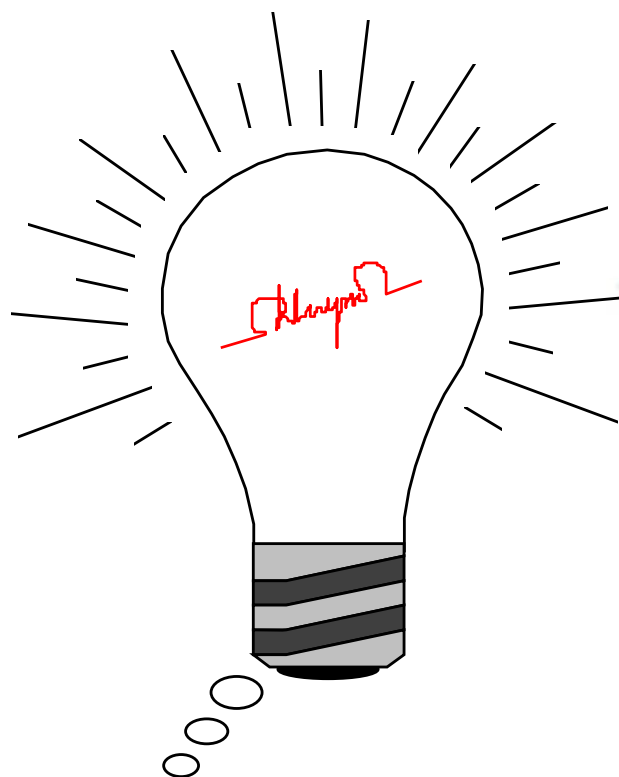


ThS. KHƯƠNG CÔNG MINH

BỘ MÔN: TỰ ĐỘNG - ĐO LƯỜNG - KHOA ĐIỆN

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA ĐÀ NẴNG



GIÁO TRÌNH
TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN
TỰ ĐỘNG



(Lưu hành nội bộ)

Đà Nẵng 2005

LỜI NÓI ĐẦU

Để phục vụ kịp thời cho việc học tập và giảng dạy của sinh viên và giáo viên khoa Điện trường Đại học Bách khoa Đà Nẵng cũng như sinh viên các trung tâm, và làm tài liệu tham khảo cho các kỹ sư điện và các ngành có liên quan, chúng tôi đã biên soạn giáo trình “truyền động điện tự động” (tập1, 2). Giáo trình gồm hai phần:

Phần 1 (Tập1): Trình bày những kiến thức cơ bản về: các đặc tính của máy sản xuất, của động cơ; các phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ, các hệ “bộ biến đổi - động cơ”; quá trình quá độ trong hệ thống truyền động điện tự động; chọn công suất động cơ...

Phần 2 (Tập2): Trình bày hệ điều khiển tự động (ĐKTĐ) truyền động điện như: phân tích các nguyên tắc điều khiển tự động; các phần tử điều khiển và bảo vệ; tổng hợp hệ TĐĐTĐ theo đại số logic...

Nội dung của giáo trình (*Phần 1*) gồm 6 chương:

Chương 1: Khái niệm chung về hệ truyền động điện tự động.

Chương 2: Đặc tính cơ của động cơ điện.

Chương 3: Điều chỉnh tốc độ động cơ điện theo các thông số.

Chương 4: Điều chỉnh tốc độ hệ "Bộ biến đổi - Động cơ điện".

Chương 5: Quá trình quá độ trong hệ thống truyền động điện.

Chương 6: Tính chọn công suất động cơ.

Nội dung của giáo trình (*Phần 2*) gồm 5 chương:

Chương 1: Khái niệm chung về hệ thống điều khiển tự động truyền động điện (HT ĐKTĐ TĐĐTĐ).

Chương 2: Những nguyên tắc điều khiển tự động.

Chương 3: Các mạch bảo vệ và tín hiệu hóa.

Chương 4: Phần tử điều khiển logic - số.

Chương 5: Tổng hợp hệ điều khiển logic.

Do hạn chế về thông tin cũng như khả năng nên nội dung giáo trình chắc chắn còn nhiều vấn đề cần hoàn thiện.

Rất mong các bạn đồng nghiệp và độc giả đóng góp ý kiến. Thư góp ý xin gửi về cho ThS. Khương Công Minh, Giáo viên khoa điện, Trường đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng.

Tác giả

CHƯƠNG 1:

KHÁI NIỆM CHUNG VỀ HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN TỰ ĐỘNG.

§ 1.1. MỤC ĐÍCH VÀ YÊU CẦU:

+ Nắm được cấu trúc chung của hệ thống truyền động điện tự động (HT-TĐĐTĐ).

+ Nắm được đặc tính của từng loại động cơ trong các hệ thống truyền động điện tự động cụ thể.

+ Phân tích được các phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ và vấn đề điều chỉnh tốc độ trong các hệ “bộ biến đổi - động cơ”.

+ Khảo sát được quá trình quá độ của HT-TĐĐTĐ với các thông số của hệ hoặc của phụ tải.

+ Tính chọn các phương án truyền động và nắm được nguyên tắc cơ bản để chọn công suất động cơ điện.

+ Nắm được các nguyên tắc cơ bản điều khiển tự động HT-TĐĐTĐ.

+ Phân tích và đánh giá được các mạch điều khiển tự động điển hình của các máy hoặc hệ thống đã có sẵn.

+ Nắm được nguyên tắc làm việc của phần tử điều khiển logic.

+ Tổng hợp được một số mạch điều khiển logic.

+ Thiết kế được các mạch điều khiển tự động của các máy hoặc hệ thống theo yêu cầu công nghệ.

§ 1.2. CẤU TRÚC VÀ PHÂN LOẠI HỆ THỐNG

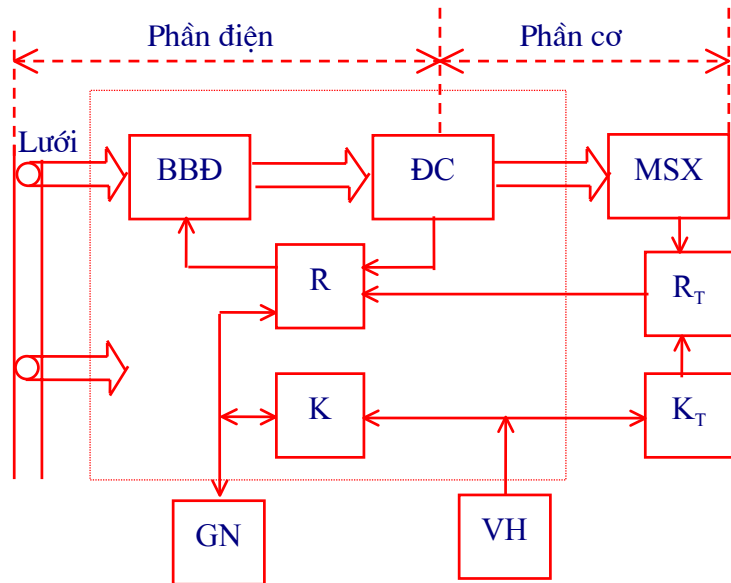
TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN TỰ ĐỘNG (TĐĐ TĐ)

1.2.1. Cấu trúc của hệ thống truyền động điện tự động:

*** Định nghĩa hệ thống truyền động điện tự động:**

+ Hệ truyền động điện tự động (TĐĐ TĐ) là một tổ hợp các thiết bị điện, điện tử, v.v. phục vụ cho cho việc biến đổi điện năng thành cơ năng cung cấp cho các cơ cấu công tác trên các máy sản xuất, cũng như gia công truyền tín hiệu thông tin để điều khiển quá trình biến đổi năng lượng đó theo yêu cầu công nghệ.

*** Cấu trúc chung:**



Hình 1-1: Mô tả cấu trúc chung của hệ TĐĐ TĐ

BBĐ: Bộ biến đổi; ĐC: Động cơ điện; MSX: Máy sản xuất; R và R_T: Bộ điều chỉnh truyền động và công nghệ; K và K_T: các Bộ đóng cắt phục vụ truyền động và công nghệ; GN: Mạch ghép nối; VH: Người vận hành

Cấu trúc của hệ TĐĐ TĐ gồm 2 phần chính:

- Phần lực (mạch lực): từ lưới điện hoặc nguồn điện cung cấp điện năng đến bộ biến đổi (BBĐ) và động cơ điện (ĐC) truyền động cho phụ tải (MSX). Các bộ biến đổi như: bộ biến đổi máy điện (máy phát điện một chiều, xoay chiều, máy điện khuếch đại), bộ biến đổi điện từ (khuếch đại từ, cuộn kháng bảo hoà), bộ biến đổi điện tử, bán dẫn (Chỉn lưu tiristor, bộ điều áp một chiều, biến tần transistor, tiristor). Động cơ có các loại như: động cơ một chiều, xoay chiều, các loại động cơ đặc biệt.

- Phần điều khiển (mạch điều khiển) gồm các cơ cấu đo lường, các bộ điều chỉnh tham số và công nghệ, các khí cụ, thiết bị điều khiển đóng cắt phục vụ công nghệ và cho người vận hành. Đồng thời một số hệ TĐĐ TĐ khác có cả mạch ghép nối với các thiết bị tự động khác hoặc với máy tính điều khiển.

1.2.2. Phân loại hệ thống truyền động điện tự động:

- Truyền động điện không điều chỉnh: thường chỉ có động cơ nối trực tiếp với lưới điện, quay máy sản xuất với một tốc độ nhất định.

- Truyền động có điều chỉnh: tùy thuộc vào yêu cầu công nghệ mà ta có hệ truyền động điện điều chỉnh tốc độ, hệ truyền động điện tự động điều chỉnh mô men, lực kéo, và hệ truyền động điện tự động điều chỉnh vị trí. Trong hệ này có thể là hệ truyền động điện tự động nhiều động cơ.

- Theo cấu trúc và tín hiệu điều khiển mà ta có hệ truyền động điện tự động điều khiển số, hệ truyền động điện tự động điều khiển tương tự, hệ truyền động điện tự động điều khiển theo chương trình ...

- Theo đặc điểm truyền động ta có hệ truyền động điện tự động động cơ điện một chiều, động cơ điện xoay chiều, động cơ bước, v.v.

- Theo mức độ tự động hóa có hệ truyền động không tự động và hệ truyền động điện tự động.

- Ngoài ra, còn có hệ truyền động điện không đảo chiều, có đảo chiều, hệ truyền động đơn, truyền động nhiều động cơ, v.v.

§ 1.3. ĐẶC TÍNH CƠ CỦA MÁY SẢN XUẤT VÀ ĐỘNG CƠ

1.3.1. Đặc tính cơ của máy sản xuất:

+ Đặc tính cơ của máy sản xuất là quan hệ giữa tốc độ quay và mômen cản của máy sản xuất: $M_c = f(\omega)$.

+ Đặc tính cơ của máy sản xuất rất đa dạng, tuy nhiên phần lớn chúng được biểu diễn dưới dạng biểu thức tổng quát:

$$M_c = M_{co} + (M_{dm} - M_{co}) \left(\frac{\omega}{\omega_{dm}} \right)^q \quad (1-1)$$

Trong đó:

M_c - mômen ứng với tốc độ ω .

M_{co} - mômen ứng với tốc độ $\omega = 0$.

M_{dm} - mômen ứng với tốc độ định mức ω_{dm}

+ Ta có các trường hợp số mũ q ứng với các tải:

Khi $q = -1$, mômen tỷ lệ nghịch với tốc độ, tương ứng các cơ cấu máy tiện, doa, máy cuốn dây, cuốn giấy, ... (đường ① hình 1-2).

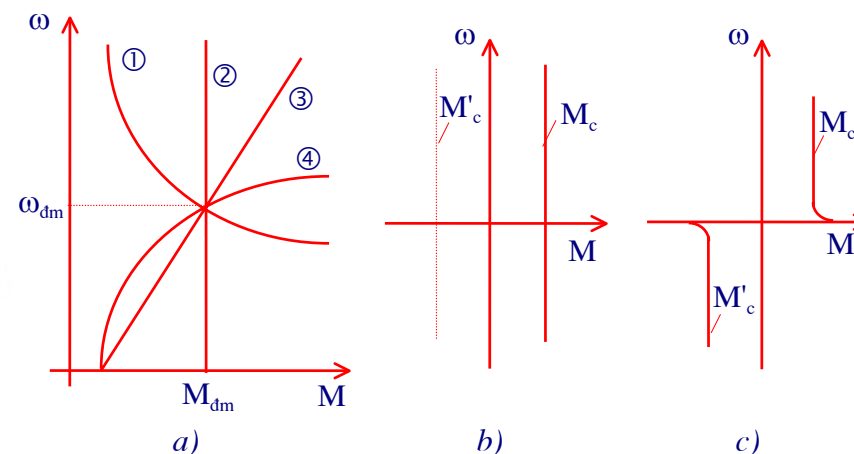
Đặc điểm của loại máy này là tốc độ làm việc càng thấp thì mômen cản (lực cản) càng lớn.

Khi $q = 0$, $M_c = M_{dm} = \text{const}$, tương ứng các cơ cấu máy nâng hạ, cầu trục, thang máy, băng tải, cơ cấu ăn dao máy cắt gọt, ... (đường ② hình 1-2).

Khi $q = 1$, mômen tỷ lệ bậc nhất với tốc độ, tương ứng các cơ cấu ma sát, máy bào, máy phát một chiều tải thuận trở, (đường ③ hình 1-2).

Khi $q = 2$, mômen tỷ lệ bậc hai với tốc độ, tương ứng các cơ cấu máy bơm, quạt gió, máy nén, (đường ④ hình 1-2).

+ Trên hình 1-2a biểu diễn các đặc tính cơ của máy sản xuất:



Hình 1-2: a) Các dạng đặc tính cơ của các máy sản xuất

①: $q = -1$; ②: $q = 0$; ③: $q = 1$; ④: $q = 2$.

b) Dạng đặc tính cơ của máy sản xuất có tính thế năng.

c) Dạng đặc tính cơ của máy sản xuất có tính phản kháng.

+ Ngoài ra, một số máy sản xuất có đặc tính cơ khác, như:

- Mômen phụ thuộc vào góc quay $M_c = f(\varphi)$ hoặc mômen phụ thuộc vào đường đi $M_c = f(s)$, các máy công tác có pittông, các máy trục không có cáp cân bằng có đặc tính thuộc loại này.

- Mômen phụ thuộc vào số vòng quay và đường đi $M_c = f(\omega, s)$ như các loại xe điện.

- Mômen phụ thuộc vào thời gian $M_c = f(t)$ như máy nghiền đá, nghiền quặng.

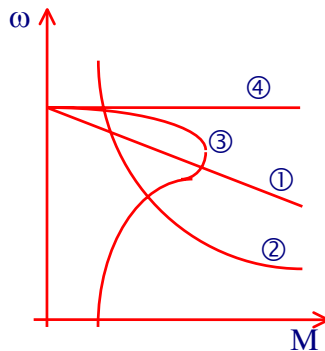
Trên hình 1-2b biểu diễn đặc tính cơ của máy sản xuất có mômen cản dạng thế năng.

Trên hình 1-2c biểu diễn đặc tính cơ của máy sản xuất có mômen cản dạng phản kháng.

1.3.2. Đặc tính cơ của động cơ điện:

+ Đặc tính cơ của động cơ điện là quan hệ giữa tốc độ quay và mômen của động cơ: $M = f(\omega)$.

+ Nhìn chung có 4 loại đặc tính cơ của các loại động cơ đặc trưng như: động cơ điện một chiều kích từ song song hay độc lập (đường①), và động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp hay hỗn hợp (đường②), động cơ điện xoay chiều không đồng bộ (đường③), đồng bộ (đường④), hình 1-3.



Hình 1-3: Các đặc tính cơ của bốn loại động cơ điện

* Thường người ta phân biệt hai loại đặc tính cơ:

+ *Đặc tính cơ tự nhiên*: là đặc tính có được khi động cơ nối theo sơ đồ bình thường, không sử dụng thêm các thiết bị phụ trợ khác và các thông số nguồn cũng như của động cơ là định mức. Như vậy mỗi động cơ chỉ có một đặc tính cơ tự nhiên.

+ *Đặc tính cơ nhân tạo* hay *đặc tính cơ điều chỉnh*: là đặc tính cơ nhận được sự thay đổi một trong các thông số nào đó của nguồn, của động cơ hoặc nối thêm thiết bị phụ trợ vào mạch, hoặc sử dụng các sơ đồ đặc biệt. Mỗi động cơ có thể có nhiều đặc tính cơ nhân tạo.

1.3.3. Độ cứng đặc tính cơ:

+ Đánh giá và so sánh các đặc tính cơ, người ta đưa ra khái niệm “*độ cứng đặc tính cơ*” và được định nghĩa:

$$\beta = \frac{\partial M}{\partial \omega}; \text{ nếu đặc tính cơ tuyến tính thì: } \beta = \frac{\Delta M}{\Delta \omega}; \quad (1-2a)$$

$$\text{Hoặc theo hệ đơn vị tương đối: } \beta^* = \frac{dM^*}{d\omega^*}; \quad (1-2b)$$

Trong đó: ΔM và $\Delta \omega$ là lượng sai phân của mômen và tốc độ tương ứng; $M^* = M/M_{dm}$; $\omega^* = \omega/\omega_{dm}$; hoặc $\omega^* = \omega/\omega_{cb}$.

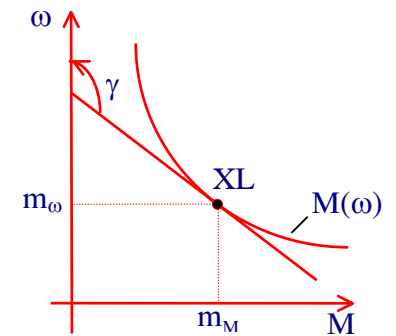
$$\text{Hoặc tính theo đồ thị: } \beta = \frac{m_M}{m_\omega} \tan \gamma; \quad (\text{hình 1-4}) \quad (1-3)$$

Trong đó:

+ m_M là tỉ lệ xích của trục mômen

+ m_ω là tỉ lệ xích của trục tốc độ

+ γ là góc tạo thành giữa tiếp tuyến với trục ω tại điểm xét của đặc tính cơ.



Hình 1-4: Cách tính độ cứng đặc tính cơ bằng đồ thị

+ Động cơ không đồng bộ có độ cứng đặc tính cơ thay đổi giá trị ($\beta > 0, \beta < 0$).

+ Động cơ đồng bộ có đặc tính cơ tuyệt đối cứng ($\beta \approx \infty$).

+ Động cơ một chiều kích từ độc lập có độ cứng đặc tính cơ cứng ($\beta \geq 40$).

+ Động cơ một chiều kích từ độc lập có độ cứng đặc tính cơ mềm ($\beta \leq 10$).

§ 1.4. CÁC TRẠNG THÁI LÀM VIỆC CỦA HỆ TĐĐTĐ

+ Trong hệ truyền động điện tự động bao giờ cũng có quá trình biến đổi năng lượng điện năng thành cơ năng hoặc ngược lại. Chính quá trình biến đổi này quyết định trạng thái làm việc của hệ truyền động điện. Có thể lập Bảng 1-1:

TT	Biểu đồ công suất	$P_{\text{điện}}$	$P_{\text{cơ}}$	ΔP	Trạng thái làm việc
1		0	= 0	= $P_{\text{điện}}$	- Động cơ không tải
2		0	0	= $P_d - P_c$	- Động cơ có tải
3		= 0	< 0	= $ P_{\text{cơ}} $	Hãm không tải
4		< 0	< 0	= $ P_c - P_d $	Hãm tái sinh
5		0	< 0	= $ P_c + P_d $	Hãm ngược
6		= 0	< 0	= $ P_{\text{cơ}} $	Hãm động năng

Ở trạng thái động cơ: Ta coi dòng công suất điện $P_{\text{điện}}$ có giá trị dương nếu như nó có chiều truyền từ nguồn đến động cơ và từ động cơ biến đổi công suất điện thành công suất cơ: $P_{\text{cơ}} = M \cdot \omega$ cấp cho máy sản xuất và được tiêu thụ tại cơ cấu công tác của máy. Công suất cơ này có giá trị dương nếu như mômen động cơ sinh ra cùng chiều với tốc độ quay.

Ở trạng thái máy phát: thì ngược lại, khi hệ truyền động làm việc, trong một điều kiện nào đó cơ cấu công tác của máy sản xuất có thể tạo ra cơ năng do động năng hoặc thế năng tích lũy trong hệ đủ lớn, cơ năng đó được truyền về trục động cơ, động cơ tiếp nhận năng lượng này và làm việc như một máy phát điện. Công suất điện có giá trị âm nếu nó có chiều từ động cơ về nguồn, công suất cơ có giá trị âm khi nó truyền từ máy sản xuất về động cơ và mômen động cơ sinh ra ngược chiều với tốc độ quay.

Mômen của máy sản xuất được gọi là mômen phụ tải hay mômen cản. Nó cũng được định nghĩa dấu âm và dương, ngược lại với dấu mômen của động cơ.

+ Phương trình cân bằng công suất của hệ TĐĐTĐ là:

$$P_d = P_c + \Delta P \tag{1-4}$$

Trong đó: P_d là công suất điện; P_c là công suất cơ; ΔP là tổn thất công suất.

- Trạng thái động cơ gồm: chế độ *có tải* và chế độ *không tải*. Trạng thái động cơ phân bố ở góc phần tư I, III của mặt phẳng $\omega(M)$.

- Trạng thái hãm có: *Hãm không tải*, *Hãm tái sinh*, *Hãm ngược* và *Hãm động năng*. Trạng thái hãm ở góc II, IV của mặt phẳng $\omega(M)$.

- *Hãm tái sinh:* $P_{\text{điện}} < 0$, $P_{\text{cơ}} < 0$, cơ năng biến thành điện năng trả về lưới.

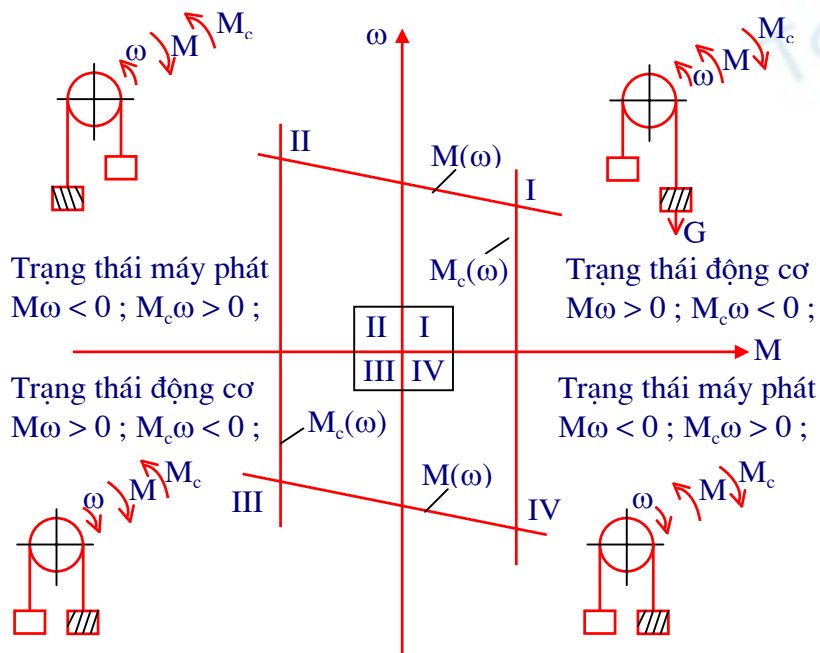
- *Hãm ngược:* $P_{\text{điện}} > 0$, $P_{\text{cơ}} < 0$, điện năng và cơ năng chuyển thành tổn thất ΔP .

- *Hãm động năng*: $P_{\text{điện}} = 0$, $P_{\text{cơ}} < 0$, cơ năng biến thành công suất tổn thất ΔP .

* *Các trạng thái làm việc trên mặt phẳng [M, ω]*:

Trạng thái động cơ: tương ứng với các điểm nằm trong góc phần tư thứ nhất và góc phần tư thứ ba của mặt phẳng [M, ω], hình 1 - 5.

Trạng thái máy phát: tương ứng với các điểm nằm trong góc phần tư thứ hai và góc phần tư thứ tư của mặt phẳng [M, ω], hình 1 - 5. ở trạng thái này, mômen động cơ chống lại chiều chuyển động, nên động cơ có tác dụng như bộ hãm, và vì vậy trạng thái máy phát còn có tên gọi là "*trạng thái hãm*".



Hình 1 - 5: Biểu diễn các trạng thái làm việc trên mặt phẳng [M, ω]

§ 1.5. TÍNH ĐỐI CÁC ĐẠI LƯỢNG CƠ HỌC

1.5.1. Mômen và lực quy đổi:

+ Quan niệm về sự tính đổi như việc dời điểm đặt từ trục này về trục khác của mômen hay lực có xét đến tổn thất ma sát ở trong bộ truyền lực. Thường quy đổi mômen cản M_c , (hay lực cản F_c) của bộ phận làm việc về trục động cơ.

+ Điều kiện quy đổi: *đảm bảo cân bằng công suất trong phần cơ của hệ TĐĐTĐ*:

- Khi năng lượng truyền từ động cơ đến máy sản xuất:

$$P_{tr} = P_c + \Delta P \tag{1-5}$$

Trong đó: P_{tr} là công suất trên trục động cơ, $P_{tr} = M_{cqd} \cdot \omega$,

(M_{cqd} và ω - mômen cản tính quy đổi và tốc độ góc trên trục động cơ).

P_c là công suất của máy sản xuất, $P_c = M_{lv} \cdot \omega_{lv}$,

(M_{lv} và ω_{lv} - mômen cản và tốc độ góc trên trục làm việc).

ΔP là tổn thất trong các khâu cơ khí.

* Nếu tính theo hiệu suất hộp tốc độ đối với chuyển động quay:

$$P_{tr} = \frac{P_c}{\eta_i} = \frac{M_{lv} \cdot \omega_{lv}}{\eta_i} = M_{cqd} \cdot \omega \tag{1-6}$$

$$\text{Rút ra: } M_{cqd} = \frac{M_{lv} \cdot \omega_{lv}}{\eta_i \cdot \omega} = \frac{M_{lv}}{\eta_i \cdot i} \tag{1-7}$$

Trong đó: η_i - hiệu suất của hộp tốc độ.

$i = \frac{\omega}{\omega_{lv}}$ - gọi là tỷ số truyền của hộp tốc độ.

* Nếu chuyển động tịnh tiến thì lực quy đổi:

$$M_{cqd} = \frac{F_{lv}}{\eta \cdot \rho} \quad (1-8)$$

Trong đó: $\eta = \eta_i \cdot \eta_t$ - hiệu suất bộ truyền lực.

η_t - hiệu suất của tang trống.

$\rho = \omega/v_{lv}$ - gọi là tỷ số quy đổi.

- Khi năng lượng truyền từ máy sản xuất đến động cơ:

$$P_{tr} = P_c - \Delta P \quad (\text{tự chứng minh}).$$

1.5.2. Quy đổi mômen quán tính và khối lượng quán tính:

+ Điều kiện quy đổi: *bảo toàn động năng tích lũy trong hệ thống:*

$$W = \sum_1^n W_i \quad (1-9)$$

Chuyển động quay:
$$W = J \cdot \frac{\omega^2}{2} \quad (1-10)$$

Chuyển động tịnh tiến:
$$W = m \cdot \frac{v^2}{2} \quad (1-11)$$

Nếu sử dụng sơ đồ tính toán phân cơ dạng đơn khối, và áp dụng các điều kiện trên ta có:

$$J_{qd} \cdot \frac{\omega_D^2}{2} = J_D \cdot \frac{\omega_D^2}{2} + \sum_1^n J_i \cdot \frac{\omega_i^2}{2} + \sum_1^q m_j \cdot \frac{v_j^2}{2} \quad (1-12)$$

$$\Rightarrow J_{qd} = J_D + \sum_1^n \frac{J_i}{i_i^2} + \sum_1^q \frac{m_j}{\rho_j^2} \quad (1-13)$$

Trong đó: J_{qd} - mômen quán tính quy đổi về trục động cơ.

ω_D - tốc độ góc trên trục động cơ.

J_D - mômen quán tính của động cơ.

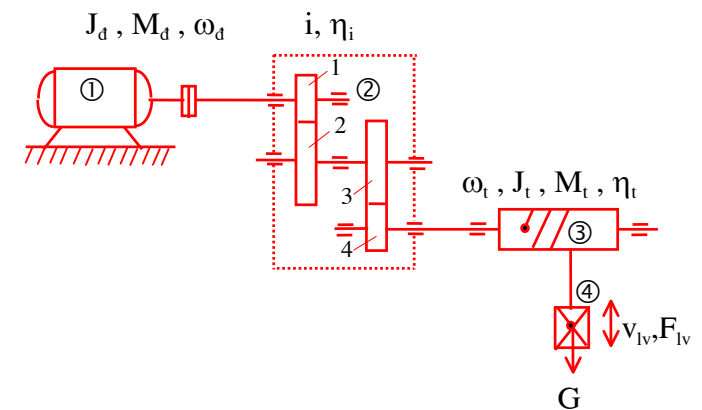
J_i - mômen quán tính của bánh răng thứ i .

m_j - khối lượng quán tính của tải trọng thứ j .

$i_i = \omega/\omega_i$ - tỉ số truyền tốc độ từ trục thứ i .

$\rho = \omega/v_j$ - tỉ số quy đổi vận tốc của tải trọng.

* Ví dụ: Sơ đồ truyền động của cơ cấu nâng hạ :



Hình 1- 6: Sơ đồ động học của cơ cấu nâng hạ

① động cơ điện; ② hộp tốc độ;

③ tang trống quay; ④ tải trọng

Ta có:
$$J_{qd} = J_D + \sum_1^4 \frac{J_i}{i_i^2} + \frac{J_t}{i_t^2} + \frac{m_j}{\rho_j^2} \quad (1-14)$$

Trong đó: $i_i = \frac{\omega}{\omega_i}$ - tỉ số truyền tốc độ từ trục tang trống.

§ 1.6. PHƯƠNG TRÌNH ĐỘNG HỌC CỦA HỆ TĐĐT

+ Là quan hệ giữa các đại lượng (ω , n , L , M , ...) với thời gian:

Dạng tổng quát:
$$\sum_{i=1}^n \vec{M}_i = \frac{d(J\vec{\omega})}{dt} \tag{1-15}$$

+ Nếu coi mômen do động cơ sinh ra và mômen cản ngược chiều nhau, và $J = \text{const}$, thì ta có phương trình dưới dạng số học:

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt} \tag{1-16}$$

Theo hệ đơn vị SI: $M(\text{N.m})$; $J(\text{kg.m}^2)$; $\omega(\text{Rad/s})$; $t(\text{s})$.

Theo hệ kỹ thuật: $M(\text{KG.m})$; $GD(\text{KG.m}^2)$; $n(\text{vg/ph})$; $t(\text{s})$:

$$M - M_c = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt} \tag{1-17}$$

Theo hệ hỗn hợp: $M(\text{N.m})$; $J(\text{kg.m}^2)$; $n(\text{vg/ph})$; $t(\text{s})$:

$$M - M_c = \frac{J}{9,55} \cdot \frac{dn}{dt} \tag{1-18}$$

Mômen động: $M_{dg} = M - M_c = J \frac{d\omega}{dt} \tag{1-19}$

Từ phương trình (1-19) ta thấy rằng:

- Khi $M_{dg} > 0$ hay $M > M_c$, thì $\frac{d\omega}{dt} > 0 \rightarrow$ hệ tăng tốc.

- Khi $M_{dg} < 0$ hay $M < M_c$, thì $\frac{d\omega}{dt} < 0 \rightarrow$ hệ giảm tốc.

- Khi $M_{dg} = 0$ hay $M = M_c$, thì $d\omega/dt = 0 \rightarrow$ hệ làm việc xác lập, hay hệ làm việc ổn định: $\omega = \text{const}$.

* Nếu chọn và lấy chiều của tốc độ ω làm chuẩn thì: $M(+)$ khi $M \uparrow \omega$ và $M(-)$ khi $M \downarrow \omega$. Còn $M_c(+)$ khi $M_c \uparrow \omega$; $M_c(-)$ khi $M_c \downarrow \omega$.

§ 1.7. ĐIỀU KIỆN ỔN ĐỊNH TĨNH CỦA HỆ TĐĐT

Như ở trên đã nêu, khi $M = M_c$ thì hệ TĐĐT làm việc xác lập. Điểm làm việc xác lập là giao điểm của đặc tính cơ của động cơ điện $\omega(M)$ với đặc tính cơ của máy sản xuất $\omega(M_c)$. Tuy nhiên không phải bất kỳ giao điểm nào của hai đặc tính cơ trên cũng là điểm làm việc xác lập ổn định mà phải có điều kiện ổn định, người ta gọi là ổn định tĩnh hay sự làm việc phù hợp giữa động cơ với tải.

Để xác định điểm làm việc, dựa vào phương trình động học:

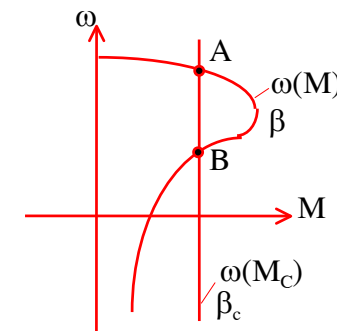
$$J \frac{d}{dt} = \left[\left(\frac{\partial M}{\partial \omega} \right)_x - \left(\frac{\partial M_c}{\partial \omega} \right)_x \right] \cdot (\omega - \omega_x) \tag{1-20}$$

Người ta xác định được điều kiện xác lập ổn định là:

$$\left(\frac{\partial M}{\partial \omega} \right)_x - \left(\frac{\partial M_c}{\partial \omega} \right)_x < 0 \tag{1-21}$$

Hay: $\beta - \beta_c < 0 \tag{1-22}$

* Ví dụ: Xét hai điểm giao nhau của các đặc tính cơ:



Hình 1- 7: Xét điểm làm việc ổn định

Tại các điểm khảo sát thì ta thấy ba điểm A, B, C là các điểm làm việc xác lập ổn định. Điểm D là điểm làm việc không ổn định.

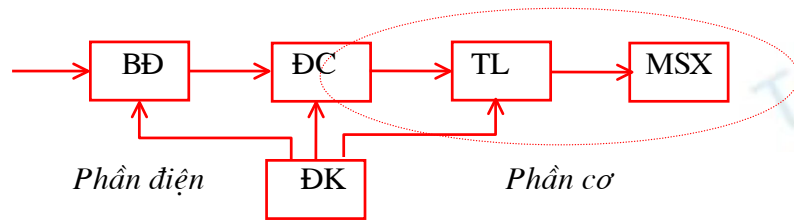
Trường hợp: A: $\beta < \beta_c$ vì $\beta < 0$ và $\beta_c = 0 \rightarrow$ xác lập ổn định.

B: $\beta > \beta_c$ vì $\beta > 0$ và $\beta_{c1} = 0 \rightarrow$ không ổn định.

§ 1.8. ĐỘNG HỌC CỦA HỆ TĐĐ TĐ

Trong hệ TĐĐ TĐ có cả các thiết bị điện + cơ, trong đó các bộ phận cơ có nhiệm vụ chuyển cơ năng từ động cơ đến bộ phận làm việc của máy sản xuất và tại đó cơ năng được biến thành công hữu ích.

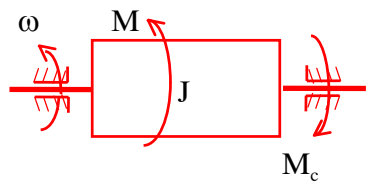
Động cơ điện có cả phần điện (stato) và phần cơ (roto và trục).



Hình 1- 8: Sơ đồ cấu trúc hệ TĐĐ TĐ

Phần cơ phụ thuộc vào kết cấu, vật liệu và loại máy, chúng rất đa dạng và phức tạp, bởi vậy phải đưa về dạng điển hình đặc trưng cho các loại, phần cơ có dạng tổng quát đặc trưng đó gọi là mẫu cơ học của truyền động điện.

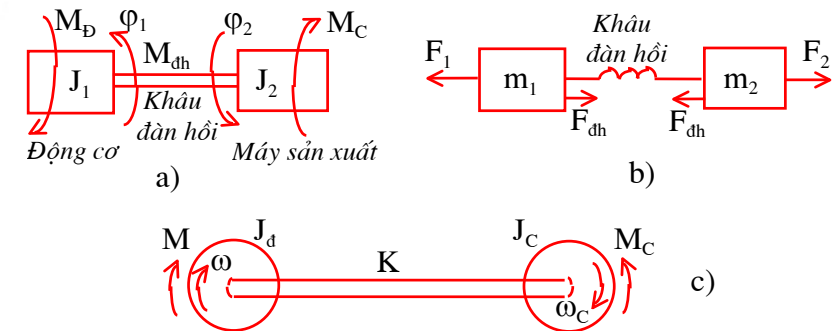
Mẫu cơ học (đơn khối) là một vật thể rắn quay xung quanh một trục với tốc độ động cơ, nó có mômen quán tính J, chịu tác động của mômen động cơ (M) và mômen cản (M_c), hình 9.



Hình 1- 9: Mẫu cơ học

Tính đàn hồi lớn cũng có thể xuất hiện ở những hệ thống có mạch động học dài mặc dù trong đó không chứa một phần tử đàn hồi nào. Sự biến dạng trên từng phần tử tuy nhỏ nhưng vì số phần tử rất lớn nên đối với toàn máy nó trở nên đáng kể.

Trong những trường hợp trên phần cơ khí của hệ không thể thay thế tương đương bằng mẫu cơ học đơn khối mà phải thay thế bằng mẫu cơ học đa khối, hình 9b.



Hình 1- 10: Mẫu cơ học đa khối của hệ chuyển động quay (a), chuyển động tịnh tiến (b) có khâu cơ khí đàn hồi, và hệ trục mềm đàn hồi (c).

Nếu quy đổi mômen và mômen quán tính về một trục tốc độ nào đó (động cơ hoặc máy sản xuất) thì trong phần lớn các trường hợp hệ truyền động có khâu đàn hồi phân cơ của nó có thể thay tương đương bởi mẫu cơ học đa khối gồm 3 khâu: khâu 1 gồm rôto hoặc phần ứng của động cơ với những phần tử nối cứng với động cơ như hộp tốc độ, trống tời v.v...; khâu 2 là khâu đàn hồi không quán tính; khâu 3 là khâu cơ của máy sản xuất; như hình 1- 9b. Trong đó M_{dh} là mômen đàn hồi.

CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Chức năng và nhiệm vụ của hệ thống truyền động điện là gì ?
2. Có mấy loại máy sản xuất và cơ cấu công tác ?
3. Hệ thống truyền động điện gồm các phần tử và các khâu nào ? Lấy ví dụ minh họa ở một máy sản xuất mà các anh (chị) đã biết ?
4. Mômen cản hình thành từ đâu ? Đơn vị đo lường của nó ? Công thức quy đổi mômen cản từ trục của cơ cấu công tác về trục động cơ ?
5. Mômen quán tính là gì ? Đơn vị đo lường của nó ? Công thức tính quy đổi mômen quán tính từ tốc độ ω_1 nào đó về tốc độ của trục động cơ ω ?
6. Thế nào là mômen cản thế năng? Đặc điểm của nó thể hiện trên đồ thị theo tốc độ ? Lấy ví dụ một cơ cấu có mômen cản thế năng.
7. Thế nào là mômen cản phản kháng? Lấy ví dụ một cơ cấu có mômen cản phản kháng.
8. Định nghĩa đặc tính cơ của máy sản xuất. Phương trình tổng quát của nó và giải thích các đại lượng trong phương trình ?
9. Hãy vẽ đặc tính cơ của các máy sản xuất sau: máy tiện; cần trục, máy bào, máy bơm.
10. Viết phương trình chuyển động cho hệ truyền động điện có phân cơ dạng mẫu cơ học đơn khối và giải thích các đại lượng trong phương trình ?
11. Dùng phương trình chuyển động để phân tích các trạng thái làm việc của hệ thống truyền động tương ứng với dấu của các đại lượng M và M_c ?
12. Định nghĩa đặc tính cơ của động cơ điện ?
13. Định nghĩa độ cứng đặc tính cơ ? Có thể xác định độ cứng đặc tính cơ theo những cách nào ?

14. Phân biệt các trạng thái động cơ và các trạng thái hãm của động cơ điện bằng những dấu hiệu nào ? Lấy ví dụ thực tế về trạng thái hãm của động cơ trên một cơ cấu mà anh (chị) đã biết ?
15. Chiều của dòng năng lượng sẽ như thế nào khi động cơ làm việc ở trạng thái động cơ ?
16. Chiều của dòng năng lượng sẽ như thế nào khi động cơ làm việc ở trạng thái máy phát ?
17. Điều kiện ổn định tĩnh là gì ? Phân tích một điểm làm việc xác lập ổn định tĩnh trên tọa độ $[M, \omega]$ và $[M_c, \omega]$.
18. Mẫu cơ học đơn khối là gì ? Khi nào thì dùng mẫu cơ học đơn khối để khảo sát hệ thống truyền động điện ?
19. Mẫu cơ học đa khối là gì ? Khi nào thì dùng mẫu cơ học đa khối để khảo sát hệ thống truyền động điện ?

CHƯƠNG 2:**ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN****§ 2.1. KHÁI NIỆM CHUNG**

Chương 1 đã cho ta thấy, khi đặt hai đường đặc tính cơ $M(\omega)$ và $M_c(\omega)$ lên cùng một hệ trục tọa độ, ta có thể xác định được trạng thái làm việc của động cơ và của hệ (xem hình 1-2 và hình 1-3): trạng thái xác lập khi $M = M_c$ ứng với giao điểm của hai đường đặc tính $M(\omega)$ và $M_c(\omega)$; hoặc trạng thái quá độ khi $M \neq M_c$ tại những vùng có $\omega \neq \omega_{xl}$; trạng thái động cơ thuộc góc phần tư thứ nhất và thứ ba; hoặc trạng thái hãm thuộc góc phần tư thứ hai và thứ tư.

Khi phân tích các hệ truyền động, ta thường coi máy sản xuất đã cho trước, nghĩa là coi như biết trước đặc tính cơ $M_c(\omega)$ của nó. Vậy muốn tìm kiếm một trạng thái làm việc với những thông số yêu cầu như tốc độ, mômen, dòng điện động cơ v... ta phải tạo ra những đặc tính cơ của động cơ tương ứng. Muốn vậy, ta phải nắm vững các phương trình đặc tính cơ và các đặc tính cơ của các loại động cơ điện, từ đó hiểu được các phương pháp tạo ra các đặc tính cơ nhân tạo phù hợp với máy sản xuất đã cho và điều khiển động cơ sao cho có được các trạng thái làm việc theo yêu cầu công nghệ.

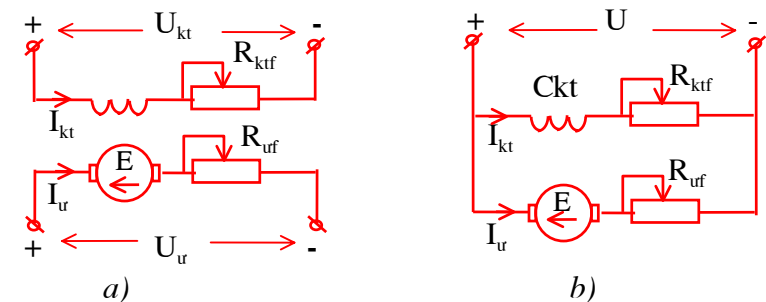
Mỗi động cơ có một đặc tính cơ tự nhiên xác định bởi các số liệu định mức của nó. Trong nhiều trường hợp ta coi đặc tính này như loạt số liệu cho trước. Mặt khác nó có thể có vô số đặc tính cơ nhân tạo có được do biến đổi một hoặc vài thông số của nguồn, của mạch điện động cơ, hoặc do thay đổi cách nối dây của mạch, hoặc do dùng thêm thiết bị biến đổi. Do đó 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 $\omega = f(M)$.

§ 2.2. ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU KÍCH TỪ ĐỘC LẬP (ĐM_{đl})**2.2.1. Sơ đồ nối dây của ĐM_{đl} và ĐM_{ss}:**

Động cơ điện một chiều kích từ độc lập (ĐM_{đl}): nguồn một chiều cấp cho phần ứng và cấp cho kích từ độc lập nhau.

Khi nguồn một chiều 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 (ĐM_{ss}).



Hình 2-1: a) Sơ đồ nối dây động cơ điện một chiều kích từ độc lập.

b) Sơ đồ nối dây động cơ điện một chiều kích từ song song.

2.2.2. Các thông số cơ bản của ĐM_{đl}:

Các thông số định mức:

n_{dm} (vòng/phút); ω_{dm} (Rad/sec); M_{dm} (N.m hay KG.m); Φ_{dm} (Wb);

f_{dm} (Hz); P_{dm} (KW); U_{dm} (V); I_{dm} (A); ...

Các thông số tính theo các hệ đơn vị khác:

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

$R_{cb} = U_{dm}/I_{dm}$;

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

2.2.3. Phương trình đặc tính cơ - điện và đặc tính cơ của ĐM_{dt}:

Theo sơ đồ hình 2-1a và hình 2-1b, có thể viết phương trình cân bằng điện áp của mạch phân ứng như sau:

$$U_{\text{r}} = E + (R_{\text{r}} + R_{\text{r}'}) \cdot I_{\text{r}} \quad (2-1)$$

Trong đó:

U_{r} là điện áp phân ứng động cơ, (V)

E là sức điện động phân ứng động cơ (V).

$$E = \frac{p \cdot N}{2\pi a} \cdot \phi \cdot \omega = K\phi \cdot \omega \quad (2-2)$$

$$K = \frac{p \cdot N}{2\pi a} \text{ là hệ số kết cấu của động cơ.}$$

$$\text{Hoặc: } E = K_e \phi \cdot n \quad (2-3)$$

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

$$\text{Vậy: } K_e = \frac{K}{9,55} = 0,105 \cdot K$$

R_{r} là điện trở mạch phân ứng, $R_{\text{r}} = r_{\text{r}} + r_{\text{r}'\text{cf}} + r_{\text{r}'\text{cb}} + r_{\text{r}'\text{tx}}$, (Ω).

Trong đó: r_{r} là điện trở cuộn dây phân ứng của động cơ (Ω).

$r_{\text{r}'\text{cf}}$ là điện trở cuộn dây cực từ phụ của động cơ (Ω).

$r_{\text{r}'\text{cb}}$ là điện trở cuộn dây cực từ bù của động cơ (Ω).

$r_{\text{r}'\text{tx}}$ là điện trở tiếp xúc giữa chổi than với cổ góp của động cơ (Ω).

$R_{\text{r}'}$ là điện trở phụ mạch phân ứng.

I_{r} là dòng điện phân ứng.

Từ (2-1) và (2-2) ta có:

$$\omega = \frac{U_{\text{r}}}{K\phi} - \frac{R_{\text{r}} + R_{\text{r}'}}{K\phi} I_{\text{r}} \quad (2-4)$$

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

Mặt khác, mômen điện từ của động cơ được xác định:

$$M_{\text{dt}} = K\phi I_{\text{r}} \quad (2-5)$$

Khi bỏ qua tổn thất ma sát trong ổ trục, tổn thất cơ, tổn thất thép thì có thể coi: $M_{\text{cơ}} \approx M_{\text{dt}} \approx M$

$$\text{Suy ra: } I_{\text{r}} = \frac{M_{\text{dt}}}{K\phi} \approx \frac{M}{K\phi} \quad (2-6)$$

Thay giá trị I_{r} vào (2-4), ta có:

$$\omega = \frac{U_{\text{r}}}{K\phi} - \frac{R_{\text{r}} + R_{\text{r}'}}{(K\phi)^2} M = \frac{U_{\text{r}}}{K\phi} - \frac{R_{\text{r}'\Sigma}}{(K\phi)^2} M \quad (2-7)$$

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

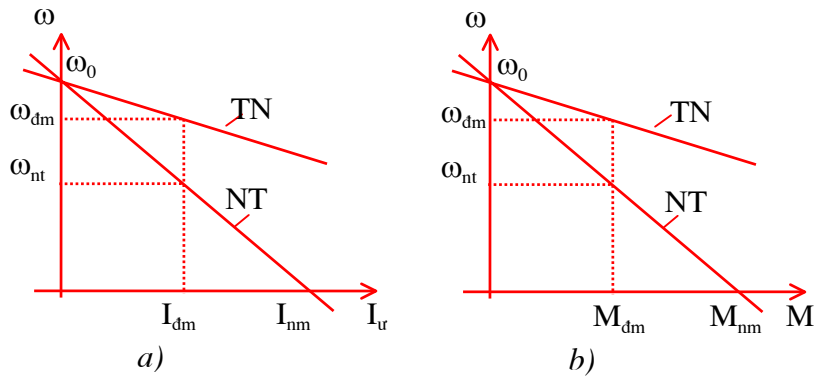
Có thể biểu diễn đặc tính cơ dưới dạng khác:

$$\omega = \omega_0 - \Delta\omega \quad (2-8)$$

$$\text{Trong đó: } \omega_0 = \frac{U_{\text{r}}}{K\phi} \text{ gọi là } \textit{tốc độ không tải lý tưởng}. \quad (2-9)$$

$$\Delta\omega = \frac{R_{\text{r}} + R_{\text{r}'}}{(K\phi)^2} = \frac{R_{\text{r}'\Sigma}}{(K\phi)^2} \text{ gọi là } \textit{độ sụt tốc độ}. \quad (2-10)$$

Từ các phương trình đặc tính cơ điện (2-4) và phương trình đặc tính cơ (2-8) trên, với giả thiết phân ứng được bù đủ và $\phi = \text{const}$ thì ta có thể vẽ được các *đặc tính cơ - điện* (hình 2-2a) và *đặc tính cơ* (hình 2-2b) là những đường thẳng.



Hình 2-2: a) Đặc tính cơ - điện động cơ một chiều kích từ độc lập.
b) Đặc tính cơ động cơ điện một chiều kích từ độc lập.

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

$$\omega = \frac{U_{udm}}{K\phi_{dm}} - \frac{R_{udm}}{(K\phi_{dm})^2} M \quad (2-11)$$

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

Khi $\omega = 0$, ta có:

$$I_u = \frac{U_u}{R_u + R_{uf}} = I_{nm} \quad (2-12)$$

Và:
$$M = \frac{U_u}{R_u + R_{uf}} \cdot K\phi = I_{nm} \cdot K\phi = M_{nm} \quad (2-13)$$

Trong đó: I_{nm} - gọi là dòng điện (phần ứng) ngắn mạch

M_{nm} - gọi là mômen ngắn mạch

Từ (2-7) ta xác định được độ cứng đặc tính cơ :

$$\beta = \frac{dM}{d\omega} = - \frac{(K\phi)^2}{R_u + R_{uf}} \quad (2-14)$$

Đối với đặc tính cơ tự nhiên:

$$\beta_{tn} = - \frac{(K\phi_{dm})^2}{R_u} \quad (2-15)$$

Và:
$$\beta_{tn}^* = - \frac{1}{R_u^*} \quad (2-16)$$

Nếu chưa có giá trị R_u thì ta có thể xác định gần đúng dựa vào 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:

$$R_u = 0,5 \cdot (1 - \eta_{dm}) \frac{U_{dm}}{I_{dm}}, \Omega \quad (2-17)$$

*** Ví dụ 2-1:**

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 Ω ; điện trở phụ đưa vào mạch phần ứng: 1,26 Ω .

*** Giải:**

a) *Xây dựng đặc tính cơ tự nhiên:*

Đặc tính cơ tự nhiên có thể vẽ qua 2 điểm: là điểm định mức [$M_{dm}; \omega_{dm}$] và điểm không tải lý tưởng [$M = 0; \omega = \omega_0$]. Hoặc điểm không tải lý tưởng [$M = 0; \omega = \omega_0$] và điểm ngắn mạch [$M_{nm}; \omega = 0$]. Hoặc điểm định mức [$M_{dm}; \omega_{dm}$] và điểm ngắn mạch [$M_{nm}; \omega = 0$].

Tốc độ góc định mức:

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

Mômen (cơ) định mức:

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

Như vậy ta 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:

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

Tốc độ không tải lý tưởng:

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

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 như đường ① trên hình 2 - 3.

Ta có thể tính thêm điểm thứ ba là điểm ngắn mạch [M_{nm} ; 0]

$$M_{nm} = K\phi \cdot I_{nm} = K\phi \cdot \frac{U_{dm}}{R_u} = 0,91 \cdot \frac{220}{0,26} = 770 \text{ Nm}$$

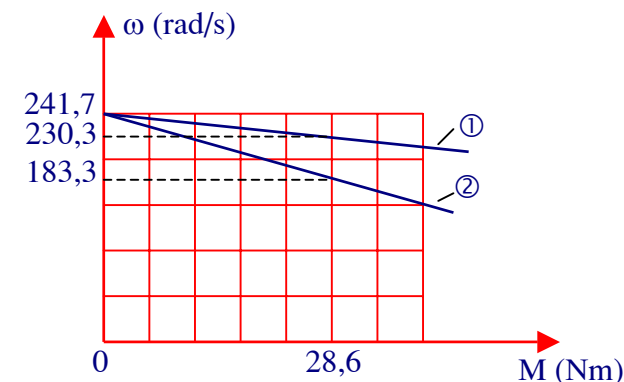
Vậy ta có tọa độ điểm thứ ba của đặc tính cơ tự nhiên [770; 0].

Độ cứng của đặc tính cơ tự nhiên có thể xác định theo biểu thức (2-15) hoặc xác định theo số liệu lấy trên đường đặc tính hình 2-3.

$$|\beta_{in}| = \frac{dM}{d\omega} = \frac{\Delta M}{\Delta \omega} = \frac{0 - M_{dm}}{\omega_0 - \omega_{dm}} = \frac{28,6}{241,7 - 230,3} = 2,5 \text{ Nm.s}$$

b) Xây dựng đặc tính cơ nhân tạo có $R_{uf} = 0,78\Omega$:

Khi thay đổi điện trở phụ trên mạch phân ứng thì tốc độ không tải lý tưởng không thay đổi, nên ta có thể vẽ đặc tính cơ nhân tạo (có $R_{uf} = 0,78\Omega$) qua các điểm không tải lý tưởng [0; ω_0] và điểm tương ứng với tốc độ nhân tạo [M_{dm} ; ω_{nt}]:



Hình 2 - 3: Đặc tính cơ tự nhiên và đặc tính cơ nhân tạo

Ta tính được giá trị mômen (cơ) định mức:

$$M_{dm} = \frac{P_{dm} \cdot 1000}{\omega_{dm}} = \frac{6,6 \cdot 1000}{230,3} = 28,66 \text{ Nm}$$

Và tính tốc độ góc nhân tạo:

$$\begin{aligned} \omega_{nt} &= \frac{U_{dm} - (R_u + R_{uf}) \cdot I_{dm}}{K\phi_{dm}} \\ &= \frac{220 - (0,26 + 1,26) \cdot 35}{0,91} = 183,3 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

Ta có tọa độ điểm tương ứng với tốc độ nhân tạo [28,66; 183,3]

Vậy ta có thể dựng được đường đặc tính cơ nhân tạo có điện trở phụ trong mạch phân ứng như đường ② trên hình 2 - 3.

2.2.4. Đặc tính cơ khi khởi động ĐM_{đl} và

tính điện trở khởi động:

2.2.4.1. Khởi động và xây dựng đặc tính cơ khi khởi động:

+ Nếu khởi động động cơ ĐM_{đl} bằng phương pháp đóng trực tiếp thì dòng khởi động ban đầu rất lớn: $I_{kdbd} = U_{dm}/R_u \approx (10 \div 20)I_{dm}$, như vậy nó có thể đốt nóng động cơ, hoặc làm cho sự chuyển mạch khó khăn, hoặc sinh ra lực điện động lớn làm phá huỷ quá trình cơ học của máy.

+ Để đảm bảo an toàn cho máy, thường chọn:

$$I_{kdbd} = I_{nm} \leq I_{cp} = 2,5I_{dm} \quad (2-18)$$

+ Muốn thế, người ta thường đưa thêm điện trở phụ vào mạch phân ứng ngay khi bắt đầu khởi động, và sau đó thì loại dần chúng ra để đưa tốc độ động cơ lên xác lập.

$$I'_{kdbd} = I'_{nm} = \frac{U_{dm}}{R_u + R_{uf}} = (2 \div 2,5)I_{dm} \leq I_{cp}; \quad (2-19)$$

* *Xây dựng các đặc tính cơ - điện khi khởi động ĐM_{đl}:*

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

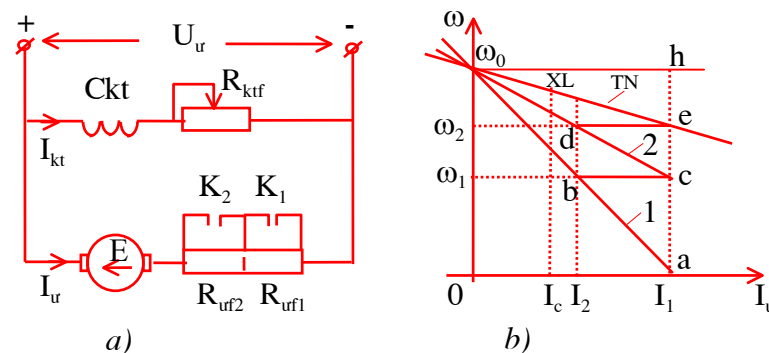
- Xác định dòng điện khởi động lớn nhất: $I_{max} = I_1 = (2 \div 2,5)I_{dm}$

- Xác định dòng điện khởi động nhỏ nhất: $I_{min} = I_2 = (1,1 \div 1,3)I_c$

- Từ điểm $a(I_1)$ kẻ đường $a\omega_0$ nó sẽ cắt $I_2 = const$ tại b ; từ b kẻ đường song song với trục hoành nó cắt $I_1 = const$ tại c ; nối $c\omega_0$ nó sẽ cắt $I_2 = const$ tại d ; từ d kẻ đường song song với trục hoành thì nó cắt $I_1 = const$ 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 $I_1 = const$, ta sẽ có đặc tính khởi động $abcde...XL$.

Nếu điểm cuối cùng gặp đặc tính TN mà không trùng với giao điểm của đặc tính cơ TN và $I_1 = const$ thì ta phải chọn lại I_1 hoặc I_2 rồi tiến hành lại từ đầu.



Hình 2-3: a) Sơ đồ nối dây ĐM_{đl} khởi động 2 cấp, $m = 2$
b) Các đặc tính khởi động ĐM_{đl}, $m = 2$.

2.2.4.2. Tính điện trở khởi động:

a) 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:

$$\Delta\omega_{TN} = \frac{R_u}{K\phi} I_1; \quad \Delta\omega_{NT} = \frac{R_u + R_{uf}}{K\phi} I_1; \quad (2-20)$$

$$\text{Rút ra: } R_{ufi} = \frac{\Delta\omega_{NT} - \Delta\omega_{TNi}}{\Delta\omega_{TN}} R_u; \quad (2-21)$$

Qua đồ thị ta có:

$$R_{uf1} = \frac{ha - he}{he} R_u = \frac{ae}{he} R_u;$$

Tương tự như vậy:

$$R_{uf2} = \frac{hc - he}{he} R_u = \frac{ce}{he} R_u;$$

Điện trở tổng ứng với mỗi đặc tính cơ:

$$R_1 = R_u + R_{uf(1)} = R_u + (R_{uf1} + R_{uf2})$$

$$R_2 = R_u + R_{uf(2)} = R_u + (R_{uf2})$$

b) 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* (hình 2-3b), 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:

$$R_1 = R_u + R_{uf(1)} = R_u + (R_{uf1} + R_{uf2} + \dots + R_{ufm})$$

$$R_2 = R_u + R_{uf(2)} = R_u + (R_{uf1} + R_{uf2} + \dots + R_{ufm-1})$$

...

$$R_{m-1} = R_u + (R_{ufm-1} + R_{ufm})$$

$$R_m = R_u + (R_{ufm})$$

Tại điểm b trên hình 2-3b ta có:

$$I_2 = \frac{U_{dm} - E_1}{R_1} \tag{2-22}$$

Tại điểm c trên hình 2-3b ta có:

$$I_1 = \frac{U_{dm} - E_1}{R_2} \tag{2-23}$$

Trong quá trình khởi động, ta lấy:

$$\frac{I_1}{I_2} = \lambda = \text{const} \tag{2-24}$$

$$\text{Vậy: } \lambda = \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_2}{R_3} = \dots = \frac{R_{m-1}}{R_m} = \frac{R_m}{R_u} \tag{2-25}$$

Rút ra:

$$\left. \begin{aligned} R_m &= \lambda R_u \\ R_{m-1} &= \lambda R_m = \lambda^2 R_u \\ \dots \\ R_2 &= \lambda R_3 = \lambda^{m-1} R_u \\ R_1 &= \lambda R_2 = \lambda^m R_u \end{aligned} \right\} \tag{2-26}$$

+ Nếu cho trước số cấp điện trở khởi động m và R_1, R_u thì ta tính được bội số dòng điện khi khởi động:

$$\lambda = \sqrt[m]{\frac{R_1}{R_u}} = \sqrt[m]{\frac{U_{dm}}{R_u \cdot I_1}} = \sqrt[m+1]{\frac{U_{dm}}{R_u \cdot I_2}} \tag{2-27}$$

Trong đó: $R_1 = U_{dm}/I_1$; rồi thay tiếp $I_1 = \lambda I_2$.

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

$$m = \frac{\lg(R_1 / R_u)}{\lg \lambda} \tag{2-28}$$

* Trị số các cấp khởi động được tính như sau:

$$\left. \begin{aligned} R_{ufm} &= R_m - R_u = (\lambda - 1) \cdot R_u \\ R_{ufm-1} &= R_{m-1} - R_m = \lambda(\lambda - 1) \cdot R_u \\ \dots \\ R_{uf2} &= R_2 - R_3 = \lambda^{m-2} (\lambda - 1) \cdot R_u \\ R_{uf1} &= R_1 - R_2 = \lambda^{m-1} (\lambda - 1) \cdot R_u \end{aligned} \right\} \tag{2-29}$$

*** Ví dụ 2-2:**

Cho động cơ kích từ song song có các số liệu sau: $P_{dm} = 25KW$; $U_{dm} = 220V$; $n_{dm} = 420\text{v/ph}$; $I_{dm} = 120A$; $R_u^* = 0,08$. 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) $M_c \approx 410Nm$. Hãy xác định các cấp điện trở phụ.

*** Giải:**

Trước hết ta xác định các số liệu cần thiết của động cơ:

Điện trở định mức: $R_{dm} = U_{dm}/I_{dm} = 220V/120A = 1,83\Omega$.

Điện trở phản ứng: $R_r = R_u^* \cdot R_{dm} = 0,08 \cdot 1,83 = 0,146\Omega$.

Tốc độ góc định mức: $\omega_{dm} = n_{dm}/9,55 = 420/9,55 = 44 \text{ rad/s}$.

Từ thông của động cơ và hệ số kết cấu của nó:

$$K\phi_{dm} = \frac{U_{dm} - R_u \cdot I_{dm}}{\omega_{dm}} = \frac{220 - 0,146 \cdot 120}{44} = 4,6 \text{ Wb}$$

Dòng điện phụ tải: $I_c = M_c/K\phi_{dm} = 410/4,6 = 89A \approx 0,74I_{dm}$.

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 với số cấp khởi động cho trước $m = 2$, dùng biểu thức (2-27), chọn trước giá trị I_2 :

$$I_2 = 1,1 \cdot I_c = 1,1 \cdot 89A = 98 \text{ A}$$

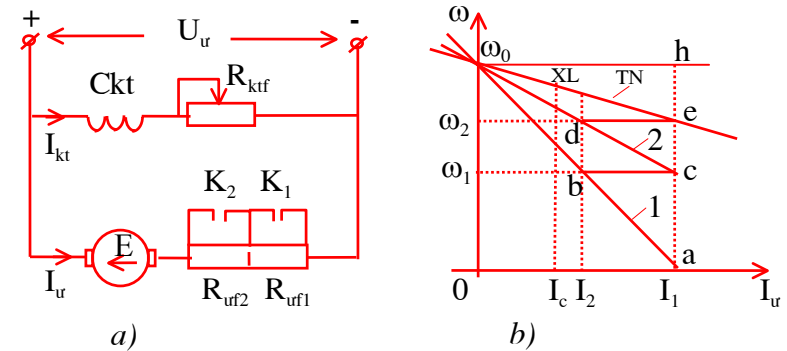
Ta tính được bội số dòng điện khởi động:

$$\lambda = \sqrt[m+1]{\frac{U_{dm}}{R_u \cdot I_2}} = \sqrt[2+1]{\frac{220}{0,146 \cdot 98}} \approx 2,5$$

Kiểm nghiệm lại giá trị dòng điện I_1 :

$$I_1 = \lambda \cdot I_2 = 2,5 \cdot 98A = 245A \approx 2I_{dm}$$

Giá trị dòng khởi động thấp hơn giá trị cho phép, nghĩa là số liệu đã tính là hợp lý.



Hình 2-4: a) Sơ đồ nối dây ĐM_{dl} khởi động 2 cấp, $m = 2$

b) Các đặc tính khởi động ĐM_{dl}, $m = 2$:

Đường 1 có: $R_1 = R_u + R_{uf1} + R_{uf2}$

Đường 2 có: $R_2 = R_u + R_{uf2}$

Đường TN có: $R_3 = R_u$

Theo (2-26) ta xác định được các cấp điện trở tổng với hai đường đặc tính nhân tạo:

$$R_1 = \lambda R_u = 2,5 \cdot 0,146 = 0,365 \Omega$$

$$R_2 = \lambda R_1 = 2,5 \cdot 0,365 = 0,912 \Omega$$

Và các điện trở phụ của các cấp sẽ là:

$$R_{uf1} = R_1 - R_u = 0,365 - 0,146 = 0,219 \Omega$$

$$R_{uf2} = R_2 - R_{uf1} - R_u = 0,912 - 0,219 - 0,146 = 0,547 \Omega$$

2.2.5. Các đặc tính cơ khi hãm ĐM_{qt}:

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:

2.2.5.1. Hãm tái sinh:

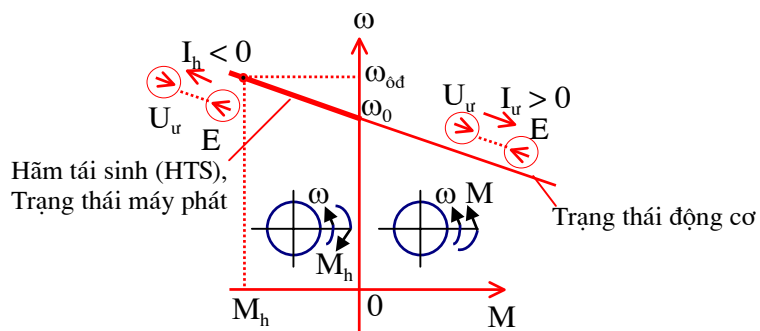
Hãm tái sinh khi tốc độ quay của động cơ lớn hơn tốc độ không tải lý tưởng ($\omega > \omega_0$). Khi hãm tái sinh, sức điện động của động cơ lớn hơn điện áp nguồn: $E > U_{ur}$, động cơ làm việc như một máy phát song song với lưới và trả năng lượng về nguồn, lúc này thì dòng hãm và mômen hãm đã đổi chiều so với chế độ động cơ.

Khi hãm tái sinh:

$$\left. \begin{aligned} I_h &= \frac{U_{ur} - E_{ur}}{R} = \frac{K\phi\omega_0 - K\phi\omega}{R} < 0 \\ M_h &= K\phi I_h < 0 \end{aligned} \right\} \quad (2-30)$$

* Một số trạng thái hãm tái sinh:

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



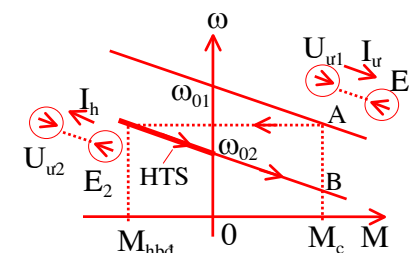
Hình 2- 5a: Hãm tái sinh khi có động lực quay động cơ.

Vì $E > U_{ur}$, do đó dòng điện phân ứng sẽ thay đổi chiều so với trạng thái động cơ :

$$I_{ur} = I_h = \frac{U_{ur} - E}{R_{u\sigma}} < 0 \quad ; \quad M_h = K\phi I_h < 0 \quad ;$$

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

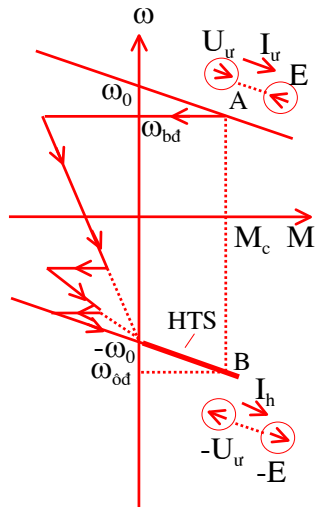
+ *Hãm tái sinh khi giảm điện áp phân ứng ($U_{ur2} < U_{ur1}$)*, lúc này M_c là dạng mômen thế năng ($M_c = M_{tn}$). Khi giảm điện áp nguồn đột ngột, nghĩa là tốc độ ω_0 giảm đột ngột trong khi tốc độ ω chưa kịp giảm, do đó làm cho tốc độ trên trục động cơ lớn hơn tốc độ không tải lý tưởng ($\omega > \omega_{02}$). 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), hình 2-5b.



Hình 2- 5b: Hãm tái sinh khi giảm tốc độ bằng cách giảm điện áp phân ứng động cơ ($U_{ur2} < U_{ur1}$).

+ *Hãm tái sinh khi đảo chiều điện áp phân ứng ($+U_{ur} \Rightarrow -U_{ur}$)*: lúc này M_c là dạng mômen thế năng ($M_c = M_{tn}$). Khi đảo chiều điện áp phân ứng, nghĩa là đảo chiều tốc độ $+\omega_0 \Rightarrow -\omega_0$, động cơ sẽ dần chuyển sang đường đặc tính có $-U_{ur}$, 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, hình 2-5c.

Trong thực tế, cơ cấu nâng hạ của cầu trục, thang máy, thì khi nâng tải, động cơ truyền động thường làm việc ở chế độ động cơ (điểm A hình 2-5c), và khi hạ tải thì động cơ làm việc ở chế độ máy phát (điểm B hình 2-5c).



Hình 2- 5c: Hãm tái sinh khi đảo chiều điện áp phân ứng động cơ (+U_ư ⇒ -U_ư).

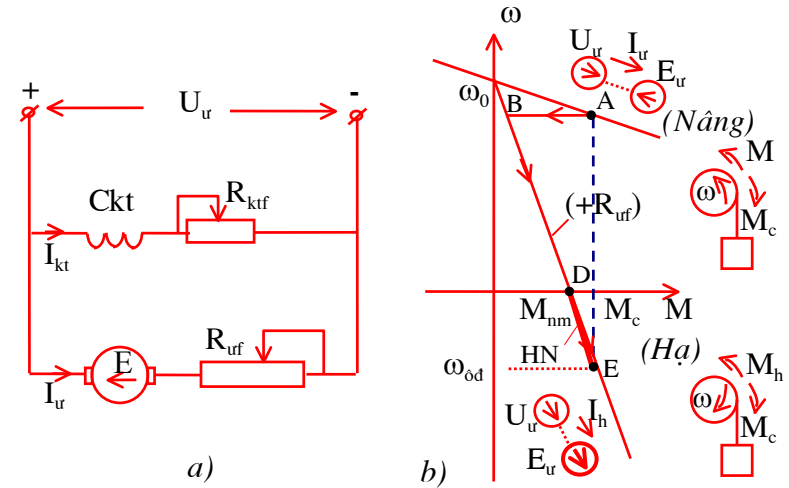
2.2.5.2. Hãm ngược:

Hãm ngược là khi mômen hãm của động cơ ngược chiều với tốc độ quay (M↑↓ω). Hãm ngược có hai trường hợp:

a) Đưa điện trở phụ lớn vào mạch phân ứng:

Động cơ đang làm việc ở điểm A, ta đưa thêm R_{ưf} lớn vào mạch phân ứng thì động cơ sẽ chuyển sang điểm B, D và làm việc ổn định ở điểm E (ω_{od} = ω_E và ω_{od}↑↓ω_A) trên đặc tính cơ có thêm R_{ưf} lớn, và 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 nên:

$$\left. \begin{aligned} I_h &= \frac{U_{\text{ư}} + E_{\text{ư}}}{R_{\text{ư}} + R_{\text{ưf}}} = \frac{U_{\text{ư}} + K\phi\omega}{R_{\text{ư}} + R_{\text{ưf}}} \\ M_h &= K\phi I_h \end{aligned} \right\} \quad (2-31)$$



Hình 2-6a: a) Sơ đồ hãm ngược bằng cách thêm R_{ưf}.
b) Đặc tính cơ khi hãm ngược bằng thêm R_{ưf}.

Tại thời điểm chuyển đổi mạch điện thì mômen động cơ nhỏ hơn mômen cản (M_B < M_c) nên tốc độ động cơ giảm dần. Khi ω = 0, động cơ ở chế độ ngắn mạch (điểm D trên đặc tính có R_{ưf}) 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, (ω < 0, đoạn DE trên hình 2-6a). Tại điểm E, động cơ quay theo chiều hạ tải trọng, trường hợp này sự chuyển động cử hệ được thực hiện nhờ thế năng của tải.

b) Hãm ngược bằng cách đảo chiều điện áp phân ứng:

Động cơ đang làm việc ở điểm A, ta đổi chiều điện áp phân ứng (vì dòng đảo chiều lớn nên phải thêm điện trở phụ vào để hạn chế) thì: