2) quay quanh O_2 . Khi chốt A ra khỏi rãnh này, đĩa (2) dừng lại. Khi chốt A tiếp tục đi vào rãnh kế tiếp trên đĩa (2), đĩa (2) lại quay quanh O_2 .

Để tránh chuyển động quay ngẫu nhiên của đĩa (2) do tác động của các momen ngẫu nhiên trong khoảng thời gian từ khi chốt A ra khỏi một rãnh của đĩa (2) đến khi chốt A đi vào rãnh kế tiếp trên đĩa (2), thì trong khoảng thời gian nói trên, ta phải khóa cứng đĩa (2) lại nhờ cung tròn của đĩa (1) cài vào cung tròn EDC trên đĩa (2) (hình 14.11).

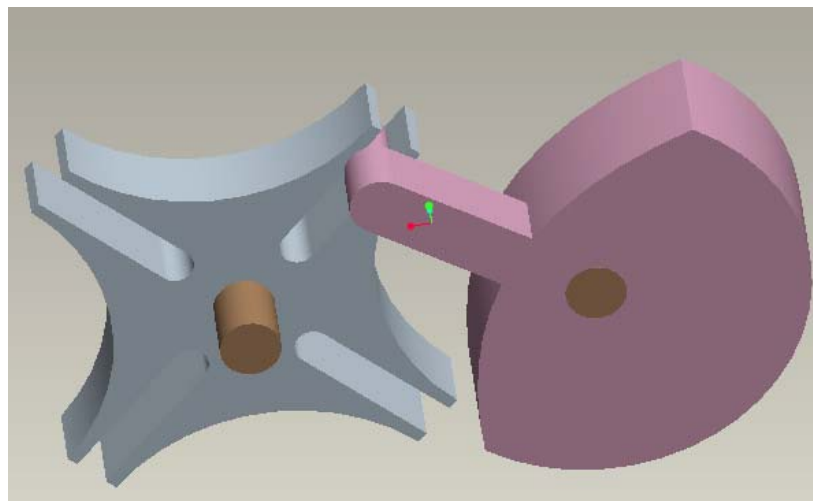
Số chốt trên đĩa (1) có thể bằng 1 hay lớn hơn 1. Số rãnh trên đĩa (2) thường là 4, 6, 8.

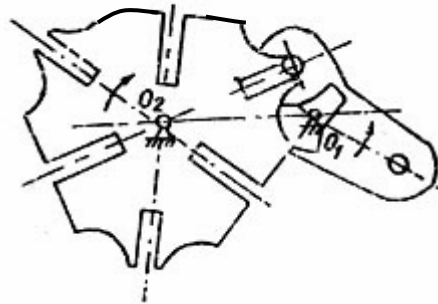
➤ Ghi chú

Các chốt và các rãnh trên cơ cấu Man có thể phân bố bất kỳ (khoảng cách từ tâm các chốt đến tâm O_2 có thể không bằng nhau như trên hình 14.12, các rãnh của đĩa (2) có thể không hướng tâm như trên hình 14.11), miễn là chúng phối hợp được với nhau.

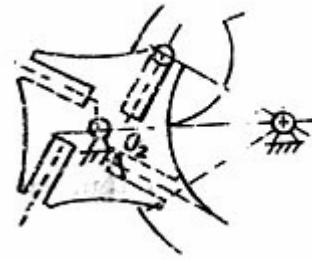


Hình 14.11





Hình 14.12



Hình 14.13

2) Phân tích động học

a) Số rãnh tối thiểu - Số chốt tối đa

- Trên hình 14.11, ta có: $2\varphi_2 = \frac{2\pi}{z}$ với z số rãnh của đĩa.

Để chốt A không bị va đập khi đi vào trong rãnh: $\widehat{O_2AO_1} = \frac{\pi}{z}$

Suy ra: $2\varphi_1 = \pi - 2\varphi_2 = \pi\left(1 - \frac{2}{z}\right)$

Gọi t_C là thời gian chuyển động của đĩa (2); t_D là thời gian dừng của đĩa (2):

$$t_C = \frac{2\varphi_1}{\omega_1} = \frac{\pi}{\omega_1} \left(1 - \frac{2}{z}\right)$$

$$t_D = \frac{2\pi - 2\varphi_1}{\omega_1} = \frac{\pi}{\omega_1} \left(1 + \frac{2}{z}\right) \text{ với: } \omega_1 \text{ là vận tốc góc của đĩa (1): } \omega_1 = \text{hằng số}$$

Tỷ số $k = \frac{t_C}{t_D}$ gọi là hệ số thời gian chuyển động của cơ cấu: $k = \frac{t_C}{t_D} = \frac{1 - \frac{2}{z}}{1 + \frac{2}{z}} = \frac{z-2}{z+2}$

Vì $k > 0$ và z nguyên nên $z \geq 3$ hay số rãnh tối thiểu trong cơ cấu Man: $\boxed{z=3}$

- Để tăng số lần chuyển động của đĩa (2), ứng với một vòng quay của đĩa (1), có thể tăng số chốt trên đĩa (1). Gọi m là số chốt, góc ở tâm nhỏ nhất tạo giữa hai chốt phải bảo đảm: $\frac{2\pi}{m} \geq 2\varphi_1$ (tức khi chốt A ra khỏi rãnh của đĩa (2) thì chốt kế tiếp trên đĩa (1) mới được vào

khớp với đĩa (2)). Hay: $m \leq \frac{2\pi}{2\varphi_1} = \frac{2}{1 - \frac{2}{z}} = \frac{2z}{z-2} \Rightarrow$ Số chốt tối đa: $\boxed{m = \frac{2z}{z-2}}$

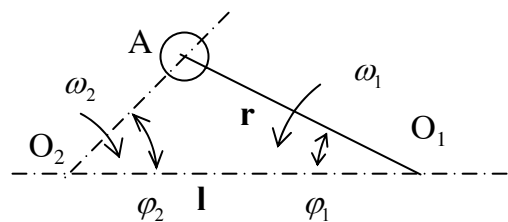
b) Tỷ số truyền

Để xác định vận tốc và gia tốc của đĩa (2) ta xét một vị trí bất kỳ của cơ cấu, khi đó tay quay O_1A và rãnh O_2A của đĩa tạo với đường trục O_1O_2 các góc lần lượt là φ_1 và φ_2 (hình 14.14)

Trong tam giác O_1AO_2 , ta có:

$$\lambda = \frac{r}{l} = \frac{\sin \varphi_2}{\sin(\pi - \varphi_2 - \varphi_1)} = \frac{\sin \varphi_2}{\sin(\varphi_2 + \varphi_1)}$$

Trong đó: $l = l_{O_1O_2}$, $r = l_{O_1A}$



Hình 14.14

Suy ra:
$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{\lambda \sin \varphi_1}{1 - \lambda \cos \varphi_1}$$

Hay :
$$\varphi_2 = \operatorname{arctg} \frac{\lambda \sin \varphi_1}{1 - \lambda \cos \varphi_1} \quad (14.10)$$

Đạo hàm biểu thức (14.10) theo φ_1 ta được :

$$\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} = \frac{\lambda(\cos \varphi_1 - \lambda)}{1 - 2\lambda \cos \varphi_1 + \lambda^2} \quad (14.11)$$

Vận tốc của đĩa 2:
$$\omega_2 = \frac{d\varphi_2}{dt} = \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} \frac{d\varphi_1}{dt} = \omega_1 \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1}$$

$$\Rightarrow \boxed{\omega_2 = \omega_1 \frac{\lambda(\cos \varphi_1 - \lambda)}{1 - 2\lambda \cos \varphi_1 + \lambda^2}} \quad (14.12)$$

Gia tốc của đĩa 2 là :
$$\varepsilon_2 = \frac{d\omega_2}{dt} = \frac{d\omega_1}{dt} \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} + \omega_1 \frac{d^2\varphi_2}{d\varphi_1^2} \frac{d\varphi_1}{dt} \Rightarrow \varepsilon_2 = \varepsilon_1 \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} + \omega_1^2 \frac{d^2\varphi_2}{d\varphi_1^2}$$

Nếu đĩa 1 quay đều ($\omega_1 = \text{hằng số}$) thì :

$$\boxed{\varepsilon_2 = \omega_1^2 \frac{d^2\varphi_2}{d\varphi_1^2} = \omega_1^2 \frac{\sin \varphi_1 \cdot \lambda \cdot (\lambda^2 - 1)}{(1 - 2\lambda \cos \varphi_1 + \lambda^2)^2}} \quad (14.13)$$

Các công thức (14.12), (14.13) chứng tỏ khi đĩa 1 quay đều ($\omega_1 = \text{const}$) thì đĩa 2 quay không đều.



TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] *Nguyên lý máy*. Đinh Gia Tường, Nguyễn Xuân Lạc, Trần Doãn Tiến. Nxb Đại học và THCN, Hà nội 1969.
- [2] *Hướng dẫn thiết kế đồ án môn học Nguyên lý máy*. Đại học Bách khoa Đà Nẵng xuất bản 1978 (bản in roneo).
- [3] *Nguyên lý máy Tập I*. Đinh Gia Tường, Tạ Khánh Lâm. Nxb Khoa học và Kỹ thuật, Hà nội 1995.
- [4] *Nguyên lý máy Tập II*. Đinh Gia Tường, Phan Văn Đồng, Tạ Khánh Lâm. NXB Giáo dục, Hà nội 1998.
- [5] *Ứng dụng tin học trong thiết kế nguyên lý máy*. Đinh Gia Tường, Tạ Khánh Lâm. Nhà xuất bản Giáo dục, Hà nội 1994.
- [6] *Bài tập Nguyên lý máy*. Phan Văn Đồng, Tạ Ngọc Hải. Nxb Khoa học và Kỹ thuật 2002.
- [7] *Nguyên lý máy*. Phan Văn Đồng, Tạ Ngọc Hải, Tập I và Tập II, Đại học Bách khoa Hà nội xuất bản 1982, bản in roneo dành cho sinh viên Tại chức.
- [8] *Nguyên lý máy*, Bùi Thanh Liêm, Nxb Giao thông Vận tải, Hà nội 1981.
- [9] *Cơ sở kỹ thuật cơ khí*. Đỗ Xuân Định, Bùi Lê Gòn, Phạm Đình Sùng. Nhà xuất bản Xây dựng, Hà nội 2001.
- [10] *Chi tiết cơ cấu chính xác*, Nguyễn Trọng Hùng, Nxb. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội 2002
- [11] *Théorie des mécanismes et des machines* - Artobolebski - Mir Publisher — Moscou 1980.
- [12] *Liaisons et mécanismes*. Pierre Agati, Marc Rossetto. Dunod Paris 1994.
- [13] *Theory of Machines and Mechanisms*. Joseph Edward Shigley, John Joseph Uicker JR. McGraw-Hill Inc., USA 1980.
- [14] *Design of Machinery, An introduction to the synthesis and analysis of mechanisms and machines*. Robert L. Norton. McGraw-Hill Inc., Singapore 1992.
- [15] *Systèmes mécaniques : Théorie et dimensionnement*. Michel Aublin et autres. Dunod Paris 1998.



MỤC LỤC

CHƯƠNG MỞ ĐẦU.....	2
§1. Khái niệm về máy và cơ cấu.....	2
1. Máy.....	2
2. Cơ cấu.....	2
§2. Nội dung và phương pháp nghiên cứu của môn học Nguyên lý máy.....	3
Chương I.....	4
CẤU TRÚC CƠ CẤU.....	4
§1. Khái niệm và định nghĩa.....	4
1) Khâu và chi tiết máy.....	4
2) Nối động, thành phần khớp động và khớp động.....	5
3) Các loại khớp động và lược đồ khớp.....	5
4) Kích thước động của khâu và lược đồ khâu.....	8
5) Chuỗi động và cơ cấu.....	8
§2. Bậc tự do của cơ cấu.....	9
1) Khái niệm bậc tự do của cơ cấu.....	9
2) Công thức tính bậc tự do của cơ cấu.....	10
3) Công thức tính bậc tự do của cơ cấu phẳng.....	10
4) Khâu dẫn - Khâu bị dẫn - Khâu phát động.....	12
§3. Xếp hạng cơ cấu phẳng.....	13
1) Nhóm Atxua – Hạng của nhóm.....	13
2) Hạng của cơ cấu.....	14
Chương II.....	17
PHÂN TÍCH ĐỘNG HỌC CƠ CẤU PHẪNG.....	17
§1. Bài toán vị trí (chuyển vị) và quỹ đạo.....	17
§2. Bài toán vận tốc.....	18
§3. Bài toán gia tốc.....	21
Chương III.....	30
PHÂN TÍCH LỰC TRÊN CƠ CẤU PHẪNG.....	30
§1. Lực tác động trên cơ cấu.....	30
1) Ngoại lực.....	30
2) Lực quán tính.....	30
3) Phản lực khớp động.....	30
§2. Số liệu cho trước, giả thiết và nội dung của bài toán phân tích lực cơ cấu.....	31
§3. Nguyên tắc và trình tự giải bài toán phân tích lực cơ cấu.....	31
1) Nguyên lý Đalămbe.....	31
2) Điều kiện tĩnh định của bài toán phân tích áp lực khớp động.....	31
3) Trình tự và ví dụ giải bài toán phân tích áp lực khớp động.....	33
4) Phương pháp di chuyển khả dĩ để tính \vec{M}_{cb} hay \vec{P}_{cb}	35
Chương IV.....	37
MA SÁT TRONG KHỚP ĐỘNG.....	37
§1. Đại cương.....	37
1) Khái niệm.....	37
2) Ma sát trượt khô - Định luật Coulomb.....	37
3) Ma sát lăn.....	40
§2. Ma sát trượt khô trong khớp trượt.....	42
1) Ma sát trong rãnh hình tam giác.....	42
2) Ma sát trên mặt phẳng nghiêng.....	43
3) Ma sát trên rãnh nghiêng hình tam giác.....	45
4) Ma sát trong khớp ren vít.....	45

§3. Ma sát trượt trong khớp quay	47
1) Momen ma sát trong khớp quay	47
2) Tổng áp lực \vec{N} và tổng lực ma sát \vec{F}	49
3) Vòng tròn ma sát và hiện tượng tự hãm trong khớp quay	51
4) Các trường hợp cụ thể của khớp quay	52
§4. Ma sát trong khớp quay chặn	54
1) Khớp quay chặn còn mới (ổ chặn)	54
2) Khớp quay chặn đã chạy mòn	55
Chương V	56
CÂN BẰNG MÁY	56
§1. Nội dung của cân bằng máy	56
1) Tác hại của lực quán tính	56
2) Nội dung của cân bằng máy	56
§2. Cân bằng vật quay	56
1) Cân bằng vật quay mỏng	56
2) Cân bằng vật quay dày	58
§3. Cân bằng cơ cấu nhiều khâu	62
Chương VI	65
CHUYỂN ĐỘNG THỰC CỦA MÁY	65
§1. Đặt vấn đề	65
§2. Phương trình chuyển động	65
1) Các đại lượng thay thế	65
2) Phương trình chuyển động của máy	66
3) Khâu thay thế	67
§2. Vận tốc góc thực của khâu dẫn	67
1) Các chế độ chuyển động của máy	67
2) Xác định vận tốc góc thực của khâu dẫn	68
§4. Làm đều chuyển động máy	70
1) Đại cương về làm đều chuyển động máy	70
2) Xác định momen quán tính của bánh đà	73
Chương VII	76
HIỆU SUẤT	76
§1. Khái niệm về hiệu suất	76
§2. Hiệu suất của một chuỗi khớp động (hay chuỗi cơ cấu)	76
1) Trường hợp chuỗi khớp động nối tiếp	76
2) Trường hợp chuỗi khớp động song song	77
3) Trường hợp chuỗi khớp động hỗn hợp	77
Chương VIII	79
ĐIỀU CHỈNH TỰ ĐỘNG CHUYỂN ĐỘNG CỦA MÁY	79
§1. Đặt vấn đề	79
§2. Bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm trực tiếp	79
1) Cấu tạo	79
2) Nguyên lý làm việc	79
3) Một số khái niệm cơ bản	80
4) Ưu nhược điểm của bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm trực tiếp	80
§3. Các bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm gián tiếp	81
1) Bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm gián tiếp phi tĩnh	81
2) Bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm gián tiếp có liên hệ ngược cứng	82
3) Bộ điều chỉnh vận tốc ly tâm gián tiếp có liên hệ ngược mềm	83
§3. Nhận xét về cấu trúc của một hệ điều chỉnh tự động	83
Chương IX	85
CƠ CẤU CAM	85

§1. Đại cương.....	85
1) Khái niệm về cơ cấu cam.....	85
2) Các thông số cơ bản của cơ cấu cam.....	86
§2. Phân tích động học cơ cấu cam.....	88
1) Bài toán chuyển vị.....	88
2) Bài toán vận tốc và gia tốc.....	92
§3. Phân tích lực trên cơ cấu cam.....	93
1) Lực tác dụng trên cơ cấu cam - Góc áp lực tới hạn và góc áp lực cực đại cho phép.....	93
2) Quan hệ giữa góc áp lực, vị trí tâm cam và quy luật chuyển động của cần.....	94
- Xác định góc áp lực và pháp tuyến của biên dạng cam.....	94
§4. Tổng hợp cơ cấu cam.....	97
1) Tổng hợp cơ cấu cam cần đẩy nhọn.....	97
2) Tổng hợp cơ cấu cam cần đẩy lặn.....	102
3) Tổng hợp cơ cấu cam cần đẩy đáy bằng.....	103
§5. Biện pháp bảo toàn khớp cao.....	107
Chương X.....	109
CƠ CẤU BÁNH RĂNG THÂN KHAI PHẪNG.....	109
§1. Đại cương.....	109
1) Khái niệm.....	109
2) Định lý cơ bản về ăn khớp bánh răng.....	111
3) Biên dạng răng thân khai.....	112
§2. Điều kiện để tỷ số truyền của một cặp bánh răng thân khai bằng hằng số.....	114
1) Điều kiện ăn khớp đúng và ăn khớp trùng của cặp bánh răng thân khai.....	116
2) Điều kiện ăn khớp khít của cặp bánh răng thân khai.....	117
§3. Các thông số chế tạo cơ bản của bánh răng thân khai.....	118
1) Phương pháp bao hình để tạo hình biên dạng thân khai.....	118
2) Thanh răng sinh và thông số của thanh răng sinh.....	119
3) Các thông số chế tạo cơ bản của bánh răng thân khai.....	120
4) Hiện tượng cắt chân răng – Số răng và hệ số dịch dao tối thiểu.....	122
§4. Các thông số ăn khớp của cặp bánh răng thân khai.....	124
1) Phương trình ăn khớp khít.....	124
2) Các chế độ ăn khớp của cặp bánh răng thân khai.....	126
3) Các thông số ăn khớp và đặc điểm của chúng trong từng chế độ ăn khớp.....	126
4) Một vài đặc điểm của việc dịch dao và dịch chỉnh ăn khớp.....	127
§5. Hiện tượng trượt biên dạng răng.....	127
§6. Bánh răng trụ tròn răng thẳng và răng nghiêng.....	128
1) Bánh răng trụ tròn răng thẳng.....	128
2) Bánh răng trụ tròn răng nghiêng.....	130
Chương XI.....	136
CƠ CẤU BÁNH RĂNG KHÔNG GIAN.....	136
§1. Cơ cấu bánh răng nón răng thẳng.....	136
1) Mặt lặn và tỷ số truyền.....	136
2) Mặt răng và đặc điểm tiếp xúc.....	136
3) Các thông số của bánh răng nón.....	137
4) Bánh răng thay thế của bánh răng nón.....	138
§2. Cơ cấu bánh răng trụ chéo.....	139
1) Mặt lặn và tỷ số truyền.....	139
2) Mặt răng và đặc điểm tiếp xúc.....	141
§3. Cơ cấu trục vít - bánh vít trụ tròn.....	141
Chương XII.....	143
HỆ BÁNH RĂNG.....	143
§1. Đại cương.....	143

1) Đặt vấn đề.....	143
2) Các loại hệ bánh răng.....	143
§2. Phân tích động học hệ bánh răng.....	144
1) Tỷ số truyền trong hệ bánh răng thường.....	144
2) Quan hệ vận tốc góc trong hệ vi sai.....	145
3) Tỷ số truyền trong hệ hành tinh.....	147
§5. Chọn số răng các bánh răng trong hệ hành tinh.....	147
1) Điều kiện đồng trục.....	148
2) Điều kiện lắp.....	148
§3. Công dụng của hệ bánh răng.....	148
1) Công dụng của hệ thường.....	148
2) Công dụng của hệ vi sai.....	149
3) Công dụng của hệ hành tinh.....	150
Chương XIII.....	152
CƠ CẤU PHẪNG TOÀN KHỚP THẤP.....	152
§1. Đại cương.....	152
1) Khái niệm về cơ cấu phẳng toàn khớp thấp.....	152
2) Các cơ cấu phẳng toàn khớp thấp thông dụng.....	152
§2. Cơ cấu bốn khâu bản lề.....	153
1) Tỷ số truyền trong cơ cấu 4 khâu bản lề.....	153
2) Hệ số về nhanh.....	154
3) Điều kiện quay toàn vòng của khâu nối giá.....	155
§3. Cơ cấu tay quay con trượt.....	156
1) Quan hệ vận tốc.....	156
2) Hệ số về nhanh.....	157
3) Điều kiện quay toàn vòng.....	157
§3. Cơ cấu culít.....	157
1) Tỷ số truyền.....	157
2) Hệ số về nhanh.....	158
3) Điều kiện quay toàn vòng.....	158
Chương XIV.....	160
CÁC CƠ CẤU ĐẶC BIỆT.....	160
§1. Cơ cấu truyền động đai.....	160
1) Quan hệ giữa lực căng S_1 và S_2 trên hai nhánh của bộ truyền đai (Công thức Euler).....	160
2) Momen ma sát trong bộ truyền đai.....	161
3) Nhận xét về khả năng tải của bộ truyền đai.....	162
§2. Cơ cấu Các đăng (Cardan).....	162
1) Cấu tạo.....	163
2) Phân tích động học.....	163
3) Cơ cấu các đăng kép.....	165
§3. Cơ cấu Man.....	166
1) Cấu tạo.....	166
2) Phân tích động học.....	167
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	169
MỤC LỤC.....	170

