Đại Học Đà Nẵng - Trường Đại học Bách Khoa
Khoa Điện - Nhóm Chuyên môn Điện Công Nghiệp

Giáo trình **MÁY ĐIỆN 1**

Biên soạn: Bùi Tấn Lợi

Chương 16

ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ MỘT PHA

16.1 PHẠM VI ÁP DỤNG, CẤU TẠO & NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC

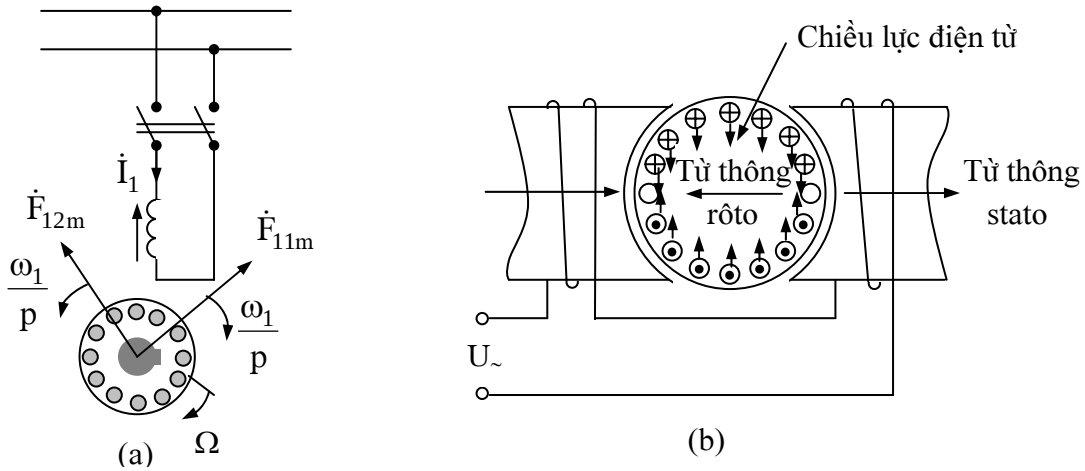
16.1.1. Phạm ví ap dụng

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 lau nhà, máy bơm nước, 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 nầy, mặt dù chúng còn được chế tạo với công suất đến 7,5kW và ở hai cấp điện áp 110V và 220V.

16.1.2. Cấu tạo

+ Stato : giống động cơ ba pha, nhưng đặt trên đó dây quấn một pha.
+ Rôto : rôto lồng sóc giống động cơ ba pha

16.1.3. Nguyên lý làm việc



Hình 16.1 Động cơ không đồng bộ một pha một dây quấn
a) Từ trường đập mạch phân thành hai từ trường quay thuận và quay ngược
b) Từ thông và lực điện từ tác dụng lên rôto.

Khi nối dây quấn một pha stato vào lưới điện có điện áp u_1 thì trong dây quấn có dòng điện xoay chiều hình sin chạy qua :

$$i_1 = \sqrt{2}\, I_1 \sin \omega t$$

Dòng điện này sinh ra từ trường stato có phương không đổi nhưng có độ lớn thay đổi hình sin theo thời gian, gọi là từ trương đập mạch:

$$F = F_m \sin \omega t \cos \alpha \qquad (16.1)$$

Ta phân stđ đập mạch này thành hai stđ quay :

- Stđ quay thuận : $\dot{F}_{11m} e^{j\omega_1 t}$
- Stđ quay ngược : $\dot{F}_{12m} e^{-j\omega_1 t}$

Hai stđ quay này có :

- Biên độ từ trường đập quay: $\dfrac{F_{1m}}{2} = F_{11m} = F_{12m} = \dfrac{\sqrt{2}}{\pi} \dfrac{W_1 k_{dq1}}{p} I$
- Tốc độ quay :

+ Sóng quay thuận : $\Omega_1 = \dfrac{\omega_1}{p}$ cùng chiều quay rôto.

+ Sóng quay ngược : $\Omega_2 = -\Omega_1$ ngược chiều quay rôto.

So với rôto có hệ số trượt :

+ Thuận : $s_1 = \dfrac{\Omega_1 - \Omega}{\Omega_1} = s$

+ Ngược : $s_2 = \dfrac{(-\Omega_1) - \Omega}{(-\Omega_1)} = (2 - s)$

Phương trình cân bằng stđ tổng :

+ Thuận : $\dot{F}_{01m} = \dot{F}_{11m} + \dot{F}_{21m}$ sinh ra từ cảm $B_{1m} e^{j(\omega_1 t + \alpha_1)}$

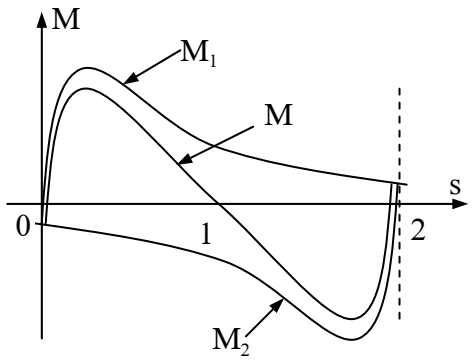
+ Ngược : $\dot{F}_{02m} = \dot{F}_{12m} + \dot{F}_{22m}$ sinh ra từ cảm $B_{2m} e^{-j(\omega_1 t + \alpha_2)}$

Từ cảm tổng :

$$\widetilde{B} = B_{1m} e^{j(\omega_1 t + \alpha_1)} + B_{2m} e^{-j(\omega_1 t + \alpha_2)}$$

hình thành từ trường quay Ellip

Từ trường quay thuận $\vec{B}_1$ tác dụng với dòng điện rôto sẽ tạo ra mômen quay thuận M_1 (hình 16.2); Còn từ trường quay ngược $\vec{B}_2$ tác dụng với dòng điện rôto sẽ tạo ra mômen quay ngược M_2 (hình16.2). Tổng đại số hai mômen



Hình 16.2 Mômen của động cơ không đồng bộ một pha

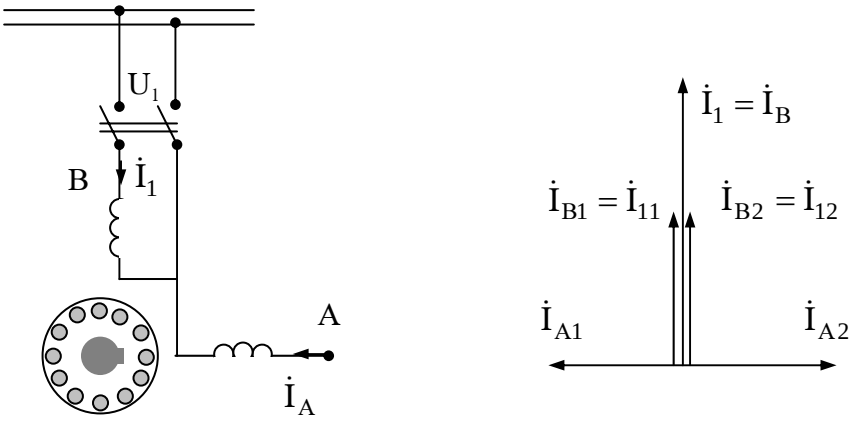
nầy cho ta đặc tuyến M=f(s) :

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

Từ đặc tính ta thấy rằng lúc mở máy (n = 0, s = 1), $M_1 = M_2$ và ngược chiều nhau nên M = 0, vì vậy động cơ không thể tự quay được. Nếu ta quay động cơ theo một chiều nào đó, s ≠ 1 tức M ≠ 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 mở máy, nghĩa là tìm cách tạo ra cho động cơ một mômen lúc rôto đứng yên ($M = M_k$ khi s =1).

16.2 PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN & SƠ ĐỒ THAY THẾ

16.2.1. Các phương trình cơ bản



Hình 16.2 Sơ đồ động cơ một pha tạo nên bằng cách tách ra một trong hai pha

Xét động cơ không đồng bộ một pha như chế độ không đối xứng của động cơ hai pha m =2, có hai cuộn dây đặt lệch nhau một góc 90^0 điện, trong đó pha A tách ra nên dòng I_A= 0 và pha B còn lại có $\dot{I}_1 = \dot{I}_B$, máy nối vào lưới điện có điện áp $\dot{U}_1$. Ta có :

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2} \qquad (16.2a)$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{B1} + \dot{I}_{B2} \qquad (16.2b)$$

Với $\dot{I}_{A1};\dot{I}_{B1}$ và $\dot{I}_{A2};\dot{I}_{B2}$ là dòng thứ tự thuận và ngược, còn :

$$\dot{I}_{A1} = j\dot{I}_{B1} \text{ và } \dot{I}_{A1} = -j\dot{I}_{B1}$$

Giải hệ phương trình (16.2a,b) ta tìm được :

$$\dot{I}_{B1} = \dot{I}_{11}(\dot{I}_B - j\dot{I}_A)/2 = \dot{I}_B/2 \quad \text{vì } \dot{I}_A = 0$$

$$\dot{I}_{B2} = \dot{I}_{21}(\dot{I}_B + j\dot{I}_A)/2 = \dot{I}_B/2 \quad \text{vì } \dot{I}_A = 0$$

Điện áp của một pha :

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_B = \dot{U}_{B1} + \dot{U}_{B2} = \dot{U}_{11} + \dot{U}_{12}$$

Biểu diễn điện áp thứ tự thuận và ngược theo dòng I và Z tương ứng :

$$\dot{U}_{B1} = \dot{U}_{11} = \dot{I}_{11}Z_{11} = \dot{I}_1 Z_{11}/2 \qquad (16.3a)$$

$$\dot{U}_{B2} = \dot{U}_{12} = \dot{I}_{12}Z_{12} = \dot{I}_1 Z_{12}/2 \qquad (16.3b)$$

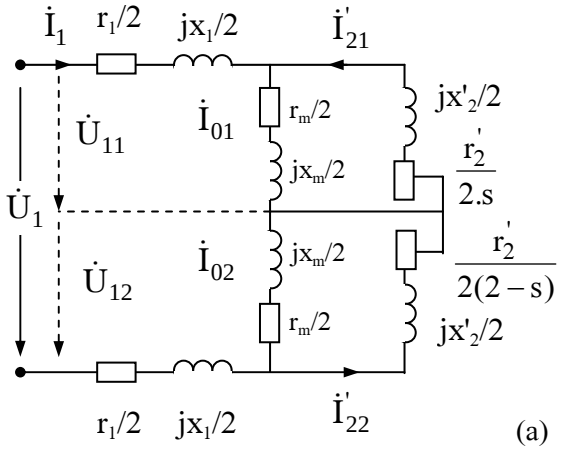
Trong đó : $\dot{I}_{11}; \dot{I}_{12}$ là dòng điện thứ tự thuận và ngược. Còn $Z_{11}; Z_{12}$ là tổng trở thứ tự thuận và ngược.

$$\text{Và} \quad Z_{11} = Z_1 + (Z_m^{-1} + Z'^{-1}_{21})^{-1} \text{ với } Z'_{21} = \frac{r'_2}{s} + jx'_2 \qquad (16.4a)$$

$$Z_{12} = Z_1 + (Z_m^{-1} + Z'^{-1}_{22})^{-1} \text{ với } Z'_{22} = \frac{r'_2}{2-s} + jx'_2 \qquad (16.4b)$$

16.2.2. Mạch điện thay thế

Từ các phương trình cân bằng ta vẽ mạch điện thay thế động cơ không đồng bộ như hình 16.4a. Đây là mạch điện thay thế chính xác của động cơ một pha.

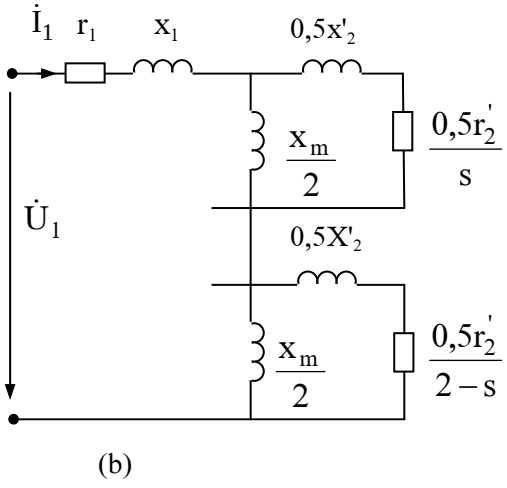


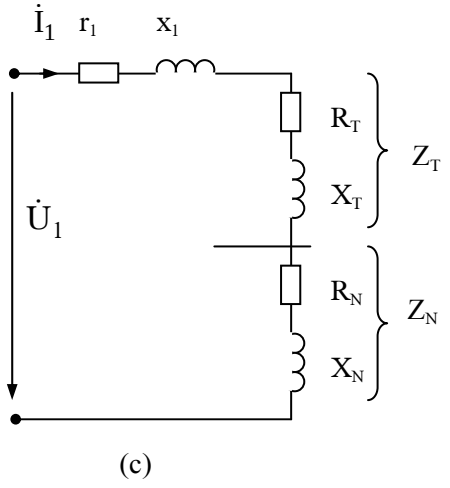
Chú ý : $r'_2 = kr_2$

$x'_2 = kx_2$

$k = k_e k_I$

$m_1 = 2$





Hình 16.4 Mạch điện thay thế gần đúng của động cơ không đồng bộ một pha

Trong đó :

r_1 = điện trở của dây quấn stator.

x_1 = điện kháng tản của dây quấn stator.

x_m = điện kháng từ hóa.

r'_2 = điện trở của dây quấn rotor qui về dây quấn stator.

x'_2 = điện kháng tản của dây quấn rotor qui về dây quấn stator.

U_1 = điện áp của nguồn.

Giả thiết rằng rotor quay với tốc độ nào đó trong từ trường quay thuận, ứng hệ số trượt s. Lúc này dòng điện cảm ứng trong dây quấn rotor có tần số sf, f tần số lưới điện nối vào dây quấn stator. Cho rằng tổn hao sắt không đáng kể hoặc gộp vào tổn hao quay. Như vậy giống máy điện không đồng bộ ba pha, tổng trở của dây quấn rotor ứng với từ trường quay thuận qui về dây quấn stator là $0,5r'_2/s + j0,5x'_2$.(hình 16.4b). Cũng tương tự như vậy đối với từ trường quay ngược, ta có tổng trở của dây quấn rotor ứng với từ trường quay ngược qui về dây quấn stator là $0,5r'_2/(2-s) + j0,5x'_2$.(hình 16.4b). Mạch điện tương đương trình bày trên hình 16.4c, có tổng trở thứ tự thuận Z_T và thứ tự ngược Z_T như sau :

$$Z_T = R_T + jX_T = \frac{j0,5X_m(j0,5X'_2 + 0,5R'_2/s)}{0,5R'_2/s + j0,5(X_m + X'_2)} \qquad (16.5)$$

$$Z_N = R_N + jX_N = \frac{j0,5X_m[j0,5X'_2 + 0,5R'_2/(2-s)]}{0,5R'_2/(2-s) + j0,5(X_m + X'_2)} \qquad (16.6)$$

Công suất điện từ (khe hở không khí) của từ trường thứ tự thuận và ngược :

$$P_{đtT} = R_T I_1^2 \qquad (16.7)$$

$$P_{đtN} = R_N I_1^2 \qquad (16.8)$$

Moment tương ứng :

$$M_T = \frac{P_{đtT}}{\Omega_1} \qquad (16.9)$$

$$M_N = \frac{P_{đtN}}{\Omega_1} \qquad (16.10)$$

Moment tổng là :

$$M = M_T - M_N = \frac{I_1^2}{\Omega_1}(R_T - R_N) \qquad (16.11)$$

Công suất cơ :

$$P_{Cơ} = M\Omega \qquad (16.12)$$

$$P_{Cơ} = M\Omega_1(1-s) \qquad (16.13)$$

$$P_{Cơ} = I_1^2 (R_T - R_N)(1-s) \quad (16.14)$$

$$P_{Cơ} = (P_{đtT} - P_{đtN})(1-s) \quad (16.15)$$

Công suất trên đầu trục :

$$P_2 = P_{Cơ} - p_q \quad (16.16)$$

p_q là tổn hao quay, gồm tổn hao cơ và tổn hao phụ, cũng có khi gộp cả tổn hao sắt vào tổn hao quay.

Tổn hao đồng trong dây quấn rotor ứng với từ trường quay thuận và ngược :

$$p_{Cu2T} = sP_{đtT} \quad (16.17)$$

$$p_{Cu2N} = (2-s)P_{đtN} \quad (16.18)$$

Tổn hao đồng trong dây quấn rotor :

$$p_{Cu2} = sP_{đtT} + (2-s)P_{đtN} \quad (16.19)$$

VÍ DỤ 16.1

Một động cơ không đồng bộ một pha công suất 1/4 mã lực, 230V, 60Hz và 4 cực từ có tham số và tổn thất như sau :

$R_1 = 10\Omega$; $X_1 = X'_2 = 12,5\Omega$; $R'_2 = 11,5\Omega$; $X_m = 250\Omega$;

Tổn hao sắt ở 230V là 35W; Tổn hao ma sát và quạt gió là 10W;

Với hệ số trượt là 0,05, xác định dòng điện stato, công suất cơ, công suất ra trên trục, tốc độ và hiệu suất khi động cơ làm việc như động cơ một pha ở điện áp và tần số định mức với dây quấn khởi động cắt ra.

Giải

Từ các thông số đã cho, ta tính được tổng trở thứ tự thuận Z_T và thứ tự ngược Z_T của động cơ một pha như sau :

$$Z_T = R_T + jX_T = \frac{j0,5X_m(j0,5X'_2 + 0,5R'_2/s)}{0,5R'_2/s + j0,5(X_m + X'_2)}$$

$$Z_T = R_T + jX_T = \frac{j0,5\times 250(j0,5\times 12,5 + 0,5\times 11,5/0,05)}{0,5\times 11,5/0,05 + j0,5(250+12,5)} = 59 + 57,65j$$

$$Z_N = R_N + jX_N = \frac{j0,5X_m[j0,5X'_2 + 0,5R'_2/(2-s)]}{0,5R'_2/(2-s) + j0,5(X_m + X'_2)}$$

$$Z_N = R_N + jX_N = \frac{j0,5\times 250[j0,5\times 12,5 + 0,5\times 11,5/(2-0,05)]}{0,5\times 11,5/(2-0,05) + j0,5(250+12,5)} = 2,67 + 6,01j$$

Tổng trở vào tương đương :

$$Z_{tđ} = Z_1 + Z_T + Z_N = 10 + 12,5j + 59 + 57,65j + 2,67 + 6,01j$$

$= 71,67 + 76,16j = 104,6 \angle 46,74^o\ \Omega.$

Dòng điện vào stato :

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}}{Z_{td}} = \frac{230\angle 0^o}{104,6\angle 46,74^o} = 2,2\angle -46,74^o \quad A$$

Hệ số công suất : $\cos\varphi = \cos 46,74^o = 0,685$

Tốc độ động cơ : $n = (1-s)n_1 = (1-0,05)\dfrac{60\times 60}{2} = 1.710$ vg/ph.

Công suất cơ : $P_{Cơ} = I_1^2(R_T - R_N)(1-s) = 2,2^2.(59\text{-}2,67).(1\text{-}0,05) = 259$ W

Công suất trên đầu trục : $P_2 = P_{Cơ} - p_{Fe} - p_q = 259 - 35 - 10 = 214$ W.

Công suất động cơ tiêu thụ từ lưới điện :

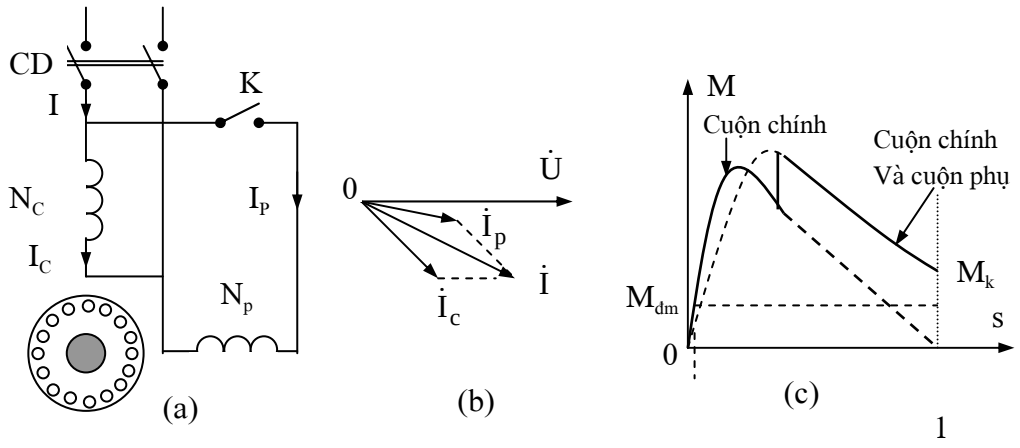
$$P = U.I\cos\varphi = 230.2,2\cos 46,74^o = 346,77 \text{ W}$$

Hiệu suất của động cơ : $\eta = \dfrac{P_2}{P_1} = \dfrac{214}{347.22} = 0,617 = 61,7\%$

16.3. MỞ MÁY ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ MỘT PHA

16.3.1. Động cơ không đồng bộ dùng cuộn dây phụ

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



Hình 16.5 Động cơ dùng dây quấn phụ . a) Sơ đồ kết cấu.
b) Đồ thị vectơ lúc mở máy. c) Đặc tính M = f(s)

Các phần chính của loại động cơ nầy cho trên hình 16.5a, gồm dây quấn chính N_c (dây quấn làm việc), dây quấn phụ (dây quấn mở máy N_k). Hai cuộn dây nầy đặt lệch nhau một góc 90^o điện trong không gian. Và rôto lồng sóc.

Để có được mômen mở máy, 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 nầy thường nhỏ hơn 30^0. Dòng trong dây quấn chính và trong dây quấn phụ sinh ra từ trường quay để tạo ra momen mở máy. Đồ thị vectơ lúc mở máy được trình bày trên hình 16.5b.

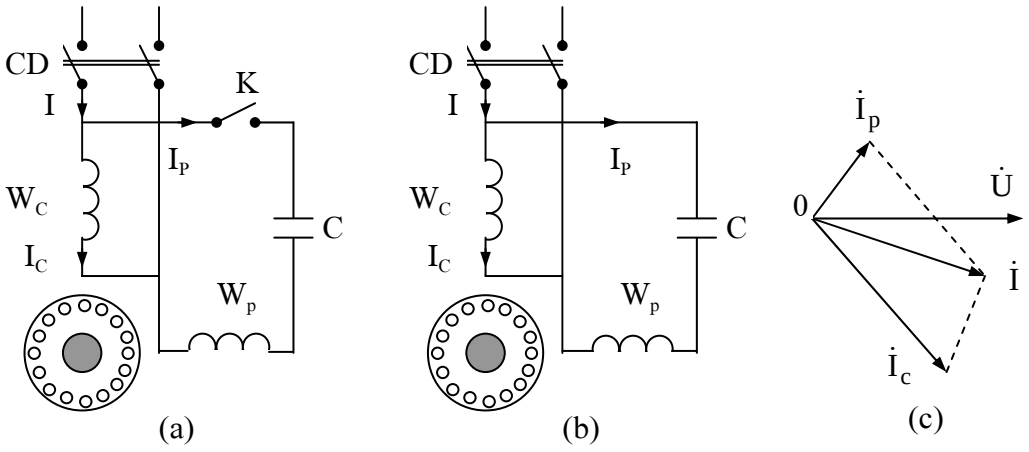
Khi tốc độ đạt được 70÷75 % tốc độ đồng bộ, cuộng dây phụ được cắt ra nhờ công tắt ly tâm K và động cơ tiếp tục làm việc với cuộn dây chính. Đặc tính momen được trình bày trên hình 16.4c.

16.3.2. Động cơ dùng tụ điện (hình 16.6)

Các động cơ không đồng bộ một pha có cuộn dây phụ được mắt nối tiệp với một tụ điện được gọi là động cơ tụ điện. Loại động cơ nầy có cuộn dây phụ bố trí lệch so với cuộn dây chính một góc 90^0 điện trong không gian, để tạo góc lệch về thời gian ta mắt nối tiếp với cuộn dây phụ một tụ điện. Nếu tụ điện mắt nối tiếp với cuộn phụ chọn giá trị thích hợp thì góc lệch pha giữa I_C và I_p là gần 90^0 (hình 16.6b). Tùy theo yêu cầu về momen mở máy và momen lúc làm việc, ta có các loại động cơ tụ điện như sau:

1. ***Động cơ dùng tụ điện mở máy (hình 16.6a).*** Khi mở máy tốc độ động cơ đạt đến 75÷85% tốc độ động bộ, công tắt K mở ra và động cơ sẽ đạt đến tốc độ ổn định.

2. ***Động cơ dùng tụ điện thường trực (hình 16.6b).*** Cuộn dây phụ và tụ điện mở máy được mắt luôn khi động cơ làm việc bình thường. Loại nầy có công suất thường nhỏ hơn 500W và có đặc tính cơ tốt.



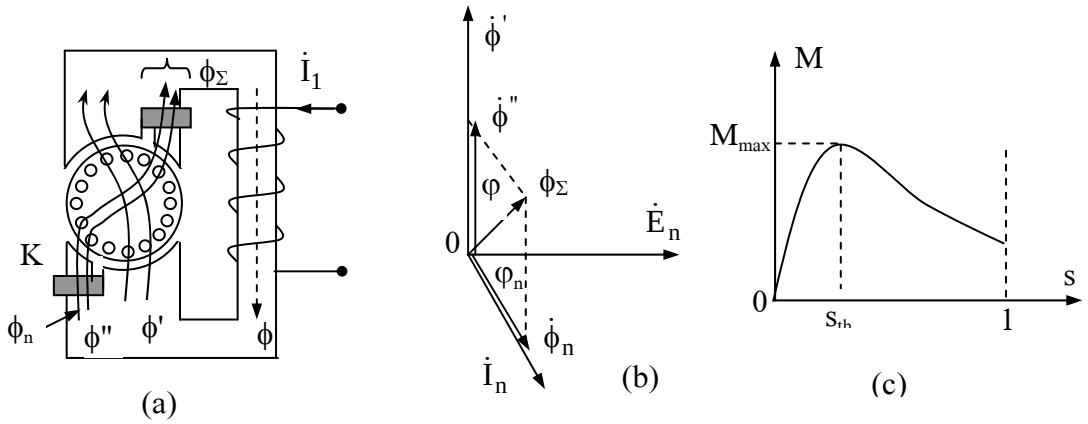
Hình 16.6 Động cơ một pha dùng tụ điện.
a) Tụ điện mở máy. b) Tụ điện thường trực. c) Đồ thị vectơ.

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

16.3.3. Động cơ dùng vòng ngắn mạch (hình 16.7)

Hình 16.7a cho thấy cấu tạo loại động cơ nầy. 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 $\dot{\phi}'$ qua phần cực từ không vòng ngắn mạch và từ thông $\dot{\phi}''$ qua phần cực từ có vòng ngắn mạch. Từ thông $\dot{\phi}''$ cảm ứng trong vòng ngắn mạch sđđ $\dot{E}_n$, chậm pha so với $\dot{\phi}''$ một góc 90^0 (hình 16.7b). 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 $\varphi_n < 90^0$. Dòng điện $\dot{I}_n$ tạo ra từ thông $\dot{\phi}_n$ và ta có từ thông tổng qua phần cực từ có vòng ngắn mạch :

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



Hình 16.7 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 nầy lệch pha so với từ thông qua phần cực từ không có vòng ngắn mạch một góc là φ . Do từ thông $\dot{\phi}'$ và ϕ_Σ lệch nhau trong không gian nên chúng tạo ra từ trường quay và làm quay rôto. Loại động cơ nầy có momen mở máy khá nhỏ M_k= (0,2-0,5)$M_{đm}$, 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 ...