

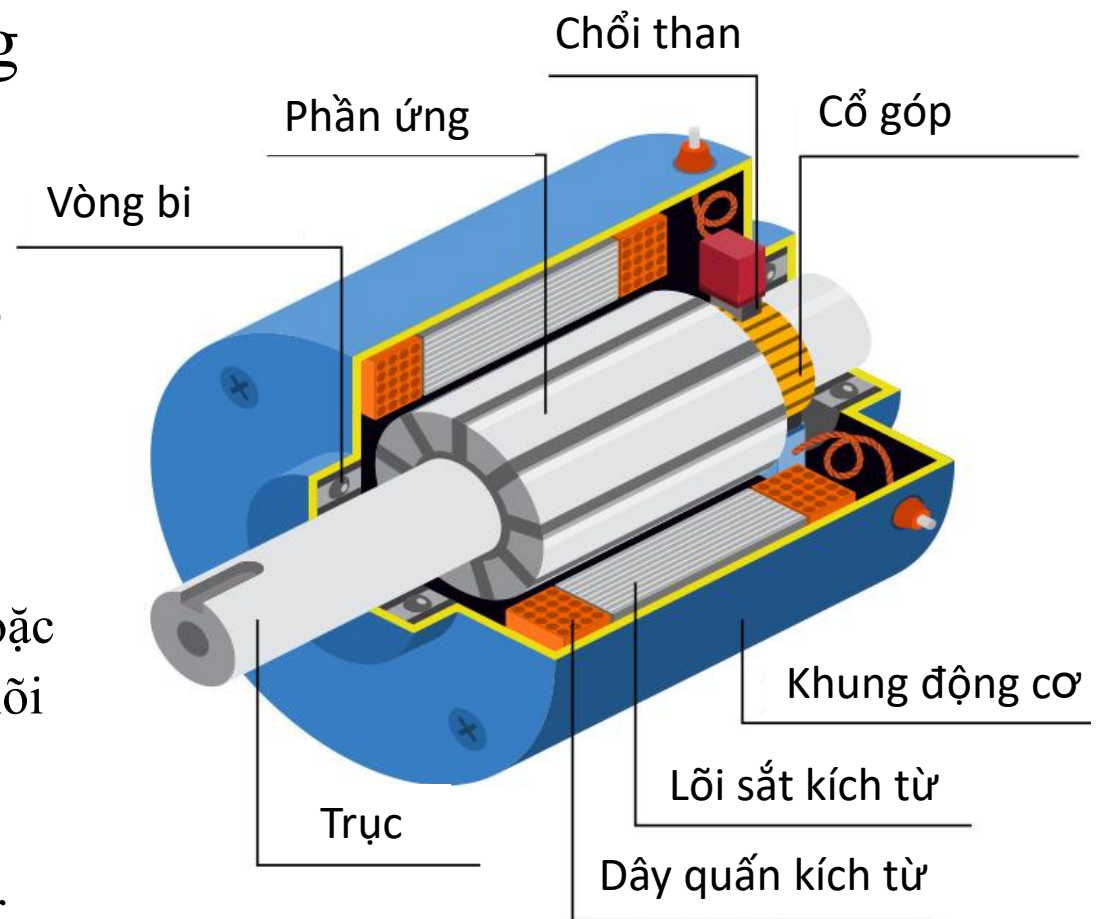
Nhóm Truyền động điện
Bộ môn Tự động hóa Công nghiệp –
Viện Điện

Nội dung chương 2

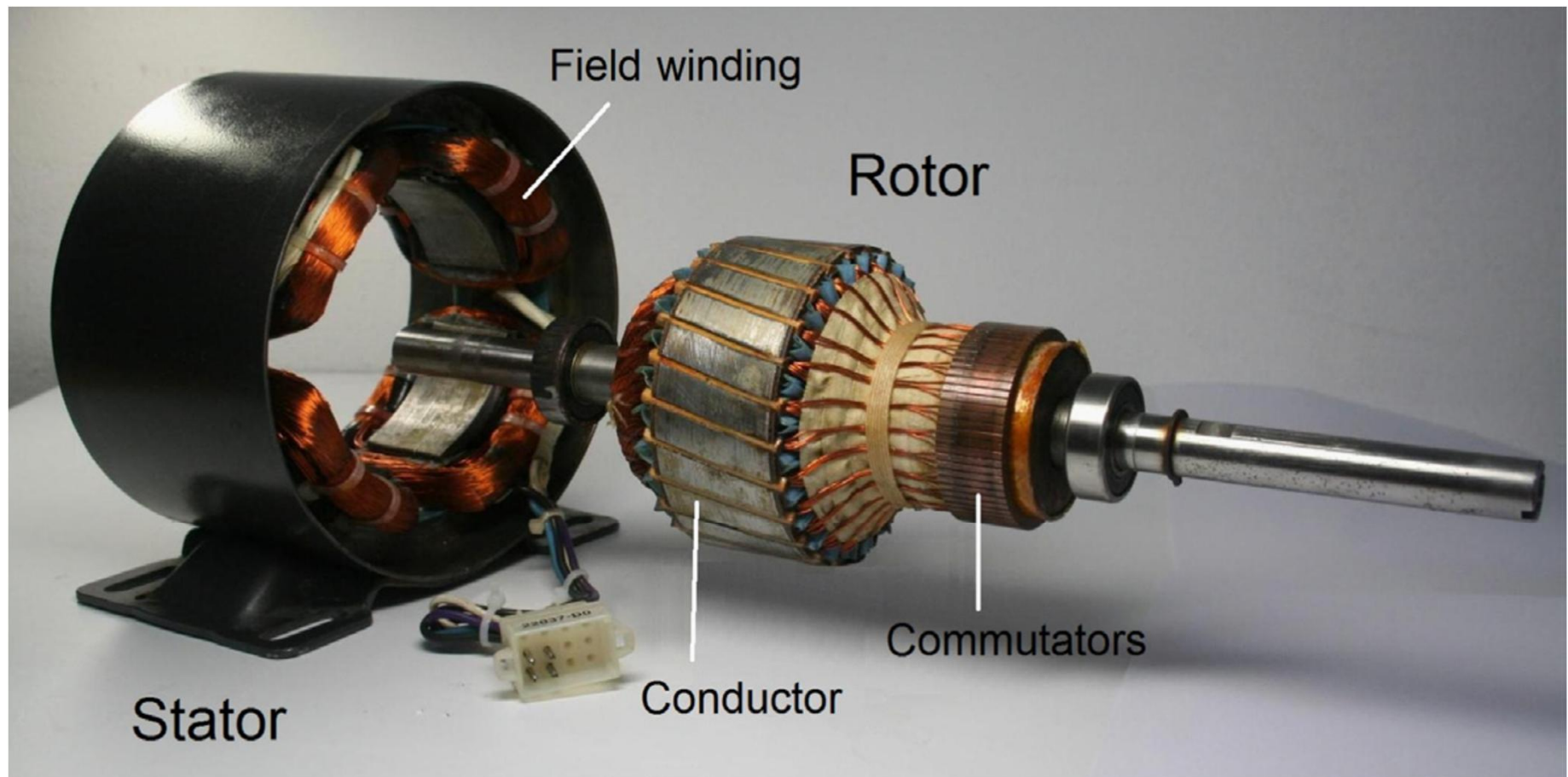
- 2.1 Cấu tạo, nguyên lý hoạt động
- 2.2 Sơ đồ tương đương, phương trình
- 2.3 Đặc tính cơ và các thông số ảnh hưởng đến đặc tính cơ
- 2.4 Mở máy, khởi động động cơ
- 2.5 Hãm các chế độ hãm
- 2.6 Các phương pháp điều khiển tốc độ
- 2.7 Hệ thống truyền động máy phát động cơ – FĐ
- 2.8 Hệ thống Chỉnh lưu điều khiển – ĐC KTĐL
- 2.9 Hệ thống Xung áp - ĐC KTĐL
- 2.10 Nâng cao chất lượng điều khiển truyền động điện và cấu trúc điều khiển hai mạch vòng (Tự động điều khiển động cơ điện 1 chiều)

Cấu tạo động cơ điện một chiều

- Chuyển đổi năng lượng điện thành năng lượng cơ
- Hai thành phần cấu tạo chính:
 - Phần kích từ (đặt trên stator)
 - Nam châm vĩnh cửu hoặc
 - Dây quấn quấn quanh lõi sắt
 - Phần ứng
 - Dây quấn đặt trên rotor

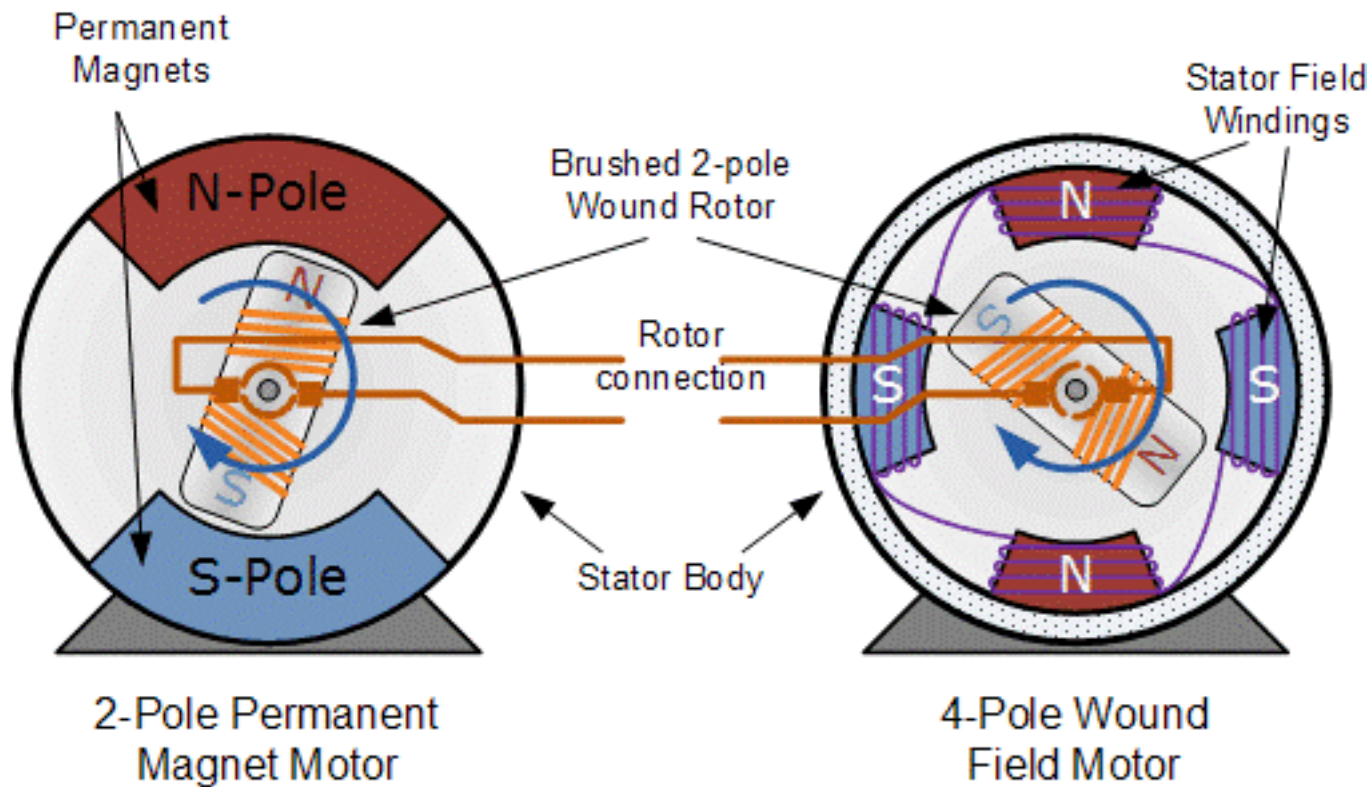


Cấu tạo động cơ điện một chiều



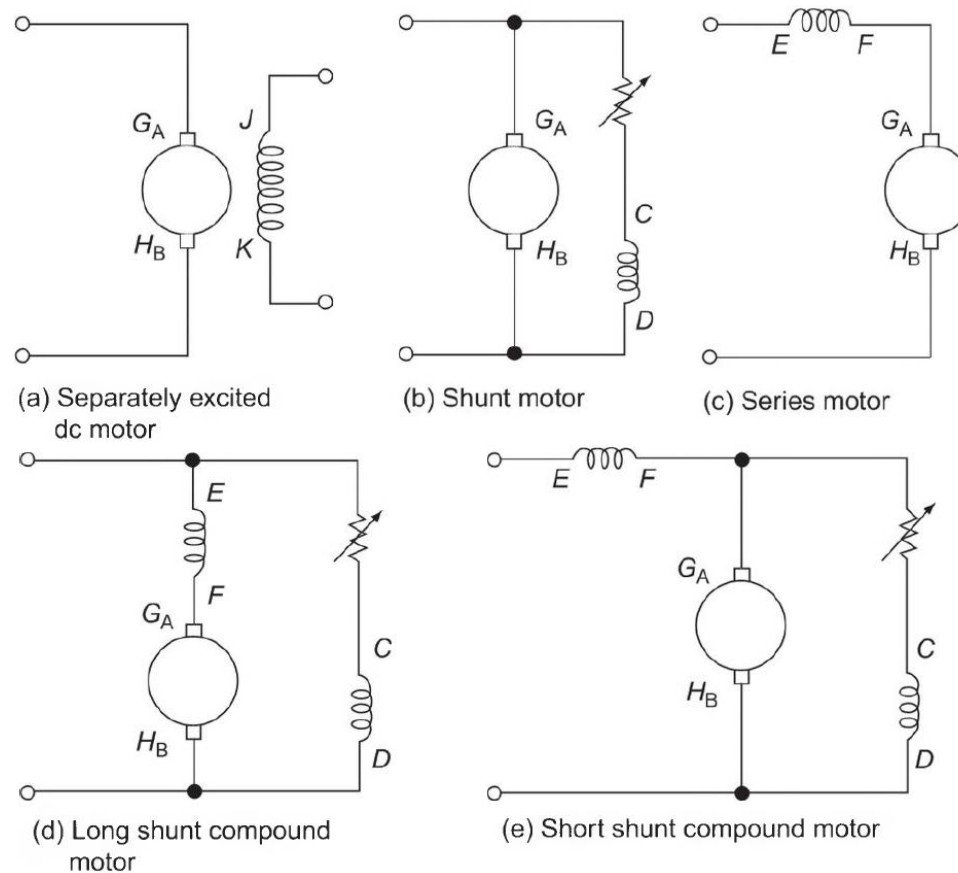
Phân loại

- Permanent magnet DC motor
- Wound field DC motor



Phân loại

- The motors are classified depending upon the type of connection between the armature and the field.



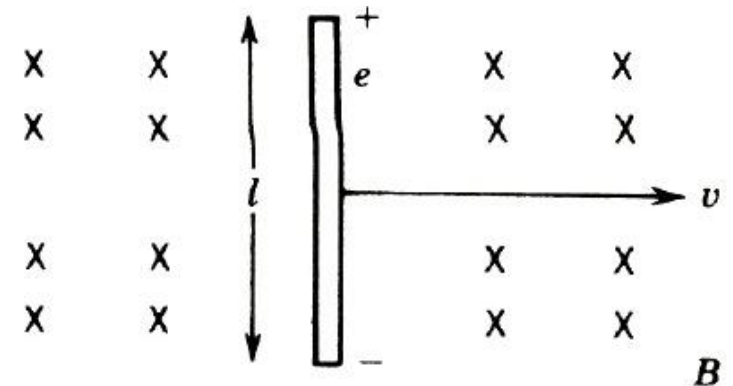
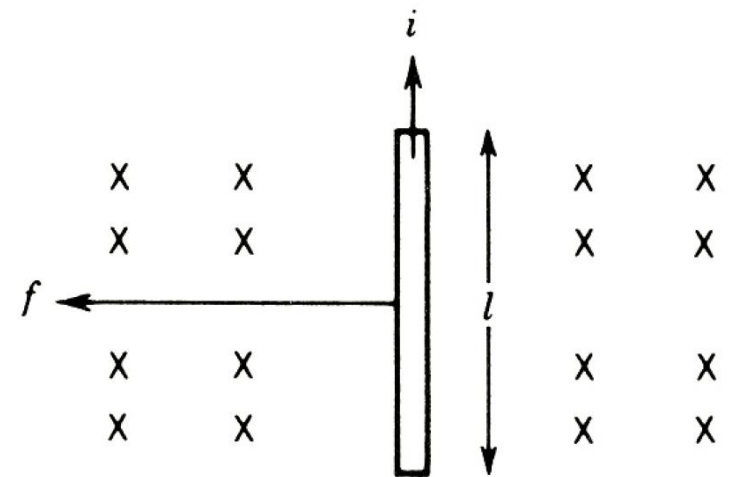
Nguyên lý hoạt động

- Lực điện từ f [N] (lực Lorentz) sinh ra trên thanh dẫn mang điện:

$$f = Bli$$

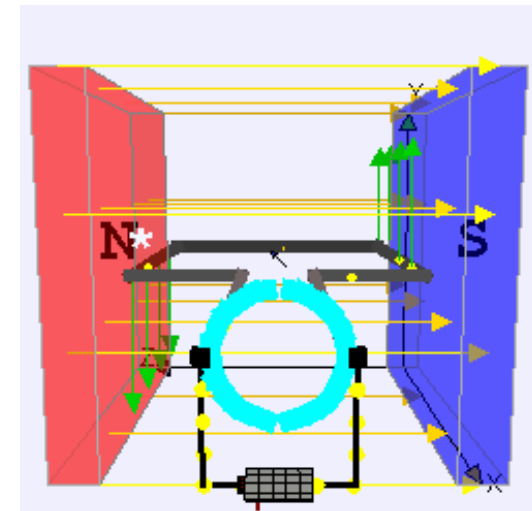
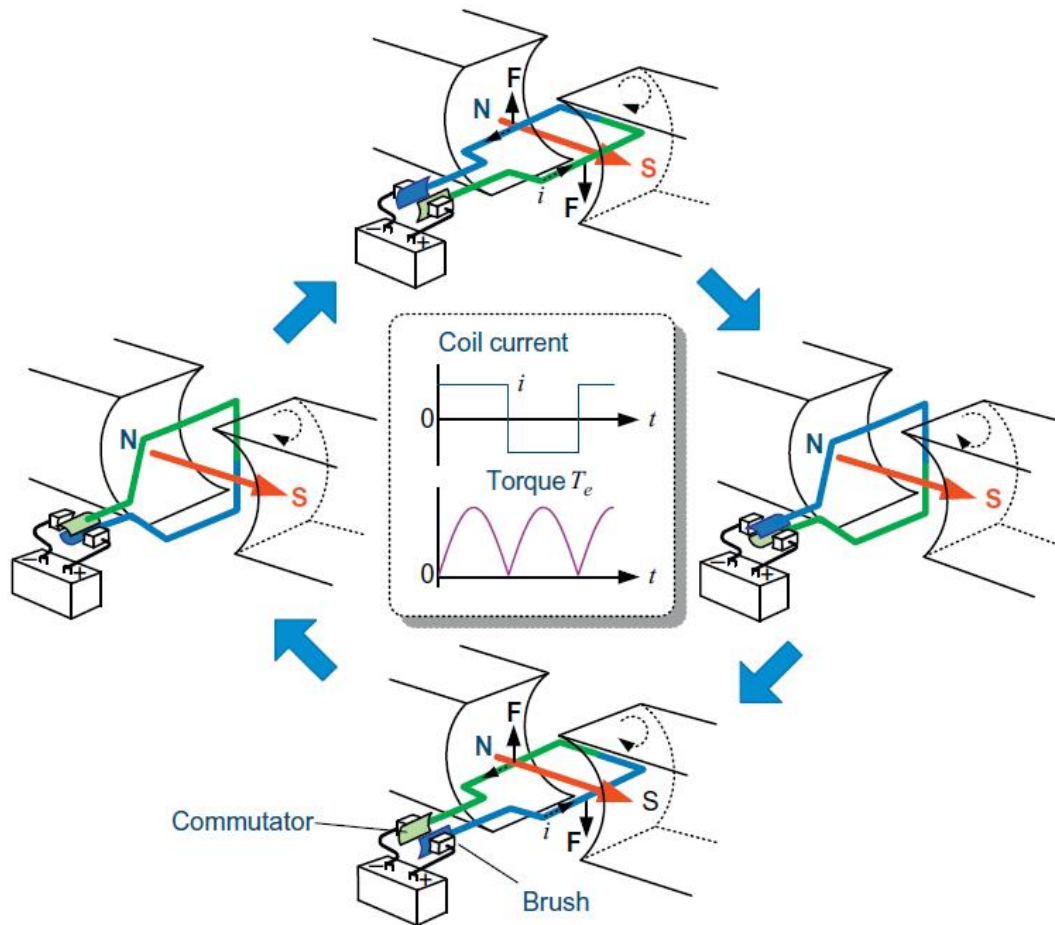
- Sức điện động, e [V] trong thanh dẫn

$$e = Blu$$



X indicates B into the paper

Nguyên lý hoạt động



Nguyên lý hoạt động

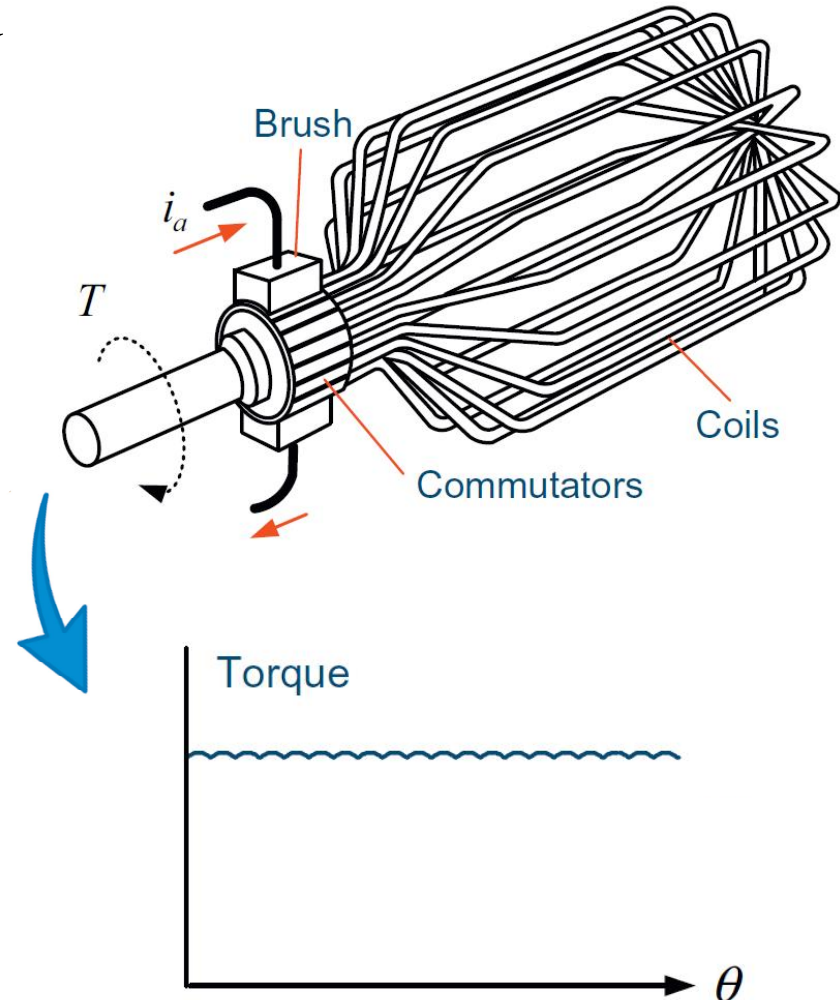
- Stator sinh ra từ trường $B_s[T]$ đều
- Cuộn dây trên rotor có
 - N vòng
 - bán kính $r[m]$
 - chiều dài $l[m]$
 - số nhánh song song là a
 - số cặp cực từ là p

- Momen:

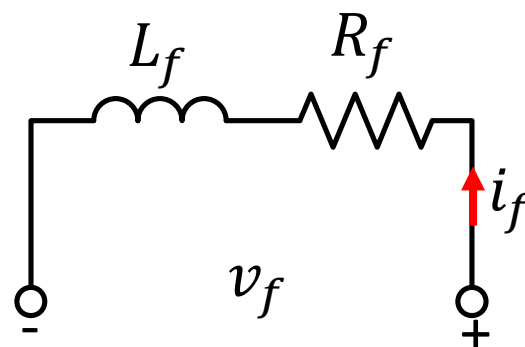
$$T_e = \frac{N2p}{\pi a} \phi I_a = K \phi I_a$$

- Sức điện động:

$$E_a = \frac{N2p}{\pi a} \phi \omega = K \phi \omega$$



2.2 Sơ đồ tương đương của động cơ điện một chiều kích từ độc lập



Phần kích từ

Sơ đồ tương đương của động cơ điện một chiều kích từ độc lập



- Ở chế độ quá độ:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} (T_e - T_L)$$

$$e_a = K\phi\omega$$

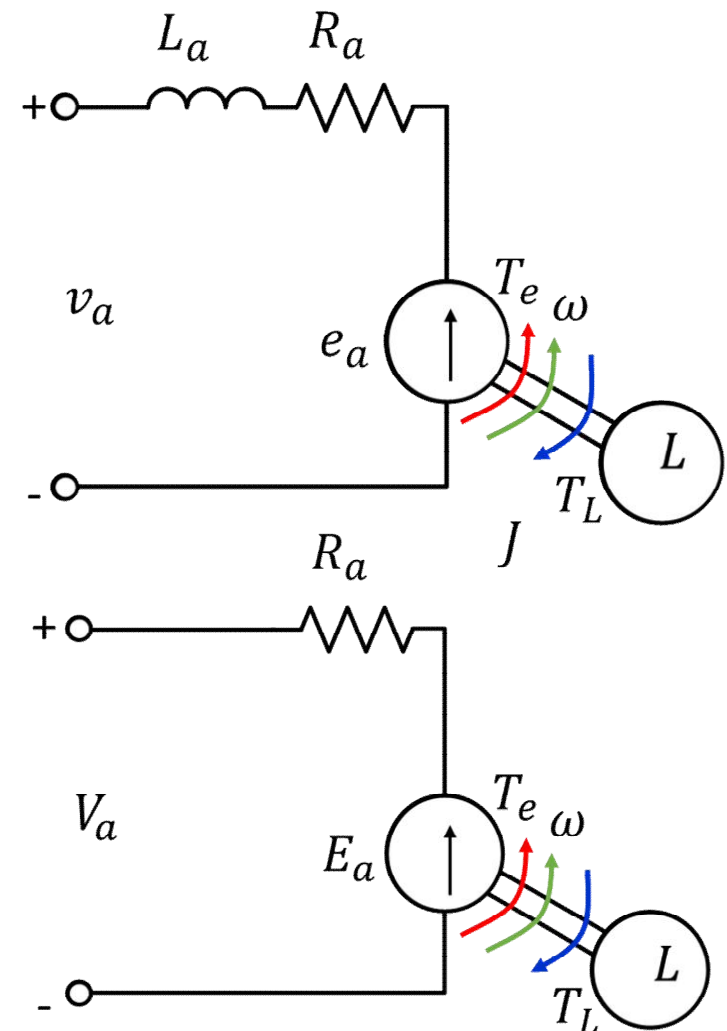
$$v_a = e_a + i_a R_a + L_a \frac{di_a}{dt}$$

- Ở chế độ xác lập:

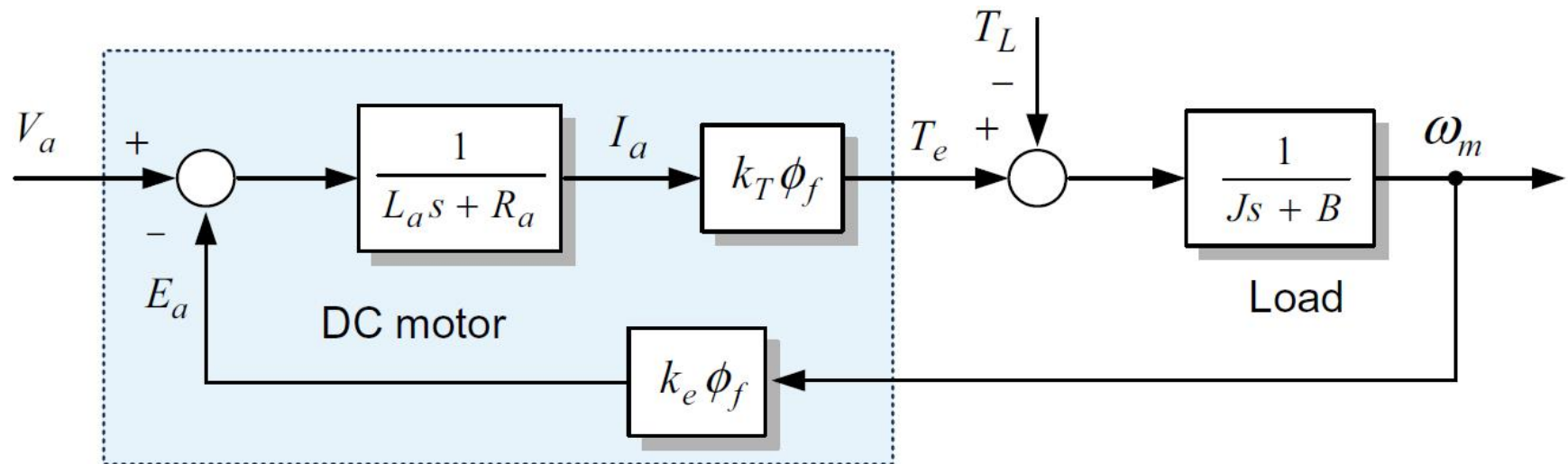
$$T = K\phi I_a = K_T \omega$$

$$E_a = K\phi\omega = K_E \omega \quad (K_T = K_E)$$

$$V_a = E_a + R_a I_a$$



Sơ đồ tương đương của động cơ điện một chiều kích từ độc lập



Sơ đồ khối mô hình hóa động cơ một chiều

2.3 Đặc tính cơ và các thông số ảnh hưởng đến đặc tính cơ

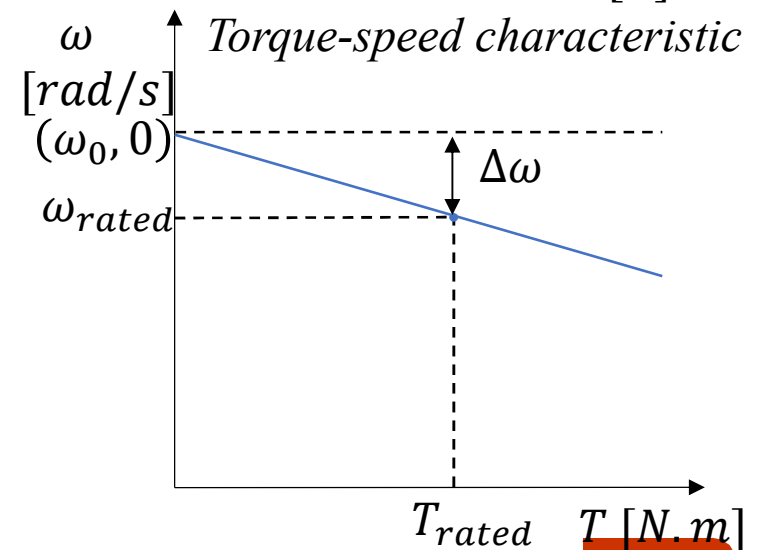
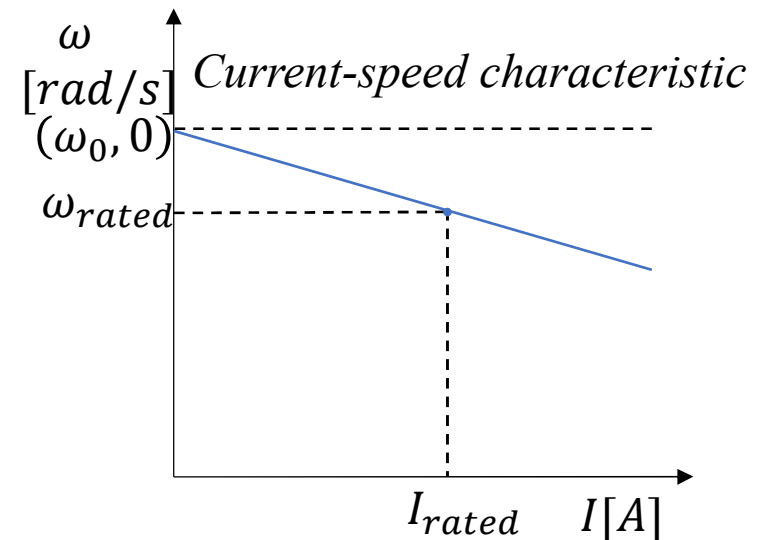
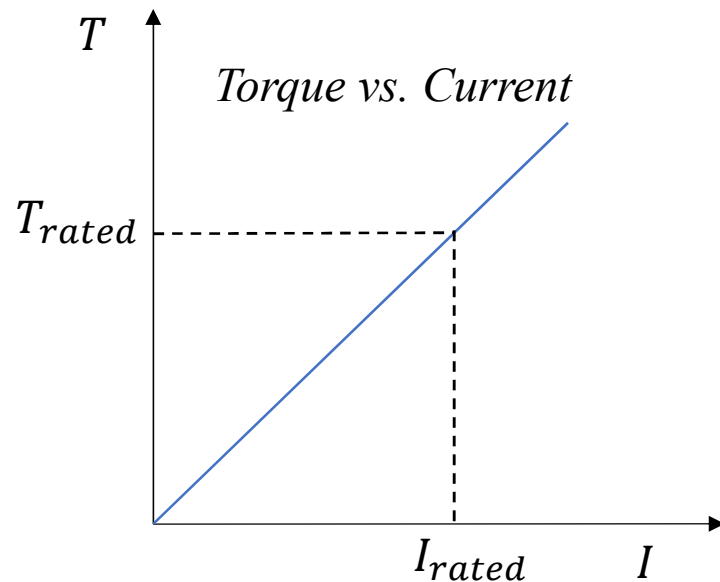


- Phương trình đặc tính cơ điện:

$$\omega = \frac{V_a}{K\phi} - \frac{R_a}{K\phi} I_a$$

- Phương trình đặc tính cơ

$$\omega = \frac{V_a}{K\phi} - \frac{R_a}{(K\phi)^2} T_e$$



2.3 Đặc tính cơ và các thông số ảnh hưởng đến đặc tính cơ



- Phương trình đặc tính cơ điện:

$$\omega = \frac{V_a}{K\phi} - \frac{R_a}{K\phi} I_a$$

- Phương trình đặc tính cơ

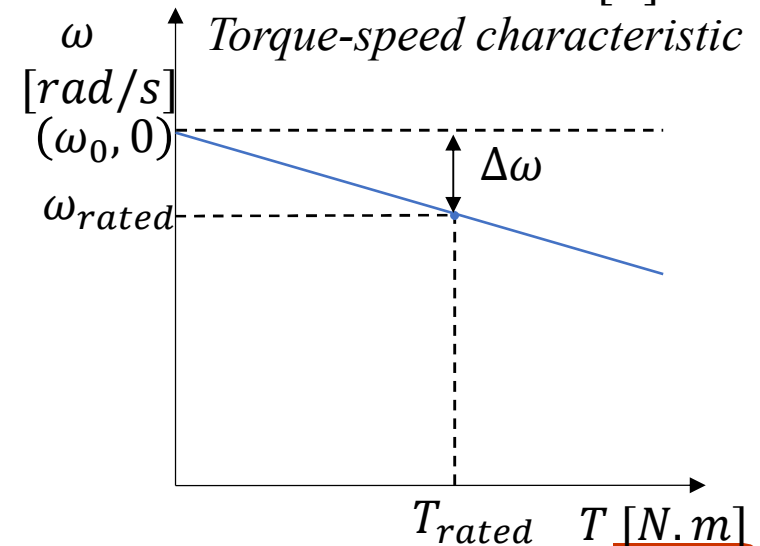
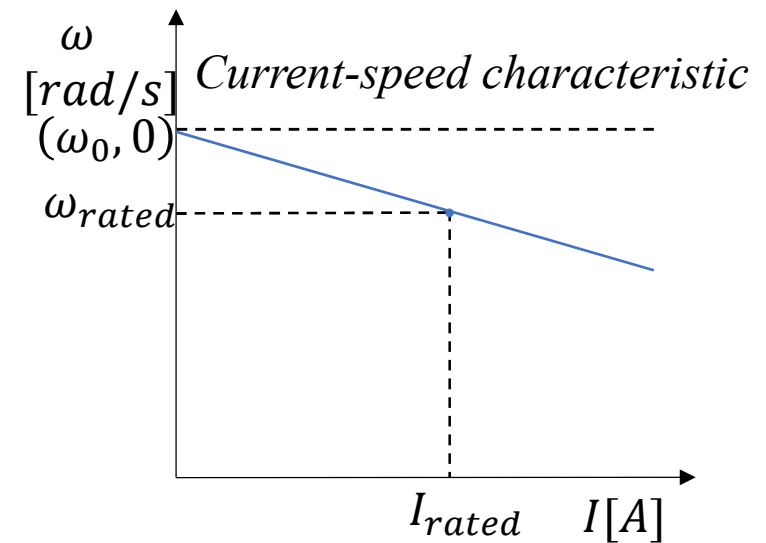
$$\omega = \frac{V_a}{K\phi} - \frac{R_a}{(K\phi)^2} T_e$$

- Phương trình đặc tính cơ

$$T_e = \frac{K\phi}{R_a} V_a - \frac{(K\phi)^2}{R_a} \omega$$

- Độ cứng đặc tính cơ:

$$\beta = \frac{dT}{d\omega} = - \frac{(K\phi_{rated})^2}{R_a}$$



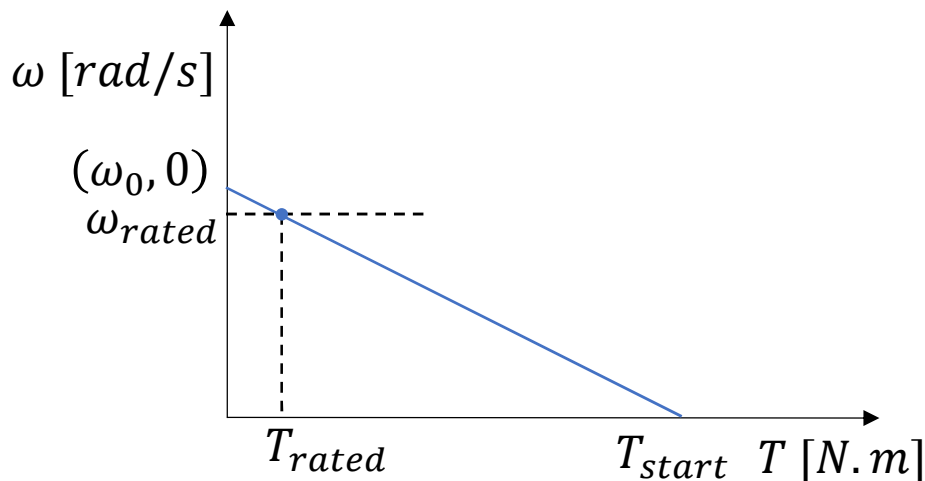
Đặc tính cơ và các thông số ảnh hưởng đến đặc tính cơ



- Phương trình đặc tính cơ

$$\omega = \frac{V_a}{K\phi} - \frac{R_a + R_{adj}}{(K\phi)^2} T_e$$

R_{adj} điện trở phụ mạch phản ứng
Giả thiết $\phi = const$, phương trình tuyến tính



Torque-speed characteristic

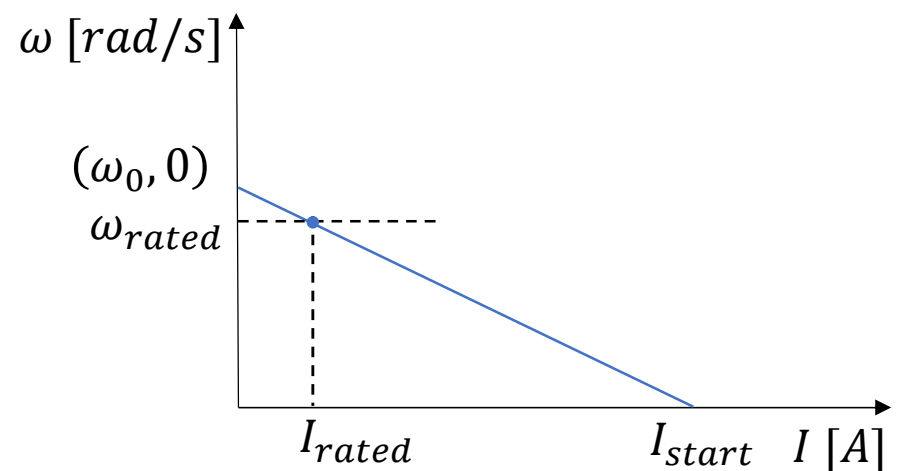
- $I_a = 0$ hoặc $T = 0$:

$\omega_0 = \frac{V_a}{K\phi}$ tốc độ không tải lý tưởng

- Khi $\omega = 0$:

$$I_a = I_{start} = \frac{V_a}{R_a + R_{adj}} \text{ và}$$

$$T_{start} = K\phi I_{start}$$



Current-speed characteristic

Ảnh hưởng của điện trở phản ứng

- Giả thiết:

$$V_a = V_{rated} \text{ và } \phi = \phi_{rated}$$

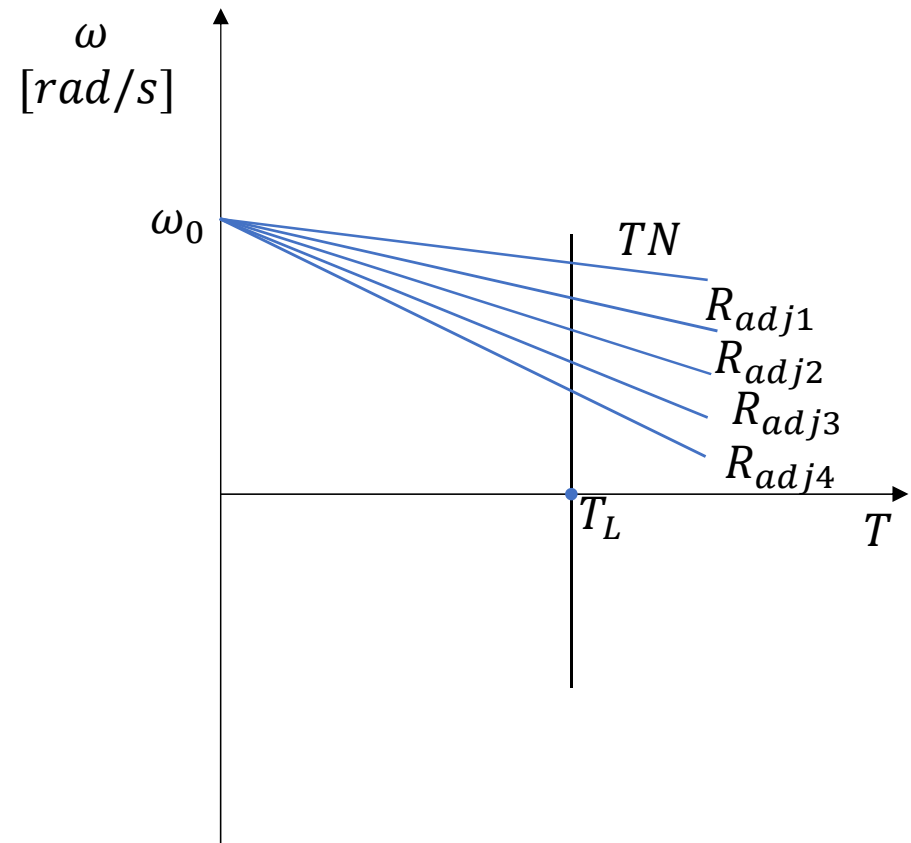
- Tốc độ không tải lý tưởng:

$$\omega_0 = \frac{V_{rated}}{K\phi_{rated}}$$

- Độ cứng đặc tính cơ:

$$\beta = \frac{dT}{d\omega} = -\frac{(K\phi_{rated})^2}{R_a + R_{adj}}$$

- Ứng với $R_{adj} = 0$, đặc tính cơ tự nhiên
- R_{adj} lớn thì $|\beta|$ càng nhỏ



Torque-speed characteristic

Ảnh hưởng của điện áp phần ứng



- Giả thiết:

$$\phi = \phi_{rated} \text{ và } R_{adj} = 0$$

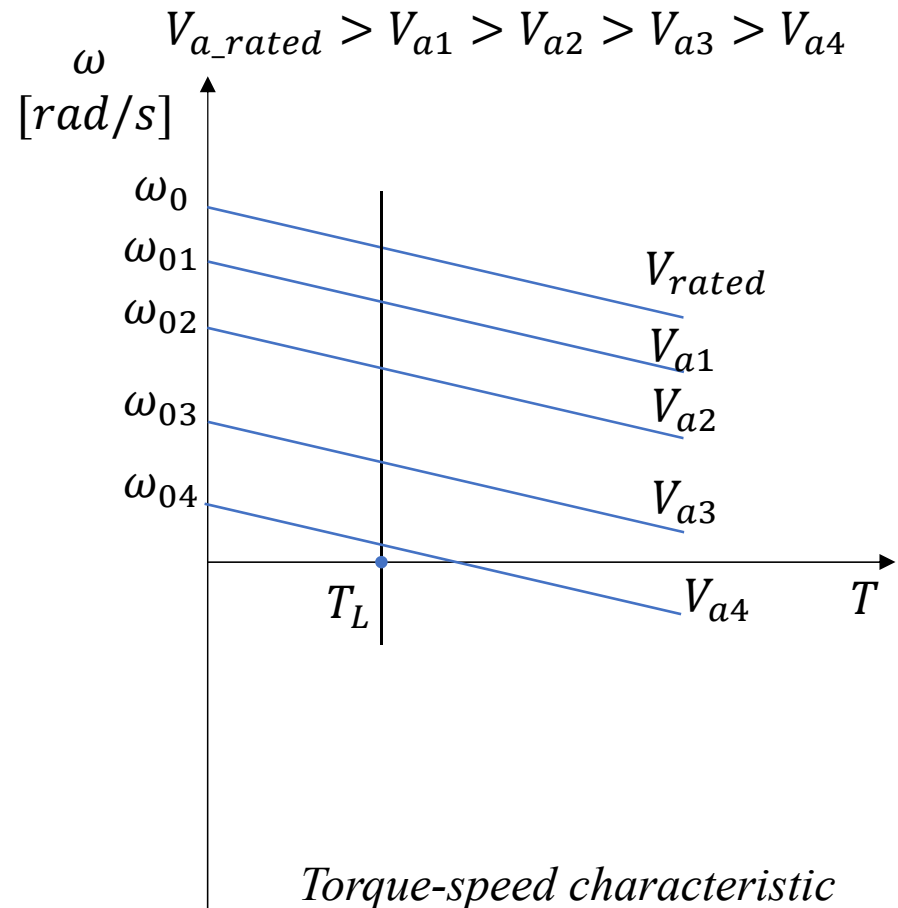
- Tốc độ không tải lý tưởng:

$$\omega_{0x} = \frac{V_x}{K\phi_{rated}}$$

- Độ cứng đặc tính cơ:

$$\beta = -\frac{(K\phi_{rated})^2}{R_a} = const$$

- Giảm $V_x \Rightarrow \omega_{0x}$ giảm theo



Ảnh hưởng của từ thông

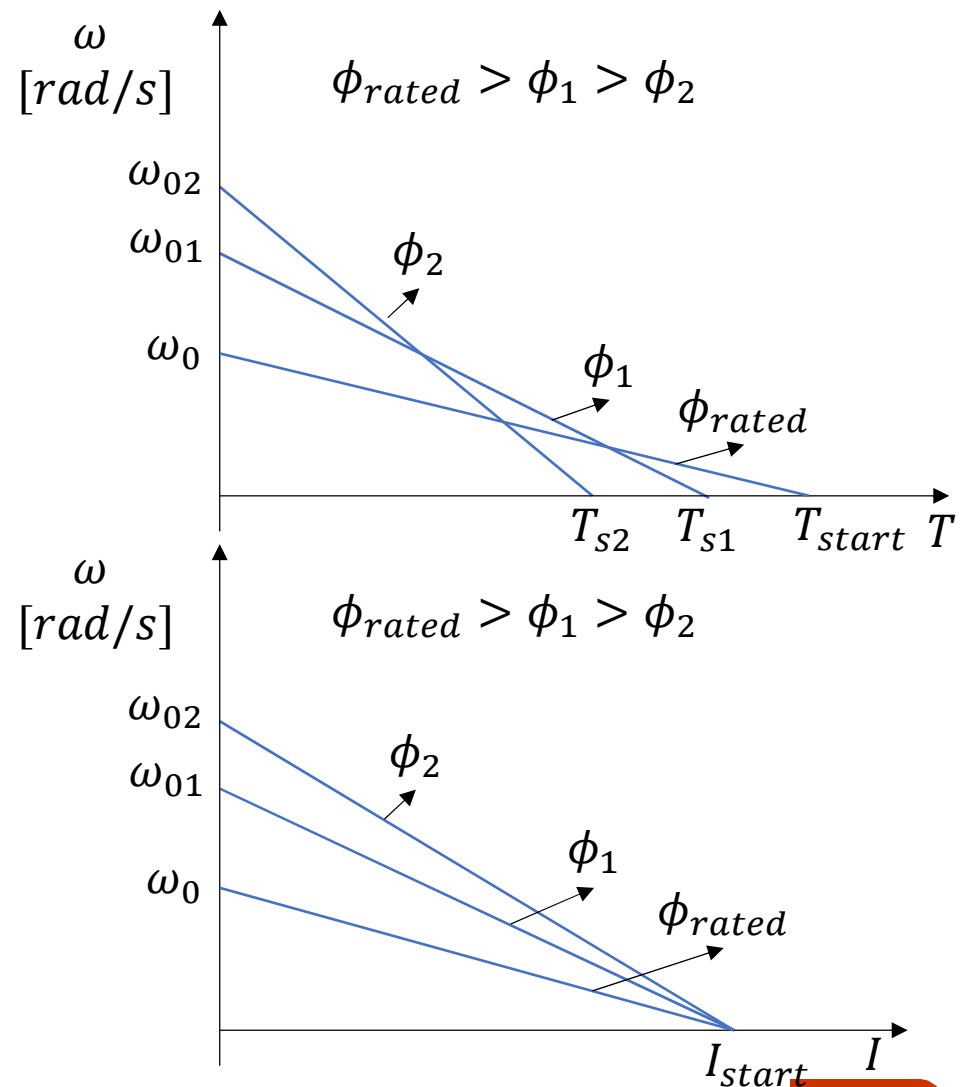
- Giả thiết $V_a = V_{rated}$ và $R_{adj} = 0$:
- Thay đổi từ thông ϕ bằng cách thay đổi I_f
- Tốc độ không tải lý tưởng:

$$\omega_{0x} = \frac{V_{rated}}{K\phi_x}$$

- Giảm $\phi_x \Rightarrow \omega_{0x}$ tăng
- Độ cứng đặc tính cơ:

$$\beta = -\frac{(K\phi_{rated})^2}{R_a} = const$$

- Giảm $\phi_x \Rightarrow \beta$ giảm theo
- $I_{start} = \frac{V_{rated}}{R_a} = const$
- $T_{start} = K\phi_x I_{start}$



2.4 Mở máy, khởi động động cơ

- Khi bắt đầu mở máy:

$$\omega = 0 \Rightarrow E_a = 0$$

- Toàn bộ điện áp nguồn cấp rơi trên điện trở phần ứng:

$$V_a = R_a I_a \Rightarrow I_a = \frac{V_a}{R_a}$$

- R_a thường rất nhỏ

$$\Rightarrow I_a \text{ rất lớn: } I_{start} = (10 \div 25) I_{rated}$$

Ví dụ

■ $V_a = 815 [V]; R_a = 705 [m\Omega]; I_{aN} = 86[A]$

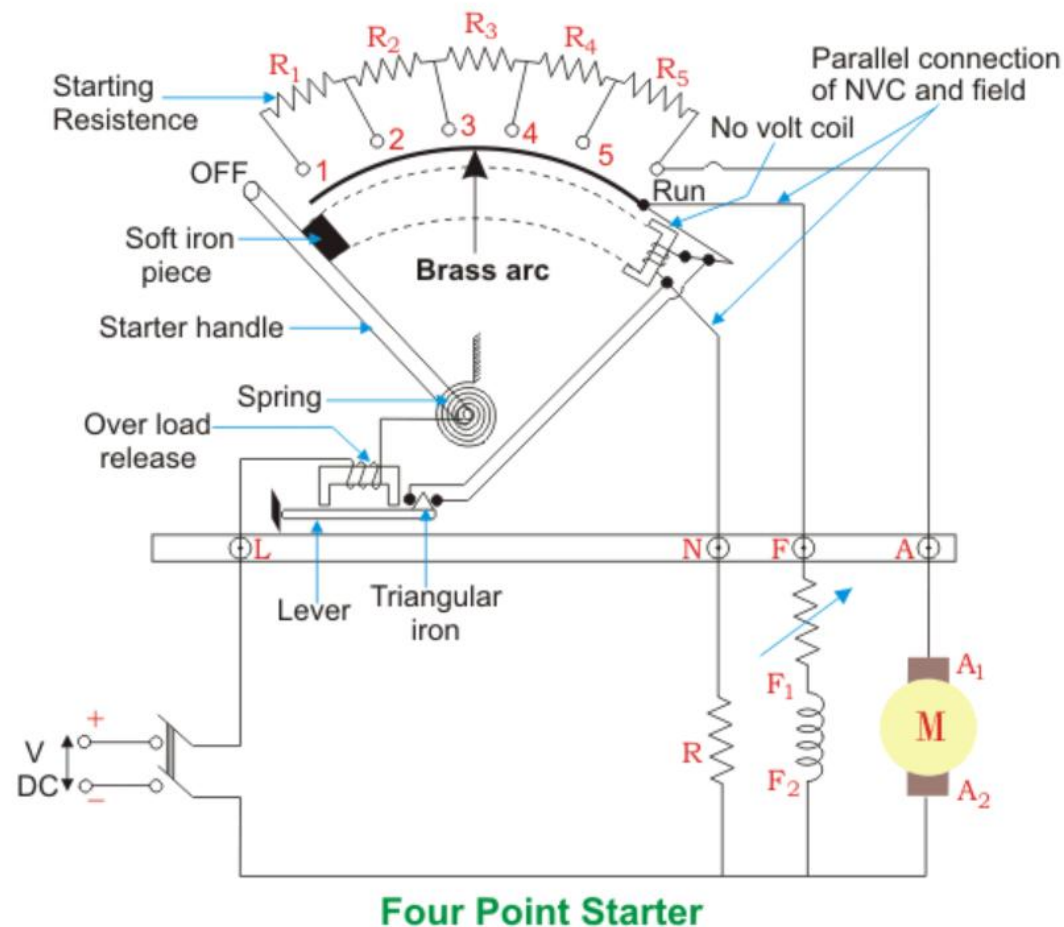
$\Rightarrow I_{a_{start}} = \frac{815[V]}{0.705[\Omega]} \approx 1156[A]$

U_N (V) [$U_N > 1,1 \times U_{vN}^{1)}$]								n_{max} (min ⁻¹)				3800	4500	Cat. No. No de catalogue Bestellnummer	
400	420	440	470	520	550	620	750	815	P (kW)	I _N (A)	T (Nm)	η (%)	n ₂ (min ⁻¹)		n ₃ / n ₄ (min ⁻¹)
n (min ⁻¹)															
819									29	89	339	77,8	2456	2456	<div>$R_a = 705\text{ m}\Omega$</div> <div>$L_s = 9.05\text{ mH}$</div> <div>$U_{fN}/U_{vN} = A$</div> <div>3BSM003050- ...</div> <div>... = BYA ²⁾</div> <div>... = BYB ³⁾</div> <div>... = BYC ⁴⁾</div>
	868								31	89	339	78,7	2541	2603	
		916							33	89	339	79,5	2541	2749	
			990						35	89	339	80,6	2543	2969	
				1113					39	89	337	82,1	2554	3320	
					1186				42	88	336	82,9	2560	3328	
						1358			47	88	334	84,5	2576	3348	
							1677		58	87	330	86,5	2605	3386	
								1837	63	86	327	87,3	2619	3405	

- Cần hạn chế dòng khởi động bằng cách:
- Giảm điện áp phần ứng (khi có bộ biến đổi công suất)
 - Mắc thêm điện trở phụ

Mở máy, khởi động động cơ bằng điện trở phụ

- Khi mở máy điện trở phụ được lắp thêm vào mạch phần ứng
- Động cơ bắt đầu quay thì cắt dần điện trở phụ



Mở máy, khởi động động cơ bằng điện trở phụ



- Khi mở máy điện trở phụ được lắp thêm vào mạch phần ứng
- Động cơ bắt đầu quay thì cắt dần điện trở phụ
- Giá trị điện trở phụ được chọn để thỏa mãn:
 - Khi $\omega = 0$ thì $I_{start} \leq 2.5I_{rated}$
 - I_{start} không nên quá nhỏ vì T_{start} nhỏ so với T_L

Xác định điện trở phụ khởi động

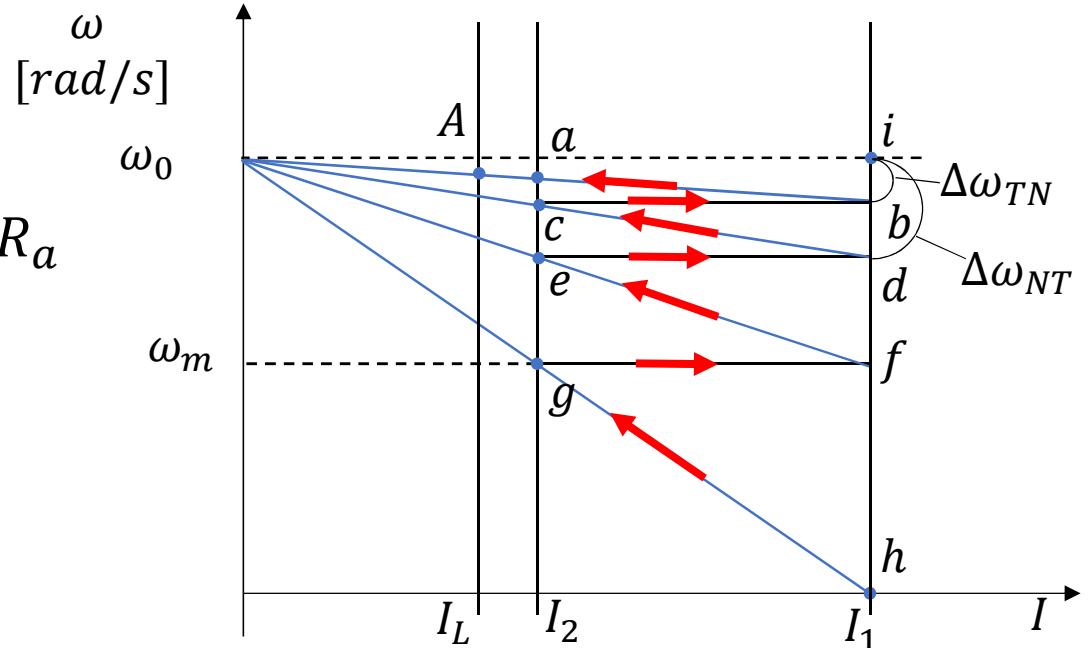
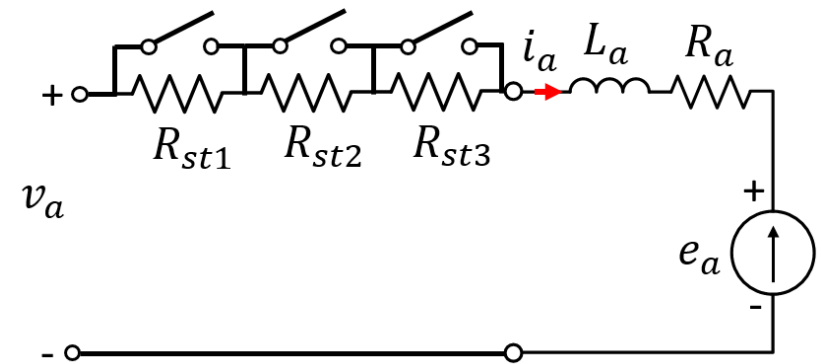
- Vẽ đặc tính cơ tự nhiên

- Chọn

- $I_1 \leq (2 \div 2.5)I_{rated}$
- $I_2 \geq (1.1 \div 1.3)I_{rated}$

- Tính:

- $R_{st1} = \frac{\Delta\omega_{NT1} - \Delta\omega_{TN}}{\Delta\omega_{TN}} R_a$
- $R_{st1} = \frac{|id| - |ib|}{|ib|} R_a = \frac{|bd|}{|ib|} R_a$
- $R_{st2} = \frac{|df|}{|ib|} R_a$
- $R_{st3} = \frac{|fh|}{|ib|} R_a$



Ví dụ quá trình khởi động động cơ

- DC Motor ratings:

$$V_a = 240 \text{ [V]}, I_a = 16.2 \text{ [A]},$$

$$\omega = 1220 \text{ [rpm]}, P = 5 \text{ [HP]}$$

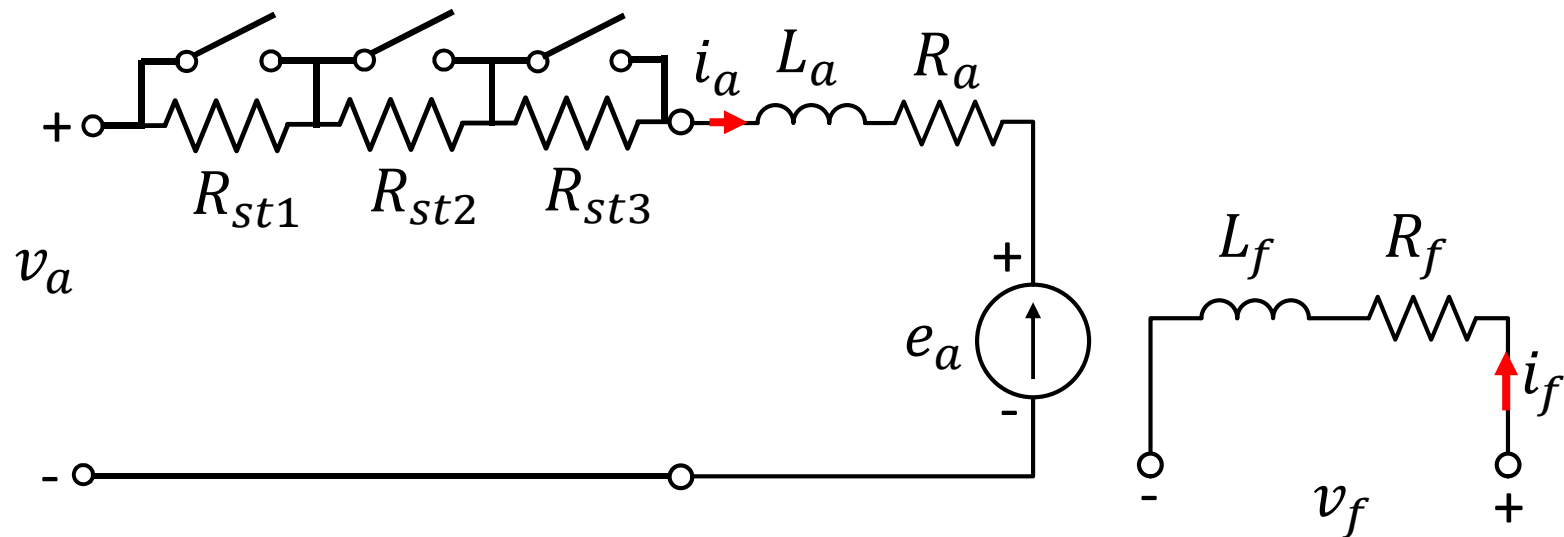
$$= 3731 \text{ [W]}$$

$$R_a = 0.6 \text{ [Ohm]}, L_a = 0.012 \text{ [H]}$$

$$R_f = 240 \text{ [Ohm]}, L_f = 120 \text{ [H]}$$

- Without starting resistors:

$$I_a = \frac{240}{0.6} = 400 \text{ [A]}$$



Mở máy, khởi động động cơ bằng điện trở phụ



- Momen tải

$$T_L = B_L \omega$$

Where $B_L = 0.2287$

- Điện trở phụ:

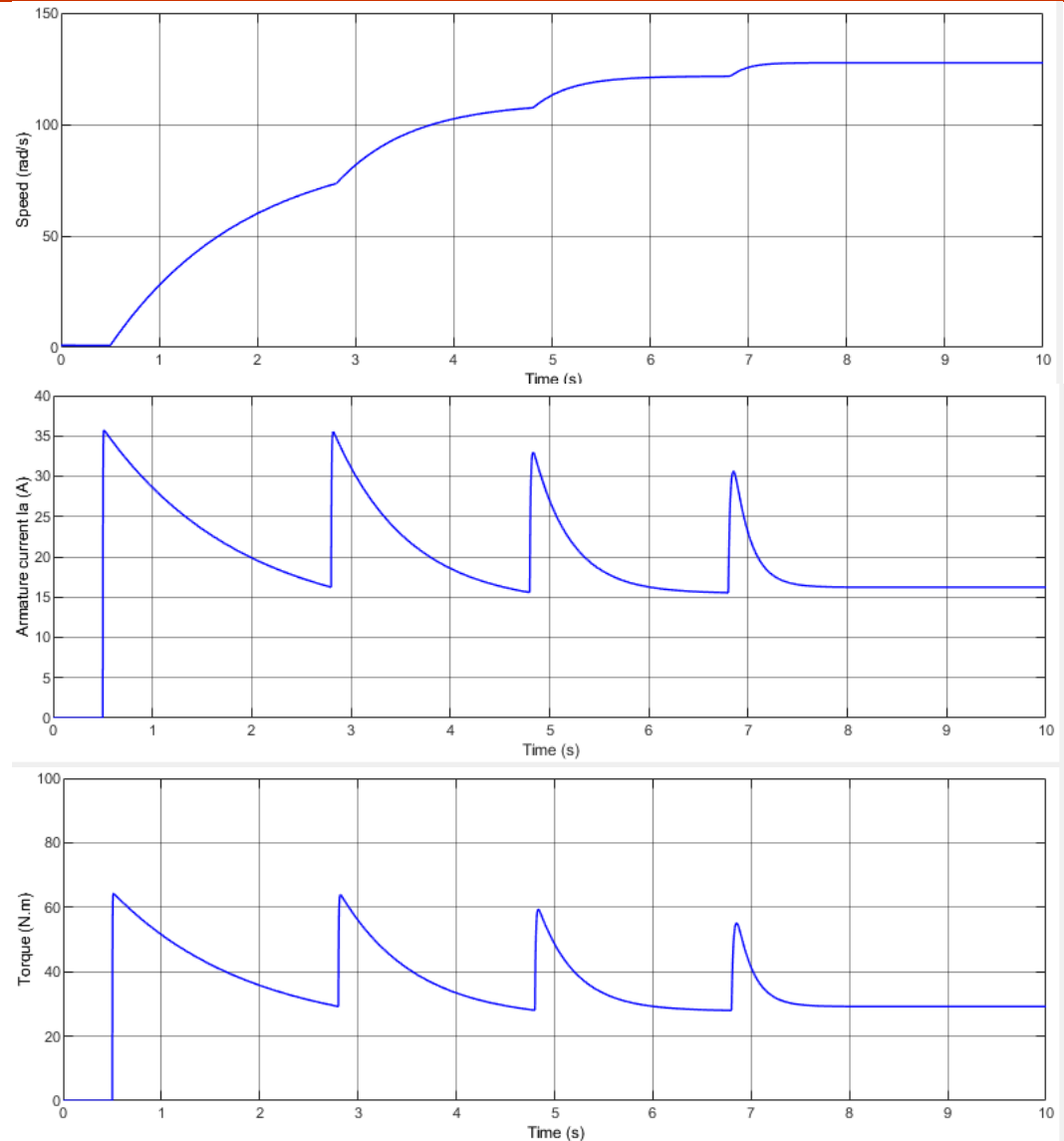
$$R_{st1} = 3.66 \text{ [Ohm]}$$

$$R_{st2} = 1.64 \text{ [Ohm]}$$

$$R_{st3} = 0.74 \text{ [Ohm]}$$

- Thời điểm cắt điện trở:

2.8 s, 4.8 s, 6.8 s



2.5 Hãm các chế độ hãm

- Hãm động cơ: dừng đột ngột hoặc/và đảo chiều thực hiện bằng cách:
 - Sử dụng lực cơ học (phanh cơ học)
 - Điều khiển mạch điện kết nối (phanh điện)
- Các phương pháp hãm:
 - Hãm tái sinh (Regenerative braking)
 - Hãm động năng (Dynamic or rheostatic braking)
 - Hãm ngược (Counter current braking)

Hãm tái sinh

- Điều kiện: $V_a < E_a$
- $I_{brake} = I_b = \frac{V_a - E_a}{R_a} = \frac{K\phi\omega_0 - K\phi\omega}{R_a} < 0$

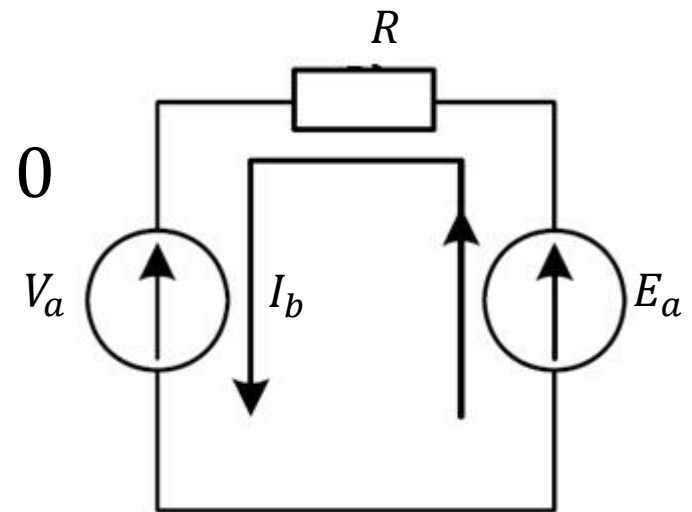
$$\Rightarrow T_{brake} = T_b = K\phi I_{brake} < 0$$

- $P_{electrical} = P_{mechanical} - \Delta P$

$$P_e < 0 ; P_m > 0$$

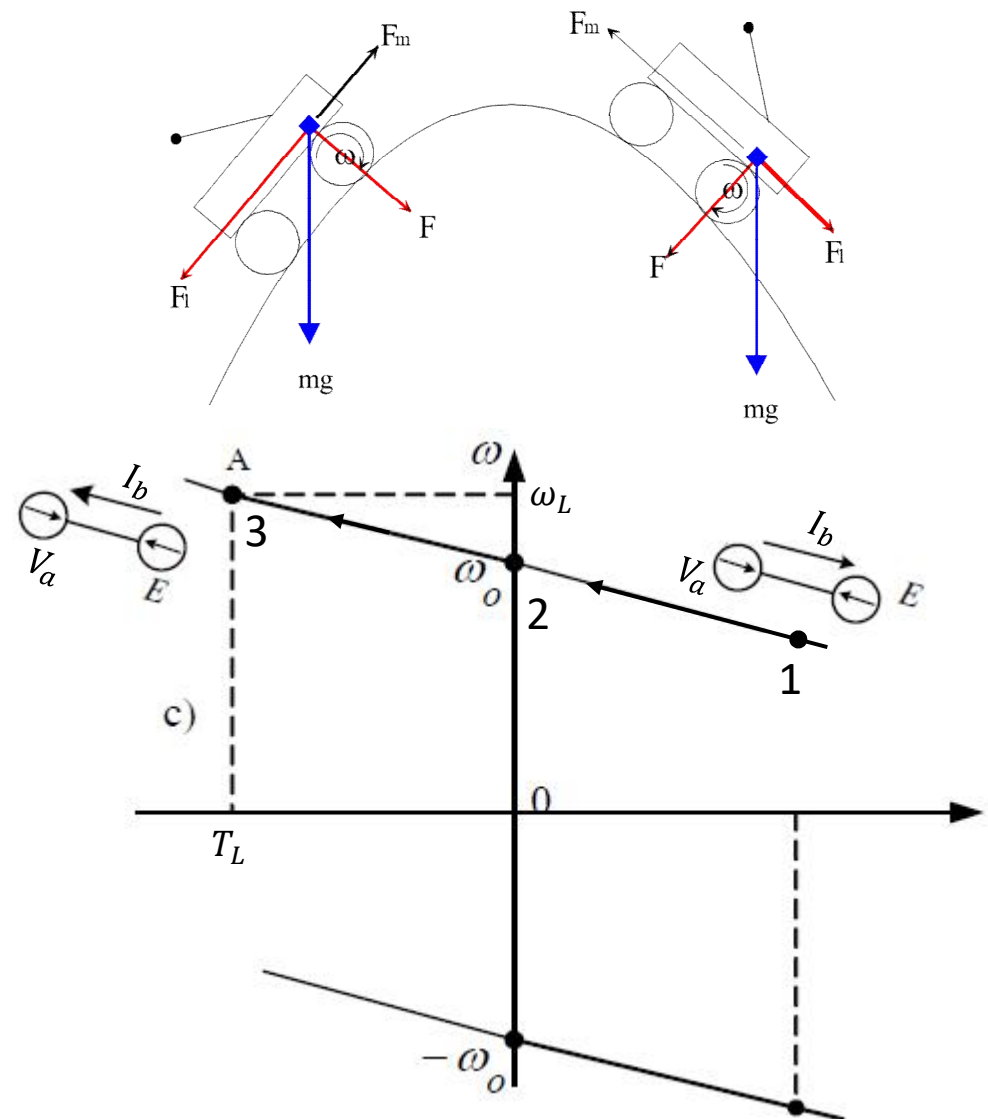
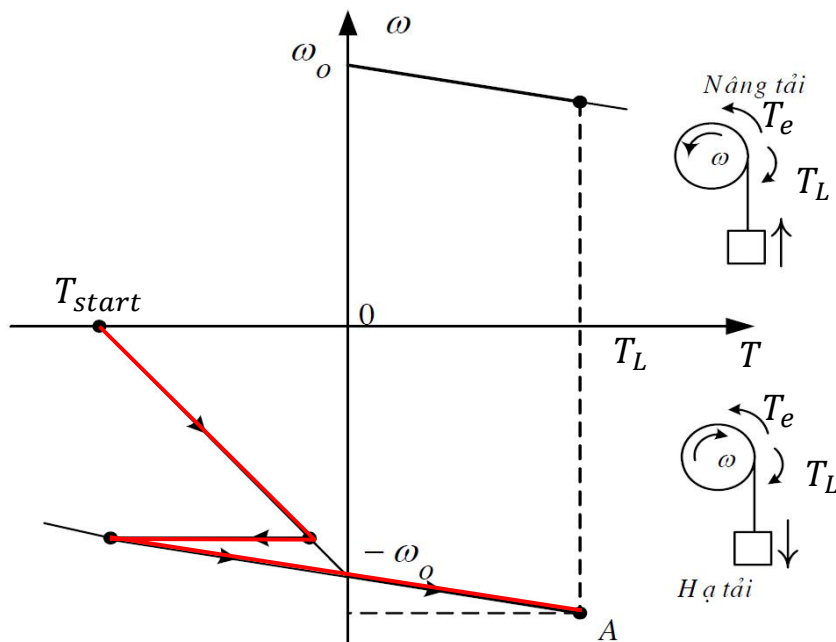
- $\omega = \frac{V_a}{k\phi} - \frac{R}{(k\phi)^2} T_b$

- Quá trình hãm thường áp dụng giảm điện áp phản ứng hoặc thêm điện trở phụ $R = R_a + R_{adj}$



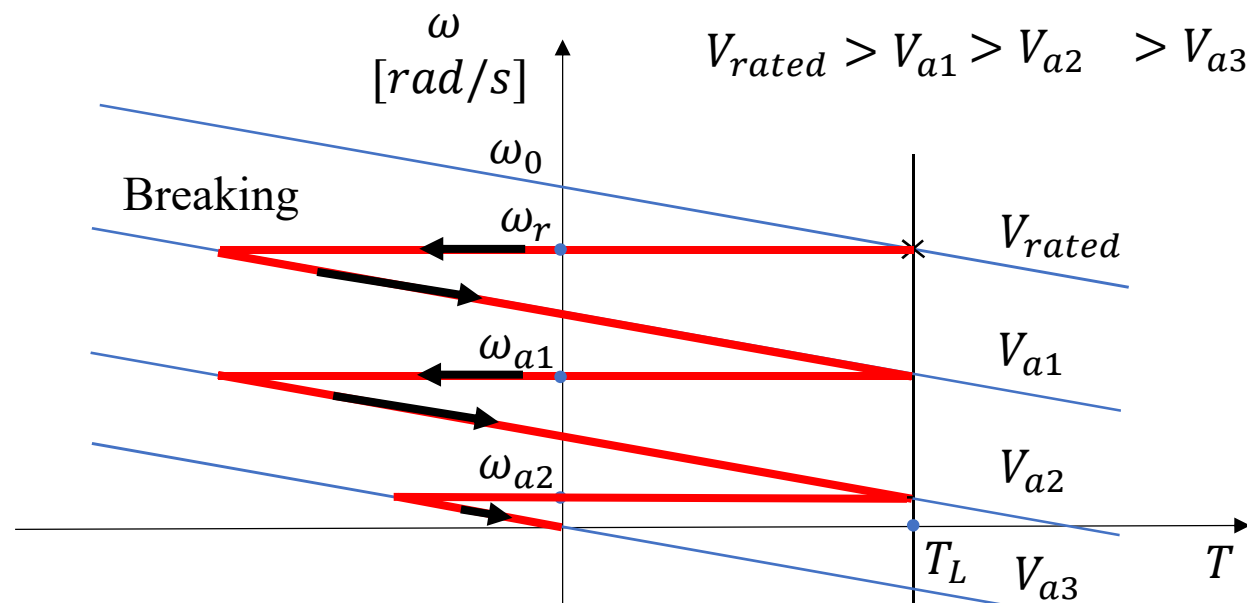
Hãm tái sinh

- Hãm tái sinh do thế năng
 - Cơ cấu nâng hạ
 - Truyền động kéo tàu



Hãm tái sinh

- Hãm tái sinh do động năng
 - Giảm đột ngột điện áp cấp cho động cơ
 - Động năng dư $T_b = \frac{J}{2} (\omega_r^2 - \omega_{a1}^2)$



Regenerative braking torque-speed characteristics of a separately excited dc motor

Hãm động năng

- $P_{mechanical} = \Delta P$
- Hãm động năng kích từ độc lập
- Hãm động năng tự kích từ

Hãm động năng kích từ độc lập

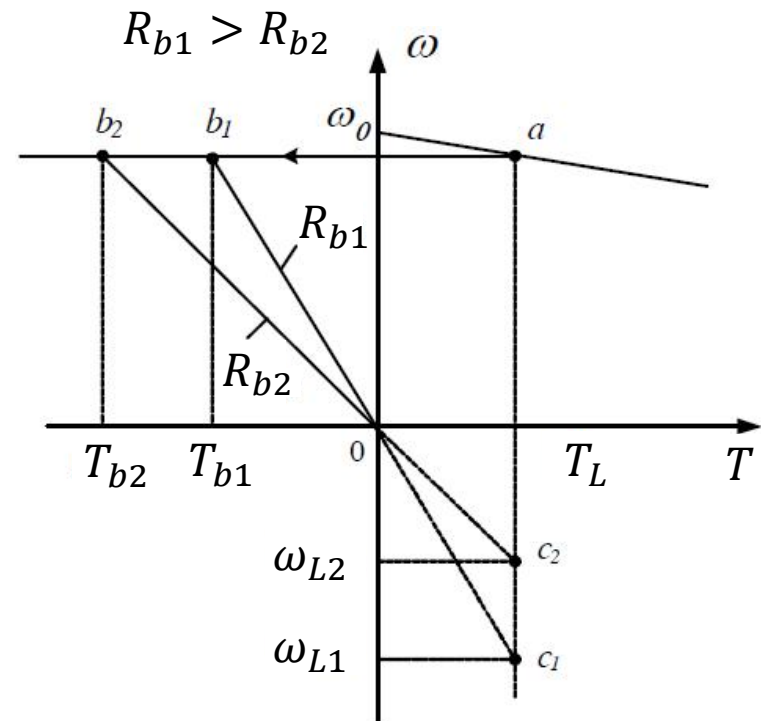
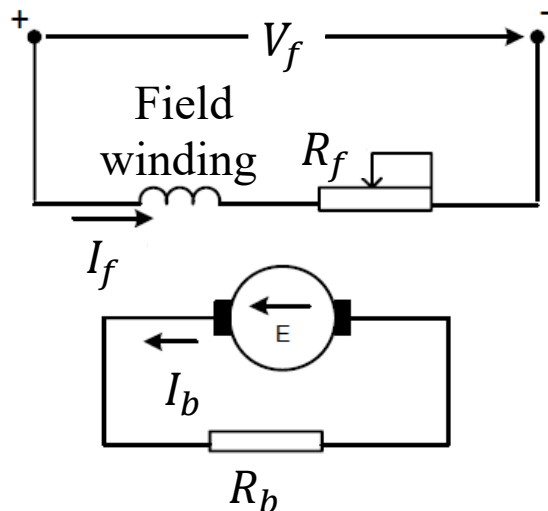
- Cắt điện áp phần ứng khởi nguồn và đóng vào một điện trở hãm

- $V_a = 0; P_e = V_a I = 0$

- $I_{b0} = -\frac{E_0}{(R_a + R_b)} = -\frac{K\phi\omega_{b0}}{(R_a + R_b)} < 0$

$$\Rightarrow T_{b0} = K\phi I_{b0} < 0$$

- $\omega = -\frac{(R_a + R_b)}{(K\phi)^2} T$



Hãm động năng tự kích từ

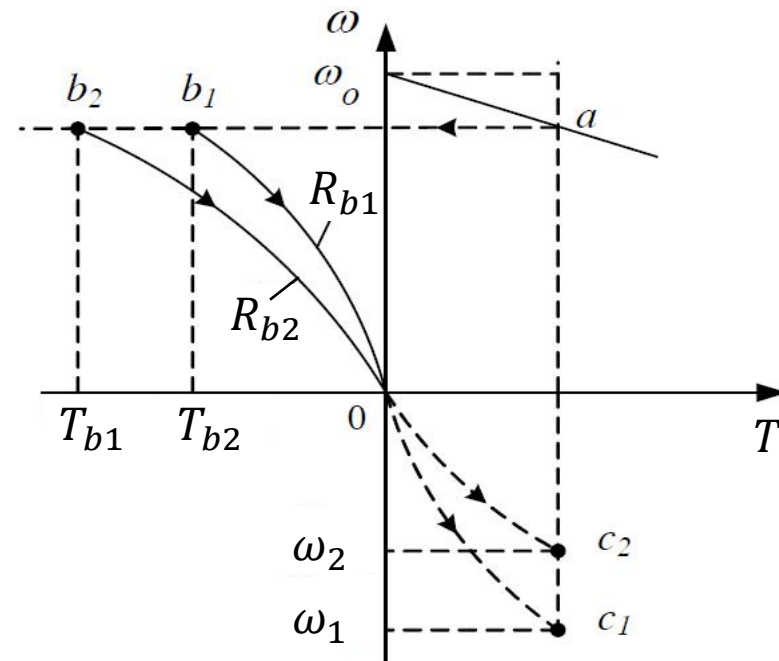
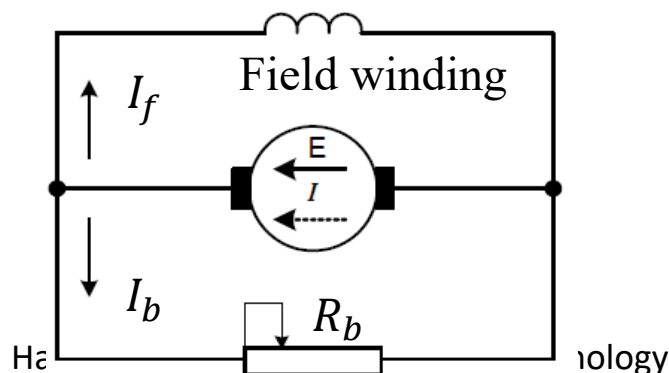
- Cắt điện áp phần ứng và phần kích từ khỏi nguồn và đóng vào một điện trở hãm

- $V_a = 0; V_f = 0; P_e = V_a I = 0$

- $I_{b0} = -E_0 / \left(R_a + R_f \cdot \frac{R_b}{R_f + R_b} \right) = -(k\phi\omega_{b0}) / \left(R_a + R_f \cdot \frac{R_b}{R_f + R_b} \right)$

$$\Rightarrow T_{b0} = k\phi I_{b0} < 0$$

- $\omega = - \frac{R_a + R_f \cdot \frac{R_b}{R_f + R_b}}{(K\phi)^2} \cdot T$



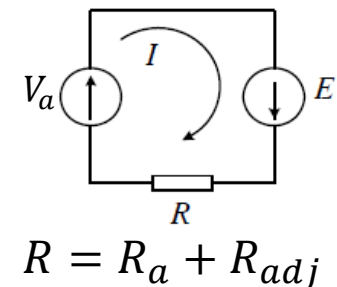
Hãm ngược

- Hãm ngược thực hiện bằng cách đảo chiều động cơ đột ngột (đảo chiều điện áp phần ứng hoặc phần kích từ) hoặc đưa điện trở phụ vào mạch phần ứng
- $P_{electrical} + P_{mechanical} = \Delta P$

Hãm ngược

- Hãm ngược do thế năng
 - Thêm điện trở phản ứng phù hợp

$$I_b = \frac{V_a + E_a}{R_a + R_{adj}} = \frac{(V_a + K\phi\omega)}{R_a + R_{adj}} ; \quad T_b = K\phi I_b$$

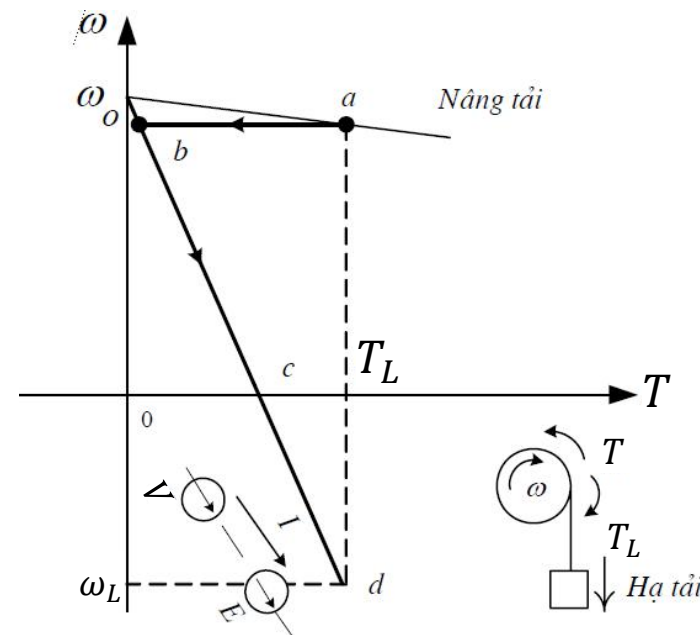


- $P_e = V_a I > 0$

- $P_m = E \cdot I > 0$

$\Rightarrow \Delta P = P_e + P_m$ tiêu tán trên R_a và điện trở phụ

- $\omega = \frac{V_a}{k\phi} - \frac{R_a + R_{adj}}{(k\phi)^2} T_b$



Hãm ngược

- Hãm ngược do động năng:

- Đảo chiều điện áp phản ứng: $I_b = \frac{(-V_a - E_a)}{R_a}$

- Đưa thêm điện trở phụ để hạn chế I_b :

$$I_b = \frac{(-V_a - E_a)}{R_a + R_b} ; \quad T_b = K\phi I_b$$

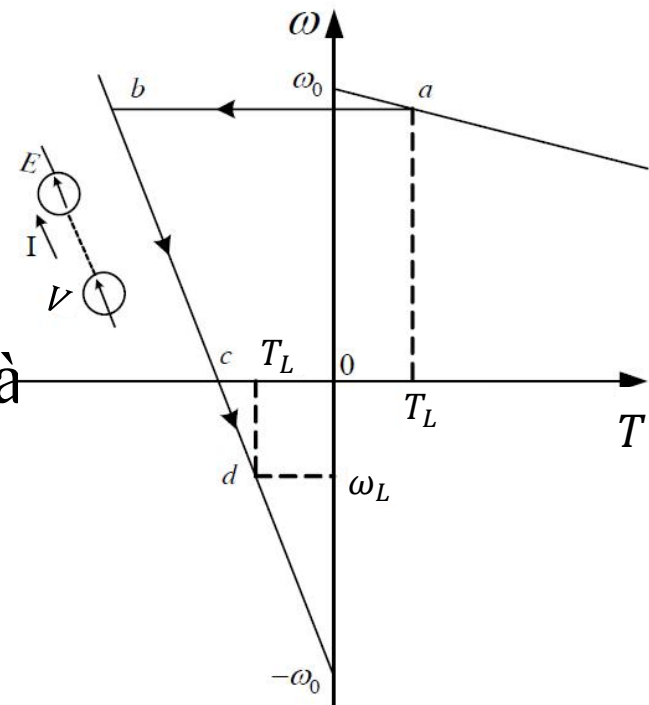
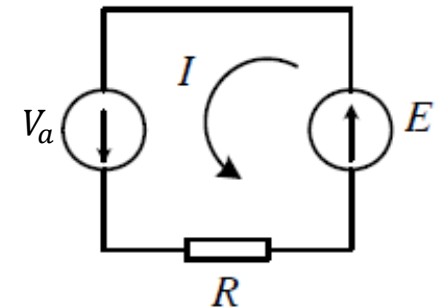
$$I_{b0} \leq (2 \div 2.5) I_{rated}$$

- $P_e = V_a I_a > 0$

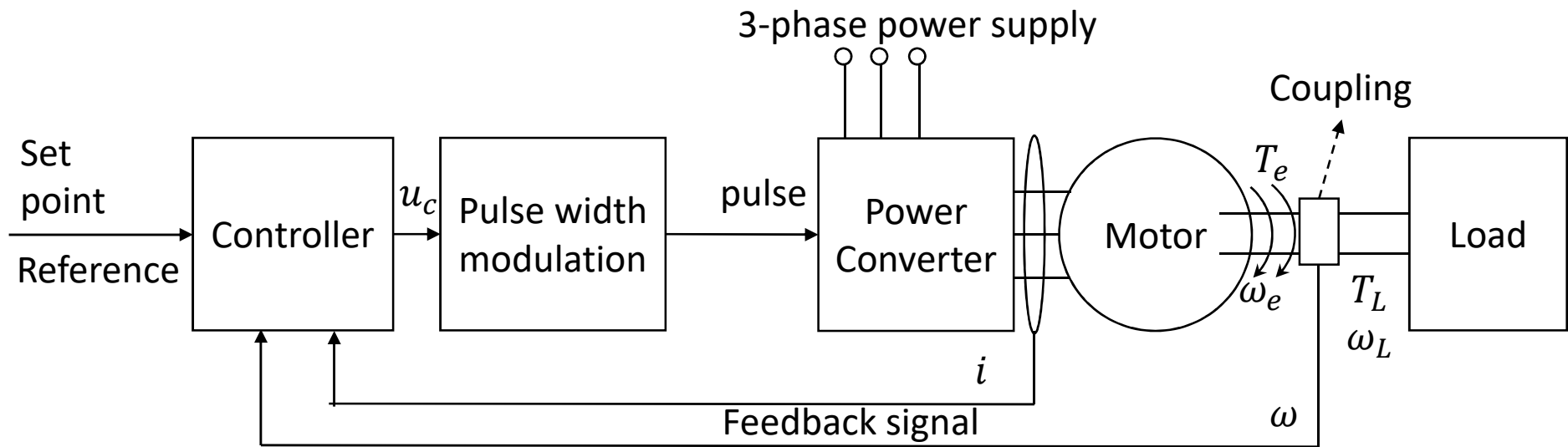
- $P_m = E_a I_a > 0$

$\Rightarrow \Delta P = P_e + P_m$ tiêu tán trên R_a và phụ

- $\omega = -\frac{V_a}{k\phi} - \frac{R_a + R_b}{(k\phi)^2} T_b$



2.6 Các phương pháp điều khiển tốc độ



- Khái niệm: điều chỉnh tốc độ động cơ bám theo một giá trị đặt mong muốn (do yêu cầu của máy sản xuất)
- Phân loại:
 - Cơ khí: $\omega_e = \text{const}$, thay đổi tỉ số truyền i ở cơ cấu truyền lực (coupling) để thay đổi ω_L
 - Điện: ω_e thay đổi, $i = \text{const}$
 - Cơ điện: kết hợp thay đổi cả ω_e và i
- Phân biệt điều chỉnh tốc độ và tự thay đổi vận tốc

2.6.1 Một số chỉ tiêu điều chỉnh tốc độ ĐC KTĐL



- Phạm vi điều chỉnh tốc độ:

$$D = \frac{\omega_{max}}{\omega_{min}} \Big|_{I_{rated}}$$

- Độ trơn:

$$\varphi = \frac{\omega_i}{\omega_{i-1}} = \frac{\text{tốc độ cấp } i}{\text{tốc độ cấp } i - 1}$$

- Sai số điều chỉnh:

$$\delta\omega\% = \frac{\omega_0 - \omega_{rated}}{\omega_0} \times 100\%$$

- Sự phù hợp giữa đặc tính điều chỉnh và đặc tính phụ tải
- Tổn thất năng lượng khi điều chỉnh $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_m}{P_e}$
- Độ tin cậy và kinh tế

Khái quát về điều chỉnh tốc độ DC KTĐL



- Phương trình cơ điện:

$$\omega = \frac{V_a}{K\phi} - \frac{R_a + R_{adj}}{K\phi} I$$

- Phương pháp điều chỉnh:

- Điều chỉnh điện áp cấp cho phần ứng
- Điện áp cấp cho mạch kích từ (điều chỉnh từ thông)
- Điều chỉnh điện trở phần ứng

- Bộ biến đổi:

- Máy phát điện – động cơ
- Chỉnh lưu Thyristor (Phase-controlled rectifier)
- Băm xung áp (Chopper)

2.6.2 Điều chỉnh điện áp cấp cho phần ứng



- Nguyên lý chung:
 - Giữ từ thông kích từ ở giá trị định mức $\phi = \phi_{rated}$
 - Điều chỉnh điện áp phần ứng V_a trong dải $0 \div V_{rated}$

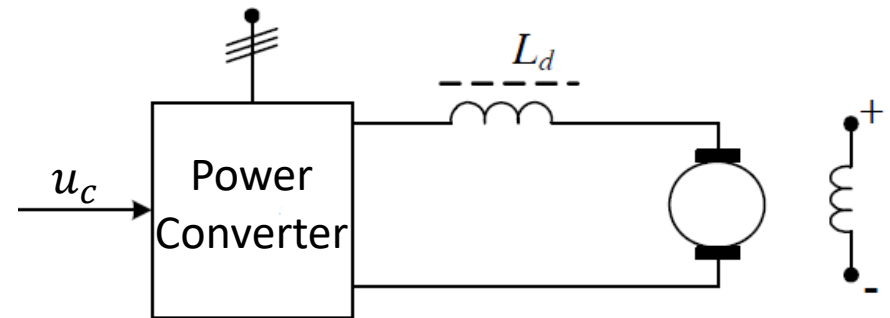
- Phương trình đặc tính:

$$\omega = \frac{V_a}{K\phi_{rated}} - \frac{R_a}{K\phi_{rated}} I$$

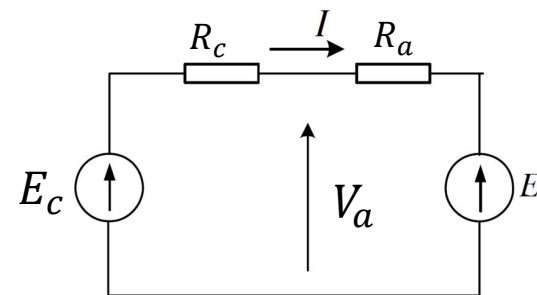
- $$= \frac{E_c}{K\phi_{rated}} - \frac{R_a + R_c}{K\phi_{rated}} I$$

- $$\omega_0 = \frac{E_c}{K\phi_{rated}} \text{ và}$$

- $$\Delta\omega = -\frac{R_a + R_c}{K\phi_{rated}} I$$



- Sơ đồ thay thế:



- R_c là điện trở trong của bộ biến đổi

Điều chỉnh điện áp cấp cho phần ứng

■ Điều kiện khởi động: $T_{start} = kT_{rated}$

■ $\omega = 0$: $0 = \frac{E_{cmin}}{K\phi_{rated}} - \frac{R_a + R_c}{K\phi_{rated}} I$

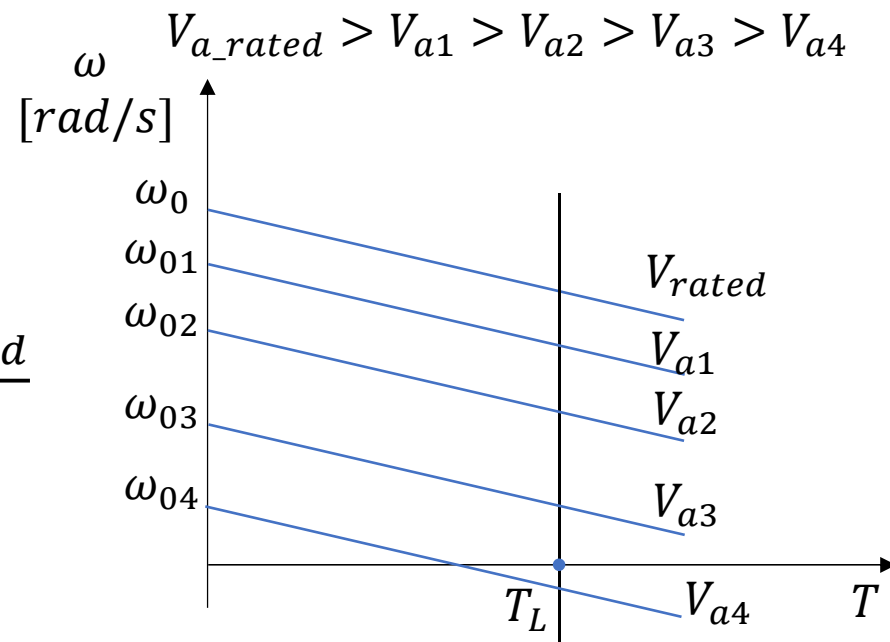
$$\Rightarrow E_{cmin} = \frac{kT_{rated}(R_a + R_c)}{K\phi_{rated}}$$

Có $K\phi_{rated} = \frac{V_{rated} - R_a I_{rated}}{\omega_{rated}}$

$$\Rightarrow E_{cmin} = \frac{kT_{rated}(R_a + R_c)\omega_{rated}}{V_{rated} - R_a I_{rated}}$$

■ $\omega = \omega_{rated}$ thì:

$$E_{c_{rated}} = V_{a_{rated}} + I_{rated}R_c > V_{a_{rated}}$$



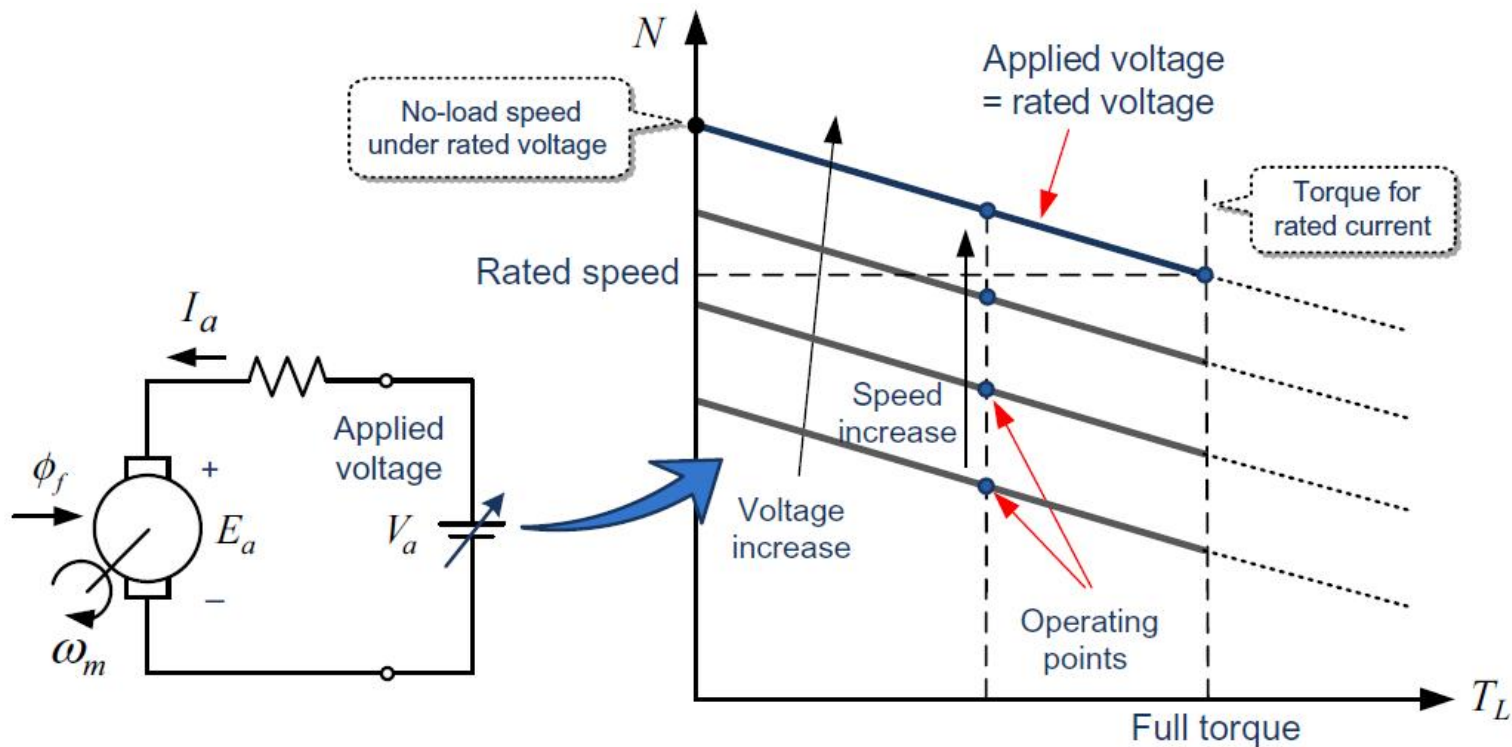
Điều chỉnh điện áp cấp cho phần ứng

■ Đặc điểm:

- $V_{max} = V_{rated}$ nên $\omega < \omega_{rated}$
→ Điều chỉnh dưới tốc độ cơ bản
- Dải điều chỉnh: $D = \frac{\omega_{rated}}{\omega_{min}}$

■ Vùng điều chỉnh:

- $\omega_{max} = \omega_{0max} - \frac{T_{rated}}{|\beta|}$
- $\omega_{min} = \omega_{0min} - \frac{T_{rated}}{|\beta|}$



Điều chỉnh điện áp cấp cho phần ứng

- Momen tải cho phép:

$$T_{L_{max}} = K\phi_{rated}I_{rated} = T_{rated} = const$$

- Tổn hao năng lượng chính là tổn hao mạch phần ứng

$$I_a E_c = I_a E_a + I_a^2 (R_c + R_a)$$

- Hiệu suất:

$$\eta_a = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{I_a E_a}{I_a E_a + I_a^2 R} = \frac{\omega}{\omega + \frac{TR}{(K\phi_{rated})^2}}$$

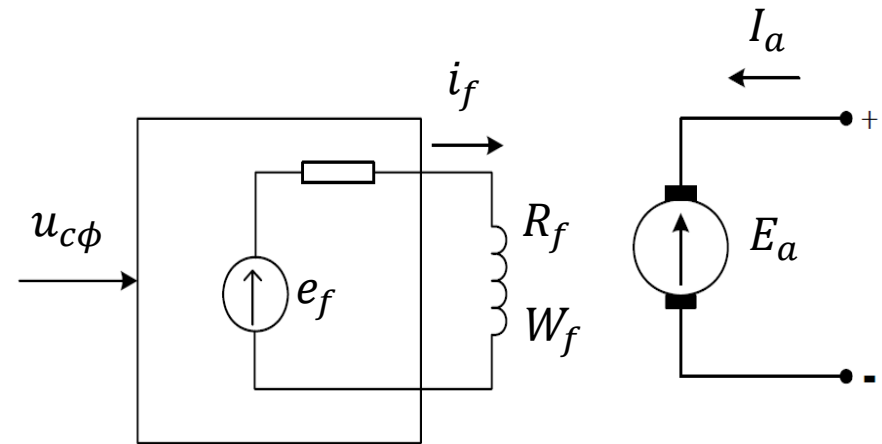
Với $R = R_c + R_a$

- Ứng dụng: băng tải, máy ăn dao, máy cắt, lò quay

2.6.3 Điện áp cấp cho mạch kích từ (điều chỉnh từ thông ϕ)



- Nguyên lý chung:
 - Giữ điện áp phần ứng $V_a = V_{a_{rated}}$ hay $E_c = E_{c_{rated}}$
 - Điều chỉnh giảm dòng điện kích từ i_f

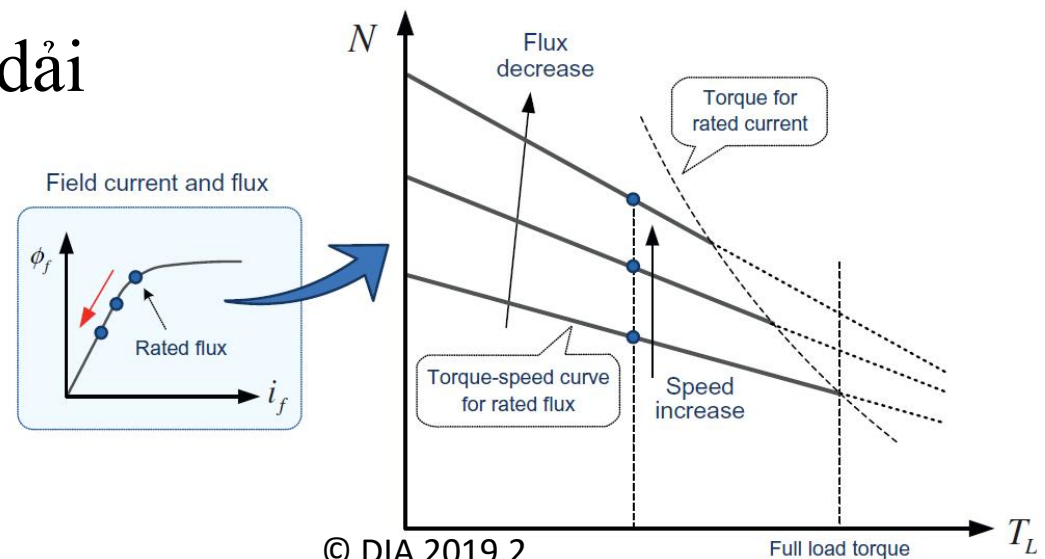


- Từ thông kích từ ϕ (coi $\phi \approx c i_f$) thay đổi trong dải

$$\phi_{min} \div \phi_{rated}$$

- $T = K\phi I_a$ suy giảm

$$\omega = \frac{V_a}{k\phi} - \frac{R_a}{(k\phi)^2} T_L$$



2.6.3 Điện áp cấp cho mạch kích từ (điều chỉnh từ thông ϕ)



- Phương pháp điều chỉnh trên vận tốc cơ bản: $\omega < \omega_{rated}$

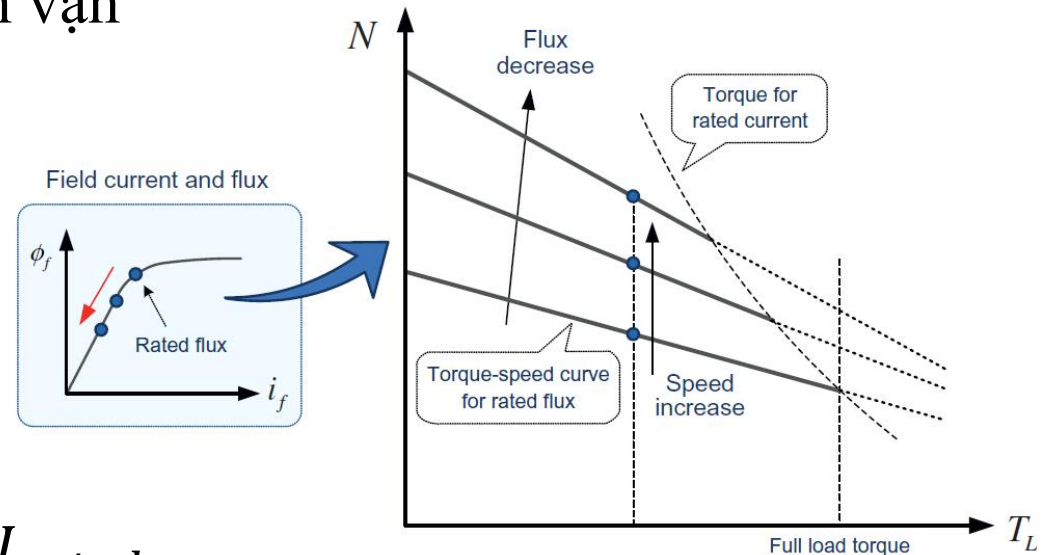
$$D = \frac{\omega_{max}}{\omega_{rated}} = \frac{(2 \div 3) \times \omega_{rated}}{\omega_{rated}}$$

- Đặc tính tải:

$$\begin{aligned} T_{Lcf} &= K\phi I_{rated} \\ &= \frac{E_c - (R_a + R_c)I_{rated}}{\omega} I_{rated} \\ &\sim \frac{1}{\omega} \end{aligned}$$

- Công suất không đổi:

$$P_{cf} \sim T_{cf} \cdot \omega = const = P_{rated}$$



- Ứng dụng cho các máy sản xuất có momen tỉ lệ nghịch với tốc độ

2.6.4 Điều chỉnh kết hợp điện áp và từ thông (điều chỉnh hai vùng)

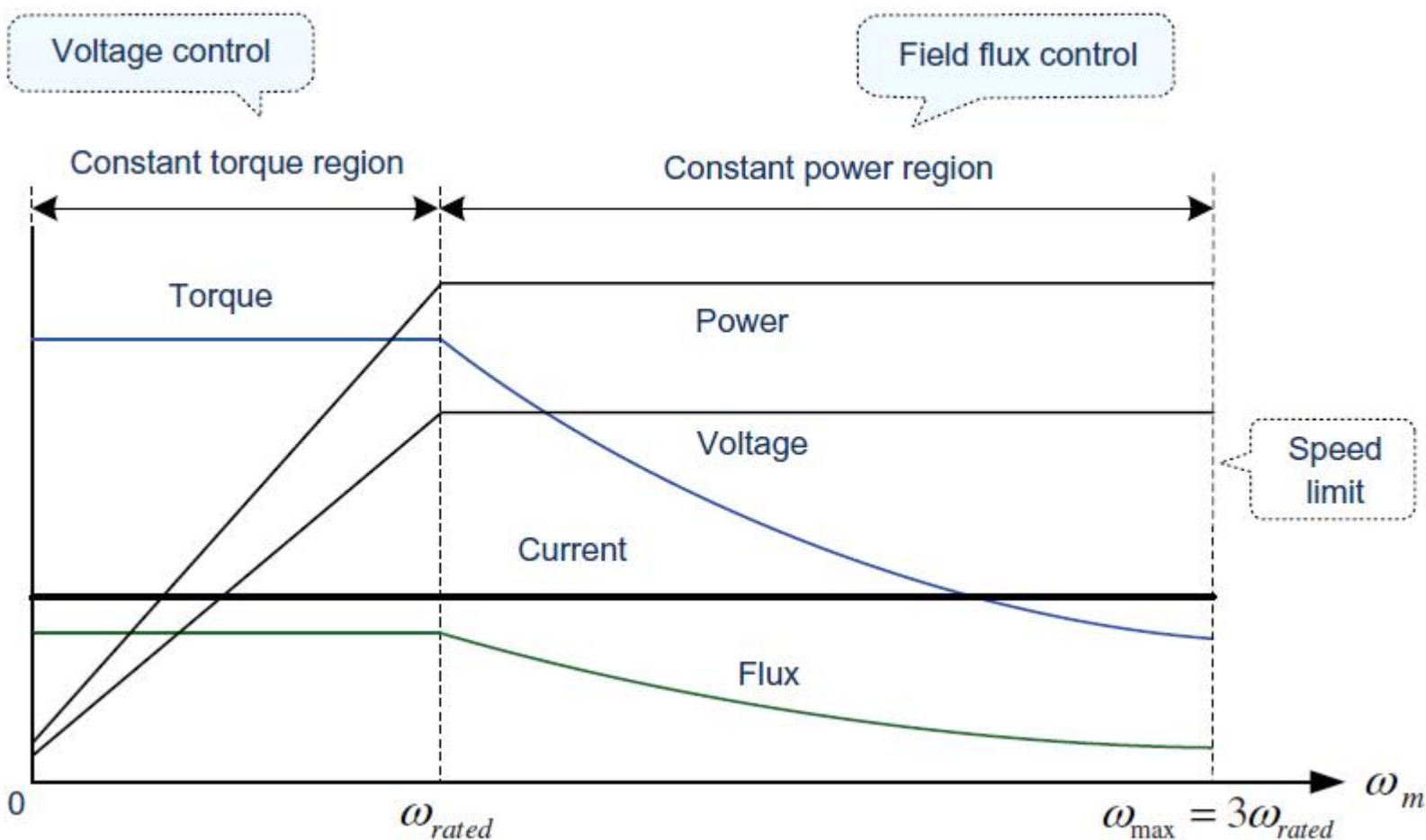


- Khi $\omega \leq \omega_{rated}$: sử dụng phương pháp điều chỉnh điện áp phần ứng V_a ($\leq V_{rated}$) trong đó
 - $\phi = \phi_{rated}$
 - Momen cho phép T_{cf} không đổi
- Khi $\omega > \omega_{rated}$: sử dụng phương pháp điều chỉnh từ thông kích từ ϕ ($\phi_{min} \leq \phi \leq \phi_{rated}$) trong đó
 - V_a ($\leq V_{rated}$)
 - có momen T_{cf} tỉ lệ nghịch với tốc độ,
 - công suất P_{cf} không đổi

- Dải điều chỉnh:

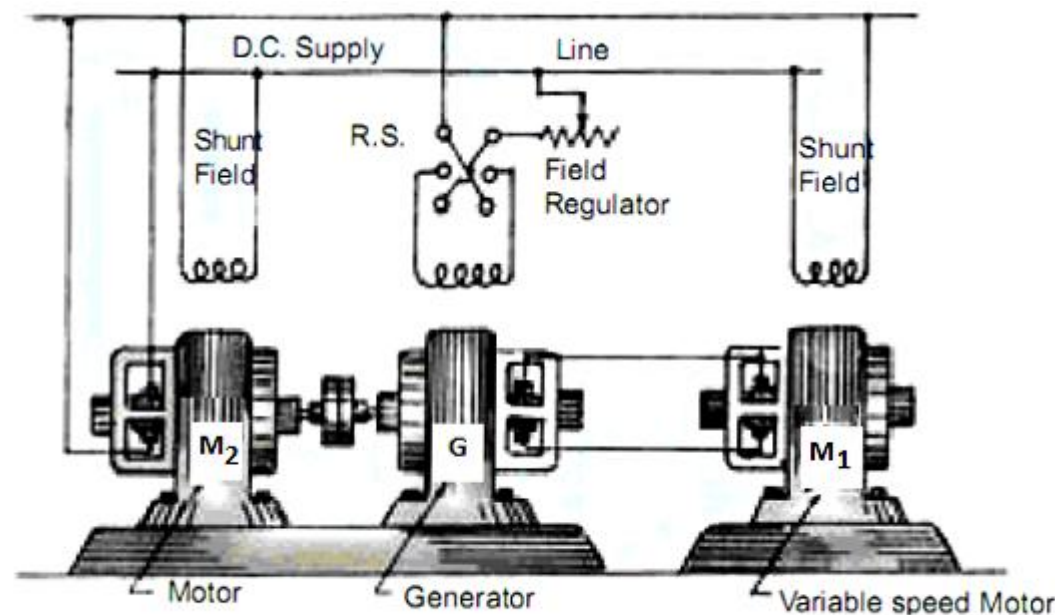
$$D = \frac{\omega_{max}}{\omega_{min}} = \frac{\omega_{max}}{\omega_{rated}} \cdot \frac{\omega_{rated}}{\omega_{min}} = D_{\phi} \cdot D_V$$

2.6.4 Điều chỉnh kết hợp điện áp và từ thông (điều chỉnh hai vùng)



2.7 Hệ thống truyền động máy phát động cơ – FĐ

- Hệ FĐ do Harry Ward Leonard giới thiệu năm 1891
- Hệ bao gồm
 - Động cơ sơ cấp M_2 (1 chiều hoặc không đồng bộ 3 pha)
 - Máy phát điện 1 chiều G
 - Động cơ điện DC M_1 cần điều khiển tốc độ



2.7 Hệ thống truyền động máy phát động cơ (FĐ) – Nguyên lý

- Sức điện động của máy phát:

- $E_G = K_G \phi_G \omega_G = K_G \omega_G C i_{Gf}$

- K_G - hệ số kết cấu máy phát

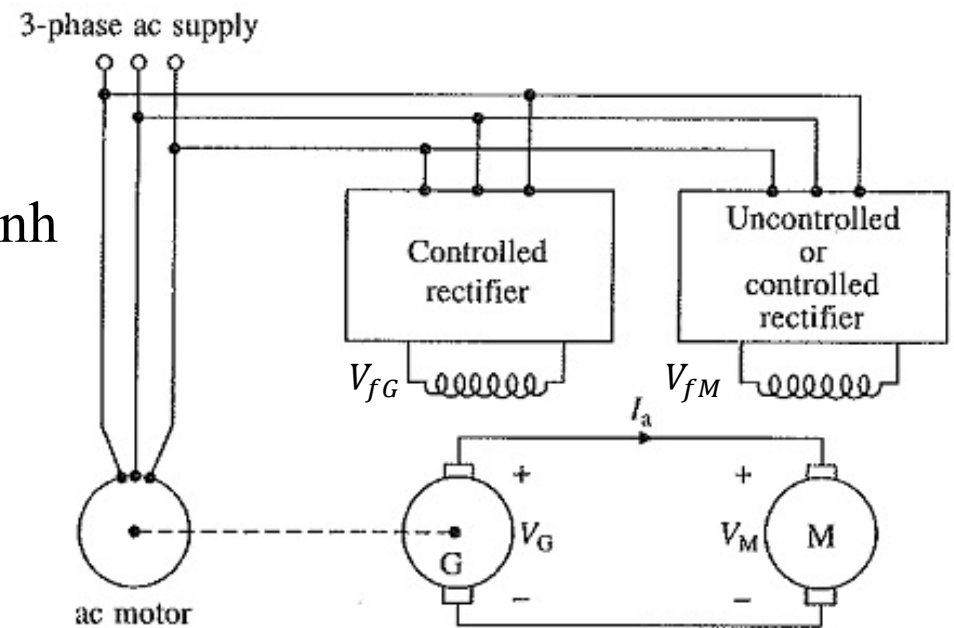
- $C = \Delta \phi_G / \Delta i_{fG}$ hệ số góc của đặc tính từ hóa

- Dòng kích từ máy phát:

- $i_{fG} = V_{fG} / R_{fG}$

- V_{fG} - điện áp kích từ máy phát

$$\Rightarrow E_G = K_G V_{fG} \text{ với } K_G = \frac{k_f \omega_G C}{R_{fG}}$$



2.7 Hệ thống truyền động máy phát động cơ (FĐ) – Nguyên lý

- $V_G = E_G - R_{aG}I_a = V_M = E_M + R_{aM}I_a = K\phi\omega + R_{aM}I_a$
- Đặt $R = R_{aG} + R_{aM}$ thì tốc độ động cơ:

$$\omega = \frac{K_G}{K\phi} V_{fG} - \frac{RI_a}{K\phi}$$

- Hay

$$\omega = \frac{K_G}{K\phi} V_{fG} - \frac{R}{(K\phi)^2} T$$

$$= \omega_0(V_{fG}, V_{fM}) - \frac{T}{|\beta|V_{fM}}$$

- Tốc độ động cơ M được điều chỉnh bằng cách điều chỉnh điện áp kích từ của máy phát

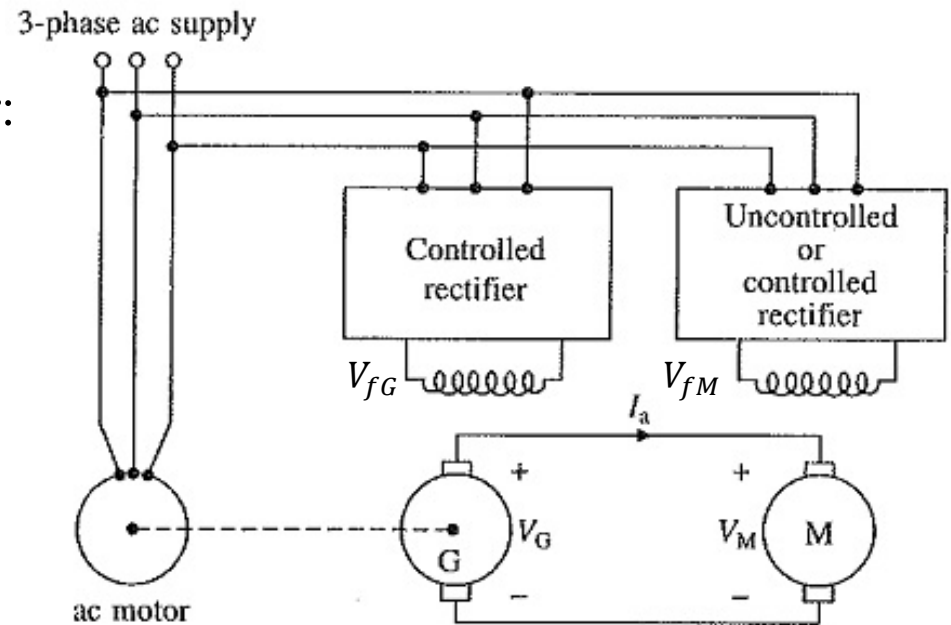
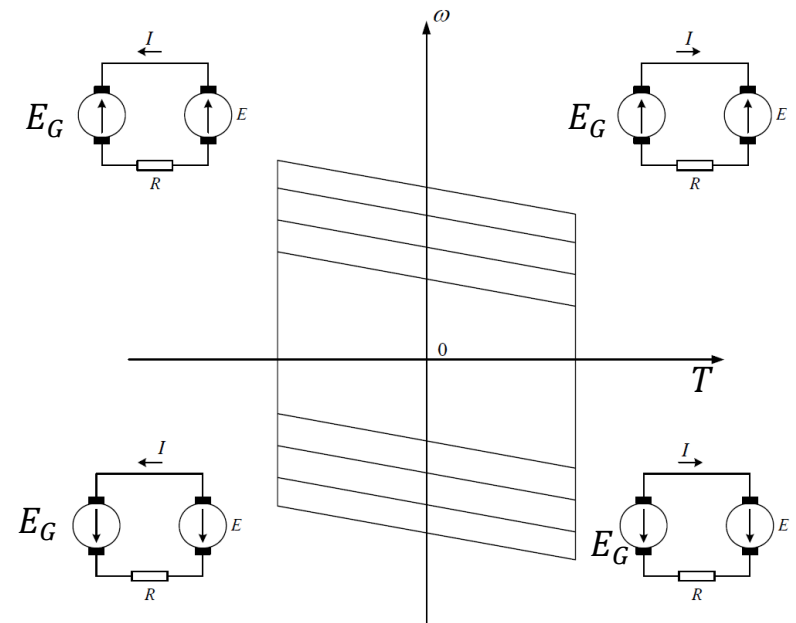


Fig. 5.20 Ward-Leonard drive

2.7 Hệ thống truyền động máy phát động cơ (FĐ) – Các chế độ làm việc



- Hệ FĐ có các đặc tính cơ điện đầy cả bốn góc phần tư của mặt phẳng tọa độ $[\omega, T]$
- Ở góc phần tư I và III:
$$P_G = E_G \cdot I > 0$$
$$P_e = E \cdot I < 0$$
$$P_m = T \cdot \omega > 0$$
- $|E_G| > E, |\omega_c| > \omega$
- Năng lượng được vận chuyển thuận chiều từ nguồn \rightarrow máy phát \rightarrow động cơ \rightarrow tải



2.7 Hệ thống truyền động máy phát động cơ (FĐ) – Các chế độ làm việc

- Vùng hãm tái sinh ở góc phần tư II và IV, do $\omega > \omega_0$ nên $|E| > |E_G|$, công suất:

$$P_G = E_G \cdot I < 0$$

$$P_e = E \cdot I > 0$$

$$P_m = T \cdot \omega < 0$$

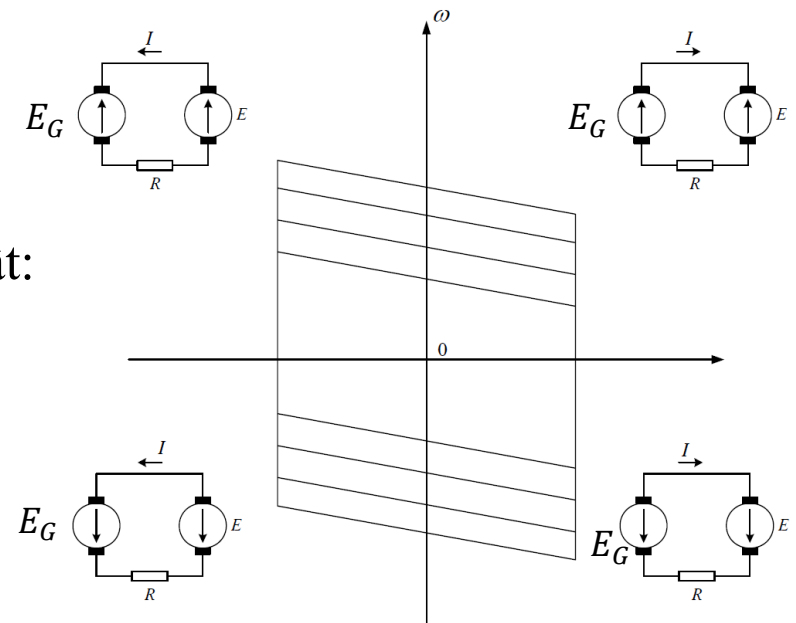
- Vùng hãm ngược có biểu thức tính công suất:

$$P_G = E_f \cdot I > 0$$

$$P_e = E \cdot I > 0$$

$$P_m = T \cdot \omega < 0$$

- Hai nguồn sđ đ E và E_G cùng chiều và cùng cung cấp cho điện trở mạch phản ứng tạo nhiệt năng tiêu tán trên đó.



2.7 Hệ thống truyền động máy phát động cơ (FĐ) – Nhận xét chung

■ Ưu điểm:

- Chuyển đổi trạng thái linh hoạt
- Khả năng làm việc quá tải lớn
- Không sinh ra sóng hài dòng điện (harmonics currents)
- Thường dùng ở các máy khai thác trong công nghiệp mỏ, máy cán thép (máy công suất rất lớn, in the multi-kiloWatt range)

■ Nhược điểm:

- Hệ thống rất cồng kềnh
- Công suất lắp đặt máy ít nhất bằng ba lần công suất động cơ chấp hành
- Khó điều chỉnh sâu tốc độ do các máy phát một chiều có từ dư, đặc tính từ hóa có trễ
- Dùng nhiều máy điện quay, gây ồn lớn, đòi hỏi chi phí vận hành và bảo dưỡng cao nên hiện nay hầu như không còn được sử dụng

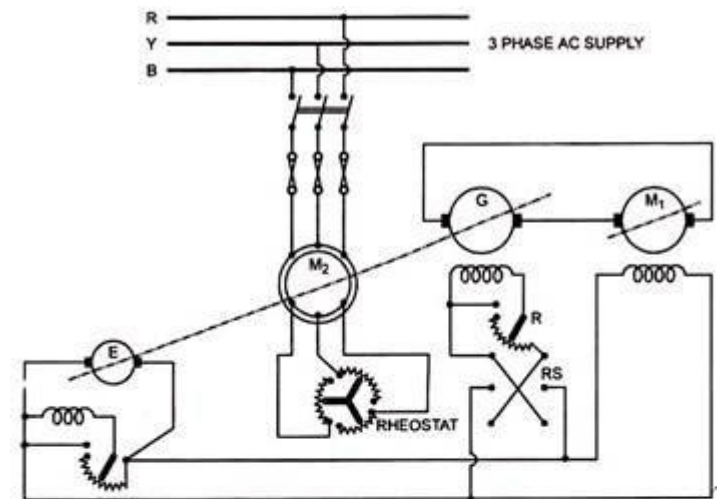


Fig. 1.79 (a) Ward-Leonard Control System

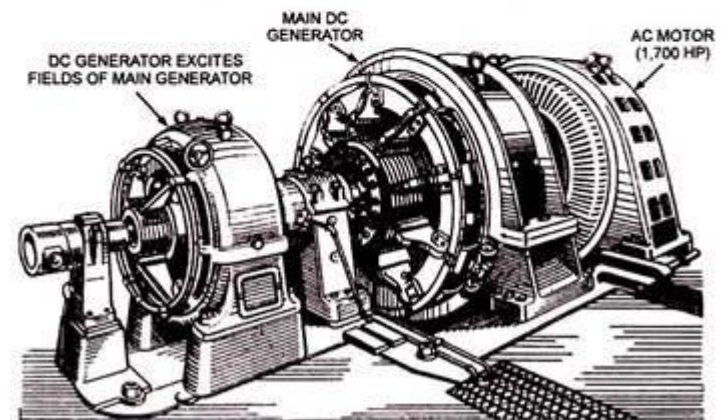


Fig. 1.79 (b). GEC Ward-Leonard Set Used in Mines
1,200 kW Output Generator Controlling a Large Hoist Motor