

1. Cho động cơ 1 chiều kích từ độc lập có các thông số sau: $P_{dm} =$

31.5(kW), $n_{rate} = 995(\text{rpm})$, $T_{rate} = 302(\text{Nm})$, $I_{rate} = 90(\text{A})$, Hiệu

suất $\eta = 79\%$, $R_A = 0.65(\Omega)$, $L_A = 6.6(\text{mH})$. a. Vẽ đặc tính cơ

điện tự nhiên của động cơ

b. Tính toán điện trở phụ để dòng điện định lúc khởi động $I_{LR} = 2.5I_{rate}$

c. Giả sử tải thế năng có $T_{Load} = 0.5T_{rate}$.

- Tính điện trở phụ để hạ tải với vận tốc $n_h = -0.5n_{rate}$.
- Vẽ sơ đồ thực hiện và đặc tính cơ điện tương ứng

GIẢI

a. Điện áp định mức của động cơ:

$$U_{dm} = \frac{P_{dm}}{I_{rate}\eta} = \frac{31500}{90 \times 0.79} = 443.04 \text{ (V)}$$

Tốc độ định mức của động cơ:

$$\omega_{dm} = \frac{n_{rate}}{9.55} = \frac{955}{9.55} = 100 \text{ (rad/s)}$$

Phương trình đặc tính cơ điện: $\omega = \frac{U_a - R_a I_a}{K\phi}$

$$\Rightarrow K\phi = \frac{U_{dm} - I_{rate} \times R_a}{\omega_{dm}} = \frac{443.04 - 90 \times 0.65}{100} = 3.85 \text{ (V.s/rad)}$$

Phương trình đặc tính cơ: $\omega = \frac{U_a - R_a I_a}{K\phi} = \frac{U_a - R_a I_a}{(K\phi) T}$

Đặc tính cơ tự nhiên của động cơ là đường thẳng đi qua 2 điểm sau:

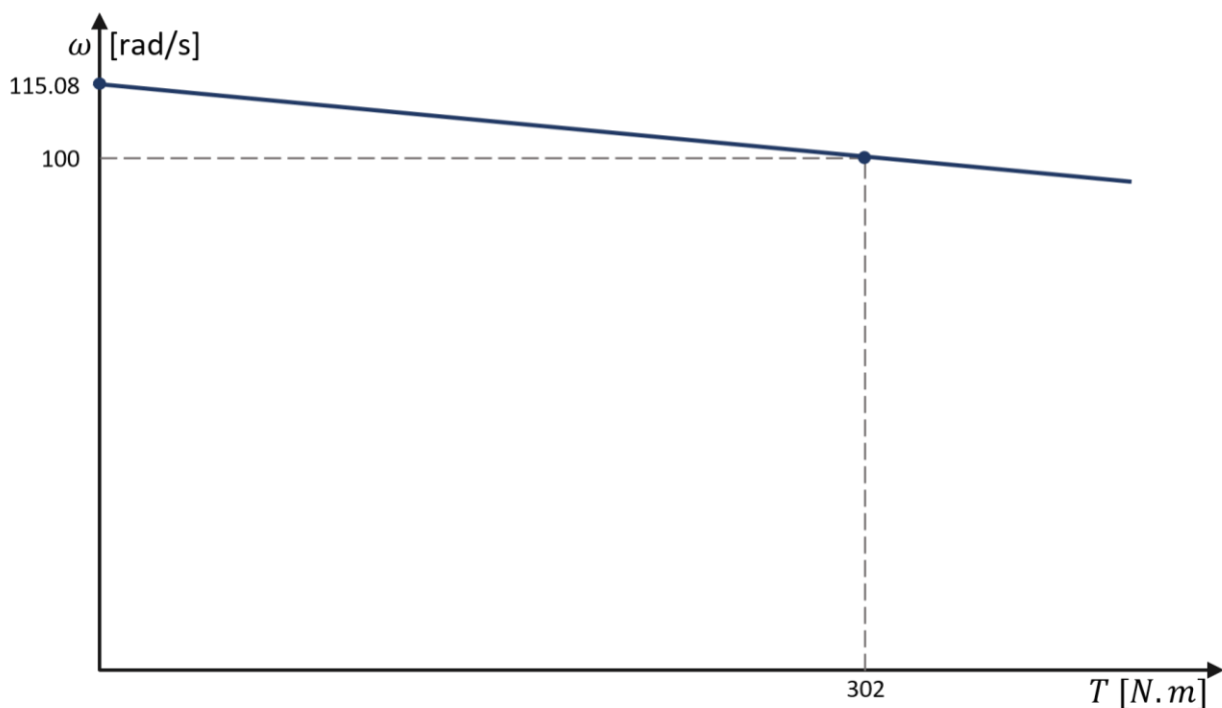
- Điểm 1: $A(\omega=\omega_0; T=0)$

$$\omega = \frac{U_{dm}}{K\phi} = \frac{443.04}{3.85} = 115.08 \text{ (rad/s)}$$

$$\Rightarrow A(115.08; 0)$$

- Điểm 2: $B(\omega=\omega_{dm}; T=T_{dm})$
 $\Rightarrow B(100; 302)$

Từ hai điểm trên, ta có **đường đặc tính cơ của động cơ** như sau:



- b. Chọn dòng điện khởi động lớn nhất: $I_{LR} = 2.5I_{rate} = 2.5 \times 90 = 225 \text{ (A)}$

Chọn dòng điện khởi động nhỏ nhất: $I_2 = 1.1I_{rate} = 1.1 \times 90 = 9.9 \text{ (A)}$

Điện trở ứng với giá trị I_{LR} :

$$R_{Max} = \frac{U_{dm}}{I_{LR}} = \frac{443.04}{225} = 1.97 (\Omega)$$

Lấy tỉ số các dòng điện khởi động không đổi: $\lambda = \frac{I_{LR}}{I_2} = \frac{225}{9.9} = 2.27$

Điện trở các bậc khởi động:

$$R_1 = \lambda R_A = 2.27 \times 0.65 = 1.4755 (\Omega)$$

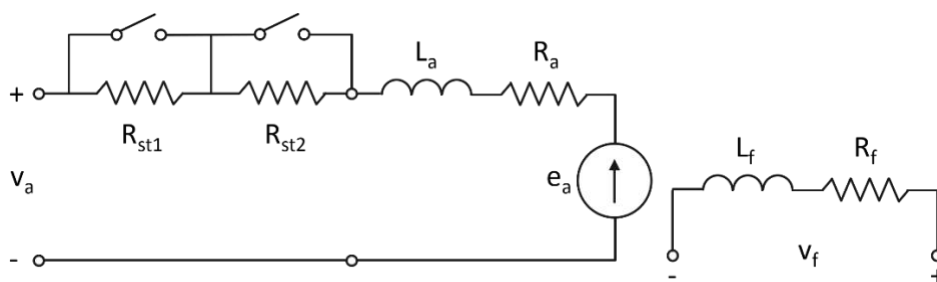
$$R_2 = \lambda R_1 = 2.27 \times 1.4755 = 3.35 (\Omega) > R_{Max}$$

Các điện trở phụ:

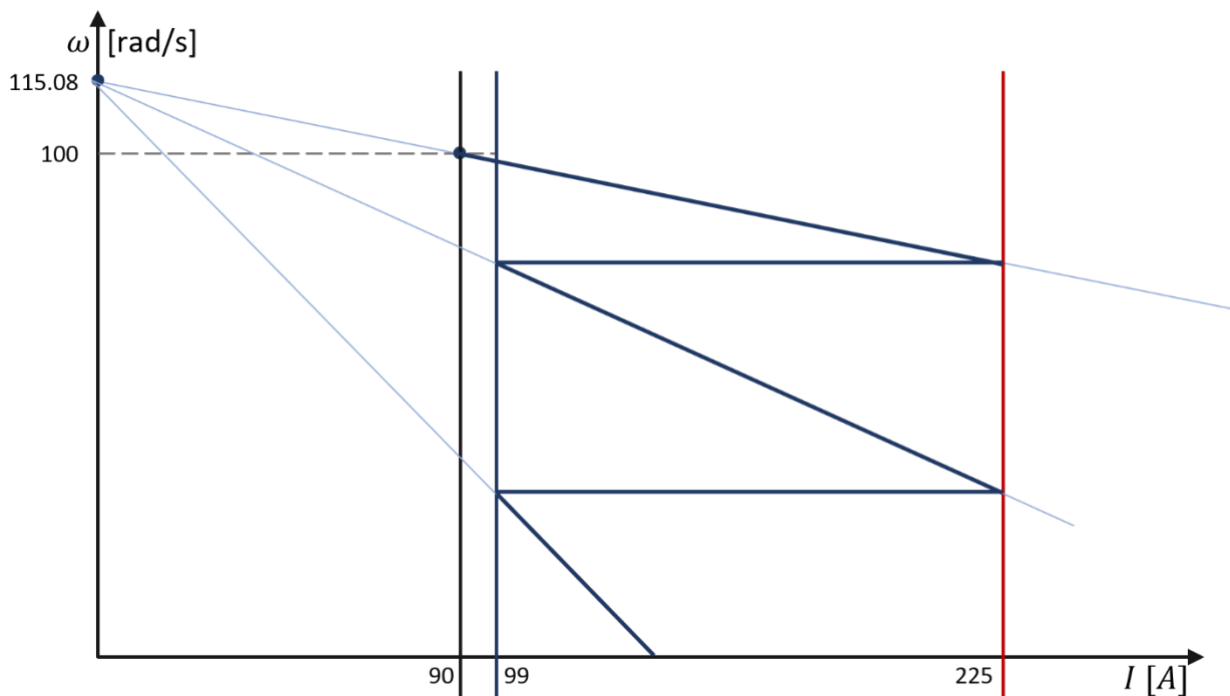
$$R_{st1} = R_1 - R_A = 1.48 - 0.65 = 0.83 (\Omega)$$

$$R_{st2} = R_2 - R_1 = 3.35 - 1.48 = 1.87 (\Omega)$$

Sơ đồ thực hiện:



Đường đặc tính cơ điện:



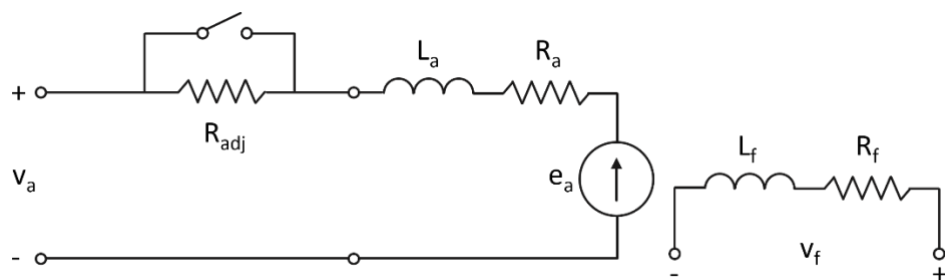
- c. Tải thế năng: $T_{load} = 0.5T_{rate} = 0.5 \times 302 = 151 (N.m)$ Vận tốc hạ tải: $\omega_h = -0.5\omega_{rate} = -0.5 \times 100 = -50 (rad/s)$ Áp dụng công thức hãm ngược do thế năng:

$$\omega_h = \frac{V_{\dot{m}}}{K\phi} - \frac{R_a - R_{adj}}{K\phi - (K\phi)^2 T_L}$$

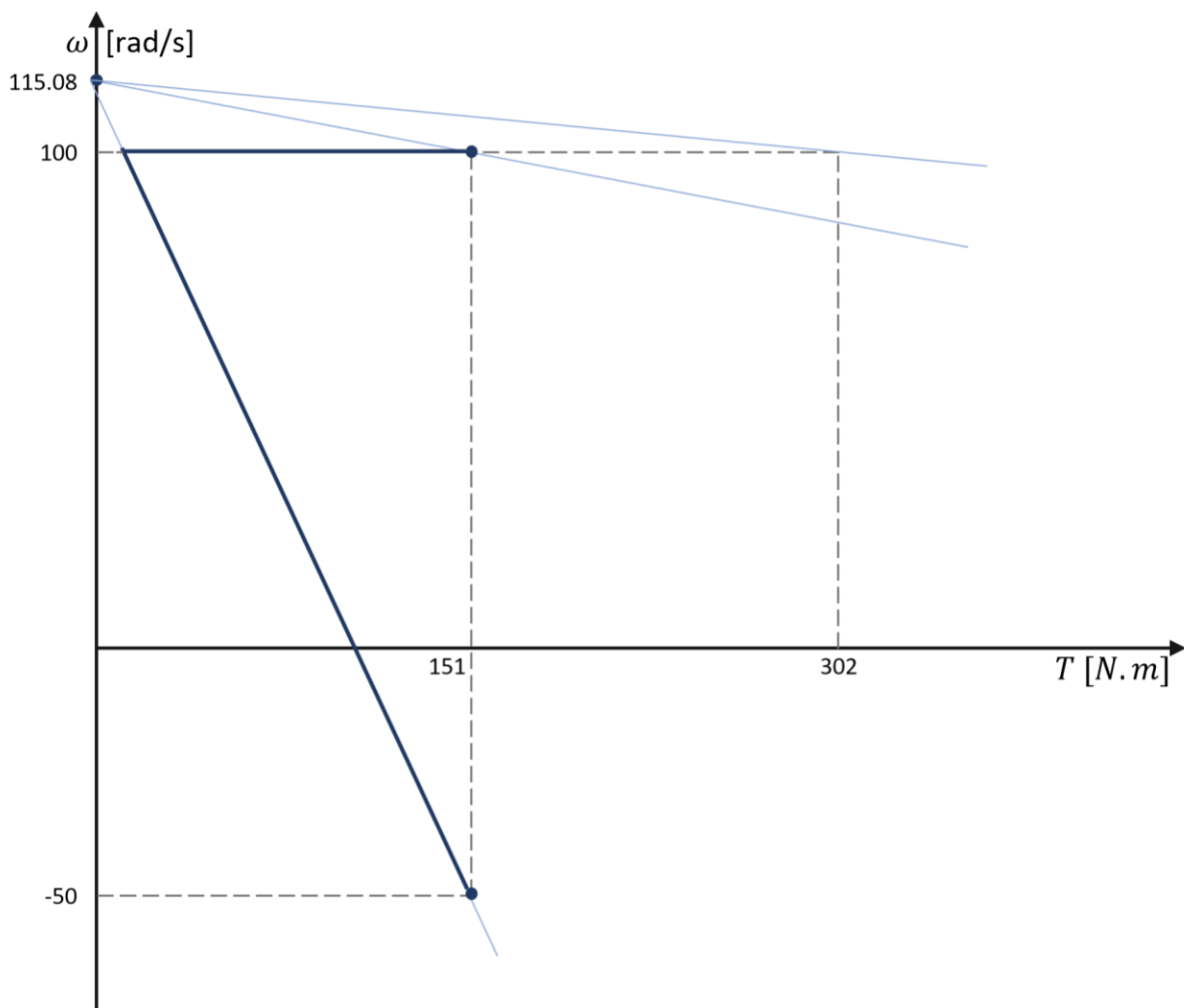
$$\Rightarrow R_{adj} = \left(\frac{V_{\dot{m}}}{K\phi} - \omega_h \right) \frac{(K\phi)^2}{T_L} - R_a = \left(\frac{443.04}{\frac{3.85}{151}} + 50 \right) \frac{3.85^2}{151} - 0.65 = 15.56 (\Omega)$$

Vậy điện trở phụ để hạ tải với vận tốc -50 rad/s là 15.56 Ω

Sơ đồ thực hiện:



Đường đặc tính cơ điện:



2. Cho động cơ 1 chiều kích từ độc lập có các thông số sau:

$P_{dm} = 127(kW)$, $n_{rate} = 1420(rpm)$, $T_{rate} = 885(Nm)$, $I_{rate} = 326(A)$, Hiệu

suất $\eta = 91\%$, $R_A = 0.074(\Omega)$, $L_A = 1.91(mH)$.

- Vẽ đặc tính cơ điện tự nhiên của động cơ.
- Giả sử động cơ đang vận hành ở chế độ định mức thì đột ngột giảm một nửa điện áp phần ứng. Hãy tính dòng điện ở thời điểm chuyển trạng thái và vẽ đặc tính cơ điện trong quá trình chuyển điểm làm việc.

GIẢI

- Điện áp định mức của động cơ:

$$U_{dm} = \frac{P_{dm}}{I_{rate}\eta} = \frac{127000}{326 \times 0.91} = 428.1 (V)$$

Tốc độ định mức của động cơ:

$$\omega_{dm} = \frac{n_{rate}}{9.55} = \frac{1420}{9.55} = 148.69 (rad/s)$$

Phương trình đặc tính cơ điện: $\omega = \frac{U_a - R_a I_a}{K\phi}$

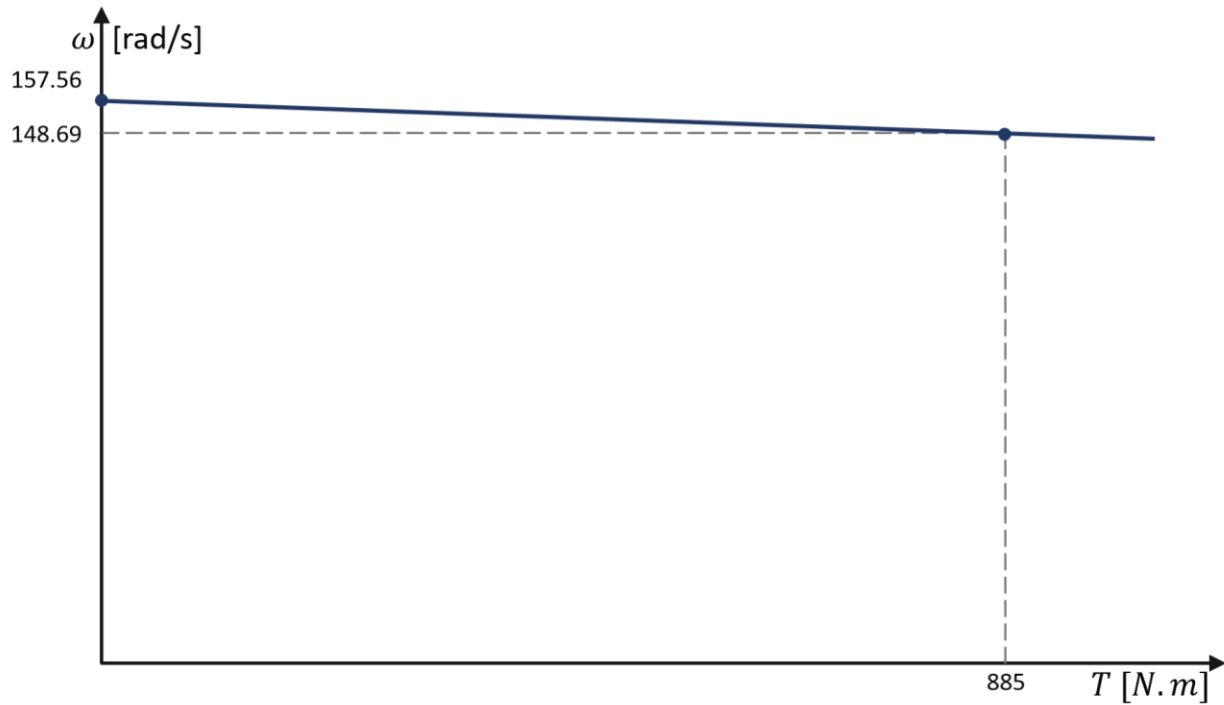
$$\Rightarrow K\phi = \frac{U_{dm} - I_{rate} \times R_a}{s/rad) \omega_{dm}} = \frac{428.1 - 326 \times 0.074}{148.69} = 2.717 (V.$$

Phương trình đặc tính cơ: $\omega = \frac{K\phi U_a - (K\phi R_a)^2 T}{K\phi}$

Đặc tính cơ tự nhiên của động cơ là đường thẳng đi qua 2 điểm sau:

- Điểm 1: $A(\omega=\omega_0; T=0)$
 $\omega = \frac{U_{dm}}{K\phi} = \frac{428.1}{2.717} = 157.56(rad/s)$
 $\Rightarrow A(157.56; 0)$
- Điểm 2: $B(\omega=\omega_{dm}; T=T_{dm})$
 $\Rightarrow B(148.69; 885)$

Từ hai điểm trên, ta có **đường đặc tính cơ của động cơ** như sau:



b. Ở chế độ định mức: đặc tính cơ điện của động cơ là đường thẳng có phương trình:

$$\omega_1 = \frac{U_a - R_a I_a}{K\phi} = \frac{428.1 - 0.074 I_a}{2.717} = 157.563 - 0.027 I_a$$

Giả sử động cơ đang vận hành ở chế độ định mức thì đột ngột giảm một nửa điện áp phản ứng. Đường đặc tính cơ điện tương ứng với điện áp giảm một nửa có phương trình:

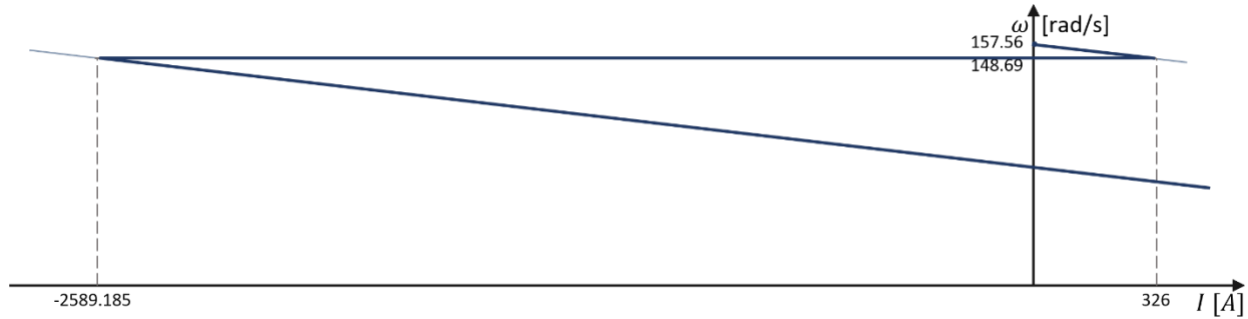
$$\omega_2 = 78.782 - 0.027 I_a$$

Ở thời điểm chuyển trạng thái:

$$\omega_2 = \omega_1 = 148.69 \text{ (rad/s)}$$

$$\Rightarrow 78.782 - 0.027 I_a = 148.69 \Rightarrow I_a = -2589.185 \text{ (A)}$$

Đặc tính cơ điện:



3. Cho động cơ không đồng bộ 3 pha rotor lồng sóc có thông số sau:

$$f_{\text{rate}} = 50\text{Hz}, \Delta/Y: 230/400V$$

$$P_{\text{rate}} = 15\text{kW}, n_{\text{rate}} = 1475\text{rpm}, T_{\text{rate}} = 97\text{Nm}, \cos\phi_{\text{rate}} = 0.85, I_{\text{rate}} = 28\text{A},$$

Hệ số dòng khởi động: $\lambda_I = I_{\text{rate}} I_{LR} = 7.3$

Hệ số mômen khởi động: $\lambda_{LR} = T_{\text{rate}} T_{LR} = 2.3$

Hệ số quá tải: $\lambda_B = T_{\text{rate}} T_B = 3.0$

Coi đoạn đặc tính có $s \leq s_{th}$ là thẳng và bỏ qua điện trở stator. a.

Vẽ đường đặc tính cơ tự nhiên của động cơ

b. Tính tốc độ động cơ khi mômen tải bằng $0.5T_{\text{rate}}$

c. Nếu điện áp giảm còn $0.5U_{\text{rate}}$, động cơ khởi động được với mômen tải trong dải nào?

GIẢI

a. Tốc độ rotor: $n_0 = 60 \frac{f}{p}$ với $n_0 \approx n_{\text{rate}}$ và $p \in \mathbb{N}^*$

$$\Rightarrow n_0 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \times 50}{2} = 1500 \text{ (rpm)}$$

$$\omega_0 = \frac{n_0}{9.55} = \frac{1500}{9.55} = 157.068 \text{ (rad/s)}$$

$$\text{Momen tới hạn: } T_B = \lambda_B T_{\text{rate}} = 3 \times 97 = 291 \text{ (N.m)}$$

$$\text{Độ trượt động cơ định mức: } s_r = \frac{n_{\text{rate}} - n_0}{n_0} = \frac{1500 - 1475}{1500} = \frac{1}{60}$$

Coi đoạn đặc tính có $s \leq s_{th}$ là thẳng và bỏ qua điện trở stator:

Độ trượt tới hạn:

$$s_{th} \approx s_r \left(\lambda_B + \sqrt{\lambda_B^2 - 1} \right) = \frac{1}{60} \left(3 + \sqrt{3^2 - 1} \right) = 0.097$$

Áp dụng Phương trình momen giản lược:

$$T = \frac{2T_B}{2 \times 291} + \frac{2 \times 291}{2 \times 291} = 0.097s + 0.097s$$

$$\text{Với } \omega = \omega_0 - \omega_0 s = 157.068 - 157.068s$$

Đặc tính cơ tự nhiên của động cơ đi qua các điểm sau:

- Điểm không tải A: $T=0$ (Nm) ; $s=0 \Rightarrow \omega = \omega_0 - \omega_0 s = 157.068(\text{rad/s})$ Ta có **A(157.068 ; 0)**
- Điểm định mức B: $T=T_{\text{rate}}=97$ (Nm) ; $s=s_x$

$$\frac{2T_B}{2 \times 291} + \frac{2 \times 291}{2 \times 291} = 97 \Rightarrow s_x = 0.5654 \quad \omega = 68.262 (\text{rad/s})$$

$$T_{\text{rate}} = \frac{s_x}{0.097} + \frac{s_{\text{txh}}}{0.097} \Rightarrow 97 = \frac{s_x}{0.097} + \frac{0.097}{0.097} \Rightarrow s_x = 0.0166 \Rightarrow \omega = 154.461 (\text{rad/s})$$

Sth

Ta có: **B₁ (68.262 ; 97)**

B₂ (154.461 ; 97)

- Điểm tới hạn C: $T=T_B=291$ (Nm) ; $s=s_{\text{th}}=0.097$
 $\Rightarrow \omega = \omega_0 - \omega_0 s = 141.832(\text{rad/s})$

Ta có: **C (141.832 ; 291)**

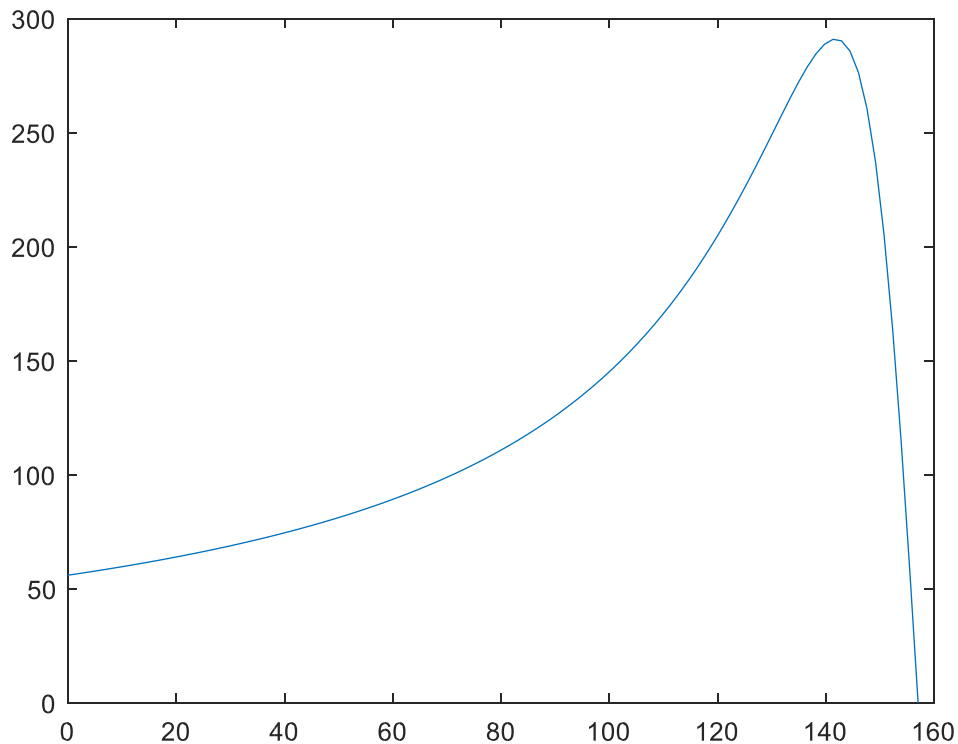
Điểm ngắn mạch D: $s=1$; $T=T_n$

$$\Rightarrow \omega = \omega_0 - \omega_0 s = 0(\text{rad/s})$$

$$T_n = \frac{2 \times 291}{\frac{1}{0.097} + \frac{0.097}{1}} = 55.927 (N.m)$$

Ta có: **D (0 ; 55.927)**

Đường đặc tính cơ tự nhiên của động cơ:



$$b. \quad T = 0.5T_{rate} = 0.5 \times 97 = 48.5(N.m)$$

$$\Rightarrow 48.5 = \frac{2 \times 291}{\frac{s}{0.097} + s}$$

$$\Rightarrow \omega = \omega_0 - \omega_0 s = 157.068 - 157.068 \times 0.00814 = 155.789(rad/s)$$

Tốc độ động cơ: $\omega = 155.789(rad/s)$

c. Ở trạng thái khởi động: $\omega = 0$ hay $s = 1$

$$\text{Momen tải tới hạn: } T_{eMax} = \frac{3V_s^2}{2\omega_0(R_s + \sqrt{R_s^2 + X_{sr}^2})}$$

$$\text{Momen tải khởi động: } T_{start} = \frac{3V_s^2}{2\omega_r(R_s^2 + X_{sr}^2)}$$

$$\text{Với } V \text{ giảm còn } 0.5V_{rate}; \quad T_{eMax} = 0.5^2 T_B = 0.25 \times 291 = 72.75(N.m)$$

$$T_{start} = 0.5^2 T_{LR} = 0.25 \times 223.1 = 55.775(N.m)$$

Vậy động cơ khởi động được với Momen tải trong dải từ 55.775 Nm đến 72.75 Nm

4. Cho động cơ không đồng bộ 3 pha rotor lồng sóc có thông số sau:

$$f_{rate} = 50\text{Hz}, \Delta/Y: 230/400\text{V}$$

$$P_{rate} = 18.5\text{kW}, n_{rate} = 2955\text{rpm}, T_{rate} = 60\text{Nm}, \cos\phi_{rate} = 0.88, I_{rate} = 33.5\text{A},$$

$$\text{Hệ số dòng khởi động: } \lambda_I = I_{rate} I_{LB} = 7.9$$

$$\text{Hệ số mômen khởi động: } \lambda_{LR} = T_{rate} T_{LR} = 2.9$$

$$\text{Hệ số quá tải: } \lambda_B = T_{rate} T_B = 3.6$$

Coi đoạn đặc tính có $s \leq s_{th}$ là thẳng và bỏ qua điện trở stator. a.

Vẽ đường đặc tính cơ tự nhiên của động cơ.

b. Vẽ đường đặc tính cơ khi giảm điện áp còn 50% giá trị định mức.

GIẢI

a. Tốc độ rotor: $n_0 = 60 \frac{f}{p}$ với $n_0 \approx n_{rate}$ và $p \in \mathbb{N}^*$

$$\Rightarrow n_0 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \times 50}{1} = 3000 \text{ (rpm)}$$

$$\omega_0 = \frac{n_0}{9.55} = \frac{3000}{9.55} = 314.14 \text{ (rad/s)}$$

$$\text{Momen tới hạn: } T_B = \lambda_B T_{rate} = 3.6 \times 60 = 216 \text{ (N.m)}$$

$$\text{Độ trượt động cơ định mức: } s_r = \frac{n_{rate} - n_0}{n_0} = \frac{3000 - 2955}{3000} = 0.015$$

Coi đoạn đặc tính có $s \leq s_{th}$ là thẳng và bỏ qua điện trở stator:

Độ trượt tới hạn:

$$s_{th} \approx s_r \left(\lambda_B + \sqrt{\lambda_B^2 - 1} \right) = 0.015 \left(3.6 + \sqrt{3.6^2 - 1} \right) = 0.1059$$

Áp dụng Phương trình momen giản lược:

$$T = \frac{2T_B}{s + s_{th}} = \frac{2 \times 216}{0.1059 + 0.1059}$$

$$\text{Với } \omega = \omega_0 - \omega_0 s = 314.14 - 314.14 s$$

Đặc tính cơ tự nhiên của động cơ đi qua các điểm sau:

- Điểm không tải A: $T=0$ (Nm) ; $s=0 \Rightarrow \omega = \omega_0 - \omega_0 s = 314.14(\text{rad/s})$ Ta có **A(314.14 ; 0)**
- Điểm định mức B: $T=T_{\text{rate}}=60$ (Nm) ; $s=s_x$

$$T_{\text{rate}} = \frac{2T_B}{s_x + s_{\text{stxl}}} \Rightarrow 60 = \frac{2 \times 216}{0.1059s_x + 0.1059s_x} \Rightarrow s_x = 0.015 \Rightarrow \omega = 309.43 (\text{rad/s})$$

s_{th}

Ta có: **B₁ (79.32 ; 60)**

B₂ (309.43 ; 60)

- Điểm tới hạn C: $T=T_B=216$ (Nm) ; $s=s_{\text{th}}=0.1059$

$$\Rightarrow \omega = \omega_0 - \omega_0 s = 280.87(\text{rad/s})$$

Ta có: **C (280.87 ; 216)**

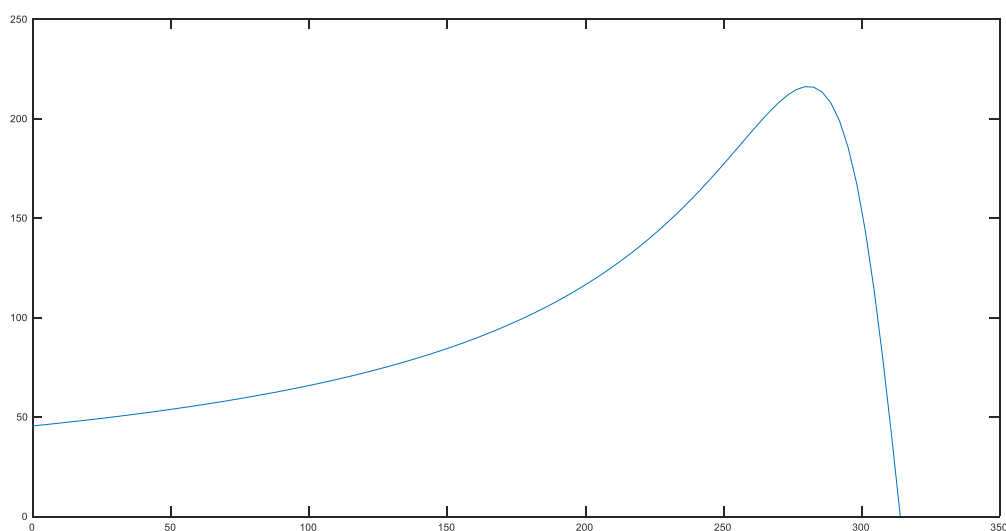
Điểm ngắn mạch D: $s=1$; $T=T_n$

$$\Rightarrow \omega = \omega_0 - \omega_0 s = 0(\text{rad/s})$$

$$T_n = \frac{1}{\frac{1}{1059} + \frac{1}{1}} = 45.24 \text{ (N.m)}$$

Ta có: **D (0 ; 45.24)**

Đường đặc tính cơ tự nhiên của động cơ:



b. Khi điện áp giảm còn 50%:

Tốc độ rotor không đổi: $\omega_0 = 314.14 \text{ (rad/s)}$

Độ trượt tới hạn không đổi: $s_{th} = 0.1059$

Momen tới hạn: $T_B = 0.5^2 \times 216 = 54 \text{ (N.m)}$

Áp dụng Phương trình momen giản lược:

$$\frac{2T_B}{s_{th}} = \frac{2 \times 54}{0.1059}$$

$$T = \frac{2T_B}{s} = \frac{2 \times 54}{s} = \frac{108}{s}$$

Với $\omega = \omega_0 - \omega_0 s = 314.14 - 314.14s$

Với $s=1 \sim 0$, ta có bảng sau:

s	0	0.1	0.1059	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
T	0	53.911	54	44.664	33.900	26.720	21.892	18.486	15.973	14.050	12.534	11.310
ω	314.140	282.726	280.873	251.312	219.898	188.484	157.070	125.656	94.242	62.828	31.414	0

Đường đặc tính cơ tự nhiên của động cơ:

