

CHƯƠNG 2: ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Phạm Khánh Tùng

Bộ môn Kỹ thuật điện – khoa Sư phạm kỹ thuật

<http://hnue.edu.vn/directory/tungpk>

tungpk@hnue.edu.vn

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

KHÁI NIỆM CHUNG

- + Trong phân tích các hệ truyền động, thường biết trước đặc tính cơ $M_c(\omega)$ của máy sản xuất.
- + Đạt được trạng thái làm việc với những thông số yêu cầu tốc độ, mômen, dòng điện động cơ ... cần phải tạo ra những đặc tính cơ nhân tạo của động cơ tương ứng.
- + Mỗi động cơ có một đặc tính cơ tự nhiên xác định bởi các số liệu định mức và được sử dụng như loạt số liệu cho trước.
- + Những đặc tính cơ nhân tạo có được do biến đổi thông số của nguồn, của mạch điện động cơ, hoặc do thay đổi cách nối dây của mạch, hoặc do dùng thêm thiết bị biến đổi.

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

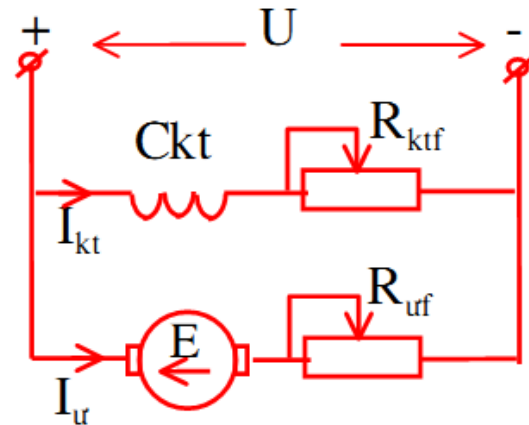
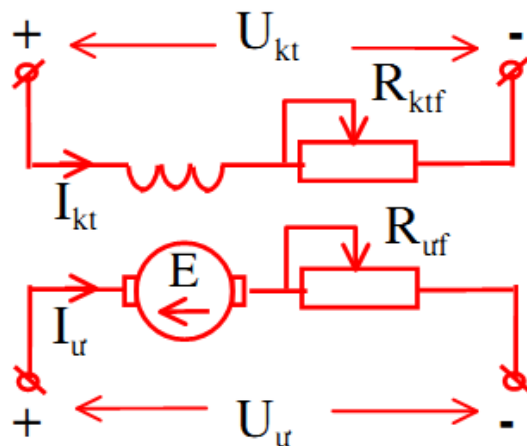
- + Bất kỳ thông số nào có ảnh hưởng đến hình dáng và vị trí của đặc tính cơ, đều được coi là thông số điều khiển động cơ, và tương ứng là một phương pháp tạo đặc tính cơ nhân tạo hay đặc tính điều chỉnh.
- + Phương trình đặc tính cơ của động cơ điện có thể viết theo dạng thuận $M = f(\omega)$ hay dạng ngược $\omega = f(M)$.

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

2.1. ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU KÍCH TỪ ĐỘC LẬP

2.1.1. Sơ đồ nối dây

- + Nguồn cấp cho phần ứng và kích từ độc lập nhau.
- + Khi nguồn có công suất vô cùng lớn và điện áp không đổi thì có thể mắc kích từ song song với phần ứng, lúc đó động cơ được gọi là động cơ điện một chiều kích từ song song.



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

2.1.2. Các thông số cơ bản

Thông số định mức:

$n_{đm}$ (vòng/phút); $\omega_{đm}$ (Rad/s); $M_{đm}$ (N.m hay KG.m); $F_{đm}$ (Wb);
 $f_{đm}$ (Hz); $P_{đm}$ (KW); $U_{đm}$ (V); $I_{đm}$ (A); ...

Các thông số tính theo các hệ đơn vị tương đối

$$\omega^* = \omega / \omega_{đm} ; M^* = M / M_{đm} ; I^* = I / I_{đm} ; \Phi^* = \Phi / \Phi_{đm} ;$$

$$R^* = R / R_{đm} ; R_{cb} = R_{đm} = U_{đm} / I_{đm} ;$$

$$\omega\% ; M\% ; I\% ;$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

2.1.3. Phương trình đặc tính cơ-điện và đặc tính cơ

Phương trình cân bằng điện áp của mạch phần ứng

$$U = E + (R + R_f)I$$

Trong đó:

U – điện áp phần ứng động cơ (V)

E – sức điện động phần ứng động cơ (V)

R – điện trở mạch phần ứng

R_f – điện trở phụ mạch phần ứng

I – dòng điện phần ứng

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Sức điện động phần ứng tính theo các đơn vị tốc độ:

Tốc độ ω (rad/s)
$$E = \frac{p \cdot N}{2\pi \cdot a} \phi \cdot \omega = K \cdot \phi \cdot \omega$$

Tốc độ n (vòng/phút)
$$E = K_e \cdot \phi \cdot n$$

Hệ số kết cấu của động cơ:
$$K = \frac{p \cdot N}{2\pi \cdot a}$$

Qui đổi tốc độ của động cơ:
$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} = \frac{n}{9,55}$$

Hệ số kết cấu của động cơ
(tính theo tốc độ vòng/phút):
$$K_e = \frac{K}{9,55} = 0,105 \cdot K$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Điện trở mạch phần ứng:

$$R = r_u + r_{ctf} + r_{ctb} + r_{tx}$$

Trong đó:

r_u – điện trở cuộn dây phần ứng của động cơ

r_{ctf} – điện trở cuộn dây cực từ phụ của động cơ

r_{ctb} – điện trở cuộn dây cực từ bù của động cơ

r_{tx} – điện trở tiếp xúc giữa chổi than với cổ góp của động cơ

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Từ phương trình điện áp và hệ số kết cấu động cơ \rightarrow phương trình đặc tính cơ-điện

$$\omega = \frac{U}{K.\phi} - \frac{R + R_f}{K.\phi} I$$

Mômen điện từ của động cơ:

$$M_{đt} = K.\phi.I$$

Bỏ qua tổn thất ma sát trong ổ trục, tổn thất cơ, tổn thất thép: $M_{cơ} \approx M_{đt} \approx M$

$$I = \frac{M_{đt}}{K.\phi} \approx \frac{M}{K.\phi}$$

Phương trình đặc tính cơ:

$$\omega = \frac{U}{K.\phi} - \frac{R + R_f}{(K.\phi)^2} M = \frac{U}{K.\phi} - \frac{R_\Sigma}{(K.\phi)^2} M$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Phương trình đặc tính cơ có thể biểu diễn đặc tính cơ dưới dạng khác:

$$\omega = \omega_0 - \Delta\omega$$

Tốc độ không tải lý tưởng

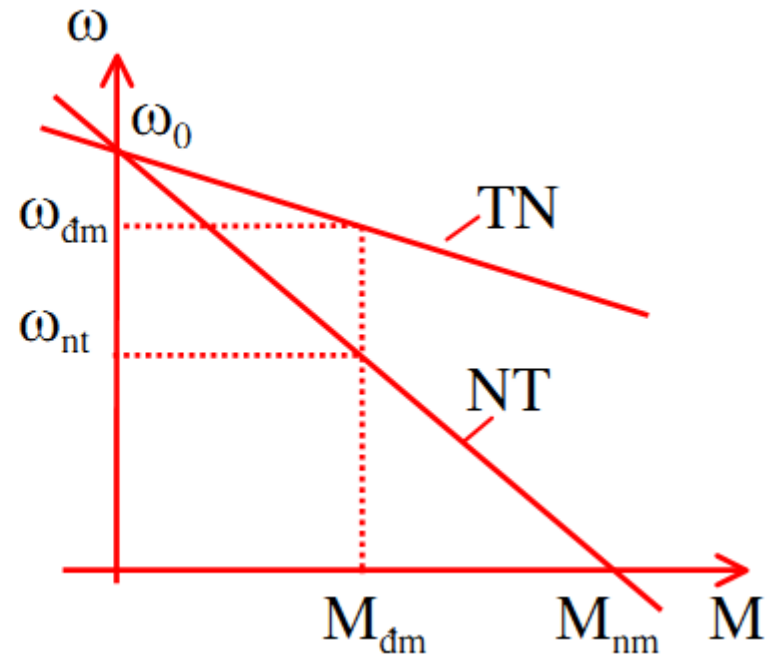
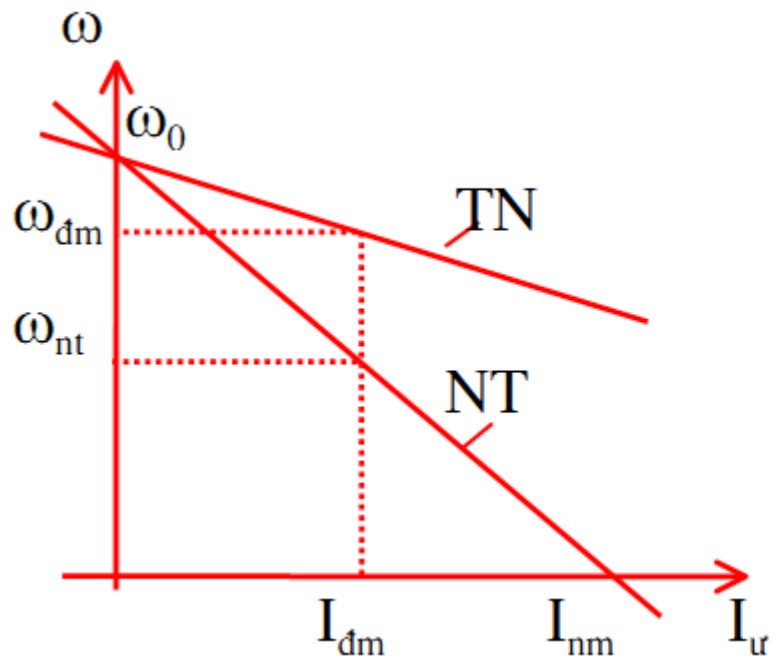
$$\omega_0 = \frac{U}{K.\phi}$$

Độ sụt tốc độ

$$\Delta\omega = \frac{R_\Sigma}{(K.\phi)^2} M$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Từ các phương trình đặc tính cơ-điện và phương trình đặc tính cơ, với giả thiết phần ứng được bù đủ và $f = \text{const}$ có thể vẽ được các đặc tính cơ-điện và đặc tính cơ là những đường thẳng



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Đặc tính cơ tự nhiên (TN): đặc tính cơ có các tham số định mức và không có điện trở phụ trong mạch phần ứng động cơ

$$\omega = \frac{U_{đm}}{K \cdot \phi_{đm}} - \frac{R_{đm}}{(K \cdot \phi_{đm})^2} M$$

Đặc tính cơ nhân tạo (NT): đặc tính cơ có một trong các tham số khác định mức hoặc có điện trở phụ trong mạch phần ứng động cơ

$$\text{Khi } \omega = 0 \rightarrow I = \frac{U}{R + R_f} = I_{nm}$$

$$M = \frac{U}{R + R_f} K \cdot \phi = I_{nm} K \cdot \phi = M_{nm}$$

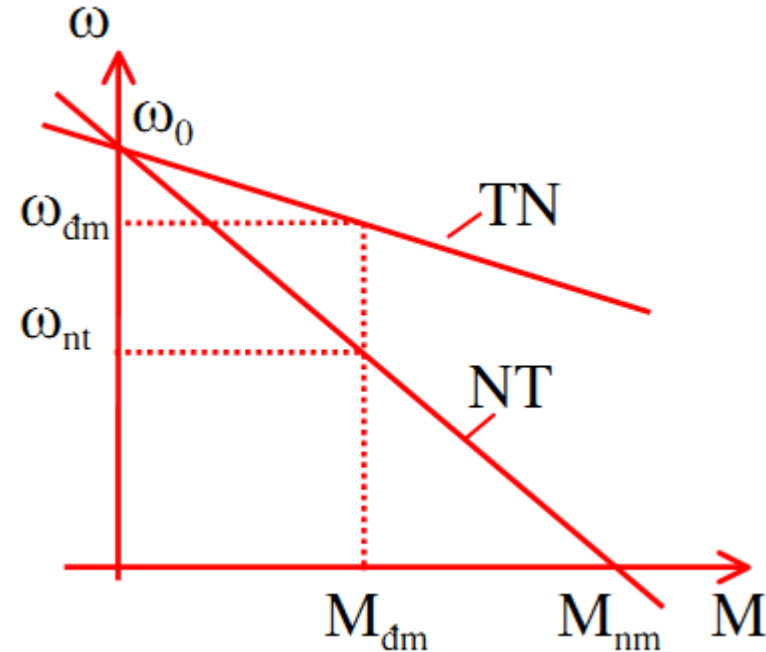
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Độ cứng đặc tính cơ

$$\beta = \frac{dM}{d\omega} = -\frac{(K.\phi)^2}{R + R_f}$$

Độ cứng đặc tính cơ tự nhiên:

$$\beta_{tn} = -\frac{(K.\phi_{đm})^2}{R} \quad \beta_{tn}^* = -\frac{1}{R^*}$$



Giá trị điện trở phần ứng có thể xác định gần đúng theo giả thiết coi tổn thất trên điện trở phần ứng do dòng điện định mức gây ra bằng một nửa tổn thất trong động cơ:

$$R = \frac{1}{2} (1 - \eta_{đm}) \frac{U_{đm}}{I_{đm}}$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Ví dụ: Xây dựng đặc tính cơ tự nhiên và nhân tạo của động cơ điện một chiều kích từ độc lập có các số liệu sau: Động cơ làm việc dài hạn, công suất định mức là 6,6KW; điện áp định mức: 220V; tốc độ định mức: 2200vòng/phút; điện trở mạch phần ứng gồm điện trở cuộn dây phần ứng và cực từ phụ: $0,26\Omega$; điện trở phụ đưa vào mạch phần ứng: $0,78\Omega$.

Giải:

a. Xây dựng đường đặc tính cơ tự nhiên

Đường đặc tính cơ tự nhiên có thể vẽ qua 2 trong số 3 điểm:

Điểm định mức [$M_{đm}; \omega_{đm}$]; Điểm không tải lý tưởng [$M = 0; \omega = \omega_0$]; Điểm ngắn mạch [$M_{nm}; \omega = 0$]

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Tốc độ góc định mức: $\omega_{đm} = \frac{n_{đm}}{9,55} = \frac{2200}{9,55} = 230,3(\text{rad/s})$

Mômen (cơ) định mức: $M_{đm} = \frac{P_{đm}}{\omega_{đm}} 1000 = \frac{6,6}{230,3} 1000 = 28,6(\text{N.m})$

Như vậy ta có điểm thứ nhất trên đặc tính cơ tự nhiên cần tìm là điểm định mức: [28,6 ; 230,3]

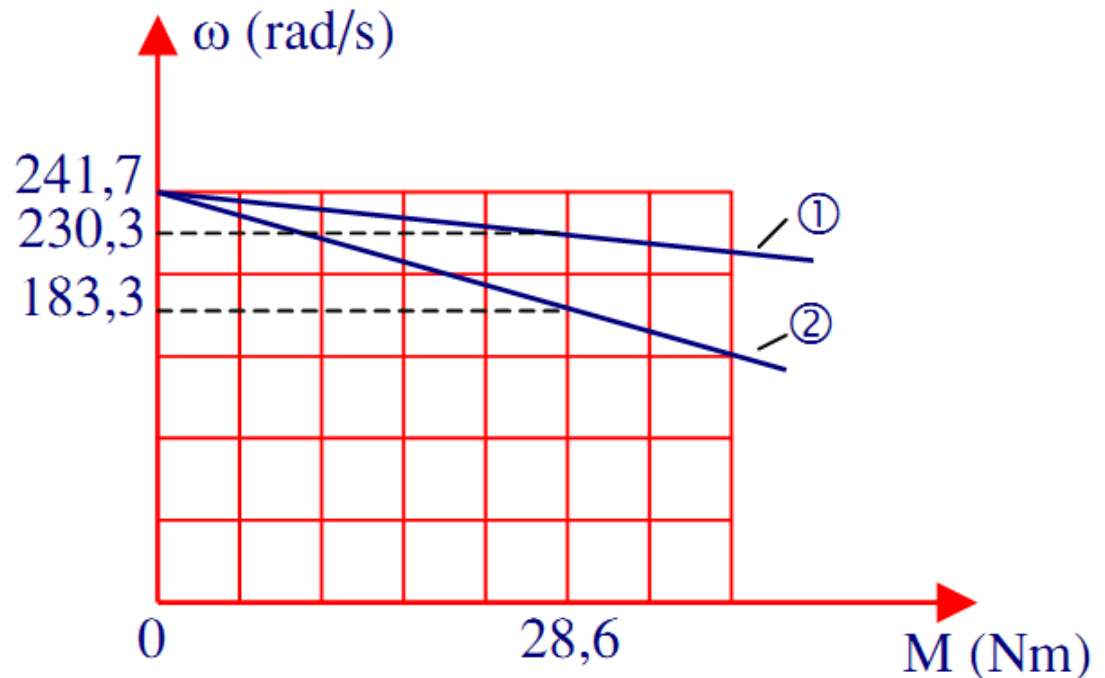
Từ phương trình đặc tính cơ tự nhiên ta tính được:

$$K.\phi_{đm} = \frac{U_{đm} - I_{đm}R}{\omega_{đm}} = \frac{220 - 35.0,26}{230,3} = 0,91(\text{Wb})$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Tốc độ không tải lý tưởng:
$$\omega_0 = \frac{U_{đm}}{K \cdot \phi_{đm}} = \frac{220}{0,91} = 241,7(\text{rad/s})$$

Ta có điểm thứ hai của đặc tính [0; 241,7] và như vậy ta có thể dựng được đường đặc tính cơ tự nhiên (đường 1)



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Ta có thể tính thêm điểm thứ ba là điểm ngắn mạch

$$M_{nm} = K \cdot \phi_{đm} I_{nm} = K \cdot \phi_{đm} \frac{U_{đm}}{R} = 0,91 \frac{220}{0,26} = 770(\text{N.m})$$

Độ cứng của đặc tính cơ tự nhiên có thể xác định theo biểu thức tổng quát hoặc xác định theo số liệu lấy trên đường đặc tính

$$|\beta_{tn}| = \frac{\Delta M}{\Delta \omega} = \left| \frac{0 - M_{đm}}{\omega_0 - \omega_{đm}} \right| = \frac{28,6}{241,7 - 230,3} = 2,5(\text{Nm.s})$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

b. Xây dựng đường đặc tính cơ nhân tạo khi điện trở phụ $R_f = 0,78\Omega$

Khi thay đổi điện trở phụ trên mạch phần ứng thì tốc độ không tải lý tưởng không thay đổi, nên ta có thể vẽ đặc tính cơ nhân tạo qua các điểm không tải lý tưởng $[0; \omega_0]$ và điểm tương ứng với tốc độ nhân tạo $[M_{đm}; \omega_{nt}]$

Tốc độ góc nhân tạo (với mô men định mức)

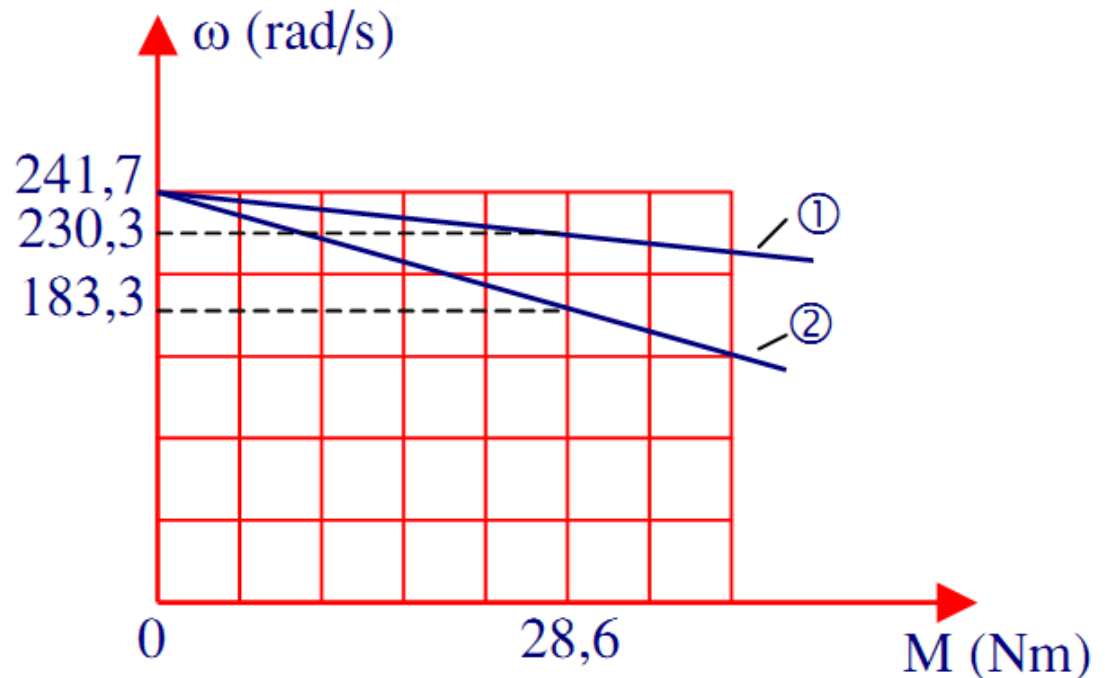
$$\omega_{đm} = \frac{U_{đm} - I_{đm}(R + R_f)}{K \cdot \phi_{đm}}$$

$$\omega_{đm} = \frac{220 - 35 \cdot (0,26 + 0,78)}{0,91} = 183,3(\text{rad/s})$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Tọa độ điểm tương ứng với tốc độ nhân tạo [28,6; 183,3]

Vậy ta có thể dựng được đường đặc tính cơ nhân tạo có điện trở phụ trong mạch phần ứng (đường 2)



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

2.1.4. Đặc tính cơ khi khởi động và tính điện trở khởi động

a. Khởi động và xây dựng đặc tính cơ khi khởi động

+ Khởi động trực tiếp:

Dòng khởi động rất lớn có thể đốt nóng động cơ, gây khó khăn cho sự chuyển mạch, hoặc sinh ra lực điện động lớn làm phá huỷ quá trình cơ học của máy.

$$I_{kđbđ} = U_{đm} / R \approx (10 - 20)I_{đm}$$

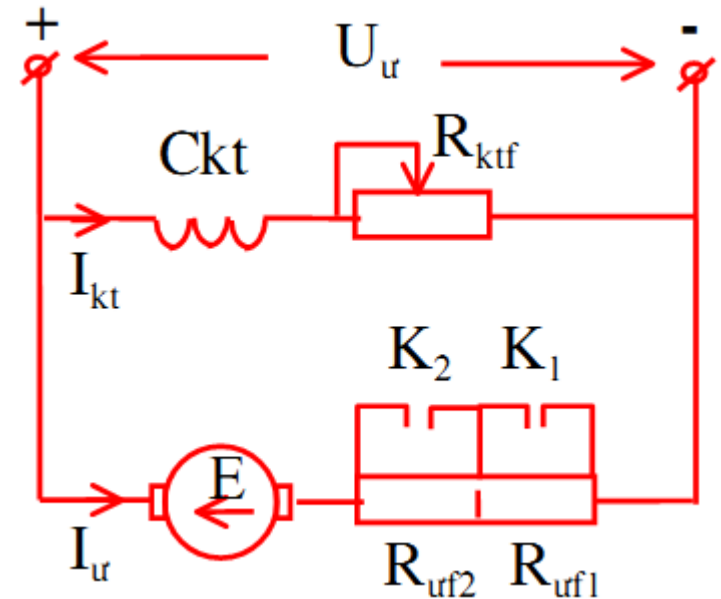
+ Điều kiện khởi động an toàn cho máy, thường chọn dòng khởi động:

$$I_{kđbđ} = I_{nm} = I_{cp} = 2,5I_{đm}$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

+ Khởi động gián tiếp:

Đưa thêm điện trở phụ vào mạch phần ứng khi bắt đầu khởi động, và sau đó thì loại dần chúng ra để đưa tốc độ động cơ lên xác lập.



$$I'_{kđđb} = I'_{nm} = \frac{U_{đm}}{R + R_f} = (2 - 2,5)I_{đm} \leq I_{cp}$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

+ Xây dựng đặc tính cơ – điện khi khởi động:

– Từ các thông số định mức ($P_{đm}$; $U_{đm}$; $I_{đm}$; $n_{đm}$, $\eta_{đm}$; ...) và thông số tải (I_c ; M_c ; P_c ; ...), số cấp khởi động m , vẽ đặc tính cơ tự nhiên.

– Xác định dòng điện khởi động lớn nhất:

$$I_{\max} = I_1 = (2 - 2,5)I_{đm}$$

– Xác định dòng điện khởi động nhỏ nhất:

$$I_{\min} = I_2 = (1,1 - 1,3)I_c$$

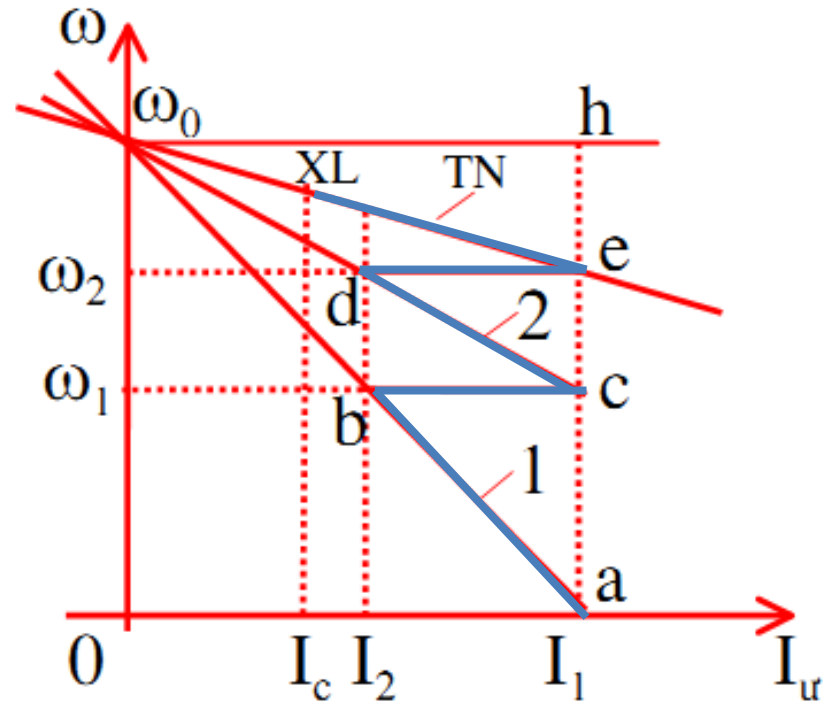
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

+ Từ điểm $a(I_1)$ kẻ đường $a\omega_0$ nó sẽ cắt $I_2 = \text{const}$ tại b .

+ Từ b kẻ đường song song với trục hoành nó cắt $I_1 = \text{const}$ tại c .

+ Nối $c\omega_0$ nó sẽ cắt $I_2 = \text{const}$ tại d .

+ Từ d kẻ đường song song với trục hoành thì nó cắt $I_1 = \text{const}$ tại e ...



Cứ như vậy cho đến khi nó gặp đường đặc tính cơ tự nhiên tại điểm giao nhau của đặc tính cơ TN và $I_1 = \text{const}$, ta sẽ có đặc tính khởi động abcde...XL.

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

b. Tính điện trở khởi động

Phương pháp đồ thị:

Dựa vào biểu thức của độ sụt tốc độ $\Delta\omega$ trên các đặc tính cơ ứng với một giá trị dòng điện (ví dụ I_1) ta có:

$$\Delta\omega_{TN} = \frac{R}{K.\phi} I_1$$

$$\Delta\omega_{NT} = \frac{R + R_f}{K.\phi} I_1$$

$$\rightarrow R_{f1} = \frac{\Delta\omega_{NT} - \Delta\omega_{TN}}{\Delta\omega_{TN}} R$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Qua đồ thị ta có:

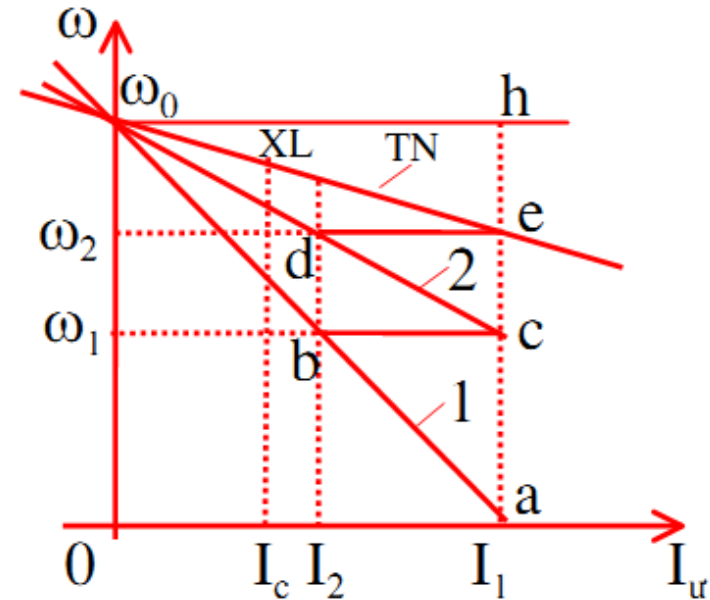
$$R_{f1} = \frac{ha - he}{he} R = \frac{ae}{he} R$$

$$R_{f2} = \frac{hc - he}{he} R = \frac{ce}{he} R$$

Điện trở phản ứng của mỗi đặc tính cơ:

$$R_1 = R + R_{f1} + R_{f2}$$

$$R_2 = R + R_{f2}$$



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Phương pháp giải tích:

Giả thiết động cơ được khởi động với m cấp điện trở phụ. Đặc tính khởi động đầu tiên và dốc nhất là đường 1, sau đó đến cấp 2, cấp 3, ... cấp m , cuối cùng là đặc tính cơ tự nhiên.

Điện trở tổng ứng với mỗi đặc tính cơ:

$$R_1 = R + R_{f(1)} = R + (R_{f1} + R_{f2} + \dots + R_{fm})$$

$$R_2 = R + R_{f(2)} = R + (R_{f1} + R_{f2} + \dots + R_{fm-1})$$

...

$$R_{m-1} = R + R_{f(m-1)} = R + (R_{fm-1} + R_{fm})$$

$$R_m = R + R_{f(m)} = R + R_{fm}$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

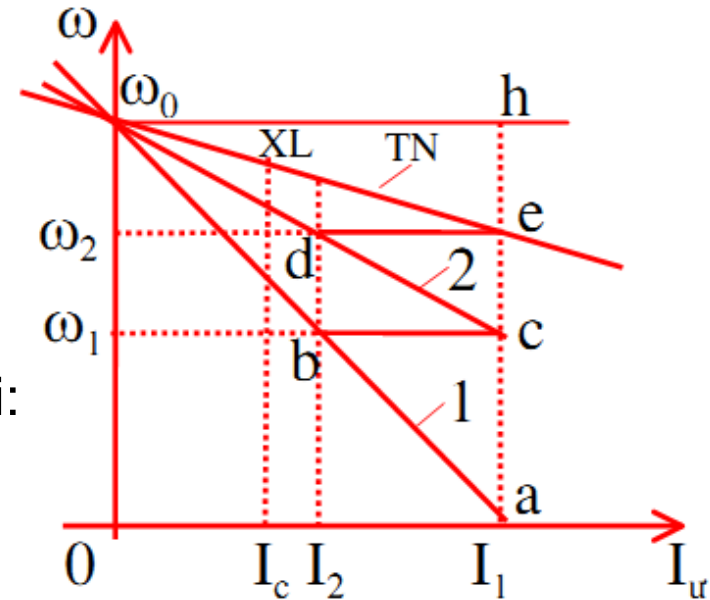
Tại các điểm b, c trên đường khởi động:

$$I_2 = \frac{U_{đm} - E_1}{R_1} \quad I_1 = \frac{U_{đm} - E_1}{R_2}$$

Lấy tỉ số các dòng điện khởi động không đổi:

$$\frac{I_1}{I_2} = \lambda = \text{const}$$

$$\lambda = \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_2}{R_3} = \dots = \frac{R_{m-1}}{R_m} = \frac{R_m}{R}$$



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Điện trở các bậc khởi động:

$$R_m = \lambda R$$
$$R_{m-1} = \lambda R_m = \lambda^2 R$$

...

$$R_2 = \lambda R_3 = \lambda^{m-1} R$$
$$R_1 = \lambda R_2 = \lambda^m R$$

Xác định qui trình khởi động:

+ Nếu biết số cấp điện trở khởi động m và R_1 , R thì ta tính được bội số dòng điện khi khởi động

$$\lambda = \sqrt[m]{\frac{R_1}{R}} = \sqrt[m]{\frac{U_{đm}}{R \cdot I_1}} = \sqrt[m+1]{\frac{U_{đm}}{R \cdot I_2}} \quad \rightarrow I_2 = \frac{I_1}{\lambda}$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Xác định qui trình khởi động:

+ Nếu biết λ , R_1 , R ta xác định được số cấp điện trở khởi động:

$$m = \frac{\log(R_1 / R)}{\log \lambda}$$

Trị số điện trở các cấp khởi động:

$$R_{f(m)} = R_m - R = (\lambda - 1)R$$

$$R_{f(m-1)} = R_{m-1} - R_m = \lambda(\lambda - 1)R$$

...

$$R_{f(2)} = R_2 - R_3 = \lambda^{m-2}(\lambda - 1)R$$

$$R_{f(1)} = R_1 - R_2 = \lambda^{m-1}(\lambda - 1)R$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Ví dụ 2-2: Cho động cơ kích từ song song: $P_{đm} = 25\text{KW}$; $U_{đm} = 220\text{V}$; $n_{đm} = 420\text{vg/ph}$; $I_{đm} = 120\text{A}$; $R^* = 0,08$ khởi động hai cấp điện trở phụ với tần suất 1lần/1ca, làm việc ba ca, mômen cản quy đổi về trục động cơ (cả trong thời gian khởi động) $M_c \approx 410\text{Nm}$. Hãy xác định các cấp điện trở phụ.

Giải:

Số liệu cần thiết của động cơ:

Điện trở định mức:
$$R_{đm} = \frac{U_{đm}}{I_{đm}} = \frac{220}{120} = 1,83(\Omega)$$

Điện trở phản ứng:
$$R = R^* R_{đm} = 0,08 \cdot 1,83 = 0,146(\Omega)$$

Tốc độ góc định mức:
$$\omega_{đm} = \frac{n_{đm}}{9,55} = \frac{420}{9,55} = 44(\text{rad/s})$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Từ thông của động cơ và hệ số kết cấu:

$$K.\phi_{đm} = \frac{U_{đm} - I_{đm}R}{\omega_{đm}} = \frac{220 - 120.0,146}{44} = 4,6(\text{Wb})$$

Dòng điện phụ tải: $I_c = \frac{M_c}{K.\phi_{đm}} = \frac{410}{4,6} = 89(\text{A}) \approx 0,74I_{đm}$

Với tần suất khởi động ít, dòng điện và mômen phụ tải nhỏ hơn định mức, nên ta coi trường hợp này thuộc loại khởi động bình thường
→ số cấp khởi động cho trước $m = 2$.

Chọn trước giá trị dòng điện I_2 theo tiêu chuẩn $I_{\min} = (1,1 - 1,3)I_c$ của dòng khởi động :

$$I_2 = 1,1.I_c = 1,1.89 = 98(\text{A})$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Bội số dòng điện khởi động:

$$\lambda = m+1 \sqrt{\frac{U_{đm}}{R.I_2}} = 2+1 \sqrt{\frac{220}{0,146.98}} = 2,5$$

Dòng điện khởi động cấp 1:

$$I_1 = \lambda.I_2 = 2,5.98 = 245(A) \approx 2I_{đm}$$

Giá trị dòng khởi động thấp hơn giá trị cho phép ($I_{max} = (2 - 2,5)I_{đm}$)
nghĩa là số liệu đã tính là hợp lý

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Cấp điện trở tổng:

$$R_1 = \lambda R = 2,5 \cdot 0,146 = 0,365(\Omega)$$

$$R_2 = \lambda R_1 = \lambda^2 R = 2,5^2 \cdot 0,146 = 0,912(\Omega)$$

Điện trở phụ của các cấp:

$$R_{f(1)} = R_1 - R = 0,365 - 0,146 = 0,219(\Omega)$$

$$R_{f(2)} = R_2 - R_{1(f)} - R = 0,912 - 0,219 - 0,146 = 0,547(\Omega)$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

2.1.5. Các đặc tính cơ khi hãm

Hãm là trạng thái mà động cơ sinh ra mômen quay ngược chiều với tốc độ, hay còn gọi là chế độ máy phát. Động cơ điện một chiều kích từ độc lập có ba trạng thái hãm

a. Hãm tái sinh

Hãm tái sinh khi tốc độ quay của động cơ lớn hơn tốc độ không tải lý tưởng ($\omega > \omega_0$).

Khi hãm tái sinh, sức điện động của động cơ lớn hơn điện áp nguồn: $E > U$, động cơ làm việc như một máy phát song song với lưới và trả năng lượng về nguồn, lúc này thì dòng hãm và mômen hãm đã đổi chiều so với chế độ động cơ

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Khi hãm tái sinh:

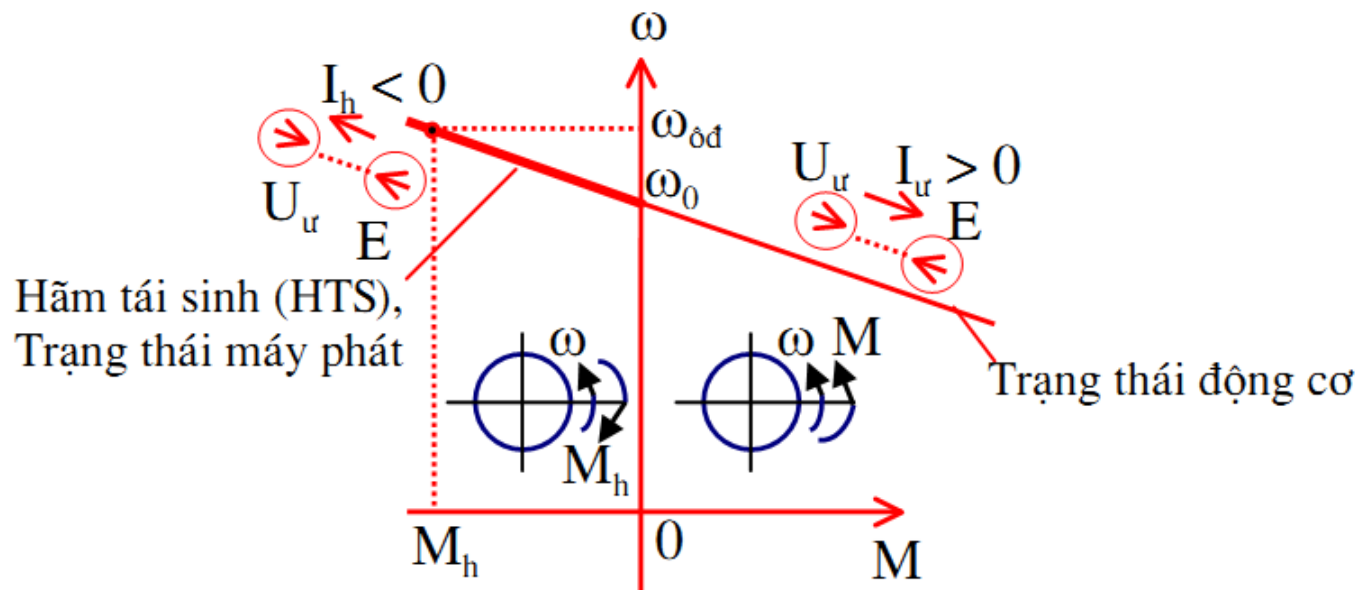
$$\left. \begin{aligned} I_h &= \frac{U - E}{R} = \frac{K.\phi.\omega_0 - K.\phi.\omega}{R} < 0 \\ M_h &= K.\phi.I_h < 0 \end{aligned} \right\}$$

Dòng điện và mô men trong hãm tái sinh đều âm

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Một số trạng thái hãm tái sinh:

+ Hãm tái sinh khi $\omega > \omega_0$: lúc này máy sản xuất như nguồn động lực quay rôto động cơ, làm cho động cơ trở thành máy phát, phát năng lượng trả về nguồn



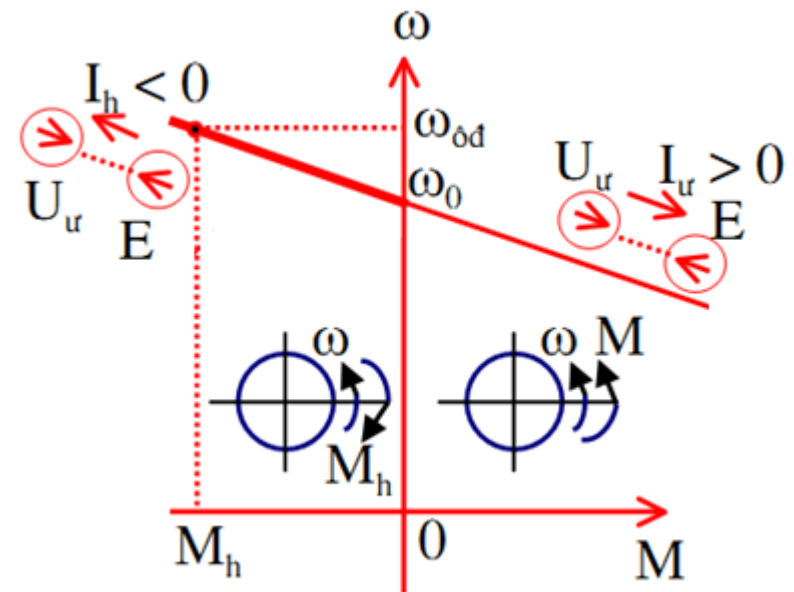
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Vì $E > U$, do đó dòng điện phần ứng sẽ thay đổi chiều so với trạng thái động cơ :

$$I = I_h = \frac{U - E}{R} < 0$$

Mômen động cơ đổi chiều ($M < 0$)
và trở nên ngược chiều với tốc độ,
trở thành mômen hãm (M_h)

$$M_h = K.\phi.I_h < 0$$



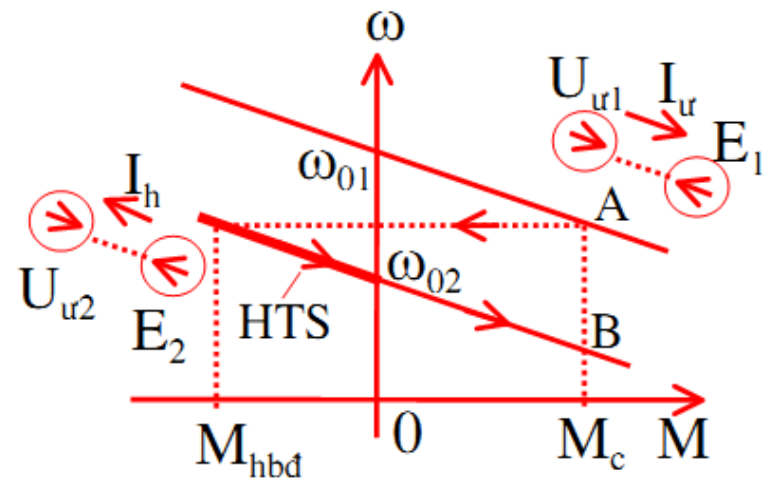
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

+ Hãm tái sinh khi giảm điện áp phần ứng ($U_2 < U_1$):

Khi điện áp nguồn giảm \rightarrow tốc độ không tải lý tưởng ω_0 giảm, mặt khác tốc độ hệ truyền động ω chưa kịp giảm \rightarrow tốc độ trục động cơ lớn hơn tốc độ không tải lý tưởng ($\omega > \omega_{02}$).

Lúc này M_c là dạng mômen thế năng ($M_c = M_{tn}$)

Về mặt năng lượng, do động năng tích lũy ở tốc độ cao lớn sẽ tuôn vào trục động cơ làm cho động cơ trở thành máy phát, phát năng lượng trả lại nguồn (hay còn gọi là hãm tái sinh)



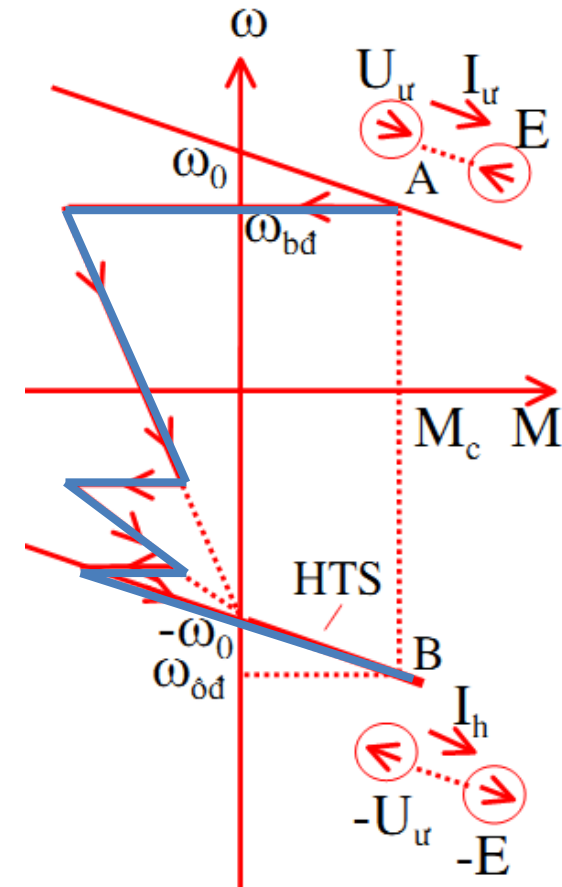
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

+ Hãm tái sinh khi đảo chiều điện áp phần ứng (+U \rightarrow - U):

M_c – có dạng mômen thế năng ($M_c = M_{tn}$).

Đảo chiều điện áp phần ứng \rightarrow đảo chiều tốc độ + $\omega_0 \rightarrow -\omega_0$, động cơ sẽ dần chuyển sang đường đặc tính - U, và sẽ làm việc tại điểm B ($|\omega_B| > |\omega_0|$).

Về mặt năng lượng, do thế năng tích lũy ở trên cao lớn sẽ tuôn vào động cơ, làm cho động cơ trở thành máy phát, phát năng lượng trả lại nguồn

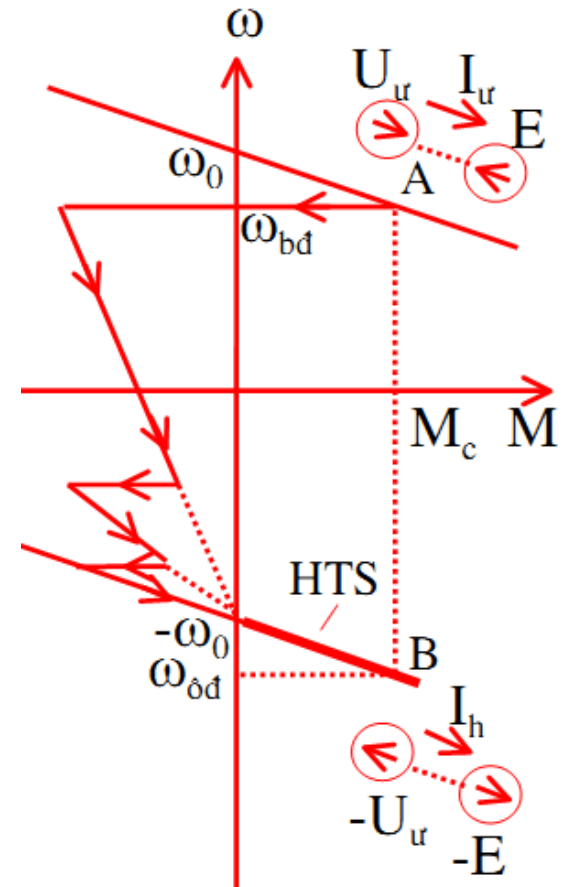


CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Trong thực tế, cơ cấu nâng hạ của cầu trục, thang máy hoạt động ở hai chế độ: động cơ và hãm đảo chiều:

+ Khi nâng tải, động cơ truyền động làm việc ở chế độ động cơ (điểm A).

+ Khi hạ tải thì động cơ làm việc ở chế độ máy phát (điểm B).



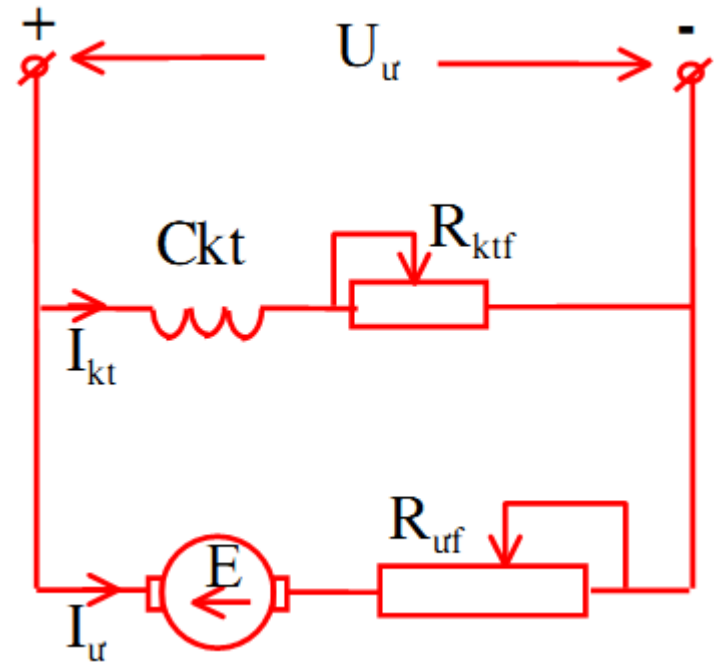
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

b. Hãm ngược

Hãm ngược là khi mômen hãm của động cơ ngược chiều với tốc độ quay ($M \uparrow \downarrow \omega$). Hãm ngược có hai trường hợp:

– *Đưa điện trở phụ lớn vào mạch phần ứng:*

Động cơ đang làm việc ở điểm làm việc, đưa thêm R_{uf} lớn vào mạch phần ứng.

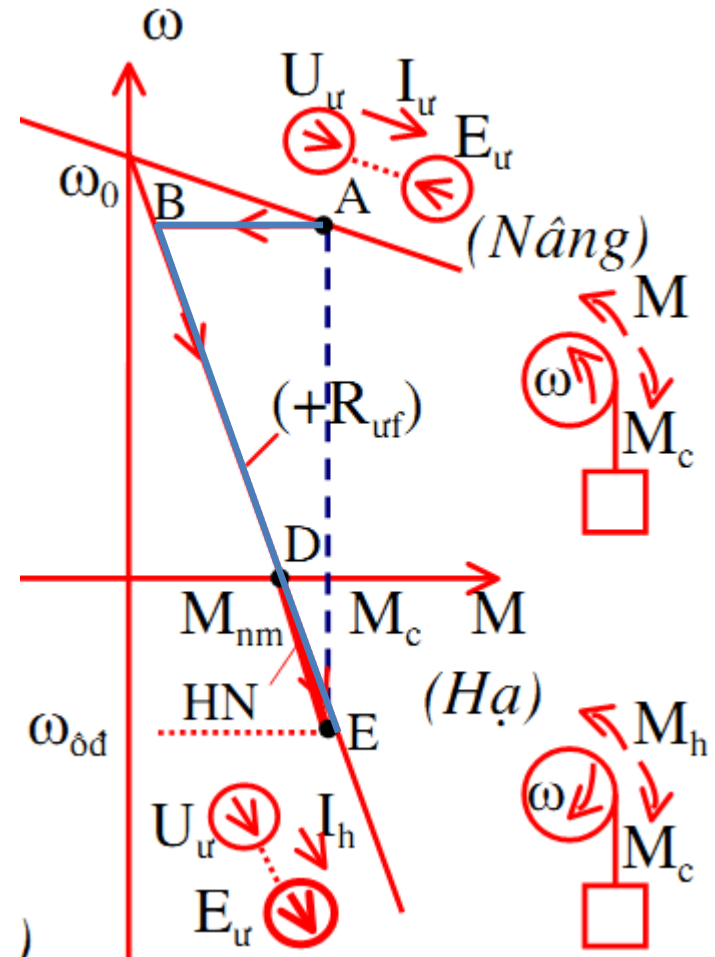


CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

– Đưa điện trở phụ lớn vào mạch phần ứng:

Động cơ đang làm việc ở điểm A, đưa thêm R_{uf} lớn vào mạch phần ứng thì động cơ sẽ chuyển sang điểm B, D và làm việc ổn định ở điểm E ($\omega_{\text{ổđ}} = \omega_E$ và $\omega_{\text{ổđ}} \uparrow \downarrow \omega_A$)

Trên đặc tính đoạn DE là đoạn hãm ngược, động cơ làm việc như một máy phát nối tiếp với lưới điện, lúc này sức điện động của động cơ đảo dấu.

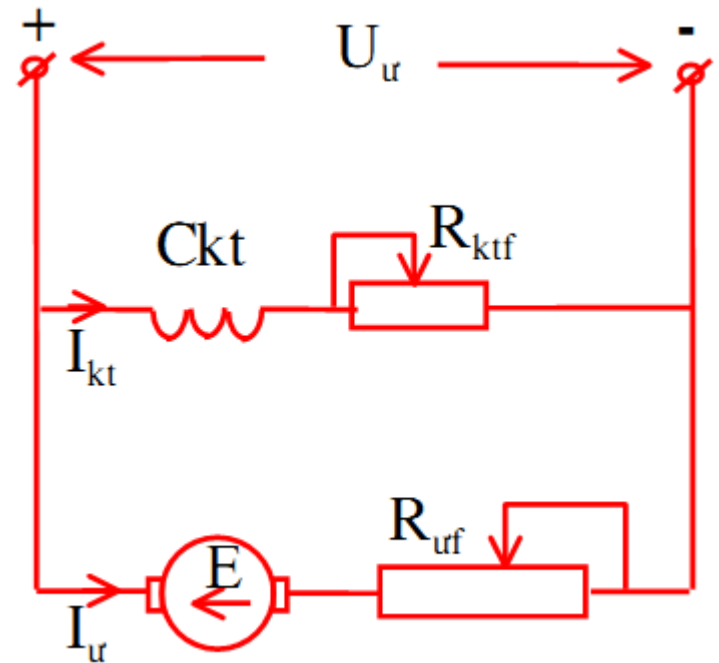


CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Dòng điện và mô men trong hãm ngược:

$$I_h = \frac{U + E}{R + R_f} = \frac{U + K.\phi.\omega}{R + R_f}$$

$$M_h = K.\phi.I_h$$



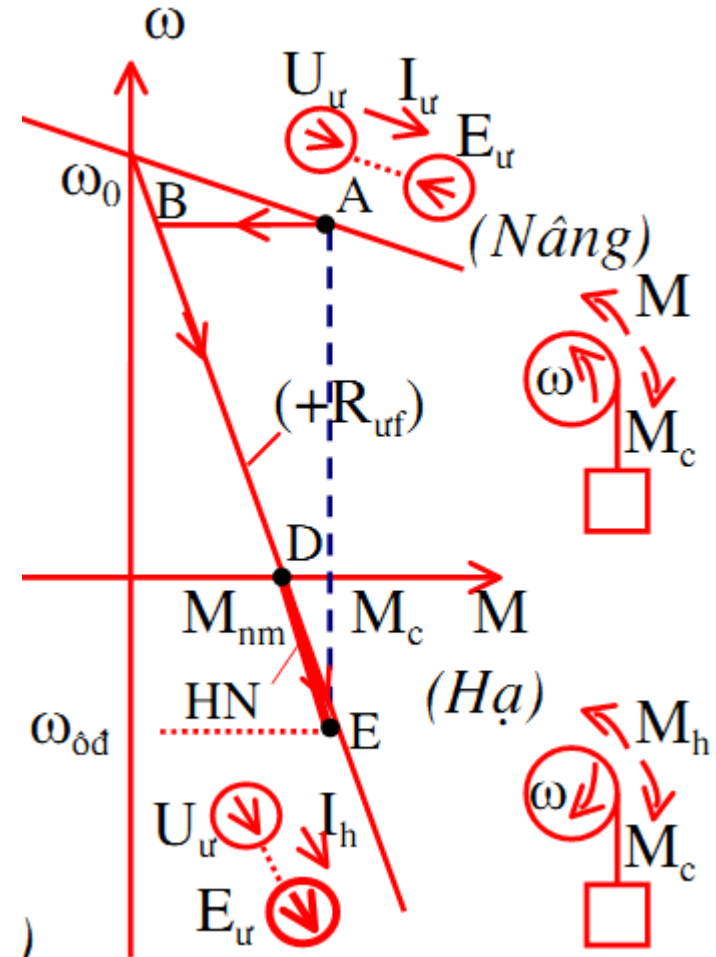
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Tại thời điểm chuyển đổi mạch điện phần ứng mômen động cơ nhỏ hơn mômen cản ($M_B < M_C$) \rightarrow tốc độ động cơ giảm.

Khi $\omega = 0$, động cơ ở chế độ ngắn mạch (điểm D trên đặc tính có R_{uf}) nhưng mômen của nó vẫn nhỏ hơn mômen cản: $M_{nm} < M_C$;

Do đó mômen cản của tải trọng sẽ kéo trục động cơ quay ngược và tải trọng sẽ hạ xuống, ($\omega < 0$, đoạn DE).

Tại điểm E, động cơ quay theo chiều hạ tải trọng, trường hợp này sự chuyển động của hệ được thực hiện nhờ thế năng của tải.

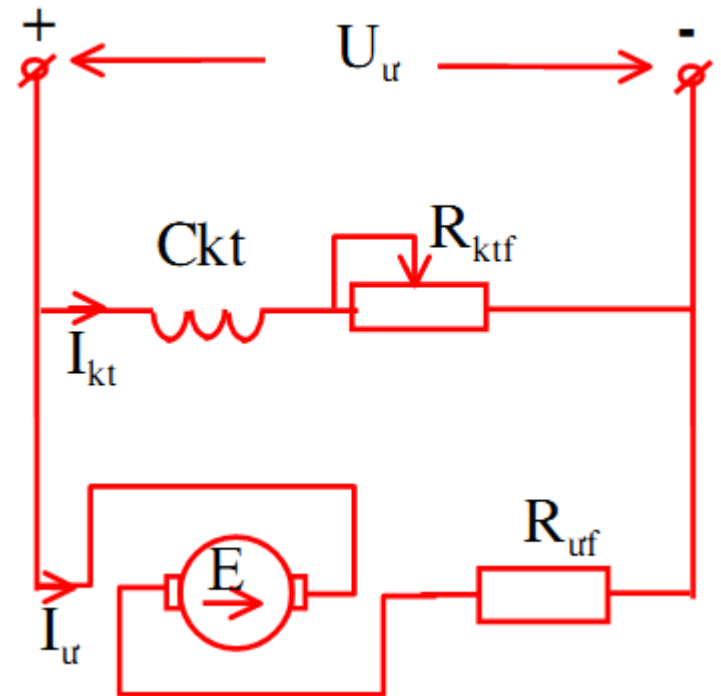


CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Hãm ngược bằng cách đảo chiều điện áp phần ứng:

Động cơ đang làm việc, đổi chiều điện áp phần ứng (vì dòng đảo chiều lớn nên phải thêm điện trở phụ vào để hạn chế).

Sơ đồ mạch hãm ngược



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

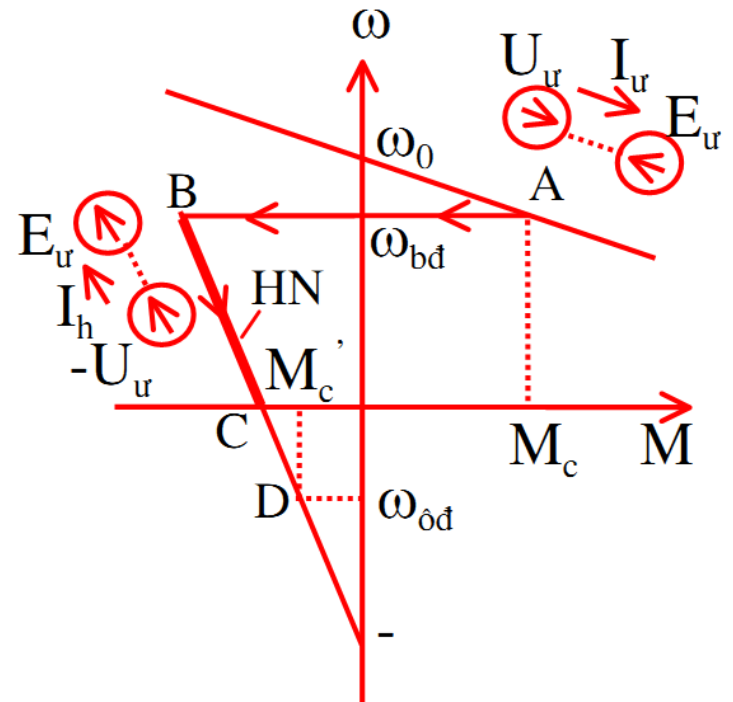
Khi đổi chiều điện áp phần ứng, động cơ từ điểm làm việc A (chế độ động cơ) sang điểm B (chế độ hãm), điểm C và xác lập ở D nếu phụ tải ma sát.

Đoạn BC là đoạn hãm ngược, lúc này dòng hãm và mômen hãm của động cơ:

$$I_h = \frac{-U - E}{R + R_f} = \frac{-U - K.\phi.\omega}{R + R_f} < 0$$

$$M_h = K.\phi.I_h < 0$$

Phương trình đặc tính cơ
$$\omega = \frac{-U}{K.\phi} + \frac{R + R_f}{(K.\phi)^2} M$$



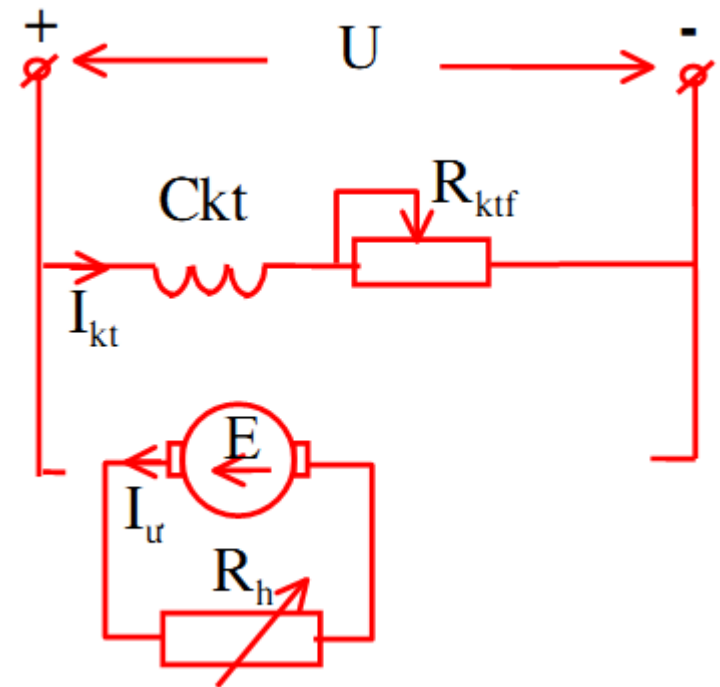
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

c. Hãm động năng: (cho $U = 0$)

Hãm động năng kích từ độc lập:

Động cơ đang làm việc với lưới điện (điểm A), thực hiện cắt phần ứng động cơ ra khỏi lưới điện và đóng vào một điện trở hãm R_h ,

Do động năng tích lũy trong động cơ, cho nên động cơ vẫn quay và nó làm việc như một máy phát biến cơ năng thành nhiệt năng trên điện trở hãm và điện trở phần ứng.



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Phương trình đặc tính cơ khi hãm động năng:

$$\omega = -\frac{R + R_h}{(K.\phi)^2} M$$

Tại thời điểm hãm ban đầu, tốc độ hãm ban đầu là $\omega_{hđ}$ nên sức điện động ban đầu, dòng hãm ban đầu và mômen hãm ban đầu:

$$E_{hđ} = K.\phi.\omega_{hđ}$$

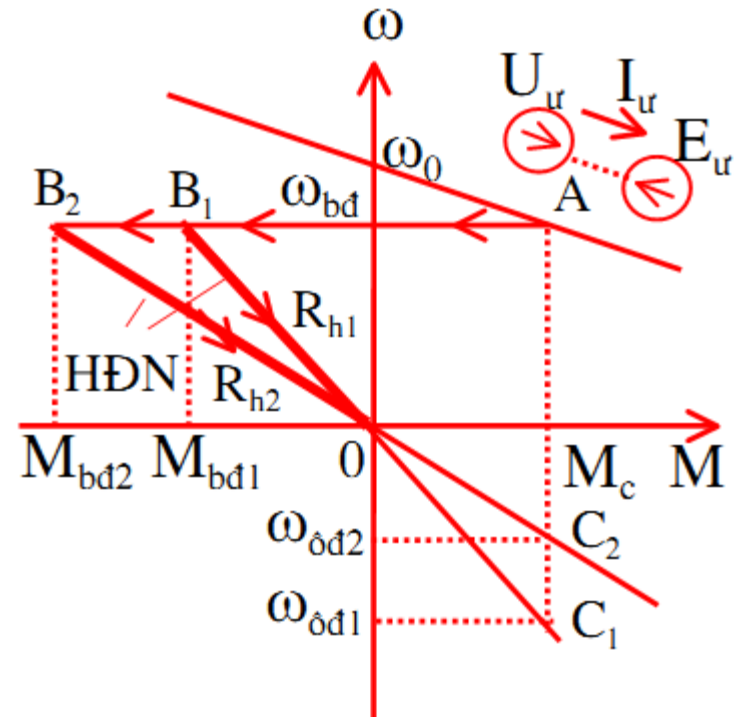
$$I_h = -\frac{E}{R + R_h} = -\frac{K.\phi.\omega_{hđ}}{R + R_f} < 0$$

$$M_{hđ} = K.\phi.I_{hđ} < 0$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Trên đồ thị đặc tính cơ hãm động năng ta thấy rằng nếu mômen cản là phản kháng thì động cơ sẽ dừng hẳn (các đoạn B_{10} hoặc B_{20}).

Nếu mômen cản là thế năng thì dưới tác dụng của tải sẽ kéo động cơ quay theo chiều ngược lại tại các điểm C_1 và C_2 ($\omega_{\text{ôđ1}}$ hoặc $\omega_{\text{ôđ2}}$)

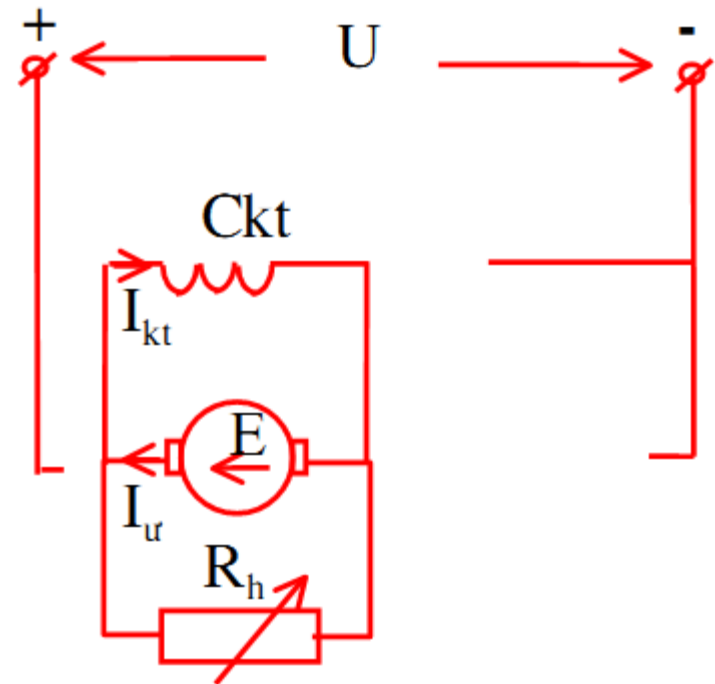


CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Hãm động năng tự kích từ :

Động cơ đang làm việc với lưới điện (điểm A), thực hiện cắt cả phần ứng và kích từ của động cơ ra khỏi lưới điện và đóng vào một điện trở hãm R_h .

Do động năng tích lũy trong động cơ, cho nên động cơ vẫn quay và nó làm việc như một máy phát tự kích biến cơ năng thành nhiệt năng trên các điện trở.



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

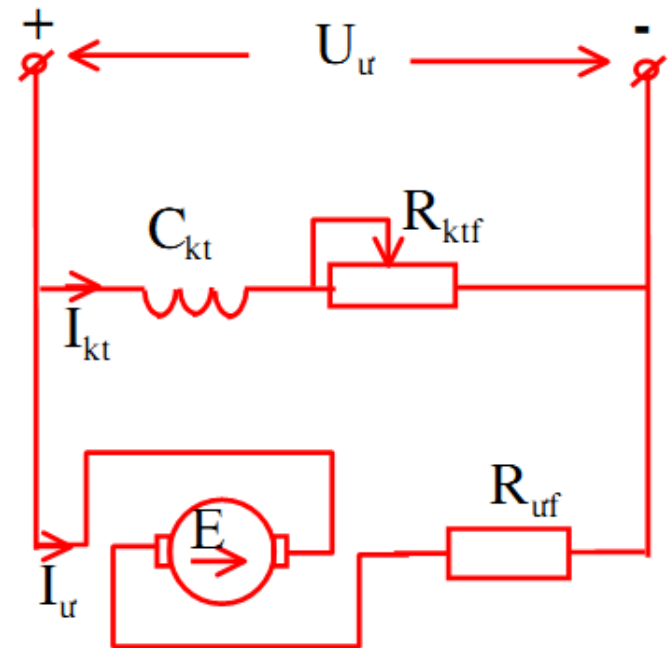
2.1.6. Các đặc tính cơ khi đảo chiều

Để đảo chiều động cơ, ta có thể đảo chiều điện áp phần ứng hoặc đảo chiều từ thông kích từ động cơ.

Thực tế thường áp dụng phương pháp đảo chiều điện áp phần ứng.

Khi đảo chiều điện áp dòng I_{ur} tăng mạnh do sốđ E và điện áp U_{ur} cùng chiều nên phải thêm vào mạch phần ứng.

Khi đảo chiều điện áp phần ứng thì ω_0 đảo dấu, còn $\Delta\omega$ không đảo dấu.



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Giả thiết động cơ ở điểm làm việc (điểm A) theo chiều quay thuận trên đặc tính cơ tự nhiên thuận với tải M_c , tốc độ tương ứng ω_A .

Biểu thức đặc tính cơ theo chiều thuận:

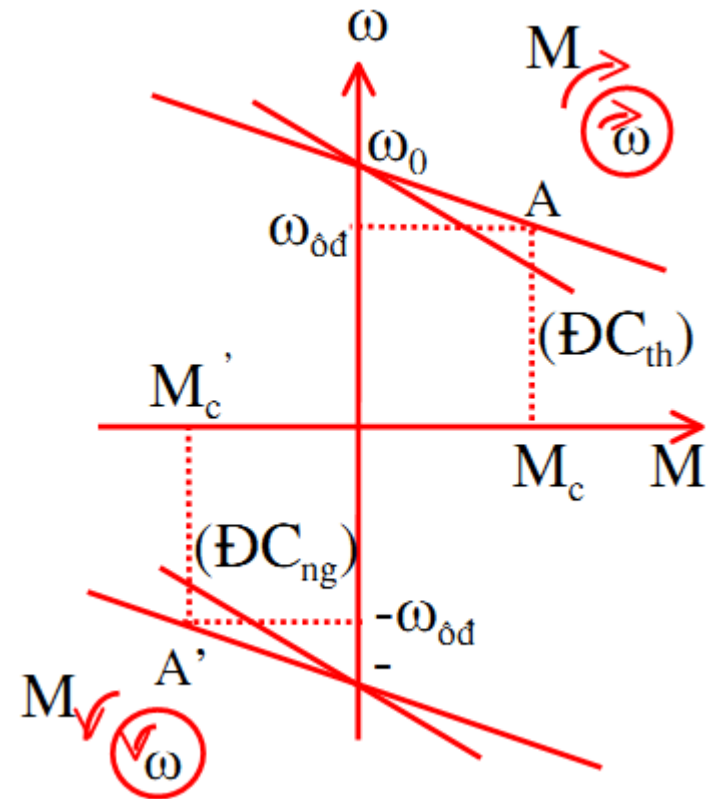
$$\omega = \frac{U_{đm}}{K \cdot \phi_{đm}} - \frac{R}{(K \cdot \phi_{đm})^2} M$$

Biểu thức đặc tính cơ theo chiều ngược:

$$\omega = \frac{-U}{K \cdot \phi(I)} - \frac{R + R_f}{[K \cdot \phi(I)]^2} M$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Động cơ quay ngược chiều tương ứng với điểm A' trên đặc tính cơ tự nhiên bên ngược, hoặc trên đặc tính cơ nhân tạo.



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Ví dụ 2-3:

Động cơ làm việc dài hạn, $P_{\text{đm}} = 6,6\text{KW}$; $U_{\text{đm}} = 220\text{V}$; $n_{\text{đm}} = 2200$ vòng/phút; điện trở mạch phản ứng gồm điện trở cuộn dây phản ứng và cực từ phụ: $0,26\Omega$. Trước khi hãm động cơ làm ở điểm định mức $A(M = M_{\text{đm}}, \omega = \omega_{\text{đm}})$.

Hãy xác định trị số điện trở hãm đầu vào mạch phản ứng động cơ để hãm động năng kích từ độc lập với yêu cầu mômen hãm lớn nhất $M_{h.\text{max}} = 2M_{\text{đm}}$. Sử dụng sơ đồ hãm động năng kích từ độc lập.

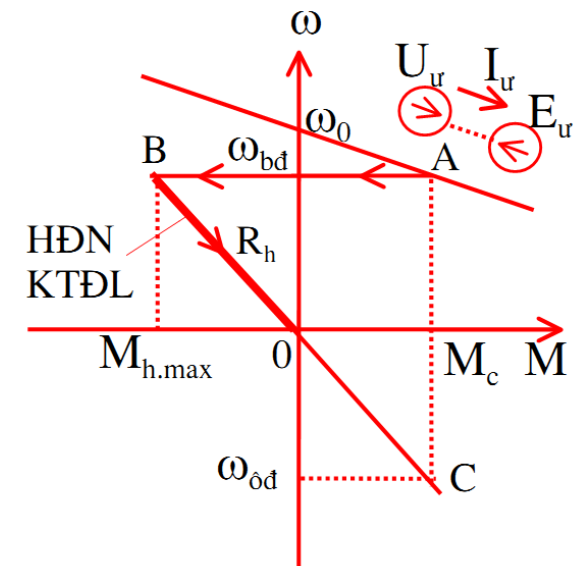
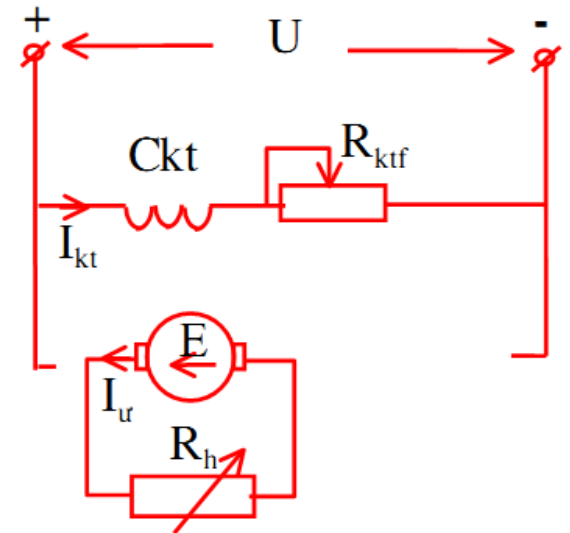
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Giải:

Sử dụng sơ đồ hãm động năng kích từ độc lập, khi đó đảm bảo từ thông động cơ trong quá trình hãm là không đổi:

$$\phi = \phi_{đm}$$

Đặc tính cơ của động cơ trước khi hãm là đặc tính cơ tự nhiên, và khi chuyển sang đặc tính cơ hãm động năng kích từ độc lập (đoạn B0



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Mô men và dòng điện hãm lớn nhất: $M_{\max} = M_{h.bđ}$

$$I_{\max} = I_{h.bđ}$$

Vì $\phi = \phi_{đm}$ nên mômen động cơ tỉ lệ thuận với dòng điện động cơ khi hãm, do đó để đảm bảo điều kiện $M_{h.\max} = 2M_{đm}$ thì:

$$I_{h.\max} = 2I_{đm} = 2.35 = 70A$$

Điện trở tổng trong mạch phản ứng động cơ:

$$R_{\Sigma} = \left| \frac{K.\phi.\omega}{I} \right| = \left| \frac{K.\phi.\omega_A}{I_{h.bđ}} \right| = \left| \frac{E_A}{I_{h.bđ}} \right| = \frac{210,9}{70} = 3,01\Omega$$

Vậy điện trở hãm phải đấu vào phần ứng động cơ khi hãm động năng kích từ độc lập

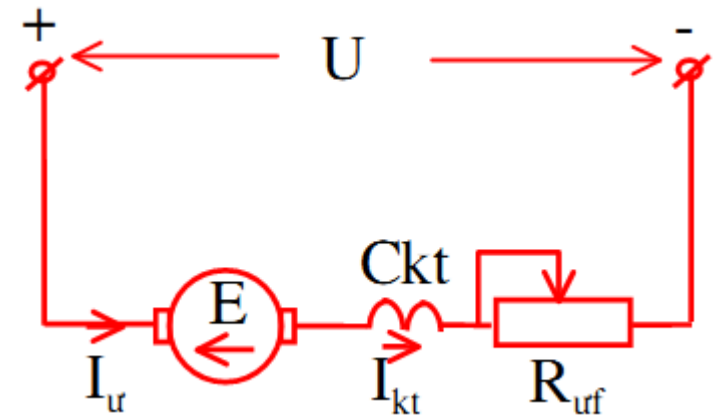
$$R_h = R_{\Sigma} - R = 3,01 - 0,26 = 2,75\Omega$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

2.2. ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU KÍCH TỪ NỐI TIẾP VÀ HỖN HỢP

2.2.1. Sơ đồ nối dây của động cơ kích từ nối tiếp

Động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp có sơ đồ mạch kích từ nối tiếp mạch phần ứng và được nguồn một chiều cấp chung cho cả hai mạch.



Từ sơ đồ nguyên lý ta thấy dòng kích từ chính là dòng phần ứng, nên từ thông của động cơ phụ thuộc vào dòng phần ứng và phụ tải của động cơ.

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Theo sơ đồ mạch, có thể viết phương trình cân bằng điện áp của mạch phần ứng:

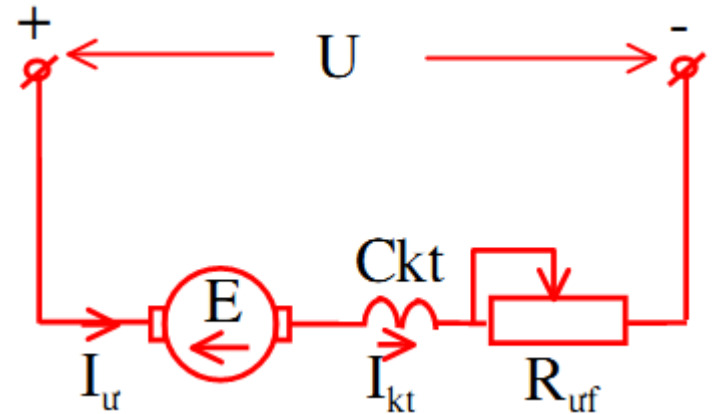
$$U = E + R.I = K\phi\omega + R.I$$

$$\text{Với } R = R_u + R_{kt} + R_{uf}$$

Phương trình đặc tính cơ của loại động cơ này:

$$\omega = \frac{U}{K\phi} - \frac{R + R_f}{K\phi} I$$

$$\omega = \frac{U}{K\phi} - \frac{R + R_f}{(K\phi)^2} M$$

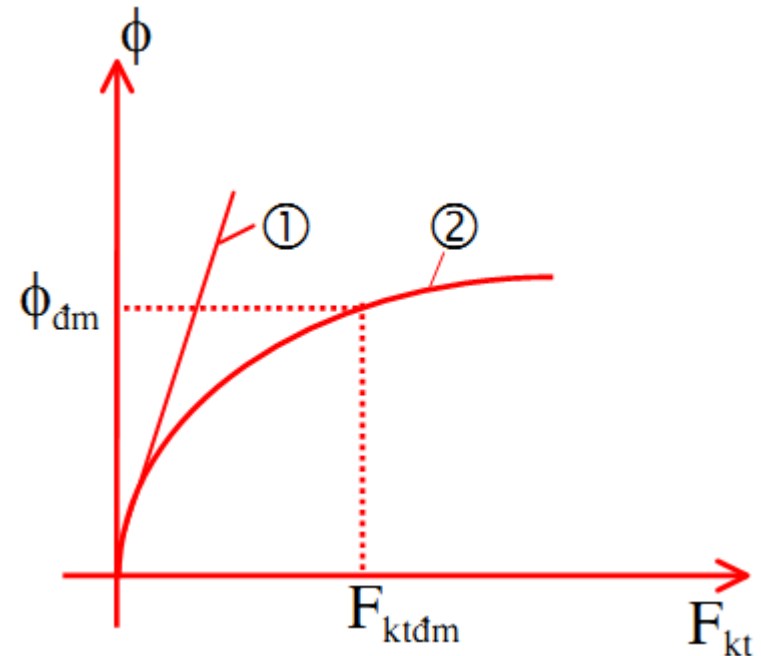


CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Từ thông ϕ phụ thuộc vào dòng kích từ I_{kt} theo đặc tính từ hoá (đường 2) chính là quan hệ giữa từ thông ϕ với sức từ động kích từ F_{kt} của động cơ.

$$F_{kt} = I_{kt} \cdot W_{kt}$$

Khi cho dòng kích từ định mức thì từ thông động cơ sẽ đạt định mức.



Để đơn giản hoá khi thành lập phương trình đặc tính cơ, ta coi mạch từ của động cơ là chưa bão hoà, quan hệ giữa từ thông với dòng kích từ là tuyến tính (đường 1)

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Từ thông của động cơ $\phi = C.I_{kt}$ với C – hệ số tỉ lệ

Bỏ qua phản ứng phần ứng, ta có: $\phi = C.I_{kt} = C.I$

Thế biểu thức từ thông vào phương trình đặc tính cơ:

$$\omega = \frac{U}{K\phi} - \frac{R + R_f}{K\phi} I = \frac{U}{K.C.I} - \frac{R}{K.C} = \frac{A_1}{I} - B$$

$$A_1 = \frac{U}{K.C} = \text{const} \quad B = \frac{R}{K.C} = \text{const}$$

$$M = K\phi.I = K.C.I^2 \rightarrow I = \sqrt{\frac{M}{K.C}}$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Thế biểu thức từ thông vào phương trình đặc tính cơ:

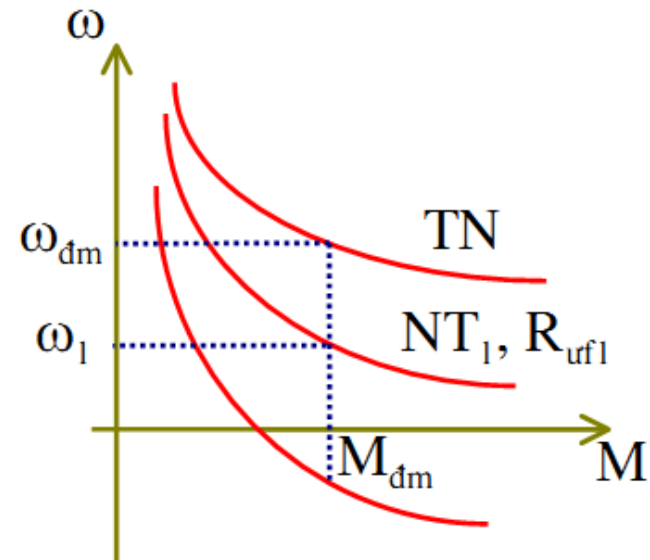
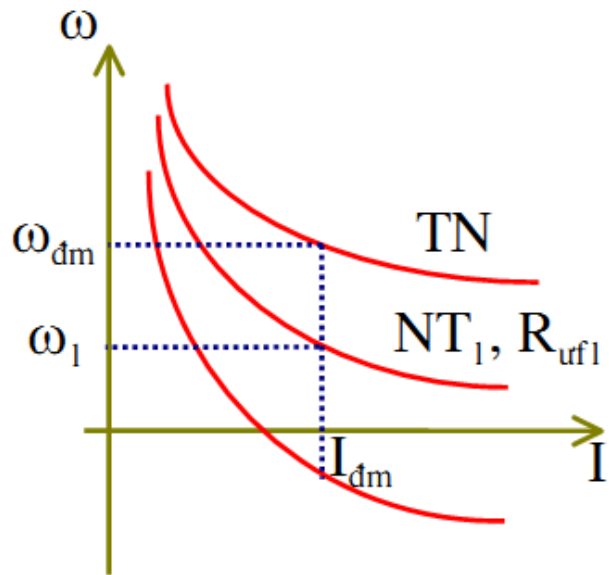
$$\omega = \frac{A_1}{I} - B = \frac{A_1 \sqrt{KC}}{\sqrt{M}} - \frac{R}{KC} = \frac{A_2}{\sqrt{M}} - B$$

$$A_2 = A_1 \sqrt{KC} = \text{const}$$

Qua phương trình đặc tính cơ, ta thấy đặc tính cơ–điện và đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ nối tiếp có dạng hyperbol và rất mềm và tốc độ không tải lý tưởng bằng vô cùng.

Thực tế không có tốc độ không tải lý tưởng đối với động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp.

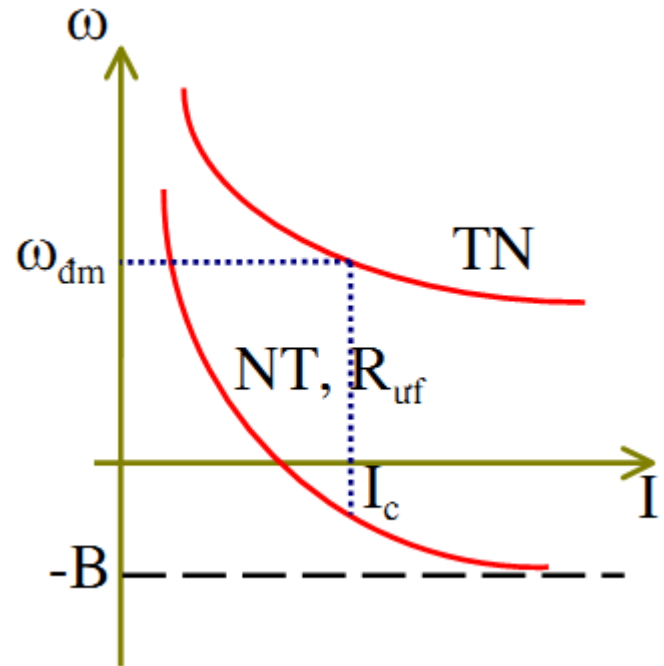
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Đường đặc tính cơ–điện:

- Độ cứng mềm.
- Dạng đường hypebol
- Có hai đường tiệm cận



+ Khi $I \rightarrow 0, \omega \rightarrow \infty$: Tiệm cận trục tung.

+ Khi $\omega \rightarrow -B, I \rightarrow \infty$: Tiệm cận đường $\omega = -B = -(R_\Sigma)/K.C$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

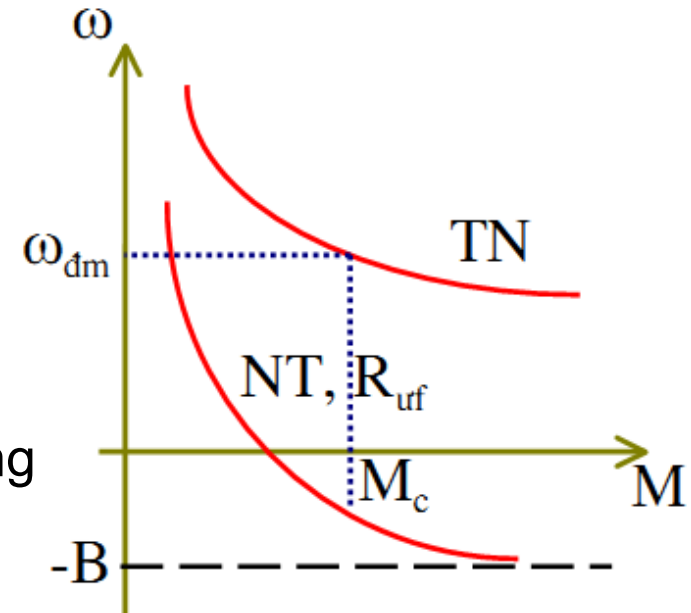
Đường đặc tính cơ:

Có dạng tương tự đặc tính cơ–điện
và cũng có hai đường tiệm cận

+ Khi $M \rightarrow 0, \omega \rightarrow \infty$: Tiệm cận trục tung

+ Khi $\omega \rightarrow -B, M \rightarrow \infty$: Tiệm cận đường

$$\omega = -B = -(R_{\Sigma})/K.C$$



Đặc tính cơ tự nhiên thì $R_{uf} = 0$, nên ta có hai đường tiệm cận ứng với:

+ Khi $M \rightarrow 0, \omega \rightarrow \infty$: Tiệm cận trục tung.

+ Khi $\omega \rightarrow -B(tn), M \rightarrow \infty$: Tiệm cận đường $\omega = -B(tn) = -(R_{\Sigma})/K.C$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

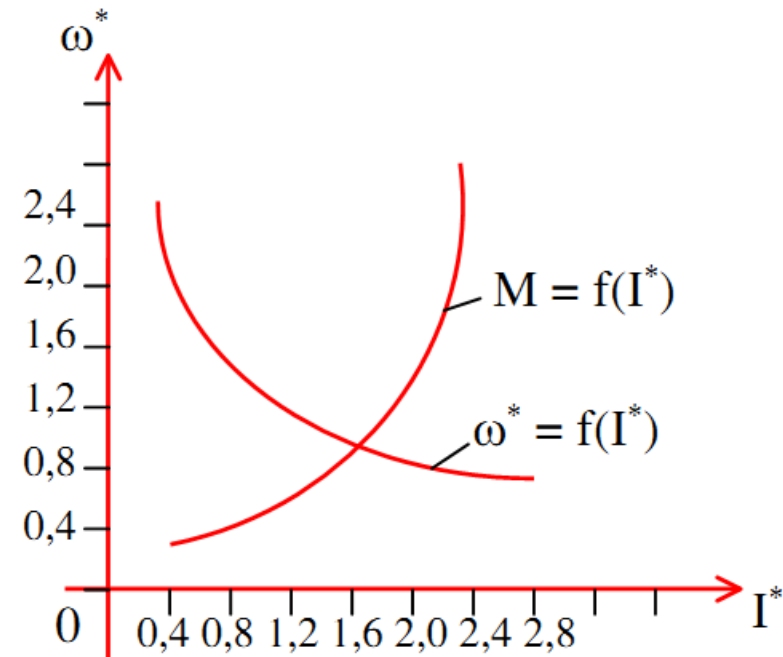
2.2.2. Đặc tính vận năng của động cơ một chiều kích từ nối tiếp

Phương trình đặc tính cơ–điện và đặc tính cơ được lập với giả thiết đặc tính từ hoá $\phi = f(I)$ tuyến tính.

Thực tế quan hệ $\phi = f(I)$ là phi tuyến nên việc viết phương trình và vẽ các đặc tính cơ rất khó khăn.

Vì vậy nhà chế tạo động cơ thường cho trước các đường cong thực nghiệm: $\omega^* = f(I^*)$ và $M^* = f(I^*)$

khi không có điện trở phụ, và gọi là đặc tính vận năng của động cơ một chiều kích từ nối tiếp



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

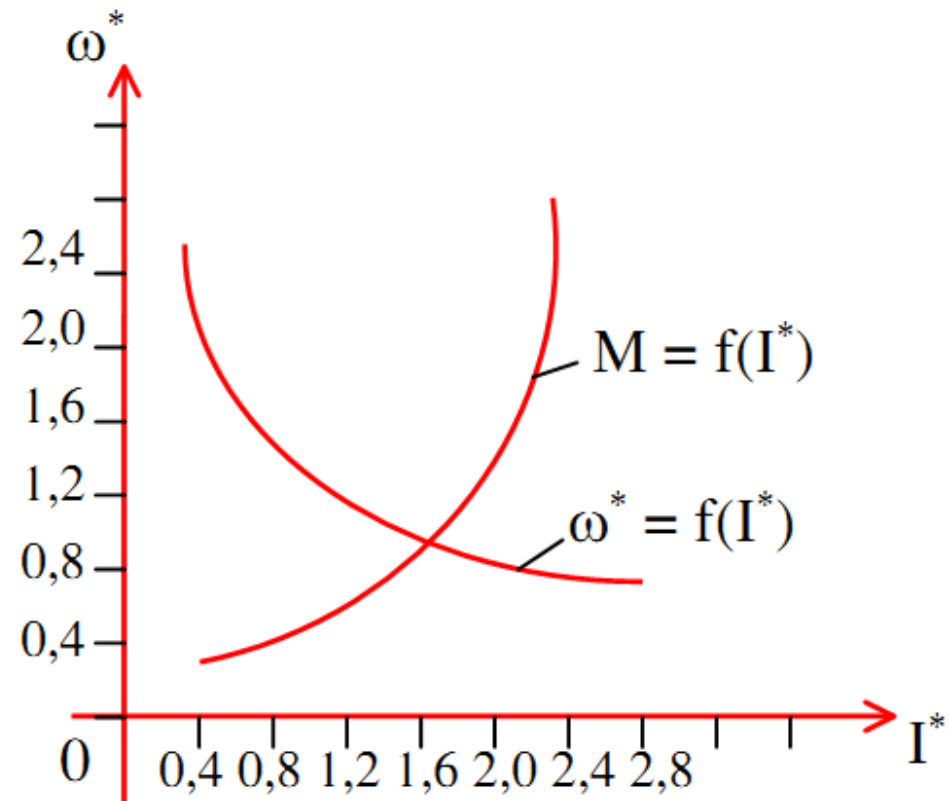
Các đặc tính này cho theo đơn vị tương đối:

$$\omega^* = \omega / \omega_{đm}$$

$$I^* = I / I_{đm}$$

$$M^* = M / M_{đm}$$

Dùng chung cho các loại động cơ trong dãy công suất có cùng tiêu chuẩn thiết kế.



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Cách xây dựng đặc tính cơ–điện và đặc tính cơ tự nhiên

Đối với động cơ đã cho, ta chỉ cần lấy giá trị $\omega_{đm}$ nhân vào trục tung và lấy $I_{đm}$ nhân vào trục hoành, ta sẽ được đặc tính cơ–điện tự nhiên $\omega = f(I)$ của động cơ đó.

Mặt khác, từ giá trị I^* tra theo đường $M^* = f(I^*)$ ta được giá trị M^* tương ứng. Nhân giá trị M^* đó với $M_{đm}$ của động cơ đã cho ta được M . Như vậy, từ đặc tính cơ điện tự nhiên và đường đặc tính vạn năng $M^* = f(I^*)$ ta sẽ được đặc tính cơ tự nhiên $\omega = f(M)$.

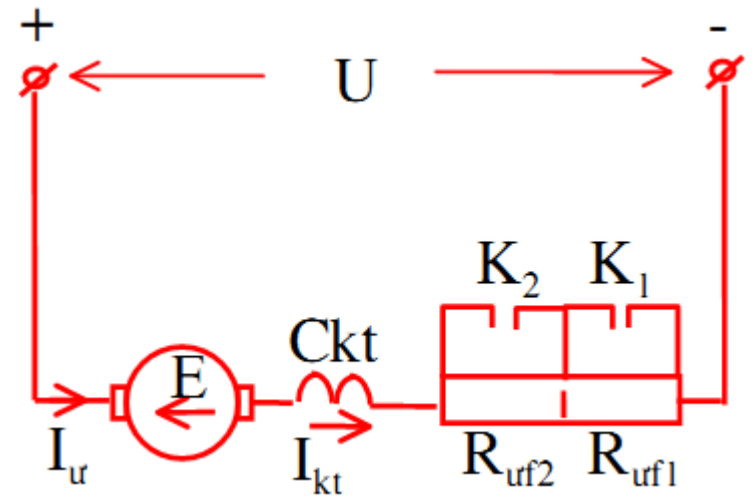
Ngoài ra có thể vẽ đặc tính cơ nhân tạo (dùng thêm điện trở phụ trong mạch phần ứng) khi sử dụng các đặc tính vạn năng và đặc tính cơ tự nhiên

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

2.2.3. Đặc tính cơ khi khởi động

Để hạn chế dòng khởi động, áp dụng biện pháp thêm điện trở phụ vào mạch phần ứng khi bắt đầu khởi động, và sau đó thì loại dần để đưa tốc độ động cơ lên xác lập.

Dòng điện khởi động bắt đầu được chọn từ tiêu chuẩn bội số khởi động từ đó xác định được điện trở phụ khởi động



$$I'_{bđ.kđ} = I'_{nm} = \frac{U_{đm}}{R + R_f} = (2 \div 2,5) I_{đm}$$

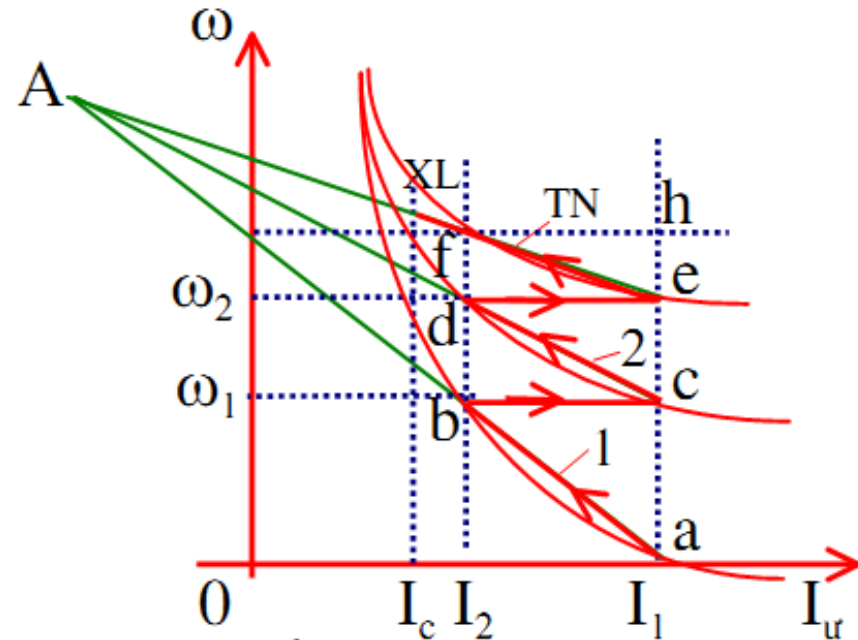
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

a) Xây dựng các đặc tính cơ khi khởi động

Bước 1: Dựa vào các thông số của động cơ và đặc tính vận năng, vẽ đặc tính cơ tự nhiên.

Bước 2: Chọn dòng điện giới hạn $I_1 = (2 - 2,5)I_{dm}$ và tính điện trở tổng của mạch phần ứng khi khởi động $R_{\Sigma} = U_{dm}/I_1$.

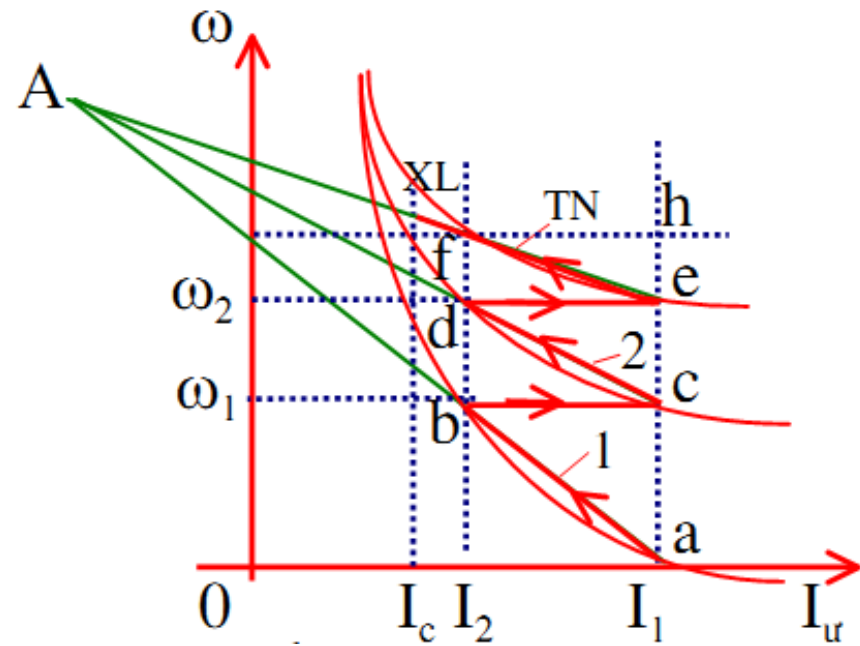
Kẻ đường $I_1 = \text{const}$, cắt đặc tính tự nhiên tại e.



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Bước 3: Chọn dòng chuyển khi khởi động $I_2 = (1,1 - 1,3)I_c$.
Kẻ đường $I_2 = \text{const}$, cắt đặc tính tự nhiên tại f, và cắt đặc tính nhân tạo dốc nhất (có R_f) tại b theo biểu thức:

$$\omega_{NT(b)} = \omega_{TN(f)} \frac{U_{\text{đm}} - I_2 R_{\Sigma}}{U_{\text{đm}} - I_2 R}$$



Bước 4: Kẻ các đường ef và ab kéo dài, sẽ cắt nhau tại A. Từ A dựng tiếp các đường đặc tính khởi động tuyến tính hoá thoả mãn các yêu cầu khởi động và ta có đường khởi động abcdefXL

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

b) Tính điện trở khởi động:

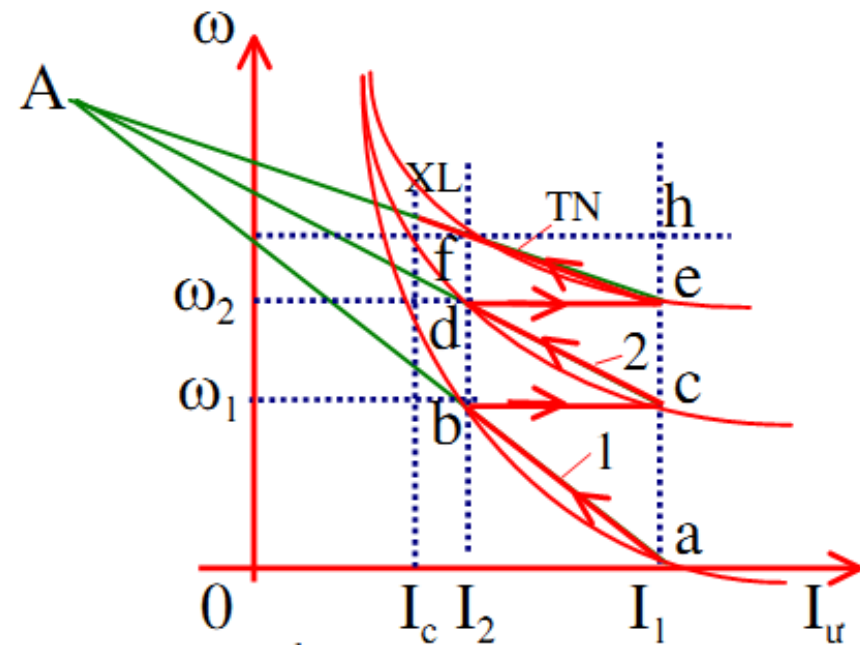
Theo phương pháp tuyến tính hoá trên, điện trở phụ tổng được tính

$$R_f = R_\Sigma - R$$

Ta có điện trở phụ các cấp:

$$R_{f(1)} = \frac{ac}{ea} R_\Sigma$$

$$R_{f(2)} = \frac{ce}{ae} R_\Sigma$$



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

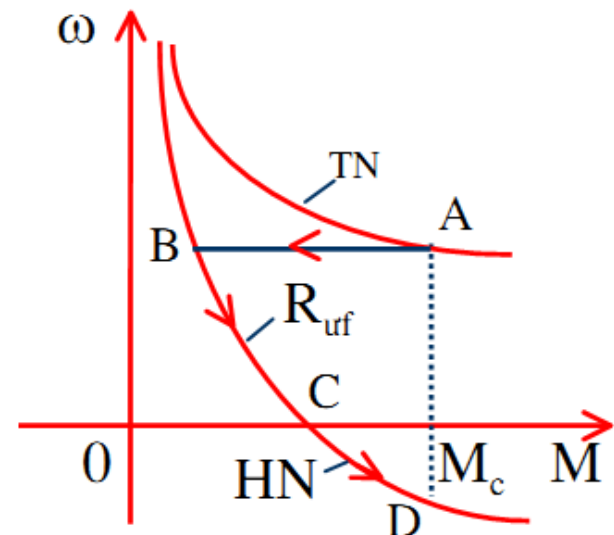
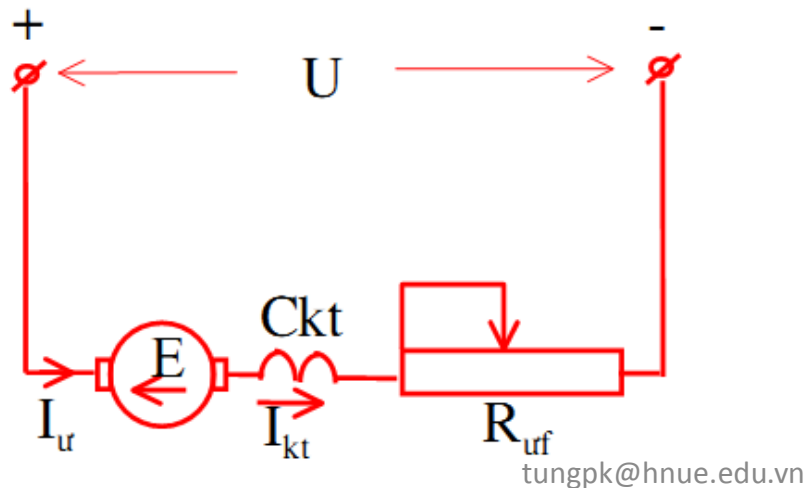
2.2.4. Các trạng thái hãm

Động cơ kích từ nối tiếp $\omega_0 \approx \infty$, nên không có hãm tái sinh mà chỉ có hai trạng thái hãm: Hãm ngược và Hãm động năng

a. Hãm ngược

Thêm điện trở phụ lớn vào mạch phần ứng:

Động cơ đang làm việc tại A, thêm R_f lớn vào phần ứng, động cơ sẽ chuyển sang B, C và sẽ thực hiện hãm ngược đoạn CD

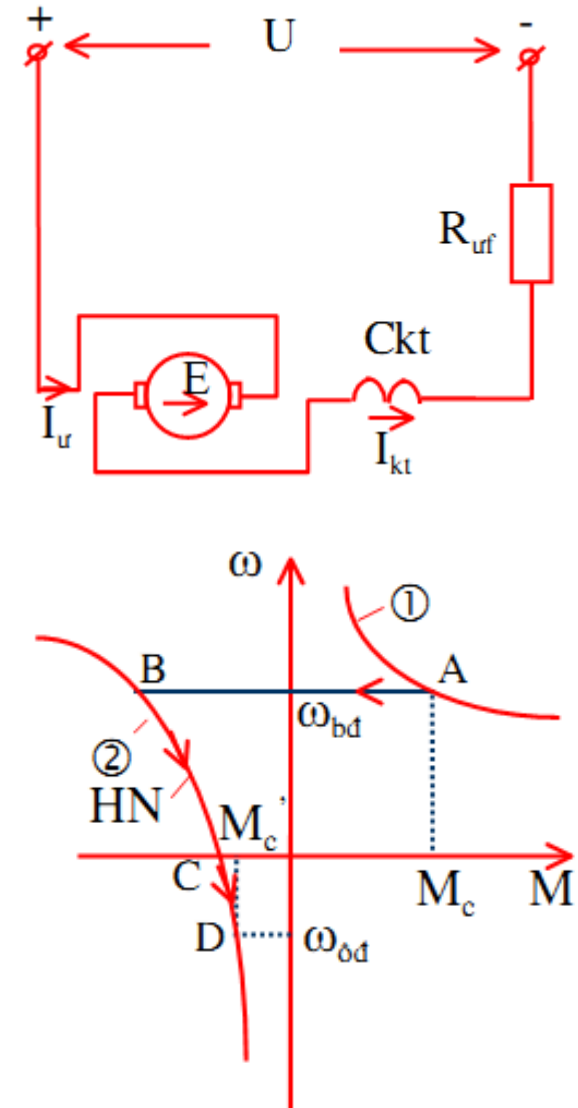


CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Đảo chiều điện áp phản ứng

Động cơ đang làm việc ở điểm A trên đặc tính cơ tự nhiên (1) với: $U_p > 0$, chiều quay $\omega > 0$, làm việc ở chế độ động cơ, chiều mômen trùng với tốc độ.

Nếu đổi cực tính điện áp phản ứng $U_p < 0$ (vì dòng đảo chiều lớn nên phải thêm điện trở phụ vào để hạn chế) và giữ nguyên chiều dòng kích từ thì dòng điện phản ứng sẽ đổi chiều $I_p < 0$ do đó mômen đổi chiều, động cơ sẽ chuyển sang điểm B trên đặc tính (2)



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Dòng điện và mô men lúc hãm

$$\begin{cases} I_h = \frac{-U - E}{R + R_f} = -\frac{U + K.\phi\omega}{R + R_f} < 0 \\ M_h = K.\phi.I_h < 0 \end{cases}$$

Phương trình đặc tính cơ

$$\omega = \frac{-U}{K.\phi} - \frac{R + R_f}{(K.\phi)^2} M$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

b. Hãm động năng

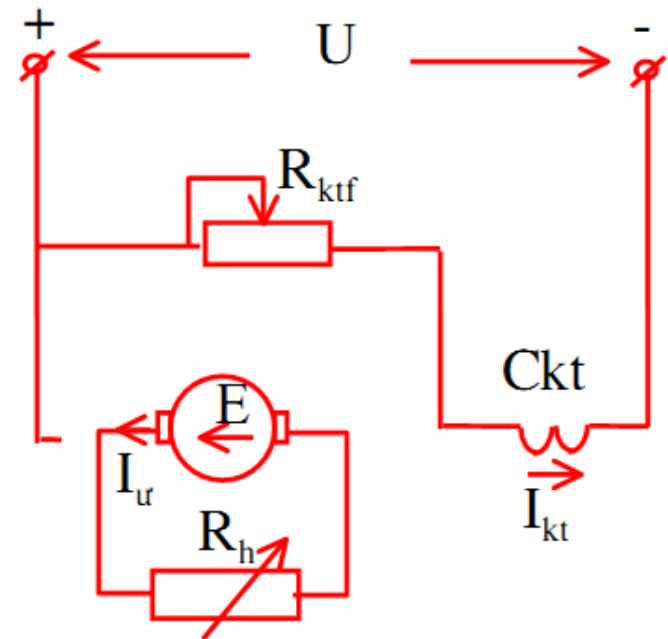
Hãm động năng kích từ độc lập

Động cơ đang làm việc với lưới điện thực hiện các thao tác:

Phần ứng động cơ được cắt khỏi lưới điện và đóng vào một điện trở hãm R_h

Cuộn kích từ được nối vào lưới điện qua điện trở phụ sao cho dòng kích từ có chiều và trị số không đổi ($I_{kt.đm}$).

Như vậy giống với trường hợp hãm động năng kích từ độc lập của động cơ kích từ độc lập



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

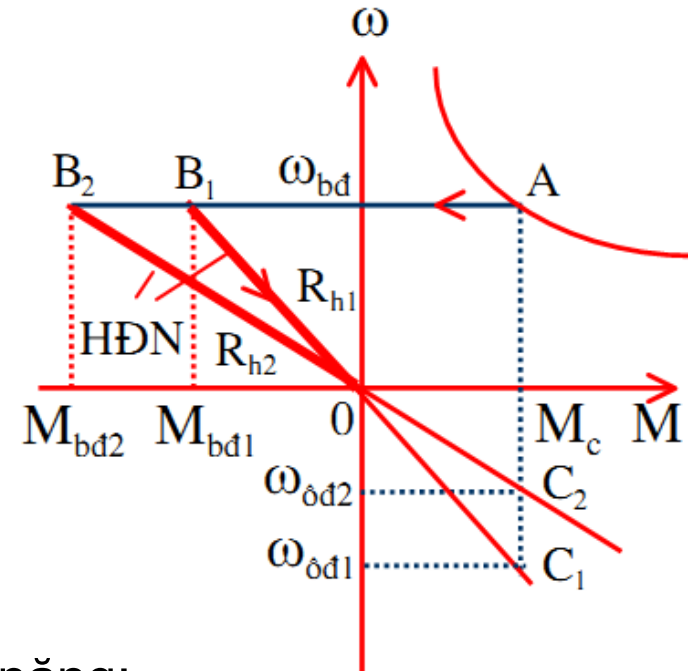
Động cơ đang làm việc bình thường với lưới điện (điểm A).

Khi hãm, điểm làm việc dịch chuyển sang B₁ hoặc B₂ (đẳng tốc) tùy theo điện trở hãm là R_{h1} hay R_{h2}.

Kết thúc hãm tại điểm 0

Phương trình đặc tính cơ khi hãm động năng:

$$\omega = -\frac{R_{\Sigma} + R_h}{(K.\phi)^2} M$$



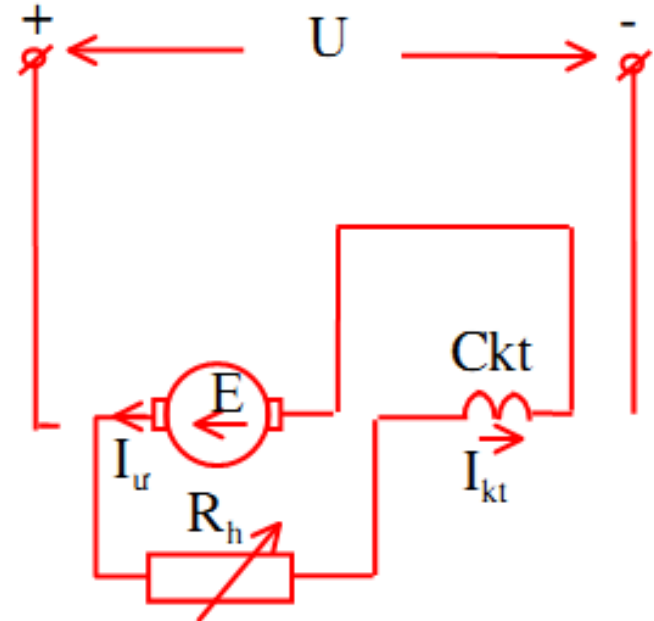
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Hãm động năng tự kích từ

Động cơ đang làm việc bình thường với lưới điện.

Phần ứng và kích từ cũng được ngắt khỏi lưới điện, và đóng nối tiếp vào điện trở hãm R_h , tạo thành mạch kín

Dòng kích từ vẫn phải được giữ nguyên theo chiều cũ do động năng tích lũy trong động cơ, cho nên động cơ vẫn quay và nó làm việc như một máy phát tự kích biến cơ năng thành nhiệt năng trên các điện trở.

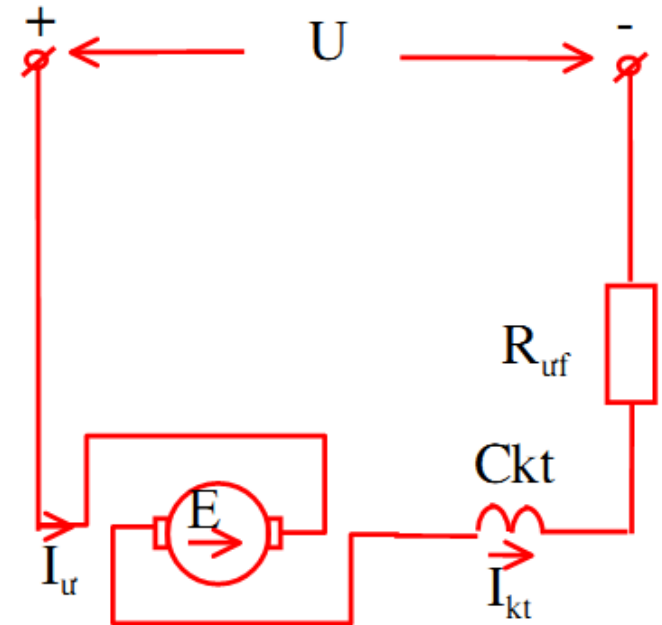


CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

2.2.5. Đảo chiều

Đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ nối tiếp khi đảo chiều quay bằng cách đảo chiều điện áp phần ứng:

$$\omega = \frac{-U}{K \cdot \phi_{(I)}} - \frac{R_{\Sigma} + R_f}{[K \cdot \phi_{(I)}]^2} M$$

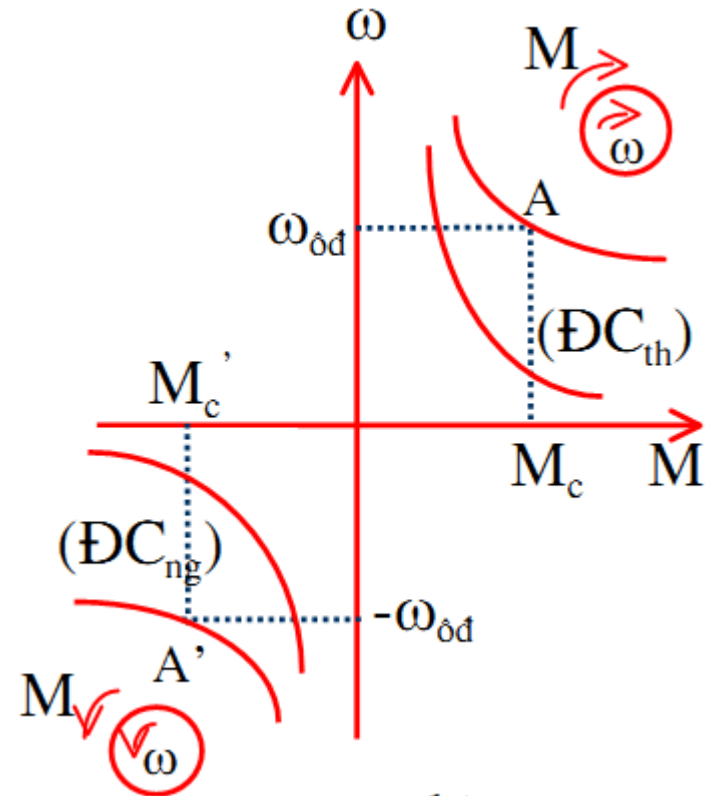


CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Khi $U_v > 0$, động cơ quay thuận $\omega > 0$ (tại điểm A trên đặc tính cơ ở góc phần tư thứ nhất của tọa độ $[M, \omega]$, với phụ tải là $M_c > 0$).

Đảo cực tính điện áp phản ứng động cơ (vẫn giữ nguyên chiều từ thông kích từ) $U_v < 0$, phụ tải động cơ theo chiều ngược lại $M'_c < 0$, động cơ sẽ quay ngược $\omega < 0$ (tại điểm A' trên đặc tính cơ ở góc phần tư thứ ba của tọa độ $[M, \omega]$).

Nếu cho điện trở phụ vào mạch phản ứng, ta sẽ có các tốc độ nhân tạo ngược



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

2.2.6. Nhận xét về động cơ một chiều kích từ nối tiếp

- Về cấu tạo, động cơ kích từ nối tiếp có cuộn kích từ chịu dòng lớn, nên tiết diện to và số vòng dây ít. Nên dễ chế tạo và ít hư hỏng hơn so với kích từ độc lập.
- Động cơ kích từ nối tiếp có khả năng quá tải lớn về mômen. Khi có cùng một hệ số quá tải dòng điện như nhau thì mômen của động cơ kích từ nối tiếp lớn hơn động cơ kích từ độc lập.
- Ví dụ: hệ số quá tải dòng 1,5 khi đó: Mô men quá tải của động cơ độc lập $M_{qt} = K.\phi.1,5.I_{đm} = 1,5M_{đm}$. Mô men quá tải của động cơ nối tiếp $M_{qt} = K.C.I^2 = K.C.(1,5)^2.I_{đm}^2 = 2,25 M_{đm}$.
- Mômen của động cơ nối tiếp không phụ thuộc vào sụt áp trên đường dây tải điện, nghĩa là nếu giữ cho dòng điện trong động cơ định mức thì mômen động cơ cũng là định mức

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

2.2.7. Đặc điểm, đặc tính cơ của động cơ kích từ hỗn hợp

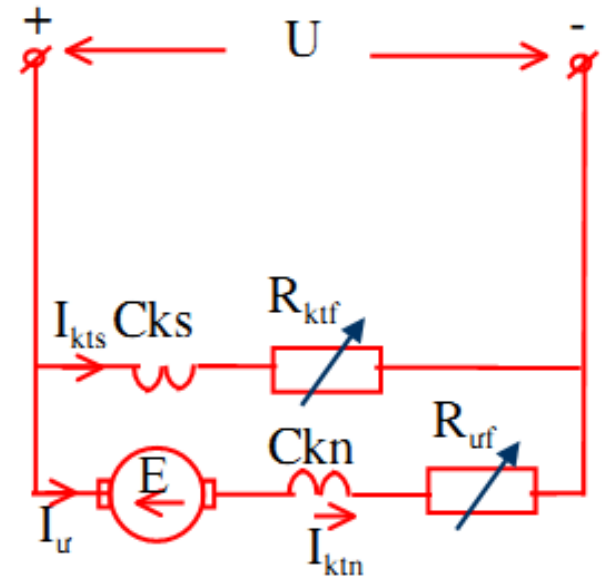
Động cơ kích từ hỗn hợp có hai cuộn dây kích từ (song song và nối tiếp), đồng thời tạo nên từ trường cực từ:

$$\phi = \phi_s + \phi_n$$

Trong đó ϕ_s là phần từ thông do cuộn kích từ song song tạo nên, $\phi_s = (0,75 \div 0,85)\phi_{đm}$ và không phụ thuộc vào dòng phần ứng (tải).

Còn ϕ_n là phần từ thông do cuộn kích từ nối tiếp tạo ra, nó phụ thuộc vào dòng phần ứng. Khi phụ tải $M_c = M_{đm}$ thì $I_u = I_{đm}$, tương ứng:

$$\phi_{n.đm} = (0,15 \div 0,25)\phi_{đm}$$

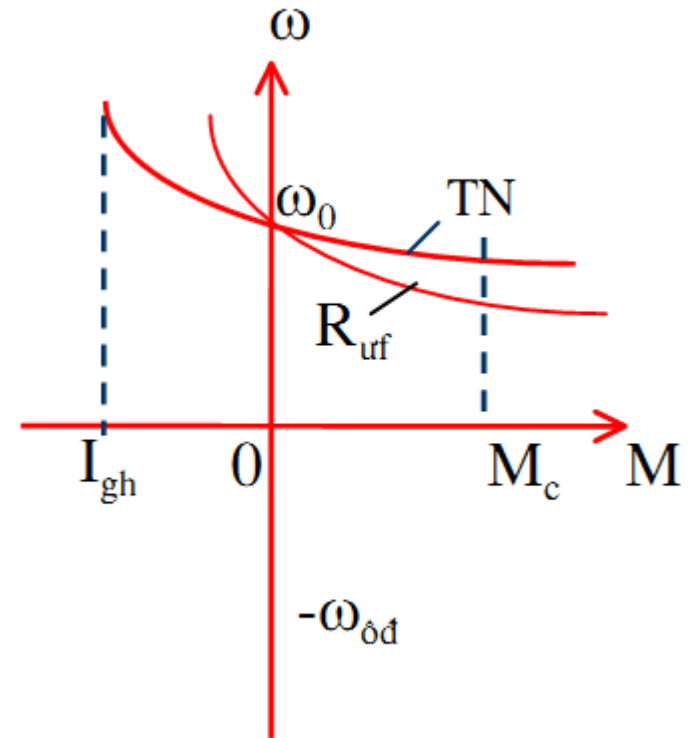


CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Do có hai cuộn kích từ nên đặc tính cơ của động cơ kích từ hỗn hợp vừa có dạng phi tuyến như kích từ nối tiếp, đồng thời có điểm không tải lý tưởng $[0, \omega_0]$ như của kích từ độc lập, trong đó tốc độ không tải lý tưởng có giá trị khá lớn so với tốc độ định mức:

$$\omega_0 \approx (1,3 \div 1,6) \omega_{\text{đm}} .$$

Động cơ kích từ hỗn hợp có ba trạng thái hãm tương tự như kích từ độc lập.



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

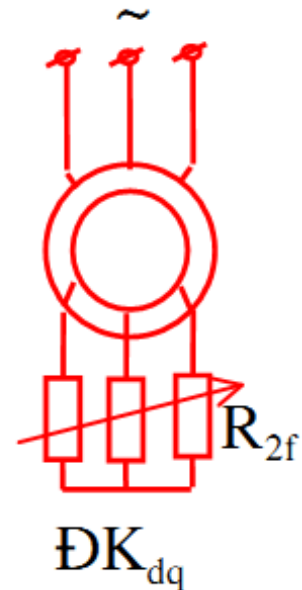
2.3. ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ (KĐB)

2.3.1. Các giả thiết, sơ đồ thay thế, đặc tính cơ của động cơ KĐB

a. Các giả thiết

Động cơ không đồng bộ được sử dụng rộng rãi trong thực tế. Ưu điểm nổi bật: Cấu tạo đơn giản, làm việc tin cậy, vốn đầu tư ít, giá thành hạ, trọng lượng, kích thước nhỏ hơn khi cùng công suất định mức so với động cơ một chiều.

Sử dụng trực tiếp lưới điện xoay chiều 3 pha



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Tuy nhiên, việc điều chỉnh tốc độ và khống chế các quá trình quá độ khó khăn hơn, các động cơ KĐB lồng sóc có các chỉ tiêu khởi động xấu (dòng khởi động lớn, mômen khởi động nhỏ). Để đơn giản cho việc khảo sát, nghiên cứu, ta giả thiết:

- + Ba pha của động cơ là đối xứng.
- + Các thông số của mạch không thay đổi nghĩa là không phụ thuộc nhiệt độ, tần số, mạch từ không bão hoà nên điện trở, điện kháng, ... không thay đổi.
- + Tổng dẫn của mạch vòng từ hoá không thay đổi, dòng từ hoá không phụ thuộc tải mà chỉ phụ thuộc điện áp đặt vào stato.
- + Bỏ qua các tổn thất ma sát, tổn thất trong lõi thép.
- + Điện áp lưới hoàn toàn sin và đối xứng.

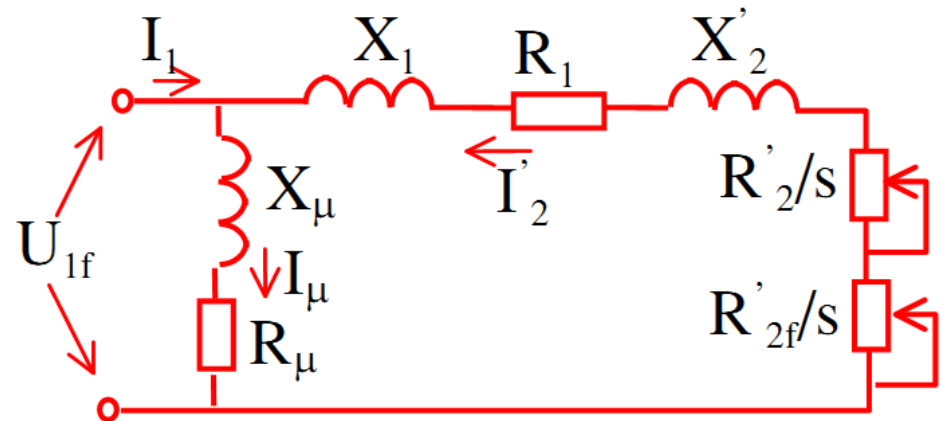
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

b. Sơ đồ thay thế

Với các giả thiết trên ta có sơ đồ thay thế 1 pha của động cơ

U_{1f} – trị số hiệu dụng của điện áp pha stato

I_1, I_μ, I'_2 – các dòng stato, mạch từ hóa, rôto đã quy đổi về stato



X_1, X_μ, X'_2 – điện kháng stato, mạch từ, rôto đã quy đổi về stato

R_1, R_μ, R'_2 – điện trở stato, mạch từ, rôto đã quy đổi về stato

R'_{2f} là điện trở phụ (nếu có) ở mỗi pha rôto đã quy đổi về stato

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Hệ số trượt tốc độ của động cơ:

$$s = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1} = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$$

Với $\omega_1 = \omega_0$ – tốc độ của từ trường quay ở stato động cơ, còn gọi là tốc độ đồng bộ (rad/s)

$$\omega_1 = \omega_0 = \frac{2\pi.f_1}{p}$$

Trong đó:

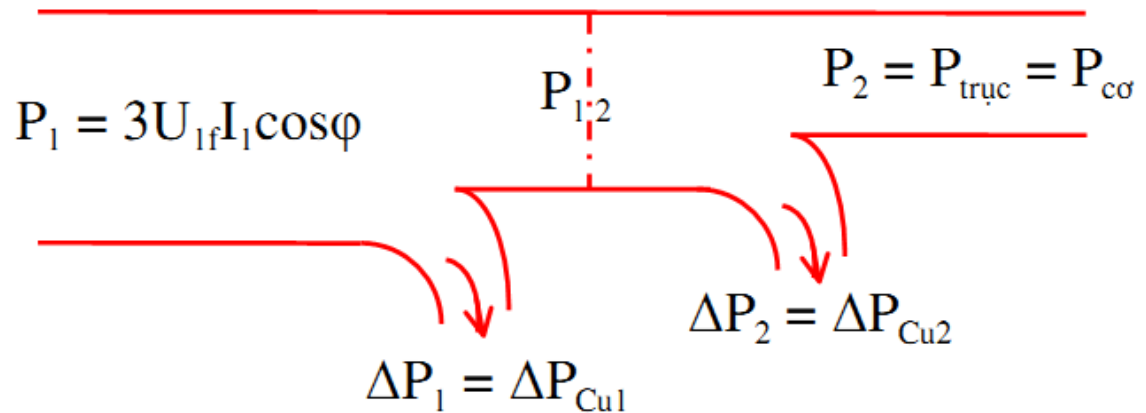
ω – tốc độ góc của rôto động cơ (rad/s)

f_1 – tần số của điện áp nguồn đặt vào stato (Hz)

p – số đôi cực của động cơ

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

c. Biểu đồ năng lượng



Trong biểu đồ:

P_1 – công suất điện từ đưa vào 3 pha stato động cơ

$\Delta P_1 = \Delta P_{Cu1}$ – tổn thất công suất trong các cuộn dây đồng stato

P_{12} – công suất điện từ truyền giữa stato và rôto động cơ

$\Delta P_2 = \Delta P_{Cu2}$ – tổn thất công suất trong các cuộn dây đồng rôto

P_2 – công suất trên trục động cơ, hay là công suất cơ truyền động cho máy sản xuất.

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

d. Phương trình và đặc tính cơ

Theo sơ đồ mạch điện thay thế của động cơ

$$I_{1f} = U_{1f} \left[\frac{1}{\sqrt{R_{\mu}^2 + X_{\mu}^2}} + \frac{1}{\sqrt{(R_1 + R'_{2\Sigma} / s)^2 + X_{nm}^2}} \right]$$

$R'_{2\Sigma} = R'_2 + R'_{2f}$ – điện trở tổng mạch rôto.

$X_{nm} = X_1 + X'_2$ – điện kháng ngắn mạch.

Từ phương trình đặc tính dòng điện

Khi $\omega = 0 \rightarrow s = 1 \rightarrow I_1 = I_{1nm}$ - dòng ngắn mạch của stato.

Khi $\omega = \omega_0 \rightarrow s = 0$, ta có: $I_{1f} = U_{1f} \left[\frac{1}{\sqrt{R_{\mu}^2 + X_{\mu}^2}} \right] = I_{\mu}$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Trị số hiệu dụng của dòng rôto đã quy đổi về stato:

$$I_2' = \frac{U_{1f}}{\sqrt{(R_1 + R_{2\Sigma}'/s)^2 + X_{nm}^2}}$$

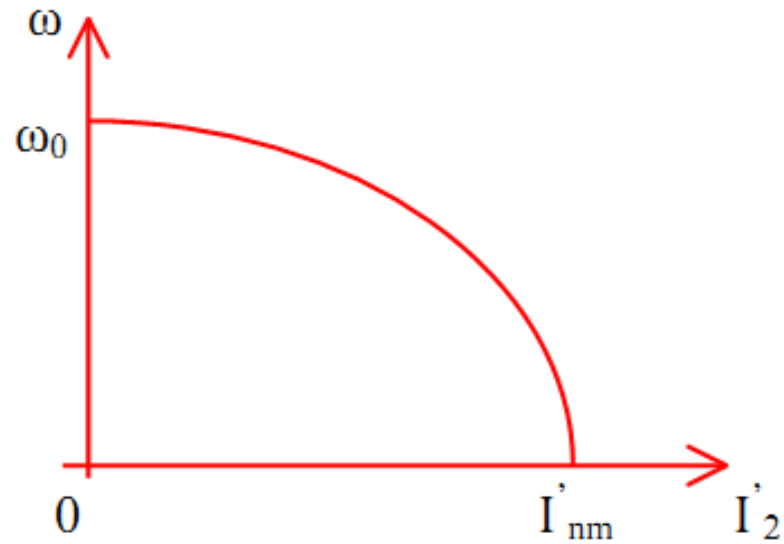
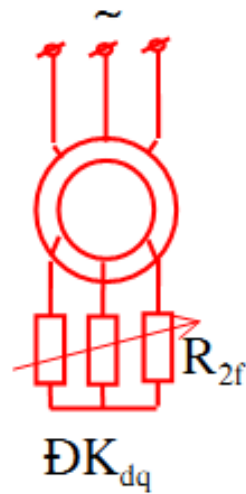
Quan hệ giữa dòng rôto I_2' với hệ số trượt s hay giữa I_2' với tốc độ góc ω , được gọi là đặc tính điện-cơ

Khi $\omega = \omega_0 \rightarrow s = 0 \rightarrow I_2' = 0$.

Khi $\omega = 0 \rightarrow s = 1$, ta có:
$$I_2' = \frac{U_{1f}}{\sqrt{(R_1 + R_{2\Sigma}')^2 + X_{nm}^2}} = I_{2nm}'$$

I_{2nm}' – dòng ngắn mạch rôto hay dòng khởi động

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN



Đặc tính điện-cơ

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Phương trình đặc tính cơ được thành lập từ điều kiện cân bằng công suất trong động cơ:

Công suất điện chuyển từ stato sang rôto: $P_{12} = M_{đt} \omega_0$

Nếu bỏ qua các tổn thất phụ: $M_{đt} = M_{co} = M$

$$P_{12} = P_{co} + \Delta P_2$$

Với $P_{co} = M \cdot \omega$ – công suất cơ trên trục động cơ

$\Delta P_2 = 3 \cdot I_2'^2 R_{2\Sigma}'$ – tổn hao công suất đồng trong rôto

Thay thế vào phương trình cân bằng công suất:

$$\Delta P_2 = P_{12} - P_{co} = M \omega_0 - M \omega = M(\omega_0 - \omega) = M \cdot s \cdot \omega_0$$

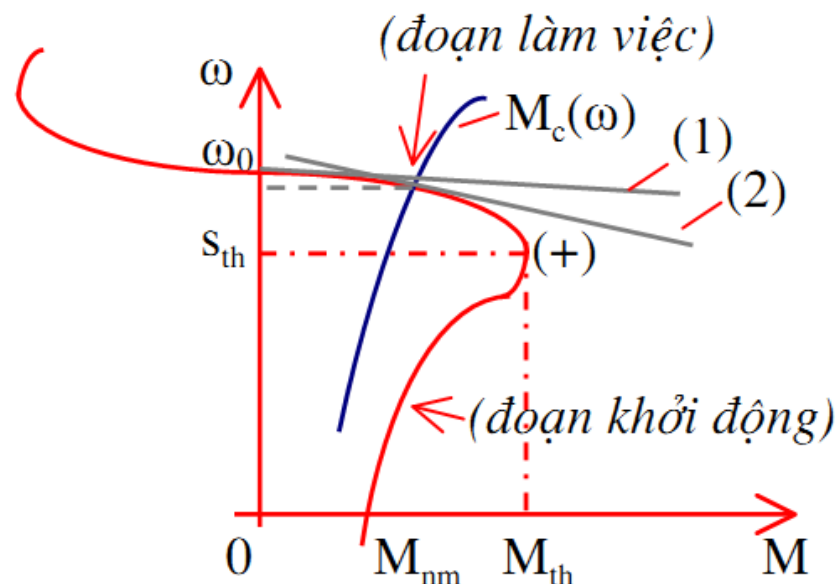
$$\Delta P_2 = M \cdot s \cdot \omega_0 = 3 \cdot I_2'^2 R_{2\Sigma}'$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Mô men động cơ: $M = \frac{3.I_2'^2 R'_{2\Sigma}}{s.\omega_0}$

Thay biểu thức dòng điện rôto:

$$M = \frac{3.U_{1f}^2 R'_{2\Sigma}}{s.\omega_0 \left[\left(R_1 + \frac{R'_{2\Sigma}}{s} \right)^2 + X_{nm}^2 \right]}$$



Biểu diễn đặc tính cơ trên đồ thị sẽ là đường cong.

Có thể xác định các điểm cực trị của đường cong đó bằng cách cho đạo hàm $dM/ds = 0$, ta sẽ được các trị số về độ trượt tới hạn s_{th} và mômen tới hạn M_{th} tại điểm cực trị:

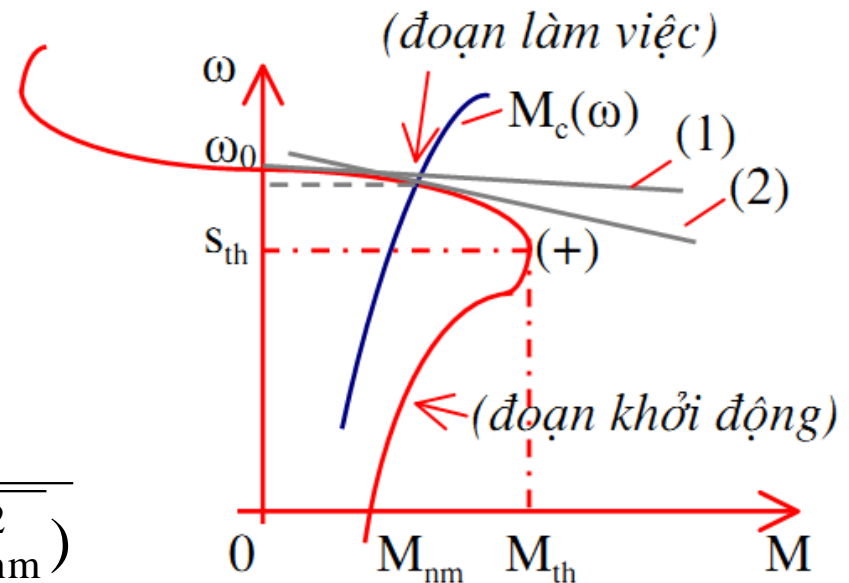
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Độ trượt tới hạn s_{th} :

$$s_{th} = \pm \frac{R'_{2\Sigma}}{\sqrt{R_1^2 + X_{nm}^2}}$$

Mômen tới hạn M_{th} :

$$M = \pm \frac{U_{1f}^2}{2\omega_0 (R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_{nm}^2})}$$



Trong các biểu thức trên, dấu (+) ứng với trạng thái động cơ, còn dấu (-) ứng với trạng thái máy phát, ($M_{thD} > M_{thF}$)

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Phương trình đặc tính cơ có thể biểu diễn theo class:

$$M = \frac{2M_{th}(1 + a.s_{th})}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s} + 2a.s_{th}} \quad \text{với} \quad a = \frac{R_1}{R'_{2\Sigma}}$$

Đối với động cơ KĐB công suất lớn, thường $R_1 \ll X_{nm}$, nên có thể bỏ qua R_1 và $a.s_{th} \approx 0$, khi đó ta có dạng class đơn giản:

$$M = \frac{2M_{th}}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}} \quad \text{và:} \quad s_{th} = \pm \frac{R'_{2\Sigma}}{X_{nm}} \quad M = \pm \frac{U_{1f}^2}{2\omega_0 X_{nm}}$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

+ Trong nhiều trường hợp cho phép ta sử dụng những đặc tính gần đúng bằng cách tuyến tính hoá đặc tính cơ trong đoạn làm việc.

Ví dụ ở vùng độ trượt nhỏ $s < 0,4.s_{th} \rightarrow$ có thể coi $s/s_{th} \approx 0$ và ta có:

$$M = \frac{2M_{th}}{s_{th}} s$$

Có thể tuyến tính hóa đoạn đặc tính cơ làm việc qua 2 điểm: điểm đồng bộ (không tải lý tưởng) và điểm định mức

$$M = \frac{M_{đm}}{s_{đm}} s$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

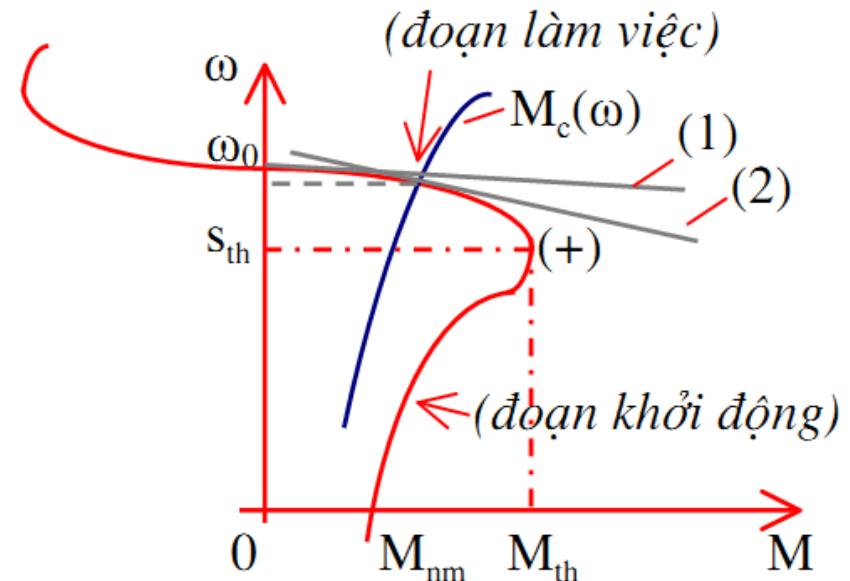
Trên đặc tính cơ tự nhiên, thay $M = M_{đm}$, $M_{th} = \lambda.M_{đm}$, ta có:

$$S_{th} = S_{đm}(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1})$$

Qua dạng đặc tính cơ tự nhiên, một cách gần đúng ta tính độ cứng đặc tính cơ trong đoạn làm việc:

$$|\beta| = \frac{dM}{d\omega} = \frac{1}{\omega_0} \frac{dM}{ds} = \frac{M_{đm}}{\omega_0 S_{đm}}$$

$$\beta^* = \frac{dM/M_{đm}}{d\omega/\omega_0} = \frac{1}{S_{đm}}$$



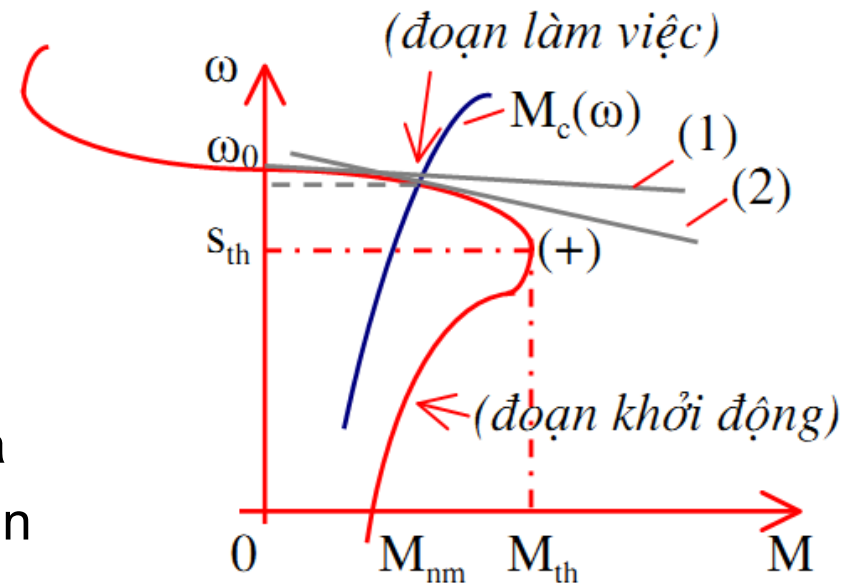
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Đối với đoạn đặc tính có $s \gg s_{th}$ thì coi $s_{th}/s \approx 0$ và ta có:

$$M = \frac{2M_{th}}{s} s_{th}$$

$$\beta = \frac{2M_{th}s_{th}}{\omega_0 s^2}$$

Trong đoạn này độ cứng $\beta > 0$ và giá trị của nó thay đổi, đây thường là đoạn động cơ khởi động.



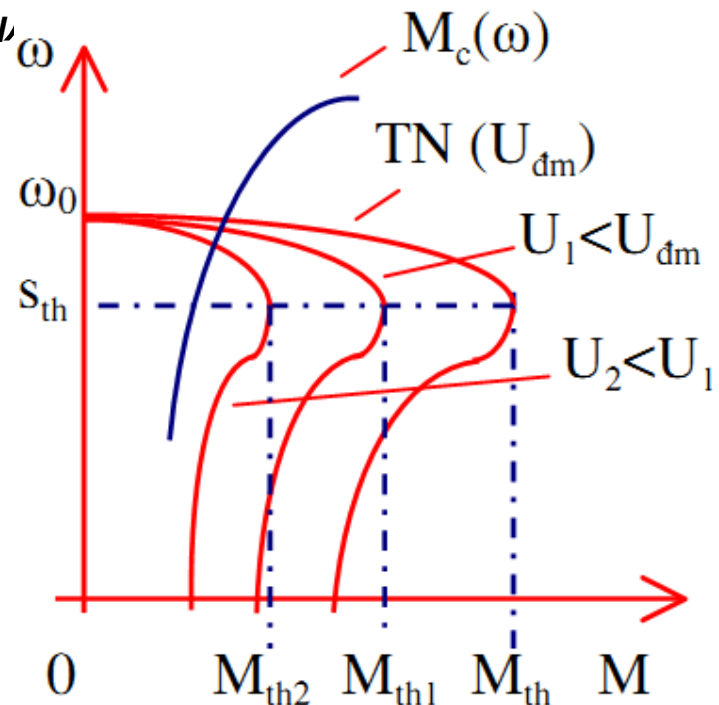
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

2.3.2. Ảnh hưởng của các thông số đến đặc tính cơ

a. Ảnh hưởng của điện áp lưới (U_L)

Khi điện áp lưới suy giảm, mômen tới hạn M_{th} sẽ giảm bình phương lần độ suy giảm của U_L .

Trong khi đó tốc độ đồng bộ ω_0 , hệ số trượt tới hạn s_{th} không thay đổi, ta có dạng đặc tính cơ khi U_L thay đổi

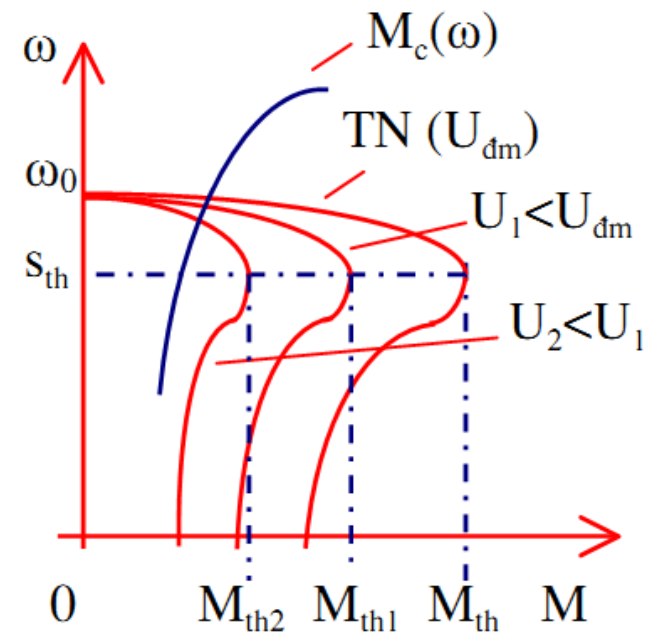


CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Qua đồ thị ta thấy: với một mômen cản xác định (MC), điện áp lưới càng giảm thì tốc độ xác lập càng nhỏ.

Mặt khác, vì mômen khởi động $M_{kd} = M_{nm}$ và mômen tới hạn M_{th} đều giảm theo điện áp, nên khả năng quá tải và khởi động bị giảm dần

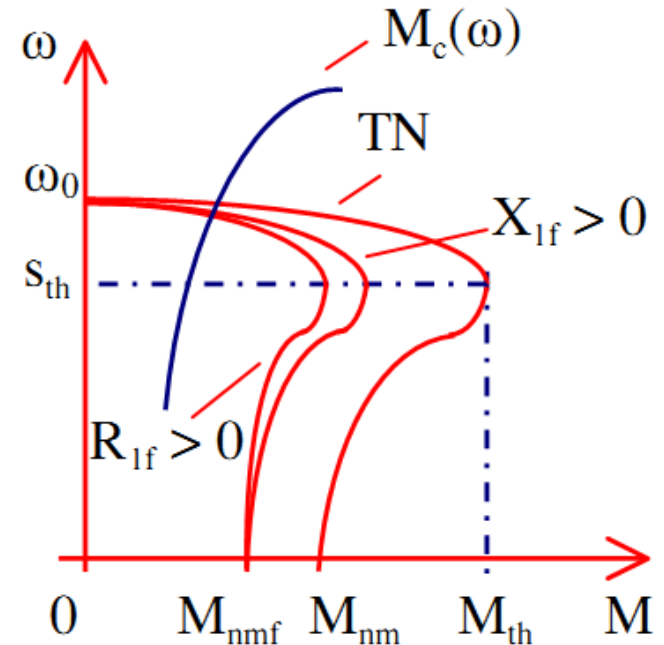
Do đó, nếu điện áp quá nhỏ (đ-ờng U_2 , ...) thì hệ truyền động trên có thể không khởi động được hoặc không làm việc được



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

b. Ảnh hưởng của điện trở, điện kháng mạch stato

Khi điện trở hoặc điện kháng mạch stato bị thay đổi (thêm trở kháng phụ R_{lf} , X_{lf}), nếu $\omega_0 = \text{const}$, thì mômen M_{th} và s_{th} đều giảm, nên đặc tính cơ có dạng như hình bên



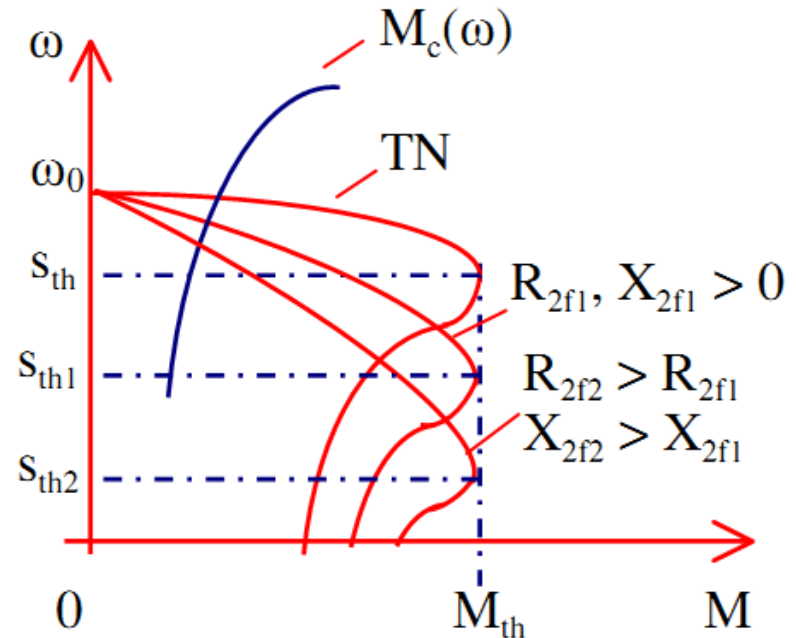
Qua đồ thị ta thấy: với mômen $M_{kđ} = M_{nmf}$ thì đoạn làm việc của đặc tính cơ có điện kháng phụ (X_{lf}) cứng hơn đặc tính có R_{lf} . Khi tăng X_{lf} hoặc R_{lf} thì M_{th} và s_{th} đều giảm.

Khi dùng X_{lf} hoặc R_{lf} để khởi động để hạn chế dòng khởi động, có thể dựa vào tam giác tổng trở ngắn mạch để xác định X_{lf} hoặc R_{lf} .

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

c. Ảnh hưởng của điện trở, điện kháng mạch rôto

Khi thêm điện trở kháng phụ (R_{2f} , X_{2f}) vào mạch rôto, thì $\omega_0 = \text{const}$, và $M_{th} = \text{const}$; còn s_{th} sẽ thay đổi, nên đặc tính cơ có dạng như hình bên.



Qua đồ thị ta thấy: đặc tính cơ khi trở kháng phụ R_{2f} , X_{2f} tăng thì tốc độ trượt s_{th} giảm, độ cứng đặc tính cơ giảm.

Với phụ tải không đổi thì khi có R_{2f} , X_{2f} tăng thì tốc độ làm việc của động cơ giảm, và dòng điện khởi động giảm.

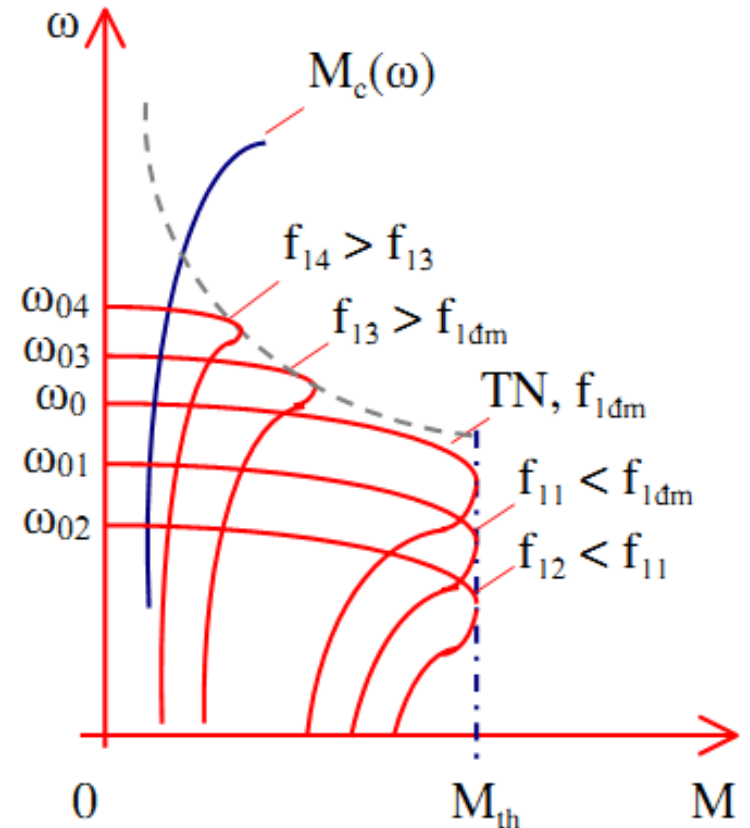
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

d. Ảnh hưởng của tần số lưới cung cấp cho động cơ

Khi điện áp nguồn cung cấp cho động cơ có tần số (f_1) thay đổi \rightarrow tốc độ từ trường ω_0 và tốc độ của động cơ ω sẽ thay đổi theo.

Qua đồ thị ta thấy: Khi tần số tăng ($f_{13} > f_{1dm}$), thì M_{th} sẽ giảm, (với điện áp nguồn $U_1 = \text{const}$, thì M_{th} giảm theo tỉ lệ bình phương tần số) :

$$\beta = \frac{1}{f_1^2}$$

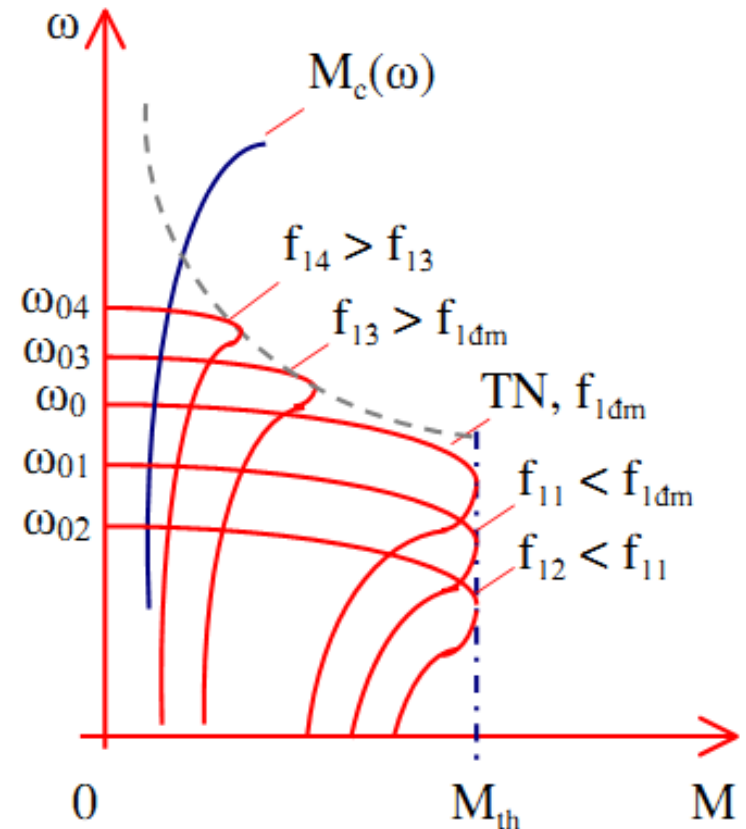


CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Khi tần số nguồn giảm:

($f_{11} < f_{1dm}$, ...), nếu giữ điện áp U_1 không đổi, thì dòng điện động cơ sẽ tăng rất lớn.

Do vậy, khi giảm tần số cần giảm điện áp theo quy luật nhất định sao cho động cơ sinh ra mômen như trong chế độ định mức



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Ví dụ 2 - 5:

Cho một động cơ không đồng bộ rôto dây quấn có: $P_{đm} = 850\text{KW}$;
 $U_{đm} = 6000\text{V}$; $n_{đm} = 588\text{vg/ph}$; $\lambda = 2,15$; $E_{2đm} = 1150\text{V}$; $I_{2đm} = 450\text{A}$.

Tính và vẽ đặc tính cơ tự nhiên và đặc tính cơ nhân tạo của động cơ không đồng bộ rôto dây quấn với điện trở phụ mỗi pha rôto là:
 $R_{2f} = 0,75\Omega$.

Giải :

Với động cơ có công suất lớn, ta có thể sử dụng phương trình gần đúng coi R_1 rất nhỏ hơn R_2 tức $a = 0$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Độ trượt định mức:

$$s_{đm} = \frac{n_0 - n_{đm}}{n_0} = \frac{600 - 588}{600} = 0,02$$

Mômen định mức:

$$M_{đm} = \frac{P_{đm} 1000}{n_{đm} / 9,55} = \frac{850.1000}{588 / 9,55} = 13805(\text{N.m}) \quad M_{đm}^* = 1$$

Mômen tới hạn:

$$M_{th} = \lambda M_{đm} = 2,15.13805 = 29681(\text{N.m}) \quad M_{th}^* = 2,15$$

Điện trở định mức:

$$R_{đm} = E_{2.nm} / \sqrt{3} I_{2.đm} = 1,476(\Omega)$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Điện trở dây quấn rôto:

$$R_2 = R_2^* R_{đm} = s_{đm} R_{đm} = 0,02.1,476 = 0,0295(\Omega)$$

Độ trượt tới hạn của đặc tính cơ tự nhiên

$$s_{th} = s_{đm} (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,02(2,15 + \sqrt{2,15^2 - 1}) = 0,08$$

Phương trình đặc tính cơ tự nhiên:

$$M = \frac{2M_{th}}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}} = \frac{59,362}{\frac{s}{0,08} + \frac{0,08}{s}} \quad \text{hoặc} \quad M^* = \frac{2\lambda}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}}$$

Mômen ngắn mạch:

$$M_{nm} = \frac{59362}{\frac{1}{0,08} + 0,08} = 4777(\text{N.m}) = 0,35M_{đm}$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

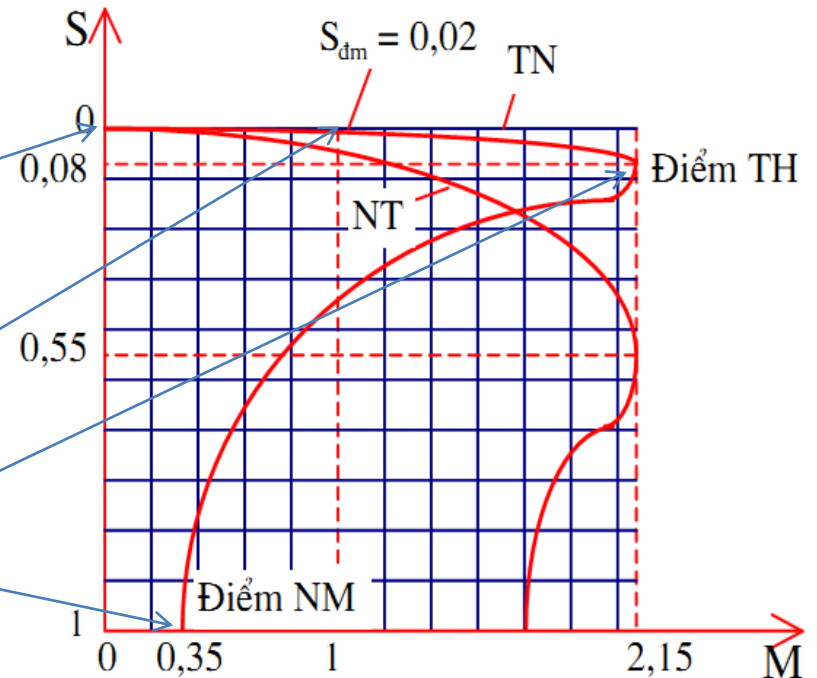
Theo đó ta vẽ được đường đặc tính tự nhiên, qua 4 điểm:

+ không tải ($M = 0; s = 0$);

+ định mức ($M_{đm}^* = 1; s_{đm} = 0,02$);

+ tới hạn TH ($M_{th}^* = 2,15; s_{th} = 0,08$);

+ ngắn mạch NM ($M_{nm}^* = 0,35; s = 1$)



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

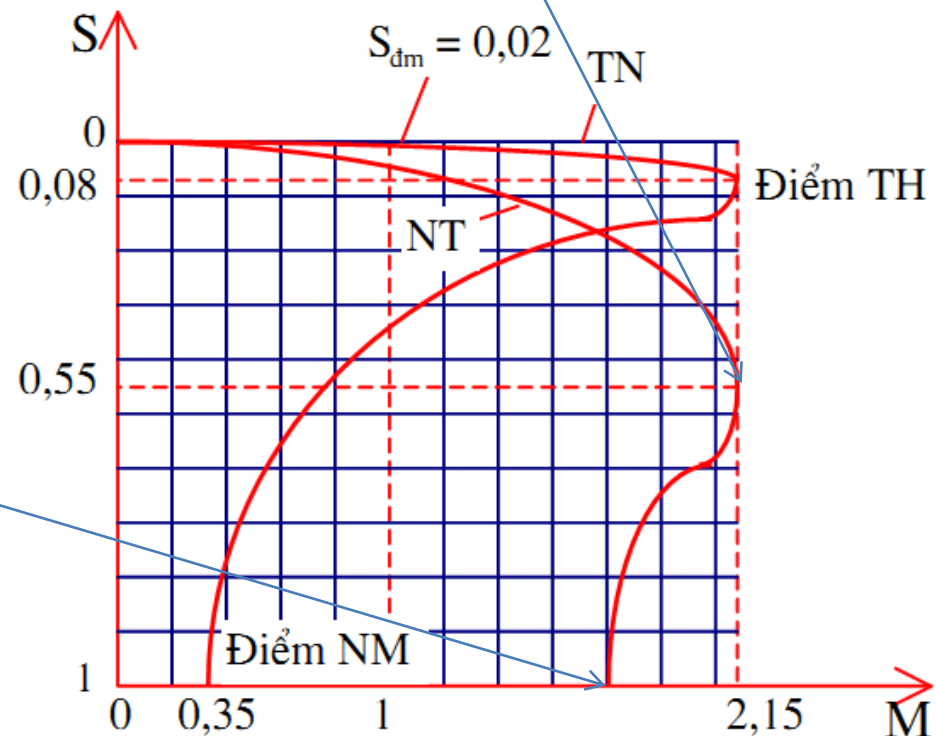
Đặc tính nhân tạo: với $R_f = 0,175\Omega$ ta có độ trượt tới hạn nhân tạo:

$$S_{th.nt} = S_{th} \frac{R_2 + R_f}{R_2} = 0,08 \frac{0,0295 + 0,175}{0,0295} = 0,55$$

Phương trình đặc tính cơ

$$M^* = \frac{2\lambda}{\frac{s}{0,55} + \frac{0,55}{s}}$$

$$M_{nm}^* = \frac{2\lambda}{\frac{1}{0,55} + \frac{0,55}{1}} = 1,816$$



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

2.3.3. Đặc tính cơ khi khởi động:

a. Khởi động và tính điện trở khởi động

Nếu khởi động động cơ bằng phương pháp đóng trực tiếp thì dòng khởi động ban đầu rất lớn.

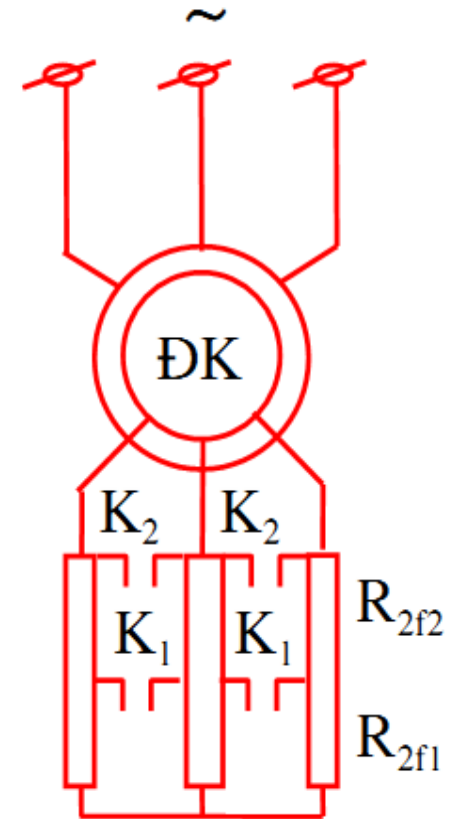
Tương tự như khởi động động cơ một chiều kích từ độc lập, ta cũng đưa điện trở phụ vào mạch rôto đối với động cơ rôto dây quấn để hạn chế dòng khởi động:

$$I_{\text{kd.bd}} \leq I_{\text{cp}} = 2,5I_{\text{đm}}$$

Và sau đó thì loại dần chúng ra để đưa tốc độ động cơ lên xác lập.

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

- + Bắt đầu khởi động, K_1 và K_2 đều mở, điện trở phụ của mạch rôto gồm cả $R_{2.f1}$ và $R_{2.f2}$
- + Kết thúc bước 1, K_1 đóng, điện trở phụ chỉ còn $R_{2.f2}$
- + Kết thúc bước 2, K_2 đóng, không còn điện trở phụ mạch rôto, động cơ chuyển tới trạng thái làm việc xác lập.



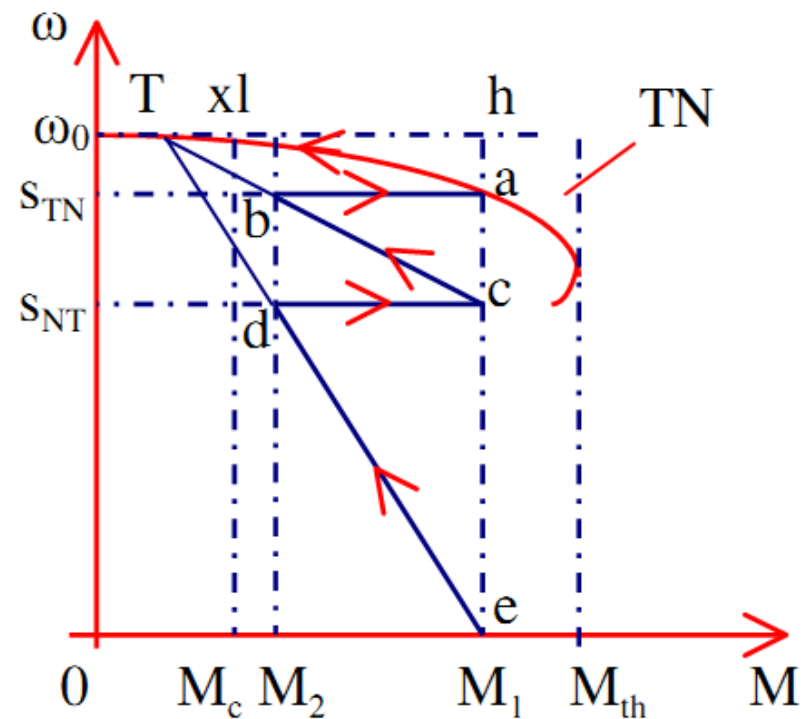
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Xây dựng các đặc tính cơ khi khởi động

Từ các thông số định mức ($P_{đm}$; $U_{đm}$; $I_{đm}$; $n_{đm}$; $\eta_{đm}$; ...) và thông số tải (I_c ; M_c ; P_c ; ...) số cấp khởi động m , ta vẽ đặc tính cơ tự nhiên.

Vì đặc tính cơ là phi tuyến, nên để đơn giản, ta dùng phương pháp gần đúng:

Đã chứng minh được các đường đặc tính khởi động của động cơ khi tuyến tính hóa sẽ hội tụ tại một điểm T trên đường $\omega_0 = \text{const}$ phía bên phải trục tung của tọa độ (ω, M) như hình bên



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Quá trình khởi động, chọn mô men:

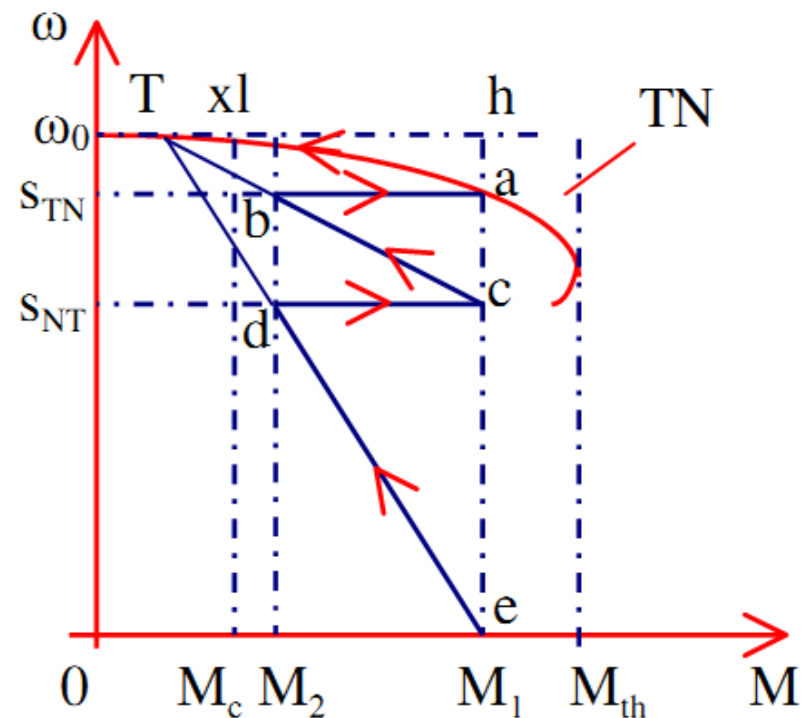
$$M_{\max} = M_1 = (2 \div 2,5)M_{\text{đm}}$$

$$\text{hoặc } M_{\max} = 0,85M_{\text{th}}$$

$$M_{\min} = M_2 = (1,1 \div 1,3)M_c$$

Sau khi đã tuyến hóa đặc tính khởi động, tiến hành xây dựng đặc tính khởi động tương tự động cơ một chiều kích từ độc lập.

Đặc tính khởi động gần đúng là đường e-d-c-b-a-XL



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

b. Tính điện trở khởi động

Phương pháp đồ thị

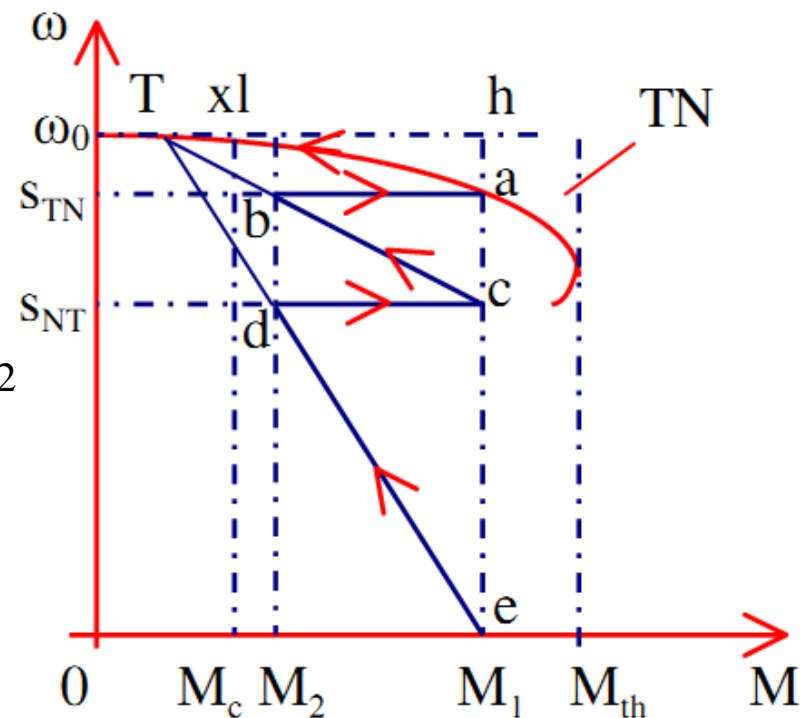
Khi đã tuyến hóa đặc tính khởi động

$$\frac{s_{nt}}{s_{tn}} = \frac{R_2 - R_{2f}}{R_2} \rightarrow R_{2f} = \frac{s_{nt} - s_{tn}}{s_{tn}} R_2$$

Từ đồ thị ta có điện trở phụ các cấp:

$$R_{2.f1} = \frac{ha - hc}{he} R_2 = \frac{ac}{he} R_2$$

$$R_{2.f2} = \frac{hc - he}{he} R_2 = \frac{ce}{he} R_2$$



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

2.3.4. Các đặc tính cơ khi hãm

Động cơ điện KĐB cũng có ba trạng thái hãm: hãm tái sinh, hãm ngược và hãm động năng

a. Hãm tái sinh

Hãm tái sinh động cơ: $\omega > \omega_0$, và có trả năng lượng về lưới.

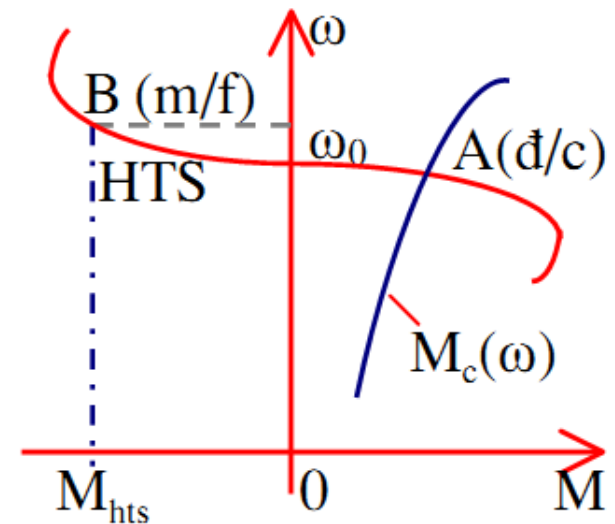
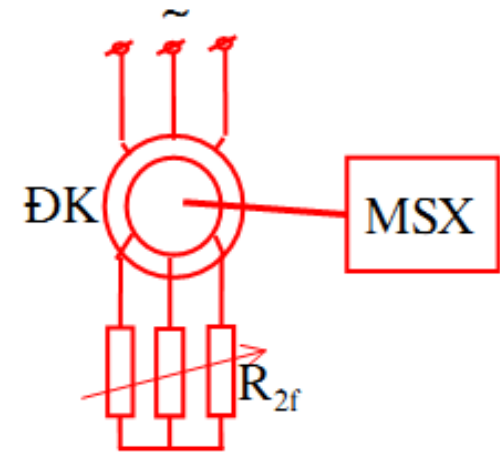
Hãm tái sinh thường xảy ra trong các trường hợp:

- + Có nguồn động lực quay rôto động cơ với tốc độ $\omega > \omega_0$
- + Khi giảm tốc độ động cơ bằng cách tăng số đôi cực
- + Khi động cơ truyền động cho tải có dạng thế năng lúc hạ tải với $|\omega| > |-\omega_0|$ bằng cách đảo 2 trong 3 pha stato của động cơ.

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Hãm tái sinh khi MSX trở thành nguồn động lực

Trong quá trình làm việc, khi máy sản xuất (MSX) trở thành nguồn động lực quay rôto động cơ với tốc độ $\omega > \omega_0$, động cơ trở thành máy phát phát năng lượng trả lại nguồn



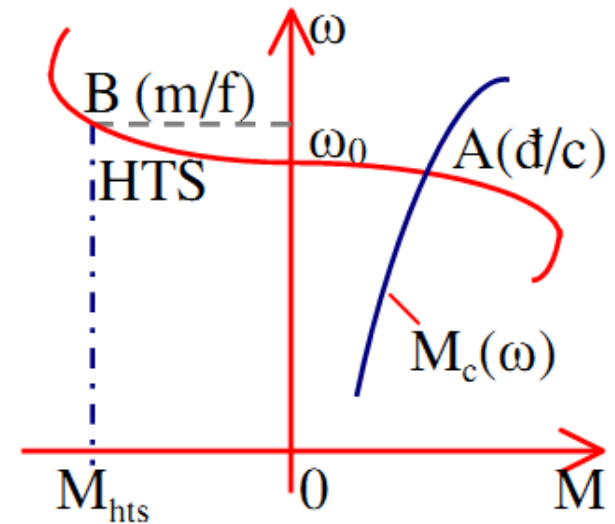
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Phương trình đặc tính cơ trong trường hợp này:

$$M \approx \frac{2M_{th}}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}}$$

Với: $s_{th} \approx \frac{R'_{2\Sigma}}{X_{nm}}$; $M_{th} \approx \frac{3U_{1f}^2}{2\omega_0 X_{nm}}$

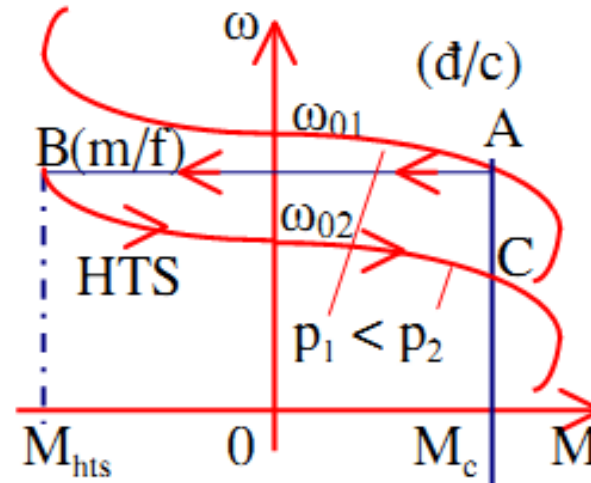
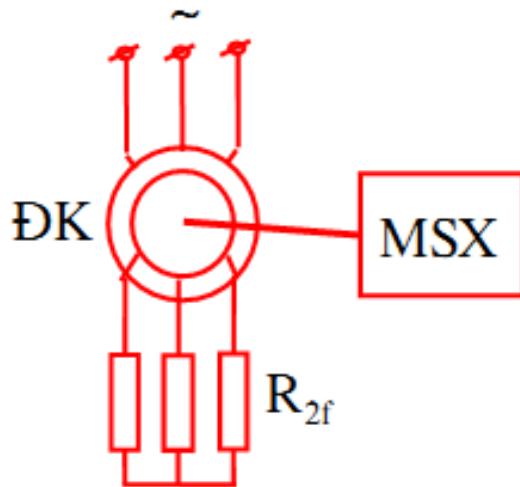
$$\omega > \omega_0; I_2' = I_{hts} < 0; M = M_{hts} < 0$$



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Hãm tái sinh khi giảm tốc độ bằng cách tăng số đôi cực

Động cơ đang làm việc ở điểm A, với p_1 , nếu ta tăng số đôi cực lên $p_2 > p_1$ thì động cơ sẽ chuyển sang đặc tính có ω_2 và làm việc với tốc độ $\omega > \omega$, trở thành máy phát



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Phương trình đặc tính cơ trong trường hợp này

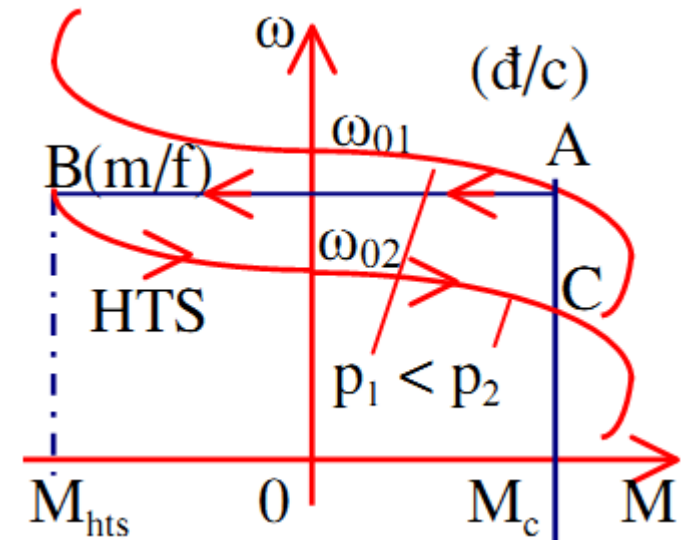
$$M \approx \frac{2M_{th}}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}}$$

Với: $s_{th} \approx \frac{R'_{2\Sigma}}{X_{nm2}}$; $M_{th} \approx \frac{3U_{1f}^2}{2\omega_{02}X_{nm2}}$

$$\omega_{02} = \frac{60.f_1}{p_2}$$

$$\omega > \omega_{02}; I_2 = I_{hts} < 0; M = M_{hts} < 0$$

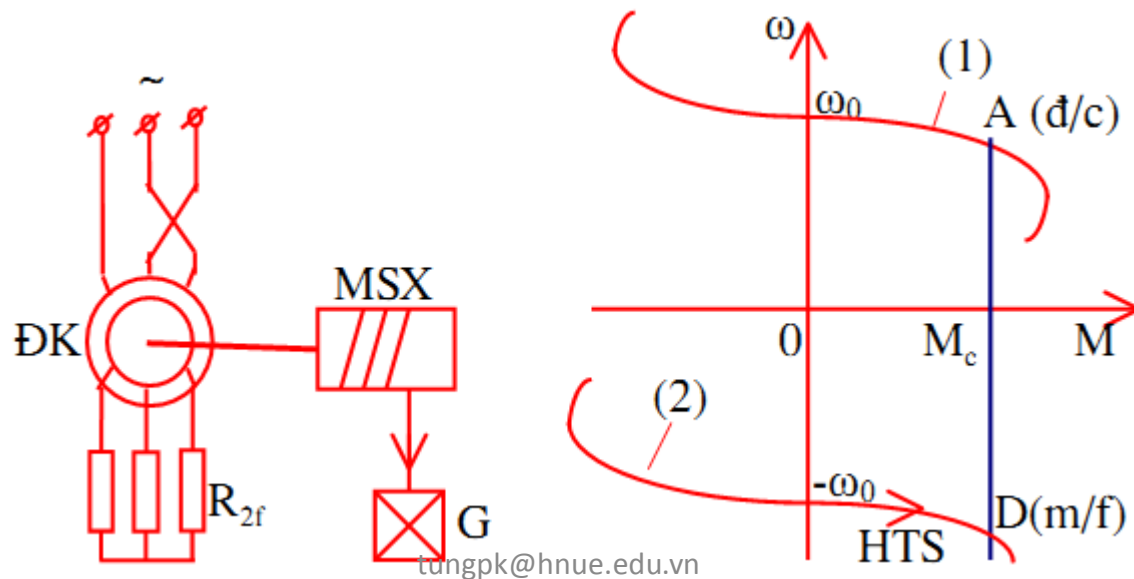
đoạn $B\omega_{02}$



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Hãm tái sinh khi đảo chiều từ trường stato động cơ

Động cơ đang làm việc ở chế độ động cơ (điểm A), nếu ta đảo chiều từ trường stato, với phụ tải thế năng, động cơ sẽ đảo chiều quay và làm việc ở chế độ máy phát (hãm tái sinh, điểm D). Như vậy khi hạ hàng ta có thể cho động cơ làm việc ở chế độ máy phát, đồng thời tạo ra mômen hãm để cho động cơ hạ hàng với tốc độ ổn định ω_D .



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

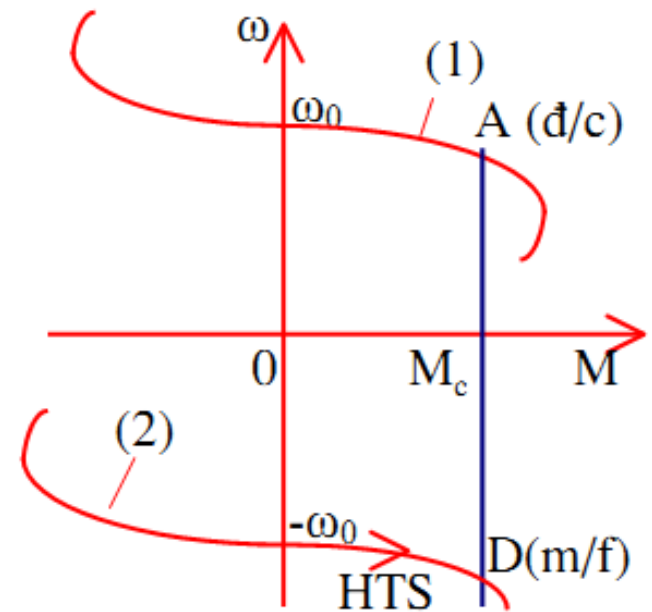
Phương trình đặc tính cơ trong trường hợp này thay ω_0 bằng $-\omega_0$:

$$M \approx \frac{2M_{th}}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}}$$

Với: $s_{th} \approx \frac{R'_{2\Sigma}}{X_{nm}}$; $M_{th} \approx \frac{3U_{lf}^2}{2(-\omega_0)X_{nm}}$

$$|\omega| > |-\omega_0|$$

(điểm D, hạ tải ở chế độ HTS)



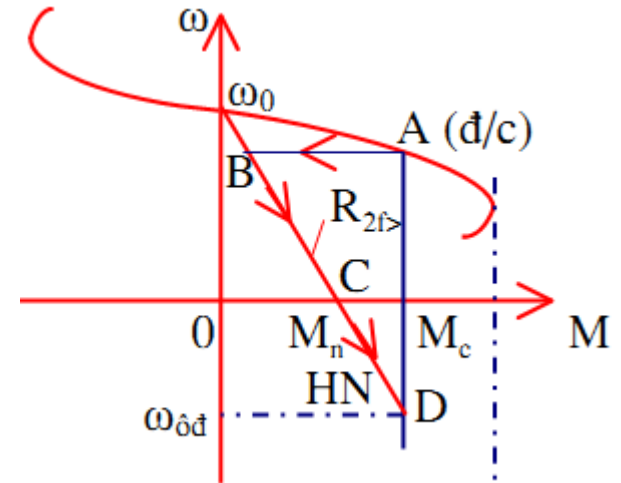
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

b. Hãm ngược

Hãm ngược bằng cách đưa điện trở phụ lớn vào mạch rôto

Động cơ đang làm việc ở điểm A, đóng thêm điện trở hãm lớn ($R_{hn} > R_{2f}$) vào mạch rôto, mômen động cơ giảm ($M < M_c$) nên động cơ bị giảm tốc độ

Động cơ sẽ chuyển sang điểm B, rồi C và nếu tải là thế năng thì động cơ sẽ làm việc ổn định ở điểm D ($\omega_D = \omega_{\text{ôđ}}$ ngược chiều với tốc độ tại điểm A) trên đặc tính cơ có thêm điện trở hãm R_{hn} , và đoạn CD là đoạn hãm ngược, động cơ làm việc như một máy phát nối tiếp với lưới điện. Động cơ vừa tiêu thụ điện từ lưới vừa sử dụng năng lượng thừa từ tải để tạo ra mômen hãm.



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Đặc tính tốc độ và mô men khi hãm ngược

$$s_{th} \approx \frac{R'_2 + R'_{2f}}{X_{nm}}$$

$$M_{th} \approx \frac{3U_{1f}^2}{2\omega_0 X_{nm}}$$

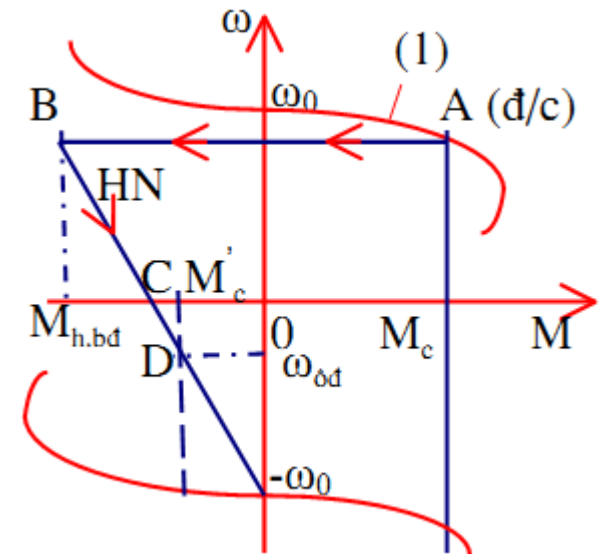
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Hãm ngược bằng cách đảo chiều từ trường stato

Động cơ đang làm việc ở điểm A, ta đảo chiều từ trường stato.

Khi đảo chiều, dòng đảo chiều lớn nên phải thêm điện trở phụ vào để hạn chế không quá dòng cho phép $I_{đch} = I_{cp}$, nên động cơ sẽ chuyển sang điểm B, C và sẽ làm việc xác lập ở D.

Đoạn BC là đoạn hãm ngược.



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Dòng hãm và mômen hãm của động cơ.

$$s_{th} \approx \frac{R'_2 + R'_{2f}}{X_{nm}}$$

$$M_{th} \approx \frac{3U_{1f}^2}{2(-\omega_0)X_{nm}}$$

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} > 1$$

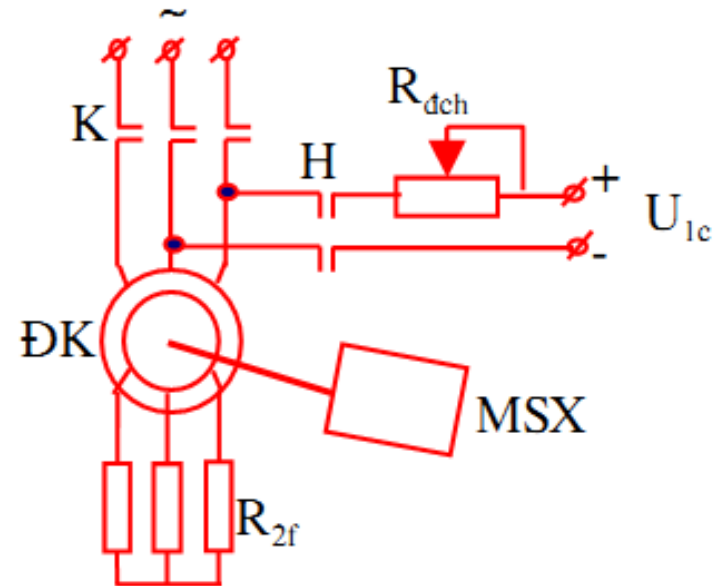
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

c. Hãm động năng

Hãm động năng kích từ độc lập

Động cơ đang làm việc với lưới điện (điểm A), khi cắt stato động cơ khỏi lưới điện và đóng vào nguồn một chiều (U_{1c}) độc lập.

Do động năng tích lũy trong động cơ, cho nên động cơ vẫn quay và nó làm việc như một máy phát cực ẩn có tốc độ và tần số thay đổi, và phụ tải của nó là điện trở mạch rôto.

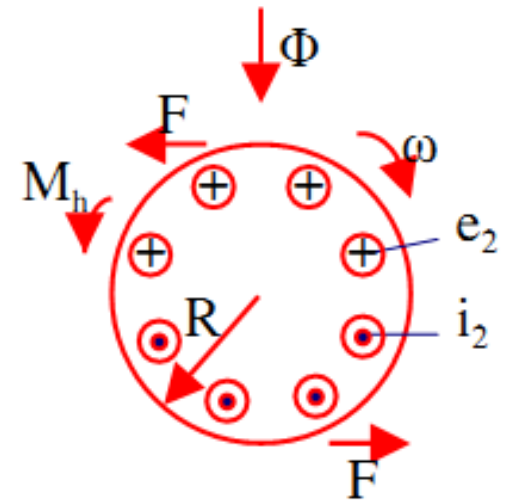


CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Khi cắt stato khỏi nguồn xoay chiều rồi đóng vào nguồn một chiều thì dòng một chiều này sẽ sinh ra một từ trường đứng yên Φ so với stato.

Rôto động cơ do quán tính vẫn quay theo chiều cũ nên các thanh dẫn rôto sẽ cắt từ trường đứng yên, do đó xuất hiện trong chúng một sức điện động e_2 .

Vì rôto ngắn mạch nên e_2 lại sinh ra i_2 cùng chiều. Chiều của e_2 và i_2 xác định theo qui tắc bàn tay phải. Tương tác giữa dòng i_2 và Φ tạo nên lực điện từ F có chiều xác định theo qui tắc bàn tay trái

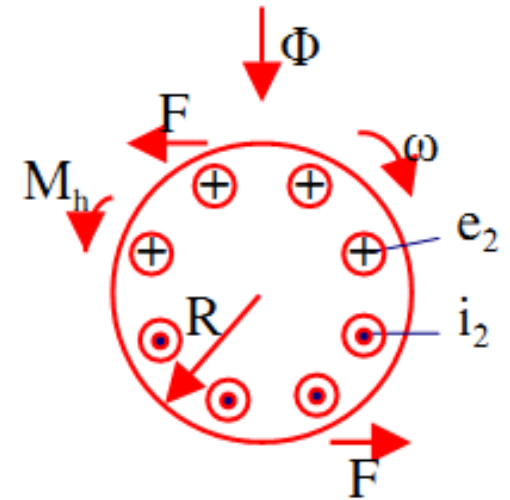


CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Lực F sinh ra mômen hãm M_h có chiều ngược với chiều quay của rôto ω làm cho rôto quay chậm lại \rightarrow số đ e_2 giảm dần.

Để thành lập phương trình đặc tính cơ của động cơ khi hãm động năng ta thay thế một cách đẳng trị chế độ máy phát đồng bộ có tần số thay đổi bằng chế độ động cơ không đồng bộ.

Nghĩa là cuộn dây stato thực tế đấu vào nguồn một chiều nhưng ta coi như đấu vào nguồn xoay chiều.



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Điều kiện đẳng trị: sức từ động do dòng điện một chiều (F_{mc}) và dòng điện xoay chiều đẳng trị (F_1) sinh ra như nhau:

$$F_{mc} = F_1$$

Sức từ động xoay chiều do dòng đẳng trị (I_1) sinh ra:

$$F_1 = \frac{3}{2} \sqrt{2} \cdot w_1 \cdot I_1$$

Stđ F_{mc} do dòng một chiều thực tế sinh ra phụ thuộc vào cách đấu dây của mạch stato khi hãm và biểu diễn tổng quát:

$$F_{mc} = a \cdot w_1 \cdot I_{mc}$$

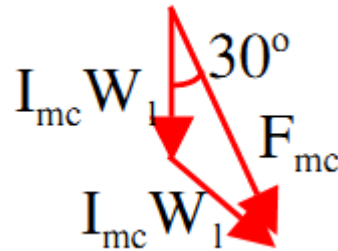
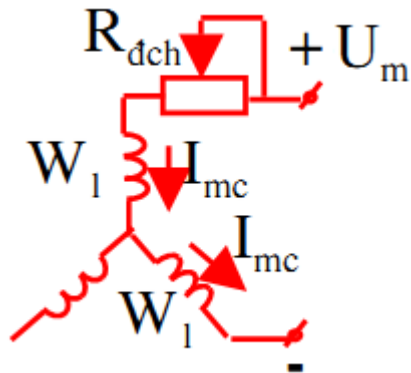
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Ghép nối hai biểu thức stđ một chiều và xoay chiều

$$F_1 = \frac{3}{2} \sqrt{2} \cdot w_1 \cdot I_1 = a \cdot w_1 \cdot I_{mc} = F_{mc} \quad \rightarrow \quad I_1 = \frac{a \cdot I_{mc}}{\frac{3}{2} \sqrt{2}} = A \cdot I_{mc}$$
$$\rightarrow A = a \frac{\sqrt{2}}{3}$$

Trong đó: a, A là các hệ số phụ thuộc sơ đồ nối mạch stato khi hãm động năng

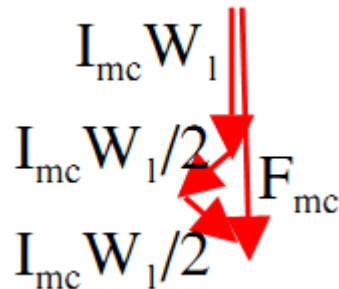
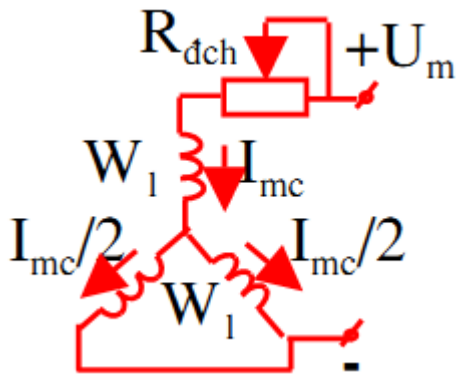
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN



$$F_{mc} = 2 \cdot I_{mc} w_1 \cos 30^\circ = \sqrt{3} \cdot I_{mc} w_1$$

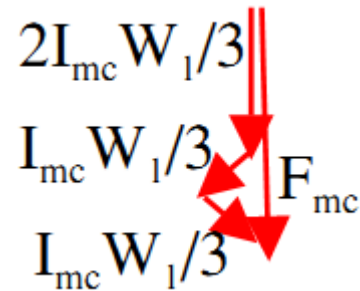
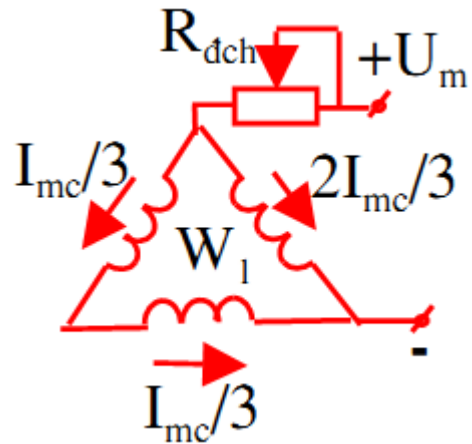
$$F_{mc} = a \cdot w_1 \cdot I_{mc}$$

$$\rightarrow a = \sqrt{3} \rightarrow A = a \frac{\sqrt{2}}{3} = \sqrt{3} \frac{\sqrt{2}}{3} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$$

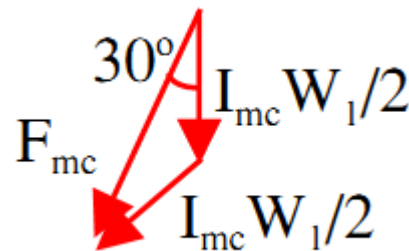
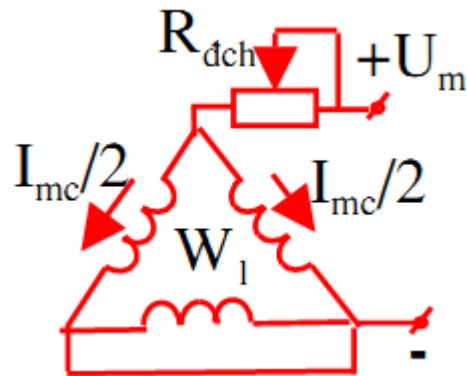


$$\rightarrow a = \frac{3}{2} \rightarrow A = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN



$$\rightarrow a = 1 \rightarrow A = \frac{\sqrt{2}}{3}$$



$$\rightarrow a = \frac{\sqrt{3}}{2} \rightarrow A = \frac{1}{\sqrt{2}\sqrt{3}}$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Dựa vào sơ đồ thay thế một pha của động cơ trong chế độ hãm động năng để xây dựng đặc tính cơ

Chế độ động cơ: điện áp đặt vào stato không đổi (nguồn áp), dòng từ hóa I_μ từ thông Φ không đổi, còn dòng điện stato I_1 và rôto I_2 biến đổi theo tốc độ trượt s .

Chế độ hãm động năng kích từ độc lập: Dòng một chiều I_{mc} không đổi \rightarrow dòng xoay chiều đẳng trị cũng không đổi \rightarrow nguồn cấp cho stato là nguồn dòng.

Mặt khác, vì tổng trở mạch rôto khi hãm phụ thuộc vào tốc độ nên dòng rôto I_2 và dòng từ hóa I_μ đều thay đổi, vậy nên từ thông Φ ở stato thay đổi theo tốc độ.

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

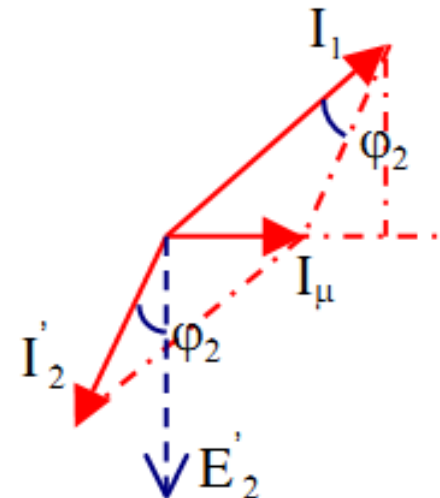
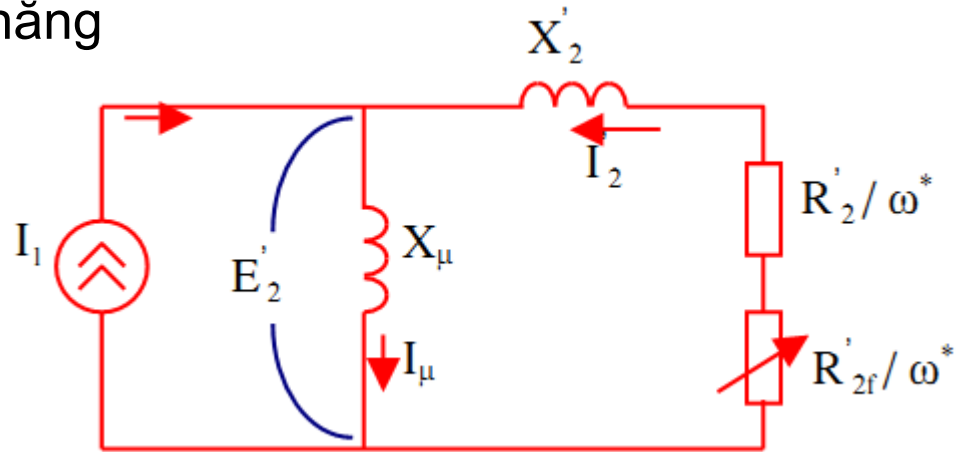
Sơ đồ thay thế khi hãm động năng

Trong chế độ động cơ, động năng rôto (công suất cơ) tính theo tốc độ trượt s (TT quay)

Trạng thái hãm động năng rôto được tính theo tốc độ tương đối (TT đứng yên).

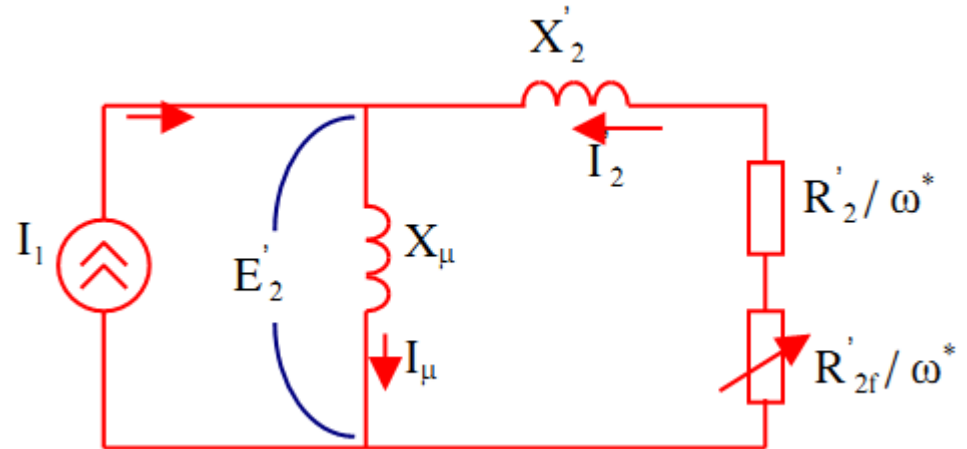
$$\omega^* = \frac{\omega}{\omega_0}$$

Từ sơ đồ thay thế, ta có đồ thị vector dòng điện



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Từ sơ đồ thay thế ta có:



$$I_2' = \frac{E_2'}{\sqrt{\left(\frac{R_{2\Sigma}'}{\omega^*}\right)^2 + X_2'^2}} = \frac{E_2' \omega^*}{\sqrt{R_{2\Sigma}'^2 + (X_2' \omega^*)^2}}$$

$$I_2' = \frac{X_\mu I_\mu \omega^*}{\sqrt{R_{2\Sigma}'^2 + (X_2' \omega^*)^2}}$$

với $R_{2\Sigma}' = R_2' + R_{2f}'$

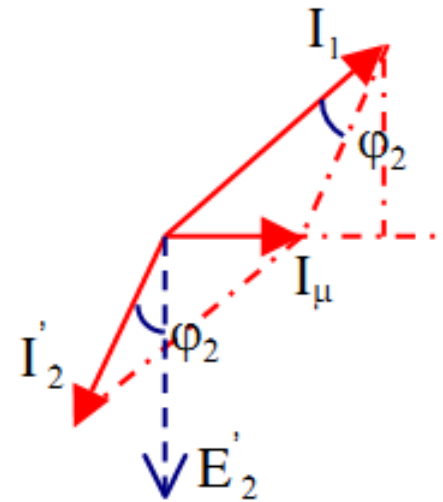
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Theo đồ thị vectơ ta có:

$$I_1^2 = (I_\mu + I_2' \sin \varphi_2)^2 + (I_2' \cos \varphi_2)^2$$

$$I_1^2 = I_\mu^2 + I_2'^2 + 2I_\mu I_2' \sin \varphi_2$$

$$\text{với } \sin \varphi_2 = \frac{X_2 \omega^*}{\sqrt{R_{2\Sigma}'^2 + (X_2 \omega^*)^2}}$$



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Thay I_2' và $\sin\varphi_2$ vào biểu thức I_1 :

$$I_1^2 = I_\mu^2 + \frac{I_\mu^2 X_\mu^2 \omega^{*2}}{R_{2\Sigma}'^2 + (X_2' \omega^*)^2} + \frac{2I_\mu^2 X_\mu^2 X_2' \omega^{*2}}{R_{2\Sigma}'^2 + (X_2' \omega^*)^2}$$

$$\rightarrow \omega^* = \frac{\left(\frac{I_1}{I_\mu}\right)^2 - 1}{\sqrt{(X_2' + X_\mu)^2 - \left(\frac{I_1}{I_\mu}\right)^2 X_2'^2}}$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Dòng điện rôto:
$$I_2' = \frac{X_\mu I_\mu \omega^*}{\sqrt{R_{2\Sigma}'^2 + (X_2' + X_\mu)^2 \omega^{*2}}}$$

Mô men động cơ:
$$M = \frac{3 \cdot I_2'^2 \frac{R_{2\Sigma}'}{\omega^*}}{\omega_0}$$

$$M = \frac{3 \cdot I_2'^2 R_{2\Sigma}' \omega^*}{\omega_0 [R_{2\Sigma}'^2 + (X_2' + X_\mu)^2 \omega^{*2}]}$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Đường cong $M = f(\omega^*)$ cũng được khảo sát tương tự như với đường cong đặc tính cơ của động cơ và cho ta những kết quả:

$$\omega_{th}^* = \frac{R'_{2\Sigma}}{X_{\mu} + X'_2} \quad M_{th} = \frac{3.I_1^2 X_{\mu}^2}{2\omega_0 (X_{\mu} + X'_2)}$$

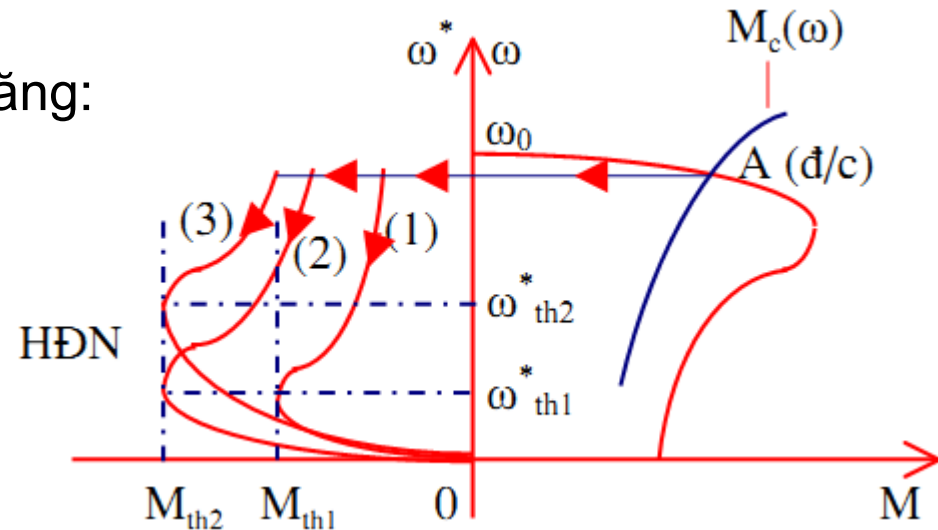
$$M = \frac{2.M_{th}}{\frac{\omega^*}{\omega_{th}^*} + \frac{\omega_{th}^*}{\omega^*}}$$

Khi thay đổi $R'_{2f} \rightarrow R'_{2\Sigma}$ thay đổi $\rightarrow \omega_{th}^*$ thay đổi và $M_{th} = \text{const}$

Khi thay đổi dòng điện xoay chiều đẳng trị I_1 , nghĩa là thay đổi dòng điện một chiều $I_{mc} \rightarrow M_{th}$ thay đổi và $\omega_{th}^* = \text{const}$.

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Các đường đặc tính hãm động năng:



Đường (1) và (2) có cùng điện trở $R'_{2\Sigma(1)} = R'_{2\Sigma(2)}$, nhưng có mô men $M_{th1} < M_{th2}$ nên dòng điện một chiều tương ứng $I_{mc1} < I_{mc2}$.

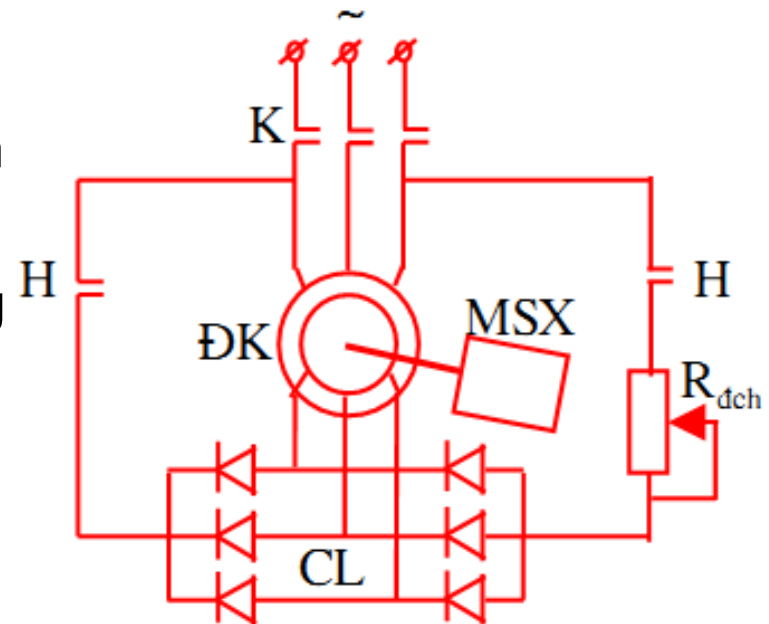
Đường (2) và (3) thì có cùng dòng điện một chiều nhưng điện trở $R'_{2\Sigma(2)} < R'_{2\Sigma(3)}$. Nên $\omega^*_{th1} < \omega^*_{th2}$

Khi thay đổi điện trở phụ mạch rôto hoặc dòng điện một chiều stato động cơ khi hãm động năng thì sẽ thay đổi đặc tính tính cơ.

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Hãm động năng tự kích từ

Ở chế độ động cơ (tiếp K kín, tiếp điểm H hở), khi cho K hở, H kín lại, động cơ sẽ chuyển sang chế độ hãm động năng tự kích từ. Khi đó, dòng điện I_{mc} không phải từ nguồn bên ngoài, mà sử dụng ngay năng lượng của động cơ thông qua bộ chỉnh lưu ở mạch rôto hoặc bộ tụ điện ở mạch stato



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Ví dụ 2-6:

Hãy lựa chọn đặc tính cơ hãm động năng và xác định các thông số mạch hãm, gồm dòng điện một chiều I_{mc} cấp vào cuộn dây stato và điện trở phụ R_h nối vào mạch rôto của động cơ không đồng bộ rôto dây quấn sao cho mômen hãm cực đại đạt được $M_{h,max} = 2,5M_{đm}$ và hiệu quả hãm cao. Số liệu cho trước: Động cơ 11KW; 220V; $n = 953$ vg/ph, $\lambda = M_{th}/M_{đm} = 3,1$; $\cos\varphi_{đm} = 0,71$; $\cos\varphi_0$ (không tải) = 0,24; $I_{1đm} = 28,4A$; $I_{1,0}$ (không tải) = 19,2A; $R_1 = 0,415\Omega$; $X_1 = 0,465\Omega$; E_{2nm} (điện áp dây) = 200V; $I_{2đm} = 35,4A$; $r_2 = 0,132\Omega$; $X_2 = 0,27\Omega$; và $K_e = 1,84$.

Giải:

Trước hết, xác định thêm các thông số của động cơ:

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Tốc độ góc định mức:

$$\omega_{đm} = \frac{n_{đm}}{9,55} = \frac{953}{9,55} = 99,8(\text{rad/s})$$

Tốc độ góc từ trường quay:

$$\omega_0 = \frac{1000}{9,55} = 104,7(\text{rad/s})$$

Mô men định mức:

$$M_{đm} = \frac{P_{đm} 1000}{\omega_{đm}} = \frac{11.1000}{99,8} = 110,2(\text{N.m})$$

Tốc độ trượt định mức:

$$s_{đm} = \frac{\omega_0 - \omega_{đm}}{\omega_0} = \frac{104,7 - 99,8}{104,7} = 0,05$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Điện kháng mạch từ hóa X_μ được xác định theo s.đ.đ. và dòng điện không tải của stato (coi dòng không tải bằng dòng từ hóa):

$$X_\mu = \frac{E_{1.0}}{I_{1.0}} = \frac{K_e E_{2nmf}}{I_{1.0}} = \frac{1,84.200}{\sqrt{3}.19,2} = 11,05(\Omega)$$

Điện kháng rôto qui đổi về stato:

$$X_2' = K_e^2 . X_2 = 1,84^2 0,27 = 0,92(\Omega)$$

Theo yêu cầu của đề bài ta có thể chọn đặc tính hãm động năng có mômen tới hạn:

$$M_{th.đn} = M_{h.max} = 2,5M_{đm}$$

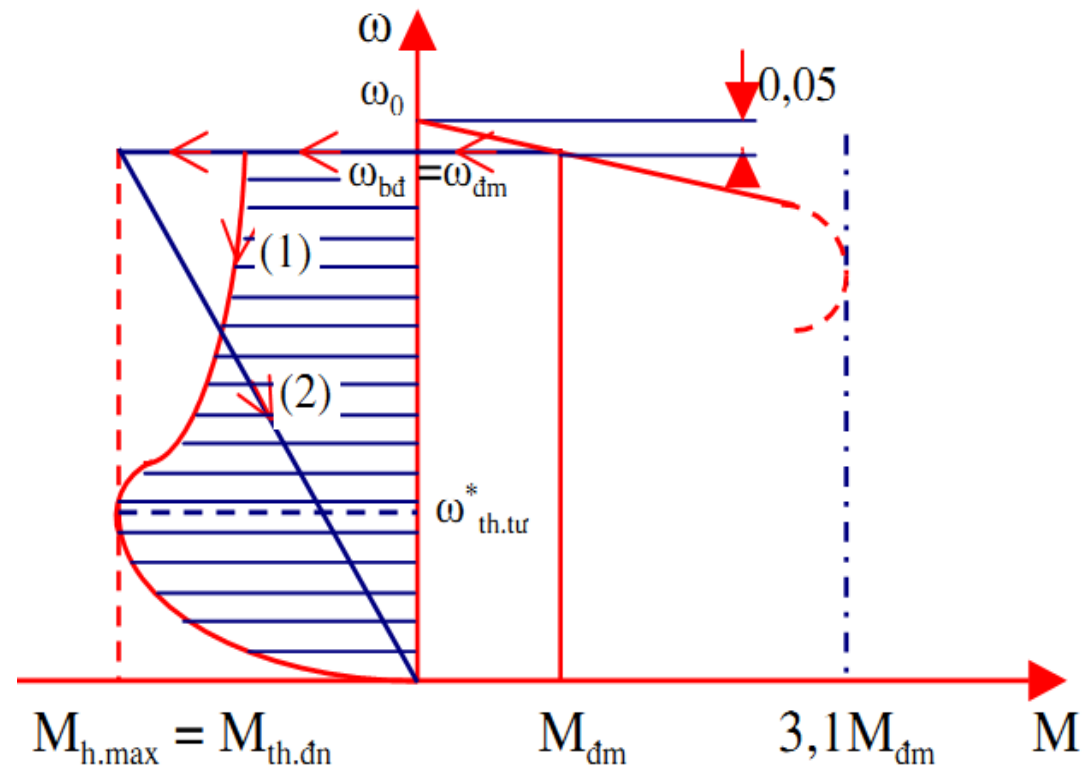
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Tốc độ tới hạn ω_{th}^* có thể chọn bằng tốc độ hãm ban đầu:

$$\omega_{th}^* = \omega_{bđ}^* = \omega_{đm} / \omega_0$$

Khi đó ta có đặc tính hãm là đường 2.

Rõ ràng đặc tính này có hiệu quả hãm thấp vì mômen giảm gần như tuyến tính từ tốc độ ban đầu $\omega_{bđ} = \omega_{đm}$ cho đến $\omega = 0$.



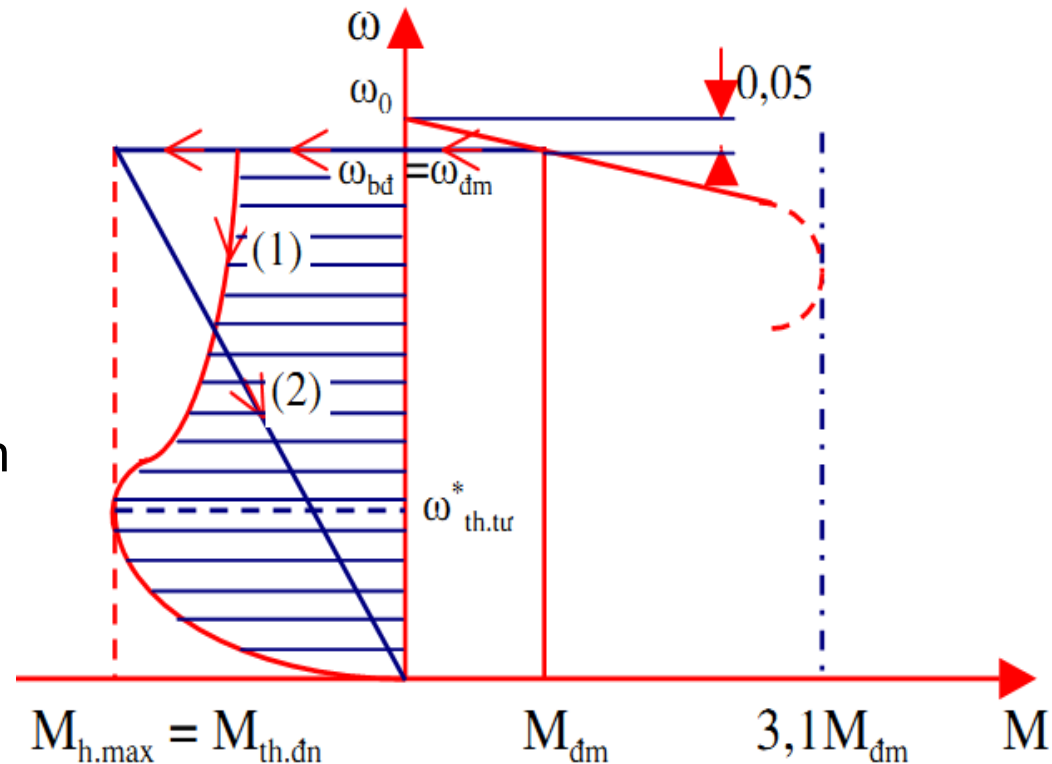
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Để cho việc hãm có hiệu quả cao, cần tạo ra một đặc tính cơ đảm bảo bao một diện tích lớn nhất giữa nó với trục tung của đồ thị (vùng gạch sọc).

Khi đó mômen hãm trung bình trong toàn bộ quá trình hãm sẽ là lớn nhất.

Việc tính toán cho thấy đặc tính cơ dạng này có tốc độ tới hạn: $\omega_{th.tu}^* = 0,407$

Vậy đặc tính cơ hãm động năng được chọn là đường (1)



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Từ biểu thức của mômen tới hạn hãm động năng ta rút ra biểu thức tính dòng điện xoay chiều đẳng trị I_1 :

$$I_1 = \sqrt{\frac{M_{\text{th.đn}} \cdot 2\omega_0 (X_\mu + X'_2)}{3X_\mu^2}}$$
$$I_1 = \sqrt{\frac{2,5 \cdot 110,2 \cdot 104,7 (11,05 + 0,992)}{3 \cdot 11,05^2}} = 43,4(\text{A})$$

Qua hệ số tỷ lệ A của sơ đồ nối dây stato vào nguồn điện một chiều khi hãm (ví dụ chọn sơ đồ 1), ta có: $A = \sqrt{2} / \sqrt{3} = 0,815$

Ta xác định được dòng điện một chiều cần thiết:

$$I_{\text{mc}} = I_1 / A = 43,4 / 0,815 = 53(\text{A})$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Giá trị điện trở trong mạch rôto khi hãm:

$$R'_{2.t} = \omega_{th}^* (X_{\mu} + X'_2) = 0,407(11,05 + 0,92) = 4,87(\Omega)$$

Tương ứng với giá trị trước khi qui đổi:

$$R_{2t} = R'_{2.t} / k_e^2 = 4,87 / 1,84^2 = 1,44(\Omega)$$

Vậy điện trở phụ cần nối vào mạch rôto

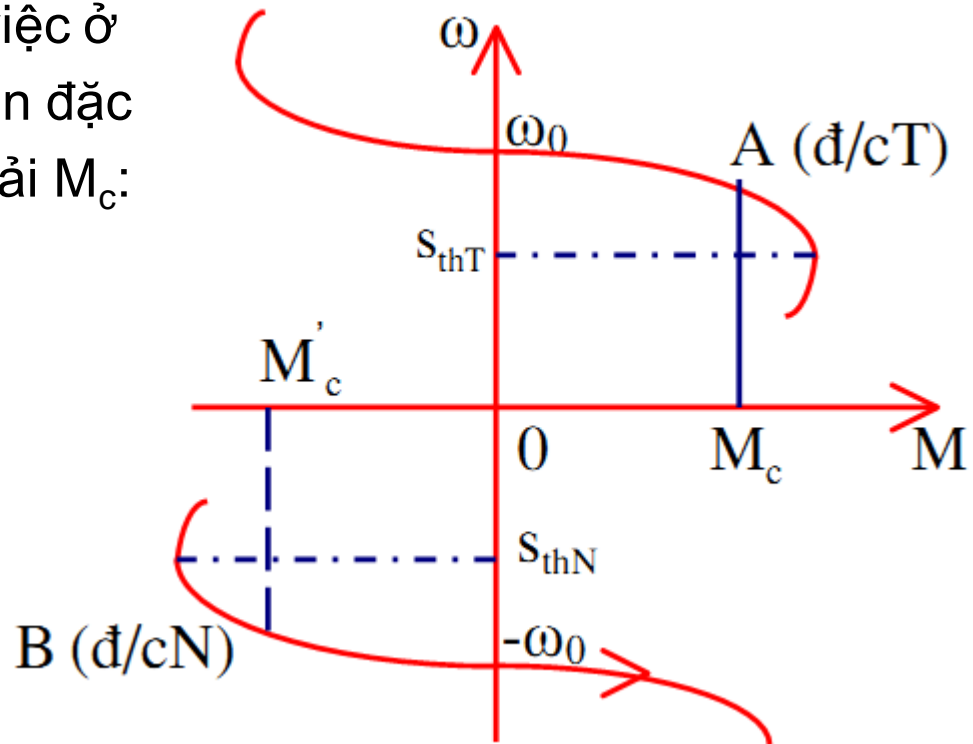
$$R_{2h} = R_{2t} - r_2 = 1,44 - 0,132 = 1,308(\Omega)$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

2.3.5. Các đặc tính cơ khi đảo chiều

Giả sử động cơ đang làm việc ở điểm A theo chiều thuận trên đặc tính cơ tự nhiên thuận với tải M_c :

$$M = \frac{2.M_{th}(1 - a.s_{th})}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s} + 2a.s_{th}}$$



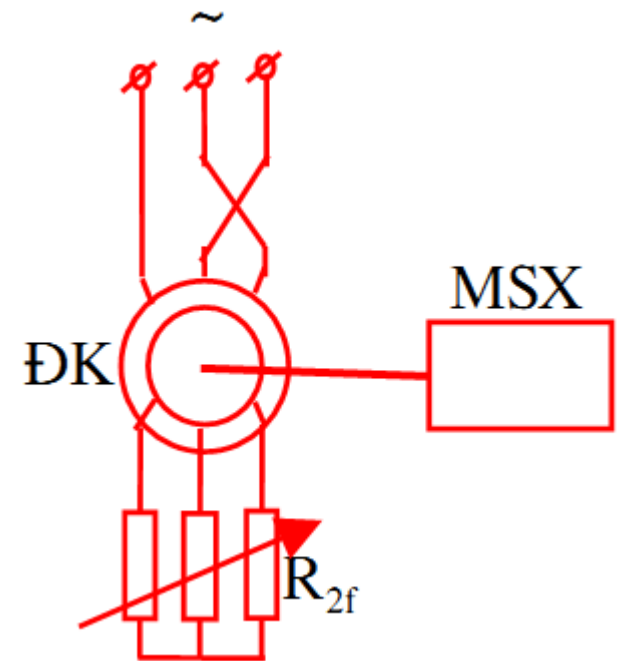
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Để đảo chiều động cơ, có thể đảo chiều từ trường stato ($\pm\omega_0$), hay đảo thứ tự pha điện áp (u_1) động cơ (thường đảo 2 trong 3 pha stato).

Khi đảo chiều, dòng đảo chiều rất lớn nên phải cho thêm điện trở phụ vào mạch rôto để hạn chế $I_{đc.h} = I_{cp}$.

Khi động cơ làm việc ở chiều ngược thì M_{th} sẽ đảo dấu và $s_{th} > 1$.

Động cơ quay ngược chiều tương ứng với điểm B trên đặc tính cơ tự nhiên bên ngược, hoặc trên đặc tính cơ nhân tạo ngược.



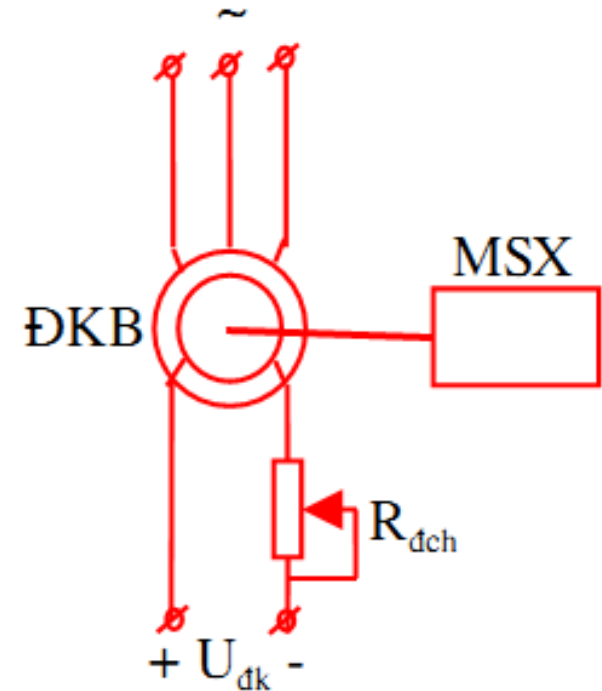
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

2.4. ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ

2.4.1. Đặc tính cơ

Khi đóng stato của động cơ đồng bộ vào lưới điện xoay chiều có tần số f_1 không đổi, động cơ sẽ làm việc với tốc độ đồng bộ không phụ thuộc vào tải:

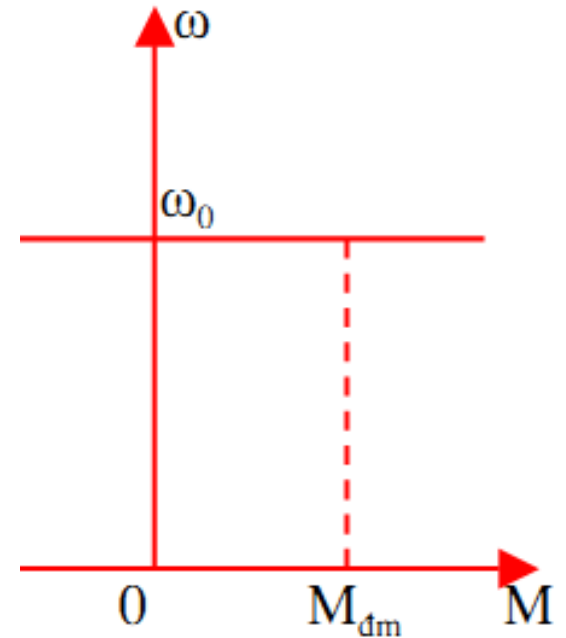
$$\omega_0 = \frac{2\pi.f_1}{p}$$



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Như vậy đặc tính cơ của động cơ ĐDB này trong phạm vi mômen cho phép $M \leq M_{\max}$ là đường thẳng song song với trục hoành, với độ cứng $\beta = \infty$.

Tuy nhiên khi mômen vượt quá trị số cực đại cho phép $M > M_{\max}$ thì tốc độ động cơ sẽ lệch khỏi tốc độ đồng bộ.



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

2.4.2. Đặc tính góc của động cơ

Trong nghiên cứu tính toán hệ truyền động dùng động cơ ĐB, người ta sử dụng một đặc tính quan trọng là đặc tính góc.

Đặc tính góc của động cơ đồng bộ quan hệ giữa giữa mômen của động cơ với góc lệch vector điện áp pha của lưới U_1 và vector sức điện động cảm ứng E trong dây quấn stato do từ trường một chiều của rôto sinh ra: $M = f(\theta)$

Đặc tính này được xây dựng bằng cách sử dụng đồ thị vector của mạch stato với giả thiết bỏ qua điện trở tác dụng của cuộn dây stato ($r_1 \approx 0$).

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

U_1 - điện áp pha của lưới (V)

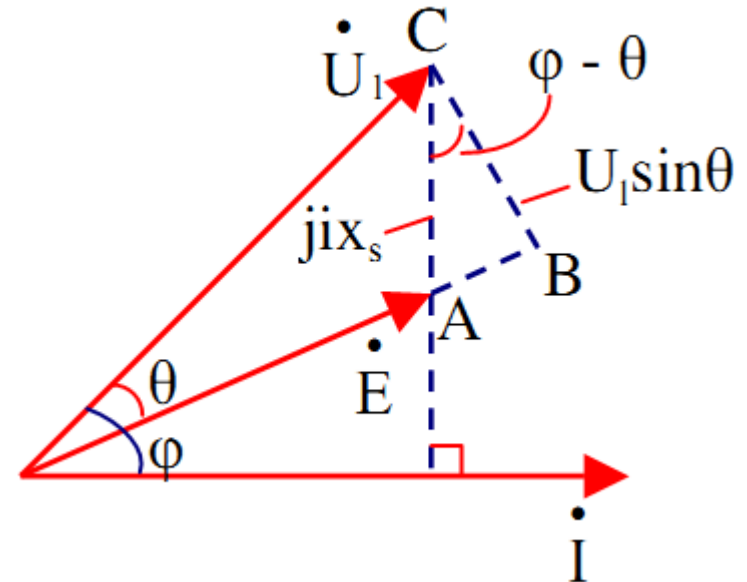
E - sức điện động pha stato (V)

I - dòng điện stato (A)

θ - góc lệch giữa U_1 và E

φ - góc lệch giữa vectơ điện áp U_1 và dòng điện I .

$X_s = X_\mu + X_1$ - điện kháng pha của stato là tổng của điện kháng mạch từ hóa X_μ và điện kháng cuộn dây 1 pha của stato X_1 (Ω)



CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Từ đồ thị vectơ

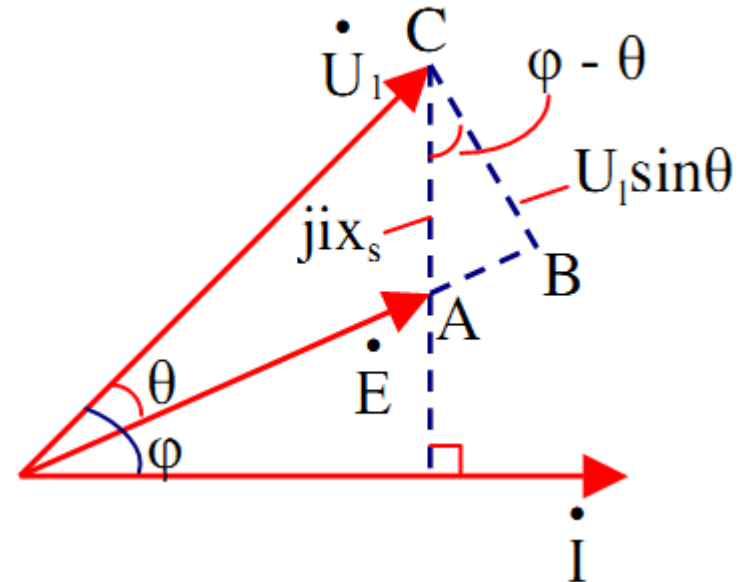
$$U_1 \cos \varphi = E \cos(\varphi - \theta)$$

Từ tam giác ABC

$$\cos(\varphi - \theta) = \frac{CB}{CA} = \frac{U_1 \sin \theta}{I \cdot X_s}$$

$$U_1 \cos \varphi = E \frac{U_1 \sin \theta}{I \cdot X_s}$$

$$U_1 I \cos \varphi = E \frac{U_1 \sin \theta}{X_s}$$



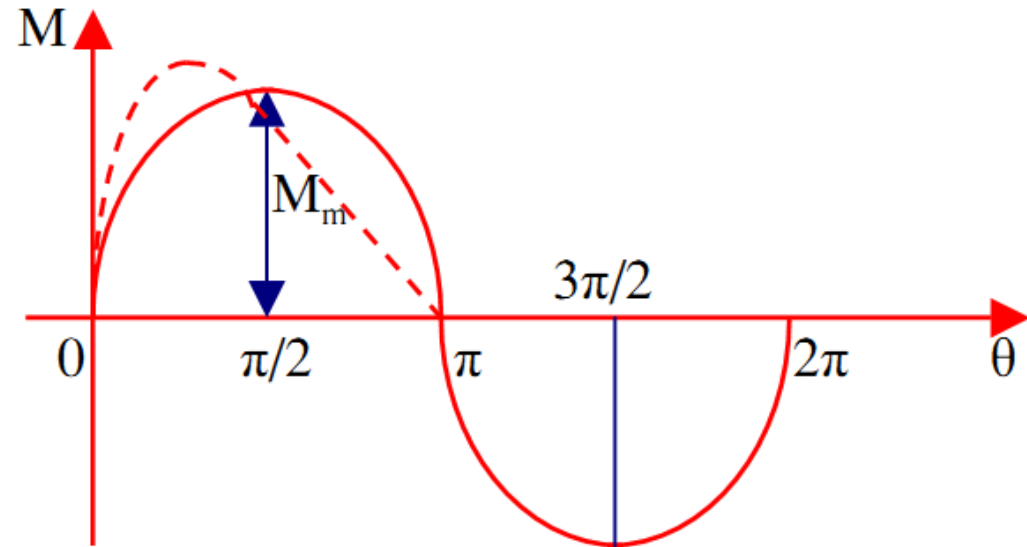
CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Công suất 3 pha của động cơ:

$$P = 3 \frac{E \cdot U_1}{X_s} \sin \theta$$

Mômen của động cơ:

$$M = \frac{P}{\omega_0} = \frac{3E \cdot U_1}{\omega_0 X_s} \sin \theta$$



Phương trình mô men chính là phương trình đặc tính góc của động cơ ĐB. Theo đó ta có đặc tính góc là đường cong hình sin

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Khi $\theta = \pi/2$ ta có biên độ cực đại:
$$M_m = \frac{3E.U_1}{\omega_0 X_s}$$

Phương trình mô men có dạng gọn:
$$M = M_m \sin \theta$$

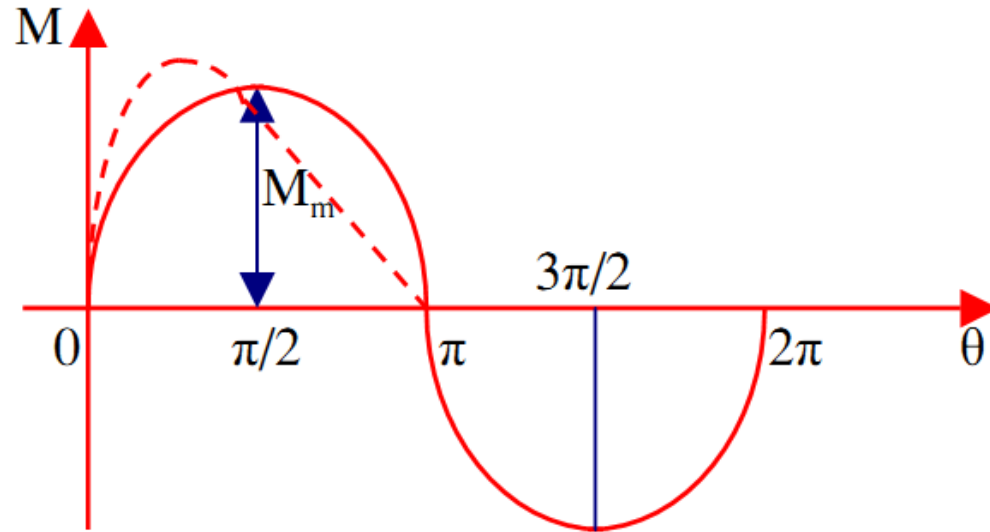
Mô men M_m đặc trưng cho khả năng quá tải của động cơ. Khi tải tăng góc lệch pha θ tăng, nếu tăng quá mức $\theta > \pi/2 \rightarrow$ mômen giảm.

Động cơ đồng bộ thường làm việc định mức ở trị số của góc lệch $\theta = 20^\circ \div 25^\circ$

Hệ số tải về mômen tương ứng sẽ là:

$$\lambda = \frac{M_m}{M_{đm}} = 2 \div 2,5$$

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN



Những điều đã phân tích ở trên chỉ đúng với những động cơ đồng bộ cực ẩn và mômen chỉ xuất hiện khi rôto có kích từ.

Còn đối với những động cơ đồng bộ cực lồi, do sự phân bố khe hở không khí không đều giữa rôto và stato nên trong máy xuất hiện mômen phản kháng phụ. Do đó đặc tính góc có biến dạng ít nhiều, như đường nét đứt trên hình

CHƯƠNG 2 : ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN
