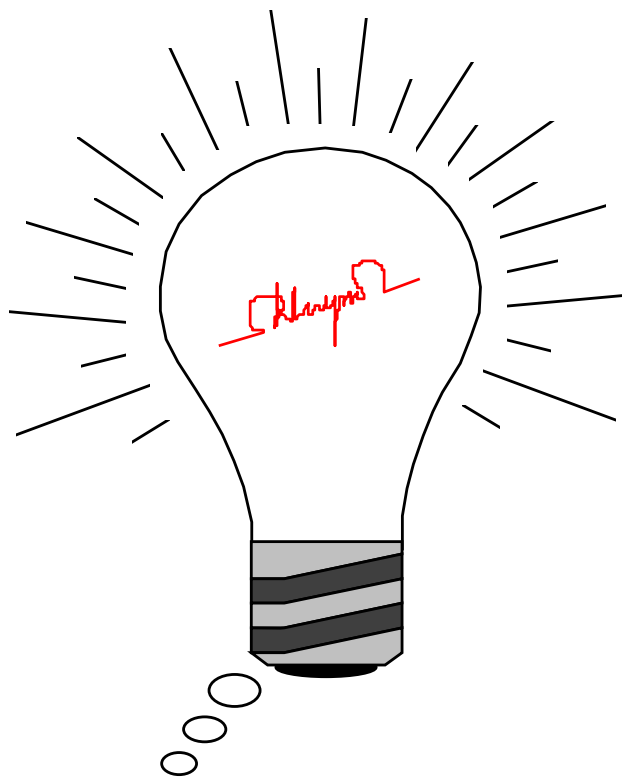




ThS. KHUÔNG CÔNG MINH

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 (ĐKTD) 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 ĐKTD 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

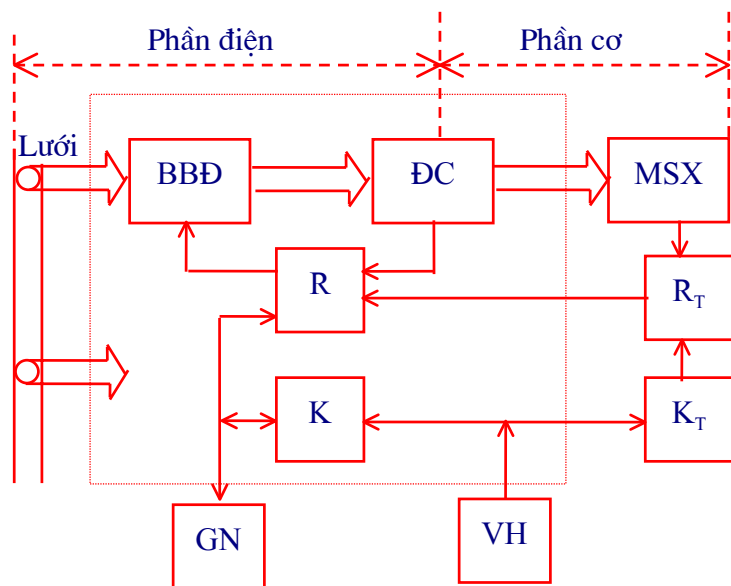
TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN TỰ ĐỘNG (TĐĐ TĐ)

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 tử (khuếch đại từ, cuộn kháng bảo hoà), bộ biến đổi điện tử, bán dẫn (Chỉnh 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).

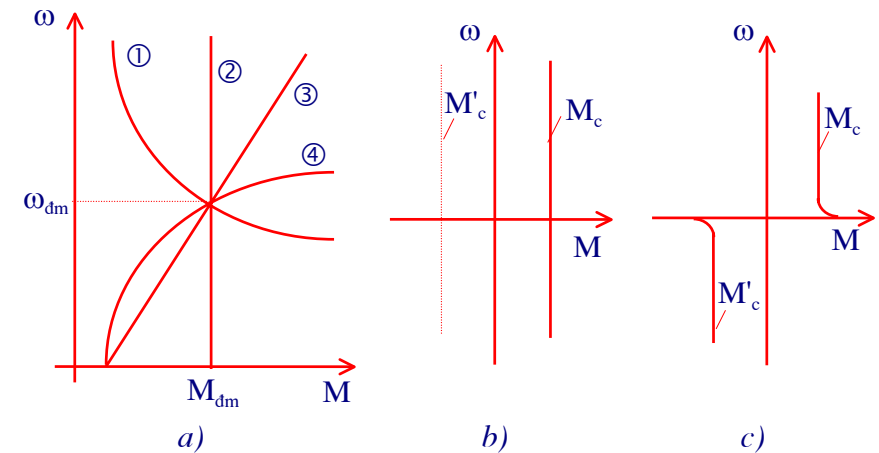
Đặc điểm của loại máy này là tốc độ làm việc càng thấp thì mômen cản (lực cản) càng lớn.

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 thuần 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.

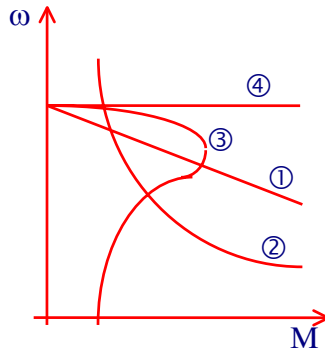
Trên hình 1-2b biểu diễn đặc tính cơ của máy sản xuất có mômen cản dạng thế năng.

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 $\omega^* = \omega/\omega_{cb}$.

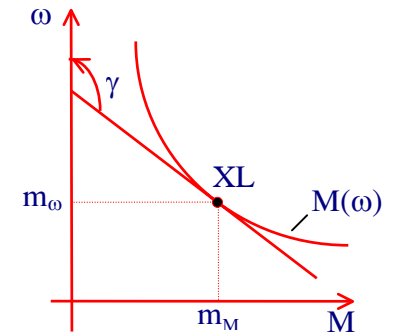
$$\text{Hoặc tính theo đồ thị: } \beta = \frac{m_M}{m_\omega} \tan \gamma; \quad (\text{hình 1-4}) \quad (1-3)$$

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 ($\beta > 0$, $\beta < 0$).

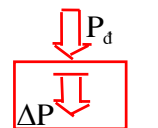
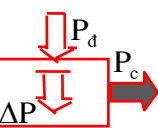
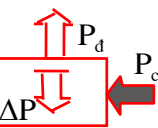
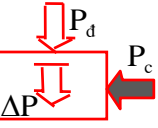
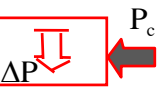
+ Động cơ đồng bộ có đặc tính cơ tuyệt đối cứng ($\beta \approx \infty$).

+ 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:

$$P_d = P_c + \Delta P \quad (1-4)$$

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.

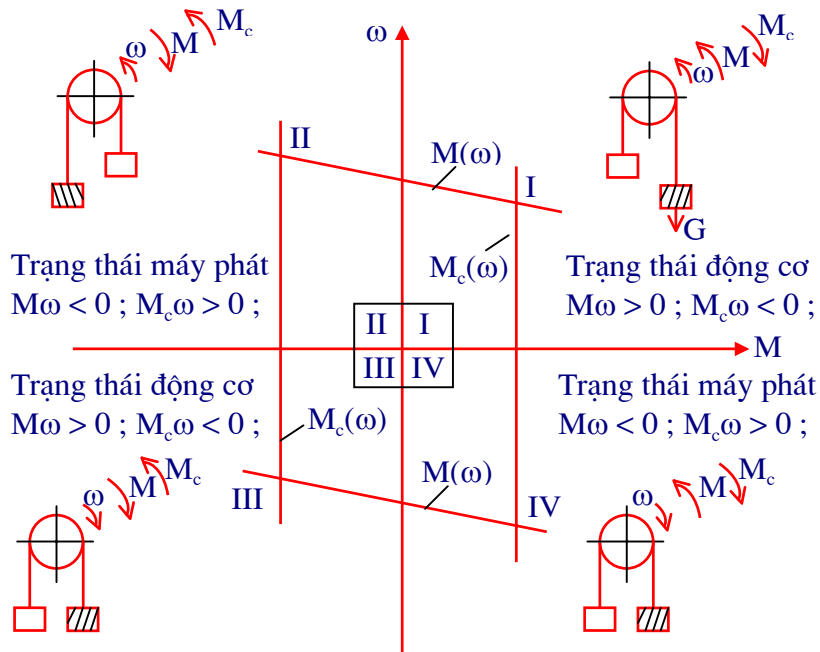
- *Hãm ngược*: $P_{\text{điện}} > 0$, $P_{\text{cơ}} < 0$, điện năng và cơ năng chuyển thành tổn thất ΔP .

- *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 $[M, \omega]$* :

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 $[M, \omega]$, 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 $[M, \omega]$, 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 $[M, \omega]$

§ 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:

$$P_{tr} = P_c + \Delta P \quad (1-5)$$

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:

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

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

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

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

* 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:

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

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

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

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.

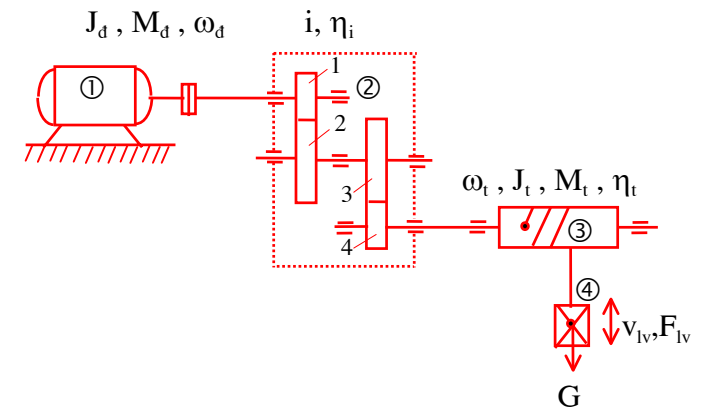
J_i - mômen quán tính của bánh răng thứ i.

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

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

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

§ 1.6. PHƯƠNG TRÌNH ĐỘNG HỌC CỦA HỆ TĐĐTĐ

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

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

+ 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:

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt} \quad (1-16)$$

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

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

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

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

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

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 $M \uparrow \uparrow \omega$ và $M(-)$ khi $M \uparrow \downarrow \omega$. Còn $M_c(+)$ khi $M_c \uparrow \downarrow \omega$; $M_c(-)$ khi $M_c \downarrow \downarrow \omega$.

§ 1.7. ĐIỀU KIỆN ỔN ĐỊNH TĨNH CỦA HỆ TĐĐTĐ

Như ở trên đã nêu, khi $M = M_c$ thì hệ TĐĐTĐ 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:

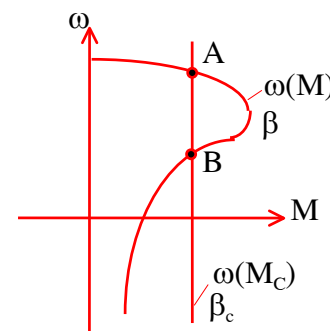
$$J \frac{d}{dt} = \left[\left(\frac{\partial M}{\partial \omega} \right)_x - \left(\frac{\partial M_c}{\partial \omega} \right)_x \right] \cdot (\omega - \omega_x) \quad (1-20)$$

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

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

$$\text{Hay: } \beta - \beta_c < 0 \quad (1-22)$$

* 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.

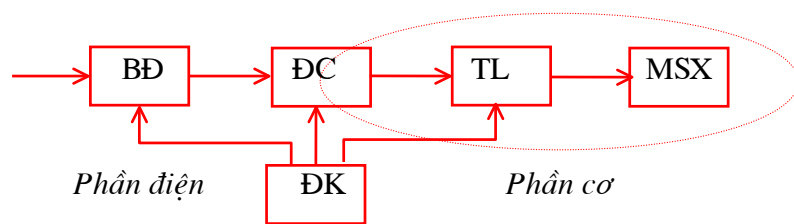
Trường hợp: A: $\beta < \beta_c$ vì $\beta < 0$ và $\beta_c = 0 \rightarrow$ xác lập ổn định.

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.

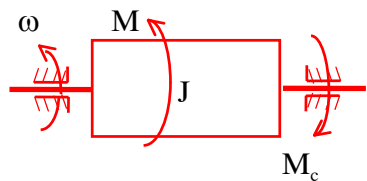
Động cơ điện có cả phần điện (stato) và phần cơ (roto và trục).



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.

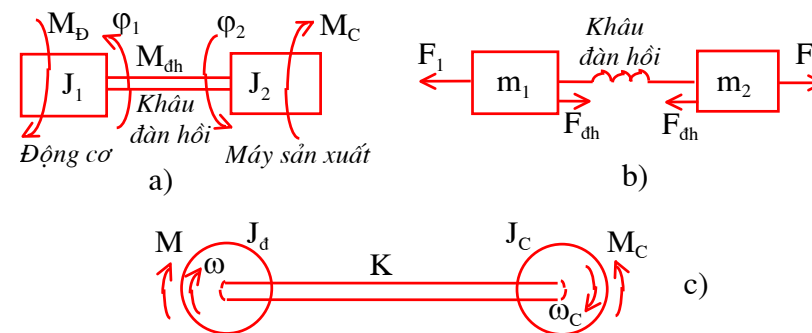
Mẫu cơ học (đơn khối) là một vật thể rắn quay xung quanh một trục với tốc độ động cơ, nó có mômen quán tính J , chịu tác động của mômen động cơ (M) và mômen cản (M_c), hình 9.



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 phần 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.

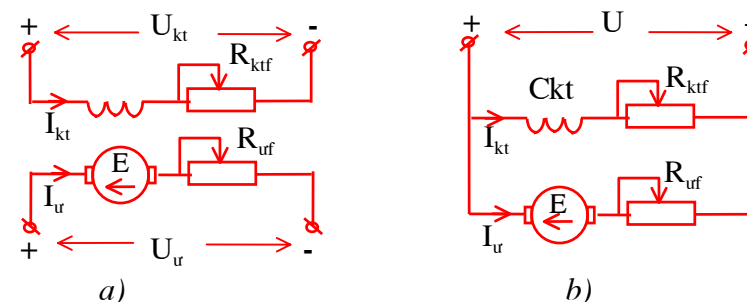
Mỗi động cơ có một đặc tính cơ tự nhiên xác định bởi các số liệu định mức của nó. Trong nhiều trường hợp ta coi đặc tính này như loạt số liệu cho trước. Mặt khác nó có thể có vô số đặc tính cơ nhân tạo có được do biến đổi một hoặc vài thông số của nguồn, của mạch điện động cơ, hoặc do thay đổi cách nối 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_{dl})**2.2.1. Sơ đồ nối dây của ĐM_{dl} và ĐM_{ss}:**

Động cơ điện một chiều kích từ độc lập (ĐM_{dl}): 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_{dl}:

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_{đt}:

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

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

Trong đó:

$U_{\text{ư}}$ là điện áp phần ứng động cơ, (V)

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

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

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

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

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

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

$R_{\text{ư}}$ là điện trở mạch phần ứng, $R_{\text{ư}} = r_{\text{ư}} + r_{\text{ưf}} + r_{\text{ctb}} + r_{\text{tx}}$, (Ω).

Trong đó: $r_{\text{ư}}$ là điện trở cuộn dây phần ứng của động cơ (Ω).

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

r_{ctb} là điện trở cuộn dây cực từ bù của động cơ (Ω).

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

$R_{\text{ưf}}$ là điện trở phụ mạch phần ứng.

$I_{\text{ư}}$ là dòng điện phần ứng.

Từ (2-1) và (2-2) ta có:

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

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:

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

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

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

Thay giá trị $I_{\text{ư}}$ vào (2-4), ta có:

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

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

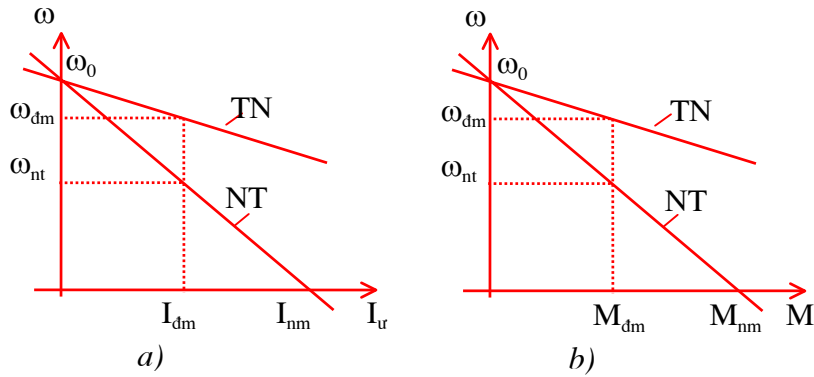
Có thể biểu diễn đặc tính cơ dưới dạng khác:

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

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

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

Từ các phương trình đặc tính cơ điện (2-4) và phương trình đặc tính cơ (2-8) trên, với giả thiết phần 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 phản 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 phản ứng động cơ.

Khi $\omega = 0$, ta có:

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

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

Trong đó: I_{nm} - gọi là dòng điện (phản 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:

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

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

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 phản ứng gồm điện trở cuộn dây phần ứng và cực từ phụ: 0,26Ω; điện trở phụ đưa vào mạch phản ứng: 1,26Ω.

* 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]

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

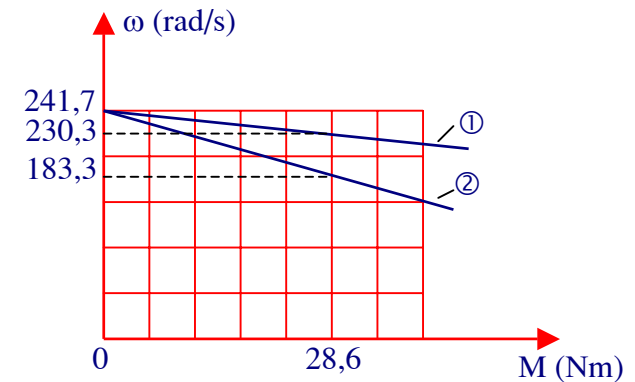
Vậy ta có tọa độ điểm thứ ba của đặc tính cơ tự nhiên [770; 0].

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 phản 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 phản ứng như đường ② trên hình 2 - 3.

2.2.4. Đặc tính cơ khi khởi động ĐM_{dl} 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_{dl} 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_{dl}:*

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

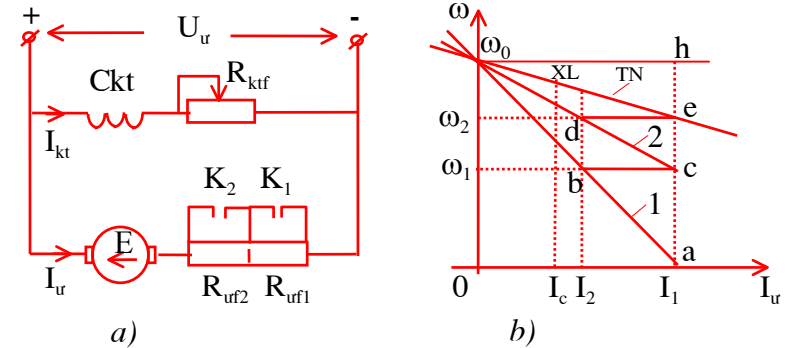
- Xác định dòng điện khởi động lớn nhất: $I_{max} = I_1 = (2 \div 2,5)I_{dm}$

- 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_{dl} khởi động 2 cấp, $m = 2$

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

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:

$$I_2 = \frac{U_{dm} - E_1}{R_1} \quad (2-22)$$

Tại điểm c trên hình 2-3b ta có:

$$I_1 = \frac{U_{dm} - E_1}{R_2} \quad (2-23)$$

Trong quá trình khởi động, ta lấy:

$$\frac{I_1}{I_2} = \lambda = \text{const} \quad (2-24)$$

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

Rút ra:

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

+ 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:

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

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:

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

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

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

*** Ví dụ 2-2:**

Cho động cơ kích từ song song có các số liệu sau: $P_{dm} = 25\text{KW}$; $U_{dm} = 220\text{V}$; $n_{dm} = 420\text{v/ph}$; $I_{dm} = 120\text{A}$; $R_u^* = 0,08$. Khởi động hai cấp điện trở phụ với tần suất 1 lần/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:**

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

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

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

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

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 :

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

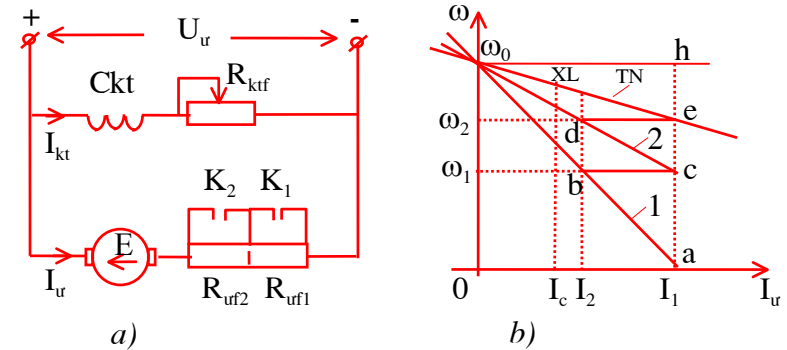
Ta tính được bội số dòng điện khởi động:

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

Kiểm nghiệm lại giá trị dòng điện I_1 :

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

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 ΔM_{d1} khởi động 2 cấp, $m = 2$

b) Các đặc tính khởi động ΔM_{d1} , $m = 2$:

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:

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

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

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

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:

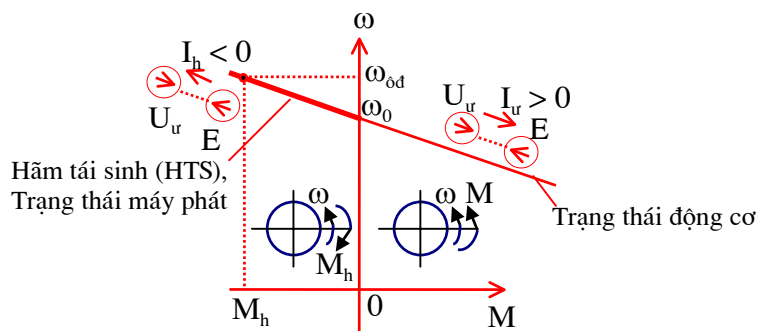
Hãm tái sinh khi tốc độ quay của động cơ lớn hơn tốc độ không tải lý tưởng ($\omega > \omega_0$). Khi hãm tái sinh, sức điện động của động cơ lớn hơn điện áp nguồn: $E > U_u$, động cơ làm việc như một máy phát song song với lưới và trả năng lượng về nguồn, lúc này thì dòng hãm và mômen hãm đã đổi chiều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

Khi hãm tái sinh:

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

* 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.



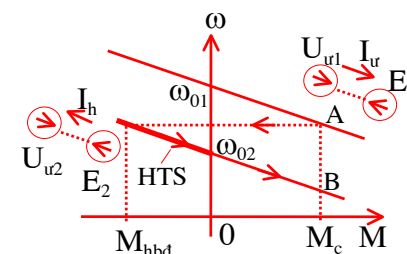
Hình 2- 5a: Hãm tái sinh khi có động lực quay động cơ.

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

$$I_u = I_h = \frac{U_u - E}{R_{u\Sigma}} < 0 \quad ; \quad M_h = K\phi \cdot I_h < 0 \quad ;$$

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

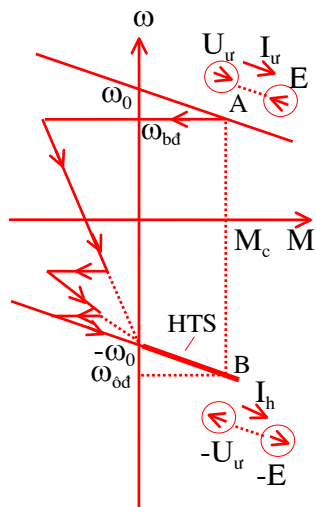
+ *Hãm tái sinh khi giảm điện áp phản ứng ($U_{u2} < U_{u1}$)*, lúc này M_c là dạng mômen thế năng ($M_c = M_{tn}$). Khi giảm điện áp nguồn đột ngột, nghĩa là tốc độ ω_0 giảm đột ngột trong khi tốc độ ω chưa kịp giảm, do đó làm cho tốc độ trên trục động cơ lớn hơn tốc độ không tải lý tưởng ($\omega > \omega_{02}$). 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 phản ứng động cơ ($U_{u2} < U_{u1}$).

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

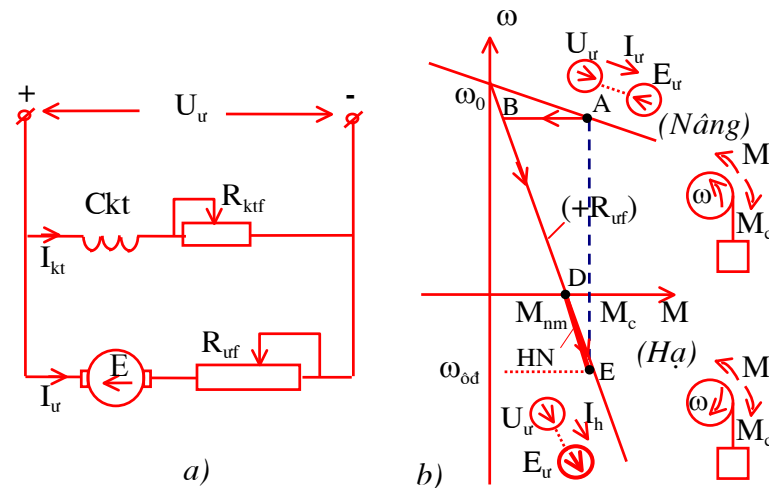
2.2.5.2. Hãm ngược:

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:

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

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

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



Hình 2-6a: a) Sơ đồ hãm ngược bằng cách thêm $R_{ưf}$.
b) Đặc tính cơ khi hãm ngược bằng cách 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 $\omega = 0$, 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, ($\omega < 0$, 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 phản ứng:

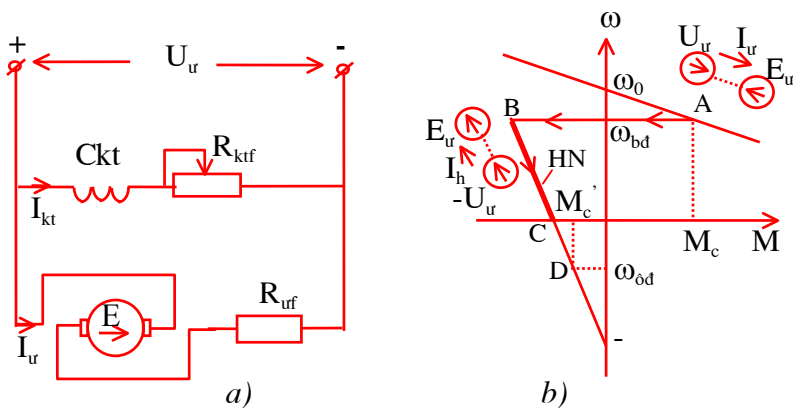
Động cơ đang làm việc ở điểm A, ta đổi chiều điện áp phản ứng (vì dòng đảo chiều lớn nên phải thêm điện trở phụ vào để hạn chế) thì:

Động cơ sẽ chuyển sang điểm B, C và sẽ làm việc 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:

$$\left. \begin{aligned} I_h &= \frac{-U_r - E_r}{R_r + R_{uf}} = -\frac{U_r + K\phi\omega}{R_r + R_{uf}} < 0 \\ M_h &= K\phi I_h < 0 \end{aligned} \right\} \quad (2-32)$$

Phương trình đặc tính cơ:

$$\omega = \frac{-U_r}{K\phi} - \frac{R_r + R_{uf}}{(K\phi)^2} M \quad (2-33)$$



Hình 2-6b: a) Sơ đồ hãm ngược bằng cách đảo chiều U_r .
b) Đặc tính cơ khi hãm ngược bằng cách đảo U_r .

2.2.5.3. Hãm động năng: (cho $U_r = 0$)

a) Hãm động năng kích từ độc lập:

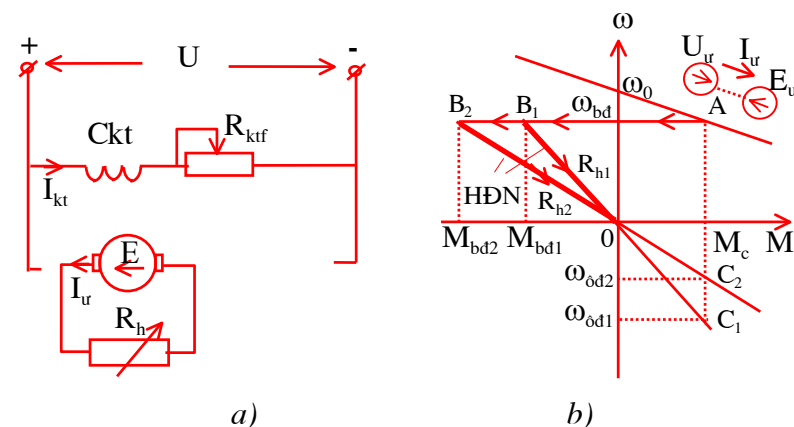
Động cơ đang làm việc với lưới điện (điểm A), thực hiện cắt phần ứng động cơ ra khỏi lưới điện và đóng vào một điện trở hãm R_h , do động năng tích lũy trong động cơ, cho nên động cơ vẫn quay và nó làm việc như một máy phát biến cơ năng thành nhiệt năng trên điện trở hãm và điện trở phần ứng.

Phương trình đặc tính cơ khi hãm động năng:

$$\omega = -\frac{R_r + R_h}{(K\phi)^2} M \quad (2-34)$$

Tại thời điểm hãm ban đầu, tốc độ hãm ban đầu là ω_{hd} nên sức điện động ban đầu, dòng hãm ban đầu và mômen hãm ban đầu:

$$\left. \begin{aligned} E_{hd} &= K\phi\omega_{hd} \\ I_{hd} &= -\frac{E_{hd}}{R_r + R_h} = -\frac{K\phi\omega_{hd}}{R_r + R_h} < 0 \\ M_{hd} &= K\phi I_{hd} < 0 \end{aligned} \right\} \quad (2-35)$$



Hình 2-7a: a) Sơ đồ hãm động năng kích từ độc lập.
b) Đặc tính cơ khi hãm động năng kích từ độc lập.

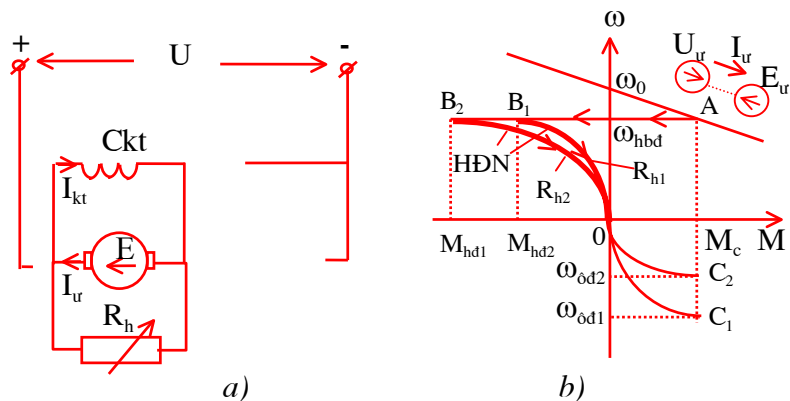
Trên đồ thị đặc tính cơ hãm động năng ta thấy rằng nếu mômen cản là phản kháng thì động cơ sẽ dừng hẳn (các đoạn B₁0 hoặc B₂0), còn nếu mômen cản là thế năng thì dưới tác dụng của tải sẽ kéo động cơ quay theo chiều ngược lại (ω_{od1} hoặc ω_{od2}).

b) 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.

Phương trình đặc tính cơ khi hãm động năng tự kích từ:

$$\omega = -\frac{R_u + R_{kt} + R_h}{(K\phi)^2} M \quad (2-36)$$



Hình 2-7b: a) Sơ đồ hãm động năng tự kích từ.

b) Đặc tính cơ khi hãm động năng tự kích từ.

Trên đồ thị đặc tính cơ hãm động năng tự kích từ ta thấy rằng trong quá trình hãm, tốc độ giảm dần và dòng kích từ cũng giảm dần, do đó từ thông của động cơ cũng giảm dần và là hàm của tốc độ, vì vậy các đặc tính cơ khi hãm động năng tự kích từ giống như đặc tính không tải của máy phát tự kích từ.

So với phương pháp hãm ngược, hãm động năng có hiệu quả hơn khi có cùng tốc độ hãm ban đầu, nhất là tổn ít năng lượng hơn.

2.2.6. Các đặc tính cơ khi đảo chiều ĐM_{đl}:

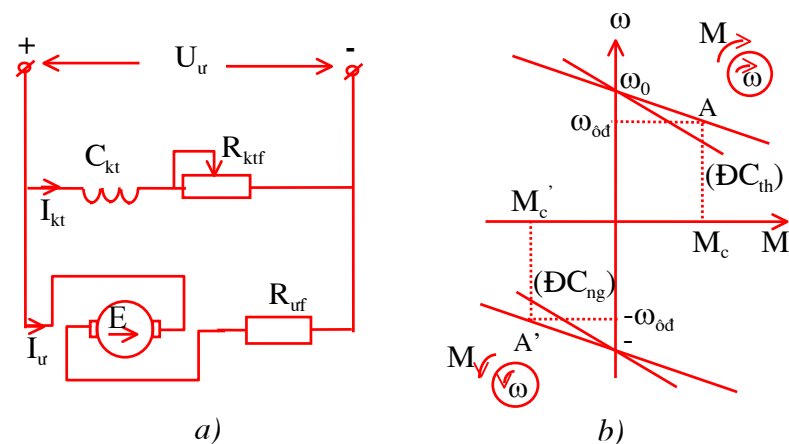
Giả sử động cơ đang làm việc ở điểm A theo chiều quay thuận trên đặc tính cơ tự nhiên thuận với tải M_c :

$$\omega = \frac{U_{u\text{dm}}}{K\phi_{\text{dm}}} - \frac{R_{u\text{dm}}}{(K\phi_{\text{dm}})^2} M \quad (2-37)$$

Với $M = M_c$ thì $\omega = \omega_A = \omega_{\text{Thuận}}$

Muốn đảo chiều động cơ, ta có thể đảo chiều điện áp phần ứng hoặc đảo chiều từ thông kích từ động cơ. Thường đảo chiều động cơ bằng cách đảo chiều điện áp phần ứng. Khi đảo chiều điện áp phần ứng thì ω_0 đảo dấu, còn $\Delta\omega$ thì không đảo dấu, đặc tính cơ khi quay ngược chiều:

$$\omega = \frac{-U_u}{K\phi(I_u)} - \frac{R_u + R_{uf}}{[K\phi(I_u)]^2} M \quad (2-38)$$



Hình 2-8: a) Sơ đồ hãm ngược bằng cách đảo U_{ur}

b) Đặc tính cơ khi hãm ngược bằng cách đảo U_{ur}

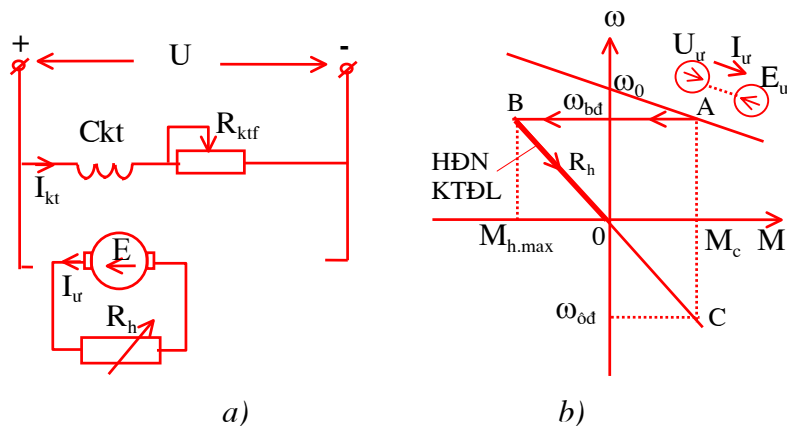
Động cơ quay ngược chiều tương ứng với điểm A' trên đặc tính cơ tự nhiên bên ngược, hoặc trên đặc tính cơ nhân tạo.

*** Ví dụ 2-3:**

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: 0,26Ω; Trước khi hãm động cơ làm ở điểm định mức A ($M = M_{dm}$, $\omega = \omega_{dm}$); Hãy xác định trị số điện trở hãm đấu vào mạch phần ứng động cơ để hãm động năng kích từ độc lập với yêu cầu mômen hãm lớn nhất $M_{h,max} = 2M_{dm}$. Sử dụng sơ đồ hãm động năng kích từ độc lập như trong hình 2-9a.

*** Giải:**

Sử dụng sơ đồ hãm động năng kích từ độc lập hình 2-9a khi đó đảm bảo từ thông động cơ trong quá trình hãm là không đổi: $\phi = \phi_{dm}$.



Hình 2-9: a) Sơ đồ hãm động năng kích từ độc lập.

b) Đặc tính cơ khi hãm động năng kích từ độc lập.

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 trên hình 2-9b).

Điểm làm việc trước khi hãm là điểm định mức A, có:

$$I_u = I_{dm} = 35A, \text{ tương ứng mômen định mức } M_{dm};$$

$$\omega_A = \omega_{dm} = 230,3 \text{ rad/s (xem ví dụ 2-1)}$$

Sức điện động của động cơ trước khi hãm sẽ là:

$$E_{bd} = E_A = U_{dm} - I_u \cdot R_u$$

$$E_{bd} = 220 - 35 \cdot 0,26 = 210,9V$$

Từ hình 2-9b ta thấy, mômen (và dòng điện) hãm lớn nhất sẽ có được tại thời điểm ban đầu của quá trình hãm, ngay khi chuyển đổi mạch điện từ chế độ động cơ trên đặc tính cơ tự nhiên sang mạch điện làm việc ở chế độ hãm động năng kích từ độc lập (điểm B):

$$I_{h,max} = I_{h,bd}$$

$$\text{Hoặc } M_{h,max} = M_{h,bd}$$

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

$$I_{h,bd} = 2I_{dm} = 2 \cdot 35 = 70A$$

Điện trở tổng trong mạch phần ứng động cơ được xác định theo (2-34):

$$R_{u\Sigma} = \left| \frac{K\phi\omega}{I_u} \right| = \left| \frac{K\phi\omega_A}{I_{h,bd}} \right| = \left| \frac{E_A}{I_{h,bd}} \right|$$

$$R_{u\Sigma} = \frac{210,9}{70} = 3,01\Omega$$

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

$$R_h = R_{u\Sigma} - R_u$$

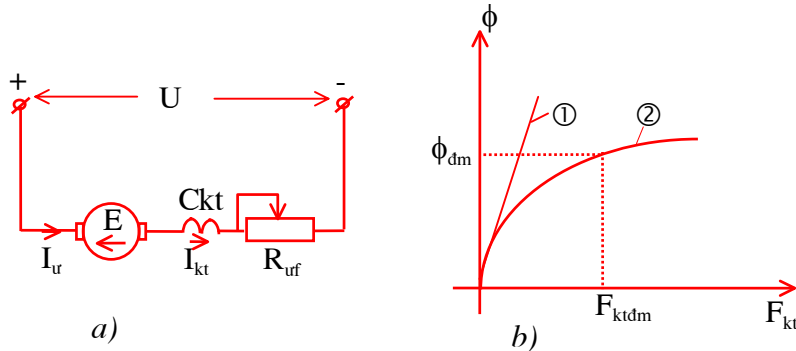
$$R_h = 3,01 - 0,26 = 2,75 \Omega.$$

§ 2.3. ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU

KÍCH TỪ NỐI TIẾP (ĐM_{nt}) VÀ HỖN HỢP (ĐM_{hh})

2.3.1. Sơ đồ nối dây của ĐM_{nt} :

Động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp (ĐM_{nt}): nguồn một chiều cấp chung cho phần ứng nối tiếp với kích từ.



Hình 2-10: a) Sơ đồ nối dây ĐM_{nt}
b) Đặc tính từ hoá của ĐM_{nt}.

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.

Theo sơ đồ hình 2-10a, có thể viết phương trình cân bằng điện áp của mạch phần ứng như sau:

$$U = E + R \cdot I_{\text{ư}} = k\phi\omega + R \cdot I_{\text{ư}} \quad (2-39)$$

Trong đó: U là điện áp nguồn, (V)

$$R = R_{\text{ư}} + R_{\text{kt}} + R_{\text{ưf}} \quad (2-40)$$

Trong này: R_ư là điện trở phần ứng động cơ.

R_{kt} là điện trở cuộn dây kích từ

R_{ưf} là điện trở phụ mắc thêm vào mạch phần ứng

Tương tự ĐM_{đl}, từ các phương trình trên ta rút ra:

$$\omega = \frac{U}{k\phi} - \frac{R + R_{\text{ưf}}}{k\phi} I \quad (2-41)$$

$$\omega = \frac{U}{k\phi} - \frac{R + R_{\text{ưf}}}{(k\phi)^2} M \quad (2-42)$$

Từ thông φ phụ thuộc vào dòng kích từ I_{kt} theo đặc tính từ hoá như đường ① trên hình 2-10b. Đó là quan hệ giữa từ thông φ với sức từ động kích từ F_{kt} của động cơ. mà: F_{kt} = I_{kt} · W_{kt}. Khi cho dòng kích từ bằng định mức thì từ thông động cơ sẽ đạt định mức.

Để đơn giản hoá khi thành lập phương trình đặc tính cơ ĐM_{nt}, ta coi mạch từ của động cơ là chưa bão hoà, quan hệ giữa từ thông với dòng kích từ là tuyến tính đường ② trên hình 2-10b:

$$\phi = C \cdot I_{\text{kt}}; (C - \text{hệ số tỉ lệ}) \quad (2-43)$$

Nếu bỏ qua phản ứng phần ứng, ta có:

$$\phi = C \cdot I_{\text{kt}} = C \cdot I_{\text{ư}} = C \cdot I \quad (2-44)$$

Kết hợp (2-44) với (2-39) ta được phương trình đặc tính cơ điện của ĐM_{nt}:

$$\omega = \frac{U}{k \cdot C \cdot I} - \frac{R}{k \cdot C} = \frac{A_1}{I} - B \quad (2-45)$$

$$\text{Với: } A_1 = \frac{U}{k \cdot C} = \text{const}; \quad B = \frac{R}{k \cdot C} = \text{const};$$

Mặt khác:

$$M = k \cdot \phi \cdot I = k \cdot C \cdot I^2 \quad (2-46)$$

$$\text{Nên: } I = \sqrt{\frac{M}{k \cdot C}} \quad (2-47)$$

Thay (2-47) vào (2-45) ta có phương trình đặc tính cơ ĐM_{nt}:

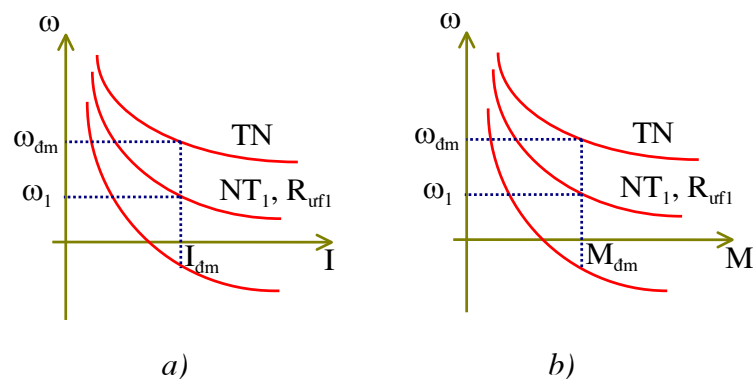
$$\omega = \frac{A_1 \cdot \sqrt{k \cdot C}}{\sqrt{M}} - \frac{R}{k \cdot C} = \frac{A_2}{\sqrt{M}} - B \quad (2-48)$$

Trong đó:

$$A_2 = A_1 \cdot \sqrt{k \cdot C} = \text{const.}$$

Qua phương trình (2-45) và (2-48) ta thấy đặc tính cơ điện và đặc tính cơ của ĐM_{nt} có dạng hypebol và rất mềm như hình 2-11a, b 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.

Các đặc tính cơ điện và đặc tính cơ của ĐM_{nt}:



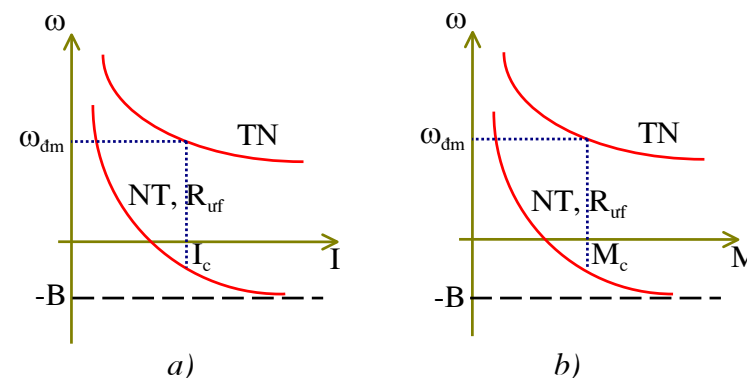
Hình 2-11: a) Đặc tính cơ điện của ĐM_{nt}
b) Đặc tính cơ của ĐM_{nt}

Như vậy đặc tính cơ điện của ĐM_{nt} có dạng đường hypebol và rất mềm. Nó có hai đường tiệm cận (hình 2-12a):

- + Khi $I \rightarrow 0, \omega \rightarrow \infty$: Tiệm cận trục tung.
- + Khi $\omega \rightarrow -B, M \rightarrow \infty$: Tiệm cận đường $\omega = -B = - (R_{u\Sigma})/K \cdot C$.

Tương tự, đối với đặc tính cơ của ĐM_{nt} cũng có hai đường tiệm cận (hình 2-12b):

- + Khi $M \rightarrow 0, \omega \rightarrow \infty$: Tiệm cận trục tung.
- + Khi $\omega \rightarrow -B, M \rightarrow \infty$: Tiệm cận đường $\omega = -B = - (R_{u\Sigma})/K \cdot C$.



Hình 2-12: a) Tiệm cận của đặc tính cơ điện của ĐM_{nt}
b) Tiệm cận của đặc tính cơ của ĐM_{nt}

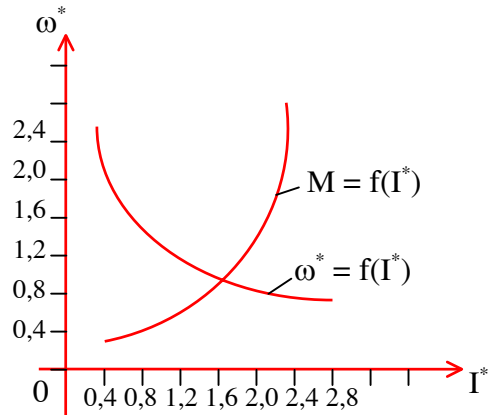
Với đặc tính cơ tự nhiên thì $R_{uf} = 0$, nên ta có hai đường tiệm cận ứng với:

- + Khi $M \rightarrow 0, \omega \rightarrow \infty$: Tiệm cận trục tung.
- + Khi $\omega \rightarrow -B(tn), M \rightarrow \infty$: đặc tính cơ sẽ tiệm cận với đường thẳng $\omega = -B(tn) = - (R_u)/K \cdot C$.

2.3.2. Đặc tính vận năng của ĐM_{nt}:

Các phương trình (2-40), (2-41) và các đặc tính trên hình 2-12 được rút ra với giả thiết đặc tính từ hoá $\phi = f(I)$ là đường thẳng. Tuy nhiên, thực tế quan hệ $\phi = f(I)$ là phi tuyến nên việc viết phương trình và vẽ các đặc tính cơ ĐM_{nt} là rất khó khăn. Vì vậy các 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 ĐM_{nt} như hình 2-13.



Hình 2-13: Các đặc tính vận năng của ĐM_{nt}

Các đặc tính này cho theo đơn vị tương đối:

$$\omega^* = \omega/\omega_{dm};$$

$$I^* = I/I_{dm};$$

$$M^* = M/M_{dm};$$

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

Đối với động cơ đã cho, ta chỉ cần lấy giá trị ω_{dm} nhân vào trục tung và lấy I_{dm} 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_{dm} của động cơ đã cho ta được M . Như vậy, từ đặc tính cơ điện tự nhiên và đường đặc tính vận năng $M^* = f(I^*)$ ta sẽ được đặc tính cơ tự nhiên $\omega = f(M)$. Người ta có thể vẽ đặc tính cơ nhân tạo (dùng thêm điện trở phụ trong mạch phân ứng) của ĐM_{nt} khi sử dụng các đặc tính vận năng và đặc tính cơ tự nhiên.

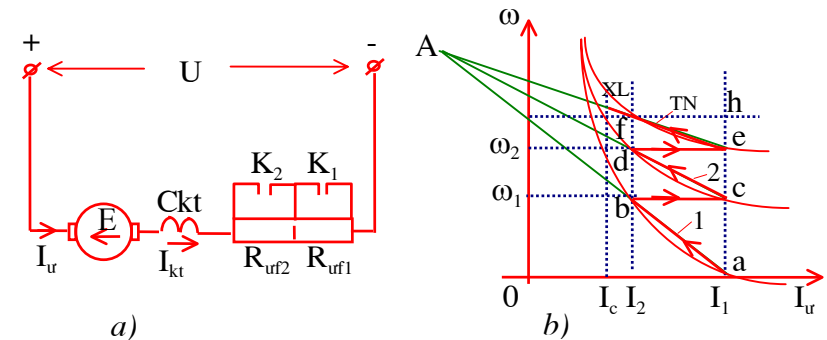
2.3.3. Đặc tính cơ khi khởi động ĐM_{nt}:

Tương tự ĐM_{dl}, để hạn chế dòng khởi động ĐM_{nt} người ta cũng đưa thêm điện trở phụ vào mạch phân ứng ngay khi bắt đầu khởi động, và sau đó thì loại dần đi để đưa tốc độ động cơ lên xác lập.

$$I'_{kdbd} = I'_{nm} = \frac{U_{dm}}{R_{ur} + R_{uf}} = (2 \div 2,5) I_{dm} \leq I_{cp} \quad (2-49)$$

a) Xây dựng các đặc tính cơ khi khởi động ĐM_{at}:

Sơ đồ nguyên lý và đặc tính khởi động trình bày trên hình 2-13:



Hình 2-13: a) Sơ đồ nối dây ĐM_{nt} khởi động 2 cấp, $m = 2$

b) Các đặc tính cơ khi khởi động ĐM_{nt}, $m = 2$.

Quá trình xây dựng đặc tính khởi động theo các bước sau:

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

2. Chọn dòng điện giới hạn $I_1 \leq (2 \div 2,5) I_{dm}$ và tính điện trở tổng của mạch phân ứng khi khởi động $R = U_{dm}/I_1$. Ta kẻ đường $I_1 = \text{const}$ nó sẽ cắt đặc tính tự nhiên tại e.

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

$$\omega_{NT(b)} = \omega_{TN(f)} \frac{U_{dm} - I_2 R}{U_{dm} - I_2 R_{uf}} \quad (2-50)$$

Kẻ các đường ef và ab kéo dài, chúng 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 $abcdefXL$.

b) Tính điện trở khởi động:

Theo phương pháp tuyến tính hoá trên, điện trở phụ tổng được tính $R_{uf} = R - R_u$, ta có điện trở phụ các cấp:

$$R_{uf1} = \frac{ac}{ea} R_{uf}; \quad R_{uf2} = \frac{ce}{ea} R_{uf}; \quad (2-51)$$

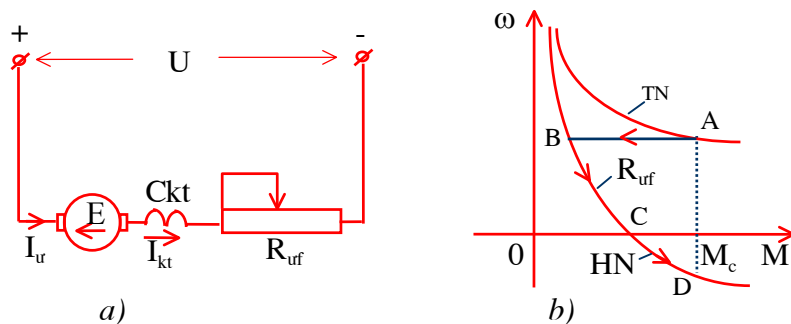
2.3.4. Các trạng thái hãm ĐM_{nt}:

Động cơ ĐM_{nt} có $\omega_0 \approx \infty$, nên không có hãm tái sinh mà chỉ có hai trạng thái hãm: *Hãm ngược* và *Hãm động năng*.

2.3.4.1. Hãm ngược ĐM_{nt}:

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

Động cơ đang làm việc tại A, đóng R_{uf} lớn vào phần ứng thì động cơ sẽ chuyển sang B, C và sẽ thực hiện hãm ngược đoạn CD:



Hình 2-14: a) Sơ đồ nối dây ĐM_{nt} khi hãm ngược với R_{uf}
b) Đặc tính hãm ngược ĐM_{nt}, đoạn CD.

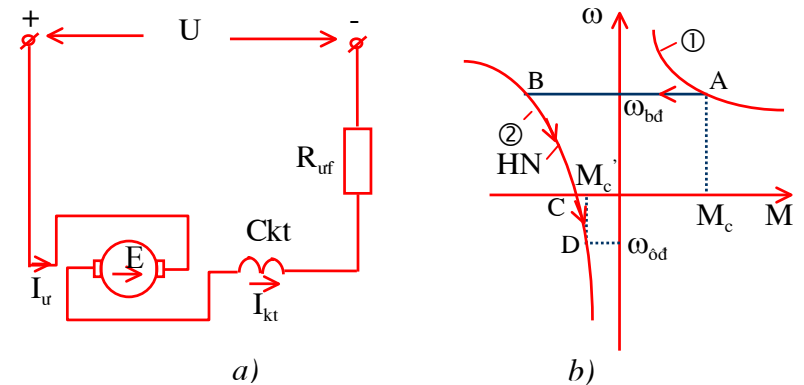
b) Hãm ngược bằng cách đảo chiều điện áp phần ứng:

Động cơ đang làm việc ở điểm A trên đặc tính cơ tự nhiên với: $U_u > 0$, quay với chiều $\omega > 0$, làm việc ở chế độ động cơ, chiều mômen trùng với chiều tốc độ; Nếu ta đổi cực tính điện áp đặt vào phần ứng $U_u < 0$ (vì dòng đảo chiều lớn nên phải thêm điện trở phụ vào để hạn chế) và vẫn giữ nguyên chiều dòng kích từ thì dòng điện phần ứng sẽ đổi chiều $I_u < 0$ do đó mômen đổi chiều, động cơ sẽ chuyển sang điểm B trên đặc tính ② hình 2-15, đoạn BC là đoạn hãm ngược, và sẽ làm việc xác lập ở D nếu phụ tải ma sát. Lúc hãm động năng, dòng hãm và mômen hãm của động cơ:

$$\left. \begin{aligned} I_h &= \frac{-U - E_u}{R_u + R_{uf}} = -\frac{U + K\phi\omega}{R_u + R_{uf}} < 0 \\ M_h &= K\phi I_h < 0 \end{aligned} \right\} \quad (2-52)$$

Phương trình đặc tính cơ:

$$\omega = \frac{-U}{K\phi} - \frac{R_u + R_{uf}}{(K\phi)^2} M \quad (2-53)$$



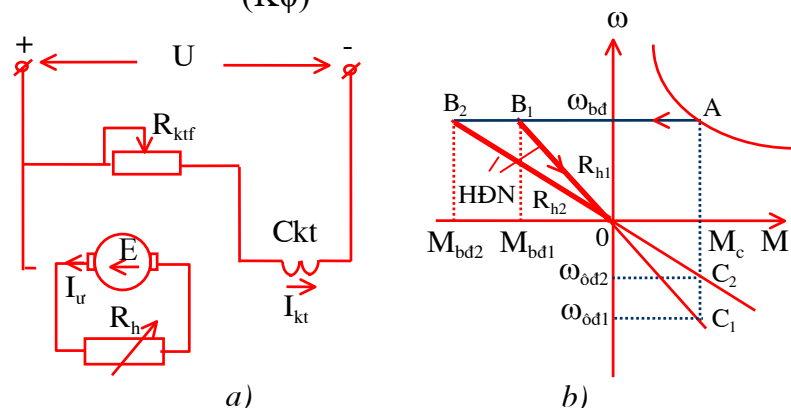
Hình 2-15: a) Sơ đồ hãm ngược bằng cách đảo U_u
b) Đặc tính cơ khi hãm ngược bằng cách đảo U_u

2.3.4.2. Hãm động năng $\overline{DM}_{nr}$:**a) Hãm động năng kích từ độc lập:**

Động cơ đang làm việc với lưới điện (điểm A, hình 2-16), thực hiện cắt phần ứng động cơ ra khỏi lưới điện và đóng vào một điện trở hãm R_h , còn cuộn kích từ được nối vào lưới điện qua điện trở phụ sao cho dòng kích từ có chiều và trị số không đổi ($I_{kt\text{dm}}$), và như vậy giống với trường hợp hãm động năng kích từ độc lập của $\overline{DM}_{dl}$.

Phương trình đặc tính cơ khi hãm động năng:

$$\omega = -\frac{R_{u\Sigma} + R_h}{(K\phi)^2} M \quad (2-54)$$



Hình 2-16: a) Sơ đồ hãm động năng kích từ độc lập $\overline{DM}_{nr}$.
b) Đặc tính cơ khi HDN kích từ độc lập $\overline{DM}_{nr}$.

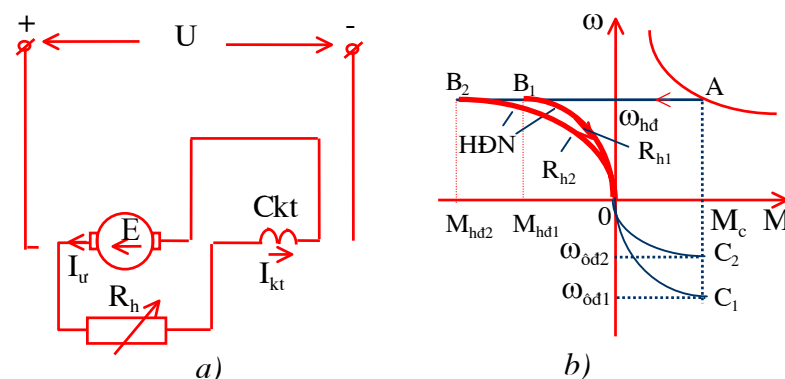
b) Hãm động năng tự kích từ :

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 nối tiếp vào một điện trở hãm R_h , nhưng 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.

Phương trình đặc tính cơ khi hãm động năng tự kích từ:

$$\omega = -\frac{R_u + R_{kt} + R_h}{(K\phi)^2} M \quad (2-55)$$

Và từ thông giảm dần trong quá trình hãm động năng tự kích.



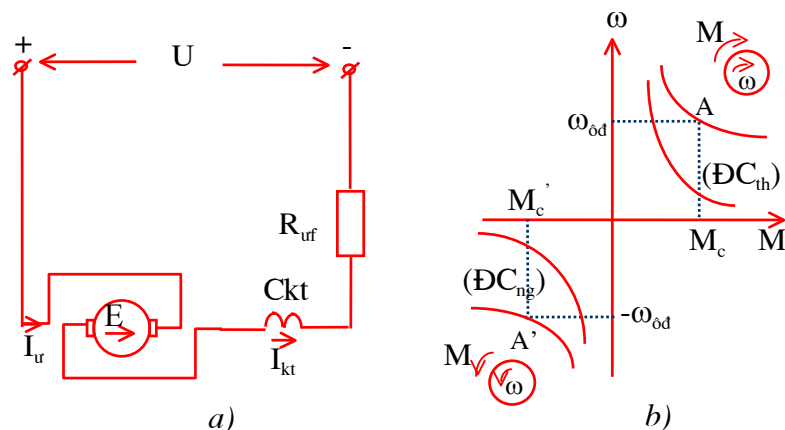
Hình 2-17: a) Sơ đồ hãm động năng tự kích từ $\overline{DM}_{nr}$.
b) Đặc tính cơ khi HDN tự kích từ $\overline{DM}_{nr}$.

2.3.5. Đảo chiều $\overline{DM}_{nt}$:

Đặc tính cơ của động cơ $\overline{DM}_{nt}$ khi đảo chiều bằng cách đảo chiều điện áp phần ứng:

$$\omega = \frac{-U_u}{K\phi(I_u)} - \frac{R_{u\Sigma} + R_{uf}}{[K\phi(I_u)]^2} M \quad (2-56)$$

Khi $U_u > 0$, động cơ quay thuận $\omega > 0$ (tại điểm A trên đặc tính cơ ở góc phần tư thứ nhất của toạ độ $[M, \omega]$, với phụ tải là $M_c > 0$). Nếu ta đảo cực tính điện áp phần ứng động cơ (vẫn giữ nguyên chiều từ thông kích từ) $U_u < 0$, 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 toạ độ $[M, \omega]$). Nếu cho điện trở phụ vào mạch phần ứng, ta sẽ có các tốc độ nhân tạo ngược, hình 2-18.



Hình 2-18: a) Sơ đồ đảo chiều điện áp U_{uf} của $ĐM_{nt}$.
b) Đặc tính cơ khi đảo chiều U_{uf} của $ĐM_{nt}$

2.3.6. Nhận xét về $ĐM_{nt}$:

Về cấu tạo, $ĐM_{nt}$ có cuộn kích từ chịu dòng lớn, nên tiết diện to và số vòng dây ít. Nhờ đó nó dễ chế tạo và ít hư hỏng hơn so với $ĐM_{dl}$.

Động cơ $ĐM_{nt}$ có khả năng quá tải lớn về momen. Khi có cùng một hệ số quá tải dòng điện như nhau thì momen của $ĐM_{nt}$ lớn hơn momen của $ĐM_{dl}$.

Thực vậy, lấy ví dụ khi cho quá tải dòng $I_{qt} = 1,5I_{dm}$ thì momen quá tải của $ĐM_{dl}$ là: $M_{qt} = K\phi_{dm} \cdot 1,5I_{dm} = 1,5M_{dm}$, nghĩa là hệ số quá tải momen bằng hệ số quá tải dòng điện: $K_{qtM} = K_{qtI} = 1,5$. Trong khi đó, momen của $ĐM_{nt}$ tỷ lệ với bình phương dòng điện, nên $M'_{qt} = K.C.I^2 = K.C.(1,5I_{dm})^2 = 1,5^2 \cdot M_{dm} = 2,25M_{dm}$, nghĩa là hệ số quá tải momen bằng bình phương lần của hệ số quá tải dòng điện: $K'_{qtM} = K_{qtI}^2$.

Momen của $ĐM_{nt}$ Không phụ thuộc vào sụt áp trên đường dây tải điện, nghĩa là nếu giữ cho dòng điện trong động cơ định mức thì momen động cơ cũng là định mức, cho dù động cơ nối ở đầu đường dây hay ở cuối đường dây.

2.3.7. Đặc điểm, đặc tính cơ động cơ $ĐM_{hh}$:

Sơ đồ nguyên lý của động cơ $ĐM_{hh}$ như hình 2-19, với hai cuộn kích từ song song và nối tiếp tạo ra từ thông kích từ động cơ:

$$\phi = \phi_s + \phi_n \quad (2-57)$$

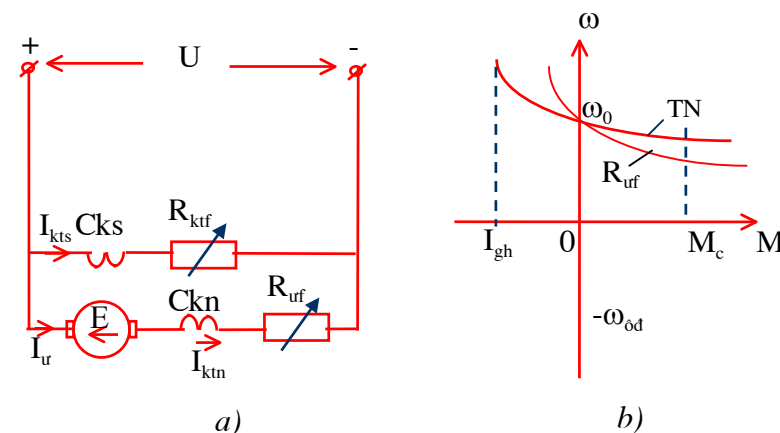
Trong đó: ϕ_s là phần từ thông do cuộn kích từ song song tạo nên; $\phi_s = (0,75 \div 0,85)\phi_{dm}$ và không phụ thuộc vào dòng phản ứng, tức không phụ thuộc vào phụ tải.

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

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

Do có hai cuộn kích từ nên đặc tính cơ của $ĐM_{hh}$ vừa có dạng phi tuyến như $ĐM_{nt}$, đồng thời có điểm không tải lý tưởng $[0, \omega_0]$ như của $ĐM_{dl}$, hình 2-20, trong đó tốc độ không tải lý tưởng có giá trị khá lớn so với tốc độ định mức: $\omega_0 \approx (1,3 \div 1,6) \omega_{dm}$.

Động cơ $ĐM_{hh}$ có ba trạng thái hãm tương tự như $ĐM_{dl}$.



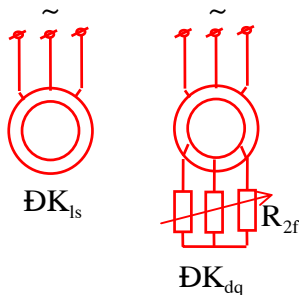
Hình 2-20: a) Sơ đồ nối dây $ĐM_{hh}$.
b) Đặc tính cơ của $ĐM_{hh}$

§ 2.4. ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ (ĐK)

2.4.1. Các giả thiết, sơ đồ thay thế, đặc tính cơ của động cơ ĐK:

2.4.1.1. Các giả thiết:

Động cơ không đồng bộ (ĐK) như hình 2-21, được sử dụng rộng rãi trong thực tế. Ưu điểm nổi bật của nó là: 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 ...



Hình 2-21:

Động cơ không đồng bộ lồng sóc (ĐK_{ls}) và dây quấn (ĐK_{dq})

Tuy nhiên, việc điều chỉnh tốc độ và khống chế các quá trình quá độ khó khăn hơn, các động cơ ĐK 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 hòa 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.

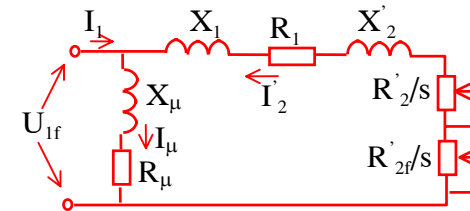
2.4.1.2. Sơ đồ thay thế:

Với các giả thiết trên ta có sơ đồ thay thế 1 pha của động cơ như hình 2-23.

Trong đó:

U_{1f} là trị số hiệu dụng của điện áp pha stato (V).

I_1, I_μ, I_2' là các dòng stato, mạch từ hóa, rôto đã quy đổi về stato (A).



Hình 2-23: Sơ đồ thay thế ĐK_{dq}

X_1, X_μ, X_2' là điện kháng stato, mạch từ, rôto đã quy đổi về stato (Ω).

R_1, R_μ, R_2' là điện trở stato, mạch từ, rôto đã quy đổi về stato (Ω).

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

s là hệ số trượt của động cơ:

$$s = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1} = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \quad (2-58)$$

Trong đó:

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

$$\omega_1 = \omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p} \quad (2-59)$$

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

Trong đó: f_1 là tần số của điện áp nguồn đặt vào stato (Hz),

p là số đôi cực của động cơ,

2.4.1.3. Biểu đồ năng lượng của ĐK:

Với các giả thiết ở trên, ta có biểu đồ năng lượng của động cơ ĐK 3 pha như hình 2-24:

Trong biểu đồ năng lượng:

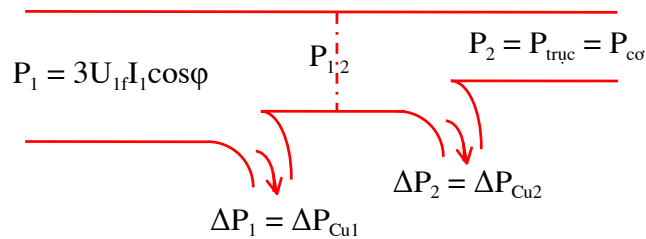
P_1 là công suất điện từ đưa vào 3 pha stato động cơ ĐK

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

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

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

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



Hình 2-24: Biểu đồ năng lượng của động cơ ĐK_{dq}

2.4.1.4. Phương trình và đặc tính cơ ĐK:

Từ sơ đồ thay thế hình 2-23, ta tính được dòng stato:

$$I_1 = U_{1f} \left[\frac{1}{\sqrt{R_\mu^2 + X_\mu^2}} + \frac{1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_{2\Sigma}}{s}\right)^2 + X_{nm}^2}} \right] \quad (2-60)$$

Trong đó: $R'_{2\Sigma} = R'_2 + R'_{2f}$ là điện trở tổng mạch rôto.

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

Từ phương trình đặc tính dòng stato (2-60) ta thấy:

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

$$\text{Khi } \omega = \omega_0, s = 0, \text{ ta có: } I_1 = U_{1f} \left[\frac{1}{\sqrt{R_\mu^2 + X_\mu^2}} \right] = I_\mu$$

Nghĩa là ở tốc độ đồng bộ, động cơ vẫn tiêu thụ dòng điện từ hoá để tạo ra từ trường quay.

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

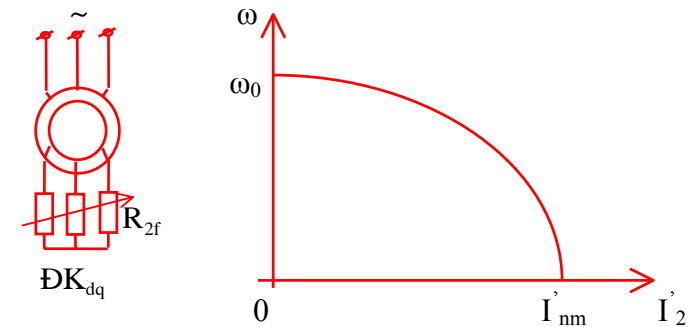
$$I'_2 = \frac{U_{1f}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_{2\Sigma}}{s}\right)^2 + X_{nm}^2}} \quad (2-61)$$

Phương trình (2-61) là quan hệ giữa dòng rôto I'_2 với hệ số trượt s hay giữa I'_2 với tốc độ ω , nên gọi là đặc tính điện-cơ của động cơ ĐK, (hình 2-25). Qua (2-61) ta thấy:

Khi $\omega = \omega_0$, $s = 0$, ta có: $I'_2 = 0$.

$$\text{Khi } \omega = 0, s = 1, \text{ ta có: } I'_2 = \frac{U_{1f}}{\sqrt{(R_1 + R'_{2\Sigma})^2 + X_{nm}^2}} = I'_{2nm}$$

Trong đó: I'_{2nm} là dòng ngắn mạch của rôto hay dòng khởi động.



Hình 2-26: Đặc tính điện-cơ của ĐK

Để tìm phương trình đặc tính cơ của ĐK, ta xuất phát từ điều kiện cân bằng công suất trong động cơ: công suất điện chuyển từ stato sang rôto:

$$P_{12} = M_{dt} \cdot \omega_0 \quad (2-62)$$

M_{dt} là mômen điện từ của động cơ, nếu bỏ qua các tổn thất phụ:

$$M_{dt} = M_{cv} = M \quad (2-63)$$

$$\text{Và: } P_{12} = P_{cv} + \Delta P_2 \quad (2-64)$$

Trong đó: $P_{cv} = M \cdot \omega$ là công suất cơ trên trục động cơ.

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

Do đó: $M \cdot \omega_0 = M(\omega_0 - \omega) = M \cdot \omega_0 \cdot s$

$$\text{Vậy: } M = \frac{3 \cdot I_2'^2 \cdot R_{2\Sigma}' / s}{\omega_0} \quad (2-65)$$

Thay (3-4) vào (3-8) và biến đổi ta có :

$$M = \frac{3 \cdot U_{1f}^2 \cdot R_{2\Sigma}'}{s \cdot \omega_0 \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R_{2\Sigma}'}{s} \right)^2 + X_{nm}^2 \right]} \quad (2-66)$$

Phương trình (2-66) là phương trình đặc tính cơ của ĐK. Nếu biểu diễn đặc tính cơ trên đồ thị sẽ là đường cong như hình 2-27b. 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:

$$s_{th} = \pm \frac{R_{2\Sigma}'}{\sqrt{R_1^2 + X_{nm}^2}} \quad (2-67)$$

$$\text{Và: } M_{th} = \pm \frac{U_{1f}^2}{2\omega_0 \cdot \left(R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_{nm}^2} \right)} \quad (2-68)$$

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

Phương trình đặc tính cơ của ĐK có thể biểu diễn theo closs:

$$M = \frac{2M_{th}(1 + as_{th})}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s} + 2as_{th}} \quad (2-69)$$

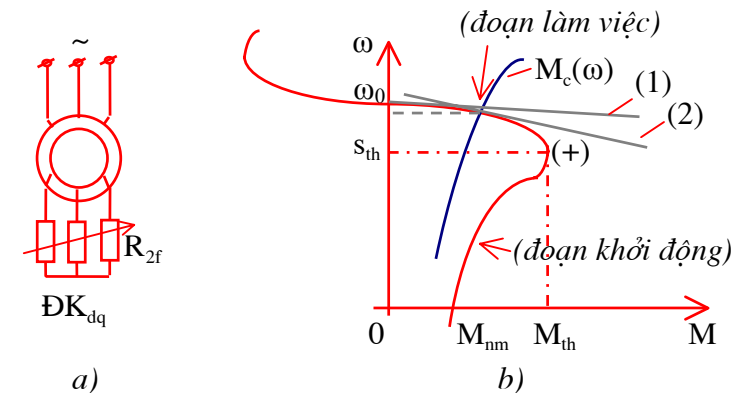
Trong đó: $a = R_1/R_{2\Sigma}'$.

M_{th} và s_{th} lấy theo (2-67) và (2-68).

Đối với động cơ ĐK công suất lớn, thường R_1 rất nhỏ so với X_{nm} nên có thể bỏ qua R_1 và $as_{th} \approx 0$, khi đó ta có dạng closs đơn giản:

$$M = \frac{2M_{th}}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}} \quad (2-70)$$

$$\text{Lúc này: } s_{th} \approx \pm \frac{R_{2\Sigma}'}{X_{nm}}; \quad M_{th} \approx \pm \frac{3U_{1f}^2}{2\omega_0 X_{nm}} \quad (2-71)$$



Hình 2-27: Đặc tính cơ của ĐK

+ 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 $s < 0,4s_{th}$ thì ta xem $s/s_{th} \approx 0$ và ta có:

$$M = \frac{2M_{th}}{s_{th}} \cdot s \quad (2-72)$$

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*:

$$M = \frac{M_{dm}}{s_{dm}} s \quad (2-73)$$

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

$$s_{th} = s_{dm} \left(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1} \right) \quad (2-74)$$

Qua dạng đặc tính cơ tự nhiên của ĐK hình 2-27, một cách gần đúng ta tính độ cứng đặc tính cơ trong đoạn làm việc:

$$|\beta| = \frac{dM}{d\omega} = \frac{1}{\omega_0} \cdot \frac{dM}{ds} = \frac{M_{dm}}{\omega_0 s_{dm}} \quad (2-75)$$

$$\text{Và: } \beta^* = \frac{dM/M_{dm}}{d\omega/\omega_0} = \frac{1}{s_{dm}} \quad (2-76)$$

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

$$M = \frac{2M_{th} \cdot s_{th}}{s} \quad (2-77)$$

$$\text{Và: } \beta = \frac{2M_{th} \cdot s_{th}}{\omega_0 \cdot s^2} \quad (2-78)$$

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

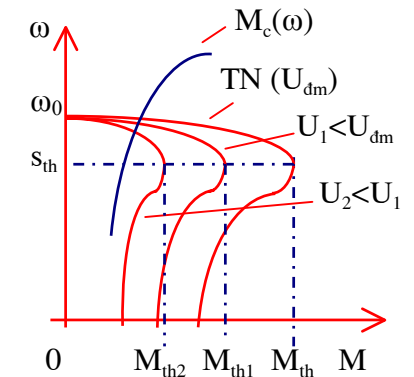
2.4.2. Ảnh hưởng của các thông số đến đặc tính cơ của ĐK:

Qua chương trình đặc tính cơ bản của hoạt động cơ ĐK, ta thấy các thông số có ảnh hưởng đến đặc tính cơ ĐK như: R_s , R_r , X_s , X_r , U_L , f_L , ... Sau đây, ta xét ảnh hưởng của một số thông số:

2.4.2.1. Ảnh hưởng của điện áp lưới (U_L):

Khi điện áp lưới suy giảm, theo biểu thức (2-68) thì 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 giảm như hình 2-28.

Qua đồ thị ta thấy: với một mômen cản xác định (M_c), 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 (đường U_2 , ...) thì hệ truyền động trên có thể không khởi động được hoặc không làm việc được.

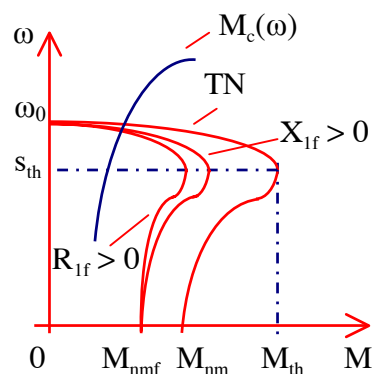


Hình 2-28: Ảnh hưởng của U_L

2.4.2.2. Ảnh hưởng của điện trở, điện kháng mạch stato:

Khi điện trở hoặc điện kháng mạch stato bị thay đổi, hoặc thêm điện trở phụ (R_{fp}), điện kháng phụ (X_{fp}) vào mạch stato, nếu $\omega_0 = \text{const}$, và theo biểu thức (2-67), (2-68) thì mômen M_{th} và s_{th} đều giảm, nên đặc tính cơ có dạng như hình 2-29.

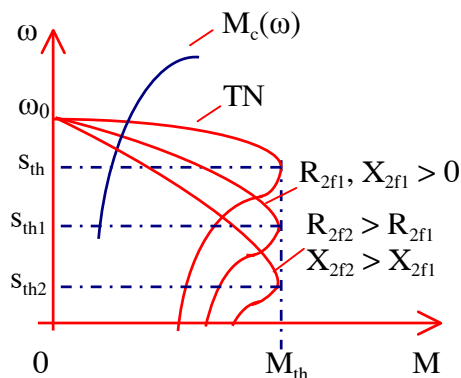
Qua đồ thị ta thấy: với mômen $M_{kd} = M_{nm.f}$ thì đoạn làm việc của đặc tính cơ có điện kháng phụ (X_{lf}) cứng hơn đặc tính có R_{lf} . Khi tăng X_{lf} hoặc R_{lf} thì M_{th} và S_{th} đều giảm. Khi dùng X_{lf} hoặc R_{lf} để khởi động nhằm hạn chế dòng khởi động, thì có thể dựa vào tam giác tổng trở ngắn mạch để xác định X_{lf} hoặc R_{lf} .

Hình 2-29: ảnh hưởng của R_{lf} , X_{lf}

2.4.2.3. Ảnh hưởng của điện trở, điện kháng mạch rôto:

Khi thêm điện trở phụ (R_{2f}), điện kháng phụ (X_{2f}) vào mạch rôto động cơ, thì $\omega_0 = \text{const}$, và theo (2-67), (2-68) thì $M_{th} = \text{const}$; còn S_{th} sẽ thay đổi, nên đặc tính cơ có dạng như hình 2-30.

Qua đồ thị ta thấy: đặc tính cơ khi có R_{2f} , X_{2f} càng lớn thì S_{th} càng tăng, độ cứng đặc tính cơ càng giảm, với phụ tải không đổi thì khi có R_{2f} , X_{2f} càng lớn thì tốc độ làm việc của động cơ càng bị thấp, và dòng điện khởi động càng giảm.

Hình 2-30: ảnh hưởng của R_{2f} , X_{2f}

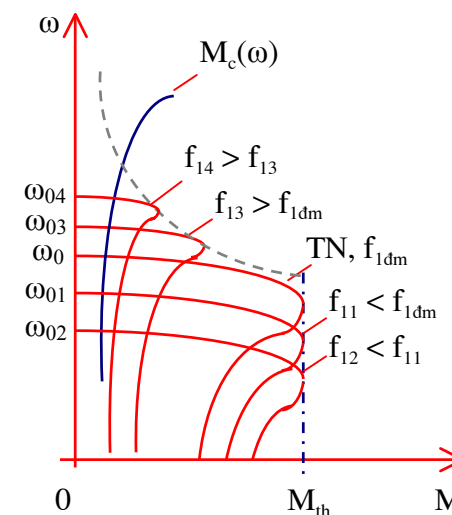
2.4.2.4. Ảnh hưởng của tần số lưới cung cấp cho động cơ:

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

Vì $\omega_0 = 2\pi.f_1/p$, và $X = \omega.L$, nên $\omega_0 \equiv f_1$, $\omega \equiv f_1$ và $X \equiv f_1$.

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 :
 $M_{th} \equiv \frac{1}{f_1^2}$ (hình 2-31).

Khi tần số nguồn giảm ($f_{11} < f_{1dm}$, ...) càng nhiều, 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.

Hình 2-31: Ảnh hưởng của f_1

* Ví dụ 2 - 5:

Cho một động cơ không đồng bộ rôto dây quấn (ĐK_{dq}) có:

$P_{dm} = 850\text{KW}$; $U_{dm} = 6000\text{V}$; $n_{dm} = 588\text{vg/ph}$; $\lambda = 2,15$;

$E_{2dm} = 1150\text{V}$; $I_{2dm} = 450\text{A}$.

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 (2-70) coi R_1 rất nhỏ hơn R_2 tức $a = 0$.

Độ trượt định mức:

$$s_{dm} = \frac{n_o - n_{dm}}{n_o} = \frac{600 - 588}{600} = 0,02$$

Mômen định mức:

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

Mômen tới hạn:

$$M_{th} = \lambda M_{dm} = 2,15.13805 = 29681 \text{ N.m}, \text{ hoặc } M_{th}^* = 2,15$$

Điện trở định mức: $R_{dm} = E_{2, nm} / \sqrt{3} I_{2, dm} = 1,476 \Omega$

Điện trở dây quấn rôto:

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

Độ trượt tới hạn của đặc tính cơ tự nhiên cá định theo (2-74):

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

Phương trình đặc tính cơ tự nhiên:

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

Với mômen ngắn mạch:

$$M_{nm} = \frac{59362}{\frac{1}{0,08} + 0,08} = 4777 \text{ Nm} = 0,35 M_{dm}$$

Theo đó ta vẽ được đường *đặc tính tự nhiên* như trên hình 2-32 đi qua 4 điểm: *điểm không tải* [$M = 0$; $s = 0$]; *điểm định mức* [$M_{dm}^* = 1$; $s_{dm} = 0,02$]; *điểm tới hạn TH* [$M_{th}^* = 2,15$; $s_{th} = 0,08$]; *điểm ngắn mạch NM* [$M_{nm}^* = 0,35$; $s_{dm} = 1$].

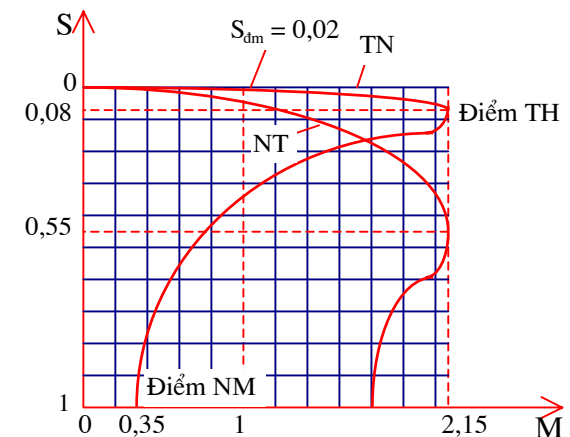
Đối với *đặc tính nhân tạo* có $R_f = 0,175 \Omega$ ta có độ trượt tới hạn nhân tạo:

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

Phương trình đặc tính cơ nhân tạo sẽ là:

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

Và đặc tính được vẽ trên cùng đồ thị hình 2-32.



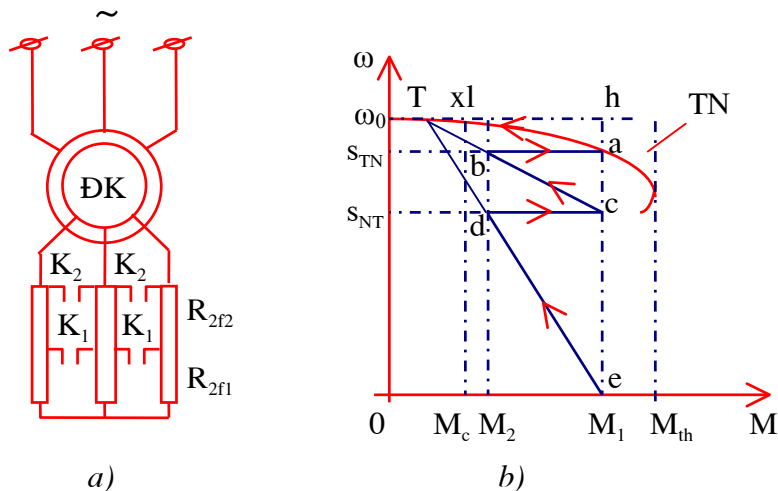
Hình 2-32: Các đặc tính cơ TN và NT trong ví dụ 2-5

2.4.3. Đặc tính cơ của động cơ ĐK khi khởi động:

2.4.3.1. Khởi động và tính điện trở khởi động:

+ Nếu khởi động động cơ ĐK bằng phương pháp đóng trực tiếp thì dòng khởi động ban đầu rất lớn. Như vậy, tương tự khởi động ĐM_{dl}, ta cũng đưa điện trở phụ vào mạch rôto động cơ ĐK có rôto dây quấn để hạn chế dòng khởi động: $I_{kđđb} \leq I_{cp} = 2,5I_{dm}$. Và sau đó thì loại dần chúng ra để đưa tốc độ động cơ lên xác lập.

Sơ đồ nguyên lý và đặc tính khởi động được trình bày trên hình 2-33 (hai cấp khởi động $m = 2$).



Hình 2-33: a) Sơ đồ nối dây ĐK khởi động 2 cấp, $m = 2$

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

* Xây dựng các đặc tính cơ khi khởi động ĐK:

+ Từ các thông số định mức (P_{dm} ; U_{dm} ; I_{dm} ; n_{dm} ; η_{dm} ;...) 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 của động cơ ĐK là phi tuyến, nên để đơn giản, ta dùng phương pháp gần đúng: theo toán học đã chứng minh thì các đường đặc tính khởi động của động cơ ĐK tuyến tính hóa sẽ hội tụ tại một điểm T nằm trên đường $\omega_0 = \text{const}$ phía bên phải trục tung của tọa độ (ω, M) như hình 2-33.

+ Chọn: $M_{\max} = M_1 = (2 \div 2,5)M_{dm}$; hoặc $M_{\max} = 0,85M_{th}$

và $M_{\min} = M_2 = (1,1 \div 1,3)M_c$ trong quá trình khởi động.

+ Sau khi đã tuyến tính hóa đặc tính khởi động động cơ ĐK, ta tiến hành xây dựng đặc tính khởi động tương tự động cơ ĐM_{dl}, cuối cùng ta được các đặc tính khởi động gần đúng *edcbaXL* như hình 2-33.

Nếu điểm cuối cùng gặp đặc tính TN mà không trùng với giao điểm của đặc tính cơ TN mà $M_1 = \text{const}$ thì ta phải chọn lại M_1 hoặc M_2 rồi tiến hành lại từ đầu.

2.4.3.2. Tính điện trở khởi động:

* Dùng phương pháp đồ thị:

+ Khi đã tuyến tính hóa đặc tính khởi động động cơ ĐK, ta có:

$$\frac{S_{NT}}{S_{TN}} = \frac{R_2 - R_{2f}}{R_2}; \quad (2-79)$$

Rút ra:

$$R_{2f} = \frac{S_{NT} - S_{TN}}{S_{TN}} R_2; \quad (2-80)$$

Từ đồ thị ta có điện trở phụ các cấp:

$$R_{2f1} = \frac{ha - hc}{he} R_2 = \frac{ac}{he} R_2; \quad (2-81)$$

$$R_{2f2} = \frac{hc - he}{he} R_2 = \frac{ce}{he} R_2; \quad (2-82)$$

2.4.4. Các đặc tính cơ khi hãm động cơ ĐK:

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

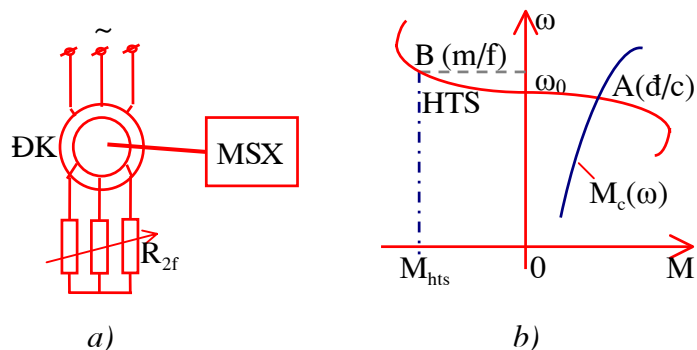
2.4.4.1. Hãm tái sinh:

Động cơ ĐK khi hãm tái sinh: $\omega > \omega_0$, và có trả năng lượng về lưới.

Hãm tái sinh động cơ ĐK thường xảy ra trong các trường hợp như: có nguồn động lực quay rôto động cơ với tốc độ $\omega > \omega_0$ (như hình 2-34a,b), hay khi giảm tốc độ động cơ bằng cách tăng số đôi cực (như hình 2-35a,b), hoặc 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 (như hình 2-6a,b).

a) 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 làm quay rôto động cơ với tốc độ $\omega > \omega_0$, động cơ trở thành máy phát phát năng lượng trả lại nguồn, hay gọi là hãm tái sinh, hình 2-34.



Hình 2-34: a) Sơ đồ nối dây ĐK khi hãm tái sinh (HTS)

b) Đặc tính hãm tái sinh khi: $\omega > \omega_0$

Phương trình đặc tính cơ trong trường hợp này là:

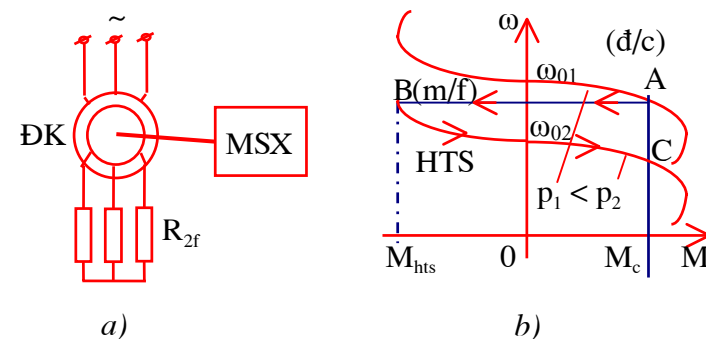
$$M \approx \frac{2M_{th}}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}} \quad (2-83)$$

$$\text{Với: } s_{th} \approx \frac{R'_{2\Sigma}}{X_{nm}}; \text{ và } M_{th} \approx \frac{3U_{lf}^2}{2\omega_0 X_{nm}} \quad (2-84)$$

$$\text{Và: } \omega > \omega_0; I'_2 = I_{hts} < 0; M = M_{hts} < 0 \text{ (tại điểm B)}$$

b) 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 $\omega > \omega_2$, trở thành máy phát, hay là HTS, hình 2-35.



Hình 2-35: a) Sơ đồ nối dây ĐK khi HTS bằng cách tăng p

b) Đặc tính HTS khi thay đổi số đôi cực: $p_2 > p_1$.

Phương trình đặc tính cơ trong trường hợp này chỉ khác là:

$$s_{th} \approx \frac{R'_{2\Sigma}}{X_{nm2}}; M_{th} \approx \frac{3U_{lf}^2}{2\omega_{02} X_{nm2}}; \text{ và } \omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p_2}; \quad (2-85)$$

$$\text{Và: } \omega > \omega_{02}; I'_2 = I_{hts} < 0; M = M_{hts} < 0 \text{ (đoạn } B\omega_{02})$$

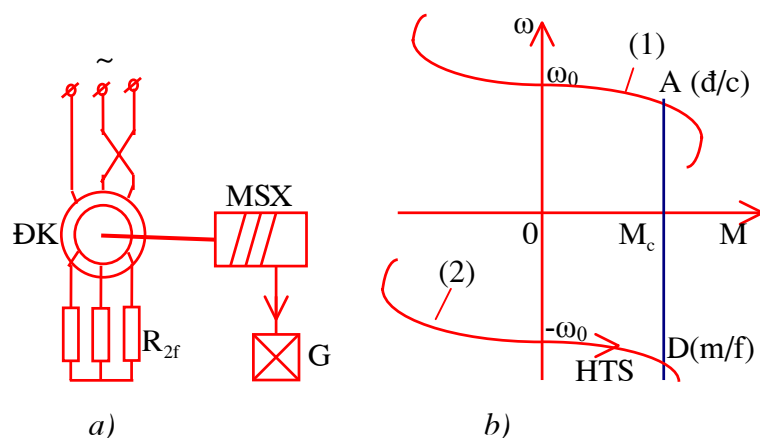
c) Hãm tái sinh khi đảo chiều từ trường stato động cơ:

Động cơ đang làm việc ở chế độ động cơ (điểm A), nếu ta đảo chiều từ trường stato, hay đảo 2 trong 3 pha stato động cơ (hay đảo thứ tự pha điện áp stato động cơ), với phụ tải là thế năng, động cơ sẽ đảo chiều quay và làm việc ở chế độ máy phát (hay hãm tái sinh, điểm D), như trên hình 2-36. 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 .

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

$$s_{th} \approx \frac{R'_{2\Sigma}}{X_{nm}}; \quad M_{th} \approx \frac{3U_{lf}^2}{2(-\omega_0)X_{nm}}; \quad (2-86)$$

Và: $|\omega_0| > |-\omega_0|$, $M = M_{hts}$ (điểm D, hạ tải ở chế độ HTS).



Hình 2-36: a) Sơ đồ nối dây ĐK khi HTS bằng cách đảo 2 trong 3 pha stato động cơ ĐK
b) Đặc tính HTS đảo 2 trong 3 pha stato động cơ (hay đảo thứ tự pha điện áp stato động cơ ĐK)

2.4.4.2. Hãm ngược động cơ ĐK:

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

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

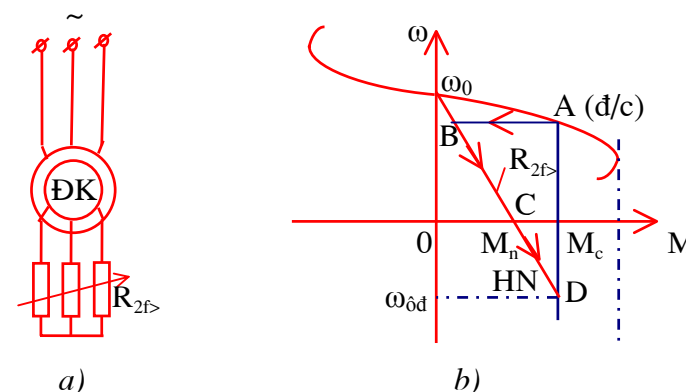
Động cơ đang làm việc ở điểm A, ta đóng thêm điện trở hãm lớn ($R_{hn>} = R_{2f>}$) vào mạch rôto, lúc này mômen động cơ giảm ($M < M_c$) nên động cơ bị giảm tốc độ do sức cản của tải. Động cơ sẽ chuyển sang điểm B, rồi C và nếu tải là thế năng thì động cơ sẽ làm việc ổn định ở điểm D ($\omega_D = \omega_{od}$ 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 (hình 2-37). Động cơ vừa tiêu thụ điện từ lưới vừa sử dụng năng lượng thừa từ tải để tạo ra mômen hãm.

Với:

$$s_{th} \approx \frac{R'_2 + R'_{2f>}}{X_{nm}}; \quad (2-87)$$

và

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



Hình 2-37: a) Sơ đồ nối dây ĐK khi hãm ngược với $R_{2f>}$.
b) Đặc tính hãm ngược (HN) khi có: $R_{2f>}$.

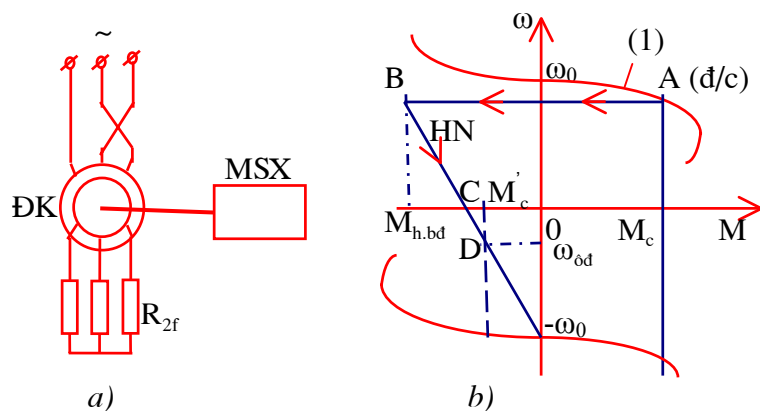
b) Hãm ngược bằng cách đảo chiều từ trường stato:

Động cơ đang làm việc ở điểm A, ta đổi chiều từ trường stato (đảo 2 trong 3 pha stato động cơ, hay đảo thứ tự pha điện áp stato), hình 2-38.

Khi đảo chiều vì dòng đảo chiều lớn nên phải thêm điện trở phụ vào để hạn chế không quá dòng cho phép $I_{dch} \leq I_{cp}$, nên động cơ sẽ chuyển sang điểm B, C và sẽ làm việc xác lập ở D nếu phụ tải ma sát, còn nếu là phụ tải thế năng thì động cơ sẽ làm việc xác lập ở điểm E. Đoạn BC là đoạn hãm ngược, lúc này dòng hãm và mômen hãm của động cơ.

$$\text{Với: } s_{th} \approx \frac{R'_2 + R'_{2f}}{X_{nm}}; \quad M_{th} \approx \frac{3U_{1f}^2}{2(-\omega_0)X_{nm}}; \quad (2-88)$$

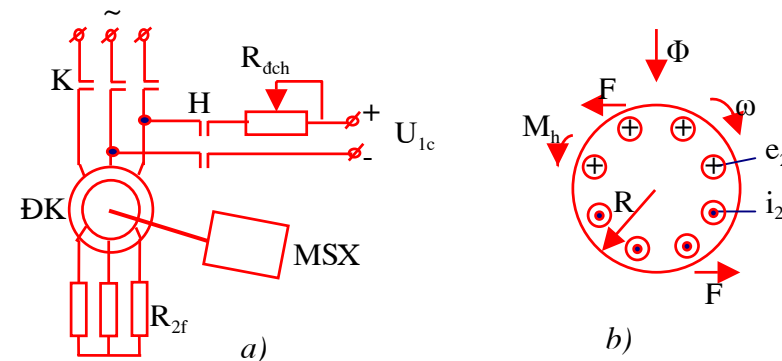
$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} > 1 \quad (2-89)$$



Hình 2-38: a) Sơ đồ nối dây ĐK khi Hãm ngược bằng cách đảo 2 trong 3 pha stato động cơ ĐK
b) Đặc tính HN đảo chiều từ trường stato ĐK

2.4.4.3. Hãm động năng động cơ ĐK:

Có hai trường hợp hãm động năng động cơ ĐK:

a) Hãm động năng kích từ độc lập (HĐN KTĐL):

Hình 2-39: a) Sơ đồ nối dây ĐK khi HĐN KTĐL
b) Sơ đồ nguyên lý tạo mômen hãm HĐN KTĐL

Động cơ đang làm việc với lưới điện (điểm A), khi cắt stato động cơ ĐK ra khỏi lưới điện và đóng vào nguồn một chiều (U_{1c}) độc lập như sơ đồ hình 2-39a.

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.

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 như hình 2-39b. 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 kín 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: “+” khi e_2 có chiều đi vào và “•” là đi ra. Tương tác giữa dòng i_2 và Φ tạo nên sức từ động F có chiều xác định theo qui tắc bàn tay trái (hình 2-39b).

Chú ý rằng, trong trường hợp hãm ngược vì:

Lực F sinh ra mômen hãm M_h có chiều ngược với chiều quay của rôto ω làm cho rôto quay chậm lại và sức điện động e_2 cũng giảm dần.

* Để thành lập phương trình đặc tính cơ của động cơ ĐK 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.

Điều kiện đẳng trị ở đây là *sức từ động do dòng điện một chiều (F_{mc}) và dòng điện xoay chiều đẳng trị (I_1) sinh ra là như nhau:*

$$F_1 = F_{mc} \quad (2-90)$$

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

$$F_1 = \frac{3}{2} \sqrt{2} \cdot w_1 \cdot I_1 \quad (2-91)$$

Sức từ động một chiều do dòng một chiều thực tế sinh ra phụ thuộc vào cách đấu dây của mạch stato khi hãm và biểu diễn tổng quát như sau:

$$F_{mc} = a \cdot w_1 \cdot I_{mc} \quad (2-92)$$

Cân bằng (2-91) và (2-92) và rút ra:

$$I_1 = \frac{a \cdot w_1}{\frac{3}{2} \sqrt{2} \cdot w_1} I_{mc} = A \cdot I_{mc} \quad (2-93)$$

Trong đó: a, A là các hệ số phụ thuộc sơ đồ nối mạch stato khi hãm động năng như bảng (2-2).

Ví dụ, theo bảng (2-2), sơ đồ nối dây và đồ thị vectơ (a):

$$F_{mc} = 2I_{mc} \cdot w_1 \cos 30^\circ = \sqrt{3} \cdot w_1 \cdot I_{mc} \quad (2-94)$$

$$\text{Và: } a = \sqrt{3}; \quad A = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$$

Đối với các sơ đồ đấu dây khác nhau của mạch stato, ta có thể xác định hệ số A theo bảng 2-2.

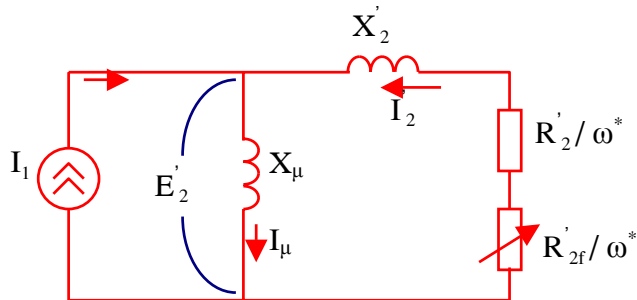
Bảng 2-2

+ Sơ đồ đấu dây mạch stato và đồ thị vectơ sức điện động:			
Hệ số A: a): $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$;	b): $\frac{\sqrt{2}}{2}$;	c): $\frac{\sqrt{2}}{3}$;	d): $\frac{1}{\sqrt{2}\sqrt{3}}$;

Dựa vào sơ đồ thay thế một pha của động cơ trong chế độ hãm động năng để xây dựng đặc tính cơ (hình 2-40).

Ở chế độ động cơ ĐK thì điện áp đặt vào stato không đổi, đó là *nguồn áp*, dòng từ hóa I_μ từ thông Φ không đổi, còn dòng điện stato I_1 , dòng điện stato I_2 biến đổi theo độ trượt s .

Còn ở trạng thái hãm động năng kích từ độc lập, vì dòng điện một chiều I_{mc} không đổi nên dòng xoay chiều đẳng trị cũng không đổi, do đó 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.

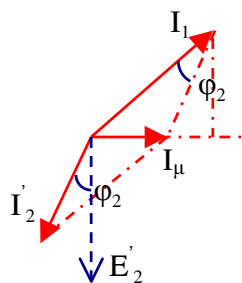


Hình 2-40: Sơ đồ thay thế khi hãm động năng ĐK

Trong chế độ làm việc của động cơ ĐK, độ trượt s là tốc độ cắt tương đối của thanh dẫn rôto với từ trường stato, ở trạng thái hãm động năng nó được thay bằng tốc độ tương đối:

$$\omega^* = \frac{\omega}{\omega_0} \quad (2-95)$$

Từ sơ đồ thay thế hình 2-39, ta có đồ thị vectơ dòng điện như hình 2-41.



Hình 2-41: Đồ thị vectơ dòng điện khi HĐN

Từ sơ đồ thay thế ta có:

$$I_2' = \frac{E_2'}{\sqrt{\left(\frac{R_{2\Sigma}'}{\omega^*}\right)^2 + X_2'^2}} = \frac{E_2' \cdot \omega^*}{\sqrt{R_{2\Sigma}'^2 + (X_2' \cdot \omega^*)^2}} \quad (2-96)$$

$$\text{Hay: } I_2' = \frac{I_\mu \cdot X_\mu \cdot \omega^*}{\sqrt{R_{2\Sigma}'^2 + (X_2' \cdot \omega^*)^2}} \quad (2-97)$$

$$\text{Trong đó: } R_{2\Sigma}' = R_2' + R_{2f}'$$

Theo đồ thị vectơ ta có:

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

$$\text{Hay } I_1^2 = I_\mu^2 + I_2'^2 + 2I_\mu \cdot I_2' \sin \varphi_2 \quad (2-98)$$

Trong đó:

$$\sin \varphi_2 = \frac{X_2' \cdot \omega^*}{\sqrt{R_{2\Sigma}'^2 + (X_2' \cdot \omega^*)^2}} \quad (2-99)$$

Thay I_2' và $\sin \varphi_2$ vào (2-98), ta có:

$$I_1^2 = I_\mu^2 + \frac{I_\mu^2 X_\mu^2 \omega^{*2}}{R_{2\Sigma}'^2 + (X_2' \omega^*)^2} + \frac{2I_\mu^2 X_\mu X_2' \omega^{*2}}{R_{2\Sigma}'^2 + (X_2' \omega^*)^2} \quad (2-100)$$

Từ đó rút ra:

$$\omega^* = R_{2\Sigma}' \sqrt{\frac{\left(\frac{I_1}{I_\mu}\right)^2 - 1}{(X_2' + X_\mu)^2 - \left(\frac{I_1}{I_\mu}\right)^2 X_2'^2}} \quad (2-101)$$

Từ các biểu thức (2-98) ÷ (2-100), sau khi biến đổi ta có:

$$I_2' = \frac{I_\mu \cdot X_\mu \cdot \omega^*}{\sqrt{R_{2\Sigma}'^2 + (X_2' + X_\mu')^2 \cdot \omega^{*2}}} \quad (2-102)$$

Tương tự như đã xét ở động cơ ĐK, ta xác định được mômen:

$$M = \frac{3I_2'^2 \frac{R_{2\Sigma}'}{\omega^2}}{\omega_o} \quad (2-103)$$

$$\text{Hay: } M = \frac{3I_2'^2 X_\mu R_{2\Sigma}' \omega^*}{\omega_o [R_{2\Sigma}'^2 + (X_2' + X_\mu')^2 \omega^{*2}]} \quad (2-104)$$

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

$$\omega_{th}^* = \frac{R_{2\Sigma}'}{X_\mu + X_2'} \quad (2-105)$$

$$M_{th.th} = \frac{3I_1^2 X_\mu^2}{2\omega_o (X_\mu + X_2')} \quad (2-106)$$

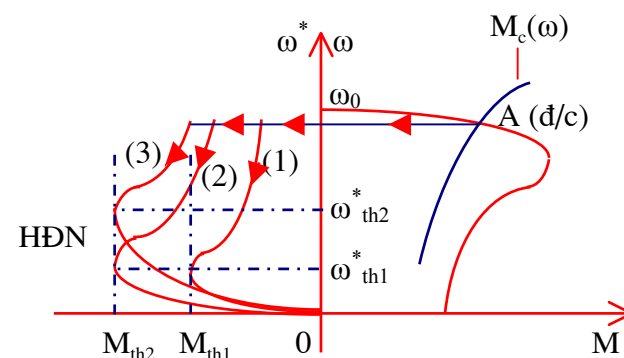
$$\text{Và: } M = \frac{2M_{th.th}}{\frac{\omega^*}{\omega_{th}^*} + \frac{\omega_{th}^*}{\omega^*}} \quad (2-107)$$

Biểu thức (2-107) là phương trình đặc tính cơ của động cơ ĐK khi hãm động năng kích từ độc lập.

Ta thấy rằng, khi thay đổi R_{2f} thì $R_{2\Sigma}'$ thay đổi, nên ω_{th}^* thay đổi, còn $M_{th} = \text{const}$, còn khi thay đổi dòng điện xoay chiều trị I_1 , nghĩa là thay đổi dòng điện một chiều I_{mc} , thì mômen M_{th} thay đổi, còn $\omega_{th}^* = \text{const}$.

Các đường đặc tính hãm động năng được biểu diễn như trên hình 2-42. Trên đó: đường (1) và (2) có cùng điện trở $R_{2\Sigma(1)}' = R_{2\Sigma(2)}'$ nhưng có $M_{th2} > M_{th1}$ nên dòng một chiều tương ứng $I_{mc2} > I_{mc1}$.

Như vậy khi thay đổi nguồn một chiều đưa vào stato động cơ khi hãm động năng thì sẽ thay đổi được mômen tới hạn.



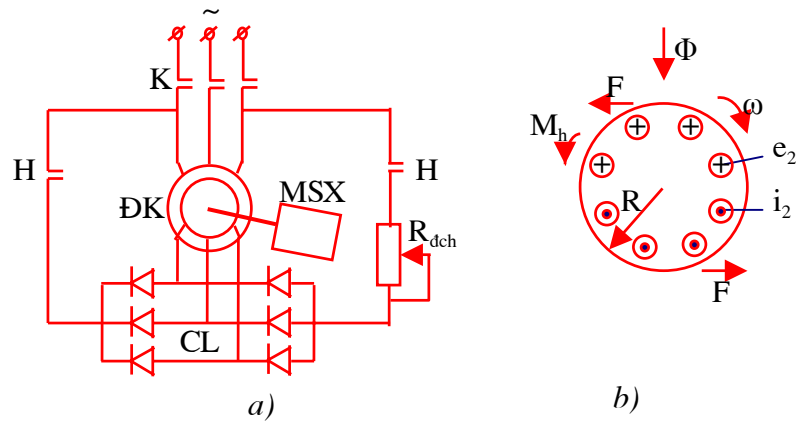
Hình 2-42: *Đặc tính cơ của động cơ ĐK khi HĐN-KTĐL*

Còn đường (2) và (3) thì có cùng dòng điện một chiều nhưng điện trở $R_{2\Sigma(2)}' < R_{2\Sigma(3)}'$.

Như vậy khi thay đổi điện trở phụ trong mạch rôto hoặc dòng điện một chiều trong stato động cơ khi hãm động năng thì sẽ thay đổi được vị trí của đặc tính tính cơ.

b) Hãm động năng tự kích từ:

Động cơ đang hoạt động 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 điện một chiều bên ngoài, mà sử dụng ngay năng lượng của động cơ thông qua bộ chỉnh lưu ở mạch rôto (hình 2-43a) hoặc bộ tụ điện ở mạch stato.



Hình 2-43: a) Sơ đồ nối dây ĐK khi HĐN TKT

b) Sơ đồ nguyên lý tạo mômen hãm HĐN TKT

*** 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 $M_{h,max} = 2,5M_{dm}$ và hiệu quả hãm cao. Số liệu cho trước: Động cơ 11KW; 220V; 953vg/ph, $\lambda = M_{th}/M_{dm} = 3,1$; $\cos\varphi_{dm} = 0,71$; $\cos\varphi_0$ (không tải) = 0,24; $I_{1dm} = 28,4A$; $I_{1,0}$ (không tải) = 19,2A; $R_1 = 0,415\Omega$; $X_1 = 0,465\Omega$; E_{2nm} (điện áp dây) = 200V; $I_{2dm} = 35,4A$; $r_2 = 0,132\Omega$; $X_2 = 0,27\Omega$; và $K_e = 1,84$.

*** Giải:**

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

Tốc độ định mức:

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

Tốc độ từ trường quay: $\omega_0 = 1000/9,55 = 104,7 \text{ rad/s}$

$$\text{Mômen định mức: } M_{dm} = \frac{P_{dm} \cdot 1000}{\omega_{dm}} = \frac{11 \cdot 1000}{99,8} = 110,2 \text{ N.m}$$

$$\text{Độ trượt định mức: } s_{dm} = \frac{\omega_0 - \omega_{dm}}{\omega_0} = \frac{104,7 - 99,8}{104,7} = 0,05$$

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

$$X_\mu = \frac{E_{1,0}}{I_{1,0}} = \frac{212}{19,2} = 11,05 \Omega$$

$$(\text{với: } E_{1,0} = K_e \cdot E_{2nmf} = 1,84 \cdot \frac{200}{\sqrt{3}} = 212 \text{ V})$$

Điện kháng rôto qui đổi về stato:

$$X'_2 = X_2 \cdot K_e^2 = 0,27 \cdot 1,84^2 = 0,92 \Omega$$

Theo yêu cầu của đề bài ta có thể chọn đặc tính hãm động năng có mômen tối hạn là: $M_{th,dn} = M_{h,max} = 2,5M_{dm}$.

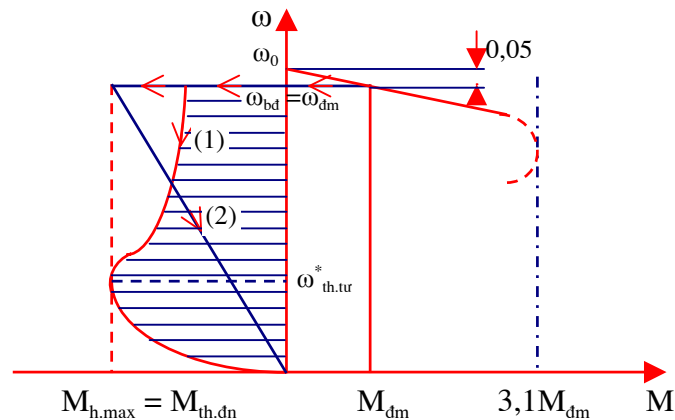
Tốc độ tối hạn ω_{th}^* có thể chọn bằng tốc độ hãm ban đầu:

$$\omega_{th}^* = \omega_{bd}^* = \omega_{dm} / \omega_0$$

Khi đó ta có đặc tính hãm là đường 2 trên hình 2-38. Rõ ràng đặc tính này có hiệu quả hãm thấp vì mômen giảm gần như tuyến tính từ tốc độ ban đầu $\omega_{bd} = \omega_{dm}$ cho đến $\omega = 0$.

Để cho việc hãm có hiệu quả cao, ta 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 trên hình 2-44). 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 tối hạn: $\omega_{th,tu}^* = 0,407$.

Vậy đặc tính cơ hãm động năng được chọn là đường (1) trên hình 2-44.



Hình 2-44: Đặc tính cơ TN và đặc tính cơ hãm DN

Từ biểu thức của mômen tới hạn hãm động năng (biểu thức 2-106) ta rút ra biểu thức tính dòng điện xoay chiều đẳng trị I_1 :

$$I_1 = \sqrt{\frac{M_{th,dn} \cdot 2\omega_0 (X_\mu + X'_2)}{3X_\mu^2}} = \sqrt{\frac{2,5 \cdot 110 \cdot 2,2 \cdot 104,7 \cdot (11,05 + 0,92)}{3 \cdot 11,05^2}} = 43,4 \text{ A}$$

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 trong bảng 2-2, ta có: $A = \sqrt{2}/\sqrt{3} = 0,815$, ta xác định được dòng điện một chiều cần thiết:

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

Từ biểu thức của tốc độ tới hạn (2-74) ta xác định được giá trị điện trở trong mạch rôto khi hãm:

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

Tương ứng với giá trị trước khi qui đổi là:

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

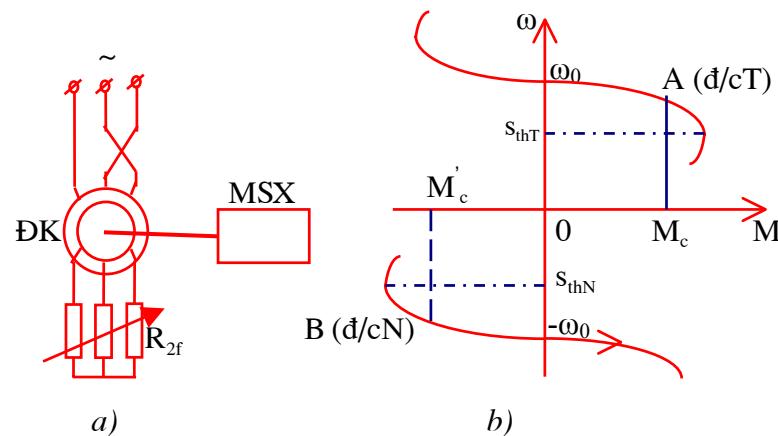
Vậy điện trở phụ cần nối vào mạch rôto là:

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

2.4.5. Đảo chiều động cơ ĐK:

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

$$M = \frac{2M_{th}(1 + as_{th})}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s} + 2as_{th}} \quad (2-108)$$



Hình 2-45: a) Sơ đồ nối dây ĐK khi đảo 2 trong 3 pha stato động cơ ĐK

b) Đặc tính cơ khi làm việc thuận (A) và ngược (B)

Muốn đảo chiều động cơ, ta có thể đảo chiều từ trường stato ($\pm\omega_0$), hay đảo thứ tự pha điện áp (u_1) động cơ ĐK (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 $I_{dch} \leq I_{cp}$.

Khi động cơ ĐK làm việc ở chiều ngược lại thì M_{th} sẽ đảo dấu và $s_{th} > 1$ như hình 2-45:

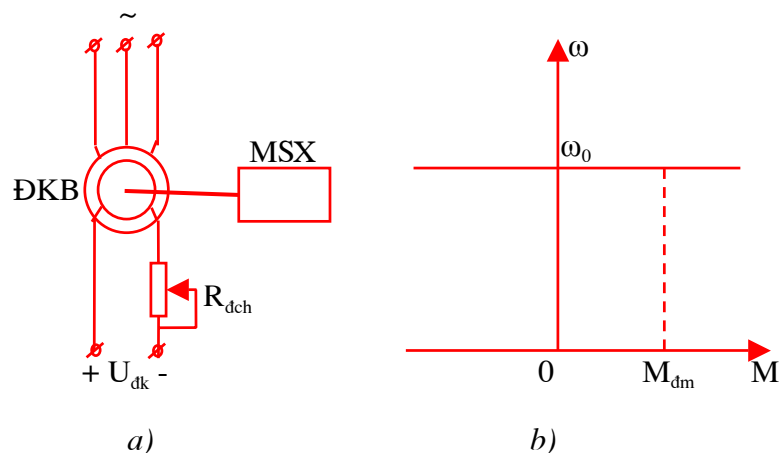
Động cơ quay ngược chiều tương ứng với điểm B trên đặc tính cơ tự nhiên bên ngược, hoặc trên đặc tính cơ nhân tạo ngược.

§ 2.5. ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ (ĐDB)

2.5.1. Đặc tính cơ của động cơ ĐDB:

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:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p} \quad (2-109)$$



Hình 2-46: Sơ đồ nối dây và đặc tính cơ của động cơ ĐDB

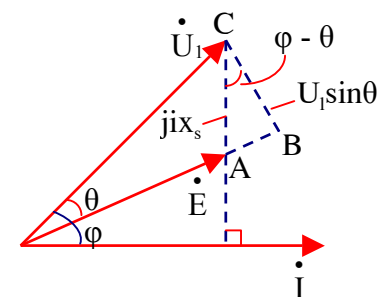
Như vậy đặc tính cơ của động cơ ĐDB này tong phạm vi mômen cho phép $M \leq M_{max}$ là đường thẳng song song với trục hoành, với độ cứng $\beta = \infty$ và được biểu diễn trên hình 2-46.

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.

2.5.2. Đặc tính góc của động cơ ĐDB:

Trong nghiên cứu tính toán hệ truyền động dùng động cơ ĐDB, người ta sử dụng một đặc tính quan trọng là đặc tính góc. Nó là sự phụ thuộc giữa mômen của động cơ với góc lệch vectơ điện áp pha của lưới U_1 và vectơ sức điện động cảm ứng E trong dây quấn stato do từ trường một chiều của rôto sinh ra:

$$M = f(\theta)$$



Hình 2-47: Đồ thị vectơ của mạch stato của động cơ ĐDB

Đặc tính này được xây dựng bằng cách sử dụng đồ thị vectơ của mạch stato vẽ trên hình 2-47 với giả thiết bỏ qua điện trở tác dụng của cuộn dây stato ($r_1 \approx 0$).

Trên đồ thị vectơ hình 2-47:

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.

$X_s = x_\mu + x_l$ - 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_l

(Ω)

Từ đồ thị vectơ ta có:

$$U_1 \cos \varphi = E \cos(\varphi - \theta) \quad (2-110)$$

Từ tam giác ABC tìm được:

$$\cos(\varphi - \theta) = \frac{CB}{CA} = \frac{U_1 \sin \theta}{I x_s} \quad (2-111)$$

Thay (2-110) vào (2-111) ta được:

$$U_1 \cos \varphi = E \frac{U_1 \sin \theta}{I x_s} \quad (2-112)$$

$$\text{Hay: } U_1 I \cos \varphi = \frac{E U_1}{x_s} \sin \theta \quad (2-113)$$

Vế trái của (2-113) là công suất 1 pha của động cơ.

Vậy công suất 3 pha của động cơ:

$$P = 3 \frac{E U_1}{x_s} \sin \theta \quad (2-114)$$

Mômen của động cơ:

$$M = \frac{P}{\omega_0} = \frac{3 E U_1}{\omega_0 x_s} \sin \theta \quad (2-115)$$

(2-115) là phương trình đặc tính góc của động cơ ĐDB. Theo đó ta có đặc tính góc là đường cong hình sin như trên hình 2-48.

Trang 88

Khi $\theta = \pi/2$ ta có biên độ cực đại của hình sin là:

$$M_m = \frac{3 E U_1}{\omega_0 x_s} \quad (2-116)$$

Phương trình (2-115) có thể viết gọn hơn:

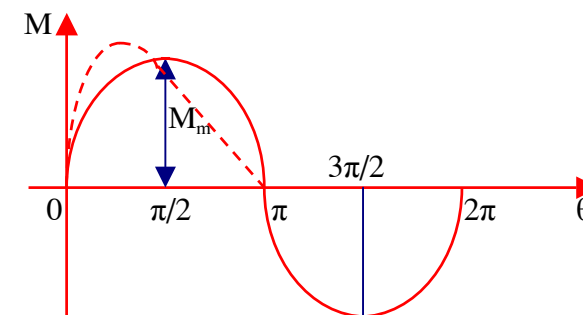
$$M = M_m \sin \theta \quad (2-117)$$

M_m đặc trưng cho khả năng quá tải của động cơ. Khi tải tăng góc lệch pha θ tăng. Nếu tải tăng quá mức $\theta > \frac{\pi}{2}$, 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:

$$\lambda_M = \frac{M_m}{M_{dm}} = 2 \div 2,5$$

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 lộ, 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 2-48.



Hình 2-48: Đặc tính góc của động cơ đồng bộ

CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Có thể biểu diễn phương trình đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ độc lập bằng mấy dạng ? hãy viết các dạng phương trình đó ? Giải thích các đại lượng trong phương trình và cách xác định các đại lượng đó ? Vẽ dạng đặc tính cơ điện và đặc tính cơ ĐM_{dl} ?

2. Đơn vị tương đối là gì ? Đơn vị tương đối của các đại lượng điện, cơ của động cơ ĐM_{dl} được xác định như thế nào ? Viết phương trình đặc tính cơ ở dạng đơn vị tương đối ? Ý nghĩa của việc sử dụng phương trình dạng đơn vị tương đối ?

3. Độ cứng đặc tính cơ của ĐM_{dl} có biểu thức xác định như thế nào ? Giá trị tương đối của nó ? Biểu thị quan hệ giữa độ cứng với sai số tốc độ và điện trở mạch phản ứng (theo đơn vị tương đối). Ý nghĩa của độ cứng đặc tính cơ ?

4. Cách vẽ đặc tính cơ của ĐM_{dl} ? Cách xác định các đại lượng: M_{dm} , ω_{dm} , ω_0 , I_{nm} , M_{nm} , ... để vẽ đường đặc tính này ?

5. Có những thông số nào ảnh hưởng đến dạng đặc tính cơ của ĐM_{dl} ? họ đặc tính cơ nhân tạo khi thay đổi thông số đó ? Sơ đồ nối dây, phương trình đặc tính, dạng của các họ đặc tính nhân tạo, nhận xét về ứng dụng của chúng ?

6. Tại sao khi khởi động ĐM_{dl} thường phải đóng thêm điện trở phụ vào mạch phản ứng động cơ ? Các dòng điện khởi động lớn nhất và nhỏ nhất khi khởi động ĐM_{dl} thường không ở mức nào ? Vẽ các đặc tính cơ khi khởi động ĐM_{dl} với 2 cấp điện trở khởi động ?

7. Động cơ ĐM_{dl} có mấy phương pháp hãm ? Điều kiện để xảy ra các trạng thái hãm đó ? Sơ đồ nối dây động cơ khi thực hiện các trạng thái hãm ? Ứng dụng thực tế của các trạng thái hãm đó ? Giải thích quan hệ về chiều tác dụng của các đại lượng điện và chiều truyền năng lượng trong hệ ở các trạng thái hãm ?

8. Sự khác nhau giữa động cơ một chiều kích từ nối tiếp với ĐM_{dl} về cấu tạo, từ thông, dạng đặc tính cơ, các phương pháp hãm ? Có nhận xét gì về đặc điểm và khả năng ứng dụng của ĐM_{nt} thực tế ?

9. Có thể biểu thị phương trình đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ bằng những biểu thức nào ? Viết các phương trình đó, giải thích các đại lượng và cách xác định các đại lượng đó khi viết phương trình và dạng đặc tính cơ ?

10. Cách vẽ đặc tính cơ tự nhiên theo các số liệu định mức trong catalo: dạng chính xác, dạng gần đúng và dạng tuyến tính hóa ?

11. Biểu thức xác định độ cứng đặc tính cơ ? Biểu thị quan hệ giữa độ cứng đặc tính cơ với độ trượt định mức và điện trở mạch rôto của động cơ ĐK ?

12. Có những thông số nào ảnh hưởng đến dạng đặc tính cơ của động cơ ĐK ? Cách nối dây động cơ ĐK để tạo ra đặc tính cơ nhân tạo khi thay đổi các thông số này ? Dạng các họ đặc tính cơ nhân tạo và ứng dụng thực tế của chúng ?

13. Vẽ các dạng đặc tính cơ khi khởi động động cơ ĐK hai cấp tốc độ ? Khi khởi động động cơ ĐK, các đại lượng: hệ số trượt tới hạn, mômen tới hạn thay đổi như thế nào ? Các biểu thức xác định các đại lượng đó ? Thường mômen khởi động lớn nhất của động cơ ĐK bằng bao nhiêu mômen tới hạn của động cơ ?

14. Động cơ ĐK có mấy trạng thái hãm ? Cách nối dây động cơ để thực hiện các trạng thái hãm và điều kiện để xảy ra hãm ? Giải thích quan hệ năng lượng giữa máy sản xuất (tải của động cơ) và động cơ ở từng trạng thái hãm ? Ứng dụng thực tế của các trạng thái hãm ?

15. Giải thích ý nghĩa của đặc tính cơ và đặc tính góc của động cơ đồng bộ ? Sự phụ thuộc giữa mômen cực đại của động cơ với điện áp lưới ? Mômen cực đại ở đặc tính góc có ý nghĩa như thế nào với đặc tính cơ của động cơ ĐDB ?

CHƯƠNG 3**ĐIỀU CHỈNH CÁC THÔNG SỐ ĐẦU RA CỦA
HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN****§ 3.1. KHÁI NIỆM CHUNG:****3.1.1. Các định nghĩa:**

Hệ thống truyền động điện không chỉ làm nhiệm vụ biến đổi điện năng thành cơ năng, mà còn điều khiển quá trình làm việc của cơ cấu công tác theo yêu cầu công nghệ của máy sản xuất. Yêu cầu công nghệ có thể được đảm bảo nếu hệ có khả năng đặt trước các thông số gia công cho từng công đoạn, duy trì các thông số đó với một độ chính xác nào đó (như tốc độ, mômen, gia tốc, vị trí của cơ cấu công tác ...), cưỡng bức thay đổi các giá trị đó theo ý muốn, hạn chế giá trị của chúng theo mức cho phép của quá trình công nghệ hoặc theo khả năng về độ bền, độ quá tải của máy.

Các thông số gia công nói trên có liên quan đến mômen M và tốc độ ω của động cơ điện, có các mối quan hệ được định nghĩa:

a) Các thông số đầu ra hay còn gọi là thông số được điều chỉnh:

Đó là mômen (M), tốc độ (ω) của động cơ, ...

Do M và ω là 2 trục của mặt phẳng tọa độ đặc tính cơ $[M, \omega]$, nên việc điều chỉnh chúng thường gọi là “*điều chỉnh tọa độ*”.

b) Các thông số đầu vào hay còn gọi là thông số điều chỉnh:

+ Đối với động cơ điện một chiều, thông số đầu vào là điện trở phản ứng R_u (hoặc R_{uf}), từ thông Φ (hoặc điện áp kích từ U_{kt} ; dòng điện kích từ I_{kt}) và điện áp phản ứng U_u .

+ Đối với động cơ điện không đồng bộ, thông số đầu vào là điện trở mạch rôto R_2 (hoặc R_{2f}), điện trở mạch stato R_1 , điện kháng stato x_1 , điện áp stato u_1 và tần số của dòng điện stato f_1 .

+ Đối với động cơ điện đồng bộ, thông số đầu vào là tần số của dòng điện stato f_1 .

c) Các phân tử điều khiển:

Là các thiết bị hoặc dụng cụ làm thay đổi các thông số đầu vào.

Chú ý, người ta thường gọi việc điều chỉnh các thông số đầu ra là “*điều khiển động cơ điện*”.

3.1.2. Mục đích điều chỉnh các thông số đầu ra của động cơ:

Tùy theo yêu cầu công nghệ của máy sản xuất, việc điều chỉnh M, ω nhằm thực hiện các mục đích sau:

+ Đặt giá trị làm việc và duy trì mức đạt đó, ví dụ duy trì tốc độ làm việc khi phụ tải thay đổi ngẫu nhiên.

+ Thay đổi thông số theo quy luật yêu cầu, ví dụ trong thời gian khởi động và tăng tốc động cơ thang máy từ 0 lên đến tốc độ ổn định, mômen lúc đầu phải tăng tuyến tính theo thời gian, sau đó giữ không đổi, và cuối cùng giảm tuyến tính cho đến khi $M = M_c$.

+ Hạn chế thông số ở một mức độ cho phép, ví dụ hạn chế dòng điện khởi động $I_{kd} \leq I_{cp}$.

+ Tạo ra một quy luật chuyển động cho cơ cấu công tác (tức cho trục động cơ) theo quy luật cho trước ở đầu vào với một độ chính xác nào đó.

3.1.3. Điều chỉnh không tự động và điều chỉnh tự động:**a) Điều chỉnh không tự động:**

Là việc thay đổi thông số đầu ra bằng cách tác động lên thông số đầu vào một cách rời rạc. Mỗi lần tác động ta có một giá trị không đổi của thông số đầu vào và tương ứng ta được một đường đặc tính cơ (nhân tạo). Khi động cơ làm việc, các nhiễu loạn (như phụ tải thay đổi, điện áp nguồn dao động, ...) sẽ tác động vào hệ, nhưng thông số đầu vào vẫn giữ không đổi nên điểm làm việc của động cơ chỉ di chuyển trên một đường đặc tính cơ.

Người ta gọi dạng điều chỉnh này là “*điều chỉnh bằng tay*” hay “*điều chỉnh không tự động*” hoặc “*điều chỉnh vòng hở*”. Phương pháp điều chỉnh này đơn giản nên vẫn được dùng trong các hệ truyền động điện hiện đại, tuy nhiên nó không đảm bảo được các yêu cầu cao về chế độ công nghệ.

b) Điều chỉnh tự động:

Được thực hiện nhờ sự thay đổi liên tục của thông số đầu vào theo mức độ sai lệch của thông số đầu ra so với giá trị định trước, nhằm khắc phục độ sai lệch đó. Như vậy khi có tác động của nhiễu làm ảnh hưởng đến thông số đầu ra, thì thông số đầu vào sẽ thay đổi và động cơ sẽ có một đường đặc tính cơ khác, điểm làm việc của động cơ sẽ dịch chuyển từ đường đặc tính nhân tạo này sang đặc tính nhân đạo khác và vạch ra một đường đặc tính cơ của hệ điều chỉnh tự động.

Vì vậy có thể định nghĩa: “*đặc tính cơ của hệ điều chỉnh tự động là quỹ tích của các điểm làm việc của động cơ trên vô số các đặc tính cơ của hệ điều chỉnh vòng hở*”. Hay còn gọi là “*quỹ đạo pha trên tọa độ đặc tính cơ*”.

Việc thay đổi tự động thông số đầu vào được thực hiện nhờ mạch phản hồi, mạch này lấy tín hiệu từ thông số đầu ra hoặc một thông số nào đó liên quan đến đầu ra, đưa trở lại gây tác động lên thông số đầu vào, tạo thành một hệ có liên hệ kín giữa đầu ra và đầu vào. Vì vậy người ta gọi hệ này là hệ “*điều chỉnh vòng kín*”. Hệ điều chỉnh tự động tuy phức tạp nhưng đảm bảo các chỉ tiêu chất lượng cao.

c) Nhiễu của các thông số đầu ra:

Đối với các hệ truyền động và động cơ điện, có hai thông số đầu ra chủ yếu là mômen và tốc độ. Có nhiều loại nhiễu gây tác động lên các thông số này như điện áp nguồn, tần số lưới điện, nhiệt độ môi trường, hệ số tự cảm của cuộn dây, ... nhưng ta quan tâm đến các tác động nhiễu loạn chủ yếu.

Khi điều chỉnh tốc độ, thông số được điều chỉnh là ω , thông số điều chỉnh là một trong các thông số tạo ra đặc tính nhân tạo, còn chủ yếu là phụ tải biểu thị bằng mômen cản M_c , hoặc dòng tải I_c .

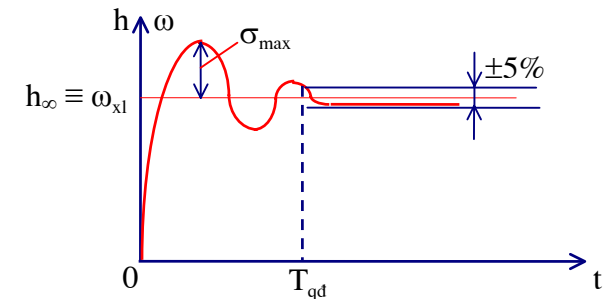
Trang 94

Ngược lại, khi điều chỉnh mômen hoặc dòng điện, thông số được điều chỉnh là M hoặc I , thì nhiễu loạn chủ yếu lại là tốc độ ω . Sự ảnh hưởng qua lại giữa hai đại lượng M và ω được thể hiện bằng đường đặc tính cơ và phương trình của nó.

§ 3.2. CÁC CHỈ TIÊU CHẤT LƯỢNG:

3.2.1. Chỉ tiêu chất lượng động (chế độ quá độ):

- * Độ quá điều chỉnh $\sigma_{\max}$ ($\sigma_{\max} \leq 40\%$ hoặc có thể nhỏ hơn).
- * Thời gian quá độ T_{qd} (T_{qd} càng nhỏ càng tốt).
- * số lần dao động n ($n = 2 \div 3$ là tốt).



Hình 3-1: *Đặc tính quá độ*

3.2.2. Chỉ tiêu chất lượng tĩnh (chế độ xác lập):

3.2.2.1. Sai số tĩnh tốc độ $s\%$:

Là đại lượng đặc trưng cho sự chính xác duy trì tốc độ đặt (ω_d):

$$s\% = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot 100\% = \Delta\omega_c^* \% = \frac{1}{\beta^*} \quad (3-1)$$

ω - tốc độ làm việc thực của động cơ.

ω_0 - tốc độ không tải của động cơ.

$\Delta\omega_c$ - độ sụt tốc độ khi mômen tải thay đổi $M_c = 0 \rightarrow M_{dm}$.

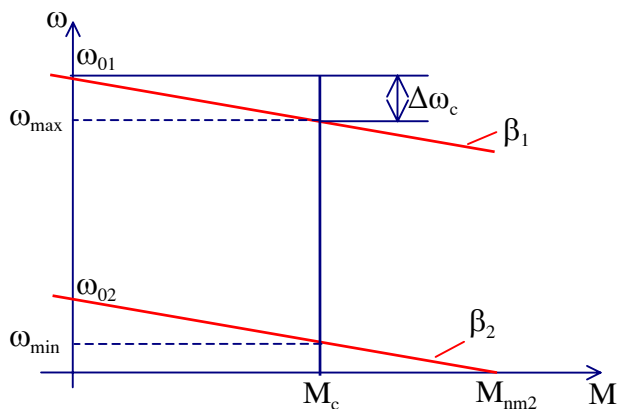
Sai số này càng nhỏ, điều chỉnh càng chính xác, và lí tưởng ta có hệ điều chỉnh tuyệt đối chính xác khi $S\% = 0$. Thực tế người ta phải thiết kế các hệ truyền động điều chỉnh có độ chính xác đáp ứng yêu cầu công nghệ của máy sản xuất, như truyền động chính của máy cắt gọt kim loại yêu cầu $S\% \leq 10\%$, truyền động ăn dao : $S\% \leq 5\%$, ...

3.2.2.2. Phạm vi điều chỉnh tốc độ D :

$$D = \frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}} \quad (3-2)$$

D càng lớn càng tốt. Tuy nhiên, giá trị $\omega_{\max}$ bị hạn chế bởi độ bền cơ học của động cơ, bởi điều kiện chuyển mạch. Tốc độ $\omega_{\min}$ bị chặn bởi yêu cầu về mômen khởi động, về khả năng quá tải và về sai số tốc độ làm việc cho phép.

* Ví dụ trên hình 3-2:



Hình 3-2: Xác định phạm vi điều chỉnh

Cũng có trường hợp phối hợp hai phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ bằng điện như: thay đổi điện áp phân ứng động cơ một chiều sẽ điều chỉnh tốc độ từ $\omega_{\min}$ đến ω_{dm} , và phương pháp thay đổi từ thông kích từ thì điều chỉnh tốc độ từ ω_{dm} đến $\omega_{\max}$.

Khi đó ta có “hệ điều chỉnh hai vùng tốc độ” và đạt được dải điều chỉnh rộng:

$$D = \frac{\omega_{dm}}{\omega_{\min}} \cdot \frac{\omega_{\max}}{\omega_{dm}} = D_U \cdot D_\Phi \quad (3-3)$$

Giả thiết các đặc tính cơ là tuyến tính, có độ cứng không đổi β_1 và $\beta_2 = \beta_1$, mômen tải không đổi M_c , sai số tốc độ tương ứng sẽ là:

$$s_1 \% = \frac{M_c}{\omega_{01} \cdot \beta_1} \cdot 100\%; \quad s_2 \% = \frac{M_c}{\omega_{02} \cdot \beta_2} \cdot 100\% \quad (3-4)$$

Nếu gọi bội số mômen khởi động là $K_{nm2} = M_{nm2}/M_c$ thì:

$$s_2 \% = \frac{1}{K_{nm2}} \cdot 100\%; \quad \text{hay } s_2 \% = \left(1 - \frac{\omega_{\min}}{\omega_{02}}\right) \cdot 100\% \quad (3-5)$$

$$\Rightarrow \omega_{\min} = (1 - s_2) \cdot \frac{M_c \cdot K_{nm2}}{\beta_2} \quad (3-6)$$

Qua (3-6) ta thấy được quan hệ giữa D , $s\%$, β và K_{nm} .

Theo khả năng quá tải, ta có thể xác định phạm vi điều chỉnh:

$$D = \frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}} = \frac{(\beta_{tn}^* - 1)}{(\beta_{\min}^* - 1)} \cdot \frac{\beta_{\min}^*}{\beta_{tn}^*} \quad (3-7)$$

Trong đó: $\beta_{\min} = K_{qt} \cdot M_{dm} / \omega_0$; $\beta_{\min}^* = K_{qt}$; $K_{qt} = M_{nm.min} / M_{dm}$

3.2.3. Độ trơn điều chỉnh tốc độ φ :

Là sự chênh lệch giữa 2 cấp tốc độ liên nhau:

$$\varphi = \frac{\omega_{i+1}}{\omega_i} \quad (3-8)$$

Trong đó: ω_i - là tốc độ ổn định đạt được ở cấp i .

ω_{i+1} - là tốc độ ổn định đạt được ở cấp kế tiếp $(i+1)$.

Hệ số φ càng nhỏ càng tốt, lý tưởng là $\varphi \rightarrow 1$: đó là hệ điều chỉnh vô cấp. Còn hệ điều chỉnh có cấp nếu: $\varphi \neq 1$.

3.2.4. Sự phù hợp giữa đặc tính điều chỉnh và đặc tính tải:

Với các động cơ thì chế độ làm việc tối ưu thường là chế độ định mức của động cơ. Để sử dụng tốt động cơ khi điều chỉnh tốc độ cần lưu ý đến các chỉ tiêu như: dòng điện động cơ không vượt quá dòng định mức của nó, đảm bảo khả năng quá tải về mômen (trong khoảng thời gian ngắn), đảm bảo yêu cầu về ổn định tĩnh khi có nhiễu v.v... trong toàn dải điều chỉnh.

Vì vậy khi thiết kế hệ truyền động có điều chỉnh tốc độ, người ta thường chọn hệ truyền động cũng như phương pháp điều chỉnh, sao cho đặc tính điều chỉnh của hệ bám sát yêu cầu đặc tính của tải. Nếu đảm bảo được điều kiện này thì tổn thất trong quá trình điều chỉnh sẽ nhỏ nhất.

3.2.5. Chỉ tiêu kinh tế:

Nhiều trường hợp, chỉ tiêu kinh tế là chỉ tiêu quyết định sự lựa chọn phương án truyền động. Hệ truyền động điện điều chỉnh tốc độ cần đạt có vốn đầu tư thấp, giá thành hạ, chi phí vận hành, bảo quản, sửa chữa ít, đặc biệt là tổn thất năng lượng khi điều chỉnh và vận hành nhỏ. Năng suất của máy sản xuất do hệ điều chỉnh mang lại.

Tổn thất năng lượng bao gồm tổn thất nhiệt và tổn thất cơ:

$$\Delta W = \Delta W_j + \Delta W_{c,t}$$

$$= \int_{\omega_1}^{\omega_2} J_{\Sigma} \cdot (\omega_0 - \omega) d\omega + \int_{t_1}^{t_2} M_c \cdot (\omega_0 - \omega) dt \quad (3-9)$$

Việc tính toán cụ thể các chỉ tiêu liên quan nêu trên sẽ cho thấy hiệu quả kinh tế, thời gian hoàn vốn và lợi ích nhờ việc sử dụng hệ điều chỉnh đã chọn. Thường người ta căn cứ các chỉ tiêu kỹ thuật để đề xuất vài phương án điều chỉnh, sau đó tính toán kinh tế để so sánh hiệu quả và quyết định chọn hệ thống hoặc phương pháp điều chỉnh thông số đầu ra của động cơ.

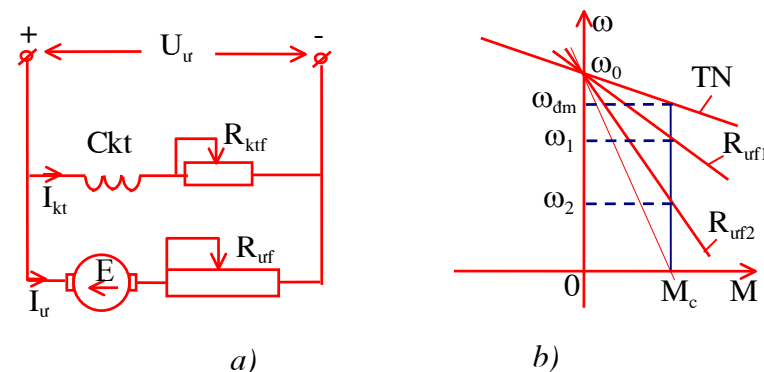
§ 3.3. CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU BẰNG THAY ĐỔI THÔNG SỐ:

3.3.1. Phương pháp điều chỉnh tốc độ ΔM_{dl} bằng cách thay đổi điện trở phụ trong mạch phản ứng:

Từ phương trình đặc tính cơ tổng quát:

$$\omega = \frac{U_r}{K\phi} - \frac{R_r + R_{rf}}{(K\phi)^2} M \quad (3-10)$$

Ta thấy rằng khi thay đổi R_{rf} thì $\omega_0 = \text{const}$ còn $\Delta\omega$ thay đổi, vì vậy ta sẽ được các đường đặc tính điều chỉnh có cùng ω_0 và dốc dần khi R_{rf} càng lớn, với tải như nhau thì tốc độ càng thấp (hình 3-3):



Hình 3-3: a) Sơ đồ điều chỉnh tốc độ ΔM_{dl} bằng cách thay đổi R_{rf} .
b) Đặc tính điều chỉnh tốc độ ΔM_{dl} bằng cách thay đổi R_{rf} .

Như vậy: $0 < R_{rf1} < R_{rf2} < \dots$ thì $\omega_{dm} > \omega_1 > \omega_2 > \dots$, nhưng nếu ta tăng R_{rf} đến một giá trị nào đó thì sẽ làm cho $M \leq M_c$ và như thế động cơ sẽ không quay được và động cơ làm việc ở chế độ ngắn mạch, $\omega = 0$. Từ lúc này, ta có thay đổi R_{rf} thì tốc độ vẫn bằng không, nghĩa là không điều chỉnh tốc độ động cơ được nữa, do đó phương pháp điều chỉnh này là phương pháp điều chỉnh không triệt để.

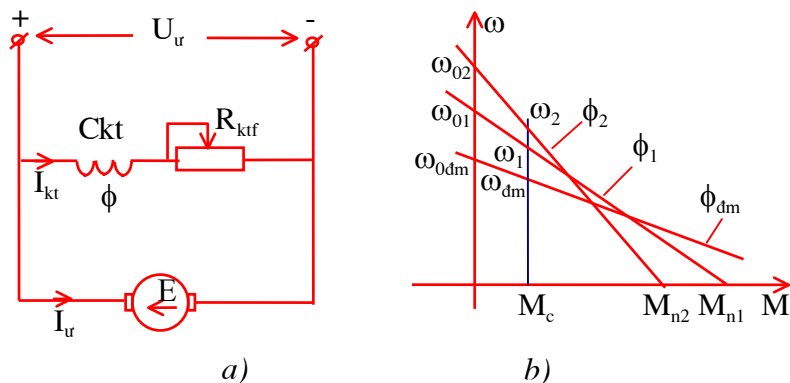
3.3.2. Phương pháp điều chỉnh tốc độ $\dot{M}_{dl}$ bằng cách thay đổi từ thông kích từ của động cơ:

Từ phương trình đặc tính cơ tổng quát:

$$\omega = \frac{U_r}{K\phi} - \frac{R_{\Sigma}}{(K\phi)^2} M \quad (3-11)$$

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

Ta thấy rằng khi thay đổi ϕ thì ω_0 và $\Delta\omega$ đều thay đổi, vì vậy ta sẽ được các đường đặc tính điều chỉnh dốc dần (độ cứng β càng giảm) và cao hơn đặc tính cơ tự nhiên khi ϕ càng nhỏ, với tải như nhau thì tốc độ càng cao khi giảm từ thông ϕ (hình 3-4):



Hình 3-4:

- a) Sơ đồ điều chỉnh tốc độ $\dot{M}_{dl}$ bằng cách thay đổi ϕ .
b) Đặc tính điều chỉnh tốc độ $\dot{M}_{dl}$ bằng cách thay đổi ϕ .

Như vậy: $\phi_{dm} > \phi_1 > \phi_2 > \dots$ thì $\omega_{dm} < \omega_1 < \omega_2 < \dots$, nhưng nếu giảm ϕ quá nhỏ thì có thể làm cho tốc độ động cơ lớn quá giới hạn cho phép, hoặc làm cho điều kiện chuyển mạch bị xấu đi do dòng phản ứng tăng cao, hoặc để đảm bảo chuyển mạch bình thường thì cần phải giảm dòng phản ứng và như vậy sẽ làm cho mômen cho phép trên trục động cơ giảm nhanh, dẫn đến động cơ bị quá tải.

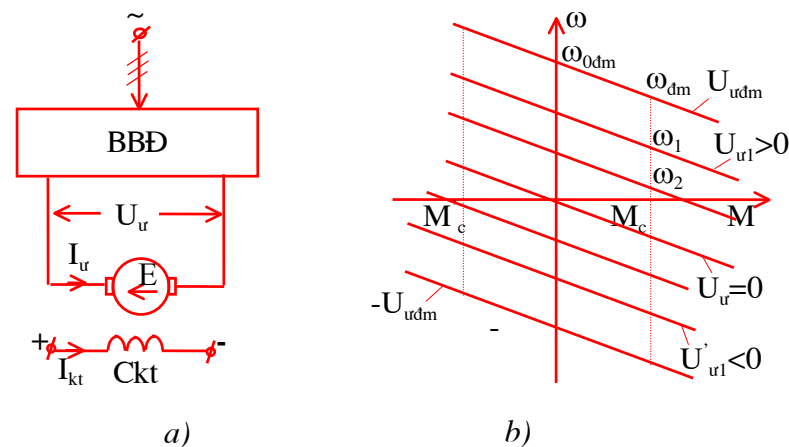
3.3.3. Phương pháp điều chỉnh tốc độ $\dot{M}_{dl}$ bằng cách thay đổi điện áp phản ứng của động cơ:

Từ phương trình đặc tính cơ tổng quát:

$$\omega = \frac{U_r}{K\phi} - \frac{R_{\Sigma}}{(K\phi)^2} M \quad (3-12)$$

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

Ta thấy rằng khi thay đổi U_r thì ω_0 thay đổi còn $\Delta\omega = \text{const}$, vì vậy ta sẽ được các đường đặc tính điều chỉnh song song với nhau. Nhưng muốn thay đổi U_r thì phải có bộ nguồn một chiều thay đổi được điện áp ra, thường dùng các bộ biến đổi (hình 3-5):



Hình 3-5: a) Sơ đồ điều chỉnh tốc độ $\dot{M}_{dl}$ bằng cách thay đổi U_r .
b) Đặc tính điều chỉnh tốc độ $\dot{M}_{dl}$ bằng cách thay đổi U_r .

Các bộ biến đổi có thể là: *Bộ biến đổi máy điện*: dùng máy phát điện một chiều (F), máy điện khuếch đại (MĐKĐ); *Bộ biến đổi từ: khuếch đại từ (KĐT) một pha, ba pha*; *Bộ biến đổi điện tử - bán dẫn*: các bộ chỉnh lưu (CL) dùng tiristor, các bộ băm điện áp (BĐA) dùng tiristor, transistor, ...

*** Ví dụ 3-1:**

Cho ĐM_{dl} có các thông số:

$$P_{dm} = 29KW; U_{dm} = 220V; I_{dm} = 151A; n_{dm} = 1000\text{vg/ph};$$

$$R_r = 0,07\Omega; \text{ và hệ số quá tải } K_{qt} = 2.$$

Hãy xác định tốc độ cực tiểu và dải điều chỉnh theo khả năng quá tải yêu cầu ?

*** Giải:**

Điện trở định mức của động cơ:

$$R_{dm} = U_{dm} / I_{dm} = 220V / 151A = 1,45\Omega$$

Giá trị tương đương của điện trở phần ứng:

$$R_r^* = R_r / R_{dm} = 0,07\Omega / 1,45\Omega = 0,048$$

Độ cứng đặc tính cơ tự nhiên: $\beta_{tn}^* = 1/R_r^* = 20,8$

Độ cứng đặc tính cơ thấp nhất: $\beta_{min}^* = K_{qt} = 2$

Giá trị tương đối của tốc độ cực đại (tức tốc độ định mức của động cơ) sẽ là:

$$\begin{aligned} n_{max}^* = \omega_{max}^* &= \frac{\omega_{dm}}{\omega_0} = \frac{n_{dm}}{n_0} = 1 - \frac{1}{\beta^*} = 1 - R_r^* \\ &= 1 - 0,048 = 0,952 \end{aligned}$$

Tốc độ không tải lý tưởng:

$$n_0 = \frac{n_{dm}}{n_{dm}^*} = \frac{1000\text{vg/ph}}{0,952} = 1050\text{vg/ph}$$

Giá trị tương đối của tốc độ cực tiểu:

$$n_{min}^* = \omega_{min}^* = 1 - \frac{1}{\beta_{min}^*} = 1 - \frac{1}{2} = 0,5$$

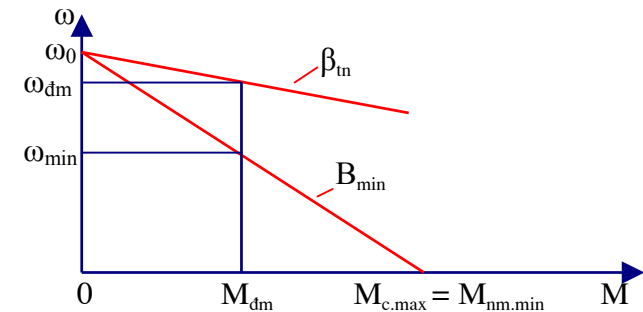
Vậy tốc độ quay cực tiểu của động cơ là:

$$n_{min} = n_{min}^* . n_0 = 0,5 . 1050\text{vg/ph} = 525\text{vg/ph}$$

Từ giá trị của tốc độ cực đại và tốc độ cực tiểu, ta rút ra phạm vi điều chỉnh tốc độ:

$$D = \frac{n_{max}}{n_{min}} = \frac{1000}{525} = 1,9$$

Từ biểu thức (3-7) thay $\beta_{min}^* = K_{qt} = 2$; $\beta_{tn}^* = 20,8$; ta cũng được kết quả $D = 1,9$.



Hình 3-6: Sơ đồ giải thích về phạm vi điều chỉnh tốc độ theo khả năng quá tải yêu cầu

Qua ví dụ trên ta thấy phạm vi điều chỉnh như vậy là rất hẹp.

Tuy nhiên, nếu xét theo yêu cầu về sai số tốc độ cho phép thì dải điều chỉnh còn hẹp hơn nữa hoặc thậm chí còn không thể điều chỉnh được tốc độ. Thực vậy, ta biết:

$$s\% = \Delta\omega_c^* = R_{r\Sigma}^*$$

$$\omega_{min} = \omega_0 - \omega_{c,cp}; \text{ và } \omega_{min}^* = 1 - s\% = 1 - R_{r\Sigma}^*$$

Nếu $s\%_{cp} = 10\%$ thì $D = 1,05 \approx 1$, nghĩa là hầu như không thể điều chỉnh được.

§ 3.4. CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BẰNG THAY ĐỔI THÔNG SỐ:

3.4.1. Vấn đề điều chỉnh tốc độ động cơ ĐK:

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

Sử dụng trực tiếp lưới điện xoay chiều 3 pha...

Tuy nhiên, việc điều chỉnh tốc độ và khống chế các quá trình quá độ khó khăn hơn, các động cơ ĐK lồng sóc có các chỉ tiêu khởi động xấu, (dòng khởi động lớn, mômen khởi động nhỏ).

Trong thời gian gần đây, do phát triển công nghệ chế tạo bán dẫn công suất và kỹ thuật điện tử tin học, động cơ ĐK mới được khai thác các ưu điểm của chúng. Nó trở thành hệ truyền động cạnh tranh có hiệu quả so với hệ Tiristor - Động cơ điện một chiều.

Qua phương trình đặc tính cơ của động cơ ĐK:

$$M = \frac{2M_{th}(I + as_{th})}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s} + 2as_{th}} \quad (3-13)$$

$$\text{Trong đó: } s_{th} = \pm \frac{R'_{2\Sigma}}{\sqrt{R_1^2 + X_{nm}^2}} \quad (3-14)$$

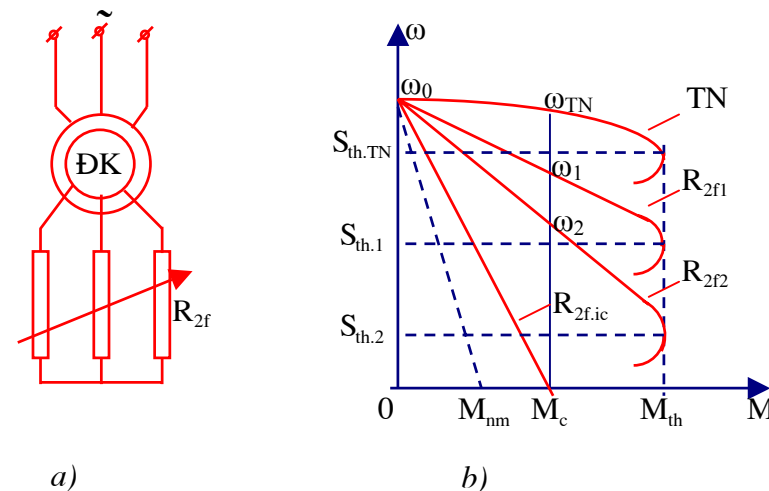
$$\text{Và: } M_{th} = \pm \frac{3.U_{lf}^2}{2\omega_o \cdot (R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_{nm}^2})} \quad (3-15)$$

$$s_{th} = \pm \frac{R'_{2\Sigma}}{\sqrt{R_1^2 + X_{nm}^2}} \quad (3-16)$$

Qua biểu thức (3-13), (3-14), (3-15), (3-16) ta thấy rằng khi thay đổi các thông số *điện trở, điện kháng, điện áp, tần số, số đôi cực* thì sẽ thay đổi được s_{th} , M_{th} và sẽ điều chỉnh được tốc độ của động cơ ĐK.

3.4.2. Điều chỉnh tốc độ động cơ ĐK bằng cách thay đổi điện trở phụ mạch rôto (R_{2f}):

Qua các biểu thức (3-14), (3-15), khi thay đổi điện trở phụ trong mạch rôto động cơ ĐK sẽ làm cho s_{th} thay đổi tỷ lệ còn M_{th} thì không thay đổi, vì vậy sẽ thay đổi được tốc độ ω của động cơ ĐK như trên hình 3-6:



Hình 3-6: a) Sơ đồ điều chỉnh tốc độ.

b) Các đặc tính điều chỉnh tốc độ động cơ ĐK

* Nguyên lý điều chỉnh: khi thay đổi R_{2f} với các giá trị khác nhau, thì s_{th} sẽ thay đổi tỷ lệ, còn $M_{th} = \text{const}$, ta sẽ được một họ đặc tính cơ có chung ω_o , M_{th} , có tốc độ khác nhau và có các tốc độ làm việc xác lập tương ứng.

Qua hình 3-6, ta có: $M_{th} = \text{const}$

$$\begin{aligned} \text{Và: } 0 < R_{2f1} < R_{2f2} < \dots < R_{2f,ic} < \dots \\ S_{th,TN} < s_{th1} < s_{th2} < \dots < s_{th,ic} < \dots \\ \Delta\omega_{TN} < \Delta\omega_1 < \Delta\omega_2 < \dots < \Delta\omega_{ic} < \dots \\ \omega_{TN} > \omega_1 > \omega_2 > \dots > \omega_{ic} > \dots \end{aligned}$$

Như vậy, khi cho R_{2f} càng lớn để điều chỉnh tốc độ càng nhỏ, thì độ cứng đặc tính cơ càng dốc, sai số tĩnh càng lớn, tốc độ làm việc càng kém ổn định, thậm chí khi $R_{2f} = R_{2f,ic}$, dẫn đến $M_n = M_c$ cho động cơ không quay được ($\omega = 0$).

Và khi thay đổi các giá trị $R_{2f,i} > R_{2f,ic}$ thì tốc độ động cơ vẫn bằng không ($\omega = 0$), nghĩa là không điều chỉnh được tốc độ, hay còn gọi là *điều chỉnh không triệt để*.

* *Các chỉ tiêu chất lượng của phương pháp:*

Phương pháp này có sai số tĩnh lớn, nhất là khi điều chỉnh càng sâu thì $s\%$ càng lớn, có thể $s\% > s\%_{cp}$.

Phạm vi điều chỉnh hẹp (thường $D = 2 \div 3$).

Độ tinh khi điều chỉnh: $\varphi \neq 1$ (điều chỉnh có cấp).

Vùng điều chỉnh dưới tốc độ định mức ($\omega < \omega_{dm}$).

Phù hợp với phụ tải thế năng, vì khi điều chỉnh mà giữ dòng điện rôto không đổi thì mômen cũng không đổi ($M \sim M_c$).

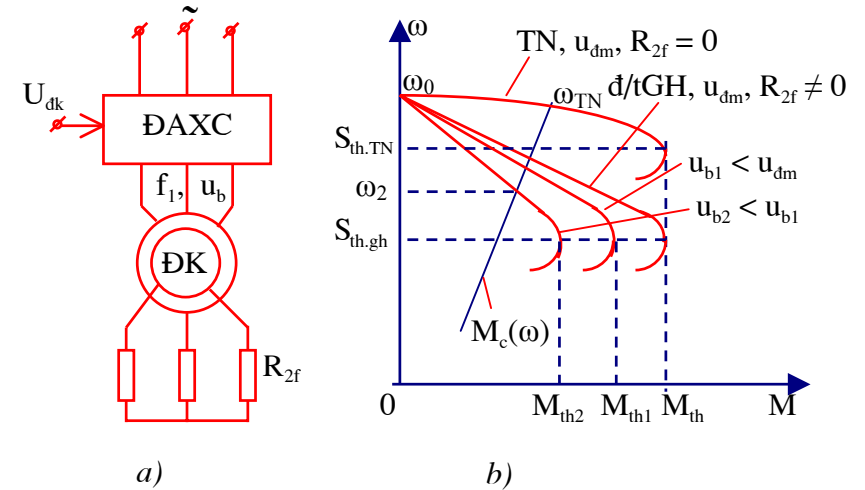
* *Ưu:* Phương pháp thay đổi điện trở phụ mạch rôto để điều chỉnh tốc độ động cơ ĐK như trên có ưu điểm là đơn giản, rẻ tiền, dễ điều chỉnh tốc độ động cơ. Hay dùng điều chỉnh tốc độ cho các phụ tải dạng thế năng ($M_c = \text{const}$).

* *Nhược điểm:* Tuy nhiên, phương pháp này cũng có nhược điểm là điều chỉnh không triệt để; khi điều chỉnh càng sâu thì sai số tĩnh càng lớn; phạm vi điều chỉnh hẹp, điều chỉnh trong mạch rôto, dòng rôto lớn nên phải thay đổi từng cấp điện trở phụ, công suất điều chỉnh lớn, tổn hao năng lượng trong quá trình điều chỉnh lớn.

Mặc dù vậy, phương pháp này thường được áp dụng cho điều chỉnh tốc độ các động cơ ĐK truyền động cho các máy nâng - vận chuyển có yêu cầu điều chỉnh tốc độ không cao. Muốn nâng cao các chỉ tiêu chất lượng thì dùng phương pháp “xung điện trở”.

3.4.3. Điều chỉnh tốc độ ĐK bằng cách thay đổi điện áp stato (u_s):

Mômen động cơ ĐK tỉ lệ với bình phương điện áp stato, nên có thể điều chỉnh mômen và tốc độ động cơ ĐK bằng cách thay đổi điện áp stato và giữ tần số không đổi nhờ bộ biến đổi điện áp xoay chiều (ĐAXC) như hình 3-7:



Hình 3-7: a) Sơ đồ điều chỉnh tốc độ đ/c ĐK bằng u_{stato} .
b) Các đặc tính điều chỉnh bằng u_{stato} đ/c ĐK

Nếu coi bộ ĐAXC là nguồn lí tưởng ($Z_b = 0$), khi $u_b \neq u_{dm}$ thì mômen tới hạn $M_{th,u}$ tỉ lệ với bình phương điện áp, còn $s_{th,u} = \text{const}$:

$$\left. \begin{aligned} M_{th,u} &= M_{th,gh} \left(\frac{u_b}{u_1} \right)^2 = M_{th} \cdot u_b^{*2} \\ s_{th,u} &= s_{th,gh} = \text{const} \end{aligned} \right\} \quad (3-17)$$

Để cải thiện dạng đặc tính điều chỉnh và giảm bớt mức phát nóng của động cơ, người ta mắc thêm điện trở R_{2f} (hình 3-7). Khi đó, nếu điện áp đặt vào stato là định mức ($u_b = u_1$) thì ta được đặc tính mềm hơn đặc tính tự nhiên, gọi là đặc tính giới hạn.

$$\text{Rõ ràng là: } s_{th,gh} = s_{th} \frac{R_2 + R_{2f}}{R_2}; \quad M_{th,gh} = M_{th} \quad (3-18)$$

Trong đó: $M_{th,gh}$, $s_{th,gh}$ là mômen và hệ số trượt tới hạn của đặc tính giới hạn (đ/tGH).

M_{th} , s_{th} là mômen và hệ số trượt tới hạn của đặc tính tự nhiên.

Dựa vào đặc tính giới hạn $M_{gh}(s)$, và nếu $\omega = \text{const}$, ta suy ra đặc tính điều chỉnh ứng với giá trị u_b cho trước nhờ quan hệ:

$$M_u^* = u_b^{*2}; \quad M_u^* = \frac{M_u}{M_{gh}} \quad (3-19)$$

Đặc tính điều chỉnh trong trường hợp này như hình 3-7b.

Phương pháp điều chỉnh điện áp chỉ thích hợp với truyền động mà mômen tải là hàm tăng theo tốc độ như: máy bơm, quạt gió, ... Có thể dùng máy biến áp tự ngẫu, điện kháng, hoặc bộ biến đổi bán dẫn làm bộ ĐAXC cho động cơ ĐK.

3.4.4. Điều chỉnh tốc độ ĐK bằng cách thay đổi số đôi cực (p):

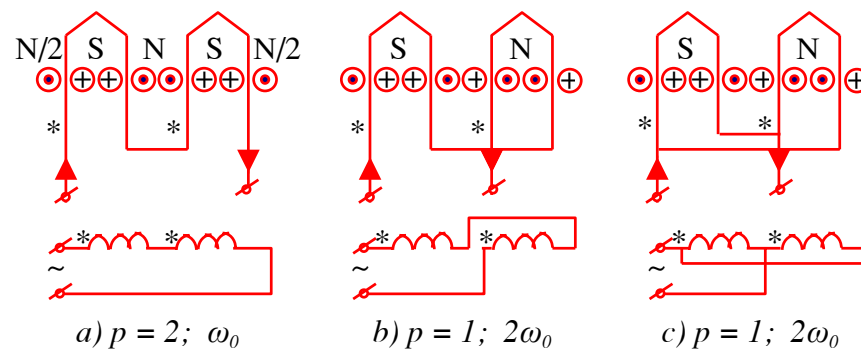
Theo quan hệ:

$$\omega = \omega_0(1-s) = \frac{2pf_1(1-s)}{p} \quad (3-20)$$

Trong đó: f_1 là tần số lưới điện, p là số đôi cực.

Vậy, thay đổi số đôi cực p , sẽ điều chỉnh được ω_0 và sẽ điều chỉnh được ω . Để có thể thay đổi được số đôi cực p , người ta phải chế tạo những động cơ ĐK đặc biệt, có các tổ dây quấn stato khác nhau để tạo ra được p khác nhau, gọi là *máy đa tốc*.

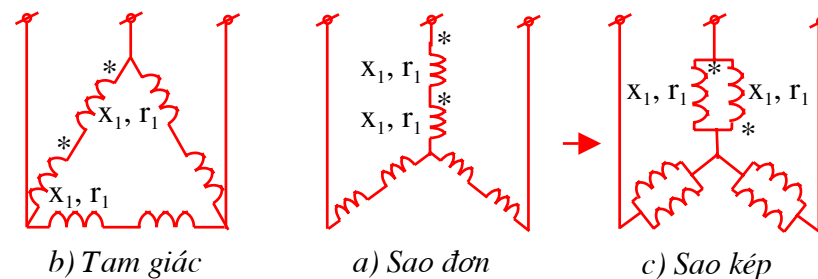
Ví dụ ta có một tổ nối dây stato (1 pha) gồm 2 đoạn, mỗi đoạn là một phần tử như hình 3-8. Nếu ta đấu nối tiếp 2 đoạn đó thuận cực nhau (đánh dấu * trên hình vẽ), thì do đường sức từ phân bố trên như trên hình 3-8a, nên số cực sẽ là 4 và $p = 2$.



Hình 3-8: Thay đổi số đôi cực bằng đổi nối tổ dây quấn

Như vậy, bằng cách đổi nối đơn giản các tổ dây quấn, ta đã điều chỉnh được tốc độ: từ ω_0 ở sơ đồ 3-8a thành lên $2\omega_0$ như ở sơ đồ 3-8b, c; và điều chỉnh được tốc độ ω của động cơ ĐK.

Thực tế, các động cơ ĐK đa tốc độ thường gặp là đổi nối theo hai cách: *hình sao* $\Leftrightarrow$ *sao kép* ($Y \Leftrightarrow \text{YY}$) và *tam giác* $\Leftrightarrow$ *sao kép* ($\Delta \Leftrightarrow \text{YY}$). Sơ đồ đổi nối được giới thiệu trên hình 3-9:



Hình 3-9: Đổi nối dây quấn stato động cơ ĐK

Khi nối Δ hoặc Y, hai đoạn dây quấn mỗi pha được đấu nối tiếp thuận cực giống như trên hình 3-9a, nên ta giả thiết khi đó $p = 2$ và tương ứng tốc độ đồng bộ là ω_o . Khi đổi nối thành YY , các đoạn dây sẽ nối song song ngược cực giống như hình 3-9c, nên $p = 1$, tốc độ đồng bộ tăng gấp đôi ($\omega_o = 2\omega_o$).

Để dựng các đặc tính điều chỉnh, ta cần xác định các trị số M_{th} , s_{th} và ω_o cho từng cách nối dây.

Đối với trường hợp $\Delta \Rightarrow \text{YY}$ ta có các quan hệ khi nối Δ , hai đoạn dây stato đấu nối tiếp, nên:

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= 2r_1; X_1 = 2x_1 \\ R_2 &= 2r_2; X_2 = 2x_2; X_{nm} = 2x_{nm} \end{aligned} \right\} \quad (3-21)$$

Trong đó: r_1 , r_2 , x_1 , x_2 là điện trở và điện kháng mỗi đoạn dây stato và rôto.

Điện áp trên dây quấn mỗi pha là $U_{f\Delta} = \sqrt{3} \cdot U_1$. Do đó:

$$s_{th,\Delta} = \frac{R'_{2\Delta}}{\sqrt{R_{1\Delta}^2 + (X_{1\Delta} + X_{2\Delta})^2}} = \frac{r'_2}{\sqrt{r_1^2 + x_{nm}^2}} \quad (3-22)$$

$$M_{th,\Delta} = \frac{3(\sqrt{3} \cdot U_1)^2}{2\omega_o [R_{1\Delta} \pm \sqrt{R_{1\Delta}^2 + X_{nm\Delta}^2}]} = \frac{9U_1^2}{4\omega_o [r_1 + \sqrt{r_1^2 + x_{nm}^2}]} \quad (3-23)$$

Nếu đổi thành YY thì:

$$R_{1Y} = \frac{1}{2}r_1; X_{1Y} = \frac{1}{2}x_1; R_{2Y} = \frac{1}{2}r_2; X_{2Y} = \frac{1}{2}x_2 \quad (3-24)$$

Còn điện áp trên dây quấn mỗi pha là: $U_{fY} = U_1$. Vì vậy:

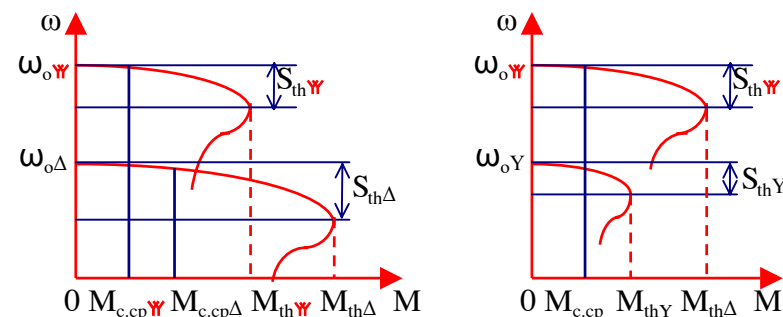
$$s_{th,Y} = \frac{R'_2}{\sqrt{R_{1Y}^2 + (X_{1Y} + X_{2Y})^2}} = \frac{r'_2}{\sqrt{r_1^2 + x_{nm}^2}} \quad (3-25)$$

$$M_{th,Y} = \frac{3(\sqrt{3} \cdot U_1)^2}{2\omega_o [R_{1Y} \pm \sqrt{R_{1Y}^2 + X_{nmY}^2}]} = \frac{9U_1^2}{4\omega_o [r_1 + \sqrt{r_1^2 + x_{nm}^2}]} \quad (3-26)$$

So sánh (3-62) với (3-59) ta thấy:

$$\frac{M_{th,Y}}{M_{th,\Delta}} = \frac{2}{3} \quad (3-27)$$

Như vậy, khi đổi nối $\Delta \Rightarrow \text{YY}$, tốc độ không tải lý tưởng tăng lên 2 lần ($\omega_o = \omega_{o\Delta}$), độ trượt tới hạn không đổi (giá trị tương đối), còn mômen tới hạn giảm mất 1/3 lần. Đặc tính điều chỉnh có dạng như trên hình 3-10a.



Hình 3-10: Các đặc tính điều chỉnh tốc độ khi đổi nối dây quấn stato $\Delta \Rightarrow \text{YY}$ và $Y \Rightarrow \text{YY}$

Đối với trường hợp đổi nối $Y \Rightarrow \text{YY}$ ta cũng suy luận tương tự. Khi nối Y, các đoạn dây đều nối tiếp và $U_{fY} = U_1$, nên:

$$\left. \begin{aligned} s_{th,\Delta} &= \frac{r'_2}{\sqrt{r_1^2 + x_{nm}^2}} \\ M_{th,Y} &= \frac{3U_1^2}{4\omega_o [r_1 \pm \sqrt{r_1^2 + x_{nm}^2}]} \end{aligned} \right\} \quad (3-28)$$

So sánh (3-28) với các biểu thức tương ứng của sơ đồ sao kép là (3-25) và (3-26) ta được:

$$s_{thY} = s_{th\Upsilon} ; \quad M_{thY} = \frac{1}{2} M_{th\Upsilon} \quad (3-29)$$

Như vậy, khi đổi nối $Y \Rightarrow \Upsilon$, tốc độ không tải lý tưởng và mômen tối hạn tăng gấp đôi, còn hệ số trượt tối hạn vẫn giữ nguyên giá trị tương đối của nó (hình 3-10b).

Để xác định phụ tải cho phép khi điều chỉnh tốc độ, xuất phát từ giá trị công suất rồi suy ra mômen. Từ biểu thức của công suất, ta có:

Khi nối Δ :

$$P_{c.p\Delta} = 3\sqrt{3}U_1 I_{ldm} \cos \varphi_{\Delta} \eta_{\Delta} \quad (3-30)$$

Khi nối Υ :

$$P_{c.p\Upsilon} = 3\sqrt{3}U_1 I_{ldm} \cos \varphi_{\Upsilon} \eta_{\Upsilon} \quad (3-31)$$

$$\text{Do đó: } \frac{P_{c.p\Upsilon}}{P_{c.p\Delta}} = \frac{2 \cos \varphi_{\Upsilon} \eta_{\Upsilon}}{\sqrt{3} \cos \varphi_{\Delta} \eta_{\Delta}} \approx 1 \quad (3-32)$$

Thực tế cho phép coi $P_{c.p\Delta} \approx P_{c.p\Upsilon}$, vì hệ số công suất và hiệu suất khi nối Δ cao hơn khi nối Υ . Đó là do khi nối Υ , điện áp đặt lên từng đoạn dây quấn lớn hơn khi nối Δ , nên dòng từ hóa tăng một cách vô ích:

Từ (3-32) ta suy ra quan hệ của mômen tải cho phép:

$$\frac{M_{c.p\Upsilon}}{M_{c.p\Delta}} \approx \frac{P_{c.p\Upsilon} / \omega_o \Upsilon}{P_{c.p\Delta} / \omega_o \Delta} \approx \frac{\omega_o \Upsilon}{\omega_o \Delta} = \frac{1}{2} \quad (3-33)$$

Như vậy, khi đổi nối $\Delta \Rightarrow \Upsilon$, mômen phụ tải cho phép của động cơ giảm đi hai lần, còn công suất cho phép thì được giữ không đổi ($P_{cp} = \text{const}$). Điều đó chứng tỏ phương pháp đổi nối này phù hợp với những máy có mômen tải tỷ lệ nghịch với tốc độ.

Nếu đặt: $\lambda = M_{th} / M_{c.cp}$ thì từ (3-27) và (3-32) ta thấy:

$$\frac{\lambda_{\Upsilon}}{\lambda_{\Delta}} \approx \frac{M_{th\Upsilon} / M_{c.cp\Upsilon}}{M_{th\Delta} / M_{c.cp\Delta}} = \frac{4}{3} \quad (3-34)$$

Nghĩa là khi đổi nối $\Delta \Rightarrow \Upsilon$, khả năng quá tải của động cơ tăng lên 4/3 lần.

Nếu các đoạn dây nối hình Y, thì:

$$P_{c.cpY} = 3U_1 I_{ldm} \cos \varphi_Y \eta_Y \quad (3-35)$$

So sánh với trường hợp nối Υ [xem (3-31)] ta có:

$$\frac{P_{c.cp}}{P_{c.cpY}} = \frac{2 \cos \varphi_{\Upsilon} \eta_{\Upsilon}}{\sqrt{3} \cos \varphi_Y \eta_Y} \approx 2 \quad (3-36)$$

$$\text{Và: } \frac{M_{c.cp\Upsilon}}{M_{c.cpY}} \approx \frac{P_{c.cp\Upsilon} / \omega_o \Upsilon}{P_{c.cpY} / \omega_o Y} = 1 \quad (3-37)$$

Như vậy, khi đổi nối $Y \Rightarrow \Upsilon$, mômen tải cho phép của động cơ được giữ không đổi, còn công suất cho phép thì tăng 2 lần. Điều đó có nghĩa là phương pháp đổi nối này phù hợp với những máy có mômen tải không đổi ($M_c = \text{const}$).

Từ (3-37) và (3-29) ta tìm được quan hệ của hệ số quá tải λ :

$$\frac{\lambda_{\Upsilon}}{\lambda_Y} \approx \frac{M_{th\Upsilon} / M_{c.cp\Upsilon}}{M_{thY} / M_{c.cpY}} = 2 \quad (3-38)$$

Nghĩa là khi đổi nối $Y \Rightarrow \Upsilon$, khả năng quá tải của động cơ tăng lên 2 lần.

+ *Ưu điểm* của phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ ĐK bằng cách thay đổi số đôi cực là thiết bị đơn giản, rẻ tiền, các đặc tính cơ đều cứng và khả năng điều chỉnh triệt để (điều chỉnh cả tốc độ không tải lý tưởng).

Nhờ các đặc tính cơ cứng, nên độ chính xác duy trì tốc độ cao và tổn thất trượt khi điều chỉnh thực tế không đáng kể.

+ *Nhược điểm* lớn của phương pháp này là có độ tinh kém, giải điều chỉnh không rộng và kích thước động cơ lớn.

3.4.5. Điều chỉnh tốc độ ĐK bằng cách thay đổi tần số (f_1):

3.4.5.1. Vấn đề thay đổi tần số của điện áp stato:

Về nguyên lý, khi thay đổi tần số f_1 thì $\omega_o = 2\pi f_1/p$ sẽ thay đổi và sẽ điều chỉnh được tốc độ động cơ ĐK. Nhưng khi thay đổi $f_1 \neq f_{1dm}$ thì có thể ảnh hưởng đến chế độ làm việc của động cơ.

Giả sử mạch stato:

$$E_1 \approx c\Phi f_1 \quad (3-39)$$

Trong đó: E_1 là sdd cảm ứng trong cuộn dây stato, Φ là từ thông móc vòng qua cuộn dây stato, c là hằng số tỉ lệ, f_1 là tần số của dòng điện stato.

Nếu bỏ qua sự sụt áp trên tổng trở cuộn dây stato thì ta có:

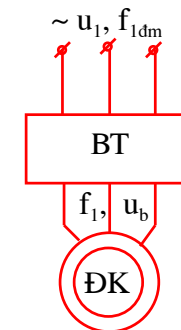
$$U_1 \approx E_1 \approx c\Phi f_1 \quad (3-40)$$

Qua (3-45) ta thấy: nếu thay đổi f_1 mà giữ $U_1 = \text{const}$ thì Φ sẽ thay đổi theo.

+ Ví dụ: khi giảm $f_1 < f_{1dm}$ để điều chỉnh tốc độ $\omega < \omega_{dm}$ mà giữ $U_1 \approx E_1 \approx c\Phi f_1 = \text{const}$ thì theo (3-40), từ thông Φ sẽ tăng lên, mạch từ động cơ sẽ bị bão hòa, điện kháng mạch từ giảm xuống và dòng từ hóa sẽ tăng lên làm cho động cơ quá tải về từ, làm phát nóng động cơ, giảm tuổi thọ của động cơ, thậm chí nếu nóng quá nhiệt độ cho phép của động cơ thì động cơ có thể bị cháy.

+ Còn khi tăng $f_1 > f_{1dm}$ nếu giữ $U_1 \approx E_1 \approx c\Phi f_1 = \text{const}$ và phụ tải $M_c = \text{const}$, mà khi làm việc, mômen $M \approx K\Phi I_2 \cos\varphi = M_c = \text{const}$. Vậy khi tăng $f_1 > f_{1dm}$ sẽ làm cho Φ giảm, dẫn đến dòng I_2 tăng, nghĩa là động cơ sẽ bị quá tải về dòng, nó cũng bị phát nóng làm xấu chế độ làm việc của động cơ hoặc bị cháy.

Vì vậy, khi thay đổi tần số f_1 để điều chỉnh tốc độ thì người ta thường kết hợp thay đổi điện áp stato u_1 . Và người ta thường dùng bộ biến đổi tần số (BT) để điều khiển tốc độ động cơ ĐK như hình 3-11.

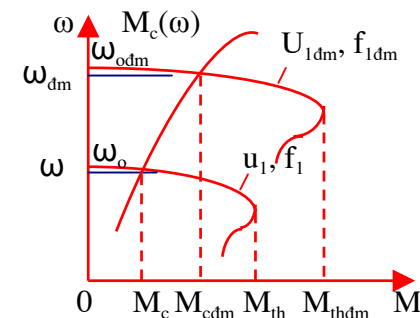


Hình 3-11: hệ BT - ĐK

3.4.5.2. Quy luật điều chỉnh điện áp stato khi thay đổi tần số:

Hình 3-12, xác định khả năng quá tải về mômen khi điều chỉnh tần số: $f_1 < f_{1dm}$.

Đối với hệ dùng biến tần nguồn áp thường có yêu cầu giữ cho khả năng quá tải về mômen là không đổi trong cả phạm vi điều chỉnh tốc độ.



Hình 3-12: Xác định khả năng quá tải về mômen

Nghĩa là:

$$\lambda = \frac{M_{th}}{M} = \text{const} \quad (3-41)$$

Nếu bỏ qua điện trở dây quấn stato ($R_1 = 0$) thì từ (3-41):

$$M_{th} = \frac{U_1^2}{2\omega_o \cdot X_{nm}} = \frac{U_1^2}{2 \cdot \frac{2\pi f_1}{p} \cdot \omega L_{nm}} \approx K \cdot \frac{U_1^2}{f_1^2} \quad (3-42)$$

Trong đó, coi: $X_{nm} = \omega L$; và $\omega \approx \omega_o = 2\pi f_1/p$.

Quan hệ $M_c = f(\omega)$:

$$M_c = M_{c.dm} \left(\frac{\omega}{\omega_{dm}} \right)^q \approx A \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1.dm}} \right)^q \quad (3-43)$$

Trong đó: $q = -1, 0, 1, 2$

Theo (3-41), (3-42), (3-43) ta có:

$$\frac{U_1}{f_1} = \frac{U_{1.dm}}{f_{1.dm}} \sqrt{\left(\frac{f_1}{f_{1.dm}} \right)^q} \quad (3-44)$$

Suy ra:

$$\frac{U_1}{U_{1.dm}} = \left(\frac{f_1}{f_{1.dm}} \right)^{\left(1 + \frac{q}{2}\right)}; \text{ với } q = -1, 0, 1, 2; \quad (3-45)$$

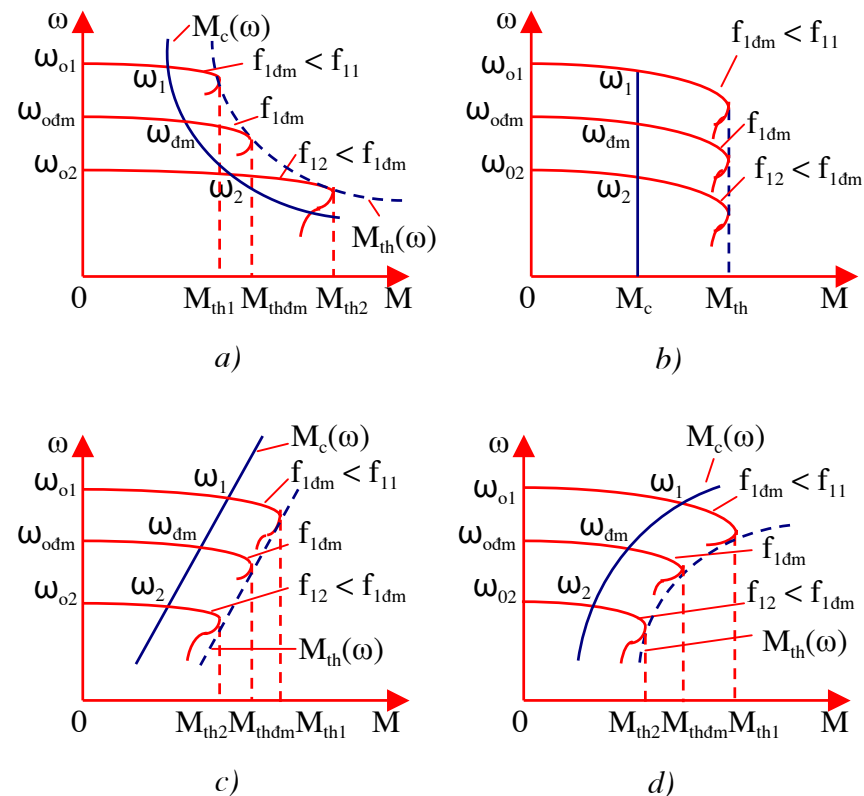
Hay ở dạng tương đối:

$$u_1^* = f_1^* \left(\frac{f_1}{f_{1.dm}} \right)^{\left(1 + \frac{q}{2}\right)}; \text{ (} q = -1, 0, 1, 2 \text{)} \quad (3-46)$$

Như vậy, khi thay đổi tần số để điều chỉnh tốc độ động cơ ĐK, ta phải thay đổi điện áp sao cho đảm bảo điều kiện (3-41), nhưng lại phụ thuộc vào các dạng phụ tải.

3.4.5.3. Các đặc tính điều chỉnh tần số và điện áp stato:

Các dạng đặc tính cơ khi thay đổi tần số và điện áp stato với các phụ tải khác nhau (hình 3-13):



Hình 3-13: Đặc tính cơ khi điều chỉnh tần số và điện áp theo qui luật $\lambda_M = \text{const}$ với các phụ tải khác nhau:

Trên hình 3-13a, khi phụ tải $M_c \equiv I/\omega$ ($q = -1$) thì điều chỉnh tần số và điện áp stato theo qui luật:

$$\frac{U_1}{f_1^{1/2}} = \text{const} \quad (3-47)$$

Trên hình 3-13b, khi phụ tải $M_c = \text{const}$ ($q = 0$) thì điều chỉnh tần số và điện áp stato theo qui luật:

$$\frac{U_1}{f_1} = \text{const} \quad (3-48)$$

Trên hình 3-13c, khi phụ tải $M_c = \text{const}$ ($q = 1$) thì điều chỉnh tần số và điện áp stato theo qui luật:

$$\frac{U_1}{f_1^{3/2}} = \text{const} \quad (3-49)$$

Trên hình 3-13d, khi phụ tải $M_c = \text{const}$ ($q = 2$) thì điều chỉnh tần số và điện áp stato theo qui luật:

$$\frac{U_1}{f_1^2} = \text{const} \quad (3-50)$$

§ 3.5. ĐIỀU CHỈNH TỰ ĐỘNG TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ BẰNG

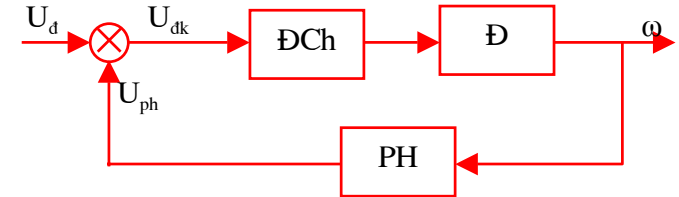
CÁCH THAY ĐỔI THÔNG SỐ THÔNG SỐ ĐẦU RA:

3.5.1. Nguyên lý chung:

Để cải thiện các chỉ tiêu chất lượng của hệ thống truyền động điện điều chỉnh, người ta thường thực hiện các phương pháp điều chỉnh tự động, tạo ra khả năng biến đổi thông số điều chỉnh (thông số đầu vào X_{dk}) một cách liên tục theo mức độ thay đổi của thông số được điều chỉnh ở đầu ra (đại lượng X). Muốn vậy, ta phải thiết lập hệ điều chỉnh vòng kín, lấy tín hiệu phản hồi từ đầu ra trực tiếp tỉ lệ với đại lượng X hoặc gián tiếp qua các đại lượng liên quan đến X , cho tác động lên thông số đầu vào, làm cho thông số này thay đổi tự động theo chiều hướng đưa đại lượng X đạt đến giá trị đặt trước.

Cấu trúc chung của hệ điều chỉnh tự động vòng kín như trên hình 3-14. Các tín hiệu điều khiển ở đầu vào thường là điện áp: U_d - tín hiệu đặt, tỷ lệ với giá trị đặt của thông số được điều chỉnh: tốc độ ω_d ($U_d \equiv \omega_d$); U_{ph} - tín hiệu phản hồi, tỷ lệ với giá trị thực của thông số được điều chỉnh ω ($U_{ph} \equiv \omega$); $\Delta U = U_{dk}$ - tín hiệu sai lệch, phản ánh mức độ sai lệch giữa giá trị thực của thông số ra ω với giá trị mong muốn đã đặt trước ω_d .

U_{dk} chính là tín hiệu dùng để điều khiển phần tử điều chỉnh ĐCh sao cho thông số của nó tự động thay đổi, và tác động vào động cơ để đủ làm cho giá trị ω tiến đến ω_d , đó chính là tự động ổn định tốc độ.



Hình 3-14: Hệ điều chỉnh tự động vòng kín

Ổn định tốc độ trong hệ điều chỉnh tự động truyền động điện có ý nghĩa rất lớn trong việc cải thiện các chỉ tiêu chất lượng của hệ TĐĐTĐ. Thường tăng độ cứng đặc tính cơ để ổn định tốc độ bằng cách dùng hệ thống điều khiển vòng kín.

Các đặc tính cơ hệ hở có $\beta = (k\phi)^2/R$ không đổi trong phạm vi điều chỉnh. Đối với đặc tính cơ thấp nhất có s.đ.đ. E_{b0} , nếu $M_c = M_{dm}$ thì tốc độ làm việc sẽ là $\omega = \omega_{min}$ và sai số tĩnh thường sẽ lớn hơn giá trị cho phép:

$$S = \frac{M_{dm}}{\beta \cdot \omega_{0min}} > S_{cp} \quad (3-51)$$

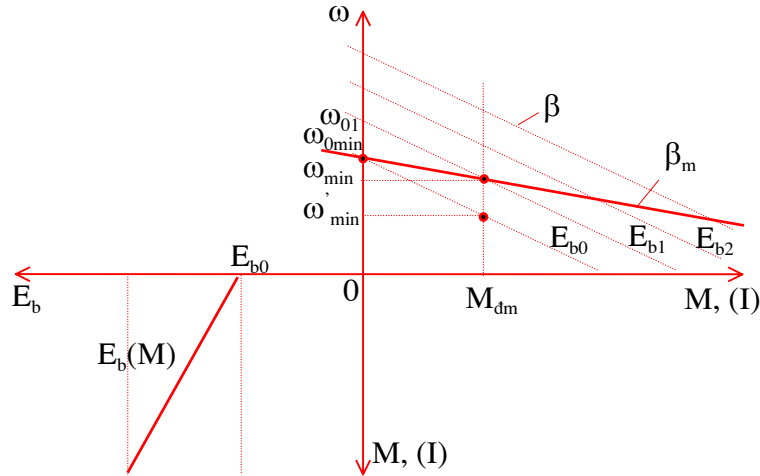
Để $S \leq S_{cp}$ thì cần tìm biện pháp tăng tốc độ đến $\omega = \omega_{min}$. Điểm làm việc $[\omega_{min}, M_{dm}]$ đã nằm trên đặc tính khác của hệ có $\omega_0 = \omega_{01}$ và $E_{b1} = k\phi\omega_{01} > E_{b0}$. Nối điểm $(\omega_{0min}, 0)$ với điểm (ω_{min}, M_{dm}) và kéo dài ra ta được đặc tính mong muốn có độ cứng β_m và:

$$\omega = \omega_{0min} - \frac{M}{\beta_m} \quad (3-52)$$

Giá trị β_m được xác định theo công thức:

$$S = \frac{M_{dm}}{b_m \cdot \omega_{0min}} \leq S_{cp} \quad (3-53)$$

Giao điểm của đặc tính cơ mong muốn với các đặc tính hệ hở cho biết các giá trị cần thiết của E_b khi thay đổi mômen tải. Đặc tính này được dựng ở góc dưới bên trái của hình 3-14.



Hình 3-15: Đặc tính cơ của hệ bộ Biến đổi - Động cơ

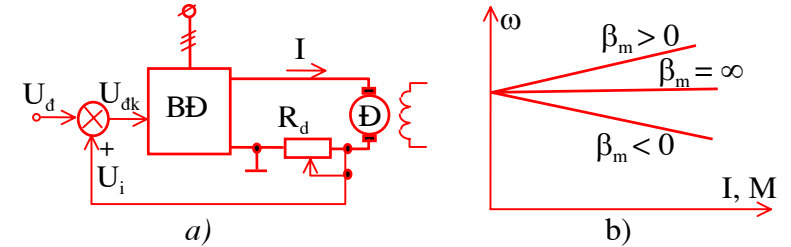
3.5.2. Điều chỉnh tự động tốc độ theo dòng điện tải:

Qua hình 3-15, để nâng độ cứng lên β_m ta có thể điều chỉnh E_b theo dòng điện tải. Tại giao điểm của đặc tính cơ hệ hở và hệ kín (mong muốn) thì tốc độ và mômen có giá trị như nhau nên:

$$\frac{E_b}{k\phi_{dm}} - \frac{M}{\beta} = \omega_0 - \frac{M}{\beta_m} \Rightarrow E_b = E_{b0} + k'_d I \quad (3-54)$$

Trong đó: $E_{b0} = k\phi_m \cdot \omega_0$; $k'_d = (k\phi_m)^2 \left(\frac{1}{\beta} - \frac{1}{\beta_m} \right)$; (3-55)

Nguyên lý điều chỉnh (3-54) có thể được thực hiện bằng mạch phản hồi dương dòng điện phản ứng như trên hình 3-16a.



Hình 3-16: Sơ đồ và đặc tính phản hồi dương dòng điện tải

Theo sơ đồ 3-16, ta có:

$$E_b = k_b(U_d + R_d I) \quad (2-56)$$

$$\omega = \frac{k_b U_d}{k\phi_{dm}} - \frac{R + (1 - k_b)R_d}{k\phi_{dm}} I \quad (2-57)$$

Trong đó: U_d - điện áp đặt tốc độ,

$U_i = R_d I$ - điện áp phản hồi dòng điện,

R_d - điện trở sun trong mạch phản ứng.

So sánh (3-56) với (3-54) ta có:

$$E_{b0} = k_b \cdot U_d ; \quad K'_d = k_b \cdot R_d \quad (2-58)$$

Nếu chọn: $k_b \cdot R_d = (R + R_d)$ thì $\beta_m = \infty$, ta được đặc tính cơ cứng tuyệt đối. Nếu $k_b \cdot R_d > (R + R_d)$ thì đặc tính cơ mong muốn sẽ có độ cứng dương, và động cơ làm việc sẽ không ổn định. Trong trường hợp biết trước β , β_m cần phải tính R_d , k_b cho phù hợp, (hình 2-16b).

3.5.3. Điều chỉnh tự động tốc độ theo điện áp phản ứng:

Qua hình 3-16, để nâng độ cứng lên β_m ta có thể điều chỉnh E_b bằng cách dùng mạch phản hồi âm điện áp phản ứng. Dựa vào phương trình đặc tính tải của bộ biến đổi:

$E_b = U + R_b I$, vì $R_b = R - R_r$ nên:

$$I = \frac{1}{(k\phi_{dm})^2 \left(\frac{1}{\beta} - \frac{1}{\beta_{tn}} \right)} (E_b - U) \quad (3-59)$$

Trong đó: $\beta_{tn} = (k\phi_{dm})^2 / R_r$ là độ cứng đặc tính cơ tự nhiên.

Thay (3-59) vào (3-54) và đặt:

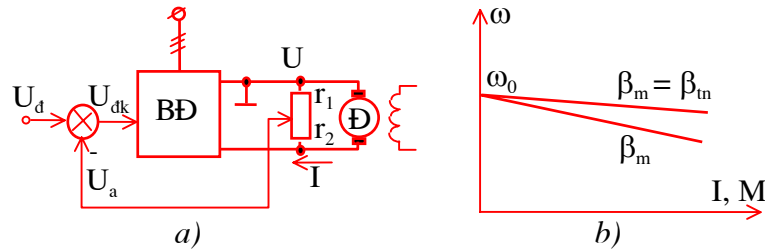
$$b = \left(\frac{1}{\beta} - \frac{1}{\beta_m} \right) \left(\frac{1}{\beta} - \frac{1}{\beta_{tn}} \right) \quad (3-60)$$

$$E'_{b0} = E_{b0} \frac{1}{1-b}; \quad k'_a = \frac{b}{1-b};$$

Ta có biểu thức tính s.d.đ. E_b theo điện áp phản ứng:

$$E_b = E'_{b0} - k'_a U \quad (3-61)$$

Nguyên lý điều chỉnh (3-61) có thể được thực hiện bằng mạch phản hồi âm điện áp phản ứng như trên hình 3-17a:



Hình 3-17: Sơ đồ và đặc tính phản hồi âm điện áp phản ứng

Bỏ qua dòng điện trong các điện trở r_1, r_2 và đặt $k_a = r_2 / (r_2 + r_1)$:

$$E_b = k_b (U_d - k_a U) \quad (3-62)$$

$$\omega = \frac{k_b U_d}{(1 + k_b k_a) \cdot k\phi_{dm}} - \frac{R - \frac{k_b k_a}{1 + k_b k_a} R_b}{(k\phi_{dm})^2} M \quad (3-63)$$

Nếu mạch có $k_b k_a \gg 1$ thì (3-63) sẽ có dạng:

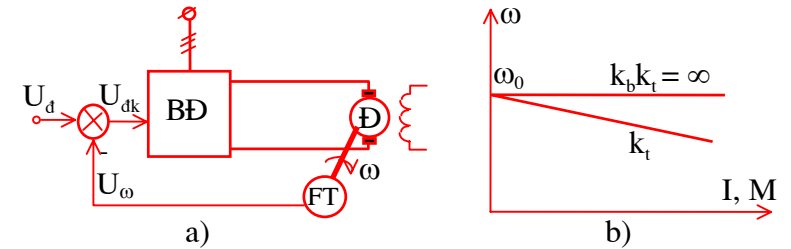
$$\omega = \frac{U_d}{k_a \cdot k\phi_{dm}} - \frac{R_r}{(k\phi_{dm})^2} M \quad (3-64)$$

$$\omega = \omega_0 (U_d, k_a) - \frac{M}{\beta_{tn}}$$

Khi thay đổi hệ số phản hồi điện áp k_a (bằng con trượt trên chiết áp r_1, r_2) thì cả tốc độ không tải lý tưởng lẫn độ cứng đặc tính cơ đều thay đổi theo. Trường hợp hệ có hệ số khuếch đại rất lớn thì độ cứng mong muốn có thể đạt giá trị tối đa bằng β_{tn} , (hình 3-17b).

3.5.4. Điều chỉnh tự động dùng phản hồi âm tốc độ động cơ:

Qua hình 3-16, để nâng độ cứng lên β_m ta có thể điều chỉnh E_b bằng cách dùng mạch phản hồi âm tốc độ động cơ.



Hình 3-18: Sơ đồ và đặc tính phản hồi âm tốc độ động cơ

Dựa vào phương trình đặc tính điện cơ Bộ biến đổi - Động cơ một chiều ta rút ra được dòng điện phản ứng và thay vào (3-54) ta có:

$$E_b = \frac{1}{1 - k_d R} \left(E_{b0} - \frac{k_d \cdot k\phi_{dm}}{R} \omega \right)$$

$$E_b = \frac{\beta_m}{\beta} E_{b0} - \left(\frac{\beta_m}{\beta} - 1 \right) \cdot k\phi_{dm} \omega \quad (3-65)$$

$$E_b = E'_{b0} - k'_t \cdot \omega$$

Trong đó: $E''_{b0} = \beta_m \cdot E_{b0} / \beta$, $k'_t = (\beta_m / \beta - 1) \cdot k\phi_{dm}$.

Luật điều chỉnh (3-65) được thực hiện bằng phản hồi âm tốc độ (hình 3-18a), trong đó tín hiệu tốc độ được lấy trên máy phát tốc FT là máy phát có điện áp ra tỷ lệ với tốc độ động cơ: $U_\omega = k_\omega \cdot \omega$.

$$\omega = \frac{k_b U_d - R \cdot M / k\phi_{dm}}{(1 + k_b k_t / k\phi_{dm}) \cdot k\phi_{dm}} \quad (3-66)$$

$$\beta_m = \frac{(k\phi_{dm})^2 (1 + k_b k_t / k\phi_{dm})}{R}$$

Từ (3-66) có thể tính được hệ số khuếch đại yêu cầu của hệ sao cho đặc tính cơ thấp nhất trong phạm vi điều chỉnh đạt độ cứng mong muốn. Khi $k_b, k_t \rightarrow \infty$ thì đặc tính cơ là tuyệt đối cứng.

Trong trường hợp không dùng máy phát tốc thì có thể dùng cầu tốc độ để lấy tín hiệu phản hồi tốc độ (trong đó phần ứng động cơ là một nhánh cầu).

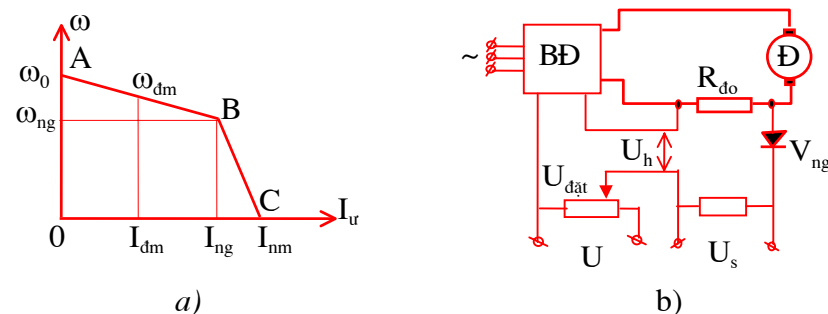
3.5.5. Phản hồi âm dòng điện có ngắt:

Quá trình làm việc của hệ TĐĐTĐ thường có yêu cầu về ổn định tốc độ trong vùng biến thiên cho phép của mômen và dòng điện phần ứng, khi dòng điện và mômen vượt quá phạm vi này thì cần phải hạn chế dòng điện và mômen tránh cho động cơ bị quá tải lớn, gây ra sự cố và hư hỏng động cơ.

Muốn giảm dòng điện hoặc mômen ngắn mạch ta phải giảm độ cứng đặc tính cơ. Tuy nhiên, để đảm bảo yêu cầu ổn định tốc độ trong phạm vi biến thiên cho phép của tải, ta chỉ giảm độ cứng khi dòng điện hoặc mômen vượt quá một ngưỡng nào đó. Ngưỡng này được gọi là “điểm ngắt”. Tương ứng với nó ta có “dòng ngắt” I_{ng} , “mômen ngắt” M_{ng} và “tốc độ ngắt” ω_{ng} . Thông thường $I_{ng}^* \approx (1,5 \div 2)$.

Vậy, đặc tính cơ của hệ gồm hai đoạn: đoạn làm việc từ điểm không tải lý tưởng đến điểm ngắt (đoạn AB) và đoạn ngắt từ điểm ngắt đến điểm dừng (đoạn BC) (xem hình 3-19a).

Vì đặc tính này rất đặc trưng cho công nghệ của máy xúc nên người ta gọi nó là “đặc tính máy xúc”.



Hình 3-19: a) Đặc tính cơ của hệ dùng khâu hạn chế dòng

b) Sơ đồ của hệ dùng khâu phản hồi ngắt dòng

Muốn tạo ra đoạn đặc tính dốc có độ cứng mong muốn là β_{ng} bắt buộc phải thay đổi thông số điều chỉnh x_{dch} sao cho tốc độ động cơ giảm nhanh khi tải tăng lên trên giới hạn cho phép.

Như vậy khi tải tăng thì hệ phải giảm E_b của bộ biến đổi.

$$E_b = E_{b0} - \left(\frac{1}{\beta_{ng}} - \frac{1}{\beta} \right) \cdot (k\phi_{dm})^2 \cdot (I - I_{ng}) \quad (3-67)$$

$$\Rightarrow E_b = E_{b0} - k'_{ng,d} \cdot (I - I_{ng})$$

Để thực hiện quy luật điều chỉnh này, ta dùng một khâu phản hồi âm dòng điện có ngắt tác động trên mức ngưỡng I_{ng} , sơ đồ nguyên lý như hình 3-19b. Điện áp so sánh: $U_s = I_{ng} \cdot R_{do}$, vậy:

$$E_b = k_b [U_{đặt} - I_r \cdot R_{do} + U_s] = k_b \cdot U_{đặt} - k_b \cdot R_{do} \cdot (I_r - I_{ng}); \quad (3-68)$$

So sánh với (3-67) ta thấy:

$$E_{b0} = k_b \cdot U_{đặt}; \quad k'_{ng,d} = k_b \cdot R_{do} = k_b \cdot k_{ng,d};$$

Đoạn BC:

$$\omega = C_d k_b U_{đặt} - C_d (k_b k_{ng,d} + R) (I - I_{ng}); \quad (3-69)$$

CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Có những chỉ tiêu chất lượng nào dùng để đánh giá các phương pháp điều khiển động cơ ? Nêu định nghĩa và trình bày ý nghĩa của từng chỉ tiêu.
2. Phân tích ý nghĩa của việc điều chỉnh tốc độ và điều chỉnh dòng điện (hoặc mômen), nêu yêu cầu thực tế của việc điều chỉnh từng thông số ? Những chỉ tiêu cần đạt được của việc điều chỉnh mỗi thông số là gì ?
3. Từ biểu thức nào ta rút ra nhận xét chung về các phương pháp điều khiển động cơ điện một chiều và động cơ điện không đồng bộ ? Mỗi loại động cơ có mấy phương pháp điều khiển ? Những phương pháp nào được xem là có hiệu quả ?
4. Những phương pháp điều khiển nào của động cơ điện một chiều có thể dùng để điều chỉnh tốc độ ? Những phương pháp nào dùng để điều chỉnh mômen và dòng điện ?
5. Hãy đánh giá các chỉ tiêu chất lượng của phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều bằng cách thay đổi điện áp phản ứng.
6. Nêu ứng dụng của phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều kích từ độc lập bằng cách thay đổi điện trở phụ phản ứng.
7. Nêu ưu, nhược điểm của phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều bằng cách thay đổi từ thông kích thích.
8. Trình bày cách dựng họ đặc tính khởi động của động cơ không đồng bộ rôto dây quấn khi dùng các cấp điện trở phụ nối vào mạch rôto và cách xác định các cấp điện trở đó.
9. Trình bày nguyên lý điều chỉnh dòng điện và mômen (khởi động) của động cơ không đồng bộ lồng sóc bằng phương pháp thay đổi điện áp stato và phương pháp dùng điện trở phụ stato.
10. Phương pháp điều khiển tốc độ động cơ không đồng bộ bằng cách thay đổi số đôi cực có những ứng dụng nào ?

11. Đặc điểm làm việc của động cơ không đồng bộ khi được cung cấp điện áp và tần số định mức, và khi thay đổi tần số khác với định mức ? Từ thông của động cơ thay đổi như thế nào khi tần số nhỏ hơn định mức và khi tần số lớn hơn định mức ?
12. Có những luật (nguyên lý) điều khiển nào được áp dụng khi điều khiển tần số của động cơ không đồng bộ ? Mô tả nội dung cơ bản của các luật điều khiển đó.
13. Ưu, nhược điểm của phương pháp điều khiển tần số của động cơ không đồng bộ ? Vì sao nói phương pháp này của động cơ không đồng bộ có thể so sánh được với phương pháp điều khiển điện áp phản ứng của động cơ một chiều kích từ độc lập ?
14. Người ta thường quan tâm đến những vấn đề khởi động và điều khiển nào đối với động cơ đồng bộ ?
15. Mô tả một quá trình khởi động hai giai đoạn của động cơ đồng bộ thông dụng.
16. Hãy trình bày nguyên lý làm việc của hệ “Bộ biến đổi - Động cơ một chiều” có điều chỉnh tốc độ tự động vòng kín khi dùng phản hồi âm điện áp phản ứng”.
17. Hãy trình bày nguyên lý làm việc của hệ “Bộ biến đổi - Động cơ một chiều” có điều chỉnh tốc độ tự động vòng kín khi dùng phản hồi dương dòng điện.
18. Hãy trình bày nguyên lý làm việc của hệ “Bộ biến đổi - Động cơ một chiều” có điều chỉnh tốc độ tự động vòng kín khi dùng phản hồi âm tốc độ, phản hồi hỗn hợp âm điện áp và dương dòng điện phản ứng.
19. Hãy trình bày hoạt động của sơ đồ nguyên lý hệ “Bộ biến đổi - Động cơ một chiều” có phản hồi âm dòng điện có ngắt và cách tạo ra đặc tính máy xúc.

CHƯƠNG 4

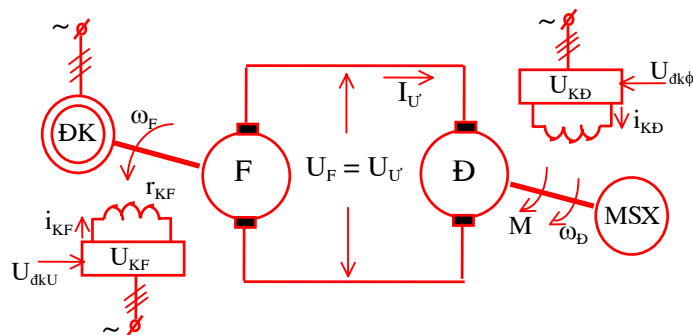
ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

CÁC HỆ THỐNG BỘ BIẾN ĐỔI - ĐỘNG CƠ

§ 4.1. HỆ BỘ BIẾN ĐỔI - ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU:

4.1.1. Hệ Máy phát - Động cơ một chiều (F-Đ):

Trước đây, hệ thống Máy phát - Động cơ một chiều là một hệ truyền động điện điều chỉnh tốt nhất. Điều chỉnh tốc độ động cơ rất linh hoạt và thuận tiện. Tuy nhiên hệ thống dùng nhiều máy điện quay nên công kênh, khi làm việc gây ồn, rung, nên đòi hỏi phải có nền móng vững chắc. Sơ đồ nguyên lý như hình 4-1.



Hình 4-1: Điều chỉnh tốc độ động cơ ĐM_{dl} dùng máy phát

Coi mạch từ máy phát chưa bão hòa, nên ta có:

$$E_F = K_F \cdot \phi_F \cdot \omega_F = K_F \cdot \omega_F \cdot C \cdot i_{KF} \quad (4-1)$$

Trong đó: K_F - hệ số kết cấu của máy phát,

$C = \Delta\phi_F / \Delta i_{KF}$ - hệ số góc của đặc tính từ hoá.

Với: $i_{KF} = U_{KF} / r_{KF}$

Và: $E_F = K_F \cdot U_{KF}$

$$R = R_{uĐ} + R_{uF}$$

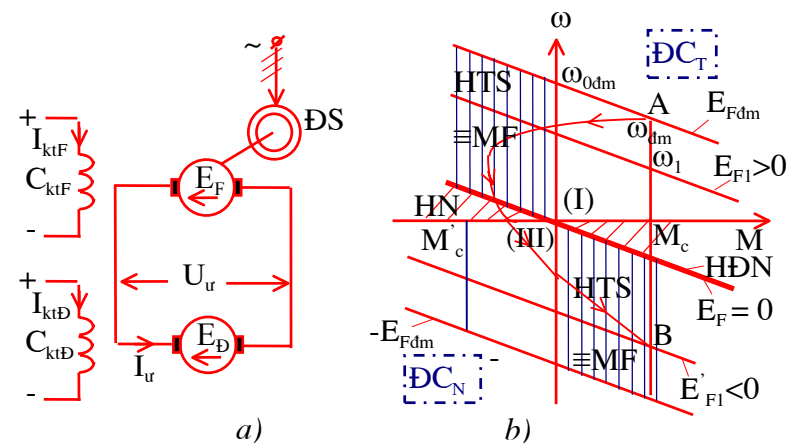
Phương trình đặc tính cơ khi điều chỉnh tốc độ dùng máy phát:

$$\omega = \frac{E_F}{K\phi_D} - \frac{R}{(K\phi_D)^2} M \quad (4-2)$$

$$\omega = \frac{K_F \cdot U_{KF}}{K\phi_D} - \frac{R}{(K\phi_D)^2} M$$

Như vậy, khi thay đổi U_{KF} (hoặc i_{KF}) thì ta sẽ được một họ đường đặc tính cơ song song nhau ở cả 4 góc phần tư (hình 4-2).

Ở góc phần tư (I) và (III) của tọa độ đặc tính cơ thì động cơ làm việc ở chế độ động cơ quay thuận và chế độ động cơ quay ngược.



Hình 4-2: a) Sơ đồ điều chỉnh tốc độ hệ F-Đ.

b) Đặc tính điều chỉnh tốc độ hệ F-Đ.

Đặc tính cơ hãm động năng ($E_F = 0$) đi qua gốc tọa độ; Các vùng nằm giữa trục tung (ω) và đặc tính cơ hãm động năng ($E_F = 0$) là chế độ hãm tái sinh hay chế độ máy phát ($\omega > \omega_0$) của động cơ;

Các vùng nằm giữa trục hoành (M) và đặc tính cơ khi hãm động năng ($E_F = 0$) là *chế độ hãm ngược* ($\omega \uparrow \downarrow M$) của động cơ.

Đặc điểm của hệ F - Đ là điều chỉnh tốc độ rất linh hoạt, động cơ có thể tự động chuyển đổi qua các chế độ làm việc khi thay đổi tốc độ hoặc đảo chiều tốc độ. Ví dụ động cơ đang làm việc tại điểm A, khi đảo chiều kích từ máy phát F ($M_c = \text{const}$) thì động cơ sẽ chuyển dần từ chế độ động cơ thuận (A) sang hãm tái sinh, hãm ngược, khởi động ngược và sẽ làm việc xác lập ở điểm B (chế độ hãm tái sinh).

Khi điều chỉnh E_F thì sẽ thay đổi được tốc độ động cơ $\omega \leq \omega_{cb}$; khi đảo chiều i_{ktF} thì đảo chiều được E_F và như vậy đảo chiều được ω .

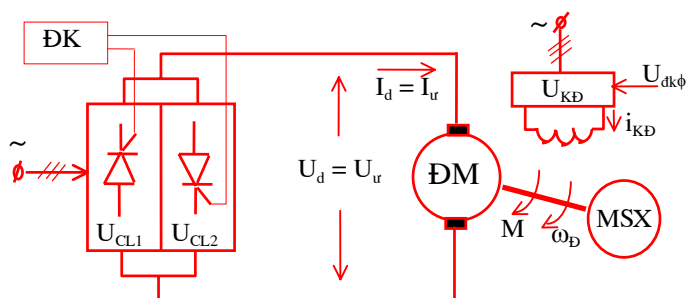
Nếu kết hợp điều chỉnh và đảo chiều từ thông của động cơ thì sẽ điều chỉnh và đảo chiều được tốc độ của động cơ $\omega \geq \omega_{cb}$.

Như vậy, kết hợp điều chỉnh i_{ktF} và i_{ktD} thì sẽ điều chỉnh được tốc độ động cơ $\omega \leq \omega_{cb}$ và $\omega \geq \omega_{cb}$ (cả 2 vùng tốc độ).

4.1.2. Hệ Chỉnh lưu - Động cơ một chiều (CL-ĐM):

Khi ta dùng các bộ chỉnh lưu có điều khiển - hay là các bộ chỉnh lưu dùng thyristor để làm bộ nguồn một chiều cung cấp cho phân ứng động cơ điện một chiều, ta còn gọi là hệ T - Đ.

Sơ đồ nguyên lý:



Hình 4-3: Điều chỉnh tốc độ động cơ ĐM_đ dùng Chỉnh lưu

4.1.2.1. Xét hệ CL - ĐM không đảo chiều:

+ Chế độ dòng liên tục: $E_d = E_{d0} \cdot \cos \alpha$

$$\omega = \frac{E_{d0} \cdot \cos \alpha}{K\phi_{dm}} - \frac{R_r + R_{cl}}{K\phi_{dm}} \cdot I$$

$$\omega = \frac{E_{d0} \cdot \cos \alpha}{K\phi_{dm}} - \frac{R_r + R_{cl}}{(K\phi_{dm})^2} \cdot M$$

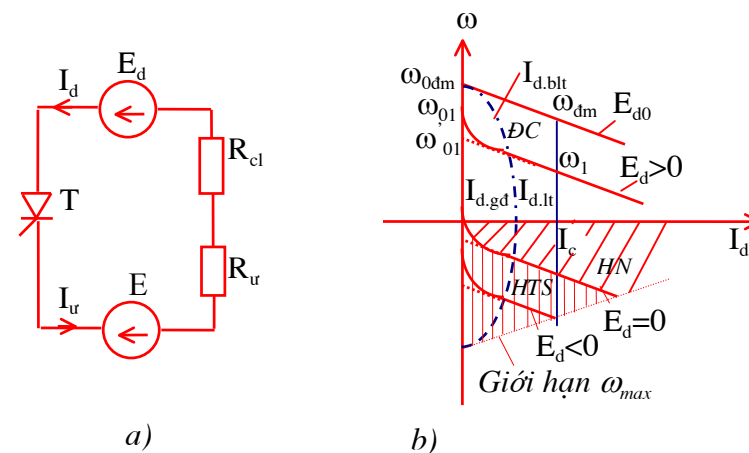
$$\omega = \omega'_0 - \Delta\omega$$
(4-3)

Trong đó:

$$\omega'_0 = \frac{E_{d0} \cdot \cos \alpha}{K\phi_{dm}}$$

là tốc độ không tải giả tưởng, vì lúc đó ở vùng

dòng điện gián đoạn, hệ sẽ có thêm một lượng sụt áp nên đường đặc tính điều chỉnh dốc hơn, tốc độ không tải lý tưởng thực ω_0 sẽ lớn hơn tốc độ không tải lý tưởng giả tưởng ω'_0 (hình 4-4).



Hình 4-4: a) Sơ đồ thay thế Hệ T - Đ không đảo chiều
b) Đặc tính điều chỉnh tốc độ hệ T - Đ.

Vậy, khi thay đổi góc điều khiển $\alpha = (0 \div \pi)$ thì E_d thay đổi từ E_{d0} đến $-E_{d0}$ và ta sẽ được một họ đặc tính cơ song song nhau nằm ở nửa bên phải của mặt phẳng tọa độ $[\omega, I]$ hoặc $[\omega, M]$ nếu chúng ta chỉ cho một bộ chỉnh lưu làm việc ở chế độ chỉnh lưu (hình 4-4).

Vùng dòng điện gián đoạn bị giới hạn bởi một nửa đường elip với trục tung:

$$I_{d.bl} = \frac{E_{d0} \cdot \sin \alpha}{X_{BA} + 2\pi f_1 L_{u\Sigma}} \left(1 - \frac{\pi}{m} \cot g \frac{\pi}{m} \right) \quad (4-5)$$

Trong đó: X_{BA} - điện kháng máy biến áp.

$L_{u\Sigma}$ - Điện cảm tổng mạch phản ứng.

f_1 - tần số lưới.

m - số pha chỉnh lưu.

Trong vùng dòng điện gián đoạn ($\omega_0 < \omega_0'$):

$$\omega_0 = \begin{cases} \frac{E_{2m} - \Delta U_v}{K\phi_{dm}} \Rightarrow 0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{m} \\ \frac{E_{2m} \cdot \cos(\alpha - \pi/m) - \Delta U_v}{K\phi_{dm}} \Rightarrow \alpha > \frac{\pi}{m} \end{cases} \quad (4-6)$$

Trong đó: E_{2m} - biên độ sức điện động thứ cấp máy biến áp CL.

Đường giới hạn tốc độ cực đại:

$$\omega_{gh.max} = \frac{E_{d0} \cdot \cos \alpha}{K\phi} - \frac{R_{u\Sigma}}{K\phi} I_{d.bl} \quad (4-7)$$

4.1.2.2. Xét hệ CL - ĐM có đảo chiều:

Muốn đảo chiều tốc độ động cơ thì phải dùng hai bộ chỉnh lưu đầu song song ngược - *chỉnh lưu kép* (hình 4-3), nguyên tắc điều khiển hai bộ chỉnh lưu là:

+ Khi cho bộ CL1 làm việc ở chế độ chỉnh lưu thì CL2 chuẩn bị làm việc ở chế độ nghịch lưu, dòng chỉnh lưu chạy theo chiều dương, tốc độ động cơ quay thuận.

+ Ngược lại, khi cho bộ CL2 làm việc ở chế độ chỉnh lưu thì CL1 chuẩn bị làm việc ở chế độ nghịch lưu, dòng chỉnh lưu chạy theo chiều âm, tốc độ động cơ quay ngược.

Để khởi truyền năng lượng từ bộ CL này qua bộ CL kia về lưới thì cần thỏa mãn điều kiện:

$$|E_{d.NL}| \geq |E_{d.CL}| \quad (4-8)$$

Để điều khiển hai bộ chỉnh lưu làm việc theo đúng các chế độ yêu cầu thì có thể dùng phương pháp điều khiển chung hoặc điều khiển riêng.

* **Phương pháp điều khiển chung:** tín hiệu điều khiển được đưa vào cả 2 nhóm van sao cho thỏa mãn (4-8). Đối với phương pháp này, có thể xuất hiện dòng điện cân bằng chạy qua 2 bộ chỉnh lưu, không qua tải, gây quá tải cho các van và máy biến áp, cho nên cần hạn chế dòng cân bằng, thường dùng các cuộn kháng cân bằng CK để hạn chế dòng cân bằng.

Trong phương pháp điều khiển chung, khi *phối hợp điều khiển kiểu tuyến tính*:

$$\alpha_1 + \alpha_2 = \pi \quad (4-9)$$

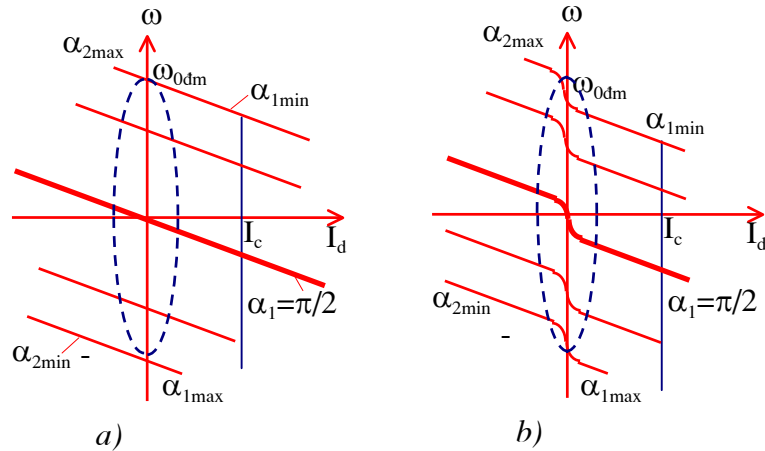
Khi đó, các đặc tính cơ của hệ T - ĐM sẽ gần giống hệ F - Đ (hình 4-5a).

Khi *phối hợp điều khiển kiểu phi tuyến* (phối hợp không hoàn toàn) thì sẽ có thêm hệ số phi tuyến ξ :

$$\alpha_1 + \alpha_2 = \pi + \xi \quad (4-10)$$

Góc ξ phụ thuộc vào các giá trị của α_1 và α_2 một cách phi tuyến.

Lúc này các đặc tính cơ của hệ T - ĐM có đoạn phi tuyến ở vùng gần trục tung (hình 4-5b).



Hình 4-5: a) Điều khiển chung phối hợp kiểu tuyến tính.
b) Điều khiển chung phối hợp kiểu phi tuyến.

* **Phương pháp điều khiển riêng:** tín hiệu điều khiển chỉ được đưa vào bộ CL đang làm việc ở chế độ chỉnh lưu, còn bộ CL kia (không làm việc) không có tín hiệu điều khiển đưa vào, cho nên không có dòng cân bằng.

Trong phương pháp điều khiển riêng cũng có *phối hợp điều khiển kiểu tuyến tính* và *phi tuyến*.

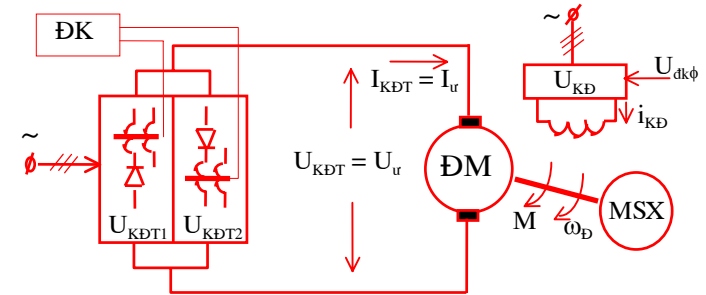
Để thay đổi trạng thái làm việc của các bộ CL thì phải dùng thiết bị đặc biệt để chuyển các tín hiệu điều khiển từ bộ CL này sang bộ CL kia. Bởi vậy, khi điều khiển riêng, các đặc tính cơ của hệ sẽ bị gián đoạn ở tại trục tung. Như vậy, khi thực hiện thay đổi chế độ làm việc của hệ sẽ khó khăn hơn và hệ sẽ có tính linh hoạt kém hơn khi điều chỉnh tốc độ.

Nếu kết hợp điều chỉnh và đảo chiều từ thông của động cơ thì sẽ điều chỉnh và đảo chiều được tốc độ của động cơ $\omega \geq \omega_{cb}$.

Như vậy, kết hợp điều chỉnh i_{ktF} và i_{ktD} thì sẽ điều chỉnh được tốc độ động cơ $\omega \leq \omega_{cb}$ và $\omega \geq \omega_{cb}$ (cả 2 vùng tốc độ).

4.1.3. Hệ Khuếch đại từ - Động cơ một chiều (KĐT - ĐM):

Sơ đồ nguyên lý:



Hình 4-6: Sơ đồ Khuếch đại từ - Động cơ điện một chiều

Để điều chỉnh tốc độ động cơ dùng khuếch đại từ, ta thay đổi dòng điều khiển khuếch đại từ (thay đổi góc từ hoá α_s) thì điện áp ra của khuếch đại từ sẽ thay đổi và như vậy sẽ điều chỉnh được tốc độ động cơ:

$$\omega = \frac{E_{KĐT} - \Delta U_v}{K\phi} - \frac{R_{KĐT} - R_u}{K\phi} M \quad (4-11)$$

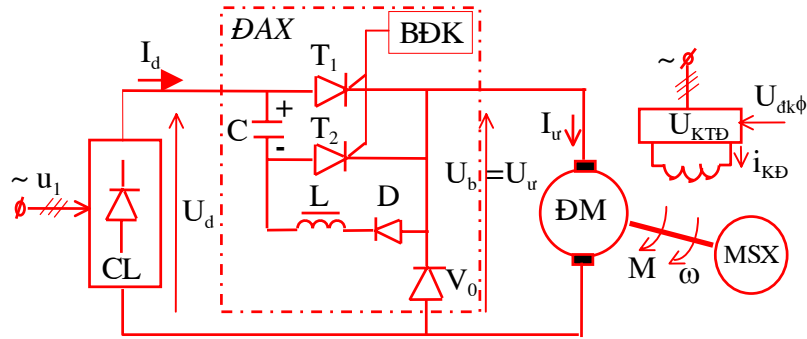
Các đặc tính cơ của hệ KĐT - ĐM gần giống như các đặc tính cơ của hệ T - ĐM. Trong vùng dòng điện liên tục, đặc tính cơ cứng hơn vùng dòng điện gián đoạn, và vùng dòng điện gián đoạn cũng bị giới hạn bởi đường elip bao quanh gốc tọa độ mặt phẳng đặc tính cơ.

Kết hợp điều chỉnh điện áp ra của khuếch đại từ và điều chỉnh từ thông động cơ ta cũng điều chỉnh được tốc độ động cơ cả trên và dưới tốc độ cơ bản.

Muốn đảo chiều tốc độ động cơ cũng phải dùng hai khuếch đại từ mắc song song ngược (khuếch đại từ kép).

4.1.4. Hệ Băm điện áp - Động cơ một chiều (ĐAX - ĐM):

Sơ đồ nguyên lý:



Hình 4-7: Điều chỉnh tốc độ động cơ ĐM_{ai} dùng bộ Băm ĐA

Sơ đồ hình 4-7 giới thiệu một sơ đồ đơn giản của hệ ĐAX - ĐM dùng khóa đóng/cắt bằng thyristor. Trong đó, bộ nguồn một chiều là bộ chỉnh lưu cầu diot ba pha CL, tạo ra điện áp U_d tương đối bằng phẳng, giúp cho việc duy trì chế độ dòng điện liên tục được dễ dàng. Điều khiển thyristor T_1 mở/khóa bằng xung mở của bộ điều khiển BDK, ta sẽ được điện áp ra của bộ băm nối tiếp U_b đặt vào phần ứng của động cơ ĐM, tương ứng sẽ có tốc độ ω .

Trong chế độ dòng điện liên tục, các đại lượng trong hệ được tính toán theo giá trị trung bình:

Điện áp hoặc s.đ.đ. trung bình của bộ ĐAX:

$$E_b = U_{tb} = \frac{t_d}{T_{ck}} \cdot U_d = \gamma U_d \quad (4-12)$$

Trong đó: $\gamma = \frac{t_d}{T_{ck}} = \frac{t_d}{T_x} = t_d \cdot f_x$ - là tỷ số chu kỳ băm,

Với T_x và f_x là chu kỳ xung và tần số xung của bộ BDK.

Dòng điện trung bình mạch phần ứng sẽ là:

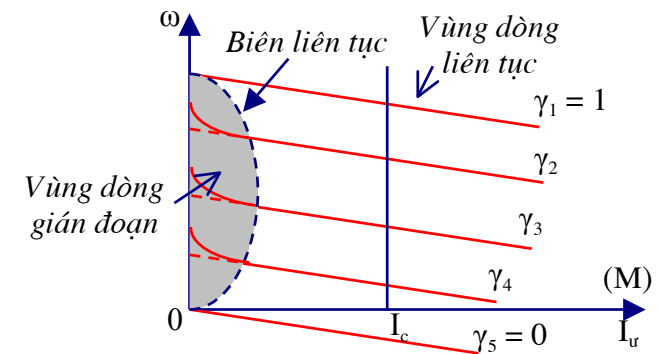
$$I_u = I_{tb} = \frac{E_b - E}{R_{u\Sigma}} = \frac{\gamma U_d - K\Phi\omega}{R_{u\Sigma}} \quad (4-13)$$

Phương trình đặc tính cơ-điện và đặc tính cơ của hệ ĐAX - ĐM có dạng:

$$\omega = \frac{\gamma U_d}{K\Phi} - \frac{R_{u\Sigma}}{K\Phi} I_u \quad (4-14)$$

Và:
$$\omega = \frac{\gamma U_d}{K\Phi} - \frac{R_{u\Sigma}}{(K\Phi)^2} M \quad (4-15)$$

Đặc tính cơ theo phương trình (4-15) ở vùng dòng điện liên tục là những đường thẳng song song nhau như hình 4-8, trong đó tốc độ không tải lý tưởng phụ thuộc vào tỉ số chu kỳ: $\omega_0 = \gamma U_d / K\Phi$.



Hình 4-8: Đặc tính cơ của hệ ĐAX - ĐM

Xung điều khiển các thyristor T_1 và T_2 được tạo ra nhờ bộ BDK với tần số xung $f_x = 1/T_x$. Khi thay đổi chu kỳ xung T_x hay tần số xung f_x , ta sẽ làm thay đổi thời gian mở/khóa của T_1 và T_2 , từ đó thay đổi được điện áp U_b và U_u , dẫn đến điều chỉnh được tốc độ động cơ ω .

§ 4.2. HỆ BỘ BIẾN ĐỔI - ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ:

4.2.1. Các phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ ĐK:

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

Sử dụng trực tiếp lưới điện xoay chiều 3 pha...

Tuy nhiên, việc điều chỉnh tốc độ và khống chế các quá trình quá độ khó khăn hơn, các động cơ ĐK lồng sóc có các chỉ tiêu khởi động xấu, (dòng khởi động lớn, mômen khởi động nhỏ).

Trong thời gian gần đây, do phát triển công nghiệp chế tạo bán dẫn công suất và kỹ thuật điện tin học, động cơ ĐK mới được khai thác các ưu điểm của chúng. Nó trở thành hệ truyền động cạnh tranh có hiệu quả so với hệ Thyristor - Động cơ điện một chiều.

Qua phương trình đặc tính cơ của động cơ ĐK:

$$M = \frac{2M_{th}(I + as_{th})}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s} + 2as_{th}} \quad (4-16)$$

Trong đó:

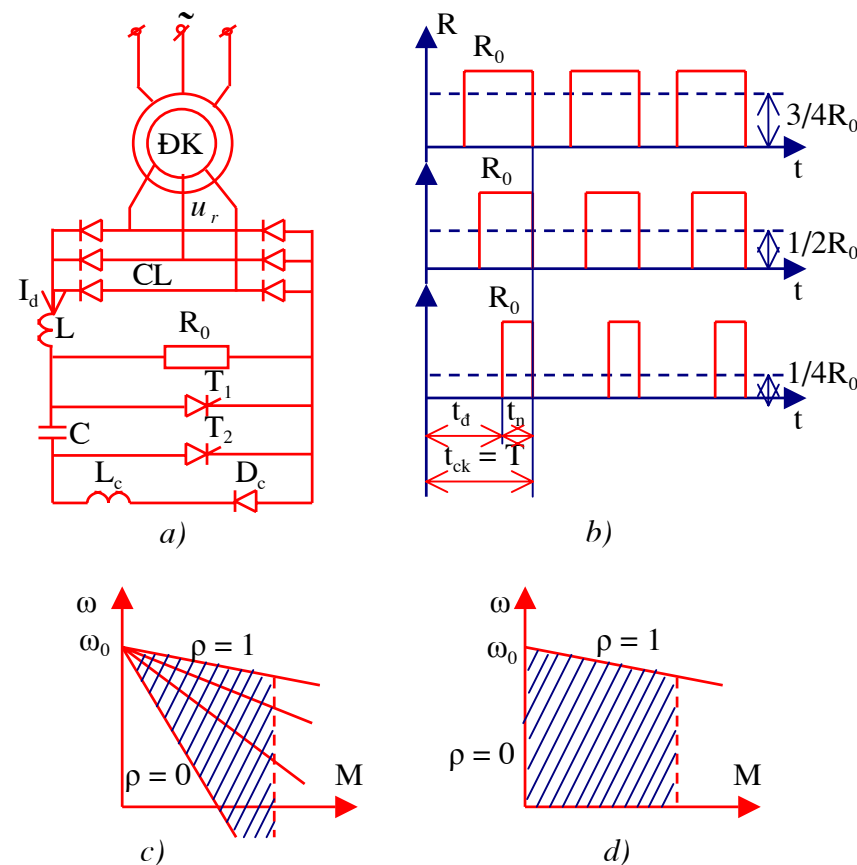
$$s_{th} = \pm \frac{R'_{2\Sigma}}{\sqrt{R_1^2 + X_{nm}^2}} \quad (4-17)$$

$$\text{Và: } M_{th} = \pm \frac{3.U_{lf}^2}{2\omega_o.(R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_{nm}^2})} \quad (4-18)$$

$$s_{th} = \pm \frac{R'_{2\Sigma}}{\sqrt{R_1^2 + X_{nm}^2}} \quad (4-19)$$

Qua biểu thức (4-16), (4-17), (4-18), (4-19) ta thấy rằng khi dùng các bộ biến đổi: *xung điện trở mạch rôto, điều áp xoay chiều stato, biến tần mạch stato*, thì sẽ thay đổi được s_{th} , M_{th} và sẽ điều chỉnh được tốc độ của động cơ ĐK.

4.2.2. Phương pháp xung điện trở mạch rôto:



Hình 4-9: a, b) Sơ đồ và đặc tính điều chỉnh bằng xung $R_{rôto}$ đ/c ĐK
c, d) Các đặc tính cơ điều chỉnh xung điện trở rôto ĐK.

Trên hình 4-9 trình bày nguyên lý điều chỉnh trơn điện trở mạch rôto bằng phương pháp xung. Điện áp u_r được điều chỉnh bởi cầu chỉnh lưu điốt CL, qua điện kháng lọc L, cấp vào mạch điều chỉnh gồm điện trở R_o nối song song với khóa bán dẫn T_1 .

Khóa T_1 được điều khiển đóng ngắt một cách chu kỳ. Hoạt động của khóa T_1 tương tự như mạch điều chỉnh xung áp một chiều. Khi khóa T_1 đóng điện trở R_o bị ngắn mạch (bị loại ra khỏi mạch), dòng rôto tăng lên, khi T_1 ngắt, điện trở R_o được đưa vào mạch, dòng rôto giảm xuống. Với chu kỳ đóng-ngắt nhất định ($T = \text{const}$), ta sẽ có một giá trị điện trở tương đương (R_{td}) trong mạch rôto. Hình 4-9b: thời gian đóng $t_d = T - t_n$, nếu điều chỉnh trơn tỷ số chu kỳ $\gamma = (t_d/T)$, thì ta sẽ điều chỉnh trơn được giá trị giá trị điện trở trong mạch rôto:

$$R_{td} = (1-\gamma) \cdot R_o \quad (4-20)$$

Điện trở R_{td} trong mạch một chiều được tính đổi về mạch xoay chiều 3 pha ở rôto theo qui tắc bảo toàn công suất. Tổn hao trong mạch rôto nối theo sơ đồ hình 3-9a là:

$$\Delta P = I_d^2 (2R_2 + R_{td}) \quad (4-21)$$

Và hao tổn khi mạch rôto nối theo sơ đồ hình 3-6a là:

$$\Delta P = 3I_2^2 (R_2 + R_{2f}) \quad (4-22)$$

Cơ sở để tính đổi là tổn hao công suất nh nhau, nên:

$$I_d^2 (2R_2 + R_{td}) = 3I_2^2 (R_2 + R_{2f}) \quad (4-23)$$

Với sơ đồ chỉnh lưu cầu 3 pha thì: $I_d^2 = 1,5I_2^2$, nên:

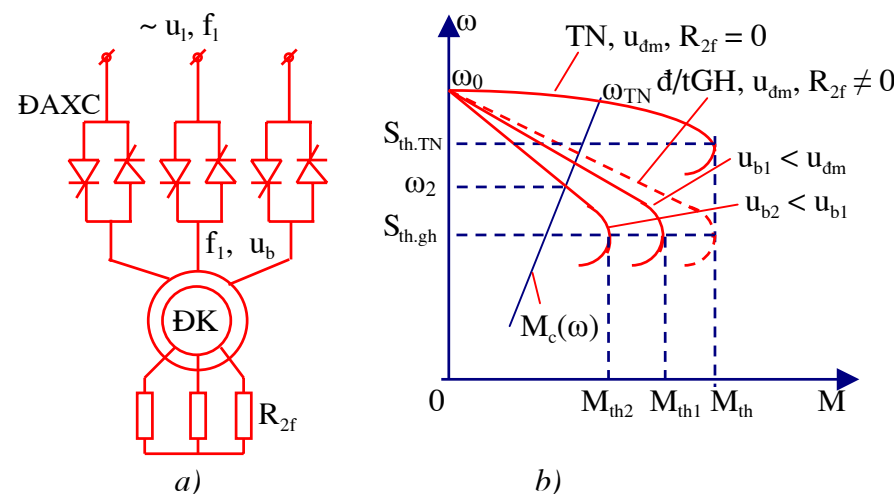
$$R_{2f} = \frac{R_{td}}{2} = \frac{(1-\gamma) \cdot R_o}{2} \quad (4-24)$$

Khi đã có điện trở tính đổi sẽ dễ dàng dựng được các đặc tính cơ theo phương pháp thông thường, họ các đặc tính cơ này sẽ quét kín phần mặt phẳng giới hạn bởi đặc tính cơ tự nhiên và đặc tính cơ có điện trở phụ $R_{2f} = R_o/2$ như hình 4-9c.

Để mở rộng phạm vi điều chỉnh mômen thì có thể mắc nối tiếp điện trở R_o với một tụ điện có điện dung đủ lớn (hình 4-9d). Việc xây dựng các mạch phản hồi điều chỉnh tốc độ và dòng điện rôto được tiến hành tương tự hệ điều chỉnh điện áp.

4.2.3. Điều chỉnh tốc độ ĐK bằng bộ điều áp xoay chiều stato (u_s):

Mômen động cơ ĐK tỉ lệ với bình phương điện áp stato, nên có thể điều chỉnh mômen và tốc độ động cơ ĐK bằng cách thay đổi điện áp stato và giữ tần số không đổi nhờ bộ biến đổi điện áp xoay chiều (ĐAXC) như hình 4-10:



Hình 4-10: a) Sơ đồ điều chỉnh tốc độ đ/c ĐK bằng bộ u_{stato} .
b) Các đặc tính điều chỉnh bằng bộ u_{stato} đ/c ĐK

Nếu coi bộ ĐAXC là nguồn lí tưởng ($Z_b = 0$), khi $u_b \neq u_{dm}$ thì mômen tới hạn $M_{th,u}$ tỉ lệ với bình phương điện áp, còn $s_{th,u} = \text{const}$:

$$\left. \begin{aligned} M_{th,u} &= M_{th,gh} \left(\frac{u_b}{u_1} \right)^2 = M_{th} \cdot u_b^{*2} \\ s_{th,u} &= s_{th,gh} = \text{const} \end{aligned} \right\} \quad (4-25)$$

Để cải thiện dạng đặc tính điều chỉnh và giảm bớt mức phát nóng của động cơ, người ta mắc thêm điện trở R_{2f} (hình 4-10). Khi đó, nếu điện áp đặt vào stato là định mức ($u_b = u_1$) thì ta được đặc tính mềm hơn đặc tính tự nhiên, gọi là đặc tính giới hạn.

$$\text{Rõ ràng là: } s_{th,gh} = s_{th} \frac{R_2 + R_{2f}}{R_2}; \quad M_{th,gh} = M_{th} \quad (4-26)$$

Trong đó: $M_{th,gh}$, $s_{th,gh}$ là mômen và hệ số trượt tới hạn của đặc tính giới hạn (đ/tGH).

M_{th} , s_{th} là mômen và hệ số trượt tới hạn của đặc tính tự nhiên.

Dựa vào đặc tính giới hạn $M_{gh}(s)$, và nếu $\omega = \text{const}$, ta suy ra đặc tính điều chỉnh ứng với giá trị u_b cho trước nhờ quan hệ:

$$M_u^* = u_b^{*2}; \quad M_u^* = \frac{M_u}{M_{gh}} \quad (4-27)$$

Đặc tính điều chỉnh trong trường hợp này như hình 4-10b.

Phương pháp điều chỉnh điện áp chỉ thích hợp với truyền động mà mômen tải là hàm tăng theo tốc độ như: máy bơm, quạt gió, ... Có thể dùng máy biến áp tự ngẫu, điện kháng, hoặc bộ biến đổi bán dẫn làm bộ ĐAXC cho động cơ ĐK.

4.2.4. Các bộ biến đổi tần số - điện áp:

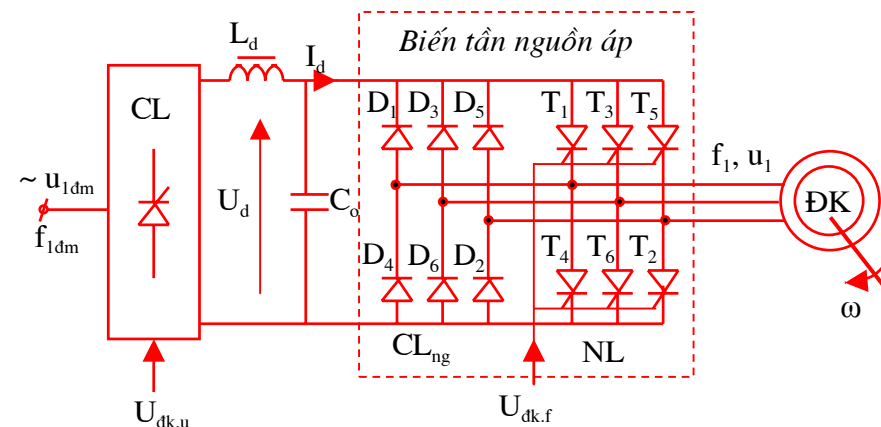
Thông thường khi điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi tần số, người ta kết hợp thay đổi điện áp stato sao cho hệ số quá tải mômen của động cơ $\lambda = \text{const}$, phụ thuộc các loại phụ tải khác nhau ta đã xác định được quan hệ giữa sự thay đổi điện áp và tần số theo công thức:

$$\frac{u_1}{f_1^{(1+\frac{q}{2})}} = \text{const}; \quad (\text{với } q = -1, 0, 1, 2) \quad (4-28)$$

$$\text{Hay: } u_1^* = f_1^{*(1+\frac{q}{2})}; \quad (\text{với } q = -1, 0, 1, 2) \quad (4-29)$$

Hình 4-11 có các khối chức năng: nguồn xoay chiều có $u_{1,dm}$, $f_{1,dm}$ qua bộ chỉnh lưu (CL) biến đổi thành điện áp một chiều U_d cấp cho bộ biến tần: Bộ nghịch lưu áp ba pha (NL) gồm 6 thyristor ($T_1 \div T_6$) và cầu chỉnh lưu ngược (CL_{ng}) gồm ($D_1 \div D_6$) để hoàn trả năng lượng phản kháng. Điện áp đầu ra của bộ BT (u_1) có dạng “sin chữ nhật” và tần số là f_1 , đặt lên stato động cơ ĐK cần điều chỉnh tốc độ ω .

Muốn điều chỉnh tần số f_1 đặt vào stato để điều chỉnh tốc độ động cơ ĐK, thì thay đổi điện áp điều khiển $U_{dk,f}$ của bộ biến tần áp. Còn muốn điều chỉnh điện áp u_1 đặt vào stato theo qui luật (4-29), thì thay đổi điện áp điều khiển $U_{dk,u}$ của bộ chỉnh lưu.



Hình 4-11: Sơ đồ nguyên lý bộ biến tần nguồn áp

* Các đặc điểm của việc điều chỉnh tần số:

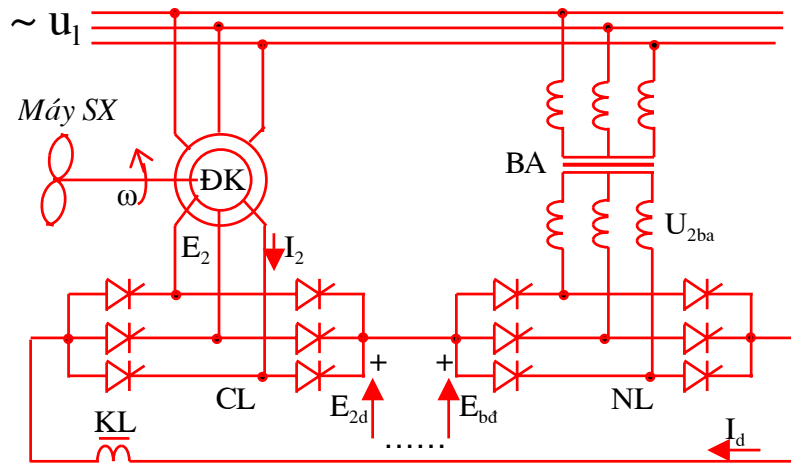
Điều chỉnh tốc độ động cơ ĐK bằng cách biến đổi điện áp và tần số trên đầu nối stato là một trong những phương pháp được chú ý và có nhiều triển vọng.

Bằng phương pháp điều chỉnh này, ta nhận được những đặc tính cơ ứng. Khi đó tổn thất công suất không lớn. Thực vậy, từ biểu thức:

$$\Delta P_{\text{điện}} = M\omega_o s \quad (4-30)$$

4.2.5.2. Sơ đồ nối tăng điện:

Sơ đồ nguyên lý :



Hình 4-13: Sơ đồ nguyên lý hệ điều chỉnh tăng điện

Hình 4-13 giới thiệu một sơ đồ nguyên lý hệ điều chỉnh nối tăng điện. Trong này, năng lượng trượt trong mạch rôto của động cơ ĐK (được biểu thị bởi các thông số s.d.đ. xoay chiều E_2 , dòng xoay chiều I_2 và tần số mạch rôto $f_2 = f_1.s$) cũng được chỉnh lưu thành dạng một chiều (với các thông số E_{2d} , I_d) nhờ cầu diot CL rồi được truyền vào bộ nghịch lưu NL (với chức năng là thiết bị biến đổi trong hình 4-12). Với bộ nghịch lưu này, việc chuyển mạch các thyristor được thực hiện nhờ điện áp lưới (u_1), do đó năng lượng trượt dạng một chiều sẽ được biến đổi thành xoay chiều có tần số của điện áp lưới, cuối cùng qua máy biến áp BA, năng lượng trượt được trả về lưới điện.

Trong sơ đồ nối tăng điện hình 4-13, dòng điện rôto I_2 của động cơ ĐK hoặc dòng điện trong mạch một chiều I_d cũng được xác định theo biểu thức (4-33), trong đó E_{bd} là s.d.đ. của bộ nghịch lưu có dạng:

$$E_{bd} = E_{NL} = U_{d0} \cos \alpha \quad (4-34)$$

Trong đó: α là góc mở của các thyristor ($\alpha > \pi/2$)

$\beta = \pi - \alpha$ là góc mở chậm của thyristor ở trạng thái nghịch lưu.

U_{d0} là điện áp lớn nhất của bộ nghịch lưu với trường hợp $\alpha = 0$; $U_{d0} = 2,34 U_{2ba}$. Với U_{2ba} là điện áp pha thứ cấp máy biến áp BA.

Từ các biểu thức (4-33) và (4-34) ta thấy, khi thay đổi góc mở α của các van trong bộ nghịch lưu (từ $\pi/2$ đến $\approx \pi$) tương ứng với sự thay đổi của s.d.đ. nghịch lưu E_{bd} (từ 0 đến $\approx U_{d0}$), thì dòng điện I_d và I_2 sẽ thay đổi, nhờ đó mômen và tốc độ của động cơ sẽ được điều chỉnh.

CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Làm thế nào để thay đổi và đảo chiều được tốc độ động cơ trong phương pháp điều chỉnh dùng hệ thống “Máy phát - Động cơ điện một chiều” ?

2. Làm thế nào để thay đổi được điện áp chỉnh lưu ? Đặc điểm của phương pháp điều chỉnh tốc độ dùng hệ “Chỉnh lưu - Động cơ điện một chiều không đảo chiều” ? Các phương pháp điều khiển các bộ chỉnh lưu trong hệ truyền động T - Đ có đảo chiều ? Cách phối hợp góc điều khiển trong các phương pháp điều khiển các bộ chỉnh lưu ?

3. Làm thế nào để thay đổi tốc độ động cơ trong phương pháp điều chỉnh dùng hệ thống “Bấm điện áp - Động cơ điện một chiều” ?

4. Phân tích phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ bằng cách dùng bộ băm điện trở mạch rôto ? So sánh chỉ tiêu chất lượng với phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ ĐK bằng cách dùng các cấp điện trở phụ mạch rôto ?

5. Phân tích phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ ĐK bằng cách thay đổi tần số dòng điện stato (hệ :BT - ĐK) ? Tại sao khi thay đổi tần số người ta thường kết hợp điều chỉnh điện áp stato ?

5. Phân tích các phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ ĐK bằng các hệ “nối tăng điện cơ” và “nối tăng điện” ? Ưu, nhược điểm của các phương pháp đó ?

CHƯƠNG 5

QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

§5.1. KHÁI NIỆM CHUNG

+ Quá trình quá độ truyền động điện (QTQĐ TĐĐ) là quá trình làm việc của hệ thống TĐĐ khi chuyển từ trạng thái xác lập này sang trạng thái xác lập khác, khi đó các đại lượng đặc trưng cho hệ thống TĐĐ (I , M , ω , ...) đều thay đổi theo thời gian.

+ Dựa vào các đặc tính $I(t)$, $M(t)$, $\omega(t)$, $n(t)$... ta sẽ xác định được thời gian và tính chất diễn biến của QTQĐ tương ứng với chế độ công nghệ của máy; từ đó đánh giá được mômen cho phép, gia tốc dòng điện trong QTQĐ, cũng như biết được mức độ quá tải của động cơ, và từ đó mà chọn công suất động cơ và các khí cụ, thiết bị điều khiển cho phù hợp.

+ Nguyên nhân có QTQĐ có thể là:

Nguyên nhân khách quan: do tác động ngẫu nhiên (nhiều loại) như: mưa, bão, sét đánh, nhiệt độ thay đổi, điện áp, tần số lưới thay đổi, phụ tải thay đổi bất thường ...

Nguyên nhân chủ quan: do con người điều khiển hoặc tác động điều khiển các chế độ làm việc khác nhau của hệ thống TĐĐ theo yêu cầu công nghệ như: thay đổi tốc độ, khởi động, hãm, đảo chiều ..., vì các phần tử, các thiết bị có quán tính cơ và quán tính điện từ nên có QTQĐ.

+ Hệ thống TĐĐ có các phần tử *điện* + *cơ* nên luôn luôn tồn tại các phần tử tích lũy năng lượng, do đó mà có *quán tính*.

Quán tính điện từ: đặc trưng bởi hằng số thời gian điện từ $T_{dt} = \frac{L}{R}$, do các phần tử tích lũy năng lượng điện từ như điện cảm L , tụ điện C .

Quán tính cơ: đặc trưng bởi hằng số thời gian cơ $T_c = \frac{J}{\beta}$, do các khâu tích lũy động năng như mômen quán tính J và khối lượng quán tính m (β là độ cứng đặc tính cơ).

Quán tính nhiệt: được đặc trưng bởi hằng số thời gian nhiệt $T_n = \frac{C}{A}$, do các phần tử tích lũy nhiệt năng như nhiệt dung ... (C là nhiệt dung, A là hệ số tỏa nhiệt).

Thường T_n rất lớn nên ta bỏ qua khi xét QTQĐ, vì QTQĐ có thể đã kết thúc rồi mà quá trình thay đổi nhiệt vẫn còn, cho nên coi như không ảnh hưởng đến QTQĐ đang xét.

T_{dt} có thể xét đến khi điện cảm L lớn, lúc đó quán tính điện từ tương đương với quán tính cơ.

Còn khi $T_{dt} \ll T_c$ thì bỏ qua quán tính điện từ.

T_c luôn luôn xét đến, vì các phần tử thường có J , m tương đối lớn.

+ Khảo sát QTQĐ sẽ xây dựng được các quan hệ của các đại lượng cơ, điện (n , ω , I , M ...) theo thời gian (t). Từ đó tính được thời gian QTQĐ.

Như vậy sẽ đánh giá được năng suất máy và nếu cần thiết thì tìm biện pháp giảm thời gian quá độ để tăng năng suất máy.

Hoặc từ đó tính được các gia tốc, lực điện động và sẽ hạn chế không cho vượt quá trị số cho phép.

Đồng thời sẽ tính được sự phát nóng của động cơ theo dòng xác lập và dòng quá độ, từ đó tìm biện pháp khắc phục và chọn công suất động cơ cho phù hợp.

Sau đây sẽ khảo sát một số quá trình quá độ (QTQĐ) thường xảy ra trong hệ thống truyền động điện (TĐĐ) và chủ yếu xét đến hằng số T_c và T_{dt} .

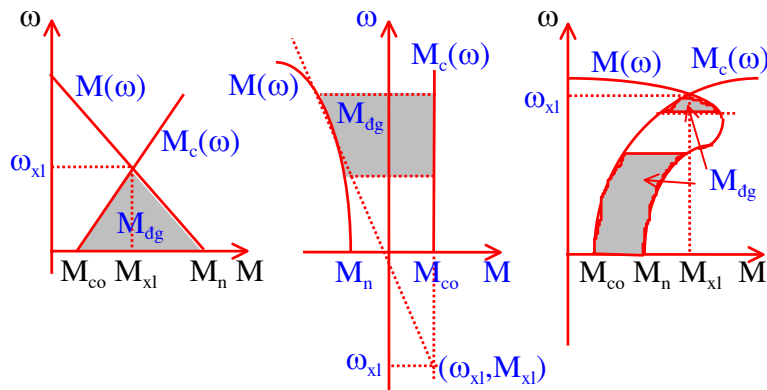
§5.2. QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ CƠ HỌC KHI

$U_{\text{NGUỒN}} = \text{CONST}$ VÀ $M_{\text{ĐỘNG}}(\omega)$ LÀ TUYẾN TÍNH:

5.2.1. Phương trình tổng quát:

+ Khảo sát QTQĐ khi chỉ xét đến quán tính cơ ($\exists T_c$) bỏ qua quán tính điện từ $\exists T_{dt}$ - gọi tắt là QTQĐ cơ học.

+ Khảo sát QTQĐ cơ học với điều kiện điện áp nguồn là hằng số ($U_{\text{nguồn}} = \text{const}$), mômen động $M_{\text{động}}(\omega)$ tuyến tính là trường hợp đơn giản nhất, có thể coi hệ thuộc loại *mẫu cơ học đơn khối*, tuy nhiên lại rất hay gặp, vì nó đúng với các dạng đặc tính cơ $M(\omega)$, $M_c(\omega)$ là tuyến tính (hình 5-1a), cũng có thể áp dụng cho các động cơ có $M(\omega)$ là phi tuyến, nhưng trong phạm vi xét thì $M(\omega)$ gần tuyến tính (hình 5-1b), hoặc $M(\omega)$ và $M_c(\omega)$ là phi tuyến cả nhưng có dạng gần giống nhau, như vậy cũng có thể có $M_{\text{động}}(\omega)$ gần tuyến tính (hình 5-1c).



Hình 5-1: Các dạng có $M_{\text{động}}$ là tuyến tính

+ Các giả thuyết cho trước:

$M(\omega)$ và $M_c(\omega)$ là tuyến tính, vậy $M_{\text{đg}}(\omega)$ sẽ là tuyến tính;
 $J = \text{const}$; $U_{\text{ng}} = \text{const}$; ví dụ như hình 5-1a, b; theo đó, QTQĐ được mô tả bởi hệ phương trình:

$$\left. \begin{aligned} M_{dg} &= M - M_c = J \frac{d\omega}{dt} \\ M &= M_n - \beta\omega \\ M_c &= M_{co} + \beta_c\omega \\ \beta &= \frac{dM}{d\omega} = \frac{M_n - M_{xl}}{\omega_{xl}} \\ \beta_c &= \frac{dM_c}{d\omega} = \frac{M_{xl} - M_{co}}{\omega_{xl}} \end{aligned} \right\} \quad (5-1)$$

Rút ra:

$$(M_n - \beta\omega) - (M_{co} + \beta_c\omega) = J \frac{d\omega}{dt}$$

$$\frac{M_n - M_{co}}{\beta + \beta_c} = \frac{J}{\beta + \beta_c} \cdot \frac{d\omega}{dt} + \omega$$

Ta có:

$$T_c \cdot \frac{d\omega}{dt} + \omega = \omega_{xl} \quad (5-2)$$

Trong đó:

$$\text{Hằng số thời gian cơ học: } T_c = \frac{J}{\beta + \beta_c} \text{ (sec);} \quad (5-3)$$

$$\text{Tốc độ xác lập: } \omega_{xl} = \frac{M_n - M_{co}}{\beta + \beta_c} \text{ (rad/sec);} \quad (5-4)$$

Nếu đặt:

$$M_o = M_n - M_{co};$$

$$\beta_{dg} = \beta + \beta_c;$$

$$\text{Thì: } M_{dg} = M_o - \beta_{dg}; \quad \beta_{dg} = M_o / \omega_{xl};$$

$$\text{Và: } T_c = J / \beta_{dg}; \quad (5-3a)$$

$$\omega_{xl} = M_o / \beta_{dg}; \quad (5-4a)$$

Nghiệm phương trình không thuần nhất (5-2) là:

$$\omega = \omega_{xl} + c \cdot e^{-t/T_c} \quad (5-5)$$

Theo điều kiện ban đầu: $\omega = \omega_{bd}$ khi $t = 0$, do đó:

$$c = \omega_{bd} - \omega_{xl}$$

Vậy ta có:

$$\omega(t) = \omega_{xl} + (\omega_{bd} - \omega_{xl}) \cdot e^{-t/T_c} \quad (5-6)$$

Theo giả thiết: $M \equiv \omega$ nên:

$$M = M_{xl} + (M_{bd} - M_{xl}) \cdot e^{-t/T_c} \quad (5-7)$$

T_c là hằng số thời gian cơ học, nó đặc trưng cho nhịp độ biến thiên của mômen và tốc độ động cơ trong QTQĐ.

Có thể coi T_c là thời gian tăng tốc của động cơ từ trạng thái đứng im đến tốc độ xác lập nếu $M_{dg, bd} = \text{const}$ trong QTQĐ.

Với giả thiết trên thì (5-6) và (5-7) có tính chất vạn năng. Chúng đúng với các QTQĐ khác nhau (khởi động, hãm, thay đổi tốc độ, đảo chiều ...) khi $M(\omega)$ và $M_c(\omega)$ là tuyến tính.

Tuỳ trường hợp cụ thể mà thay các giá trị tương ứng của các đại lượng ω_{bd} , ω_{xl} , M_{bd} , M_{xl} , và T_c vào (5-6) và (5-7).

Ví dụ nếu $M_c(\omega) = \text{const}$ thì $\beta_c = 0$, do đó:

$$\left. \begin{aligned} T_c &= \frac{J}{\beta} = J \frac{\Delta\omega}{\Delta M} \\ \omega_{xl} &= \frac{M_n - M_{co}}{\beta} = \omega_o - \frac{M_c}{\beta} \end{aligned} \right\} \quad (5-8)$$

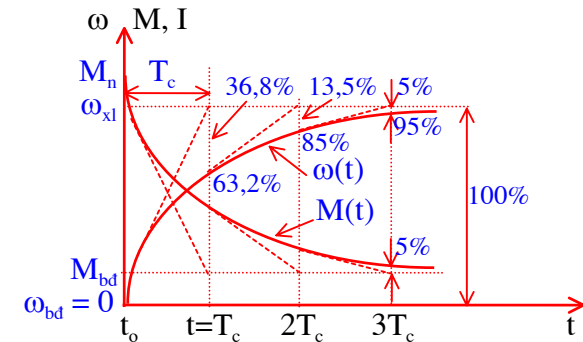
Các phương trình (5-6), (5-7) cho thấy: $\omega(t)$ và $M(t)$ có dạng hàm mũ. Đặc điểm của hàm mũ là đạo hàm của nó theo thời gian sẽ giảm đơn điệu, nghĩa là dM/dt và $d\omega/dt$ cứ sau một khoảng thời gian $t = T_c$ thì chúng giảm đi $e \approx 2,718$ lần:

$$\frac{\dot{M}(t+T_c)}{\dot{M}(t)} = \frac{\dot{\omega}(t+T_c)}{\dot{\omega}(t)} = e^{-\frac{t+T_c}{T_c} + \frac{t}{T_c}} = \frac{1}{e} \quad (5-9)$$

Tại thời điểm ban đầu, các đạo hàm có giá trị cực đại:

$$\left. \begin{aligned} \dot{M}(0) &= \frac{M_{xl} - M_{bd}}{T_c} \\ \varepsilon_o = \dot{\omega}(0) &= \frac{\omega_{xl} - \omega_{bd}}{T_c} \end{aligned} \right\} \quad (5-10)$$

Vì $\varepsilon_o T_c = (\omega_{xl} - \omega_{bd})$ nên đường tiếp tuyến với $\omega(t)$ tại thời điểm ban đầu sẽ cắt đường thẳng $\omega = \omega_{xl} = \text{const}$ ở điểm cách trục tung một khoảng đúng bằng T_c (hình 5-3).



Hình 5-3: Đặc tính QTQĐ khi $\omega_{bd} = 0$ và $M_{bd} = M_n$

Khi $\omega_{bd} = 0$ thì:

$$\omega = \omega_{xl}(1 - e^{-t/T_c})$$

T_c là khoảng thời gian cần thiết để tốc độ tăng từ:

$$\omega_{bd} = 0 \text{ lên đến } \omega = 0,632\omega_{xl}$$

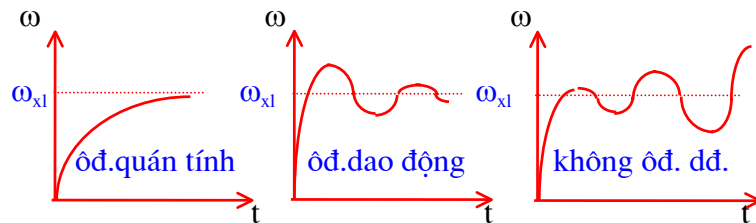
$$\omega = 0,632\omega_{xl} \text{ lên đến } \omega = 0,85\omega_{xl}$$

$$\omega = 0,85\omega_{xl} \text{ lên đến } \omega = 0,95\omega_{xl}$$

Và $M(t)$ cũng diễn biến tương tự $\omega(t)$.

Về lý thuyết thì $t_{qd} = \infty$, nhưng thực tế thì $t_{qd} \approx 3T_c$ (xem như kết thúc QTQĐ, vì sai số 5% có thể chấp nhận).

Khi giải phương trình (5-6) hoặc (5-7) có thể có nghiệm làm cho QTQĐ là ổn định hoặc không ổn định, không dao động hoặc dao động:



Hình 5-4: Các QTQĐ ổn định, không ổn định, dao động ...

Các phương trình trên chỉ đúng khi $M(\omega)$, $M_c(\omega)$ là liên tục, nếu $M(\omega)$, $M_c(\omega)$ không liên tục thì QTQĐ phải tính riêng cho từng đoạn liên tục một. Sau điểm đột biến của mômen, ta phải thay các giá trị mới của ω_{bd} , ω_{xl} , M_{bd} , M_{xl} và T_c vào các biểu thức (5-6), (5-7).

*Có thể ứng dụng: $M_{động}(\omega)$ là tuyến tính đối với:

+ Động cơ ĐM_{dl}, ĐK_{dq} khi thay đổi phụ tải với $M_c \equiv \omega$.

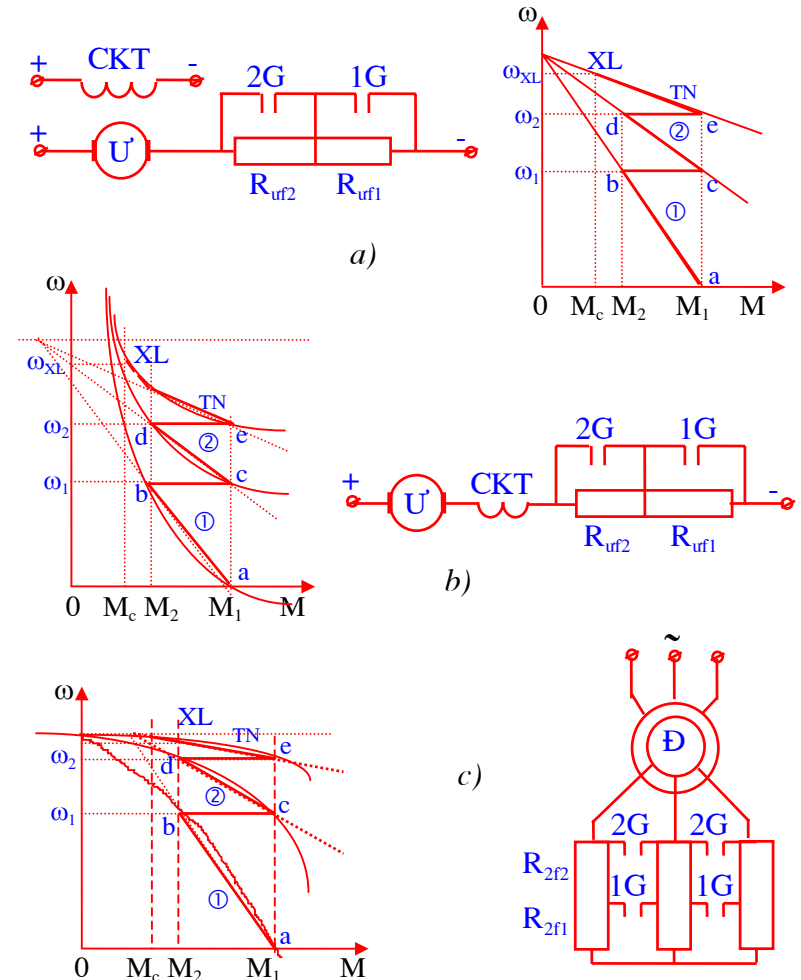
+ Động cơ ĐM_{dl}, ĐM_{nt}, ĐK khi hãm: $M_c = \text{const}$, $M_c \equiv \omega$.

+ Động cơ ĐK_{ls} khi khởi động trực tiếp với phụ tải kiểu quạt gió $M_c \equiv \omega^2$.

5.2.2. Quá trình quá độ cơ học khi khởi động:

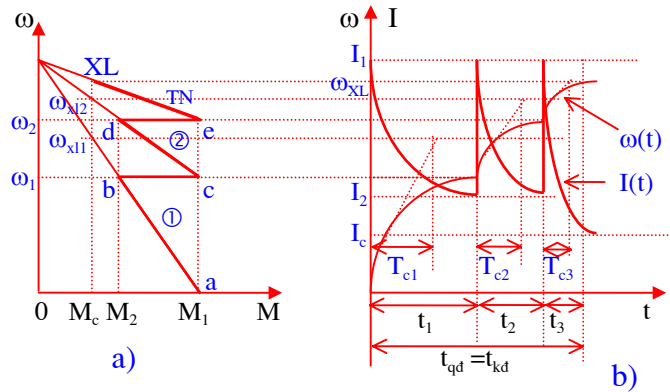
5.2.2.1. Xét QTQĐ cơ học khi khởi động

với $M(\omega)$ tuyến tính, $M_c(\omega) = \text{const}$:



Hình 5-5: Các sơ đồ, đặc tính khởi động của ĐM_{dl}, ĐM_{nt}, ĐK

Để đơn giản, ta xét QTQĐ khi khởi động 2 cấp điện trở phụ mạch rôto của động cơ điện một chiều kích từ độc lập (hình 5-5a) khi khởi động $m = 2$ cấp: sẽ có 3 giai đoạn QTQĐ khởi động:



Hình 5 - 6: Các đặc tính khởi động với $m = 2$

* *Giai đoạn 1*: đoạn (ab) $\Rightarrow$ đặc tính ①:

Trên đó: $R_{uf} = R_{uf1} + R_{uf2} \Rightarrow R_1 = R_u + R_{uf1} + R_{uf2}$

Theo đặc tính ①: $|\beta_1| = \left| \frac{(K\Phi)^2}{R_1} \right| \Rightarrow |\beta_1| = \left| \frac{(M_1 - M_2)}{\omega_1} \right| \Rightarrow$

$$T_{c1} = \frac{J}{|\beta_1|} = \frac{J}{\frac{R_1}{(K\Phi)^2}} = J \frac{(K\Phi)^2}{(R_u + R_{uf1} + R_{uf2})} (sec); \quad (5-11a)$$

Điều kiện ban đầu: điểm (a):

$$\omega_{bd1} = 0; \quad M_{bd1} = M_1;$$

Điều kiện xác lập:

$$\omega_{xl1} = \text{xác định theo đặc tính cơ}; \quad M_{xl1} = M_c;$$

Theo các điều kiện trên và phương trình (5-6), (5-7) ta có phương trình QTQĐ trong giai đoạn 1 này:

$$\omega = \omega_{xl1} \cdot (1 - e^{-t/T_{c1}}) \quad (5-12a)$$

$$M = M_c + (M_1 - M_c) \cdot e^{-t/T_{c1}} \quad (5-13a)$$

Khi $\omega = \omega_1$: tính theo (5-13a) khi $t = t_1$; $M = M_2$ thì chuyển sang giai đoạn 2:

* *Giai đoạn 2*: đoạn (bcd) $\Rightarrow$ đặc tính ②:

Trên đó: $R_{uf} = R_{uf2} \Rightarrow R_2 = R_u + R_{uf2}$

Theo đặc tính ②: $|\beta_2| = \left| \frac{(K\Phi)^2}{R_2} \right| \Rightarrow |\beta_2| = \left| \frac{(M_1 - M_2)}{\omega_1 - \omega_2} \right| \Rightarrow$

$$T_{c2} = \frac{J}{|\beta_2|} = \frac{J}{\frac{R_2}{(K\Phi)^2}} = J \frac{(K\Phi)^2}{(R_u + R_{uf2})} (sec); \quad (5-11b)$$

Điều kiện ban đầu: điểm (c):

$$\omega_{bd2} = \omega_1; \quad M_{bd2} = M_1;$$

Điều kiện xác lập:

$$\omega_{xl2} = \text{xác định theo đặc tính cơ}; \quad M_{xl2} = M_c;$$

Theo các điều kiện trên và phương trình (5-6), (5-7) ta có phương trình QTQĐ trong giai đoạn 2 này:

$$\omega = \omega_{xl2} + (\omega_1 - \omega_{xl2}) \cdot e^{-t/T_{c2}} \quad (5-12b)$$

$$M = M_c + (M_1 - M_c) \cdot e^{-t/T_{c2}} \quad (5-13b)$$

Khi $\omega = \omega_2$: tính theo (5-13b) khi $t = t_2$; $M = M_2$ thì chuyển sang giai đoạn 3:

* *Giai đoạn 3*: đoạn (deXL) $\Rightarrow$ đặc tính TN:

Trên đó: $R_{uf} = 0 \Rightarrow R_3 = R_u = R_{u\Sigma}$

Theo đặc tính TN: $|\beta_3| = |\beta_{TN}| = \left| \frac{(K\Phi)^2}{R_u} \right| \Rightarrow$

$$T_{c3} = \frac{J}{|\beta_{TN}|} = \frac{J}{\frac{(K\Phi)^2}{R_u}} = J \frac{(K\Phi)^2}{R_u} (\text{sec}); \quad (5-11c)$$

Điều kiện ban đầu: điểm (e):

$$\omega_{bd3} = \omega_2; \quad M_{bd3} = M_1;$$

Điều kiện xác lập:

$$\omega_{xl3} = \omega_{xl}; \quad M_{xl3} = M_c;$$

Theo các điều kiện trên và phương trình (5-6), (5-7) ta có phương trình QTQĐ trong giai đoạn 3 này:

$$\omega = \omega_{xl} + (\omega_2 - \omega_{xl}) \cdot e^{-t/T_{c3}} \quad (5-12c)$$

$$M = M_c + (M_1 - M_c) \cdot e^{-t/T_{c3}} \quad (5-13c)$$

Khi $\omega \approx \omega_{xl}$; $M \approx M_c$ xem như kết thúc QTQĐ khởi động.

Dựa vào các phương trình QTQĐ của $\omega(t)$; $M(t)$ trong 3 giai đoạn ta vẽ được đặc tính $\omega(t)$; $M(t)$ khi khởi động với $m = 2$ như hình 5-6.

5.2.2.2. Tính thời gian khởi động:

$$\text{Tính: } t_{kd} = t_{qd} = t_1 + t_2 + t_3$$

Có m cấp khởi động sẽ có $(m + 1)$ giai đoạn QTQĐ khi khởi động, từ phương trình $M(t)$ ta tính được:

$$t_i = T_{ci} \cdot \ln \frac{M_1 - M_c}{M_2 - M_c} \quad (5-14)$$

$$\text{Vậy: } t_{kd} = t_{qd} = \sum_{i=1}^{m+1} T_{ci} \cdot \ln \frac{M_1 - M_c}{M_2 - M_c} \quad (5-15)$$

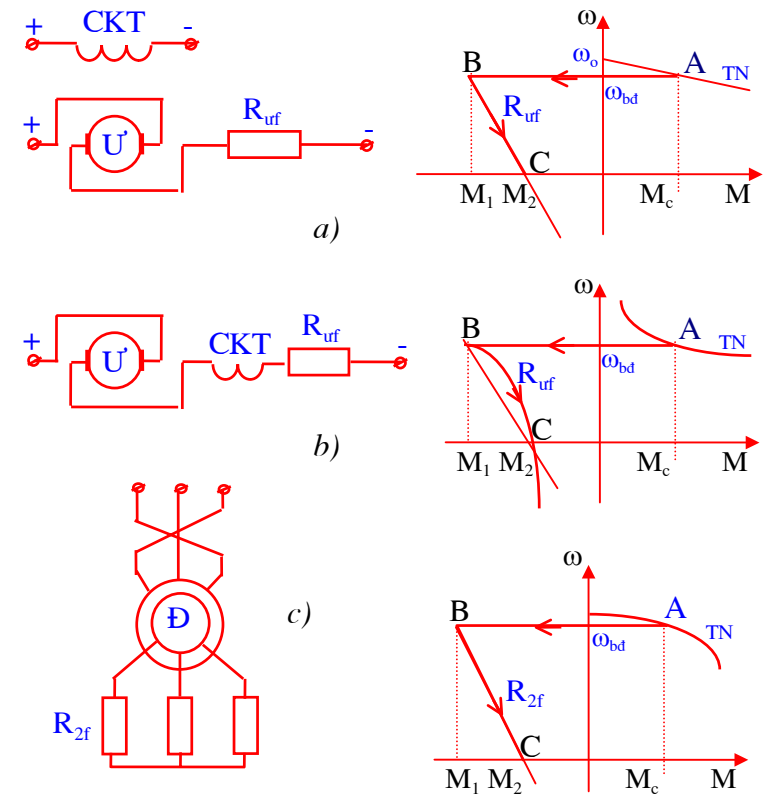
* Xây dựng $I(t)$:

$$+ \text{Đối với ĐM}_{dl}: I(t) = \frac{M(t)}{K\Phi}; \quad (5-16) \Rightarrow \text{tương tự } M(t).$$

+ Đối với ĐK_{dq}: từ $M(t)$, đặc tính $M(\omega)$, $I(\omega)$, tính được t_i tương ứng M_i , suy ra $I_i(M_i)$, và cuối cùng ta có $I_i(t_i)$ và vẽ $I(t)$.

5.2.3. Quá trình quá độ cơ học khi hãm:

5.2.3.1. Xét QTQĐ cơ học khi hãm ngược:

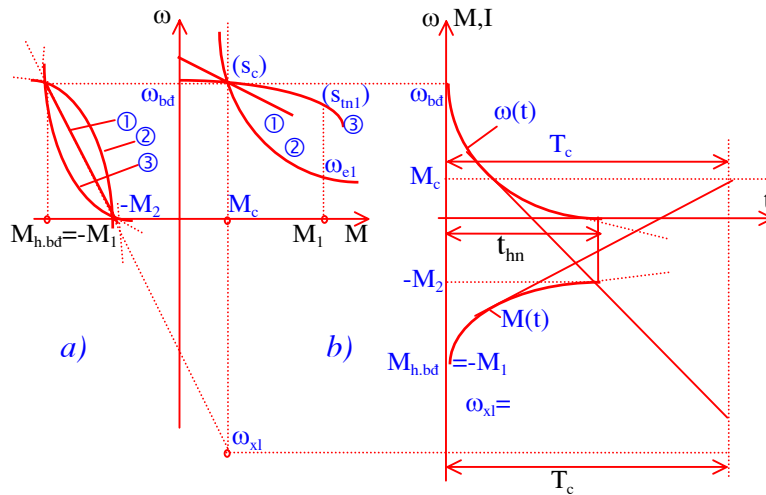


Hình 5-7: Các sơ đồ, đặc tính hãm ngược của ĐM_{dl}, ĐM_{nr}, ĐK

Hãm ngược, đối với động cơ điện một chiều (ĐM) thì thay đổi cực tính điện áp phản ứng, còn động cơ không đồng bộ 3 pha (ĐK) thì thay đổi thứ tự pha điện áp stato, vì dòng hãm ban đầu lớn nên cần phải thêm điện trở phụ (R_{uf} , R_{2f}) để hạn chế dòng hãm không được vượt quá dòng cho phép ($I_{h.bd} \leq I_{cp}$).

Cũng như khi tính toán quá trình khởi động, đối với quá trình hãm thì các đặc tính cơ phi tuyến như ĐM_{nt} hay ĐK_{dq} cũng được thay thế bằng đoạn đặc tính tuyến tính hoá từ $-M_1$ đến $-M_2$ như hình 4-8a. Phương trình của một đoạn thẳng ấy có dạng:

$$\omega = -\omega_{bd} \cdot \frac{M + M_2}{M_1 - M_2} \quad (5-17)$$



Hình 5 -8: Đặc tính cơ (a) và quá độ khi hãm ngược (b)

Mômen hãm ban đầu có giá trị cực đại: $M_{h.bd} = -M_1 \leq M_{cp}$ ($M_1 \approx 2,5M_{dm}$). Khi biết giá trị dòng điện cho phép, ta có thể xác định được điện trở phụ thêm vào để hạn chế dòng hãm ban đầu:

$$R_{uf} = \frac{U + E_{bd}}{I_{cp}} - R_u \quad (5-18)$$

Trong đó: E_{bd} là s.đ.đ ban đầu của động cơ khi hãm.

Đối với ĐM_{dl}, tại thời điểm ban đầu quá trình hãm, s.đ.đ E vẫn giữ nguyên giá trị trước đó:

$$E_{bd} = U - I_{cp} \cdot R_u \quad (5-19a)$$

Đối với ĐM_{nt}, tại thời điểm ban đầu quá trình hãm, dòng điện phản ứng và từ thông thay đổi đồng thời, lúc đó:

$$E_{bd} = K\Phi(I_{cp}) \cdot \omega_{bd} \quad (5-19b)$$

Trị số $K\Phi(I_{cp})$ có thể được xác định từ phương trình cân bằng điện áp phản ứng với $I = I_{cp}$ trên đặc tính tự nhiên:

$$K\Phi(I_{cp}) = \frac{U - I_{cp} \cdot R_u}{\omega_{m1}} \quad (5-20)$$

Trong đó: ω_{m1} là tốc độ trên đặc tính cơ tự nhiên khi $I = I_{cp}$.

Do đó:

$$E_{bd} = (U - I_{cp} \cdot R_u) \cdot \frac{\omega_{bd}}{\omega_{m1}} \quad (5-21)$$

+ Điểm cuối của quá trình hãm được xác định bởi giá trị M_2 (hoặc I_2) và $\omega = 0$. Đối với ĐM_{nt}, M_2 được xác định nhờ trị số dòng điện tương ứng:

$$I_2 = \frac{U}{R_u + R_{uf}} \quad (5-22)$$

Theo giá trị I_2 và đặc tính vạn năng của ĐM_{nt}:

$$\frac{E}{\omega} = \frac{M}{I} = K\Phi \quad (5-23)$$

Ta xác định được:

$$M_2 = I_2 \cdot \frac{M_2}{I_2} \quad (5-24)$$

Đối với động cơ ĐK, điện trở phụ trong mạch rôto được xác định từ quan hệ tỉ lệ giữa độ trượt và điện trở khi $M_1 = \text{const}$:

$$\frac{s_{bd}}{s_{m1}} = \frac{R_2 + R_{2f}}{R_2} \quad (5-25)$$

Trong đó: $s_{bd} = (2 - s_c)$ là độ trượt ban đầu khi hãm.

s_c là độ trượt ở trạng thái xác lập trước khi hãm.

s_{m1} là độ trượt trên đặc tính tự nhiên khi $M_1 = \text{const}$.

Khi đó:

$$R_{2f} = \left(\frac{2 - s_c}{s_{m1}} - 1 \right) \cdot R_2 \quad (5-26)$$

+ Đối với động cơ ĐK, mômen M_2 khi $\omega = 0$ ($s = 1$) được xác định theo công thức:

$$M_2 = \frac{2M_t}{s_{t.btr} + \frac{1}{s_{t.btr}}} \quad (5-27)$$

Trong đó: $s_{t.btr}$ - hệ số trượt tới hạn trên đặc tính biến trở:

$$s_{t.btr} = s_{t.m} \cdot \frac{R_2 + R_{2f}}{R_2} \quad (5-28)$$

$s_{t.m}$ là độ trượt tới hạn trên đặc tính tự nhiên.

Trong quá trình hãm, sự biến thiên của tốc độ và mômen được xác định theo công thức (5-6), (5-7). Vì từ (5-17):

$$\omega_{xl} = -\omega_{bd} \cdot \frac{M_c + M_2}{M_1 - M_2} \quad (5-29)$$

$$\omega = \omega_{bd} \frac{M_1 + M_2}{M_1 - M_2} \cdot e^{-t/T_c} - \omega_{bd} \cdot \frac{M_c + M_2}{M_1 - M_2} \quad (5-30)$$

$$M = -(M_1 + M_c) \cdot e^{-t/T_c} + M_c \quad (5-31)$$

$$\text{Trong đó: } T_c = J \frac{\Delta\omega}{\Delta M} = J \frac{\omega_{bd}}{M_1 - M_2}; \quad (5-32) \text{ là hằng số}$$

thời gian cơ học khi hãm.

+ Thời gian hãm có thể xác định:

$$t_m = T_c \ln \frac{M_1 + M_c}{M_2 + M_c} \quad (5-32)$$

Trên hình 5-8b trình bày đồ thị tốc độ, mômen và thời gian khi hãm. Cuối quá trình hãm ($\omega \approx 0$) gia tốc vẫn khác không. Do đó muốn dừng động cơ thì lúc đó ta phải cắt động cơ ra khỏi lưới.

5.2.3.2. Xét QTQĐ cơ học khi hãm động năng:

Có thể coi quá trình hãm động năng là trường hợp riêng của quá trình hãm ngược khi $M_2 = 0$ ($I_2 = 0$) lúc $\omega = 0$. Vì vậy có thể khảo sát tương tự khi hãm ngược ta sẽ được kết quả tương tự khi hãm ngược nhưng với điều kiện cuối là: $M_2 = 0$ ($I_2 = 0$) và $\omega = 0$.

5.2.4. Quá trình quá độ cơ học khi $M_c(t)$ biến đổi nhảy cấp:

Các trường hợp trên ta xét với $M_c(t)$ là liên tục. Nhưng thực tế có $M_c(t)$ thay đổi, tồn tại trường hợp gặp là $M_c(t)$ thay đổi kiểu nhảy cấp (đột biến) chu kỳ như: máy bào, máy đột dập ...

* Một chu kỳ đơn giản của

$M_c(t)$ gồm có 2 giai đoạn:

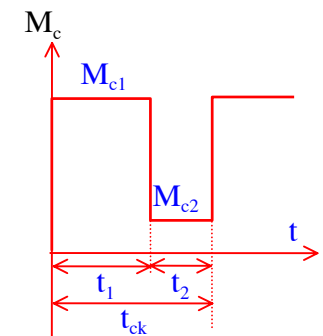
+ Một giai đoạn có tải:

tương ứng M_{c1} , t_1 .

+ Một giai đoạn không tải:

tương ứng M_{c2} , t_2 .

Chu kỳ: $t_{ck} = t_1 + t_2$



Hình 4-9: Chu kỳ $M_c(t)$

Mômen $M_c(t)$ biến đổi chu kỳ thì $M(t)$ và $\omega(t)$ cũng thay đổi chu kỳ. Hệ thống TĐĐ luôn làm việc ở chế độ quá độ, nếu khảo sát QTQĐ đó sẽ xác định được kích thước, trọng lượng bánh đà và công suất động cơ để động cơ chịu tải tốt và san bằng phụ tải.

Trong mỗi giai đoạn, coi $M_c(t) = \text{const}$, $M(\omega)$ tuyến tính và $U_{\text{nguồn}} = \text{const}$, bỏ qua T_{dt} , thì $\omega(t)$ và $M(t)$ sẽ biến thiên theo quy luật hãm mũ, theo (5-6), (5-7), ta có:

Đối với đoạn thứ nhất:

$$\omega = \omega_{xl1} + (\omega_{bd1} - \omega_{xl1}) \cdot e^{-t/T_c} \quad (5-33)$$

$$M = M_{c1} + (M_{bd1} - M_{c1}) \cdot e^{-t/T_c} \quad (5-34)$$

Đối với đoạn thứ hai:

$$\omega = \omega_{xl2} + (\omega_{bd2} - \omega_{xl2}) \cdot e^{-t/T_c} \quad (5-35)$$

$$M = M_{c2} + (M_{bd2} - M_{c2}) \cdot e^{-t/T_c} \quad (5-36)$$

Mômen và tốc độ biến thiên trong phạm vi từ $M_{\min} = M_{bd1}$ đến $M_{\max} = M_{cc1}$ và $\omega_{\min} = \omega_{cc1}$ đến $\omega_{\max} = \omega_{cc2}$. Vậy, đối với đoạn thứ nhất và thứ hai ta có thể viết $M(t_1) = M_{bd2}$ và $M(t_2) = M_{cc2}$. Thay các điều kiện này vào (4-33) ÷ (4-36), ta rút ra:

$$M_{cc1} = M_{c1} + (M_{bd1} - M_{c1}) \cdot e^{-t_1/T_c} = M_{bd2} \quad (5-37)$$

$$M_{cc2} = M_{c2} + (M_{cc1} - M_{c2}) \cdot e^{-t_2/T_c} = M_{bd1} \quad (5-38)$$

Giải ra, ta có:

$$M_{\min} = M_{bd1} = \frac{M_{c1}(1 - e^{-t_1/T_c}) \cdot e^{-t_2/T_c} + M_{c2}(1 - e^{-t_2/T_c})}{(1 - e^{-t_{ck}/T_c})} \quad (5-39)$$

$$M_{\max} = M_{cc1} = \frac{M_{c2}(1 - e^{-t_2/T_c}) \cdot e^{-t_1/T_c} + M_{c1}(1 - e^{-t_1/T_c})}{(1 - e^{-t_{ck}/T_c})} \quad (5-40)$$

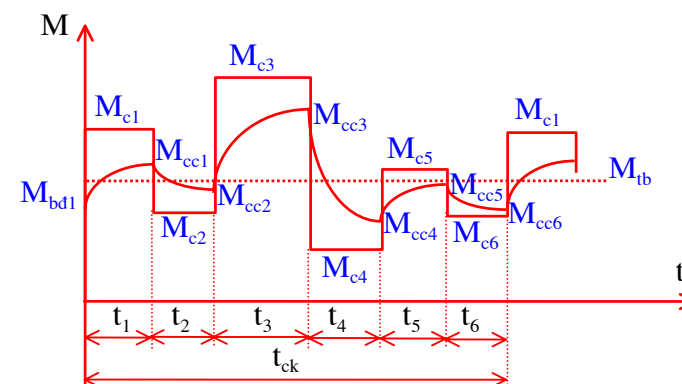
Các giá trị $\omega_{\max}$ và $M_{\min}$ có thể tìm được theo đặc tính cơ ứng với $M = M_{\min}$ và $M = M_{\max}$.

Hình 5 - 10 biểu diễn quan hệ giữa mômen của động cơ với thời gian. Trong đoạn thứ nhất $M < M_{c1}$, tốc độ giảm, lúc này động cơ làm việc nhờ động năng của khối lượng bánh đà.

Đến đoạn thứ hai $M > M_{c2}$, mômen dư làm cho tốc độ tăng lên, tức làm tăng động năng dự trữ của truyền động điện. Do đó $M_{\max}$ của động cơ không nhất thiết phải bằng $M_{c,\max}$, phần chênh lệch đó do bánh đà cung cấp. Như vậy, khi giảm chu kỳ biến thiên của M_c và giữ $T_c = \text{const}$, hoặc khi tăng T_c và giữ $t_{ck} = \text{const}$, thì các trị số $M_{\min}$ và $M_{\max}$ sẽ tiến lại gần nhau, nghĩa là đồ thị mômen và tốc độ động cơ được “*nắn thẳng*”. Thường thêm bánh đà phụ để “*nắn thẳng*” mômen. Khi: $t_1/T_c \rightarrow 0$ và $t_2/T_c \rightarrow 0$ thì:

$$M_{\min} = M_{\max} = \frac{M_{c1} \cdot t_1 + M_{c2} \cdot t_2}{t_{ck}} \quad (5-41)$$

* **Trường hợp:** đồ thị $M_c(t)$ thay đổi nhảy cấp nhiều đoạn:



Hình 5 - 11: Đồ thị $M_c(t)$ nhảy cấp nhiều đoạn

Bằng cách áp dụng liên tiếp các công thức (5-39), (5-40) ta sẽ xác định được giá trị mômen động cơ ở điểm cuối của từng giai đoạn:

$$M_{cc1} = M_{bd1} \cdot e^{-t_1/T_c} + M_{c1}(1 - e^{-t_1/T_c}) \quad (5-42)$$

$$M_{cc2} = M_{bd1} \cdot e^{-(t_1+t_2)/T_c} + M_{c2}(1 - e^{-t_2/T_c}) \quad (5-43)$$

Đối với đoạn thứ i bất kỳ:

$$M_{cci} = M_{bd1} \cdot e^{-\sum_{j=1}^i \frac{t_j}{T_c}} + M_{c1}(1 - e^{-t_1/T_c}) \cdot e^{-\sum_{j=2}^i \frac{t_j}{T_c}} + M_{c2}(1 - e^{-t_2/T_c}) \cdot e^{-\sum_{j=3}^i \frac{t_j}{T_c}} + \dots \quad (5-44)$$

Và đoạn cuối cùng (đoạn thứ m) và đặt các giá trị mômen động cơ ở đầu và cuối chu kỳ bằng nhau ($M_{ccm} = M_{bd1}$), ta có:

$$M_{bd1} = M_{ccm} = \frac{\sum_{i=1}^m M_{ci}(1 - e^{-t_i/T_c}) \cdot e^{-\frac{t_{ck} - \sum_{j=1}^i t_j}{T_c}}}{1 - e^{-t_{ck}/T_c}} \quad (5-45)$$

Các biểu thức (5-44), (5-45) cho phép dùng phương pháp giải tích để xác định các trị số mômen ban đầu và cuối cùng của tất cả các giai đoạn trong chu kỳ, nghĩa là cho phép vẽ được đồ thị biến thiên của mômen động cơ.

Hằng số thời gian cơ học T_c càng nhỏ thì mômen biến đổi càng lớn, khi đồ thị phụ tải biến đổi mãnh liệt, mômen đẳng trị sẽ vượt quá giá trị trung bình một cách đáng kể, và làm tăng phát nóng động cơ, Đỉnh cao nhất của mômen ($M_{\max}$) có thể là không cho phép đối với khả năng chịu quá tải của động cơ ($M_{\max} > M_{cp}$).

Muốn san bằng đồ thị mômen, ta có thể tăng hằng số thời gian cơ học T_c , điều đó có thể thực hiện bằng cách thêm bánh đà phụ hoặc làm mềm đặc tính cơ của động cơ.

§5.3. QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ CƠ HỌC KHI

$U_{\text{NGUỒN}} = \text{CONST}$ VÀ $M_{\text{ĐỘNG}}(\omega)$ LÀ PHI TUYẾN :

5.3.1. Phương pháp giải tích:

+ Khi khảo sát QTQĐ đối với các hệ thống TĐĐ với động cơ điện có đặc tính cơ $M(\omega)$ là phi tuyến như ĐM_{nt}, ĐK, hay các phụ tải có $M_c(\omega)$ là đường cong như máy bơm, quạt gió, hay $M_c(\varphi)$..., lúc đó $M_{\text{động}}(\omega)$ sẽ không còn tuyến tính nữa, như vậy ta có thể khảo sát QTQĐ của hệ thống theo hai phương pháp:

5.3.1.1. Phương pháp giải tích:

Phương pháp này được áp dụng khi $M(\omega)$ và $M_c(\omega)$ có thể biểu diễn bằng những hàm giải tích không phức tạp quá, ví dụ như ĐK_{ls} có thể biểu diễn $M(\omega)$ tương đối chính xác qua:

$$M = \frac{2M_t}{\frac{s}{s_t} + \frac{s_t}{s}}; \quad s = \frac{\omega_o - \omega}{\omega_o}; \quad (5-46)$$

Phương trình chuyển động:

$$\frac{2M_t}{\frac{s}{s_t} + \frac{s_t}{s}} + M_c = J \frac{d\omega}{dt} = -J\omega_o \frac{ds}{dt} \quad (5-47)$$

* Khi $M_c(\omega) = \text{const}$:

$$t = \frac{J\omega_o}{M_c} \cdot \int_{s_{bd}}^s \frac{s^2 + s_t^2}{s^2 - 2\frac{M_t}{M_c}s_t s + s_t^2} ds \quad (5-48)$$

Tích phân trên được xác định bằng cách khai triển biểu thức dưới dấu tích phân thành các phân thức cơ bản. Sau khi lấy tích phân và thay cận ta có:

$$\frac{t}{T_t} = \frac{M_t}{M_c} (s - s_{bd}) + 2 \left(\frac{M_t}{M_c} \right)^2 \cdot s_t \times \left(\frac{s_1}{s_1 - s_2} \ln \frac{s - s_1}{s_{bd} - s_1} - \frac{s_2}{s_1 - s_2} \ln \frac{s - s_2}{s_{bd} - s_2} \right) \quad (5-49)$$

Trong đó: $s_{1,2} = s_t \left[\frac{M_t}{M_c} \pm \sqrt{\left(\frac{M_t}{M_c} \right)^2 - 1} \right] \quad (5-50)$

$$T_t = \frac{J\omega_o}{M_t} \quad (5-51)$$

* Khi không tải $M_c(\omega) = 0$ thì biểu thức (5-48) sẽ đơn giản:

$$t = \frac{J\omega_o}{2M_t s_t} \cdot \int_s^{s_{bd}} \left(s + \frac{s_t^2}{s} \right) ds \quad (5-52)$$

Sau khi lấy tích phân ta có:

$$\frac{t}{T_t} = \frac{1}{4s_t} \left(s_{bd}^2 - s^2 + 2s_t^2 \ln \frac{s_{bd}}{s} \right) \quad (5-53)$$

Các biểu thức (5-49) và (5-53) cho phép xác định được quan hệ giữa mômen và độ trượt theo thời gian. Cho trước một loạt giá trị của s , dùng biểu thức (5-47) ta xác định được trị số tương ứng của M ; theo (5-49) ta xác định được các giá trị của t .

Hình 5-12 giới thiệu các quan hệ giữa mômen và tốc độ với thời gian trong QTQĐ khi khởi động động cơ ĐK.

Có $M(\omega)$ và $\omega(t)$ sẽ tìm được $M(t)$ như trên hình 5-12. Ví dụ có t_1 sẽ tìm được ω_1 , và tìm được M_1 và cuối cùng ta có $M_1(t_1)$.

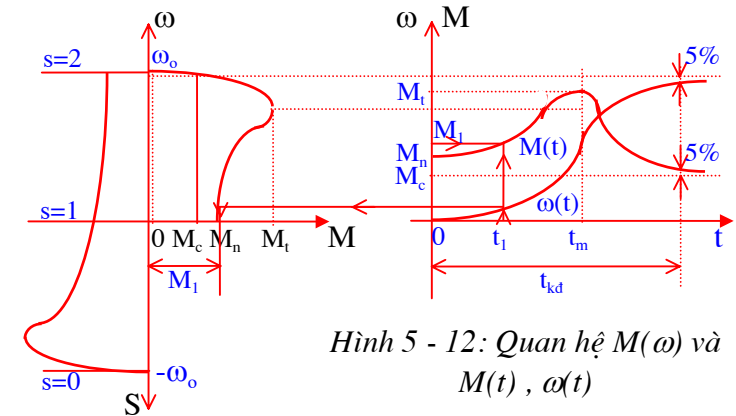
Nếu $M_c(\omega) \approx 0$ thì: $\omega_{xl} \approx 0$ và $s_{xl} \approx 2$.

+ Trong quá trình hãm ngược thì: $s_{bd} = 2$; $s_{cc} \approx 1$, và $\omega_{cc} \approx 0$.

+ Trong quá trình đảo chiều: $s_{bd} = 2$; $s_{cc} \approx 0$, và $\omega_{cc} \approx -\omega_o$.

Trường hợp biết s_{bd} và s_{cc} sẽ tính được:

$$t_{qd} = \frac{T_t}{4s_t} \left[(s_{bd}^2 - s_{cc}^2) + 2s_t^2 \ln \frac{s_{bd}}{s_{cc}} \right] \quad (5-54)$$



Hình 5 - 12: Quan hệ $M(\omega)$ và $M(t)$, $\omega(t)$

Thường kết thúc QTQĐ khi $s_{cc} \approx 5\% s_{xl}$. Thời gian quá độ t_{qd} phụ thuộc vào s_t và T_t , nên muốn có $t_{qd, \min}$ thường là thay đổi s_t .

5.3.1.2. Phương pháp đồ thị giải tích:

Đây là phương pháp gần đúng, nhưng đơn giản và tiện lợi hơn phương pháp giải tích.

Phương trình chuyển động:

$$M_{dòng}(\omega) = M_{dg}(\omega) = M - M_c = J \frac{d\omega}{dt} \quad (5-55)$$

Coi $J = \text{const}$, rút ra: $dt = J \frac{d\omega}{M_{dg}(\omega)} \quad (5-56)$

Lấy tích phân gần đúng: $\Delta t = J \int_0^{\Delta\omega} \frac{1}{M_{dg}(\omega)} d\omega \quad (5-57)$

Trong khoảng Δt nhỏ có thể coi $M_{\text{động}}(\omega) \approx \text{const}$, do đó:

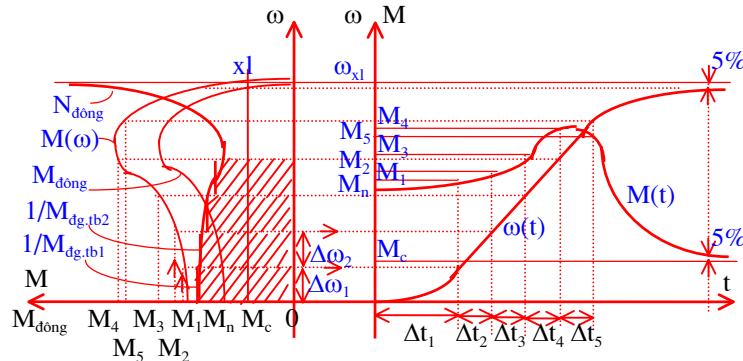
$$\Delta t_i \approx J \frac{\Delta \omega_i}{M_{\text{dg.tb}i}} \quad (5-58)$$

Trong đó: $\Delta \omega_i = \omega_i - \omega_{i-1}$

$M_{\text{dg.tb}i}$ là mômen động trung bình trong khoảng $\Delta \omega_i$.

Đặt: $N_{\text{dg}}(\omega) = \frac{I}{M_{\text{dg}}(\omega)}$; và $\left(\frac{I}{M_{\text{dg.tb}i}} \right) \cdot \Delta \omega_i = N_{\text{dg.tb}i} \cdot \Delta \omega_i$

chính là diện tích trên mặt phẳng $[M, \omega]$ do đường N_{dg} bao.



Hình 5 - 13: Đồ thị $M_c(\omega)$, $N_{\text{dg}}(\omega)$ và $M(t)$ và $\omega(t)$

Chọn trước các giá trị $\Delta \omega_i$, sẽ xác định được $(1/M_{\text{động}})$ nhờ $M_{\text{động}}(\omega)$ đã biết, từ đó tìm được Δt_i theo (5-58).

Thường chọn $\Delta \omega_i = \text{const}$, như thế ta sẽ xác định được t_i , ω_i , và $M_i(\omega_i)$, cuối cùng ta có $M(t)$ và $\omega(t)$.

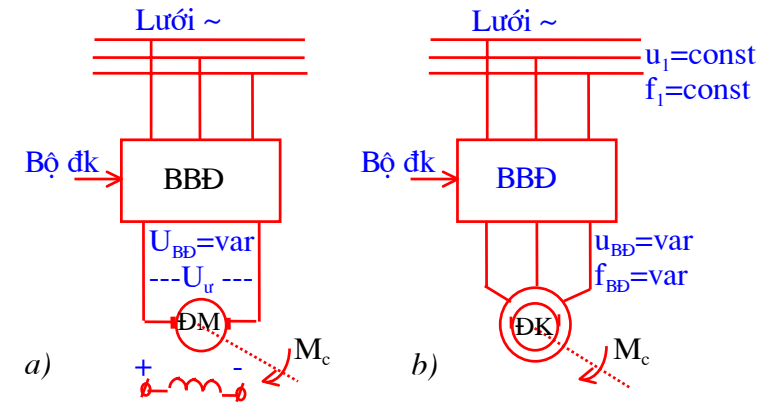
Trên hình 5-13, ta có: $\Delta t_i = m_{1/M_{\text{dg}}} \cdot m_{\omega} \cdot s_i \cdot J \quad (5-59)$

Trong đó: $m_{1/M_{\text{dg}}}$ - tỉ xích theo mômen ($1/N.m.mm$);

m_{ω} - tỉ xích theo tốc độ (Rad/s.mm); s_i - diện tích (mm^2).

§5.4. QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ CƠ HỌC KHI $U_{\text{NGUỒN}} = \text{VAR}$:

Đây là QTQĐ trong hệ thống TĐĐ có *bộ biến đổi - động cơ* (BBĐ - ĐC) như hệ F - ĐM, T - ĐM, KĐT - ĐM, BT - ĐK, ... Các hệ thống này thường điều chỉnh các thông số nguồn: thay đổi điện áp nguồn (thay đổi U_u , U_s ...)



Hình 5 - 14: Hệ thống BBĐ - ĐM, BBĐ - ĐK

Khi tác động điều khiển không đổi, hệ thống tương tự như khi có điện áp nguồn không đổi (đã xét ở trên).

Khi tác động điều khiển thay đổi theo quy luật cần thiết, thì hệ thống sẽ có điện áp nguồn thay đổi, và như vậy sẽ tạo ra được các đặc tính mong muốn của QTQĐ. Đó chính là ưu điểm của hệ thống *bộ biến đổi - động cơ*.

4.4.1. Hệ thống Bộ biến đổi - động cơ điện một chiều:

Các giả thiết: Mômen cản không đổi: $M_c = \text{const}$.

Dòng điện phản ứng (I_u) liên tục.

Như vậy khi thay đổi tác động điều khiển (điện áp điều khiển $u_{\text{đk}}$) ta sẽ có các đặc tính điều chỉnh là những đường thẳng và song song với nhau.

Quá trình quá độ có thể mô tả theo phương trình vi phân tuyến tính sau:

$$T_c \frac{d\omega}{dt} + \omega = \omega_{xl} \quad (5-60)$$

Trong đó:

$$\begin{aligned} \omega_{xl}(t) &= \omega_o(t) - \frac{M_c}{\beta} = \omega_o(t) - \omega_{xl}(t) \\ \omega_o(t) &= \frac{u_{BD}(t)}{k\phi} \end{aligned} \quad (5-61)$$

Các giá trị điện áp $u_{BD}(t)$ khác nhau sẽ có các QTQĐ khác nhau trong hệ thống TĐĐ.

*** Để đơn giản, xét QTQĐ khi khởi động BBĐ - ĐM có:**

Điện áp bộ biến đổi:

$$u_{BD}(t) = k_u \cdot t \quad \text{ khi } 0 \leq t \leq t_l = U_{BD.dm}/k_u \quad (5-62)$$

và điện áp định mức: $U_{BD.dm} = \text{const}$ khi $t_l \leq t$

$$+ \text{ Khi } t < t_l: \quad \omega_o(t) = \varepsilon_{BD} \cdot t \quad (5-63)$$

$$\omega_{xl}(t) = \varepsilon_{BD} \cdot t - \Delta\omega_c \quad (5-64)$$

Trong đó: gia tốc $\varepsilon_{BD} = \frac{k_u}{K\phi} = \frac{U_{BD.dm}}{K\phi \cdot t_l}$ - thường cho trước.

+ Quá trình quá độ khi khởi động sẽ qua 3 giai đoạn:

* *Giai đoạn 1:* $0 < t < t_o$; $M < M_c$; $\omega = 0$; $u_{BD}(t) = k_u \cdot t$

$$\begin{aligned} M &= K\phi I_u = K\phi I_n = K\phi \frac{u_{BD}(t)}{R_{u\Sigma}} \\ &= \frac{(K\phi)^2}{R_{u\Sigma}} \cdot \frac{u_{BD}(t)}{K\phi} = \frac{(K\phi)^2}{R_{u\Sigma}} \cdot \frac{k_u}{K\phi} \cdot t = \beta \cdot \varepsilon_{BD} \cdot t \end{aligned} \quad (5-65)$$

Vậy, mômen tăng tỉ lệ bậc nhất với thời gian. Và điểm làm việc của động cơ sẽ dịch chuyển trong mặt phẳng $[\omega, M]$ theo trục hoành như hình 5-15a.

$$\text{Khi } t = t_o, \text{ kết thúc giai đoạn 1: } t_o = \frac{M_c}{\beta \cdot \varepsilon_{BD}} \quad (5-66)$$

* *Giai đoạn 2:* $t_o \leq t \leq t_1$; $M \geq M_c$; $\omega \neq 0$; $u_{BD}(t) = k_u \cdot t$

Tại $t = t_o$: $M = M_c$: $\omega_o(t_o) = \varepsilon_{BD} \cdot t_o = \Delta\omega_c$;

$\Delta\omega_c = \frac{M_c}{\beta}$ - là độ sụt tốc của động cơ khi $M = M_c$.

Điểm làm việc sẽ dịch chuyển từ đặc tính này sang đặc tính khác theo quy luật nào đó (đường có mũi tên chỉ trên hình 4-15a).

Dời gốc tọa độ tới $t = t_o$, lúc này tính thời gian là $t' = t - t_o$:

Phương trình vi phân:

$$T_c \frac{d\omega}{dt'} + \omega = \omega_{xl} \quad (5-60')$$

$$\begin{aligned} \omega_{xl}(t') &= \omega_o(t') - \Delta\omega_c \\ &= \varepsilon_{BD} \cdot t_o + \varepsilon_{BD} \cdot t' - \Delta\omega_c = \varepsilon_{BD} \cdot t' \end{aligned} \quad (5-67)$$

$$+ \text{ Nghiệm riêng của (4-60')}: \omega_r = \varepsilon_{BD} \cdot t' + B \quad (5-68)$$

Hệ số B xác định theo (4-60') khi thay ω_r vào và đồng nhất các hệ số: $T_c \cdot \varepsilon_{BD} + \varepsilon_{BD} \cdot t' + B = \varepsilon_{BD} \cdot t'$

Ta có: $B = -T_c \cdot \varepsilon_{BD}$

$$+ \text{ Nghiệm tự do: } \omega_{td} = c \cdot e^{-t'/T_c} \quad (5-69)$$

Nghiệm tổng quát:

$$\omega = \omega_r + \omega_{td} = \varepsilon_{BD} \cdot t' - T_c \cdot \varepsilon_{BD} + c \cdot e^{-t'/T_c} \quad (5-70)$$

Trang 173

Khi $t' = 0$ thì $\omega = 0$ nên $C = T_c \cdot \varepsilon_{BD}$ và ta có:

$$\omega = \varepsilon_{BD} \cdot t' - T_c \cdot \varepsilon_{BD} (1 - e^{-t'/T_c}) \quad (5-71)$$

Trong giai đoạn này:

$$M = M_c + J \frac{d\omega}{dt'} = M_c + T_c \cdot \varepsilon_{BD} (1 - e^{-t'/T_c}) \quad (5-72)$$

Khi $t = t_1$, $u_{BD}(t) = U_{BD.dm}$, $\omega_o(t) = \omega_{o.dm}$, kết thúc giai đoạn 2.

* *Giai đoạn 3:* $t_1 \leq t$; $M \geq M_c$; $\omega > 0$; điện áp bộ biến đổi lúc này: $u_{BD}(t) = U_{BD.dm} = \text{const}$;

Dời gốc tọa độ tới $t = t_1$, lúc này tính thời gian là $t'' = t - t_1$:

Tương tự QTQĐ cơ học khi điện áp nguồn không đổi, áp dụng các kết quả trên ta có phương trình:

$$\omega = \omega_{xl} + (\omega_{bd} - \omega_{xl}) \cdot e^{-t''/T_c} \quad (5-73)$$

$$M = M_c + (M_{bd} - M_c) \cdot e^{-t''/T_c} \quad (5-74)$$

$$\omega_{xl} = \omega_{o.dm} - \Delta\omega_c \quad (5-75)$$

Điều kiện ban đầu:

$$\omega_{bd} = \omega_{cc2} = \omega(t') \text{ với } t' = t_1 - t_o; \quad (5-76)$$

$$M_{bd} = M_{cc2} = M(t') \text{ với } t' = t_1 - t_o; \quad (5-77)$$

Sự biến thiên của $\omega(t)$ và $M(t)$ trình bày trên hình 5-15.

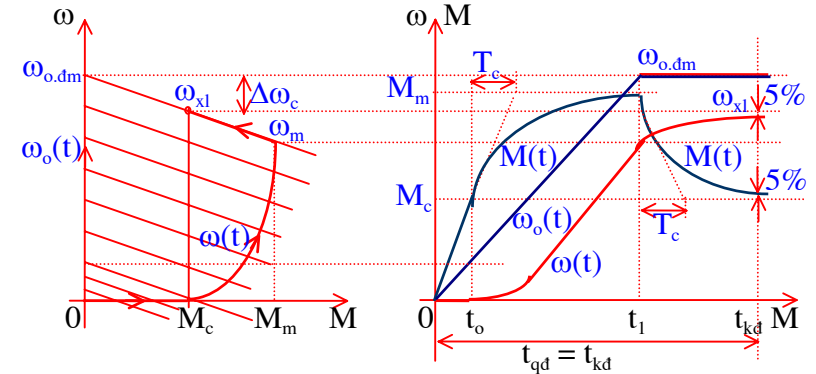
$$\text{Từ (5-77): } M_{dg} = M - M_c = J\varepsilon(1 - e^{-t''/T_c}) \quad (5-78)$$

$$\varepsilon = d\omega/dt = \varepsilon_{BD}(1 - e^{-t''/T_c}) \quad (5-79)$$

Ta thấy rằng, trong QTQĐ khi khởi động thì mômen động M_{dg} và gia số ε không phụ thuộc M_c mà chỉ phụ thuộc vào ε_{BD} và T_c . Như vậy khi cho trước hệ thống TĐĐ có $T_c = \text{const}$ thì chỉ còn

lại ε_{BD} , do đó ta có thể điều khiển QTQĐ một cách tùy ý không phụ thuộc vào phụ tải.

Trang 174



Hình 5 - 15: Đặc tính $\omega(M)$, quỹ đạo pha, $\omega(t)$ và $M(t)$

* Đối với QTQĐ khi hãm và đảo chiều: có M_{dg} và ε tương tự ở trên, khi giảm $\omega_o(t)$ một cách tuyến tính và $M_c = \text{const}$ thì ta có $\varepsilon_{BD} < 0$.

Ta có thể lựa chọn quy luật biến thiên của $u_{BD}(t)$ để tạo ra được đặc tính mong muốn của QTQĐ trong hệ thống TĐĐ.

5.4.2. Hệ thống Bộ biến đổi - động cơ điện xoay chiều:

Trường hợp hệ thống bộ biến tần (BT) - động cơ không đồng bộ (ĐK), tác động điều khiển làm thay đổi điện áp và tần số của bộ BT theo quy luật nào đó (thông thường là theo quy luật $u_{BT}/f_{BT} = \text{const}$).

Giả thiết bỏ qua ảnh hưởng của các sóng điều hòa bậc cao của bộ BT đến đặc tính cơ. Nhịp độ biến thiên của u_{BT} và f_{BT} đảm bảo sao cho: $M < M_l$ (tức là động cơ làm việc ở đoạn đặc tính cơ có $s < s_l$). Khi đó, thay đổi điện áp điều khiển bộ BT thì đặc tính cơ có thể coi là những đường thẳng song song nhau.

Với những giả thiết trên, hệ thống BT - ĐK có thể xem là hệ tuyến tính, nên ta có thể dùng các phương trình tuyến tính ở hệ BBĐ - ĐM trên để khảo sát cho hệ BT - ĐK.

$$\text{Lúc này: } f_{BT} = k_f \cdot t; \text{ và: } \varepsilon_{BT} = d\omega_o/dt = (2\pi/p) \cdot k_f; \quad (5-80)$$

Trang 175

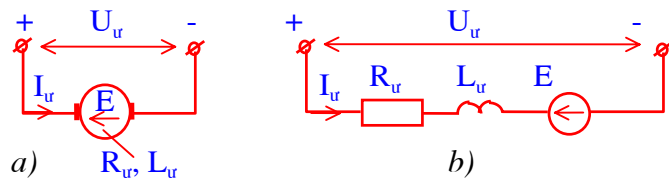
§5.5. QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ ĐIỆN - CƠ TRONG HỆ TĐĐ:

Đối với hệ mà động cơ có điện cảm lớn thì hằng số thời gian điện từ sẽ lớn, như vậy ta phải xét QTQĐ có cả T_c và T_{dt} , gọi là *QTQĐ điện - cơ* trong hệ thống TĐĐ.

Ví dụ, khi khởi động trực tiếp động cơ ĐM_{đl}, Nếu không có điện cảm L_u trong mạch phản ứng thì xảy ra hiện tượng thoát đầu dòng điện phản ứng tăng vọt lên trị số bằng dòng ngắn mạch rồi sau đó giảm dần theo quy luật hàm mũ.

Nhưng thực tế, do có L_u nên dòng điện không tăng đột biến như vậy được. Và QTQĐ sẽ diễn ra khác đi.

Ví dụ xét QTQĐ mạch phản ứng ĐM_{đl}:



Hình 5 - 16: Sơ đồ mạch phản ứng ĐM và sơ đồ thay thế

Phương trình đặc tính quá độ mạch phản ứng:

$$u_u = i_u \cdot R_u + L_u \frac{di_u}{dt} + E = i_u \cdot R_u + L_u \frac{di_u}{dt} + K\phi\omega; \quad (5-81)$$

$$\text{Mặt khác: } M_{dg} = M - M_c = J \frac{d\omega}{dt} \quad (5-82)$$

$$\text{Nên: } M = M_c + J \frac{d\omega}{dt} \quad (5-83)$$

$$\text{Suy ra: } i_u = I_{u.c} + \frac{J}{K\phi} \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (5-84)$$

$$\text{Đạo hàm (4-84) ta có: } \frac{di_u}{dt} = \frac{J}{K\phi} \cdot \frac{d^2\omega}{dt^2} \quad (5-85)$$

Trang 176

Thay (5-84), (5-85) vào (5-81) ta có:

$$u_u = I_{u.c} \cdot R_u + \frac{J \cdot R_u}{K\phi} \cdot \frac{d\omega}{dt} + \frac{J \cdot L_u}{K\phi} \cdot \frac{d^2\omega}{dt^2} + K\phi\omega \quad (5-86)$$

Biến đổi, ta có:

$$T_u \cdot T_c \cdot \frac{d^2\omega}{dt^2} + T_c \cdot \frac{d\omega}{dt} + \omega = \omega_{xl} \quad (5-87)$$

Trong đó:

$T_u = L_u/R_u$ - hằng số thời gian điện từ mạch phản ứng.

$T_c = J/\beta = (J \cdot R_u)/(K\phi)^2$ - hằng số thời gian cơ học.

$\omega_{xl} = \omega_o - \Delta\omega_c = \omega_o - (I_{u.c} \cdot R_u)/K\phi$ - tốc độ xác lập.

Phương trình đặc tính của (4-87):

$$T_u T_c p^2 + T_c p + 1 = 0 \quad (5-88)$$

Giải (5-88) ra ta có nghiệm:

$$p_{1,2} = -\frac{1}{2T_u} \pm \frac{\sqrt{1 - (4T_u/T_c)}}{2T_u} \quad (5-89)$$

+ Nếu: $T_c \geq 4T_u$ thì (5-88) có nghiệm thực và âm:

$$p_{1,2} = -\alpha_{1,2} = \frac{1 \pm \sqrt{1 - (4T_u/T_c)}}{2T_u} \quad (5-90)$$

Và $\omega(t)$ sẽ biến thiên theo quy luật hàm mũ.

+ Nếu: $T_c < 4T_u$ thì (5-88) có nghiệm phức (phần thực âm):

$$P_{1,2} = -\alpha \pm j\Omega \quad (5-91)$$

$$\text{Trong đó: } \alpha = \frac{1}{2T_u}; \quad \Omega = \frac{\sqrt{1-(4T_u/T_c)}}{2T_u} \quad (5-92)$$

Và $\omega(t)$ sẽ biến thiên theo quy luật hàm bậc hai (dao động).

Trang 177

CHƯƠNG 6**CHỌN CÔNG SUẤT ĐỘNG CƠ ĐIỆN****§6.1. KHÁI NIỆM CHUNG**

Muốn hệ thống truyền động điện tự động (HT TĐĐTĐ) làm việc đúng các chỉ tiêu kỹ thuật, kinh tế và an toàn, cần chọn đúng động cơ điện.

Nếu chọn động cơ không phù hợp, công suất động cơ quá lớn, sẽ làm tăng giá thành, giảm hiệu suất truyền động và giảm hệ số công suất $\cos\phi$.

Ngược lại, nếu chọn động cơ có công suất quá nhỏ so với yêu cầu thì có thể động cơ không làm việc được hoặc bị quá tải dẫn đến phát nóng quá nhiệt độ cho phép gây cháy hoặc giảm tuổi thọ động cơ.

Khi chọn động cơ phải căn cứ vào trị số và chế độ làm việc của phụ tải; phải xét đến sự phát nóng của động cơ lúc bình thường cũng như lúc quá tải.

Khi máy điện làm việc sẽ phát sinh các tổn thất công suất ΔP và tổn thất năng lượng:

$$\Delta W = \int_1 \Delta P \cdot dt \quad (6-1)$$

Tổn thất này sẽ đốt nóng máy điện. Nếu máy điện không có sự trao đổi nhiệt với môi trường thì nhiệt độ trong máy điện sẽ tăng đến vô cùng và làm cháy máy điện. Thực tế thì trong quá trình làm việc, máy điện có trao đổi nhiệt với môi trường nên nhiệt độ trong nó chỉ tăng đến một giá trị ổn định nào đó.

Đối với vật thể đồng nhất ta có:

$$\Delta P \cdot dt = C \cdot d\tau + A \cdot \tau \cdot dt \quad (6-2)$$

Trong đó:

$\tau = (t_{md}^{\circ} - t_{mt}^{\circ})$ là nhiệt sai (độ chênh nhiệt độ giữa máy điện và môi trường, tính theo độ $^{\circ}\text{C}$).

t_{md}° là nhiệt độ của máy điện ($^{\circ}\text{C}$).

t_{mt}° là nhiệt độ môi trường ($^{\circ}\text{C}$).

A là hệ số toả nhiệt của máy điện ($\text{Jul}/\text{cal} \cdot ^{\circ}\text{C}$).

C là nhiệt dung của máy điện ($\text{Jul}/^{\circ}\text{C}$).

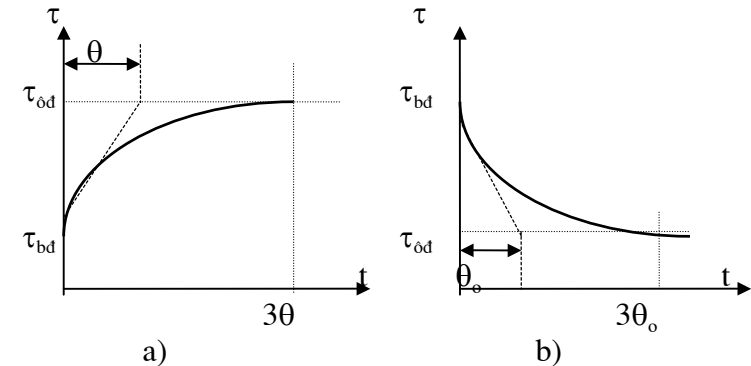
dt là khoảng thời gian nhỏ (s).

Giải phương trình (6-2) ta được:

+ Quá trình đốt nóng khi máy điện làm việc (nhiệt sai tăng):

$$\tau = \tau_{od} + (\tau_{bd} - \tau_{od}) \cdot e^{-t/\theta} \quad (6-3)$$

+ Các đường cong phát nóng và nguội lạnh của máy điện:



Hình 6 - 1: Đường cong phát nóng (a) và nguội lạnh (b) tổng quát

Trong đó:

$\tau_{od} = Q/A$ là nhiệt sai ổn định của máy điện khi $t = \infty$.

Q là nhiệt lượng của máy điện (Jul/ s).

τ_{bd} là nhiệt sai ban đầu khi $t = 0$.

$\theta = C/A$ là hằng số thời gian đốt nóng.

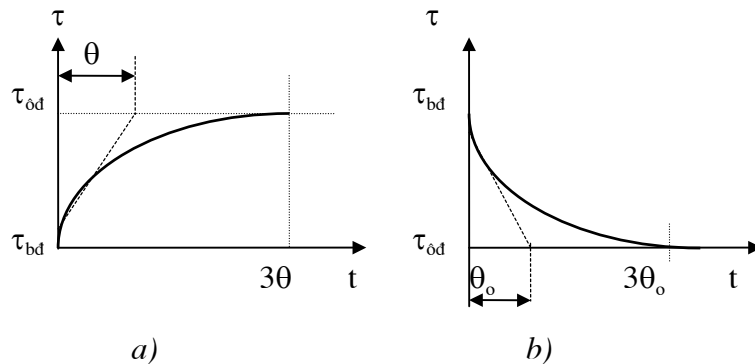
Khi $t = 0$ và $\tau_{bd} = 0$ (tức ban đầu $t_{md}^o = t_{ml}^o$) thì:

$$\tau = \tau_{\odot d} \cdot (1 - e^{-t/\theta}) \quad (6-4)$$

+ Quá trình nguội lạnh khi máy điện ngừng làm việc (nhiệt sai giảm):

$$\tau = \tau_{bd} \cdot e^{-t/\theta_0} \quad (6-5)$$

Trong đó: θ_0 là hằng số thời gian nguội lạnh.



Hình 6 - 2: a) Đường cong phát nóng khi $\tau_{bd} = 0$,

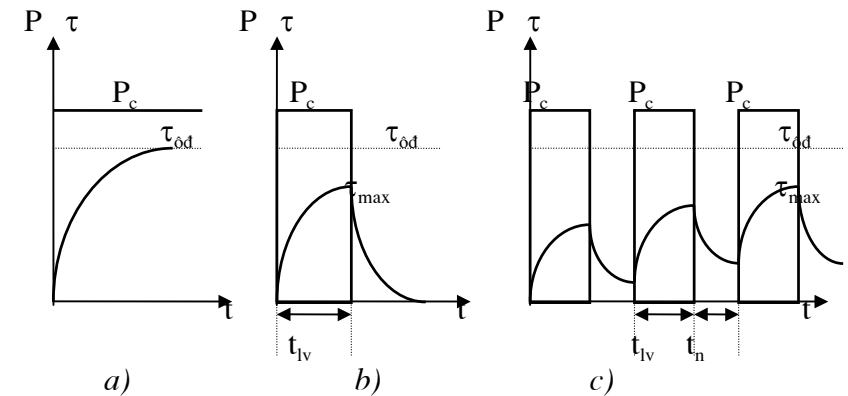
b) Đường cong nguội lạnh

* Các chế độ làm việc của hệ phân loại theo τ có 3 loại:

+ Chế độ dài hạn: khi có tải lâu dài, $\tau_{c.tải} = \tau_{\odot d}$ (hình 6-3a).

+ Chế độ ngắn hạn: Trong thời gian có tải: $\tau_{c.tải} < \tau_{\odot d}$ như hình 6-3b.

+ Chế độ ngắn hạn lặp lại: lúc có tải: $\tau_{c.tải} < \tau_{\odot d}$, lúc dừng thì $\tau_{k.tải} \neq \tau_{bd}$ như hình 6 - 3c, ($\tau_{c.tải} \equiv t_{lv}$, $\tau_{k.tải} \equiv t_n$).



Hình 6 - 3: Phân loại chế độ làm việc theo τ

§6.2. CÁC CHỈ TIÊU CHẤT LƯỢNG VÀ CÁC BƯỚC CHỌN ĐỘNG CƠ ĐIỆN

6.2.1. Các chỉ tiêu

6.2.1a. Chỉ tiêu kỹ thuật

Động cơ được chọn phải thích ứng với môi trường làm việc:

Tuỳ theo môi trường: khô - ướt, sạch - bẩn, nóng - lạnh, hoá chất ăn mòn, dễ nổ, ..., mà chọn các động cơ kiểu: hở - kín, chống nước, chống hoá chất, chống nổ, nhiệt đới hoá, ...

Động cơ được chọn phải thoả mãn điều kiện phát nóng khi làm việc bình thường cũng như khi quá tải (đây là điều kiện cơ bản):

$$\tau_{dc} \leq \tau_{cp}; \text{ hay: } t_{dc}^o \leq t_{cp}^o \quad (6-6)$$

(t_{cp}^o phụ thuộc vật liệu chế tạo và kết cấu từng loại động cơ)

Động cơ được chọn phải đảm bảo tốc độ yêu cầu: tốc độ định mức, có điều chỉnh tốc độ hay không, phạm vi điều chỉnh tốc độ, điều chỉnh tron hay điều chỉnh có cấp.

Chọn loại động cơ thông dụng hay động cơ có điều chỉnh tốc độ. Chọn loại động cơ xoay chiều hay động cơ một chiều ...

Động cơ được chọn phải đảm bảo khởi động, hãm, đảo chiều ... tốt.

6.2.1b. chỉ tiêu kinh tế

Động cơ được chọn phải làm việc với hiệu suất kinh tế cao, vốn đầu tư bé, chi phí vận hành ít, bảo quản và sửa chữa thấp, sử dụng hết công suất...

6.2.2. Các bước chọn công suất động cơ

Để tính chọn công suất động cơ cần phải biết một số yêu cầu cơ bản:

- Đặc tính phụ tải $P_{yc}(\omega)$, $M_{yc}(\omega)$, và đồ thị phụ tải $P_c(t)$, $M_c(t)$, $\omega_c(t)$.
- Phạm vi điều chỉnh tốc độ D : ω_{min} và ω_{max} .
- Loại động cơ định chọn (xoay chiều, một chiều, đặc biệt).
- Phương pháp điều chỉnh và dùng bộ biến đổi gì trong hệ thống.

Điều kiện chọn:

$$M_{dc} \geq M_c + M_{co} + M_{dg} \quad (6-7)$$

Các bước tiến hành chọn công suất động cơ:

6.2.2a. Bước 1

Căn cứ $M_c(t)$ hoặc $P_c(t)$, $I_c(t)$, ... hình 6-4a, tính mô men trung bình:

$$M_{tb} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{c,i} \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}; \quad (6-8)$$

Dựa vào sổ tay tra cứu,
sơ bộ chọn động cơ có:

$$M_{dm.chon} \geq M_{tb}; \quad (6-9)$$

$M_{dm.chon}$ - mô men định mức của động cơ được chọn.

6.2.2b. Bước 2

Tính mô men động (trong quá trình quá độ) dựa vào $\omega(t)$:

$$\begin{aligned} M_{dg} &= M_{dc} - M_c \\ &= J \frac{d\omega}{dt} \\ &= \frac{J}{9,55} \cdot \frac{dn}{dt} \\ &= \frac{J}{9,55} \cdot tg\alpha \end{aligned} \quad (6-10)$$

Trong đó: α là góc nghiêng $n(t)$ ở hình 6-4b trong quá trình quá độ.

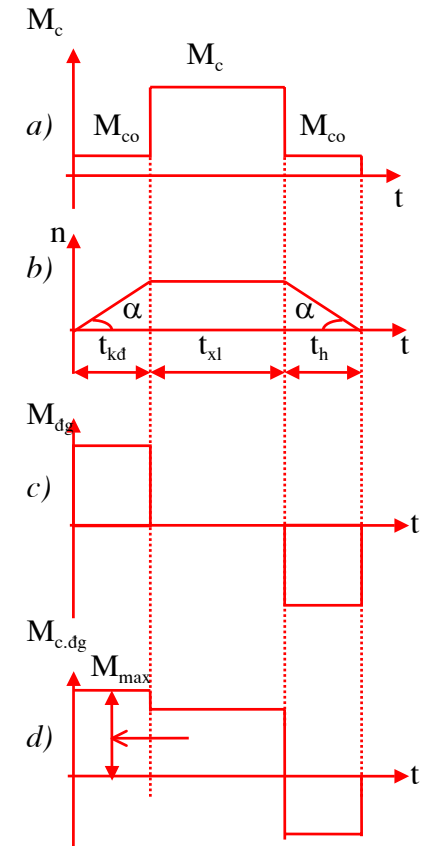
J là mô men quán tính của hệ thống đã quy đổi về trục động cơ.

Vẽ biểu đồ $M_{dg}(t)$ như hình 6-4c.

6.2.2c. Bước 3

Vẽ biểu đồ phụ tải động $M_{c,dg}(t)$ như hình 6-4d:

$$M_{c,dg} = M_c + M_{co} + M_{dg}; \quad (6-11)$$



Hình 6 - 4:
Đồ thị các bước chọn $P_{đ.cơ}$

6.2.2d. Bước 4

Dựa vào $M_{c,dg}(t)$ tiến hành kiểm tra khả năng quá tải của động cơ theo điều kiện:

$$\lambda_M \cdot M_{dm} \geq M_{max}; \quad (6-12)$$

Động cơ thường: $\lambda_M = 2$

Động cơ ĐK_{dq}: $\lambda_M = 2 \div 3$

Động cơ ĐK_{ls}: $\lambda_M = 1,8 \div 3$

Động cơ ĐK_{rs, 2ls}: $\lambda_M = 1,8 \div 2,7$

6.2.2e. Bước 5

Cuối cùng kiểm tra lại công suất động cơ theo điều kiện phát nóng (cụ thể sẽ khảo sát ở phần sau).

- Nếu sau khi kiểm tra mà không thỏa mãn các điều kiện phát nóng và quá tải thì phải chọn lại động cơ; thường tăng công suất động cơ lên một cấp.

* Gắn đúng: bỏ qua quá trình quá độ coi $M_{dg} \approx 0$. Như vậy chỉ cần $M_c(t)$ tính, đi tính $M_{tb}(t)$ rồi chọn sơ bộ động cơ, sau kiểm tra lại theo điều kiện phát nóng theo biểu đồ phụ tải tính.

§6.3. CHỌN ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHI**KHÔNG ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ****6.3.1. Chọn động cơ điện làm việc dài hạn****6.3.1a. Chọn động cơ phục vụ phụ tải dài hạn không đổi**

Dựa vào $P_c(t)$ hoặc $M_c(t)$ đã quy đổi về trục động cơ.

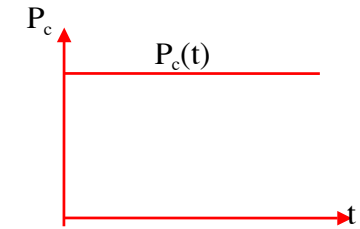
Ví dụ như hình 6-5, dựa vào sổ tay, chọn động cơ có:

$$P_{dm} \geq P_c; \quad (6-13)$$

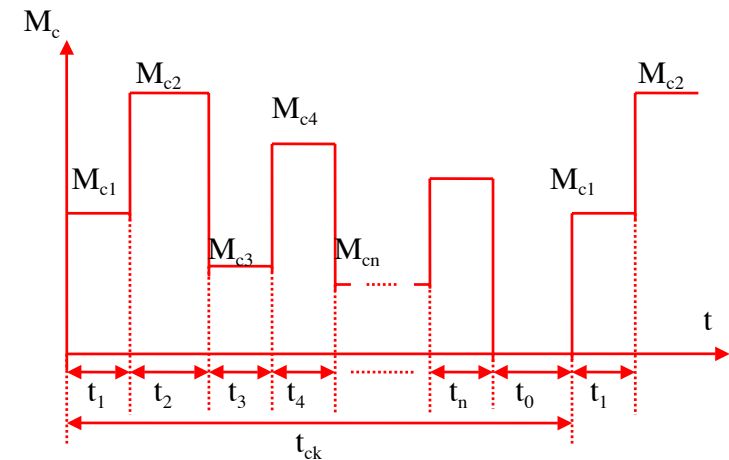
Thông thường chọn:

$$P_{dm} = (1 \div 1,3) \cdot P_c; \quad (6-14)$$

Không cần kiểm nghiệm quá tải về mô men, nhưng cần kiểm nghiệm điều kiện khởi động và phát nóng.



Hình 6 - 5: Phụ tải dài hạn

6.3.1b. Chọn động cơ phục vụ phụ tải dài hạn biến đổi

Hình 6 - 6: Phụ tải dài hạn biến đổi

Các bước tiến hành chọn động cơ như mục 6.2, ở đây chỉ trình bày bước chọn công suất động cơ theo trị trung bình:

$$M_{tb} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{c,i} \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (6-15a)$$

$$P_{tb} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{c,i} \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (6-15b)$$

Động cơ chọn phải có:

$$M_{dm} = (1 \div 1,3) M_{tb}; \quad (6-16a)$$

$$P_{dm} = (1 \div 1,3) P_{tb}; \quad (6-16b)$$

Điều kiện kiểm nghiệm: theo điều kiện phát nóng, quá tải về mô men và khởi động.

6.3.2. Chọn động cơ điện làm việc ngắn hạn

6.3.2a. Chọn động cơ dài hạn làm việc cho phụ tải ngắn hạn

Nếu chọn $P_{dh.dm} \geq P_{c.nh}$ thì $\tau < \tau_{cp}$, như vậy sẽ không sử dụng hết khả năng chịu nhiệt của động cơ. Vậy có thể chọn công suất $P_{dh.dm} < P_{c.nh}$!

Giả sử động cơ dài hạn có $P_{dh.dm}$ và $M_{dh.dm}$. Khi nó làm việc trong chế độ ngắn hạn với thời gian t_{lv} thì có thể tăng phụ tải đến:

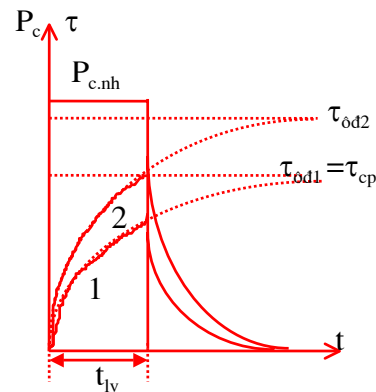
$$P_{c.nh} = \lambda \cdot P_{dh.dm}; \quad (6-17a)$$

$$M_{c.nh} = \lambda \cdot M_{dh.dm}; \quad (6-17b)$$

Khi đó phải tính toán thời gian làm việc sao cho phát nóng của động cơ đạt giá trị cho phép (để tận dụng hết khả năng chịu nhiệt của động cơ).

Với động cơ dài hạn (đường 1):

$$\tau_{od1} = (\Delta P_{dh.dm} / A) = \tau_{cp} \quad (6-18)$$



Hình 6 - 7: Phụ tải ngắn hạn

Khi chọn động cơ dài hạn có công suất nhỏ hơn phụ tải ngắn hạn thì:

$$\tau_{od2} = (\Delta P_{c.nh} / A) > \tau_{od1} = \tau_{cp} \quad (6-19)$$

Muốn τ tiến tới $\tau_{od1} = \tau_{cp}$ trong thời gian làm việc t_{lv} thì dựa vào phương trình đường cong phát nóng với điều kiện ban đầu là $\tau_{bd} = 0$, ta có:

$$\tau_{od1} = \tau_{od2} \cdot (1 - e^{-t_{lv}/\theta}) = (\Delta P_{c.nh} / A) \cdot (1 - e^{-t_{lv}/\theta}) = \tau_{cp}; \quad (6-20)$$

Hệ số quá tải về nhiệt khi chọn $P_{dh.dm} < P_{c.nh}$ là:

$$q_n = \Delta P_{c.nh} / \Delta P_{dh.dm} = \tau_{od2} / \tau_{od1} = 1 / (1 - e^{-t_{lv}/\theta}) \quad (6-21)$$

Mặt khác ta có:

$$\Delta P_{dh.dm} = \Delta P_{c.nh} \cdot (1 - e^{-t_{lv}/\theta}) \quad (6-22)$$

Rút ra:

$$t_{lv} = \theta \cdot \ln[\Delta P_{c.nh} / (\Delta P_{c.nh} - \Delta P_{dh.dm})] \quad (6-23)$$

Hệ số quá dòng khi chọn $P_{dh.dm} < P_{c.nh}$ là:

$$q_d = I_{c.nh} / I_{dh.dm} = P_{c.nh} / P_{dh.dm} \quad (9 - 24)$$

Mặt khác:

$$\begin{aligned} q_n &= \Delta P_{c.nh} / \Delta P_{dh.dm} = (K + V_{c.nh}) / (K + V_{dh.dm}) \\ &= (K + q_d^2 \cdot V_{dh.dm}) / (K + V_{dh.dm}) \end{aligned} \quad (6-25)$$

Đặt: $K / V_{dh.dm} = \alpha$, (thường: $\alpha = 0,5 \div 2$) ta có:

$$q_n = (\alpha + q_d^2) / (\alpha + 1) \quad (6-26)$$

$$q_d = \sqrt{\frac{1 + \alpha \cdot e^{-t_{lv}/\theta}}{1 + e^{-t_{lv}/\theta}}} \quad (6-27)$$

Và cuối cùng ta chọn động cơ dài hạn phục vụ cho phụ tải ngắn hạn:

$$P_{dh.dm.chon} \geq P_{c.nh} / q_d \quad (6-28)$$

6.3.2b. Chọn động cơ ngắn hạn phục vụ phụ tải ngắn hạn

Động cơ ngắn hạn được chế tạo có thời gian làm việc tiêu chuẩn là:

$t_{lc} = 15, 30, 60, 90$, (phút). Như vậy ta phải chọn:

$$t_{lv} = t_{lc} \quad (6-29)$$

$$P_{dm.chon} \geq P_{lv.nh} \quad (6-30)$$

Nếu $t_{lv} \neq t_{lc}$ thì sơ bộ chọn động cơ có t_{lc} và P_{dm} gần với giá trị t_{lv} và $P_{c.nh}$. Sau đó xác định tổn thất động cơ ΔP_{dm} với công suất P_{dm} , và $\Delta P_{c.nh}$ với $P_{c.nh}$. Quy tắc chọn động cơ là:

$$\Delta P_{dm.chon} \geq \frac{(1 - e^{-t_{lv}/\theta})}{(1 - e^{-t_{lc}/\theta})} \cdot \Delta P_{c.nh} \quad (6-30)$$

Đồng thời tiến hành kiểm nghiệm động cơ theo điều kiện quá tải về mômen, mômen khởi động và điều kiện phát nóng.

6.3.3. Chọn động cơ làm việc ngắn hạn lặp lại**6.3.3a. Đồ thị phụ tải và đường cong phát nóng**

Sau một số chu kỳ làm việc, $\tau(t)$ sẽ dao động trong khoảng $\tau_{min} \div \tau_{max}$:

$$\text{Trong khoảng } t_{lv}: \quad \tau = \tau_{od} - (\tau_{od} - \tau_{min}) \cdot e^{-t/\theta} \quad (6-31)$$

$$\text{Trong khoảng } t_n: \quad \tau = \tau_{max} \cdot e^{-t/\theta_0}; \quad (6-32)$$

Ta tính được τ_{max} và τ_{min} :

$$\tau_{max} = \tau_{od} \cdot (1 - e^{-t_{lv}/\theta}) + \tau_{min} \cdot e^{-t_{lv}/\theta} \quad (6-33)$$

$$\tau_{min} = \tau_{max} \cdot e^{-t_n/\theta_0} \quad (6-34)$$

$$\tau_{max} = \tau_{od} \cdot \left[\frac{1 - e^{-t_{lv}/\theta}}{1 - e^{-(t_{lv}/\theta + t_n/\theta_0)}} \right] \quad (6-35)$$

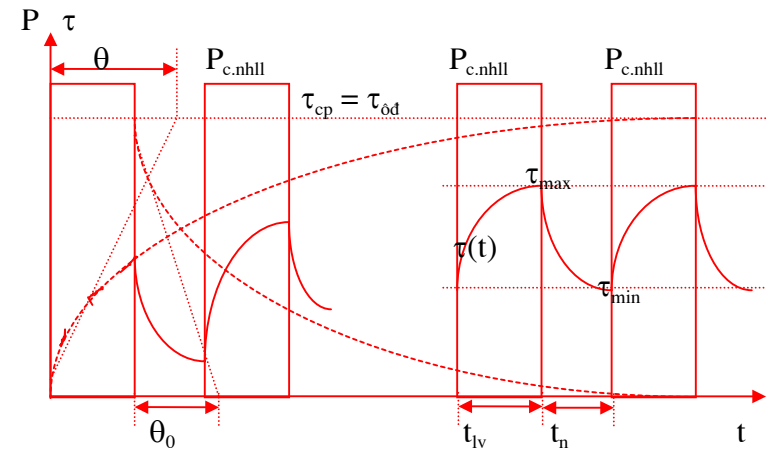
$$\tau_{min} = \tau_{od} \cdot \left[\frac{1 - e^{-t_{lv}/\theta}}{1 - e^{-(t_{lv}/\theta + t_n/\theta_0)}} \right] \cdot e^{-t_n/\theta_0} \quad (6-36)$$

Nếu $\theta = \theta_0$ thì:

$$\tau_{max} = \tau_{od} \cdot \left[\frac{1 - e^{-t_{lv}/\theta}}{1 - e^{-t_{ck}/\theta}} \right] \quad (6-37)$$

Khai triển chuỗi Furiê và lấy số hạng thứ 1 của chuỗi ta có:

$$\tau_{max} \approx \tau_{od} \cdot (t_{lv} / t_{ck}) = \tau_{od} \cdot \varepsilon \quad (6-38)$$



Hình 6 - 8: Đồ thị phụ tải và đường cong phát nóng

6.3.3b. Chọn động cơ dài hạn phục vụ phụ tải ngắn hạn lặp lại

Thường chọn động cơ dài hạn có $P_{dh.dm} < P_{c.nhll}$ để tận dụng khả năng phát nóng cho phép của động cơ. Như vậy hệ số quá tải về nhiệt:

$$q_n = \tau_{od} / \tau_{max} = \frac{1 - e^{-(t_{lv}/\theta + t_n/\theta_0)}}{1 - e^{-t_{lv}/\theta}} \quad (6-39)$$

Biến đổi số mũ:

$$\left(\frac{t_{lv}}{\theta} + \frac{t_n}{\theta_o} \right) = \frac{1}{\theta} \cdot \left[t_{lv} + \frac{t_n \theta}{\theta_o} \right] = \frac{t_{lv}}{\theta} \cdot \left[1 + \frac{\beta t_n}{t_{lv}} \right] = \frac{t_{lv}}{\varepsilon \cdot \theta}; \quad (6-40)$$

β là hệ số xét tới điều kiện làm mát bị kém đi trong thời gian nghỉ.

$\beta = 0,5$ đối với động cơ điện một chiều.

$\beta = 0,25$ đối với động cơ điện xoay chiều.

$\varepsilon = \frac{t_{lv}}{t_{lv} + \beta \cdot t_n}$ là hằng số thời gian đóng điện tương đối có xét đến điều kiện làm mát bị kém đi trong thời gian nghỉ.

Cuối cùng ta có:

$$q_n = \frac{1 - e^{-t_{lv} / \varepsilon \cdot \theta}}{1 - e^{-t_{lv} / \theta}} \quad (6-41)$$

Chọn công suất động cơ dài hạn phục vụ phụ tải ngắn hạn lặp lại:

$$\Delta P_{dh, dm, chọn} \geq \Delta P_{c, nh} / q_n \quad (6-42)$$

6.3.3c. Chọn động cơ ngắn hạn lặp lại phục vụ phụ tải NHLL

Động cơ ngắn hạn lặp lại thường được chế tạo chuyên dụng có độ bền cơ khí cao, quán tính nhỏ (để đảm bảo khởi động và hãm thường xuyên) và khả năng qua tải lớn (từ 2,5 ÷ 3,5 lần).

Đồng thời được chế tạo với thời gian đóng điện tiêu chuẩn là: $\varepsilon_{tc} \% = 15\%, 25\%, 40\%$ và 60% .

Động cơ được chọn:

$$\varepsilon_{tc} \% = \varepsilon_{f\text{ tải}} \% \quad (6-43)$$

$$P_{dm, chọn} \geq P_{c, nhll} \quad (6-44)$$

Trong trường hợp $\varepsilon_{tc} \% \neq \varepsilon_{ft} \%$ thì cần hiệu chỉnh lại công suất động cơ:

$$P_{dm, chọn} = P_{c, nhll} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_{ft} \%}{\varepsilon_{tc} \%}} \quad (6-45)$$

Sau đó phải kiểm tra về mô men quá tải, khởi động và phát nóng.

§6.4. CHỌN ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHI ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ

Để tính chọn công suất động cơ trong trường hợp này cần phải biết những yêu cầu cơ bản sau:

1. Đặc tính phụ tải $P_{yc}(\omega)$, $M_{yc}(\omega)$ và đồ thị phụ tải $P_c(t)$, $M_c(t)$, $\omega(t)$
2. Phạm vi điều chỉnh tốc độ: $D = \omega_{max} / \omega_{min}$
3. Loại động cơ định chọn (một chiều, xoay chiều, ...).
4. Phương pháp điều chỉnh và bộ biến đổi trọng hệ thống TĐĐTĐ đó.

Hai yêu cầu trên nhằm xác định những tham số $P_{yc, max}$ và $M_{yc, max}$.

Ví dụ: Đối với phụ tải truyền động yêu cầu trong phạm vi điều chỉnh có $P = \text{const}$ (xem hình 6-9a).

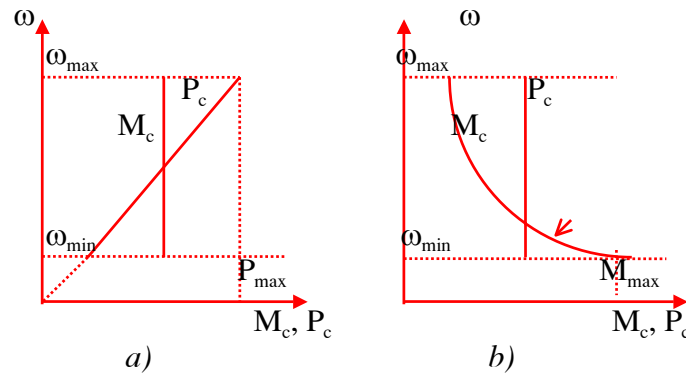
Ta có công suất yêu cầu cực đại: $P_{max} = P_{dm} = \text{const}$, nhưng mô men yêu cầu cực đại lại phụ thuộc vào phạm vi điều chỉnh:

$$M_{max} = P_{dm} / \omega_{min}.$$

Đối với phụ tải truyền động yêu cầu trong phạm vi điều chỉnh tốc độ, $M = \text{const}$ (xem hình 6-9b).

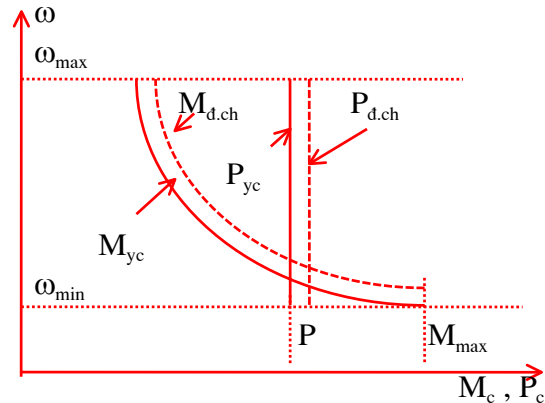
Ta có:

$$P_{max} = M_{dm} \cdot \omega_{max}.$$



Hình 6 - 9: Các đặc tính $P_c(\omega)$ và $M_c(\omega)$

Hai yêu cầu về loại động cơ và loại truyền động có ý nghĩa đặc biệt quan trọng. Nó xác định kích thước công suất lắp đặt truyền động, bởi vì hai yêu cầu này cho biết hiệu suất truyền động và đặc tính điều chỉnh $P_{d.ch}(\omega)$, $M_{d.ch}(\omega)$ của truyền động. Thông thường các đặc tính điều chỉnh này thường phù hợp với đặc tính phụ tải yêu cầu $P_{yc}(\omega)$, $M_{yc}(\omega)$ (xem hình 6 - 10).



Hình 6 - 10: Các đặc tính $M_{yc}(\omega)$, $P_{yc}(\omega)$ và $M_{d.ch}(\omega)$, $P_{d.ch}(\omega)$

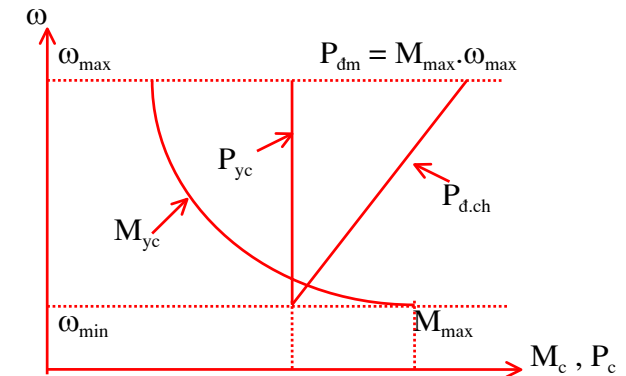
Tuy vậy có trường hợp, người ta thiết kế hệ truyền động có đặc tính điều chỉnh không phù hợp chỉ vì mục đích là đơn giản cấu trúc điều chỉnh.

Ví dụ: Đối với tải $P = \text{const}$, khi sử dụng động cơ điện một chiều, phương pháp điều chỉnh thích hợp là điều chỉnh từ thông kích từ. Nhưng ta dùng phương pháp điều chỉnh điện áp phản ứng thì khi tính chọn công suất động cơ cần phải xét yêu cầu M_{max} (hình 6 - 11).

Vậy công suất động cơ lúc đó không phải là $P_{dm} = P_{yc}$ mà:

$$P_{dm} = M_{max} \cdot \omega_{max} = (\omega_{max} / \omega_{min}) \cdot P_{yc} = D \cdot P_{yc} \quad (6-46)$$

Như vậy công suất đặt sẽ lớn hơn D lần so với P_{yc} .



Hình 6-11: Chọn động cơ có đặc tính $P_{d.ch}(\omega)$ không phù hợp

Mặt khác việc tính chọn công suất động cơ còn phụ thuộc vào phương pháp điều chỉnh tốc độ, ví dụ cùng một loại động cơ như động cơ không đồng bộ, mỗi phương pháp điều chỉnh khác nhau có đặc tính truyền động khác nhau, phương pháp điều chỉnh điện áp dùng tiristor có hiệu suất thấp so với phương pháp điều chỉnh tần số dùng bộ biến đổi tiristor. Vì vậy khi tính chọn công suất động cơ bắt buộc phải xem xét tới tổn thất cộng suất ΔP và tiêu thụ công suất phản kháng Q trong suốt dải điều chỉnh.

Do vậy việc tính chọn công suất động cơ cho truyền động có điều chỉnh tốc độ cần phải gắn với một hệ truyền động chọn trước để có đầy đủ yêu cầu cơ bản cho việc tính chọn.

§6.5. KIỂM NGHIỆM CÔNG SUẤT ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Việc tính chọn công suất động cơ ở các mục trên được coi là giai đoạn chọn sơ bộ ban đầu. Để khẳng định chắc chắn việc tính chọn đó là chấp nhận được, ta cần phải kiểm nghiệm lại việc tính chọn đó.

Yêu cầu về kiểm nghiệm việc tính chọn công suất động cơ gồm có:

- Kiểm nghiệm phát nóng:

$$\tau_{\text{od}} \leq \tau_{\text{cp}} \quad (6-47)$$

- Kiểm nghiệm quá tải về mô men:

$$M_{\text{dm}} > M_{\text{c,max}} \quad (6-48)$$

- Kiểm nghiệm mô men khởi động:

$$M_{\text{kd}} \geq M_{\text{c,mở máy}} \quad (6-49)$$

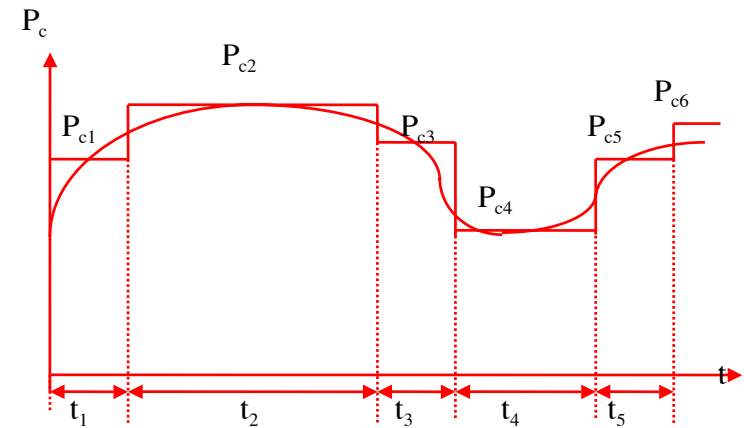
Ta thấy rằng việc kiểm nghiệm theo yêu cầu quá tải về mô men và mô men khởi động có thể thực hiện dễ dàng.

Riêng về yêu cầu kiểm nghiệm phát nóng là khó khăn, không thể tính toán phát nóng động cơ một cách chính xác được (vì tính phát nóng động cơ là bài toán phức tạp).

Tuy vậy gần đúng có thể sử dụng các phương pháp kiểm nghiệm phát nóng gián tiếp qua các đại lượng điện sau đây.

6.5.1. Kiểm nghiệm động cơ bằng phương pháp tổn thất trung bình:

- Giả sử có đặc tính tải $P_c(t)$ là đường cong thì phải hình thang hoá từng đoạn và trong mỗi đoạn được coi là có $P_c = \text{const}$ (như hình 6 - 12).



Hình 6 - 12: Hình thang hoá đặc tính tải

Xuất phát từ phương pháp nhiệt sai cực đại (xem tài liệu tham khảo) với điều kiện xét ở chu kỳ xa điểm gốc toạ độ, lúc đó thì nhiệt sai của động cơ biến thiên theo quy luật xác định,

$$\text{và ta có: } \tau_{\text{bd}} = \tau_{\text{cc}} = \tau_x.$$

Từ phương trình $\tau_{\text{max}}(t)$ ta có:

$$\begin{aligned} \tau_x (1 - e^{-t_{\text{ck}}/\theta}) &= \frac{\Delta P_1}{A} (1 - e^{-t_1/\theta}) \cdot e^{-(t_{\text{ck}} - t_1)/\theta} + \\ &+ \frac{\Delta P_2}{A} (1 - e^{-t_2/\theta}) \cdot e^{-[t_{\text{ck}} - (t_1 + t_2)]/\theta} + \dots + \\ &\dots + \frac{\Delta P_n}{A} (1 - e^{-t_n/\theta}) \end{aligned} \quad (6-50)$$

Xem nhiệt sai ổn định τ_x do lượng tổn thất công suất trung bình ΔP_{tb} gây ra, ta có:

$$\tau_x = \frac{\Delta P_{\text{tb}}}{A} \quad (6-51)$$

Thay vào ta có:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta P_{tb}}{A}(1 - e^{-t_{ck}/\theta}) &= \frac{\Delta P_1}{A}(1 - e^{-t_1/\theta}) \cdot e^{-(t_{ck}-t_1)/\theta} + \\ &+ \frac{\Delta P_2}{A}(1 - e^{-t_2/\theta}) \cdot e^{-[t_{ck}-(t_1+t_2)]/\theta} + \dots + \\ &\dots + \frac{\Delta P_n}{A}(1 - e^{-t_n/\theta}) \end{aligned} \quad (6-52)$$

Khai triển hàm e^{-x} và chỉ lấy 2 số hạng đầu, ta có:

$$\frac{\Delta P_{tb}}{A} \cdot \frac{t_{ck}}{\theta} = \frac{\Delta P_1}{A} \cdot \frac{t_1}{\theta} + \frac{\Delta P_2}{A} \cdot \frac{t_2}{\theta} + \dots + \frac{\Delta P_n}{A} \cdot \frac{t_n}{\theta} \quad (6-53)$$

Với giả thiết trong quá trình làm việc: $A = \text{const}$, $\theta = \text{const}$, ta có:

$$\Delta P_{tb} = \frac{\sum_1^n P_i t_i}{\sum_1^n t_i} = \frac{\sum_1^n P_i t_i}{t_{ck}} \quad (6-54)$$

Và động cơ được chọn phải đảm bảo:

$$\Delta P_{dm.chon} \geq \Delta P_{tb} \quad (6-55)$$

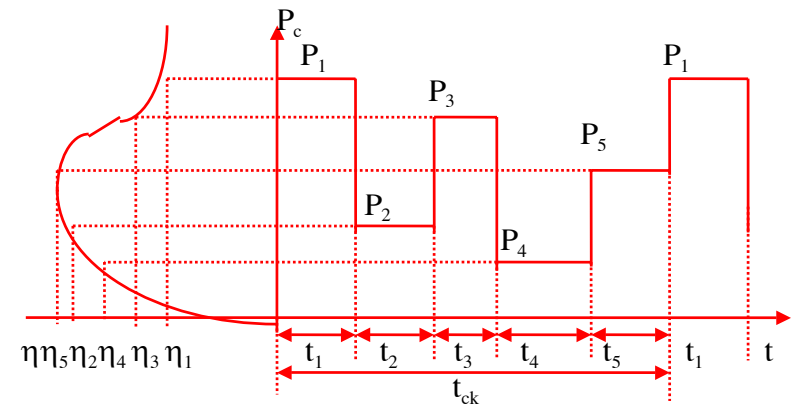
Trong thực tế, việc tính toán ΔP_i , ΔP_{tb} có thể dựa vào $P_c(t)$ và $\eta(P_c)$ của động cơ (xem hình 6-13):

Và $\Delta P_{dm.chon}$ được xác định theo công thức:

$$\Delta P_{dm.chon} = P_{dm} \frac{1 - \eta_{dm}}{\eta_{dm}} \quad (6-56)$$

Đối với động cơ có quạt gió tự làm mát thì trong biểu thức (6-55) phải tính đến khả năng suy giảm của truyền nhiệt khi dừng máy, khi khởi động và hãm, ta có:

$$\Delta P_{tb} = \frac{\sum_1^n P_i \cdot t_i}{\alpha \sum t_k + \beta \sum t_0 + \sum t_{lv}} \quad (6-57)$$



Hình 6 - 13: Các đặc tính $P_c(t)$ và $\eta(P_c)$

Trong đó:

α là hệ số giảm truyền nhiệt khi khởi động và hãm,

$\alpha = 0,75$ đối với động cơ điện một chiều,

$\alpha = 0,5$ đối với động cơ điện xoay chiều.

t_k là thời gian khởi động và hãm.

β là hệ số giảm truyền nhiệt khi động cơ dừng.

$\beta = 0,5$ đối với động cơ điện một chiều.

$\beta = 0,25$ đối với động cơ điện xoay chiều.

t_0 là thời gian nghỉ của động cơ.

6.5.2. Kiểm nghiệm động cơ theo đại lượng dòng điện đẳng trị

Xuất phát từ biểu thức:

$$\Delta P = K + V = K + bI^2 \quad (6-58)$$

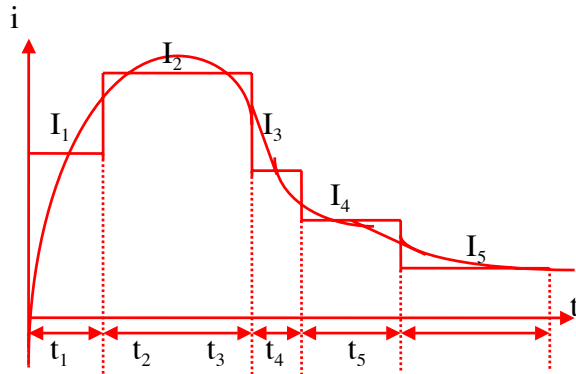
Trong đó:

K là tổn thất công suất không đổi.

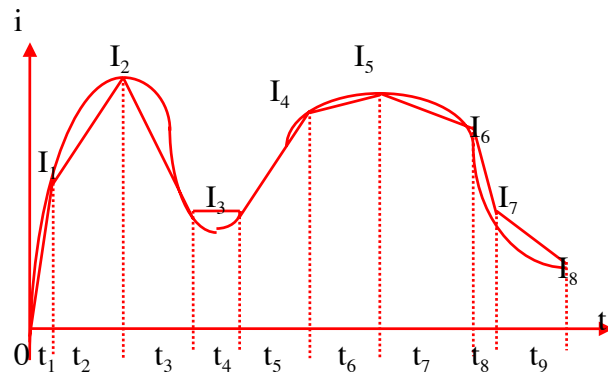
V là tổn thất công suất biến đổi, thường: $V = bI^2$.

I là dòng điện động cơ.

b là hệ số tỷ lệ.



Hình 6 - 14a: Dòng điện $i(t)$



Hình 9 - 14b: Cách tính gần đúng $i(t)$

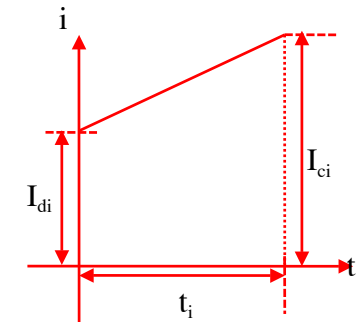
Như vậy tương đương với biểu thức ΔP_{tb} ta có biểu thức dòng điện đẳng trị:

$$I_{dt} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i^2}{\alpha \sum t_k + \beta \sum t_0 + \sum t_{lv}} \quad (6-59)$$

Điều kiện kiểm nghiệm:

$$I_{dt} \leq I_{dm.chon} \quad (6-60)$$

Để tính giá trị I_{dt} ta phải tính quá trình quá độ. Giả thiết có kết quả tính dòng điện $i(t)$, nó có dạng đường cong liên tục, như trên hình 6-14a (bậc thang hoá) và trên hình 6-14b (gãy khúc hoá) để tìm I_i và t_i :



Hình 6 - 15: gãy khúc hoá

Trong trường hợp đường cong dòng điện có dạng tăng trưởng lớn như trên hình 6-15b, thì ta dùng công thức gần đúng:

$$I_i = \sqrt{I_{di} \cdot I_{ci} + \frac{\Delta I^2}{3}} \quad (6-61)$$

$$\Delta I = I_{ci} - I_{di} \quad (6-62)$$

Trong đó: I_{di} , I_{ci} xác định theo đồ thị trên hình 6-15.

6.5.3. Kiểm nghiệm động cơ theo đại lượng mô men đẳng trị

Phương pháp kiểm nghiệm động cơ theo điều kiện phát nóng gián tiếp là mô men được suy ra từ phương pháp dòng điện đẳng trị, khi mô men tỷ lệ với dòng điện: $M = cI$ (c là hệ số tỷ lệ).

Đối với động cơ điện một chiều thì điều kiện này được thoả mãn khi từ thông của động cơ không đổi.

Đối với động cơ không đồng bộ:

$$M = C_m I_2 \Phi_2 \cos \varphi_2 \quad (6-62)$$

Ta cần phải có $\Phi_2 = \text{const}$, và $\cos \varphi_2 = \text{const}$ (tức là gần tốc độ định mức của động cơ).

Tính mô men đẳng trị:

$$M_{dt} = \sqrt{\frac{1}{t_{ck}} \sum_1^n M_i^2 \cdot t_i} \quad (6-63)$$

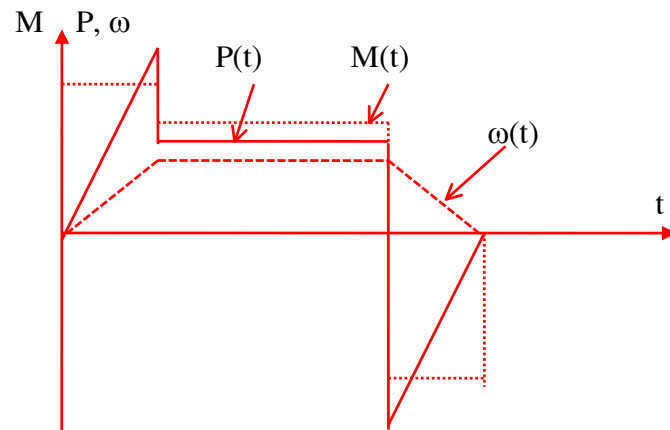
Kiểm nghiệm động cơ:

$$M_{dm.chon} \geq M_{dt} \quad (6-64)$$

64)

6.5.4. Kiểm nghiệm động cơ theo đại lượng công suất đẳng trị

Trong truyền động mà tốc độ động cơ ít thay đổi thì $P \equiv M$, do vậy có thể dùng đại lượng công suất đẳng trị để kiểm nghiệm phát nóng.



Hình 9 - 16: Minh họa cách tính toán hiệu chỉnh $P(t)$

Công suất đẳng trị:

$$P_{dt} = \sqrt{\frac{1}{t_{ck}} \sum_1^n P_i^2 \cdot t_i} \quad (6-65)$$

Chọn động cơ có:

$$P_{dm.chon} \geq P_{dt} \quad (6-66)$$

Trong thực tế ở gián đồ phụ tải, tốc độ truyền động thường thay đổi lớn trong quá trình khởi động và hãm. Cho nên cần phải tính toán hiệu chỉnh $P(t)$ như hình 6-16.

CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Các quan hệ nhiệt sai của động cơ theo thời gian $\tau = f(t)$ được sử dụng với mục đích gì ? nhịp độ tăng/giảm nhiệt sai khi ăn tải hoặc tháo tải của động cơ điện phụ thuộc vào thông số nào ? Nêu ý nghĩa của hằng số thời gian phát nóng T_n ?

2. Đồ thị phụ tải là gì ? Định nghĩa đồ thị phụ tải tĩnh và đồ thị phụ tải toàn phần. Sự khác nhau giữa hai loại đồ thị phụ tải đó là gì ? Công dụng của từng loại trong việc giải quyết bài toán tính chọn công suất động cơ ?

3. Đối với động cơ điện có mấy chế độ làm việc ? Đặc điểm làm việc của động cơ ở từng chế độ đó ? Đồ thị phụ tải của từng loại chế độ được đặc trưng bởi những thông số nào ?

4. Viết công thức tính toán hoặc kiểm nghiệm phát nóng động cơ bằng phương pháp nhiệt sai, tổn thất công suất trung bình, các đại lượng đẳng trị ? Công dụng của từng phương pháp đối với bài toán chọn công suất động cơ ?

5. Các bước tính chọn công suất động cơ ở chế độ dài hạn và chế độ ngắn hạn, ngắn hạn lặp lại ?

CHƯƠNG 7**HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG****§7.1. CÁC NGUYÊN TẮC ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG**

Xuất phát từ yêu cầu công nghệ: cần thay đổi tốc độ, thay đổi hành trình làm việc của cơ cấu sản xuất ...

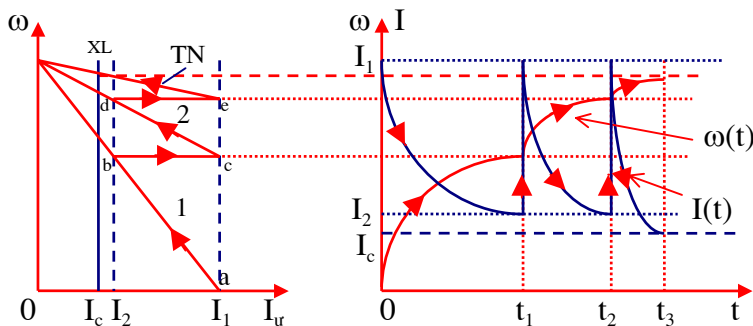
Xuất phát từ chế độ làm việc của HT ĐKTD: khởi động, chuyển đổi tốc độ, hãm, đảo chiều, dừng máy ...

Xuất phát từ yêu cầu kỹ thuật, kinh tế: điều chỉnh tốc độ, ổn định, chính xác cao, an toàn ... và kinh tế.

Từ đó cần có những nguyên tắc ĐKTD để thực hiện được các yêu cầu trên, đồng thời tự động hạn chế các đại lượng cần hạn chế: dòng điện cho phép, mô men cho phép, tốc độ cho phép, công suất cho phép, ...

7.1.1. Điều khiển tự động theo nguyên tắc thời gian**7.1.1a. Nội dung**

Có đồ thị khởi động ωM_{dt} với 2 cấp điện trở phụ:



Hình 7 - 1: Các đặc tính cơ và quá độ khi khởi động

- Trên hình 7-1, trình bày đặc tính khởi động: $\omega(I_r)$, $\omega(t)$, $I(t)$ của động cơ điện một chiều kích từ độc lập, có 2 cấp khởi động (dùng điện trở phụ hạn chế dòng khởi động).

- Qua đồ thị khởi động ở trên, ta thấy: việc ngắt mạch các cấp điện trở phụ có thể xảy ra sau những khoảng thời gian nhất định:

+ Cấp thứ nhất được ngắt mạch sau khoảng thời gian t_1 kể từ khi bắt đầu khởi động.

+ Cấp thứ 2 được ngắt mạch sau khoảng thời gian t_2 kể từ khi bắt đầu ngắt mạch cấp 1...

- Các tín hiệu điều khiển ở các thời điểm trên được tạo ra nhờ các rơ le thời gian. Thời gian duy trì của các rơ le thời gian hiện nay có thể đạt: $t_{d.tr} = 0,05s \div 2h$, và lớn hơn.

- Thời gian thực hiện các cấp khởi động ($t_{dtr.kd}$) được xác định theo tính toán quá trình quá độ của hệ thống TĐĐ TĐ.

Khi $M(\omega)$ [hay $I(\omega)$] là tuyến tính thì thời gian quá trình quá độ giữa hai cấp tốc độ là:

$$t_{\text{qd}} = T_{ci} \ln \frac{M_{dgi}}{M_{dgi+1}} = \frac{J}{\beta} \ln \frac{M_{dgi}}{M_{dgi+1}} \quad (7-1)$$

$$= J \frac{\omega_{i+1} - \omega_i}{M_{dgi} - M_{dgi+1}} \ln \frac{M_{dgi}}{M_{dgi+1}}$$

- Thời gian chỉnh định của rơ le thời gian để thực hiện gia tốc từ tốc độ thứ i đến tốc độ thứ $i+1$ là:

$$t_{cd} = t_{qd} - t_o \quad (7-2)$$

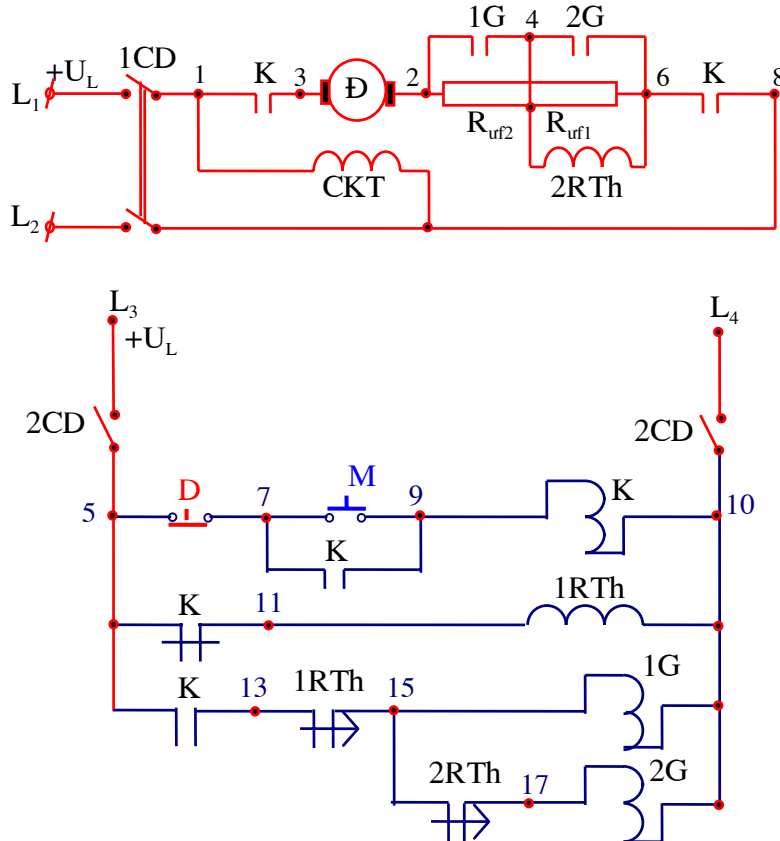
Trong đó: t_{qd} - là thời gian quá độ giữa 2 cấp tốc độ.

t_o - là thời gian tác động của các thiết bị, khí cụ trong mạch có liên quan đến sự tác động của rơ le thời gian.

7.1.1b. Các mạch điện hình:

* Mở máy động cơ điện một chiều 2 cấp điện trở phụ

1) Sơ đồ:



Hình 7 - 2: Sơ đồ nguyên lý và biểu đồ thời gian

2) Nguyên lý làm việc:

* Khởi động động cơ:

- Đóng các cầu dao $1CD$, $2CD$, dẫn đến cuộn dây rơ le thời gian $1RTh(11-10)$ có điện, tiếp điểm $1RTh(13-15)$ mở ra, đảm bảo cho các cuộn dây công tắc tơ $1G(15-10)$, $2G(17-10)$ không có điện, và như vậy các điện trở phụ R_{uf1} , R_{uf2} , sẽ đều tham gia trong mạch phản ứng.

- Ấn nút M thì cuộn dây $K(9-10)$ có điện, các tiếp điểm $K(1-3)$, $K(6-8)$ đóng lại, dẫn đến động cơ $Đ$ được khởi động với toàn bộ điện trở phụ trong mạch phản ứng: $R_{uf\Sigma} = R_{uf1} + R_{uf2}$, theo đặc tính 1. Tiếp điểm $K(7-9)$ đóng lại để duy trì cho công tắc tơ K khi thời ấn M . Các tiếp điểm $K(1-3)$, $K(6-8)$ đóng lại, làm cho cuộn dây $2RTh(4-6)$ có điện, tiếp điểm $2RTh(15-17)$ mở ra, đảm bảo cho cuộn dây $2G(17-10)$ không có điện.

$K(5-11)$ mở, $K(5-13)$ đóng, làm $1RTh(11-10)$ mất điện, sau thời gian chỉnh định của $1RTh$ ($\approx t_1$) thì $1RTh(13-15)$ đóng, làm cho $1G(4-6)$ đóng, ngắn mạch R_{uf1} , động cơ $Đ$ khởi động sang đặc tính 2, tương ứng với R_{uf2} .

Tiếp điểm $1G(4-6)$ đóng lại, làm $2RTh(4-6)$ mất điện, sau thời gian chỉnh định của $2RTh$ ($\approx t_2 - t_1$), thì $2RTh(15-17)$ kín lại, làm $2G(17-10)$ có điện, và $2G(2-4)$ đóng lại, ngắn mạch R_{uf2} , động cơ $Đ$ chuyển sang đặc tính cơ tự nhiên và sẽ tới làm việc ở điểm xác lập XL .

* Dừng động cơ:

- Ấn nút D làm cuộn dây $K(9-10)$ mất điện, và $K(1-3)$ mở, $K(6-8)$ mở, làm phản ứng $Đ$ mất điện, và $2RTh(4-6)$ mất điện; $K(7-9)$ mở ra, $K(5-13)$ mở, $K(5-11)$ kín lại, làm $1RTh(11-10)$ có điện lại, chuẩn bị khởi động lần sau.

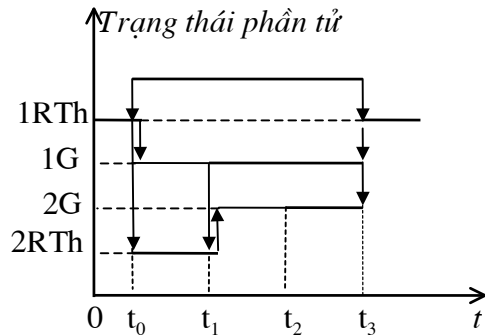
* Phương trình đặc tính cơ:

$$\omega = \frac{U}{K\Phi} - \frac{R_r + R_{uf\Sigma}}{(K\Phi)^2} M \quad (6-3)$$

* Phương trình đặc tính quá trình quá độ khi khởi động:

$$\omega = \omega_{XL} + (\omega_{bd} + \omega_{XL}).e^{-t/T_c} \quad (7-4)$$

$$M = M_c + (M_1 - M_c).e^{-t/T_c} \quad (7-5)$$



Hình 7-3: Đặc tính hoạt động theo thời gian của các phần tử trong sơ đồ điều khiển tự động

* Thời gian khởi động:

$$t_{kd} = T_c \ln \frac{M_1 - M_c}{M_2 - M_c} = T_c \ln \frac{I_1 - I_c}{I_2 - I_c} \quad (7-6)$$

* Thời gian chỉnh định của các rơ le thời gian:

$$\text{RTh: } t_{cd.1RTh} = t_{kd.1} - [t_{(k)} + t_{(1G)}] \quad (7-7)$$

$$\text{2RTh: } t_{cd.2RTh} = t_{kd.2} - [t_{(2G)}] \quad (7-8)$$

Vì $[t_{(k)}, t_{(1G)}, t_{(2G)}] \ll t_{kd}$, nên: $t_{cd} \approx t_{kd}$. Đồ thị: hình 7-31.

7.1.1c. Nhận xét

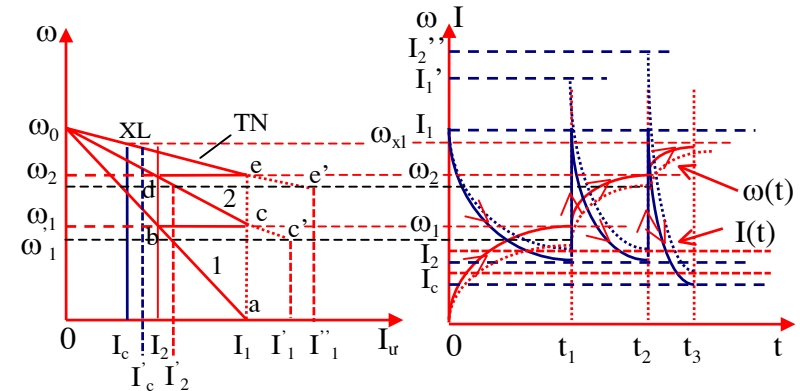
1) Ảnh hưởng của mômen tải M_c (khi $U_L = \text{const}$, $R = \text{const}$):

- Ví dụ: Có đồ thị khởi động ΔM_{dl} với 2 cấp điện trở phụ:

- Khi M_c tăng thì $M_{động}$ tăng, quá trình quá độ tăng.

- Khi mô men tải M_c hay dòng tải I_c tăng, mô men động giảm, thời gian quá độ tăng (quá trình quá độ bị giảm gia tốc).

- Vì $M_c' > M_c$ (hay $I_c' > I_c$) nên $M'_{động} = (M - M_c') < M_{động}$ do đó quá trình gia tốc chậm lại. Ban đầu ω tăng đến ω_1' ($\omega_1' < \omega_1$), tức là cấp 1 ở điểm b_1 thì đã hết thời gian chỉnh định của RTh nên phải chuyển sang cấp 2, tức sang điểm c_1 , cứ như vậy chuyển đổi từ d_1 sang e_1 , v.v... Như vậy, khi khởi động mà M_c (hay I_c) tăng lên, sẽ dẫn đến quá tải, hay quá dòng cho phép.



Hình 7-4: Các đặc tính khởi động theo nguyên tắc thời gian khi phụ tải bị thay đổi trong quá trình khởi động.

- Phương trình đặc tính quá độ lúc này:

$$\omega_{b1} = \omega_{XL} + (\omega_{bd} - \omega_{XL}).e^{-t/T_c} \quad (7-9)$$

$$M = M_c' + (M_1 - M_c').e^{-t/T_c} \quad (7-10)$$

$$T_c = J.(\omega_{XL} - \omega_{bd}) / (M_1 - M_c') \quad (7-11)$$

2) Ảnh hưởng của mô men quán tính J (hay GD^2):

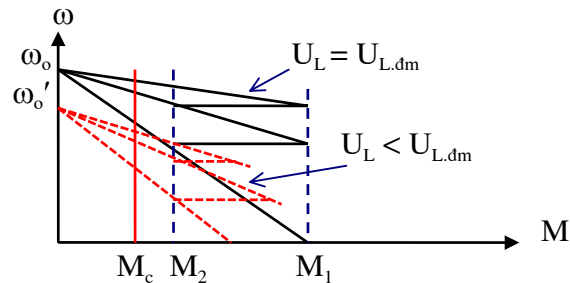
- Khi J tăng thì T_c cũng tăng và như vậy ω_{b1} , ω_{dl} , ... giảm, tương tự trường hợp M_c tăng.

$$T_c = J.(\omega_{XL} - \omega_{bd}) / (M_1 - M_c) \quad (7-12)$$

3) Ảnh hưởng của áp lưới U_L (khi $M_c = \text{const}$, $R = \text{const}$):

- Đối với động cơ điện một chiều:

Khi U_L giảm thì $\omega_0 = (U_L / K\Phi)$ cũng giảm xuống, nếu phụ tải $M_c = \text{const}$ thì mô men động cơ sẽ giảm, gia tốc giảm, quá trình quá độ sẽ kéo dài (hay thời gian khởi động, hãm, ... tăng).



Hình 7-5: Sự ảnh hưởng của điện áp lưới bị giảm

Nếu giữ cho $\omega_0 = \text{const}$ thì mô men $M = K\Phi I \approx \text{const}$, và dòng điện I sẽ tăng, có thể $I > I_{cp}$.

- Đối với động cơ không đồng bộ: $f = \text{const}$, $M \equiv U^2$, nên U_L giảm thì M giảm mạnh, mô men động giảm, tốc độ chuyển đổi giảm, và thời gian quá độ tăng (thời gian khởi động, hãm, đảo chiều, ... tăng).

4) Ảnh hưởng của điện trở R (khi $U_L = \text{const}$, $M_c = \text{const}$):

- Các điện trở dây quấn của khởi động từ, công tắc tơ, rơ le, động cơ, ... khi nhiệt độ thay đổi thì điện trở sẽ bị thay đổi, thời gian chỉnh định thay đổi, nhất là các quá trình khởi động, hãm, đảo chiều ... mà dùng điện trở phụ thì khi nhiệt độ tăng, điện trở tăng, thời gian chỉnh định giảm, mô men động tăng có thể lớn hơn mô men cho phép.

5) Ưu, khuyết điểm

- Ưu điểm: Khống chế được thời gian mở máy, hãm máy, đảo chiều, ...

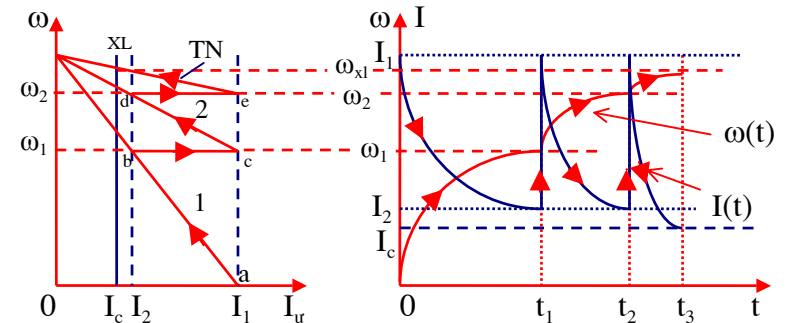
Thiết bị đơn giản, làm việc tin cậy, an toàn, nên phương pháp ĐKTD theo nguyên tắc thời gian này được sử dụng rộng rãi.

- Nhược điểm: Mô men (dòng điện) động cơ thay đổi theo M_c , J , t° , U_L , ..., nên có thể vượt quá trị số cho phép, cần phải có biện pháp bảo vệ.

7.1.2. Điều khiển tự động theo nguyên tắc tốc độ

7.1.2a. Nội dung

- Có đồ thị khởi động ΔM_{dl} với 2 cấp điện trở phụ:



Hình 7-6: Các đặc tính khởi động theo nguyên tắc tốc độ

- Điều khiển theo tốc độ là dựa trên cơ sở kiểm tra trực tiếp hoặc gián tiếp sự thay đổi của tốc độ.

- Kiểm tra trực tiếp có thể dùng rơ le kiểm tra tốc độ kiểu ly tâm. Cách này ít dùng vì dùng rơ le kiểm tra tốc độ phức tạp, đắt tiền và làm việc kém chắc chắn.

- Có thể kiểm tra tốc độ gián tiếp qua máy phát tốc.

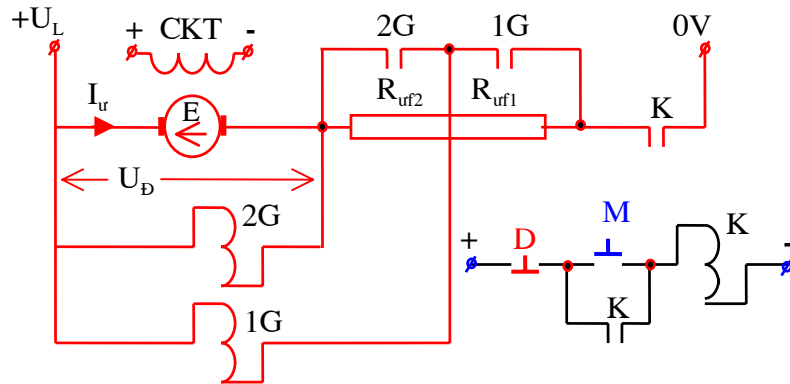
Máy phát tốc (FT) là một máy điện một chiều có: $\Phi = \text{const}$ và $E_{\text{FT}} \equiv \omega$, loại này hay dùng đối với động cơ điện một chiều.

- Đối với động cơ không đồng bộ, thường kiểm tra tốc độ gián tiếp theo sức điện động rôto và tần số rôto.

Tại những tốc độ cần điều khiển ($\omega_1, \omega_2, \dots$), các rơ le kiểm tra tốc độ hoặc kiểm tra điện áp FT, $E_{\text{rôto}}, f_{\text{rôto}}$, sẽ tác động tạo ra tín hiệu điều khiển.

7.1.2b. Các mạch điển hình:

* Mở máy 2 cấp tốc độ động cơ điện một chiều:



Hình 7-7: Nguyên tắc ĐKTĐ mở máy 2 cấp ĐM theo tốc độ

* Mỗi công tắc tơ gia tốc (1G, 2G, ...) được chỉnh định với một trị số điện áp hút nhất định tương ứng với mỗi cấp tốc độ nhất định như ở $\omega_1, \omega_2, \dots$

Ấn nút M làm K tác động, động cơ Đ khởi động với toàn bộ điện trở trong mạch phản ứng ($R_{\Sigma} = R_r + R_{\Sigma} = R_r + R_{\text{uf1}} + R_{\text{uf2}}$), đường đặc tính 1, vì lúc đầu tốc độ $\omega = 0$ và còn nhỏ nên:

$$U_D = E_D + I_r \cdot R_r = K\Phi\omega + I_r \cdot R_r < U_{h.1G} \text{ (hoặc 2G);} \quad (6-13)$$

- Đến tại $\omega = \omega_1$ thì:

$$U_{1G} = K\Phi\omega_1 + I_2 \cdot (R_r + R_{\text{uf2}}) = U_L - I_2 \cdot R_{\text{uf1}} = U_{h.1G}; \quad (7-14)$$

1G tác động, ngắn mạch R_{uf1} , động cơ chuyển sang đường 2.

- Đến tại $\omega = \omega_2$ thì:

$$U_{2G} = K\Phi\omega_2 + I_2 \cdot R_r = U_L - I_2 \cdot R_{\text{uf2}} = U_{h.2G} > U_{h.1G}; \quad (7-15)$$

2G tác động, ngắn mạch R_{uf2} , động cơ chuyển sang đặc tính tự nhiên.

- Coi điện áp lưới $U_L = \cos nt$, với $I_2 = \text{const}$, và $R_{\text{uf1}} = R_{\text{uf2}}$, ta có các điện áp hút của các công tắc tơ: $U_{h.1G} = U_{h.2G}$.

Như vậy có thể chọn các công tắc tơ gia tốc cùng loại, chỉnh định ít.

7.1.2c. Nhận xét

1) Ưu điểm: Phương pháp ĐKTĐ theo tốc độ dùng ít thiết bị, khí cụ điều khiển vì có thể chỉ dùng công tắc tơ chứ không cần tác động thông qua rơ le nên đơn giản, rẻ tiền.

2) Nhược điểm: Thời gian quá độ và thời gian hãm phụ thuộc $M_c, J, U_L, t_{\text{của } R, \text{ dây quấn}}$, làm thay đổi quá trình quá độ (như khi U_L giảm hay M_c tăng, ... làm thời gian quá độ tăng, quá trình quá độ chậm, đốt nóng điện trở khởi động, điện trở hãm, ... làm khó khăn cho việc chỉnh định điện áp hút của các công tắc tơ hoặc rơ le tốc độ).

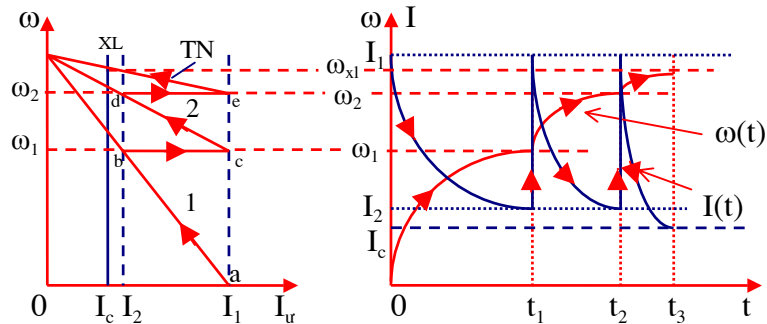
- Khi điện áp lưới dao động sẽ làm thay đổi tốc độ chuyển cấp điện trở ($\omega_1, \omega_2, \dots$) và dòng điện sẽ nhảy vọt có thể quá dòng cho phép.

- Khi điện áp lưới giảm quá thấp có khả năng xảy ra không đủ điện áp để công tắc tơ tác động và do đó động cơ có thể dừng lại làm việc lâu dài ở tốc độ trung gian, làm đốt nóng điện trở khởi động (hay điện trở hãm, ...) và như vậy làm thay đổi tốc độ chuyển cấp.

7.1.3. Điều khiển tự động theo nguyên tắc dòng điện

7.1.3a. Nội dung

- Có đồ thị khởi động ΔM_{dl} với 2 cấp điện trở phụ:



Hình 7-8: Các đặc tính khởi động theo nguyên tắc dòng điện

- Qua đồ thị hình 7-8 ta thấy rằng: khi khởi động, dòng khởi động thay đổi trong khoảng $(I_1 \div I_2)$. Nhất là mỗi lần chuyển cấp thì các điểm chuyển cấp thường cùng một giá trị dòng điện (I_2), nên ta có thể dùng rơle dòng điện hoặc công tắc tơ có cuộn dây dòng điện để tạo tín hiệu điều khiển.

- Tại điểm chuyển cấp b, rơle dòng điện tác động theo dòng chuyển cấp I_2 để ngắt mạch cấp điện trở thứ nhất, động cơ chuyển từ đặc tính 1 sang đặc tính 2. Đến điểm d, rơle dòng điện sẽ tác động theo dòng I_2 để ngắt mạch cấp điện trở thứ hai, động cơ chuyển từ đặc tính 2 sang đặc tính tự nhiên TN.

- Cứ như vậy, động cơ sẽ được khởi động đến tốc độ xác lập.

7.1.3b. Các mạch điện hình:

- * Hãm ngược và đảo chiều ΔK_{dq} theo nguyên tắc dòng điện:

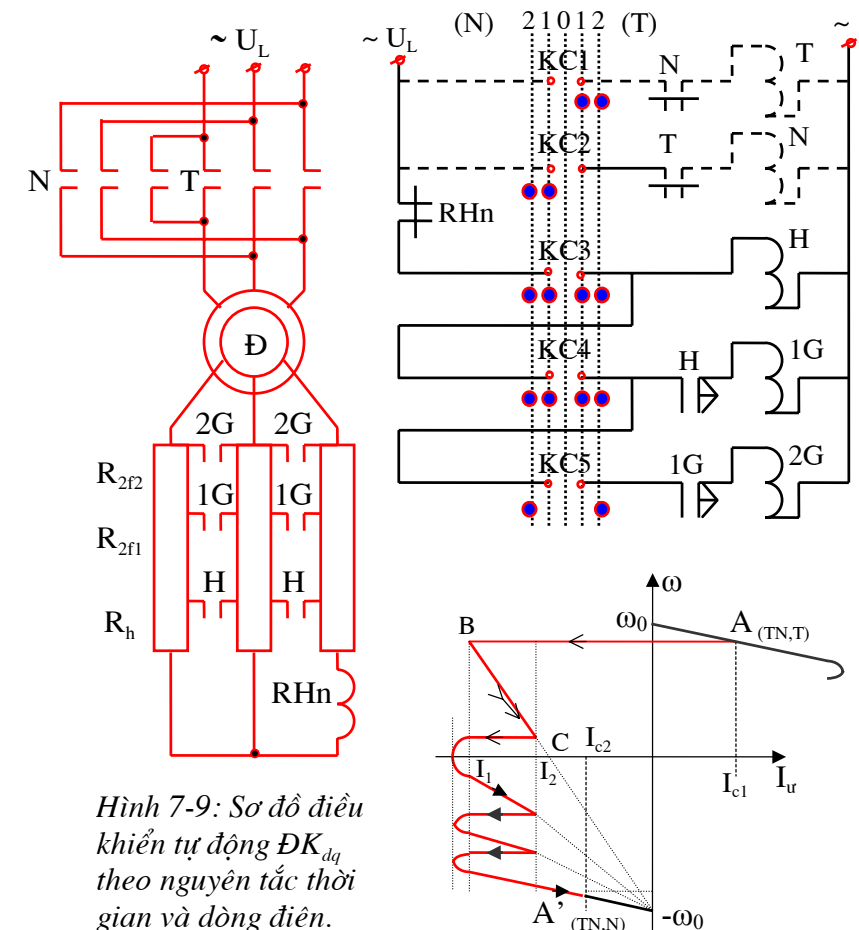
- Công tắc xoay KC có 5 vị trí: 0 ở giữa; 1, 2 bên thuận và 1, 2 bên ngược; KC có tiếp điểm: KC1, KC2, KC3, KC4, KC5, ...

- Các công tắc tơ có các tiếp điểm duy trì thời gian H, 1G.

- Rơle dòng điện RHn có:

$$I_{hãm} > I_{h.RHn} > I_1 \quad (7-16)$$

$$I_{nh.RHn} = I_{roto} = I_2 \quad (7-17)$$



Hình 7-9: Sơ đồ điều khiển tự động ΔK_{dq} theo nguyên tắc thời gian và dòng điện.

Trang 213

- Hệ thống đang làm việc điểm A trên đặc tính cơ (ω_A), tương ứng với vị trí 2(T) của công tắc KC, các tiếp điểm KC1, KC3, KC4, KC5 đang kín, các công tắc tơ T, H, 1G, 2G đang có điện, công tắc tơ N không có điện, toàn bộ các điện trở phụ trong mạch rôto bị ngắn mạch, RHn không tác động.

- *Dừng động cơ bằng cách hãm ngược:*

+ Quay tay gạt của KC từ vị trí 2(T) sang 2(N), khi qua vị trí 0 thì tất cả các công tắc tơ và role đều mất điện, động cơ được tách khỏi lưới điện, toàn bộ điện trở phụ được đưa vào mạch rôto, mạch điện ở trạng thái thường như hình vẽ.

+ Khi đến vị trí 2(N), các tiếp điểm KC2, KC3, KC4, KC5 kín lại, KC1 hở ra, công tắc tơ T mất điện; còn N, H có điện sẽ đảo 2 trong 3 pha của stato động cơ, làm động cơ thực hiện quá trình hãm ngược (giai đoạn đầu của quá trình đảo chiều). Tốc độ đồng bộ của động cơ lúc này $\omega_{0N} = -\omega_{0T}$, dòng điện rôto tăng rất lớn: $I_{\text{rôto}} = I_{\text{hãm}} > I_{\text{h.RHn}} > I_1$ nên RHn tác động làm hở tiếp điểm thường kín của nó, đảm bảo cho các công tắc tơ H, 1G, 2G không có điện, toàn bộ R_{2f1} và R_{2f2} vẫn tham gia trong mạch rôto cùng với R_h để hạn chế dòng đảo chiều hay là dòng hãm ngược của động cơ $I_{\text{hãm}} \leq I_{\text{cp}}$ (đoạn BC).

+ Tốc độ động cơ Đ giảm dần, dòng hãm cũng giảm dần đến I_2 thì RHn nhả (vì $I_{\text{nh.RHn}} = I_2$, và lúc đó $\omega \approx 0$), làm cho H có điện, ngắn mạch R_h và đảm bảo RHn không tác động trở lại, kết thúc quá trình hãm ngược.

+ Muốn dừng động cơ thì quay KC về vị trí 0, các công tắc tơ và role mất điện, động cơ dừng tự do.

- *Đảo chiều:*

+ Quá trình thực hiện tương tự khi hãm ngược, nhưng khi dòng điện hãm giảm đến I_2 thì vẫn để KC ở vị trí 2(N), sau khi RHn nhả làm cho H có điện, kết thúc quá trình hãm ngược và sẽ bắt đầu quá trình khởi động ngược.

Trang 214

Khi H có điện thì nó sẽ ngắn mạch R_h , làm cho Đ khởi động ngược theo đường đặc tính tiếp theo (CD).

+ Sau thời gian duy trì của H, nó sẽ tác động làm 1G có điện, các tiếp điểm của 1G sẽ ngắn mạch R_{2f1} , làm cho Đ khởi động tiếp sang đặc tính DE.

+ Sau thời gian duy trì của 1G, nó sẽ tác động làm 2G có điện, ngắn mạch R_{2f2} , và Đ sẽ khởi động sang đặc tính tự nhiên và tới điểm xác lập.

7.1.3c. Nhận xét

1) *Ưu điểm:* Có thể duy trì mô men động cơ trong một giới hạn nhất định. Quá trình khởi động, hãm không phụ thuộc môi trường.

2) *Nhược điểm:* Khi U_L , M_c thay đổi, nhất là khi M_c quá lớn sẽ làm cho $I_c > I_2$, như vậy động cơ có thể làm việc ở đặc tính trung gian, làm phát nóng điện trở, ảnh hưởng đến quá trình làm việc của động cơ.

7.1.4. Điều khiển tự động theo các nguyên tắc khác**7.1.4a. Điều khiển tự động theo nguyên tắc hành trình**

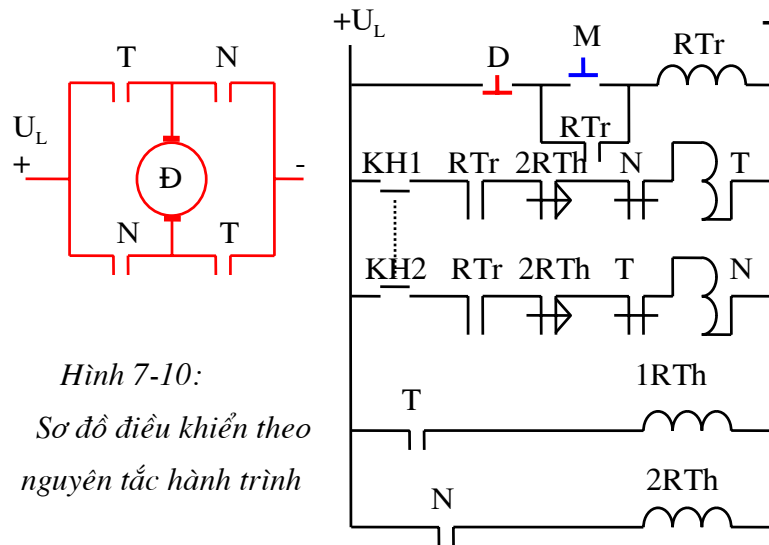
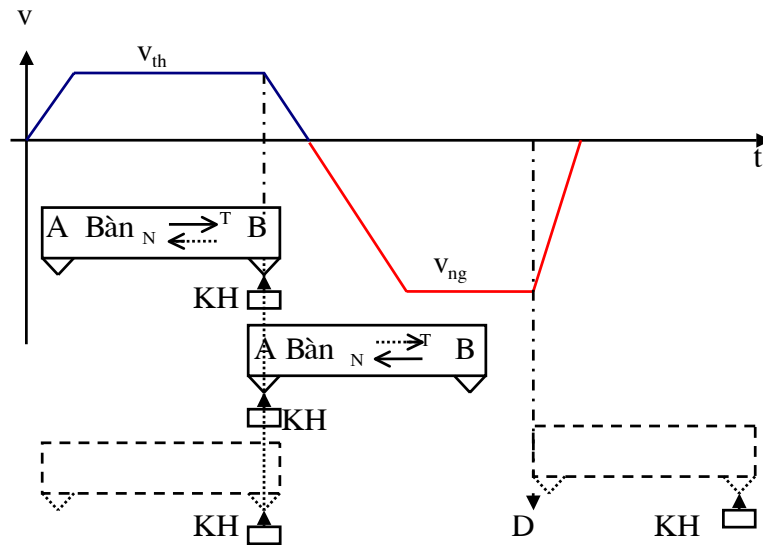
1) *Nội dung:*

- Trên hành trình (đường đi) của các bộ phận làm việc trong các máy móc, thiết bị (như bàn máy, đầu máy, mâm cặp, ...) được đặt các cảm biến, các công tắc hành trình, công tắc cực hạn, công tắc điểm cuối, ..., để tạo ra các tín hiệu điều khiển: khởi động, hãm, đảo chiều, thay đổi tốc độ ...

2) *Mạch điện hình:*

Phân tích truyền động bàn máy bào đường:

Trong sơ đồ dùng công tắc hành trình KH có 2 tiếp điểm KH1, KH2 loại không tự phục hồi. Tại vị trí xuất phát ban đầu của bàn máy thì các tiếp điểm KH1 kín, KH2 hở.



Hình 7-10:

Sơ đồ điều khiển theo
nguyên tắc hành trình

Khởi động: ấn nút M thì RTr có điện, T có điện làm ĐM được đóng điện và kéo bàn chạy thuận, đồng thời 1RTh có điện sẽ mở tiếp điểm của nó để chuẩn bị cho đảo chiều.

Khi hết hành trình thuận, vấu A đập vào công tắc hành trình KH làm cho các tiếp điểm KH1 mở, KH2 kín, dẫn đến T mất điện nhưng N cũng chưa có điện, ĐM hãm tự do.

Sau thời gian duy trì của 1RTh thì tiếp điểm của nó đóng điện cho N, làm ĐM đảo chiều, kéo bàn chạy ngược. Khi đó 2RTh có điện, mở tiếp điểm của nó chuẩn bị cho hành trình thuận.

Đi hết hành trình ngược, vấu B đập vào công tắc hành trình KH làm cho các tiếp điểm KH2 hở, KH1 kín lại, công tắc tơ N mất điện và T chưa có điện, ĐM hãm tự do.

Sau thời gian duy trì của 2RTh, tiếp điểm của nó đóng lại làm cho T có điện và ĐM kéo bàn chạy thuận. 1RTh có điện và mở tiếp điểm của nó, chuẩn bị cho hành trình ngược.

Bàn sẽ làm việc với chu kỳ thuận/ngược như hình 7-10.

Muốn dừng máy: ấn nút D thì RTr mất điện, T, N, 1RTh, 2RTh mất điện, động cơ hãm tự do cho đến lúc dừng máy.

7.1.4b. Nhận xét

* Ngoài các nguyên tắc ĐKTĐ đã nêu trên, còn một số nguyên tắc ĐKTĐ khác: ĐKTĐ theo mô men, công suất, sức căng, nhiệt độ, ánh sáng, áp suất,

* Đánh giá về các sơ đồ điều khiển: với các yêu cầu kỹ thuật đối với tất cả các sơ đồ là cao nhất thì:

Công suất càng lớn thì trọng lượng và giá thành càng cao. Dùng thiết bị, khí cụ càng bé, càng hiện đại thì giá thành càng cao.

Cùng công suất thì trọng lượng và giá thành lớn nhất là nguyên tắc ĐKTD theo thời gian, sau đó là nguyên tắc ĐKTD theo dòng điện và cuối cùng là nguyên tắc ĐKTD theo tốc độ.

Trang 217

Nói chung nguyên tắc ĐKTD theo tốc độ thường dùng để điều khiển hãm động cơ.

Nguyên tắc ĐKTD theo dòng điện chủ yếu dùng để điều khiển khởi động động cơ,

Nguyên tắc ĐKTD theo thời gian thì ứng dụng rộng rãi vì đơn giản.

§7.2. CÁC PHẦN TỬ BẢO VỆ VÀ TÍN HIỆU HOÁ

7.2.1. Ý nghĩa của bảo vệ và tín hiệu hoá

* Các phần tử bảo vệ và tín hiệu hoá có vai trò rất to lớn:

Đảm bảo quá trình làm việc an toàn cho người và máy móc, thiết bị. Quá trình làm việc có thể xảy ra sự cố hoặc chế độ làm việc xấu cho người và máy móc, thiết bị, đồng thời có thể báo hiệu cho người vận hành biết tình trạng làm việc của hệ thống ĐKTD để xử lý.

* Chức năng của các thiết bị bảo vệ và tín hiệu hoá:

Ngừng hệ thống (máy móc) khi sự cố nguy hiểm trực tiếp đến người, thiết bị, máy móc: $U < U_{\text{quy định}}, U > U_{\text{cp}}, I > I_{\text{cp}}, \dots$

Khi quá tải hoặc sự cố chưa nguy hiểm đến thiết bị, máy móc thì thiết bị bảo vệ và tín hiệu hoá phải báo cho người vận hành biết để xử lý kịp thời.

Bảo đảm khởi động, hãm, đảo chiều ..., một cách bình thường, nghĩa là phải đảm bảo sao cho: $I < I_{\text{cp}}, t^0 < t_{\text{cp}}^0, \dots$

7.2.2. Các dạng bảo vệ:

7.2.2a. Bảo vệ ngắn mạch:

- Bảo vệ ngắn mạch là bảo vệ các sự cố có thể gây nên hư hỏng cách điện, hoặc hư hỏng các cơ cấu của thiết bị, máy móc (khi ngắn mạch sẽ gây nên nhiệt độ tăng nhanh gây cháy hoặc sức từ động tăng mạnh gây va đập, ...).

Trang 218

- Các thiết bị bảo vệ thường dùng: cầu chì, aptômat, rơle dòng điện cực đại, các khâu bảo vệ ngắn mạch bằng bán dẫn, điện tử, ...

- Dòng tác động của cầu chì:

$$I_{\text{dc}} = I_{\text{kd}} / \alpha \quad (7-18)$$

Trong đó:

I_{dc} là dòng tác động của dây chảy được chọn.

I_{kd} là dòng khởi động của động cơ, phụ tải được bảo vệ.

α là hệ số xét đến quán tính nhiệt.

$\alpha = 2,5$ đối với động cơ khởi động bình thường.

$\alpha = (1,6 \div 2)$ đối với động cơ khởi động nặng.

+ Cấm đặt cầu chì trên dây trung tính, mạch nối đất, vì đứt dây chì thì vỏ máy sẽ có điện áp cao nguy hiểm. Dùng cầu chì bảo vệ ngắn mạch thì đơn giản, rẻ tiền, nhưng tác động không chính xác, dòng tác động phụ thuộc vào thời gian, thay thế lâu, không bảo vệ được chế độ làm việc 2 pha.

- Dòng chỉnh định của aptômat:

$$I_{\text{cd}} = (1,2 \div 1,3) \cdot I_{\text{kd}}; \quad (7-19)$$

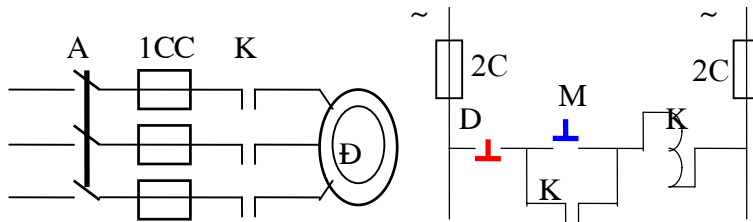
+ Aptômat tác động rồi thì có thể đóng lại nhanh, cắt được dòng lớn, bảo vệ được chế độ làm việc dòng 2 pha (khi bị mất 1 trong 3 pha).

- Dùng rơle dòng điện cực đại (RM) bảo vệ ngắn mạch phải chỉnh định dòng tác động cho phù hợp với dòng ngắn mạch.

Thường đặt rơle dòng cực đại trên 3 pha của động cơ không đồng bộ 3 pha, hoặc đặt trên 1 cực đối với động cơ một chiều. Tiếp điểm của RM là loại không tự phục hồi.

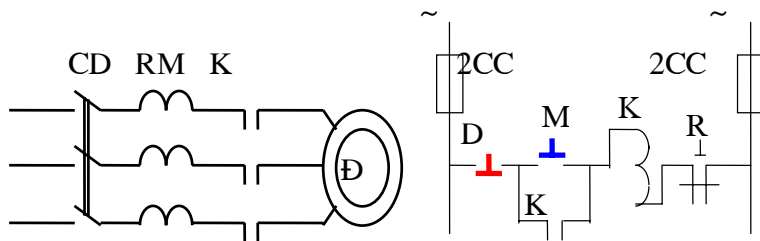
Trang 219

+ Ví dụ dùng cầu chì và aptômat bảo vệ ngắn mạch:



Hình 7-11: Sơ đồ dùng cầu chì, aptômat bảo vệ ngắn mạch

+ Ví dụ dùng rơle dòng cực đại bảo vệ ngắn mạch:



Hình 7-12: Sơ đồ dùng rơle dòng cực đại bảo vệ ngắn mạch

7.2.2b. Bảo vệ nhiệt:

- Nhằm tránh quá tải lâu dài, nếu không thì khí cụ, thiết bị, động cơ sẽ phát nóng quá nhiệt độ cho phép.

- Thường dùng rơle nhiệt, aptômat có bảo vệ nhiệt, phân tử bảo vệ quá tải bằng bán dẫn, để bảo vệ quá tải cho phụ tải dài hạn.

- Các tiếp điểm rơle nhiệt (RN) là loại không tự phục hồi, sau khi rơle nhiệt đã tác động thì phải ấn *reset* bằng tay. Phải chọn rơle nhiệt có đặc tính phát nóng gần với đặc tính phát nóng của thiết bị, động cơ cần được bảo vệ (hình 7-13).

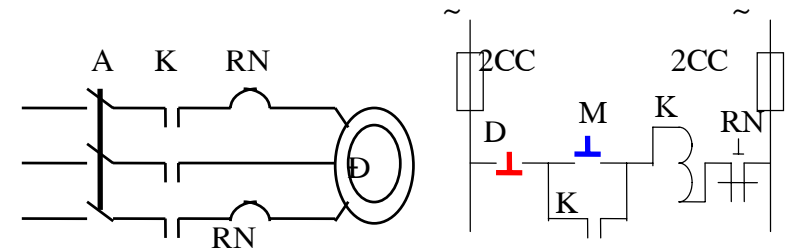
Trang 220

+ Dòng chỉnh định của rơle nhiệt, aptômat:

$$I_{cd} = (1,2 \div 1,3) I_{dm} \quad (7-20)$$

Trong đó: I_{dm} là dòng định mức của động cơ, phụ tải.

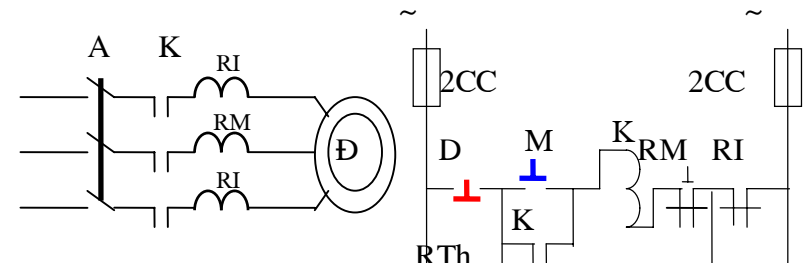
+ Ví dụ dùng rơle nhiệt và aptômat bảo vệ quá tải dài hạn:



Hình 7-13: Sơ đồ dùng rơle nhiệt và aptômat bảo vệ quá tải

- Dùng rơle dòng cực đại (RI) để bảo vệ quá tải cho phụ tải ngắn hạn hoặc ngắn hạn lặp lại. Khi phụ tải làm việc trong thời gian ngắn, sự phát nóng của phụ tải không phù hợp với đặc tính của rơle nhiệt, nên rơle nhiệt không tác động kịp, bởi vậy phải dùng rơle dòng cực đại tác động nhanh.

+ Ví dụ dùng rơle dòng cực đại bảo vệ quá tải ngắn hạn:



Trang 221

- Dòng chỉnh định của rơle dòng cực đại bảo vệ quá tải:

$$I_{cd.RI} = (1,4 \div 1,5)I_{dm} \quad (7-21)$$

- Thường dùng 1 rơle dòng cực đại bảo vệ ngắn mạch (RM) và 2 rơle dòng cực đại bảo vệ quá tải (RI). Tiếp điểm của rơle dòng cực đại bảo vệ quá tải là loại tự phục hồi (hình 7-14).

7.2.2c. Bảo vệ điểm không và cực tiểu:

- Nhằm tránh làm việc với điện áp nguồn thấp hoặc mất áp nguồn, và tránh tự khởi động lại khi điện áp nguồn phục hồi.

- Thường dùng các rơle điện áp (RA), công tắc tơ (CTT), khởi động từ (KĐT), để bảo vệ điểm không và cực tiểu.

- Chỉnh định điện áp hút, nhả của rơle điện áp, công tắc tơ:

$$U_{h.RA} > U_{ng.sụt.cp} \quad (7-22)$$

$$U_{nh.RA} \leq U_{ng.sụt.cp} \quad (7-23)$$

Trong đó:

$U_{h.RA}$ là điện áp hút của rơle điện áp, hay của công tắc tơ, khởi động từ.

$U_{nh.RA}$ là điện áp nhả của RA, CTT, KĐT.

$U_{ng.sụt.cp} = 85\%U_{ng.dm}$ là điện áp nguồn sụt cho phép.

Nguyên lý làm việc và bảo vệ của sơ đồ hình 6 - 20:

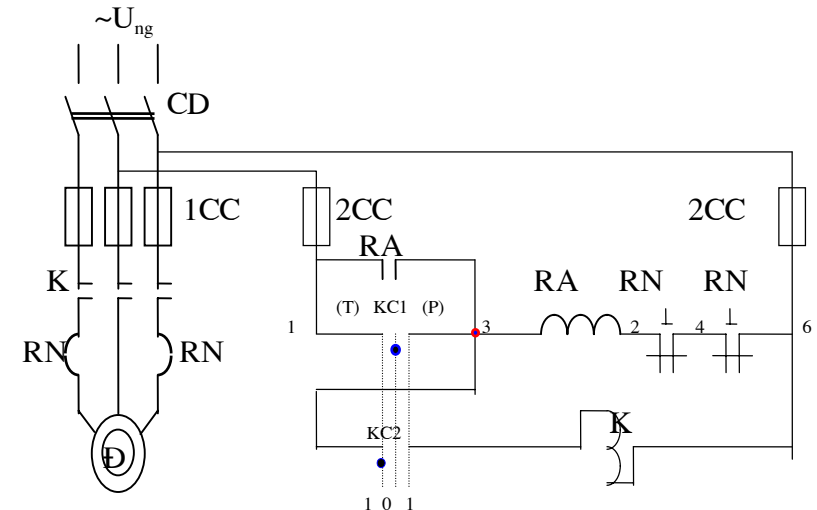
Đặt công tắc xoay KC ở vị trí 0 thì tiếp điểm KC1 sẽ kín, KC2 hở; Đóng cầu dao CD, nếu điện áp làm việc đạt giá trị cho phép ($U_{ng} > 85\%U_{ng.dm}$) thì RA tác động, nó tự duy trì thông qua tiếp điểm RA(1-3) của nó.

Quay công tắc KC đến vị trí 1 trái (T) thì K có điện, làm cho động cơ quay. Khi điện áp $U_{ng} \leq 85\%U_{ng.dm}$ thì RA sẽ nhả làm K mất điện và động cơ cũng được loại khỏi lưới điện, tránh cho động cơ khỏi bị đốt nóng quá nhiệt độ cho phép (vì điện áp thấp sẽ dẫn đến dòng tăng quá dòng cho phép của động cơ).

Trang 222

Khi động cơ đang làm việc, nếu mất điện nguồn thì khi có điện lại, động cơ vẫn không tự khởi động lại được, vì khi đó KC vẫn ở vị trí 1 trái và KC1 vẫn hở, RA đã mất điện khi mất điện áp nguồn, do đó khi có điện lại thì K vẫn không có điện.

+ Ví dụ dùng rơle điện áp (RA) bảo vệ điểm không và cực tiểu:



Hình 7-15: Sơ đồ có bảo vệ điểm không và cực tiểu

7.2.2d. Bảo vệ thiếu và mất từ trường:

- Nhằm bảo vệ thiếu và mất kích từ động cơ. Khi điện áp hay dòng kích từ động cơ bị giảm, gây ra tốc độ động cơ cao hơn tốc độ cho phép, hoặc dòng điện động cơ lớn hơn dòng cho phép, dẫn đến hư hỏng các phần động học của máy, làm xấu điều kiện chuyển mạch, ...

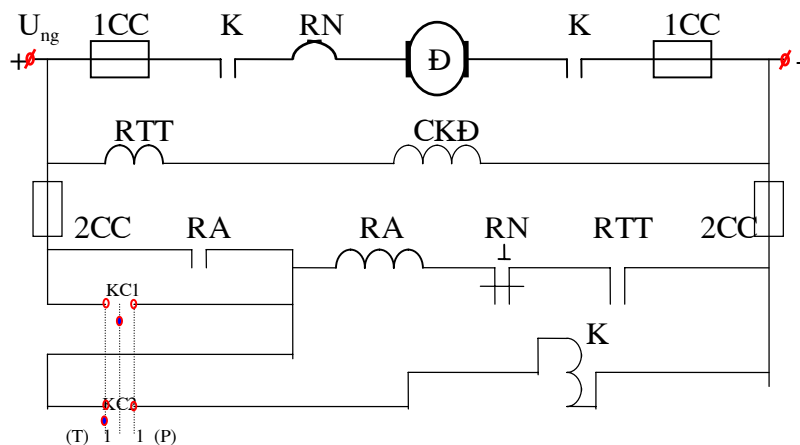
- Dùng rơle dòng điện, rơle điện áp, ... để bảo vệ thiếu và mất từ trường.

Trang 223

+ Ví dụ dùng rơle dòng điện, rơle điện áp để bảo vệ thiếu và mất từ trường (hình 7-16)

Nguyên lý bảo vệ: khi đủ điện áp thì rơle thiếu từ trường RTT sẽ đóng kín tiếp điểm của nó, KC đặt ở vị trí giữa nên tiếp điểm KC1 kín, RA tác động. Quay KC sang vị trí 1 (T) thì cho động cơ làm việc bình thường.

Khi điện áp sụt quá giá trị cho phép, hoặc dòng kích từ giảm thấp đến giá trị: $I_{kt.D} = I_{nh.RTT}$, $I_{nh.RTT} \leq I_{kt.min.cp}$, nên RTT nhả làm K mất điện, loại động cơ ra khỏi lưới điện để bảo vệ động cơ.



Hình 7-16: Sơ đồ bảo vệ thiếu, mất kích từ động cơ

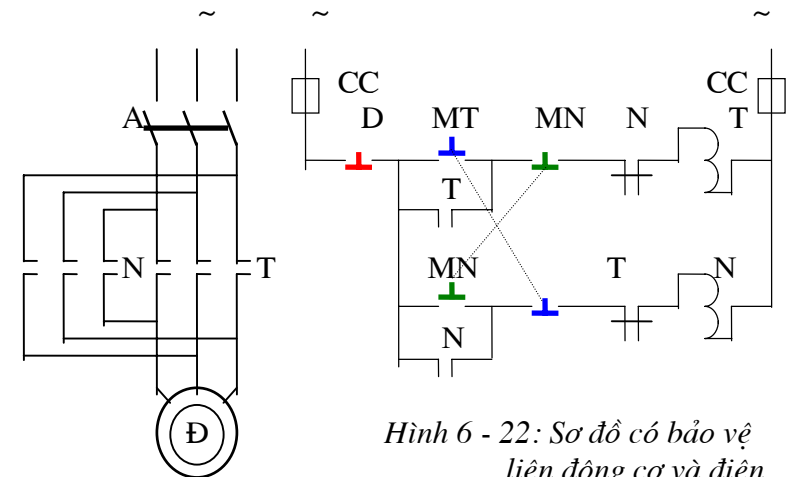
7.2.2e. Bảo vệ liên động:

- Nhằm bảo đảm sự làm việc an toàn cho mạch (bảo đảm nghiêm ngặt một trình tự làm việc hợp lý giữa các thiết bị, tránh thao tác nhầm).

- Các thiết bị bảo vệ liên động bằng cơ khí như: các nút ấn kép, các công tắc hành trình kép, ... Và các phần tử bảo vệ liên động điện như:

Trang 224

Các tiếp điểm khoá chéo của các công tắc tơ, rơle, làm việc ở các chế độ khác nhau. Ví dụ:



Hình 6 - 22: Sơ đồ có bảo vệ liên động cơ và điện

Khi khởi động thuận, ấn nút MT thì T có điện, đóng điện cho động cơ quay, còn tiếp điểm thường kín của MT mở ra không cho N có điện, đảm bảo không bị ngắn mạch ở mạch stato. Khi T đã có điện thì tiếp điểm thường kín của T mở ra, đảm bảo cho N không thể có điện nếu như không may có người tác động vào nút MN.

3. Tại sao có thể xảy ra các sự cố trong hệ thống truyền động điện tự động ? cách khắc phục sự cố đó như thế nào ?

4. Phân tích bảo vệ ngắn mạch, bảo vệ quá tải, bảo vệ điểm không và cực tiểu, bảo vệ thiếu hoặc mất từ trường, bảo vệ liên động ? Giải thích nguyên lý bảo vệ của các mạch điện hình tương ứng với mỗi bảo vệ trên ?

5. Tín hiệu hóa là gì ? Các mạch tính hiệu hóa có tác dụng gì trong hệ thống truyền động điện tự động ?

MỤC LỤC

Chương 1: Khái niệm chung về hệ thống truyền động điện

§1.1. Khái niệm chung.	(tr1)
§1.2. Cấu trúc và phân loại hệ thống truyền động điện.	(tr2)
§1.3. Đặc tính cơ của máy sản xuất và của động cơ điện	(tr4)
§1.4. Các trạng thái làm việc của hệ thống TĐĐ TĐ.	(tr8)
§1.5. Tính đối các đại lượng cơ học.	tr11)
§1.6. Phương trình động học của hệ thống TĐĐ TĐ.	(tr14)
§1.7. Điều kiện ổn định của hệ thống TĐĐ TĐ.	(tr15)
§1.8. Động học của hệ thống TĐĐ TĐ.	(tr16)

Chương 2: Đặc tính cơ của động cơ điện.

§2.1. Khái niệm chung	(tr20)
§2.2. Đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ độc lập.	(tr21)
§2.3. Đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ nối tiếp.	(tr44)
§2.4. Đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ.	(tr56)
§2.5. Đặc tính cơ của động cơ đồng bộ.	(tr86)

Chương 3: Điều chỉnh các thông số đầu ra của hệ TĐĐ TĐ

§3.1. Khái niệm chung.	(tr92)
§3.2. Các chỉ tiêu chất lượng.	(tr95)
§3.3. Điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều.	(tr99)
§3.4. Điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ.	(tr104)
§3.5. Điều chỉnh tự động tốc độ bằng thông số đầu ra.	(tr118)

Chương 4: Điều chỉnh tốc độ bằng các bộ biến đổi

§4.1. Hệ Bộ biến đổi - Động cơ một chiều.	(tr128)
§4.2. Hệ Bộ biến đổi - Động cơ không đồng bộ.	(tr138)

Chương 5: Quá trình quá độ trong truyền động điện

§5.1. Khái niệm chung.	(tr148)
§5.2. Quá trình quá độ cơ học khi $U_{nguồn} = \text{const}$ và $M_{dòng}(\omega)$ là tuyến tính.	(tr150)
§5.3. Quá trình quá độ cơ học khi $U_{nguồn} = \text{const}$ và $M_{dòng}(\omega)$ là phi tuyến.	(tr167)
§5.4. Quá trình quá độ cơ học khi $U_{nguồn} = \text{var}$.	(tr171)
§5.5. Quá trình quá độ điện - cơ trong hệ thống TĐĐ.	(tr176)

Chương 6: Chọn công suất động cơ.

§6.1. Khái niệm chung.	(tr178)
§6.2. Các chỉ tiêu chất lượng chọn công suất động cơ.	(tr181)
§6.3. Chọn động cơ điện khi không điều chỉnh tốc độ.	(tr184)
§6.4. Chọn động cơ điện khi có điều chỉnh tốc độ.	(tr191)
§6.5. Kiểm nghiệm công suất động cơ điện.	(tr194)

Chương 7: Hệ thống điều khiển tự động TĐĐ.

§7.1. Các nguyên tắc điều khiển tự động.	(tr202)
§7.2. Các mạch bảo vệ và tín hiệu hóa.	(tr218)

Tài liệu tham khảo

Mục lục

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *Cơ sở Truyền động điện tự động*, tập 1 & 2, Bùi Đình Tiểu - Phạm Duy Nhi, NXB Đại học và trung học chuyên nghiệp, 1982.
2. *Cơ sở Truyền động điện tự động*, M.G. TSILIKIN - M.M.XOCOLOV - V.M.TEREKHOV - A.V.SINIANXKI, người dịch Bùi Đình Tiểu - Lê Tông - Nguyễn Bính, NXB Khoa học & Kỹ thuật, 1977.
3. *Truyền động điện*, Bùi Quốc Khánh - Nguyễn Văn Liễn - Nguyễn Thị Hiền, NXB Khoa học & Kỹ thuật, 1998.
4. *Điều chỉnh từ động truyền động điện*, Bùi Quốc Khánh - Phạm Quốc Hải - Nguyễn Văn Liễn - Dương Văn Nghi, NXB Khoa học & Kỹ thuật, 1998.
5. *Trang bị điện - điển tử máy gia công kim loại*, Nguyễn Mạnh Tiến - Vũ Quang Hồi, NXB Giáo dục, 1994.
6. *Trang bị điện - điện tử máy công nghiệp dùng chung*, Vũ Quang Hồi - Nguyễn Văn Chất - Nguyễn Thị Liên Anh, NXB Giáo dục, 1994.
7. *Phân tích và tổng hợp hệ thống điều khiển tự động truyền động điện*, Trịnh Đình Đề, NXB Khoa học & Kỹ thuật, 1993.
8. *Điện tử công suất*, Nguyễn Bính, NXB Khoa học & Kỹ thuật, 1995.
9. *Mạch số*, Nguyễn Hữu Phương, NXB Thống kê, 2001.
10. *Giáo trình Truyền động điện*, PGS. TS. Bùi Đình Tiểu, NXB Giáo dục, 2004.