

Đại Học Đà Nẵng - Trường Đại học Bách Khoa
Khoa Điện - Nhóm Chuyên môn Điện Công Nghiệp
Giáo trình Kỹ thuật Điện
Biên soạn: Nguyễn Hồng Anh, Bùi Tấn Lợi, Nguyễn Văn Tấn, Võ Quang Sơn

Chương 7

MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

7.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Máy điện không đồng bộ là máy điện xoay chiều, làm việc theo nguyên lý cảm ứng điện từ, có tốc độ của rôto n khác với tốc độ từ trường quay trong máy n_1 . Máy điện không đồng bộ có thể làm việc ở hai chế độ : Động cơ và máy phát.

Máy phát điện không đồng bộ ít dùng vì có đặc tính làm việc không tốt, nên trong chương này ta chỉ xét động cơ không đồng bộ. Động cơ không đồng bộ được sử dụng nhiều trong sản xuất và trong sinh hoạt vì chế tạo đơn giản, giá thành rẻ, độ tin cậy cao, vận hành đơn giản, hiệu suất cao và gần như không bảo trì. Dây công suất của nó rất rộng từ vài watt đến hàng ngàn kilowatt. Hầu hết là động cơ ba pha, có một số động cơ công suất nhỏ là một pha.

Các số liệu định mức của động cơ không đồng bộ pha là:

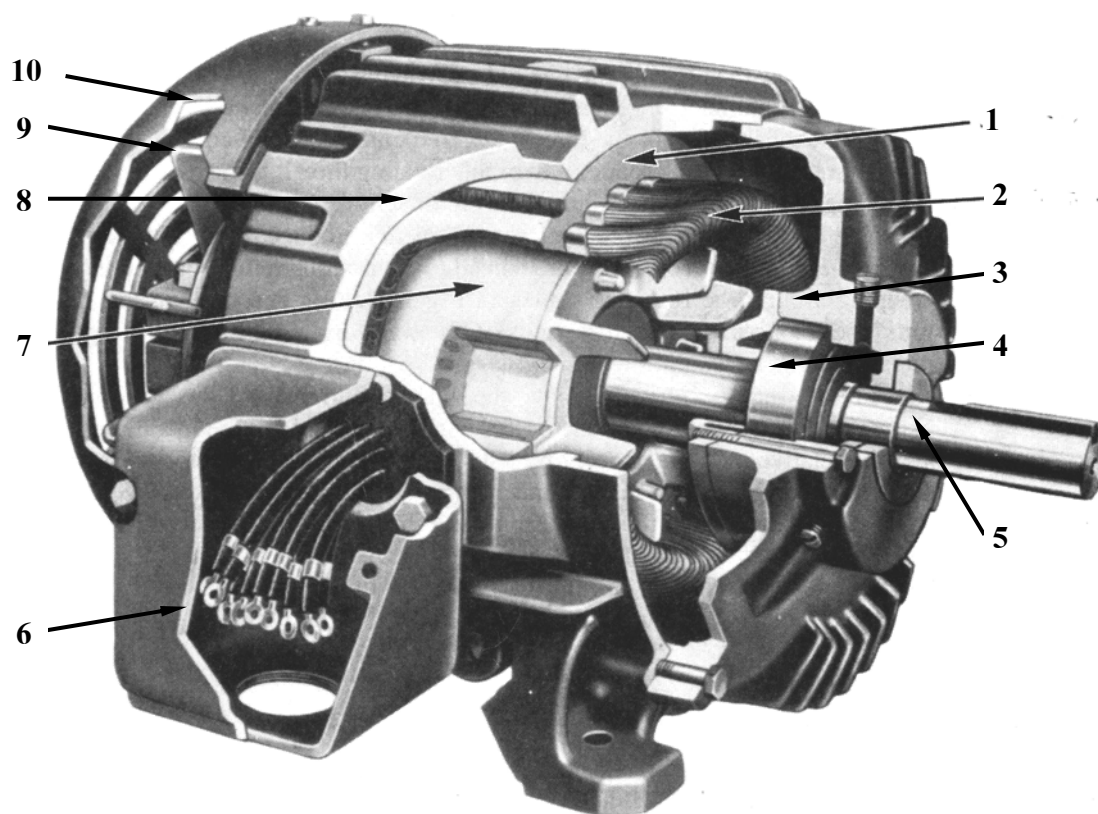
Công suất cơ có ích trên trục:	P_{dm} (kW).
Điện áp dây stato:	U_{dm} (V).
Dòng điện dây stato:	I_{dm} (A).
Tốc độ quay rôto:	n_{dm} (vòng/phút).
Hệ số công suất:	$\cos\varphi_{dm}$.
Hiệu suất:	η_{dm} .
Tần số:	f_{dm} (Hz).

7.2. CẤU TẠO CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Cấu tạo của máy điện không đồng bộ được trình bày trên hình 7.1, gồm hai bộ phận chủ yếu là stator và rôto, ngoài ra còn có vỏ máy, nắp máy và trục máy. Trục làm bằng thép, trên đó gắn rôto, ổ bi và phía cuối trục có gắn một quạt gió để làm mát máy dọc trục.

7.2.1. Stator (sơ cấp hay phần ứng)

Stator gồm hai bộ phận chính là lõi thép và dây quấn, ngoài ra còn có vỏ máy và nắp máy (hình 7.1). Còn hình 7.3c là ký hiệu động cơ trên sơ đồ điều khiển.



Hình 7.1 Cấu tạo của động cơ điện không đồng bộ

1. Lõi thép stator; 2. Dây quấn stator; 7. Nắp máy; ; 4. Ổ bi; 5. Trục máy; 6. Hộp dầu cục; 7. Lõi thép rôto; 8. Thân máy; 9. Quạt gió làm mát; 10. Hộp quạt

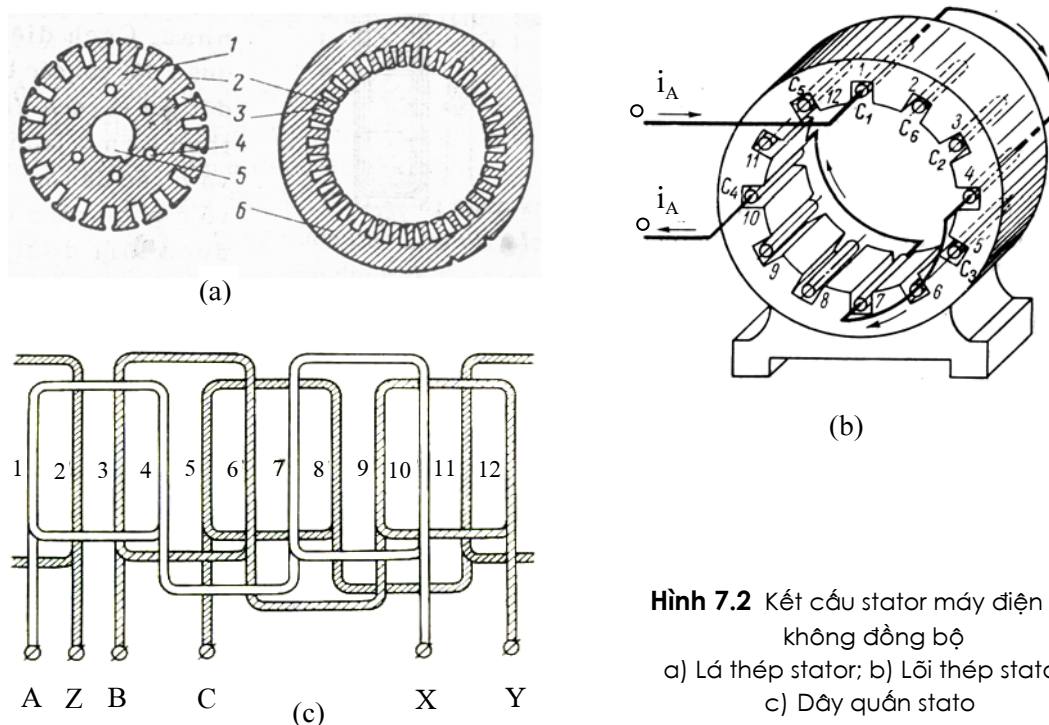
1. Lõi thép :

Lõi thép stator có dạng hình trụ (hình 7.2b), làm bằng các lá thép kỹ thuật điện, được dập rãnh bên trong (hình 7.2a) rồi ghép lại với nhau tạo thành các rãnh theo hướng trục. Lõi thép được ép vào trong vỏ máy.

2. Dây quấn stator :

Dây quấn stator thường được làm bằng dây đồng có bọc cách điện và đặt trong các rãnh của lõi thép (hình 7.2a). Trên hình 7.2b vẽ sơ đồ khai triển dây quấn ba pha đặt trong 12 rãnh của một máy điện, dây quấn pha A đặt trong các rãnh 1, 4, 7, 10; pha B đặt trong các rãnh 3, 6, 9, 12; pha C đặt trong các rãnh 5, 8, 11, 2.

Dòng điện xoay chiều ba pha chạy trong dây quấn ba pha stator sẽ tạo nên từ trường quay.



Hình 7.2 Kết cấu stator máy điện không đồng bộ
a) Lá thép stator; b) Lõi thép stator;
c) Dây quấn stator

3. Vỏ máy :

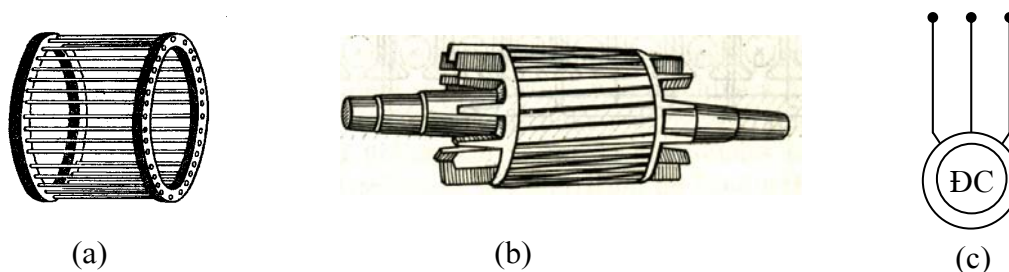
Vỏ máy gồm có thân và nắp, thường làm bằng gang.

7.2.2. Rotor (thứ cấp hay phần quay)

Rotor là phần quay gồm lõi thép, dây quấn và trục máy.

1. **Lõi thép** : Lõi thép rotor gồm các lá thép kỹ thuật điện được lấy từ phần bên trong của lõi thép stator ghép lại, mặt ngoài dập rãnh (hình 7.2a) để đặt dây quấn, ở giữa có dập lỗ để lắp trục.

2. **Dây quấn** : Dây quấn rotor của máy điện không đồng bộ có hai kiểu : rotor ngắn mạch còn gọi là rotor lồng sóc và rotor dây quấn.



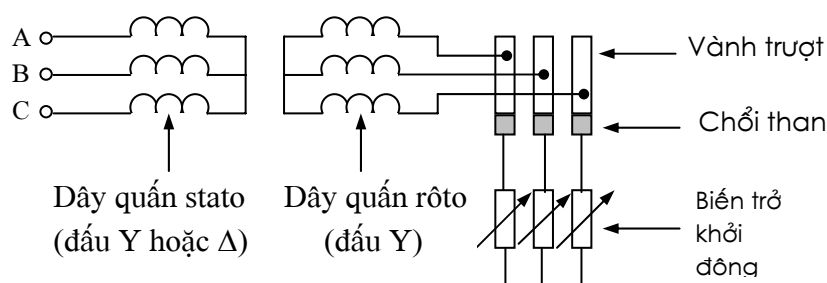
Hình 7.3 Cấu tạo rotor động cơ không đồng bộ.
a) Dây quấn rotor lồng sóc c) Lõi thép rotor d) Ký hiệu động cơ trên sơ đồ

- Rotor lồng sóc (hình 7.3a) gồm các thanh đồng hoặc thanh nhôm đặt trong rãnh và bị ngắn mạch bởi hai vành ngắn mạch ở hai đầu. Với động cơ cỡ nhỏ, dây

quần rotor được đúc bằng nhôm nguyên khối gồm thanh dẫn, vành ngăn mạch, cánh tản nhiệt và cánh quạt làm mát (hình 7.3b). Các động cơ công suất trên 100kW thanh dẫn làm bằng đồng được đặt vào các rãnh rotor và gắn chặt vào vành ngăn mạch.

Dòng điện xoay chiều ba pha chạy trong dây quấn ba pha stato sẽ tạo nên từ trường quay.

- Rôto dây quấn (hình 7.4) cũng quấn giống như dây quấn ba pha stato và có cùng số cực từ như dây quấn stato. Dây quấn kiểu này luôn luôn đấu sao (Y) và có ba đầu ra đầu vào ba vành trượt, gắn vào trục quay của rôto và cách điện với trục. Ba chổi than cố định và luôn tỳ trên vành trượt này để dẫn điện vào một biến trở cũng nối sao nằm ngoài động cơ để khởi động hoặc điều chỉnh tốc độ.



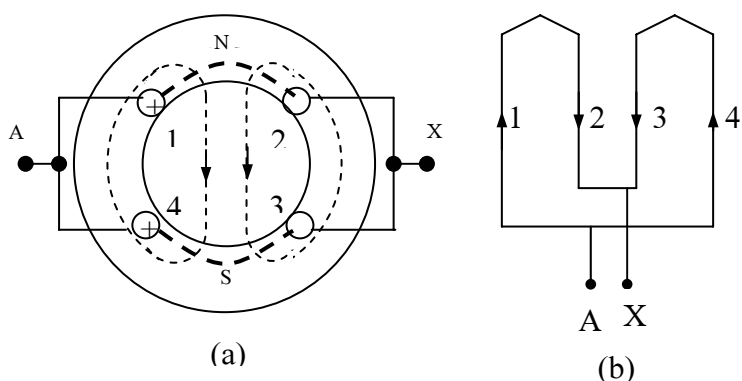
Hình 7.4 Cấu tạo của động cơ không đồng bộ ba pha rôto dây quấn

7.3. TỪ TRƯỜNG CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

7.3.1. Từ trường đập mạch của dây quấn một pha

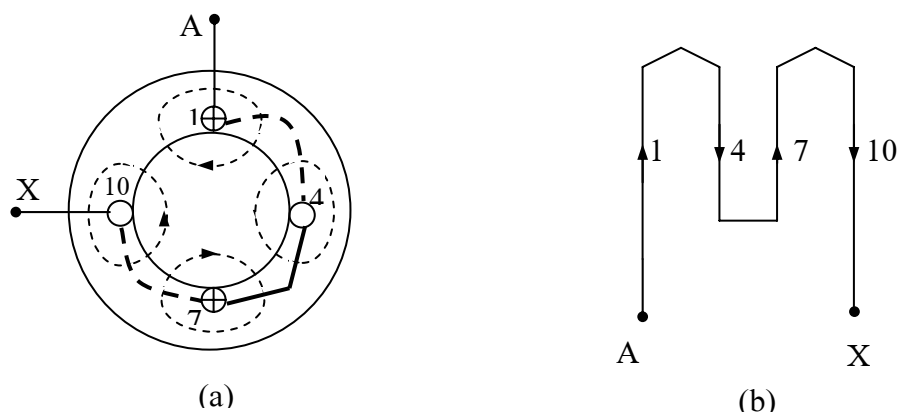
Từ trường của dây quấn một pha là từ trường có phương không đổi, song trị số và chiều biến đổi theo thời gian, được gọi là từ trường đập mạch

Xét dây quấn một pha AX đặt trong 4 rãnh của stato (hình



Hình 7.5 Từ trường đập mạch 2 cực của dây quấn một pha

7.5a,b). Cho dòng điện hình sin $i_A = I_m \sin \omega t$ chạy qua dây quấn. Giả thiết chiều dòng điện trong các dây dẫn được vẽ trên hình 7.5a,b. Căn cứ vào chiều dòng điện, vẽ chiều từ trường theo qui tắc vụn nút chai. Dây quấn hình 7.5a tạo thành từ trường một đôi cực.



Hình 7.6 Từ trường đập mạch 4 cực của dây quấn một pha

Trường hợp đấu dây quấn như trên hình 7.6, ta sẽ được một từ trường đập mạch 4 cực. Chú ý rằng trên hình 7.5 dây quấn được chia làm hai nhóm nối song, còn trên hình 7.6 dây quấn được mắc nối tiếp.

7.3.2. Từ trường quay của dây quấn ba pha

1. Sự hình thành từ trường quay

Xét máy điện ba pha đơn giản, trên stato có 6 rãnh (hình 7.7). Trong đó người ta đặt dây quấn ba pha đối xứng AX, BY, CZ. Trục của các dây quấn ba pha lệch nhau trong không gian một góc 120° điện.

Giả thiết rằng trong ba dây quấn có hệ thống dòng điện ba pha đối xứng thứ tự thuận chạy qua:

$$\left. \begin{aligned} i_A &= I_m \sin \omega t \\ i_B &= I_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ i_C &= I_m \sin(\omega t - 240^\circ) \end{aligned} \right\} \quad (7.1)$$

Lúc đó từ cảm $\vec{B}_A, \vec{B}_B, \vec{B}_C$ do các dòng điện i_A, i_B, i_C tạo ra riêng rẽ là các từ cảm đập mạch có phương lần lượt trùng với trục các pha A, B, C còn chiều cho bởi qui tắc vắn nút chai và độ lớn tỉ lệ lần lượt với i_A, i_B, i_C . Từ cảm do cả ba dòng điện tạo ra là tổng vectơ:

$$\vec{B} = \vec{B}_A + \vec{B}_B + \vec{B}_C \quad (7.2)$$

Ta xét \vec{B} tại các thời điểm khác nhau:

a) Xét thời điểm $\omega t = 90^\circ$ (Hình 7.7a)

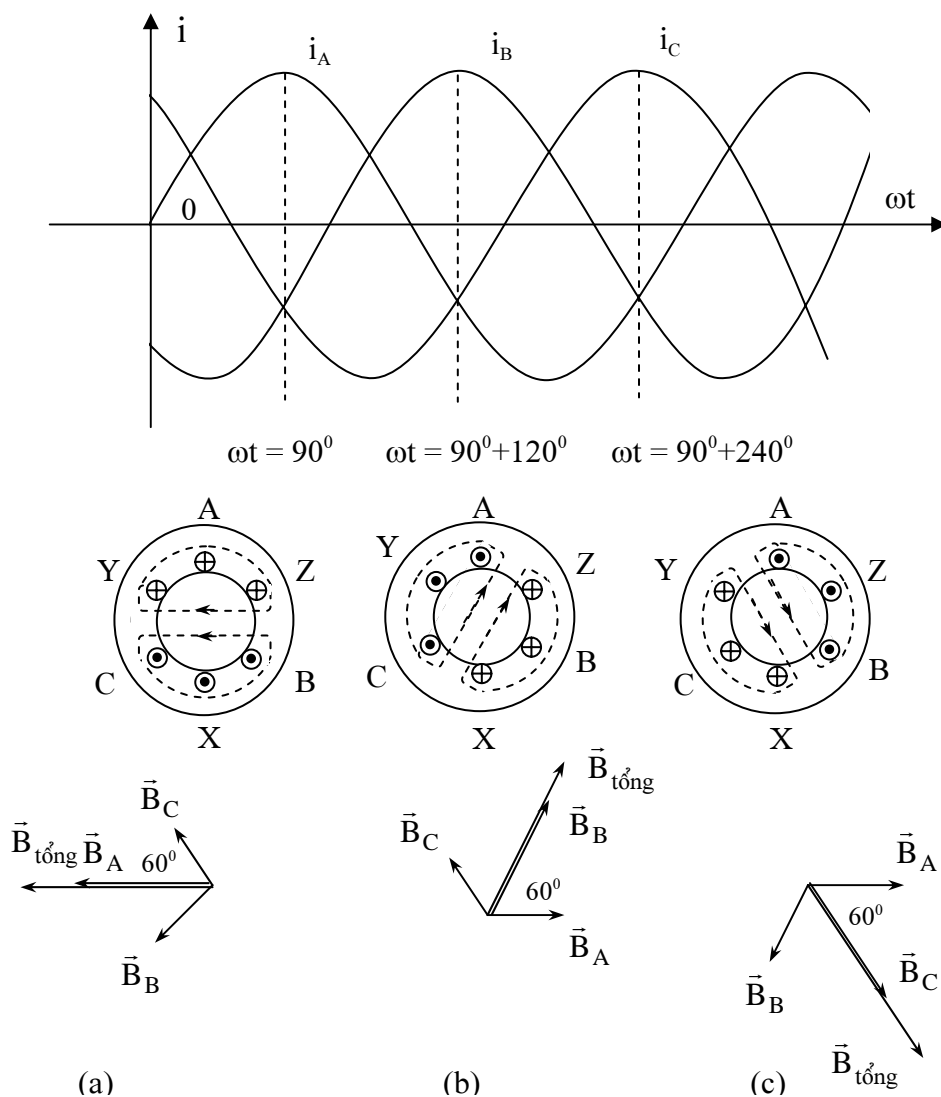
Ở thời điểm này, dòng điện pha A cực đại và dương ($i_A = I_m$), nên \vec{B}_A cũng cực đại và hướng theo chiều dương của trục pha A ($B_A = B_m$). Đồng thời các dòng điện pha B và C âm ($i_B = i_C = -I_m/2$) nên \vec{B}_B và \vec{B}_C hướng theo chiều âm của trục pha B và C, và có độ dài $B_m/2$. Từ cảm tổng \vec{B} hướng theo chiều dương của trục pha A và có độ dài $(3/2)B_m$.

β) Xét thời điểm $\omega t = 90^\circ + 120^\circ$ (Hình 7.7b)

Lúc này là thời điểm sau thời điểm đã xét ở trên một phần ba chu kỳ. Ở thời điểm này, dòng điện pha B cực đại và dương, các dòng điện pha A và C âm. Lý luận tương tự, ta thấy từ trường tổng \vec{B} hướng theo chiều dương của trục pha B, có độ dài $(3/2)B_m$ và đã quay đi một góc 120° so với thời điểm $\omega t = 90^\circ$.

γ) Xét thời điểm $\omega t = 90^\circ + 240^\circ$ (Hình 7.7c)

Lúc này là thời điểm sau thời điểm đầu hai phần ba chu kỳ. Ở thời điểm này, dòng điện pha C cực đại và dương, các dòng điện pha A và B âm. Lý luận tương tự, ta thấy từ trường tổng \vec{B} hướng theo chiều dương của trục pha C, có độ dài $(3/2)B_m$ và đã quay đi một góc 240° so với thời điểm $\omega t = 90^\circ$.



Hình 7.7 Từ trường quay hai cực của dây quấn ba pha

Qua phân tích trên ta thấy, từ trường tổng của hệ thống dòng điện hình sin ba pha đối xứng chạy qua dây quấn ba pha là từ trường quay tròn. Từ trường quay móc vòng với cả hai dây quấn stato và rôto là từ trường chính của máy điện, nó tham gia vào quá trình biến đổi năng lượng.

Với cách cấu tạo dây quấn như hình (7.7), ta có từ trường quay một đôi cực. Nếu thay đổi cách cấu tạo dây quấn, ta có từ trường quay 2, 3, ... đôi cực.

2. Đặc điểm từ trường quay

α) Tốc độ từ trường quay

Tốc độ từ trường quay phụ thuộc vào tần số dòng điện stato f và số đôi cực từ p . Thật vậy, với dây quấn hình 7.5, máy có một đôi cực $p = 1$, khi dòng điện biến thiên một chu kỳ, từ trường quay một vòng. Do đó dòng điện biến thiên f chu kỳ trong một giây, từ trường quay f vòng/giây. Với dây quấn hình 7.6, máy có hai đôi cực $p = 2$, khi dòng điện biến thiên một chu kỳ, từ trường quay $1/2$ vòng (từ cực N qua S đến N là $1/2$ vòng). Do đó dòng điện biến thiên f chu kỳ trong một giây, từ trường quay $f/2$ vòng/giây. Một cách tổng quát, khi máy có p đôi cực từ, dòng điện biến thiên một chu kỳ, từ trường quay $1/p$ vòng. Do đó dòng điện biến thiên f chu kỳ trong một giây, từ trường quay f/p vòng/giây. Vậy tốc độ từ trường quay (hay còn gọi là tốc độ đồng bộ) trong một giây là:

$$n_1 = \frac{f}{p} \text{ (vòng/giây)} \quad (7.3a)$$

$$\text{hoặc} \quad n_1 = \frac{60f}{p} \text{ (vòng/phút)} \quad (7.3b)$$

β) Chiều từ trường quay

Chiều của từ trường quay phụ thuộc vào thứ tự pha của dòng điện. Muốn đổi chiều quay của từ trường ta thay đổi thứ tự hai trong ba pha cho nhau. Giả sử đi dọc theo chu vi stato ta lần lượt gặp trục các pha A, B, C theo chiều kim đồng hồ (hình 7.7). Nếu thứ tự pha thuận, từ trường \vec{B} sẽ lần lượt quét qua các trục pha A, B, C ... theo chiều kim đồng hồ (nam châm giả SN quay theo chiều kim đồng hồ). Nếu thứ tự pha ngược, cực đại dòng các pha i_A, i_B, i_C lần lượt xảy ra theo thứ tự A, C, B ... và từ trường \vec{B} sẽ lần lượt quét qua các trục pha theo thứ tự A, C, B ... nghĩa là ngược chiều kim đồng hồ.

γ) Biên độ của từ trường quay

Vì từ thông tỉ lệ với dòng điện nên từ thông tức thời do dòng điện i_A, i_B, i_C tạo ra và lần lượt xuyên qua các pha A, B, C là:

$$\left. \begin{aligned} \Phi_A &= \Phi_{pm} \sin(\omega t) \\ \Phi_B &= \Phi_{pm} \sin(\omega t - 120^\circ) \\ \Phi_C &= \Phi_{pm} \sin(\omega t - 240^\circ) \end{aligned} \right\} \quad (7.4)$$

trong đó Φ_{pm} là từ thông cực đại xuyên qua một pha.

Vì trục của pha A tạo với trục các pha B và C các góc lần lượt bằng 120° và 240° nên từ thông tổng xuyên qua pha A do cả ba dòng điện i_A, i_B, i_C tạo ra là:

$$\begin{aligned} \Phi &= \Phi_A + \Phi_B \cos 120^\circ + \Phi_C \cos 240^\circ \\ &= \Phi_A - \frac{1}{2}(\Phi_B + \Phi_C) \end{aligned}$$

Trong hệ thống dòng điện ba pha đối xứng $\Phi_A + \Phi_B + \Phi_C = 0$ hay:

$$\Phi_B + \Phi_C = -\Phi_A$$

do đó:
$$\Phi = \Phi_A + \frac{1}{2}\Phi_A = \frac{3}{2}\Phi_A$$

Cuối cùng ta có:

$$\Phi = \frac{3}{2}\Phi_{pm} \sin \omega t = \Phi_m \sin \omega t \quad (7.5)$$

với
$$\Phi_m = \frac{3}{2}\Phi_{pm} \quad (7.6)$$

Vậy từ thông tức thời xuyên qua dây quấn một pha biến thiên hình sin theo thời gian t và có biên độ bằng $3/2$ từ thông cực đại một pha.

7.3.3. Từ thông tản

Từ thông xét ở trên là từ thông chính, móc vòng với cả hai dây quấn stato và rôto. Ngoài ra, có bộ phận từ thông chỉ móc vòng riêng rẽ với mỗi dây quấn, gọi là từ thông tản. Ta có từ thông tản stato, chỉ móc vòng với dây quấn stato và từ thông tản rôto, chỉ móc vòng với dây quấn rôto. Từ thông tản được đặc trưng bởi điện kháng tản X_t như đã xét trong máy biến áp.

7.4. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Khi đặt điện áp xoay chiều ba pha có tần số f_1 vào dây quấn stato, trong dây quấn stato sẽ có hệ thống dòng ba pha chạy qua, dòng điện này sẽ tạo ra từ trường quay p đôi cực, quay với tốc độ $n_1 = 60f_1/p$. Từ trường quay cắt các thanh dẫn của dây quấn rôto và cảm ứng trong đó các sdd E_2 . Vì dây quấn rôto nối ngắn mạch, nên sdd cảm ứng sẽ sinh ra dòng điện I_2 trong các thanh dẫn rôto. Lực tác dụng tương hỗ giữa từ trường quay của máy với thanh dẫn mang dòng điện rôto I_2 , kéo rôto quay theo chiều của từ trường quay với tốc độ n .

Để minh họa, ta xét từ trường quay \vec{B} của stato đang quay theo chiều kim đồng hồ với tốc độ n_1 (hình 7.8). Lúc đó, thanh dẫn a của rôto đang chuyển động trong từ cảm \vec{B} với tốc độ (tương đối) \vec{v} nên trong thanh dẫn a của rôto cảm ứng sdd e_2 có chiều cho bởi:

$$\vec{e}_2 = \vec{v} \times \vec{B} \quad (7.7)$$

tức là e_2 hướng từ trước ra sau. Vì rôto ngắn mạch nên E_2 tạo ra dòng điện I_2 cùng chiều E_2 .

Dòng điện i_2 đặt trong từ cảm \vec{B} sẽ chịu tác dụng lực điện từ có chiều cho bởi:

$$\vec{F}_2 = I_2 \times \vec{B} \quad (7.8)$$

tức là cùng chiều từ trường quay stato.

Tốc độ rôto của máy n luôn nhỏ hơn tốc độ từ trường quay n_1 , vì nếu tốc độ bằng nhau thì không có sự chuyển động tương đối, trong dây quấn rôto không có sdd và dòng điện cảm ứng, nên lực điện từ bằng không.

Độ chênh lệch giữa tốc độ từ trường quay và tốc độ rôto gọi là tốc độ trượt n_2 :

$$n_2 = n_1 - n$$

Hệ số trượt của tốc độ là:

$$s = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{\Omega_1 - \Omega}{\Omega_1} \quad (7.9)$$

trong $\Omega_1 = 2\pi n_1$ và $\Omega = 2\pi n$. là tốc độ góc của từ trường quay và của rôto.

Khi rôto đứng yên, tốc độ $n = 0$, hệ số trượt $s = 1$; khi rôto quay định mức $s = 0,02 \div 0,06$. Tốc độ động cơ là:

$$n = n_1(1-s) = \frac{60f_1}{p}(1-s) \text{ vg/ph.} \quad (7.10)$$

7.5. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

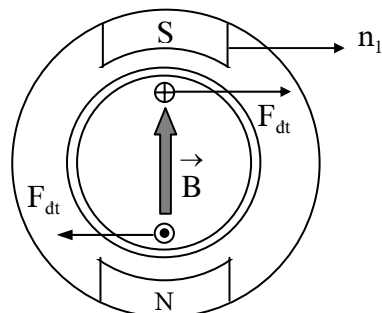
7.5.1. Phương trình điện áp ở dây quấn stato.

Dây quấn stato của động cơ tương tự như dây quấn sơ cấp máy biến áp, ta có phương trình điện áp là:

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + \dot{I}_1(R_1 + jX_1) = \dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1 \quad (7.11)$$

trong đó: $Z_1 = R_1 + jX_1$: tổng trở của dây quấn stato.

* R_1 là điện trở của dây quấn stato.



Hình 7.8 Quá trình tạo momen quay của động cơ không đồng bộ

* X_1 là điện kháng tản của dây quấn stato.

E_1 là sđđ pha stato do từ thông của từ trường quay sinh ra có trị số là:

$$E_1 = 4,44f_1N_1k_{dq1}\Phi_m \quad (7.12)$$

Với W_1 , k_{dq1} lần lượt là số vòng dây và hệ số dây quấn của một pha stato. Hệ số dây quấn $k_{dq1} < 1$, nói lên sự giảm sđđ của dây quấn do quấn rải trên các rãnh và rút ngắn bước dây quấn so với quấn tập trung như máy biến áp.

Φ_m là biên độ từ thông của từ trường quay.

f_1 là tần số dòng điện trong dây quấn stato.

7.5.2. Phương trình điện áp ở dây quấn rôto.

Từ trường chính quay với tốc độ n_1 , rôto quay với tốc độ n theo chiều từ trường quay. Vậy giữa từ trường quay và dây quấn rôto có tốc độ trượt:

$$n_2 = n_1 - n$$

Tần số sđđ và dòng điện trong dây quấn rôto:

$$f_2 = \frac{n_2 p}{60} = \frac{n_1 - n}{n_1} \times \frac{n_1 p}{60} = sf_1 \quad (7.13)$$

trong đó, s - là hệ số trượt của động cơ không đồng bộ. lúc làm việc ở chế độ tải định mức, thường $s_{dm} = 0,02 \div 0,06$. Nếu tần số $f_1 = 50\text{Hz}$ thì $f_2 = 1 \div 3\text{Hz}$.

Sđđ pha cảm ứng trong dây quấn rôto lúc quay là:

$$E_{2s} = 4,44f_2N_2k_{dq2}\Phi_m \quad (7.14a)$$

$$E_{2s} = 4,44sf_1N_2k_{dq2}\Phi_m \quad (7.14b)$$

Trong đó: N_2 , k_{dq2} lần lượt là số vòng dây và hệ số dây quấn của dây quấn rôto. Hệ số dây quấn $k_{dq2} < 1$, nói lên sự giảm sđđ của dây quấn do quấn rải trên các rãnh và rút ngắn bước dây quấn.

Khi rôto đứng yên $s = 1$, tần số $f_2 = f_1$. Sđđ dây quấn rôto lúc đứng yên là:

$$E_2 = 4,44f_1N_2k_{dq2}\Phi_m \quad (7.15)$$

So sánh (7.15) và (7.14b), ta thấy:

$$\dot{E}_{2s} = s\dot{E}_2 \quad (7.16)$$

Điện kháng của dây quấn rôto:

+ lúc đứng yên:

$$X_2 = 2\pi f_1 L_2 \quad (7.17)$$

+ lúc quay:

$$X_{2s} = 2\pi f_2 L_2 = 2\pi s f_1 L_2 = sX_2 \quad (7.18)$$

trong đó: L_2 là điện cảm tản của dây quấn rôto.

Từ (7.12) và (7.15), ta có tỉ số sđđ pha stato và rôto là:

$$a_e = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1 k_{dq1}}{N_2 k_{dq2}} \quad (7.19)$$

với: a_e gọi là hệ số qui đổi sđđ rôto về stato.

Phương trình điện áp của mạch điện rôto lúc quay là:

$$0 = \dot{E}_{2s} - \dot{I}_2(R_2 + jX_{2s}) \quad (7.20a)$$

hay:
$$0 = s\dot{E}_2 - \dot{I}_2(R_2 + jsX_2) \quad (7.20b)$$

VÍ DỤ 7.1

Điện áp và tần số của động cơ không đồng bộ ba pha rôto dây quấn nối Y có 6 cực từ khi dây quấn rôto hở mạch là 100V, $f = 50\text{Hz}$. Xác định điện áp và tần số trong dây quấn rôto khi quay ở tốc độ 950 vòng/phút.

Giải

1. Tốc độ đồng bộ :
$$n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \times 50}{3} = 1000 \text{ vòng/phút}$$

Hệ số trượt :
$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1000 - 950}{1000} = 0,05$$

2. Điện áp trong dây quấn rôto lúc quay :

$$E_{2s} = sE_2 = 0,05 \cdot 100 = 5\text{V}$$

3. Tần số dòng điện trong dây quấn rôto :

$$f_2 = sf_1 = 0,05 \cdot 50 = 2,5 \text{ Hz}$$

7.5.3. Phương trình sđđ của động cơ không đồng bộ.

Khi động cơ làm việc, từ trường quay trong máy do dòng điện của cả hai dây quấn sinh ra. Dòng điện trong dây quấn stato sinh ra từ trường quay stato quay với tốc độ n_1 so với stato. Dòng điện trong dây quấn rôto sinh ra từ trường quay rôto quay với tốc độ n_2 so với rôto bằng:

$$n_2 = \frac{60f_2}{p} = \frac{60f_1s}{p} = sn_1$$

Vì rôto quay đối với stato có tốc độ n , nên từ trường rôto sẽ quay đối với stato có tốc độ là:

$$n_2 + n = sn_1 + n = sn_1 + n_1(1-s) = n_1$$

Vậy từ trường quay stato và từ trường quay rôto quay cùng tốc độ n_1 , nên từ trường tổng hợp là từ trường quay với tốc độ n_1 .

Cũng lý luận tương tự như máy biến áp, từ thông Φ_m có trị số hầu như không đổi ứng với chế độ không tải và có tải. Do đó ta có thể viết phương trình sức từ động của động cơ:

$$m_1 N_1 k_{dq1} \dot{I}_1 - m_2 N_2 k_{dq2} \dot{I}_2 = m_1 N_1 k_{dq1} \dot{I}_0$$

trong đó: I_0 là dòng điện stato lúc không tải;

I_1, I_2 là dòng điện stato và rôto khi có tải;

m_1, m_2 là số pha của dây quấn stato và rôto;

k_{dq1}, k_{dq2} là hệ số dây quấn của dây quấn stato và rôto.

Chia hai vế cho $m_1 N_1 k_{dq1}$ và đặt:

$$\frac{\dot{I}_2}{\frac{m_1 N_1 k_{dq1}}{m_2 N_2 k_{dq2}}} = \frac{\dot{I}_2}{a_i} = \dot{I}'_2,$$

ta có: $\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}'_2$ (7.21)

Trong đó, \dot{I}'_2 là dòng điện rôto qui đổi về stato, còn hệ số qui đổi dòng điện là:

$$a_i = \frac{m_1 N_1 k_{dq1}}{m_2 N_2 k_{dq2}} \quad (7.22)$$

7.6. MẠCH ĐIỆN THAY THẾ CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Để thuận tiện cho việc nghiên cứu và tính toán, từ hệ phương trình cân bằng điện áp và sức từ động của máy điện không đồng bộ, ta thành lập sơ đồ mạch điện tương đương gọi là mạch điện thay thế máy điện không đồng bộ.

Từ (7.11), ta viết lại phương trình cân bằng điện áp stator của máy điện là:

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + \dot{I}_1 (R_1 + jX_1) = \dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1 \quad (7.23)$$

Mạch điện tương đương phương trình cân bằng điện áp phía stator 7.23, trình bày trên hình 7.9a, giống dây quấn sơ cấp mba

Viết lại phương trình (7.20b) là phương trình mạch điện rotor lúc quay, trong đó dòng điện I_2 và sđđ E_{2s} có tần số $f_2 = sf_1$.

$$0 = s\dot{E}_2 - \dot{I}_2 (R_2 + jsX_2) \quad (7.24)$$

Mạch điện tương đương phương trình cân bằng điện áp ở dây quấn rotor theo phương trình 7.24, trình bày trên hình 7.9b.

Chia hai vế (7.24) cho s , ta có:

$$0 = \dot{E}_2 - \dot{I}_2 \left(\frac{R_2}{s} + jX_2 \right) = \dot{E}_2 - \dot{I}_2 \left(R_2 \frac{1-s}{s} + R_2 + jX_2 \right) \quad (7.25)$$

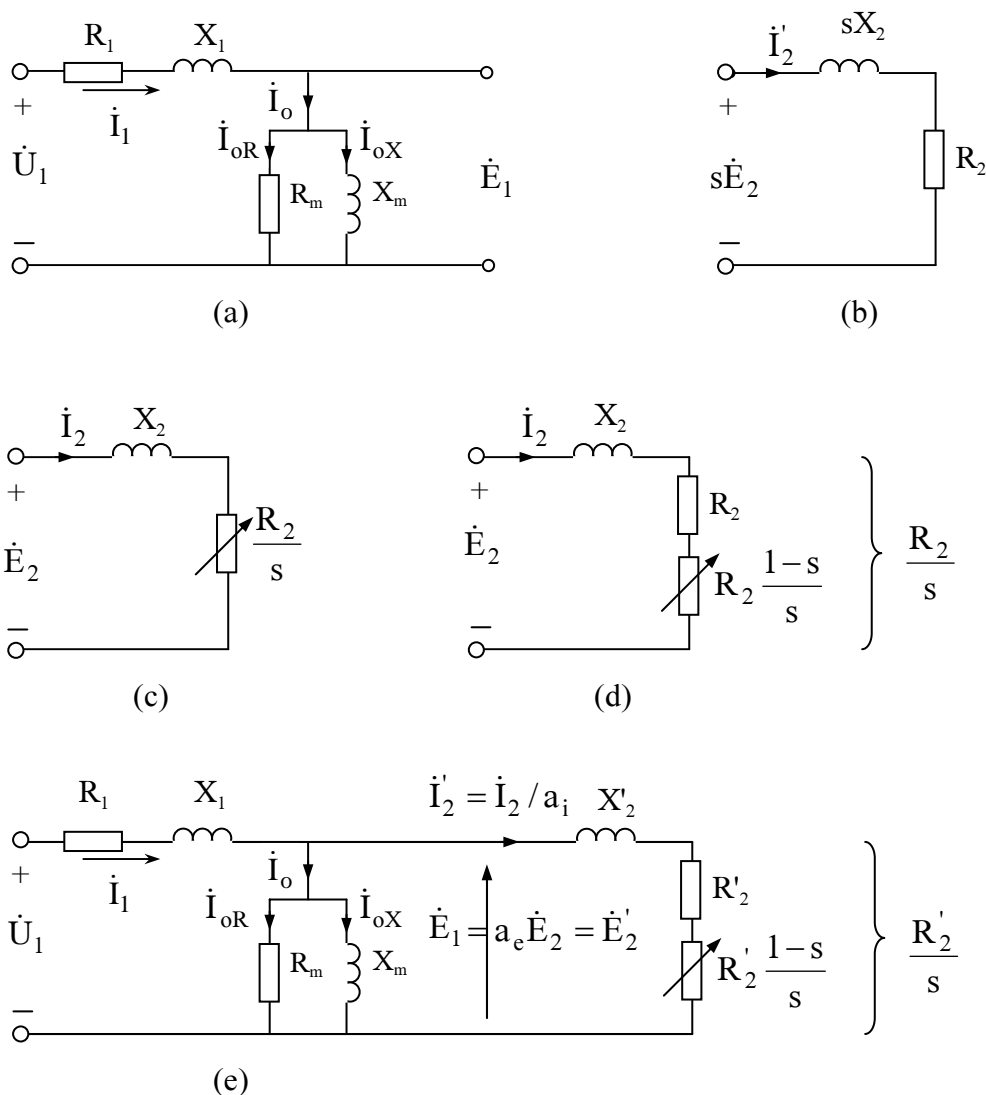
Mạch điện tương đương phương trình (7.25), trình bày trên hình 7.9c,d. Phương trình (7.25) là phương trình điện áp rotor lúc quay đã được qui đổi về rotor đứng yên. Có thể gọi là phương trình điện áp rotor qui đổi về tần số stator.

Nhân phương trình (7.25) với a_e , chia và nhân với a_i , ta có:

$$0 = a_e \dot{E}_2 - \frac{\dot{I}_2}{a_i} \left(\frac{R_2}{s} a_e a_i + jX_2 a_e a_i \right) \quad (7.26a)$$

$$0 = \dot{E}_2' - \dot{I}_2' \left(\frac{R_2'}{s} + jX_2' \right) \quad (7.26b)$$

$$0 = \dot{E}_2' - \dot{I}_2' \left(R_2' \frac{1-s}{s} + R_2' + jX_2' \right) \quad (7.26c)$$



Hình 7.9 Mạch điện thay thế của máy điện không đồng bộ. a) Mạch điện thay thế phía stator; b, c, d) Mạch điện thay thế phía rotor; e) Mạch điện thay thế đầy đủ máy điện không đồng bộ.

trong đó: $E_2' = a_e E_2 = E_1$ là sdd pha rotor qui đổi về stator; $I_2' = I_2 / a_i$ là dòng điện rotor qui đổi về stator; $R_2' = R_2 a_i a_e = a^2 R_2$ là điện trở dây quấn rotor qui đổi về stator; $X_2' = X_2 a_i a_e = a^2 X_2$ là điện kháng dây quấn rotor qui đổi về stator; a^2 là hệ số qui đổi tổng trở; còn $R_2' / s = R_2' + R_2'(1-s) / s = R_2' + R_{c0}$ và $R_{c0} = R_2'(1-s) / s$ gọi là

điện trở cơ giả tưởng, năng lượng tiêu tán trên điện trở này tương đương năng lượng điện từ biến thành cơ năng trên trục động cơ khi nó quay (hình 7.9e).

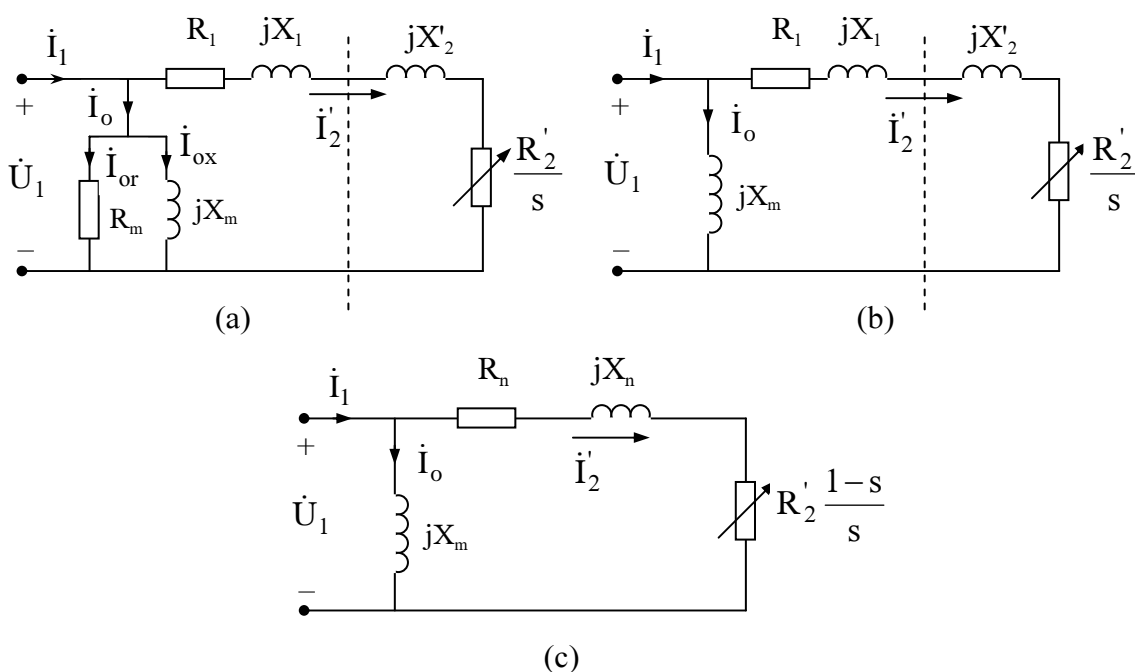
Cuối cùng ta có phương trình cơ bản lúc rotor quay là:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1 \\ 0 &= \dot{E}_2' - \dot{I}_2' \left(R_2' \frac{1-s}{s} + R_2' + jX_2' \right) \\ \dot{E}_2' &= \dot{E}_1 \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_0 + \dot{I}_2' \end{aligned} \right\} \quad (7.27)$$

Dựa vào các phương trình cơ bản sau khi qui đổi (7.27), và hai mạch điện hình 7.9a và d, ta thành lập mạch điện thay thế hình 7.9e cho động cơ điện không đồng bộ khi rotor quay giống như máy biến áp, ở đây dây quấn sơ cấp máy biến áp là dây quấn stator, dây quấn thứ cấp máy biến áp là dây quấn rotor và phụ tải máy biến áp là điện trở cơ giả tưởng $R'_{co} = R_2'(1-s)/s$, đây là điện trở đặc trưng cho công suất cơ P_{co} của động cơ.

7.7. CÁC DẠNG KHÁC CỦA MẠCH ĐIỆN THAY THẾ

Để thuận tiện cho việc tính toán, sơ đồ hình 7.9e được xem gần đúng tương đương với sơ đồ hình 7.10a, khi chuyển nhánh từ hóa về nối trực tiếp với điện áp U_1 được sử dụng nhiều trong tính toán động cơ điện không đồng bộ.



Hình 7.10 Sơ đồ thay thế gần đúng máy điện không đồng bộ

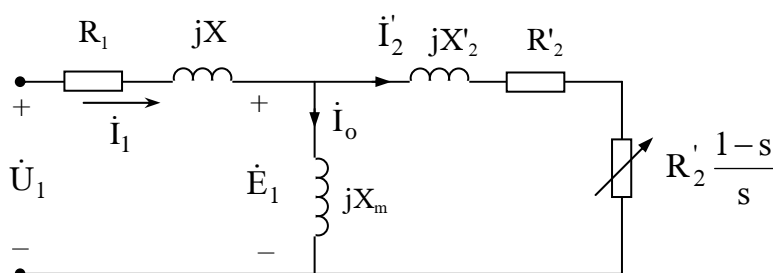
Trong máy điện không đồng bộ thường $R_m \gg X_m$, nên ta bỏ qua điện trở đặc trưng cho tổn hao trong lõi thép, hình 7-10b.

Ngoài ra, nếu làm một vài phép biến đổi đơn giản, ta có sơ đồ thay thế như hình 7-10c, trong đó:

$$R_n = R_1 + R_2' \quad (7.28)$$

$$X_n = X_1 + X_2' \quad (7.29)$$

Từ sơ đồ thay thế có thể tính dòng điện stator, dòng điện rotor, moment, công suất cơ... và những tham số khác. Như vậy ta đã chuyển việc tính toán một hệ Điện - Cơ về việc tính toán mạch điện đơn giản.



Hình 7.11 Mạch điện thay thế IEEE

Trong máy điện không đồng bộ, do có khe hở không khí lớn nên tổn tại dòng điện từ hóa lớn, khoảng $(30-50)\%I_{dm}$. Điện kháng tản X_1 cũng lớn. Trong trường hợp như vậy điện kháng từ hóa X_m không nên dịch chuyển về đầu nguồn (hình 7-10c) mà giữ nguyên vị trí như hình 7-9e. Bỏ qua điện trở R_m còn tổn hao sắt ta gộp vào tổn hao cơ và tổn hao phụ gọi chung là tổn hao quay. Từ đó ta có mạch điện thay thế hình 7-11 do IEEE (đọc I ba E) đề xướng, ở đây sdd E_1 khác so với U_1 .

7.8. QUÁ TRÌNH NĂNG LƯỢNG TRONG ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Động cơ điện không đồng bộ nhận điện năng từ lưới điện, nhờ từ trường quay điện năng đã được biến đổi thành cơ năng trên trục động cơ.

Công suất tác dụng động cơ điện nhận từ lưới điện :

$$P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1 \quad (7.30)$$

Trong đó: U_1 , I_1 là điện áp pha và dòng điện pha, còn φ_1 là góc lệch pha của dòng điện và điện áp pha.

Công suất này một phần bù vào tổn hao đồng trên dây quấn stator: $p_{Cu1} = m_1 I_1^2 R_1$ và tổn hao sắt thép trong lõi thép: $p_{Fe} = m_1 I_{0R}^2 R_m$. Công suất còn lại gọi là công suất điện từ truyền qua rotor:

$$P_{dt} = P_1 - (p_{Cu1} + p_{Fe}) = m_1 I_2'^2 \frac{R_2'}{s} \quad (7.31)$$

Công suất điện từ truyền qua rotor, sau khi mất một phần vì tổn hao đồng trên dây quấn rotor: $p_{Cu2} = m_1 I_2'^2 R_2'$. Còn lại là công suất cơ trên trục:

$$P_{cơ} = P_{dt} - p_{Cu2} = m_1 I_2'^2 \frac{R_2'}{s} - m_2 I_2'^2 R_2' = m_1 I_2'^2 R_2' \frac{1-s}{s} \quad (7.32)$$

Từ công thức (7.31) và (7.32), ta có công suất cơ trên trục và P_{dt} :

$$P_{cơ} = (1-s)P_{dt} \quad P_{dt} = m_1 I_2'^2 \frac{R_2'}{s} = \frac{p_{Cu2}}{s} \quad (7.33)$$

Công suất cơ trên trục sau khi trừ đi tổn hao quay p_q (ma sát, quạt gió và phụ), còn lại là công suất có ích trên đầu trục hay công suất ra của động cơ điện:

$$P_2 = P_{cơ} - p_q$$

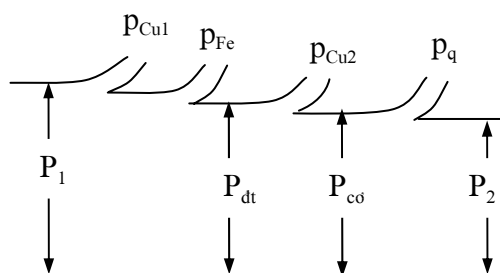
Tổng tổn hao của động cơ điện:

$$\Sigma p = p_{Cu1} + p_{Fe} + p_{Cu2} + p_q$$

Giản đồ năng lượng của động cơ không đồng bộ trình bày trên hình 7.12.

Hiệu suất của động cơ điện:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = 1 - \frac{\Sigma p}{P_1} \quad (7.34)$$



Hình 7.12 Giản đồ năng lượng động cơ không đồng bộ

VÍ DỤ 7.2

Động cơ không đồng bộ ba pha nối Y có công suất $P_{dm} = 11\text{kW}$, $U_{dm} = 380\text{V}$, $f_{dm} = 50\text{Hz}$, 4 cực từ, $n_{dm} = 1440$ vòng/phút. Tổn hao quay (quạt gió, ma sát và phụ) là 750W . Xác định:

1. Công suất cơ?
2. Công suất điện từ?
3. Tổn hao đồng trong dây quấn rotor?

Giải

1. Công suất cơ của động cơ:

$$\begin{aligned} \text{Công suất cơ} &= \text{Công suất trên đầu trục} + \text{Tổn hao quay} \\ &= 11000 + 750 = 11750\text{W} \end{aligned}$$

2. Công suất điện từ:

$$\text{Tốc độ đồng bộ} : n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \times 50}{2} = 1500 \text{ vòng/phút}$$

$$\text{Hệ số trượt} : s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1500 - 1440}{1500} = 0,04$$

$$\text{Công suất điện từ : } P_{dt} = \frac{P_{cơ}}{1-s} = \frac{11750}{1-0,04} = 12240 \text{ W}$$

3. Tổn hao đồng trong dây quấn rotor :

$$P_{Cu2} = sP_{dt} = 0,04 \times 12240 = 489,6 \text{ W}$$

7.9. MÔMEN CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Thường lợi dụng mạch điện thay thế để tính mômen điện từ theo hệ số trượt. Mômen điện từ của động cơ điện không đồng bộ:

$$M = \frac{P_{cơ}}{\Omega} \quad (7.35)$$

Viết lại biểu thức (7.32):

$$P_{cơ} = m_1 I_2'^2 R_2' \frac{1-s}{s} \quad (7.36)$$

Còn

$$\Omega = (1-s)\Omega_1 = (1-s)\omega_1 / p$$

Từ sơ đồ thay thế IEEE (hình 7.11) , khi bỏ qua X_m , ta có:

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R_2'/s)^2 + (X_1 + X_2')^2}} \quad (7.37)$$

Thế (7.36) rồi (7.37) vào (7.35), ta có mômen điện từ của động cơ điện không đồng bộ :

$$M = \frac{m_1}{\Omega_1} \times \frac{U_1^2 \times R_2'/s}{(R_1 + R_2'/s)^2 + (X_1 + X_2')^2} \quad (7.38)$$

Nhận xét về moment :

+ M tỉ lệ U_1^2 .

+ M tỉ lệ nghịch $Z^2 = (R_1 + R_2'/s)^2 + (X_1 + X_2')^2$ khi tần số cho trước.

+ $M = f(s)$.

Vẽ quan hệ mômen theo hệ số trượt $M = f(s)$. Để vẽ hình 7.13, ta tính:

7.9.1. Tìm mômen cực đại

- Giả thiết các tham số khác là không đổi.
- Đặt $y = 1/s$.

Viết lại biểu thức mômen điện từ (7.38):

$$M = \frac{Ay}{B + Cy + Dy^2}$$

$$\text{trong đó: } \begin{cases} A = \frac{m_1 U_1^2 R_2'}{\Omega_1} \\ B = R_1^2 + (X_1 + X_2')^2 \end{cases} \quad \begin{cases} C = 2R_1 R_2' \\ D = R_2'^2 \end{cases}$$

Lấy đạo hàm và tìm hệ số trượt tới hạn s_{th} ứng với mômen cực đại M_{max} .

$$\left. \frac{dM}{dy} \right|_{y=y_{th}} = \frac{A(B - Dy_{th}^2)}{(B + Cy_{th} + Dy_{th}^2)^2} = 0$$

$$\rightarrow y_{th} = \pm\sqrt{B/D}$$

$$\rightarrow s_{th} = \pm\sqrt{D/B}$$

$$\rightarrow s_{th} = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}} \quad (7.39)$$

Dấu: (+) ứng với chế độ động cơ.

(-) ứng với chế độ máy phát.

Sau khi thế (7.39) vào (7.38), ta có mômen cực đại :

$$M_{max} = \pm \frac{m_1}{2\Omega_1} \times \frac{U_1^2}{\pm R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}} \quad (7.40)$$

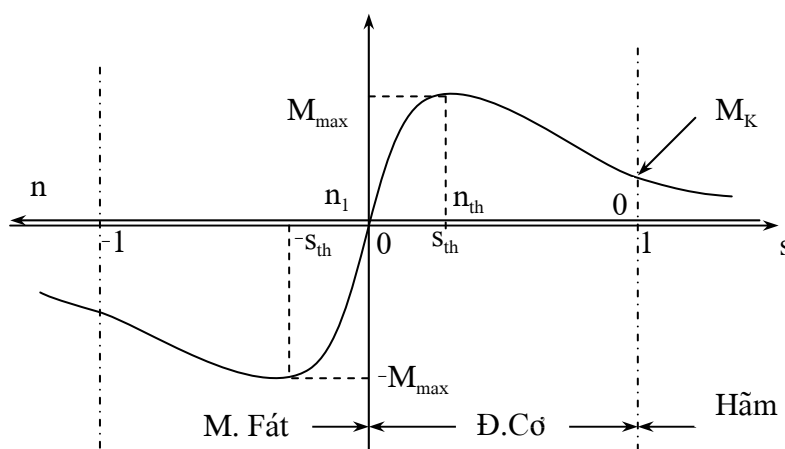
Thường $R_1 \ll X_1 + X_2'$, nên xem $R_1 = 0$, ta có:

$$s_{th} = \pm \frac{R_2'}{X_1 + X_2'} \quad (7.41)$$

$$M_{max} = \pm \frac{m_1}{2\Omega_1} \frac{U_1^2}{X_1 + X_2'} \quad (7.42)$$

Ta nhận xét về M_{max} :

- + M_{max} tỉ lệ với U_1^2
- + M_{max} không phụ thuộc R_2'
- + M_{max} ở chế độ máy phát lớn hơn một ít so với chế độ động cơ.
- + R_2' càng lớn thì s_{th} càng lớn và s_{th} không phụ thuộc điện áp.
- + R_2' tăng thì M_{max} không đổi mà dịch sang phải.



Hình 7.13 Quan hệ $M = f(s)$

7.9.2. Mômen khởi động

Điểm $s = 1$ ($n = 0$) ứng với chế độ khởi động của động cơ:

$$M_K = \frac{m_1}{\Omega_1} \times \frac{U_1^2 R_2'}{(R_1 + R_2')^2 + (X_1 + X_2')^2} \quad (7.43)$$

Ta nhận xét về M_K :

- + M_K tỉ lệ với U_1^2
- + M_K tỉ lệ nghịch với $Z_n^2 = R_n^2 + X_n^2$
- + Tìm $M_K = M_{\max}$ thì hệ số trượt $s_{th} = 1$ (hình 7.14a). Ta có:

$$s_{th} = \frac{R_2'}{X_1 + X_2'} = 1 \quad (7.44)$$

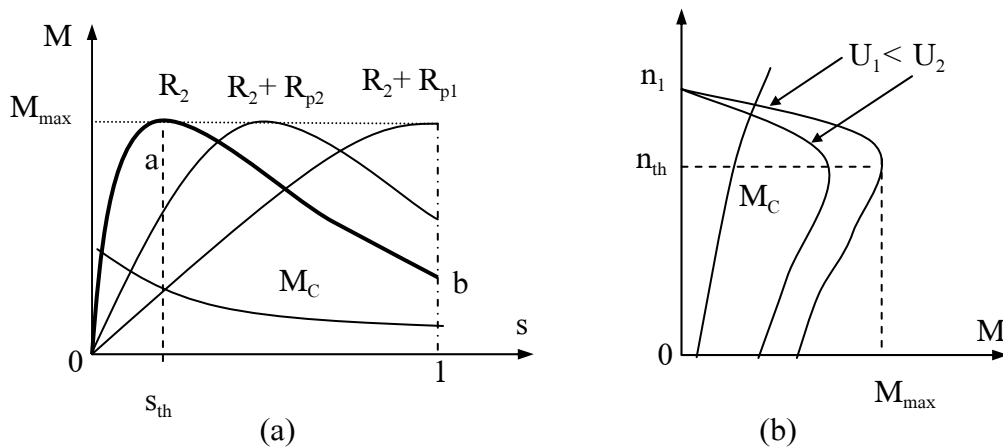
$R_2' = X_1 + X_2'$: đây là điện trở rôto để $M_K = M_{\max}$.

7.9.3. Đặc tính cơ của động cơ điện

Đặc tính cơ của động cơ điện là quan hệ $n = f(M_2)$ hoặc $M_2 = f(n)$. Mà ta có $M = M_0 + M_2$, ở đây ta xem $M_0 = 0$ hoặc chuyển M_0 về momen cản tĩnh M_C , vì vậy $M_2 = M = f(n)$.

Từ hình 7.13, ta xét chế độ động cơ nghĩa là $s = 0 \div 1$ (hình 7.14a). Nếu thay $s = (n_1 - n)/n_1$ ta sẽ có quan hệ $n = f(M_2)$ chính là đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ (hình 7.14b). Từ hình 7.14a, ta có :

- + Đoạn oa ($0 < s < s_{th}$): Động cơ làm việc ổn định. Đặc tính cơ cứng.
- + Đoạn ab ($s_{th} < s < 1$): Động cơ làm việc không ổn định.



Hình 7.14 Đặc tính động cơ không đồng bộ

a) Quan hệ momen theo hệ số trượt. b) Đặc tính cơ động cơ không đồng bộ

Đối với động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc, ta có ba thông số quan trọng ghi trong lý lịch máy là năng lực quá tải m_M , bội số momen khởi động m_K và bội số dòng điện khởi động m_I :

$$m_M = \frac{M_{\max}}{M_{\text{dm}}} (=1,7 \div 3); \quad m_K = \frac{M_K}{M_{\text{dm}}} (=1,1 \div 1,7); \quad m_I = \frac{I_K}{I_{\text{dm}}} (=1,1 \div 1,7)$$

7.10. KHỞI ĐỘNG ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Dòng điện khởi động : Khi khởi động $\Omega = 0$, $s = 1$ nên:

$$I_K = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R_2')^2 + (X_1 + X_2')^2}} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_n^2 + X_n^2)}} \quad (7.45)$$

Thường thì : $I_K = (4 \div 7)I_{\text{dm}}$ ứng với U_{dm} .

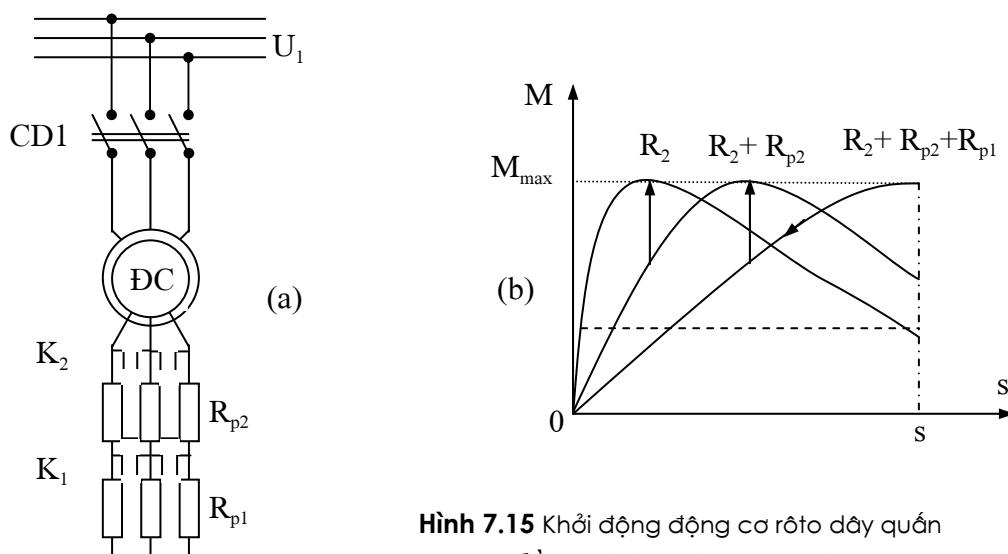
Yêu cầu khi ở máy:

- M_K phải lớn để thích ứng với đặc tính tải.
- I_K càng nhỏ càng tốt để không ảnh hưởng đến các phụ tải khác.
- Thời gian khởi động t_K cần nhỏ để máy có thể làm việc được ngay.
- Thiết bị khởi động đơn giản, rẻ tiền, tin cậy và ít tổn năng lượng.

Những yêu cầu trên là trái ngược nhau, vì thế tùy theo yêu cầu sử dụng, công suất động cơ và công suất của lưới điện mà ta chọn phương pháp khởi động thích hợp.

7.10.1. Khởi động động cơ rôto dây quấn

Khi khởi động dây quấn rôto được nối với các điện trở phụ R_{pK} (hình 7.15a). Đầu tiên K_1 và K_2 mở, động cơ khởi động qua điện trở phụ lớn nhất, sau đó đóng K_1 rồi K_2 giảm dần điện trở phụ về không. Đường đặc tính mômen ứng với các điện trở phụ khởi động R_{p1} và R_{p2} ở hình 7.15b.



Hình 7.15 Khởi động động cơ rôto dây quấn
a) Sơ đồ mạch lực ; b) Đặc tính mômen

Lúc khởi động $n = 0$ thì $s = 1$, muốn mômen khởi động $M_K = M_{\max}$ thì $s_{th} = 1$:

$$s_{th} = \frac{R'_2 + R'_{pK}}{X_1 + X'_2} = 1 \quad (7.46)$$

Từ đó xác định được điện trở khởi động ứng với mômen khởi động $M_K = M_{\max}$.

Khi có R_{pK} dòng điện khởi động là:

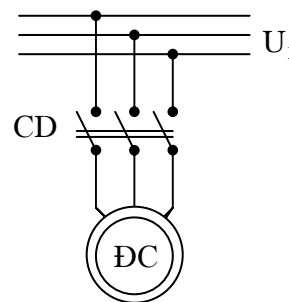
$$I_{Kp} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R'_2 + R_{pK})^2 + (X_1 + X'_2)^2}} \quad (7.47)$$

Nhờ có điện trở r_m dòng điện khởi động giảm xuống, mômen khởi động tăng, đó là ưu điểm lớn của động cơ rôto dây quấn.

7.10.2. Khởi động động cơ rôto lồng sóc

a. Khởi động trực tiếp:

Đóng cầu dao CD nối trực tiếp dây quấn stato vào lưới điện (hình 7.16). Ưu điểm của phương pháp này là thiết bị khởi động đơn giản; mômen khởi động M_K lớn; thời gian khởi động t_K nhỏ. Còn khuyết điểm là dòng điện khởi động I_K lớn làm ảnh hưởng đến các phụ tải khác. Vì vậy nó chỉ được dùng cho những động cơ công suất nhỏ và công suất của nguồn $S_{nguồn}$ lớn hơn nhiều lần công suất động cơ $S_{d.cơ}$.



Hình 7.16 Khởi động trực tiếp

2. Khởi động bằng cách giảm điện áp đặt vào dây quấn stato:

Các phương pháp sau đây nhằm mục đích giảm dòng điện khởi động I_K . Nhưng khi giảm điện áp khởi động thì momen khởi động cũng giảm theo.

a. Khởi động dùng cuộn kháng mắc nối tiếp vào mạch stato:

Khi khởi động: CD2 cắt, đóng CD1 để nối dây quấn stator vào lưới điện thông qua điện kháng ĐK, động cơ quay ổn định, đóng CD2 để ngắt mạch cuộn kháng ĐK, nối trực tiếp dây quấn stato vào lưới (hình 7.17).

Điện áp đặt vào dây quấn stato khởi động là:

$$U_K = kU_1 \quad (k < 1)$$

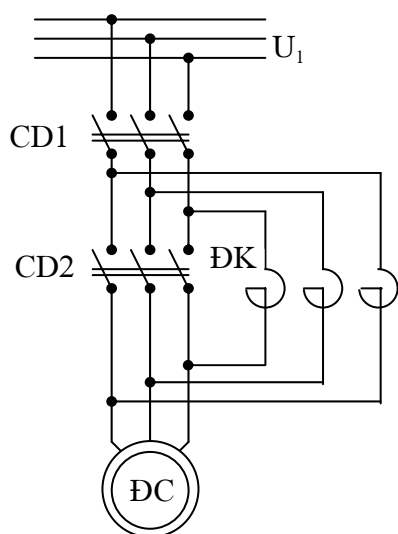
Dòng điện khởi động:

$$I'_K = kI_K$$

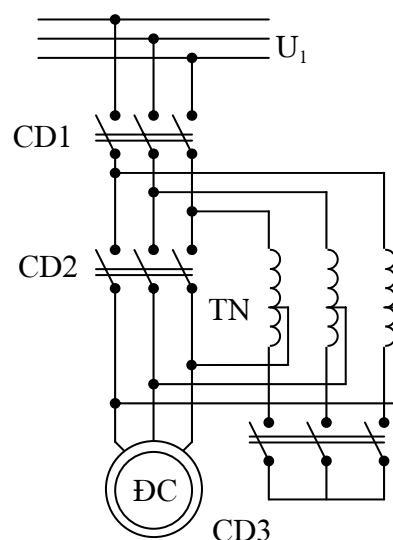
với I_K : dòng khởi động trực tiếp.

Mômen khởi động:

$$M_K = k^2 M_{K0}$$



Hình 7.17 Khởi động dùng điện kháng



Hình 7.18 Khởi động dùng BA TN

b. Khởi động dùng mba từ ngẫu:

Trước khi khởi động: cắt CD2, đóng CD3, MBA TN để ở vị trí điện áp đặt vào động cơ khoảng $0.6U_{dm}$, đóng CD1 để nối dây quấn stato vào lưới điện thông qua MBA TN, động cơ quay ổn định, cắt CD3, đóng CD2 để nối trực tiếp dây quấn stato vào lưới (hình 7.18).

Khi khởi động, động cơ được cấp điện:

$$U_K = k_T U_1 \quad (k < 1)$$

Lúc đó dòng điện mm:

$$I'_K = k I_K$$

với I_K : dòng khởi động trực tiếp.

Dòng điện mba TN nhận từ lưới điện:

$$I_1 = k_T I'_K = k^2 I_K$$

Mômen khởi động:

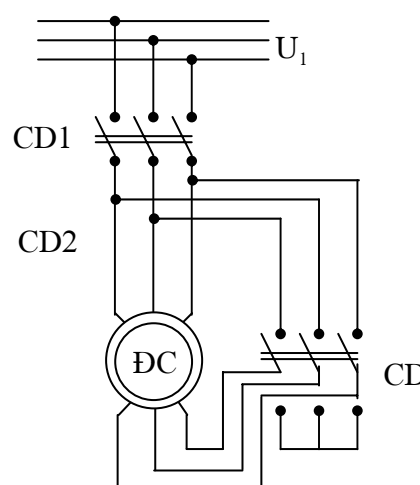
$$M'_K = k^2 M_K.$$

c. Khởi động bằng cách đổi nối $Y \rightarrow \Delta$:

Lúc máy làm việc bình thường động cơ nối tam giác Δ , khi khởi động nối hình sao Y , sau khi tốc độ quay gần ổn định chuyển về nối Δ để làm việc (hình 7.19).

Điện áp pha khi khởi động:

$$U'_{Kf} = \frac{1}{\sqrt{3}} U_K$$



Hình 7.19 Khởi động đổi nối $Y \rightarrow \Delta$

Điện áp pha khi khởi động:

$$I_{KY} = I'_{Kf} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{Kf}$$

Điện áp pha khi khởi động trực tiếp:

$$I_{K\Delta} = \sqrt{3} I_{Kf}$$

Ta có:

$$\frac{I_{K\Delta}}{I_{KY}} = \frac{\sqrt{3} I_{Kf}}{\frac{I_{Kf}}{\sqrt{3}}} = 3$$

Còn mômen khởi động của động cơ M_K giảm đi 3 lần.

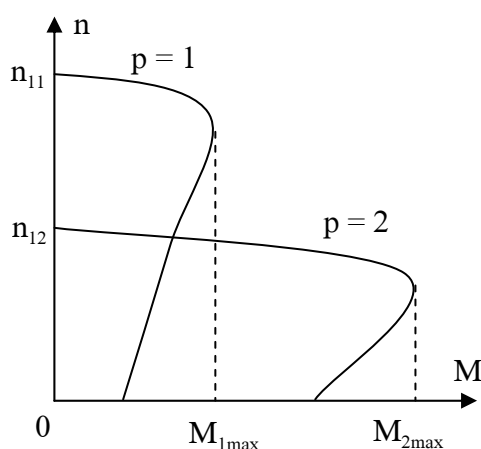
7.11. ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Tốc độ của động cơ điện không đồng bộ được cho bởi:

$$n = n_1(1-s) = \frac{60f_1}{p}(1-s) \text{ vg/ph}$$

Nhìn vào biểu thức trên ta thấy: động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc có thể điều chỉnh tốc độ động cơ bằng cách thay đổi tần số dòng điện stato, đổi nối dây quấn stato để thay đổi số đôi cực từ p của từ trường hoặc thay đổi điện áp đặt vào dây quấn stato để thay đổi hệ số trượt s . Tất cả các phương pháp điều chỉnh đó đều thực hiện ở phía stato. Đối với động cơ điện không đồng bộ rôto dây quấn thường điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở mạch rôto để thay đổi hệ số trượt s , việc điều chỉnh được thực hiện ở phía rôto.

7.11.1. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi số đôi cực từ:



Hình 7.20. Đặc tính cơ ĐK có hai cực nối dây quấn thành bốn cực

Số cực của từ trường quay stato tùy thuộc vào cách đấu dây quấn stato. Bằng cách đấu lại dây quấn, một động cơ hai cực ($p = 1$) có thể thành bốn cực ($p = 2$). Động cơ không đồng bộ có cấu tạo dây quấn để thay đổi số đôi cực từ được gọi là động cơ nhiều cấp tốc độ. Phương pháp này chỉ dùng cho loại động cơ rôto lồng sóc.

Trên hình 7.20 trình bày hai đặc tính $M_1(n)$ và $M_2(n)$ ứng với hai tốc độ đồng bộ n_{11} và n_{12} .

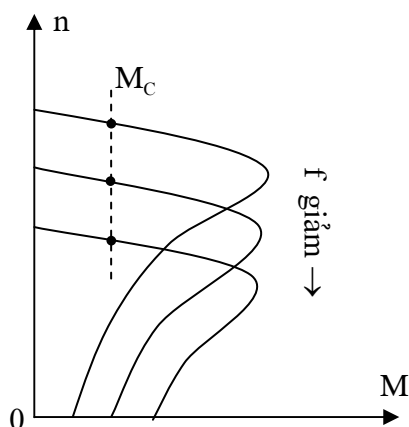
Theo công thức (7.3b) và (7.42), ta có:

$$n_{11} = 2n_{12} \text{ và } M_{2\max} = 2M_{1\max}.$$

7.11.2. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi tần số

Từ công thức (7.12), nếu bỏ qua điện áp rơi trên dây quấn, ta có :

$$\frac{U_1}{f_1} = 4,44N_1k_{dq1}\Phi_m$$



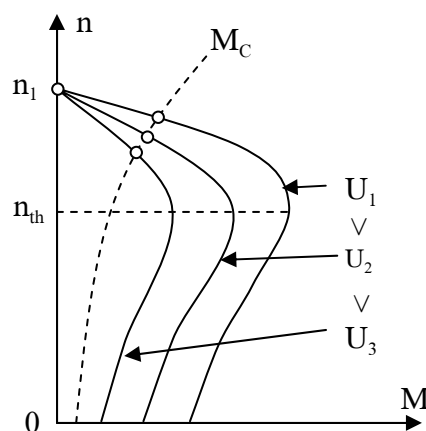
Hình 7.21. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi tần số

Như vậy từ thông Φ_m tỉ lệ với tỉ số U_1/f . Muốn giữ Φ_m không đổi khi giảm f , ta phải đồng thời giảm U_1 sao cho tỉ số U_1/f không đổi (hình 7.21).

Cách điều chỉnh U_1/f không đổi thì mômen cực đại cũng không đổi và cách điều chỉnh này có các đặc tính thích hợp với loại tải cần mômen không đổi khi vận tốc thay đổi.

7.11.3. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp nguồn điện

Ta đã biết, hệ số trượt tới hạn s_{th} không phụ thuộc vào điện áp. Theo (7.50) và (7.55), nếu r'_2 không đổi thì khi giảm điện áp nguồn U_1 , hệ số trượt tới hạn s_{th} sẽ không đổi còn M_{max} giảm tỉ lệ với U_1^2 . Vậy họ đặc tính thay đổi như hình 7.22 làm cho tốc độ thay đổi theo. Phương pháp này chỉ thực hiện khi máy mang tải, còn khi máy không tải giảm điện áp nguồn, tốc độ động cơ gần như không đổi.



Hình 7.22 Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp nguồn điện

7.11.4. Thay đổi điện trở rôto của động cơ rôto dây quấn

Thay đổi điện trở dây quấn rôto, bằng cách mắc thêm biến trở ba pha vào mạch rôto của động cơ rôto dây quấn như hình 7.15a.

Do biến trở điều chỉnh phải làm việc lâu dài nên có kích thước lớn hơn biến trở khởi động. Họ đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ rôto dây quấn khi dùng biến trở điều chỉnh tốc độ trình bày trên hình 7.15b. Ta thấy rằng khi tăng điện trở, tốc độ quay của động cơ giảm.

Phương pháp này gây tổn hao trong biến trở nên làm hiệu suất động cơ giảm. Tuy vậy, đây là phương pháp khá đơn giản, tốc độ được điều chỉnh liên tục trong phạm vi tương đối rộng nên được dùng nhiều trong các động cơ công suất cỡ trung bình.

7.12. CÁC ĐẶC TÍNH ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Đó là đồ thị cho biết sự thay đổi của dòng điện stato I_1 , tốc độ rôto n , momen quay M , hệ số công suất $\cos\varphi$ và hiệu suất η theo công suất hữu ích trên trục P_2 , khi điện áp U_1 và tần số f của nguồn không đổi (hình 7.23).

7.12.1. Đặc tính dòng điện stato $I_1 = f(P_2)$

Theo (7.22), dòng điện \dot{I}_1 là tổng vectơ của dòng điện không tải \dot{I}_0 và dòng điện làm việc (\dot{I}'_2). Khi U_1 không đổi, I_0 cũng gần như không đổi và bằng khoảng $(20 \div 40)\%I_{dm}$. Khi P_2 tăng, dòng I'_2 tăng nên I_1 tăng theo.

7.12.2. Đặc tính tốc độ $n = f(P_2)$.

Theo công thức hệ số trượt, ta có:

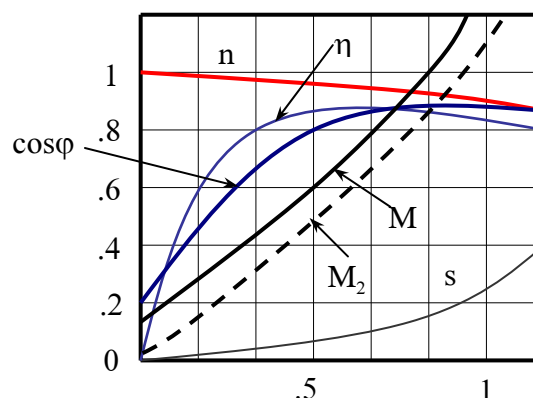
$$n = n_1(1-s)$$

trong đó : $s = p_{Cu2}/P_{dt}$. Khi không tải $p_{Cu2} \ll P_{dt}$ nên $s \approx 0$ động cơ điện quay gần tốc độ đồng bộ $n \approx n_1$ Khi mang tải thì tổn hao đồng cũng tăng lên n giảm một ít, nên đường đặc tính tốc độ là đường dốc xuống.

7.12.3. Đặc tính mômen $M = f(P_2)$.

Ta có $M = f(s)$ thay đổi rất nhiều.

Nhưng trong phạm vi $0 < s < s_{th}$ thì đường $M = f(s)$ gần giống đường thẳng, nên $M_2 = f(P_2)$ là đường thẳng.



Hình 7.23 Đặc tính làm việc của động cơ không đồng bộ.

7.12.4. Đặc tính hiệu suất $\eta = f(P_2)$.

Ta có hiệu suất của máy:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum p} 100\% \quad (7.48)$$

trong đó: $\sum p$ tổng tổn hao, nhưng ở đây chỉ có tổn hao đồng thay đổi theo phụ tải còn các tổn hao khác là không đổi.

7.12.5. Đặc tính hệ số công suất $\cos\varphi = f(P_2)$.

Hệ số công suất của máy điện không đồng bộ bằng:

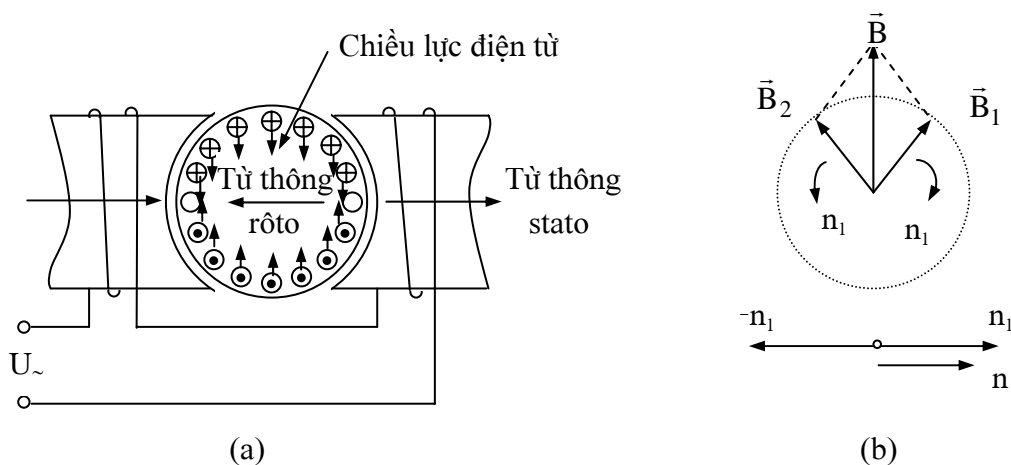
$$\cos\varphi = \frac{P_1}{S} = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}} \quad (7.49)$$

Vì máy điện không đồng bộ bằng luôn luôn nhận công suất phản kháng từ lưới. Lúc không tải hệ số công suất $\cos\varphi_0$ rất thấp thường nhỏ hơn 0,2. Khi tải tăng, P_1 tăng lên, nên $\cos\varphi$ cũng tăng cho đến $\cos\varphi = 0,8 \div 0,9$. Sau đó giảm xuống dần.

7.13. ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ MỘT PHA

7.13.1. Đại cương, cấu tạo, nguyên lý làm việc

Động cơ điện không đồng bộ một pha được sử dụng rất rộng rãi trong dân dụng và công nghiệp như máy giặt, tủ lạnh, máy bơm, quạt, các dụng cụ cầm tay,... Nói chung là các động cơ công suất nhỏ. Cụm từ "động cơ công suất nhỏ" chỉ các động cơ có công suất nhỏ hơn 750W. Phần lớn động cơ một pha thuộc loại này, mặt dù chúng còn được chế tạo với công suất đến 7,5kW và ở hai cấp điện áp 110V và 220V.



Hình 7.24 Động cơ không đồng bộ một pha một dây quấn

a) Từ thông và lực điện từ tác dụng lên rôto.

b) Từ trường đập mạch được phân thành hai từ trường quay thuận và quay ngược

Về cấu tạo, stato giống động cơ không đồng bộ ba pha nhưng trên đó ta đặt dây quấn một pha và được cung cấp bởi nguồn điện xoay chiều một pha; còn rôto thường là rôto lồng sóc (hình 7.24a).

Cho dòng điện xoay chiều hình sin chạy vào dây quấn stato thì từ trường stato có phương không đổi nhưng có độ lớn thay đổi hình sin theo thời gian, gọi là từ trường đập mạch:

$$B = B_m \sin \omega t \cos \alpha \quad (7.50)$$

Từ trường này sinh ra dòng điện cảm ứng trong các thanh dẫn dây quấn rôto, các dòng điện này sẽ tạo ra từ thông rôto mà theo định luật Lenz, sẽ chống lại từ thông stato. Từ đó ta xác định được chiều dòng điện cảm ứng và chiều của lực điện từ tác dụng lên thanh dẫn rôto. Ta thấy momen tổng tác dụng lên rôto bằng không và do đó rôto không thể tự quay được. Để động cơ có thể làm việc được, trước hết ta phải quay rôto theo một chiều nào đó và sau đó động cơ sẽ tiếp tục quay theo chiều đó.

Để thấy rõ nguyên lý làm việc của động cơ, ta xem hình 7.24b, ta thấy từ trường đập mạch \vec{B} là tổng của hai từ trường quay \vec{B}_1 và \vec{B}_2 cùng tốc độ quay n_1 nhưng biên độ bằng một nửa từ trường đập mạch và quay ngược chiều nhau:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 \quad (7.51)$$

với $B_{1m} = B_{2m} = B_m/2$ (7.52)

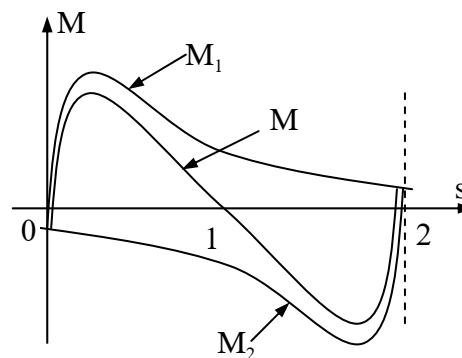
và $n_1 = \frac{60f}{p}$ (7.53)

- Từ trường quay \vec{B}_1 quay cùng chiều với rôto lúc động cơ làm việc, gọi là từ trường quay thuận.
- Từ trường quay \vec{B}_2 quay ngược chiều với rôto lúc động cơ làm việc, gọi là từ trường quay ngược.

Từ trường quay thuận \vec{B}_1 tác dụng với dòng điện rôto sẽ tạo ra momen quay thuận M_1 (hình 7.25); Còn từ trường quay ngược \vec{B}_2 tác dụng với dòng điện rôto sẽ tạo ra momen quay ngược M_2 (hình 7.25). Tổng đại số hai momen này cho ta đặc tuyến $M = f(s)$:

$$M = M_1 + M_2 = f(s)$$

Từ đặc tính hình 7.25, ta thấy



Hình 7.25 Mômen của động cơ không đồng bộ một pha

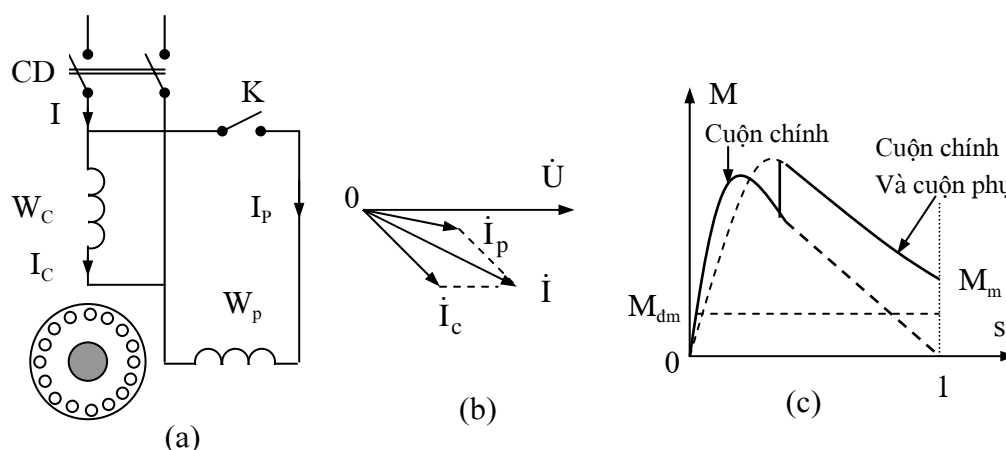
rằng lúc khởi động ($n = 0, s = 1$), $M_1 = M_2$ và ngược chiều nhau nên mômen tổng $M = 0$, vì vậy động cơ không thể tự quay được. Nếu ta quay động cơ theo một chiều nào đó, $s \neq 1$ tức $M \neq 0$ động cơ sẽ tiếp tục quay theo chiều đó.

Vì vậy để động cơ một pha làm việc được, ta phải có biện pháp khởi động, nghĩa là tìm cách tạo ra cho động cơ một momen lúc rôto đứng yên ($M = M_k$ khi $s = 1$).

7.13.2. Động cơ dùng dây quấn phụ khởi động (hình 7.26)

Loại động cơ này được dùng khá phổ biến như máy điều hòa, máy giặt, dụng cụ cầm tay, quạt, bơm ly tâm ...

Các phần chính của loại động cơ này cho trên hình 7.26a, gồm dây quấn chính W_c (dây quấn làm việc), dây quấn phụ (dây quấn khởi động W_m). Hai cuộn dây này đặt lệch nhau một góc 90° điện trong không gian. Và rôto lồng sóc.



Hình 7.26 Động cơ dùng dây quấn phụ. a) Sơ đồ kết cấu. b) Đồ thị vectơ lúc khởi động. c) Đặc tính $M = f(s)$

Để có được mômen khởi động, người ta tạo ra góc lệch pha giữa dòng điện qua cuộn chính I_c và dòng qua cuộn dây phụ I_p bằng cách mắc thêm một điện trở nối tiếp với cuộn phụ hoặc dùng dây quấn cỡ nhỏ hơn cho cuộn phụ, góc lệch này thường nhỏ hơn 30° . Dòng trong dây quấn chính và trong dây quấn phụ sinh ra từ trường quay để tạo ra mômen khởi động. Đồ thị vectơ lúc khởi động được trình bày trên hình 7.26b.

Khi tốc độ đạt được $70 \div 75$ % tốc độ đồng bộ, cuộn dây phụ được cắt ra nhờ công tắc ly tâm K và động cơ tiếp tục làm việc với cuộn dây chính. Đặc tính momen được trình bày trên hình 7.26c.

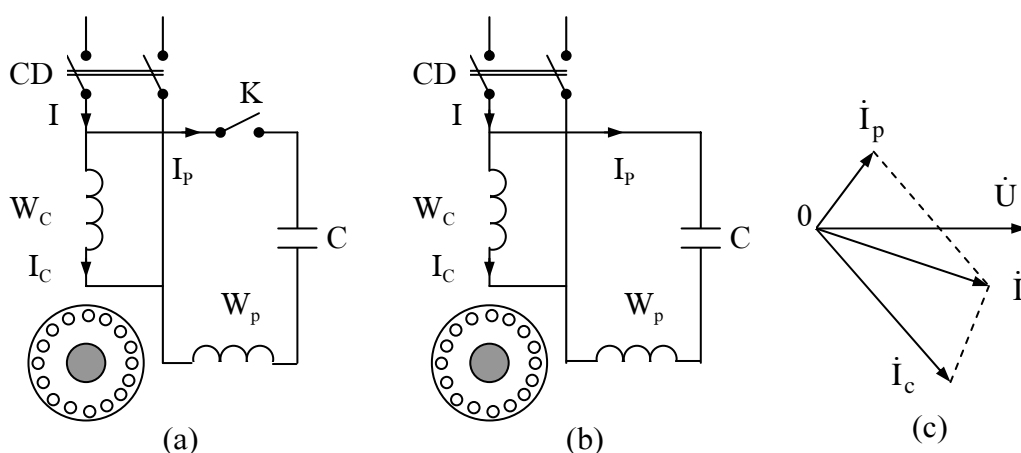
7.13.3. Động cơ dùng tụ điện (hình 7.27)

Các động cơ không đồng bộ một pha có cuộn dây phụ được mắc nối tiếp với một tụ điện được gọi là động cơ tụ điện. Loại động cơ này có cuộn dây phụ bố trí lệch so với cuộn dây chính một góc 90° điện trong không gian, để tạo góc lệch về thời gian ta mắc nối tiếp với cuộn dây phụ một tụ điện. Nếu tụ điện mắc nối tiếp với cuộn phụ chọn giá trị thích hợp thì góc lệch pha giữa I_C và I_p là gần 90° (hình 7.27b). Tùy theo yêu cầu về momen khởi động và momen lúc làm việc, ta có các loại động cơ tụ điện như sau:

1. Động cơ dùng tụ điện khởi động (hình 7.27a). Khi khởi động tốc độ động cơ đạt đến $75 \div 85\%$ tốc độ động bộ, công tắc K mở ra và động cơ sẽ đạt đến tốc độ ổn định.

2. Động cơ dùng tụ điện thường trực (hình 7.27b). Cuộn dây phụ và tụ điện khởi động được mắc luôn khi động cơ làm việc bình thường. Loại này có công suất thường nhỏ hơn 500W và có đặc tính cơ tốt.

Ngoài ra, để cải thiện đặc tính làm việc và momen khởi động ta dùng động cơ hai tụ điện. Một tụ điện khởi động khá lớn (khoảng $10 \div 15$ lần tụ điện thường trực) được ghép song song với tụ điện thường trực. Khi khởi động tốc độ động cơ đạt đến $75 \div 85\%$ tốc độ động bộ, tụ điện khởi động được cắt ra khỏi cuộn phụ, chỉ còn tụ điện thường trực nối với cuộn dây phụ khi làm việc bình thường.



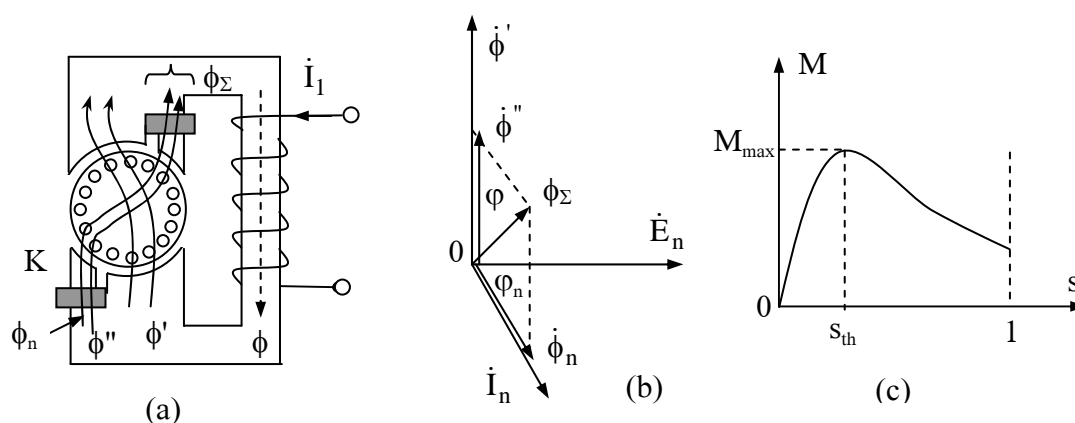
Hình 7.27 Động cơ một pha dùng tụ điện.
a) Tụ điện khởi động. b) Tụ điện thường trực. c) Đồ thị vectơ.

7.13.4. Động cơ có vòng ngắn mạch ở cực từ (hình 7.28).

Hình 7.28a cho thấy cấu tạo loại động cơ này. Trên stato ta đặt dây quấn một pha và cực từ được chia làm hai phần, phần có vòng ngắn mạch K ôm $1/3$ cực từ và

rôto lồng sóc. Dòng điện chạy trong dây quấn stato \dot{I}_1 tạo nên từ thông ϕ' qua phần cực từ không vòng ngắn mạch và từ thông ϕ'' qua phần cực từ có vòng ngắn mạch. Từ thông ϕ'' cảm ứng trong vòng ngắn mạch sđđ \dot{E}_n , chậm pha so với ϕ'' một góc 90° (hình 7.28b). Vòng ngắn mạch có điện trở và điện kháng nên tạo ra dòng điện \dot{I}_n chậm pha so với \dot{E}_n một góc $\varphi_n < 90^\circ$. Dòng điện \dot{I}_n tạo ra từ thông ϕ_n và ta có từ thông tổng qua phần cực từ có vòng ngắn mạch :

$$\dot{\phi}_\Sigma = \dot{\phi}'' + \dot{\phi}_n$$



Hình 7.28 Động cơ KĐ một pha có vòng ngắn mạch ở cực từ
a) Cấu tạo. b) Đồ thị vectơ. c) Đặc tính mômen

Từ thông này lệch pha so với từ thông qua phần cực từ không có vòng ngắn mạch một góc là φ . Do từ thông ϕ' và ϕ_Σ lệch nhau trong không gian nên chúng tạo ra từ trường quay và làm quay rôto. Loại động cơ này có mômen khởi động khá nhỏ $M_K = (0,2-0,5)M_{dm}$, hiệu suất thấp (từ 25 - 40%), thường chế tạo với công suất 20 - 30W, đôi khi cũng có chế tạo công suất đến 300W và hay sử dụng làm quạt bàn, quạt trần, máy quay đĩa ...



BÀI TẬP

Bài 7.1. Động cơ không đồng bộ ba pha 12 cực từ, tần số 50Hz. Động cơ sẽ ququây với tốc độ bao nhiêu nếu hệ số trượt bằng 0,06 ?

Bài 7.2 Động cơ không đồng bộ ba pha 3 đôi cực từ, tần số 50Hz, quay với tốc độ 960vg/ph. Hãy xác định :

1. Vận tốc đồng bộ ?
2. Tần số dòng điện rotor ?
3. Vận tốc tương đối của rotor so với từ trường quay ?.

Bài 7.3. Động cơ không đồng bộ ba pha, tần số 50Hz, quay với tốc độ gần bằng 1000vg/ph lúc không tải và 970vg/ph lúc đầy tải.

1. Động cơ có bao nhiêu cực từ ?
2. Tính hệ số trượt lúc đầy tải ?
3. Tìm tần số điện áp trong dây quấn rotor lúc đầy tải ?
4. Tính tốc độ của :
 - a. Từ trường quay của rotor so với rotor ?
 - b. Từ trường quay của rotor so với stator ?.
 - c. Từ trường quay của rotor so với từ trường quay stator ?.

Bài 7.4. Động cơ không đồng bộ ba pha rotor dây quấn, tần số 50Hz, 6 cực từ 220V có stator đấu Δ và rotor đấu Y. Số vòng dây rotor bằng 80% số vòng dây stator. Khi hệ số trượt bằng 0,04. Hãy tính điện áp giữa hai vành trượt của rotor ?

Bài 7.5 Một động cơ không đồng bộ ba pha rotor dây quấn, tần số 50Hz, 6 cực từ 220V có stator đấu Δ và rotor đấu Y. Số vòng dây rotor bằng một nửa số vòng dây stator. Khi hệ số trượt bằng 0,04. Hãy tính điện áp và tần số giữa các vành trượt nếu :

- a. Rotor đứng yên ?
- b. Hệ số trượt rotor bằng 0,04 ?
- c. Rotor được quay với máy khác theo chiều ngược chiều từ trường quay ?.

Bài 7.6. Tốc độ đầy tải của động cơ không đồng bộ tần số 50Hz tần số 50Hz là 460vg/ph. Tìm số cực từ và hệ số trượt lúc đầy tải ?

Bài 7.7 Một động cơ không đồng bộ ba pha 15hp, tần số 50Hz, 6 cực từ, 220V có stator đấu Y. Có các thông số mạch qui đổi về stator như sau :

$$R_1 = 0,126 \Omega ; \quad R'_2 = 0,094 \Omega ; \quad R_m = 57 \Omega ; \quad X_n = 0,46 \Omega ; \quad X_m = 9,8 \Omega ;$$

Tổn hao cơ và tổn hao phụ là 280W có thể xem như không đổi.

Khi hệ số trượt bằng 0,03, hãy dùng mạch điện thay thế gần đúng hình 3.8a để tính :

- a. Dòng điện dây và hệ số công suất của động cơ ?
- b. Công suất ra và moment của động cơ ?
- c. Hiệu suất của động cơ ?

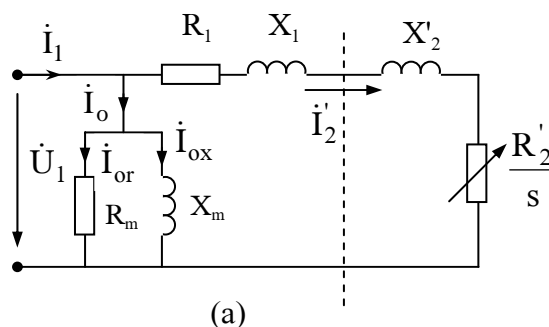
Bài 7.8. Một động cơ không đồng bộ ba pha 125hp, tần số 50Hz, 8 cực từ, 440V có stator đấu Y. Các thông số mạch của động cơ qui đổi về stator như sau :

$R_1 = 0,068 \Omega$; $R'_2 = 0,052 \Omega$; $R_m = 54 \Omega$; $X_1 = X'_2 = 0,224 \Omega$; $X_m = 3,68 \Omega$;

Tổn hao cơ và tổn hao phụ là 1200W có thể xem như không đổi.

Khi hệ số trượt $s = 0,03$, hãy dùng mạch điện thay thế gần đúng hình BT 7.8 để tính:

- Dòng điện dây và hệ số công suất của động cơ ?
- Công suất ra và moment trên đầu trục của động cơ ?
- Hiệu suất của động cơ ?



Hình BT 7.8 Sơ đồ thay thế gần đúng máy điện không đồng bộ

Bài 7.9. Một động cơ không đồng bộ ba pha 125hp, tần số 50Hz, 8 cực từ, 440V có stator đấu Y. Các thông số mạch của động cơ quy đổi về stator như sau :

$R_1 = 0,068 \Omega$; $R'_2 = 0,052 \Omega$; $R_m = 54 \Omega$; $X_1 = X'_2 = 0,224 \Omega$; $X_m = 7,68 \Omega$;

Tổn hao cơ và tổn hao phụ là 1200W có thể xem như không đổi.

Khi hệ số trượt bằng 0,03, hãy dùng mạch điện thay thế gần đúng hình 3.8a để tính :

- Hệ số trượt tới hạn và moment cực đại của động cơ ?
- Dòng điện khởi động và moment khởi động của động cơ ?
- Dòng điện ứng với moment cực đại ?

Bài 7.10. Nhân của một động cơ không đồng bộ ba pha rotor lồng sóc có ghi các số liệu như sau : 25 hp, tần số 50Hz, 8 cực từ, dòng 64A, 440V có stator đấu Y. Giả sử động cơ tiêu thụ công suất từ lưới điện 20,8kW khi làm việc ở chế độ định mức. Hãy tính :

- Hệ số trượt định mức của động cơ ?
- Hệ số công suất định mức của động cơ ?
- Moment định mức ?

Bài 7.11. Một động cơ không đồng bộ ba pha rotor lồng sóc có ghi các số liệu như sau : 25 hp, tần số 50Hz, 8 cực từ, điện áp 440V, stator đấu Y. Động cơ có moment khởi động bằng 112N.m và moment định mức bằng 83N.m. Dòng điện khởi động trực tiếp là 128A khi nối vào lưới điện có điện áp định mức. Hãy tính :

- Moment khởi động khi điện áp giảm còn 300V ?
- Điện áp cần cung cấp cho động cơ để moment khởi động bằng moment định mức của động cơ ?
- Dòng điện khởi động khi điện áp giảm còn 300V ?
- Điện áp cần cung cấp cho động cơ để dòng khởi động không quá 32A ?

Bài 7.12. Một động cơ không đồng bộ ba pha tần số 50Hz, 4 cực từ, 220V có các thông số mạch của động cơ qui đổi về stator như sau :

$$R_1 = 0,3 \Omega ; R'_2 = 0,2 \Omega ; X_1 = X'_2 = 1 \Omega ; G_m = 20 \text{ mS} ; B_m = 60 \text{ mS} ;$$

- Tính tốc độ và dòng điện trong dây quấn stator khi khi $s = 0,02$?
- Tính hệ số công suất và công suất ra của động cơ khi $s = 0,05$?

Bài 7.13. Một động cơ không đồng bộ ba pha rotor dây quấn có 500hp, tần số 25Hz, 12 cực từ, điện áp 2200V có stator đấu Y. Các thông số mạch của động cơ qui đổi về stator như sau :

$$R_1 = 0,225 \Omega ; R'_2 = 0,235 \Omega ; R_m = 780 \Omega ; X_n = 1,43 \Omega ; X_m = 31,75 \Omega ;$$

a. Tính dòng điện không tải và công suất vào động cơ khi điện áp bằng định mức. Giải sử tổn hao ma sát bằng tổn hao thép của động cơ ?

b. Giữ không cho rotor quay. Hãy tính điện áp cung cấp cho động cơ stator sao cho dòng dây bằng 228A. Tính công suất tiêu thụ bởi động cơ ?

c. Tìm mômen cực đại và hệ số trượt, dòng điện dây và hệ số công suất tương ứng ?

d. Tìm trị số điện trở phụ phải đưa vào mạch rotor để moment khởi động bằng moment cực đại và tính moment này ?

