

Chương 2

CÁC TRẠNG THÁI HOẠT ĐỘNG CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

2.1 Khái niệm chung

2.2 Động cơ điện một chiều kích từ độc lập (song song)

2.3 Động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp

2.4 Động cơ điện không đồng bộ

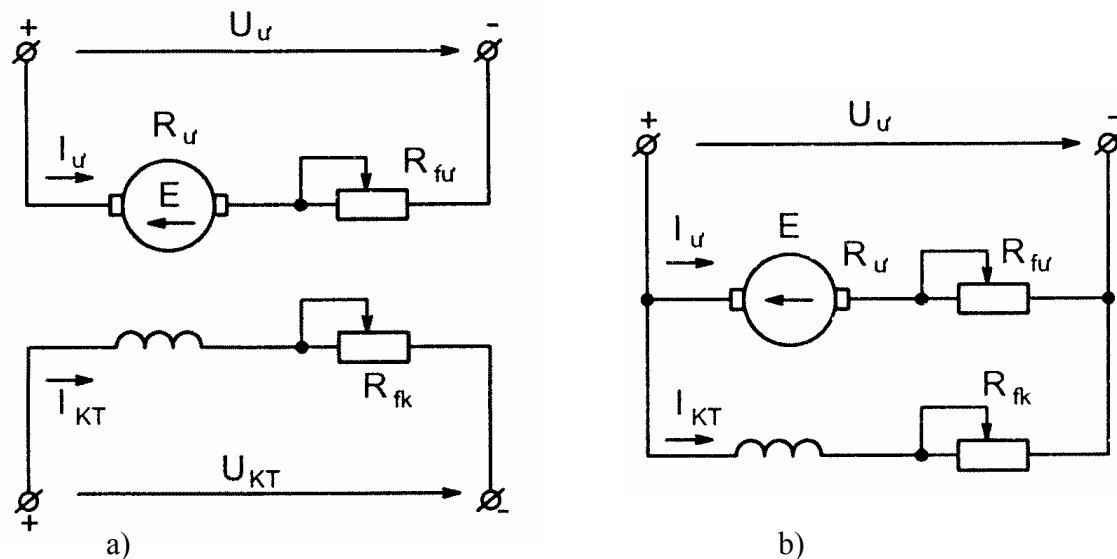
2.5 Các đặc tính công tác của động cơ đồng bộ

2.1 Khái niệm chung

- ĐTC của máy sản xuất (tải) $M_c(\omega)$: biết trước
- ĐTC của động cơ điện $M(\omega)$: Tự nhiên/ nhân tạo
- Hệ đơn vị tương đối.

2.2 Động cơ điện một chiều kích từ độc lập (kích từ song song)

2.2.1 Sơ đồ nối dây của động cơ một chiều kích từ độc lập và kích từ song song



Hình 2.1

2.2.2 Phương trình đặc tính cơ (ĐTC)

a) Các phương trình chính

- Phương trình cân bằng điện áp phần ứng và mạch kích từ:

$$u_u = e + R_{ut} \cdot i_u + L_{ut} \cdot \frac{di_u}{dt} \xrightarrow{\text{Laplace}} U_u = E_u + R_{ut}(1 + T_u \cdot p) \cdot I_u$$

$$u_{kt} = R_{kt} \cdot i_{kt} + L_{kt} \cdot \frac{di_{kt}}{dt} \xrightarrow{\text{Laplace}} U_{kt} = R_{kt}(1 + T_{kt} \cdot p) \cdot I_{kt}$$

trong đó: $R_{ut} = R_u + R_{fu}$; $L_{ut} = L_u + L_{fu}$; $T_u = L_{ut}/R_{ut}$; $T_{kt} = L_{kt}/R_{kt}$

- Theo lý thuyết máy điện:

Môn học: Điều khiển động cơ điện (Truyền động điện)

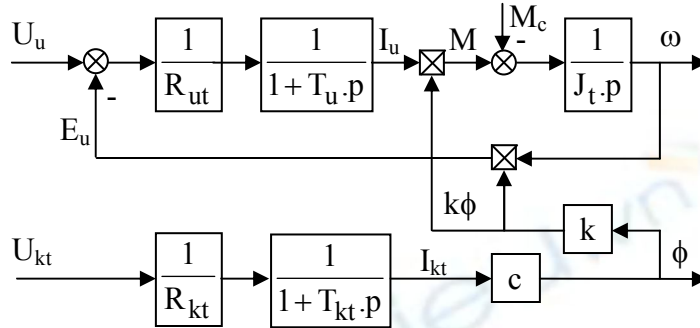
$$E_u = k\phi.\omega \quad \text{và} \quad M = k\phi.I_u \quad \text{trong đó} \quad k = \frac{pN}{2\pi.a}$$

$$\phi = c.I_{kt}$$

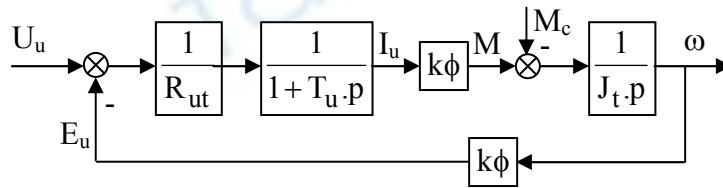
- Phương trình chuyển động:

$$M - M_c = J_t \cdot \frac{d\omega}{dt} \xrightarrow{\text{Laplace}} M - M_c = J_t \cdot p.\omega$$

- Sơ đồ cấu trúc động cơ:



- Trong trường hợp mạch kích từ đã xác lập:



- Tốc độ quay roto:

$$\omega = \frac{U_u}{k\phi} - R_{ut} \frac{1+T_u.p}{k\phi} . I_u \quad \text{phương trình đặc tính cơ-điện có xét quá độ}$$

$$\omega = \frac{U_u}{k\phi} - R_{ut} \frac{1+T_u.p}{(k\phi)^2} . M \quad \text{phương trình ĐTC có xét quá độ}$$

- Trạng thái xác lập $t = \infty$ hay $p = 0$:

$$\omega = \frac{U_u}{k\phi} - \frac{R_u + R_{fu}}{k\phi} I_u \quad (2-4)$$

Phương trình “đặc tính cơ điện” biểu thị quan hệ $\omega = f(I_u)$

và:

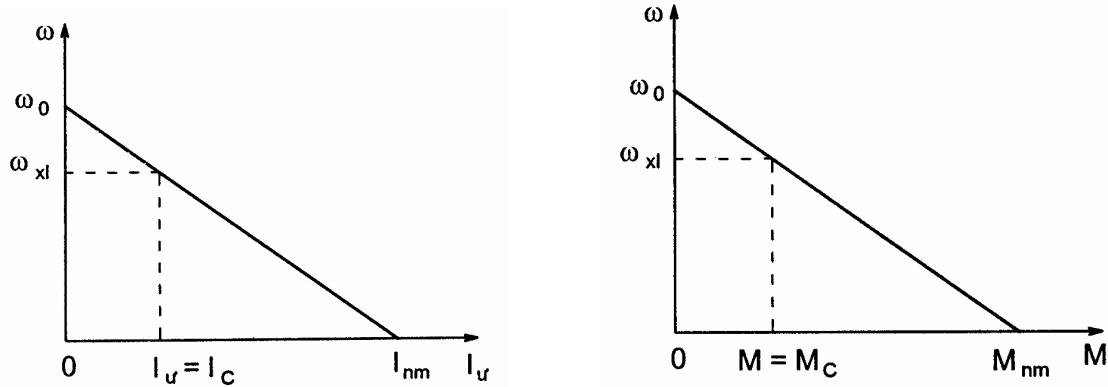
$$\omega = \frac{U_u}{k\phi} - \frac{R_u + R_{fu}}{(k\phi)^2} . M \quad (2-6)$$

Phương trình “đặc tính cơ” biểu thị quan hệ $\omega = f(M)$

Môn học: Điều khiển động cơ điện (Truyền động điện)

b) Đường đặc tính cơ và đặc tính cơ điện

$\phi \approx \text{const} \Rightarrow \omega = f(I_u)$ và $\omega = f(M)$ tuyến tính



Hình 2-2

- Khi $I_u = 0, M = 0$:

$$\omega = \frac{U_u}{k\phi} = \omega_0 \quad \text{“tốc độ không tải lý tưởng”} \quad (2-7)$$

- Khi $\omega = 0$:

$$I_u = \frac{U_u}{R_u + R_{fu}} = I_{nm} \quad \text{“dòng điện ngắn mạch”} \quad (2-8)$$

và
$$M = \frac{U_u}{R_u + R_{fu}} \cdot k\phi = I_{nm} \cdot k\phi = M_{nm} \quad \text{“momen ngắn mạch”} \quad (2-9)$$

Từ (2-6) ta xác định được độ cứng đặc tính cơ:

$$\beta = \frac{dM}{d\omega} = -\frac{(k\phi)^2}{R_u + R_{fu}} \quad (2-10)$$

hay
$$\beta = \left| \frac{dM}{d\omega} \right| = \frac{(k\phi)^2}{R_u + R_{fu}}$$

c) Các dạng khác của phương trình ĐTC

- Dạng 1:

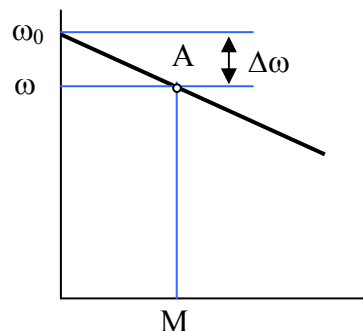
$$\omega = \omega_0 - \Delta\omega \quad (2-11)$$

trong đó:

$$\Delta\omega = \frac{R_u + R_{fu}}{k\phi} \cdot I_u \quad (2-12)$$

“độ sụt tốc độ”

- Dạng 2:



Môn học: Điều khiển động cơ điện (Truyền động điện)

$$\omega = \omega_0 - \frac{1}{\beta} \cdot M \quad (2-13)$$

- Dạng 3:

$$M = k\phi \cdot \frac{U_u}{R_u + R_{fu}} - \frac{(k\phi)^2}{R_u + R_{fu}} \cdot \omega \quad \text{hay} \quad M = M_{nm} - \beta\omega \quad (2-14)$$

- Dạng 4 (ở đơn vị tương đối)

$$\omega^* = \frac{U_u^*}{\phi^*} - \frac{R_u^* + R_{fu}^*}{\phi^*} \cdot I_u^* \quad (2-15)$$

$$\omega^* = \frac{U_u^*}{\phi^*} - \frac{R_u^* + R_{fu}^*}{(\phi^*)^2} \cdot M^* \quad (2-16)$$

trong đó: $\omega^* = \omega/\omega_0$; $U_u^* = U_u/U_{dm}$; $\phi^* = \phi/\phi_{dm} = k\phi/k\phi_{dm}$;
 $I_u^* = I_u/I_{dm}$; $M^* = M/M_{dm}$; $R_u^* = R_u/R_{dm}$; $R_{fu}^* = R_{fu}/R_{dm}$;

với $R_{dm} = \frac{U_{dm}}{I_{dm}} \quad (2-17)$

Ứng với $M = M_c$ (xác lập) sẽ có tốc độ xác lập ω_{xl} :

$$I_u = I_c = M_c/k\phi : \text{“dòng điện tải”}$$

2.2.3 Đặc tính tự nhiên ($R_{fu} = 0$, $U_u = U_{dm}$; $\phi = \phi_{dm}$)

- Phương trình:

$$\omega = \frac{U_{dm}}{k\phi_{dm}} - \frac{R_u}{(k\phi_{dm})^2} M \quad (2-18)$$

$$\omega = \frac{U_{dm}}{k\phi_{dm}} - \frac{R_u}{k\phi_{dm}} I_u \quad (2-19)$$

- Tốc độ không tải và độ cứng ĐTC tự nhiên:

$$\omega_o = \frac{U_{dm}}{k\phi_{dm}} \quad (2-20)$$

$$\beta_{tn} = \frac{(k\phi_{dm})^2}{R_u} \quad (2-21)$$

$$\beta_{tn}^* = \frac{1}{R_u} \quad (2-22)$$

- Vẽ ĐTC tự nhiên từ các số liệu catalog: P_{dm} [kW], n_{dm} [vòng/phút], U_{dm} [V], I_{dm} [A], η_{dm} , R_u [Ω],...:

1. điểm không tải $[0, \omega_o]$.
2. điểm định mức $[M_{dm}, \omega_{dm}]$ hoặc $[I_{dm}, \omega_{dm}]$.
3. điểm ngắn mạch $[M_{nm}, 0]$ hoặc $[I_{nm}, 0]$.

$$\omega_0 = \frac{U_{dm}}{k\phi_{dm}}$$

$$\text{với } k\phi_{dm} = \frac{U_{dm} - R_u I_{dm}}{\omega_{dm}}$$

$$M_{dm} = \frac{P_{dm} \cdot 1000}{\omega_{dm}}$$

$$\text{hoặc } M_{dm} = k\phi_{dm} \cdot I_{dm}$$

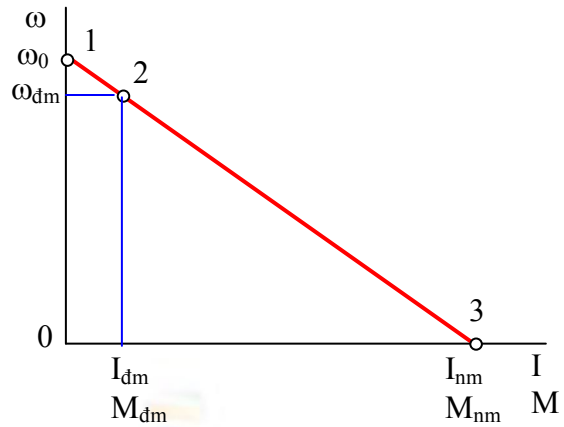
$$I_{nm} = \frac{U_{dm}}{R_u}$$

$$M_{nm} = k\phi_{dm} \cdot \frac{U_{dm}}{R_u}$$

hoặc

$$I_{dm} = \frac{P_{dm} \cdot 1000}{\eta_{dm} \cdot U_{dm}}, \text{ A} \quad (2-23)$$

$$R_u \approx 0,5 \cdot (1 - \eta_{dm}) \frac{U_{dm}}{I_{dm}}, \text{ } \Omega \quad (2-24)$$



2.2.4 Các đặc tính nhân tạo

Từ phương trình (2-6):

$$\omega = \frac{U_u}{k\phi} - \frac{R_u + R_{f\text{ur}}}{(k\phi)^2} \cdot M \quad (2-6)$$

$\Rightarrow R_{f\text{ur}}, U_u, \phi$ có thể thay đổi.

a) **Đặc tính nhân tạo “biến trở”:** ($U_u = U_{dm}, \phi = \phi_{dm}$)

- Phương trình:

$$\omega = \frac{U_{dm}}{k\phi_{dm}} - \frac{R_u + R_{f\text{ur}}}{(k\phi_{dm})^2} M \quad (2-25)$$

$$\omega = \frac{U_{dm}}{k\phi_{dm}} - \frac{R_u + R_{f\text{ur}}}{k\phi_{dm}} \cdot I_{ur} \quad (2-26)$$

- Tốc độ không tải:

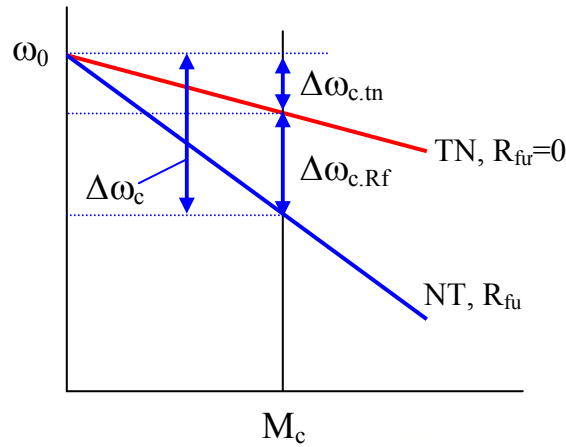
$$\omega_0 = \omega_{0.tn} = \frac{U_{dm}}{k\phi_{dm}} = \text{const} \quad (2-27)$$

- Độ sụt tốc độ ở M_c hay I_c :

$$\Delta\omega_c = \frac{R_u + R_{f\text{ur}}}{(k\phi_{dm})^2} \cdot M_c = \frac{R_u + R_{f\text{ur}}}{k\phi_{dm}} \cdot I_c \sim R_{f\text{ur}} \quad (2-28)$$

$$\Delta\omega_c = \frac{R_u}{(k\phi_{dm})^2} \cdot M_c + \frac{R_{f\text{ur}}}{(k\phi_{dm})^2} \cdot M_c = \Delta\omega_{c.tn} + \Delta\omega_{c.Rf}$$

Môn học: Điều khiển động cơ điện (Truyền động điện)



- Độ cứng ĐTC:

$$\beta_{tn} = \frac{(k\phi_{dm})^2}{R_u + R_{fr}} \sim \frac{1}{R_{fr}} \quad (2-29)$$

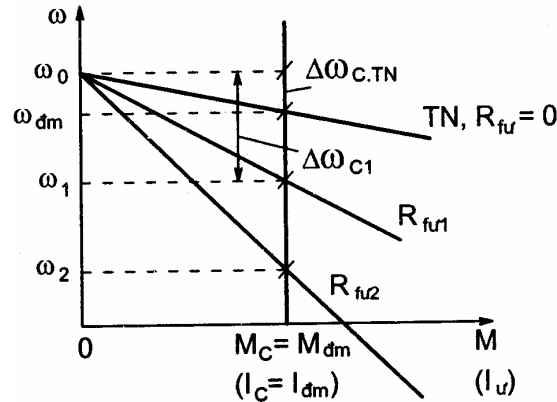
- Dòng điện ngắn mạch:

$$I_{nm} = \frac{U_{dm}}{R_u + R_{fr}} \sim \frac{1}{R_{fr}} \quad (2-30)$$

- Momen ngắn mạch:

$$M_{nm} = k\phi_{dm} \cdot I_{nm} \sim \frac{1}{R_{fr}} \quad (2-31)$$

Tăng R_{fr}



b) Đặc tính nhân tạo khi thay đổi điện áp phần ứng U_u : ($R_{fr} = 0$, $\phi = \phi_{dm}$)

- Phương trình:

$$\omega = \frac{U_u}{k\phi_{dm}} - \frac{R_u}{(k\phi_{dm})^2} M \quad (2-32)$$

$$\omega = \frac{U_u}{k\phi_{dm}} - \frac{R_u}{k\phi_{dm}} \cdot I_u \quad (2-33)$$

- Tốc độ không tải:

$$\omega_0 = \frac{U_u}{k\phi_{dm}} \sim U_u \quad (2-34)$$

- Độ sụt tốc độ ở M_c hay I_c :

Môn học: Điều khiển động cơ điện (Truyền động điện)

$$\Delta\omega_c = \frac{R_r}{(k\phi_{đm})^2} \cdot M_c = \frac{R_r}{k\phi_{đm}} \cdot I_c = \Delta\omega_{c.tn} = \text{const} \quad (2-35)$$

- Độ cứng ĐTC:

$$\beta = \frac{(k\phi_{đm})^2}{R_r} = \beta_{tn} = \text{const} \quad (2-36)$$

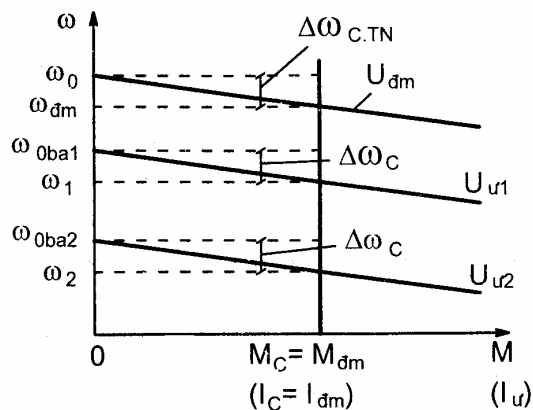
- Dòng điện ngắn mạch:

$$I_{nm} = \frac{U_r}{R_r} \sim U_r \quad (2-37)$$

- Momen ngắn mạch:

$$M_{nm} = k\phi_{đm} \cdot I_{nm} = k\phi_{đm} \frac{U_r}{R_r} \sim U_r \quad (2-38)$$

⇒ Khi giảm $U_r < U_{đm}$...



Môn học: Điều khiển động cơ điện (Truyền động điện)

b) Đặc tính nhân tạo khi thay đổi từ thông ϕ : ($R_{fr} = 0, U_r = U_{đm}$)

- Phương trình:

$$\omega = \frac{U_{đm}}{k\phi} - \frac{R_r}{(k\phi)^2} M \quad (2-39)$$

$$\omega = \frac{U_{đm}}{k\phi} - \frac{R_r}{k\phi} \cdot I_r \quad (2-40)$$

- Tốc độ không tải:

$$\omega_0 = \frac{U_{đm}}{k\phi} \sim \frac{1}{\phi} \quad (2-41)$$

- Độ sụt tốc độ ở M_c hay I_c :

$$\Delta\omega_c = \frac{R_r}{(k\phi)^2} \cdot M_c \sim \frac{1}{\phi^2} \quad (2-42)$$

- Độ cứng ĐTC:

$$\beta = \frac{(k\phi)^2}{R_r} \sim \phi^2 \quad (2-34)$$

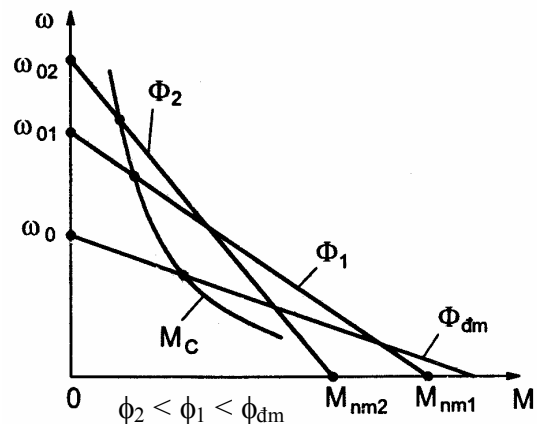
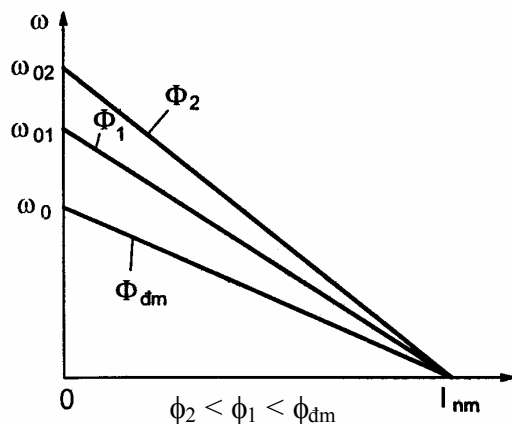
- Dòng điện ngắn mạch:

$$I_{nm} = \frac{U_{đm}}{R_r} = I_{nm.tn} = \text{const} \quad (2-30)$$

- Momen ngắn mạch:

$$M_{nm} = k\phi \cdot I_{nm} \sim \phi \quad (2-31)$$

\Rightarrow Khi giảm $\phi < \phi_{đm} \dots$



Chú ý: Vì không thể tăng i_{kt} trên giá trị định mức, nên chỉ có thể tạo $\phi < \phi_{đm}$. Do đó, các đặc tính cơ điện nhân tạo đều có vị trí cao hơn đặc tính tự nhiên; tương tự, trong vùng phụ tải M_c cho phép tốc độ trên các đặc tính nhân tạo lớn hơn tốc độ trên đặc tính cơ tự nhiên.

Môn học: Điều khiển động cơ điện (Truyền động điện)

* Ví dụ 1: Dựng đặc tính cơ tự nhiên và nhận xét về dạng đặc tính của động cơ điện một chiều kích từ song song. Số liệu cho trước: Động cơ loại làm việc dài hạn, cấp điện áp 220V, công suất định mức 6,6kW; tốc độ định mức 2200 vòng/phút; dòng điện định mức 35A; điện trở mạch phần ứng gồm điện trở cuộn dây phần ứng và cực từ phụ: 0,26Ω.

Giải:

+ Dựng đặc tính cơ tự nhiên dựa vào 2 trong 3 điểm:

1. *điểm không tải* [0, ω₀].
2. *điểm định mức* [M_{dm}, ω_{dm}]; hoặc [I_{dm}, ω_{dm}] cho đặc tính cơ điện tự nhiên.
3. *điểm ngắn mạch* [M_{nm}, 0]; hoặc [I_{nm}, 0] cho đặc tính cơ điện tự nhiên.

Tốc độ định mức:

$$\omega_{dm} = \frac{n_{dm}}{9,55} = \frac{2200}{9,55} = 230,3 \text{ [rad/s]}$$

Momen định mức:

$$M_{dm} = \frac{P_{dm} \cdot 1000}{\omega_{dm}} = \frac{6,6 \cdot 1000}{230,3} = 28,6 \text{ [Nm]}$$

Như vậy ta đã xác định được *điểm định mức* [28,6 ; 230,3].

Từ thông động cơ:

$$k\phi_{dm} = \frac{U_{dm} - I_{dm} \cdot R_u}{\omega_{dm}} = \frac{220 - 35 \cdot 0,26}{230,3} = 0,91 \text{ [Wb]}$$

Tốc độ không tải lý tưởng:

$$\omega_0 = \frac{U_{dm}}{k\phi_{dm}} = \frac{220}{0,91} = 241,7 \text{ [rad/s]}$$

Như vậy ta đã xác định được *điểm không tải* [0 ; 241,7].

Dòng điện ngắn mạch:

$$I_{nm} = \frac{U_{dm}}{R_u} = \frac{220}{0,26} = 846 \text{ [A]}$$

Mômen ngắn mạch:

$$M_{nm} = k\phi_{dm} \cdot I_{nm} = 0,91 \cdot 846 = 770 \text{ [Nm]}$$

Như vậy ta xác định được *điểm ngắn mạch* [770 ; 0].

Từ 2 điểm trong 3 điểm: *điểm không tải* và *điểm định mức*

hoặc *điểm ngắn mạch* ta có thể dựng được đặc tính cơ như hình bên.

+ Đánh giá đường đặc tính cơ:

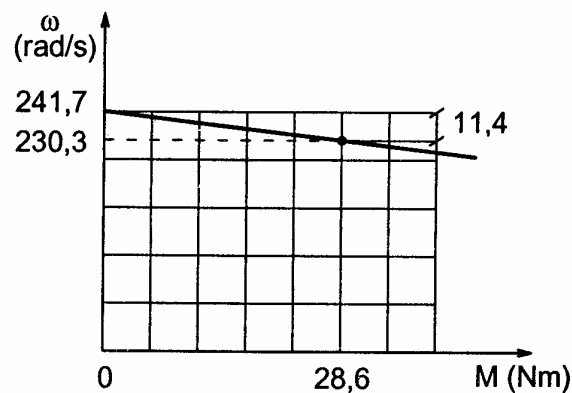
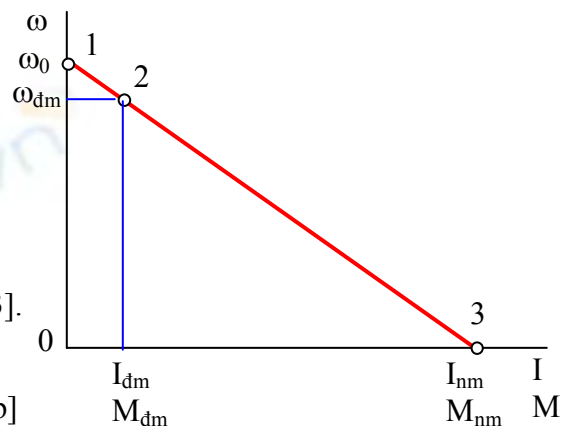
- *Độ sụt tốc* khi có tải định mức (so với tốc độ không tải lý tưởng):

$$\Delta\omega_c = \omega_0 - \omega_{dm} = 241,7 - 230,3 = 11,4 \text{ [rad/s]}$$

$$\Delta\omega_c \% = \frac{\Delta\omega_c}{\omega_0} \cdot 100\% = \frac{11,4}{241,7} \cdot 100\% = 4,7\% \quad (< 5\%)$$

- *Độ cứng* đặc tính cơ tự nhiên:

$$\beta = \frac{(k\phi_{dm})^2}{R_u} = \frac{0,91^2}{0,26} = 3,18 \text{ [Nm.s]}$$



Môn học: Điều khiển động cơ điện (Truyền động điện)

Bài tập 2.1: Dựng đặc tính cơ tự nhiên và nhận xét về dạng đặc tính của động cơ điện một chiều kích từ song song. Số liệu cho trước: Động cơ loại làm việc dài hạn, cấp điện áp 220V, công suất định mức 4,4kW; tốc độ định mức 1500 vòng/phút; hiệu suất định mức 0,85.

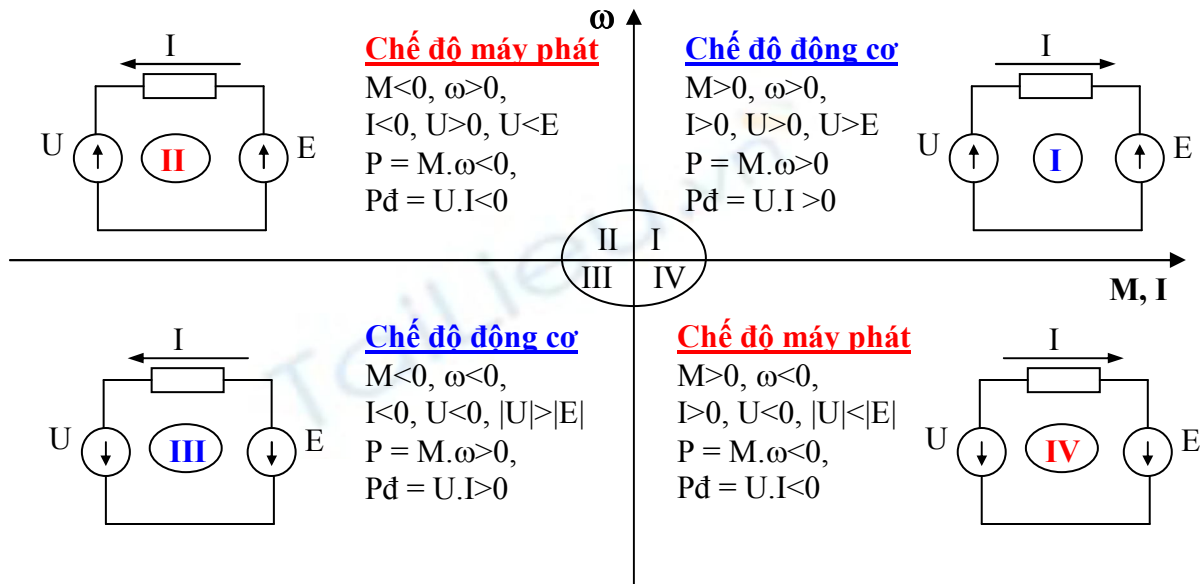
Đáp án.

2.2.5 Các trạng thái hãm của động cơ một chiều kích từ độc lập

- Trạng thái động cơ: là trạng thái mà mômen động cơ sinh ra hỗ trợ việc quay. Hay chiều của momen động cơ cùng chiều với chiều của tốc độ quay.

+ $M(I_r)$ và ω cùng chiều $\Rightarrow P_{cơ} = M.\omega = M_c.\omega > 0$

+ Động cơ làm việc ở các góc $\frac{1}{4}$ thứ I ($\omega > 0$; M và $I > 0$) và góc $\frac{1}{4}$ thứ III ($\omega < 0$; M và $I < 0$).



Trạng thái máy phát (hãm): là trạng thái mà mômen động cơ sinh ra chống lại sự quay. Hay, chiều của mômen động cơ ngược chiều với chiều của tốc độ quay.

a) Hãm tái sinh ($\omega > \omega_0$, $|U| < |E|$)

