

Chương 2

ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

2-1. KHÁI NIỆM CHUNG

Như trong chương 1 đã nêu, quan hệ giữa tốc độ và mômen của động cơ gọi là đặc tính cơ của động cơ: $\omega = f(M)$ hoặc $n = f(M)$.

Quan hệ giữa tốc độ và mômen của máy sản xuất gọi là đặc tính cơ của máy sản xuất: $\omega_c = f(M_c)$ hoặc $n_c = f(M_c)$.

Các đặc tính cơ trên có thể biểu diễn ở dạng hàm thuận hoặc hàm ngược, ví dụ $\omega = f(M)$ hay $M = f(\omega)$.

Ngoài đặc tính cơ, đối với động cơ một chiều người ta còn sử dụng đặc tính cơ điện. Đặc tính cơ điện biểu diễn quan hệ giữa tốc độ và dòng điện trong mạch động cơ: $\omega = f(I)$ hay $n = f(I)$.

Trong các biểu thức trên:

- ω - tốc độ góc, rad/s
- n - tốc độ quay, v/ph
- M - mômen, N.m

Trong nhiều trường hợp để đơn giản trong tính toán hoặc để dàng so sánh, đánh giá các chế độ làm việc của truyền động điện, người ta có thể dùng hệ đơn vị tương đối.

Muốn biểu diễn một đại lượng nào đó dưới dạng tương đối ta lấy trị số của nó chia cho trị số cơ bản của đại lượng đó. Các đại lượng cơ bản thường được chọn là: U_{dm} , I_{dm} , ω_{dm} , M_{dm} , Φ_{dm} , R_{cb} .

Với đại lượng tương đối ta dùng ký hiệu "**". Ví dụ điện áp tương đối là U^* , mômen tương đối là M^* ... Như vậy một số thông số có thể tính được trong hệ đơn vị tương đối như sau:

$$U^* = \frac{U}{U_{dm}} \quad \text{hoặc} \quad U^*\% = \frac{U}{U_{dm}} 100\%$$

Tương tự các thông số khác: $I^* = \frac{I}{I_{dm}}$, $M^* = \frac{M}{M_{dm}}$

$$\Phi^* = \frac{\Phi}{\Phi_{dm}}; \quad R^* = \frac{R}{R_{cb}}; \quad \omega^* = \frac{\omega}{\omega_{dm}} \quad \text{hoặc} \quad \omega^* = \frac{\omega}{\omega_0}$$

Việc chọn các đại lượng cơ bản là tùy ý, sao cho các biểu thức tính toán được đơn giản, thuận tiện như:

- Tốc độ cơ bản ở động cơ một chiều kích từ độc lập và kích từ hỗn hợp là tốc độ không tải lý tưởng ω_0 , với động cơ không đồng bộ và động cơ đồng bộ là tốc độ đồng bộ ω_1 . Còn với động cơ kích từ nối tiếp tốc độ cơ bản là ω_{dm} .

- Trị số điện trở cơ bản là R_{cb} .

Với các động cơ một chiều:

$$R_{cb} = \frac{U_{dm}}{I_{dm}}$$

Với các động cơ không đồng bộ thông thường điện kháng định mức ở mỗi pha của rôto rất nhỏ so với tổng trở định mức nên ta có thể coi gần đúng là: $R_{2cb} = Z_{2cb}$.

Khi mạch rôto đấu sao ta có:

$$R_{2cb} = \frac{E_{2nm}}{\sqrt{3} I_{2dm}}$$

trong đó:

E_{2nm} - sức điện động ngắn mạch của rôto.

I_{2dm} - dòng điện định mức ở mỗi pha rôto.

Nếu mạch rôto đấu tam giác thì điện trở định mức mỗi pha của rôto là:

$$R_{2cb\Delta} = \frac{1}{2} R_{2cbY}$$

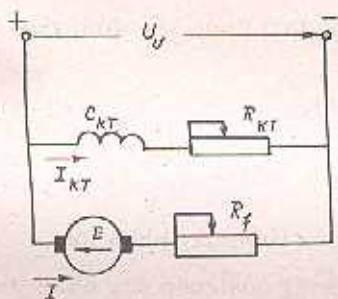
Trong phạm vi chương này, chúng ta sẽ nghiên cứu đặc tính cơ, các trạng thái làm việc và các phương pháp khởi động của ba loại

động cơ điện thường sử dụng;

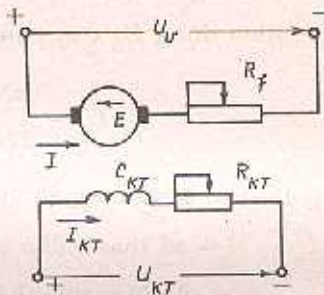
- Động cơ một chiều
- Động cơ xoay chiều không đồng bộ ba pha
- Động cơ xoay chiều đồng bộ ba pha.

2-2. ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU KÍCH TỪ ĐỘC LẬP

Khi nguồn điện một chiều có công suất vô cùng lớn và điện áp không đổi thì mạch kích từ thường mắc song song với mạch phần ứng, lúc này động cơ được gọi là động cơ kích từ song song.



Hình 2-1. Sơ đồ nối dây của động cơ kích từ song song.



Hình 2-2. Sơ đồ nối dây của động cơ kích từ độc lập.

Khi nguồn điện một chiều có công suất không đủ lớn thì mạch điện phần ứng và mạch kích từ mắc vào hai nguồn một chiều độc lập với nhau (H.2-2), lúc này động cơ được gọi là động cơ kích từ độc lập.

2-2.1. Phương trình đặc tính cơ

Theo sơ đồ H.2-1 và H.2-2, có thể viết phương trình cân bằng điện áp của mạch phần ứng như sau:

$$U_u = E_u + (R_u + R_f)I_u, \quad (2-1)$$

trong đó: U_u - điện áp phản ứng, V

E_u - sức điện động phản ứng, V

R_u - điện trở của mạch phản ứng, Ω

R_f - điện trở phụ trong mạch phản ứng, Ω

I_u - dòng điện mạch phản ứng.

Với $R_u = r_u + r_{ct} + r_l + r_{ct},$

r_u - điện trở cuộn dây phản ứng,

r_{ct} - điện trở cuộn cực từ phụ,

r_b - điện trở cuộn bù,

r_{ct} - điện trở tiếp xúc của chổi điện.

Sức điện động E_u của phần ứng động cơ được xác định theo biểu thức:

$$E_u = \frac{pN}{2\pi a} \Phi \omega = K \Phi \omega, \quad (2-2)$$

trong đó: p - số đôi cực từ chính,

N - số thanh dẫn tác dụng của cuộn dây phản ứng,

a - số đôi mạch nhánh song song của cuộn dây phản ứng,

Φ - từ thông kích từ dưới một cực từ, W_b ,

ω - tốc độ góc, rad/s,

$$K = \frac{pN}{2\pi a} \quad \text{- hệ số cấu tạo của động cơ.}$$

Nếu biểu diễn sức điện động theo tốc độ quay n (vòng/phút) thì

$$E_u = K_c \Phi n, \quad (2-3)$$

và

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{n}{9,55}$$

Vì vậy
$$E_u = \frac{pN}{60\alpha} \Phi n$$

$$K_c = \frac{pN}{60\alpha}$$
 : Hệ số sức điện động của động cơ,

$$K_c = \frac{K}{9,55} \approx 0,105K.$$

Từ (2-1) và (2-2) ta có:

$$\omega = \frac{U_u}{K\Phi} - \frac{R_u + R_l}{K\Phi} I_u. \quad (2-4)$$

Biểu thức (2-4) là phương trình đặc tính cơ điện của động cơ.

Mặt khác mômen điện từ M_{dt} của động cơ được xác định bởi:

$$M_{dt} = K\Phi I_u \quad (2-5)$$

suy ra
$$I_u = \frac{M_{dt}}{K\Phi}.$$

Thay giá trị I_u vào (2-4) ta được:

$$\omega = \frac{U_u}{K\Phi} - \frac{R_u + R_l}{(K\Phi)^2} M_{dt}. \quad (2-6)$$

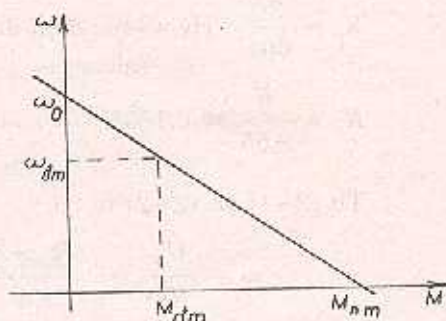
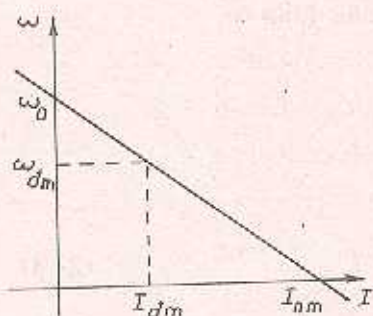
Nếu bỏ qua các tổn thất cơ và tổn thất thép thì mômen cơ trên trục động cơ bằng mômen điện từ, ta ký hiệu là M . Nghĩa là $M_{dt} = M_{cw} = M$.

$$\omega = \frac{U_u}{K\Phi} - \frac{R_u + R_l}{(K\Phi)^2} M \quad (2-7)$$

Đây là phương trình đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích từ độc lập.

Giả thiết phản ứng phần ứng được bù đủ, từ thông $\Phi = \text{const}$, thì các phương trình đặc tính cơ điện (2-4) và phương trình đặc tính cơ (2-7) là tuyến tính. Đồ thị của chúng được biểu diễn trên

H.2-3 và H.2-4 là những đường thẳng.



Hình 2-3. Đặc tính cơ điện của động cơ điện. Hình 2-4. Đặc tính cơ của động điện một chiều kích từ độc lập.

Theo các đồ thị trên, khi $I_u = 0$ hoặc $M = 0$ ta có:

$$\omega = \frac{U_u}{K\Phi} = \omega_0 \quad (2-8)$$

ω_0 được gọi là tốc độ không tải lý tưởng của động cơ. Còn khi $\omega = 0$ ta có:

$$I_u = \frac{U}{R_u + R_f} = I_{nm}, \quad (2-9)$$

và
$$M = K\Phi I_{nm} = M_{nm}, \quad (2-10)$$

I_{nm} , M_{nm} được gọi là dòng điện ngắn mạch và mômen ngắn mạch.

Mặt khác, phương trình đặc tính (2-4), (2-7) cũng có thể được viết ở dạng:

$$\omega = \frac{U_u}{K\Phi} - \frac{RI}{K\Phi} = \omega_0 - \Delta\omega, \quad (2-11)$$

$$\omega = \frac{U_u}{K\Phi} - \frac{RM}{(K\Phi)^2} = \omega_0 - \Delta\omega, \quad (2-12)$$

trong đó $R = R_u + R_l, \omega_0 = \frac{U_u}{K\Phi}$

$$\Delta\omega = \frac{R}{K\Phi} I_u = \frac{R}{(K\Phi)^2} M,$$

$\Delta\omega$ được gọi là độ sụt tốc độ ứng với giá trị của M .

Ta có thể biểu diễn đặc tính cơ điện và đặc tính cơ trong hệ đơn vị tương đối, với điều kiện từ thông là định mức ($\Phi = \Phi_{dm}$),

trong đó $\omega^* = \frac{\omega}{\omega_0}, I^* = \frac{I}{I_{dm}}, M^* = \frac{M}{M_{dm}}, R^* = \frac{R}{R_{cb}}$

$(R_{cb} = \frac{U_{dm}}{I_{dm}}$ được gọi là điện trở cơ bản).

Từ (2-4) và (2-7), ta viết đặc tính cơ điện và đặc tính cơ ở đơn vị tương đối:

$$\omega^* = 1 - R^* I^* \quad (2-13)$$

$$\omega^* = 1 - R^* M^* \quad (2-14)$$

2-2.2. Xét ảnh hưởng các tham số đến đặc tính cơ

Từ phương trình đặc tính cơ (2-7) ta thấy có ba tham số ảnh hưởng đến đặc tính cơ: từ thông động cơ Φ , điện áp phần ứng U_u và điện trở phần ứng động cơ. Ta lần lượt xét ảnh hưởng của từng tham số đó.

a) Ảnh hưởng của điện trở phần ứng

Giả thiết $U_u = U_{dm} = \text{const}$ và $\Phi = \Phi_{dm} = \text{const}$.

Muốn thay đổi điện trở mạch phần ứng ta nối thêm điện trở phụ R_l vào mạch phần ứng.

Trong trường hợp này tốc độ không tải lý tưởng:

$$\omega_0 = \frac{U_{dm}}{K\Phi_{dm}} = \text{const}$$

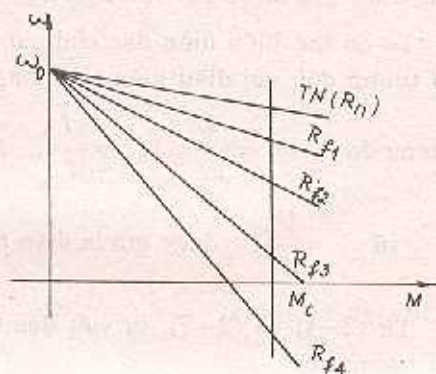
$$\text{Độ cứng của đặc tính cơ: } \beta = \frac{\Delta M}{\Delta \omega} = - \frac{(K\Phi_{dm})^2}{R_u + R_f} = \text{var.}$$

Khi R_f càng lớn, β càng nhỏ nghĩa là đặc tính cơ càng dốc. Ứng với $R_f = 0$ ta có đặc tính cơ tự nhiên:

$$\beta_{TN} = - \frac{(K\Phi_{dm})^2}{R_u} \quad (2-17)$$

β_{TN} có giá trị lớn nhất nên đặc tính cơ tự nhiên có độ cứng hơn tất cả các đường đặc tính cơ điện trở phụ.

Như vậy khi thay đổi điện trở phụ R_f ta được một họ đặc tính biến trở có dạng như H.2-5. Ứng với một phụ tải M_c nào đó, nếu R_f càng lớn thì tốc độ cơ càng giảm, đồng thời dòng điện ngắn mạch và mômen ngắn mạch cũng giảm. Cho nên người ta thường sử dụng phương pháp này để hạn chế dòng điện và điều chỉnh tốc độ động cơ phía dưới tốc độ cơ bản.



Hình 2-5. Các đặc tính của động cơ một chiều kích từ độc lập khi thay đổi điện trở phụ mạch phản ứng.

b) Ảnh hưởng của điện áp phản ứng

Giả thiết từ thông $\Phi = \Phi_{dm} = \text{const}$, điện trở phản ứng $R_u = \text{const}$. Khi thay đổi điện áp theo hướng giảm so với U_{dm} , ta có:

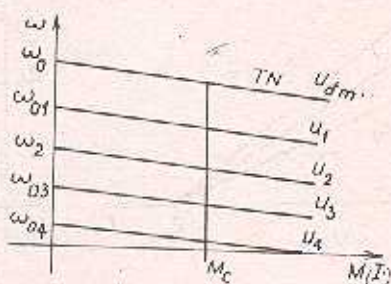
$$\text{Tốc độ không tải: } \omega_{ox} = \frac{U_x}{K\Phi_{dm}} = \text{var}$$

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 đặc tính cơ tự nhiên như H.2-6.

Ta thấy rằng khi thay đổi điện áp (giảm áp) thì mômen ngắn mạch, dòng điện ngắn mạch của động cơ giảm và tốc độ động cơ cũng giảm ứng với một phụ tải nhất định. Do đó phương pháp này cũng được sử dụng để điều chỉnh tốc độ động cơ và hạn chế dòng điện khi khởi động.



Hình 2-6. Các đặc tính của động cơ một chiều kích từ độc lập khi giảm áp đặt vào phần ứng động cơ.

c) Ảnh hưởng của từ thông

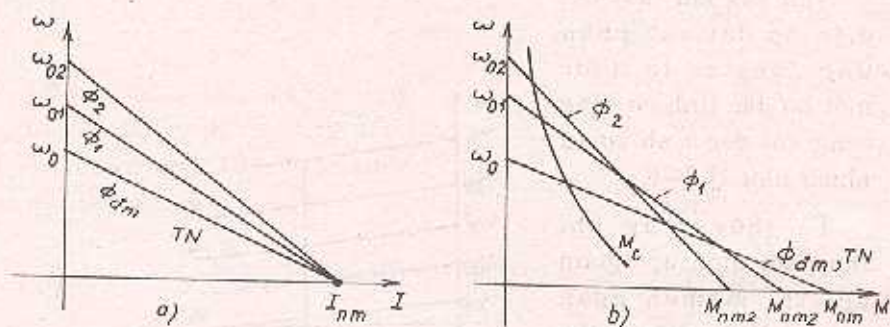
Giả thiết điện áp phần ứng $U_u = U_{dm} = \text{const}$. Điện trở phần ứng $R_u = \text{const}$. Muốn thay đổi từ thông ta thay đổi dòng điện kích từ I_{kt} động cơ.

Trong trường hợp này:

$$\text{Tốc độ không tải: } \omega_{0x} = \frac{U_{dm}}{K\Phi_x} = \text{var.}$$

$$\text{Độ cứng đặc tính cơ: } \beta = -\frac{(K\Phi_x)^2}{R_u} = \text{var.}$$

Do cấu tạo của động cơ điện, thực tế thường điều chỉnh giảm từ thông. Nên khi từ thông giảm thì ω_{0x} tăng, còn β sẽ giảm. Ta có một họ đặc tính cơ với ω_{0x} tăng dần và độ cứng của đặc tính giảm dần khi giảm từ thông.



Hình 2-7. Đặc tính cơ điện (a) và đặc tính cơ (b) của động cơ điện một chiều kích từ độc lập khi giảm từ thông.

Ta nhận thấy rằng khi thay đổi từ thông:

Dòng điện ngắn mạch
$$I_{nm} = \frac{U_{dm}}{R_u} = \text{const}$$

Mômen ngắn mạch:
$$M_{nm} = K\Phi_x I_{nm} = \text{var.}$$

Các đặc tính cơ điện và đặc tính cơ của động cơ khi giảm từ thông được biểu diễn trên H.2-7a, b.

Với dạng mômen phụ tải M_c thích hợp với chế độ làm việc của động cơ thì khi giảm từ thông tốc độ động cơ tăng lên (xem H.2-7b).

2-2.3. Cách vẽ các đặc tính cơ

Trong phần này ta nêu phương pháp tính toán và dựng các đường đặc tính của động cơ khi biết các thông số của động cơ.

a) Cách vẽ đặc tính tự nhiên

Vì đặc tính của động cơ là đường thẳng nên khi vẽ ta chỉ cần xác định hai điểm của đường thẳng. Ta thường chọn điểm không tải lý tưởng và điểm định mức.

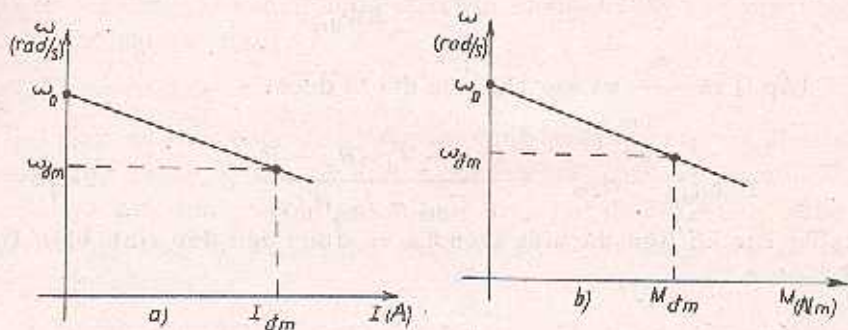
- Đặc tính cơ tự nhiên (xem H.2-8a).

Điểm thứ nhất: ($I_d = 0, \omega = \omega_0$)

$$\omega_0 = \frac{U_{dm}}{K\Phi_{dm}} \quad ; \quad K\Phi_{dm} = \frac{U_{dm} - I_{dm}R_u}{\omega_{dm}}$$

Điểm thứ hai: ($I = I_{dm}, \omega = \omega_{dm}$)

$$\omega_{dm} = \frac{\eta_{dm}}{9,55}$$



Hình 2-8. Cách vẽ đặc tính cơ điện tự nhiên (a) và đặc tính cơ tự nhiên (b) của động cơ một chiều kích từ độc lập.

- Đặc tính cơ tự nhiên (xem H.2-8b).

Điểm thứ nhất: ($M = 0; \omega = \omega_0$)

Xác định ω_0 như ở đặc tính cơ điện.

Điểm thứ hai: ($M = M_{dm}, \omega = \omega_{dm}$).

trong đó: $M_{dm} = \frac{P_{dm}}{\omega_{dm}}$, N.m.

b) Cách vẽ đặc tính nhân tạo

Đặc tính biến trở: Các đặc tính biến trở đều đi qua điểm không tải lý tưởng ω_0 , vì vậy khi vẽ các đặc tính này chỉ cần xác định điểm

thứ hai. Thường chọn là điểm ứng với tải định mức:

Đối với đặc tính cơ điện ω ứng với I_{dm}

Đối với đặc tính cơ ω ứng với M_{dm}

Từ phương trình đặc tính cơ điện tự nhiên (2-6) ta có:

$$\omega_{dm} = \frac{U_{dm} - I_{dm}R_u}{K\Phi_{dm}}$$

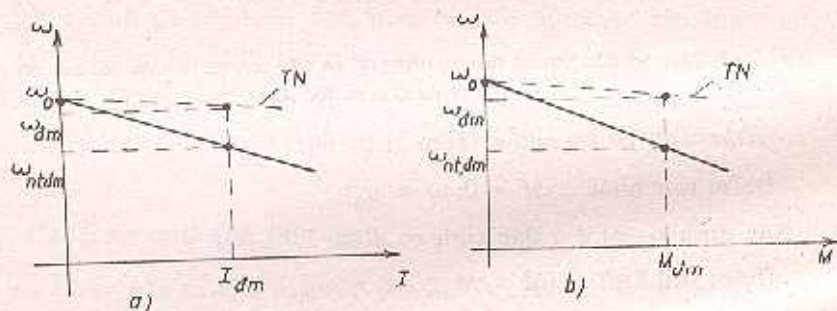
Và từ phương trình đặc tính biến trở tính được:

$$\omega | I_{dm} = \frac{U_{dm} - I_{dm}(R_u + R_f)}{K\Phi_{dm}}$$

Lập tỉ số $\frac{\omega}{\omega_{dm}}$ và sau khi biến đổi ta được:

$$\omega | I_{dm} = \omega_{dm} \cdot \frac{U_{dm} - I_{dm}(R_u + R_f)}{U_{dm} - I_{dm}R_u} \quad (2-18)$$

Từ các số liệu đã biết trên ta vẽ được các đặc tính biến trở H.2-9a,b.



Hình 2-9. Cách vẽ đặc tính biến trở của động cơ điện một chiều kích từ độc lập:

a) Đặc tính cơ điện; b) Đặc tính cơ.

Thông thường giá trị điện trở phần ứng R_u không ghi trên nhãn máy. Do vậy lúc đó ta có thể tính gần đúng giá trị R_u . Một trong

phương pháp tính gần đúng là dựa vào giá trị hiệu suất định mức đã biết η_{dm} và tính được tổn thất của máy điện ở chế độ định mức. Coi gần đúng phần tổn thất do điện trở phần ứng gây ra bằng một nửa tổn thất. Như vậy ta tính gần đúng giá trị điện trở phần ứng là:

$$R_u = 0,5(1 - \eta_{dm}) \frac{U_{dm}}{I_{dm}} \quad (2-19)$$

c) Cách vẽ đặc tính giảm từ thông

Như phần trên đã nêu khi giảm từ thông, đặc tính cơ và đặc tính cơ điện của động cơ không đồng nhất với nhau, do vậy cần phải xét riêng từng loại đặc tính.

Đặc tính cơ điện

Khi giảm từ thông tốc độ không tải động cơ tăng tỷ lệ với độ suy giảm của từ thông. Còn dòng điện ngắn mạch I_{nm} giữ không đổi. Vì vậy khi vẽ đặc tính cơ điện ta cần xác định hai điểm: Điểm không tải lý tưởng ứng với giá trị suy giảm từ thông và điểm còn lại là dòng ngắn mạch I_{nm}

- Gọi độ suy giảm từ thông là $x = \frac{\Phi_{dm}}{\Phi}$ ta có $\omega_{0x} = \omega_{0TN} x$ là

giá trị tốc độ không tải khi giảm từ thông.

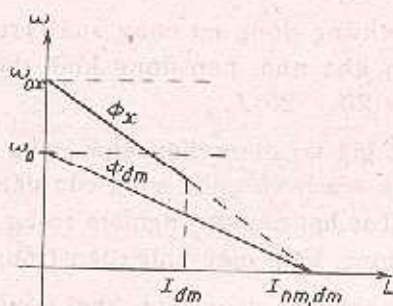
- Dòng điện ngắn mạch I_{nm} được tính:

$$I_{nm} = \frac{U_{dm}}{R_u} \quad (2-20)$$

Cách vẽ đặc tính cơ điện giảm từ thông được chỉ trên H.2-10.

Đặc tính cơ

Cách vẽ đặc tính cơ giảm từ thông cũng tương

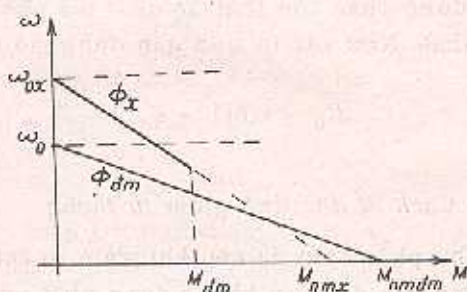


Hình 2-10. Đặc tính cơ điện khi giảm từ thông.

tự như đặc tính cơ điện nhưng thay vào giá trị I_{nm} không đổi ở đặc tính cơ điện bằng giá trị mômen ngắn mạch thay đổi

$$M_{nm} = \frac{M_{nmdm}}{x} \quad (2-21)$$

2-2.4. Khởi động và tính toán điện trở khởi động



Hình 2-11. Đặc tính cơ khi giảm từ thông.

Từ phương trình đặc tính cơ điện đã có:

$$\omega = \frac{U_u}{K\Phi} - \frac{R}{K\Phi} I_u$$

Với đặc tính tự nhiên ($R = R_u$) khi khởi động, ta thấy dòng điện khởi động ban đầu là:

$$I_{nm} = \frac{U_{dm}}{R_u}$$

Ở những động cơ công suất trung bình và lớn, R_u thường có giá trị khá nhỏ, nên dòng khởi động ban đầu (dòng ngắn mạch) $I_{nm} = (20 \div 25) I_{dm}$

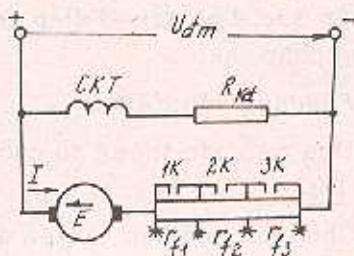
Với giá trị dòng điện khởi động lớn, sẽ không cho phép về mặt chuyển mạch và phát nóng của động cơ cũng như sụt áp trên lưới điện. Tác hại này còn nghiêm trọng hơn đối với những hệ thống cần khởi động, hãm máy nhiều lần trong quá trình làm việc.

Để hạn chế dòng điện khởi động ta có thể giảm điện áp nguồn đặt vào phần ứng động cơ điện hoặc nối thêm điện trở phụ R_f vào mạch phần ứng. Phương pháp thứ nhất được sử dụng trong những hệ thống có bộ biến đổi điện áp. Phương pháp thứ hai thường sử

dụng khí động cơ được cung cấp điện áp cố định. Sau đây ta khảo sát phương pháp khởi động dùng các điện trở phụ, còn phương pháp thứ nhất sẽ được nghiên cứu trong các chương sau.

Sơ đồ nối dây của động cơ trình bày trên H.2-12.

Trị số của điện trở phụ tổng mắc trong mạch khởi động được chọn sao cho khi khởi động ($\omega = 0$) thì dòng điện khởi động không vượt quá $2,5 I_{dm}$ để đảm bảo an toàn cho động cơ và các cơ cấu truyền động. Ngoài ra I_{nm} cũng không nên quá nhỏ khiến cho M_{nm} cũng nhỏ đi so với mômen cần. Thông thường



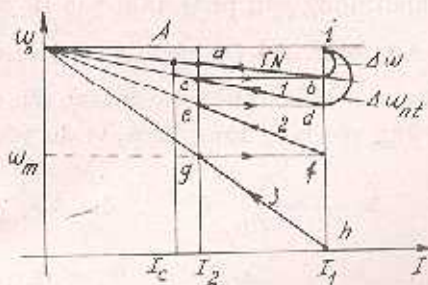
Hình 2-12. Sơ đồ đấu dây của động cơ khởi động qua 3 cấp điện trở.

$$I_{nm} = \frac{U_{dm}}{R_d + R_r} \leq (2 + 2,5)I_{dm} \quad (2-22)$$

Khi tốc độ tăng lên dòng điện phần ứng giảm dần theo biểu thức:

$$I = \frac{U_{dm} - K\Phi\omega}{R_d + R_r} \quad (2-23)$$

Muốn cho quá trình tăng tốc độ được tiến hành đều đặn và để cho động cơ làm việc ổn định ở tốc độ cao trên đặc tính tự nhiên ta phải cắt dần các điện trở phụ. Việc cắt dần



Hình 2-15. Các đặc tính khởi động qua 3 cấp điện trở.

điện trở phụ nhờ các tiếp điểm $1K, 2K, 3K$ của các côngtactơ.

Quá trình khởi động động cơ sẽ làm việc trên một loạt đường đặc tính nhân tạo có độ dốc giảm dần tương ứng với việc cắt dần các điện trở phụ tại các điểm g, e, c ; cuối cùng động cơ tang tốc độ trên đặc tính tự nhiên và làm việc ổn định tại điểm A . Ở đó dòng điện động cơ bằng dòng tải ($I = I_c$).

Muốn xác định trị số điện trở phụ khởi động có thể dùng các phương pháp sau:

a) *Phương pháp đồ thị.*

– Dựa vào các thông số của động cơ vẽ đặc tính cơ tự nhiên (H.2-13).

– Chọn hai giới hạn chuyển dòng điện khởi động động cơ:

$$I_1 \leq (2 + 2,5)I_{dm} \quad (2-24)$$

$$I_2 \geq (1,1 + 1,3)I_{dm} \quad (2-25)$$

Lấy giá trị I_1, I_2 trên trục hoành: Từ I_1, I_2 kẻ hai đường dóng song song với trục tung cắt đường đặc tính tự nhiên tại a và b , nối ω_0 với h (I_1) ta được đặc tính khởi động đầu tiên; đặc tính này cắt đường dóng I_2 tại g . Tại g ta kẻ đường song song với trục hoành cắt đường dóng I_1 tại f . Nối ω_0 với f ta được đường đặc tính khởi động thứ hai... Cứ tiếp tục như vậy tới khi từ c kẻ đường song song với trục hoành sẽ gặp điểm b . Nếu điều kiện này không thỏa mãn ta phải chọn lại I_1 hoặc I_2 rồi vẽ lại cho tới khi đạt được. Ngoài ra đặc tính khởi động còn phải đảm bảo số cấp khởi động đã yêu cầu.

– Xác định giá trị các điện trở khởi động:

Dựa vào biểu thức của độ sụt tốc độ $\Delta\omega$ trên các đặc tính đã vẽ được ứng với một dòng điện, ví dụ với I_1 :

$$\Delta\omega_{TN} = \frac{R_u}{K\Phi} I_1, \quad \Delta\omega_{NTI} = \frac{R_u + R_f}{K\Phi} I_1$$

$$\text{Lập tỉ số} = \frac{\Delta\omega_{NTI}}{\Delta\omega_{TN}} = \frac{R_u + R_f}{R_u}$$

Từ đó rút ra:

$$R_{f1} = \frac{\Delta\omega_{NT1} - \Delta\omega_{TN}}{\Delta\omega_{TN}} \cdot R_u$$

Qua đồ thị ta có:

$$R_{f1} = \frac{id - ib}{i_b} \quad R_u = \frac{bd}{i_b} \quad R_u \quad (2-26)$$

Tương tự như vậy:

$$R_{f2} = \frac{if - id}{i_b} \quad R_u = \frac{df}{i_b} \quad R_u \quad (2-27)$$

$$R_{f3} = \frac{ih - if}{i_b} \quad R_u = \frac{fh}{i_b} \quad R_u \quad (2-28)$$

b) Phương pháp giải tích

Giá thiết động cơ được khởi động với m cấp điện trở phụ. Đặc tính khởi động dốc nhất là đặc tính khởi động thứ (m); ví dụ trên đồ thị H.2-13 là đặc tính 3. Các đặc tính khởi động tiếp theo sẽ là ($m - 1$), ($m - 2$)...

Điện trở phụ ở mỗi cấp ta cũng ký hiệu là R_{f1} , R_{f2} , ... R_{fm} và điện trở tổng ứng với mỗi đặc tính là:

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= R_u + R_{f1} \\ R_2 &= R_u + R_{f1} + R_{f2} \\ R_{m-1} &= R_u + R_{f1} + R_{f2} + \dots + R_{f_{m-1}} \\ R_m &= R_u + R_{f1} + R_{f2} + \dots + R_{fm} \end{aligned} \right\} (2-29)$$

Tại điểm g trên H.2-13 ta có:

$$I_2 = \frac{U_{dm} - E_m}{R_m}$$

Tại điểm f :

$$I_2 = \frac{U_{dm} - E_m}{R_{m-1}}$$

Trong đó E_m là sức điện động của dòng cơ ứng với ω_m , lập tỉ số I_1/I_2 ta có:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_m}{R_{m-1}}$$

Tương tự đối với các cấp tiếp theo ta được:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_m}{R_{m-1}} = \frac{R_{m-1}}{R_{m-2}} = \dots = \frac{R_1}{R_u} = \lambda, \quad (2-30)$$

$\lambda = \frac{I_1}{I_2}$ là bội số dòng điện khởi động.

Ta lần lượt rút ra:

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \lambda R_u \\ R_2 &= \lambda R_1 = \lambda^2 R_u \\ R_3 &= \lambda R_2 = \lambda^3 R_u \\ &\dots \\ R_m &= \lambda R_{m-1} = \lambda^m R_u \end{aligned} \right\} (2-31)$$

Theo (2-31) ta thấy:

- Nếu biết số cấp điện trở khởi động m và R_m, R_u ta tính được bội số dòng điện khởi động:

$$\lambda = \sqrt[m]{\frac{R_m}{R_u}} = \sqrt[m]{\frac{U_{dm}}{R_u I_1}} \quad (2-32)$$

trong đó: $R_m = \frac{U_{dm}}{I_1}$

Nếu tính trong hệ đơn vị tương đối:

$$\lambda = \sqrt[m]{\frac{1}{R^* I_1^*}} = \sqrt[m]{\frac{1}{R_u^* M_1^*}} \quad (2-33)$$

trong đó:

$$R_u^* = \frac{R_u}{R_{cb}}, \quad I_1^* = \frac{I_1}{I_{dm}} = \frac{M_1}{M_{dm}} = M_1^* \quad (\text{với } \Phi = \Phi_{dm}).$$

- Nếu biết λ , R_m , R_u ta xác định được số cấp điện trở khởi động m :

$$m = \frac{\lg \frac{R_m}{R_u}}{\lg \lambda} = \frac{\lg \frac{I^*}{R_u^* I_1^*}}{\lg \lambda} = \frac{\lg \frac{1}{R_u^* M_1^*}}{\lg \lambda} \quad (2-34)$$

Trị số từng cấp điện trở khởi động tính như sau:

$$\left. \begin{aligned} R_{r1} &= R_1 - R_u = \lambda R_u - R_u = (\lambda - 1)R_u \\ R_{r2} &= R_2 - R_1 = \lambda^2 R_u - \lambda R_u = \lambda(\lambda - 1)R_u \\ &\dots \dots \dots \\ R_{r(m-1)} &= R_{m-1} - R_{m-2} = \lambda^{m-1} R_u - \lambda^{m-2} R_u = \\ &= \lambda^{m-2}(\lambda - 1)R_u \\ R_{rm} &= R_m - R_{m-1} = \lambda^m R_u - \lambda^{m-1} R_u = \lambda^{m-1}(\lambda - 1)R_u \end{aligned} \right\} (2-35)$$

Như vậy xác định điện trở khởi động bằng phương pháp giải tích có thể tiến hành trong các trường hợp sau đây:

+ Khi cho trước số cấp điện trở khởi động m và yêu cầu khởi động nhanh (mở máy cưỡng bức)

- Chọn giới hạn dòng điện khởi động I_1 là cực đại cho phép: $I_1 = 2,5I_{dm}$ và tính

$$R_m = \frac{U_{dm}}{I_1}$$

- Theo biểu thức (2-33) tính λ

- Theo các biểu thức (2-35) xác định trị số các cấp điện trở khởi động cần thiết: R_{r1} , R_{r2} , ..., R_{rm} .

+ Khi cho trước số cấp điện trở khởi động m , chế độ khởi động bình thường:

- Chọn giới hạn dòng điện chuyển khi khởi động:

$$I_2 = (1,1 + 1,3)I_{dm}$$

- Từ (2-32) hoặc (2-33) thay $I_1 = I_2$ hoặc $I_1^* = I_2^* = \lambda M_2^*$ và biến đổi ta sẽ tính được λ :

$$\lambda = \frac{m+1 \sqrt{\frac{U_{dm}}{R_u I_2}}}{\quad} \quad (2-36)$$

$$\text{hoặc } \lambda = \frac{m+1 \sqrt{\frac{1}{M' I_2'}}}{\quad} = \frac{m+1 \sqrt{\frac{1}{R_u' M'}}}{\quad} \quad (2-37)$$

- Theo biểu thức (2-35) xác định trị số các cấp điện trở khởi động $R_{f1}, R_{f2}, \dots, R_{fm}$.

+ Khi cần xác định số cấp điện trở khởi động m và các điện trở khởi động theo các điều kiện khởi động cho trước.

- Dựa vào các yêu cầu của truyền động và khởi động chọn các giá trị của I_1, I_2, M_1, M_2 .

- Theo biểu thức (2-32) tính λ

- Theo biểu thức (2-34) tính số cấp điện trở khởi động m . Nếu m tính được không phải là số nguyên thì phải chọn lại I_1, M_1 hoặc I_2, M_2 và tính lại cho đến khi m là số nguyên.

- Theo các biểu thức (2-35) xác định trị số điện trở ở mỗi cấp.

2-2.5. Đặc tính cơ trong các trạng thái hãm

Hãm là trạng thái mà động cơ sinh ra mômen quay ngược chiều tốc độ quay. Trong tất cả các trạng thái hãm, động cơ đều làm việc ở chế độ máy phát.

Động cơ điện một chiều kích từ độc lập có ba trạng thái hãm: Hãm tái sinh, hãm ngược và hãm động năng (xem §1-4).

a) *Hãm tái sinh (hãm trả năng lượng về lưới).*

Hãm tái sinh xảy ra khi tốc độ quay của động cơ lớn hơn tốc độ không tải lý tưởng. Khi hãm tái sinh $E_d > U_0$, động cơ làm việc như một máy phát điện song song với lưới. So với chế độ động cơ, dòng điện và mômen hãm đã đổi chiều và được xác định theo biểu thức:

$$I_h = \frac{U_0 - E_d}{R} = \frac{K\Phi\omega_0 - K\Phi\omega}{R} < 0 \quad (2-38)$$

$$M_h = K\Phi I_h < 0$$