

BÙI QUỐC KHÁNH
NGUYỄN VĂN LIÊN
NGUYỄN THỊ HIỀN

TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

Thu Vien DHKTCN-TN



MGT08049060



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

BÙI QUỐC KHÁNH , NGUYỄN VĂN LIỄN , NGUYỄN THỊ HIỀN

TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

In lần thứ 8 có sửa chữa



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI 2006

LỜI NÓI ĐẦU

Truyền động điện có nhiệm vụ thực hiện các công đoạn cuối cùng của một công nghệ sản xuất. Đặc biệt trong dây chuyền sản xuất tự động hiện đại, truyền động điện đóng góp vai trò quan trọng trong việc nâng cao năng suất và chất lượng sản phẩm. Vì vậy các hệ truyền động điện luôn luôn được quan tâm nghiên cứu nâng cao chất lượng để đáp ứng các yêu cầu công nghệ mới với mức độ tự động hóa cao.

Ngày nay, do ứng dụng tiến bộ kỹ thuật điện tử tin học, các hệ truyền động điện được phát triển và có thay đổi đáng kể. Đặc biệt do công nghệ sản xuất các thiết bị điện tử công suất ngày càng hoàn thiện, nên các bộ biến đổi điện tử công suất trong hệ truyền động điện không những đáp ứng được độ tác động nhanh, độ chính xác cao mà còn góp phần làm giảm kích thước và hạ giá thành của hệ.

Ở nước ta, do yêu cầu công nghiệp hóa và hiện đại hóa nền kinh tế, ngày càng xuất hiện nhiều dây chuyền sản xuất mới có mức độ tự động hóa cao với những hệ truyền động điện hiện đại. Để kịp thời tiếp thu các tiến bộ kỹ thuật, Bộ môn Tự động hóa XNCN Trường đại học Bách khoa Hà Nội, một mặt cho biên soạn tiếp phần hai giáo trình Truyền động điện (tự động điều chỉnh truyền động điện), đồng thời tái bản có sửa chữa, bổ sung chỉnh lý giáo trình Truyền động điện (phần I). Nội dung giáo trình này trình bày những kiến thức cơ bản về hệ truyền động điện hiện đại, bao gồm việc phân tích các đặc tính của các hệ truyền động điện có bộ biến đổi điện tử công suất ; Nghiên cứu các cấu trúc điều khiển mới của các hệ truyền động động cơ xoay chiều đồng bộ và không đồng bộ. Giáo trình Truyền động điện do tập thể

cán bộ giảng dạy Bộ môn Tự động hóa trường ĐHBK Hà Nội biên soạn gồm 7 chương.

- Chương 1 và chương 2 nêu các khái niệm chung về hệ truyền động và đặc tính cơ của động cơ.

- Chương 3, 4, 5 và 6 trình bày các phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều và xoay chiều. Phân tích quá trình điện từ có trong hệ truyền động dùng các bộ biến đổi. Nghiên cứu một số cấu trúc mới của truyền động điện xoay chiều hiện đại.

- Chương 7 nêu phương pháp chung tính và chọn thiết bị lực, thiết bị bảo vệ cho các hệ truyền động điện.

Các chương được phân công biên soạn cụ thể như sau :

Bùi Quốc Khánh các chương 1, 6, 7 và chịu trách nhiệm chủ biên, Nguyễn Văn Liên các chương 3, 4 và 5, Nguyễn Thị Hiền chương 2. Nội dung giáo trình được Hội đồng khoa học Khoa tự động hóa XNCN xét duyệt và được giáo sư Nguyễn Bính giúp đỡ trong việc hoàn thiện. Các tác giả xin chân thành cảm ơn sự giúp đỡ quý báu đó. Giáo trình này được biên soạn với mục đích làm tài liệu học tập cho các sinh viên ngành điện, đồng thời cũng có thể dùng làm tài liệu tham khảo cho các kỹ sư điện và các ngành có liên quan.

Nội dung giáo trình chắc chắn còn nhiều vấn đề cần bổ sung hoàn thiện. Rất mong các bạn đồng nghiệp và độc giả góp ý kiến. Thư góp ý xin gửi về Bộ môn Tự động hóa XNCN Trường đại học Bách khoa Hà Nội hay Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, 70 Trần Hưng Đạo Hà Nội.

Các tác giả

Chương 1

NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

1-1. CẤU TRÚC CHUNG VÀ PHÂN LOẠI

Hệ truyền động điện là một tập hợp các thiết bị như: thiết bị điện, thiết bị điện tử, thiết bị điện tử, phục vụ cho việc biến đổi năng lượng điện—cơ cũng như gia công truyền tín hiệu thông tin để điều khiển quá trình biến đổi năng lượng đó.

Cấu trúc chung của hệ truyền động điện, được trình bày trên H.1-1, bao gồm 2 phần chính:

- Phần lực là bộ biến đổi và động cơ truyền động. Các bộ biến đổi thường dùng là bộ biến đổi máy điện (máy phát một chiều, xoay chiều), bộ biến đổi điện tử (khuếch đại tử, cuộn kháng bão hòa), bộ biến đổi điện tử (chỉnh lưu tiristo, biến tần tranzito, tiristo). Động cơ điện có các loại: động cơ một chiều, xoay chiều đồng bộ, không đồng bộ và các loại động cơ điện đặc biệt khác v.v...

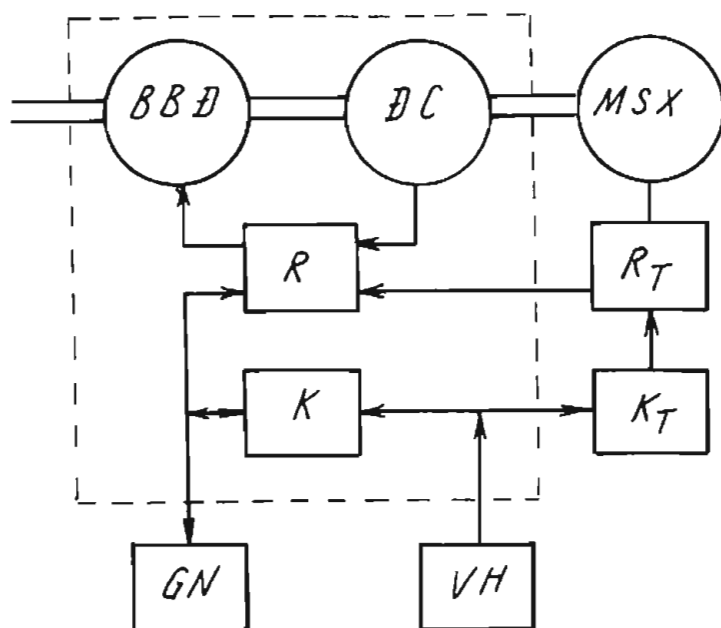
- Phần điều khiển gồm các cơ cấu đo lường, các bộ điều chỉnh tham số và công nghệ, ngoài ra còn có các thiết bị điều khiển, đóng cắt phục vụ công nghệ và cho người vận hành. Đồng thời một số hệ truyền động có cả mạch ghép nối với các thiết bị tự động khác trong một dây chuyền sản xuất.

Tuy nhiên, trong thực tế sản xuất, không phải hệ truyền động nào cũng có đầy đủ cấu trúc như vậy. Cho nên có thể phân loại hệ truyền động điện như sau:

- Truyền động 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: trong loại này, tùy thuộc vào yêu cầu công nghệ mà ta có truyền động điều chỉnh tốc độ, truyền động

điều chỉnh mômen, lực kéo và truyền động điều chỉnh vị trí. Trong cấu trúc hệ truyền động có điều chỉnh có thể là truyền động nhiều động cơ. Ngoài ra tùy thuộc vào cấu trúc và tín hiệu điều khiển ta có hệ truyền động điều khiển số, điều khiển tương tự hoặc truyền động điều khiển theo chương trình v.v...



Hình 1-1. Mô tả cấu trúc chung của hệ truyền động.

BBD – Bộ biến đổi; DC – Động cơ truyền động;
 MSX – Máy sản xuất; R_T – Bộ điều chỉnh công nghệ;
 K_T – Các bộ đóng cắt phục vụ công nghệ; R – Các bộ điều chỉnh truyền động; K – Các bộ đóng cắt phục vụ truyền động;
 VH – Người vận hành; GN – Mạch ghép nối.

1-2. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ 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. Ta có đặc tính cơ tự nhiên của động cơ, nếu như động cơ vận hành ở chế độ định mức (điện áp, tần số, từ thông định mức và không nối thêm các điện trở, điện kháng vào động cơ). Trên đặc tính cơ tự nhiên ta có điểm làm việc định mức có giá trị M_{dm} , ω_{dm} . Đặc tính cơ nhân tạo của động cơ là đặc tính khi ta thay đổi các tham số nguồn hoặc nối thêm các điện trở, điện kháng vào động cơ.

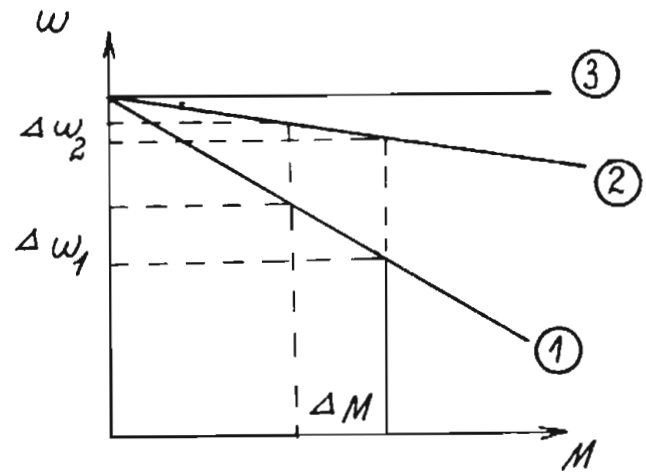
Để đánh giá và so sánh các đặc tính cơ, người ta đưa ra khái

niệm độ cứng đặc tính cơ β và được tính:

$$\beta = \frac{\Delta M}{\Delta \omega} \quad (1-1)$$

β lớn, ta có đặc tính cơ cứng, β nhỏ đặc tính cơ mềm, $\beta \rightarrow \infty$ đặc tính cơ tuyệt đối cứng.

Truyền động cơ đặc tính cơ cứng tốc độ thay đổi rất ít khi mômen biến đổi lớn. Truyền động cơ có đặc tính cơ mềm tốc độ giảm nhiều khi mômen tăng (xem H.1-2).



Hình 1-2. Độ cứng đặc tính cơ.

Đường 1: đặc tính cơ mềm; đường 2: đặc tính cơ cứng; đường 3: đặc tính cơ tuyệt đối cứng.

1-3. ĐẶC TÍNH CƠ CỦA MÁY SẢN XUẤT

Đặc tính cơ của máy sản xuất rất đa dạng. Tuy vậy phần lớn nó được biểu diễn dưới dạng biểu thức tổng quát:

$$M_c = M_{co} + (M_{dm} - M_{co}) \left(\frac{\omega}{\omega_{dm}} \right)^\alpha, \quad (1-2),$$

trong đó:

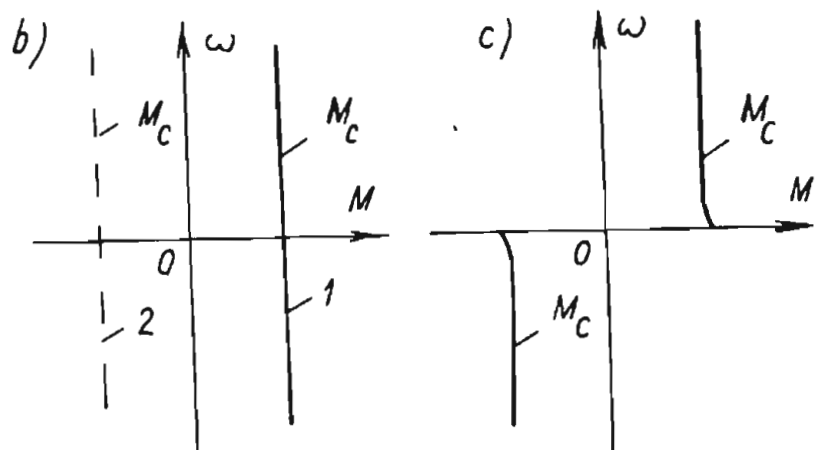
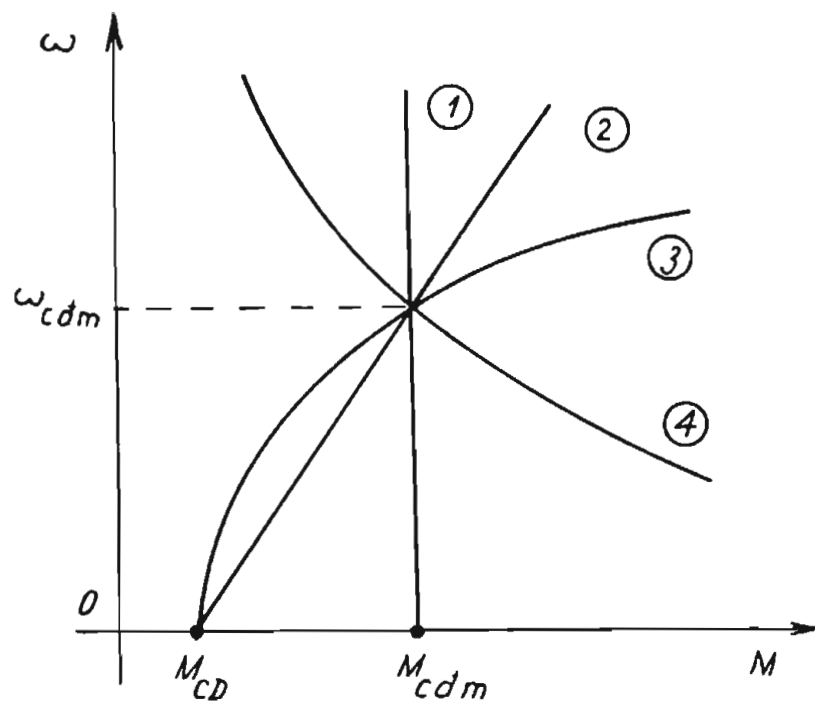
M_{co} – Mômen ứng với tốc độ $\omega = 0$

M_{dm} – Mômen ứng với tốc độ định mức ω_{dm}

M_c – Mômen ứng với tốc độ ω .

Ta có các trường hợp:

- $\alpha = 0$, $M_c = M_{dm} = \text{const}$, các cơ cấu nâng hạ, băng tải, cơ cấu ăn dao máy cắt gọt thuộc loại này (đường 1, H.1-3a).



Hình 1-3. a) Dạng đặc tính cơ của một số máy sản xuất:
 (1) $\alpha = 0$; (2) $\alpha = 1$; (3) $\alpha = 2$; (4) $\alpha = -1$; b) Dạng đặc tính cơ của máy
 sản xuất có tính thể năng; c) Dạng đặc tính cơ của máy sản xuất có tính phản kháng.

- $\alpha = 1$, mômen tỷ lệ bậc nhất với tốc độ, thực tế rất ít gặp, về loại này có thể lấy ví dụ máy phát một chiều tải thuần trở (đường 2, H.1-3a).
- $\alpha = 2$, mômen tỷ lệ bậc hai với tốc độ là đặc tính của các máy bơm, quạt gió (đường 3, H.1-3a).
- $\alpha = -1$, mômen tỷ lệ nghịch với tốc độ, các cơ cấu máy cuốn dây, cuốn giấy, các truyền động quay trực chính máy cắt gọt kim loại có đặc tính thuộc loại này (đường 4, H.1-3a).

Ngoài ra, một số cơ cấu của các máy có đặc tính khác, ví dụ:

- Mômen phụ thuộc vào góc quay $M_c = f(\varphi)$ hoặc mômen phụ thuộc vào đường đi $M_c = f(s)$, trong thực tế các máy công tác có pittông, các máy trục không có cấp 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 cản phụ thuộc vào thời gian $M_c = f(t)$, ví dụ như máy nghiền đá, quặng.

Trên H.1-3b và c biểu diễn đặc tính của mômen cản phản kháng và mômen cản thế năng.

- Mômen cản thế năng (như ở trong các cơ cấu nâng hạ tải trọng) có đặc tính $M_c = \text{const}$ và không phụ thuộc vào chiều quay (H.1-3b).
- Mômen cản phản kháng luôn luôn chống lại chiều quay như mômen ma sát, mômen của cơ cấu ăn dao máy cắt gọt kim loại v.v... (H.1-3c).

1-4. TRẠNG THÁI LÀM VIỆC CỦA TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

Trong hệ truyền động điện, bao giờ cũng có quá trình biến đổi năng lượng điện – cơ. Chính quá trình biến đổi này quyết định trạng thái làm việc của truyền động điện. Ta định nghĩa: 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 $P_{\text{cơ}} = M.\omega$ cấp cho máy sản xuất.

Công suất cơ này có giá trị dương nếu như mômen động cơ sinh ra có cùng chiều với tốc độ quay.

Ngược lại, 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 truyền động là:

$$P_d = P_c + \Delta P, \quad (1-3)$$

trong đó P_d – công suất điện,

P_c – công suất cơ,

ΔP – tổn thất công suất.

Tùy thuộc vào biến đổi năng lượng trong hệ mà ta có trạng thái làm việc của động cơ gồm: Trạng thái động cơ và trạng thái hãm, (xem bảng 1-1).

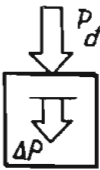
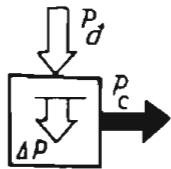
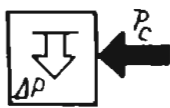
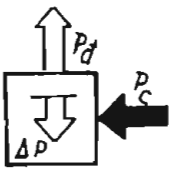
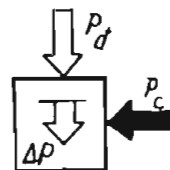
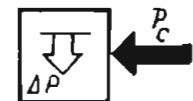
- Trạng thái động cơ bao gồm chế độ có tải và không tải,
- Trạng thái hãm gồm hãm không tải, hãm tái sinh, hãm ngược và hãm động năng.

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

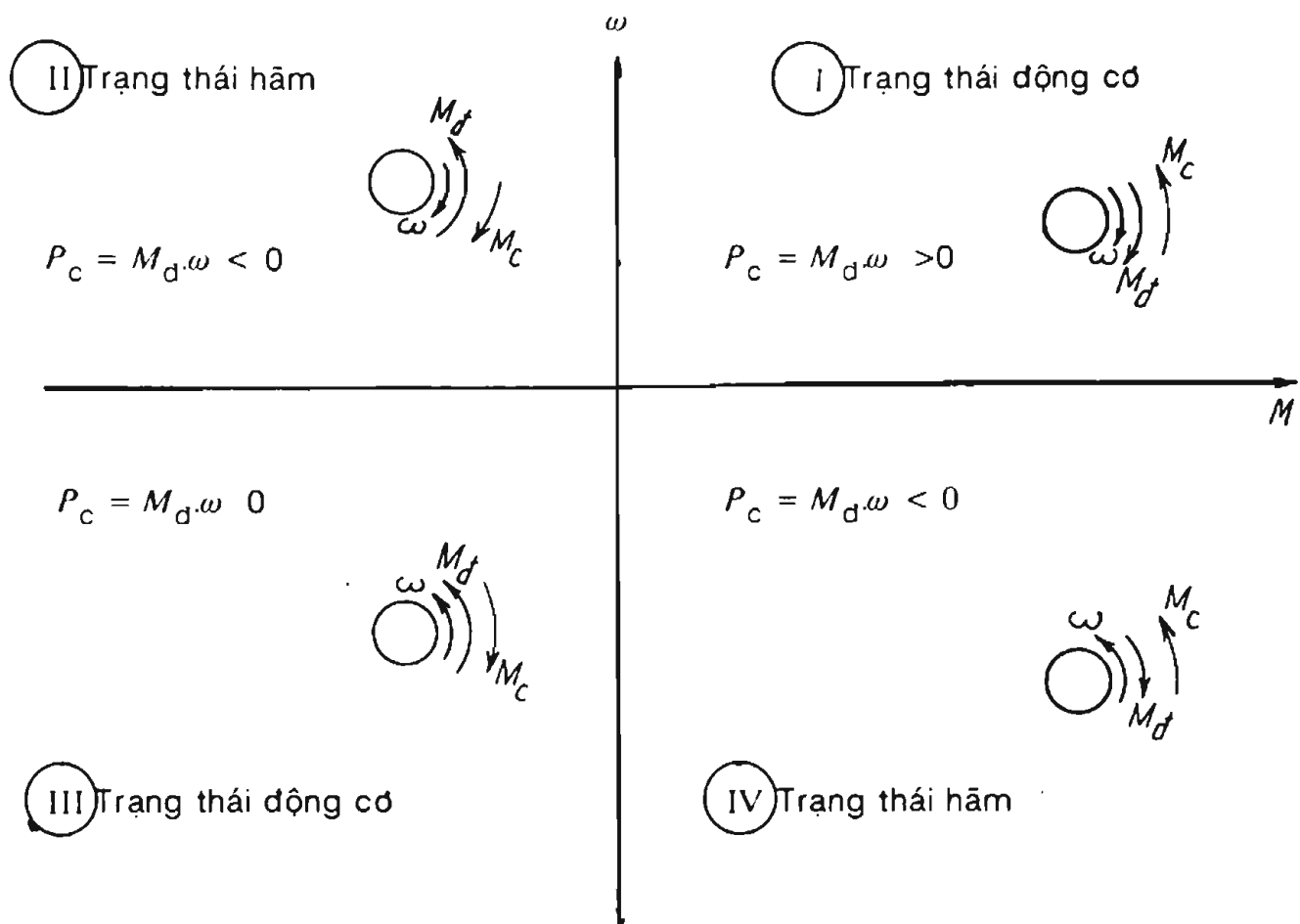
Hãm ngược $P_{\text{điện}} > 0$, $P_{\text{cơ}} < 0$ điện năng và cơ năng chuyển thành tổn thất ΔP .

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

Bảng 1-1

	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	= $P_d - P_c$	– 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

Trạng thái hãm và trạng thái động cơ được phân bố trên đặc tính cơ $\omega(M)$ ở góc phần tư I, III: trạng thái động cơ, góc phần tư II, IV: trạng thái hãm (xem H.1-4).



Hình 1-4. Trạng thái làm việc của truyền động điện trên các góc phần tư đặc tính cơ.

1-5. QUY ĐỔI MÔMEN CẢN, LỰC CẢN VÀ MÔMEN QUÁN TÍNH, KHỐI LƯỢNG QUÁN TÍNH

Trên H.1-5 mô tả cấu trúc cơ học tổng quát của truyền động, mỗi một cơ cấu của truyền động đều có các đại lượng ω , M , v , F và mômen quán tính J . Để dễ dàng cho việc nghiên cứu và tính toán, người ta thường tính quy đổi tất cả các đại lượng đó về trục động cơ. Nguyên tắc của tính toán quy đổi là đảm bảo năng lượng của hệ trước và sau khi quy đổi không thay đổi.

a) *Tính quy đổi mômen M_c và lực cản F_c về trục động cơ.*

– Giả sử khi tính toán và thiết kế người ta cho giá trị của mômen tang trống M_t qua hộp giảm tốc có tỷ số truyền là i và hiệu suất là η_i . Mômen này sẽ tác động lên trục động cơ có giá trị M_{cqd} :

$$M_{cqd} \cdot \omega = \frac{M_t \cdot \omega_1}{\eta_i} \quad (1-4)$$

$$M_{cqđ} = M_t \cdot \frac{1}{\eta_i} \cdot \frac{1}{i}, \quad (1-5)$$

trong đó: $i = \frac{\omega_d}{\omega_t}$; η_i là hiệu suất hộp tốc độ.

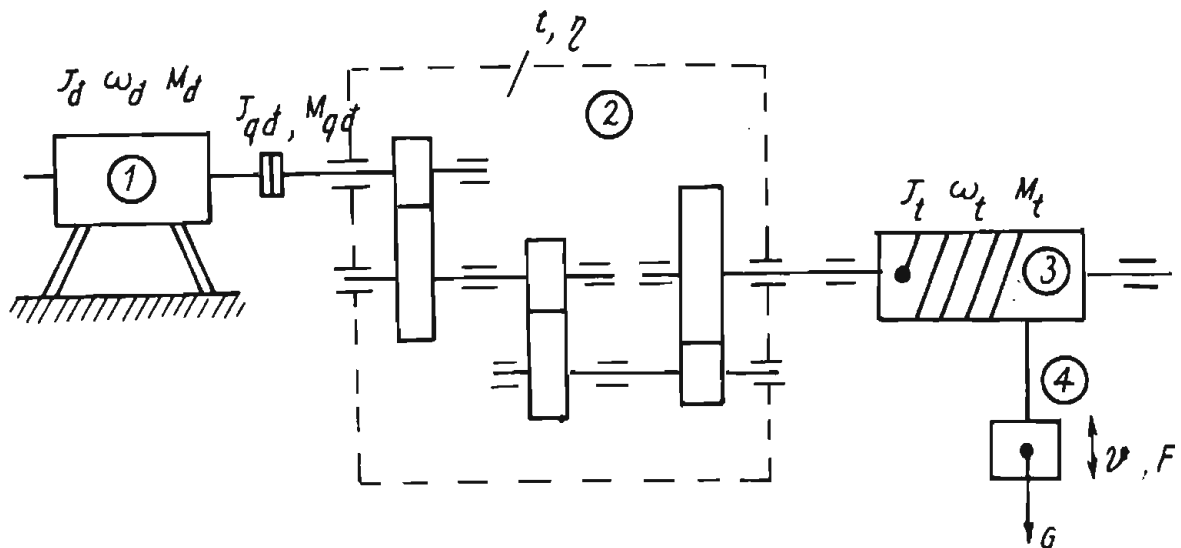
– Giả thiết tải trọng G sinh ra lực F_c có vận tốc chuyển động là v , nó sẽ tác động lên trục động cơ một mômen $M_{cqđ}$, ta có:

$$\frac{F_c \cdot V}{\eta_i \cdot \eta_t} = M_{cqđ} \cdot \omega_d \quad (1-6)$$

$$\begin{aligned} M_{cqđ} &= \frac{F_c}{\eta_i \eta_t} \cdot \frac{V}{\omega_j} \\ &= \frac{F_c}{\eta} \cdot \frac{1}{\rho}, \end{aligned} \quad (1-7)$$

trong đó $\rho = \frac{\omega_d}{V}$

$$\eta = \eta_i \cdot \eta_t$$



Hình 1-5. Sơ đồ động học của cơ cấu nâng hạ hàng.
(1) động cơ điện; (2) hộp tốc độ; (3) tang quay; (4) tải trọng.

b) Tính quy đổi mômen quán tính

Các cặp bánh răng có mômen quán tính $J_1 \dots J_K$, mômen quán

tính tang trọng J_l , khối lượng quán tính m và mômen quán tính động cơ J_d đều có ảnh hưởng đến tính chất động học của hệ truyền động.

Nếu xét điểm khảo sát là đầu trục động cơ và quán tính chung của hệ truyền động tại điểm này ta gọi là J_{qd} . Lúc đó phương trình động năng của hệ là:

$$J_{qd} \cdot \frac{\omega_d^2}{2} = J_d \cdot \frac{\omega_d^2}{2} + (J_1 \frac{\omega_1^2}{2} + \dots + \frac{J_K \omega_k^2}{2}) + \frac{J_l \omega_l^2}{2} + \frac{m \cdot V^2}{2} \quad (1-8)$$

$$J_{qd} = J_d + \sum_1^K \left(\frac{J_K}{i_k^2} \right) + \frac{J_T}{i_T^2} + \frac{m}{\rho^2} \quad (1-9)$$

1-6. PHƯƠNG TRÌNH ĐỘNG HỌC CỦA TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

Phương trình cân bằng năng lượng của hệ truyền động điện

$$W = W_c + \Delta W, \quad (1-10)$$

trong đó W là năng lượng đưa vào động cơ,

W_c – năng lượng tiêu thụ của máy truyền động,

ΔW – mức chênh năng lượng giữa năng lượng đưa vào và năng lượng tiêu thụ chính là động năng của hệ:

$$\Delta W = \frac{1}{2} J \omega^2 \quad (1-11)$$

Đạo hàm phương trình (1-11) và chia hai vế cho ω ta có:

$$\frac{1}{\omega} \frac{dW}{dt} = \frac{1}{\omega} \frac{dW_c}{dt} + \frac{1}{\omega} \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} J \omega^2 \right) \quad (1-12)$$

ở đây $\frac{1}{\omega} \frac{dW}{dt} = M$ là mômen của động cơ,

$$\frac{1}{\omega} \frac{dW_c}{dt} = M_c \text{ là mômen cản,}$$

$$\frac{1}{\omega} \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} J \omega^2 \right) = M \text{ động.}$$

Phương trình động học của hệ truyền động tổng quát có dạng:

$$M = J \frac{d\omega}{dt} + \frac{1}{2} \omega \frac{dJ}{dt} + M_c. \quad (1-13)$$

Thông thường $\frac{dJ}{dt} = 0$, vì vậy ta có phương trình động học thường

$$\text{dùng là} \quad M = J \frac{d\omega}{dt} + M_c. \quad (1-14)$$

Từ phương trình (1-14) thấy rằng

$$M > M_c \quad \text{thì} \quad \frac{d\omega}{dt} > 0 \text{ hệ tăng tốc,}$$

$$M < M_c \quad \text{thì} \quad \frac{d\omega}{dt} < 0 \text{ hệ giảm tốc;}$$

$$M = M_c \quad \text{thì} \quad \frac{d\omega}{dt} = 0 \text{ hệ làm việc ổn định.}$$

Phương trình (1-14) mô tả quá trình quá độ về cơ của hệ truyền động điện. Có thể giải nó bằng phương pháp giải tích, đồ thị hoặc số, tùy theo đặc tính $M\omega$ và $M_c(\omega)$.

1-7. ĐIỀU KIỆN ỔN ĐỊNH TÍNH CỦA TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

Như ở phần 1-6 đã nêu, khi $M = M_c$ thì hệ truyền động làm việc ổn định. Điểm làm việc ổn định là giao điểm của hai đặc tính cơ của động cơ ωM và của máy sản xuất ωM_c . Tuy nhiên không phải với bất kỳ động cơ nào cũng có thể làm việc với các loại tải mà nó phải có điểm giao nhau đó thỏa mãn 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 ta dựa vào phương trình động học của truyền động (1-14) tại giao điểm:

$$J \frac{d}{dt} = \left[\left(\frac{\partial M}{\partial \omega} \right)_x - \left(\frac{\partial M_c}{\partial \omega} \right)_x \right] (\omega - \omega_x) \quad (1-15)$$

Điều kiện để ổn định là

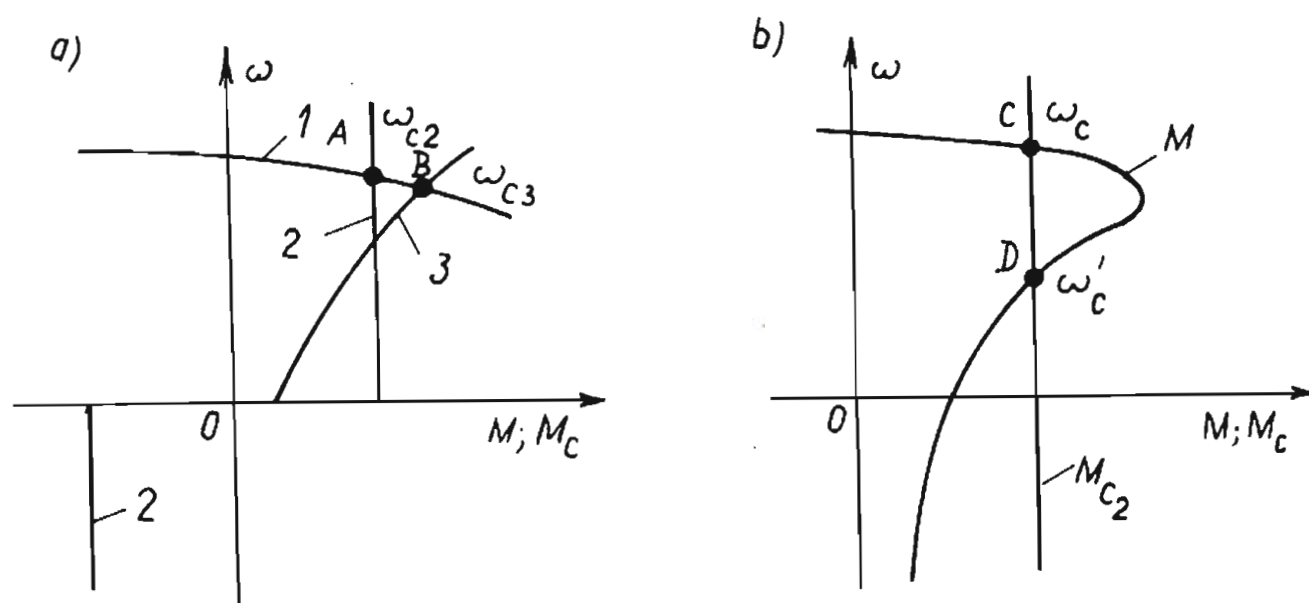
$$\left(\frac{\partial M}{\partial \omega} \right)_x - \left(\frac{\partial M_c}{\partial \omega} \right)_x < 0 \quad (1-16)$$

$$\text{Hay } \beta_{\text{động cơ}} - \beta_c < 0 \quad (1-17)$$

Trên H.6a,b xét các điểm làm việc ổn định của hệ truyền động.

Ở tại điểm khảo sát ta xét thấy 3 điểm A, B, C là điểm làm việc ổn định, còn điểm D là điểm làm việc không ổn định.

- Trường hợp
- A: $\beta_d < \beta_{c2}$ vì $\beta_d < 0$ và $\beta_{c2} = 0$ ổn định
 - B: $\beta_d < 0$ và $\beta_{c3} = 0$ nên $\beta_d < \beta_{c3}$ ổn định
 - C: $\beta_d < 0$ và $\beta_{c2} = 0$ nên $\beta_d < \beta_{c2}$ ổn định
 - D: $\beta_d > 0$ và $\beta_{c2} = 0$ nên $\beta_d > \beta_{c2}$ không ổn định.



Hình 1-6. Xét điểm làm việc ổn định của hệ truyền động.

1-8. ĐỘNG HỌC CỦA KHỚP NỐI MỀM

Thực tế có một số truyền động dùng các khớp nối mềm. Trong trường hợp này không thể dùng phương trình động học (1-14) và phương trình tính quy đổi về trục động cơ để mô tả động lực học như thường lệ.

Xét cơ cấu truyền động mô tả trên H. 1-7a, phương trình mô tả động học của hệ gồm các phương trình:

- Cho điểm đối với trục động cơ

$$M_1 = J_1 \frac{d\omega_1}{dt} + k_1 + M_2 \quad (1-18)$$

- Cho điểm đối với tải:

$$M_2 = J_3 \frac{d\omega_2}{dt} + k_3 \omega_2 + M_3 \quad (1-19)$$

và

$$M_2 = C(\sigma_1 - \sigma_2) + k_2(\omega_1 - \omega_2), \quad (1-20)$$

trong đó k_1, k_2, k_3 là hệ số tắt của dao động,

- σ_1, σ_2 là góc xoắn,

- C là hệ số đàn hồi.

Sơ đồ khối mô tả động học hệ trên H.1-7b), gồm 3 phần ghép nối, hệ truyền động sẽ có dao động riêng.

a) Khi $k_1 = k_2 = k_3 = 0$ tần số dao động riêng là

$$\Omega_0 = \sqrt{\frac{c(J_1 + J_3)}{J_1 J_3}} \quad (1-21)$$

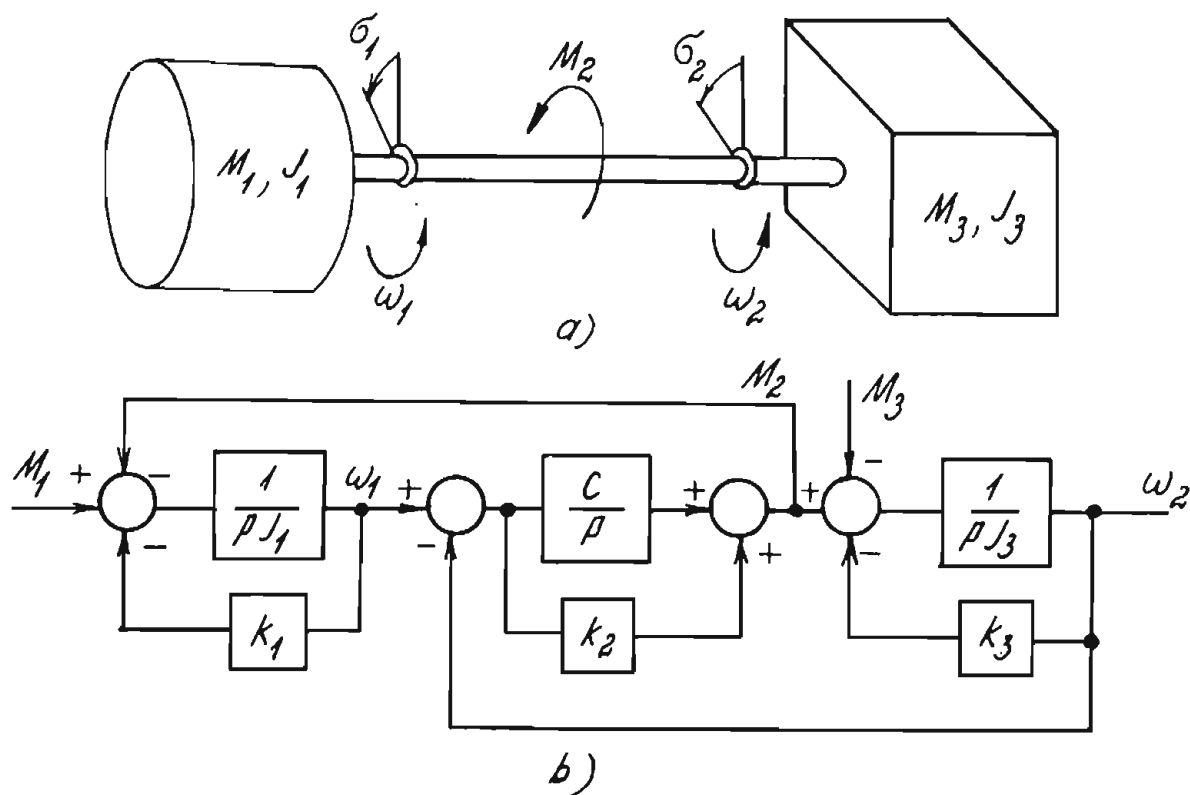
b) Khi $k_1 = k_3 = 0, k_2 > 0$, tần số dao động riêng

$$\Omega = \Omega_0 \sqrt{1 - \frac{k_2^2}{4C^2}} \Omega_0^2 \quad (1-22)$$

Điều này sẽ gây ra cộng hưởng và mất ổn định của hệ, khi mômen động cơ M_1 hoặc mômen phụ tải có thành phần xoay chiều

có tần số bằng hoặc gần với tần số dao động riêng.

Mặt khác, trong hệ truyền động có điều chỉnh tốc độ để đảm bảo



Hình 1 – 7. a) Mô tả nguyên lý động học truyền động có khớp nối mềm;
b) Mô tả toán học khâu khớp nối mềm.

ổn định của hệ cần phải giảm hệ số khuếch đại của bộ điều chỉnh tốc độ, dẫn đến giảm độ chính xác điều chỉnh.

Để khắc phục hiện trạng này cần phải bố trí các bộ lọc.

Chương 2

ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

2-1. KHÁI NIỆM CHUNG

Như trong chương 1 đã nêu, quan hệ giữa tốc độ và mômen của động cơ gọi là đặc tính cơ của động cơ: $\omega = f(M)$ hoặc $n = f(M)$.

Quan hệ giữa tốc độ và mômen của máy sản xuất gọi là đặc tính cơ của máy sản xuất: $\omega_c = f(M_c)$ hoặc $n_c = f(M_c)$.

Các đặc tính cơ trên có thể biểu diễn ở dạng hàm thuận hoặc hàm ngược, ví dụ $\omega = f(M)$ hay $M = f(\omega)$.

Ngoài đặc tính cơ, đối với động cơ một chiều người ta còn sử dụng đặc tính cơ điện. Đặc tính cơ điện biểu diễn quan hệ giữa tốc độ và dòng điện trong mạch động cơ: $\omega = f(I)$ hay $n = f(I)$.

Trong các biểu thức trên:

ω – tốc độ góc, rad/s

n – tốc độ quay, v/ph

M – mômen, N.m.

Trong nhiều trường hợp để đơn giản trong tính toán hoặc dễ dàng so sánh, đánh giá các chế độ làm việc của truyền động điện, người ta có thể dùng hệ đơn vị tương đối.

Muốn biểu diễn một đại lượng nào đó dưới dạng tương đối ta lấy trị số của nó chia cho trị số cơ bản của đại lượng đó. Các đại lượng cơ bản thường được chọn là: U_{dm} , I_{dm} , ω_{dm} , M_{dm} , Φ_{dm} , R_{cb} .

Với đại lượng tương đối ta dùng ký hiệu "*". Ví dụ điện áp tương đối là U^* , mômen tương đối là M^* ... Như vậy một số thông số có thể tính được trong hệ đơn vị tương đối như sau:

$$U^* = \frac{U}{U_{dm}} \quad \text{hoặc} \quad U^*\% = \frac{U}{U_{dm}} 100\%$$

Tương tự các thông số khác: $I^* = \frac{I}{I_{dm}}$, $M^* = \frac{M}{M_{dm}}$

$$\Phi^* = \frac{\Phi}{\Phi_{dm}}; \quad R^* = \frac{R}{R_{cb}}; \quad \omega^* = \frac{\omega}{\omega_{dm}} \quad \text{hoặc} \quad \omega^* = \frac{\omega}{\omega_0}.$$

Việc chọn các đại lượng cơ bản là tùy ý, sao cho các biểu thức tính toán được đơn giản, thuận tiện như:

– Tốc độ cơ bản ở động cơ một chiều kích từ độc lập và kích từ hỗn hợp là tốc độ không tải lý tưởng ω_0 , với động cơ không đồng bộ và động cơ đồng bộ là tốc độ đồng bộ ω_1 . Còn với động cơ kích từ nối tiếp tốc độ cơ bản là ω_{dm} .

– Trị số điện trở cơ bản là R_{cb} .

Với các động cơ một chiều:

$$R_{cb} = \frac{U_{dm}}{I_{dm}}$$

Với các động cơ không đồng bộ thông thường điện kháng định mức ở mỗi pha của rôto rất nhỏ so với tổng trở định mức nên ta có thể coi gần đúng là: $R_{2cb} = Z_{2cb}$.

Khi mạch rôto đấu sao ta có:

$$R_{2cb} = \frac{E_{2nm}}{\sqrt{3} I_{2dm}},$$

trong đó:

E_{2nm} – sức điện động ngắn mạch của rôto.

I_{2dm} – dòng điện định mức ở mỗi pha rôto.

Nếu mạch rôto đấu tam giác thì điện trở định mức mỗi pha của rôto là:

$$R_{2cb\Delta} = \frac{1}{2} R_{2cbY}.$$

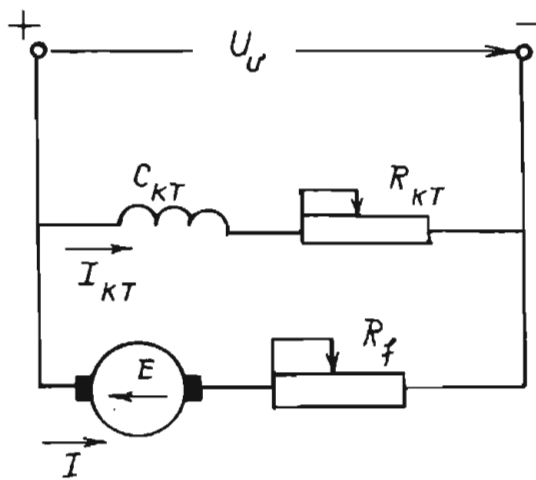
Trong phạm vi chương này, chúng ta sẽ nghiên cứu đặc tính cơ, các trạng thái làm việc và các phương pháp khởi động của ba loại

động cơ điện thường sử dụng;

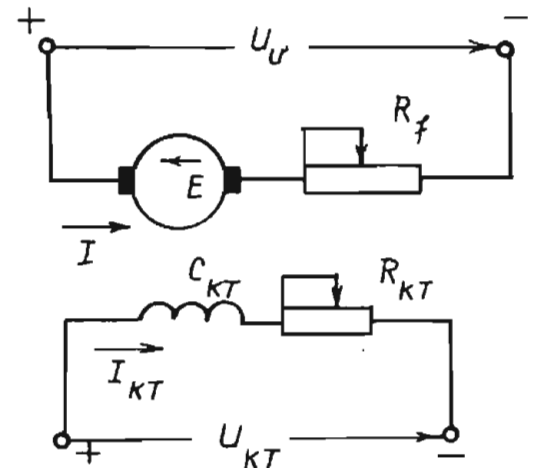
- Động cơ một chiều
- Động cơ xoay chiều không đồng bộ ba pha
- Động cơ xoay chiều đồng bộ ba pha.

2-2. ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU KÍCH TỪ ĐỘC LẬP

Khi nguồn điện một chiều có công suất vô cùng lớn và điện áp không đổi thì mạch kích từ thường mắc song song với mạch phần ứng, lúc này động cơ được gọi là động cơ kích từ song song.



Hình 2-1. Sơ đồ nối dây của động cơ kích từ song song.



Hình 2-2. Sơ đồ nối dây của động cơ kích từ độc lập.

Khi nguồn điện một chiều có công suất không đủ lớn thì mạch điện phần ứng và mạch kích từ mắc vào hai nguồn một chiều độc lập với nhau (H.2-2), lúc này động cơ được gọi là động cơ kích từ độc lập.

2-2.1. Phương trình đặc tính cơ

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

$$U_u = E_u + (R_u + R_f)I_u, \quad (2-1)$$

trong đó: U_u – điện áp phần ứng, V

E_u – sức điện động phần ứng, V

R_u – điện trở của mạch phần ứng, Ω

R_f – điện trở phụ trong mạch phần ứng, Ω

I_u – dòng điện mạch phần ứng.

Với $R_u = r_u + r_{cf} + r_b + r_{ct}$,

r_u – điện trở cuộn dây phần ứng,

r_{cf} – điện trở cuộn cực từ phụ,

r_b – điện trở cuộn bù,

r_{ct} – điện trở tiếp xúc của chổi điện.

Sức điện động E_u của phần ứng động cơ được xác định theo biểu thức:

$$E_u = \frac{pN}{2\pi a} \Phi \omega = K \Phi \omega, \quad (2-2)$$

trong đó: p – số đôi cực từ chính,

N – số thanh dẫn tác dụng của cuộn dây phần ứng,

a – số đôi mạch nhánh song song của cuộn dây phần ứng,

Φ – từ thông kích từ dưới một cực từ, W_b,

ω – tốc độ góc, rad/s,

$K = \frac{pN}{2\pi a}$ – hệ số cấu tạo của động cơ.

Nếu biểu diễn sức điện động theo tốc độ quay n (vòng/phút) thì

$$E_u = K_e \Phi n, \quad (2-3)$$

và $\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{n}{9,55}$.

Vì vậy
$$E_u = \frac{pN}{60a} \Phi n$$

$$K_e = \frac{pN}{60a}$$
 : Hệ số sức điện động của động cơ,

$$K_e = \frac{K}{9,55} \approx 0,105K.$$

Từ (2-1) và (2-2) ta có:

$$\omega = \frac{U_u}{K\Phi} - \frac{R_u + R_f}{K\Phi} I_u. \quad (2-4)$$

Biểu thức (2-4) là phương trình đặc tính cơ điện của động cơ.

Mặt khác mômen điện từ M_{dt} của động cơ được xác định bởi:

$$M_{dt} = K\Phi I_u \quad (2-5)$$

suy ra
$$I_u = \frac{M_{dt}}{K\Phi}.$$

Thay giá trị I_u vào (2-4) ta được:

$$\omega = \frac{U_u}{K\Phi} - \frac{R_u + R_f}{(K\Phi)^2} M_{dt}. \quad (2-6)$$

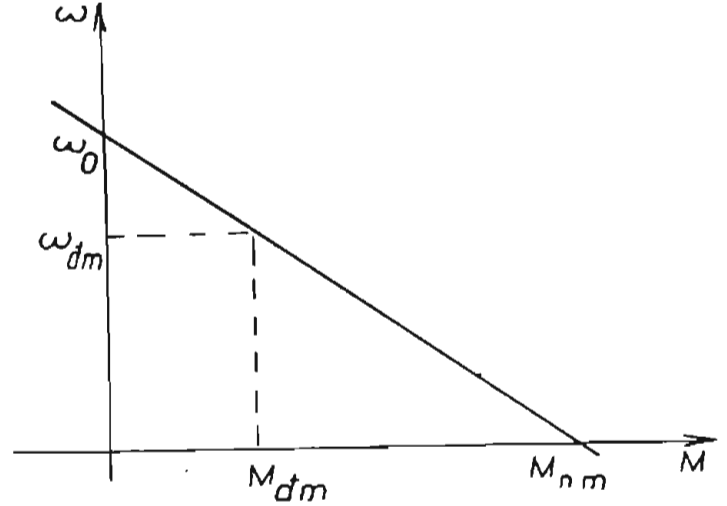
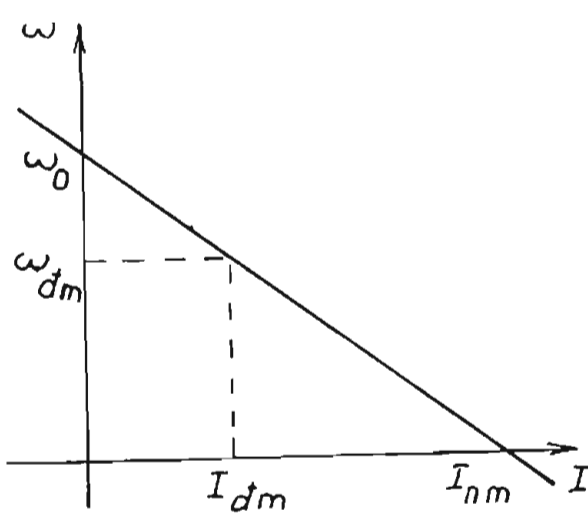
Nếu bỏ qua các tổn thất cơ và tổn thất thép thì mômen cơ trên trục động cơ bằng mômen điện từ, ta ký hiệu là M . Nghĩa là $M_{dt} = M_{co} = M$.

$$\omega = \frac{U_u}{K\Phi} - \frac{R_u + R_f}{(K\Phi)^2} M \quad (2-7)$$

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

Giả thiết phản ứng' phản ứng được bù đủ, từ thông $\Phi = \text{const}$, thì các phương trình đặc tính cơ điện (2-4) và phương trình đặc tính cơ (2-7) là tuyến tính. Đồ thị của chúng được biểu diễn trên

H.2-3 và H.2-4 là những đường thẳng.



Hình 2-3. Đặc tính cơ điện của động cơ điện một chiều kích từ độc lập.

Hình 2-4. Đặc tính cơ của động điện một chiều kích từ độc lập.

Theo các đồ thị trên, khi $I_u = 0$ hoặc $M = 0$ ta có:

$$\omega = \frac{U_u}{K\Phi} = \omega_0 \quad (2-8)$$

ω_0 được gọi là tốc độ không tải lý tưởng của động cơ. Còn khi $\omega = 0$ ta có:

$$I_u = \frac{U}{R_u + R_f} = I_{nm}, \quad (2-9)$$

và
$$M = K\Phi I_{nm} = M_{nm}, \quad (2-10)$$

I_{nm} , M_{nm} được gọi là dòng điện ngắn mạch và mômen ngắn mạch.

Mặt khác, phương trình đặc tính (2-4), (2-7) cũng có thể được viết ở dạng:

$$\omega = \frac{U_u}{K\Phi} - \frac{RI}{K\Phi} = \omega_0 - \Delta\omega, \quad (2-11)$$

$$\omega = \frac{U_u}{K\Phi} - \frac{RM}{(K\Phi)^2} = \omega_0 - \Delta\omega, \quad (2-12)$$

trong đó $R = R_u + R_l, \omega_o = \frac{U_u}{K\Phi}$

$$\Delta\omega = \frac{R}{K\Phi} I_u = \frac{R}{(K\Phi)^2} M,$$

$\Delta\omega$ được gọi là độ sụt tốc độ ứng với giá trị của M .

Ta có thể biểu diễn đặc tính cơ điện và đặc tính cơ trong hệ đơn vị tương đối, với điều kiện từ thông là định mức ($\Phi = \Phi_{dm}$),

trong đó $\omega^* = \frac{\omega}{\omega_o}, I^* = \frac{I}{I_{dm}}, M^* = \frac{M}{M_{dm}}, R^* = \frac{R}{R_{cb}}$

($R_{cb} = \frac{U_{dm}}{I_{dm}}$ được gọi là điện trở cơ bản).

Từ (2-4) và (2-7), ta viết đặc tính cơ điện và đặc tính cơ ở đơn vị tương đối:

$$\omega^* = 1 - R^* I^* \quad (2-13)$$

$$\omega^* = 1 - R^* M^*. \quad (2-14)$$

2-2.2. Xét ảnh hưởng các tham số đến đặc tính cơ

Từ phương trình đặc tính cơ (2-7) ta thấy có ba tham số ảnh hưởng đến đặc tính cơ: từ thông động cơ Φ , điện áp phần ứng U_u và điện trở phần ứng động cơ. Ta lần lượt xét ảnh hưởng của từng tham số đó.

a) Ảnh hưởng của điện trở phần ứng

Giả thiết $U_u = U_{dm} = \text{const}$ và $\Phi = \Phi_{dm} = \text{const}$.

Muốn thay đổi điện trở mạch phần ứng ta nối thêm điện trở phụ R_l vào mạch phần ứng.

Trong trường hợp này tốc độ không tải lý tưởng:

$$\omega_o = \frac{U_{dm}}{K\Phi_{dm}} = \text{const}$$

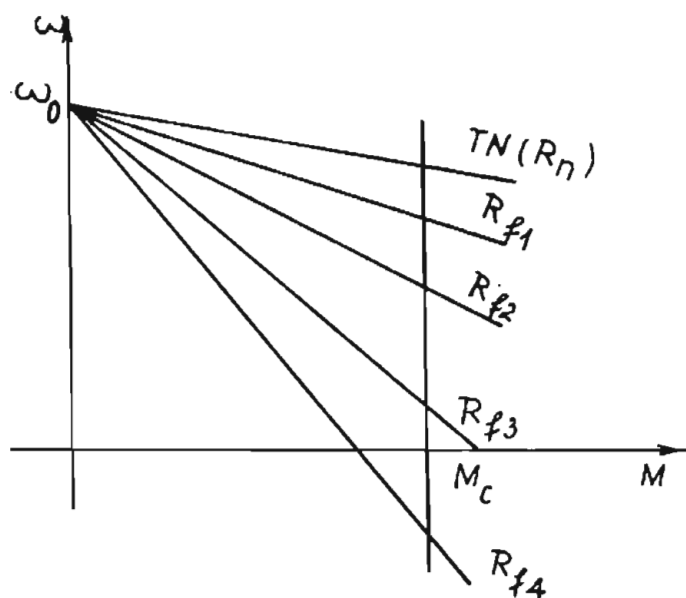
$$\text{Độ cứng của đặc tính cơ: } \beta = \frac{\Delta M}{\Delta \omega} = - \frac{(K\Phi_{dm})^2}{R_u + R_f} = \text{var.}$$

Khi R_f càng lớn, β càng nhỏ nghĩa là đặc tính cơ càng dốc. Ứng với $R_f = 0$ ta có đặc tính cơ tự nhiên:

$$\beta_{TN} = - \frac{(K\Phi_{dm})^2}{R_u} \quad (2-17)$$

β_{TN} có giá trị lớn nhất nên đặc tính cơ tự nhiên có độ cứng hơn tất cả các đường đặc tính có điện trở phụ.

Như vậy khi thay đổi điện trở phụ R_f ta được một họ đặc tính biến trở có dạng như H.2-5. Ứng với một phụ tải M_c nào đó, nếu R_f càng lớn thì tốc độ cơ càng giảm, đồng thời dòng điện ngắn mạch và mômen ngắn mạch cũng giảm. Cho nên người ta thường sử dụng phương pháp này để hạn chế dòng điện và điều chỉnh tốc độ động cơ phía dưới tốc độ cơ bản.



Hình 2-5. Các đặc tính của động cơ một chiều kích từ độc lập khi thay đổi điện trở phụ mạch phản ứng.

b) Ảnh hưởng của điện áp phản ứng

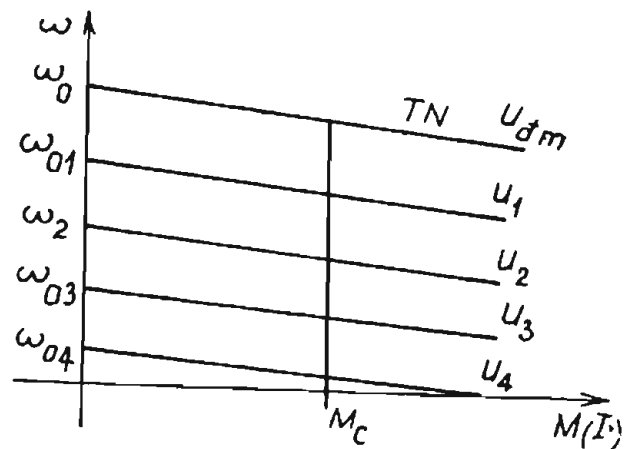
Giả thiết từ thông $\Phi = \Phi_{dm} = \text{const}$, điện trở phản ứng $R_u = \text{const}$. Khi thay đổi điện áp theo hướng giảm so với U_{dm} , ta có:

$$\text{Tốc độ không tải: } \omega_{ox} = \frac{U_x}{K\Phi_{dm}} = \text{var}$$

Độ cứng đặc tính cơ:

$$\beta = - \frac{(K\Phi)^2}{R_u} = \text{const.}$$

Như vậy khi thay đổi điện áp đặt vào phần ứng động cơ ta được một họ đặc tính cơ song song với đặc tính cơ tự nhiên như H.2-6.



Ta thấy rằng khi thay đổi điện áp (giảm áp) thì mômen ngắn mạch, dòng điện ngắn mạch của động cơ giảm và tốc độ động cơ cũng giảm ứng với một phụ tải nhất định. Do đó phương pháp này cũng được sử dụng để điều chỉnh tốc độ động cơ và hạn chế dòng điện khi khởi động.

Hình 2-6. Các đặc tính của động cơ một chiều kích từ độc lập khi giảm áp đặt vào phần ứng động cơ.

c) Ảnh hưởng của từ thông

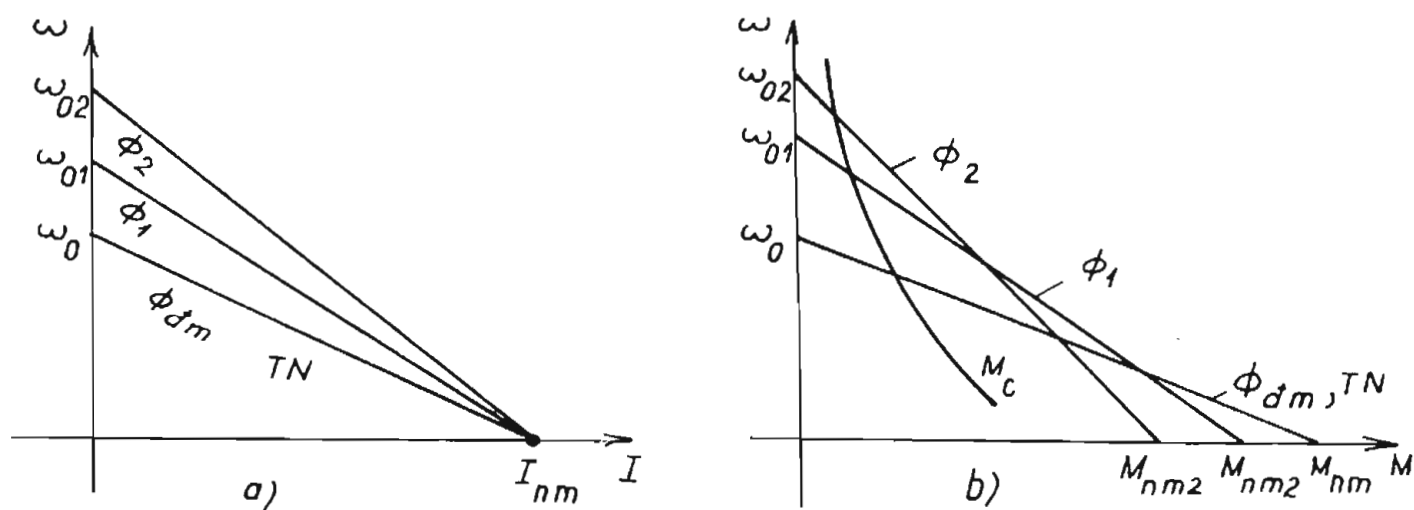
Giả thiết điện áp phần ứng $U_u = U_{dm} = \text{const}$. Điện trở phần ứng $R_u = \text{const}$. Muốn thay đổi từ thông ta thay đổi dòng điện kích từ I_{kt} động cơ.

Trong trường hợp này.

$$\text{Tốc độ không tải: } \omega_{ox} = \frac{U_{dm}}{K\Phi_x} = \text{var.}$$

$$\text{Độ cứng đặc tính cơ: } \beta = -\frac{(K\Phi_x)^2}{R_u} = \text{var.}$$

Do cấu tạo của động cơ điện, thực tế thường điều chỉnh giảm từ thông. Nên khi từ thông giảm thì ω_{ox} tăng, còn β sẽ giảm. Ta có một họ đặc tính cơ với ω_{ox} tăng dần và độ cứng của đặc tính giảm dần khi giảm từ thông.



Hình 2-7. Đặc tính cơ điện (a) và đặc tính cơ (b) của động cơ điện một chiều kích từ độc lập khi giảm từ thông.

Ta nhận thấy rằng khi thay đổi từ thông:

Dòng điện ngắn mạch
$$I_{nm} = \frac{U_{dm}}{R_u} = \text{const}$$

Mômen ngắn mạch:
$$M_{nm} = K\Phi_x I_{nm} = \text{var.}$$

Các đặc tính cơ điện và đặc tính cơ của động cơ khi giảm từ thông được biểu diễn trên H.2-7a, b.

Với dạng mômen phụ tải M_c thích hợp với chế độ làm việc của động cơ thì khi giảm từ thông tốc độ động cơ tăng lên (xem H.2-7b).

2-2.3. Cách vẽ các đặc tính cơ

Trong phần này ta nêu phương pháp tính toán và dựng các đường đặc tính của động cơ khi biết các thông số của động cơ.

a) Cách vẽ đặc tính tự nhiên

Vì đặc tính của động cơ là đường thẳng nên khi vẽ ta chỉ cần xác định hai điểm của đường thẳng. Ta thường chọn điểm không tải lý tưởng và điểm định mức.

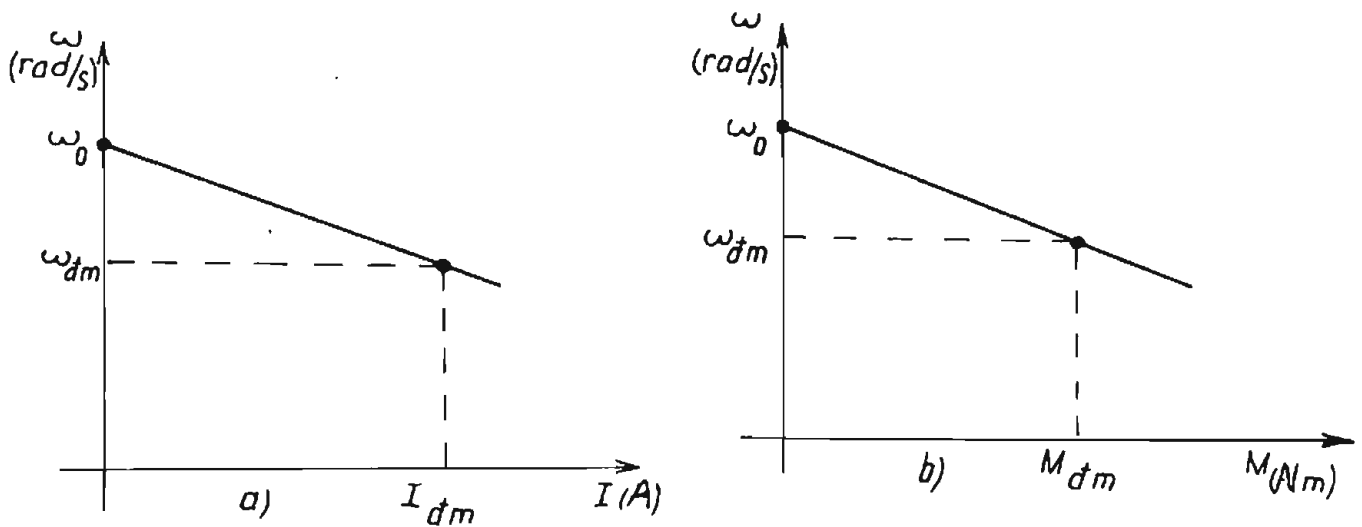
– Đặc tính cơ tự nhiên (xem H.2–8a).

Điểm thứ nhất: ($I_u = 0$, $\omega = \omega_0$)

$$\omega_0 = \frac{U_{dm}}{K\Phi_{dm}} \quad ; \quad K\Phi_{dm} = \frac{U_{dm} - I_{dm}R_u}{\omega_{dm}}$$

Điểm thứ hai: ($I = I_{dm}$, $\omega = \omega_{dm}$)

$$\omega_{dm} = \frac{\eta_{dm}}{9,55}$$



Hình 2–8. Cách vẽ đặc tính cơ điện tự nhiên (a) và đặc tính cơ tự nhiên (b) của động cơ một chiều kích từ độc lập.

– Đặc tính cơ tự nhiên (xem H.2–8b).

Điểm thứ nhất: ($M = 0$; $\omega = \omega_0$)

Xác định ω_0 như ở đặc tính cơ điện.

Điểm thứ hai: ($M = M_{dm}$, $\omega = \omega_{dm}$).

trong đó: $M_{dm} = \frac{P_{dm}}{\omega_{dm}}$, N.m.

b) Cách vẽ đặc tính nhân tạo

Đặc tính biến trở: Các đặc tính biến trở đều đi qua điểm không tải lý tưởng ω_0 , vì vậy khi vẽ các đặc tính này chỉ cần xác định điểm

thứ hai. Thường chọn là điểm ứng với tải định mức:

Đối với đặc tính cơ điện ω ứng với I_{dm}

Đối với đặc tính cơ ω ứng với M_{dm}

Từ phương trình đặc tính cơ điện tự nhiên (2-6) ta có:

$$\omega_{dm} = \frac{U_{dm} - I_{dm}R_u}{K\Phi_{dm}},$$

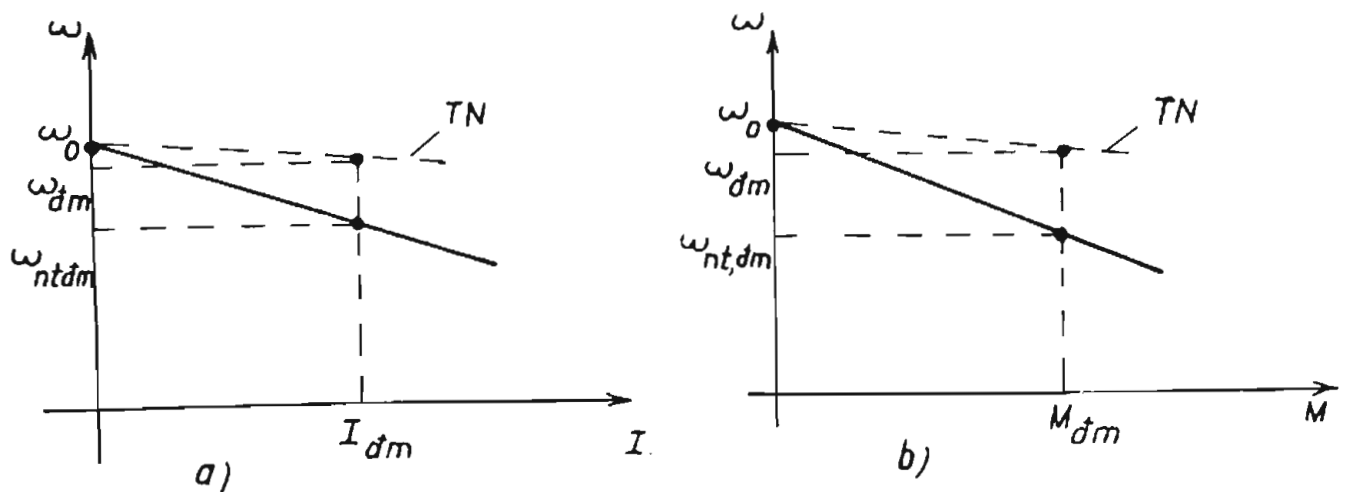
Và từ phương trình đặc tính biến trở tính được:

$$\omega |_{I_{dm}} = \frac{U_{dm} - I_{dm}(R_u + R_f)}{K\Phi_{dm}}$$

Lập tỉ số $\frac{\omega}{\omega_{dm}}$ và sau khi biến đổi ta được:

$$\omega |_{I_{dm}} = \omega_{dm} \cdot \frac{U_{dm} - I_{dm}(R_u + R_f)}{U_{dm} - I_{dm}R_u} \quad (2-18)$$

Từ các số liệu đã biết trên ta vẽ được các đặc tính biến trở H.2-9a,b.



Hình 2-9. Cách vẽ đặc tính biến trở của động cơ điện một chiều kích từ độc lập:

a) Đặc tính cơ điện; b) Đặc tính cơ.

Thông thường giá trị điện trở phản ứng R_u không ghi trên nhãn máy. Do vậy lúc đó ta có thể tính gần đúng giá trị R_u . Một trong

phương pháp tính gần đúng là dựa vào giá trị hiệu suất định mức đã biết η_{dm} và tính được tổn thất của máy điện ở chế độ định mức. Coi gần đúng phần tổn thất do điện trở phần ứng gây ra bằng một nửa tổn thất. Như vậy ta tính gần đúng giá trị điện trở phần ứng là:

$$R_u = 0,5(1 - \eta_{dm}) \frac{U_{dm}}{I_{dm}} \quad (2-19)$$

c) Cách vẽ đặc tính giảm từ thông

Như phần trên đã nêu khi giảm từ thông, đặc tính cơ và đặc tính cơ điện của động cơ không đồng nhất với nhau, do vậy cần phải xét riêng từng loại đặc tính.

Đặc tính cơ điện

Khi giảm từ thông tốc độ không tải động cơ tăng tỷ lệ với độ suy giảm của từ thông. Còn dòng điện ngắn mạch I_{nm} giữ không đổi. Vì vậy khi vẽ đặc tính cơ điện ta cần xác định hai điểm: Điểm không tải lý tưởng ứng với giá trị suy giảm từ thông và điểm còn lại là dòng ngắn mạch I_{nm} .

– Gọi độ suy giảm từ thông là $x = \frac{\Phi_{dm}}{\Phi}$ ta có $\omega_{ox} = \omega_{oTN} x$ là

giá trị tốc độ không tải khi giảm từ thông.

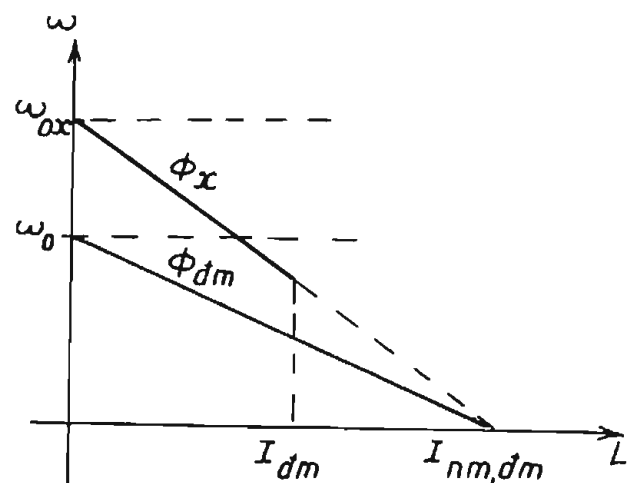
– Dòng điện ngắn mạch I_{nm} được tính:

$$I_{nm} = \frac{U_{udm}}{R_u} \quad (2-20)$$

Cách vẽ đặc tính cơ điện giảm từ thông được chỉ trên H.2-10.

Đặc tính cơ

Cách vẽ đặc tính cơ giảm từ thông cũng tương

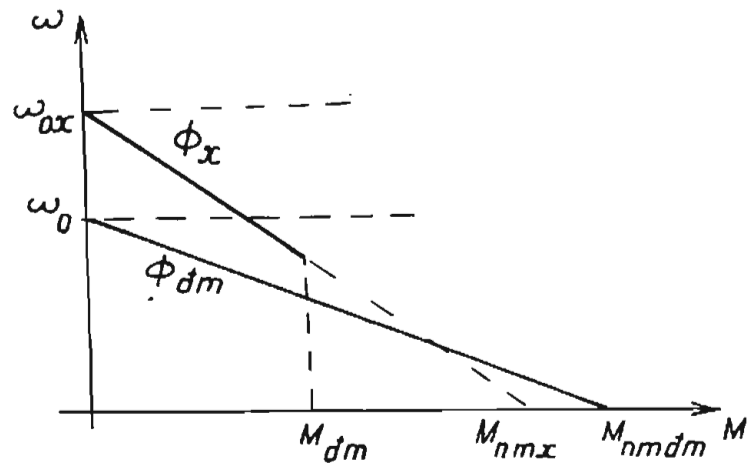


Hình 2-10. Đặc tính cơ điện khi giảm từ thông.

tự như đặc tính cơ điện nhưng thay vào giá trị I_{nm} không đổi ở đặc tính cơ điện bằng giá trị mômen ngắn mạch thay đổi

$$M_{nm} = \frac{M_{nmdm}}{x} \quad (2-21)$$

2-2.4. Khởi động và tính toán điện trở khởi động



Hình 2-11. Đặc tính cơ khi giảm từ thông.

Từ phương trình đặc tính cơ điện đã có:

$$\omega = \frac{U_u}{K\Phi} - \frac{R}{K\Phi} I_u$$

Với đặc tính tự nhiên ($R = R_u$) khi khởi động, ta thấy dòng điện khởi động ban đầu là:

$$I_{nm} = \frac{U_{dm}}{R_u}$$

Ở những động cơ công suất trung bình và lớn, R_u thường có giá trị khá nhỏ, nên dòng khởi động ban đầu (dòng ngắn mạch) $I_{nm} = (20 \div 25) \cdot I_{dm}$

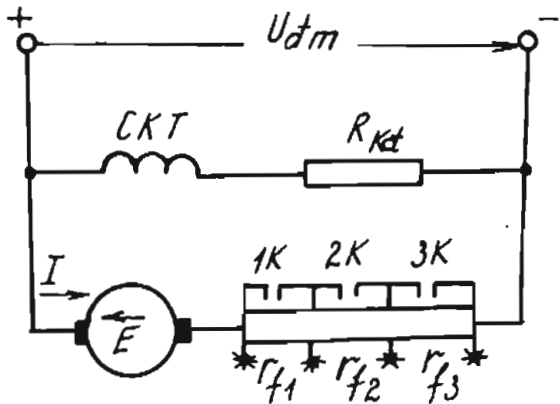
Với giá trị dòng điện khởi động lớn, sẽ không cho phép về mặt chuyển mạch và phát nóng của động cơ cũng như sụt áp trên lưới điện. Tác hại này còn nghiêm trọng hơn đối với những hệ thống cần khởi động, hãm máy nhiều lần trong quá trình làm việc.

Để hạn chế dòng điện khởi động ta có thể giảm điện áp nguồn đặt vào phần ứng động cơ điện hoặc nối thêm điện trở phụ R_f vào mạch phần ứng. Phương pháp thứ nhất được sử dụng trong những hệ thống có bộ biến đổi điện áp. Phương pháp thứ hai thường sử

dụng khi động cơ được cung cấp điện áp cố định. Sau đây ta khảo sát phương pháp khởi động dùng các điện trở phụ, còn phương pháp thứ nhất sẽ được nghiên cứu trong các chương sau.

Sơ đồ nối dây của động cơ trình bày trên H.2-12.

Trị số của điện trở phụ tổng mắc trong mạch khởi động được chọn sao cho khi khởi động ($\omega = 0$) thì dòng điện khởi động không vượt quá $2,5 I_{dm}$ để đảm bảo an toàn cho động cơ và các cơ cấu truyền động. Ngoài ra I_{nm} cũng không nên quá nhỏ khiến cho M_{nm} cũng nhỏ đi so với mômen cần. Thông thường



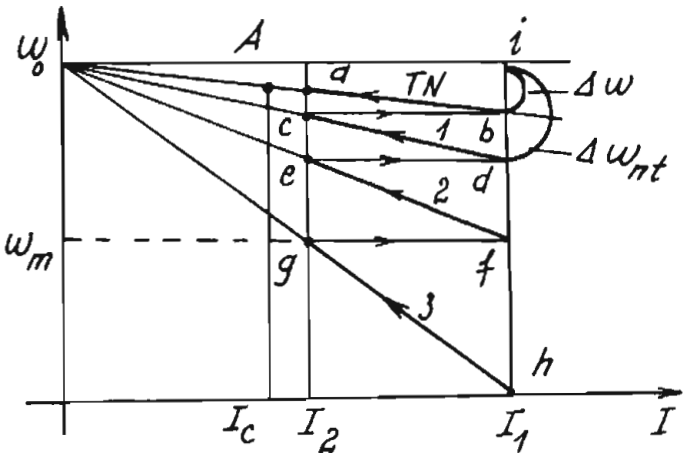
Hình 2-12. Sơ đồ đấu dây của động cơ khởi động qua 3 cấp điện trở.

$$I_{nm} = \frac{U_{dm}}{R_u + R_f} \leq (2 \div 2,5)I_{dm} \tag{2-22}$$

Khi tốc độ tăng lên dòng điện phần ứng giảm dần theo biểu thức:

$$I = \frac{U_{dm} - K\Phi\omega}{R_u + R_f} \tag{2-23}$$

Muốn cho quá trình tăng tốc độ được tiến hành đều đặn và để cho động cơ làm việc ổn định ở tốc độ cao trên đặc tính tự nhiên ta phải cắt dần các điện trở phụ. Việc cắt dần



Hình 2-13. Các đặc tính khởi động qua 3 cấp điện trở.

điện trở phụ nhờ các tiếp điểm $1K, 2K, 3K$ của các côngtắc tơ.

Quá trình khởi động động cơ sẽ làm việc trên một loạt đường đặc tính nhân tạo có độ dốc giảm dần tương ứng với việc cắt dần các điện trở phụ tại các điểm g, e, c ; cuối cùng động cơ tăng tốc độ trên đặc tính tự nhiên và làm việc ổn định tại điểm A . Ở đó dòng điện động cơ bằng dòng tải ($I = I_c$).

Muốn xác định trị số điện trở phụ khởi động có thể dùng các phương pháp sau:

a) *Phương pháp đồ thị*

– Dựa vào các thông số của động cơ vẽ đặc tính cơ tự nhiên (H.2-13).

– Chọn hai giới hạn chuyển dòng điện khởi động động cơ:

$$I_1 \leq (2 \div 2,5)I_{dm} \quad (2-24)$$

$$I_2 \geq (1,1 \div 1,3)I_{dm} \quad (2-25)$$

Lấy giá trị I_1, I_2 trên trục hoành: Từ I_1, I_2 kẻ hai đường dóng song song với trục tung cắt đường đặc tính tự nhiên tại a và b , nối ω_0 với h (I_1) ta được đặc tính khởi động đầu tiên; đặc tính này cắt đường dóng I_2 tại g . Tại g ta kẻ đường song song với trục hoành cắt đường dóng I_1 tại f . Nối ω_0 với f ta được đường đặc tính khởi động thứ hai... Cứ tiếp tục như vậy tới khi từ c kẻ đường song song với trục hoành sẽ gặp điểm b . Nếu điều kiện này không thỏa mãn ta phải chọn lại I_1 hoặc I_2 rồi vẽ lại cho tới khi đạt được. Ngoài ra đặc tính khởi động còn phải đảm bảo số cấp khởi động đã yêu cầu.

– Xác định giá trị các điện trở khởi động:

Dựa vào biểu thức của độ sụt tốc độ $\Delta\omega$ trên các đặc tính đã vẽ được ứng với một dòng điện, ví dụ với I_1 :

$$\Delta\omega_{TN} = \frac{R_u}{K\Phi} I_1, \quad \Delta\omega_{NT1} = \frac{R_u + R_{f1}}{K\Phi} I_1$$

$$\text{Lập tỉ số} = \frac{\Delta\omega_{NT1}}{\Delta\omega_{TN}} = \frac{R_u + R_{f1}}{R_u}$$

Từ đó rút ra:

$$R_{f1} = \frac{\Delta\omega_{NT1} - \Delta\omega_{TN}}{\Delta\omega_{TN}} \cdot R_u$$

Qua đồ thị ta có:

$$R_{f1} = \frac{id - ib}{i_b} \quad R_u = \frac{bd}{i_b} \quad R_u \quad (2-26)$$

Tương tự như vậy:

$$R_{f2} = \frac{if - id}{i_b} R_u = \frac{df}{i_b} R_u \quad (2-27)$$

$$R_{f3} = \frac{ih - if}{i_b} R_u = \frac{fh}{i_b} R_u \quad (2-28)$$

b) Phương pháp giải tích

Giả thiết động cơ được khởi động với m cấp điện trở phụ. Đặc tính khởi động dốc nhất là đặc tính khởi động thứ (m); ví dụ trên đồ thị H.2-13 là đặc tính 3. Các đặc tính khởi động tiếp theo sẽ là $(m - 1)$, $(m - 2)$...

Điện trở phụ ở mỗi cấp ta cũng ký hiệu là R_{f1} , R_{f2} , ... R_{fm} và điện trở tổng ứng với mỗi đặc tính là:

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= R_u + R_{f1} \\ R_2 &= R_u + R_{f1} + R_{f2} \\ R_{m-1} &= R_u + R_{f1} + R_{f2} + \dots + R_{fm-1} \\ R_m &= R_u + R_{f1} + R_{f2} + \dots + R_{fm} \end{aligned} \right\} \quad (2-29)$$

Tại điểm g trên H.2-13 ta có:

$$I_2 = \frac{U_{dm} - E_m}{R_m}$$

Tại điểm f :

$$I_2 = \frac{U_{dm} - E_m}{R_{m-1}}$$

Trong đó E_m là sức điện động của động cơ ứng với ω_m , lập tỉ số I_1/I_2 ta có:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_m}{R_{m-1}}$$

Tương tự đối với các cấp tiếp theo ta được:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_m}{R_{m-1}} = \frac{R_{m-1}}{R_{m-2}} = \dots = \frac{R_1}{R_u} = \lambda, \quad (2-30)$$

$$\lambda = \frac{I_1}{I_2} \text{ là bội số dòng điện khởi động.}$$

Ta lần lượt rút ra:

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \lambda R_u \\ R_2 &= \lambda R_1 = \lambda^2 R_u \\ R_3 &= \lambda R_2 = \lambda^3 R_u \\ &\dots \\ R_m &= \lambda R_{m-1} = \lambda^m R_u \end{aligned} \right\} \quad (2-31)$$

Theo (2-31) ta thấy:

– Nếu biết số cấp điện trở khởi động m và R_m, R_u ta tính được bội số dòng điện khởi động:

$$\lambda = \sqrt[m]{\frac{R_m}{R_u}} = \sqrt[m]{\frac{U_{dm}}{R_u I_1}}, \quad (2-32)$$

trong đó: $R_m = \frac{U_{dm}}{I_1}$

Nếu tính trong hệ đơn vị tương đối:

$$\lambda = \sqrt[m]{\frac{1}{R^* I_1^*}} = \sqrt[m]{\frac{1}{R_u^* M_1^*}} \quad (2-33)$$

trong đó:

$$R_u^* = \frac{R_u}{R_{cb}}, \quad I_1^* = \frac{I_1}{I_{dm}} = \frac{M_1}{M_{dm}} = M_1^* \text{ (với } \Phi = \Phi_{dm}).$$

– Nếu biết λ , R_m , R_u ta xác định được số cấp điện trở khởi động m :

$$m = \frac{\lg \frac{R_m}{R_u}}{\lg \lambda} = \frac{\lg \frac{1^*}{R_u^* I_1^*}}{\lg \lambda} = \frac{\lg \frac{1}{R_u^* M_1^*}}{\lg \lambda} \quad (2-34)$$

Trị số từng cấp điện trở khởi động tính như sau:

$$\left. \begin{aligned} R_{f1} &= R_1 - R_u = \lambda R_u - R_u = (\lambda - 1)R_u \\ R_{f2} &= R_2 - R_1 = \lambda^2 R_u - \lambda R_u = \lambda(\lambda - 1)R_u \\ &\dots\dots\dots \\ R_{fm-1} &= R_{m-1} - R_{m-2} = \lambda^{m-1} R_u - \lambda^{m-2} R_u = \\ &= \lambda^{m-2}(\lambda - 1)R_u \\ R_{fm} &= R_m - R_{m-1} = \lambda^m R_u - \lambda^{m-1} R_u = \lambda^{m-1}(\lambda - 1)R_u \end{aligned} \right\} \quad (2-35)$$

Như vậy xác định điện trở khởi động bằng phương pháp giải tích có thể tiến hành trong các trường hợp sau đây:

+ Khi cho trước số cấp điện trở khởi động m và yêu cầu khởi động nhanh (mở máy cưỡng bức)

– Chọn giới hạn dòng điện khởi động I_1 là cực đại cho phép: $I_1 = 2,5I_{dm}$ và tính

$$R_m = \frac{U_{dm}}{I_1}$$

– Theo biểu thức (2-33) tính λ

– Theo các biểu thức (2-35) xác định trị số các cấp điện trở khởi động cần thiết: R_{f1} , R_{f2} , $\dots$, R_{fm} .

+ Khi cho trước số cấp điện trở khởi động m , chế độ khởi động bình thường:

– Chọn giới hạn dòng điện chuyển khi khởi động:

$$I_2 = (1,1 \div 1,3)I_{dm}$$

– Từ (2-32) hoặc (2-33) thay $I_1 = I_2$ hoặc $I_1^* = I_2^* = \lambda M_2^*$ và biến đổi ta sẽ tính được λ :

$$\lambda = \sqrt[m+1]{\frac{U_{dm}}{R_u I_2}} \quad (2-36)$$

$$\text{hoặc } \lambda = \sqrt[m+1]{\frac{1}{M^* I_2^*}} = \sqrt[m+1]{\frac{1}{R_u^* M^*}} \quad (2-37)$$

– Theo biểu thức (2-35) xác định trị số các cấp điện trở khởi động $R_{f1}, R_{f2}, \dots, R_{fm}$.

+ *Khi cần xác định số cấp điện trở khởi động m và các điện trở khởi động theo các điều kiện khởi động cho trước.*

– Dựa vào các yêu cầu của truyền động và khởi động chọn các giá trị của I_1, I_2, M_1, M_2 .

– Theo biểu thức (2-32) tính λ

– Theo biểu thức (2-34) tính số cấp điện trở khởi động m . Nếu m tính được không phải là số nguyên thì phải chọn lại $I_1 M_1$ hoặc $I_2 M_2$ và tính lại cho đến khi m là số nguyên.

– Theo các biểu thức (2-35) xác định trị số điện trở ở mỗi cấp.

2-2.5. Đặc tính cơ trong các trạng thái hãm

Hãm là trạng thái mà động cơ sinh ra mômen quay ngược chiều tốc độ quay. Trong tất cả các trạng thái hãm, động cơ đều làm việc ở chế độ máy phát.

Động cơ điện một chiều kích từ độc lập có ba trạng thái hãm: Hãm tái sinh, hãm ngược và hãm động năng (xem §1-4).

a) *Hãm tái sinh (hãm trả năng lượng về lưới).*

Hãm tái sinh xảy ra khi tốc độ quay của động cơ lớn hơn tốc độ không tải lý tưởng. Khi hãm tái sinh $E_u > U_u$, động cơ làm việc như một máy phát điện song song với lưới. So với chế độ động cơ, dòng điện và mômen hãm đã đổi chiều và được xác định theo biểu thức:

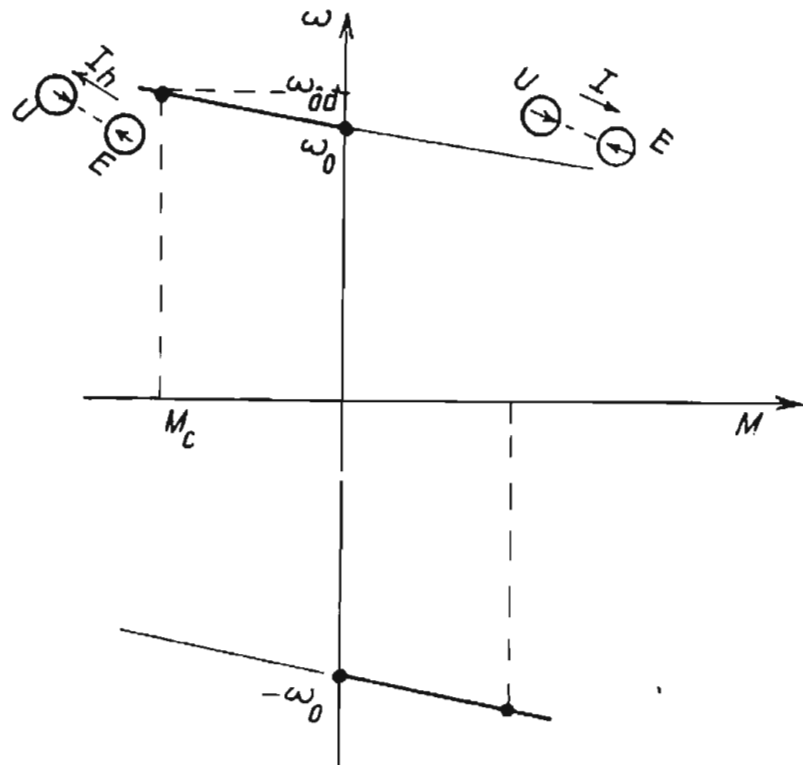
$$I_h = \frac{U_u - E_u}{R} = \frac{K\Phi\omega_o - K\Phi\omega}{R} < 0 \quad (2-38)$$

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

Trị số hãm lớn dần lên cho đến khi cân bằng với mômen phụ tải của cơ cấu sản xuất thì hệ thống làm việc ổn định với tốc độ $\omega_{od} > \omega_0$.

Vì sơ đồ đấu dây của mạch động cơ vẫn không thay đổi nên phương trình đặc tính cơ tương tự như (2-7) nhưng mômen có giá trị âm.

Đường đặc tính cơ ở trạng thái hãm tái sinh nằm trong góc phần tư thứ hai và thứ tư của mặt phẳng tọa độ.



Hình 2-14. Đặc tính cơ hãm tái sinh của động cơ kích từ độc lập.

Trong trạng thái hãm tái sinh, dòng điện hãm đổi chiều và công suất được đưa trả về lưới điện có giá trị $P = (E - U)I$. Đây là phương pháp hãm kinh tế nhất vì động cơ sinh ra điện năng hữu ích.

Trong thực tế, cơ cấu nâng hạ của cần trục, khi nâng tải động cơ được đấu vào nguồn theo cực tính thuận và làm việc trên đặc tính cơ nằm trong góc phần tư thứ I. Khi muốn hạ tải ta phải đảo chiều điện áp đặt vào phần ứng động cơ. Lúc này nếu mômen do trọng tải gây ra lớn hơn mômen ma sát trong các bộ phận chuyển động của cơ cấu, động cơ điện sẽ làm việc ở trạng thái hãm tái sinh. Trên H.2-15: Khi hạ tải, để hạn chế dòng khởi động ta đóng thêm điện trở phụ vào mạch phần ứng. Tốc độ động cơ tăng dần lên, khi tốc độ gần đạt tới giá trị ω_0 ta cắt điện trở phụ, động cơ tăng tốc độ trên

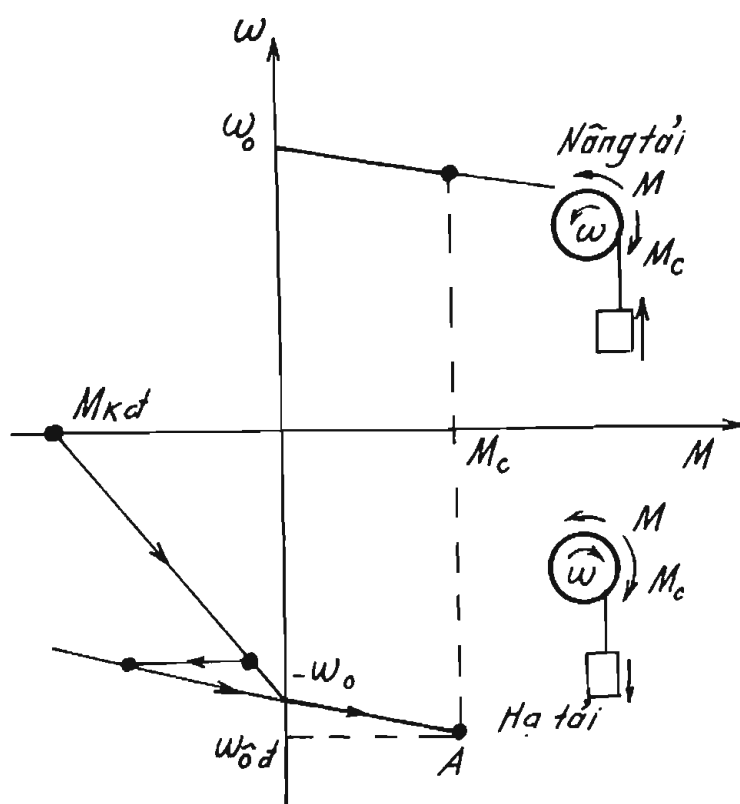
đường đặc tính tự nhiên. Khi tốc độ vượt quá $\omega > \omega_0$, mômen điện từ của động cơ đổi dấu trở thành mômen hãm đến điểm A mômen $M_h = M_c$, tải trọng được hạ với tốc độ ổn định ω_{od} , trong trạng thái hãm tái sinh.

b) *Hãm ngược:*
Trạng thái hãm ngược của động cơ xảy ra khi phần ứng dưới tác dụng của động năng tích lũy trong các bộ phận chuyển động hoặc do mômen thế năng quay ngược chiều với mômen điện từ của động cơ. Mômen sinh ra bởi động cơ, khi đó chống lại sự chuyển động của cơ cấu sản xuất.

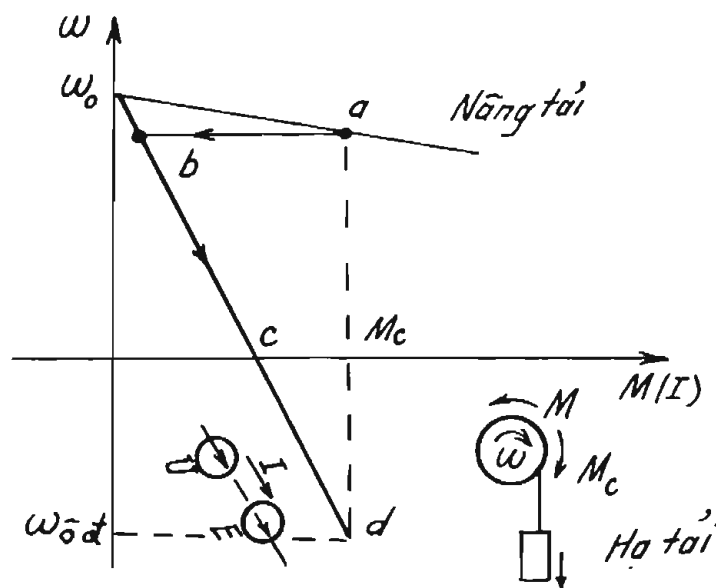
Có hai trường hợp hãm ngược:

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

Giả sử động cơ đang làm việc nâng



Hình 2-15. Đặc tính hãm tái sinh khi hạ tải trọng của động cơ điện một chiều kích từ độc lập.



Hình 2-16. Đặc tính cơ khi hãm ngược khi đưa R_f vào mạch phần ứng với tải thế năng.

tải với tốc độ xác lập ứng với điểm a . Ta đưa một điện trở phụ đủ lớn vào mạch phần ứng, động cơ sẽ chuyển sang làm việc ở điểm b trên đặc tính biến trở.

Tại điểm b mômen do động cơ sinh ra nhỏ hơn mômen cản nên động cơ giảm tốc độ nhưng tải vẫn theo chiều nâng lên. Đến điểm c , tốc độ bằng 0 nhưng vì mômen động cơ nhỏ hơn mômen tải nên dưới tác động của tải trọng, động cơ quay theo chiều ngược lại. Tải trọng được hạ xuống với tốc độ tăng dần. Đến điểm d mômen động cơ cân bằng với mômen cản nên hệ ổn định với tốc độ hạ không đổi ω_{od} , cd là đoạn đặc tính hãm ngược. Khi hãm ngược vì tốc độ đổi chiều, sức điện động đổi dấu nên:

$$I_h = \frac{U_u + E_u}{R_u + R_f} = -\frac{U + K\Phi\omega}{R_u R_f} \quad (2-40)$$

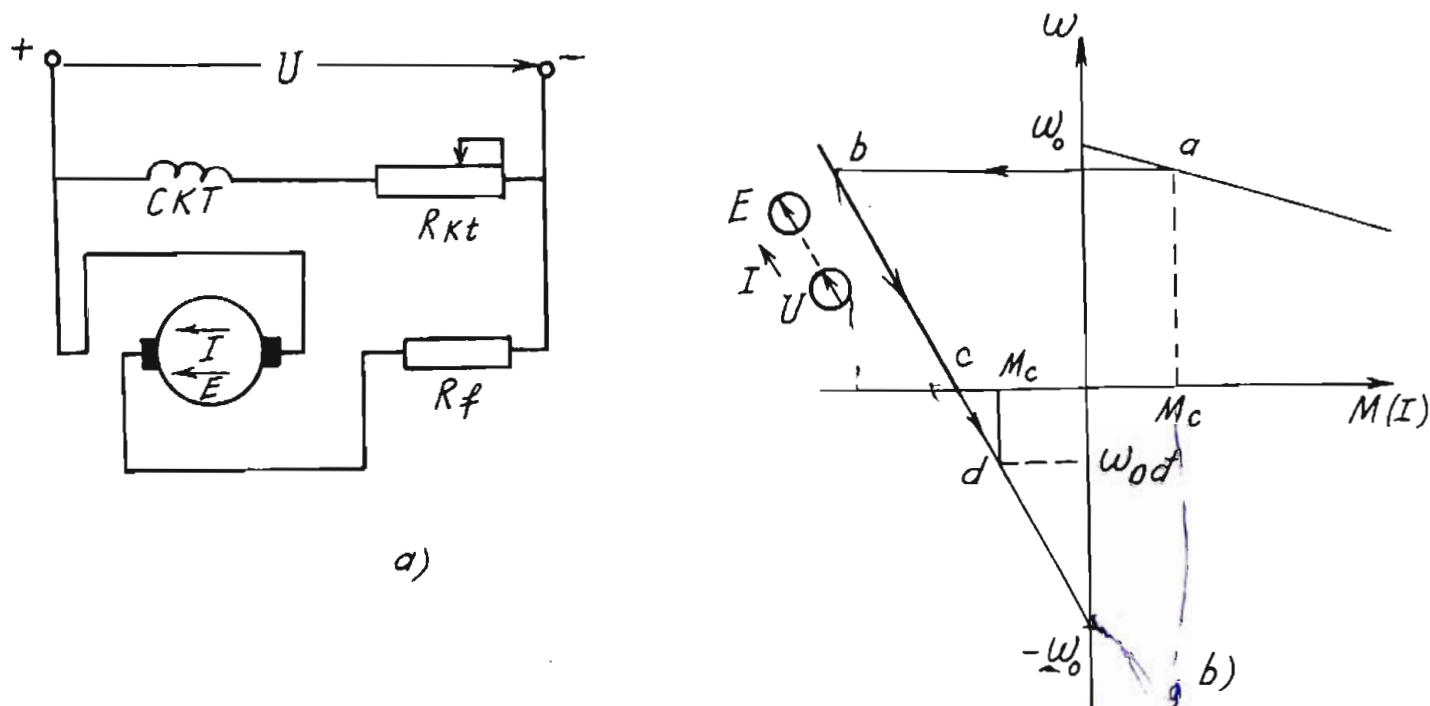
$$M = K\Phi I_h. \quad (2-41)$$

Như vậy ở đặc tính hãm ngược sức điện động tác dụng cùng chiều với điện áp lưới. Động cơ làm việc như một máy phát nối tiếp với lưới điện biến điện năng nhận từ lưới và cơ năng trên trục thành nhiệt năng đốt nóng điện trở tổng của mạch phần ứng vì vậy tổn thất năng lượng lớn.

Vì sơ đồ nối dây của động cơ không thay đổi, nên phương trình đặc tính cơ là phương trình đặc tính biến trở.

– *Đảo chiều điện áp phần ứng:*

Giả sử động cơ đang làm việc tại điểm a trên đặc tính tự nhiên với tải M_c , ta đổi chiều điện áp phần ứng và đưa thêm vào điện trở phụ R_f trong mạch. Động cơ chuyển sang làm việc ở điểm b trên đặc tính biến trở. tại b mômen đã đổi chiều chống lại chiều quay của động cơ nên tốc độ giảm theo đoạn bc . Tại c tốc độ bằng không, nếu ta cắt phần ứng khỏi điện áp nguồn thì động cơ sẽ dừng lại, còn nếu vẫn giữ điện áp nguồn đặt vào động cơ và tại điểm c mômen động cơ lớn hơn mômen cản M_c thì động cơ sẽ quay ngược lại và làm việc ổn định tại điểm d . Đoạn bc trên H.2-17 là đặc tính hãm ngược. Dòng điện hãm được tính:



Hình 2-17. Hãm ngược bằng phương pháp đảo cực tính điện áp đặt vào phần ứng động cơ.
a) Sơ đồ đấu dây; b) Đặc tính cơ.

$$I_h = \frac{-U_u - E_u}{R_u + R_f} = \left[\frac{U_u + E_u'}{R_u + R_f} \right] \quad (2-42)$$

$$M_h = K\Phi I_h. \quad (2-43)$$

Biểu thức (2-42) biểu thị dòng điện I_h có chiều ngược với chiều làm việc ban đầu và dòng điện hãm này có thể khá lớn; do đó điện trở phụ đưa vào phải có giá trị đủ lớn hạn chế dòng điện hãm ban đầu I_{hd} trong phạm vi cho phép:

$$I_{hd} \leq (2 \div 2,5)I_{dm},$$

và phương trình đặc tính cơ có dạng:

$$\omega = - \frac{U_u}{K\Phi} - \frac{R_u + R_f}{(K\Phi)^2} M \quad (2-44)$$

c) Hãm động năng

Hãm động năng là trạng thái động cơ làm việc như một máy phát

mà năng lượng cơ học của động cơ đã tích lũy được trong quá trình làm việc trước đó biến thành điện năng tiêu tán trong mạch hãm dưới dạng nhiệt.

– Hãm động năng kích từ độc lập:

Khi động cơ đang quay muốn thực hiện hãm động năng kích từ độc lập ta cắt phần ứng động cơ khỏi lưới điện một chiều, và đóng vào một điện trở hãm, còn mạch kích từ vẫn nối với nguồn như cũ. Mạch điện động cơ khi hãm động năng được trình bày trên H.2-18a.

Tại thời điểm ban đầu, tốc độ động cơ vẫn có giá trị ω_{hd} nên

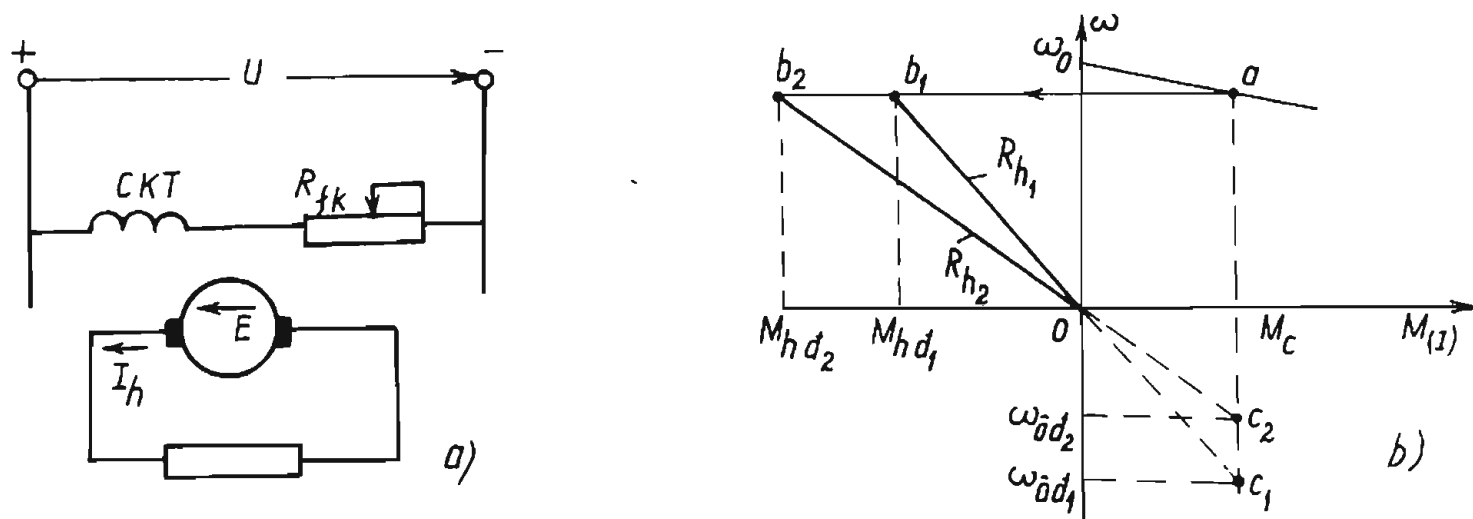
$$E_{hd} = K\Phi\omega_{hd} , \quad (2-45).$$

và dòng điện hãm ban đầu:

$$I_{hd} = - \frac{E_{hd}}{R_u + R_h} = - \frac{K\Phi\omega_{hd}}{R_u + R_h} . \quad (2-46)$$

Tương ứng có mômen hãm ban đầu:

$$M_{hd} = K\Phi I_{hd} < 0 . \quad (2-47)$$



Hình 2-18. Sơ đồ hãm động năng kích từ độc lập của động cơ điện một chiều kích từ độc lập.

a) Sơ đồ điện khi hãm; b) Đặc tính cơ hãm.

Biểu thức (2-46) và (2-47) chứng tỏ dòng hãm I_{hd} và M_{hd} ngược chiều với tốc độ ban đầu của động cơ khi hãm động năng $U_u = 0$ nên ta có các phương trình đặc tính sau:

$$\omega = - \frac{R_u + R_h}{K\Phi} I_u, \quad (2-48)$$

$$\omega = - \frac{R_u + R_h}{(K\Phi)^2} M. \quad (2-49)$$

Đây là các phương trình đặc tính cơ điện và đặc tính cơ khi hãm động năng kích từ độc lập được biểu diễn trên H.2-18b. ta cũng nhận thấy rằng:

Khi $\Phi = \text{const}$ thì độ cứng của đặc tính cơ hãm phụ thuộc R_h . Khi R_h càng nhỏ, đặc tính cơ càng cứng, mômen hãm càng lớn, hãm càng nhanh.

Tuy nhiên cần chọn R_h sao cho dòng hãm ban đầu nằm trong giới hạn cho phép: $I_{hd} \leq (2 \div 2,5)I_{dm}$.

Trên đồ thị đặc tính cơ hãm động năng ta thấy rằng với mômen cản M_c là phản kháng thì động cơ sẽ dừng hẳn, đặc tính hãm động năng là đoạn b_1o hoặc b_2o . Với mômen cản M_c là thế năng thì dưới tác động của tải sẽ kéo động cơ quay theo chiều ngược lại đến làm việc ổn định tại điểm $M = M_c$. Đoạn b_1C_1 hoặc b_2C_2 cũng là đặc tính hãm động năng.

Khi hãm động năng kích từ độc lập, năng lượng chủ yếu được tạo ra do động năng của động cơ tích lũy được nên công suất tiêu tổn chỉ nằm trong mạch kích từ

$$P_{kldm} = (1 \div 5)\% P_{dm}$$

Phương trình cân bằng công suất khi hãm động năng:

$$E_u I_h = (R_u + R_h) I_h^2.$$

– Hãm động năng tự kích:

Nhược điểm của hãm động năng kích từ độc lập là nếu mất điện lưới thì không thực hiện hãm được do cuộn dây kích từ vẫn phải nối

với nguồn. Muốn khắc phục nhược điểm này người ta thường sử dụng phương pháp hãm động năng tự kích từ.

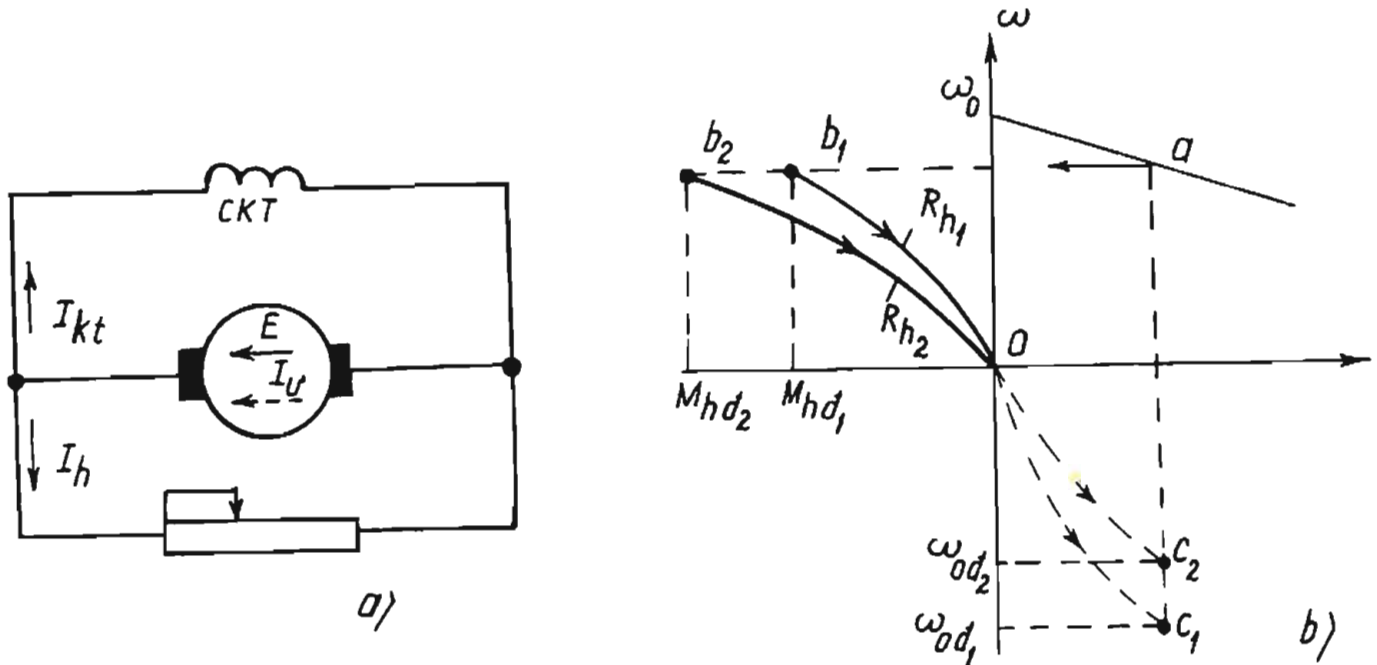
Hãm động năng tự kích xảy ra khi động cơ đang quay ta cắt cả phần ứng lẫn cuộn kích từ khỏi lưới điện để đóng vào một điện trở hãm. Sơ đồ nguyên lý thể hiện trên H.2-19a. Chú ý chiều dòng điện kích từ vẫn phải giữ không đổi.

Từ sơ đồ nguyên lý ta có: $I_u = I_h + I_{kt}$

$$I_u = \frac{-E}{R_u + \frac{R_{kt} \cdot R_h}{R_{kt} + R_h}} = \frac{-K\Phi\omega}{R_u + \frac{R_{kt} \cdot R_h}{R_{kt} + R_h}}$$

Và các phương trình đặc tính là:

$$\omega = - \frac{R_u + \frac{R_{kt} \cdot R_h}{R_{kt} + R_h}}{K\Phi} I_u, \quad (2-50)$$



Hình 2-19. Sơ đồ hãm động năng tự kích của động cơ điện một chiều kích từ độc lập.
a) Sơ đồ nguyên lý; b) Đặc tính cơ hãm.

$$\text{và} \quad \omega = - \frac{R_u + \frac{R_{kt} \cdot R_h}{R_{kt} + R_h}}{(K\Phi)^2} M. \quad (2-51)$$

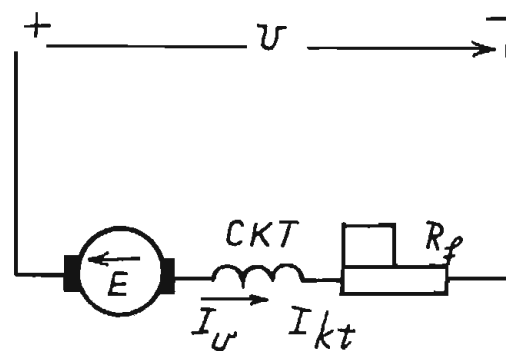
Trong quá trình hãm tốc độ giảm dần, dòng kích từ giảm dần và do đó từ thông Φ giảm dần và là hàm số của tốc độ. Vì vậy các đặc tính cơ khi hãm có dạng như đường đặc tính không tải của máy phát điện tự kích và phi tuyến, như trên H.2-19b.

So với phương pháp hãm ngược, hãm động năng có hiệu quả kém hơn khi chúng có cùng tốc độ ban đầu và cùng mômen cản M_c . Tuy nhiên hãm động năng ưu việt hơn về mặt năng lượng đặc biệt là hãm động năng tự kích vì không tiêu thụ năng lượng từ lưới nên phương pháp hãm này có khả năng hãm khi có sự cố mất điện lưới.

2-3. ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU KÍCH TỪ NỐI TIẾP

Đặc điểm của động cơ một chiều kích từ nối tiếp là cuộn kích từ mắc nối tiếp với cuộn dây phần ứng, nên cuộn kích từ có tiết diện lớn, điện trở nhỏ, số vòng ít, chế tạo dễ dàng.

Sơ đồ nguyên lý động cơ một chiều kích từ nối tiếp được vẽ trên H.2-20. Vì dòng kích từ cũng là dòng phần ứng nên từ thông của động cơ biến đổi theo dòng điện phần ứng.



Hình 2-20. Sơ đồ nguyên lý động cơ một chiều kích từ nối tiếp.

2-3.1. Phương trình đặc tính cơ

Từ sơ đồ nguyên lý H.2-20, ta có:

$$U_u = E_u + I_u R_u = K\Phi\omega + I_u R_u$$

Với $R_u = r_u + r_{ctf} + r_{cl} + r_{kt}$.

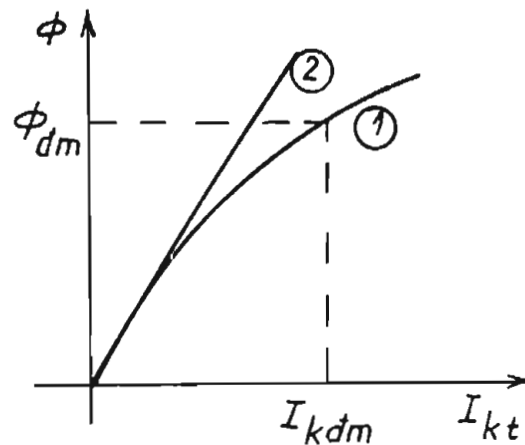
Sau khi biến đổi ta nhận được:

$$\omega = \frac{U_u}{K\Phi} - \frac{R_u}{K\Phi} I_u \quad (2-52)$$

$$\omega = \frac{U_u}{K\Phi} - \frac{R_u}{(K\Phi)^2} M \quad (2-53)$$

Trong các phương trình trên từ thông Φ biến đổi phụ thuộc dòng điện trong mạch kích từ theo đặc tính từ hóa (1) H.2-21.

Để đơn giản khi thành lập phương trình các đặc tính ta giả thiết từ thông phụ thuộc tuyến tính với dòng điện kích từ như đường (2)



Hình 2-21. Đặc tính từ hóa của động cơ một chiều kích từ nối tiếp.

$$\Phi = C.I_{kt}, \quad (2-54)$$

với C là hệ số tỉ lệ.

Nếu phản ứng phần ứng được bù đủ:

$$\Phi = C.I_u. \quad (2-55)$$

Thế vào phương trình (2-52) ta nhận được:

$$\omega = \frac{U_u}{K.CI_u} - \frac{R}{K.C} = - \frac{A_1}{I} - B, \quad (2-56)$$

trong đó đặt $A_1 = \frac{U_u}{K.C}$, $B = \frac{R}{K.C}$.

Ta cũng có:

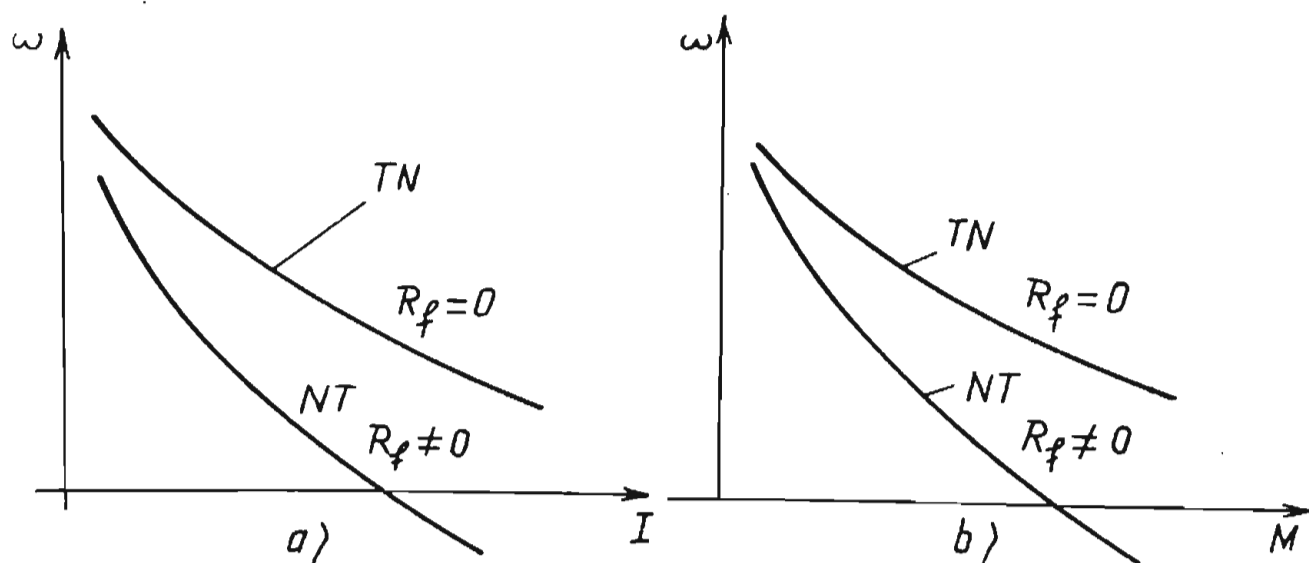
$$I_u = \sqrt{\frac{M}{K.C}} \quad (2-57)$$

Thay (2-57) vào (2-56) ta được:

$$\omega = \frac{A_1 \sqrt{K.C}}{\sqrt{M}} - B = \frac{A_2}{\sqrt{M}} - B , \quad (2-58)$$

trong đó: $A_2 = A_1 \sqrt{K.C}$.

Biểu thức (2-56) là phương trình đặc tính cơ điện của động cơ và (2-58) là phương trình đặc tính cơ của động cơ. Dạng của đặc tính này được biểu diễn trên H.2-22a,b). Ta thấy các đặc tính này có dạng hyperbol và mềm ở phạm vi dòng điện có giá trị nhỏ hơn định mức. Ở vùng dòng điện lớn, do mạch từ bão hòa nên từ thông hầu như không đổi và đặc tính có dạng gần tuyến tính.



Hình 2-22. a) Đặc tính cơ điện của động cơ một chiều kích từ nối tiếp; b) Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp.

Giả thiết động cơ không tải ($I = 0$ hoặc $M = 0$) thì tốc độ không tải lý tưởng sẽ là vô cùng lớn. Nhưng thực tế do có ma sát và các tổn thất phụ và động cơ có từ dư: $\Phi_{du} = (2 \div 10) \Phi'_{dm}$ nên khi không tải thì tốc độ không tải của động cơ vẫn có một giá trị là:

$$\omega_{ot} = \frac{U_u}{K\Phi_{du}}.$$

Tốc độ ω_{ot} này thường rất lớn so với tốc độ định mức, nên thực tế không cho phép động cơ một chiều kích từ nối tiếp làm việc ở chế độ không tải.

Ngoài ra nhìn vào đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ nối tiếp và cấu tạo của nó ta có nhận xét sau:

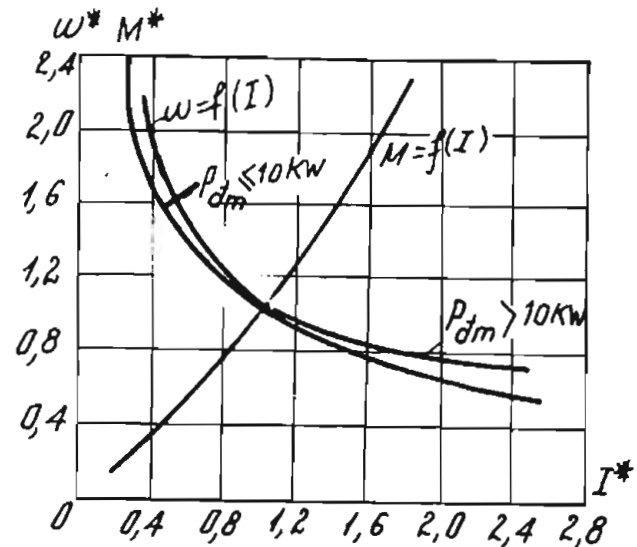
- Đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ nối tiếp mềm và độ cứng thay đổi theo phụ tải. Do đó thông qua tốc độ của động cơ ta có thể biết được sự thay đổi của phụ tải. Tuy nhiên không nên sử dụng động cơ này cho những truyền động có yêu cầu ổn định cao mà nên sử dụng nó cho những truyền động có yêu cầu tốc độ thay đổi theo tải.

- Động cơ kích từ nối tiếp có khả năng quá tải lớn về mômen. Nhờ cuộn kích từ nối tiếp nên ở vùng dòng điện phần ứng lớn hơn định mức thì từ thông động cơ lớn hơn định mức, do đó mômen của nó tăng nhanh hơn so với sự tăng của dòng điện. Như vậy với mức độ quá dòng điện như nhau thì động cơ một chiều kích từ nối tiếp có khả năng quá tải về mômen và khả năng khởi động tốt hơn động cơ một chiều kích từ độc lập. Nhờ ưu điểm đó mà động cơ kích từ nối tiếp rất thích hợp cho những truyền động làm việc thường có quá tải lớn và yêu cầu mômen khởi động lớn như máy nâng vận chuyển, máy cán thép...

- Vì từ thông của động cơ chỉ phụ thuộc vào dòng điện phần ứng nên khả năng chịu tải của động cơ không bị ảnh hưởng bởi sự sụt áp của lưới điện. Loại động cơ này thích hợp cho những truyền động dùng trong ngành giao thông có đường dây cung cấp điện dài.

2-3.2 Cách vẽ đặc tính cơ

Do quan hệ $\phi = f(I_u)$ là phi tuyến nên để vẽ các đặc tính cơ điện và đặc tính cơ của động cơ người ta sử dụng phương pháp đồ thị giải tích dựa vào các đường cong thực nghiệm đã cho. Vì các động cơ một chiều kích từ nối tiếp cùng loại đều có khe hở không khí và mức độ bão hòa từ không khác nhau nhiều nên các quan hệ giữa tốc độ ω , mômen M với dòng điện I theo đơn vị tương đối gần như trùng nhau. Người ta gọi các quan hệ $\omega^* = f(I^*)$, $M^* = f(I^*)$ là các đặc tính vạn năng và được xác định bằng thực nghiệm. Các đặc tính này biểu diễn trên H.2-23.

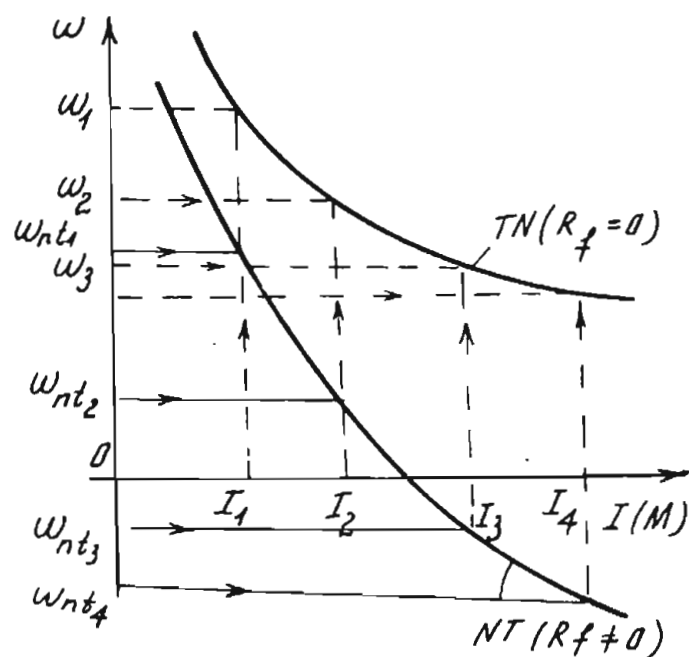


Hình 2-23: Đặc tính vạn năng của động cơ một chiều kích từ nối tiếp.

a) Phương pháp vẽ đặc tính tự nhiên từ các đặc tính vạn năng

Với mỗi động cơ một chiều kích từ nối tiếp ta biết các trị số của P_{dm} , I_{dm} , η_{dm} , v.v.. Muốn vẽ đặc tính tự nhiên ta tiến hành như sau:

Lấy các giá trị tùy ý của dòng điện tương đối $I_1, I_2 \dots I_n$. Dựa vào các đặc tính vạn năng ta tra



Hình 2-24: Cách vẽ đặc tính tự nhiên và nhân tạo của động cơ một chiều kích từ nối tiếp.

được các trị số tương ứng của tốc độ và mômen tương đối: $\omega^*_1, \omega^*_2 \dots \omega^*_n$ và $M^*_1, M^*_2 \dots M^*_n$. Tính đổi các đại lượng tương đối ra đại lượng tuyệt đối theo biểu thức:

$$I = I^* . I_{dm}; \quad \omega = \omega^* . \omega_{dm}; \quad M = M^* . M_{dm}$$

Bảng 2-1

I^*	I^*_1	I^*_2	I^*_3	I^*_4	I^*_n
$I(A)$	I_1	I_2	I_3	I_4	I_n
ω^*	ω^*_1	ω^*_2	ω^*_3	ω^*_4	ω^*_n
$\omega(rad/s)$	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_n
M^*	M^*_1	M^*_2	M^*_3	M^*_4	M^*_n
$M(Nm)$	M_1	M_2	M_3	M_4	M_n

Dựa vào các kết quả tính được trên bảng ta vẽ được đặc tính cơ điện tự nhiên $\omega = f(I)$ và đặc tính cơ tự nhiên $\omega = f(M)$ như trên H.2-24.

b) Phương pháp vẽ đặc tính biến trở

Từ phương trình đặc tính cơ điện tự nhiên ta có:

$$\omega_{TN} = \frac{U_u - I_u R_u}{K\Phi} .$$

Từ phương trình đặc tính cơ nhân tạo ta cũng có:

$$\omega_{NT} = \frac{U_u - I_u (R_u + R_f)}{K\Phi} .$$

Nếu xét ở cùng một dòng điện thì từ thông trong hai phương trình trên là như nhau nên ta có:

$$\omega_{NT} = \omega_{TN} \left[\frac{U_u - I_u (R_u + R_f)}{U_u - I_u R_u} \right] \tag{2-59}$$

Từ (2-59) và ứng với các giá trị $I_1, I_2 \dots I_n$ ta tính được $\omega_{NT1}, \omega_{NT2}, \dots, \omega_{NTn}$ với R_f đã biết, và ghi tiếp kết quả tính này vào bảng 2-1. Căn cứ vào các số liệu này ta vẽ được đường đặc tính cơ điện nhân tạo như H.2-24.

2-3.3 Khởi động và xác định điện trở khởi động

Tương tự như trường hợp động cơ một chiều kích từ độc lập, để hạn chế dòng điện khởi động ta cũng đưa thêm điện trở phụ vào mạch phản ứng. Sơ đồ nguyên lý và đặc tính khởi động được biểu diễn trên H.2-25.

Để xác định các cấp điện trở khởi động ta có thể tuyến tính hóa các đoạn đặc tính khởi động.

Giả sử đã vẽ được đồ thị các đặc tính khởi động theo điều kiện đặt ra tương tự như với động cơ một chiều kích từ độc lập. Ứng với hai giá trị I_1 và I_2 trên mỗi đặc tính khởi động ta kẻ các đường thẳng ab, cd, ef, gh . Chúng sẽ đồng quy tại điểm X . Điều đó được chứng minh như sau:

Xét với giá trị dòng điện I_1 , trên đặc tính cơ điện tự nhiên sẽ có tốc độ:

$$\omega_{TN1} = \frac{U_{dm} - I_{u1} R_u}{K\Phi_1} \quad (2-60)$$

Trên đặc tính cơ điện nhân tạo sẽ có tốc độ:

$$\omega_{NT1} = \frac{U_{dm} - I_u (R_{u1} + R_f)}{K\Phi_1} \quad (2-61)$$

$$\omega_{TN1} - \omega_{NT1} = \frac{1}{K\Phi_1} R_f \equiv bd.$$

Tương tự với dòng điện I_2 ta có:

$$\omega_{TN2} - \omega_{TN1} = \frac{1}{K\Phi_2} \equiv ac$$

Ta đặt:

$$A = \frac{1}{K\Phi_1} \text{ và } B = \frac{1}{K\Phi_2}$$

Chứng minh tương tự với các đặc tính nhân tạo còn lại ta được kết quả tương ứng:

$$\text{Khi } I_1 = \text{const} \quad I_2 = \text{const}$$

$$bd = AR_{f1} \quad ac = BR_{f1}$$

$$df = AR_{f2} \quad ce = BR_{f2}$$

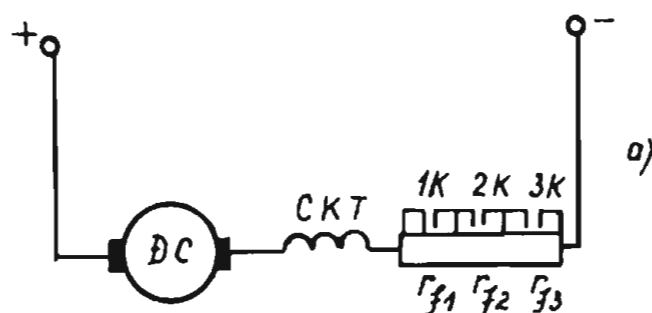
$$fh = AR_{f3} \quad eg = BR_{f3}$$

Từ đó suy ra các đẳng thức:

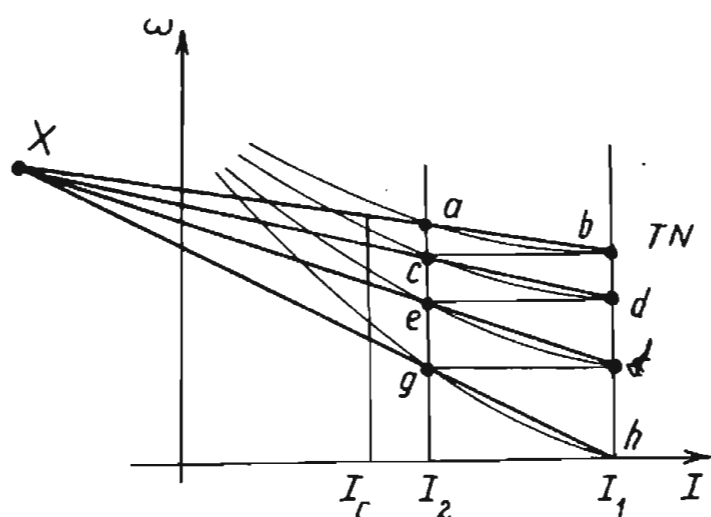
$$\frac{bd}{ac} = \frac{A}{B} ;$$

$$\frac{df}{ce} = \frac{A}{B} ;$$

$$\frac{fh}{cg} = \frac{A}{B} .$$



a)



b)

Hình 2-25: a) Sơ đồ nguyên lý;
b) Các đặc tính khởi động.

Các đẳng thức trên chứng tỏ rằng các đường thẳng ab , cd , ef , gh phải đồng quy tại một điểm X .

Như vậy các đặc tính khởi động sau khi đã tuyến tính hóa có dạng hình tia như trên H.2-25. Quá trình xây dựng đặc tính khởi động và xác định trị số điện trở khởi động được tiến hành theo các bước sau:

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

2. Chọn dòng điện giới hạn $I_1 \leq (2 \div 2,5)I_{dm}$ và tính điện trở tổng của mạch phần ứng khi khởi động:

$$R = \frac{U_{dm}}{I_1}.$$

3. Chọn dòng điện chuyển khi khởi động:

$$I_2 = (1,1 \div 1,3) I_{dm}$$

Dóng I_2 lên đặc tính cơ tự nhiên có giá trị $\omega_{TN2}(a)$ từ đó xác định giảm (g) trên đặc tính khởi động ứng với giá trị dòng I_2 :

$$\omega_{NT2} = \omega_{TN2} \frac{U_{dm} - I_2 R}{U_{dm} - I_2 R_u}.$$

Kẻ đường thẳng qua gh , trên đặc tính tự nhiên kẻ đường thẳng qua ba . Hai đường này cắt nhau tại điểm X .

4. Từ A dựng đường đặc tính khởi động hình tia thỏa mãn điều kiện:

- Bảo đảm đúng số cấp khởi động yêu cầu
- Từ điểm c kẻ đường song song với trục hoành phải cắt đặc tính tự nhiên đúng ở điểm b .

Nếu không thỏa mãn điều kiện trên ta phải chọn lại giá trị I_1, I_2 để xây dựng lại đặc tính khởi động.

5. Tính điện trở khởi động:

Gọi điện trở phụ mắc vào mạch phần ứng khi khởi động là R_f . Ta có $R_f = R - R_u$

Như vậy điện trở khởi động trong từng cấp là:

$$\begin{aligned} R_{f1} &= \frac{bd}{bh} R_f \\ R_{f2} &= \frac{df}{bh} R_f \\ R_{f3} &= \frac{fh}{bh} R_f. \end{aligned} \tag{2-62}$$

2-3.4 Trạng thái hãm của động cơ kích từ nối tiếp

Do đặc điểm của động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp có tốc độ ω_{01} rất lớn nên dòng cơ chỉ thực hiện hãm ngược và hãm động năng chứ không có trạng thái hãm tái sinh.

Phương pháp hãm ngược và hãm động năng của động cơ một chiều kích từ nối tiếp cũng giống như ở động cơ một chiều kích từ độc lập.

a) Trạng thái hãm ngược

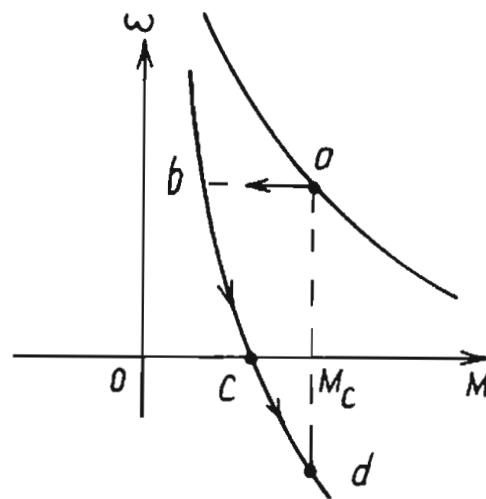
– Hãm ngược bằng cách đưa R_f lớn vào động cơ. Đặc tính cơ khi hãm chính là đặc tính biến trở. Ứng với tải thế năng, đoạn đặc tính cd chính là đặc tính hãm ngược. Dòng điện hãm ngược được tính như sau:

$$I_h = \frac{U_{dm} + K\Phi\omega}{R_u + R_f} \quad (2-63)$$

Đặc tính cơ hãm ngược với R_f trong mạch được trình bày trên H.2-26.

– Hãm ngược bằng đảo chiều điện áp đặt vào phần ứng.

Sơ đồ nguyên lý và đặc tính cơ khi hãm được biểu diễn trên H.2-27. Chú ý rằng khi thực hiện hãm, chiều dòng điện kích từ cần giữ nguyên. Người ta thường sử dụng trạng thái hãm này để hãm dừng máy.



Hình 2-26. Đặc tính cơ hãm ngược với R_f trong mạch phần ứng.

Đoạn bc trên đặc tính cơ là đặc tính hãm ngược. Dòng điện hãm là

$$I_h = - \frac{U_{dm} + K\Phi\omega}{R_u + R_f}.$$

Phương trình đặc tính cơ là:

$$\omega = - \frac{U_{dm}}{K\Phi} - \frac{R_u + R_f}{(K\Phi)^2} M. \quad (2-65)$$

R_f được tính để sao cho dòng điện hãm ban đầu nằm trong giới hạn cho phép ($I_h \leq 2,5I_{dm}$).

b) *Trạng thái hãm động năng*

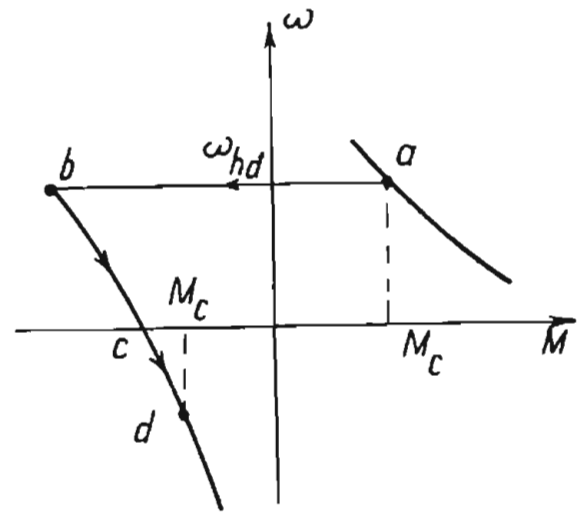
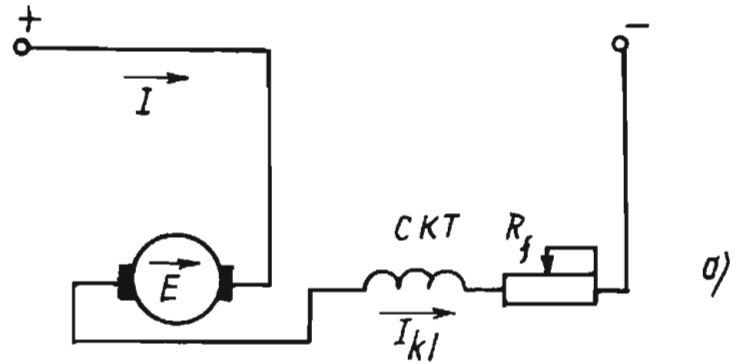
– Hãm động năng kích từ độc lập:

Khi động cơ đang quay, muốn thực hiện hãm ta cắt phần ứng động cơ khỏi nguồn điện một chiều và đóng vào điện trở hãm. Còn cuộn kích từ được nối vào lưới điện với một điện trở phụ sao cho dòng kích từ lúc này có chiều như cũ và trị số không đổi bằng dòng I_{kldm} . Trạng thái hãm này giống như ở máy điện một chiều kích từ độc lập. Sơ đồ và đặc tính được thể hiện trên H.2-28.

Phương trình đặc tính cơ khi hãm là:

$$\omega = - \frac{R'_u + R_f}{(K\Phi_{dm})^2} M. \quad (2-66)$$

trong đó $R'_u = r_u + r_{ctf} + r_{ct}$.



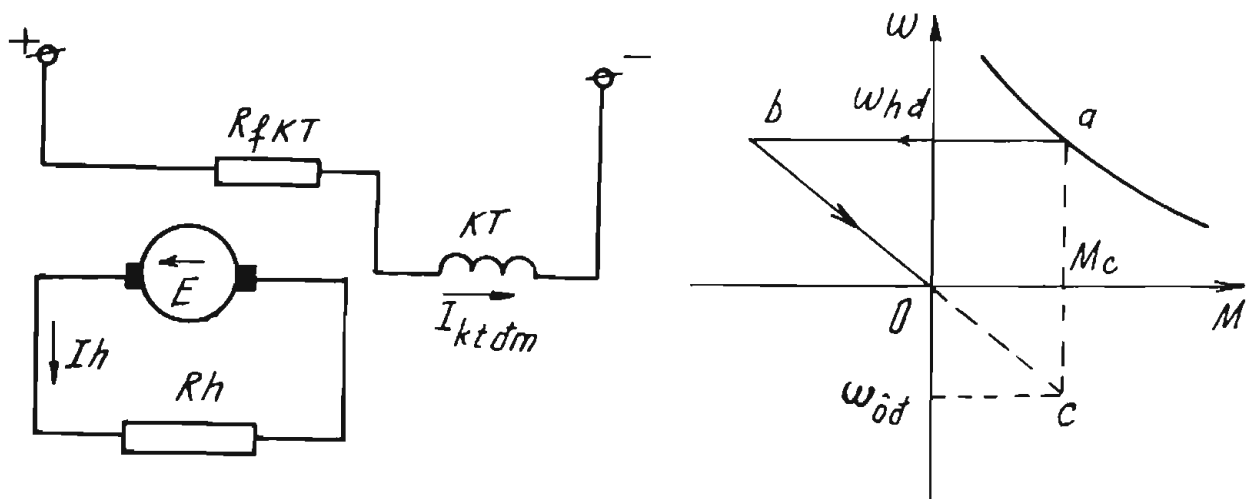
Hình 2-27: a) Sơ đồ nguyên lý hãm ngược đảo chiều điện áp đặt vào phần ứng động cơ; b) Đặc tính cơ hãm ngược bằng đảo chiều cực tính điện áp phần ứng.

Điện trở hãm R_h được chọn sao cho dòng điện hãm ban đầu nằm trong giới hạn cho phép:

$$I_{hd} = - \frac{K\Phi_{dm} \cdot \omega_{bd}}{R'_u + R_h} = (2 \div 2,5) I_{dm} \quad (2-67)$$

Nên

$$R_h = \frac{K\Phi_{dm} \omega_{bd}}{I_{hmax}} - R_u$$



Hình 2-28: a) Sơ đồ nguyên lý hãm động năng động cơ một chiều kích từ nối tiếp;
b) Đặc tính cơ hãm động năng kích từ độc lập của động cơ kích từ nối tiếp.

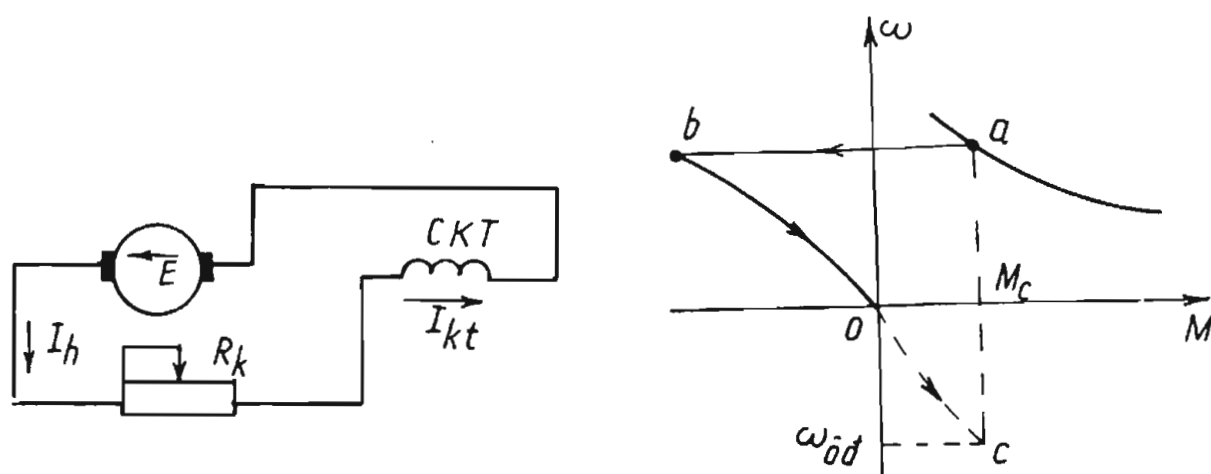
– Hãm động năng tự kích:

Khi động cơ đang quay, muốn thực hiện hãm động năng tự kích ta cắt cả phần ứng lẫn cuộn kích từ khỏi lưới điện để đóng vào 1 điện trở hãm nhưng dòng kích từ vẫn giữ nguyên chiều cũ. Sơ đồ nguyên lý và đặc tính cơ hãm biểu diễn trên H.2-29.

Phương trình đặc tính cơ khi hãm là:

$$\omega = \frac{R_u + R_h}{(K\Phi)^2} M, \quad (2-68)$$

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



Hình 2-29: a) Sơ đồ nguyên lý hãm động năng tự kích của động cơ một chiều kích từ nối tiếp; b) Đặc tính cơ hãm động năng tự kích của động cơ một chiều kích từ nối tiếp.

2-4. ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Động cơ điện không đồng bộ được sử dụng rất rộng rãi trong thực tế. Ưu điểm nổi bật của loại động cơ này là: Cấu tạo đơn giản, đặc biệt là động cơ rôto lồng sóc; so với động cơ một chiều động cơ không đồng bộ có giá thành hạ; vận hành tin cậy, chắc chắn. Ngoài ra động cơ không đồng bộ dùng trực tiếp lưới điện xoay chiều ba pha nên không cần trang bị thêm các thiết bị biến đổi kèm theo.

Nhược điểm của động cơ không đồng bộ là điều chỉnh tốc độ và khống chế các quá trình quá độ khó khăn; riêng với động cơ rôto lồng sóc có các chỉ tiêu khởi động xấu hơn.

Xét về mặt cấu tạo, người ta chia động cơ không đồng bộ làm hai loại: Động cơ rôto dây quấn và động cơ rôto lồng sóc (còn gọi là động cơ rôto ngắn mạch).

2.4.1 Phương trình đặc tính cơ

Để thành lập phương trình đặc tính cơ của động cơ không đồng

bộ ba sử dụng sơ đồ thay thế. Trên H.2-30 là sơ đồ thay thế một pha của động cơ không đồng bộ. Khi nghiên cứu ta đưa ra một số giả thiết sau đây:

- 3 pha của động cơ là đối xứng
- Các thông số của động cơ không đổi nghĩa là không phụ thuộc vào nhiệt độ, điện trở rôto không phụ thuộc vào tần số dòng điện rôto; mạch từ không bão hòa nên điện kháng X_1, X_2 không đổi.
- Tổng dẫn mạch từ hóa không thay đổi, dòng điện từ hóa không phụ thuộc tải mà chỉ phụ thuộc điện áp đặt vào stato động cơ.
- Bỏ qua các tổn thất ma sát, tổn thất trong lõi thép.
- Điện áp lưới hoàn toàn sin và đối xứng ba pha.

Với những giả thiết trên ta có sơ đồ thay thế một pha của động cơ như H.2-30. Trong đó:

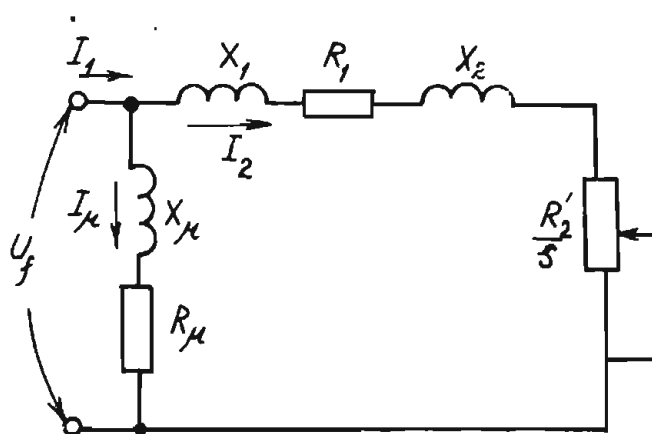
U_{f1} – trị số hiệu dụng của điện áp pha stato

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

$X_\mu, X_{1\delta}, X'_{2\sigma}$ – điện kháng mạch từ hóa, điện kháng tản stato và điện kháng tản rôto đã quy đổi về stato.

R_μ, R_1, R'_2 – các điện trở tác dụng của mạch từ hóa của cuộn dây stato và rôto đã quy đổi về stato.

s – độ trượt của động cơ.



Hình 2-30. Sơ đồ thay thế một pha của động cơ không đồng bộ.

$$s = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1}, \quad (2-69)$$

ω_1 – tốc độ góc của từ trường quay, còn gọi là tốc độ đồng bộ:

$$\omega_1 = \frac{2\pi f_1}{p} \quad (2-70)$$

trong đó:

f_1 – Tần số của điện áp nguồn đặt vào stato,

p – số đôi cực từ động cơ,

ω – tốc độ góc của động cơ.

Từ sơ đồ thay thế ta tính được dòng điện stato

$$I_1 = U_{f1} \left[\frac{1}{\sqrt{R_\mu^2 + X_\mu^2}} + \frac{1}{\sqrt{(R_1 + \frac{R'_2}{s})^2 + X_{nm}^2}} \right], \quad (2-71)$$

$X_{nm} = X_{1\delta} + X'_{2\sigma}$ điện kháng ngắn mạch.

Biểu thức (2-71) là phương trình đặc tính dòng điện stato và có thể biểu diễn trên H.2-31.

Từ (2-71) ta thấy:

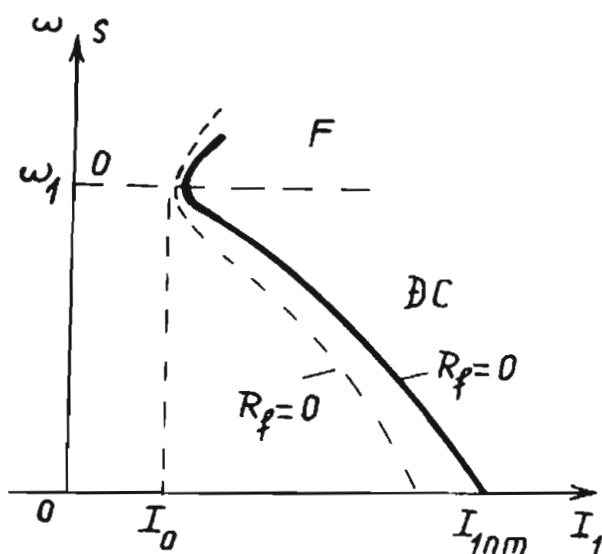
Khi $\omega = 0, s = 1$ thì $I_1 = I_{1nm}$

Khi $\omega = \omega_1, s = 0$ ta có:

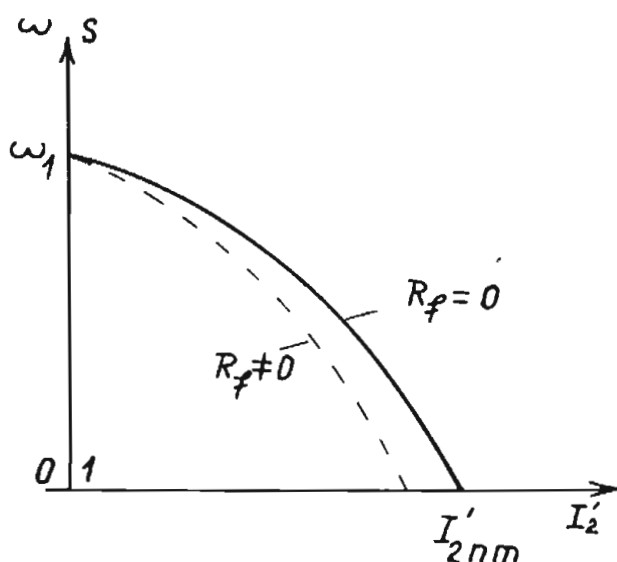
$$I_1 = U_{f1} \left[\frac{1}{\sqrt{R_\mu^2 + X_\mu^2}} \right] = I_\mu \quad (2-72)$$

I_{1nm} – dòng điện ngắn mạch stato

I_μ là dòng điện từ hóa có tác dụng tạo ra từ trường quay khi động cơ quay với tốc độ đồng bộ.



Hình 2-31. Đặc tính dòng điện stato của động cơ không đồng bộ.



Hình 2-32. Đặc tính dòng điện rôto của động cơ không đồng bộ.

Ta cũng tính được dòng điện rôto quy đổi về stato

$$I'_2 = \frac{U_{f1}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R'_2}{s})^2 + X_{nm}^2}} \quad (2-73)$$

Khi $\omega = \omega_1, s = 0$ thì $I'_2 = 0$

$$\text{Khi } \omega = 0, s_1 = 1 \text{ thì } I'_2 = I_{2nm} = \frac{U_{f1}}{\sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + X_{nm}^2}} \quad (2-74)$$

Đặc tính dòng điện rôto biểu diễn trên H.2-32. Để tìm phương trình đặc tính cơ của động cơ ta dựa vào điều kiện cân bằng công suất trong động cơ: Công suất điện từ chuyển từ stato sang rôto:

$$P_{12} = M_{dt} \cdot \omega_1$$

M_{dt} là mômen điện từ của động cơ.

Nếu bỏ qua các tổn thất phụ thì $M_{dt} = M_{co} = M$.

Công suất đó chia thành 2 phần:

P_{co} : công suất cơ đưa ra trên trục động cơ

ΔP_2 : công suất tổn hao đồng trong rôto

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

$$\text{hay} \quad M\omega_1 = M\omega + \Delta P_2.$$

$$\text{Do đó} \quad \Delta P_2 = M(\omega_1 - \omega) = M\omega_1 \cdot s \quad (2-75)$$

$$\text{Mặt khác} \quad \Delta P_2 = 3I'^2_2 R'_2, \quad (2-76)$$

$$\text{nên} \quad M = \frac{3I'^2_2 R'_2 / s}{\omega_1} \quad (2-77)$$

Thay giá trị I'_2 đã tính được ở trên vào (2-77) và biến đổi ta có

$$M = \frac{3U_{f1}^2 R'_2}{\omega_1 [(R_1 + \frac{R'_2}{s})^2 + X_{nm}^2] s} \quad (2-78)$$

Biểu thức (2-78) là phương trình đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ.

Nếu biểu diễn đặc tính cơ trên đồ thị sẽ là đường cong như H.2-33. Có thể xác định các điểm cực trị của đường cong này bằng cách giải $\frac{dM}{ds} = 0$, ta sẽ được trị số của M và s tại điểm cực trị ký hiệu là M_{th} , s_{th} (mômen và độ trượt tới hạn), cụ thể là:

$$s_{th} = \pm \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_{nm}^2}} \quad (2-79)$$

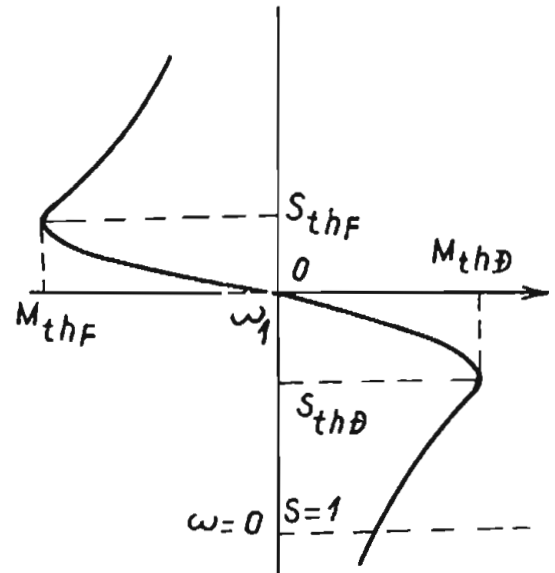
Thay (2-79) và (2-78) để tìm M_{th} :

$$M_{th} = \pm \frac{3 U_{f1}^2}{2 \omega_1 (R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_{nm}^2})} \quad (2-80)$$

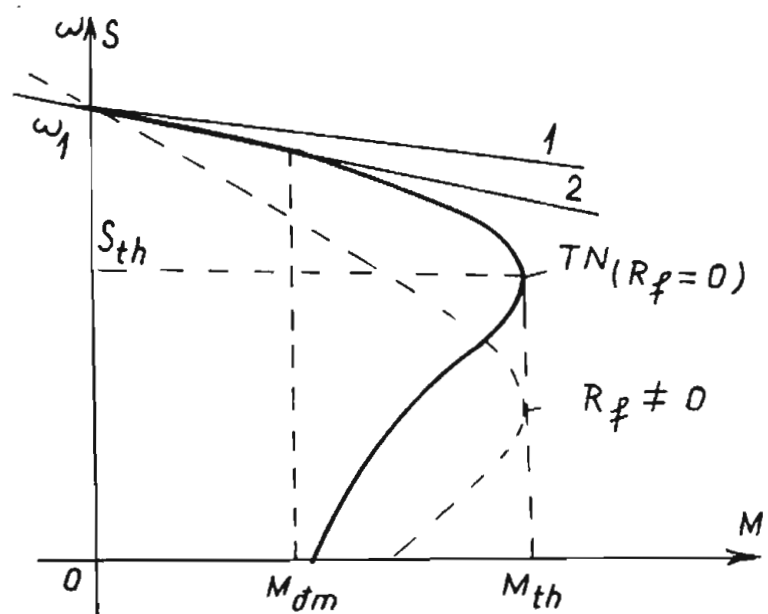
Trong hai biểu thức trên dấu (+) ứng với trạng thái động cơ, dấu (-) ứng với trạng thái máy phát. Do đó M_{th} ở chế độ máy phát lớn hơn M_{th} ở chế độ động cơ.

Ngoài ra khi nghiên cứu các hệ truyền động với động cơ không

đồng bộ người ta quan tâm nhiều đến trạng thái làm việc của động



Hình 2-33. Đồ thị đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ.



Hình 2-34. Đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ $\omega = f(M)$ trong chế độ động cơ.

cơ nên các đường đặc tính cơ lúc này thường biểu diễn trong khoảng tốc độ $0 \leq s \leq s_{th}$

Đặc tính trên H.2-34 tất nhiên lúc này phương trình (2-80) ứng với dấu (+)

Phương trình đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ có thể biểu diễn thuận tiện hơn bằng cách lập tỉ số giữa (2-78) và (2-80) và biến đổi sẽ được phương trình đặc tính cơ:

$$M = \frac{2M_{th}(1 + as_{th})}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s} + as_{th}} \quad (2-81)$$

trong đó: $a = \frac{R_1}{R_2}$

Đối với các động cơ công suất lớn thường R_1 rất nhỏ so với X_{nm} , lúc này có thể bỏ qua R_1 , nghĩa là coi $R_1 = 0$, $as_{th} = 0$ và (2-81) có dạng gần đúng:

$$M = \frac{2M_{th}}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}} \quad (2-82)$$

trong đó: $s_{th} = \pm \frac{R'_2}{X_{nm}}$ (2-83)

$$M_{th} = \pm \frac{3U_{f1}^2}{2\omega_1 X_{nm}} \quad (2-84)$$

Nhiều trường hợp cho phép ta sử dụng những đặc tính gần đúng bằng cách tuyến tính hóa các đặc tính trong đoạn làm việc. Ví dụ ở vùng độ trượt nhỏ $s \ll s_{th}$ tỷ số $\frac{s}{s_{th}}$ nhỏ, gần đúng coi $s/s_{th} = 0$. Lúc này đặc tính cơ ở dạng đơn giản:

$$M = \frac{2M_{th}}{s_{th}} s. \quad (2-85)$$

Nó chính là đường tiếp tuyến với đường đặc tính cơ tại điểm đồng bộ ω_1 : Đường 1 trên H.2-34.

Cũng có thể tuyến tính hóa đoạn làm việc qua điểm định mức như đường 2 trên H.2-34. Phương trình gần đúng là:

$$M = \frac{M_{dm}}{s_{dm}} s. \quad (2-86)$$

Từ dạng đặc tính cơ biểu diễn trên H.2-34 ta thấy độ cứng của đặc tính cơ biến đổi cả về trị số lẫn về dấu tùy theo điểm làm việc:

$$\beta = \frac{\Delta M}{\Delta \omega} = \frac{\Delta M}{\Delta s} \cdot \frac{\Delta s}{\Delta \omega}. \quad (2-87)$$

Với đặc tính tuyến tính hóa đường 1 (H.2-34):

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

$$\frac{\Delta s}{\Delta \omega} = -\frac{1}{\omega_1}$$

Vậy
$$\beta = -\frac{2M_{th}}{\omega_1 s_{th}}. \quad (2-88)$$

Tương tự với đặc tính 2 trên H.2-34:

$$\beta = -\frac{M_{dm}}{\omega_1 s_{dm}}. \quad (2-89)$$

Như vậy trên đoạn làm việc của đặc tính cơ động cơ không đồng bộ β có giá trị âm và gần như không đổi.

Đối với đoạn đặc tính $s > s_{th}$, khi $s \gg s_{th}$ bỏ qua $\frac{s_{th}}{s}$ và phương trình đặc tính cơ sẽ là:

$$M = \frac{2M_{th}s_{th}}{s} \quad (2-90)$$

và

$$\beta = \frac{2M_{th}s_{th}}{\omega_1 s^2} \quad (2-91)$$

Trong đoạn này độ cứng β là dương và giá trị của nó biến đổi. Động cơ không đồng bộ không làm việc trên đoạn đặc tính này.

2-4.2 Ảnh hưởng của các thông số đến đặc tính cơ

Từ phương trình đặc tính cơ động cơ không đồng bộ, ta thấy các thông số ảnh hưởng đặc tính cơ bao gồm:

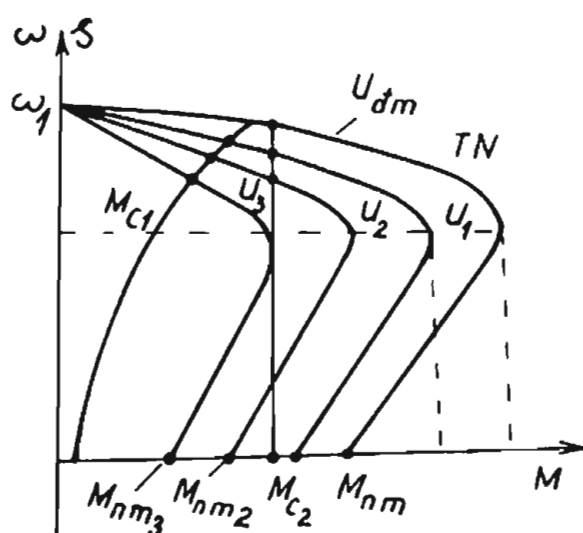
- Ảnh hưởng điện trở, điện kháng mạch stato (nối thêm điện trở phụ R_{1f} và X_{1f} vào mạch stato).
- Ảnh hưởng điện trở mạch rôto (nối thêm điện trở phụ R_{2f} vào mạch rôto đối với động cơ rôto quấn dây).
- Ảnh hưởng của suy giảm điện áp lưới cấp cho động cơ.
- Ảnh hưởng của thay đổi tần số lưới cấp cho động cơ f_1 .

Ngoài ra việc thay đổi số đôi cực sẽ thay đổi tốc độ đồng bộ và làm thay đổi đặc tính cơ (trường hợp này xảy ra đối với động cơ nhiều cấp tốc độ).

Trong phần này ta sẽ lần lượt xét các ảnh hưởng trên:

a) Ảnh hưởng của suy giảm điện áp lưới cấp cho động cơ

Khi điện áp lưới suy giảm, theo (2-80) mômen tới hạn sẽ giảm bình phương lần độ suy giảm của điện áp. Trong khi đó tốc độ đồng bộ ω_1 giữ nguyên và độ trượt tới hạn s_{th} không thay đổi. Ta có dạng đặc tính cơ khi điện áp lưới giảm trên H.2-35. Đặc tính này



Hình 2-35. Đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ khi giảm điện áp.

thích hợp với phụ tải bơm và quạt gió không thích hợp với tải không đổi.

Ngoài ra đối với động cơ công suất lớn làm việc với phụ tải bơm hoặc quạt gió; người ta dùng phương pháp tăng dần điện áp đặt vào động cơ để hạn chế dòng điện khi khởi động.

b) Ảnh hưởng của điện trở, điện kháng phụ mạch stato

Ta thấy khi nối thêm điện trở hoặc điện kháng vào mạch stato R_{1f} và X_{1f} thì $\omega_1 = \text{const}$, s_{th} giảm M_{th} giảm nên đặc tính cơ có dạng như H.2-36.

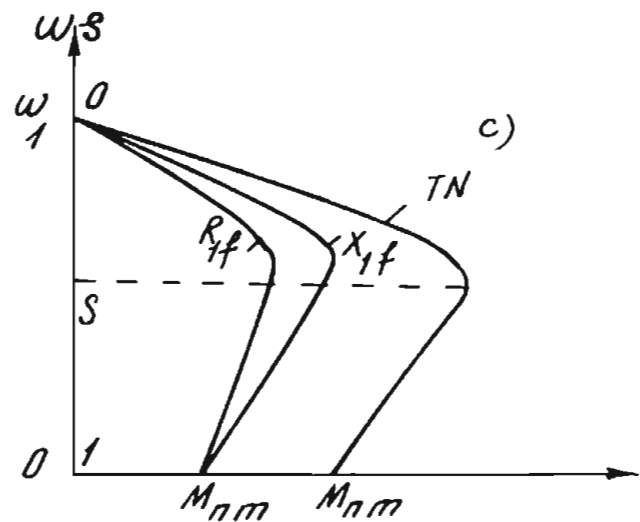
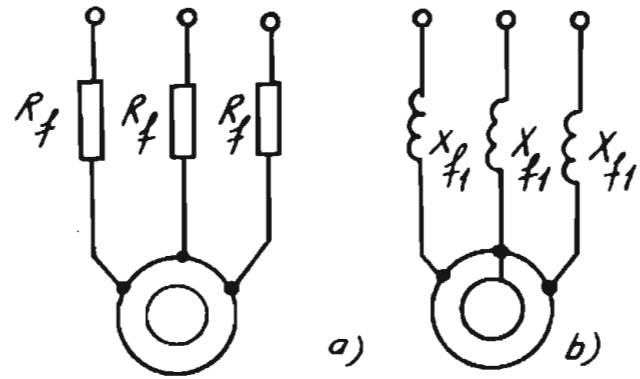
Ta thấy rằng khi cần tạo ra đặc tính cơ mômen khởi động là M_{nm} thì đặc tính cơ với X_f trong mạch cứng hơn đặc tính cơ với R_f .

Dựa vào tam giác tổng trở ngắn mạch có thể xác định được R_{1f} hoặc X_{1f} trong mạch stato khi khởi động (H.2-37).

Giả sử cần hạn chế dòng điện khởi động từ I_{nm} ứng với đặc tính tự nhiên đến dòng I_{nm} ứng với đặc tính có R_{1f} hoặc X_{1f} trong mạch stato:

$$\begin{aligned} \text{Còn} \quad I_{nm} &= \alpha I_{nm} & (\alpha < 1) \\ M'_{nm} &= \alpha^2 M_{nm}. \end{aligned}$$

$$\text{Tương ứng trong tam giác tổng trở ngắn mạch: } Z'_{nm} = \frac{Z_{nm}}{\alpha}$$



Hình 2-36. Động cơ không đồng bộ với R_f và X_f trong mạch stato.

a) Sơ đồ với R_{1f} ; b) Với X_{1f} ; c) Đặc tính cơ.

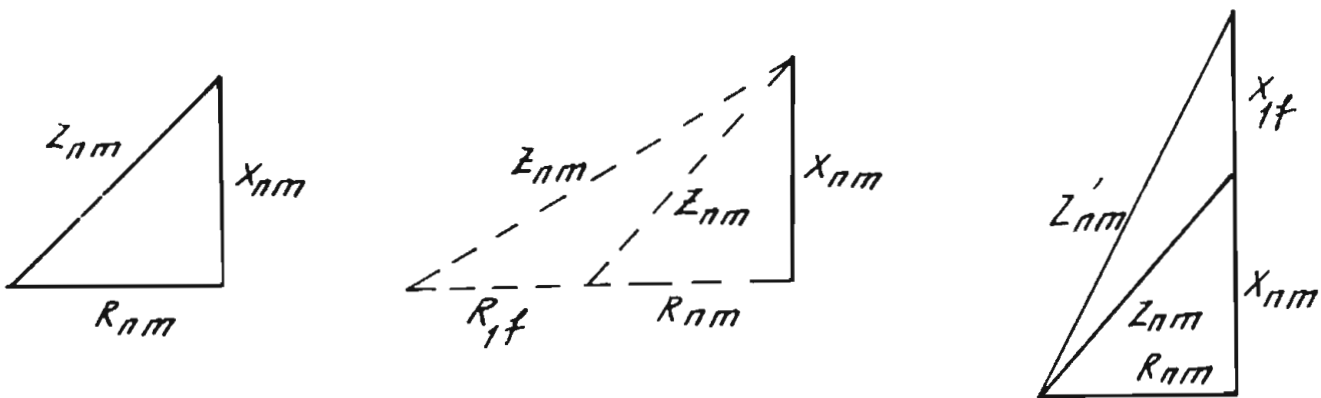
$$R_{1f} = \sqrt{\left(\frac{Z_{nm}}{\alpha}\right)^2 - X_{nm}^2} - R_{nm} \quad (2-92)$$

$$X_{1f} = \sqrt{\left(\frac{Z_{nm}}{\alpha}\right)^2 - R_{nm}^2} - X_{nm}, \quad (2-93)$$

trong đó:

$$R_{nm} = R_1 + R'_2$$

$$Z_{nm} = \sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + X_{nm}^2}$$



Hình 2-37. a) Tam giác tổng trở ngắn mạch tự nhiên; b) Tam giác tổng trở ngắn mạch thêm R_{1f} ; c) Tam giác tổng trở ngắn mạch thêm X_{1f} .

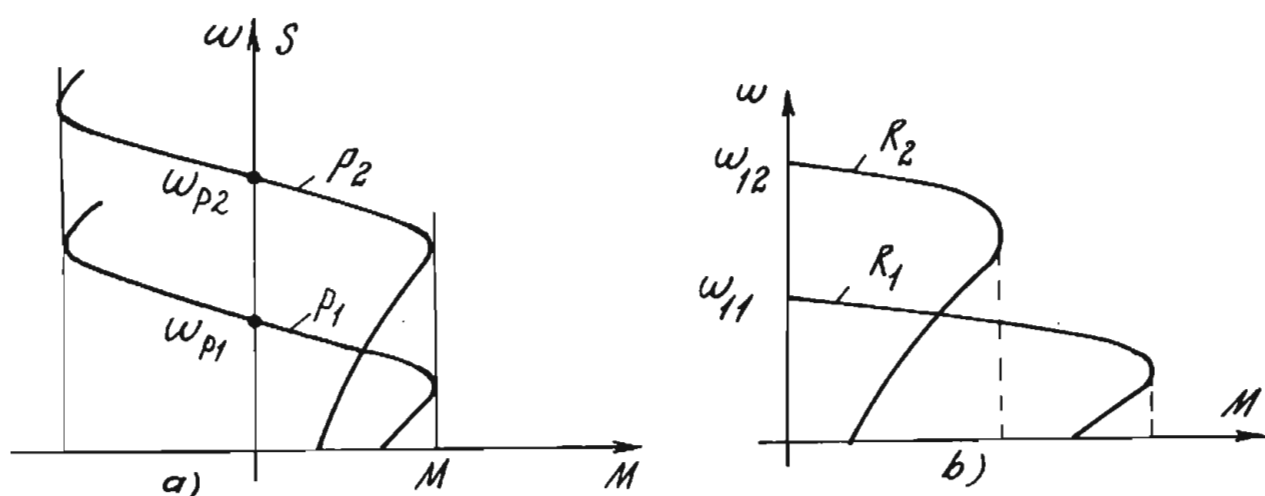
c) Ảnh hưởng của số đôi cực p

Để thay đổi số đôi cực ở stato ta thường thay đổi cách đấu dây.

Vì
$$\omega_1 = \frac{2\pi f_1}{p} \quad (2-94)$$

và
$$\omega = \omega_1(1 - s) \quad (2-95)$$

Nếu thay đổi số đôi cực p thì ω_1 thay đổi, do đó tốc độ cơ cũng thay đổi. Còn s_{th} không phụ thuộc vào p nên không thay đổi, nghĩa là độ cứng của đặc tính cơ vẫn giữ nguyên. Nhưng khi thay đổi số đôi cực sẽ phải thay đổi cách đấu dây ở stato động cơ nên một số thông số như U_f , R_1 , X_1 có thể thay đổi và do đó tùy từng trường hợp sẽ ảnh hưởng khác nhau đến mômen tới hạn M_{th} của động cơ. Hình 2-38a biểu diễn đặc tính cơ khi thay đổi số đôi cực với $p_2 = p_{1/2}$ và $M_{th} = \text{const}$.



Hình 2-38.a) Đặc tính cơ khi thay đổi số đôi cực của động cơ không đồng bộ, $M_{th} = \text{const}$; b) Đặc tính cơ khi thay đổi số đôi cực động cơ KĐB, $p_1 = \text{const}$.

Hình 2-38 biểu diễn đặc tính cơ khi thay đổi số đôi cực $p_2 = p_{1/2}$ và $p_1 = \text{const}$.

Việc thay đổi sơ đồ đấu dây để thay đổi số đôi cực có thể xem chi tiết ở TL 2.

d) Ảnh hưởng của điện trở mạch rôto:

Đối với động cơ không đồng bộ rôto dây quấn người ta thường mắc thêm điện trở phụ vào mạch rôto để hạn chế dòng điện khởi động hoặc để điều chỉnh tốc độ động cơ.

Khi đưa R_{2f} vào rôto thì:

$$\omega_1 = \text{const}$$

$$M_{th} = \text{const}$$

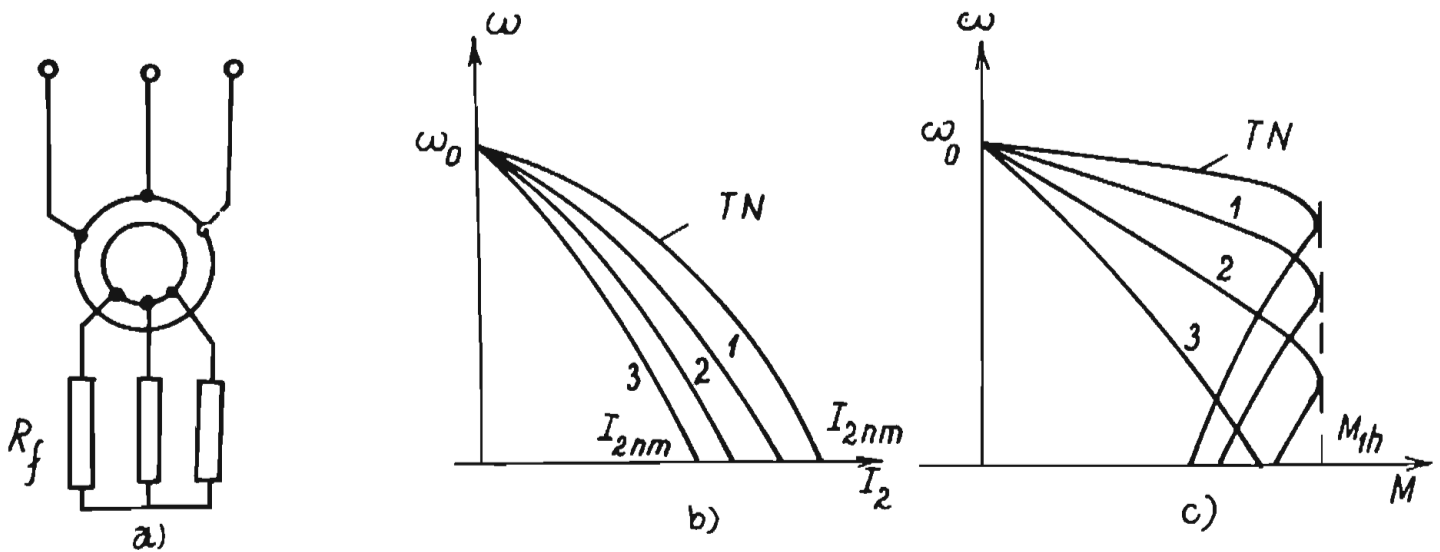
$$s_{th} = \frac{R'_2 + R'_{2f}}{X_{nm}}.$$

R_{2f} càng lớn s_{th} sẽ càng lớn và theo (2-88) thì β càng nhỏ nghĩa là đặc tính cơ càng mềm, khi đặc tính cơ nằm trong đoạn làm việc.

Đặc tính cơ được biểu diễn trên H.2-39c.

Theo (2-74):
$$I'_{2nm} = \frac{U_{f1}}{\sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + X_{nm}^2}}$$

Ta thấy R_f càng tăng, dòng điện khởi động càng giảm. Các đặc tính dòng điện rôto vẽ trên H.2-39b. Trong một phạm vi nhất định khi R_f tăng sẽ làm M_{kd} tăng lên, còn sau đó mômen khởi động sẽ giảm. Vì vậy phải căn cứ vào điều kiện khởi động và đặc điểm của phụ tải mà chọn trị số điện trở phụ cho thích hợp.



Hình 2-39. Ảnh hưởng của điện trở mạch rôto đến đặc tính cơ.

a) Sơ đồ đấu dây; b) Các đặc tính dòng điện rôto; c) Các đặc tính cơ biến trở.

e) Ảnh hưởng của thay đổi tần số lưới điện f_1 cấp cho động cơ:

Xuất phát từ biểu thức $\omega_1 = 2\pi f_1/p$, ta thấy rằng thay đổi tần số sẽ làm tốc độ từ trường quay và tốc độ động cơ thay đổi.

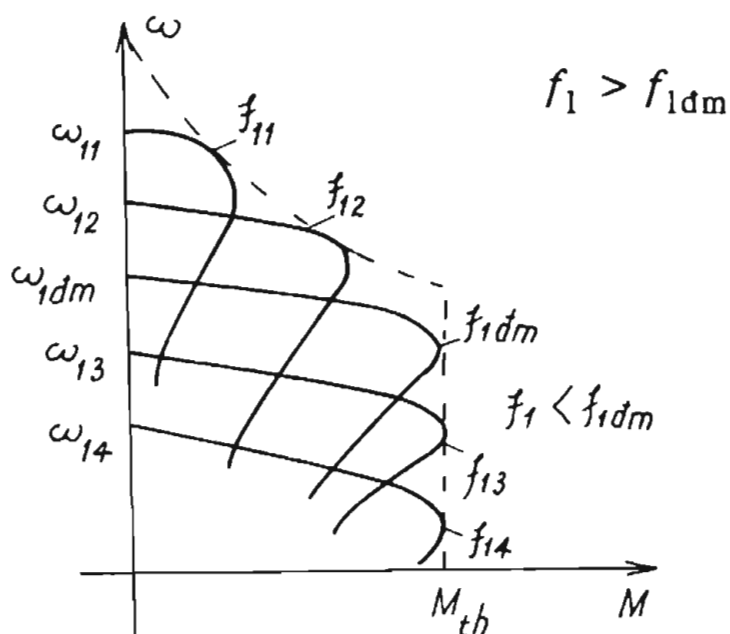
– Xét trường hợp khi tăng tần số $f_1 > f_{1dm}$ từ biểu thức (2-84) biến đổi ta có:

$$M_{th} = \frac{3p^2 U^2}{8\pi L_{nm} f_1^2} \quad (2-96)$$

Khi tần số tăng, M_{th} giảm (với điện áp giữ không đổi), do vậy

$$M_{th} \sim \frac{1}{f_1^2} \quad (2-97)$$

– Trường hợp tần số giảm $f_1 < f_{1dm}$, nếu giữ nguyên điện áp U_1 thì dòng điện động cơ sẽ tăng rất lớn (vì tổng trở của động cơ giảm theo tần số). Do vậy khi giảm tần số cần phải giảm điện áp theo quy luật nhất định sao cho động cơ sinh ra được mômen như trong chế độ định mức. Đó là bài toán tìm quy luật tối ưu trong chế độ làm việc tĩnh của hệ điều chỉnh tần số động cơ KĐB (xem chương 5).



Hình 2-40. Đặc tính cơ khi thay đổi tần số động cơ KĐB.

Trên H.2-40 trình bày đặc tính cơ khi $f_1 < f_{1dm}$ với điều kiện từ thông $\Phi = \text{const}$ (hoặc gần đúng giữ $\frac{U_1}{f_1} = \text{const}$) thì M_{th} được giữ không đổi. Ở vùng $f_1 > f_{1dm}$, mômen tới hạn M_{th} tỷ lệ nghịch với bình phương tần số.

2-4.3 Cách vẽ đặc tính cơ tự nhiên và đặc tính cơ biến trở

a) Đặc tính cơ tự nhiên

Từ phương trình đặc tính cơ (2-81):

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

ta lần lượt tính các giá trị của s_{th} , M_{th} và a theo các thông số của động cơ cho trước như: P_{dm} , U_{ldm} , I_{ldm} , n_{dm} , E''_{2nm} , R_1 , $X_{1\delta}$, R'_2 , $X_{2\delta}$, λ_M , λ_{MKd} .

Thay các giá trị đó vào phương trình đặc tính cơ và cho độ trượt s biến thiên từ $s = 0$ đến $s = 1$ ta xác định được các giá trị tương ứng của mômen. Theo các cặp giá trị số s và M ta sẽ vẽ được đặc tính cơ tự nhiên của động cơ không đồng bộ. Nếu tính càng nhiều thì đặc tính cơ sẽ vẽ được càng chính xác.

Trong trường hợp không biết một vài thông số như R_1 , $X_{1\delta}$, R'_2 , $X'_{2\delta}$, R'_{2nm} , I'_{2dm} ta cũng có thể dùng các biểu thức gần đúng

$$M_{th} = \lambda_M \cdot M_{dm}$$

Việc xác định a và s_{th} có thể tiến hành giải phương trình đặc tính cơ tại 2 điểm cụ thể đã xác định là điểm định mức và điểm khởi động:

$$\text{– Tại điểm định mức} \quad M_{dm} = \frac{2M_{th}(1 + as_{th})}{\frac{s_{dm}}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s_{dm}} + 2as_{th}}$$

$$\text{– Tại điểm khởi động} \quad M_{kd} = X_{Mkd} \cdot M_{dm} = \frac{2M_{th}(1 + as_{th})}{\frac{1}{s_{th}} + s_{th} + 2as_{th}}$$

Sau đó thay M_{th} , s_{th} , a vào phương trình đặc tính cơ để tính và vẽ như đã nêu ở trên.

b) Đặc tính cơ biến trở (đối với động cơ rôto dây quấn):

Với các thông số cho trước của động cơ như ở trên có thể tính được độ trượt tới hạn của đặc tính cơ nhân tạo:

$$\varepsilon_{thNT} = \frac{R_2 + R_{f2}}{\sqrt{R_1^2 + X_{nm}^2}}$$

$$a_{NT} = \frac{R_1}{R_2 + R_{f2}}$$

Phương trình đặc tính cơ biến trở có dạng:

$$M = \frac{2M_{th} (1 + a_{NT}s_{thNT})}{\frac{s}{s_{thNT}} + \frac{s_{thNT}}{s} + 2a_{NT}s_{thNT}}$$

Đặc tính cơ biến trở cũng vẽ được bằng cách cho giá trị của s biến thiên từ $s = 0$ đến $s = 1$ và tính M tương ứng rồi xác định từng điểm trên đặc tính.

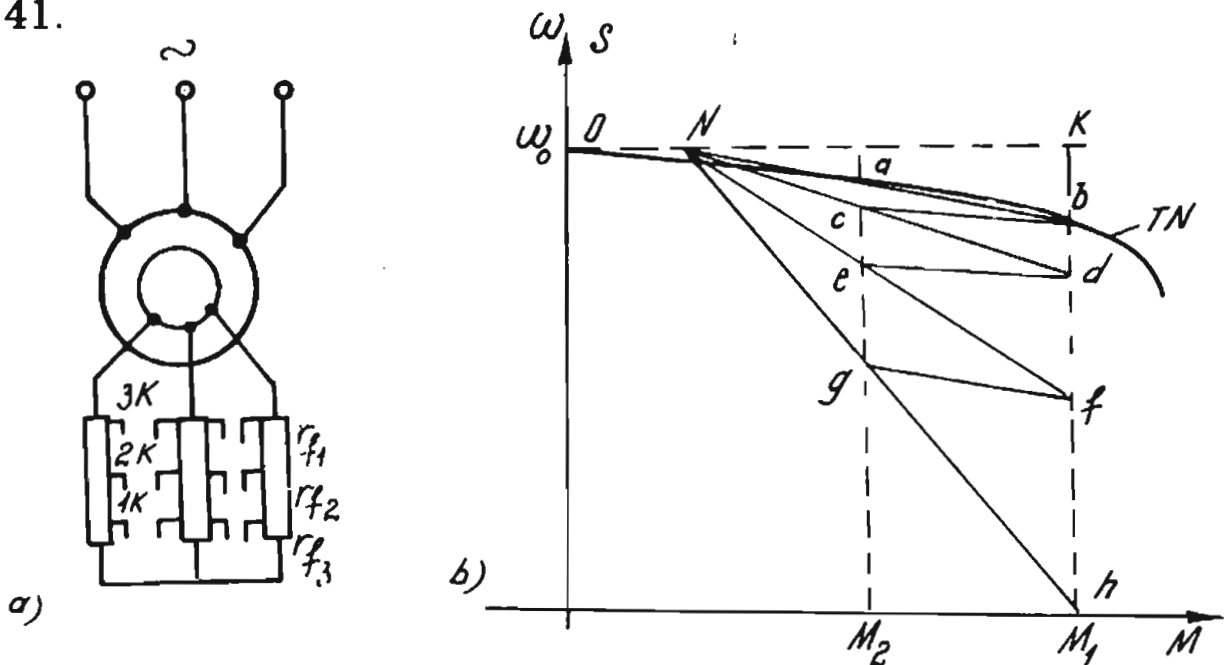
Chú ý khi vẽ đặc tính cơ tự nhiên hay đặc tính cơ biến trở trong một số trường hợp ta có thể bỏ qua thông số R_1 hay đơn giản coi $R_1 \approx R'_2$. Lúc này các biểu thức tính toán có thể đơn giản đi. Tuy nhiên đặc tính cơ vẽ được sẽ là gần đúng.

2-4.4 Khởi động và cách xác định điện trở khởi động

Các yêu cầu về khởi động cũng như các phương pháp khởi động của động cơ không đồng bộ nói chung không khác biệt với động cơ một chiều kích từ độc lập ta đã xét.

Đối với động cơ rôto dây quấn để hạn chế dòng khởi động, tăng mômen khởi động người ta đưa điện trở phụ vào mạch rôto trong quá trình khởi động sau đó loại dần các điện trở phụ này theo từng cấp.

Sơ đồ nguyên lý và đặc tính khởi động được biểu diễn trên H.2-41.



Hình 2-41. Khởi động động cơ không đồng bộ rôto dây quấn bằng cách đưa điện trở phụ vào mạch rôto khi khởi động. a) Sơ đồ nguyên lý; b) Đặc tính cơ khởi động.

Để xác định trị số các cấp điện trở khởi động ta có thể sử dụng sơ đồ các đặc tính đã được tuyến tính hóa trong đoạn khởi động.

Quá trình tính toán khởi động như sau:

– Dựa vào các thông số của động cơ vẽ đặc tính cơ tự nhiên.

– Chọn các trị số của mômen $M_1 \leq 0,85 M_{th}$

$$M_2 \geq (1,1 \div 1,3) M_{dm}.$$

– Từ M_1 và M_2 đóng song song với trục tung cắt đặc tính tự nhiên tại a và b , đường này cắt đường song song với trục hoành qua ω_1 tại N . Lấy N làm điểm đồng quy xuất phát của các đặc tính khởi động. Phương pháp vẽ giống như đối với động cơ một chiều kích từ độc lập.

– Xác định điện trở khởi động:

Ta biết:
$$\frac{s_{NT}}{s_{TN}} = \frac{R_2 + R_{f2}}{R_2}$$

nên
$$R'_{f2} = \frac{s_{NT} - s_{TN}}{s_{TN}} R_2$$

Từ đồ thị ta có:

$$R_{f21} = \frac{Kd - Kb}{Kb} R_2 = \frac{bd}{Kb} R_2$$

$$R_{f22} = \frac{Kf - Kd}{Kb} R_2 = \frac{df}{Kb} R_2$$

$$R_{f23} = \frac{Kh - Kf}{Kb} R_2 = \frac{fh}{Kb} R_2.$$

2-4.5 Đặc tính cơ trong các trạng thái hãm

a) Hãm tái sinh

Hãm tái sinh xảy ra khi tốc độ ω của rôto lớn hơn tốc độ đồng bộ ω_1 .

Khi đang làm việc ở trạng thái động cơ thì từ trường quay cắt qua các thanh dẫn của cuộn dây stato và rôto theo chiều như nhau nên sức điện động stato E_1 và sức điện động rôto E_2 trùng pha nhau, còn khi hãm tái sinh E_1 vẫn giữ chiều như cũ còn sức điện động E_2 có chiều ngược lại vì khi đó $\omega > \omega_1$, các thanh dẫn rôto cắt từ trường quay theo chiều ngược lại.

Dòng điện trong cuộn dây rôto được tính:

$$I_2 = \frac{E_{2s}}{R_2 + jX_2s} = \frac{sE_2}{R_2 + jX_2s}$$

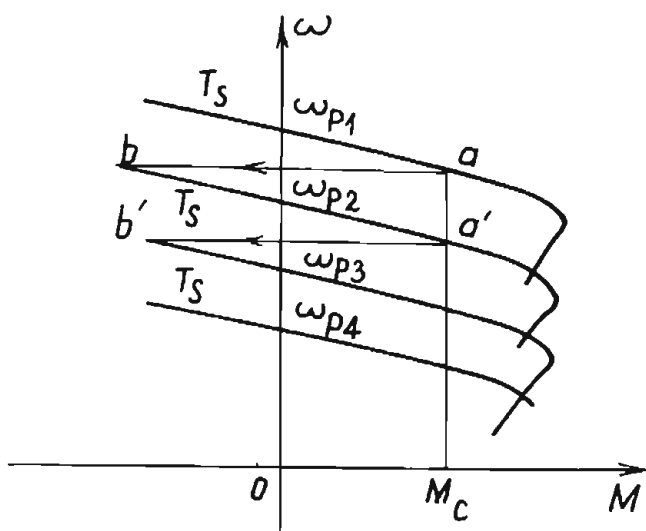
$$= \frac{E_2 R_2 s}{R_2^2 + (X_2 s)^2} - j \frac{E_2 X_2 s^2}{R_2^2 + (X_2 s)^2} \quad (2-98)$$

Ta thấy rằng khi chuyển sang hãm tái sinh $s < 0$, như vậy chỉ có thành phần tác dụng của dòng điện rôto đổi chiều, do đó mômen đổi chiều, còn thành phần phản kháng vẫn giữ chiều cũ. Ở trạng thái hãm tái sinh động cơ làm việc như một máy phát điện song song với lưới, trả công suất tác dụng về lưới còn vẫn tiêu thụ công suất phản kháng để duy trì từ trường quay.

Những động cơ không đồng bộ điều chỉnh tốc độ bằng phương pháp tần số hoặc số đôi cực khi giảm tốc độ có thể thực hiện hãm tái sinh

Trên H.2-42, đoạn đặc tính hãm tái sinh là $b\omega_{12}$, $b'\omega_{13} \dots$ ở đó $\omega > \omega_{12}$ hoặc $\omega > \omega_{13} \dots$

Với những động cơ không đồng bộ được sử dụng trong hệ truyền động có tải là thế năng, có thể thực hiện hãm tái sinh hạ tải trọng với tốc độ $\omega > -\omega_1$.



Hình 2-42. Đặc tính cơ hãm tái sinh khi giảm tốc độ bằng cách thay đổi tần số.

Trên H.2-43 $-\omega_1 b$ là đoạn hãm tái sinh khi hạ tải. Ứng với đường đặc tính cơ này, từ trường quay đã đổi chiều bằng cách đổi thứ tự 2 trong 3 pha điện áp đặt vào stato.

b) Hãm ngược

Tương tự như với động cơ một chiều kích từ độc lập, trạng thái hãm ngược của động cơ không đồng bộ có hai trường hợp:

– Hãm ngược xảy ra khi động cơ đang làm việc, ta đóng vào mạch rôto điện trở phụ đủ lớn, với tải thế năng động cơ sẽ làm việc ổn định tại điểm d (H.2-44). Đoạn cd là đoạn đặc tính hãm ngược.

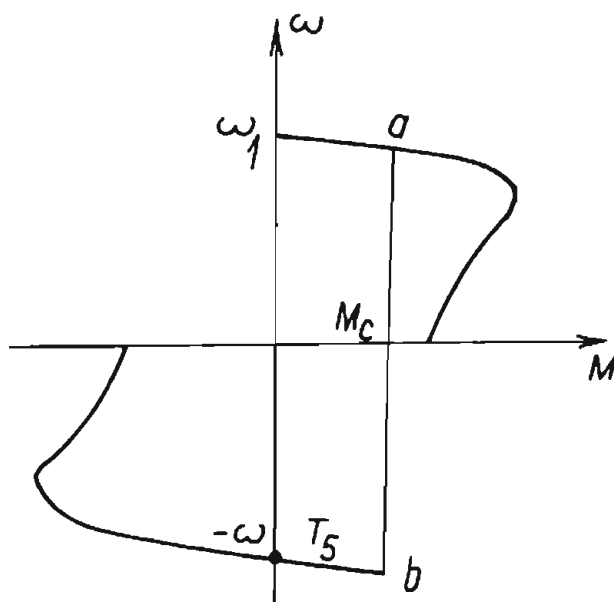
– Hãm ngược xảy ra khi động cơ đang làm việc, ta đổi thứ tự 2 trong 3 pha điện áp đặt vào stato; động cơ chuyển sang làm việc trên đặc tính hãm ngược bc hoặc $b'c'$.

Nếu tải có tính phản kháng hệ thống sẽ làm việc ổn định tại d hoặc d' .

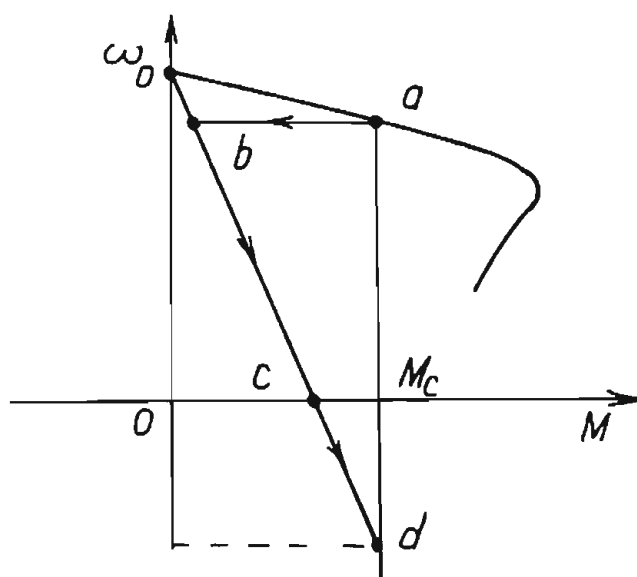
Chú ý rằng trong cả hai trường hợp hãm ngược vì

$$s = \frac{\omega_1 + \omega}{\omega_1} > 1$$

nên dòng điện rôto có giá trị lớn. Mặt khác vì tần số dòng điện rôto $f_2 = sf_1$ lớn, nên điện

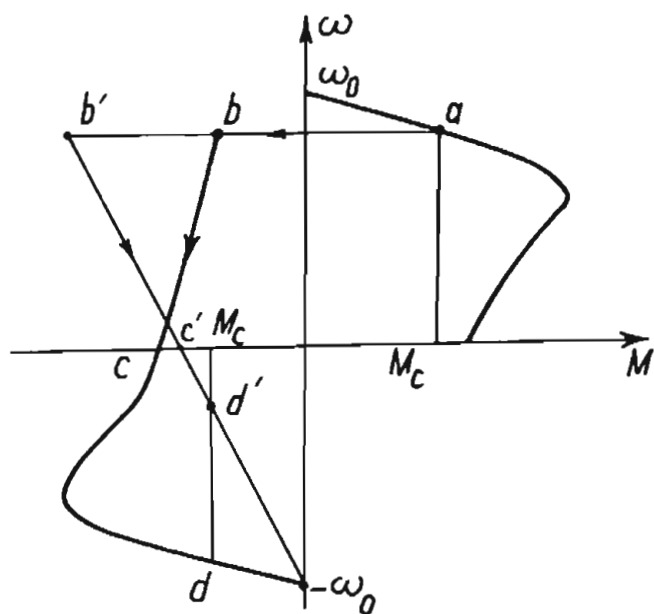


Hình 2-43. Đặc tính cơ hãm tái sinh của động cơ không đồng bộ với tải thế năng.



Hình 2-44. Đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ khi hãm ngược với tải thế năng.

kháng $X'_{2\sigma}$ lớn, do đó mômen nhỏ. Vì vậy để tăng cường mômen hãm và hạn chế dòng điện rôto ta cần đưa thêm điện trở phụ đủ lớn vào mạch rôto (đối với loại động cơ rôto dây quấn). Điện trở phụ này có thể xác định ứng với dòng điện hãm ban đầu tại b' trên H.2-45.



c) Hãm động năng

Trạng thái hãm động năng xảy ra khi động cơ đang quay ta cắt stato

Hình 2-45. Đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ khi hãm ngược bằng cách đảo chiều từ trường quay.

động cơ khỏi nguồn điện xoay chiều, rồi đóng vào nguồn một chiều.

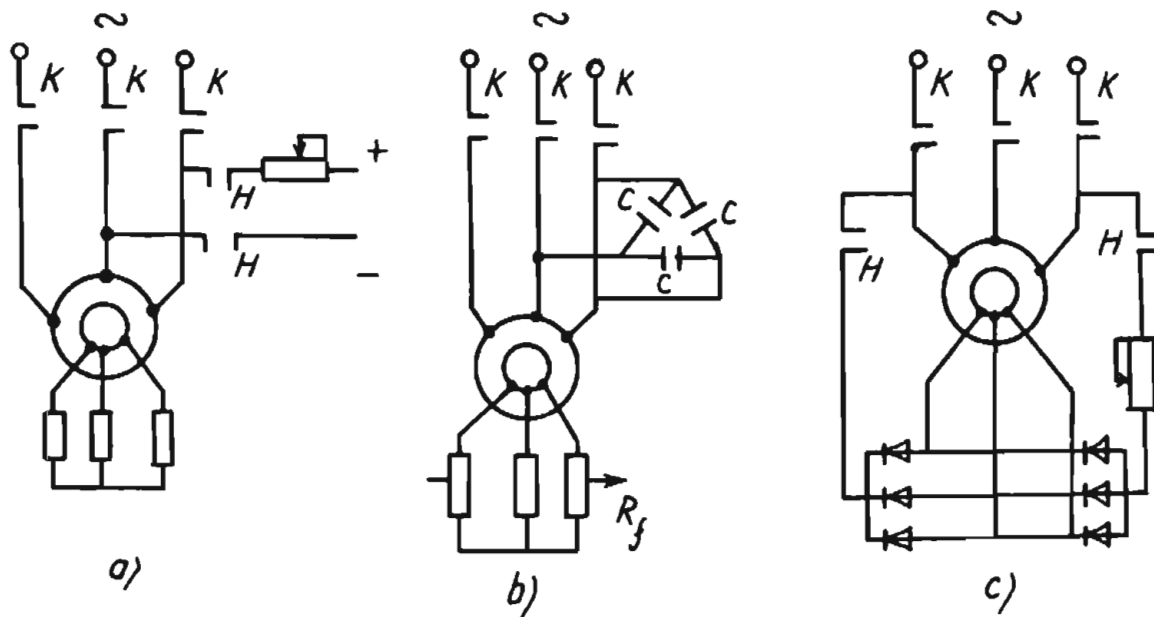
Người ta chia hãm động năng của động cơ không đồng bộ thành hai dạng: Hãm động năng kích từ độc lập và tự kích.

Hãm động năng kích từ độc lập thực hiện theo sơ đồ nguyên lý H.2-46a với nguồn 1 chiều được lấy từ bên ngoài không liên quan đến năng lượng do động cơ tạo ra.

Đối với hãm động năng tự kích, nguồn một chiều được tạo ra từ năng lượng mà động cơ đã tích lũy được, sơ đồ nguyên lý loại này thể hiện trên H.2-46b, c.

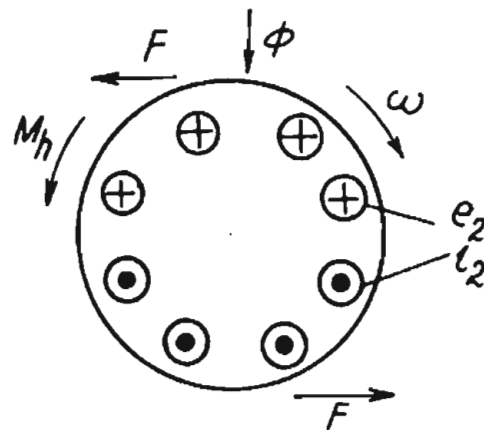
Khi cắt stato khỏi nguồn xoay chiều rồi đóng vào nguồn một chiều thì dòng một chiều này sinh ra một từ trường đứng yên so với stato, giả sử từ thông Φ có chiều như mũi tên trên H.2-47. Rôto động cơ theo quán tính vẫn quay theo chiều cũ thể hiện như trên hình vẽ và các thanh dẫn rôto sẽ cắt từ trường đứng yên nên xuất hiện trong nó một sức điện động cảm ứng e_2 . Xác định chiều của e_2 theo quy tắc bàn tay phải và ứng với ký hiệu dấu "+" khi sức điện động có chiều đi vào và ký hiệu dấu "-", khi sức điện động có chiều đi ra. Vì

rôto kín mạch nên b_2 , lại sinh dòng ra dòng i_2 cùng chiều. Tương tác giữa dòng điện i_2 và từ trường đứng yên tạo nên sức từ động F có chiều xác định theo quy tắc bàn tay trái. Lực F sinh ra mômen hãm có chiều ngược với chiều quay của rôto làm cho rôto quay chậm lại và sức điện động e_2 cũng giảm dần.



Hình 2-46. Sơ đồ nguyên lý hãm động năng của động cơ không đồng bộ.
a) Hãm động năng kích từ độc lập; b) Hãm động năng tự kích dùng tụ điện;
c) Hãm động năng tự kích từ mạch rôto.

Trong hãm động năng kích từ độc lập từ thông Φ có giá trị không đổi còn ở hãm động năng tự kích thì ϕ có giá trị biến đổi. Khi hãm động năng động cơ không đồng bộ làm việc như một máy phát điện đồng bộ cực từ ẩn có tốc độ và tần số thay đổi và phụ tải của máy phát này là điện trở mạch rôto.



Hình 2-47. Nguyên lý tạo mômen hãm động năng động cơ không đồng bộ.

Để thành lập phương trình

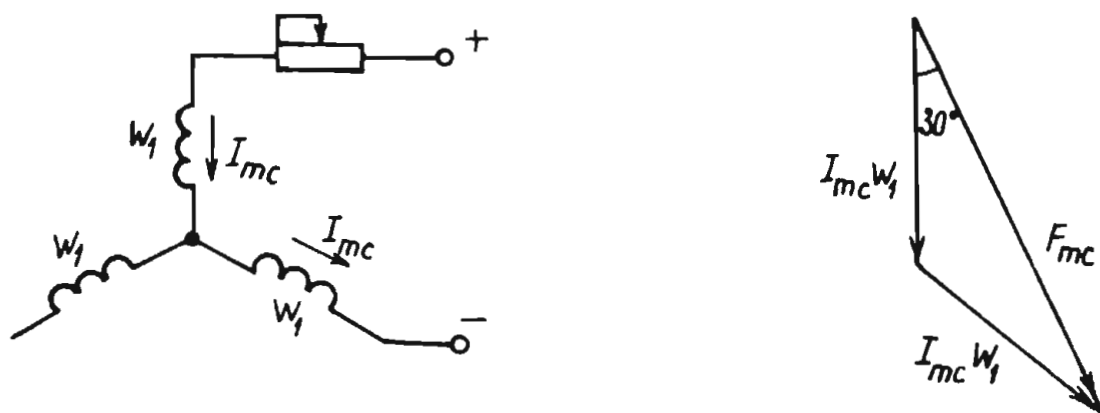
đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ ở trạng thái hãm động năng ta thay thế một cách đẳng trị chế độ máy phát đồng bộ có tần số thay đổi bằng chế độ làm việc động cơ không đồng bộ. Nghĩa là cuộn dây stato thực tế đấu vào nguồn một chiều nhưng ta coi như đấu vào nguồn xoay chiều. Điều kiện đẳng trị ở đây là sức từ động do dòng điện một chiều và dòng điện xoay chiều đẳng trị sinh ra là như nhau.

Sức từ động xoay chiều do dòng đẳng trị sinh ra được xác định theo biểu thức:

$$F_1 = \frac{3}{2} \sqrt{2} I_1 w_1. \quad (2-99)$$

Sức từ động một chiều do dòng điện một chiều thực tế tạo ra phụ thuộc vào cách đấu dây của mạch stato khi hãm và biểu diễn tổng quát bởi biểu thức

$$F_{mc} = a w_1 I_{mc} \quad (2-100)$$



Hình 2-48. Một kiểu sơ đồ nối dây và đồ thị véctơ sức từ động một chiều của động cơ khi hãm động năng.

Cân bằng hai biểu thức trên ta được:

$$I_1 = \frac{a w_1}{\frac{3}{2} \sqrt{2} w_1} I_{mc} = A I_{mc}, \quad (2-101)$$

trong đó a , A là các hệ số phụ thuộc sơ đồ nối mạch stato khi hãm

động năng.

Ví dụ với sơ đồ nối dây và đồ thị véctơ như H. 2-48 ta có thể xác định a , A như sau:

$$F_{mc} = 2I_{mc}\omega_1 \cos 30^{\circ} = \sqrt{3} \omega_1 I_{mc},$$

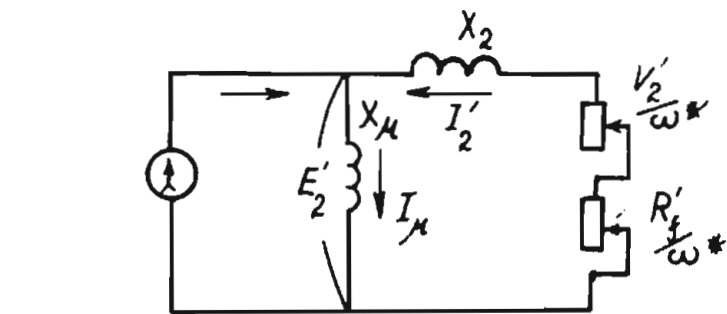
và $a = \sqrt{3} \quad ; \quad A = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} .$

Đối với các sơ đồ đấu dây khác nhau của mạch stato ta có thể xác định hệ số A theo bảng 2-1:

Bảng 2-1				
Sơ đồ đấu dây m ặ c h stato và đồ thị vé c t ơ sức điện động				
Hệ số A	$\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{3}$	$\frac{1}{\sqrt{2}\sqrt{3}}$

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

– Ở chế độ động cơ không đồng bộ thì điện áp



Hình 2-49. Sơ đồ thay thế một pha động cơ không đồng bộ khi hãm động năng kích từ độc lập.

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 rôto 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, do đó từ thông Φ ở stato thay đổi theo tốc độ.

Trong chế độ làm việc của động cơ, 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:

$$\omega^* = \frac{\omega}{\omega_1}$$

Từ sơ đồ thay thế trên H. 2-49 ta có đồ thị vectơ dòng điện như H. 2-50.

Từ sơ đồ thay thế:

$$I'_2 = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{\omega_n}\right)^2 + X_2^2}} = \frac{E_2 \omega^*}{\sqrt{R_2^2 + (X'_2 \omega^*)^2}}$$

và
$$I_2 = \frac{I_\mu X_\mu \omega^*}{\sqrt{R_2^2 + (X'_2 \omega^*)^2}},$$

trong đó:

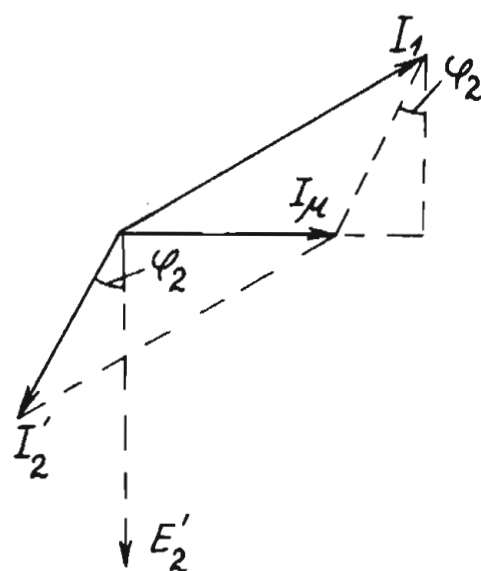
$$R_2 = r_2 + R_{f2}.$$

Theo đồ thị vectơ ta có:

$$I_1^2 = (I_\mu + I'_2 \sin \varphi_2)^2 + (I'_2 \cos \varphi_2)^2,$$

hay

$$I_1^2 = I_\mu^2 + I_2'^2 + 2I_\mu I_2' \sin \varphi_2, \quad (2-102)$$



Hình 2-50. Đồ thị vectơ dòng điện khi hãm động năng động cơ không đồng bộ.

trong đó:

$$\sin\varphi_2 = \frac{X'_2\omega^*}{\sqrt{R'^2_2 + (X'_2\omega^*)^2}} \quad (2-103)$$

Thay I'_2 và $\sin\varphi_2$ vào (2-102), ta có:

$$I_1^2 = I_\mu^2 + \frac{I_\mu^2 X_\mu^2 \omega^{*2}}{R_2^2 + (X'_2\omega^*)^2} + \frac{2I_\mu^2 X_\mu X'_2 \omega^{*2}}{R'^2_2 + (X'_2\omega^*)^2} \quad (2-104)$$

Từ đó rút ra:

$$\omega^* = R'_2 \sqrt{\frac{(\frac{I_1}{I_\mu})^2 - 1}{(X'_2 + X_\mu)^2 - (\frac{I_1}{I_\mu})^2 X'^2_2}} \quad (2-105)$$

Từ các biểu thức (2-102), (2-103), (2-104) sau khi biến đổi ta được:

$$I'_2 = \frac{I_1 X_\mu \omega^*}{\sqrt{(R'_2)^2 + (X'_2 + X_\mu)^2 \omega^{*2}}} \quad (2-103)$$

Tương tự như đã xét ở động cơ không đồng bộ ta xác định được mômen:

$$M = \frac{3I'^2_2 \frac{R'_2}{\omega^*}}{\omega_1} \quad (2-104)$$

và

$$M = \frac{3I_1^2 x_\mu R_2 \omega^*}{\omega_1 [R'^2_2 + (X_\mu + X_2)^2 \omega^{*2}]} \quad (2-105)$$

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

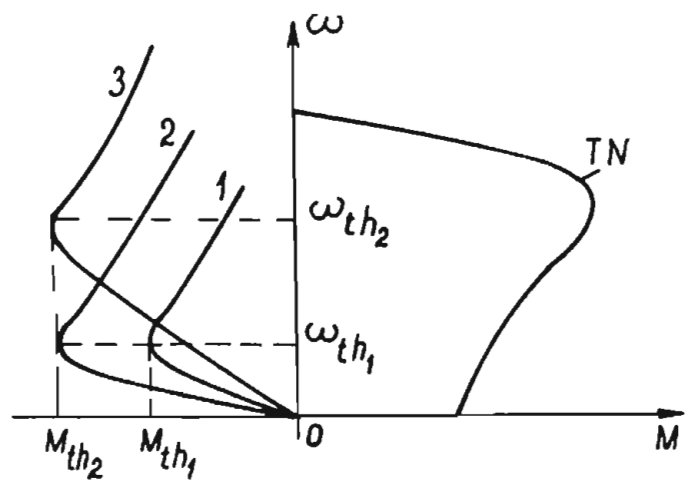
$$\omega_{th} = \frac{R'_2}{X_\mu + X'_2} \quad (2-106)$$

$$M_{th} = \frac{3I_1^2 X_\mu^2}{2\omega_1 (X_\mu + X'_2)} \quad (2-107)$$

$$M = \frac{2M_{th}}{\frac{\omega^*}{\omega_{th}^*} + \frac{\omega_{th}^*}{\omega^*}} \quad (2-108)$$

Biểu thức (2-108) là phương trình đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ khi hãm động năng kích từ độc lập.

Ta thấy rằng khi thay đổi R_f thì R'_2 thay đổi nên thay đổi $M_{th} = \text{const}$. Còn khi thay đổi dòng điện I_1 tức là thay đổi dòng một chiều I_{mc} thì mômen tới hạn M_{th} thay đổi còn $\omega_{th}^* = \text{const}$. Các dạng đặc tính hãm động năng đó được biểu diễn trên H. 2-51. Đường 1 và 2 có cùng điện trở R'_2 nhưng có $M_{th2} > M_{th1}$ nên dòng một chiều tương ứng $I_{mc2} > I_{mc1}$. Còn đường 2 và 3 có cùng dòng một chiều nhưng điện trở R_2 lại khác nhau.



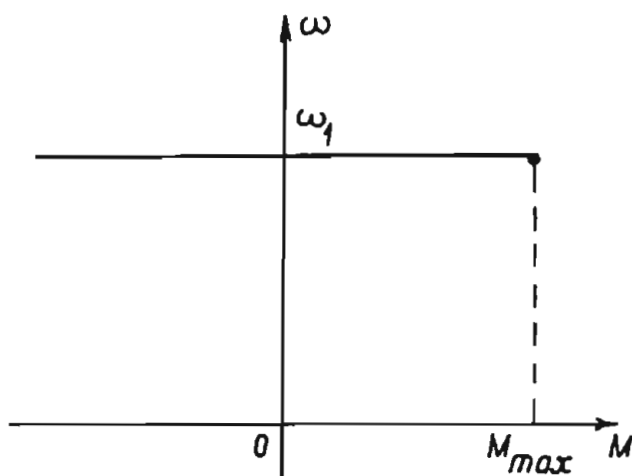
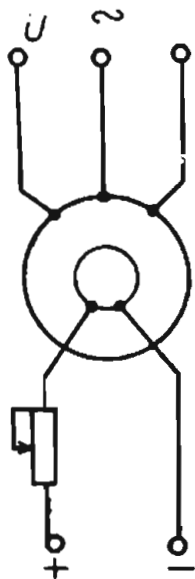
Hình 2-51. Đặc tính cơ hãm động năng kích từ độc lập của động cơ không đồng bộ.

2-5. ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ

Động cơ đồng bộ được sử dụng khá rộng rãi trong những truyền động công suất trung bình và lớn, có yêu cầu ổn định tốc độ cao. Động cơ đồng bộ thường dùng cho các máy bơm, quạt gió, các hệ truyền động của nhà máy luyện kim và cũng thường được sử dụng làm động cơ sơ cấp trong các tổ máy phát – động cơ công suất lớn.

Ưu điểm của động cơ đồng bộ là có độ ổn định tốc độ cao, hệ số $\cos \varphi$ và hiệu suất lớn, vận hành có độ tin cậy cao. Sơ đồ nguyên lý của động cơ đồng bộ được trình bày trên H. 2-54.

Mạch stato của nó tương tự động cơ KĐB, mạch rôto có cuộn kích từ và các cuộn dây khởi động.



Hình 2-52. Sơ đồ nguyên lý của động cơ đồng bộ.

Hình 2-53. Đặc tính cơ của động cơ đồng bộ.

2-5.1. Các đặc tính của động cơ đồng bộ

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

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

Trong phạm vi mômen cho phép $M \leq M_{\max}$, đặc tính cơ là tuyệt đối cứng, nghĩa là độ cứng của đặc tính cơ $\beta = \infty$. Đặc tính cơ của động cơ đồng bộ được trình bày trên H. 2-53.

Khi mômen vượt quá trị số $M_{\max}$ thì tốc độ động cơ sẽ mất đồng bộ.

Trong hệ truyền động dùng động cơ đồng bộ người ta còn sử dụng đặc tính góc: $M = f(\theta)$.

Đặc tính góc biểu diễn quan hệ giữa mômen của động cơ với góc lệch của vectơ điện áp pha lưới điện và vectơ sức điện động cảm ứng trong dây quấn stato do từ trường một chiều rôto sinh ra.

Đặc tính $M = f(\theta)$ được xây dựng bằng cách sử dụng đồ thị vectơ của mạch stato với giả thiết bỏ qua điện trở R_s của stato.

Trên đồ thị vectơ H. 2-54

U_1 – điện áp pha lưới điện, V

E – sức điện động pha stato, V

I_1 – dòng điện stato, A

X_s – điện kháng pha stato bằng:

tổng điện kháng mạch từ hóa X_μ và điện kháng cuộn dây một pha của stato: $X_s = X_\mu + X_1$,

θ – góc lệch pha giữa U và E ,

φ – góc lệch pha giữa vectơ điện áp U_1 và dòng điện I_1 .

Từ đồ thị vectơ ta có:

$$U_1 \cos \varphi = E \cos (\varphi - \theta) \quad (2-109)$$

Theo tam giác ABC:

$$\cos (\varphi - \theta) = \frac{U \sin \theta}{I_1 X_s} \quad (2-110)$$

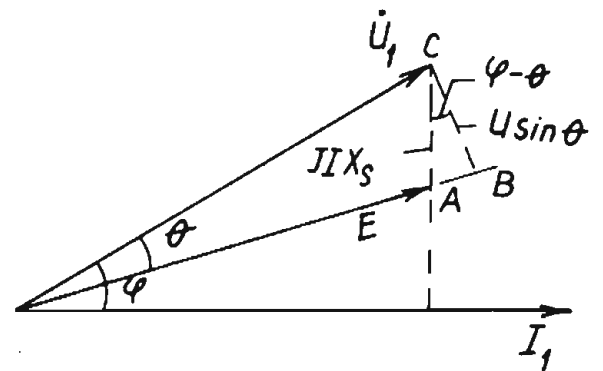
Thay vào phương trình trên ta được:

$$U_1 \cos \varphi = E \frac{U_1 \sin \theta}{I_1 X_s} \quad (2-111)$$

Hay

$$U_1 I_1 \cos \varphi = \frac{E U_1}{X_s} \sin \theta, \quad (2-112)$$

$U_1 I_1 \cos \varphi$ là công suất một pha của động cơ.



Hình 2-54. Đồ thị vectơ của mạch stato động cơ đồng bộ.

Vậy công suất ba pha của động cơ là:

$$P = \frac{3EU_1}{X_s} \sin\theta \quad (2-113)$$

Mômen động cơ

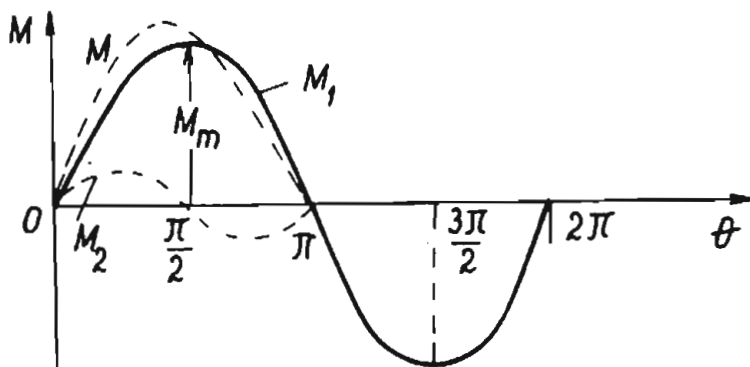
$$M = \frac{P}{\omega_1} = \frac{3EU_1}{\omega_1 X_s} \sin\theta \quad (2-114)$$

Đây là phương trình đặc tính góc của động cơ đồng bộ.

Một cách gần đúng ta thấy đặc tính góc có dạng hình sin biểu diễn trên H. 2-55 (đường M_1).

Khi $\theta = \pi/2$ ta có biểu đồ cực đại:

$$M_{\max} = \frac{3EU_1}{\omega_1 X_s}$$



Hình 2-55. Đặc tính góc của động cơ đồng bộ.

Lúc này

$$M = M_m \sin\theta,$$

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

Động cơ đồng bộ thường làm việc định mức với $\theta_{dm} = 20^\circ \div 25^\circ$. Hệ số quá tải về mômen:

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

Những điều phân tích ở trên chỉ đúng với động cơ đồng bộ cực ẩn và mômen chỉ xuất hiện khi có kích từ vào rôto. Còn với động cơ đồng bộ cực lồi do sự phân bố khe hở không khí giữa rôto và stato không đều nên trong máy xuất hiện mômen phản kháng phụ và

phương trình đặc tính góc có dạng sau:

$$M = \frac{3}{\omega_1} \left[\frac{U_1 E}{X_d} \sin\theta + \frac{U_1^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta \right], \quad (2-115)$$

X_d, X_q là điện kháng dọc trục và ngang trục.

Đường cong biểu diễn M sẽ là tổng của hai thành phần:

$$M_1 = \frac{3U_1 E}{X_d} \sin\theta, \quad (2-116)$$

và
$$M_2 = \frac{3U_1^2}{2\omega_1} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta. \quad (2-117)$$

Trên đồ thị đặc tính góc biểu diễn M_1, M_2 bằng các đường nét đứt. Đối với máy cực ẩn $X_q = X_d$ nên $M_2 = 0$ và $M = M_1$. Nhưng thường M_2 rất nhỏ nên có thể bỏ qua. Khi đó đặc tính góc của động cơ cực ẩn và cực lồi như nhau.

2-5.2 Khởi động và hãm động cơ đồng bộ

Mạch rôto của động cơ đồng bộ có hai cuộn dây: cuộn kích từ để sinh ra từ trường trong máy và cuộn khởi động kiểu lồng sóc và dây quấn.

a) Quá trình khởi động

Quá trình khởi động động cơ đồng bộ gồm hai giai đoạn:

– *Giai đoạn thứ nhất*: stato của động cơ được đấu vào nguồn điện xoay chiều, còn cuộn kích từ đóng kín qua điện trở hạn chế R_{hc} để cuộn kích từ khỏi bị quá áp do sức điện động cảm ứng sinh ra trong nó ($R_{hc} = (8 \div 10) R_{kt}$). Trong giai đoạn này động cơ đồng bộ được khởi động như một động cơ không đồng bộ. Trên H. 2-56 biểu diễn đặc tính khởi động.

Đường 1: Đặc tính khởi động của động cơ có cuộn dây khởi động điện trở nhỏ.

Đường 2: Đặc tính khởi động của động cơ đồng bộ có cuộn dây khởi động điện trở lớn. Ta thấy rõ đường đặc tính có M_{nm} lớn hơn thì M_{vd} (mômen vào đồng bộ) lại nhỏ hơn và ngược lại.

– *Giai đoạn thứ hai:*

Cuối giai đoạn thứ nhất khi tốc độ đạt $(95\% \div 98\%)$ tốc độ đồng bộ. Lúc này ta đưa dòng kích từ vào rôto để tạo ra mômen đưa tốc độ động cơ lên đồng bộ.

Giai đoạn này rất quan trọng vì nếu không đưa động cơ quay với tốc độ đồng bộ được thì động cơ sẽ làm việc ở trạng thái không đồng bộ và cuộn khởi động sẽ bị phát nóng quá mức, có thể bị cháy.

Trong một số trường hợp đặc biệt người ta còn có thể khởi động động cơ đồng bộ bằng phương pháp sau:

– *Khởi động trực tiếp* bằng cách đóng stato vào lưới điện với điện áp định mức ngay từ đầu. Phương pháp này chỉ sử dụng cho động cơ công suất nhỏ hoặc động cơ có điện áp cao.

– *Khởi động gián tiếp* bằng cách đóng stato vào lưới điện qua điện kháng phụ X_f hoặc biến áp tự ngẫu để hạn chế dòng khởi động sau đó ngắn mạch chúng.

Trị số X_f có thể xác định bằng cách dựa vào mômen hoặc dòng điện khởi động cần hạn chế.

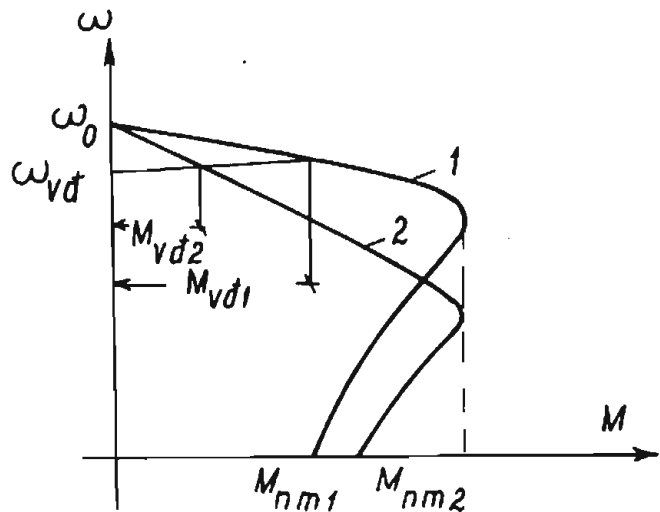
$$M_{kd} = M_{lddm} \left(\frac{U_{kd}}{U_{dm}} \right)^2 \quad (2-118)$$

và
$$I_{kd} = I_{kddm} \frac{U_{kd}}{U_{dm}}, \quad (2-119)$$

trong đó:

M_{kddm}, I_{kddm} – Mômen và dòng điện khởi động ứng với điện áp stato định mức.

M_{kd}, I_{kd} – Mômen và dòng điện khởi động với $U_{kd} < U_{dm}$.



Hình 2-56. Đặc tính khởi động của động cơ đồng bộ.

Nếu bỏ qua điện trở của cuộn dây stato thì điện kháng pha stato có thể được xác định:

$$X_s = \frac{U_{dm}}{\sqrt{3} I_{kđđm}} \quad (2-120)$$

Với dòng điện khởi động cần hạn chế là $I_{kđ}$, khi đó ta xác định được trị số của điện kháng phụ:

$$X_f = \frac{U_{dm}}{\sqrt{3} I_{kđ}} - X_s \quad (2-121)$$

Cũng có thể xác định X_f từ mômen khởi động cần hạn chế

$$\begin{aligned} X_f &= \frac{U_{dm}}{\sqrt{3} I_{kđđm}} \cdot \sqrt{\frac{M_{kđđm}}{M_{kđ}}} - X_s \\ &= X_s \left(\sqrt{\frac{M_{kđđm}}{M_{kđ}}} - 1 \right). \end{aligned} \quad (2-122)$$

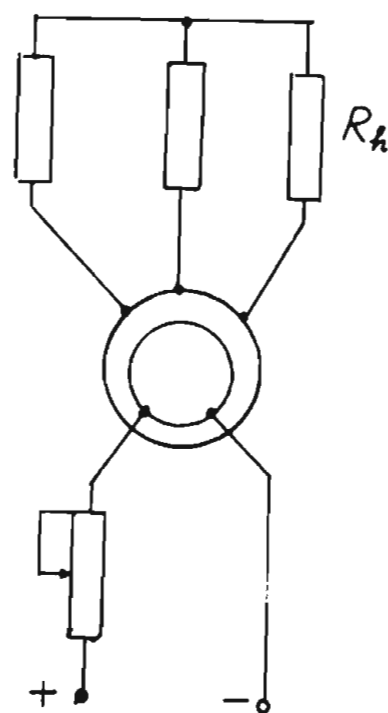
b) Trạng thái hãm động cơ điện đồng bộ

– Đối với động cơ điện đồng bộ thường dùng phương pháp hãm động năng. Khi động cơ đang quay, muốn hãm động năng ta cắt stato khỏi lưới điện xoay chiều rồi đóng vào điện trở phụ ba pha, còn rôto vẫn được kích từ như trước đó. Sơ đồ nguyên lý khi hãm động năng động cơ đồng bộ được thể hiện trên H. 2-57.

Đặc tính cơ hãm động năng có dạng như của động cơ không đồng bộ khi hãm động năng kích từ độc lập.

c) Trạng thái hãm tái sinh

Hãm tái sinh động cơ đồng bộ có thể xảy ra khi động cơ làm việc ở đoạn đặc tính cơ nằm ở góc phần tư thứ II trên hệ tọa độ (M, ω) , H. 2-53. Lúc này động cơ đồng bộ làm việc ở chế độ máy phát biến cơ năng thành điện năng trả về lưới.



Hình 2-57. Sơ đồ nguyên lý hãm động năng động cơ điện đồng bộ.

Chương 3

ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

Điều chỉnh tốc độ là một trong những nội dung chính của truyền động điện tự động nhằm đáp ứng yêu cầu công nghệ của các máy sản xuất. Điều chỉnh tốc độ truyền động điện là dùng các phương pháp thuần túy điện, tác động lên bản thân hệ thống truyền động điện (nguồn và động cơ điện) để thay đổi tốc độ quay của trục động cơ điện.

Tốc độ làm việc của truyền động điện do công nghệ yêu cầu và được gọi là *tốc độ đặt*, hay *tốc độ mong muốn*. Trong quá trình làm việc, tốc độ của động cơ thường bị thay đổi do sự biến thiên của tải, của nguồn và do đó gây ra sai lệch tốc độ thực so với tốc độ đặt. Trong các hệ truyền động điện tự động thường dùng các phương pháp khác nhau để ổn định tốc độ động cơ. Để đánh giá chất lượng của một hệ thống truyền động điện thường căn cứ vào một số chỉ tiêu kinh tế – kỹ thuật cơ bản, các chỉ tiêu này cũng được tính đến khi thiết kế hoặc chỉnh định các hệ thống truyền động điện.

3-1. SAI SỐ TỐC ĐỘ

Sai số tĩnh tốc độ là đại lượng đặc trưng cho độ chính xác duy trì tốc độ đặt và thường được tính theo phần trăm:

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

trong đó: ω_d – tốc độ đặt,
 ω – tốc độ làm việc thực.

3-2. ĐỘ TRƠN CỦA ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ

Độ trơn của điều chỉnh tốc độ được định nghĩa:

$$\gamma = \frac{\omega_{i+1}}{\omega_i}, \quad (3-2)$$

trong đó ω_i là giá trị tốc độ ổn định đạt được ở cấp i ,

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

Từ chỉ tiêu độ trơn của điều chỉnh tốc độ ta có thể phân loại:

– Hệ điều chỉnh vô cấp nếu $\gamma = \frac{\omega_{i+1}}{\omega_i} \rightarrow 1$, tức là hệ truyền động

có thể làm việc ổn định ở mọi giá trị trong suốt dải điều chỉnh.

Hệ điều chỉnh có cấp, khi nó chỉ có thể làm việc ổn định ở một số giá trị của tốc độ trong dải điều chỉnh.

3-3. DẢI ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ

Dải điều chỉnh hay phạm vi điều chỉnh là tỷ số giữa giá trị lớn nhất và giá trị nhỏ nhất của tốc độ làm việc ứng với mômen tải đã cho:

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

Giá trị tốc độ cực đại $\omega_{\max}$ bị hạn chế bởi độ bền cơ học của động cơ và với động cơ một chiều nó còn bị hạn chế bởi khả năng chuyển mạch của vành góp. Tốc độ nhỏ nhất $\omega_{\min}$ bị chặn dưới bởi yêu cầu về mômen khởi động, về khả năng quá tải và về sai số tốc độ làm việc cho phép. Để minh họa, ta xét ví dụ trên H. 3-1.

Giả thiết các đặc tính cơ là tuyến tính, có độ cứng không đổi β_1 và β_2 , mômen tải không đổi M_c , sai số tốc độ tương ứng sẽ là:

$$s_1 \% = \frac{M_c}{\omega_{01} \cdot \beta_1} \cdot 100\%$$

$$s_2 \% = -\frac{M_c}{\omega_{02} \beta_2} \cdot 100\%.$$

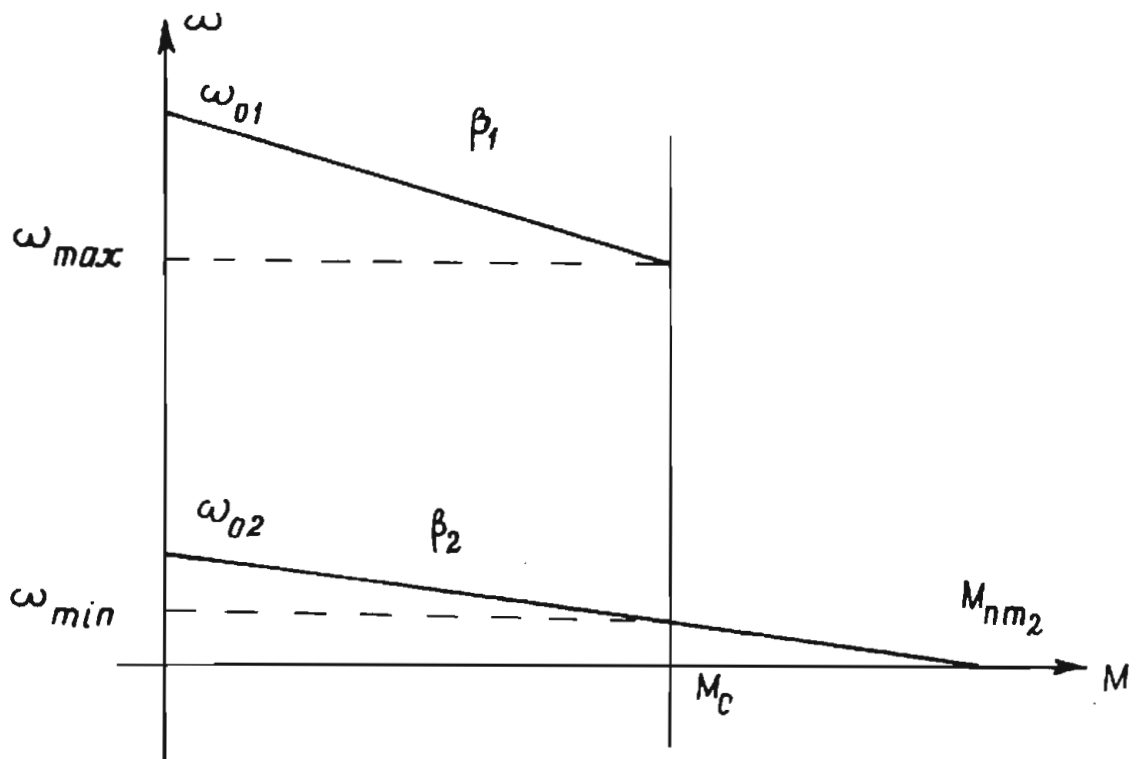
Nếu gọi bội số mômen khởi động là $K_{nm2} = M_{nm2}/M_c$ thì:

$$s_2 \% = \frac{1}{K_{nm2}} \cdot 100\%,$$

và theo định nghĩa ta có:

$$s_2 \% = \left(1 - \frac{\omega_{min}}{\omega_{02}}\right) \cdot 100\%,$$

$$\omega_{min} = (1 - s_2) \cdot \frac{M_c \cdot K_{nm2}}{\beta_2} \quad (3-4)$$



Hình 3-1. Ví dụ xác định vùng điều chỉnh.

Từ biểu thức (3-4) ta có thể thấy được sự liên quan giữa dải điều chỉnh, độ chính xác điều chỉnh và độ cứng của đặc tính cơ. Vì rằng dải điều chỉnh và độ chính xác đã được xác định bởi yêu cầu công nghệ, nên việc xác định giá trị tối thiểu của độ cứng đặc tính

cơ là một phần trong bài toán thiết kế hệ thống truyền động điện tự động.

3-4. SỰ PHÙ HỢP GIỮA ĐẶC TÍNH ĐIỀU CHỈNH VÀ ĐẶC TÍNH TẢI

Với các động cơ điện một chiều và xoay chiều 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 điện định mức, 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.

3-5. CHỈ TIÊU KINH TẾ

Chỉ tiêu kinh tế có ý nghĩa quan trọng, nhiều khi là chỉ tiêu quyết định cho việc chọn các phương án điều chỉnh. Chỉ tiêu kinh tế thể hiện ở vốn đầu tư, chi phí vận hành hệ thống và ở hiệu quả do áp dụng phương pháp điều chỉnh đem lại. Trong chi phí vận hành thì tổn thất năng lượng khi biến đổi và khi điều chỉnh đóng vai trò quan trọng, ngoài ra hệ số công suất $\cos\varphi$ của hệ thống cũng góp phần ảnh hưởng không nhỏ đến chi phí vận hành.

3-6. CÁC CHỈ TIÊU KHÁC

Ngoài các chỉ tiêu chung đã nêu ở trên, trong từng trường hợp cụ thể còn dùng các chỉ tiêu khác nữa để đánh giá hệ truyền động điện, ví dụ: độ trơn điều chỉnh, khả năng tự động hóa hệ thống v.v... Việc đánh giá chung hệ truyền động điện là bài toán tối ưu đa mục tiêu,

tùy từng trường hợp cụ thể có thể chọn ra các chỉ tiêu ưu tiên để quyết định chọn lựa các phương án điều chỉnh.

3-7. TỔN THẤT NĂNG LƯỢNG KHI ĐIỀU CHỈNH

Để tính toán hoặc dự đoán tổn thất ở trạng thái làm việc ổn định bất kỳ, chỉ cần xác định được giá trị của các loại tổn thất trong hệ thống ở một chế độ làm việc xác định (thường chọn chế độ làm việc định mức), sau đó có thể xác định được tổn thất ở các chế độ khác theo phương pháp tính đổi. Dưới đây mô tả nguyên tắc tính toán tổn thất của máy điện quay.

Tổn thất nhiệt trong dây quấn $\Delta P_j \sim I^2$

Tổn thất trong mạch từ

- do từ trễ $\sim B^2 f$
- do dòng xoáy $\sim B^2 f^2$.

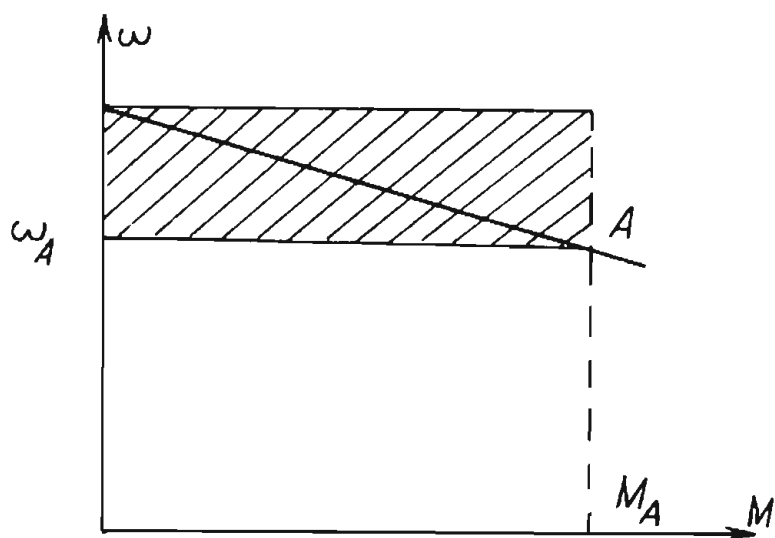
Có thể dùng công thức kinh nghiệm, gần đúng coi tổn thất trong mạch từ như sau:

$$\Delta P_{Fe} \sim B^2 f^{1,3}.$$

Tổn thất cơ học do chuyển động và quạt gió tỷ lệ với ω^3 , tổn thất do ma sát tỷ lệ với ω . Nói chung tổn thất cơ học là hàm số của tốc độ quay.

$$\Delta P_{co} = f(\omega).$$

Ở mỗi phần của mạch lực lại có thể chia tổn thất thành hai loại: tổn thất không đổi ΔP_o và tổn thất biến đổi phụ thuộc vào bình phương dòng điện ΔP_{cu} . Ví dụ tính tổn thất của động



Hình 3-2. Tính toán tổn thất của động cơ (khi làm việc tại điểm A).

cơ tại điểm làm việc A trên đặc tính cơ trên H. 3-2:

$$\Delta P_{jA} = M_A(\omega_0 - \omega_A).$$

Tổng tổn thất của động cơ khi làm việc tại điểm A là:

$$\Delta P_{\Sigma A} = \Delta P_0 + K.M_A(\omega_0 - \omega_A). \quad \parallel$$

Đối với động cơ một chiều có thể chọn $K = 1$, đối với động cơ xoay chiều thì:

$$K = \frac{R_1 + R_2}{R_2},$$

trong đó; R_1 - điện trở dây quấn stato

R_2 - điện trở dây quấn rôto đã quy đổi về stato.

Khi thay đổi tốc độ từ giá trị ω_1 đến giá trị ω_2 trong khoảng thời gian từ t_1 đến t_2 thì có thể tính được tổn thất năng lượng từ phương trình chuyển động của hệ thống.

$$\Delta W = \int_{t_1}^{t_2} M(\omega_0 - \omega) dt = \Delta W_j + \Delta W_{c, r} \quad (3-5)$$

trong đó tổn thất nhiệt không phụ thuộc vào dạng đặc tính cơ mà chỉ phụ thuộc vào giá trị tốc độ đầu và cuối.

$$\Delta W = \int_{\omega_1}^{\omega_2} J_{\Sigma}(\omega_0 - \omega) d\omega.$$

Còn tổn thất cơ học trên tải là:

$$\Delta W_{c, r} = \int_{t_1}^{t_2} M_c(\omega_0 - \omega) dt.$$

Chương 4

ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

4-1. KHÁI NIỆM CHUNG

Về phương diện điều chỉnh tốc độ, động cơ điện một chiều có nhiều ưu việt hơn so với loại động cơ khác, không những nó có khả năng điều chỉnh tốc độ dễ dàng mà cấu trúc mạch lực, mạch điều khiển đơn giản hơn đồng thời lại đạt chất lượng điều chỉnh cao trong dải điều chỉnh tốc độ rộng.

Thực tế có hai phương pháp cơ bản để điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều:

- Điều chỉnh điện áp cấp cho phần ứng động cơ
- Điều chỉnh điện áp cấp cho mạch kích từ động cơ.

Cấu trúc phần lực của hệ truyền động điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều bao giờ cũng cần có bộ biến đổi. Các bộ biến đổi này cấp cho mạch phần ứng động cơ hoặc mạch kích từ động cơ. Cho đến nay trong công nghiệp sử dụng bốn loại bộ biến đổi chính:

- Bộ biến đổi máy điện gồm: động cơ sơ cấp kéo máy phát một chiều hoặc máy điện khuếch đại (*KDM*)
- Bộ biến đổi điện từ: Khuếch đại từ (*KDT*)
- Bộ biến đổi chỉnh lưu bán dẫn: chỉnh lưu tiristo (*CLT*)
- Bộ biến đổi xung áp một chiều: tiristo hoặc tranzito (*BBDXA*).

Tương ứng với việc sử dụng các bộ biến đổi mà ta có các hệ truyền động như:

- Hệ truyền động máy phát–động cơ (*F–Đ*)
- Hệ truyền động máy điện khuếch đại – động cơ (*MDKD–Đ*)
- Hệ truyền động khuếch đại từ – động cơ (*KDT–Đ*)

- Hệ truyền động chỉnh lưu tiristo–động cơ ($T-D$)
- Hệ truyền động xung áp–động cơ ($XA-D$).

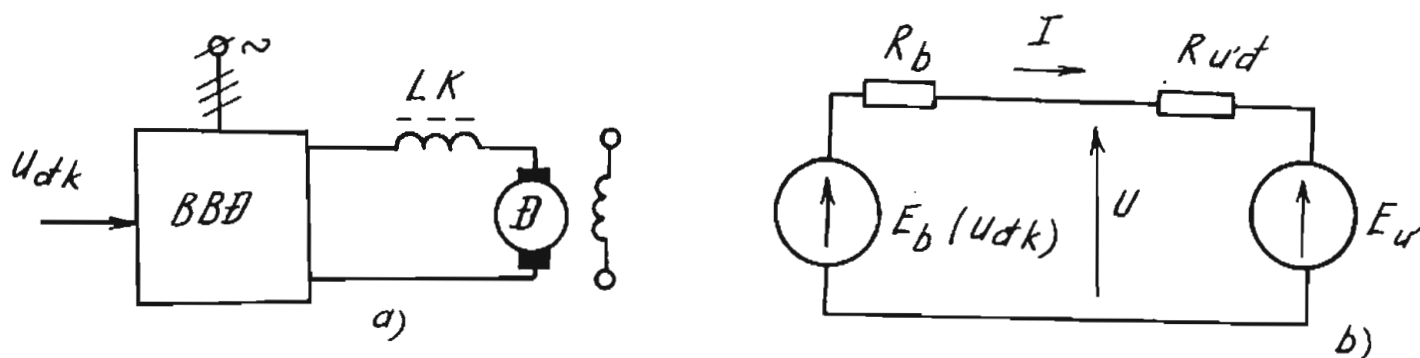
Theo cấu trúc mạch điều khiển các hệ truyền động, điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều có loại điều khiển theo mạch kín (ta có hệ truyền động điều chỉnh tự động) và loại điều khiển mạch hở (hệ truyền động điều khiển "hở"). Hệ điều chỉnh tự động truyền động điện có cấu trúc phức tạp, nhưng có chất lượng điều chỉnh cao và dải điều chỉnh rộng hơn so với hệ truyền động "hở".

Ngoài ra các hệ truyền động điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều còn được phân loại theo truyền động có đảo chiều quay và không đảo chiều quay. Đồng thời tùy thuộc vào các phương pháp hãm, đảo chiều mà ta có truyền động làm việc ở một góc phần tư, hai góc phần tư và bốn góc phần tư.

Trong phạm vi chương này, chúng ta nghiên cứu các tính chất tổng quát, cũng như tính chất riêng của từng hệ truyền động điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều.

4-2. NGUYÊN LÝ ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN ÁP PHẦN ỨNG

Để điều chỉnh điện áp phần ứng động cơ một chiều cần có thiết bị nguồn như máy phát điện một chiều kích từ độc lập, các bộ chỉnh lưu điều khiển v.v... Các thiết bị nguồn này có chức năng biến năng lượng điện xoay chiều thành một chiều có sức điện động E_b điều chỉnh được nhờ tín hiệu điều khiển U_{dk} . Vì là nguồn có công suất



Hình 4-1. Sơ đồ khối và sơ đồ thay thế ở chế độ xác lập.

hữu hạn so với động cơ nên các bộ biến đổi này có điện trở trong R_b và điện cảm L_b khác không.

Ở chế độ xác lập có thể viết được phương trình đặc tính của hệ thống như sau:

$$E_b - E_u = I_u(R_b + R_{ud})$$

$$\omega = \frac{E_b}{K \cdot \Phi_{dm}} - \frac{R_b + R_{ud}}{K \cdot \Phi_{dm}} \cdot I_u \quad (4-1)$$

$$\omega = \omega_o(U_{dk}) - \frac{M}{|\beta|}.$$

Vì từ thông của động cơ được giữ không đổi nên độ cứng đặc tính cơ cũng không đổi, còn tốc độ không tải lý tưởng thì tùy thuộc vào giá trị điện áp điều khiển U_{dk} của hệ thống, do đó có thể nói phương pháp điều chỉnh này là triệt để.

Để xác định giải điều chỉnh tốc độ ta để ý rằng tốc độ lớn nhất của hệ thống bị chặn bởi đặc tính cơ cơ bản, là đặc tính ứng với điện áp phần ứng định mức và từ thông cũng được giữ ở giá trị định mức. Tốc độ nhỏ nhất của dải điều chỉnh bị giới hạn bởi yêu cầu về sai số tốc độ và về mômen khởi động. Khi mômen tải là định mức thì các giá trị lớn nhất và nhỏ nhất của tốc độ là:

$$\omega_{max} = \omega_{omax} - \frac{M_{dm}}{|\beta|} \quad (4-2)$$

$$\omega_{min} = \omega_{omin} - \frac{M_{dm}}{|\beta|}.$$

Để thỏa mãn khả năng quá tải thì đặc tính thấp nhất của dải điều chỉnh phải có mômen ngắn mạch là

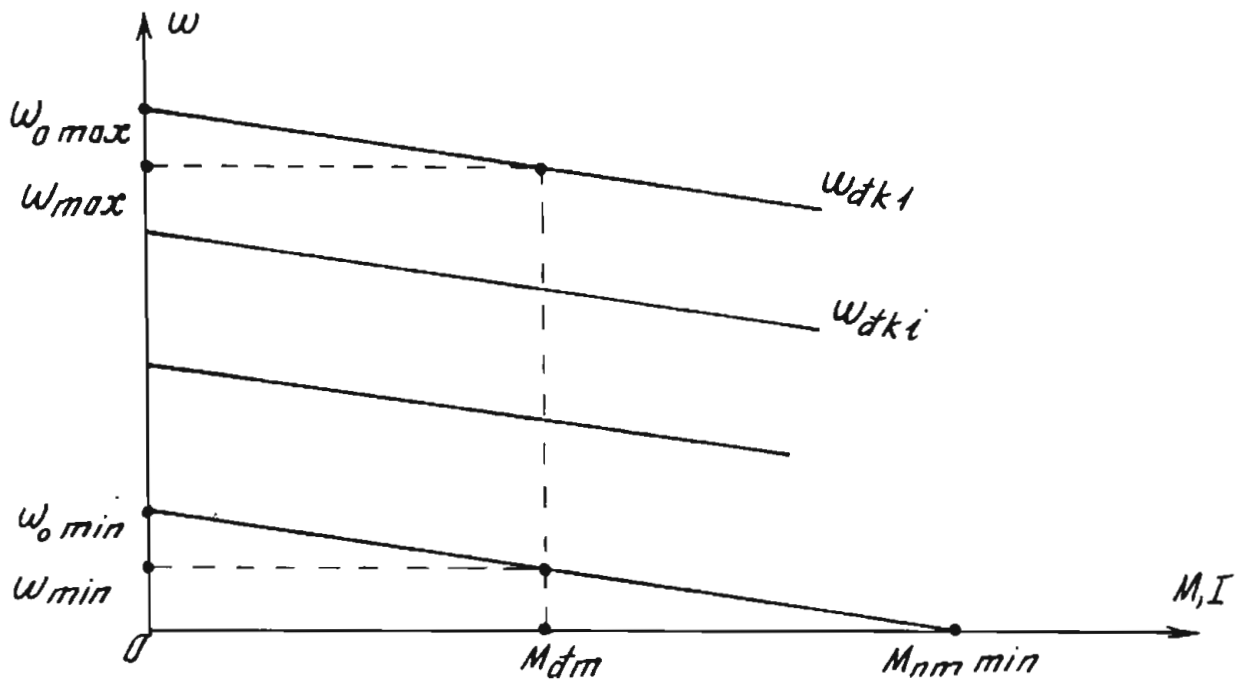
$$M_{nmmin} = M_{cmax} = K_M M_{dm},$$

trong đó K_M là hệ số quá tải về mômen. Vì họ đặc tính cơ là các đường thẳng song song nhau, nên theo định nghĩa về độ cứng đặc

tính cơ ta có thể viết

$$\omega_{\min} = (M_{nm\min} - M_{dm}) \frac{1}{|\beta|} = \frac{M_{dm}}{|\beta|} (K_M - 1)$$

$$D = \frac{\omega_{o\max} - \frac{M_{dm}}{|\beta|}}{(K_M - 1)M_{dm}/|\beta|} = \frac{\omega_{o\max} \cdot |\beta|}{M_{dm}} - 1 \quad (4-3)$$



Hình 4-2. Xác định phạm vi điều chỉnh.

Với một cơ cấu máy cụ thể thì các giá trị $\omega_{o\max}$, M_{dm} , K_M là xác định, vì vậy phạm vi điều chỉnh D phụ thuộc tuyến tính vào giá trị của độ cứng β . Khi điều chỉnh điện áp phần ứng động cơ bằng các thiết bị nguồn điều chỉnh thì điện trở tổng mạch phần ứng gấp khoảng hai lần điện trở phần ứng động cơ. Do đó có thể tính sơ bộ được:

$$\omega_{o\max} \cdot |\beta| / M_{dm} \leq 10.$$

Vì thế với tải có đặc tính mômen không đổi thì giá trị phạm vi

điều chỉnh tốc độ cũng không vượt quá 10. Đối với các máy có yêu cầu cao về dải điều chỉnh và độ chính xác duy trì tốc độ làm việc thì việc sử dụng các hệ thống "hở" như trên là không thỏa mãn được.

Trong phạm vi phụ tải cho phép có thể coi các đặc tính cơ tĩnh của truyền động một chiều kích từ độc lập là tuyến tính. Khi điều chỉnh điện áp phần ứng thì độ cứng các đặc tính cơ trong toàn dải điều chỉnh là như nhau, do đó độ sụt tốc tương đối sẽ đạt giá trị lớn nhất tại đặc tính thấp nhất của dải điều chỉnh. Hay nói cách khác, nếu tại đặc tính cơ thấp nhất của dải điều chỉnh mà sai số tốc độ không vượt quá giá trị sai số cho phép, thì hệ truyền động sẽ làm việc với sai số luôn nhỏ hơn sai số cho phép trong toàn bộ dải điều chỉnh. Sai số tương đối của tốc độ ở đặc tính cơ thấp nhất là:

$$s = \frac{\omega_{\text{omin}} - \omega_{\text{min}}}{\omega_{\text{omin}}} = \frac{\Delta\omega}{\omega_{\text{omin}}}$$

$$s = \frac{M_{\text{dm}}}{|\beta| \cdot \omega_{\text{omin}}} \leq s_{\text{cp}}. \quad (4-4)$$

Vì các giá trị M_{dm} , ω_{omin} , s_{cp} là xác định nên có thể tính được giá trị tối thiểu của độ cứng đặc tính cơ sao cho sai số không vượt quá giá trị cho phép. Để làm việc này, trong đa số các trường hợp cần xây dựng các hệ truyền động điện kiểu vòng kín.

Trong suốt quá trình điều chỉnh điện áp phần ứng thì từ thông kích từ được giữ nguyên, do đó mômen tải cho phép của hệ sẽ là không đổi:

$$M_{\text{c.cp}} = K\phi_{\text{dm}} I_{\text{dm}} = M_{\text{dm}}.$$

Phạm vi điều chỉnh tốc độ và mômen nằm trong hình chữ nhật bao bởi các đường thẳng $\omega = \omega_{\text{dm}}$, $M = M_{\text{dm}}$ và các trục tọa độ. Tổn hao năng lượng chính là tổn hao trong mạch phần ứng nếu bỏ qua các tổn hao không đổi trong hệ.

$$E_b = E_u + I_u(R_b + R_{\text{uđ}}),$$

$$I_u E_b = I_u E_u + I_u^2(R_b + R_{\text{uđ}}).$$

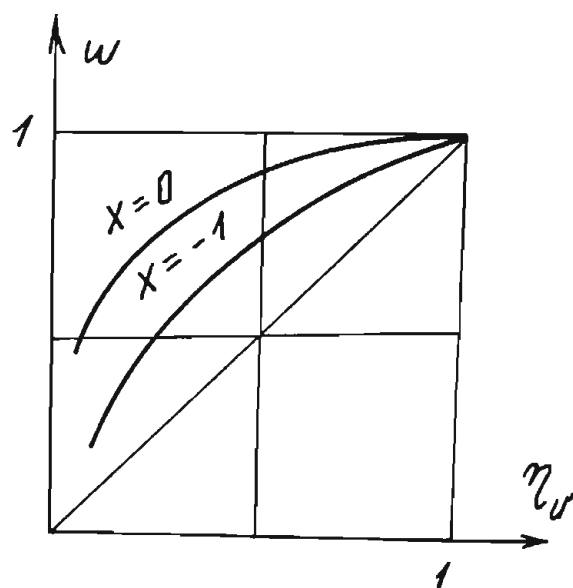
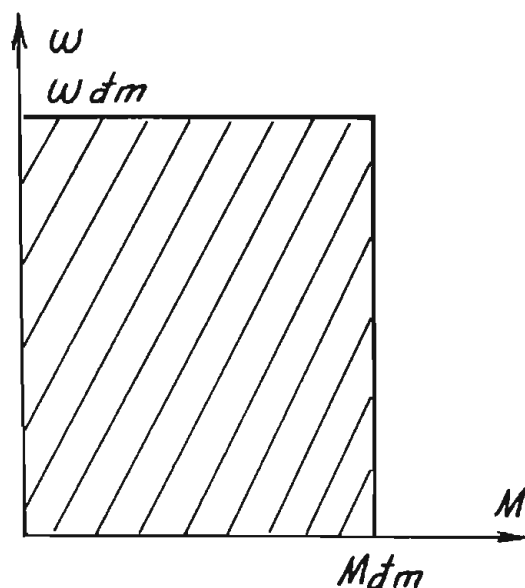
Nếu đặt $R_b + R_{ud} = R$ thì hiệu suất biến đổi năng lượng của hệ sẽ là:

$$\eta_u = \frac{I_u E_u}{I_u E_u + I_u^2 R} = \frac{\omega}{\omega + \frac{MR}{(K\Phi_{dm})^2}}$$

$$\eta_u = \frac{\omega^*}{\omega^* + M^* R^*}$$

Khi làm việc ở chế độ xác lập ta có mômen do động cơ sinh ra đúng bằng mômen tải trên trục: $M^* = M_c^*$ và gần đúng coi đặc tính cơ của phụ tải là $M_c^* = (\omega^*)^x$ thì

$$\eta_u = \frac{\omega^*}{\omega^* + R^* \cdot (\omega^*)^{x-1}} \quad (4-5)$$



Hình 4-3. Quan hệ giữa hiệu suất truyền động và tốc độ với các loại tải khác nhau.

Hình 4-3 mô tả quan hệ giữa hiệu suất và tốc độ làm việc trong các trường hợp đặc tính tải khác nhau. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp phần ứng là rất thích hợp trong trường hợp mômen tải là hằng số trong toàn dải điều chỉnh. Cũng thấy rằng không nên

nối thêm điện trở phụ vào mạch phản ứng vì như vậy sẽ làm giảm đáng kể hiệu suất của hệ.

4-3. NGUYÊN LÝ ĐIỀU CHỈNH TỪ THÔNG ĐỘNG CƠ

Điều chỉnh từ thông kích thích của động cơ điện một chiều là điều chỉnh mômen điện từ của động cơ $M = K\phi I_u$ và sức điện động quay của động cơ $E_u = K\phi\omega$. Mạch kích từ của động cơ là mạch phi tuyến, vì vậy hệ điều chỉnh từ thông cũng là hệ phi tuyến:

$$i_k = \frac{e_k}{r_b + r_k} + w_k \frac{d\Phi}{dt}, \quad (4-6)$$

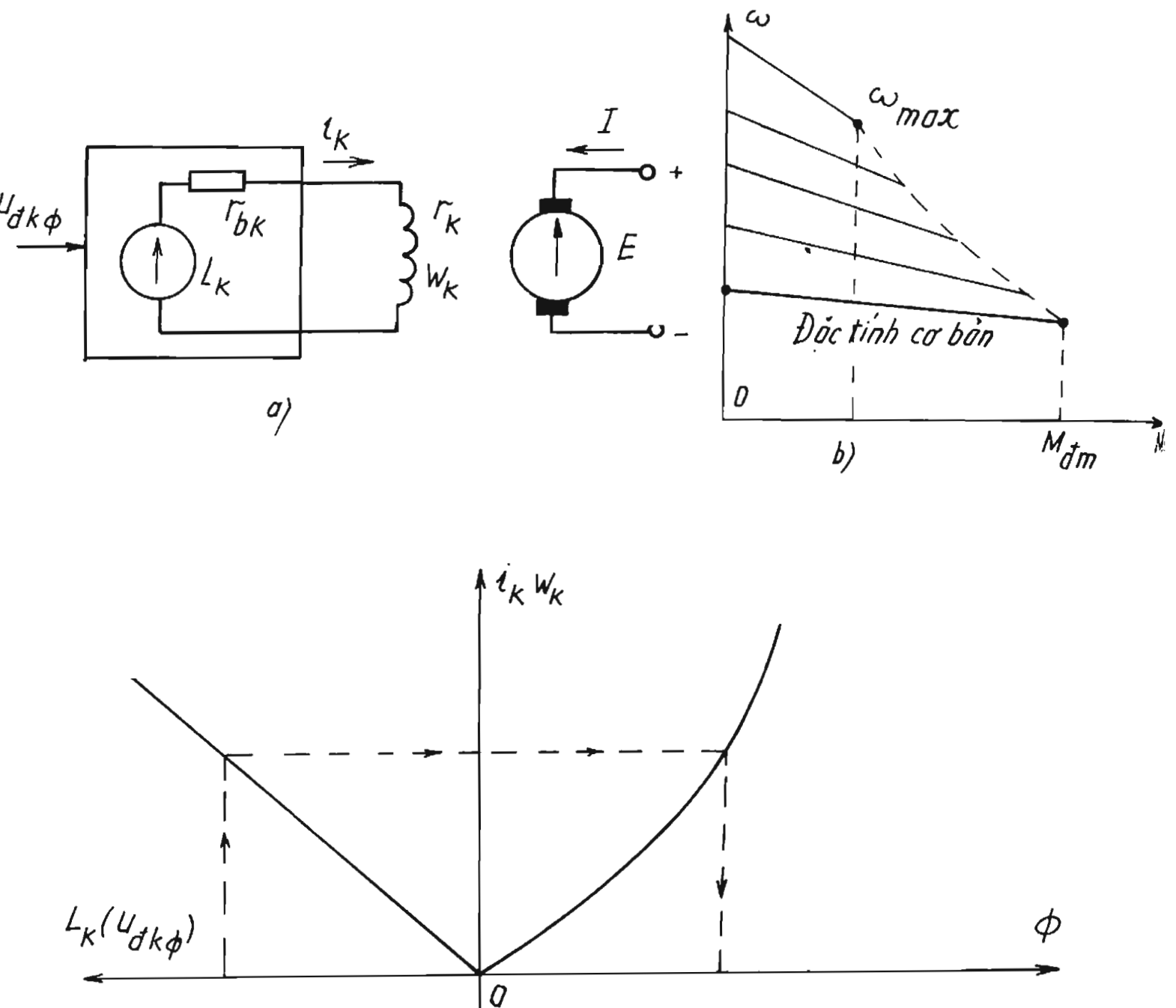
trong đó r_k – điện trở dây quấn kích thích,
 r_b – điện trở của nguồn điện áp kích thích,
 w_k – số vòng dây của dây quấn kích thích.

Trong chế độ xác lập ta có quan hệ:

$$i_k = \frac{e_k}{r_b + r_k}; \quad \Phi = f[i_k]$$

Thường khi điều chỉnh từ thông thì điện áp phản ứng được giữ nguyên bằng giá trị định mức, do đó đặc tính cơ thấp nhất trong vùng điều chỉnh từ thông chính là đặc tính cơ điện áp phản ứng định mức, từ thông định mức và được gọi là đặc tính cơ bản (đôi khi chính là đặc tính tự nhiên của động cơ). Tốc độ lớn nhất của dải điều chỉnh từ thông bị hạn chế bởi khả năng chuyển mạch của cổ góp điện. Khi giảm từ thông để tăng tốc độ quay của động cơ thì đồng thời điều kiện chuyển mạch của cổ góp cũng bị xấu đi, vì vậy để đảm bảo điều kiện chuyển mạch bình thường thì cần phải giảm dòng điện phản ứng cho phép, kết quả là mômen cho phép trên trục động cơ giảm rất nhanh. Ngay cả khi giữ nguyên dòng điện phản ứng thì độ cứng đặc tính cơ cũng giảm rất nhanh khi giảm từ thông kích thích:

$$\beta_{\phi} = \frac{(K\Phi)^2}{R_u} \text{ hay } \beta_{\phi}^* = (\Phi^*)^2$$



Hình 4-4. Sơ đồ thay thế (a) Đặc tính điều chỉnh khi điều chỉnh từ thông động cơ (b) Quan hệ $\phi(i_{kt})$, c).

Do điều chỉnh tốc độ bằng cách giảm từ thông nên đối với các động cơ mà từ thông định mức nằm ở chỗ tiếp giáp giữa vùng tuyến tính và vùng bão hòa của đặc tính từ hóa thì có thể coi việc điều chỉnh là tuyến tính và hằng số C phụ thuộc vào thông số kết cấu của

máy điện:

$$\Phi = C \cdot i_k = \frac{C}{r_b + r_k} e_k.$$

4-4. HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG MÁY PHÁT – ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU (F-D)

4-4.1. Cấu trúc hệ F-D và các đặc tính cơ bản

Hệ thống máy phát – động cơ (F-D) là hệ truyền động điện mà bộ biến đổi điện là máy phát điện một chiều kích từ độc lập. Máy phát này thường do động cơ sơ cấp không đồng bộ ba pha ĐK quay và coi tốc độ quay của máy phát là không đổi.

Tính chất của máy phát điện được xác định bởi hai đặc tính: đặc tính từ hóa là sự phụ thuộc giữa sức điện động máy phát vào dòng điện kích từ và đặc tính tải là sự phụ thuộc của điện áp trên hai cực của máy phát vào dòng điện tải. Các đặc tính này nói chung là phi tuyến do tính chất của lõi sắt, do các phản ứng của dòng điện phần ứng v.v... Trong tính toán gần đúng có thể tuyến tính hóa các đặc tính này:

$$E_F = K_F \cdot \Phi_F \cdot \omega_F = K_F \cdot \omega_F \cdot C \cdot i_{KF}, \quad (4-7)$$

trong đó K_F là hệ số kết cấu của máy phát,

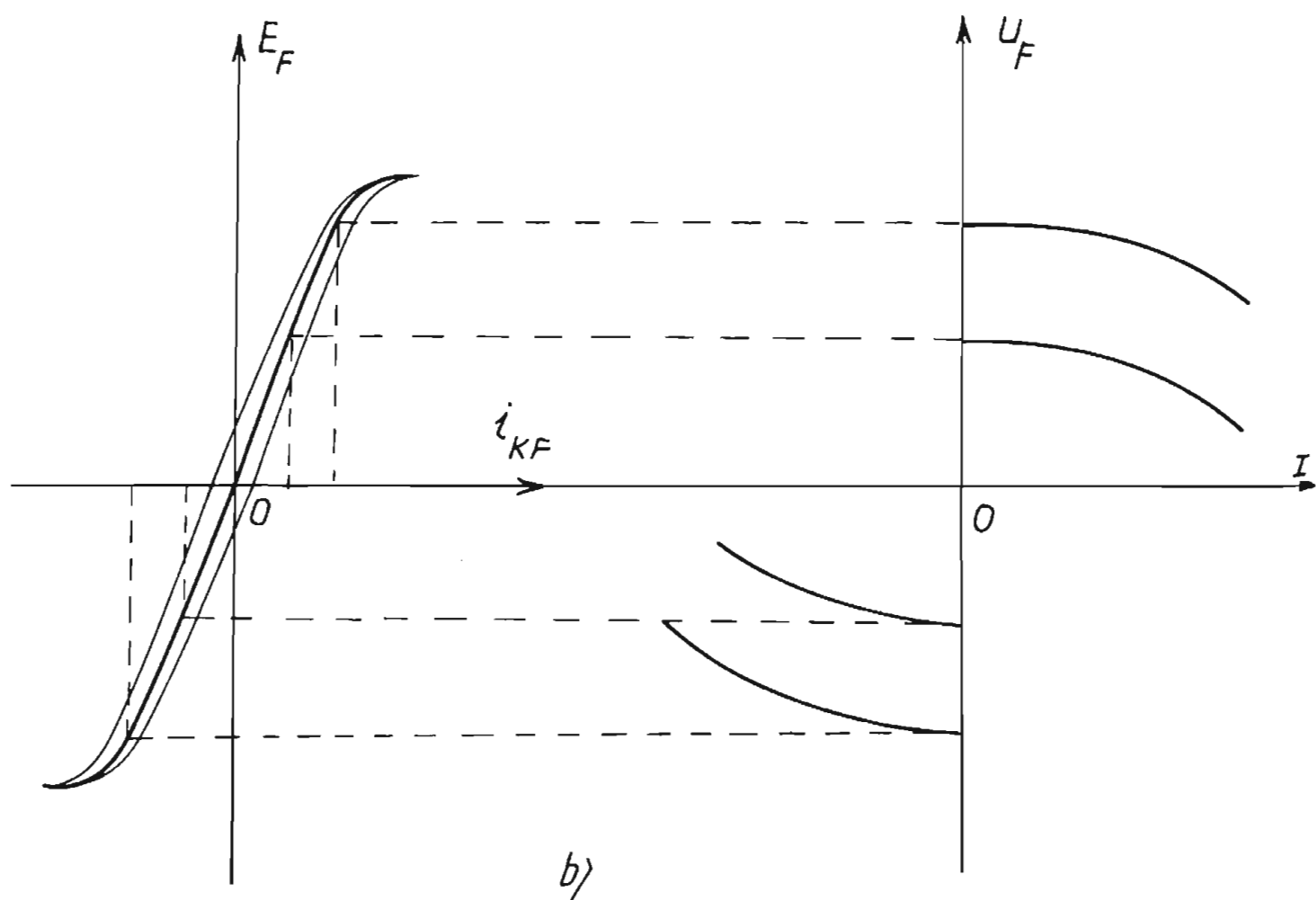
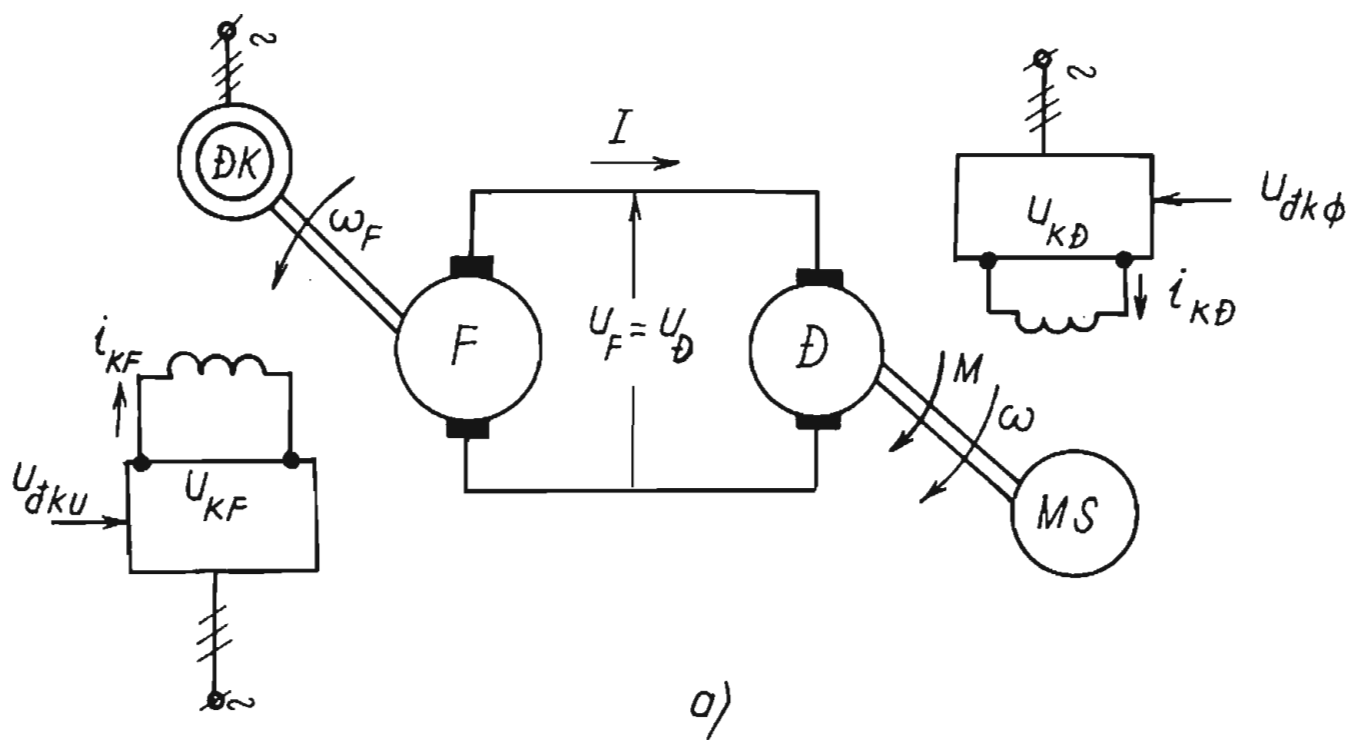
$C = \Delta\Phi_F/\Delta i_{KF}$ là hệ số góc của đặc tính từ hóa.

Nếu dây quấn kích thích của máy phát được cấp bởi nguồn áp lý tưởng U_{KF} thì

$$i_{KF} = \frac{U_{KF}}{r_{KF}}.$$

Sức điện động của máy phát trong trường hợp này sẽ tỷ lệ với điện áp kích thích bởi hệ số hằng K_F , như vậy có thể coi gần đúng máy phát điện một chiều kích từ độc lập là một bộ khuếch đại tuyến tính

$$E_F = K_F \cdot U_{KF}. \quad (4-8)$$



Hình 4-5. Hệ thống máy phát động cơ. a) Sơ đồ nguyên lý;
b) Các đặc tính từ hóa và đặc tính tải.

Nếu đặt $R = R_{uF} + R_{uD}$ thì có thể viết được phương trình các đặc tính của hệ $F-D$ như sau:

$$\left. \begin{aligned} \omega &= \frac{K_F}{K_\Phi} U_{KF} - \frac{RI}{K_\Phi} \\ \omega &= \frac{K_F}{K_\Phi} U_{KF} - \frac{R}{(K_\Phi)^2} M \\ \omega &= \omega_0(U_{KF}, U_{KD}) - \frac{M}{\beta(U_{KD})} \end{aligned} \right\} \quad (4-9)$$

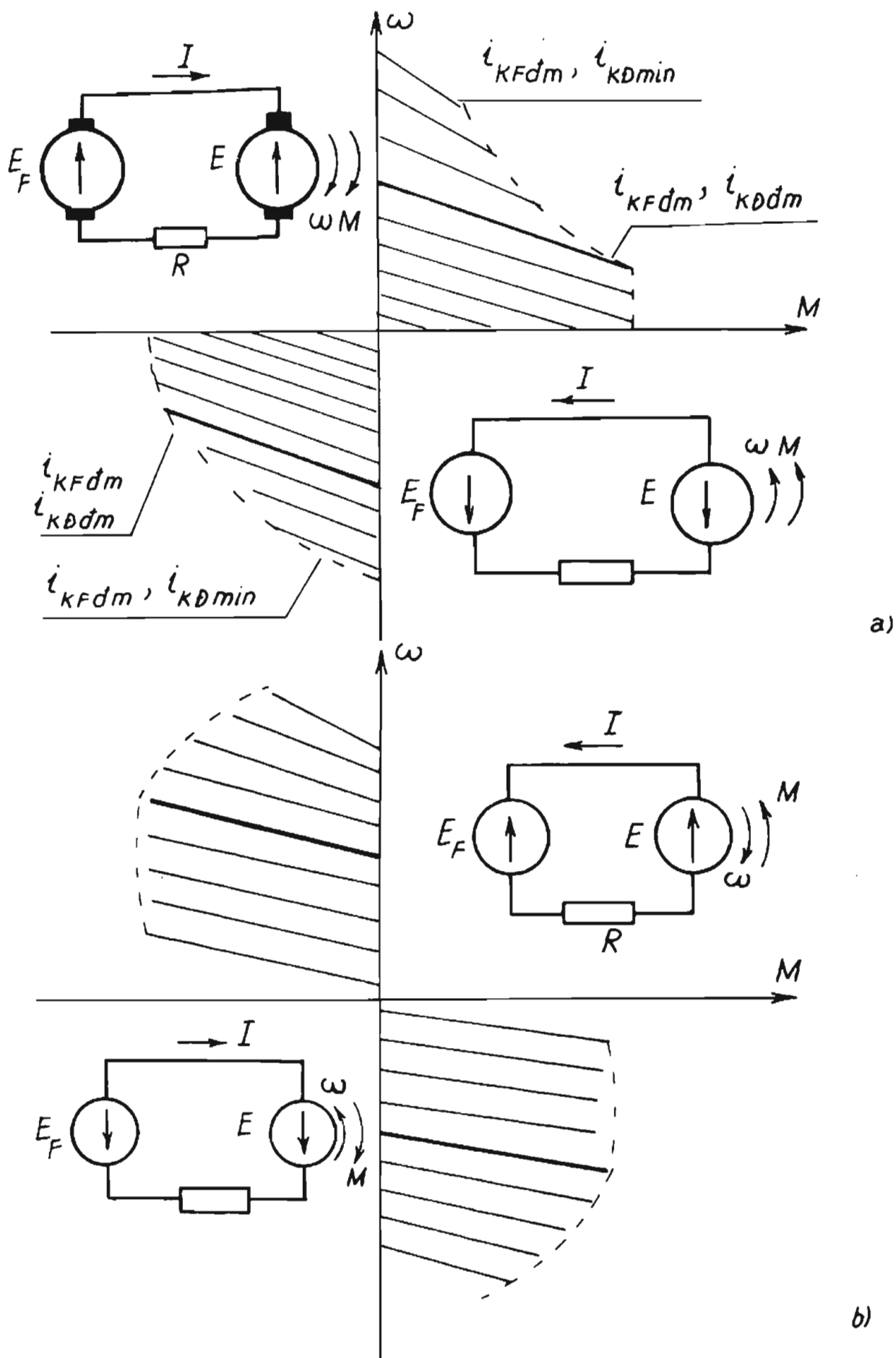
Các biểu thức (4-9) chứng tỏ rằng, khi điều chỉnh dòng điện kích thích của máy phát thì điều chỉnh được tốc độ không tải của hệ thống còn độ cứng đặc tính cơ thì giữ nguyên. Cũng có thể điều chỉnh kích từ của động cơ để có dải điều chỉnh tốc độ rộng hơn.

4-4.2. Các chế độ làm việc của hệ $F-D$

Trong mạch lực của hệ $F-D$ không có phần tử phi tuyến nào nên hệ có những đặc tính động rất tốt, rất linh hoạt khi chuyển các trạng thái làm việc. Với sơ đồ cơ bản như H. 4-5a động cơ chấp hành D có thể làm việc ở chế độ điều chỉnh được cả hai phía: kích thích máy phát F và kích thích động cơ D , đảo chiều quay bằng cách đảo chiều dòng kích thích máy phát, hãm động năng khi dòng kích thích máy phát bằng không, hãm tái sinh khi giảm tốc độ hoặc khi đảo chiều dòng kích từ, hãm ngược ở cuối giai đoạn hãm tái sinh khi đảo chiều hoặc khi làm việc ổn định với mômen tải có tính chất thế năng v.v... Hệ $F-D$ có các đặc tính cơ điện đầy cả bốn góc phần tư của mặt phẳng tọa độ $[\omega, M]$.

Ở góc phần tư thứ I và thứ III tốc độ quay và mômen quay của động cơ luôn cùng chiều nhau, sức điện động máy phát và động cơ có chiều xung đối nhau và $|E_F| > |E|$, $|\omega_c| > |\omega|$. Công suất điện từ của máy phát và động cơ là

$$\left. \begin{aligned} P_F &= E_F \cdot I > 0 \\ P_D &= E \cdot I < 0 \\ P_{cđ} &= M \cdot \omega > 0. \end{aligned} \right\} \quad (4-10)$$



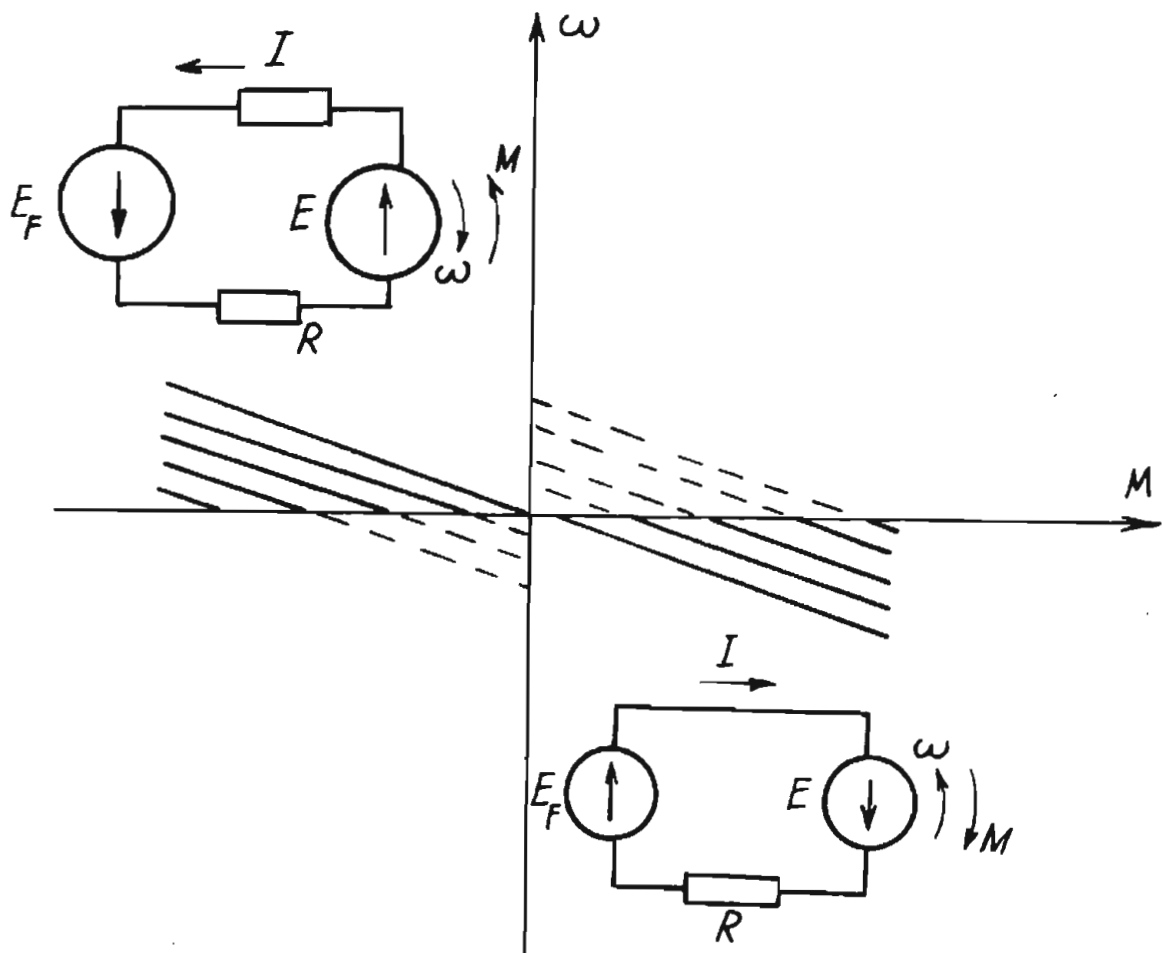
Hình 4-6. Đặc tính cơ hệ F-D. a) Trong chế độ động cơ; b) Trong chế độ hãm tái sinh.

Các biểu thức này nói lên rằng năng lượng được vận chuyển thuận chiều từ nguồn $\rightarrow$ máy phát $\rightarrow$ động cơ $\rightarrow$ tải.

Vùng hãm tái sinh nằm ở góc phần tư thứ II và thứ IV, lúc này do $|\omega| > |\omega_0|$ nên $|E| > |E_F|$, mặc dầu E, E_F mắc xung đối nhưng dòng phần ứng lại chảy ngược từ động cơ về máy phát làm cho mômen quay ngược chiều tốc độ quay. Công suất điện từ của máy phát, công suất điện từ và công suất cơ học của động cơ là:

$$\begin{aligned} P_F &= E_F \cdot I < 0 \\ P_D &= E \cdot I > 0 \\ P_{cơ} &= M \cdot \omega < 0. \end{aligned} \quad (4-11)$$

Chỉ do dòng điện đổi chiều mà các bất đẳng thức (4-11) trở nên ngược với các bất đẳng thức tương ứng (4-10), năng lượng được



Hình 4-7. Đặc tính cơ hệ F-Đ trong chế độ hãm ngược.

chuyển vận theo chiều từ tải $\rightarrow$ động cơ $\rightarrow$ máy phát $\rightarrow$ nguồn, máy phát F và động cơ D đổi chức năng cho nhau. Hãm tái sinh trong hệ $F-D$ được khai thác triệt để khi giảm tốc độ, khi hãm để đảo chiều quay và khi làm việc ổn định với tải có tính chất thế năng.

Vùng hãm ngược của động cơ trong hệ $F-D$ được giới hạn bởi đặc tính hãm động năng và trục mômen. Sức điện động E của động cơ trở nên cùng chiều sđđ máy phát hoặc do rôto bị kéo quay ngược bởi ngoại lực của tải thế năng, hoặc do chính sđđ máy phát đảo dấu. Biểu thức tính công suất sẽ là:

$$P_F = E_F \cdot I > 0$$

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

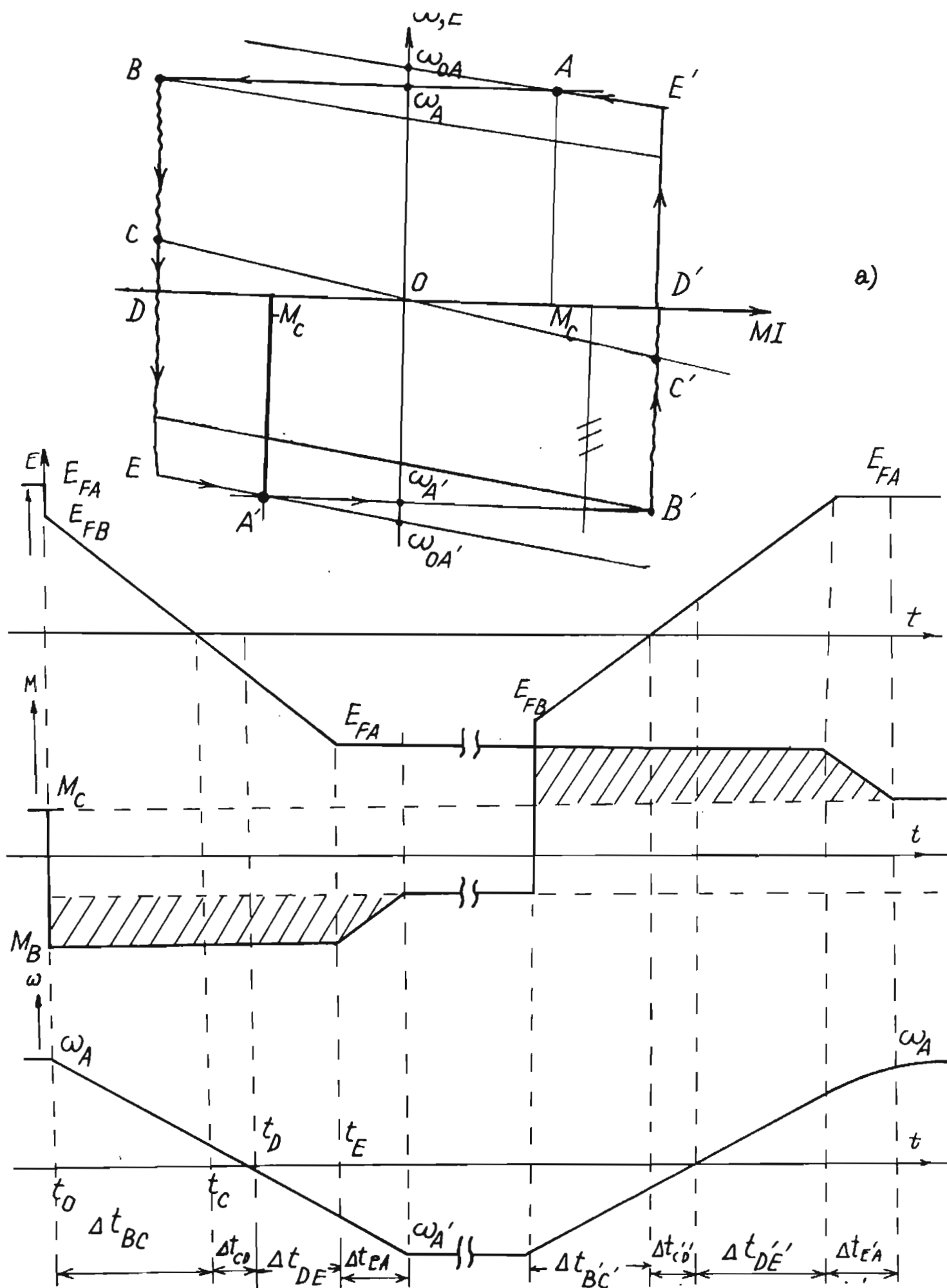
$$P_{cơ} = M \cdot \omega < 0.$$

Hai nguồn sđđ E và E_F cùng chiều và cùng cung cấp cho điện trở mạch phần ứng tạo nhiệt năng tiêu tán trên đó.

Để có hình ảnh mô tả tất cả các trạng thái làm việc của hệ $F-D$, xét một ví dụ phụ tải có dạng mômen ma sát, tức là khi chiều chuyển động đảo dấu thì mômen cũng đảo dấu (H. 4-8). Trong quá trình xét ta bỏ qua quá trình quá độ điện từ của mạch. Giả thiết hệ đang làm việc tại điểm A có $M_A = M_C$; $E_F = E_{FA}$ và $\omega = \omega_A$. Khi cho lệnh hãm đảo chiều thì giảm nhanh E_F , điểm làm việc chuyển sang điểm B , từ B , nếu giữ tốc độ giảm E_F thích hợp với quán tính của hệ thì có thể giữ cho mômen điện từ của động cơ là hằng số, do đó tốc độ sẽ giảm tuyến tính theo thời gian. Tại điểm C kết thúc quá trình hãm tái sinh, với năng lượng tái sinh là

$$\Delta w_{ts} = \int_{t_0}^{t_c} M \cdot \omega(t) \cdot dt.$$

Đoạn CD là đoạn hãm ngược vì E_F đã đổi dấu mà $E = K\phi\omega$ chưa đổi dấu. Tại D tốc độ động cơ bằng không nhưng do vẫn tồn tại mômen hãm nên động cơ được khởi động ngược lại. Đoạn DA của quá trình động cơ có tốc độ và mômen cùng chiều, trong đó ở đoạn EA mômen động cơ giảm dần, tốc độ biến thiên theo luật hàm mũ.



Hình 4-8. a) Chuyển đổi trạng thái của hệ thống;
b) Đồ thị thời gian các đại lượng chính của hệ.

Quá trình chuyển trạng thái từ A' đến A xảy ra tương tự.

4-4.3. Đặc điểm của hệ $F-D$.

Các chỉ tiêu chất lượng của hệ $F-D$ về cơ bản tương tự các chỉ tiêu của hệ điều áp dùng bộ biến đổi nói chung như đã nêu ở phần đầu của chương này. Ưu điểm nổi bật của hệ $F-D$ là sự chuyển đổi trạng thái làm việc rất linh hoạt, khả năng quá tải lớn. Do vậy thường sử dụng hệ truyền động $F-D$ ở các máy khai thác trong công nghiệp mỏ.

Nhược điểm quan trọng nhất của hệ $F-D$ là dùng nhiều máy điện quay, trong đó ít nhất là hai máy điện một chiều, gây ồn lớn, công suất lắp đặt máy ít nhất gấp ba lần công suất động cơ chấp hành. Ngoài ra do các máy phát một chiều có từ dư, đặc tính từ hóa có trễ nên khó điều chỉnh sâu tốc độ.

4-5. HỆ THỐNG CHỈNH LƯU – ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU

4-5.1. Chỉnh lưu bán dẫn làm việc với động cơ điện

Trong hệ thống truyền động chỉnh lưu điều khiển – động cơ một chiều ($CL-D$), bộ biến đổi điện là các mạch chỉnh lưu điều khiển có sđđ E_d phụ thuộc vào giá trị của pha xung điều khiển (góc điều khiển). Chỉnh lưu có thể dùng làm nguồn điều chỉnh điện áp phản ứng hoặc dòng điện kích thích động cơ. Tùy theo yêu cầu cụ thể của truyền động mà có thể dùng các sơ đồ chỉnh lưu thích hợp, để phân biệt chúng có thể căn cứ vào các dấu hiệu sau đây:

- Số pha: 1 pha, 3 pha, 6 pha v.v...
- Sơ đồ nối: hình tia, hình cầu, đối xứng và không đối xứng;
- Số nhịp: Số xung áp đập mạch trong thời gian một chu kỳ điện áp nguồn;
- Khoảng điều chỉnh: là vị trí của đặc tính ngoài trên mặt phẳng tọa độ $[U_d, I_d]$;
- Chế độ năng lượng: chỉnh lưu, nghịch lưu phụ thuộc;

– Tính chất dòng tải: liên tục, gián đoạn.

Chế độ làm việc của chỉnh lưu phụ thuộc vào phương thức điều khiển và vào các tính chất của tải, trong truyền động điện, tải của chỉnh lưu thường là cuộn kích từ ($L - R$) hoặc là mạch phản ứng động cơ ($L-R-E$). Để tìm hiểu hoạt động của hệ $CL-D$ ta hãy phân tích một sơ đồ chỉnh lưu hình tia ba pha mà sơ đồ thay thế được vẽ trên H. 4-9, trong đó:

E – sđđ quay của động cơ,

u_{21}, u_{22}, u_{23} – sđđ thứ cấp máy biến áp nguồn,

L, L_x – điện cảm mạch một chiều và điện cảm tản của dây quấn thứ cấp máy biến áp,

R – điện trở mạch một chiều (kể cả điện trở dây quấn thứ cấp máy biến áp đã quy đổi).

$$L = L_u + L_k$$

$$R = R_{ba} + R_u \pm R_k$$

$$L_{ba} = L_2 + L_1(W_2/W_1)^2$$

$$R_{ba} = R_2 + R_1(W_2/W_1)^2.$$

a. Chế độ dòng liên tục

Khi dòng điện chỉnh lưu i_d là liên tục thì có thể dựng được đồ thị các quá trình dòng điện và điện áp như trên H. 4-10, b. Sđđ chỉnh lưu là những đoạn hình sin nối tiếp nhau, giá trị trung bình của sđđ chỉnh lưu được tính như sau:

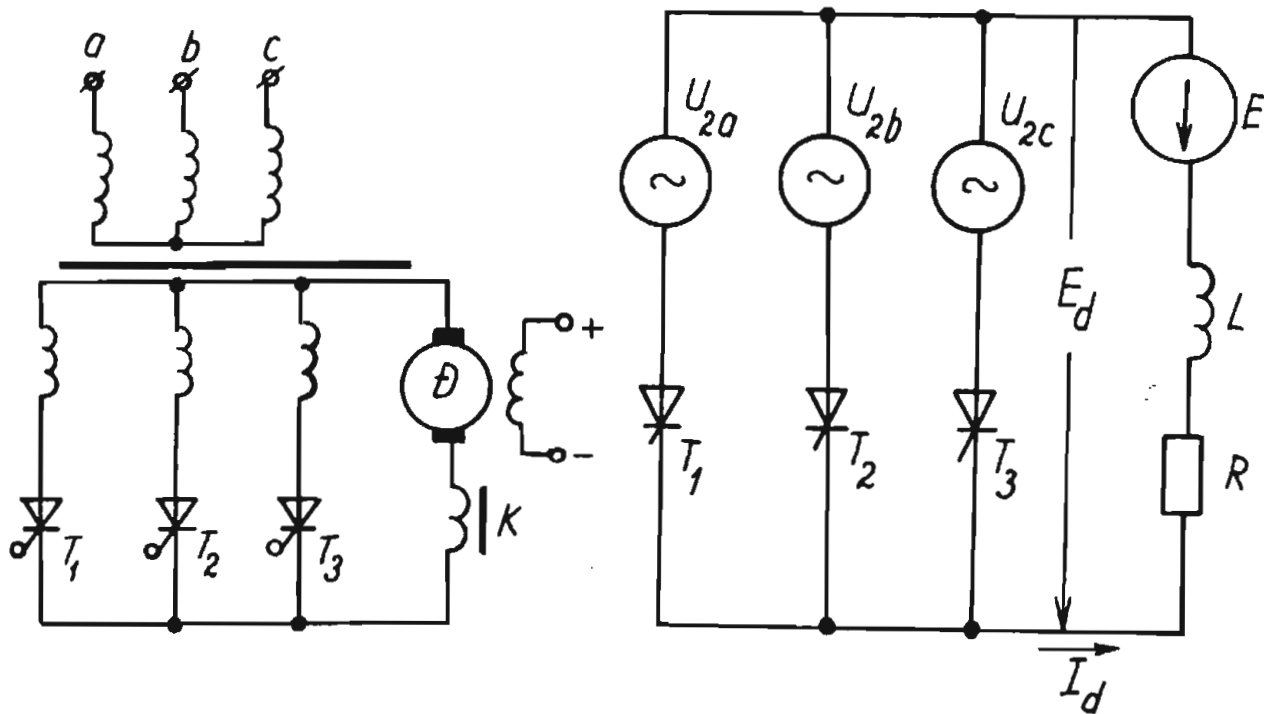
$$E_d = \frac{p}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha + 2\pi/p} U_{2m} \sin \theta . d\theta = \bar{E}_{do} \cos \alpha, \quad (4-12)$$

$$\theta = \omega_e t,$$

$$\alpha = \alpha_o - \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p} \right),$$

$$\bar{E}_{do} = \frac{p}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{p} U_{2m},$$

trong đó: ω_e – tần số góc của điện áp xoay chiều;
 α – góc mở van (hay góc điều khiển) tính từ thời điểm chuyển mạch tự nhiên;
 α_0 – góc điều khiển tính từ thời điểm sđđ xoay chiều bắt đầu dương;
 p – số xung áp đập mạch trong một chu kỳ điện áp xoay chiều.



Hình 4-9. Sơ đồ nối dây và sơ đồ thay thế của chỉnh lưu tia ba pha.

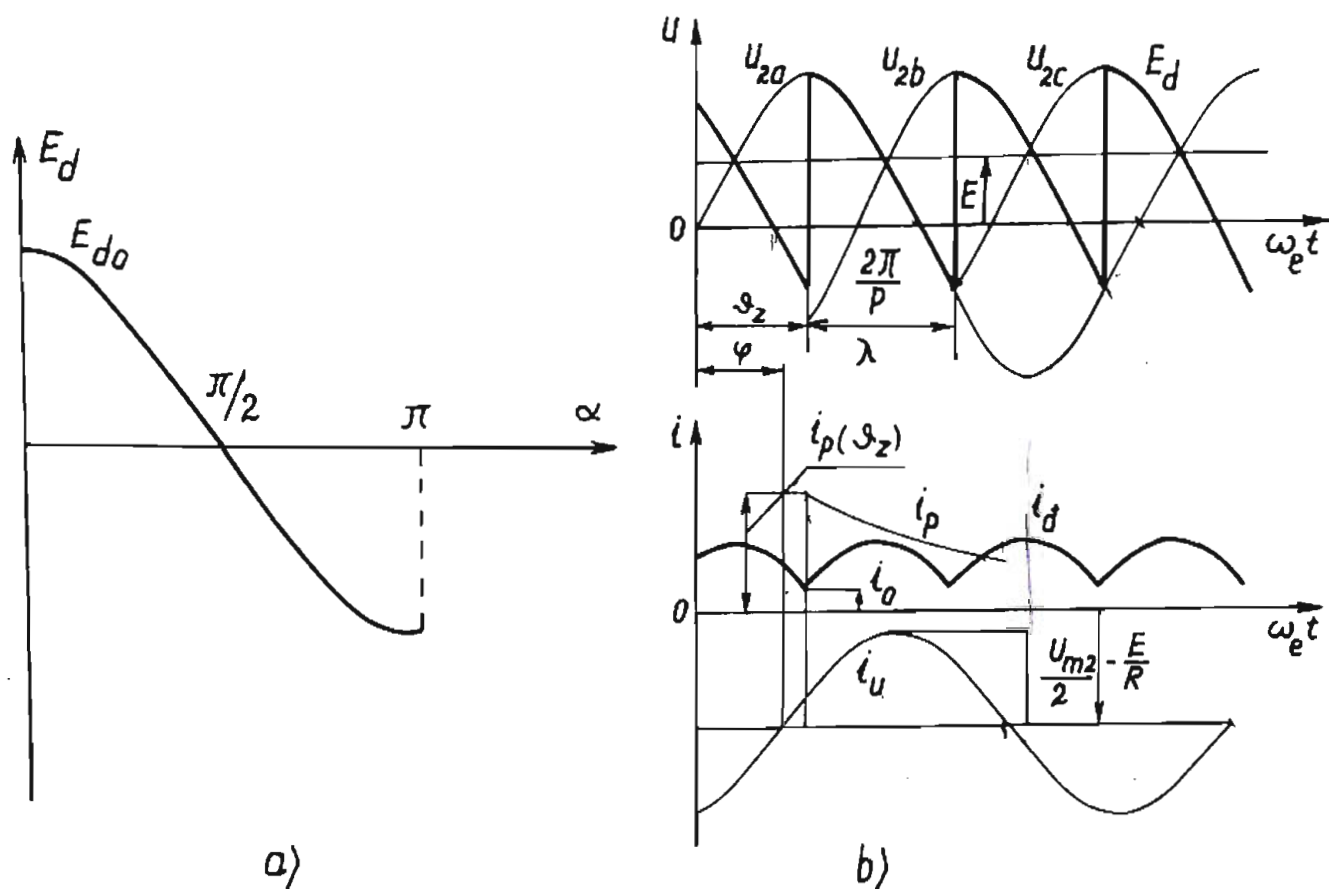
Phương trình vi phân mô tả mạch thay thế trên H. 4-9 là:

$$U_{2m} \cdot \sin(\theta + \alpha_0) = E + Ri_d + L \frac{di_d}{dt},$$

với sơ kiện khi $\theta = \alpha_0$ thì $i_d = I_0$, có nghiệm sau:

$$i_d = [RI_0 + E - U_{2m} \cos \varphi \cdot \sin(\alpha_0 - \varphi)] \cdot e^{-(\theta - \alpha_0) \cot \varphi} - [E - U_{2m} \cos \varphi \cdot \sin(\theta - \varphi)], \quad (4-13)$$

trong đó $\varphi = \arctg \frac{\omega_e L}{R}$.



Hình 4-10. Chỉnh lưu hình tia ba pha. a) Đặc tính điều chỉnh b) Đồ thị thời gian.

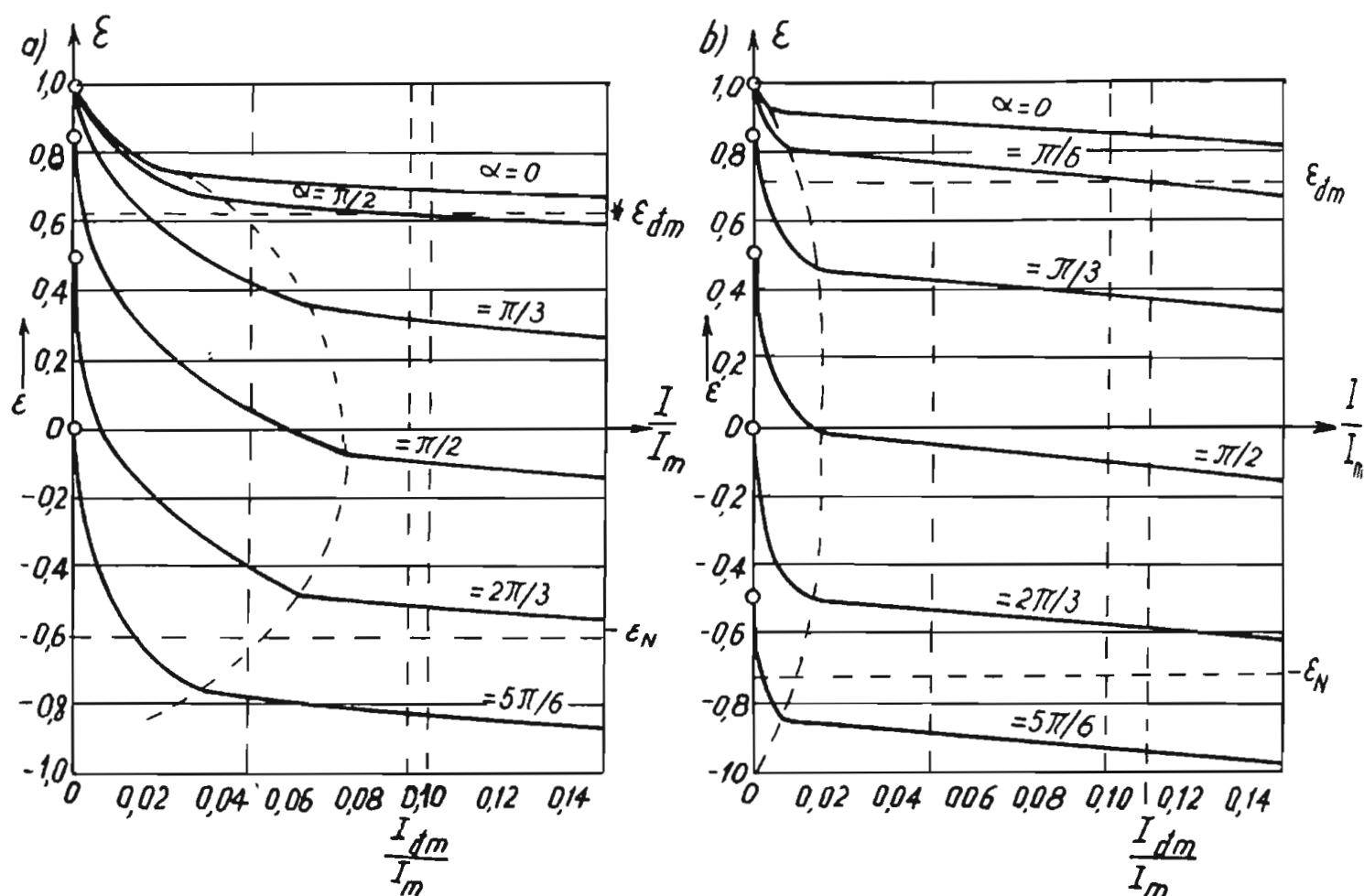
Nếu gọi góc dẫn của van là λ thì có thể tính được thành phần một chiều của dòng điện chỉnh lưu, chính là thành phần sinh mômen quay của động cơ:

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{p}{2\pi} \int_0^\lambda i_d \cdot d\theta \\
 &= \frac{p}{2\pi R} \left[U_{2m} \cdot \sin \frac{\lambda}{2} \cdot \sin \left(\alpha_0 + \frac{\lambda}{2} \right) - \frac{\lambda}{2} E \right]. \quad (4-14)
 \end{aligned}$$

Còn giá trị trung bình của dòng điện chỉnh lưu thì được tính bởi biểu thức đơn giản hơn:

$$I_d = \frac{E_{d0} \cdot \cos \alpha - E}{R + \omega_0 L}. \quad (4-15)$$

Trên H. 4-11a nêu một ví dụ về đặc tính điều chỉnh của hệ chỉnh lưu ba pha hình tia, trong đó $\varepsilon = E/U_{2m}$; $I_m = U_{2m}/R$. Gần đúng có thể coi đây là họ đặc tính tốc độ của động cơ. Các đặc tính được dựng cho động cơ có các thông số sau: $P_{dm} = 14,5 \text{ kW}$; $U_{dm} = 220\text{V}$; $I_{dm} = 79\text{A}$; $\omega_{dm} = 112\text{s}^{-1}$; $R = 0,37\Omega$; $L = 4,9\text{mH}$; $\eta_{dm} = 0,833$.

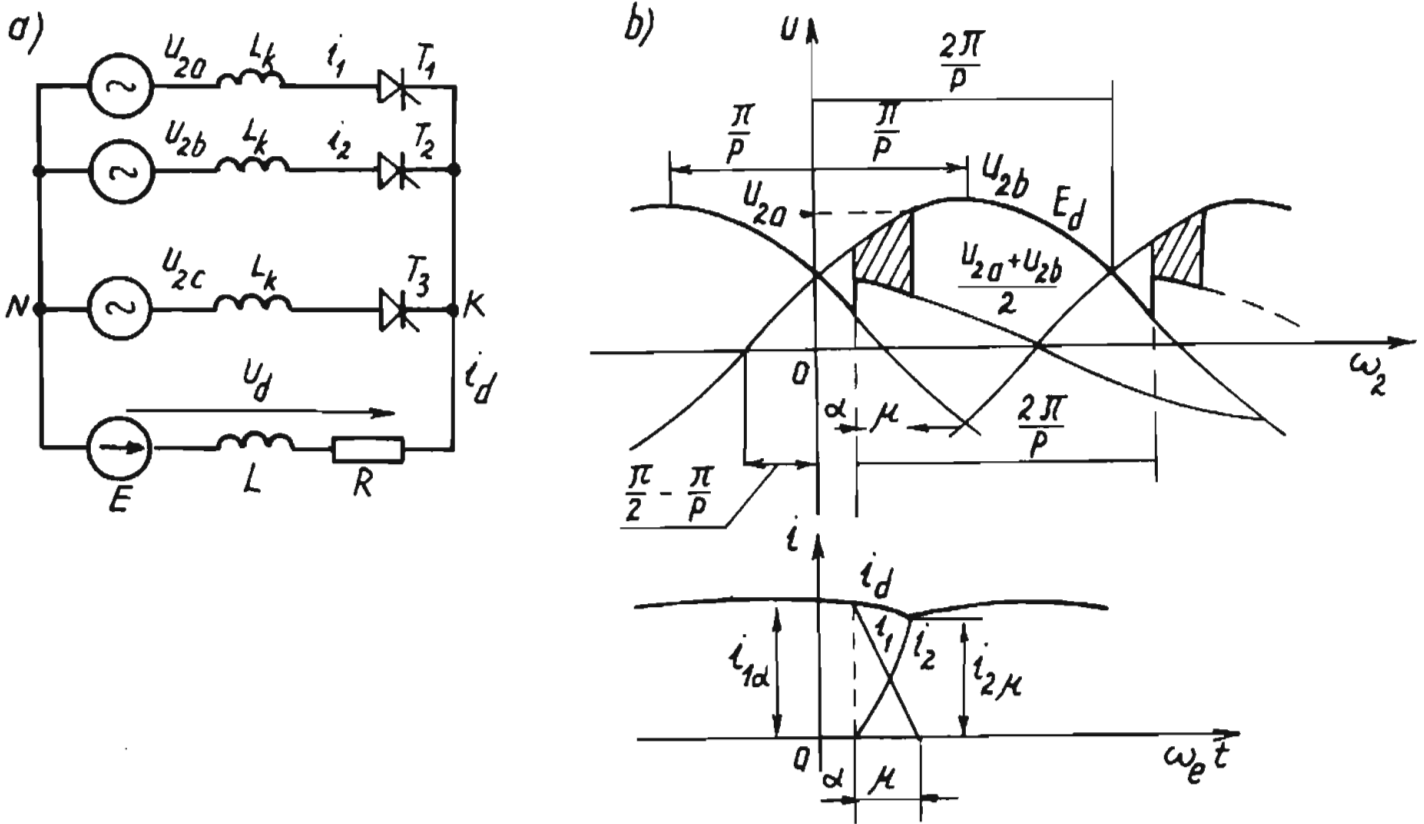


Hình 4-11. Đặc tính tốc độ ở hệ đơn vị tương đối $\varepsilon = f(I^*)$ của động cơ khi nối với chỉnh lưu điều khiển.

a) Ba pha hình tia; b) Ba pha hình cầu.

b. Hiện tượng chuyển mạch

Trong sơ đồ chỉnh lưu tia ba pha, khi phát xung nhằm để mở một van tiristo thì điện áp anốt của pha đó phải dương hơn điện áp của pha có van đang dẫn dòng, do đó mà dòng điện của van đang dẫn sẽ giảm dần về không, còn dòng điện của van kế tiếp sẽ tăng dần lên. Do có điện cảm trong mạch mà quá trình này xảy ra từ từ, cùng tại một thời điểm cả hai van đều dẫn dòng và chuyển dòng cho nhau, quá trình này gọi là chuyển mạch giữa các van.



Hình 4-12. Hiện tượng chuyển mạch giữa các van tiristo T_1, T_2 .

Trong quá trình chuyển mạch vì cả hai van đều dẫn nên sđd chỉnh lưu bằng trung bình cộng của điện áp hai pha. Phương trình cân bằng điện áp cho các pha lúc chuyển mạch là:

$$U_{2a} - L_k \frac{di_1}{dt} = E_{d\mu}$$

$$U_{2b} - L_k \frac{di_2}{dt} = E_{d\mu}$$

Để ý rằng $i_1 + i_2 = i_d$ và nếu coi $di_1/dt = -di_2/dt$ thì

$$\frac{di_2}{dt} = \frac{U_{2b} - U_{2a}}{2L_k} = \frac{U_{2m} \sin \pi/p}{L_k} \cdot \sin \theta \quad (4-16)$$

Thời điểm bắt đầu xảy ra chuyển mạch là tại $\theta = \alpha$; giải (4-16) ta được biểu thức tính dòng điện qua van:

$$i_2 = I_{mk}(\cos\alpha - \cos\theta), \quad (4-17)$$

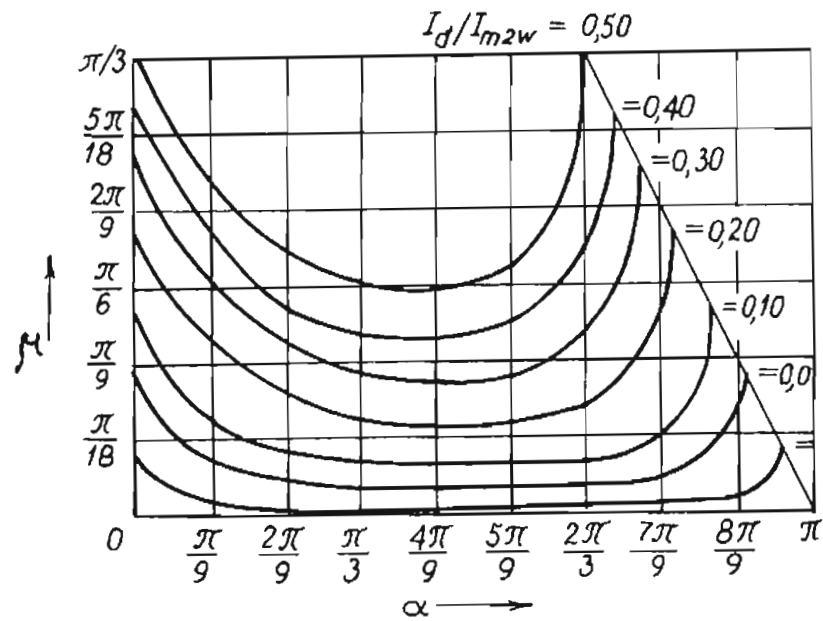
trong đó

$$I_{mk} = \frac{U_{2m} \cdot \sin\pi/p}{\omega_e L_k},$$

Quá trình chuyển mạch kết thúc khi $i_1 = 0$, $i_2 = i_d$, nếu trong (4-17) ta đặt $i_2 = i_d$ tại $\theta = \alpha + \pi$ thì có thể tính được góc chuyển mạch μ :

$$\mu = \arccos\left(\cos\alpha - \frac{I_d}{I_{mk}}\right) - \alpha$$

Trong thực tế vận hành ít khi dòng điện chỉnh lưu vượt quá giá trị $I_d/I_{mk} = 0,1$, do đó có thể nói rằng trong chỉnh lưu tia ba pha, góc chuyển mạch cực đại là $\pi/6$. Do có chuyển mạch nên sđđ chỉnh lưu bị sụt đi (vùng gạch chéo lên hình



Hình 4-13. Quan hệ giữa góc chuyển mạch μ và góc điều khiển α ứng với các dòng điện chỉnh lưu khác nhau.

4-19b). Giá trị trung bình của sụt áp do chuyển mạch được tính như sau:

$$\Delta U_k = \frac{pL_k \cdot \omega_e}{2\pi} \cdot I_d = X_k I_d$$

c. Chế độ dòng điện gián đoạn

Hiện tượng gián đoạn dòng điện chỉnh lưu xảy ra do năng lượng điện từ tích lũy trong mạch khi dòng điện tăng không đủ duy trì tính chất liên tục của dòng điện khi nó giảm. Lúc này góc dẫn của

van trở nên nhỏ hơn $2\pi/p$, dòng điện qua van trở về không trước khi van kế tiếp bắt đầu dẫn. Trong khoảng dẫn của van thì sđđ chỉnh lưu bằng sđđ nguồn:

$$e_d = U_2, \quad 0 \leq \theta \leq \alpha_0 + \lambda$$

Khi dòng điện bằng không, sđđ chỉnh lưu bằng sđđ của động cơ điện:

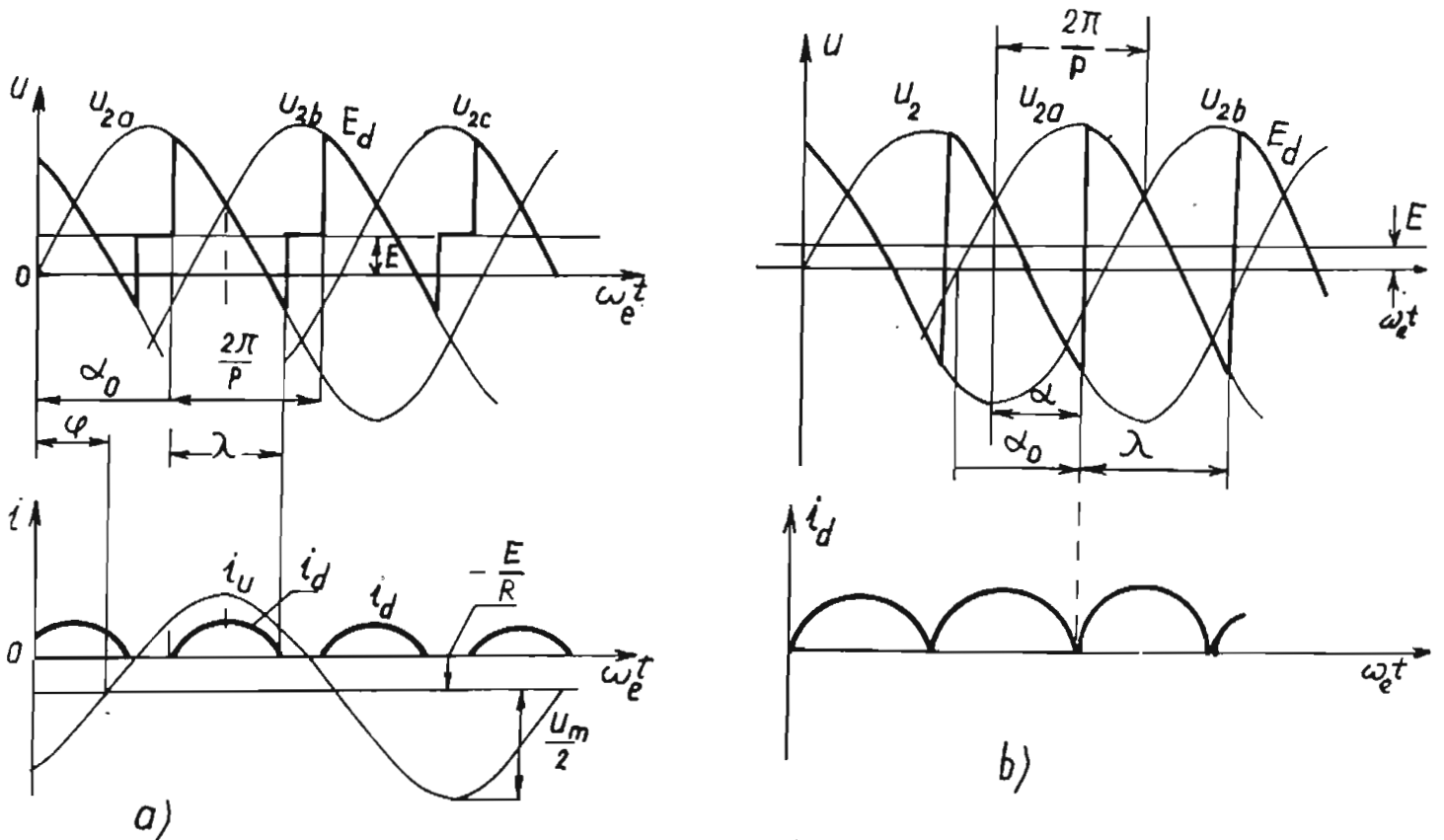
$$e_d = E; \quad \alpha_0 + \lambda < \theta \leq 2\pi/p.$$

Có thể viết được biểu thức tính dòng điện chỉnh lưu nếu trong (4-13) đặt $I_0 = 0$.

$$i_d = I_m \{ [\cos\varphi \cdot \sin(\theta - \varphi) - \varepsilon] - [\cos\varphi \cdot \sin(\alpha_0 + \lambda - \varphi) - \varphi) - \varepsilon] \cdot e^{-(\theta - \lambda - \alpha_0) \cot\varphi} \}, \quad (4-18)$$

trong đó, như đã đề cập ở trên:

$$\varepsilon = E/U_{2m}, \quad I_m = U_{2m}/R$$



Hình 4-14. Chế độ dòng điện gián đoạn và biên liên tục.

Trong trường hợp bỏ qua điện trở R trong mạch phần ứng thì phương trình mô tả mạch H.4-6 sẽ là

$$U_{2m} \sin \theta = E + L \frac{di_d}{dt}, \quad (4-19)$$

và nghiệm tổng quát của nó như sau nếu gọi C là hằng số tích phân:

$$i_d = \frac{U_{2m}}{\omega_e L} (-\cos \theta) - \frac{E}{\omega_e L} \theta + C.$$

Khi $\theta = \alpha_0$ thì $i_d = 0$ nên ta có nghiệm riêng cho trường hợp dòng điện gián đoạn:

$$i_d = \frac{U_{2m}}{\omega_e L} (\cos \alpha_0 - \cos \theta) + \frac{E}{\omega_e L} (\alpha_0 - \theta). \quad (4-20)$$

Dòng điện i_d bắt đầu xuất hiện tại $\theta = \alpha_0$ và tăng đến giá trị cực đại tại điểm mà ở đó $L \frac{di}{dt} = U_{2a} - E = 0$ và giảm đến bằng

không tại $\theta = \alpha_0 + \lambda$.

Nếu đặt $\varepsilon = E/U_{2m}$; $I_m^* = U_{2m}/\omega_e L$; $i_d^* = i_d/I_m$ thì có thể viết được biểu thức tính dòng điện chỉnh lưu ở hệ đơn vị tương đối với dạng gọn gàng hơn:

$$i_d^* = (\cos \alpha_0 - \cos \theta) + \varepsilon (\alpha_0 - \theta). \quad (4-21)$$

Đặt $\theta = \alpha_0 + \lambda$ và $i_d^* = 0$ vào (4-21) ta tìm được góc dẫn λ ở dạng hàm ẩn:

$$\varepsilon = \frac{\cos \alpha_0 - \cos(\alpha_0 + \lambda)}{\lambda}. \quad (4-22)$$

Đây là quan hệ hàm ẩn giữa ba biến số λ , α_0 , ε , có thể giải bằng cách thử lặp hoặc là bằng phương pháp đồ thị. Trong trường hợp giữ nguyên góc điều khiển $\alpha_0 = \text{const}$ nhưng tăng dần sđđ E của động cơ (ε) thì góc dẫn λ sẽ giảm dần và khi $E = U_{2m} \sin \alpha_0$ thì $\lambda = 0$ tức

là không có dòng chảy trong mạch. Lúc này mômen động cơ cũng sẽ bằng không, động cơ bị giảm tốc độ và do đó E giảm, dòng điện lại xuất hiện trong mạch nhưng với tốc độ thấp hơn. Vì thế, ở chế độ dòng điện gián đoạn, đặc tính cơ của động cơ trở nên rất dốc.

Giá trị trung bình của dòng điện ở chế độ gián đoạn viết trong hệ đơn vị tương đối được tính như sau:

$$I_d^* = \frac{p}{2\pi} \int_{\alpha_0}^{\alpha_0+\lambda} i_d^*(\theta) d\theta = \frac{p}{2\pi} \left\{ \frac{\lambda}{2} [\cos\alpha_0 + \cos(\alpha_0 + \lambda)] + \sin\alpha_0 - \sin(\alpha_0 + \lambda) \right\}. \quad (4-23)$$

Trong trường hợp ngược lại khi giữ $\alpha_0 = \text{const}$ và giảm dần E , góc dẫn λ sẽ dài dần ra và khi $\lambda = 2\pi/p$ thì dòng điện trong mạch trở nên liên tục (xem H. 4-14.b), giá trị đó của sđđ E (tương ứng $\varepsilon = E/U_{2m}$) ứng với trạng thái biên giới liên tục và có thể tìm được nó nếu đặt $\lambda = 2\pi/p$ vào (4-22) và (4-23).

$$\varepsilon_{\text{blt}} = \frac{\cos\alpha_0 - \cos(\alpha_0 + 2\pi/p)}{2\pi/p} = \frac{p}{\pi} \sin \frac{\pi}{p} \cdot \cos\alpha \quad (4-24)$$

$$I_{\text{blt}}^* = \frac{p}{2\pi} \left\{ \frac{\pi}{p} [\cos\alpha_0 + \cos(\alpha_0 + \frac{2\pi}{p})] - \sin(\alpha_0 + \frac{2\pi}{p}) \sin\alpha_0 \right\} \quad (4-25)$$

Mặt khác vì $\alpha_0 = \alpha + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p}$ nên

$$I_{\text{blt}}^* = \left(\frac{p}{\pi} \sin \frac{\pi}{p} - \cos \frac{\pi}{p} \right) \sin\alpha; \quad (4-26)$$

$$I_{\text{blt}} = \frac{U_{2m}}{\omega_e L} \left(\frac{p}{\pi} \sin \frac{\pi}{p} - \cos \frac{\pi}{p} \right) \sin\alpha. \quad (4-27)$$

Để tìm đường biên giới giữa vùng dòng điện liên tục và vùng dòng điện gián đoạn ta tính $\cos\alpha$ từ (4-24) và tính $\sin\alpha$ từ (4-26) và vì $\cos^2\alpha + \sin^2\alpha = 1$ nên:

$$\left(\frac{\varepsilon_{\text{blt}}}{\frac{p}{\pi} \sin \frac{\pi}{p}} \right)^2 + \left(\frac{I_{\text{blt}}^*}{\frac{p}{\pi} \sin \frac{\pi}{p} - \cos \frac{\pi}{p}} \right)^2 = 1. \quad (4-29)$$

Đây là đường elip với các trục là trục tọa độ của các đặc tính cơ.

Thay $\varepsilon_{\text{blt}} = E/U_{2m}$, $I_{\text{blt}}^* = I \cdot \omega_e L / U_{2m}$, ta có nhận xét rằng độ rộng vùng dòng điện gián đoạn sẽ giảm nếu ta tăng giá trị điện cảm L và tăng số pha chỉnh lưu p . Biên giới này được mô tả bởi đường cong nét đứt trên H.4-11 và H.4-19.

d. Chế độ nghịch lưu phụ thuộc

Nếu trương sơ đồ H.4-14 ta tăng góc mở của các van đến giá trị gần bằng π và đảo chiều sdd E bằng cách dùng ngoại lực bất rôto động cơ quay ngược, hoặc đảo chiều dòng điện kích từ động cơ thì dòng điện chỉnh lưu vẫn theo chiều cũ nhưng sdd chỉnh lưu đã đảo dấu do các van dẫn dòng trong thời gian điện áp anôt âm. Công suất điện từ của động cơ và của chỉnh lưu là:

$$P_{dt} = E \cdot I_d > 0,$$

$$P_d = E_d \cdot I_d < 0.$$

Chỉnh lưu trở thành thiết bị nhận điện năng do động cơ phát ra và biến điện năng một chiều này thành điện năng xoay chiều trả về lưới điện.

Tương tự như ở chế độ chỉnh lưu, trong chế độ nghịch lưu phụ thuộc cũng có thể xảy ra các hiện tượng chuyển mạch và hiện tượng gián đoạn dòng điện. Sau khi đã kết thúc quá trình chuyển dòng cho van T_2 , van T_1 chuyển từ trạng thái dẫn sang trạng thái khóa, quá trình này phải kết thúc trước thời điểm chuyển mạch tự nhiên, là thời điểm u_{2a} bắt đầu dương hơn U_{2b} . Thời gian của quá trình này gọi là thời gian khóa δ . Như vậy nếu tính cả góc chuyển mạch μ thì điều kiện an toàn để bộ biến đổi có thể làm việc ở chế độ nghịch lưu phụ thuộc là:

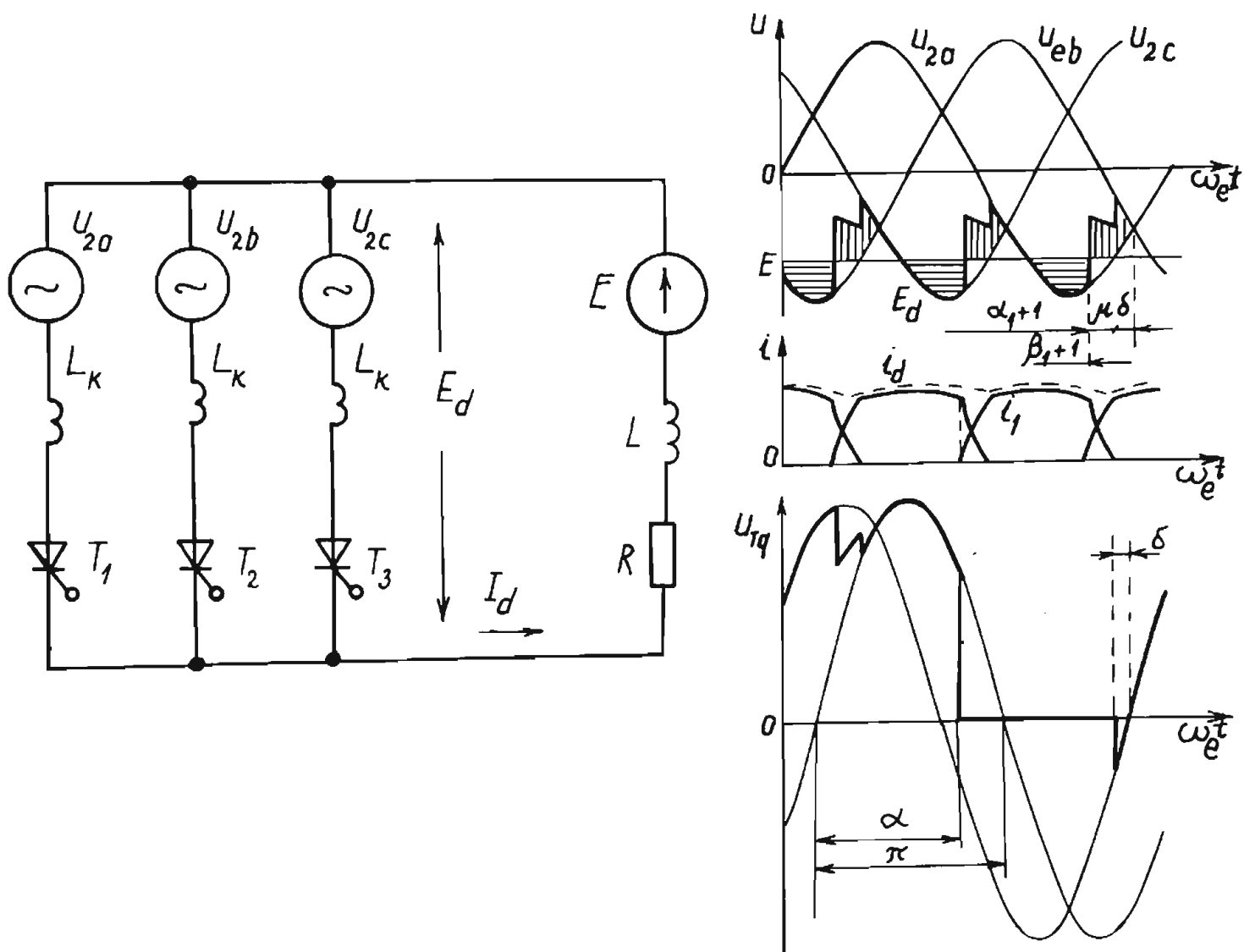
$$\alpha < \alpha_{\text{max}} = \pi - \mu_{\text{max}} - \delta \quad (4-30)$$

Khi biểu diễn các quan hệ của bộ biến đổi ở chế độ nghịch lưu phụ thuộc thường dùng khái niệm góc thông sớm β thay cho khái niệm góc mở (góc thông chậm) α :

$$\beta = \pi - \alpha.$$

Như vậy điều kiện an toàn (4-22) sẽ là

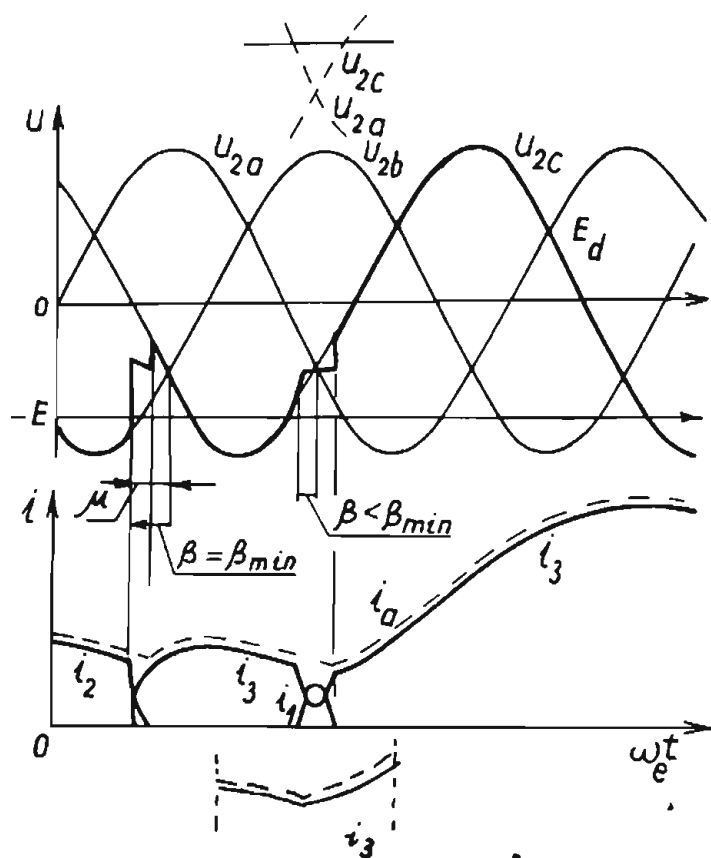
$$\beta > \beta_{\min} = \mu_{\max} + \delta, \quad (4-31)$$



Hình 4-15. Chế độ nghịch lưu phụ thuộc trong mạch chỉnh lưu tia ba pha.

Nếu điều kiện này không được đảm bảo thì nghịch lưu sẽ rơi vào trạng thái sự cố, van cần khóa sẽ vẫn dẫn dòng tiếp, không thực hiện được chuyển mạch giữa các van, không kiểm soát được điện áp, dòng điện của nghịch lưu. Trên H.4-16 cho một ví dụ về chế độ sự

cổ này, lúc đó van cầu khóa T_3 không chuyển dòng cho van T_1 mà dẫn tiếp làm cho dòng điện chỉnh lưu tăng mạnh.



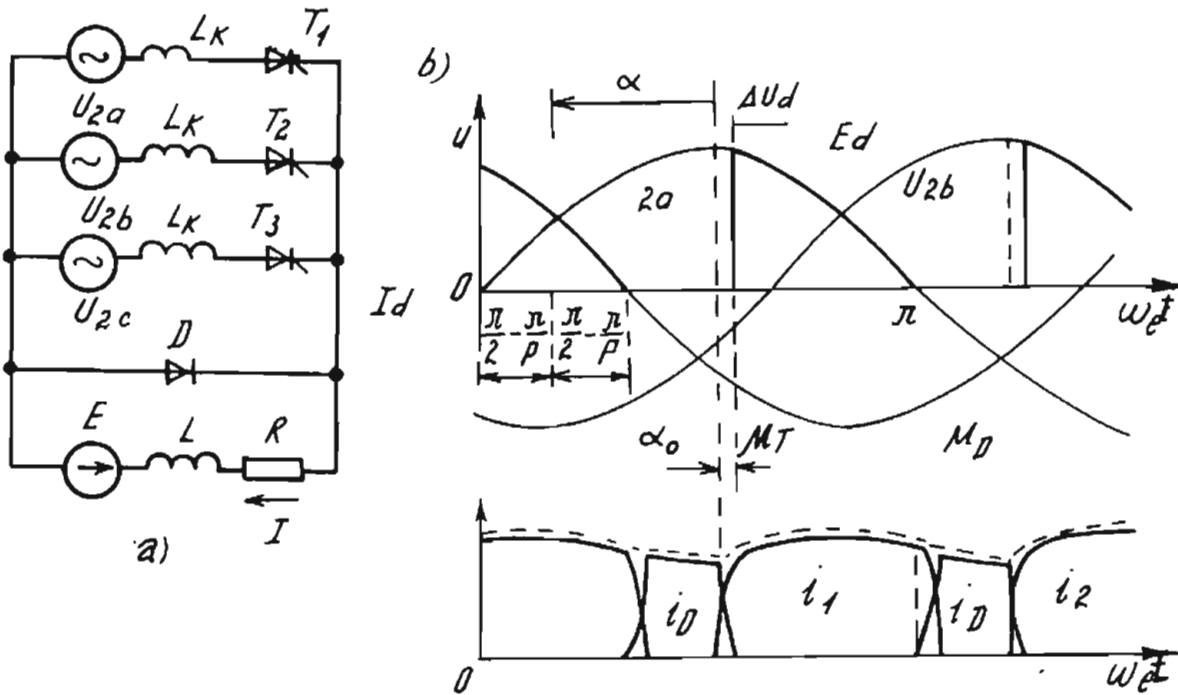
Hình 4-16. Trạng thái lật nghịch lưu khi $\beta < \beta_{min}$.

e. Van đệm trong mạch chỉnh lưu

Trong các chỉnh lưu mạch đơn, khi giá trị góc điều khiển α đủ lớn thì thành phần đập mạch của điện áp và dòng điện chỉnh lưu cũng tăng lên, làm xấu chế độ chuyển mạch của vành góp động cơ và gây phát nóng phụ trong động cơ. Ở các sơ đồ truyền động không đảo chiều và động cơ có sđđ luôn luôn dương, người ta thường nối thêm một van đệm song song ngược với sđđ của động cơ, van này gọi là van đệm hoặc van không.

Trong khoảng điều chỉnh góc mở $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p}$ thì vì điện áp chỉnh lưu không âm nên van đệm không dẫn dòng. Khi góc mở trong khoảng $\alpha > \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p}$ thì điện áp chỉnh lưu có phần âm xen kẽ phần dương (xem H.4-10), trong các khoảng âm này van đệm sẽ dẫn dòng, năng lượng tích lũy trong điện cảm L sẽ giúp khép kín mạch

dòng điện động cơ qua van đệm mà không chảy qua tiristo vừa dẫn. Cũng xảy ra chuyển mạch dòng điện giữa van đệm và các tiristo chính của chỉnh lưu như mô tả trên H.4-17. Một cách định tính ta cũng có thể thấy rằng quá trình chuyển mạch từ tiristo sang van đệm xảy ra lâu hơn quá trình chuyển mạch ngược lại.



Hình 4-17. Hệ CL-D có van đệm.

Gần đúng ta coi rằng sụt áp do chuyển mạch từ van đệm sang van tiristo là ngắn, có thể bỏ qua, còn sụt áp do chuyển mạch từ van tiristo sang van đệm đúng bằng sụt áp do chuyển mạch giữa các van tiristo với nhau, khi mà van đệm chưa tham gia dẫn dòng, tức là khi:

$$\alpha \leq \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p}.$$

Để tính điện áp chỉnh lưu ta chia ra hai khoảng của góc điều chỉnh: khi van đệm chưa dẫn dòng, tức là khi $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p}$ thì

$$E_d = E_{do} \cdot \cos \alpha - I_d X_k.$$

Khi van đệm tham gia làm việc, tức là $\alpha > \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p}$ thì đồ thị sđđ chỉnh lưu giống hệt đồ thị điện áp khi tải của chỉnh lưu là thuần trở:

$$E_{dR} = \frac{p}{2\pi} \int_{\alpha + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p}}^{\pi} U_{2m} \sin \theta d\theta = E_{do} \frac{1 - \sin(\alpha - \frac{\pi}{p})}{2 \sin \frac{\pi}{p}}$$

Sức điện động chỉnh lưu khi này sẽ là:

$$E_d = E_{dR} - I_d X_k$$

Giá trị trung bình của dòng điện chỉnh lưu trong toàn dải điều chỉnh góc mở là:

$$I_d = \frac{E_d - E}{R} \quad 0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{p}$$

4-5.2 Đặc tính cơ của hệ truyền động chỉnh lưu tiristo – động cơ một chiều

a. Chế độ dòng điện liên tục

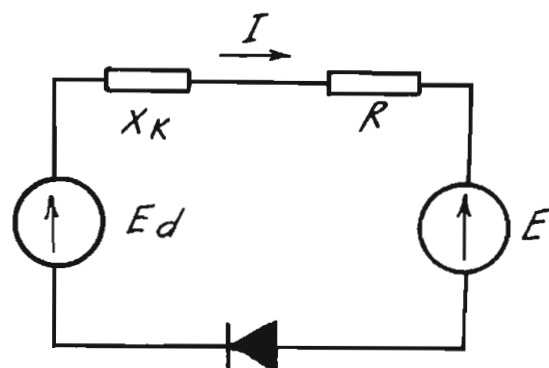
Dòng điện chỉnh lưu I_d chính là dòng điện phần ứng động cơ điện. Dựa vào sơ đồ thay thế có thể viết được phương trình đặc tính:

$$\omega = \frac{E_{do} \cdot \cos \alpha}{K\Phi_{dm}} - \frac{R_t X_k}{K\Phi_{dm}} I$$

$$\omega = \frac{E_{do} \cdot \cos \alpha}{K\Phi_{dm}} - \frac{R_t X_k}{(K\Phi_{dm})^2} M.$$

Đặc tính cơ có độ cứng $\beta = (K\Phi_{dm})^2 / R + X_k$, còn tốc độ không tải lý tưởng thì tùy thuộc vào góc điều khiển α :

$$\omega_0 = \frac{E_{dc} \cdot \cos \alpha}{K\Phi_{dm}} \quad (4-32)$$



Hình 4-18. Sơ đồ thay thế chỉnh lưu tiristo – động cơ một chiều.

(Tuy nhiên tốc độ không tải lý tưởng này chỉ là giả tưởng nếu ta kéo dài đoạn đặc tính, còn trong thực tế thì tốc độ không tải lý tưởng của đặc tính sẽ khác biểu thức (4-32)).

Thay đổi góc điều khiển α từ $0 - \pi$, sđđ chỉnh lưu biến thiên từ E_{do} đến $-E_{do}$ và ta được một họ đặc tính song song nhau nằm ở nửa bên phải của mặt phẳng tọa độ $[\omega, I]$ do các van không cho dòng điện phần ứng đổi chiều. Các đặc tính cơ của hệ $CL - D$ mềm hơn các đặc tính cơ của hệ $F - D$ bởi thành phần sụt áp ΔU_k do hiện tượng chuyển mạch giữa các van bán dẫn gây nên.

Khi góc điều khiển biến thiên trong vùng $0 \leq \alpha < \frac{\pi}{2}$, bộ biến đổi làm việc ở chế độ chỉnh lưu, động cơ có thể làm việc ở chế độ động cơ nếu sđđ E còn dương và ở chế độ hãm ngược nếu sđđ E đổi chiều, xem H.4-18.

Khi tăng góc điều khiển $\frac{\pi}{2} \leq \alpha < \alpha_{\max}$ và tải có tính chất thế năng để quay ngược chiều động cơ thì cả sđđ E_d và E đều đổi dấu. Nếu sđđ động cơ lớn hơn giá trị trung bình của sđđ của bộ biến đổi thì dòng điện phần ứng vẫn chảy theo chiều cũ, động cơ làm việc ở chế độ hãm tái sinh, dưới tác dụng của sđđ động cơ mà các van tiristo sẽ dẫn dòng trong thời gian nửa chu kỳ âm của điện áp lưới. Góc pha của dòng điện xoay chiều trở nên lớn hơn $\pi/2$, bộ biến đổi làm việc ở chế độ nghịch lưu phụ thuộc, biến cơ năng của tải thành điện năng xoay chiều, cùng tần số lưới và trả về lưới điện. Dòng điện trung bình của mạch phần ứng và phương trình đặc tính tốc độ là:

$$I = \frac{E - E_d}{R + X_k},$$

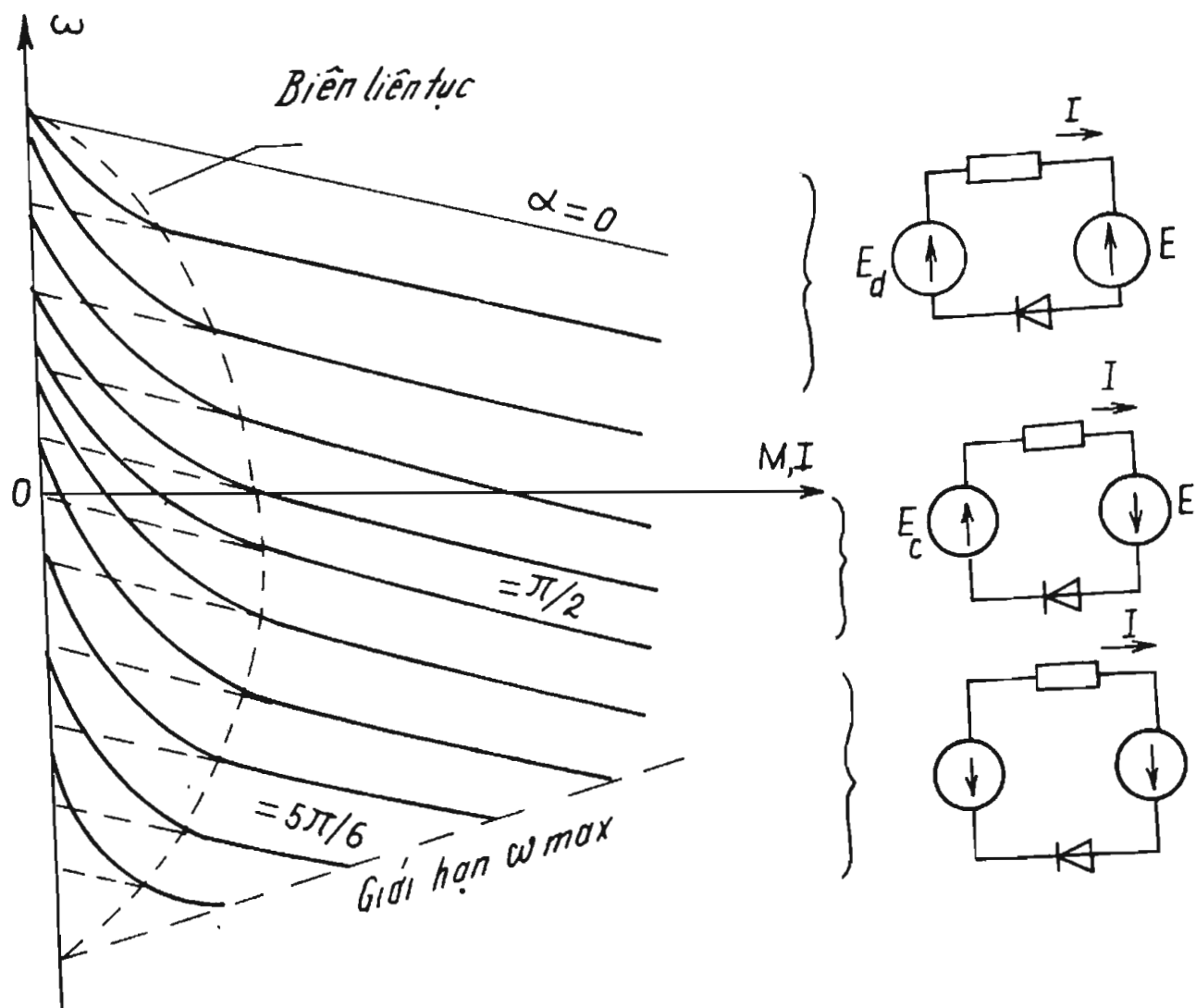
$$\omega = \frac{E_{do} \cdot \cos \beta}{K\Phi_{dm}} + \frac{R + X_k}{K\Phi_{dm}} I.$$

Ở phần phân tích hiện tượng chuyển mạch, mục 4-5.1,b ta có góc chuyển mạch:

$$\mu = \arccos \left[\cos \alpha - \frac{I_d}{I_{mk}} \right] - \alpha$$

Điều kiện làm việc an toàn của nghịch lưu phụ thuộc là:

$$\alpha_{\max} = \pi - \beta_{\min} = \pi - (\mu + \delta).$$



Hình 4-19. Đặc tính cơ của hệ CL - Đ.

Phối hợp hai biểu thức trên ta tính được:

$$|\cos \alpha_{\max}| = |\cos \beta_{\min}| = \cos \delta - \frac{I}{I_{mk}}$$

Thay giá trị này vào phương trình đặc tính tốc độ và để ý rằng $E_{d0}/I_{mk} = 2X_k$ ta tìm được giá trị tốc độ tối đa cho phép hệ CL - Đ làm việc ở chế độ nghịch lưu phụ thuộc

$$\omega_{\max} = \frac{E_{d0} \cos \delta}{K\Phi_{dm}} - \frac{X_k - R}{K\Phi_{dm}} I$$

Điều kiện này được biểu diễn bởi đường nét đứt dưới cùng của họ đặc tính trên H.4-19.

Khi mômen tải tăng do dòng qua các van lớn, làm góc chuyển mạch tăng theo, nên để an toàn cần phải tăng góc thông sớm $\beta_{\min}$, điều này làm giảm sđđ bộ biến đổi và do đó làm giảm tốc độ cực đại cho phép.

b. Chế độ dòng điện gián đoạn

Căn cứ vào các biểu thức (4-23) và (4-25) ta có thể tính và vẽ được đặc tính cơ trong vùng dòng điện gián đoạn như sau: Chọn góc điều khiển α cố định cho một đặc tính, cho góc dẫn $\lambda = 0 \div 2\pi/p$ từ (4-23) ta tính được bảng giá trị ω tương ứng với mỗi cặp (λ, ω) thay vào (4-25) được một giá trị của I . Tập hợp các giá trị (ω, I) ta được đoạn đặc tính, đó là các đoạn cong nét liền rất dốc sát trục tung trên H.4-18. Hệ thống không thể làm việc ổn định ở vùng dòng điện gián đoạn nếu không áp dụng các phương pháp tự động điều chỉnh đặc biệt (ví dụ hệ điều chỉnh thích nghi chẳng hạn).

Trong thực tế tính toán hệ $CL - D$ chỉ cần xác định biên giới vùng dòng điện gián đoạn, là đường phân cách giữa vùng dòng điện liên tục và vùng dòng điện gián đoạn. Trạng thái biên liên tục là trạng thái mà góc dẫn $\lambda = 2\pi/p$ và góc chuyển mạch $\mu = 0$. Biên giới này đã được xác định bởi phương trình (4-29):

Tập hợp các điểm trạng thái biên $[\omega_{bl}, I_{bl}]$ khi thay đổi góc điều khiển $\alpha = 0 \div \pi$ gần đúng là đường elip có các trục chính là các trục tọa độ, là đường cong nét đứt trên H.4-11 và H.4-19,a. Trên H.4-11,b trình bày đặc tính của động cơ tương đương nhưng chỉnh lưu là hình cầu ba pha ($p = 6$) và điện cảm L lớn gấp 5 lần. Thấy rõ tác dụng thu hẹp vùng dòng điện gián đoạn của việc tăng các thông số p, L của mạch phần ứng. Tuy nhiên, việc tăng số xung p kéo theo tăng độ phức tạp của mạch lực và mạch điều khiển chỉnh lưu, còn khi tăng điện cảm lọc L kéo theo làm xấu quá trình quá độ và làm tăng trọng lượng, kích thước của hệ thống.

4–5.3 Truyền động tiristo – động cơ một chiều ($T - Đ$) có đảo chiều quay

Do chỉnh lưu tiristo dẫn dòng theo một chiều và chỉ điều khiển được khi mở, còn khóa theo điện áp lưới cho nên truyền động van thực hiện đảo chiều khó khăn và phức tạp hơn truyền động máy phát–động cơ. Cấu trúc mạch lực cũng như cấu trúc mạch điều khiển hệ truyền động $T - Đ$ đảo chiều có yêu cầu an toàn cao và có logic điều khiển chặt chẽ.

Có hai nguyên tắc cơ bản để xây dựng hệ truyền động ($T - Đ$) đảo chiều:

- Giữ nguyên chiều dòng điện phản ứng và đảo chiều dòng kích từ động cơ.
- Giữ nguyên chiều dòng kích từ và đảo chiều dòng điện phản ứng.

Trong thực tế, các sơ đồ truyền động ($T - Đ$) đảo chiều có nhiều song đều thực hiện theo một trong hai nguyên tắc trên và được phân ra năm loại sơ đồ chính (H.4–20a, b, c, d, e):

Hình 4–20a: Truyền động dùng một bộ biến đổi cấp cho phần ứng và đảo chiều quay bằng đảo chiều dòng kích từ.

Hình 4–20b: Truyền động dùng một bộ biến đổi cấp cho phần ứng và đảo chiều quay bằng công tắc tơ chuyển mạch ở phần ứng (từ thông giữ không đổi).

Hình 4–20c: Truyền động dùng hai bộ biến đổi cấp cho phần ứng điều khiển riêng.

Hình 4–20d: Truyền động dùng hai bộ biến đổi nối song song ngược điều khiển chung

Hình 4–20e: Truyền động dùng hai bộ biến đổi nối theo sơ đồ chéo điều khiển chung.

Mỗi loại sơ đồ đều có ưu nhược điểm riêng và thích hợp với từng loại tải và yêu cầu công nghệ:

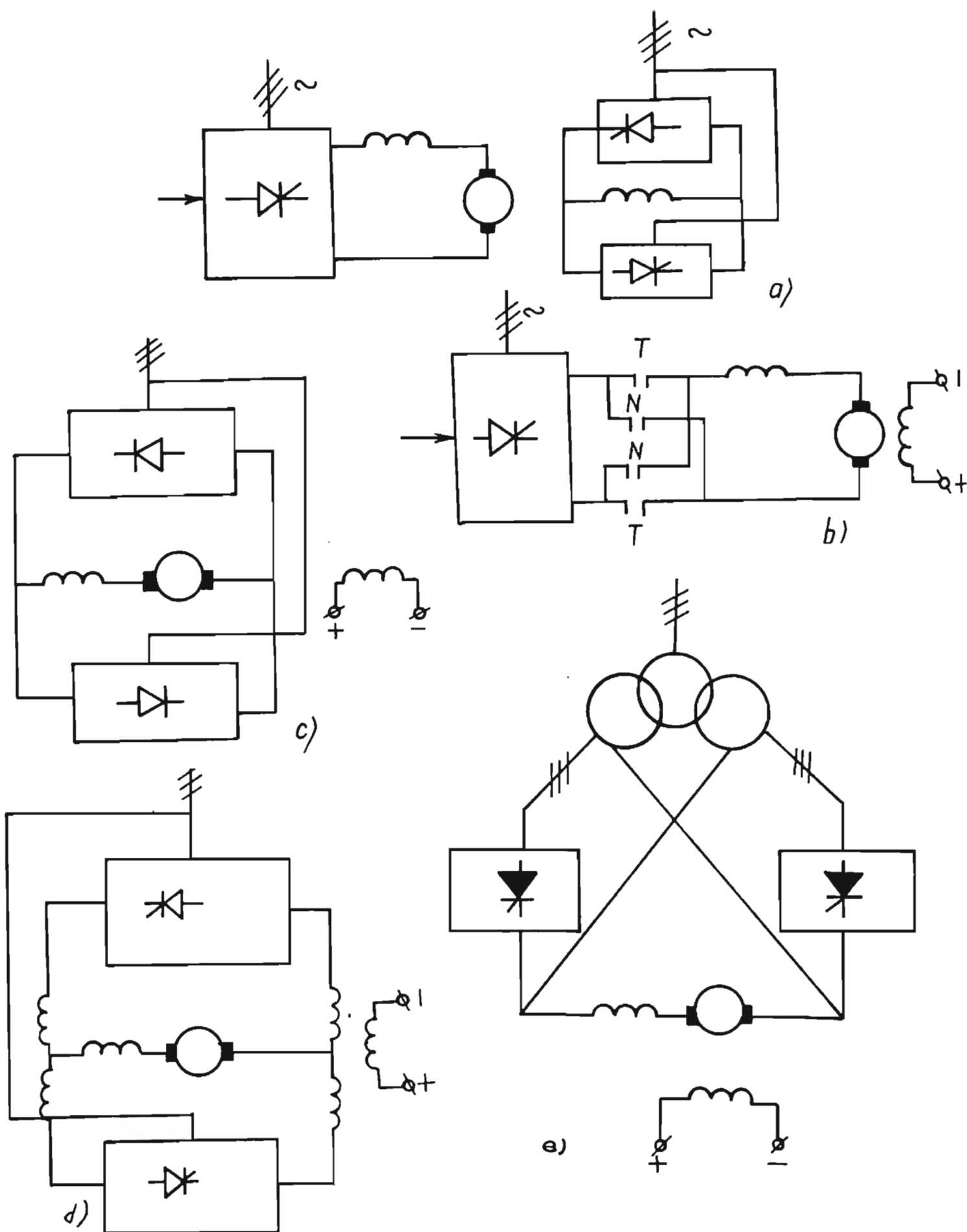
Loại H.4-20a dùng cho công suất lớn rất ít đảo chiều.

Loại H.4-20b dùng cho công suất nhỏ, tần số đảo chiều thấp, loại H.4-20c dùng cho mọi giải công suất có tần số đảo chiều lớn. Loại H.4-20d, e dùng cho giải công suất vừa và lớn có tần số đảo chiều cao, so với ba loại trên thì nó thực hiện đảo chiều êm hơn, nhưng lại có kích thước cồng kềnh. Vốn đầu tư và tổn thất lớn hơn.

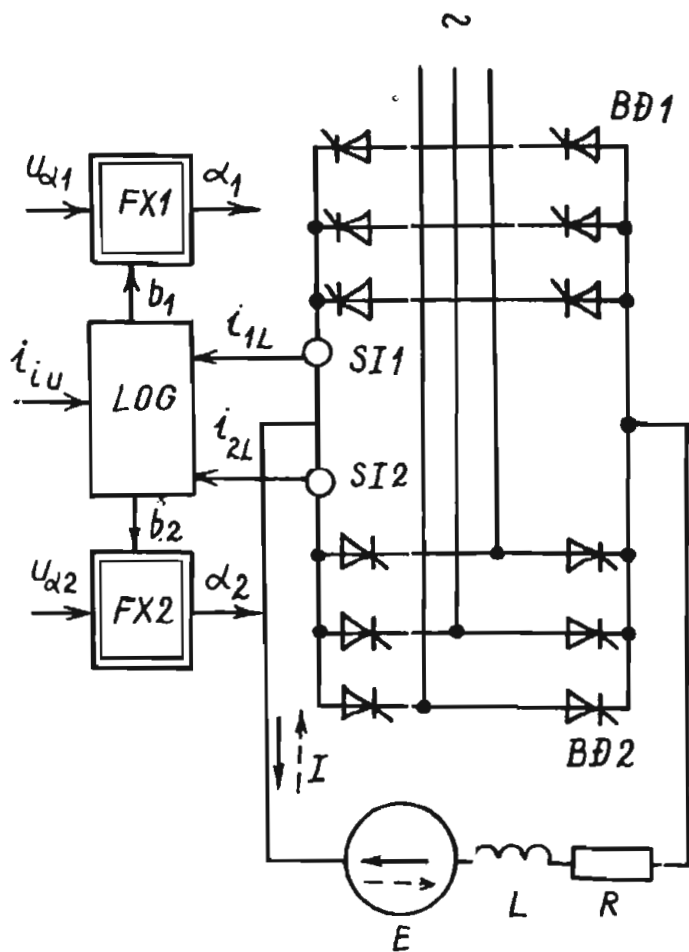
Về nguyên tắc xây dựng mạch điều khiển, có thể chia làm hai loại chính: điều khiển riêng và điều khiển chung. Sơ đồ H.4-20a, b, c có nguyên tắc mạch điều khiển gần giống nhau là phải khóa các bộ biến đổi mạch phần ứng để cắt dòng, sau đó tiến hành chuyển mạch, như vậy khi điều khiển tồn tại một thời gian gián đoạn. Sơ đồ H.4-20d, e dùng nguyên tắc điều khiển liên tục. Sau đây ta sẽ phân tích hai loại sơ đồ đặc trưng (H.4-20c) và (H.4-20d).

a. Truyền động T-D đảo chiều điều khiển riêng

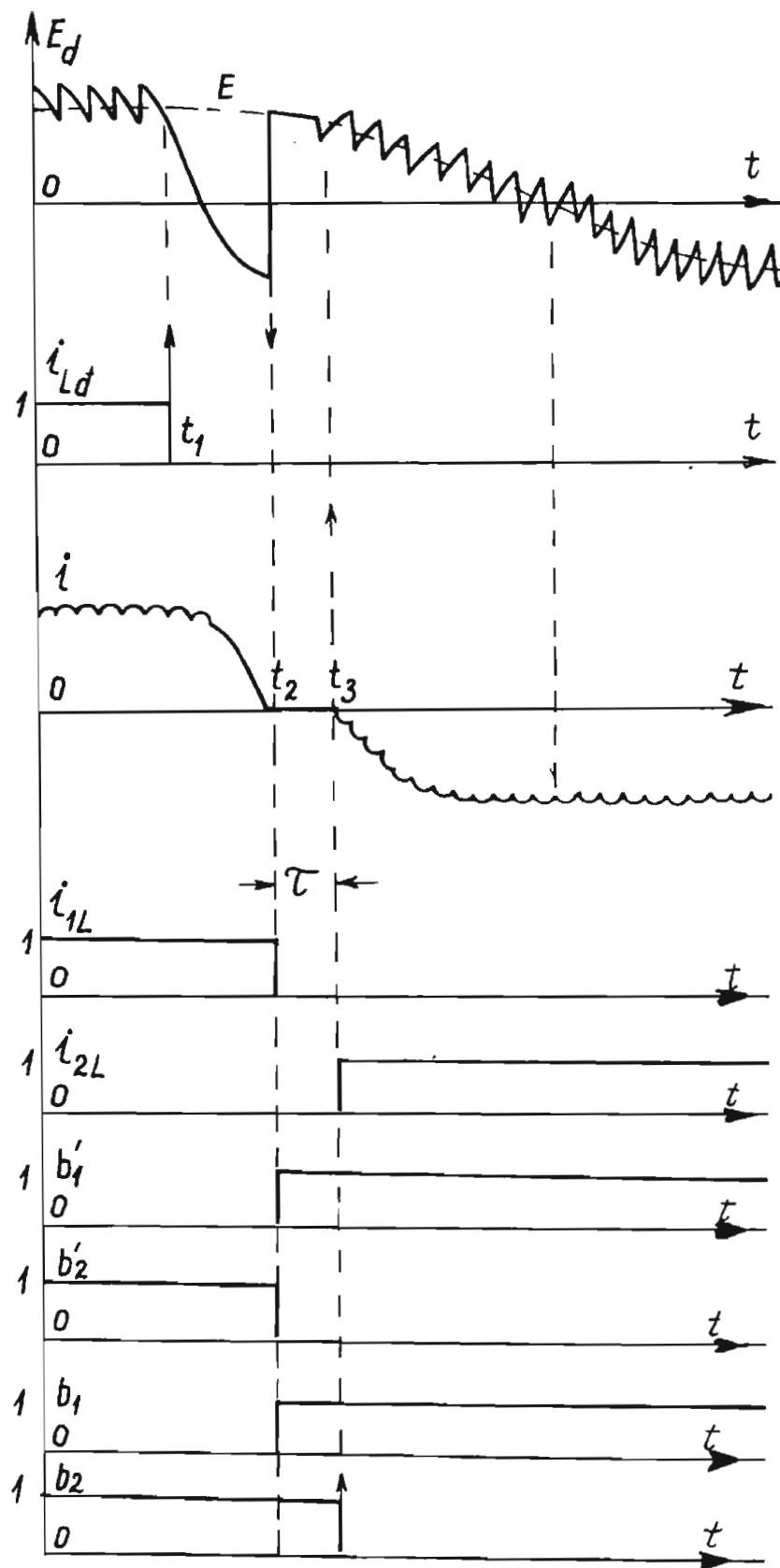
Khi điều khiển riêng hai bộ biến đổi làm việc riêng rẽ nhau, tại một thời điểm chỉ phát xung điều khiển vào một bộ biến đổi còn bộ kia bị khóa do không có xung điều khiển. Hệ có hai bộ biến đổi là BD_1 và BD_2 với các mạch phát xung điều khiển tương ứng là FX_1 và FX_2 , trật tự hoạt động của các bộ phát xung này được qui định bởi các tín hiệu logic b_1 và b_2 . Quá trình hãm và đảo chiều được mô tả bằng đồ thị thời gian. Trong khoảng thời gian $0 \div t_1$, BD_1 làm việc ở chế độ chỉnh lưu với góc $\alpha_1 < \frac{\pi}{2}$ còn BD_2 khóa. Tại t_1 phát lệnh đảo chiều bởi i_{Ld} , góc điều khiển α_1 tăng đột biến đến lớn hơn $\pi/2$, dòng phần ứng giảm dần về không, lúc này cắt xung điều khiển để khóa BD_1 , thời điểm t_2 được xác định bởi cảm biến dòng điện không SI_1 . Trong khoảng thời gian trễ $\tau = t_3 - t_2$, BD_1 bị khóa hoàn toàn, dòng điện phần ứng bị triệt tiêu. Tại t_3 , sđđ động cơ E vẫn còn dương, tín hiệu logic b_2 kích cho FX_2 mở BD_2 với góc $\alpha_2 > \pi/2$ và sao cho dòng điện phần ứng không vượt quá giá trị cho phép, động cơ được hãm tái sinh, nếu nhịp điệu giảm α_2 phù hợp với quán tính của hệ thì có thể duy trì dòng điện hãm và dòng điện khởi động ngược không đổi, điều này được thực hiện bởi các mạch vòng điều



Hình 4-20. Các sơ đồ truyền động (T – Đ) đảo chiều.



Hình 4-21. Sơ đồ khối hệ truyền động đảo chiều và các tín hiệu điều khiển.



chỉnh tự động dòng điện của hệ thống. Trên sơ đồ của khối logic LOG, $i_{Lđ}$, i_{1L} , i_{2L} là các tín hiệu logic đầu vào ; b_1 , b_2 là các tín hiệu logic đầu ra để khóa các bộ phát xung điều khiển.

$i_{Lđ} = 1$ – phát xung điều khiển mở BD_1 ,

$i_{Lđ} = 0$ – phát xung điều khiển mở BD_2 ,

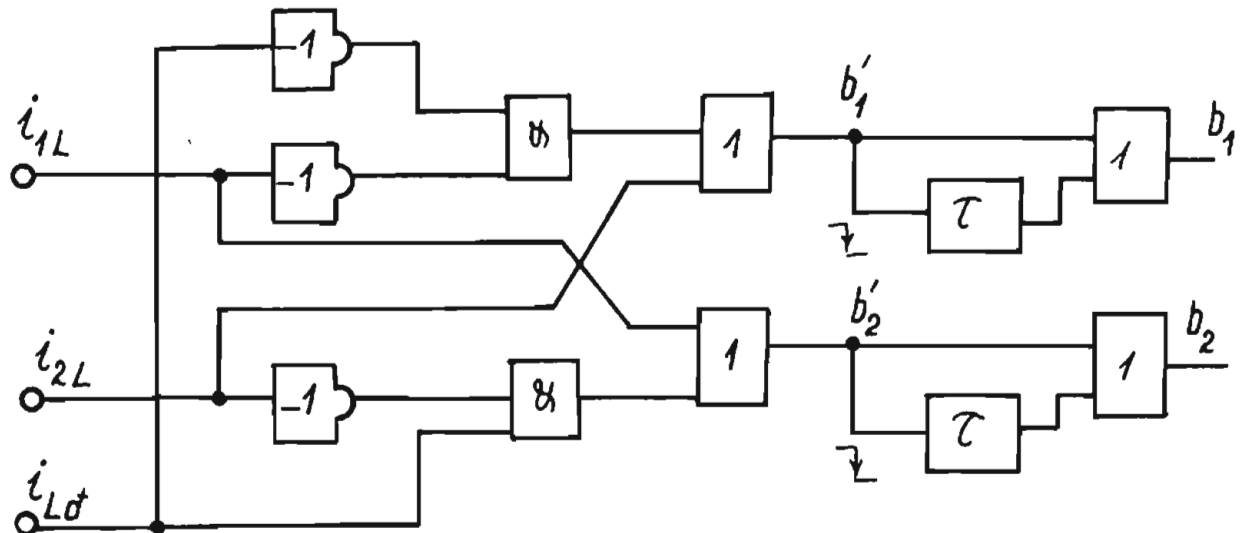
i_{1L} (i_{2L}) = 1 – có dòng điện chảy qua BD_1 (BD_2),

b_1 (b_2) = 1 – khóa bộ phát xung FX_1 (FX_2).

Trên H.4–22 cho một ví dụ mạch logic điều khiển quá trình đảo chiều. Đồ thị thời gian của các tín hiệu mô tả ở H.4–21.

$$b_1 = \bar{i}_{Lđ} \cdot \bar{i}_{1L} + i_{2L}; \quad b_2 = i_{Lđ} \cdot \bar{i}_{2L} + i_{1L}.$$

Khoảng thời gian trễ được bảo đảm bởi các mạch xung có độ rộng không đổi τ .



Hình 4–22. Sơ đồ mạch logic LOG.

Hệ truyền động van đảo chiều điều khiển riêng có ưu điểm là làm việc an toàn, không có dòng điện cân bằng chảy giữa các bộ biến đổi, song cần một khoảng thời gian trễ trong đó dòng điện động cơ bằng không.

b. Truyền động (T-D) đảo chiều điều khiển chung

Trên H.4-22 mô tả một ví dụ về hệ T-D đảo chiều điều khiển chung, tại một thời điểm cả hai bộ biến đổi đều nhận được xung mở, nhưng chỉ có một bộ biến đổi cấp dòng cho nghịch lưu, còn bộ biến đổi kia làm việc ở chế độ đợi.

Đặc tính điều khiển của BD_1 là đường I, đặc tính điều chỉnh của BD_2 là đường II. Giả thiết $\alpha_1 < \pi/2$; $\alpha_2 > \pi/2$ sao cho $|E_{d1}| \leq |E_{d2}|$ thì dòng điện chỉ có thể chảy từ BD_1 sang động cơ mà không thể chảy từ BD_1 sang BD_2 được. Để đạt được trạng thái này thì các góc điều khiển phải thỏa mãn điều kiện:

$$\alpha_2 \geq \pi - \alpha_1 \text{ hay } \beta_2 \leq \alpha_1.$$

Nếu tính đến góc chuyển mạch μ và góc khóa δ thì giá trị lớn nhất của góc điều khiển của bộ biến đổi đang ở chế độ nghịch lưu đợi phải là:

$$\alpha_{\max} = \pi - (\mu_{\max} + \delta)$$

và giá trị nhỏ nhất của góc điều khiển của bộ biến đổi đang làm việc ở chế độ chỉnh lưu là:

$$\alpha_{\min} \geq \mu + \delta.$$

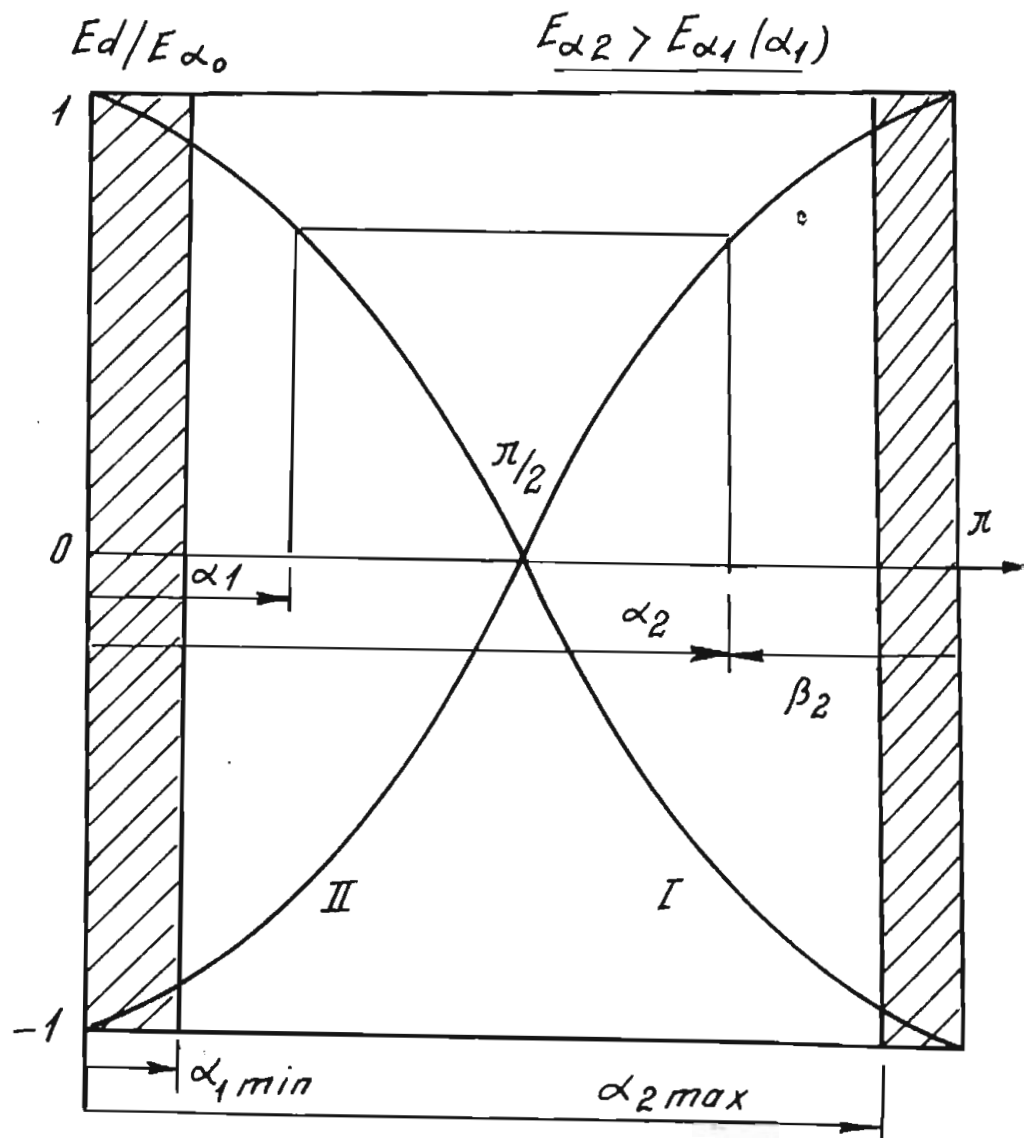
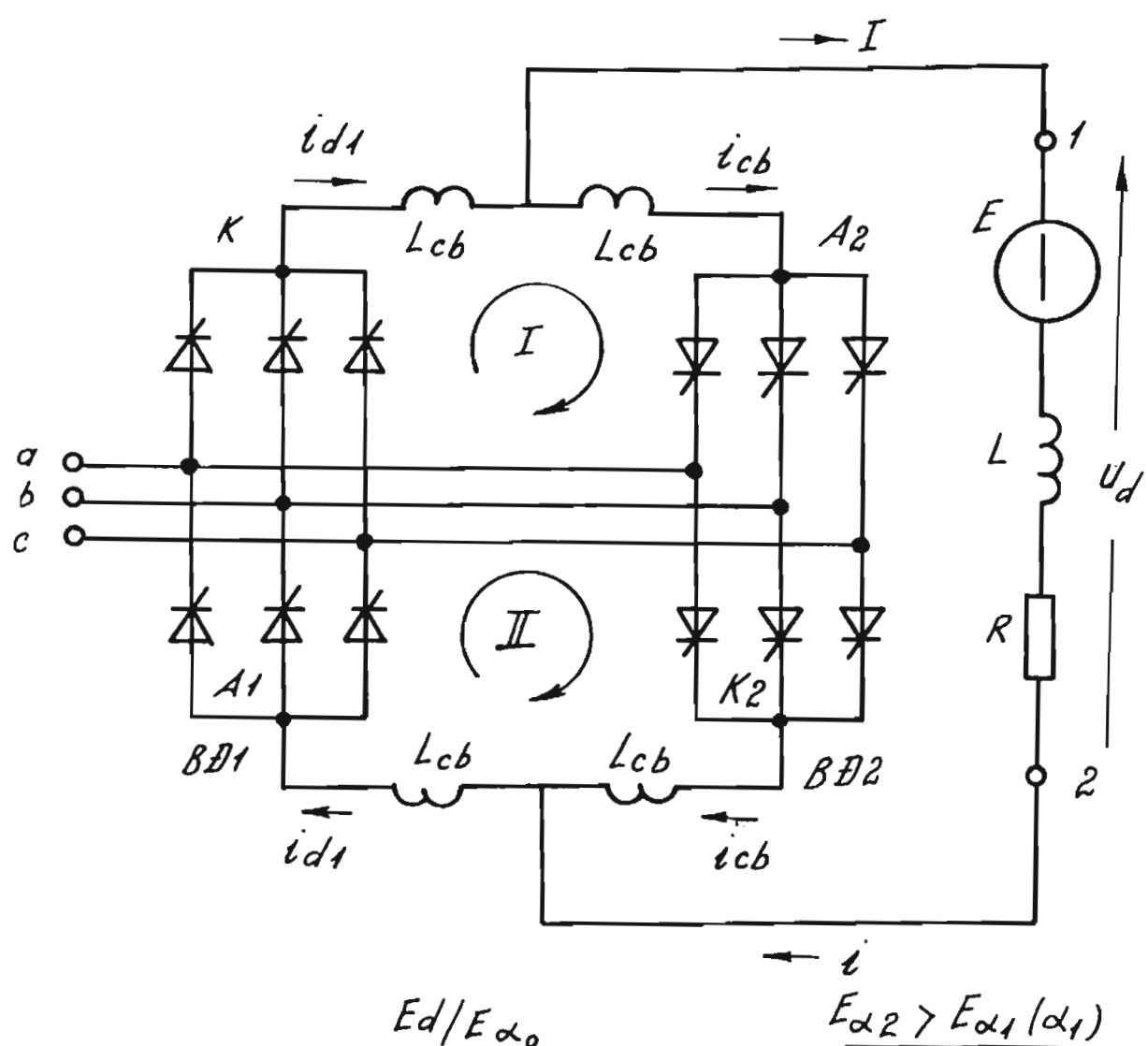
Nếu chọn $|E_{d1}| = |E_{d2}|$ thì $\alpha_1 + \alpha_2 = \pi$ và ta có phương pháp điều khiển chung đối xứng, khi này sđđ tổng trong mạch vòng giữa hai bộ biến đổi sẽ triệt tiêu và dòng điện trung bình chảy vòng qua hai bộ biến đổi cũng triệt tiêu:

$$I_{cb} = \frac{E_{d1} + E_{d2}}{R_{cb}} = 0,$$

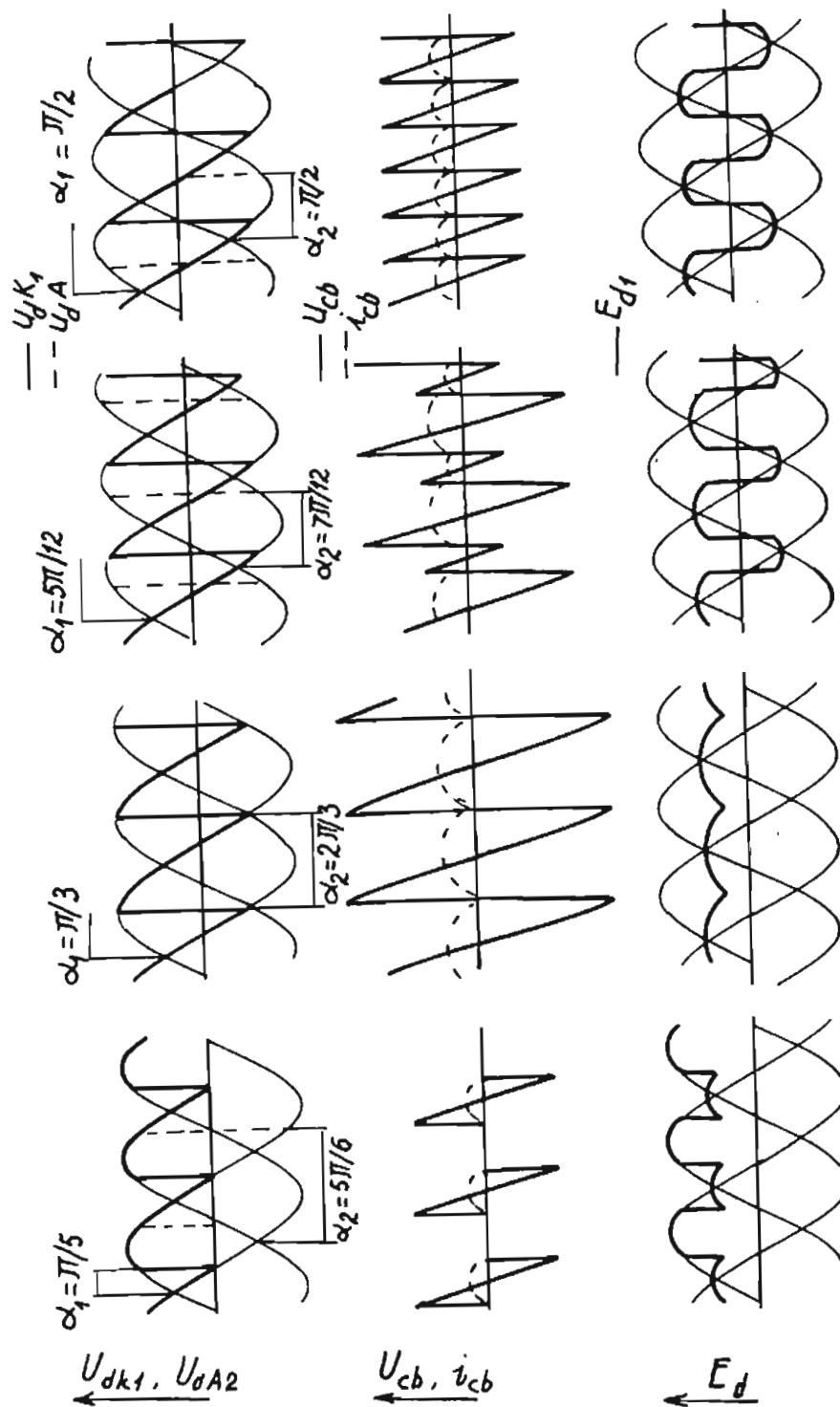
trong đó R_{cb} là tổng điện trở trong mạch vòng cân bằng.

Trong thực tế điều khiển thường dùng phương pháp điều khiển chung không đối xứng, tức là $\alpha_2 > \pi - \alpha_1$, khi đó $|E_{d2}| > |E_{d1}|$ và không có dòng điện cân bằng.

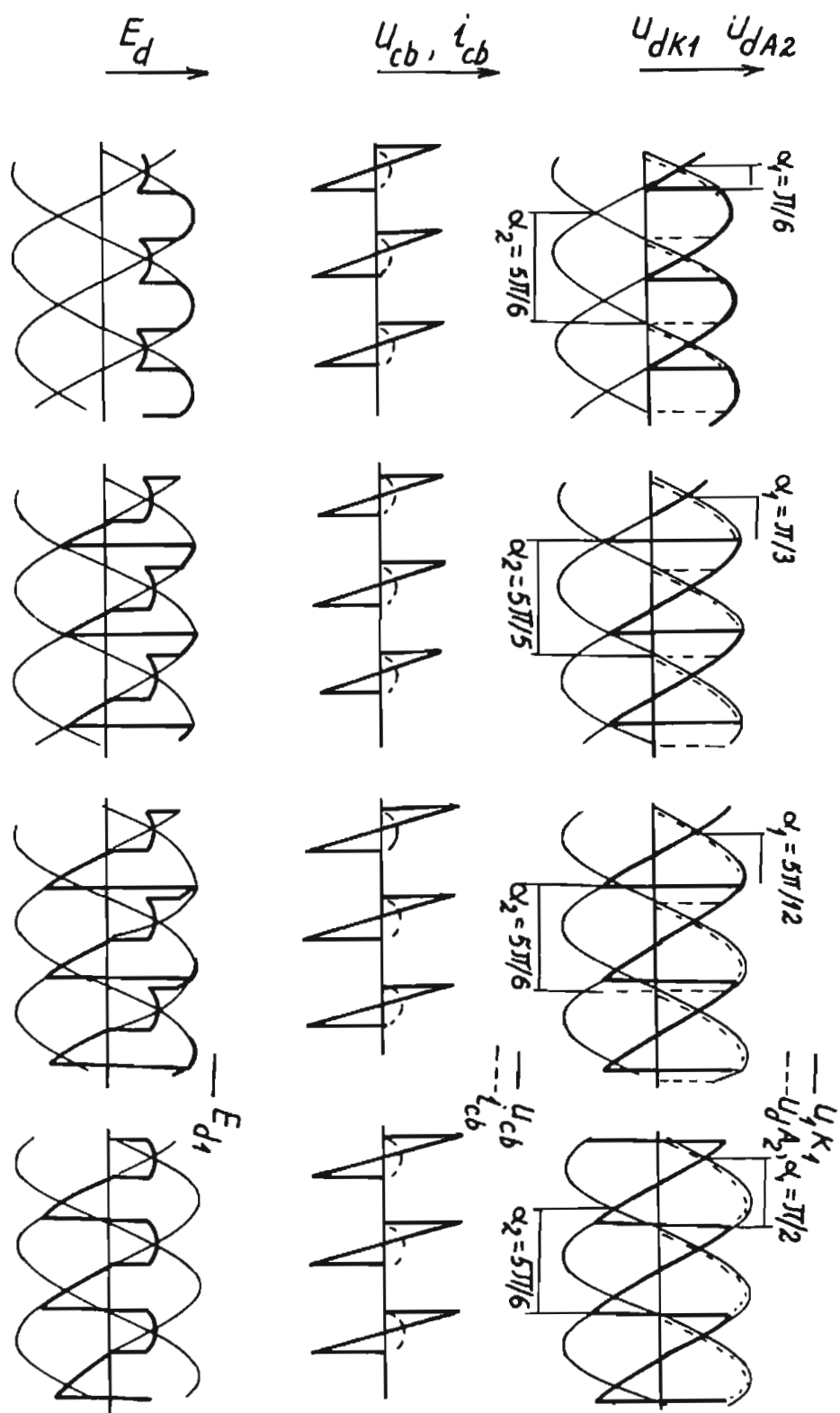
Trong các phương pháp điều khiển chung, mặc dù đã bảo đảm $|E_{d2}| \geq |E_{d1}|$, tức là không xuất hiện giá trị trung bình của dòng cân bằng, song giá trị tức thời của sđđ các bộ chỉnh lưu $e_{d1}(t)$, $e_{d2}(t)$



Hình 4-23. Sơ đồ nguyên lý
và đặc tính chỉnh lưu đảo
chiều điều khiển chung.



Hình 4-24. Đồ thị điện áp và dòng điện trong mạch chỉnh lưu ba xung (vòng I) điều khiển chung đối xứng, điện cảm của tải là vô cùng lớn.



Hình 4–25. Đồ thị điện áp và dòng điện trong mạch chỉnh lưu ba xung (vòng I) điều khiển chung không đối xứng, điện cảm của tải là vô cùng lớn.

luôn khác nhau, do đó vẫn xuất hiện thành phần xoay chiều của dòng điện cân bằng. Để hạn chế biến độ dòng điện cân bằng thường dùng các cuộn kháng cân bằng L_{cb} . Trong sơ đồ chỉnh lưu cầu ba pha (H.4-23) dòng điện cân bằng chảy trong hai vòng dọc lập vòng I và vòng II, mỗi vòng tạo thành một chỉnh lưu ba pha hình tia. Trên các H.4-24 và 4-25 giới thiệu quá trình điện áp cân bằng U_{cb} , dòng điện cân bằng i_{cb} trên vòng I. Các điện áp U_{dk1} và U_{dA2} được đo giữa các điểm K_1 và A_2 của chỉnh lưu với điểm trung tính của nguồn xoay chiều ba pha, điện áp chỉnh lưu E_{d1} được đo giữa điểm 1 và trung tính nguồn. Trên H.4-24 mô tả quá trình khi điều khiển chung đối xứng, H.4-25 mô tả quá trình khi điều khiển không đối xứng, có thể thấy rõ tác dụng giảm biên độ dòng cân bằng khi điều khiển chung không đối xứng. Dạng điện áp chỉnh lưu E_d hơi đặc biệt do có tính đến sụt áp trên các điện kháng cân bằng:

$$E_{d1} = U_{dk1} - \frac{1}{2} U_{cb} = \frac{1}{2} (U_{dk1} + U_{dk2}).$$

Bằng cách tương tự có thể xây dựng được các đồ thị U_{dk2} , U_{dA1} và E_{d2} , các đồ thị này có dạng tương tự như ở trên. Điện áp chỉnh lưu của cả bộ biến đổi sẽ bằng

$$U_d = E_{d1} - E_{d2}.$$

4-5.4. Nhận xét chung

Ưu điểm nổi bật của hệ $T-D$ là độ tác động nhanh cao, không gây ồn và dễ tự động hóa do các van bán dẫn có hệ số khuếch đại công suất rất cao, điều đó rất thuận tiện cho việc thiết lập các hệ thống tự động điều chỉnh nhiều vòng để nâng cao chất lượng các đặc tính tĩnh và các đặc tính động của hệ thống.

Nhược điểm của chủ yếu của hệ $T-D$ là do các van bán dẫn có tính phi tuyến, dạng điện áp chỉnh lưu ra có biên độ đập mạch cao, gây tổn thất phụ trong máy điện, và ở các truyền động có công suất lớn còn làm xấu dạng điện áp của nguồn và lưới xoay chiều. Hệ số công suất $\cos \varphi$ của hệ nói chung là thấp.

4-6. CÁC HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỀU CHỈNH XUNG ÁP – ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU

4-6.1. Điều chỉnh xung áp mạch đơn.

Trên H. 4-26, *a* mô tả sơ đồ nguyên lý điều chỉnh xung áp (XA Đ) loại A (còn gọi là bộ băm xung loại A), trong đó điện áp và dòng điện của động cơ u_D , i chỉ có giá trị dương. Khi khóa S thông ta có $u_D = u_N$; $i = i_N$, khi khóa S ngắt $i_N = 0$; $u_D = 0$ và $i = i_{D0}$ do tác dụng duy trì dòng của điện cảm L . Các giá trị trung bình của điện áp và dòng điện phần ứng U_D , I và do đó sđđ E của động cơ khi đóng và ngắt liên tục khóa S , sẽ được xác định nếu biết luật đóng, ngắt khóa và các thông số của mạch. Nếu đóng ngắt khóa S với tần số không đổi thì hoạt động của mạch tương tự như của chỉnh lưu một pha, một nửa chu kỳ. Đồ thị trên H. 4-26, *b* mô tả quá trình dòng điện và điện áp trong chế độ dòng điện liên tục:

$$-U_D + \Delta U_L + \Delta U_R + E = 0 \quad (4-33)$$

$$\frac{di}{dt} + \frac{R}{L} i = \frac{U_D - E}{L} \quad (4-34)$$

Tại thời điểm $t = 0^+$ khóa S bắt đầu thông và $U_D = U_N$, $i = I_{\min}$, nếu coi sđđ E không đổi trong một chu kỳ đóng ngắt của khóa S thì nghiệm của (4-32) sẽ là:

$$i = \frac{U_N - E}{R} (1 - e^{-t/T_u}) + I_{\min} e^{-t/T_u} \quad (4-35)$$

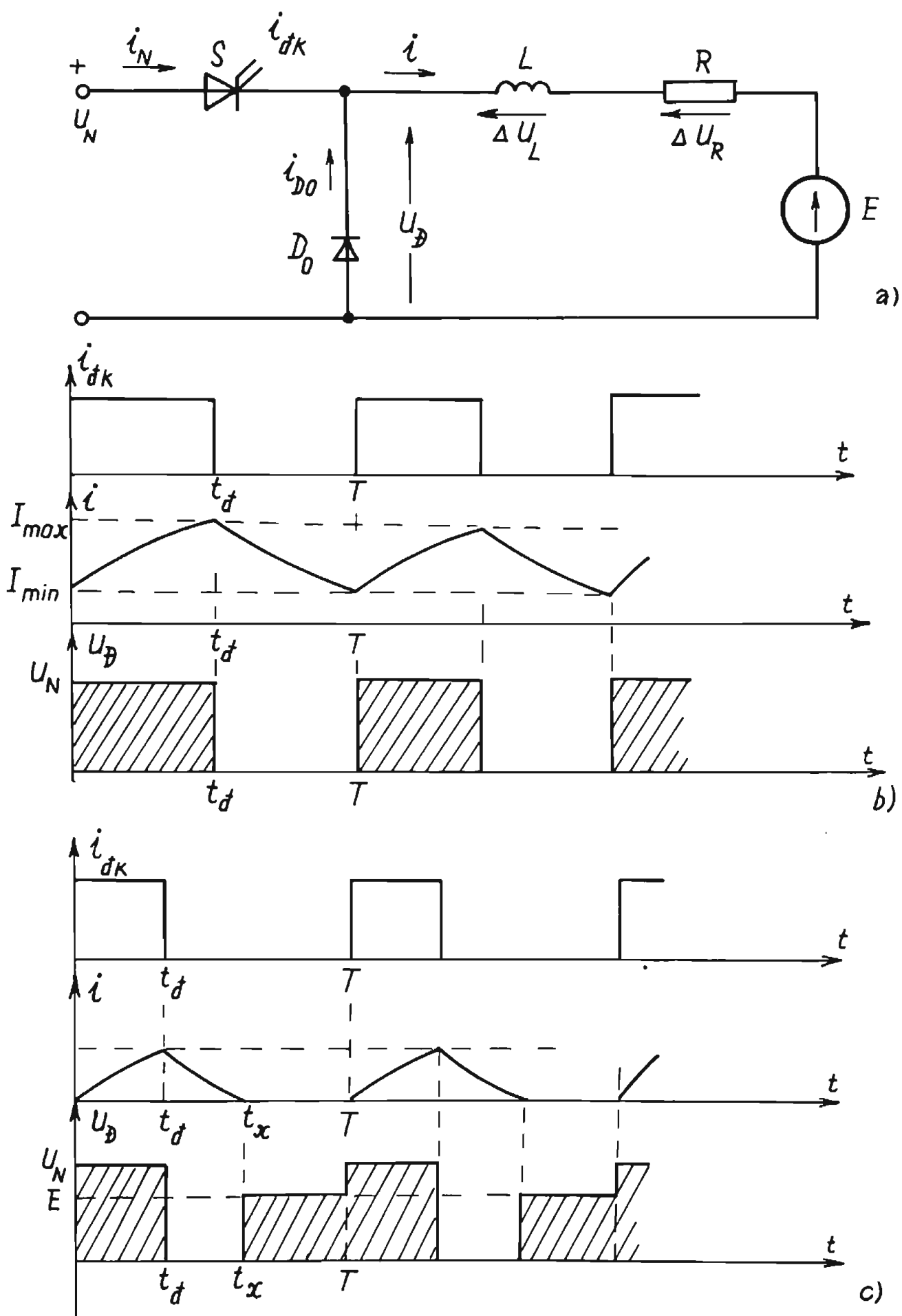
$$0 \leq t < t_d,$$

$T_u = L/R$ – hằng số thời gian của mạch phần ứng.

Tại thời điểm $t = t_d$ khóa S bắt đầu ngắt:

$$i = I_{\max} = \frac{U_N - E}{R} (1 - e^{-t_d/T_u}) + I_{\min} e^{-t_d/T_u} \quad (4-36)$$

Lúc này $u_D = 0$ do van D_o dẫn nên



Hình 4-26. Nguyên lý làm việc cơ bản của bộ điều chỉnh xung áp loại A.

$$\frac{di}{dt'} + \frac{R}{L}i = -\frac{E}{L} \quad ; \quad t' = t - t_d \quad (4-37)$$

Tại $t' = 0^+$, $i = I_{\max}$ và nghiệm của (4-31) là

$$i = -\frac{E}{R}(1 - e^{t'/T_u}) + I_{\max}e^{-t'/T_u}; \quad t_d \leq t < T. \quad (4-38)$$

Tại $t' = T - t_d$, tức là tại $t = T$, $i = I_{\min}$ và từ (4-32) có:

$$i = I_{\min} = -\frac{E}{R}[1 - e^{-(T - t_d)/T_u}] + I_{\max}e^{-(T - t_d)/T_u}. \quad (4-39)$$

Kết hợp giữa (4-35) và (4-37) được các giá trị cực trị:

$$I_{\max} = \frac{U_N}{R} \cdot \frac{(1 - e^{-t_d/T_u})}{(1 - e^{-T/T_u})} - \frac{E}{R} \quad (4-40)$$

$$I_{\min} = \frac{U_N}{R} \cdot \frac{(e^{t_d/T_u} - 1)}{(e^{T/T_u} - 1)} - \frac{E}{R} \quad (4-41)$$

Nếu S thông liên tục $t_d = T$ thì dòng điện trong mạch phản ứng sẽ không đổi và bằng:

$$I = I_{\max} = I_{\min} = \frac{U_N - E}{R}$$

Nếu thời gian thông của khóa S giảm đến một giá trị tới hạn nào đó $t_d = t_{dgh}$ thì dòng điện $I_{\min} = 0$ và hệ thống sẽ làm việc ở trạng thái biên giới chuyển từ chế độ dòng điện liên tục sang chế độ dòng điện gián đoạn. Hình 4-26, c mô tả quá trình dòng và áp khi bộ biến đổi làm việc ở chế độ dòng điện gián đoạn. Với các điều kiện biên của chế độ này, từ (4-39)

$$\frac{E}{U_N} = \frac{e^{(t_{dgh}/T) \cdot (T/T_u)} - 1}{e^{T/T_u} - 1} \quad (4-42)$$

hoặc ở dạng rút gọn:

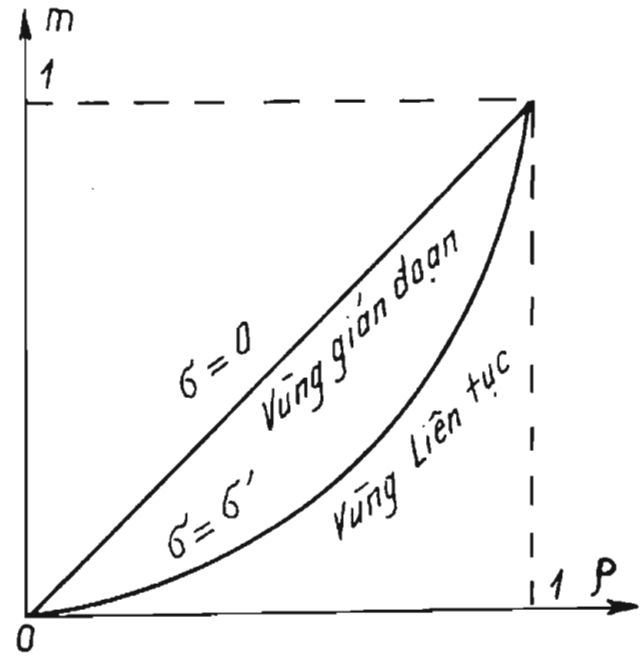
$$m = \frac{e^{\rho \cdot \sigma} - 1}{e^{\sigma} - 1}. \quad (4-43)$$

trong đó

$$m = E/U_N, \quad \rho = t_d/T;$$

$$\sigma = T/T_u.$$

Từ (4-43) dựng được họ đường cong phụ thuộc giữa m và ρ (H. 4-27), trong đó σ như là một tham số. Vùng giới hạn từ đường cong $\sigma = 0$ trở lên là không thể thực hiện được, vì ngay tại $\sigma = 0$ mạch đã yêu cầu có $T_u = \infty$, tức là tải phải là thuần cảm. Giá trị $\sigma = \sigma'$ chính là giá trị thực của thông số mạch cụ thể.



Hình 4-27. Quan hệ $m(\rho)$.

Tại trạng thái biên liên tục và trong vùng dòng điện gián đoạn do $I_{\min} = 0$ nên từ (4-40) và (4-41):

$$I_{\max} = \frac{U_N - E}{R} [1 - e^{-(t_d/T_u)}], \quad 0 < t_d \leq t_{dgh}. \quad (4-44)$$

Từ (4-33) và (4-38):

$$i = - \frac{E}{R} (1 - e^{-t'/T_u}) + \frac{U_N - E}{R} (1 - e^{-t_d/T_u}) e^{-t'/T_u}, \quad (4-45)$$

$$0 < t_d \leq t_{dgh},$$

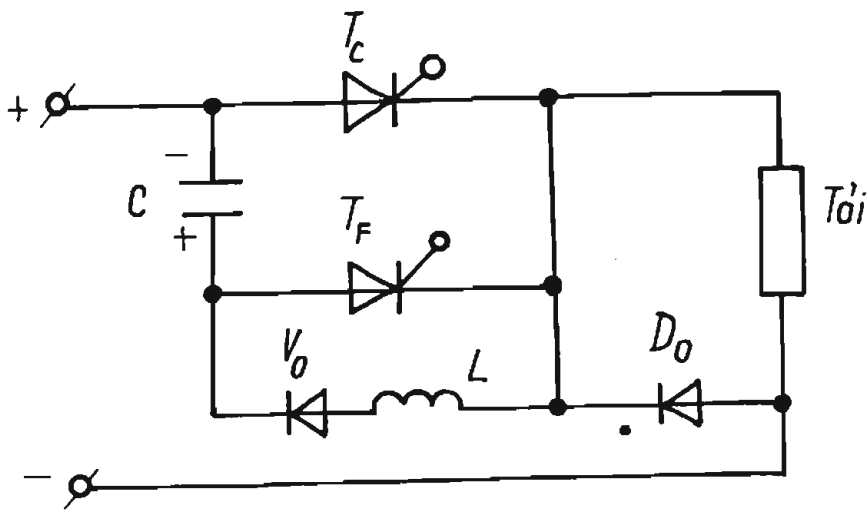
dòng điện này sẽ bằng không tại thời điểm $t = t_x$, hoặc $t' = t_x - t_d$. Thay các điều kiện đầu này vào (4-42) được:

$$t_x = T_u \ln \left\{ e^{t_d/T_u} \left[1 + \frac{U_N - E}{E} (1 - e^{-t_d/T_u}) \right] \right\} \quad (4-46)$$

Trạng thái biên giới là trạng thái $t_x = T$, như vậy với mỗi thông số của mạch và các giá trị U_N, E tương ứng ta có thể tìm được t_{dgh}

từ biểu thức (4-46).

Do yêu cầu đóng ngắt với tần số cao, cỡ vài ba trăm chu kỳ trong một giây (200 – 300 Hz) nên khóa S thường là khóa bán dẫn. Hình (4-28) mô tả một phương án đóng, ngắt khóa này. Tiristo T_c làm khóa S trong sơ đồ, tiristo T_f làm nhiệm vụ ngắt T_c , cuộn cảm L , van V_o dùng để nạp điện cho tụ C có cực tính như trên hình trong thời gian T_c thông.



Hình 4-28. Sơ đồ nguyên lý của khóa điều khiển S trong hệ điều chỉnh xung áp mạch đơn.

4-6.2 Đặc tính cơ

Để xây dựng đặc tính cơ cần tìm giá trị trung bình của điện áp và dòng điện của động cơ

$$\begin{aligned}
 U_D &= \frac{1}{T} \int_0^T u_D dt = \frac{1}{T} \left[\int_0^{t_d} U_N dt + \int_{t_x}^T E dt \right] = \\
 &= \frac{1}{T} [U_N \cdot t_d + (t - t_x)E] .
 \end{aligned}
 \tag{4-47}$$

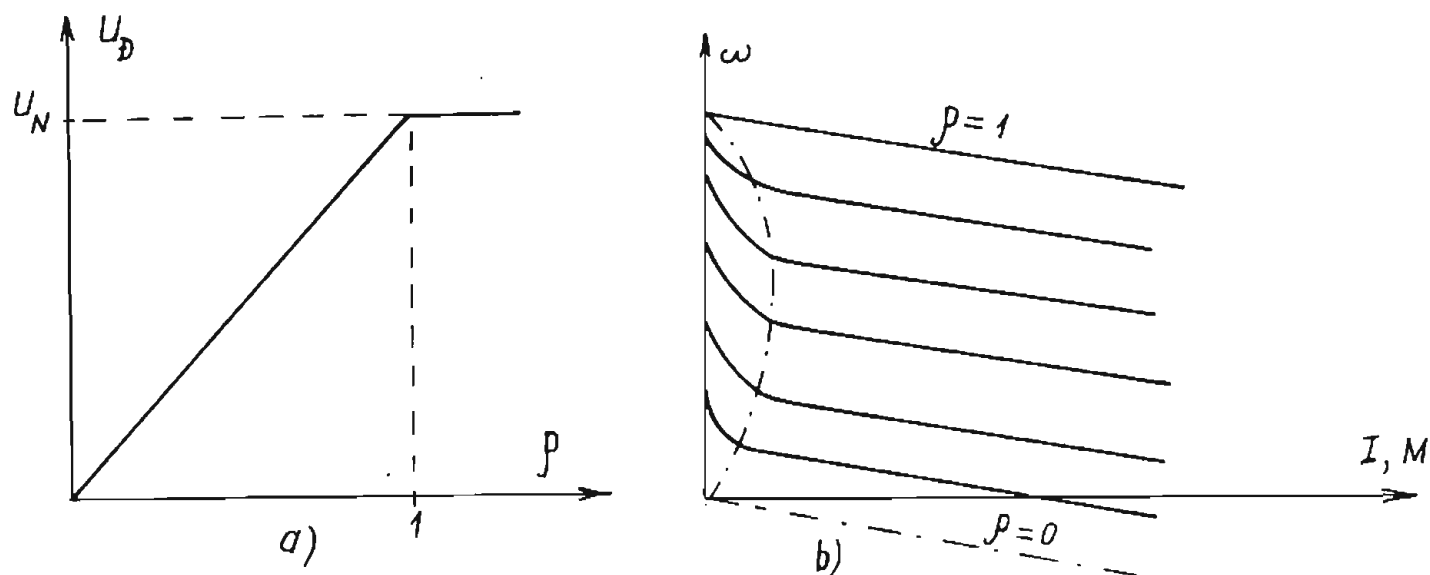
Trong chế độ dòng điện liên tục vì $t_x = T$ nên:

$$U_D = \frac{t_d}{T} U_N = \rho \cdot U_N
 \tag{4-48}$$

$$\omega = \frac{\rho \cdot U_N}{K\Phi} - \frac{R_u}{K\Phi} I
 \tag{4-49}$$

Giống như trong hệ CL-D, trong hệ thống DX-D khi $t_x < T$ thì xảy ra chế độ dòng điện gián đoạn, trong chế độ này do mômen điện từ gián đoạn mà đặc tính cơ trở nên rất mềm. Để xác định biên giới

giữa vùng dòng điện gián đoạn và vùng dòng điện liên tục ta giả thiết rằng đồ thị dòng điện phần ứng ở chế độ này gồm hai đoạn thẳng, do đó dòng điện trung bình là:



Hình 4-29. Đặc tính điều chỉnh và đặc tính cơ.

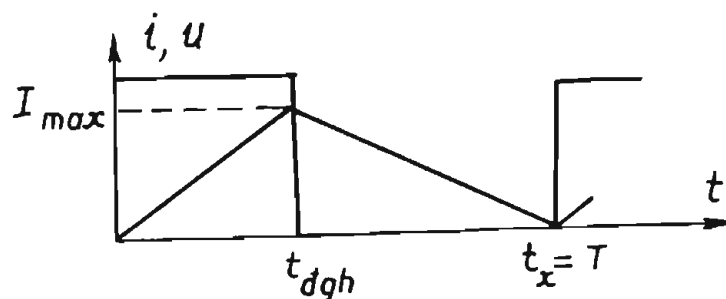
$$\begin{aligned}
 I_{\text{blt}} &= \frac{1}{2} I_{\text{max}} \\
 &= \frac{1}{2R} (U_N - E) (1 - e^{-t_{\text{dgh}}/T_u}) \\
 &= \frac{1}{2R} \frac{\rho}{\rho + \frac{1}{\sigma}} (U_N - K\phi \cdot \omega_{\text{blt}}). \quad (4-50)
 \end{aligned}$$

Vì chế độ biên liên tục thuộc vùng dòng điện liên tục, tức là phương trình đặc tính (4-48) vẫn thỏa mãn, thay (4-48) vào (4-49) được

$$I_{\text{blt}} = \frac{U_N}{2} \frac{\rho(1 - \rho)}{\rho + \frac{1}{\sigma}}. \quad (4-51)$$

Sử dụng (4-48) và (4-50) xác định được biên giới liên tục, chính

là đường có dạng nửa elip vẽ bằng nét đứt trên hình 4-29b, giá trị cực tiểu của $I_{blt} = 0$ tại $\omega = 0$ và tại $\omega = \omega_{max}$ ($\rho = 1$). Các giá trị khác của I_{blt} phụ thuộc vào ρ , σ và U_N và đạt giá trị cực đại



Hình 4-30. Đồ thị dòng áp ở biên gián đoạn.

$$I_{blt.th} = \frac{U_N}{2\sigma} (\sigma - 2\sqrt{\sigma + 1} + 2)$$

tại giá trị tới hạn của ρ :

$$\rho_{th} = \frac{1}{\sigma} (\sqrt{1 + \sigma} - 1).$$

4-6.3. Điều chỉnh xung áp đảo chiều

Để hệ truyền động có thể làm việc ở chế độ hãm tái sinh, có thể dùng sơ đồ điều chỉnh xung áp loại B (H.4-31), trong đó dòng điện phần ứng có thể đảo dấu, song sdd động cơ chỉ có chiều dương. Khi khóa S_1 và van D_1 vận hành, dòng điện phần ứng luôn luôn dương, công suất điện từ của động cơ là $P_{dt} = I.E < 0$, máy điện làm việc ở chế độ động cơ, quá trình dòng điện và điện áp được mô tả như ở các mục 4-6.1, 4-6.2. Để đảo chiều dòng điện ta đưa khóa S_2 và van D_2 vào vận hành còn khóa S_1 thì bị ngắt. Nếu $E > 0$ thì sẽ có dòng điện chảy ngược lại chiều ban đầu do trong mạch chỉ có nguồn duy nhất là sdd E , công suất điện từ của động cơ $P_{dt} = IE > 0$, công suất này được tích vào điện cảm L . Khi S_2 ngắt, trên điện cảm L sinh ra sdd tự cảm $\Delta U_L > 0$, cùng chiều với sdd quay E , tổng hai sdd này trở nên lớn hơn điện áp nguồn U_N làm van D_2 dẫn dòng ngược về nguồn và trả lại nguồn phần năng lượng đã tích lũy trong điện cảm L trước đó.

Nếu các tín hiệu điều khiển các khóa như trên H. 4-31b, sao cho

giá trị trung bình của dòng điện phần ứng là dương thì máy điện làm việc ở chế độ động cơ trong góc I của mặt phẳng tọa độ $[\omega, I]$.

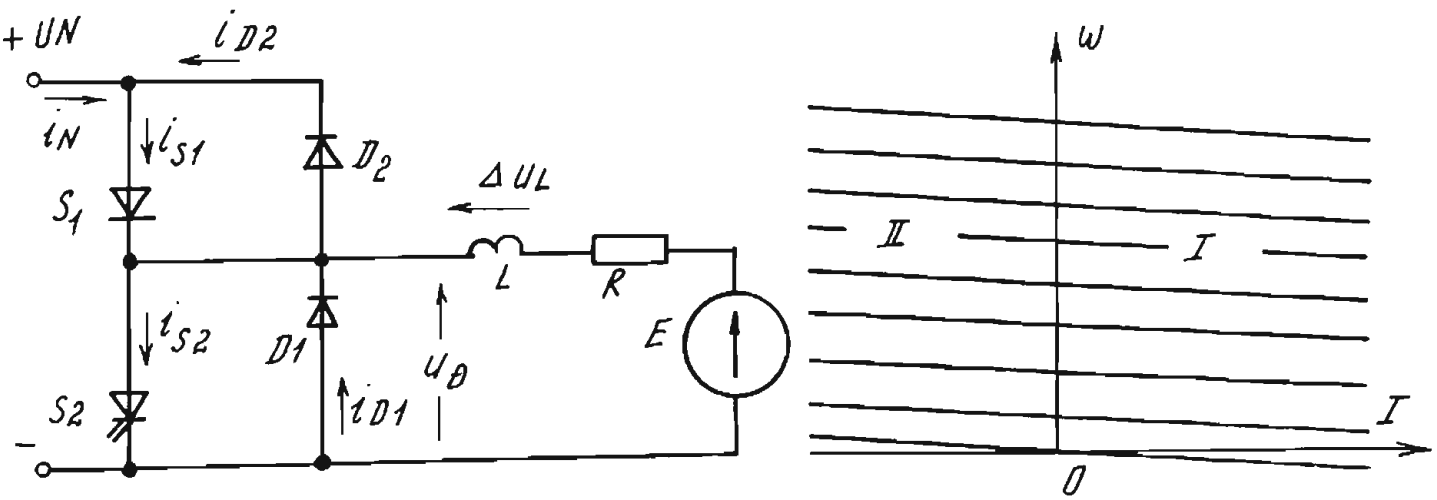
Một đặc điểm của bộ băm xung loại B là do dòng điện phần ứng có phần âm nên giá trị trung bình của nó có thể nhỏ bất kỳ, thậm chí bằng không và truyền động không có chế độ dòng điện gián đoạn. Dòng điện phần ứng của $DX-D$ loại B bao gồm bốn đoạn ứng với góc dẫn của bốn phần tử bán dẫn S_1, D_1, S_2, D_2 .

Từ các phương trình (4-33) và (4-36) với các điều kiện đầu tương ứng có thể tìm lại được các giá trị $I_{\max}, I_{\min}$ giống như các biểu thức (4-38) và (4-39). Nếu $I_{\max} > 0$ và $I_{\min} < 0$ như trên H. 4-31,b thì truyền động sẽ làm việc ở góc phần tư thứ I nếu dòng trung bình $I > 0$ và ở góc thứ II nếu dòng trung bình $I < 0$.

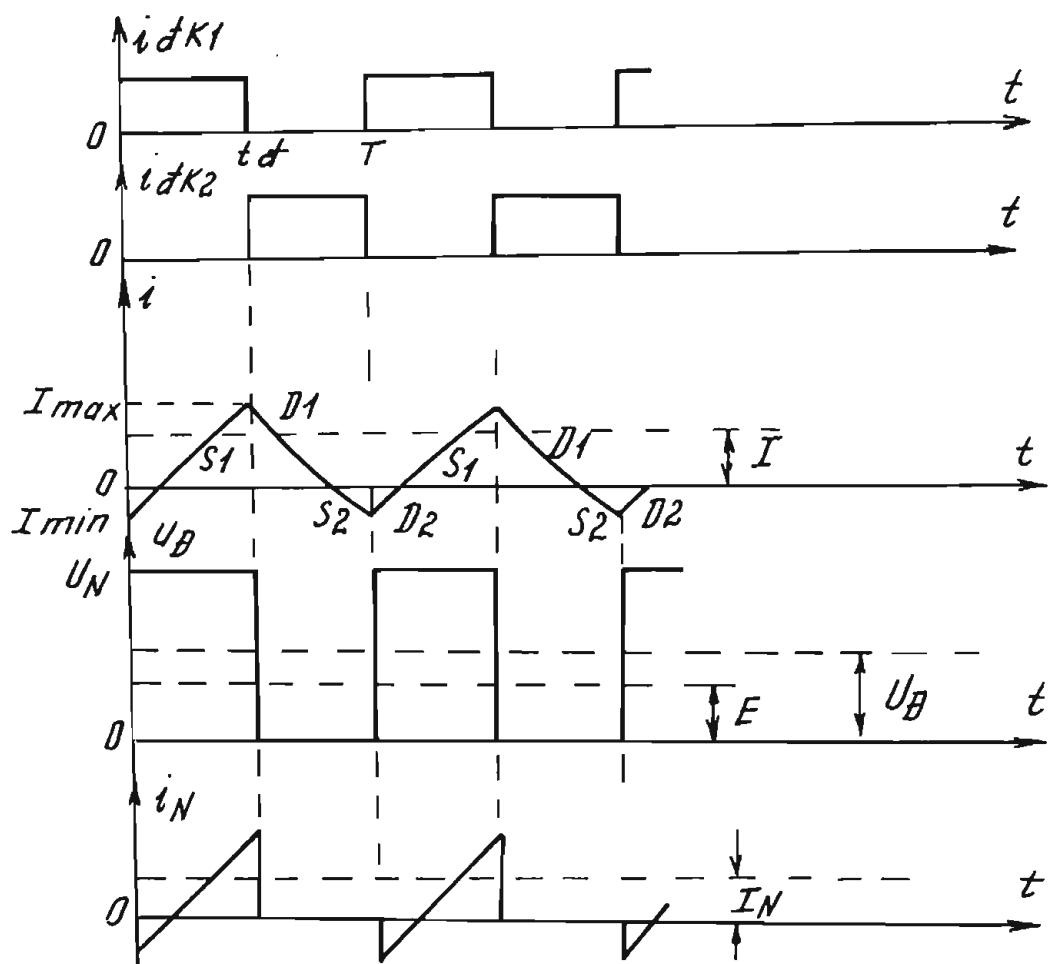
Khi điều chỉnh ρ sao cho $I_{\max} < 0$ và do đó dòng trung bình của phần ứng $I < 0$ thì hệ thống sẽ làm việc ở góc thứ II, khóa S_1 và van D_1 không dẫn dòng. Quá trình dòng và áp được mô tả trên H. 4-31, c.

Đặc tính cơ của động cơ trong hệ thống $DX-D$ loại B là các đường thẳng liên tục, chạy song song nhau từ góc thứ I sang góc thứ II của mặt phẳng $[\omega, M]$.

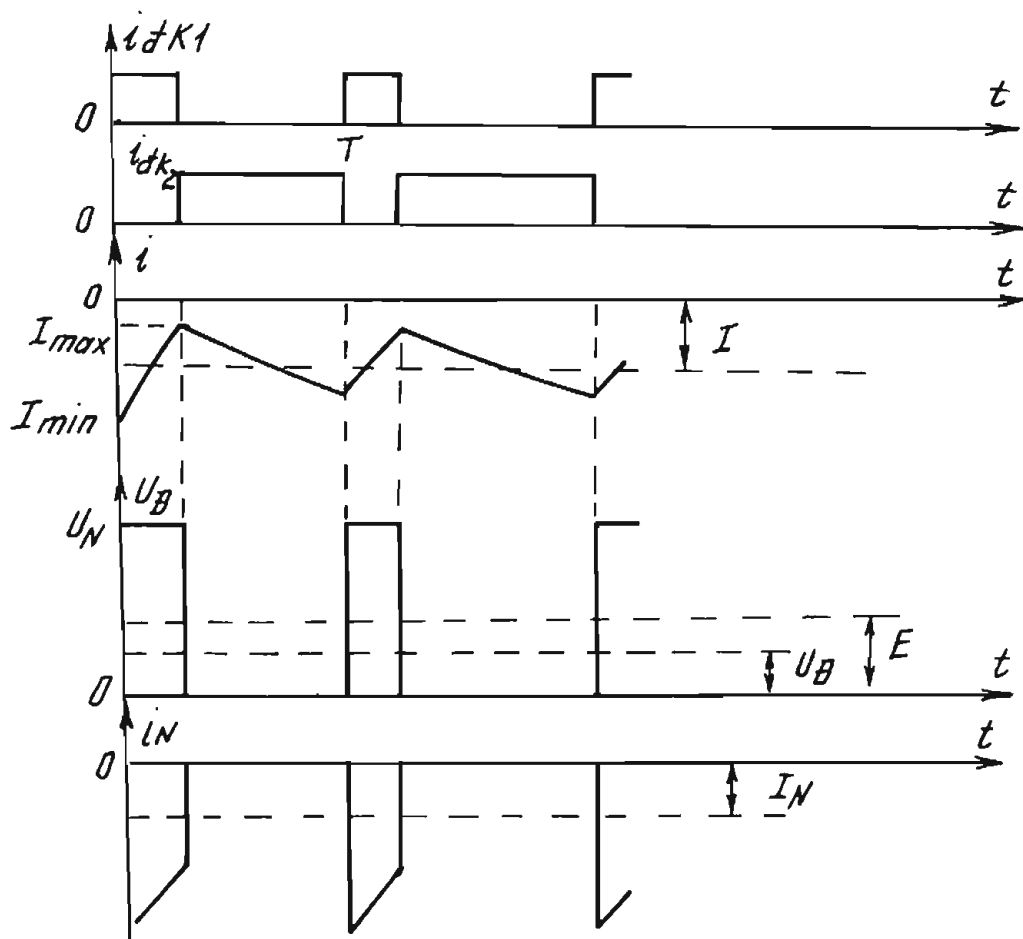
Truyền động đảo chiều được thực hiện bởi bộ điều chỉnh xung loại B kép, sơ đồ nguyên lý và đặc tính cơ như H. 4-32.



Hình 4-31. Bộ điều chỉnh xung áp loại B. a)

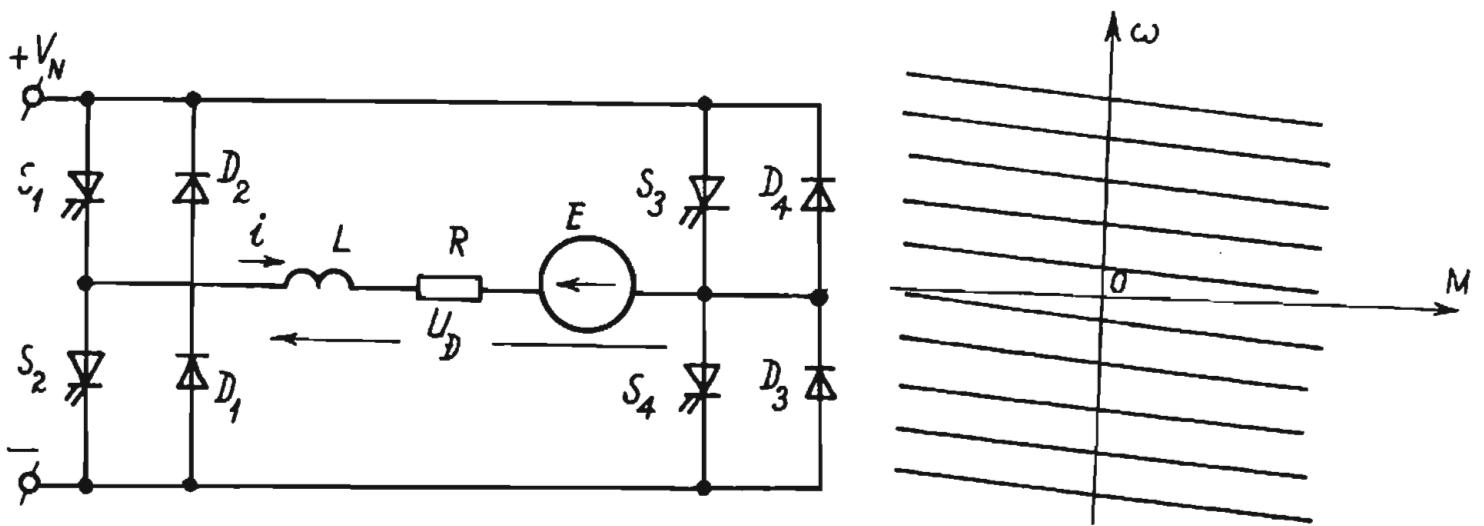


b)



c)

Hình 4-31. Bộ điều chỉnh xung áp loại B. b), c)



Hình 4-32. Sơ đồ nguyên lý truyền động đảo chiều điều chỉnh xung áp loại B kép.

4-7. ỔN ĐỊNH TỐC ĐỘ LÀM VIỆC CỦA TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN MỘT CHIỀU

Ổn định hóa tốc độ trong truyền động điện có ý nghĩa rất lớn trong việc cải thiện các chỉ tiêu chất lượng của truyền động điện. Biện pháp chủ yếu để ổn định tốc độ làm việc là tăng độ cứng của đặc tính cơ bằng điều khiển theo mạch kín.

Các đặc tính cơ của hệ hở có giá trị: $\beta = (K\phi)^2/R$ không đổi trong toàn dải điều chỉnh. Ở tốc độ thấp nhất ứng với đặc tính thấp nhất có sđđ E_{bo} , nếu cho một mômen tải $M_c = M_{dm}$ thì tốc độ làm việc sẽ là $\omega = \omega'_{min}$ và sai số tĩnh thường lớn hơn giá trị cho phép:

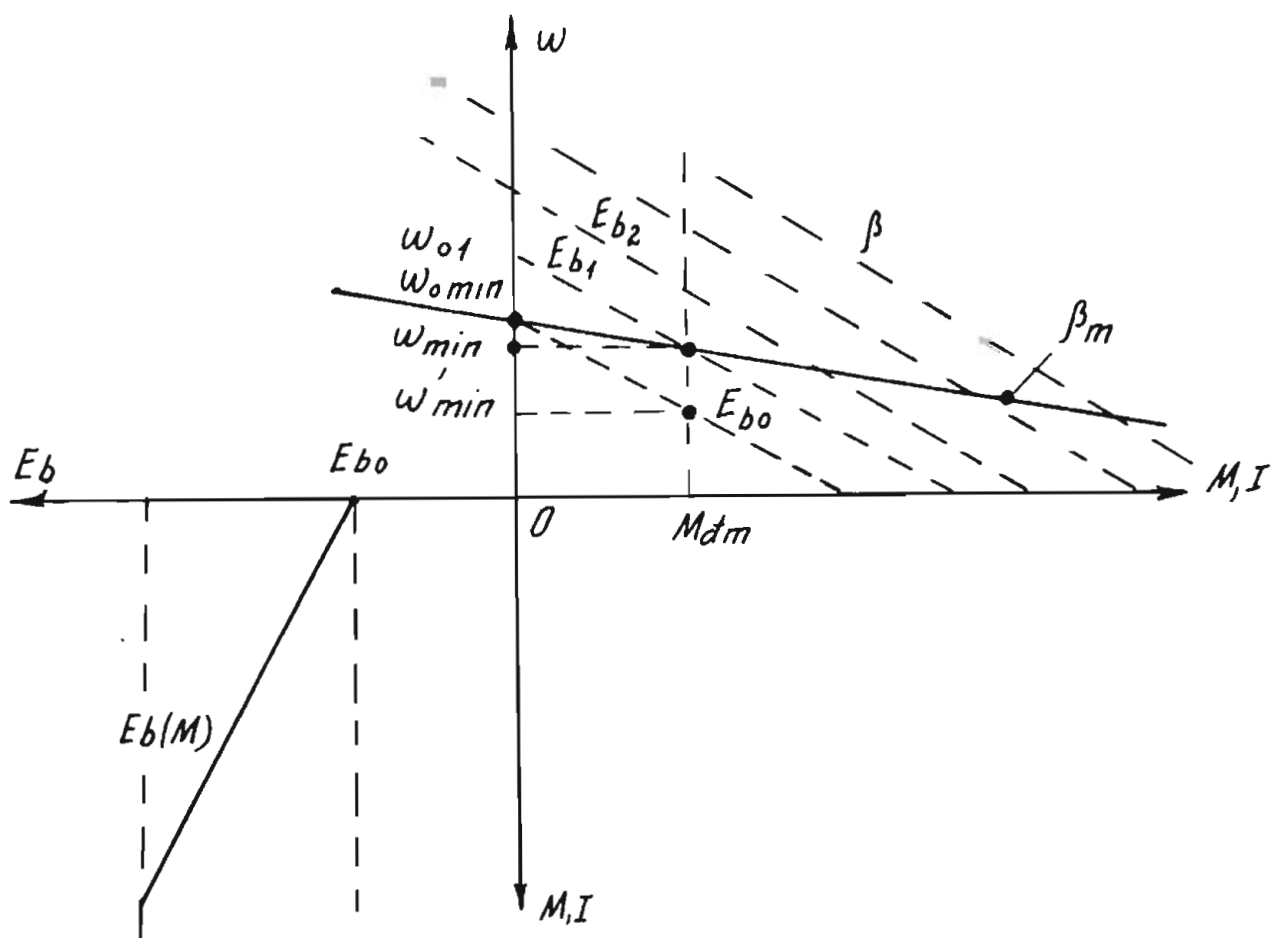
$$S = \frac{M_{dm}}{\beta \cdot \omega_{omin}} > S_{cp}.$$

Để cho sai số tĩnh có thể đạt được $S = S_{cp}$ cần tìm biện pháp tăng tốc độ đến $\omega = \omega_{min}$. Điểm làm việc (ω_{min}, M_{dm}) đã nằm trên đặc tính khác của hệ có $\omega_o = \omega_{01}$ và $E_{b1} = K\phi_{dm} \cdot \omega_{01} > E_{bo}$. Nối điểm $(\omega_{omin}, 0)$ với điểm (ω_{min}, M_{dm}) và kéo dài ra ta được đặc tính

mong muốn có độ cứng β_m và

$$\omega = \omega_{\text{omin}} - \frac{M}{\beta_m} \tag{4-52}$$

Giá trị của β_m được xác định bởi biểu thức (4-4), các giao điểm của đặc tính cơ mong muốn với những đặc tính cơ của 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 H. 4-33.



Hình 4-33. Đặc tính cơ của hệ thống BD-D.

4-7.1. Điều chỉnh E_b theo dòng điện tải

Ý định điều chỉnh sdd E_b theo dòng phụ tải là hệ quả trực tiếp của nhận xét trên, vấn đề còn lại là tìm quan hệ giải tích $E_b = f(I)$. Đặc tính cơ của hệ hở có dạng (4-1), tại giao điểm của đặc tính này với đặc tính cơ mong muốn (4-52) thì tốc độ và mômen có giá trị

như nhau nên có thể viết:

$$\frac{E_b}{K\Phi_{dm}} - \frac{M}{\beta} = \omega_o - \frac{M}{\beta_m}$$

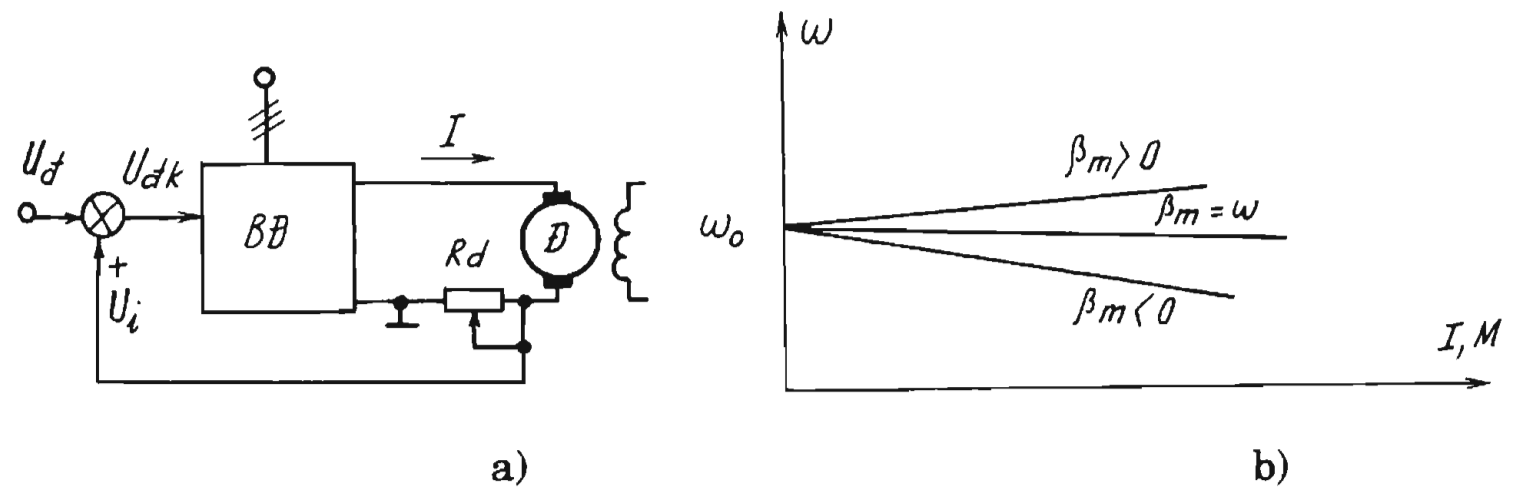
$$E_b = K\phi_{dm}[\omega_o + (\frac{1}{\beta} - \frac{1}{\beta_m})]M, \quad (4-53)$$

$$E_b = E_{bo} + K'_d I,$$

trong đó

$$E_{bo} = K\phi_{dm}.\omega_o$$

$$K'_d = (K\phi_{dm})^2(\frac{1}{\beta} - \frac{1}{\beta_m}). \quad (4-54)$$



Hình 4-34. Phản hồi dương dòng điện.

Nguyên lý điều chỉnh (4-53) có thể được thực hiện bằng mạch phản hồi dương dòng điện phản ứng như trên H. 4-34,a:

$$E_b = K_b(U_d + R_d I), \quad (4-55)$$

$$\omega = \frac{K_b u_d}{K\Phi_{dm}} - \frac{R + (1 - K_b)R_d}{K\Phi_{dm}} I,$$

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 (4-49) và (4-44):

$$E_{bo} - K_b \cdot u_d, \quad K'_d = K_b \cdot R_d.$$

Nếu chọn $K_b \cdot R_d = R + R_d$ thì $\beta_m = \infty$, được đặc tính cơ cứng tuyệt đối, nếu $K_b R_d > R + R_d$ thì đặc tính cơ mong muốn sẽ có độ cứng dương. Trong trường hợp cụ thể, cho trước β , β_m cần phải tính toán giá trị R_d và hệ số khuếch đại tổng K_b . Do đưa thêm điện trở sun vào mạch phản ứng nên có tổn thất phụ và có liên hệ về điện giữa mạch lực (điện áp thường là cao) với mạch điều khiển (điện áp thấp). Để tránh tổn thất phụ và cách ly về điện giữa các mạch có thể lấy tín hiệu phản hồi dòng u_1 qua các biến dòng mắc trong mạch xoay chiều của bộ biến đổi hoặc dùng các xen-xơ dòng.

4-7.2 Điều chỉnh E_b theo điện áp phản ứng

Có thể bù được lượng sụt tốc do sụt áp trên điện trở trong của bộ biến đổi bằng mạch phản hồi âm điện áp phản ứng động cơ. Dựa vào phương trình đặc tính tải của bộ biến đổi (H. 4-1):

$$E_b = U + R_b I, \text{ vì } R_b = R - R_u \text{ nên:}$$

$$I = \frac{1}{(K\phi_{dm})^2 \left(\frac{1}{\beta} - \frac{1}{\beta_{tn}} \right)} (E_b - U), \quad (4-56)$$

trong đó: $\beta_{tn} = (K\phi_{dm})^2 / R_u$ là độ cứng của đặc tính có tự nhiên.

Thay (4-50) vào (4-47) và đặt:

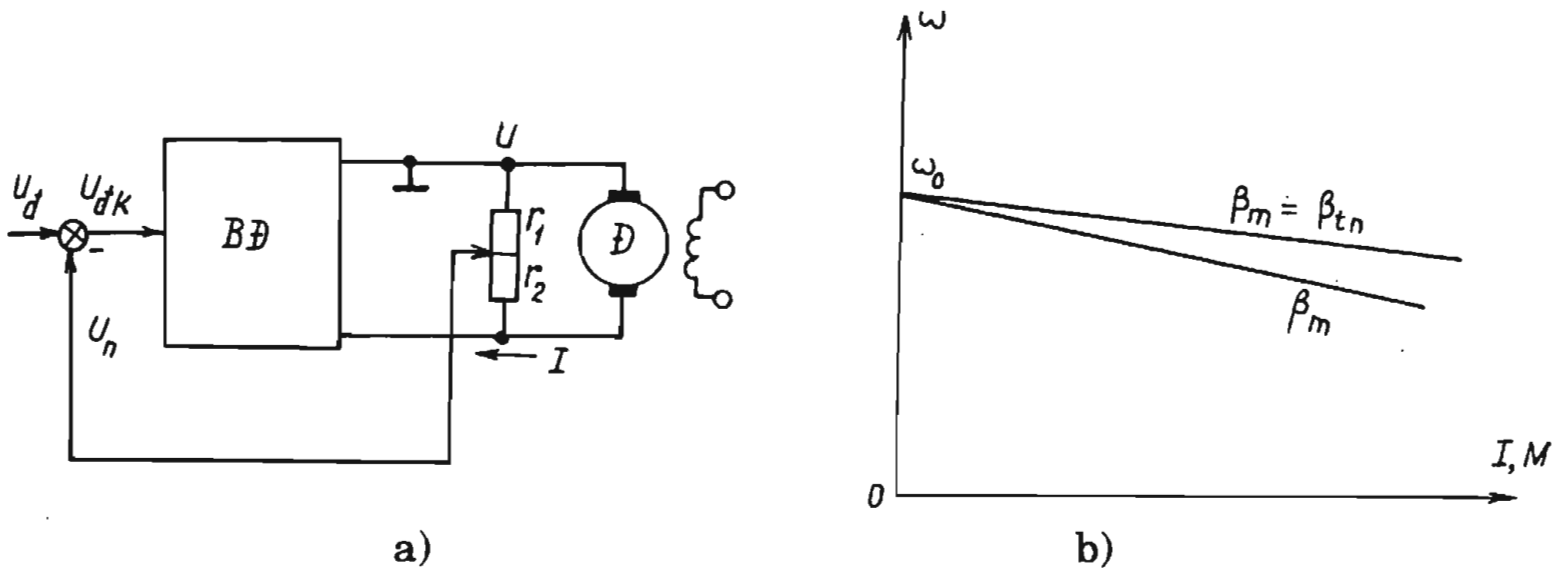
$$b = \left(\frac{1}{\beta} - \frac{1}{\beta_m} \right) \left(\frac{1}{\beta} - \frac{1}{\beta_{tn}} \right)$$

$$E'_{bo} = E_{bo} \frac{1}{1-b} \quad K'_a = \frac{b}{1-b},$$

ta được biểu thức tính sdd E_b theo điện áp phản ứng:

$$E_b = E'_{bo} - K'_a U. \quad (4-57)$$

Luật điều chỉnh này được thực hiện bằng sơ đồ phản hồi âm điện áp phần ứng như trên H. 4-35a:



Hình 4-35. Phản hồi âm điện áp động cơ.

Nếu bỏ qua dòng điện trong các điện trở r_1 , r_2 và đặt $K_a = r_2/r_2 + r_1$ thì có quan hệ sau đây:

$$E_b = K_b(U_d - K_a U),$$

$$\omega = \frac{K_b \cdot U_d}{(1 + K_b \cdot K_a) \cdot K\Phi_{dm}} = \frac{R - \frac{K_b \cdot K_a}{1 + K_b K_a} \cdot R_b}{(K\Phi_{dm})^2} \cdot M. \quad (4-58)$$

Nếu mạch có $K_b \cdot K_a \gg 1$ thì (4-52) sẽ có dạng sau:

$$\omega = \frac{U_d}{K_a \cdot K\Phi_{dm}} - \frac{R_u}{(K\Phi_{dm})^2} M$$

$$\omega = \omega_0(U_d, K_a) - \frac{M}{\beta_{tn}} \quad (4-59)$$

Khi thay đổi hệ số phản hồi điện áp (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 thống có hệ số khuếch đại lớn thì độ cứng có thể đạt giá trị tối đa bằng độ cứng đặc tính cơ tự nhiên.

4-7.3 Điều chỉnh E_b theo tốc độ động cơ

Từ biểu thức (4-1) có thể rút ra được dòng điện phản ứng, thay dòng điện này vào (4-47) ta được:

$$E_b = \frac{1}{1 - K_d R} (E_{bo} - \frac{K_d \cdot K \Phi_{dm}}{R} \omega)$$

$$E_b = \frac{\beta_m}{\beta} E_{bo} - (\frac{\beta_m}{\beta} - 1) K \Phi_{dm} \cdot \omega$$

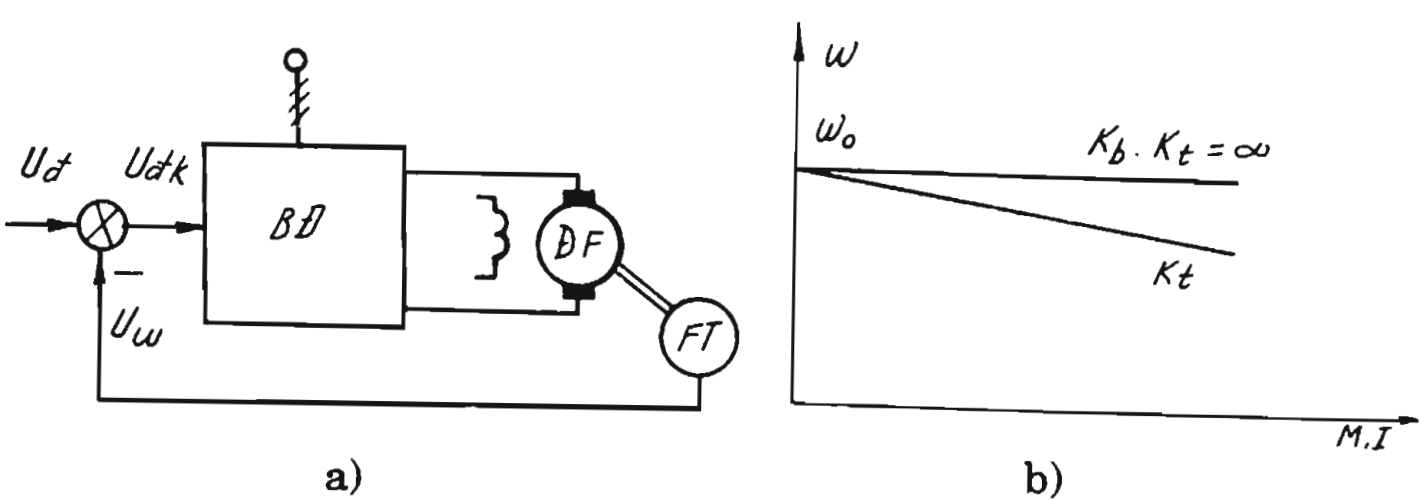
$$E_b = E_{bo} - K_t \cdot \omega, \tag{4-60}$$

trong đó $E_{bo} = \frac{\beta_m}{\beta} E_{bo}, \quad K'_t = (\frac{\beta_m}{\beta} - 1) K \Phi_{dm}.$

Luật điều chỉnh (4-60) được thực hiện bằng mạch phản hồi âm tốc độ (H. 4-36, a), 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 quay $U_\omega = K_t \cdot \omega$.

$$\omega = \frac{K_b \cdot U_d - R \cdot M / K \Phi_{dm}}{(1 + K_b \cdot K_t / K \Phi_{dm}) \cdot K \Phi_{dm}}$$

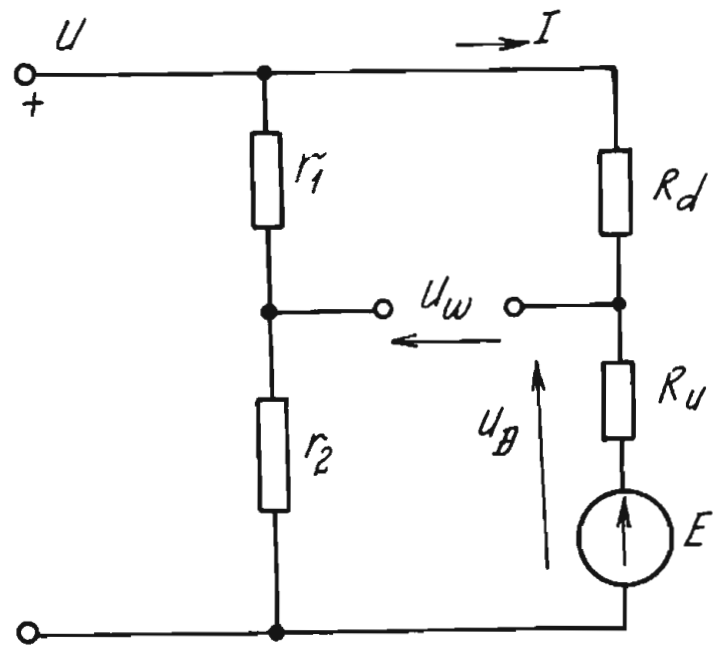
$$\beta_m = \frac{(K \Phi_{dm})^2 (1 + K_b \cdot K_t / K \Phi_{dm})}{R} \tag{4-61}$$



Hình 4-36. Phản hồi âm tốc độ động cơ.

Từ (4-61) có thể tính được hệ số khuếch đại yêu cầu của hệ thống sao cho đặc tính cơ thấp nhất trong dải điều chỉnh đạt độ cứng mong muốn. Khi $K_b \cdot K_t \rightarrow \infty$ thì đặc tính cơ là tuyệt đối cứng, tức là hệ không có sai số tĩnh, tuy nhiên khi này tính chất ổn định động của hệ bị xấu đi rõ rệt.

Trong trường hợp không dùng máy phát tốc thì có thể dùng mạch như trên H. 4-37 để lấy tín hiệu tốc độ của động cơ:



Hình 4-37. Mạch nguyên lý cầu đo tốc độ.

$$U_w = U_{r2} - U_D = \frac{r_2}{r_1 + r_2} U - (IR_u + E),$$

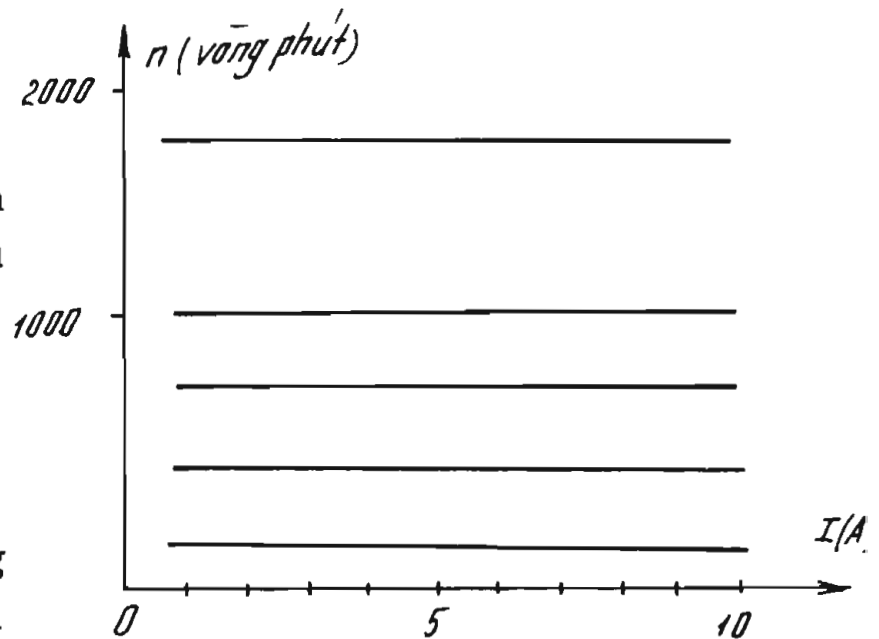
$$I = \frac{U - E}{R_d + R_u}.$$

Trong trường hợp cầu điện trở r_1, r_2, R_d, R_u là một cầu cân bằng, tức là

$$\frac{R_u}{R_{dt} R_u} = \frac{r_2}{r_1 + r_2},$$

thì tín hiệu điện áp u_w không phụ thuộc vào điện áp U và dòng điện I mà tỷ lệ với sốđ của động cơ

$$u_w = - \frac{R_d}{R_u + R_d} \cdot E = - K_t \cdot \omega.$$



Hình 4-38. Đặc tính cơ của động cơ một chiều $P = 4 \text{ kW}, U = 220 \text{ V}$ nối theo sơ đồ hình 4-35, a. Bộ biến đổi là bộ điều chỉnh xung áp một chiều.

Mạch lấy tín hiệu tốc độ kiểu này đơn giản và rẻ hơn dùng máy phát tốc, song có các nhược điểm là gây tổn thất phụ trong mạch phản ứng do có R_d , không cách ly được về điện giữa mạch lực và mạch điều khiển, nếu bộ biến đổi là chỉnh lưu bán dẫn thì tín hiệu điện áp phản hồi có dạng đập mạch lớn.

4-8. HẠN CHẾ DÒNG ĐIỆN TRONG TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN MỘT CHIỀU

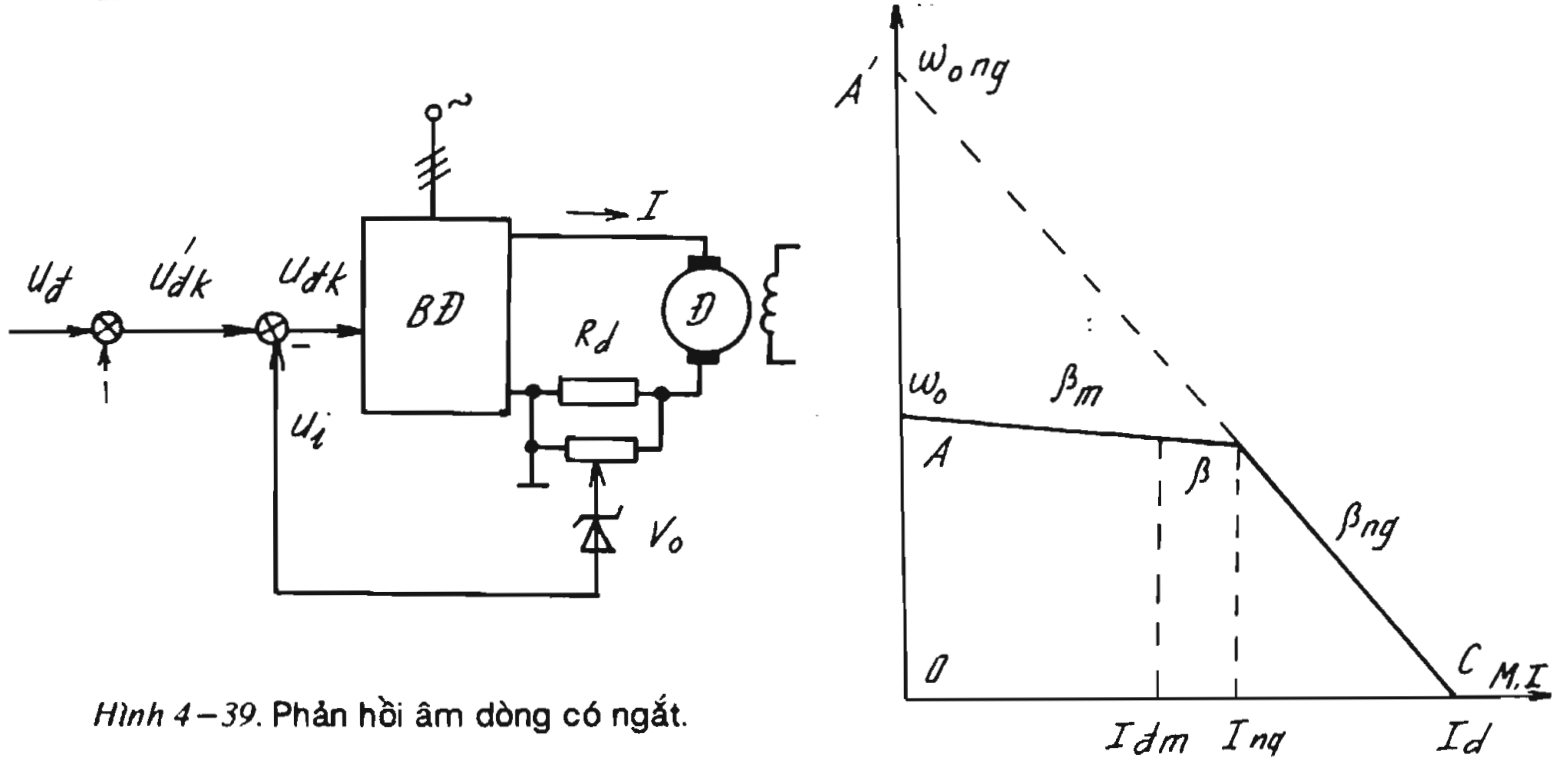
Vấn đề hạn chế dòng điện chỉ được đặt ra với các hệ truyền động kiểu vòng kín vì khi thiết kế, tính toán các hệ này có dùng các mạch phản hồi để giảm sai số tốc độ, tức là tăng độ cứng đặc tính cơ, đồng thời làm tăng giá trị dòng điện ngắn mạch và mômen ngắn mạch. Kết quả là gây nguy hiểm cho động cơ khi bị quá tải lớn và gây hỏng hóc các bộ phận truyền lực bởi gia tốc quá lớn khi khởi động và hãm. Để giải quyết mâu thuẫn giữa yêu cầu về ổn định tốc độ làm việc và yêu cầu về hạn chế dòng điện, thường dùng phương pháp phân vùng tác dụng. Trong vùng biến thiên cho phép của mômen và dòng điện phản ứng, đặc tính cơ cần có độ cứng cao để đảm bảo sai số tốc độ là nhỏ. Khi dòng điện và mômen vượt quá phạm vi này thì phải giảm mạnh độ cứng đặc tính cơ để hạn chế dòng điện. Mặt khác, trong quá trình khởi động, hãm, điều chỉnh tốc độ động cơ thường có yêu cầu giữ gia tốc không đổi để hệ đạt được tối ưu về thời gian quá trình quá độ. Để đạt được điều này trong các hệ truyền động có mômen tải không đổi thì đặc tính cơ phải có đoạn độ cứng bằng không.

4-8.1. Hạn chế dòng điện bằng các mạch ngắt dòng

Biện pháp phân vùng bằng các mạch ngắt dòng thường dùng cho các truyền động điện hay bị quá tải ngẫu nhiên trong thời gian ngắn. Khi bị quá tải hệ vẫn làm việc tiếp nhưng tốc độ phải giảm để tránh va đập trong các cơ cấu truyền lực, tốc độ giảm nhiều hay ít tùy thuộc vào mức độ quá tải lớn hay nhỏ. Để có thể phát hiện ra điểm chuyển vùng và để giảm độ cứng đặc tính đến mức cần thiết,

thường dùng mạch phản hồi âm dòng điện có ngắt, sơ đồ trên H. 4-39 là một ví dụ.

Trong vùng dòng tải cho phép $I < I_{ng}$ thì điện áp trên điện trở $R_d I$ còn nhỏ hơn ngưỡng thông của van ổn áp V_o , tín hiệu phản hồi $-u_i = 0$, hệ làm việc với các phản hồi tăng độ cứng, tức là $u_{dk} = u_{dk}$, ứng với đoạn đặc tính cơ AB có độ cứng cao.



Hình 4-39. Phản hồi âm dòng có ngắt.

Khi dòng điện phản ứng tăng lên quá dòng điện ngắt $I > I_{ng}$, điện áp trên $R_d I$ làm thông van ổn áp V_o , xuất hiện tín hiệu phản hồi dòng điện so sánh với tín hiệu điều khiển:

$$u_i = aR_d(I - I_{ng})$$

$$u_{dk} = u'_{dk} - a.R_d(I - I_{ng}).$$

$$E_b = K_b[u'_{dk} - aR_d(I - I_{ng})], \quad I > I_{ng}.$$

$$K\Phi_{dm}\omega = K_b(u'_{dk} + a.R_d I_{ng}) - [R + (1 + aK_b)R_d]I.$$

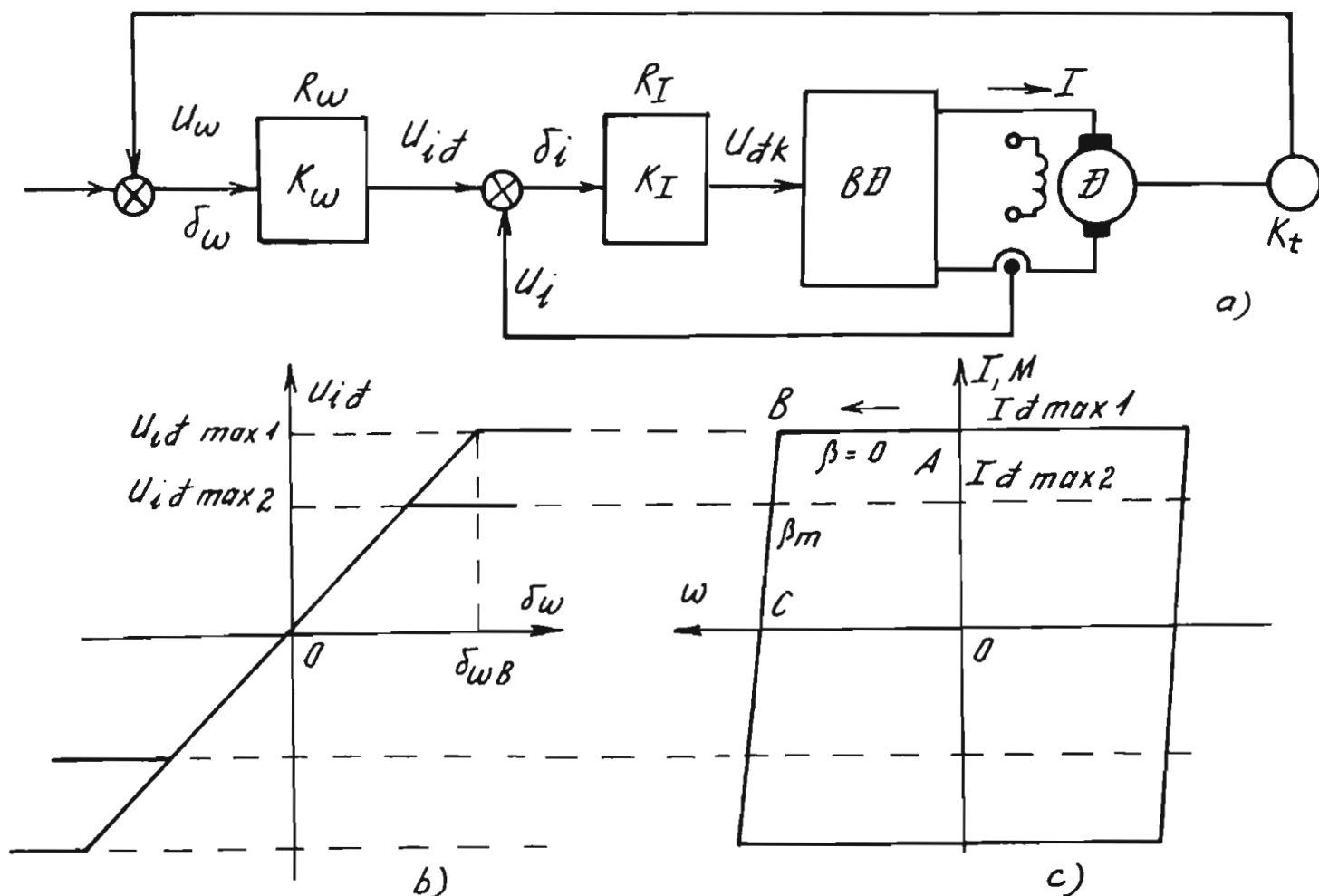
$$\omega = \omega_{ong}(a, I_{ng}, u'_{dk}) - \frac{M}{\beta_{ng}}, \quad (4-60)$$

$$\text{trong đó } \omega_{ong} = \frac{K_b(u'_{dk} + aR_d I_{ng})}{K\phi_{dm}}; \beta_{ng} = \frac{(K\Phi_{dm})^2}{R + (1 + aK_b)R_d}.$$

Đặc tính (4-55) là đường nét đứt $A'-B-C$ có tốc độ không tải ω_{ong} rất cao, độ cứng rất nhỏ và mô men ngắn mạch là M_d , thực tế miền xác định (miền làm việc) của đặc tính này chỉ là đoạn BC , còn đoạn $A'B$ không tồn tại do lúc đó $I < I_{\text{ng}}$. Do các thành phần phản hồi để tăng độ cứng vẫn tồn tại ngay cả khi $I > I_{\text{ng}}$ nên đoạn BC không thể đạt được độ cứng tùy ý, nhất là không thể đạt được giá trị $\beta_{\text{ng}} = 0$. Biểu thức tính độ cứng β_{ng} như trên chỉ là gần đúng, muốn có biểu thức chính xác thì cần phải biết rõ ngoài u_d , trong u'_{dk} còn có các phản hồi gì, hệ số phản hồi là bao nhiêu.

4-8.2 Tự động điều chỉnh dòng điện

Trong các hệ truyền động điện hiện đại, các mạch vòng điều chỉnh được nối theo cấp, độc lập tương đối với nhau, việc phân vùng tác dụng giữa ổn định tốc độ và hạn chế dòng điện được thực hiện bằng dạng phi tuyến của đặc tính điều chỉnh.



Hình 4-40. Điều chỉnh dòng điện trong các hệ nhiều vòng: a) Sơ đồ khối; b) Đặc tính điều chỉnh của bộ điều chỉnh tốc độ; c) Đặc tính cơ.

Sơ đồ đơn giản nhất gồm hai vòng điều chỉnh: vòng điều chỉnh dòng điện ở trong có bộ điều chỉnh dòng điện R_I , vòng điều chỉnh tốc độ có bộ điều chỉnh tốc độ R_ω , bộ điều chỉnh này có đặc tính khuếch đại có vùng bão hòa (H. 4-30, b). Điện áp đầu ra của R_ω là điện áp đặt dòng điện phần ứng u_{id} , giá trị bão hòa u_{idmax} chính là giá trị đạt cực đại của dòng điện phần ứng. Bộ điều chỉnh dòng điện R_I trong mạch vòng có nhiệm vụ duy trì dòng điện phần ứng luôn bằng giá trị đặt (u_{id}), bất kể hệ thống đang làm việc ổn định hay đang trong quá trình quá độ, R_I thường có cấu trúc là một khâu tỷ lệ – tích phân PI . Như vậy mạch vòng dòng điện đã biến bộ biến đổi BD thành một nguồn dòng điện được điều khiển bởi tín hiệu u_{id} . Vì dòng điện là đại lượng biến thiên nhanh nên sai lệch δ_i luôn nhỏ, bộ điều chỉnh R_I luôn làm việc ở vùng tuyến tính của đặc tính điều chỉnh.

Khi bắt đầu quá trình thay đổi tốc độ, giả sử xét khi khởi động động cơ. Do có sự thay đổi đột ngột của $u_{\omega d}$ trong khi u_ω chưa thay đổi kịp do quán tính cơ học của hệ, nên sai lệch đầu vào $\delta_\omega = U_{\omega d} - U_\omega$ có giá trị lớn. Điểm làm việc của R_ω sẽ ở rất sâu trong vùng bão hòa của đặc tính điều chỉnh, tín hiệu ra của R_ω sẽ là $u_{id} = u_{idmax} = \text{const}$, mạch vòng tốc độ bị "ngắt" ra khỏi sơ đồ. Do hoạt động của mạch vòng dòng điện mà dòng điện phần ứng được duy trì ở giá trị $I = I_{dmax}$ tương ứng tín hiệu vào của mạch vòng là u_{idmax} , điểm bắt đầu khởi động là điểm A trên H. 4-30, c, động cơ bắt đầu được tăng tốc độ với gia tốc

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{K\Phi_{dm} \cdot I_{dmax} - M_c}{J}.$$

Mặc dù sau đó tốc độ động cơ tăng dần lên nhưng dòng điện phần ứng vẫn được duy trì ở giá trị $I = I_{dmax}$ chừng nào mà bộ điều chỉnh tốc độ R_ω chưa ra khỏi vùng bão hòa, tức là chưa được "nối" lại vào sơ đồ. Đoạn đặc tính cơ khi khởi động là đoạn BC , có độ cứng bằng không và dòng điện không đổi. Tại điểm B tốc độ động cơ $\omega = \omega_B$ sao cho $\delta_\omega = \delta_{\omega B}$, điểm làm việc của R_ω bắt đầu ra khỏi vùng bão hòa và lọt vào vùng tuyến tính của đặc tính, mạch vòng tốc độ bắt đầu phát huy tác dụng điều chỉnh cùng với mạch vòng

dòng điện tạo đoạn đặc tính BC có độ cứng β_m thỏa mãn đạt độ chính xác cao.

Quá trình quá độ khi hãm, điều chỉnh tốc độ và khi quá tải lớn cũng xảy ra tương tự như trên và được mô tả giống hệt như các đồ thị trên H. 4–5.

Chương 5

ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Động cơ không đồng bộ ba pha (KĐB) được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp từ công suất nhỏ đến công suất trung bình và chiếm tỷ lệ rất lớn so với động cơ khác. Sở dĩ như vậy là do động cơ KĐB có kết cấu đơn giản, dễ chế tạo, vận hành an toàn, sử dụng nguồn cấp trực tiếp từ lưới điện xoay chiều ba pha. Tuy nhiên, trước đây các hệ truyền động động cơ KĐB có điều chỉnh tốc độ lại chiếm tỷ lệ rất nhỏ, đó là do việc điều chỉnh tốc độ động cơ KĐB có khó khăn hơn động cơ một chiều. Trong thời gian gần đây, do phát triển công nghiệp chế tạo bán dẫn công suất và kỹ thuật điện tử tin học, động cơ KĐB mới được khai thác các ưu điểm của mình. Nó trở thành hệ truyền động cạnh tranh có hiệu quả với hệ truyền động tiristo – động cơ một chiều.

Khác với động cơ một chiều, động cơ KĐB được cấu tạo phần cảm và phần ứng không tách biệt. Từ thông động cơ cũng như mômen động cơ sinh ra phụ thuộc vào nhiều tham số. Do vậy hệ điều chỉnh tự động truyền động điện động cơ KĐB là hệ điều chỉnh nhiều tham số có tính phi tuyến mạnh. Trong định hướng xây dựng hệ truyền động điện động cơ KĐB, người ta có xu hướng tiếp cận với các đặc tính điều chỉnh của truyền động động cơ một chiều.

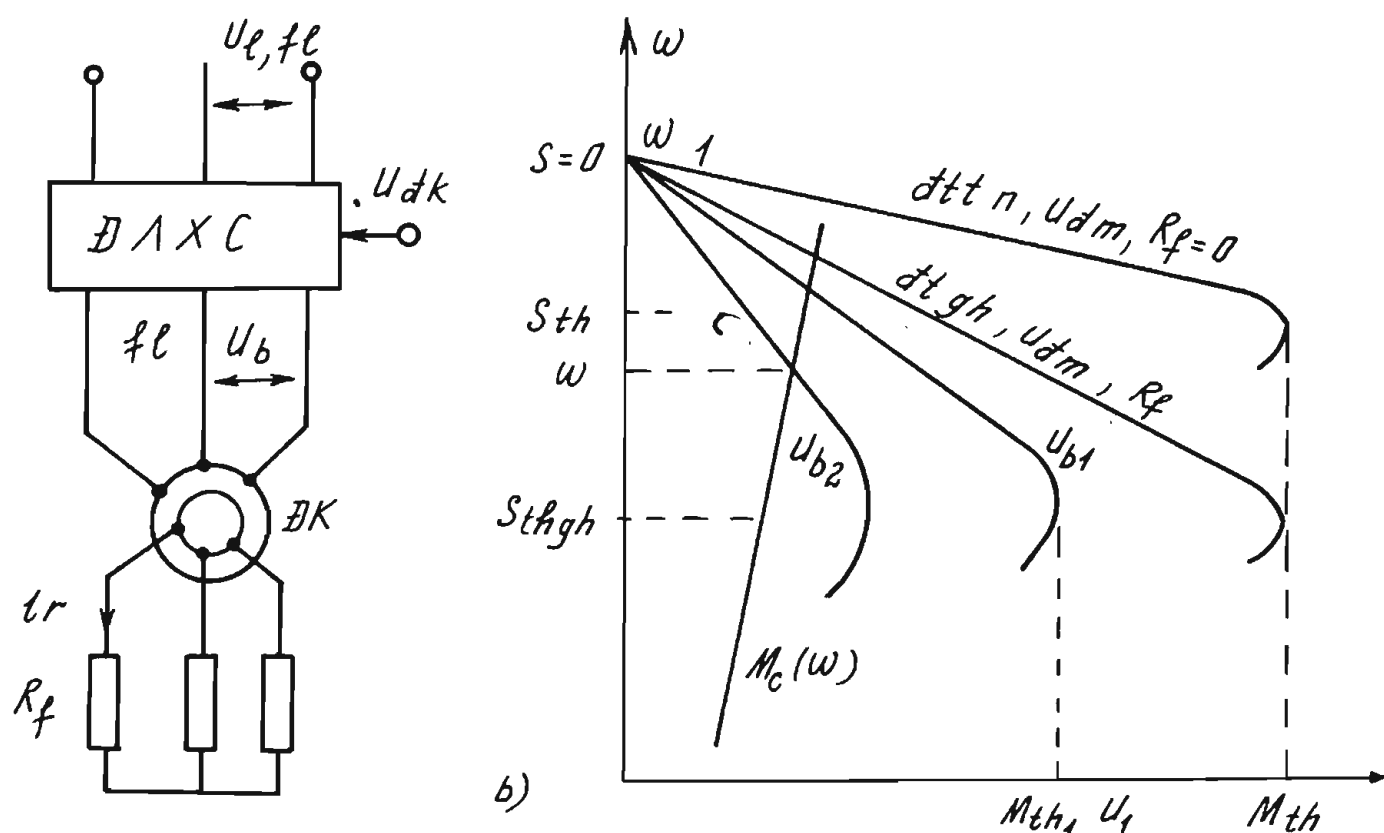
Trong công nghiệp thường sử dụng bốn hệ truyền động điều chỉnh tốc độ động cơ KĐB:

- a) Điều chỉnh điện áp cấp cho động cơ dùng bộ biến đổi tiristo;
- b) Điều chỉnh điện trở rôto bằng bộ biến đổi xung tiristo
- c) Điều chỉnh công suất trượt P_s ;
- d) Điều chỉnh tần số nguồn cung cấp cho động cơ bằng các bộ biến đổi tần số tiristo hay tranzito.

Trong chương này chúng ta sẽ nghiên cứu cấu trúc, các đặc tính của hệ truyền động này.

5-1. ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN ÁP ĐỘNG CƠ

Mômen động cơ không đồng bộ tỷ lệ với bình phương điện áp stato, do đó có thể điều chỉnh được mômen và tốc độ *ĐKB* bằng cách điều chỉnh giá trị điện áp stato trong khi giữ nguyên tần số.



Hình 5-1. Điều chỉnh điện áp động cơ không đồng bộ. a) Sơ đồ khối nguyên lý; b) Đặc tính cơ điều chỉnh.

Để điều chỉnh điện áp *ĐKB* phải dùng các bộ biến đổi điện áp xoay chiều (*ĐAXC*). Nếu coi *ĐAXC* là nguồn áp lý tưởng ($Z_b = 0$) thì căn cứ vào biểu thức mômen tới hạn, có quan hệ sau:

$$\frac{M_{th,u}}{M_{th}} = \left(\frac{U_b}{U_{dm}} \right)^2, \text{ hay } M_{th,u}^* = u_b^{*2} \quad (5-1)$$

Công thức (5-1) đúng với mọi giá trị của điện áp và mômen.

Nếu tốc độ quay của động cơ là không đổi:

$$M_u^* = u_b^{*2}, \quad \omega = \text{const}, \quad M_u^* = \frac{M_u}{M_{gh}} \quad (5-1)'$$

trong đó U_{dm} – điện áp định mức của động cơ,

u_b – điện áp đầu ra của DAXC,

M_{th} – mômen tới hạn khi điện áp là định mức,

M_u – mômen động cơ ứng với điện áp điều chỉnh,

M_{gh} – mômen khi điện áp là định mức, điện trở phụ R_f .

Vì giá trị độ trượt tới hạn s_{th} của đặc tính cơ tự nhiên là nhỏ, nên nói chung không áp dụng điều chỉnh điện áp cho động cơ rôto lồng sóc. Khi thực hiện điều chỉnh điện áp cho động cơ rôto dây quấn cần nối thêm điện trở phụ vào mạch rôto để mở rộng dải điều chỉnh tốc độ và mômen. Như thấy trên H. 5-1, b, tốc độ động cơ được điều chỉnh bằng cách giảm độ cứng đặc tính cơ, trong khi đó tốc độ không tải lý tưởng của mọi đặc tính đều như nhau và bằng tốc độ từ trường quay. Theo lập luận ở mục 3-6 thì tổn thất khi điều chỉnh là:

$$\Delta P_r = M_c(\omega_1 - \omega) = P_{cơ} \frac{s}{1 - s}$$

Nếu đặc tính cơ của phụ tải có dạng gần đúng:

$$M_c = M_{cdm} \left(\frac{\omega}{\omega_{dm}} \right)^x = M_{cdm} \left(\frac{\omega}{\omega_1} \right)^x,$$

thì tổn thất trong mạch rôto khi điều chỉnh điện áp là:

$$\Delta P_r = M_{cdm} \left(\frac{\omega}{\omega_1} \right)^x \cdot \omega_1 \left(1 - \frac{\omega}{\omega_1} \right).$$

Tổn thất là cực đại khi $\omega = 0$:

$$\Delta P_{rmax} = M_{cdm} \cdot \omega_1 = P_{dm}.$$

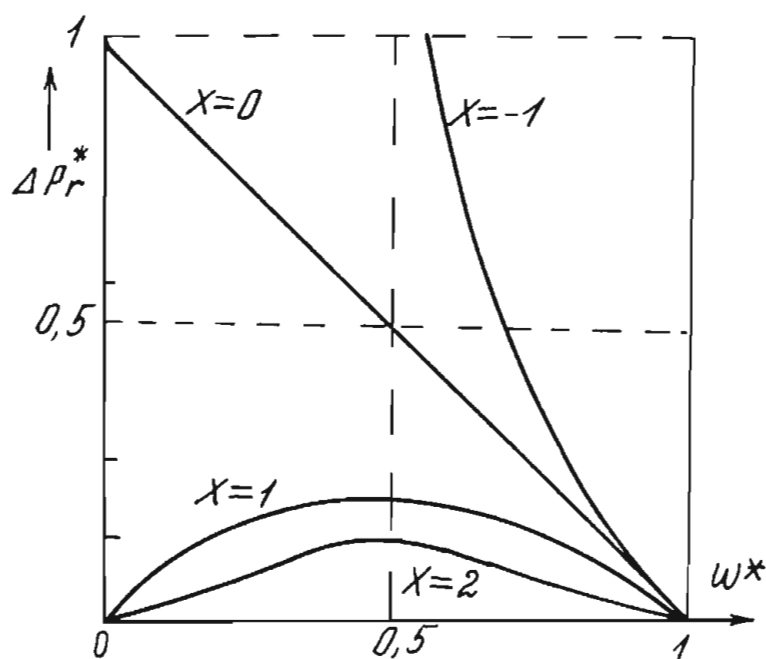
Như vậy tổn thất tương đối trong mạch rôto là:

$$\frac{\Delta P_r}{\omega_1} = \left(\frac{\omega}{\omega_1} \right)^x \cdot \left(1 - \frac{\omega}{\omega_1} \right)$$

$$\Delta P_r^* = (\omega^*)^x \cdot (1 - \omega^*). \quad (5-2)$$

Quan hệ này được mô tả bởi đồ thị trên H. 5-2, ứng với từng loại phụ tải cơ có tính chất khác nhau.

Phương pháp điều chỉnh điện áp chỉ thích hợp với truyền động mà mômen tải là hàm tăng theo tốc độ như: quạt gió, bơm ly tâm. Có thể dùng máy biến áp tự ngẫu, điện kháng, hoặc bộ biến đổi bán dẫn làm ĐAXC, trong đó vì lý do kỹ thuật và kinh tế mà bộ điều áp kiểu van bán dẫn là phổ biến hơn cả.



Hình 5-2. Sự phụ thuộc giữa tổn thất rôto và tốc độ điều chỉnh.

Mômen của động cơ ĐKB có thể được tính theo dòng điện rôto (xem phần đặc tính cơ động cơ không đồng bộ):

$$M = \frac{3I_r^2 R_r}{\omega_1 s} \quad (5-3)$$

Nếu giữ dòng điện rôto là không đổi: $I_r = \text{const}$ thì mômen và độ trượt có quan hệ sau:

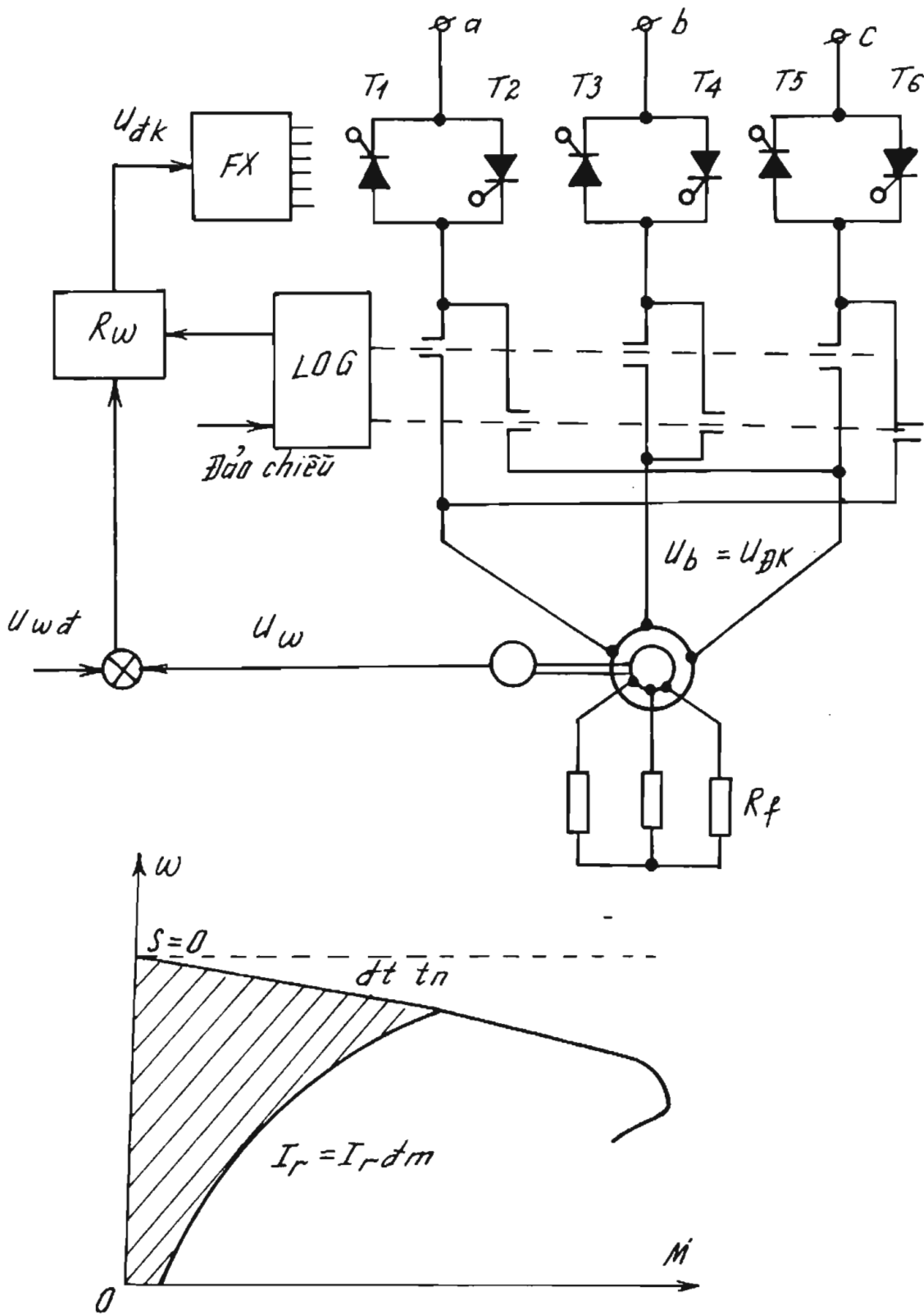
$$M.s = \text{const.}$$

Vùng điều chỉnh tốc độ và mômen khi điều chỉnh điện áp bị giới hạn bởi các trục tọa độ và đường cong:

$$M.s = \frac{3I_{rdm}^2 R_r}{\omega_1}$$

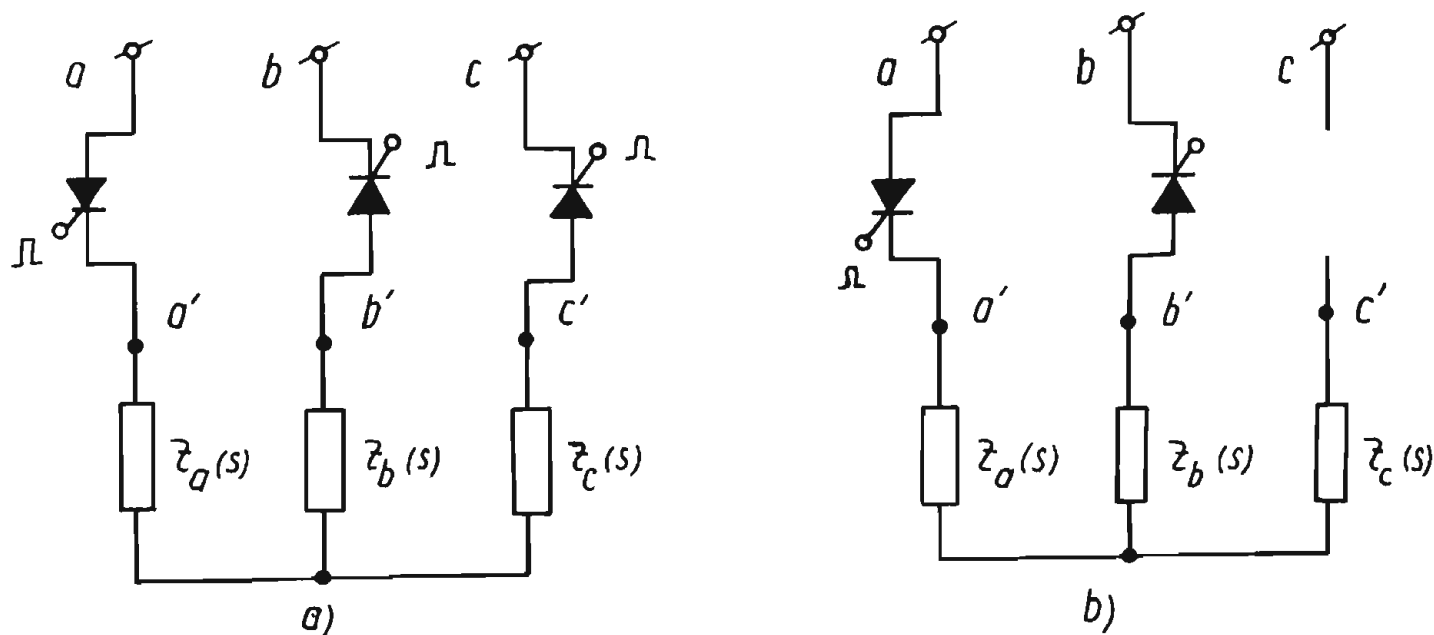
độ rộng của vùng này tùy thuộc vào giá trị điện trở phụ R_f .

Do cách nối các van bán dẫn nên để có dòng chạy qua động cơ thì tại một thời điểm phải có ít nhất hai van ở hai pha khác nhau cùng dẫn điện. Động cơ không đồng bộ có thể coi là phụ tải ba pha gồm



Hình 5-3. Điều chỉnh điện áp động cơ không đồng bộ. a) Sơ đồ cơ bản; b) Dạng đặc tính cơ.

điện trở và điện cảm nối tiếp nhau, trong đó điện trở rôto biến thiên theo tốc độ quay $R = R(s)$ và điện cảm phụ thuộc vào vị trí tương đối giữa dây quấn rôto và dây quấn stato, do đó góc pha giữa dòng điện và điện áp cũng biến thiên theo tốc độ quay $\varphi = \varphi(s)$.

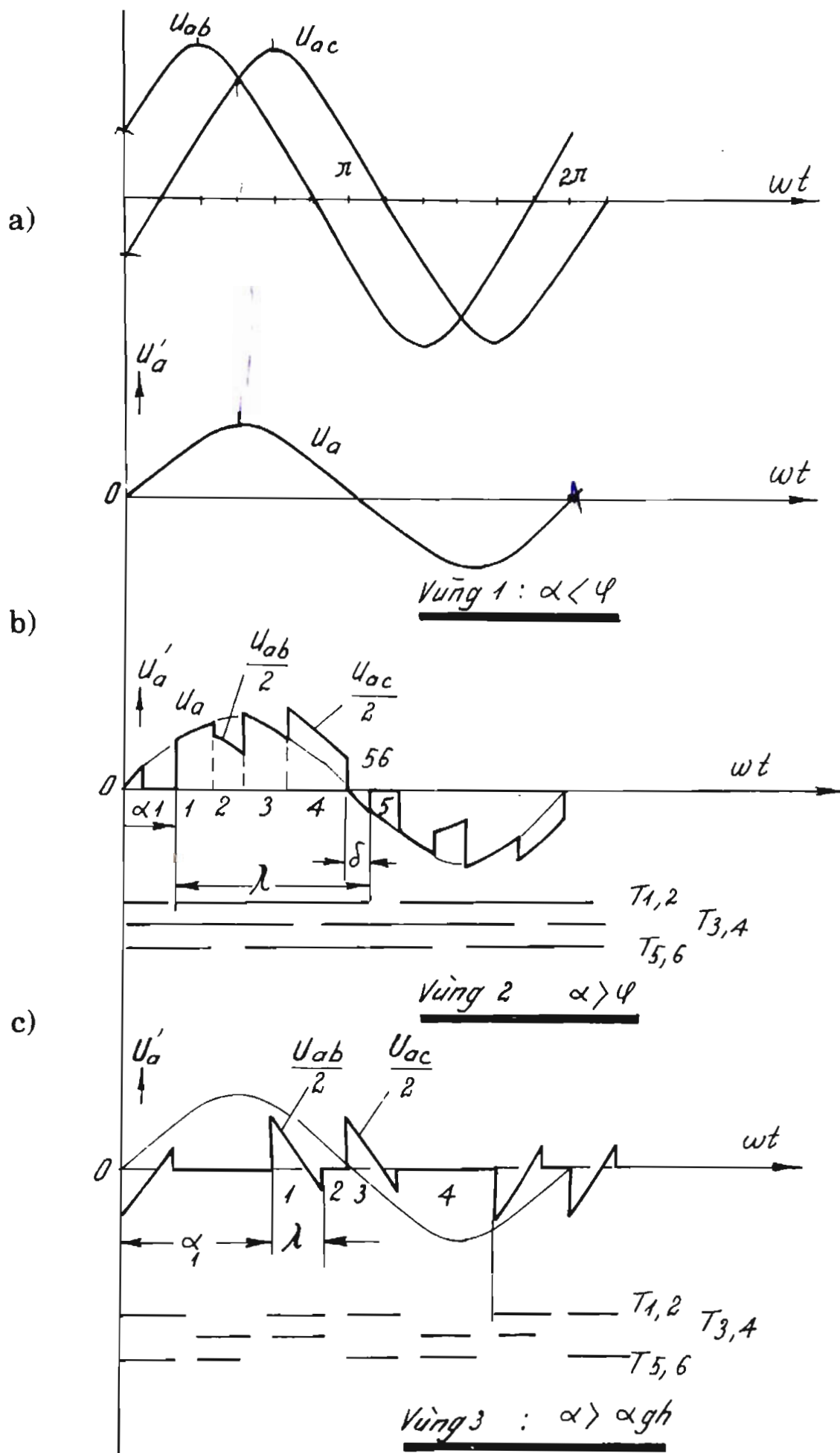


Hình 5-4. Ví dụ về trạng thái dẫn của các van bán dẫn.

Do tính chất tự nhiên của mạch điện có điện cảm nên nếu trong khoảng thời gian $\theta < \varphi$ mà đặt xung điều khiển vào các van bán dẫn thì các van này sẽ chỉ dẫn dòng từ thời điểm $\theta = \varphi$ trở đi và do đó dòng điện và điện áp động cơ không phụ thuộc vào góc điều khiển α (H. 5-5, a). Như vậy chỉ có thể điều chỉnh được điện áp khi góc điều khiển $\alpha > \varphi$.

Khi góc điều khiển $\alpha > \varphi$ thì tùy thuộc vào giá trị tức thời của các điện áp dây mà có lúc có ba van ở ba pha khác nhau dẫn dòng (H. 5-4, a), điểm a' nối vào a, b' vào b và c' vào c, điện áp tức thời trên tải chính là điện áp pha $u_{a'} = U_a$. Ở những đoạn chỉ có hai van dẫn dòng (H. 5-4, b), điểm a' nối vào a, b' vào b và c' hở mạch, điện áp trên tải sẽ là một nửa điện áp dây tương ứng: $u'_{a'} = 1/2 u_{ab}$.

Khi góc điều khiển vượt quá giá trị giới hạn nào đó: $\alpha > \alpha_{gh}$ thì không tồn tại chế độ dẫn dòng ở cả ba pha mà chỉ có chế độ dẫn dòng hai pha (H. 5-4, b và H. 5-5, c) ở đoạn các van dẫn dòng thì điện áp tải bằng nửa điện áp dây tương ứng $u_a = 1/2 u_{ab}$.



Hình 5-5. Đồ thị điện áp pha khi điều chỉnh góc mở van.

Đồ thị điện áp trên tải trong các chế độ trên được miêu tả trên H. 5-5.

Phương trình vi phân mô tả dòng và áp trên mỗi đoạn là:

$$U_n(\theta) = \omega_e L \cdot \frac{di_n(\theta)}{d\theta} + R \cdot i_n(\theta), \quad (5-5)$$

trong đó $n = 1, 2, 3, \dots$ là số chỉ tên của mỗi đoạn dẫn dòng (H. 5-5). Nghiệm tổng quát của phương trình có dạng:

$$i_n(\theta) = \frac{U_n}{Z} \sin(\theta - \varphi + \beta_n) + A_n \cdot e^{-(\theta - \alpha_n)/\tan \varphi}, \quad (5-6)$$

trong đó

$\beta_n = 0, \frac{\pi}{6}, -\frac{\pi}{6}$ là các điểm mốc,

A_n – các hằng số tích phân,

α_n – góc mở van ở đoạn thứ n ,

Z – tổng trở pha của động cơ.

Do trong mạch có điện cảm nên giá trị cuối của dòng điện ở đoạn thứ $(n - 1)$ bằng giá trị đầu của dòng điện ở đoạn thứ n , vì thế có thể tính được các hằng số tích phân để tìm nghiệm riêng:

$$A_n = I_{(n-1)c} - \frac{U_n}{Z} \sin(\alpha_n - \varphi + \beta_{nn}).$$

Điện áp đặt lên động cơ không phải là sin, trong đó chỉ có sóng điều hòa cơ bản là sinh mômen chính, các điều hòa cao coi như chỉ gây đốt nóng phụ động cơ. Biên độ điều hòa cơ bản trong khai triển Fourier là:

$$U_{1u} = \sqrt{a_{1n}^2 + b_{1n}^2} \quad (5-7)$$

khi $\alpha < \alpha_{gh}$:

$$a_{1n} = \frac{1}{\pi} \sum_{n=1}^5 \left\{ \int_n u'_a \cdot \cos(\theta) \cdot d\theta \right\}; \quad (5-8)$$

$$b_{1n} = \frac{1}{\pi} \sum_{n=1}^5 \left\{ \int_n u'_a \cdot \sin(\theta) d\theta \right\}.$$

Ở đoạn $n = 1, 3, 5$ thì $u'_a = u_a = U_m \cdot \sin \theta$.

Ở đoạn $n = 2$ thì $u'_a = \frac{1}{2} U_{ab} = \frac{\sqrt{3}}{2} U_m \cdot \sin(\theta - \frac{\pi}{6})$

Ở đoạn $n = 4$ thì $u'_a = \frac{1}{2} U_{ac} = \frac{\sqrt{3}}{2} U_m \sin(\theta - \frac{\pi}{6})$

Khi $\alpha > \alpha_{gh}$:

$$a_{1u} = \frac{1}{\pi} \left[\int_1 \frac{u_{ab}}{2} \cdot \cos(\theta) d\theta + \int_3 \frac{u_{ac}}{2} \cdot \cos \theta d\theta \right]$$

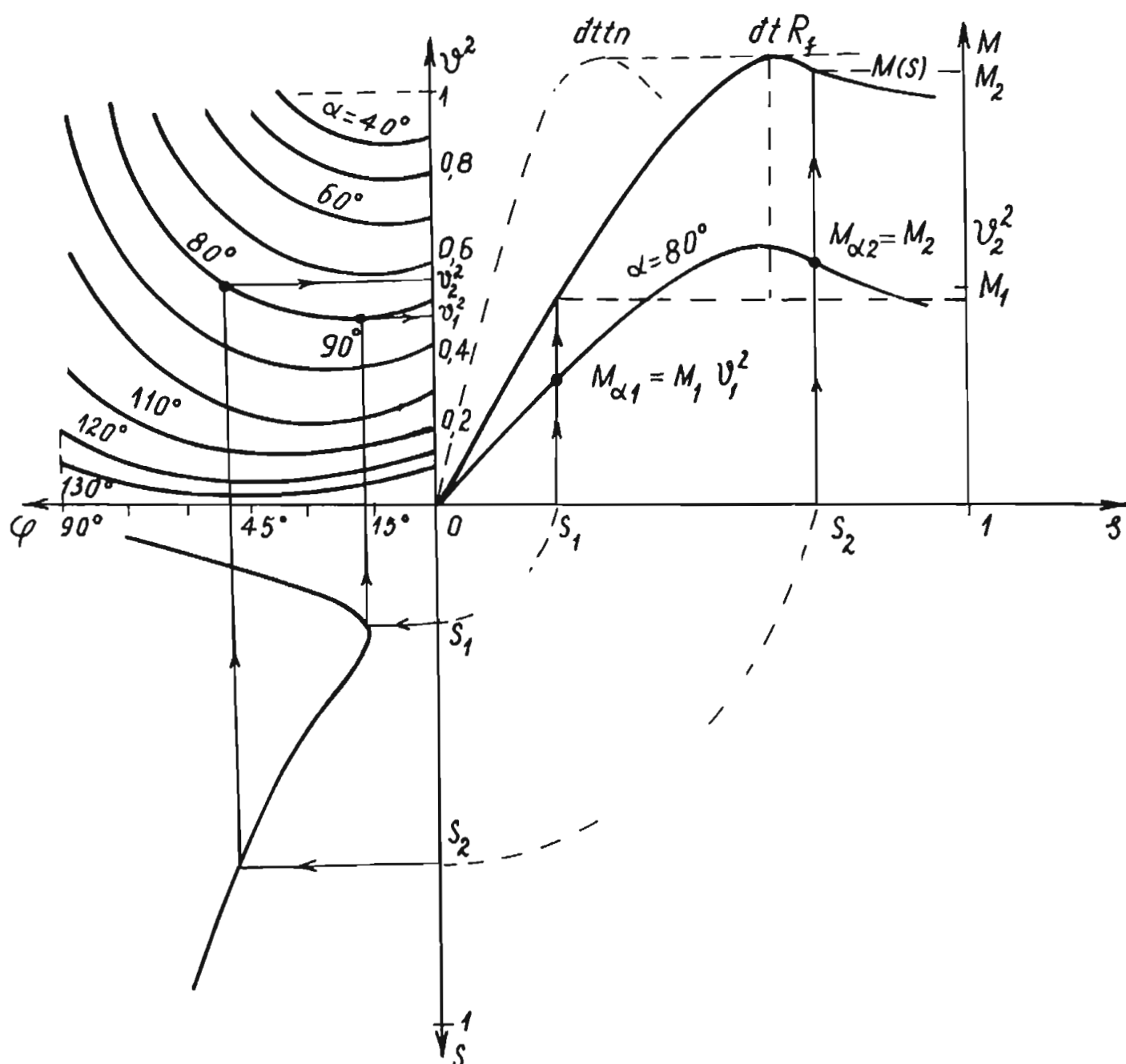
$$b_{1u} = \frac{1}{\pi} \left[\int_1 \frac{u_{ab}}{2} \cdot \sin(\theta) d\theta + \int_3 \frac{u_{ac}}{2} \cdot \sin(\theta) d\theta \right] \quad (5-9)$$

Coi $U_{1n} = U_b$ và đặt $\vartheta = U_b/U_m$ thì ϑ là hàm số của hai biến số góc điều khiển α và góc $\varphi(s)$: $\vartheta = \vartheta[\alpha, \varphi(s)]$. Đồ thị $\vartheta^2(\alpha, \varphi)$ được dựng trên H. 5-6, ở góc trên bên trái và được coi là đồ thị vận năng dùng cho mọi hệ thống DAXC-DKB.

Do tính chất phức tạp của quan hệ giữa mômen, điện áp và tốc độ của động cơ không đồng bộ nên trong tính toán thực dụng thường dùng phương pháp đồ thị để dựng các đặc tính điều chỉnh. Thủ tục được tiến hành theo hướng các mũi tên chỉ trên hình 5-6:

– Dựng đặc tính $\varphi(s)$ của động cơ ở góc dưới bên trái, đặc tính này có thể dựng được khi sử dụng sơ đồ thay thế của động cơ không đồng bộ.

– Dựng đặc tính cơ tự nhiên (đường nét đứt) và đặc tính cơ có điện trở phụ ở góc trên bên phải theo các bước như đã hướng dẫn ở

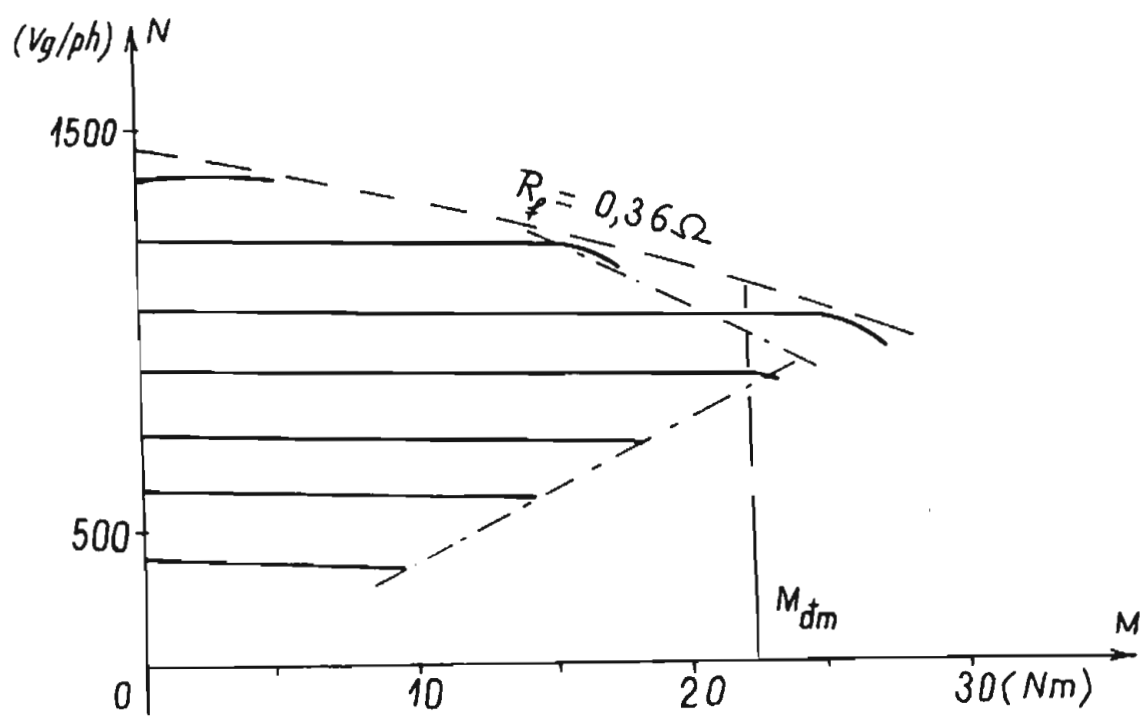


Hình 5-6. Đặc tính điều chỉnh diện áp $v^2 = f[\alpha, \varphi]$, đặc tính $\varphi(s)$ và phương pháp dựng đặc tính cơ.

phần mô tả về đặc tính cơ.

– Sử dụng đặc tính $v^2(\alpha, \varphi)$, $\varphi(s)$, đặc tính $M(s)$ và công thức $M_\alpha = M \cdot v^2$; $s = \text{const}$ ta dựng được họ đặc tính có điều chỉnh khi α lấy các giá trị khác nhau.

Vì đặc tính cơ của hệ hở là rất dốc nên thường dùng phản hồi âm tốc độ để ổn định tốc độ làm việc và mở rộng dải điều chỉnh (H. 5-3). Trên H. 5-7 là các đặc tính thực nghiệm của một hệ điều chỉnh như vậy.



Hình 5-7. Đặc tính cơ của hệ ĐAXC-DK - 3 KW có phản hồi âm tốc độ.

5-2. ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN TRỞ MẠCH RÔTO

Như đã phân tích ở phần đặc tính cơ ĐKB, có thể điều chỉnh được tốc độ ĐKB bằng cách điều chỉnh điện trở mạch rôto, trong mục này khảo sát việc thực hiện điều chỉnh trơn điện trở mạch rôto bằng các van bán dẫn, ưu thế của phương pháp này là dễ tự động hóa việc điều chỉnh. Điện trở trong mạch rôto động cơ không đồng bộ:

$$R_r = R_{rd} + R_f,$$

trong đó R_{rd} – điện trở dây quấn rôto

R_f – điện trở ngoài mắc thêm vào mạch rôto.

Khi điều chỉnh giá trị điện trở mạch rôto thì mômen tới hạn của động cơ không thay đổi và độ trượt tới hạn thì tỷ lệ bậc nhất với điện trở. Nếu coi đoạn đặc tính làm việc của ĐKB, tức là đoạn có độ trượt từ $s = 0$ đến $s = s_{th}$, là thẳng thì khi điều chỉnh điện trở ta có thể viết

$$s = s_i \frac{R_r}{R_{rd}} \quad M = \text{const}, \quad (5-10)$$

trong đó s – độ trượt khi điện trở mạch rôto là R_r ,

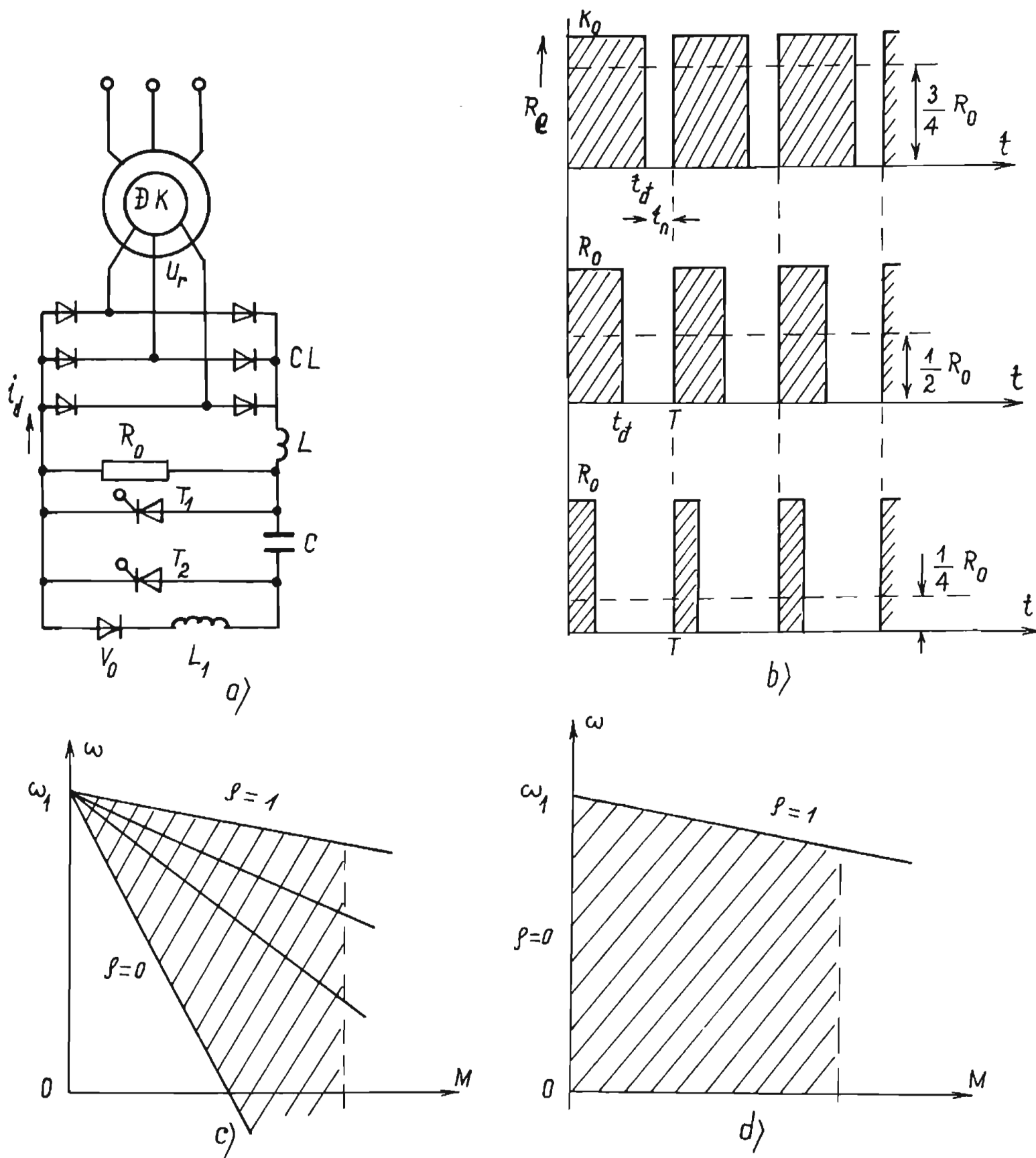
s_i – độ trượt khi điện trở mạch rôto là R_{rd} .

Thay (5-10) vào (5-3) được biểu thức tính mômen :

$$M = \frac{3I_r^2 R_{rd}}{\omega \cdot s_i} \quad (5-11)$$

Nếu giữ dòng điện rôto không đổi thì mômen cũng không đổi và không phụ thuộc vào tốc độ động cơ. Vì thế mà có thể ứng dụng phương pháp điều chỉnh điện trở mạch rôto cho truyền động có mômen tải không đổi.

Trên H. 5-8, a trình bày sơ đồ nguyên lý của điều chỉnh trơn điện trở mạch rôto bằng phương pháp xung. Điện áp u_r được chỉnh lưu bởi cầu điôt CL, qua điện kháng lọc L được cấp vào mạch điều



Hình 5-8. Điều chỉnh xung trở rôto.
a) Sơ đồ nguyên lý; b) Phương pháp điều chỉnh; c,d) Các đặc tính.

chỉnh gồm điện trở R_o nối song song với khóa bán dẫn T_1 . Khóa T_1 sẽ được đóng, ngắt một cách chu kỳ để điều chỉnh giá trị trung bình của điện trở toàn mạch.

Hoạt động của khóa bán dẫn tương tự như trong mạch điều chỉnh xung áp một chiều. Khi khóa T_1 đóng, điện trở R_o bị loại ra khỏi mạch, dòng điện rôto tăng lên, khi khóa T_1 ngắt điện trở R_o lại được đưa vào mạch, dòng điện rôto giảm. Với tần số đóng ngắt nhất định, nhờ có điện cảm L mà dòng điện rôto coi như không đổi và ta có một giá trị điện trở tương đương R_e trong mạch. Thời gian ngắt $t_n = T - t_d$ (xem H. 5-8, b), nếu điều chỉnh tần tỷ số giữa thời gian đóng t_d và thời gian ngắt t_n ta điều chỉnh được giá trị điện trở trong mạch rôto.

$$R_e = R_o \frac{t_d}{t_d + t_n} = R_o \frac{t_d}{T} = R_o \rho \quad (5-12).$$

Điện trở tương đương R_e trong mạch một chiều được tính đổi về mạch xoay chiều ba pha ở rôto theo quy tắc bảo toàn công suất. Tổn hao trong mạch rôto nối theo sơ đồ H. 5-8, α là

$$\Delta P = I_d^2 (2R_{rd} + R_e), \quad (5-13)$$

và tổn hao khi mạch rôto nối theo sơ đồ H. 5-1, α là

$$\Delta P = 3I_r^2 (R_{rd} + R_f).$$

Cơ sở để tính đổi là tổn hao công suất như nhau, nên

$$3I_r^2 (R_{rd} + R_f) = I_d^2 (2R_{rd} + R_e),$$

với sơ đồ chỉnh lưu cầu ba pha thì $I_d^2 = 1,5I_r^2$ nên

$$R_f = \frac{1}{2} R_e = \rho \cdot \frac{R_o}{2} \quad (5-14)$$

Khi đã có điện trở tính đổi, dễ dàng dựng được đặc tính cơ theo phương pháp thông thường, họ các đặc tính cơ này quét kín phần mặt phẳng giới hạn bởi đặc tính cơ tự nhiên và đặc tính cơ có điện trở phụ $R_f = R_{o/2}$. - xem H. 5-8, c.

Để mở rộng phạm vi điều chỉnh mômen (H. 5–8, *d*) có thể mắc nối tiếp với điện trở R_0 một tụ điện dung đủ lớn. Việc xây dựng các mạch phản hồi điều chỉnh tốc độ và dòng điện rôto được tiến hành tương tự như hệ điều chỉnh điện áp.

5-3. ĐIỀU CHỈNH CÔNG SUẤT TRƯỢT

Trong các trường hợp điều chỉnh tốc độ ĐKB bằng cách làm mềm đặc tính và để nguyên tốc độ không tải lý tưởng thì công suất trượt $\Delta P_s = sP_{dt}$ được tiêu tán trên điện trở mạch rôto. Ở các hệ thống truyền động điện công suất lớn, tổn hao này là đáng kể. Vì thế để vừa điều chỉnh được tốc độ truyền động, vừa tận dụng được công suất trượt người ta sử dụng các sơ đồ điều chỉnh công suất trượt, gọi tắt là các sơ đồ nối tầng. Có nhiều phương pháp xây dựng hệ nối tầng, dưới đây trình bày phương pháp nối tầng điện dùng tiristo (H.5–9, *a*).

Theo cách tính tổn thất khi điều chỉnh thì

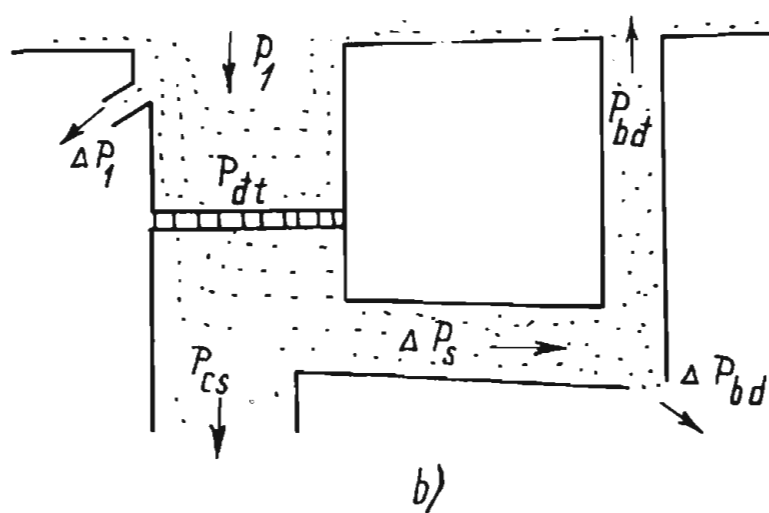
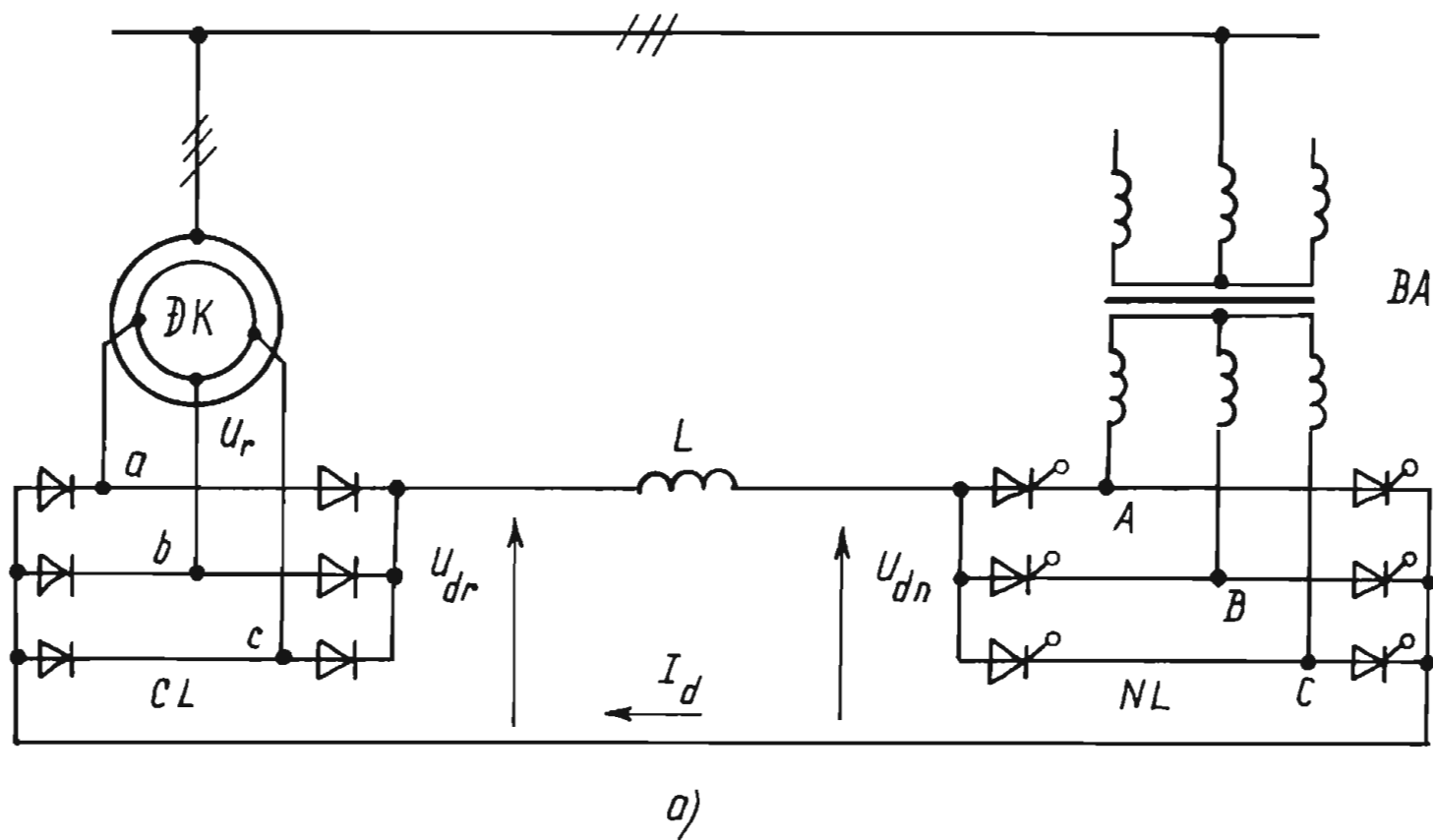
$$\Delta P_s = M_c(\omega_1 - \omega) = M_c \cdot \omega_1 \cdot s = P_{dt} \cdot s \quad (5-15)$$

$$s = \Delta P_s / P_{dt}$$

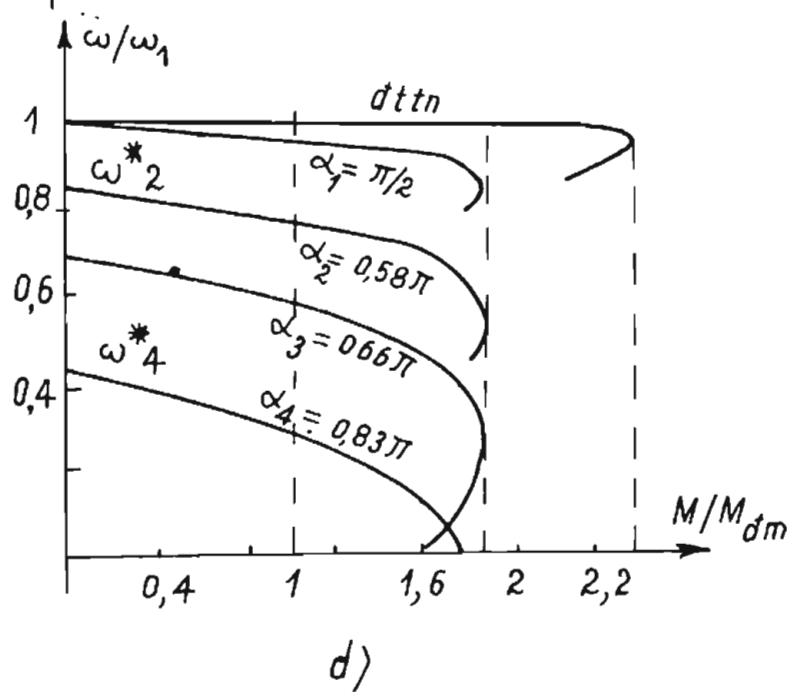
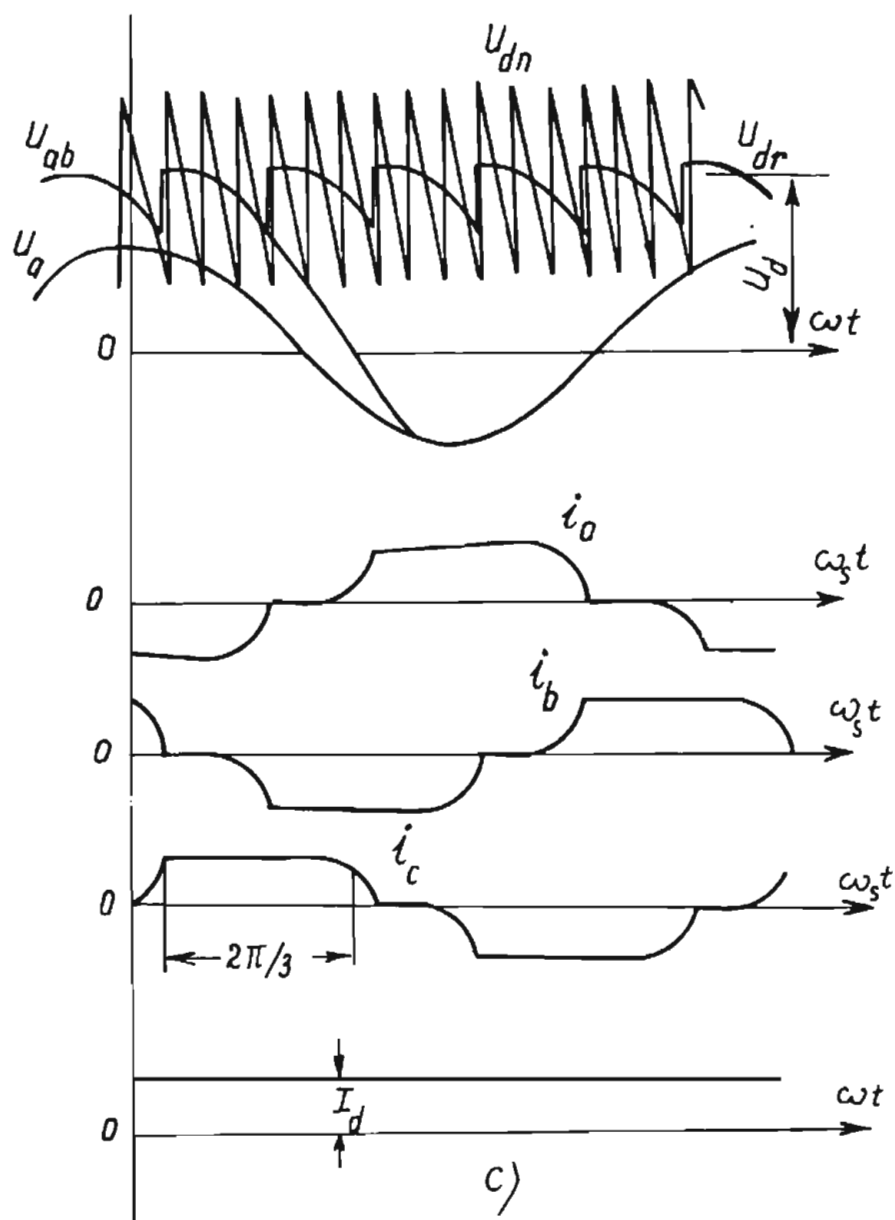
Giản đồ năng lượng khi bỏ qua tổn hao ở rôto được biểu diễn trên H.5–9, *b*, trong đó P_{bd} là công suất được trả về lưới điện, ΔP_{bd} là tổn hao trong mạch biến đổi công suất trượt thành công suất điện có cùng tần số điện áp lưới.

Sức điện động rôto u_r được chỉnh lưu thành điện áp một chiều qua điện kháng lọc L cấp cho nghịch lưu phụ thuộc NL . Điện áp xoay chiều của nghịch lưu (u_A, u_B, u_C) có biên độ và tần số không đổi do được xác định bởi điện áp và tần số của lưới điện. Nghịch lưu làm việc với góc điều khiển α thay đổi từ 90° đến khoảng 140° , phần còn lại dành cho góc chuyển mạch μ và góc hồi phục tính chất khóa δ của các van.

Độ lớn dòng điện rôto hoàn toàn phụ thuộc vào mômen tải của động cơ mà không phụ thuộc vào góc điều khiển nghịch lưu. Cụm



Hình 5-9. Hệ thống nối tầng van điện.
a) Sơ đồ nguyên lý; b) Giản đồ năng lượng



- c) Đồ thị dòng và áp khi $f_r = f'_{s3}$;
d) Đặc tính cơ của hệ nối tăng công suất $P_{dm} = 1000 \text{ kW}$.

mạch chỉnh lưu – nghịch lưu phụ thuộc chỉ làm thay đổi được góc pha của dòng điện ở phía xoay chiều của nghịch lưu khi điều chỉnh góc mở α . Quá trình dòng điện và điện áp của bộ biến đổi được mô tả trên H.5-9, c cho trường hợp độ trượt $s = 1/3$. Giá trị trung bình của điện áp chỉnh lưu và nghịch lưu là như nhau

$$U_{dr} = U_{dn} = U_d.$$

Sai lệch về giá trị tức thời giữa điện áp chỉnh lưu và nghịch lưu chính là điện áp trên điện kháng lọc L .

Để đơn giản trong cách viết, giả thiết bỏ qua điện trở và điện kháng tản của mạch stato và coi động cơ có số vòng dây stato và rôto như nhau, thì giá trị trung bình của điện áp chỉnh lưu khi $I_d = 0$ là

$$U_d = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} U_{lm} \cdot \frac{\omega_e - \omega_o}{\omega_l}, \quad (5-16)$$

trong đó U_{lm} – biên độ điện áp lưới,

ω_o – tốc độ không tải lý tưởng,

ω_l – tốc độ từ trường quay stato.

Khi có tải $I_d \neq 0$ thì điện áp này giảm xuống do sụt áp chuyển mạch giữa các van trong cầu chỉnh lưu và sụt áp do điện trở dây quấn rôto.

$$U_d = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} U_{lm} \frac{\omega_e - \omega_o}{\omega_o} - \frac{3}{\pi} \omega_s L_{r\sigma} I_d - 2R_r I_d, \quad (2-17)$$

trong đó $\omega_2 = \omega_e - \omega$ là tần số trượt của rôto, dòng điện chỉnh lưu trung bình sẽ là hàm số của tốc độ quay:

$$I_d = \frac{\sqrt{3}U_{lm} \cdot \frac{\omega_o - \omega}{\omega_e}}{L_{r\sigma} \omega_l \left(\frac{\omega_l - \omega}{\omega_l} + \frac{2\pi R_r}{3\omega_l L_{r\sigma}} \right)} = \frac{\sqrt{3}U_{lm} \cdot s'}{X_{r\sigma} (s_o + s' + \frac{2\pi R_r}{3X_{r\sigma}})} \quad (5-18)$$

Độ trượt s_o gọi là độ trượt cơ bản của hệ thống khi không tải, độ

trượt s' là do tải gây ra :

$$s_o = \frac{\omega_1 - \omega_o}{\omega_1} = \frac{\pi}{3\sqrt{3}} \frac{U_d}{U_{lm}} ; \quad s' = \frac{\omega_o - \omega}{\omega_1} . \quad (5-19)$$

Điện áp stato có dạng $u_a = U_{lm} \cos \omega_e t$, nếu bỏ qua điện trở dây quấn stato thì từ thông có biên độ tỷ lệ điện áp stato :

$$\psi = - \frac{U_{lm}}{\omega_1} , \quad (5-20)$$

và mô men của động cơ tỷ lệ với thành phần dọc trục của dòng điện rôto động cơ (về khái niệm này cần tham khảo phần chuyển vị tọa độ các phương trình mô tả động cơ không đồng bộ ba pha).

$$M = - \frac{3}{2} p' \cdot \frac{U_{lm}}{\omega_1} \cdot I_{dr} . \quad (5-21)$$

Giá trị trung bình của dòng điện i_{dr} được tính như sau:

$$I_{dr} = - \frac{6}{\pi} \frac{U_{lm}}{X_{or}} \left(1 - \frac{s'}{s_x} \right) \frac{s'}{s_x} , \quad (5-22)$$

trong đó
$$s_x = s_o + s' + \frac{2\pi R_r}{3X_{or}} .$$

Cuối cùng phương trình xác định mômen của hệ thống nối tầng van điện sẽ là :

$$M = \frac{9}{\pi} p' \left(\frac{U_{lm}}{\omega_e} \right)^2 \frac{1}{L_{r\sigma}} \cdot \left(1 - \frac{s'}{s_x} \right) \frac{s'}{s_x} \quad (5-23)$$

Trên H.5-9, d có dựng các đặc tính cơ của hệ nối tầng van cho từng góc điều khiển α của nghịch lưu. Do điện cảm lọc L trong mạch một chiều có giá trị hữu hạn nên dòng điện một chiều i_d có thể bị gián đoạn khi mômen tải nhỏ, đặc tính cơ ở đoạn này có độ dốc lớn. Mặt khác do sụt áp gây ra bởi điện trở stato, điện trở mạch một chiều, điện trở và điện kháng tản của máy biến áp cũng như sụt áp do chuyển mạch của nghịch lưu và chỉnh lưu nên các đặc tính cơ

điều chỉnh đều có độ cứng và mômen tới hạn nhỏ hơn độ cứng và mô men tới hạn của đặc tính cơ tự nhiên.

5-4. ĐIỀU CHỈNH TẦN SỐ NGUỒN CẤP CHO ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

5-4.1. Mô tả động cơ không đồng bộ dưới dạng các đại lượng vectơ

a. Khi điều chỉnh tần số ĐKB, thường kéo theo điều chỉnh cả điện áp, dòng điện hoặc từ thông mạch stato, do tính chất phức tạp của các quá trình điện từ trong ĐKB, nên các phương trình, biểu thức đã phân tích không sử dụng trực tiếp được cho trường hợp điều chỉnh tần số. Để thuận tiện cho việc khảo sát hệ thống điều chỉnh tần số, dưới đây nêu phương pháp đánh giá quá trình điện từ dưới dạng các vectơ.

Trong động cơ KDB, ít nhất có 6 cuộn dây quấn trên mạch từ, phương trình cân bằng điện áp của mỗi cuộn như sau:

$$u_k = R_k i_k + \frac{d\psi_k}{dt}, \quad (5-24)$$

trong đó chỉ số k là tên của dây quấn.

Nếu coi mạch từ là tuyến tính và bỏ qua tổn hao sắt thì mômen điện từ của động cơ là

$$M = \sum_k i_k \cdot \frac{\partial \psi_k}{\partial t} \quad (5-25)$$

Để đơn giản trong khi viết, coi động cơ có hai cực ($p' = 1$) – xem H. 5-10, trong đó các chỉ số bằng chữ thường a, b, c chỉ các dây quấn pha stato, các chỉ số bằng chữ in hoa A, B, C chỉ các pha rôto, góc lệch giữa dây quấn rôto và dây quấn stato là ϑ thì tốc độ sẽ là đạo hàm của góc này

$$\omega = \frac{d\vartheta}{dt} \quad (5-26).$$

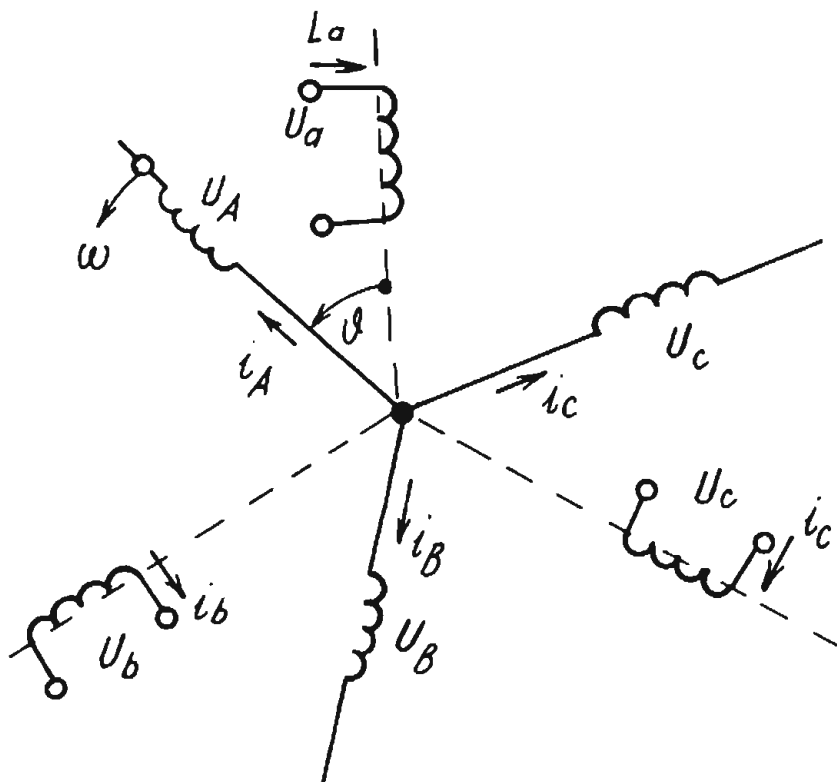
Từ thông móc vòng của các dây quấn

$$\psi_k = \sum_j L_{kj} \cdot i_j, \quad (5-27)$$

trong đó j cũng là chỉ số của các pha dây quấn,

khi $j = k$ – có từ thông tự cảm,

$j \neq k$ – có từ thông hổ cảm,



Hình 5-10. Sơ đồ nguyên lý dây quấn của động cơ không đồng bộ.

Ví dụ có thể tính được từ thông của cuộn dây pha a stato :

$$\psi_a = L_{aa}i_a + L_{ab}i_b + L_{ac}i_c + L_{aA}i_A + L_{aB}i_B + L_{aC}i_C. \quad (5-28)$$

Nếu các dây quấn của động cơ là đối xứng và khe hở không khí giữa rôto và stato là đều thì :

$$R_a = R_b = R_c = R_s, R_A = R_B = R_C = R_r,$$

$$L_{aa} = L_{bb} = L_{cc} = L_{s1}, L_{AA} = L_{BB} = L_{CC} = L_{r1}, \quad (5-29)$$

$$L_{ab} = L_{ac} = L_{bc} = -M_s, L_{AB} = L_{AC} = L_{BC} = -M_r,$$

trong đó L_{s1}, L_{r1} – điện cảm tự cảm của từng dây quấn stato, rôto,

M_s, M_r – điện cảm hồ cảm giữa các dây quấn stato, giữa các dây quấn rôto với nhau.

Hồ cảm giữa dây quấn ở stato với dây quấn ở rôto phụ thuộc vào góc lệch không gian giữa hai dây quấn này. Hồ cảm giữa hai dây quấn cùng pha ở stato và rôto sẽ đạt giá trị cực đại khi trục hai dây quấn trùng nhau, tương ứng lúc đó có điện cảm hồ cảm M :

$$L_{aA} = L_{Aa} = L_{bB} = L_{Bb} = L_{cC} = L_{Cc} = M \cdot \cos\vartheta. \quad (5-30).$$

Hồ cảm giữa hai dây quấn khác pha ở rôto và stato được tính đến khi các dây quấn ba pha lệch nhau một góc không gian $2\pi/3$.

$$L_{aB} = L_{Ba} = L_{bC} = L_{Cb} = L_{cA} = L_{Ac} = M \cdot \cos\left(\vartheta + \frac{2\pi}{3}\right) \quad (5-31)$$

$$L_{Ab} = L_{bA} = L_{Bc} = L_{cB} = L_{Ca} = L_{aC} = M \cdot \cos\left(\vartheta - \frac{2\pi}{3}\right)$$

Để đơn giản trong khi viết, coi các đại lượng điện và từ là các vectơ và các thông số của mạch là ma trận thông số :

$$\psi_s = \begin{bmatrix} \psi_a \\ \psi_b \\ \psi_c \end{bmatrix}, \quad \psi_r = \begin{bmatrix} \psi_A \\ \psi_B \\ \psi_C \end{bmatrix}, \quad i_s = \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}, \quad i_r = \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix}$$

$$u_s = \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix}, \quad u_r = \begin{bmatrix} u_A \\ u_B \\ u_C \end{bmatrix} \quad (5-32)$$

$$R_s = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix}, \quad R_r = \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix} \quad (5-32)$$

$$L_S = \begin{bmatrix} L_{S1} & -M_S & -M_s \\ -M_s & L_{s1} & -M_s \\ -M_s & -M_s & L_{s1} \end{bmatrix}, \quad L_r = \begin{bmatrix} L_{r1} & -M_r & -M_r \\ -M_r & L_{r1} & -M_r \\ -M_r & -M_r & L_{r1} \end{bmatrix}$$

$$L_m(v) = M \begin{bmatrix} \cos\vartheta & \cos(\vartheta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\vartheta - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\vartheta - \frac{2\pi}{3}) & \cos\vartheta & \cos(\vartheta + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\vartheta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\vartheta - \frac{2\pi}{3}) & \cos\vartheta \end{bmatrix}$$

Thay thế các đại lượng trong (5-30), (5-31) và (5-32) và (5-32) vào (5-27); sau đó rút gọn được biểu thức tính từ thông

$$\begin{bmatrix} \Psi_S \\ \Psi_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [L_S] & [L_m(\vartheta)] \\ [L_m(\vartheta)]^t & [L_r] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_S \\ i_r \end{bmatrix} \quad (5-33)$$

trong đó chữ t chỉ ma trận chuyển vị.

Tiếp tục thay thế (5-33) vào (5-24) và (5-25) được phương trình mô tả động cơ không đồng bộ ba pha, trong đó để đơn giản trong biểu diễn đã bỏ dấu ngoặc ở các ma trận thông số.

$$\begin{bmatrix} u_s \\ u_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_S + L_S \frac{d}{dt} & \frac{d}{dt} \cdot L_m(\vartheta) \\ \frac{d}{dt} \cdot L_m^t(\vartheta) & R_r + L_r \frac{d}{dt} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_s \\ i_r \end{bmatrix} \quad (5-34)$$

$$M = i_S^t \cdot \frac{d}{d\vartheta} (L_m(v) \cdot i_r) \quad (5-35)$$

Các phương trình này là các phương trình phi tuyến và có hệ số biến thiên theo thời gian vì điện cảm L_m phụ thuộc góc quay:

$$v = v_o + \int \omega(t).dt.$$

Ngay cả ở chế độ xác lập, $\omega = \text{const}$ thì hồ cảm giữa rôto và stato cũng biến thiên có tính chất chu kỳ.

b. Chuyển vị tuyến tính các phương trình.

Việc giải trực tiếp các phương trình (5-34), (5-35) là khó khăn nên thường chuyển vị các phương trình này sang hệ tọa độ khác sao cho sự biến thiên của các hệ số là không còn nữa. Ba dòng điện pha của động cơ lệch nhau về thời gian là $2\pi/3$, chúng lại được đặt lệch nhau về không gian các góc $2\pi/3$, như thế ở từng thời điểm khác nhau tổng của ba dòng điện này – gọi là vectơ dòng điện không gian có biên độ không đổi $|i_s|$ nhưng góc lệch thì khác nhau – xem H. 5-11, a, b.

Vectơ dòng điện không gian i_s có thể xác định được nếu biết ba vectơ dòng điện pha (i_a, i_b, i_c), ví dụ H.5-11,c :

$$i_s = \frac{2}{3}(i_a + ai_b + a^2i_c); a = e^{j2\pi/3} \quad (5-36)$$

Vì vectơ i_s quay trong mặt phẳng vuông góc với trục rôto, nên có thể phân tích thành hai thành phần vuông góc nhau:

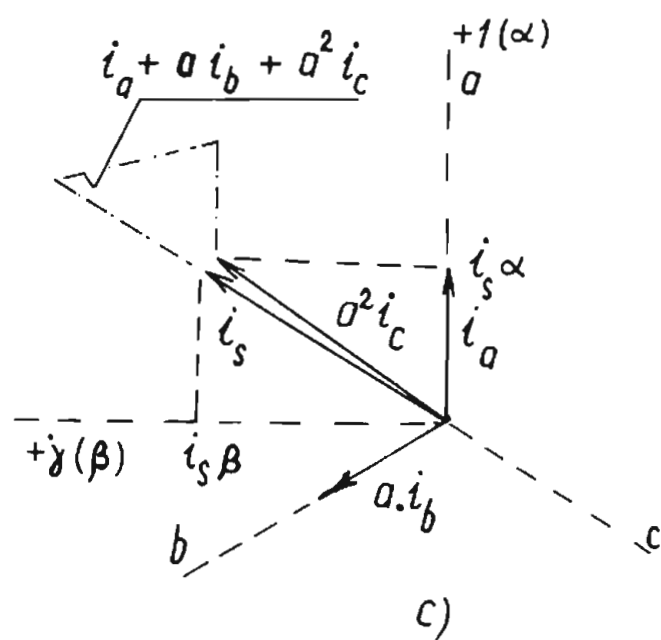
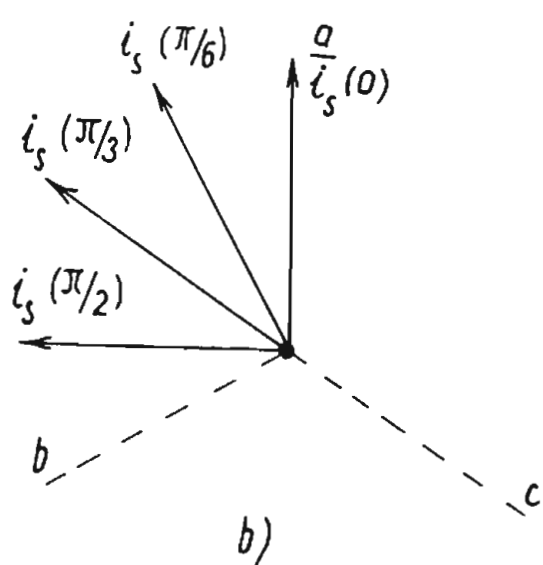
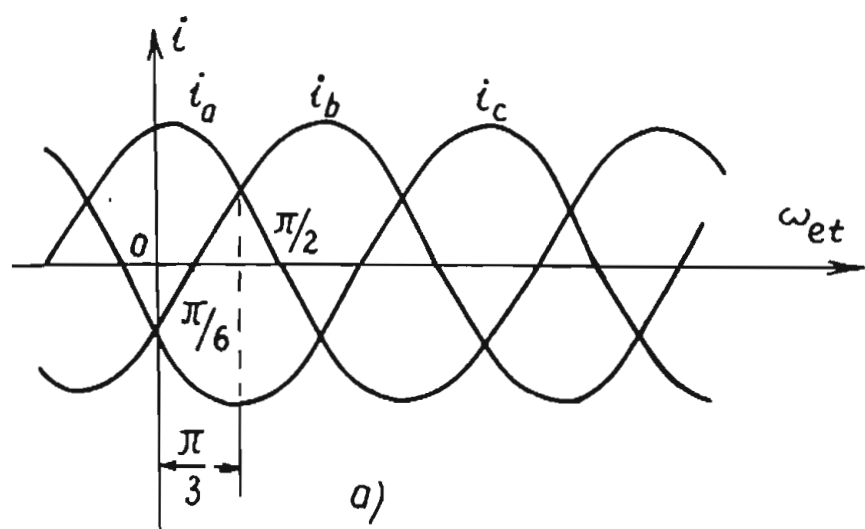
$$i_s = i_{s\alpha} + ji_{s\beta}, i_{s\beta} = I_m \{ i_s = \frac{\sqrt{3}}{3} (i_b - i_c), \quad (5-37)$$

$$i_{s\alpha} = \text{Re}\{i_s\} = \frac{1}{3}(2i_a - i_b - i_c),$$

$$= i_a, \text{ nếu hệ ba pha là đối xứng.}$$

$$= \text{Re}\{i_s\} + i_{s0} \text{ nếu hệ ba pha là không đối xứng, trong đó thành phần thứ tự không } i_{s0} = \frac{1}{3}(i_a + i_b + i_c). \quad (5-38)$$

Cho hệ trục tọa độ vuông góc, mà trên đó biểu diễn vectơ

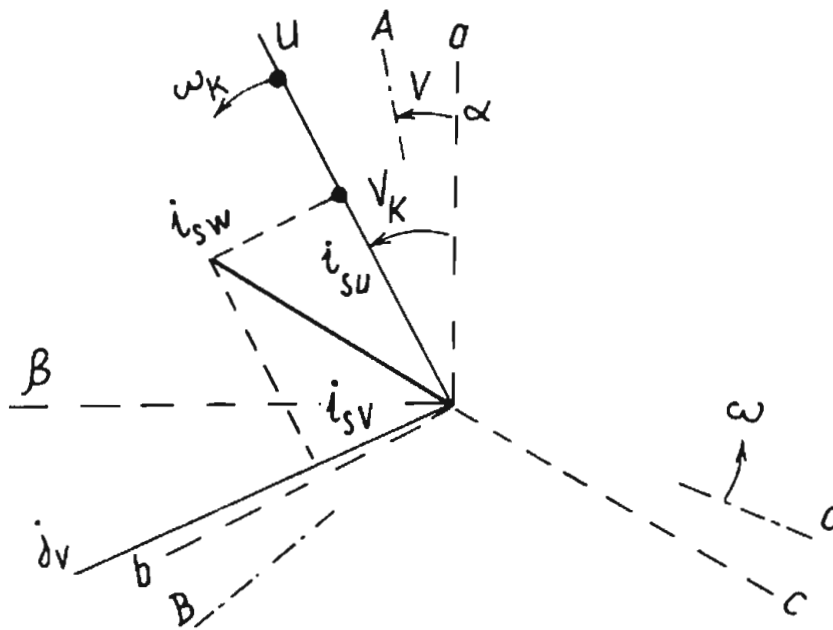


Hình. 5-11. Vectơ dòng điện không gian mạch stato.

dòng điện không gian, quay với tốc độ ω_k nào đó và gọi đó là hệ trục $w = (u, v, 0)$. Vị trí của hệ trục w sẽ là: $\vartheta_k = \vartheta_{ok} + \omega_k t$, và vectơ dòng điện không gian trong hệ trục mới là $i_{sw} = i_s e^{-j\vartheta_k}$, các

thành phần của dòng điện trong hệ trục mới được tính như sau :

$$\begin{aligned}
 i_{su} &= K_d i_a \cdot \cos \vartheta_k + i_b \cdot \cos\left(\vartheta_k - \frac{2\pi}{3}\right) + i_c \cos\left(\vartheta_k + \frac{2\pi}{3}\right) \\
 i_{sv} &= -K_q i_a \sin \vartheta_k + i_b \sin\left(\vartheta_k - \frac{2\pi}{3}\right) + i_c \sin\left(\vartheta_k + \frac{2\pi}{3}\right) \\
 i_{so} &= K_o i_a + i_b + i_c.
 \end{aligned} \tag{5-39}$$



Hình 5-12. Biểu diễn vectơ không gian trong hệ tọa độ quay.

Việc tính đổi ngược lại từ hệ $(u, v, 0)$ sang hệ (a, b, c) cho dòng điện rôto được thực hiện bằng cách giải hệ phương trình trên :

$$\begin{aligned}
 i_a &= \frac{1}{K_d} \cdot \frac{2}{3} i_{su} \cdot \cos \vartheta_k - \frac{1}{K_q} \cdot \frac{2}{3} i_{sv} \cdot \sin \vartheta_k + \frac{1}{K_o} \cdot \frac{1}{3} i_{so}, \\
 i_b &= \frac{1}{K_d} \cdot \frac{2}{3} i_{su} \cdot \cos\left(\vartheta_k - \frac{2\pi}{3}\right) - \frac{1}{K_q} \cdot \frac{2}{3} i_{sv} \sin\left(\vartheta_k - \frac{2\pi}{3}\right) + \frac{1}{K_o} \cdot \frac{1}{3} i_{so}, \\
 i_c &= \frac{1}{K_d} \cdot \frac{2}{3} i_{su} \cdot \cos\left(\vartheta_k + \frac{2\pi}{3}\right) - \frac{1}{K_q} \cdot \frac{2}{3} i_{sv} \sin\left(\vartheta_k + \frac{2\pi}{3}\right) + \frac{1}{K_o} \cdot \frac{1}{3} i_{so} \tag{5-39}
 \end{aligned}$$

Tương tự như trên có thể chuyển vị điện áp ba pha thành điện áp

hai pha (u, ϑ, o) ... Các đại lượng ở mạch rôto cũng có thể được chuyển vị sang hệ (u, ϑ, o) với thủ tục giống hệt như trên, chỉ cần để ý rằng dây quấn rôto đang ở vị trí ϑ , nên trong các biểu thức tính toán, thay vì viết (ϑ_k) , cần viết $(\vartheta_k - \vartheta)$, ví dụ

$$i_{rw} = i_r \cdot e^{-j(\vartheta_k - \vartheta)} \quad (5-40)$$

Các hệ số K_d, K_q, K_o được chọn theo điều kiện cân bằng công suất trước và sau khi chuyển vị, trong trường hợp này, khi đã chọn dòng điện không gian theo (5-36) thì $K_d = K_q = \sqrt{2}/\sqrt{3}, K_o = 1/\sqrt{3}$. Theo thủ tục đã nêu ở (5-39) có thể tính được các thành phần của từ thông stato trong hệ (u, ϑ, o) :

$$\begin{aligned} \Psi_{su} &= L_s i_{su} + \frac{2L_m}{3} i_A \cos(\vartheta_k - \vartheta) + i_B \cos(\vartheta - \vartheta - \frac{2\pi}{3}) + \\ &\quad + i_C \cos(\vartheta_k - \vartheta + \frac{2\pi}{3}), \\ \Psi_{sv} &= L_s i_{sv} + \frac{2L_m}{3} i_A \sin(\vartheta_k - \vartheta) + i_B \sin(\vartheta_k - \vartheta - \frac{2\pi}{3}) + \\ &\quad + i_C \sin(\vartheta_k - \vartheta + \frac{2\pi}{3}) \\ \Psi_{so} &= L_{so} i_{so}, \end{aligned} \quad (5-41)$$

trong đó

$$\begin{aligned} L_s &= L_{s1} + M_s \\ L_{so} &= L_{s1} - 2M_s \\ L_m &= \frac{2M}{3} \end{aligned} \quad (5-42)$$

Phần trong ngoặc vuông chính là các thành phần của dòng điện rôto trong hệ (u, v, o) nên :

$$\begin{aligned} \Psi_{su} &= L_s i_{su} + L_m i_{ru} \\ \Psi_{s\vartheta} &= L_s i_{s//\vartheta} + L_m i_{r\vartheta} \\ \Psi_{so} &= L_{so} i_{so}. \end{aligned} \quad (5-43)$$

Ta thấy rằng chỉ có các dây quấn thành phần đồng trục mới có cảm ứng từ, còn các dây quấn thành phần vuông góc nhau thì, như nguyên lý cảm ứng điện từ đã chỉ ra, giữa chúng không có cảm ứng. Tương tự như trên, có thể tính được từ thông rôto trong hệ (u, v, o) :

$$\begin{aligned}\Psi_{ru} &= L_r i_{ru} + L_m i_{su}, \\ \Psi_{rv} &= L_r i_{rv} + L_m i_{sv}, \\ \Psi_{ro} &= L_{ro} i_{ro},\end{aligned}\tag{5-44}$$

trong đó : $L_r = L_{r1} + M_r, L_{ro} = L_{r1} - 2M_r$.

Các vectơ từ thông được viết như sau :

$$\begin{aligned}\Psi_{sw} &= L_s i_{sw} + L_m i_{rw} = \psi_s e^{-jv_k} \\ \Psi_{rw} &= L_r i_{rw} + L_m i_{sw} = \psi_r e^{-j(v_k - v)}.\end{aligned}\tag{5-45}$$

Thay thế các biểu thức dòng điện và từ thông vào (5-34) và (5-35) tính được hệ phương trình mô tả ĐKB trong hệ tọa độ (u, v, o) :

$$\begin{bmatrix} u_{sw} \\ u_{rw} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + L_s \frac{d}{dt} + j\omega_k & L_m \left(\frac{d}{dt} + j\omega_k \right) \\ L_m \left(\frac{d}{dt} - j(\omega_k - \omega) \right) & R_r + L_r \left[\frac{d}{dt} + j(\omega_k - \omega) \right] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sw} \\ i_{rw} \end{bmatrix}$$

$$M = \frac{3}{2} L_m \text{Im}\{i_{sw} i_{rw}^*\}\tag{5-46}$$

trong đó i_{rw}^* là véc tơ dòng điện rôto liên hợp.

Do cách chuyển vị các vectơ mà các hệ số của các phương trình chỉ còn phụ thuộc vào tốc độ quay của rôto, trong các trường hợp cụ thể có thể giải được dễ dàng các hệ phương trình này. Trong thực tế tính toán thường chọn cố định tốc độ quay của hệ tọa độ $\omega_k = \text{const}$ và thấy bằng các giá trị đặc biệt:

- 1) $\omega_k = 0$, hệ tọa độ là đứng yên, ký hiệu hệ trục $(\alpha, \beta, 0)$,
- 2) $\omega_k = \omega$, hệ tọa độ gắn chặt vào rôto, ký hiệu hệ trục (d, q, o)

3) $\omega_k = \omega_o$, hệ tọa độ gắn chặt vào từ trường quay, ký hiệu hệ trục là (x, y, o) .

Nếu máy điện có số đôi cực $p' > 1$ thì các đại lượng cơ học được tính đổi như sau.

$$\vartheta = \vartheta_j p', \quad \omega = \omega_j p', \quad M = \frac{M_j}{p'}, \quad M_c = \frac{M_{cj}}{p'}, \quad I = \frac{J_j}{p'}. \quad (5-47)$$

Việc tính quy đổi các đại lượng ở mạch rôto thực hiện như sau, nếu số vòng dây ở dây quấn stato và rôto khác nhau:

$$u_r = \frac{N_r}{N_s} \cdot u'_r \quad ; \quad i_r = \frac{m_s}{m_r} \frac{N_s}{N_r} i', \quad (5-48)$$

$$R_r = \frac{m_r}{m_s} \frac{N_r^2}{N_s^2} R'_r \quad ; \quad L_{r\sigma} = \frac{m_r}{m_s} \frac{N_r^2}{N_s^2} L'_{rr},$$

trong đó

N_s, N_r – Số vòng dây tác dụng của dây quấn stato, rôto;

m_s, m_r – số pha stato, rôto.

Ở chế độ xác lập có thể viết lại hệ (5-46) khi đặt $\frac{d}{dt} = 0$ và các vectơ không gian được thay bằng các số phức, ví dụ trong hệ tọa độ (x, y, o) thì:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_s \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + j\omega_o L_s & j\omega_o L_m \\ j\omega_s L_m & R_r + j\omega_s L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_s \\ \dot{I}_r \end{bmatrix} \quad (5-49)$$

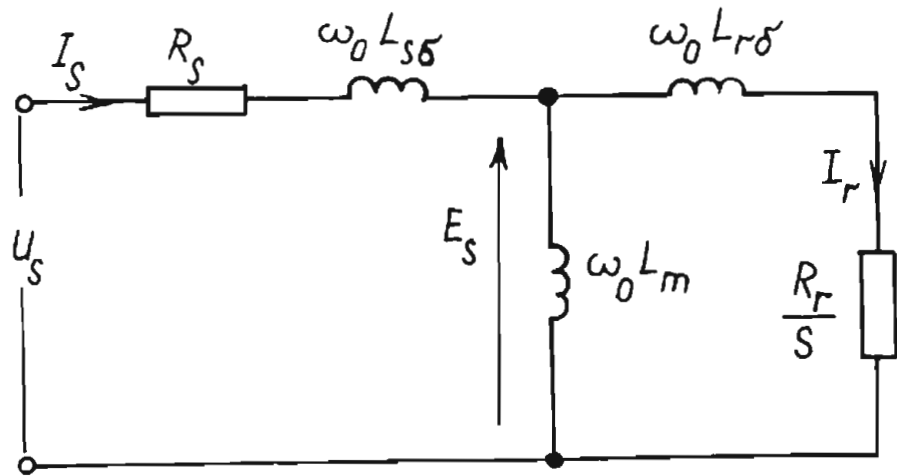
trong đó $\omega_s = \omega_o - \omega$ là tần số trượt của rôto.

Nhân cả hai vế của phương trình thứ hai với $\frac{1}{s}$ ta được hệ sau :

$$\dot{U}_s = R_s \dot{I}_s + j\omega_o (L_m + L_{s\sigma}) \dot{I}_s + j\omega_o L_m \dot{I}_r \quad (5-50)$$

$$0 = \frac{R_r}{s} \cdot \dot{I}_r + j\omega_o [L_m \dot{I}_s + (L_m + L_{r\sigma}) \dot{I}_r] ,$$

và ta tìm lại được sơ đồ thay thế của động cơ không đồng bộ trong hệ tọa độ quay đồng bộ với từ trường quay như trên H.5-13.



Hình 5-13. Sơ đồ thay thế động cơ KDB ở chế độ xác lập, trong hệ tọa độ quay.

Từ sơ đồ thay thế trên có thể tìm được các đại lượng vật lý của ĐKB, theo cách tính một sơ đồ mạch điện thông thường.

Biên độ vectơ dòng điện stato :

$$I_s = \sqrt{I_s I_s^*} = \frac{U_s \sqrt{(\frac{R_r}{\omega S})^2 + L_r^2}}{\omega_o F(s)} \tag{5-51}$$

$$F(s) = \sqrt{(\frac{R_s \cdot R_r}{\omega_o \cdot \omega_S} - L_s \cdot L_{r\sigma})^2 + (\frac{R_s}{\omega_o} L_r + \frac{R_r}{\omega_S} L_s)^2}.$$

Biên độ véctơ dòng điện rôto.

$$I_r = \frac{U_s}{\omega_o} \frac{L_m}{F(s)} \tag{5-52}$$

Biên độ vectơ từ thông động cơ :

$$\Psi = \frac{U_s \cdot L_m}{\omega_o} \frac{\sqrt{(\frac{R_r}{\omega S})^2 + L_{r\sigma}^2}}{F(s)} \tag{5-53}$$

Biên độ véc tơ từ thông stato :

$$\Psi_S = \frac{U_S \cdot L_S}{\omega_o} \frac{\sqrt{\left(\frac{R_r}{\omega_s}\right)^2 + L_{r\sigma}^2}}{F(s)} \quad (5-54)$$

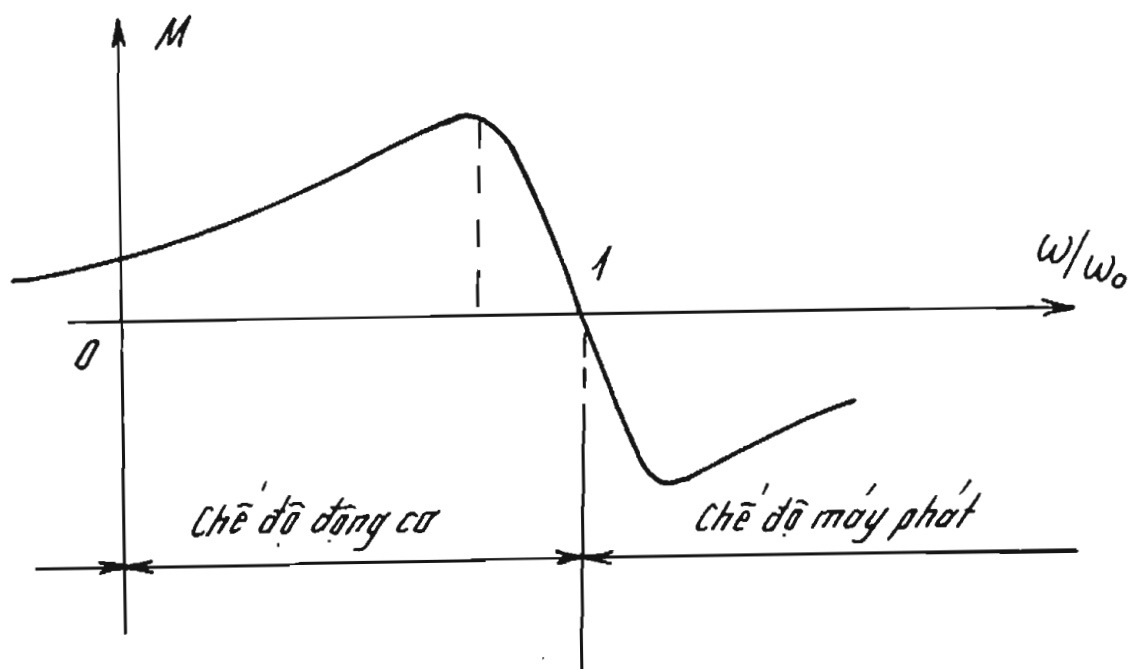
Mômen điện từ của động cơ

$$M = \frac{U_s^2}{\omega_o^2} \frac{L_m^2 R_r}{\omega_s} \frac{1}{F^2(s)} \quad (5-55)$$

Trong nhiều trường hợp có thể tính mômen động cơ qua dòng điện stato hoặc qua dòng điện rôto :

$$M = \frac{L_S(1-\sigma)}{\frac{R_r}{\omega L_r} + \frac{\omega L_r}{R_r}} I_s^2, \quad M = \frac{R_r}{\omega} I_r^2, \quad (5-56)$$

trong đó hệ số tản từ : $\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s \cdot L_r}$

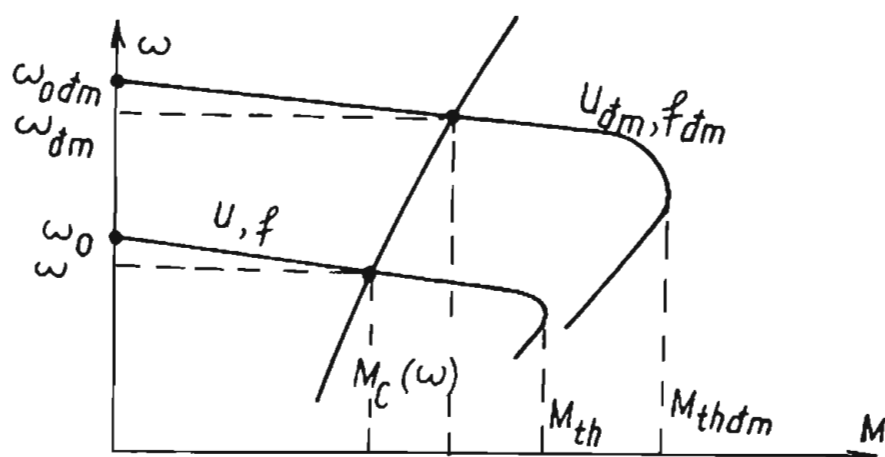


5-4.2. Điều chỉnh tần số – điện áp

a. Luật điều chỉnh tần số điện áp theo khả năng quá tải

Khi điều chỉnh tần số thì trở kháng, từ thông, dòng điện v.v... của động cơ thay đổi, để đảm bảo một số chỉ tiêu điều chỉnh mà không làm động cơ bị quá dòng thì cần phải điều chỉnh cả điện áp. Đối với hệ thống biến tần nguồn áp thường có yêu cầu giữ cho khả năng quá tải về mômen là không đổi trong suốt dải điều chỉnh tốc độ. Mômen cực đại mà động cơ sinh ra được chính là mômen tới hạn M_{th} , khả năng quá tải về mômen được quy định bằng hệ số quá tải mômen λ_M .

$$\lambda_M = \frac{M_{th}}{M}$$



Hình 5-14. Xác định khả năng quá tải về mômen.

Nếu bỏ qua điện trở của dây quấn stato $R_s = 0$ thì từ (5-55) có thể tính được mômen tới hạn như sau :

$$M_{th} = \frac{L_m^2}{2L_s^2 L_{r\sigma}} \frac{U_s^2}{\omega_o^2} = K \left(\frac{U_s}{\omega_o} \right)^2. \quad (5-57)$$

Điều kiện để giữ hệ số quá tải không đổi là

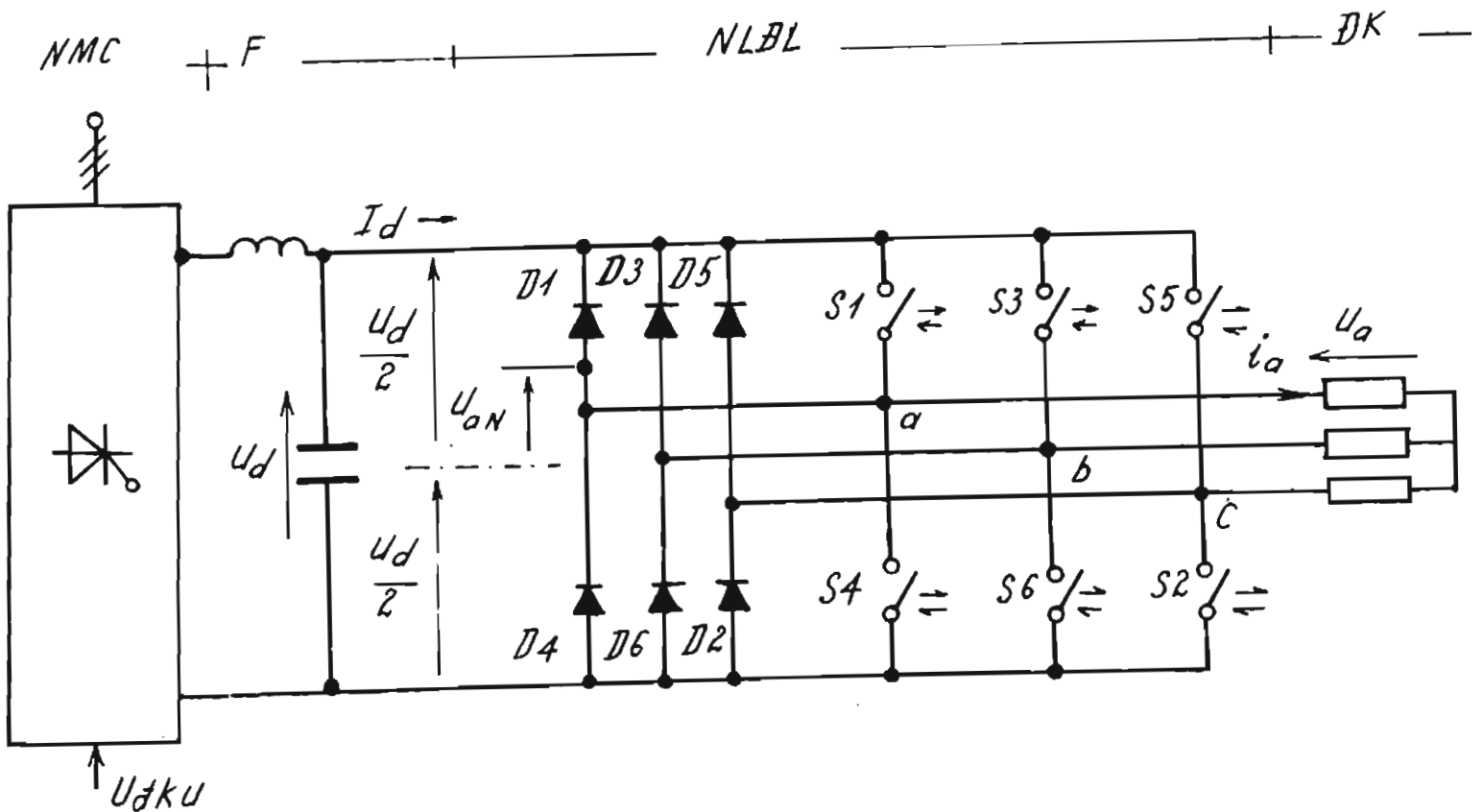
$$\lambda_M = \frac{M_{th}}{M} = \frac{M_{thdm}}{M_{dm}} \quad (5-58)$$

Thay thế (5-57) vào (5-58) và rút gọn ta được

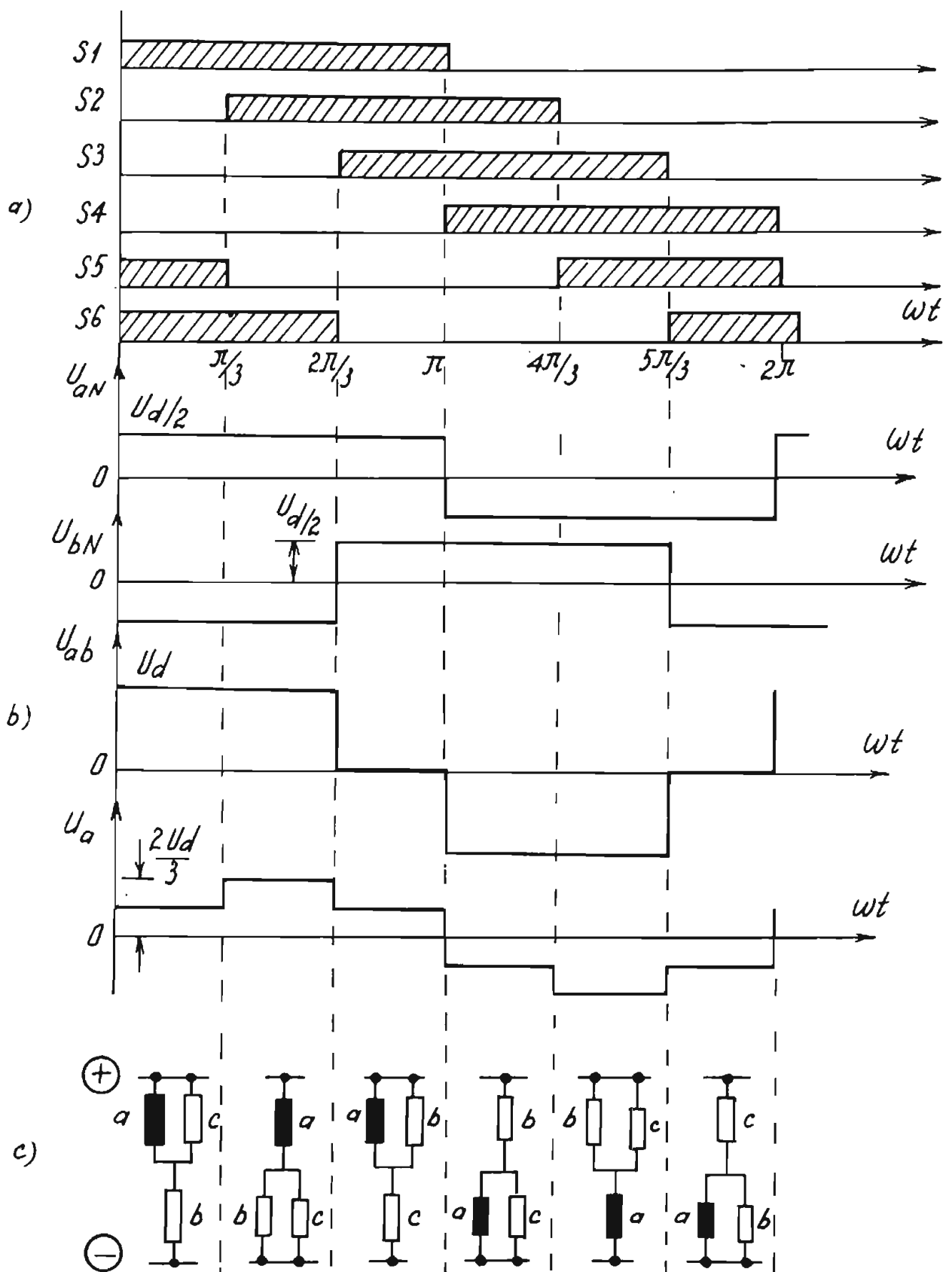
$$\frac{U_s}{\omega_o} = \frac{U_{sdm}}{\omega_{odm}} \sqrt{\frac{M}{M_{thdm}}} \quad (5-59)$$

Đặc tính cơ gần đúng của các máy sản xuất (phụ tải) có thể viết như sau :

$$M_c = M_{dm} \cdot \left(\frac{\omega_o}{\omega_{odm}} \right)^x \quad (5-60)$$



Hình 5-15. Sơ đồ nguyên lý biến tần nguồn áp.



Hình 5-16. Nguyên lý tạo điện áp xoay chiều ba pha : a, – Trật tự đóng ngắt khóa S; b– Đồ thị điện áp dây và pha, c – Sơ đồ nối tải vào nguồn.

Từ (5-60) và (5-59) rút ra được luật điều chỉnh tần số điện áp để có hệ số quá tải về mômen không đổi:

$$\frac{U_s}{U_{sdm}} = \left(\frac{\omega_o}{\omega_{odm}} \right)^{1+x/2} = \left(\frac{f_s}{f_{sdm}} \right)^{1+x/2}$$

Hay ở dạng đơn vị không tên :

$$u_s^* = f_s^{*(1+x/2)} \quad (5-61)$$

b. Các bộ biến đổi tần số – điện áp.

Sơ đồ nguyên lý mạch lực của một bộ biến tần nguồn áp trên H.5-15 bao gồm bốn khối chức năng chính: nguồn điện một chiều *NMC*, mạch lọc *F*, nghịch lưu độc lập nguồn áp *NL* và động cơ *KDB*. Nguồn một chiều và mạch lọc tạo ra điện áp một chiều có giá trị điều chỉnh được, nghịch lưu gồm 6 khóa bán dẫn $S_1, \dots, S_6$ và cần 6 van không điều khiển $D_1, \dots, D_6$. Các khóa nghịch lưu được đóng cắt theo thứ tự nhất định (xem H.5-16,a) tạo thành điện áp xoay chiều ba pha đặt lên động cơ chấp hành, góc dẫn của các khóa là 180° , thời điểm các khóa S_1, S_3, S_5 và S_2, S_4, S_6 bắt đầu dẫn lệch nhau 120° , do đó điện áp ra của nghịch lưu cũng lệch nhau về thời gian là 120° . Điện áp dây của nghịch lưu có dạng xung chữ nhật với độ rộng là 120° và thỏa mãn điều kiện phân tích thành chuỗi điều hòa

$$u_{ab} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} u_d \cdot \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k} \cos \frac{k\pi}{6} \cdot \sin(k\omega_e t + \frac{\pi}{6}) \quad (5-62)$$

$$k = 1 + 6C; \quad C = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Thành phần điều hòa cơ bản của (5-62) có biên độ

$$U_{abm}^1 = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} u_d = 1,103 u_d, \quad (5-63)$$

và có giá trị hiệu dụng là :

$$U_{ab}^1 = \frac{\sqrt{6}}{\pi} u_d = 0,78 u_d \quad (5-64)$$

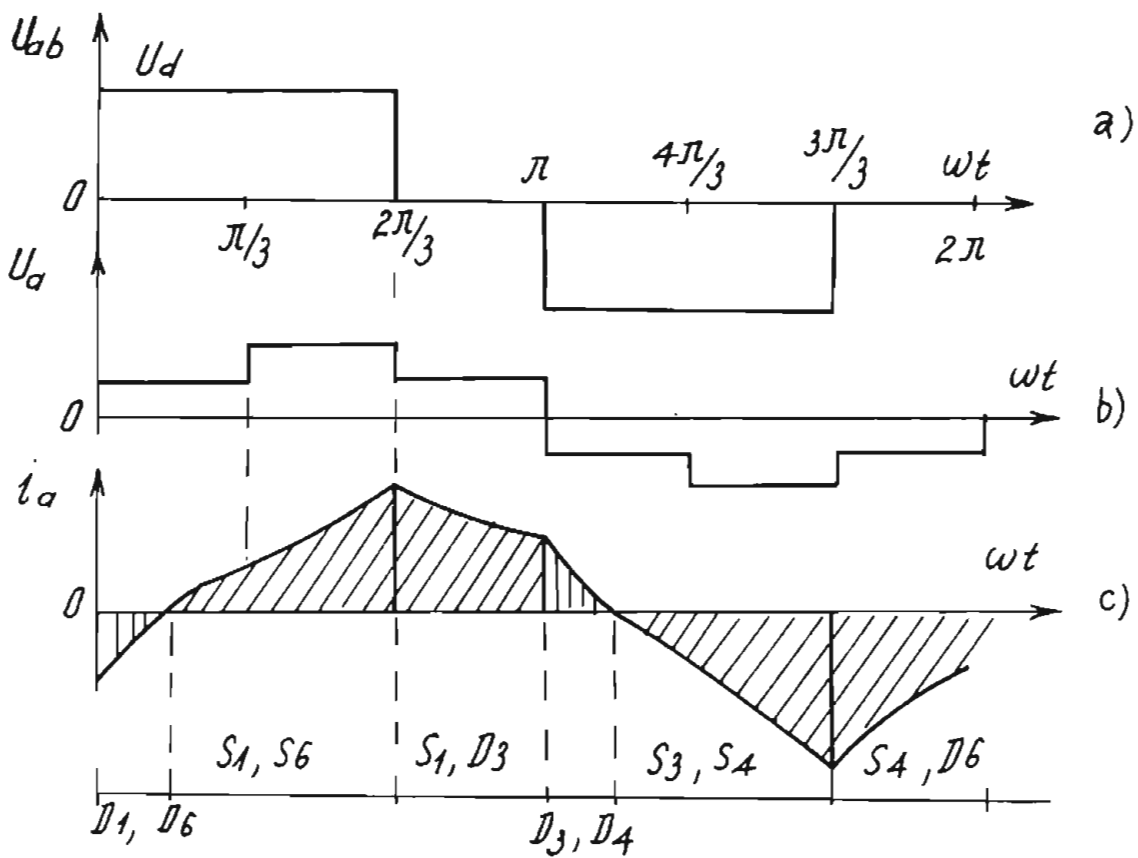
Giá trị hiệu dụng của chuỗi (5-62) :

$$U_{ab} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} u_d = 0,816 u_d. \quad (5-65)$$

Biên độ tăng sóng hài bậc k :

$$U_{abm}^k = \frac{2\sqrt{3}}{k \cdot \pi} u_d. \quad (5-66)$$

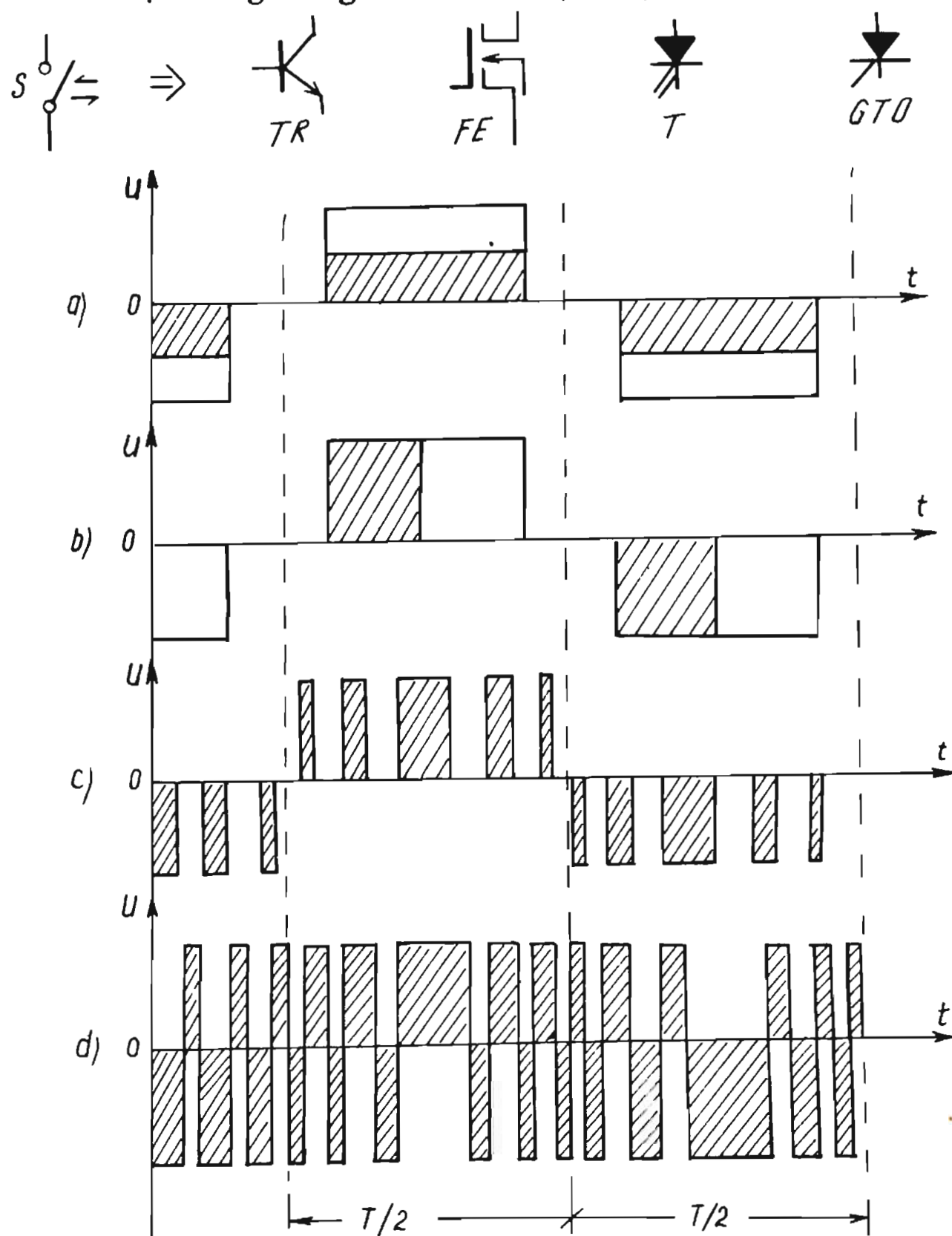
Đồ thị điện áp pha của động cơ có dạng bậc thang, tại thời điểm các khóa chuyển mạch thì điện áp pha có đột biến nhảy cấp, giá trị từng cấp được xác định như trên H.5-16, b. Dòng điện của động cơ là nghiệm của phương trình vi phân mô tả động cơ được giải ở từng đoạn, khi điện áp pha không đổi. Dòng điện có dạng xoay chiều không điều hòa – xem H.5-16.



Hình 5-16. Đồ thị dòng điện và khoảng dẫn của các van.

Các khóa S là các khóa bán dẫn, ở các truyền động công suất nhỏ thường dùng các tranzito, ở các truyền động công suất lớn thường

dùng các van tiristo, khi này việc khóa (ngắt) các van được thực hiện bằng các mạch đặc biệt như dùng tụ điện và các van thiristo phụ v.v... Thời gian gần đây sử dụng các van tiristo đặc biệt là các van khóa được bằng xung điều khiển (GTO).



Hình 5-17. Các phương pháp điều chỉnh điện áp trong nghịch lưu tần số – điện áp.

- a) Điều chỉnh biên độ; b) Điều chỉnh độ rộng một xung;
- c) Điều chỉnh độ rộng bằng điều chế một cực tính;
- d) Điều chế độ rộng xung hai cực tính.

Giá trị điện áp động cơ được điều chỉnh hoặc bởi điều chỉnh biên độ điện áp một chiều – bằng chỉnh lưu điều khiển hoặc bằng bộ băm xung áp (H.5-17,a). Điện áp cũng có thể điều chỉnh bằng điều chỉnh thời gian đóng của các khóa S (H.5-17, b), hoặc là bằng điều chế độ rộng các xung áp bằng chỉnh nghịch lưu (H.5-17, c, d). Phương pháp sau được sử dụng rộng rãi nhất là ở các truyền động công suất nhỏ, do có ưu điểm nổi bật là vừa điều chỉnh được điện áp, vừa làm "sin hóa" điện áp đặt vào động cơ. Với số lượng các xung có độ rộng thích hợp, phương pháp điều chế độ rộng xung có thể làm triệt tiêu các sóng hài bậc cao.

c. Điều chỉnh từ thông.

Chế độ định mức là chế độ làm việc tối ưu về tuổi thọ của động cơ không đồng bộ. Trong chế độ này, từ thông là định mức và mạch từ có công suất tối đa. Luật điều chỉnh điện áp tần số (5-61) là luật gần đúng giữ từ thông không đổi trên toàn dải điều chỉnh. Tuy nhiên từ thông động cơ, trên mỗi đặc tính, còn phụ thuộc rất nhiều vào độ trượt s , tức là phụ thuộc mômen tải trên trục động cơ. Vì thế, trong các hệ điều chỉnh yêu cầu chất lượng cao cần tìm cách bù từ thông.

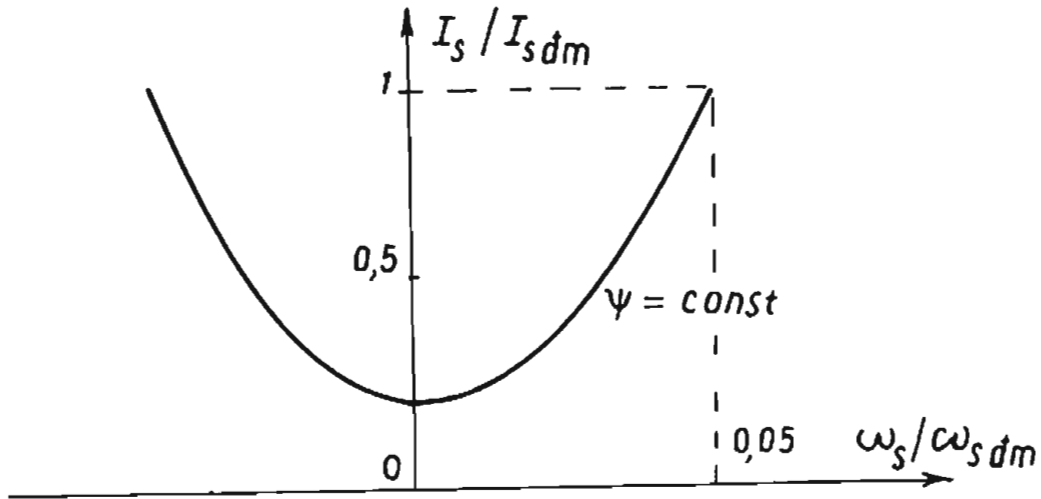
Khi giải đồng thời các phương trình (5-44), (5-49) có thể tìm được quan hệ giữa dòng điện stato và từ thông rôto.

$$I_S = \frac{\Psi_r}{L_m} \sqrt{1 + (T_r \omega_s)^2}, \quad (5-67)$$

trong đó $T_r = L_r/R_r$.

Biểu thức (5-67) có nghĩa là nếu muốn giữ từ thông không đổi $\Psi_r = \Psi_{r\text{dm}}$ thì dòng điện phải được điều chỉnh theo độ trượt. Sử dụng sơ đồ thay thế H.5-13 và các biểu thức từ (5-41) đến (5-50) có thể chứng minh được rằng : Khi giữ biên độ từ thông rôto không đổi thì vectơ từ thông rôto và vectơ dòng điện rôto luôn vuông góc nhau trong không gian. Mặt khác, do mômen điện từ là tích vectơ của hai vectơ này nên khi chúng vuông góc nhau thì mômen là tích của hai đại lượng:

$$M = \Psi_r \cdot I_r \quad (5-68)$$



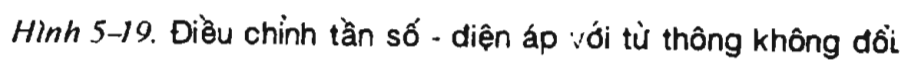
Hình 5-18. Quan hệ $I_s(\omega_s)$ khi từ thông là không đổi.

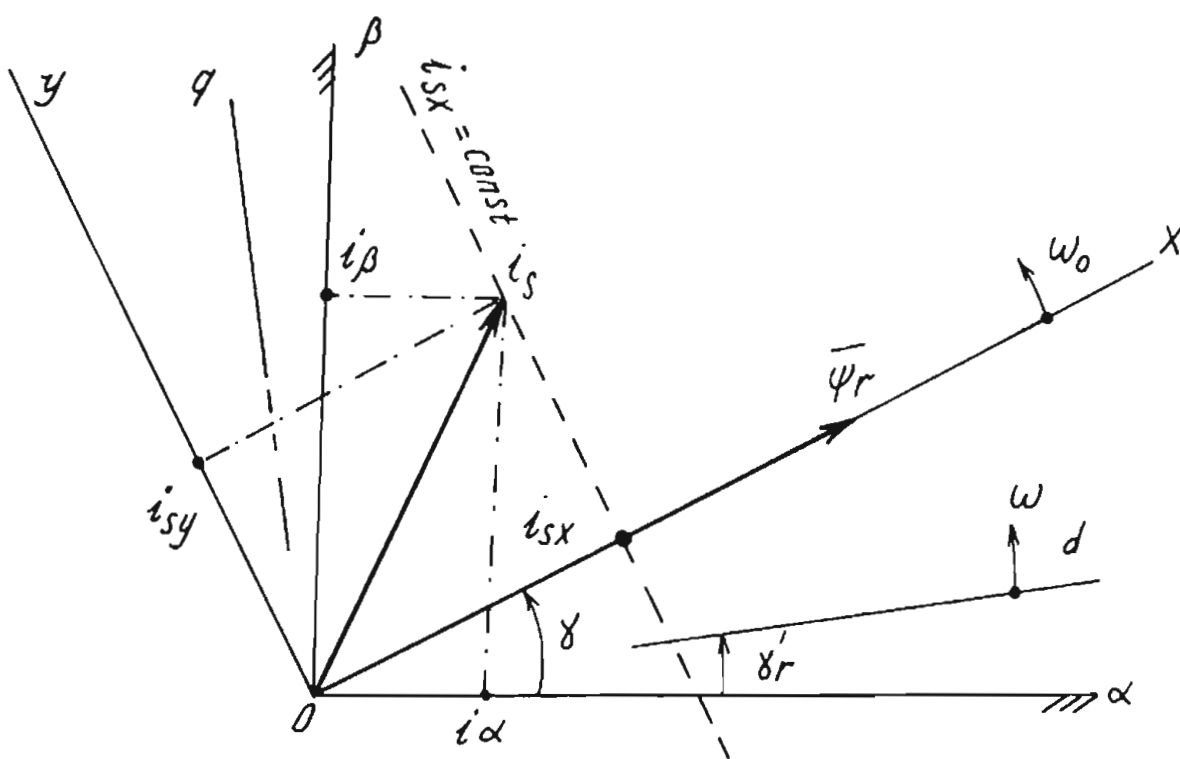
Điều này cũng có nghĩa là mômen điện từ sẽ tỷ lệ với biên độ dòng điện rôto, giống như quan hệ giữa mômen và dòng điện phần ứng trong động cơ một chiều kích từ độc lập khi từ thông kích từ là định mức. Sơ đồ nguyên lý và đặc tính điều chỉnh của hệ kín như trên H.5-19.

Cấu trúc sơ đồ điều chỉnh từ thông như trên H.5-19 chỉ là điều chỉnh gián tiếp từ thông, thông qua điều chỉnh điện áp của động cơ, vì vậy mà độ chính xác điều chỉnh thấp.

Phương pháp điều chỉnh cả độ lớn (biên độ) và vị trí (pha) của dòng điện giúp tạo được hệ thống điều chỉnh từ thông hoàn hảo mà không cần xen-xơ từ thông. Véc tơ từ thông rôto quy đổi quay đồng bộ với từ trường quay, trong khi chuyển vị các véc tơ và các phương trình, coi véc tơ từ thông trùng với một trục tọa độ – trục ox – như trên H.5-20.

Góc γ mang thông tin về vị trí vectơ từ thông, do thành phần i_{sx} nằm cùng phương với từ thông, do đó điều chỉnh từ thông cũng chính là điều chỉnh i_{sx} . Thành phần i_{sy} nằm vuông góc với véc tơ từ thông nên nếu giữ biên độ từ thông không đổi thì thành phần i_{sy} sẽ





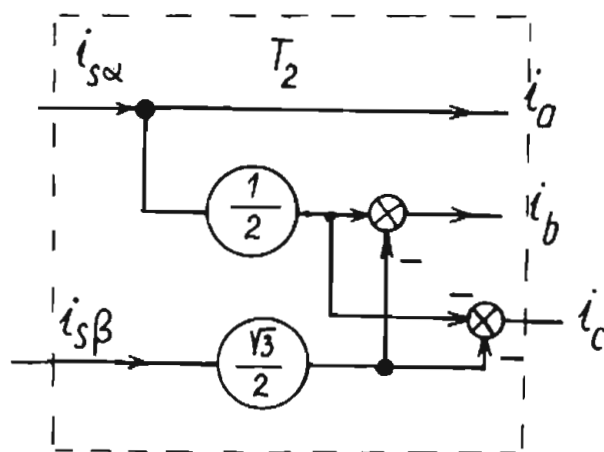
Hình 5-20. Chuyển vị các trục tọa độ.

tỷ lệ với dòng điện rôto, và do đó tỷ lệ với mômen điện từ. Vectơ dòng điện stato có các thành phần được xác định từ hình 5-20 :

$$\begin{aligned} i_{s\alpha} &= i_{sx} \cdot \cos\gamma - i_{sy} \cdot \sin\gamma, \\ i_{s\beta} &= i_{sx} \sin\gamma + i_{sy} \cdot \cos\gamma \end{aligned} \quad (5-69)$$

Khi giữ từ thông không đổi và điều chỉnh mômen thì do đặc tính cơ có độ cứng hữu hạn nên tốc độ trượt $\omega_s = \omega_0 - \omega$ cũng thay đổi tỷ lệ với mômen, còn đầu mút của véc tơ dòng điện i_s sẽ trượt dọc theo đường thẳng $i_{sx} = \text{const.}$

Sơ đồ khối của hệ điều chỉnh vị trí và biên độ véc tơ dòng điện được xây dựng như



Hình 5-20b.



trên H.5-21. Các bộ điều chỉnh tốc độ (R_ω) và dòng điện (R_I) có cấu trúc và chức năng như đã mô tả ở các phần trước. Bộ biến đổi tần số điện áp *BBT* là loại biến tần – điện áp điều chỉnh riêng rẽ từng pha bằng phương pháp điều chế độ rộng xung, *SP* là xenxơ xác định vị trí γ_r của rôto. Khối tính toán chuyển vị T_1 thực hiện tính toán các phương trình chuyển vị (5-69), trong đó góc γ được xác định như sau :

$$\gamma = \gamma_r + \int \omega_s \cdot dt = \gamma_r + K_m \cdot \int i_{sy} \cdot dt.$$

Khối chuyển vị T_2 (H.5-20b) thực hiện chuyển vị ngược từ hệ tọa độ hai pha ($\alpha, \beta, 0$) sang hệ ba pha (a, b, c) tính theo (5-39) :

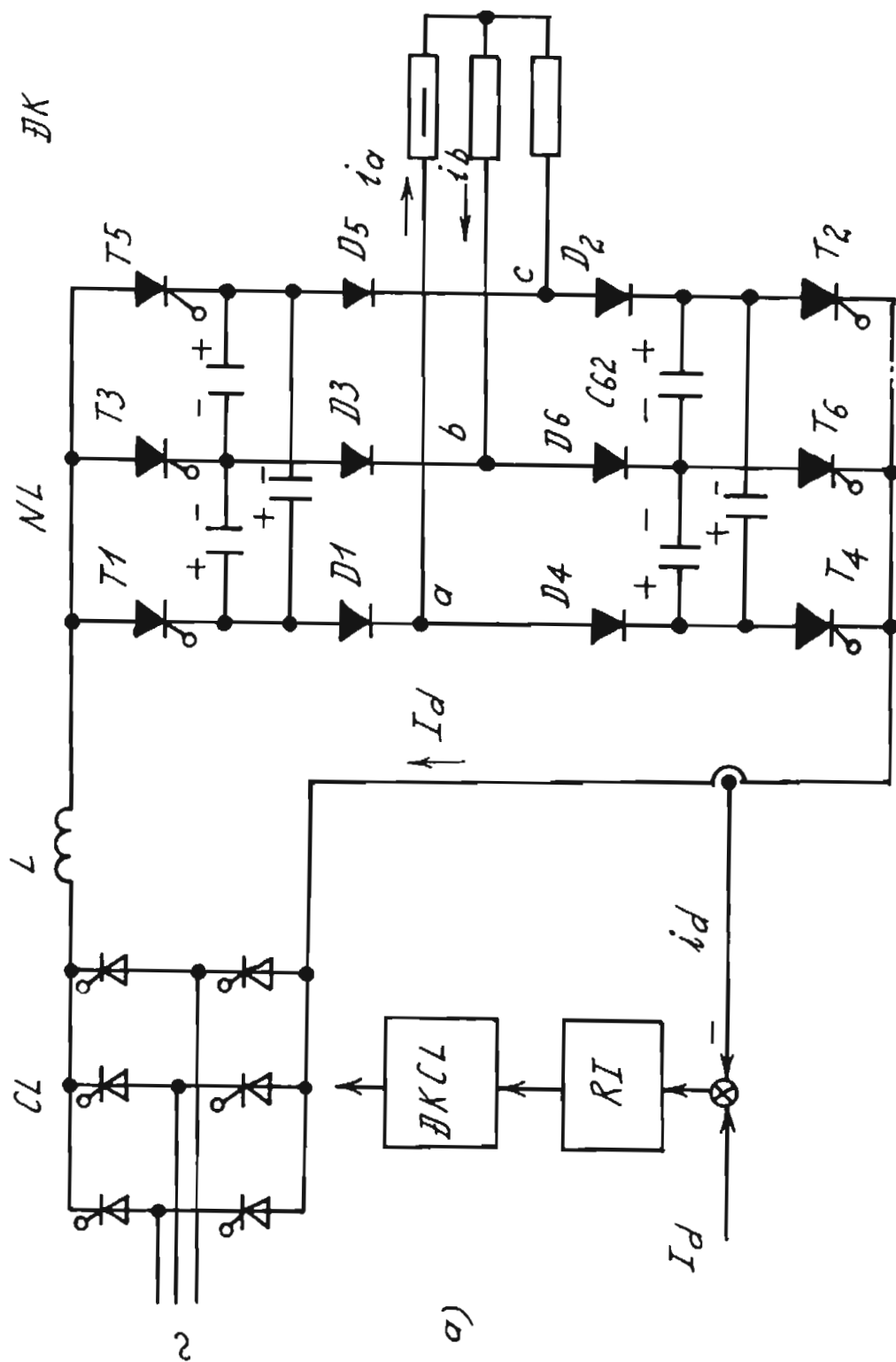
$$\begin{aligned} i_a &= i_{s\alpha} \\ i_b &= \frac{1}{2} (-i_{s\alpha} + \sqrt{3}i_{s\beta}) \\ i_c &= \frac{1}{2} (-i_{s\alpha} - \sqrt{3}i_{s\beta}) \end{aligned} \quad (5-70)$$

5-4.3. Điều chỉnh tần số nguồn dòng điện

a. Biến tần nguồn dòng

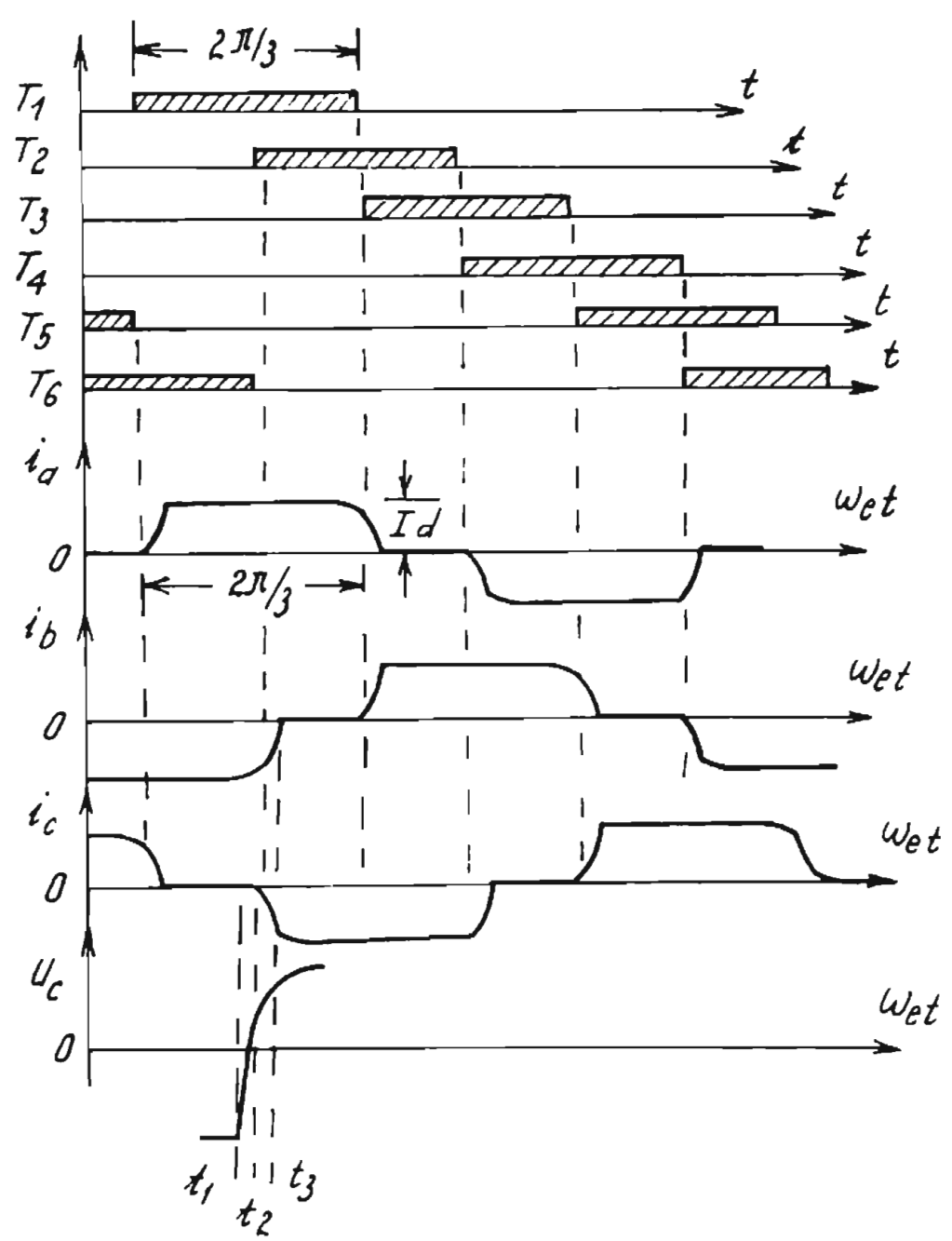
Biến tần nguồn dòng có ưu điểm là tăng được công suất đơn vị máy, mạch lực đơn giản mà vẫn thực hiện hãm tái sinh động cơ. Nguồn điện một chiều cấp cho nghịch lưu phải là nguồn dòng điện, tức là dòng điện không phụ thuộc vào tải mà chỉ tùy thuộc vào tín hiệu điều khiển. Để tạo nguồn dòng điện một chiều thường dùng chỉnh lưu điều khiển hoặc băm xung áp một chiều có bộ điều chỉnh dòng điện có cấu trúc tỷ lệ tích phân (*PI*), mạch lọc là điện kháng tuyến tính có trị số điện cảm đủ lớn. Do có nguồn dòng điện một chiều nên việc chuyển mạch các van bán dẫn có thể thực hiện bằng điện áp trên các tụ chuyển mạch. Sơ đồ nguyên lý mạch lực một bộ biến tần nguồn dòng được mô tả trên H.5-22, a.

Thứ tự đóng ngắt các van $T_1 - T_6$ và dòng điện các pha của động cơ được mô tả trên H.5-22, b. Trong khoảng thời gian các van T_1 và T_6 dẫn thì dòng điện các pha $i_a = -i_b$, các tụ chuyển mạch được nạp điện và có cực tính như trên sơ đồ nguyên lý. Khi bắt đầu đặt



Hình 5-22. Sơ đồ nguyên lý nghịch lưu dòng điện và đồ thị dòng điện động cơ.(a)

xung mở lên tiristo T_2 thì T_2 dẫn và nối cực dương của tụ điện C_{62} lên ca tốt của T_6 làm cho T_6 khóa. Do tải có tính chất điện cảm mà dòng i_b không tắt ngay, dòng này khép mạch qua $D_6 -$ tụ C_{62} song song với mạch nối tiếp $C_{46} - C_{42} - T_2$, nạp cho tụ C_{62} , điện áp trên C_{62} tăng tuyến tính cho đến khi xuất hiện dòng điện i_c qua pha C của tải, bắt đầu sự chuyển dòng của D_6 cho D_2 , cũng là sự chuyển dòng từ pha b sang pha c. Kết thúc quá trình chuyển mạch khi $i_b = 0$ và $i_c = I_d$, tụ điện C_{62} được phân cực ngược lại, chuẩn bị cho lần chuyển mạch sau. Do mạch stato nối hình sao nếu dòng điện các pha là các xung chữ nhật có độ rộng là $2\pi/3$ và chiều cao đúng bằng I_d .



Hình 5-22. Sơ đồ nguyên lý nghịch lưu dòng điện và đồ thị dòng điện động cơ. (b)

b. Đặc tính cơ

Dòng điện stato của động cơ được xác định bởi biến tần nguồn dòng, ở chế độ xác lập chỉ cần phương trình thứ hai của hệ (5-49) là đã mô tả quá trình dòng và áp của động cơ:

$$[0] = [j\omega_s L_m \quad R_r + j\omega_s L_r] \begin{bmatrix} I_s \\ I_r \end{bmatrix}$$

Phương trình trên có thể viết ở dạng các thành phần của vectơ không gian:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_s L_m & R_r & -\omega_s L_r \\ \omega_s L_m & 0 & \omega_s L_r & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sx} \\ i_{sy} \\ i_{rx} \\ i_{ry} \end{bmatrix} \quad (5-71)$$

Còn từ phương trình (5-46) cũng có thể tính được mômen :

$$M = \frac{3}{2} p' L_m (i_{rx} i_{sy} - i_{sx} i_{ry}). \quad (5-72)$$

Giải (5-71) tìm được dòng điện rôto:

$$i_{rx} = \frac{\omega_s L_m}{R_r^2 + (\omega_s L_r)^2} (R_r i_{sx} + \omega_s i_{sy}),$$

$$i_{ry} = - \frac{\omega_s L_m}{R_r^2 + (\omega_s L_r)^2} (R_r i_{sy} + \omega_s i_{sx}),$$

và mômen điện từ :

$$M = \frac{3p'}{2} \frac{L_m^2 \omega_s I_s^2}{R_r (1 + \omega_s^2 T_r^2)}, \quad (5-73)$$

với độ trượt tới hạn : $s_{th} = \frac{R_r}{\omega_o L_r}$, $\omega_{sth} = \frac{R_r}{L_r}$,

và mômen tới hạn : $M_{th} = \frac{3p'}{4} \cdot \frac{L_m^2}{L_r} I_s^2$. (5-74)

Ở hệ thống biến tần nguồn dòng, mômen tới hạn chỉ phụ thuộc vào bình phương dòng điện stato mà không phụ thuộc tần số.

c. Điều chỉnh tần số – dòng điện

Việc điều chỉnh từ thông trong hệ thống biến tần nguồn dòng được thực hiện tương tự như hệ thống biến tần nguồn áp, có thể dùng biểu thức (5-67) và sơ đồ cấu trúc trên H.5-19. Mặt khác, theo (5-73) thì mỗi đặc tính cơ ứng với một giá trị cố định của dòng điện stato, do đó, nếu động cơ làm việc ở điểm tới hạn của đặc tính thì khả năng sinh mômen là lớn nhất. Sơ đồ cấu trúc và đặc tính cơ của hệ như trên H.5-23.

Với cấu trúc và thông số thích hợp của các bộ điều chỉnh R_ω , R_I thì phương pháp điều chỉnh tần số trượt không đổi, khi mômen tải có dạng hằng số : $M_c = \text{const}$, là đồng nhất với điều chỉnh dòng điện stato không đổi trên mọi đặc tính điều chỉnh. Đặc tính cơ tĩnh của hệ thống là quỹ tích các điểm tới hạn và có dạng tương tự đặc tính cơ của động cơ đồng bộ.

d) Điều chỉnh vectơ dòng điện.

Tương tự như hệ thống biến tần nguồn áp ở hệ thống biến tần nguồn dòng cũng có thể thực hiện điều chỉnh từ thông bằng cách điều chỉnh vị trí của vectơ dòng điện không gian. Điều khác biệt là trong hệ biến tần nguồn dòng thì dòng điện là liên tục và việc chuyển mạch của các van phụ thuộc lẫn nhau. Sơ đồ thay thế của động cơ làm việc với nguồn (xem H.5-24).

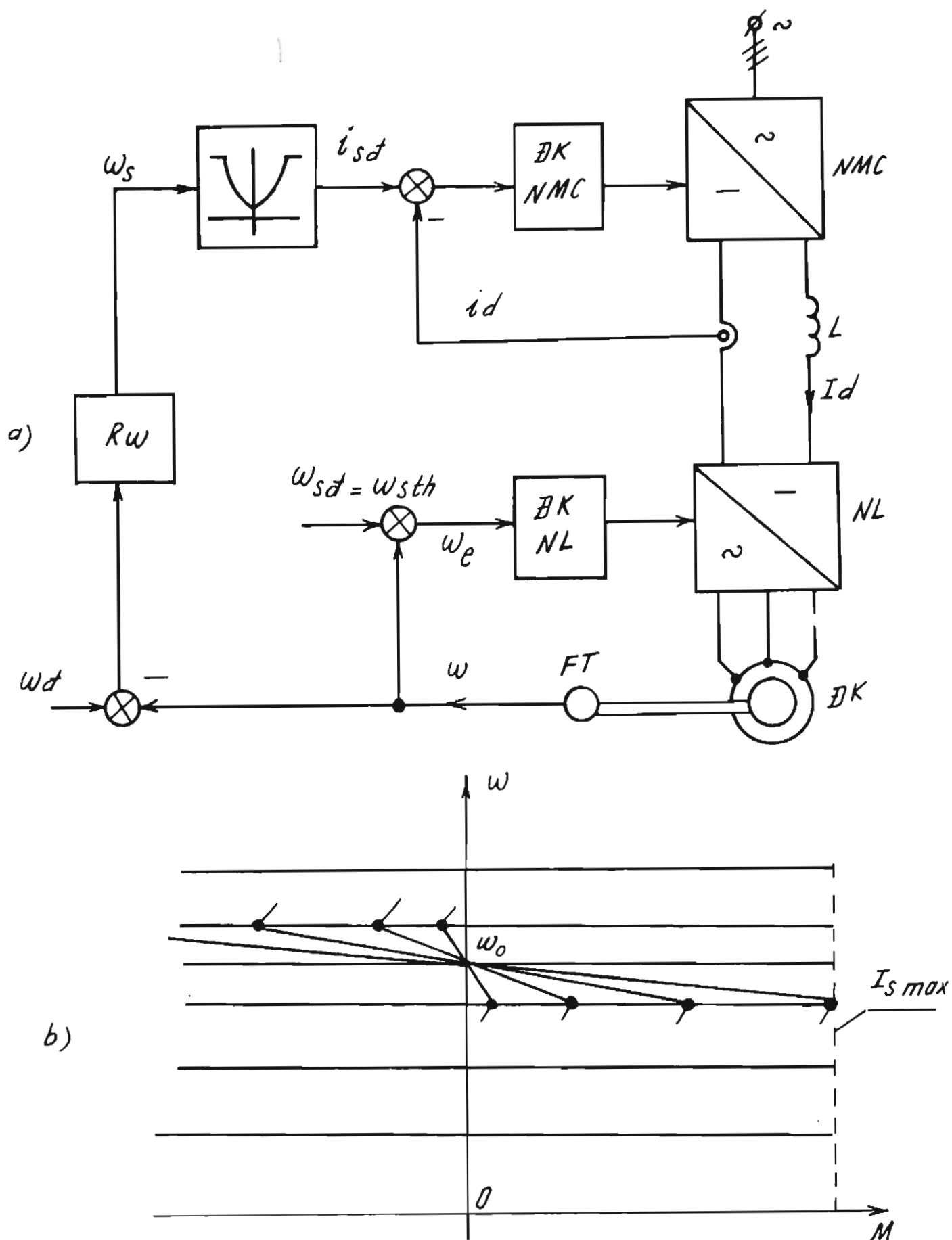
Dòng điện, từ thông và mômen được tính như sau

$$I_s = I_\mu - I_r \quad (5-75)$$

$$\Psi_m = L_m I_\mu; \quad \Psi_r = L_m I_\mu + L_{r\sigma} I_r \quad (5-76)$$

$$M = \frac{3}{2} \frac{p'}{\omega} \cdot \frac{1-s}{s} R_r I_r^2 \quad (5-77)$$

Biên độ từ thông rôto có thể viết ở dạng thông qua dòng điện rôto

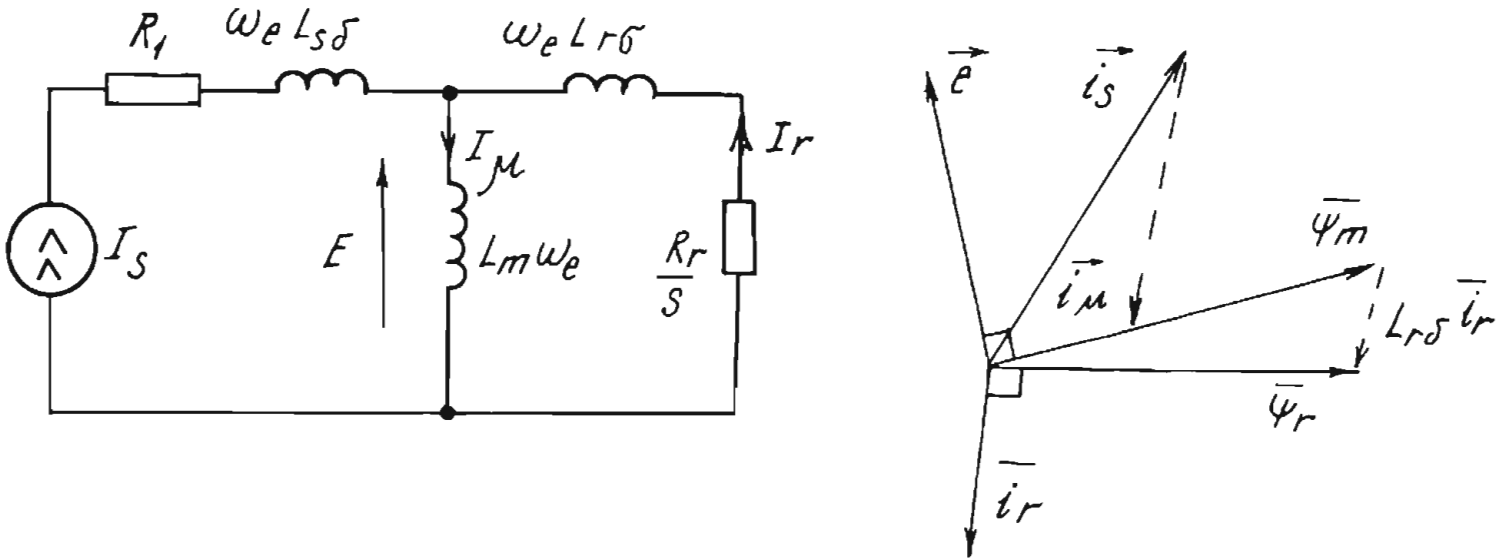


Hình 5 – 23. Hệ thống biến tần nguồn dòng, điều chỉnh tần số trượt không đổi $\omega_s = \omega_{sth}$.
a) Sơ đồ khối; b) Đặc tính điều chỉnh.

$$\Psi_r = -\frac{R_r}{\omega_s} \cdot I_r. \quad (5-78)$$

Như vậy, điều kiện để giữ từ thông không đổi $\Psi_r = \Psi_{r\text{dm}}$ là :

$$\omega_s = \frac{R_r}{\Psi_{r\text{dm}}} \cdot I_r = \eta I_r. \quad (5-79)$$



Hình 5-24. Sơ đồ thay thế và đồ thị vectơ của động cơ không đồng bộ.

Do thỏa mãn từ thông không đổi nên góc lệch giữa vectơ từ thông và vectơ dòng điện rôto là $\pi/2$ và mômen điện từ là (5-68):

$$M = \Psi \cdot I_r.$$

Từ các đồ thị vectơ H.5-24 và H.5-25 suy ra :

$$i_{sx} = \frac{\Psi_r}{L_m} = \frac{R_r}{L_m \cdot \eta} \quad (5-80)$$

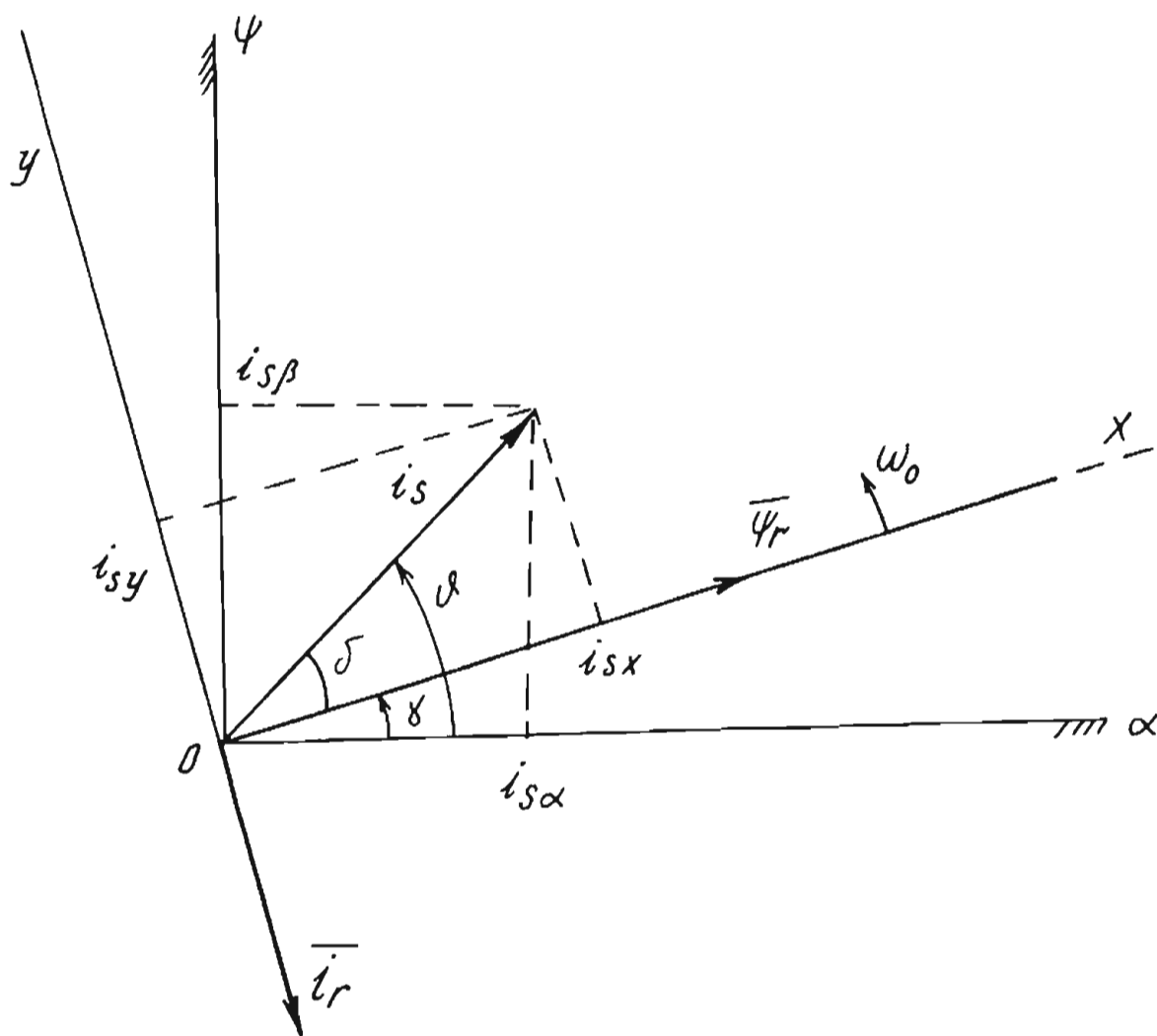
$$i_{sy} = \frac{L_{r\sigma}}{L_m} \cdot I_r = \frac{L_{r\sigma} \cdot \eta}{L_m \cdot R_r} \cdot M. \quad (5-81)$$

Do đó i_{sx} là không đổi và i_{sy} tỷ lệ với mômen điện từ.

Nếu $\Psi_r = \psi_r \cdot e^{j\omega_e t}$

Thì vectơ I_s sẽ được tính như sau :

$$I_S = \sqrt{i_{sx}^2 + i_{sy}^2} \cdot \exp\{j(\omega_e t + \arctg \frac{i_{sy}}{i_{sx}})\}. \quad (5-82)$$



Hình 5-25. Chuyển vị các hệ tọa độ.

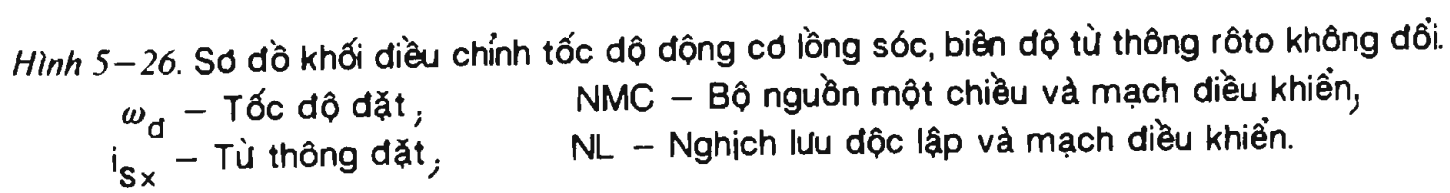
Khi chuyển vị vectơ i_s về hệ tọa độ đứng yên (α, β, o) ta đã có mô tả (5-69) :

$$i_{s\alpha} = i_{sx} \cdot \cos \gamma - i_{sy} \cdot \sin \gamma$$

$$i_{s\beta} = i_{sx} \cdot \sin \gamma + i_{sy} \cdot \cos \gamma$$

và góc lệch của i_s so với Ψ_r

$$\delta = \arctg \frac{i_{sy}}{i_{sx}} \quad .$$



Trong hệ tọa độ gắn với stato thì biên độ vectơ dòng stato là :

$$I_s = \sqrt{i_{s\alpha}^2 + i_{s\beta}^2}, \quad (5-83)$$

và góc quay của vectơ dòng điện này là

$$\vartheta = \gamma + \delta = \arctg \frac{i_{s\beta}}{i_{s\alpha}}. \quad (5-84)$$

Tổng hợp tất cả các phương trình đã phân tích ở trên ta có thể thiết lập được sơ đồ khối điều chỉnh hệ thống biến tần nguồn dòng-động cơ không đồng bộ ở chế độ xác lập như H.5-26.

Cũng có thể chứng minh được rằng sơ đồ khối trên cũng đáp ứng được các luật điều chỉnh cả trong chế độ quá độ. Điều chỉnh biên độ véc tơ dòng stato thực hiện bằng điều chỉnh dòng điện một chiều, điều chỉnh vị trí vectơ thực hiện bằng điều chỉnh tần số nghịch lưu.

Chương 6

ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ

6-1. KHÁI QUÁT CHUNG

Động cơ đồng bộ ba pha, trước đây thường dùng cho loại truyền động không điều chỉnh tốc độ, công suất lớn hàng trăm kW đến hàng MW (các máy nén khí, quạt gió, bơm nước, máy nghiền v.v...).

Ngày nay do sự phát triển mạnh mẽ của công nghiệp điện tử, động cơ đồng bộ được nghiên cứu ứng dụng nhiều trong công nghiệp, ở mọi loại giải công suất từ vài trăm W (cho cơ cấu ăn dao máy cắt gọt kim loại, cơ cấu chuyển động của tay máy, người máy), đến hàng MW) cho các truyền động kéo tàu tốc độ cao TGV, máy cán v.v...)

Tốc độ quay động cơ được tính bằng biểu thức:

$$\omega_s = \frac{2\pi f_s}{p}, \quad (6-1)$$

trong đó: f_s là tần số nguồn cung cấp.

p là số đôi cực của động cơ.

Từ (6-1) ta thấy điều chỉnh tần số nguồn cung cấp sẽ điều chỉnh được tốc độ động cơ. Do vậy cấu trúc hệ truyền động điều chỉnh tốc độ động cơ đồng bộ bao giờ cũng có bộ biến đổi tần số.

Trong chương này chúng ta sẽ nghiên cứu cấu trúc mạch lực, mạch điều khiển cũng như các đặc tính và các quá trình điện từ trong hệ truyền động bộ biến đổi tần số – động cơ đồng bộ (BBD–ĐB)

6-2. MÔ TẢ TOÁN HỌC ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ

Với giả thiết mạch từ động cơ chưa bão hòa, các cuộn dây stato ba pha đối xứng, các tham số của động cơ không thay đổi, ta có thể

dùng phép biến đổi tuyến tính Park. Tất cả quá trình điện từ cơ của động cơ được biểu diễn trên hệ trục tọa độ d, q (stato) và D, Q (rôto) (xem H.6-1b).

Đối với mạch stato:

$$\begin{aligned} U_d &= R_s i_d + \frac{d\Psi_d}{dt} - \omega \Psi_q, \\ U_q &= R_s i_q + \frac{d\Psi_q}{dt} + \omega \Psi_d. \end{aligned} \quad (6-2)$$

Đối với mạch kích từ:

$$U_{kt} = R_{kt} i_{kt} + \frac{d\Psi_{Kt}}{dt}. \quad (6-3)$$

Đối với mạch cuộn dây khởi động :

$$\left. \begin{aligned} U_Q &= R_Q i_Q + \frac{d\Psi_Q}{dt}, \\ U_D &= R_D i_D + \frac{d\Psi_D}{dt}. \end{aligned} \right\} \quad (6-4)$$

Phương trình mô men động cơ:

$$M = \Psi_d i_q - \Psi_q i_d \quad (6-5)$$

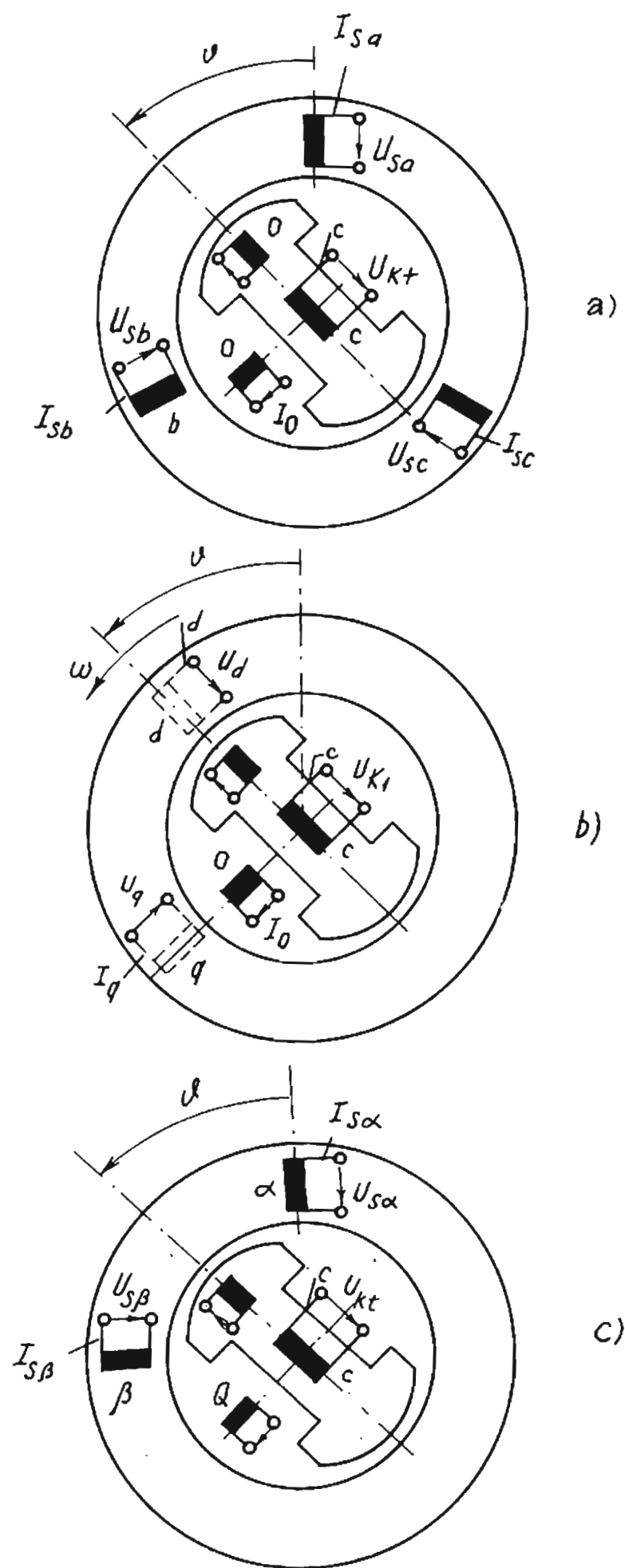
Phương trình động học :

$$M = J \frac{d\omega}{dt} + M_c. \quad (6-6)$$

Phương trình từ thông

trong đó : $|\Psi| = |L| \cdot |i|, \quad (6-7)$

$$|\Psi| = \begin{vmatrix} \Psi_d \\ \Psi_q \\ \Psi_{kt} \\ \Psi_D \\ \Psi_Q \end{vmatrix} ; \quad |i| = \begin{vmatrix} i_d \\ i_q \\ i_{kt} \\ i_D \\ i_Q \end{vmatrix}$$



Hình 6-1. Mô tả cấu trúc động cơ đồng bộ.
a) Bapha, b) Biến đổi d, q, c) Biến đổi α, β .

$$|L| = \begin{vmatrix} L_d & 0 & L_{dk} & L_{d0} & 0 \\ 0 & L_q & 0 & 0 & L_{pQ} \\ L_{kd} & 0 & L_{kt} & L_{KD} & 0 \\ L_D & 0 & L_{Dk} & L_D & 0 \\ 0 & L_{Qp} & 0 & 0 & L_Q \end{vmatrix}$$

$L_d, L_q, L_{kt}, L_D, L_Q$ là điện cảm toàn phần theo các trục, $L_{dD}, L_{Dd}, L_{dk}, L_{kd}; L_{pQ}, L_{Qp}, L_{kD}, L_{DK}$ là hồ cảm giữa các trục.

Sơ đồ cấu trúc mô tả động cơ đồng bộ trình bày trên H.6-2. Ngoài ra có thể dùng phép biến đổi tuyến tính với hai trục cố định α, β để mô tả toán học động cơ (xem H.6-1c).

6-3. ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ TRONG CHẾ ĐỘ XÁC LẬP

Từ hệ phương trình mô tả toán học (6-2) đến (6-7), thay toán tử đạo hàm $\frac{d}{dt} = 0$, đồng thời gần đúng, bỏ qua điện trở stato ($R_S = 0$), ta nhận được các phương trình chế độ xác lập:

$$U_d = -U_S \sin\theta = -I_q X_q \quad (6-8)$$

$$U_q = U_S \cos\theta = E - I_d x_d \quad (6-9)$$

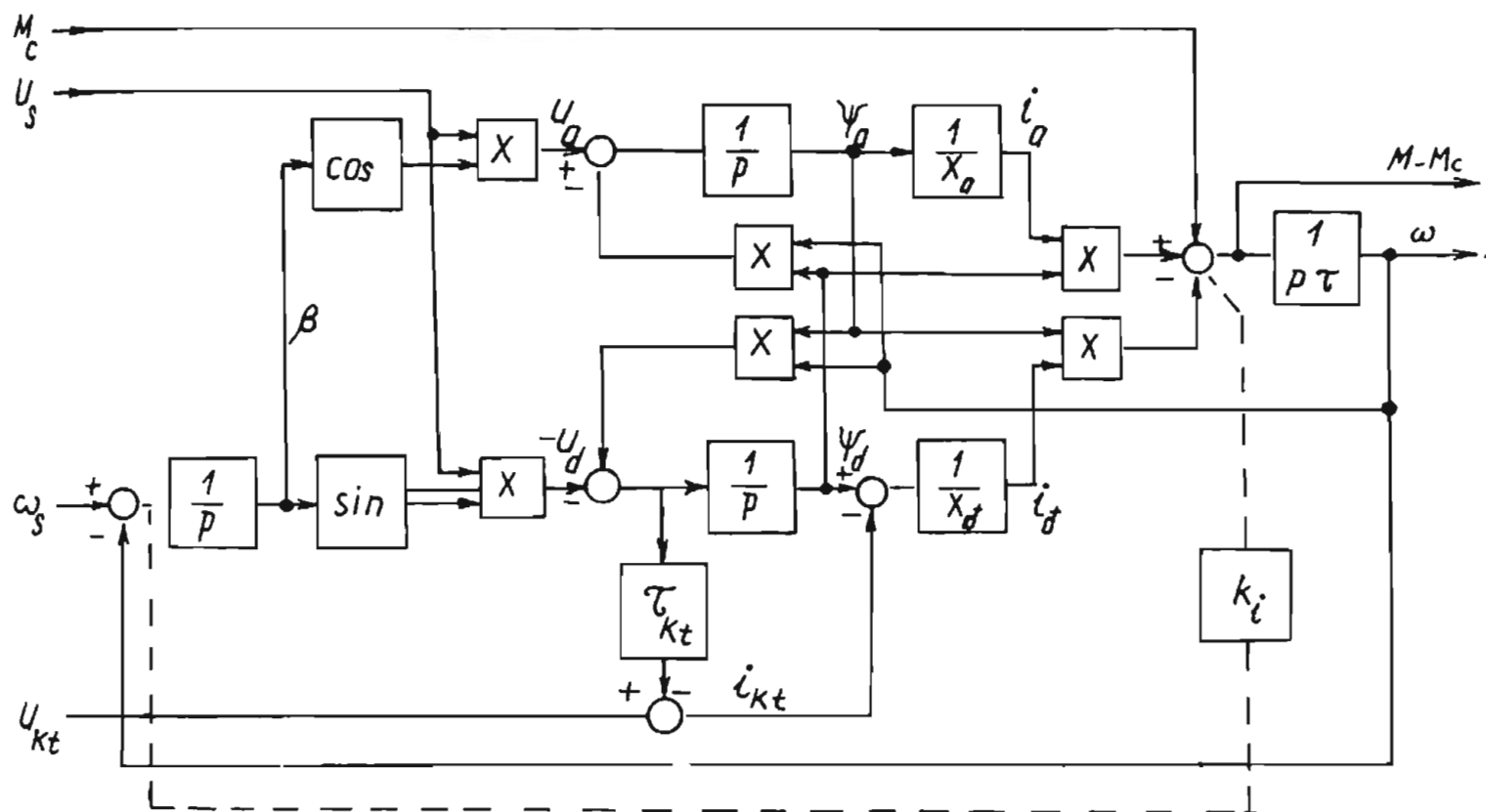
$$I_q = I_S \cos(\varphi + \theta) \quad (6-10)$$

$$I_d = I_S \sin(\varphi + \theta). \quad (6-11)$$

Thành phần dòng phản kháng :

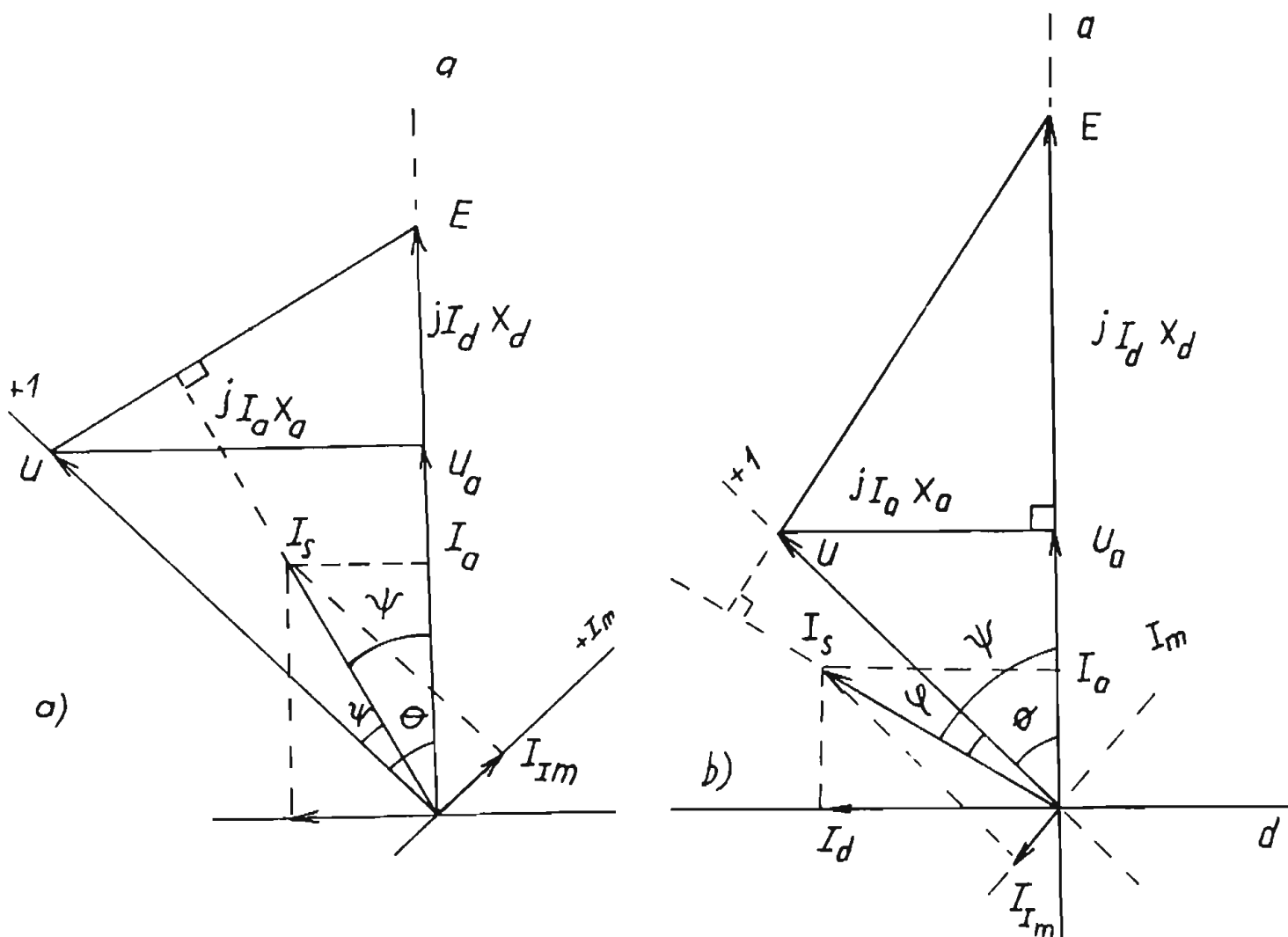
$$\begin{aligned} I_{lm} &= I_q \sin\theta - I_d \cos\theta \\ &= -\frac{E}{X_d} \cos\theta + \frac{U_S}{X_d} \left(1 + \frac{X_d - x_q}{x_q} \sin^2\theta\right). \end{aligned} \quad (6-12)$$

Đồ thị vectơ được vẽ trên H.6-3, trong đó góc θ là góc lệch giữa điện áp và sức điện động, còn gọi là phụ tải, góc φ là góc lệch pha giữa dòng điện và điện áp, ψ là góc lệch pha giữa dòng điện và sức điện động (Đối với máy cực ẩn $X_d = X_q$).



Hình 6-2. Sơ đồ cấu trúc mô tả toán học động cơ đồng bộ.

Từ biểu thức (6-13), cho thấy khi thay đổi dòng kích từ (thay đổi giá trị sức điện động), dòng phản kháng I_{Im} sẽ thay đổi, khi thiếu kích từ $I_{Im} > 0$ góc $\varphi > 0$ động cơ vận hành có tính chất tải cảm kháng (xem đồ thị véc tơ H.6-3a). Khi quá kích từ $I_{Im} < 0$ góc $\varphi < 0$, động cơ vận hành có tính chất tải dung kháng (xem H.6-3b) lúc đó dòng điện sẽ vượt trước điện áp và sức điện động.

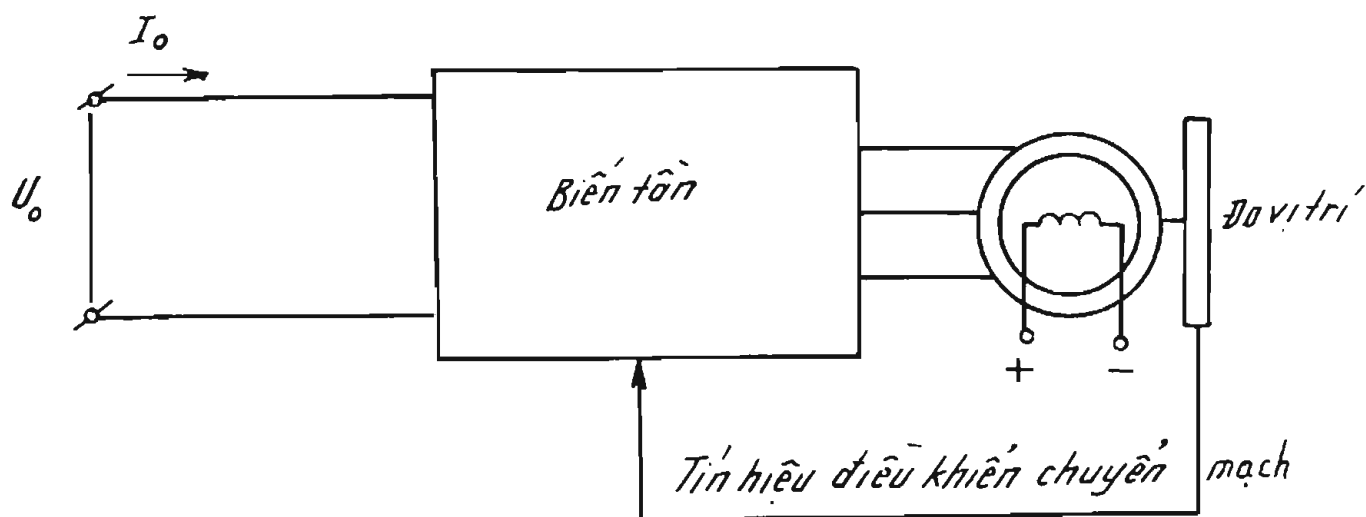


Hình 6-3. Đồ thị véc tơ đơn giản của máy đồng bộ.
a) Thiếu kích từ, b) Quá kích từ.

6-4. SỰ TƯƠNG ĐỒNG GIỮA TRUYỀN ĐỘNG ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ VÀ ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU

Sơ đồ nguyên lý của truyền động động cơ đồng bộ được trình bày trên H.6-4, gồm bộ biến đổi tần số cấp cho mạch stato (phần ứng) động cơ. Việc điều khiển các van của biến tần được thực hiện bằng các tín hiệu từ đầu đo vị trí rôto, các tín hiệu này sẽ quyết định mở và khóa các van theo thứ tự sao cho động cơ làm việc ổn định. Đồng thời do các tín hiệu đo vị trí rôto có tần số bằng tần số quay của

động cơ, cho nên tần số chuyển mạch của các van biến tần có giá trị tương tự.



Hình 6.4. Mạch nguyên lý của truyền động động cơ đồng bộ.

Từ nguyên lý trên ta thấy rằng:

Hộp bộ biến tần – Mạch đo vị trí rôto đóng vai trò như vành góp – chổi than của động cơ một chiều, nó có chức năng giống nhau như:

- Biến đổi chiều dòng điện một chiều thành xoay chiều nhiều pha có tần số thay đổi cho phần ứng động cơ.
- Tần số chuyển mạch của mạch biến đổi thích ứng với tốc độ quay của động cơ.

Sự tương đương giữa máy một chiều và truyền động động cơ đồng bộ còn ở phần nguyên tắc cấu tạo tách biệt giữa phần cảm và phần ứng. Mômen của động cơ đều được xác định từ hàm của hai đại lượng độc lập là từ thông kích từ động cơ và dòng điện phần ứng cho nên ta có thể điều khiển riêng rẽ hai đại lượng đó để điều khiển mômen và tốc độ động cơ theo quy luật mong muốn.

Cho nên có thể xây dựng hệ truyền động động cơ đồng bộ có đặc tính tương tự như truyền động động cơ một chiều. Chính có sự

tương đồng như vậy nên người ta thường gọi truyền động động cơ đồng bộ là truyền động động cơ van.

6-5. PHÂN LOẠI HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ

Hệ truyền động điều chỉnh tốc độ động cơ đồng bộ rất phong phú, có cấu trúc và đặc tính điều chỉnh khác nhau tùy thuộc vào công suất, tải và phạm vi điều chỉnh.

Trong thực tế, động cơ đồng bộ được chế tạo ở các dải công suất:

- Rất nhỏ : vài trăm W đến vài kW
- Nhỏ : vài kW đến 50kW
- Vừa : 50 kW đến 500kW
- Lớn : lớn hơn 500kW.

Ở dải công suất rất nhỏ, động cơ đồng bộ có cấu tạo mạch kích từ là nam châm vĩnh cửu, thường dùng cho cơ cấu truyền động có vùng điều chỉnh rộng, độ chính xác cao, có tải $M_c = \text{const}$, ở trong trường hợp này bộ biến đổi được dùng là biến tần tranzito, nguồn áp biến điệu bề rộng xung.

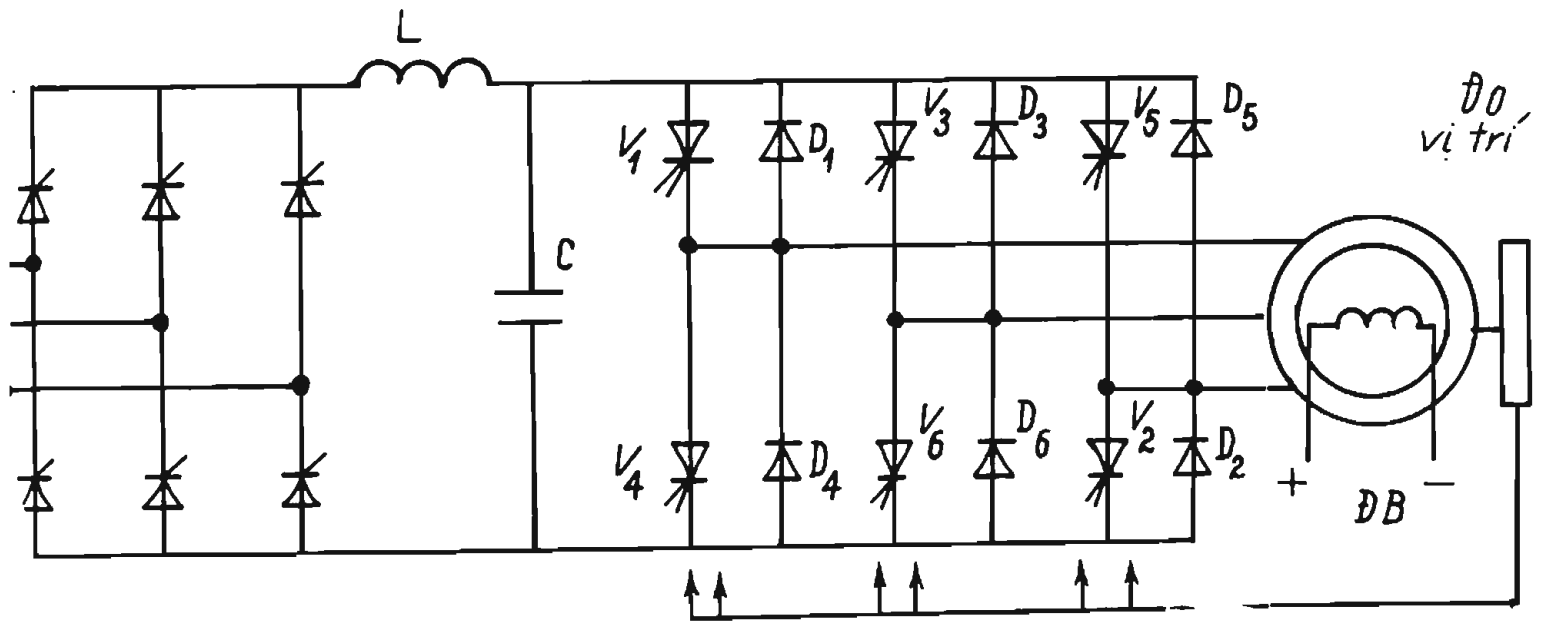
Ở dải công suất nhỏ, động cơ đồng bộ cho phụ tải yêu cầu vùng điều chỉnh không rộng lắm, lúc đó bộ biến đổi được dùng là biến tần tiristo, nguồn dòng chuyển mạch tự nhiên.

Ở dải công suất vừa và lớn, động cơ đồng bộ thường dùng cho các máy bơm, nén khí, máy nghiền và kéo tàu v.v... với vùng điều chỉnh cỡ 10:1 trong các trường hợp này bộ biến đổi được dùng có hai loại : Biến tần tiristo nguồn dòng chuyển mạch tự nhiên và biến tần trực tiếp tiristo (cycloconvertor).

Trong phạm vi chương này, chúng ta sẽ nghiên cứu kỹ hai loại truyền động động cơ đồng bộ : dùng biến tần nguồn áp và biến tần nguồn dòng chuyển mạch tự nhiên.

6-6. TRUYỀN ĐỘNG ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ DÙNG BIẾN TẦN NGUỒN ÁP

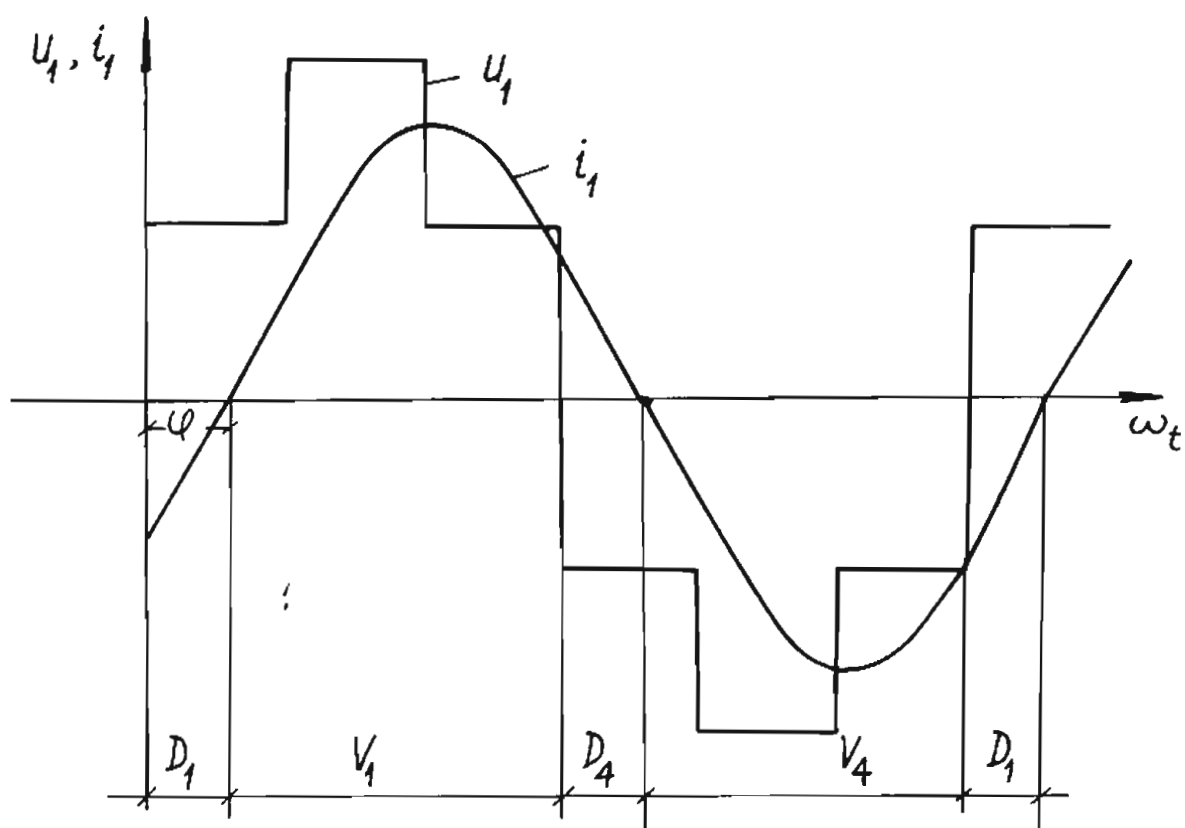
Mạch nguyên lý của truyền động được trình bày trên H. 6-5, trong đó biến tần có 6 van ($V_1 \div V_6$) (là tranzito công suất hoặc tiristo GTO) và 6 diôt ngược ($D_1 \div D_6$). Trong trường hợp góc dẫn các van là 180° , điện áp dây sẽ là 120° . Tùy thuộc vào tính chất tải của động cơ (cảm kháng hay dung kháng) mà biến tần sẽ làm việc với chuyển mạch cưỡng bức hay chuyển mạch tự nhiên.



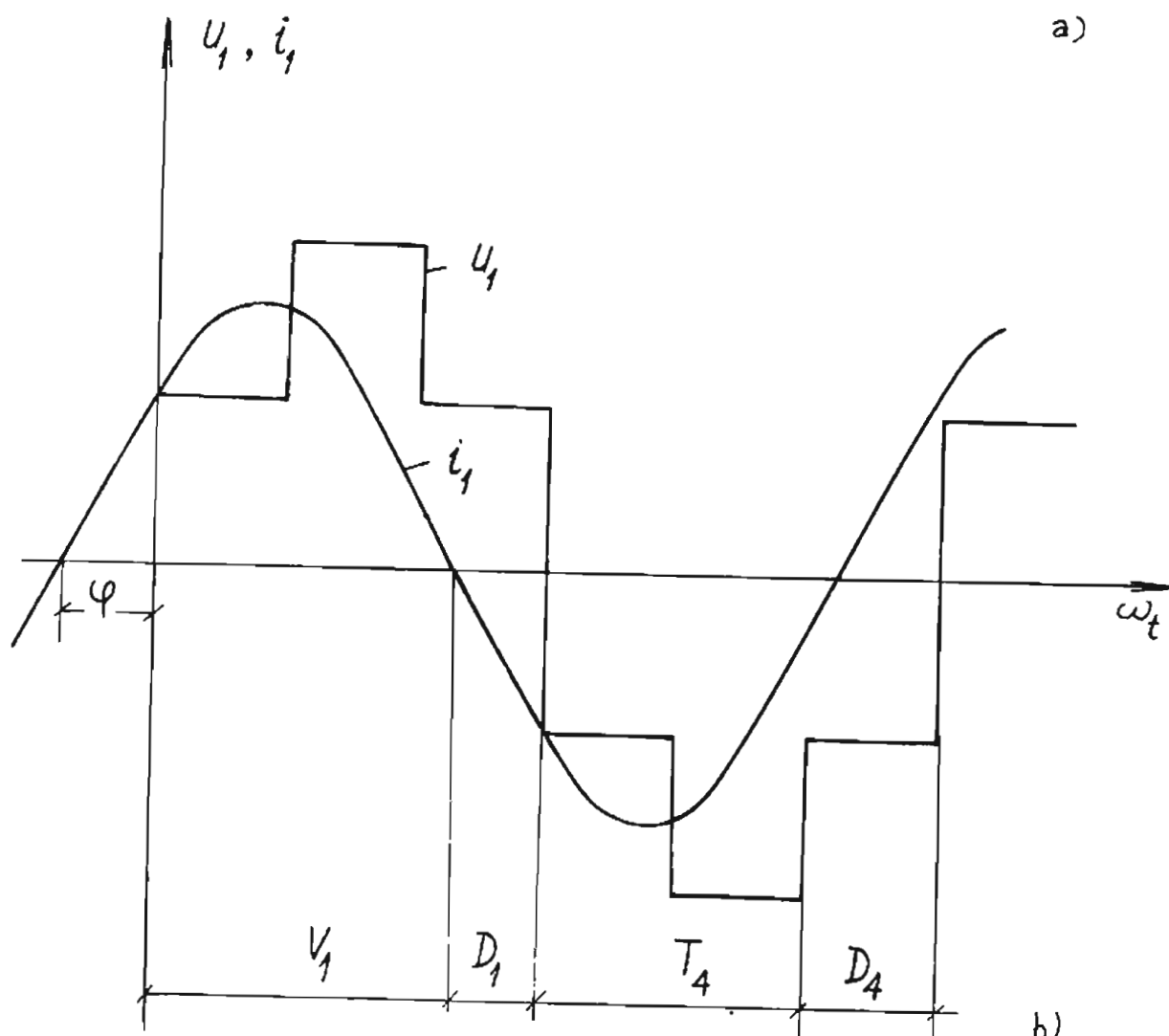
Hình 6-5. Mạch lực của truyền động động cơ đồng bộ dùng biến tần nguồn áp.

Trên H. 6-6a đồ thị dòng điện, điện áp và khoảng dẫn dòng của van và diôt ứng với trường hợp động cơ mang tính chất tải cảm (thiếu kích từ $\varphi > 0$).

Khi động cơ quá kích từ dòng điện vượt trước điện áp $\varphi < 0$, các van thực hiện chuyển mạch tự nhiên (H. 6-6b). Tuy vậy để thực hiện chuyển mạch tự nhiên, góc lệch pha $\varphi \geq -\omega t_q$ (t_q thời gian phụ hồi đặc tính khóa của van).



a)



b)

Hình 6-6. Đồ thị dòng và áp.
a) Ứng với góc $\varphi > 0$; b) Ứng với góc $\varphi < 0$.

Mômen động cơ, trong trường hợp này được tính bằng biểu thức quen thuộc :

$$M = \frac{3p}{X_d \cdot \omega} \cdot E \cdot U_1 \sin \theta, \quad (6-13)$$

trong đó : M – mômen trung bình

p – số đôi cực của động cơ

X_d – điện kháng trục dọc $x_d = \omega L_d$

E – sức điện động động cơ $E = C\Phi(i)\omega$

U_1 – thành phần điều hòa bậc 1 điện áp, $U_1 = K_o U_o$

θ – góc lệch pha giữa sức điện động E và điện áp U_1 .

Khi điều chỉnh tốc độ động cơ ta có hai trường hợp :

a) Điện áp $U_o = \text{const}$

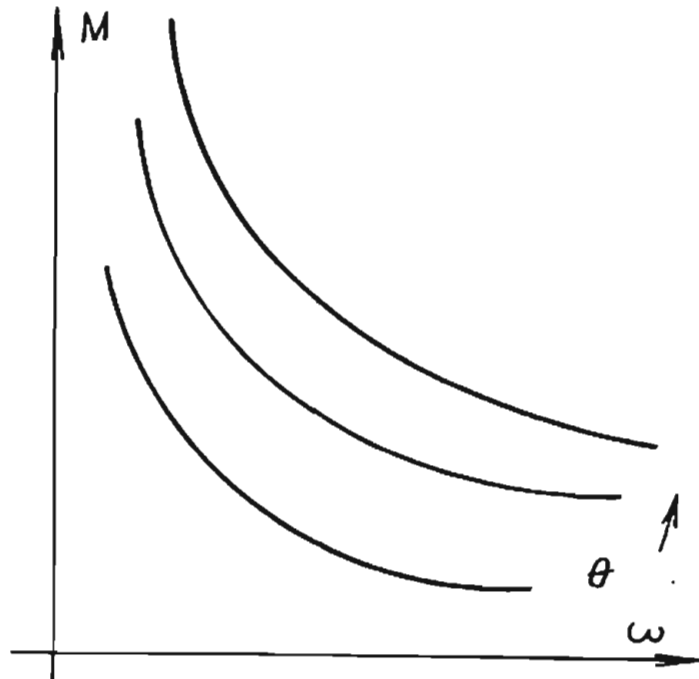
Tỷ số
$$\frac{E}{X_d} = \text{const}$$

khi giữ kích từ không đổi.

Như vậy mômen động cơ được tính bằng

$$M = K \frac{\sin \theta}{\omega}$$

Nó chỉ phụ thuộc vào tốc độ ω và góc lệch pha θ có dạng trên H.6–7 tương tự như động cơ một chiều kích từ nối tiếp.



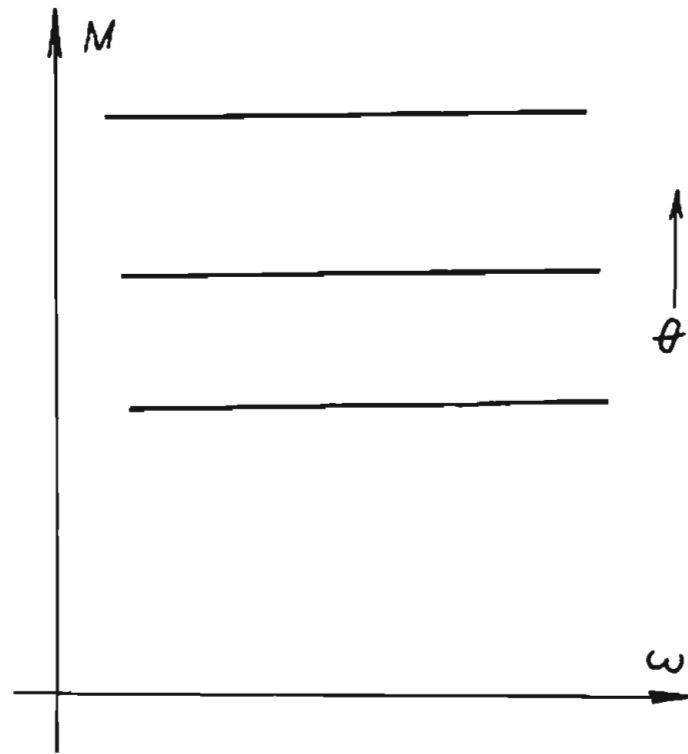
Hình 6–7. Đặc tính của động cơ khi $U_o = \text{const}$ và kích từ không đổi.

b) Điện áp U_o được điều chỉnh sao cho tỷ số $\frac{U_o}{\omega} = \text{const}$ và kích từ không đổi.

Trong trường hợp này, mômen động cơ chỉ phụ thuộc vào góc θ ,

đặc tính của động cơ được trình bày trên H. 6-8.

Cấu trúc hệ truyền động điều chỉnh tốc độ động cơ đồng bộ được mô tả trên H.6-9 (của hãng YASKAWA - 1991). Với động cơ kích từ nam châm vĩnh cửu công suất đến 6 kW dùng để trang bị cho cơ cấu tay máy người máy và các cơ cấu ăn dao máy cắt gọt kim loại.



Hình 6-8. Đặc tính của động cơ khi điều chỉnh $U_o/\omega = \text{const}$ và kích từ không đổi.

Truyền động Servopack (mẫu CACRSRO3BB đến SR44BB) dùng biến tần tranzito PWM (biến điệu bề rộng xung). Mạch điều khiển bố trí hai mạch vòng điều chỉnh, điều chỉnh tốc độ R_ω và điều chỉnh dòng điện R_I . Điều khiển PWM, thứ tự đóng và cắt các tranzito cũng như mạch điều chỉnh vị trí và các tín hiệu bảo vệ sự cố...được thực hiện bởi vi xử lý. Cơ cấu đo vị trí và tốc độ động cơ PG được gắn thành một khối với động cơ, cơ cấu mạch đo cho ta các tín hiệu: tốc độ, vị trí rôto, chiều quay và góc quay, phục vụ cho điều chỉnh vị trí và điều chỉnh tốc độ động cơ.

6-7. HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ VỚI BỘ BIẾN ĐỔI TẦN SỐ NGUỒN DÒNG CHUYỂN MẠCH TỰ NHIÊN

Mạch lực của hệ truyền động được trình bày trên H.6-10 bao gồm: chỉnh lưu tiristo (CL), cuộn cảm lọc (L_d) và nghịch lưu tiristo (NL). Để đảm bảo NL làm việc được trong chế độ chuyển mạch tự nhiên, động cơ phải ở chế độ quá kích từ. Lúc đó NL thực chất là chỉnh lưu làm việc trong chế độ nghịch lưu bị động với điện áp động

cơ, vì vậy trong mạch nghịch lưu không có các phần tử chuyển mạch.

6-7.1. Quá trình chuyển mạch

Trên H.6-11 mô tả nguyên lý làm việc của nghịch lưu NL có hai nhóm van : nhóm anốt chung ($T_1 - T_3 - T_5$) nhóm ca tốt chung ($T_4 - T_6 - T_2$). Góc dẫn mỗi van 120° điện, thứ tự dẫn các van theo từng cặp ($T_1 - T_2$; $T_2 - T_3$; $T_3 - T_4$; $T_4 - T_5$; $T_5 - T_6$; $T_6 - T_1$). Trong một chu kỳ điện áp của động cơ có 6 lần chuyển mạch. Do dòng điện vượt trước điện áp, nên khi chuyển mạch : đối với tiristo được mở điện áp có chiều thuận ((+) anốt; (-) catốt); tiristo bị khóa, điện áp có chiều ngược ((+) ca tốt; (-) a nôt). Vì vậy cần phải có tín hiệu đồng bộ với sức điện động hoặc điện áp động cơ. Từ đó mạch phát xung sẽ phát xung mở sớm một góc so với điện áp của động cơ. Việc tạo tín hiệu đồng bộ có thể dùng mạch đo vị trí rôto hoặc đo trực tiếp điện áp động cơ.

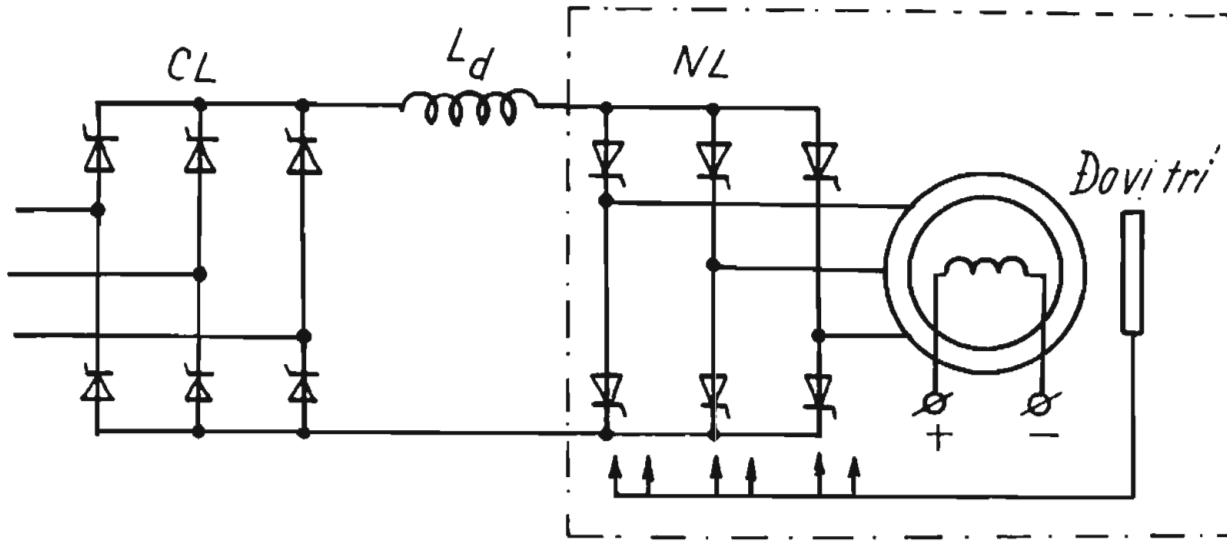
Trên H.6-12, khảo sát quá trình chuyển mạch từ T_5 sang T_1 . Tại thời điểm trước chuyển mạch cặp tiristo $T_5 - T_6$ đang dẫn dòng I_d , lúc đó

$$\left. \begin{aligned} i_a &= 0 \\ i_b &= I_d \\ i_c &= I_d \\ U_m &= U_c - U_b. \end{aligned} \right\} \quad (6-14)$$

Cuối quá trình dẫn $T_5 - T_6$, cho xung mở T_1 , điện áp $U_{cA} > 0$, $U_a < 0$ nên T_1 mở, lúc đó tạo thành mạch vòng ngắn mạch: $T_1 -$ pha $a -$ pha $c - T_5 - T_1$. Dòng điện i của mạch vòng cùng chiều với dòng qua T_1 và ngược chiều với dòng qua T_5 (do $U_{cA} > 0$). Dòng qua T_1 thuận lợi hơn nên có trị số tăng dần đến I_d , dòng qua T_5 khó khăn hơn nên giảm dần về 0, như vậy dòng qua T_5 sẽ chuyển sang T_1 ; đồng thời T_5 bị điện áp ngược ($U_c > 0$) đặt lên, nên nó bị khóa. Góc β được gọi là góc mở tiristo (xem H.6-13):

$$\beta = \gamma + \delta,$$

trong đó γ là góc trùng dẫn, δ là góc phục hồi đặc tính khóa, δ được tính $\delta \geq \omega t_q$ (t_q là thời gian khóa tiristo).



Hình 6-10. Sơ đồ nguyên lý mạch lực hệ truyền động BBD—động cơ đồng bộ dùng biến tần nguồn dòng chuyển mạch tự nhiên

Nếu góc δ không đủ lớn, T_5 không kịp khóa dẫn đến lạt chế độ nghịch lưu.

Phương trình dòng điện và điện áp khi chuyển mạch

$$i_a = i$$

$$i_b = -I_d$$

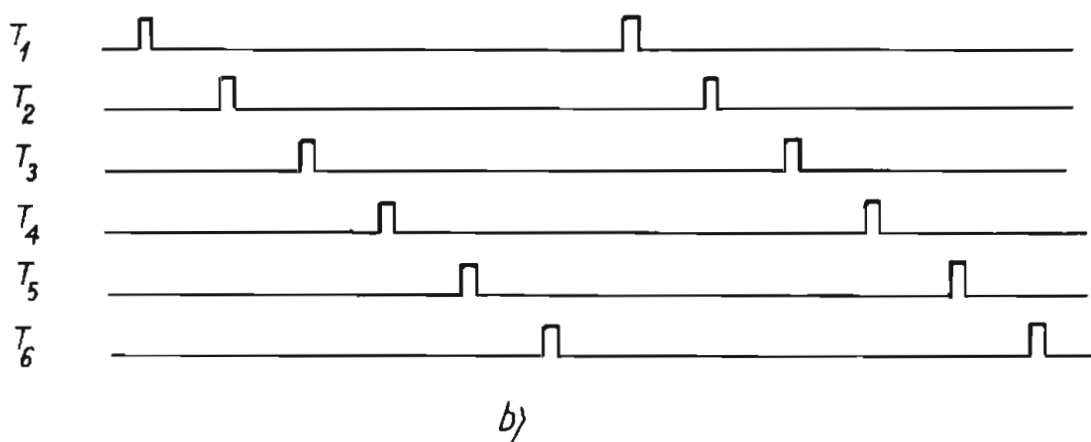
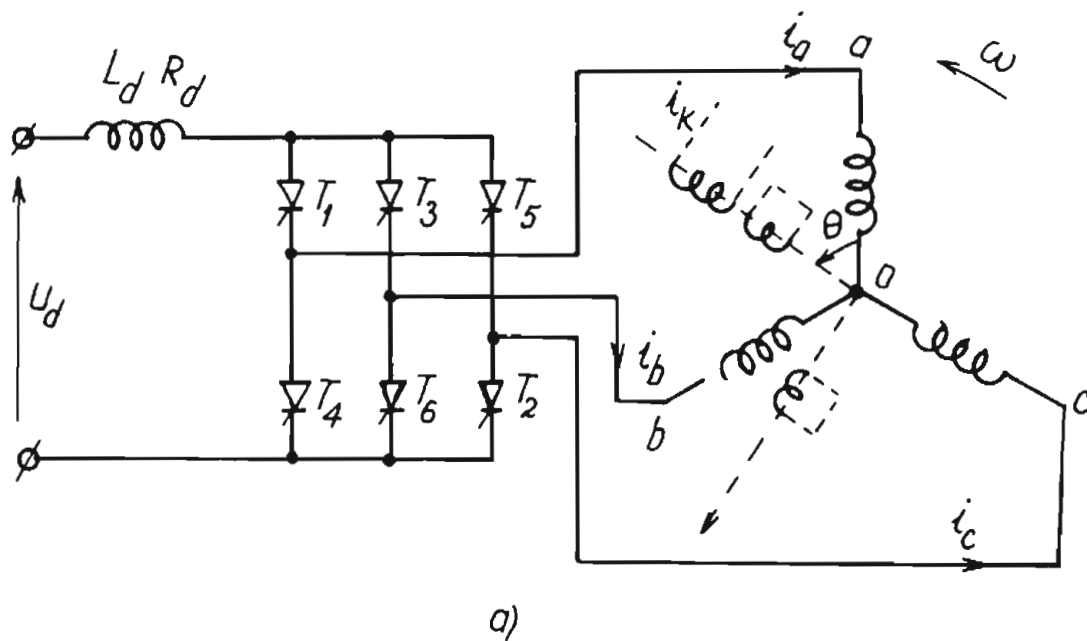
$$i_c = I_d - i$$

$$u_a + L \frac{di_a}{dt} = U_c + L \frac{di_c}{dt} \quad (6-15)$$

$$\frac{di_a}{dt} = -\frac{\sigma}{\omega} \frac{di_c}{dt}$$

Giải phương trình đối với i_a :

$$2L \frac{di_a}{dt} = U_{cA} = U_m \sin(\omega t - \beta), \quad (6-16)$$



Hình 6-11.

a) Nguyên lý làm việc của nghịch lưu; b) Thứ tự dẫn các tiristo.

với điều kiện đầu $i_a = 0$; Giải (6-16) nhận được

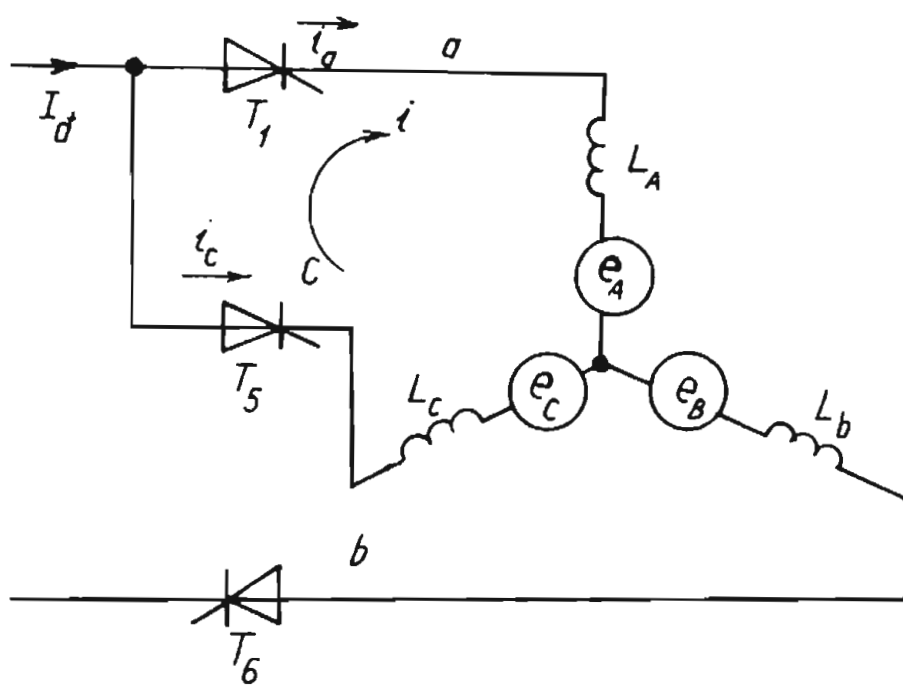
$$i_a = \frac{U_m}{2\omega L} [\cos(\omega t - \beta) - \cos\beta]. \quad (6-17)$$

Khi $\omega t = \gamma$,

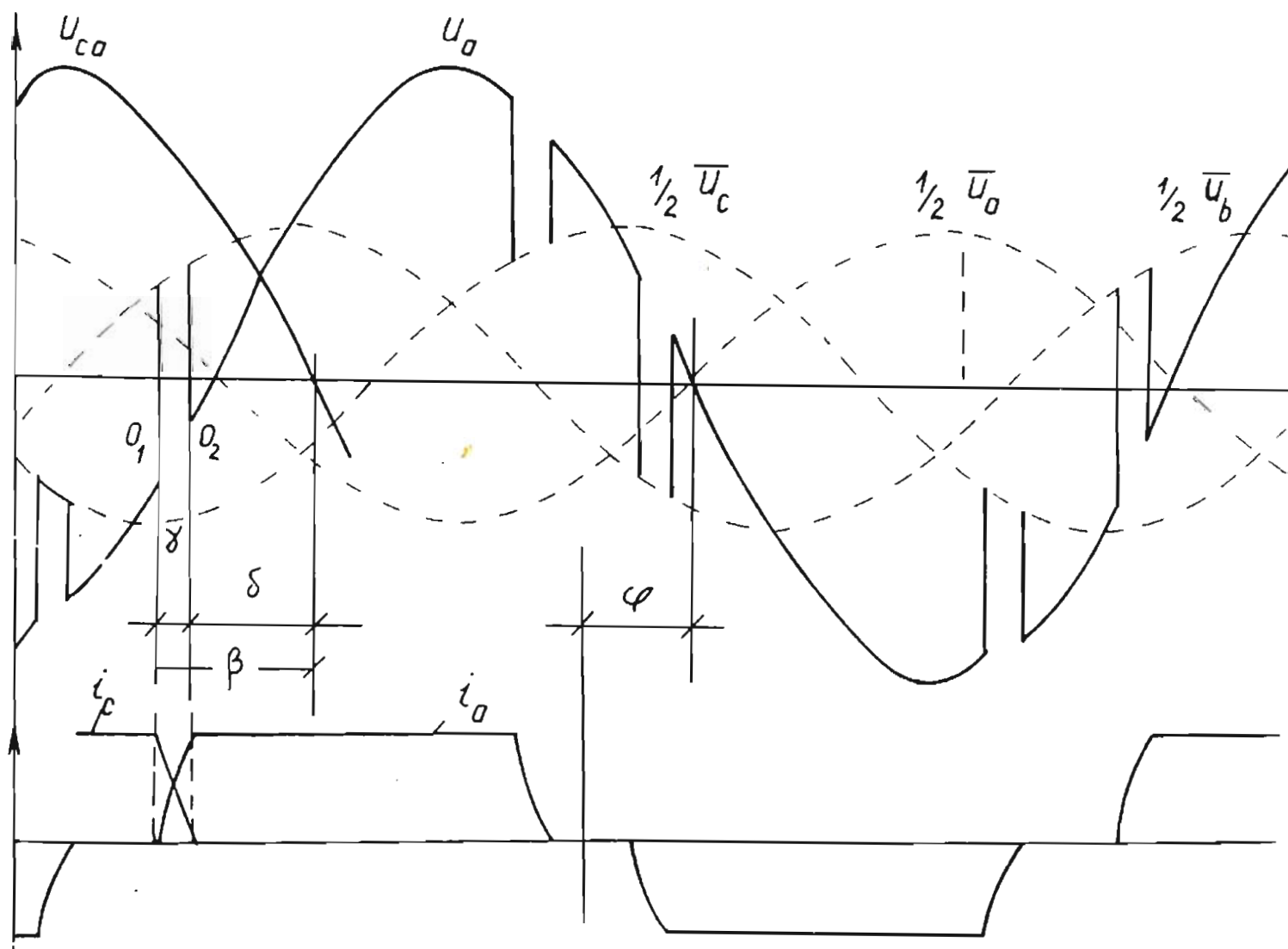
$$\begin{aligned} i_a &= I_d; \quad i_c = 0. \text{ ta có:} \\ \cos(\beta - \gamma) - \cos\beta &= 2L \frac{\omega}{U_m} I_d. \end{aligned} \quad (6-18)$$

Điều này cho thấy góc trùng dẫn γ là hàm của U_m , β , I_d và ω . Điện cảm chuyển mạch L được tính gần đúng bằng

$$2\omega L = \frac{X_d'' + X_q''}{2} \quad (6-19)$$



Hình 6-12. Quá trình chuyển mạch từ T_5 sang T_1 .



Hình 6-13. Đồ thị dòng điện và điện áp khi chuyển mạch.

Điện áp khi chuyển mạch

$$U_{cm} = \frac{U_a + U_c}{2} - U_b . \quad (6-20)$$

Điện áp và dòng khi chuyển mạch được vẽ trên H. 6-13.

Góc lệch pha giữa dòng và áp điều hòa bậc 1

$$\varphi_1 = \beta = 0,5\gamma . \quad (6-21)$$

6-7.2. Mômen của động cơ

Mô men động cơ sinh ra do tác dụng của từ trường cực từ Φ_r và từ trường phản ứng Φ_s . Do trong một chu kỳ nghịch lưu chuyển mạch 6 lần, từ trường phản ứng Φ_s sẽ quay tròn qua 6 điểm cố định, kế tiếp nhau lần lượt theo thứ tự dẫn của các cặp tiristo dẫn (xem H.6-14). Từ trường cực từ Φ_r quay tròn với tốc độ của rôto. Mômen động cơ trong một khoảng dẫn tiristo được tính.

$$m = K\Phi_r\Phi_s\sin\beta_1, \quad (6-22)$$

trong đó : β_1 là góc lệch giữa Φ_r và Φ_s ; K là hệ số tỷ lệ

$$\beta_1 = -\omega t + \Psi + 2\pi/3 \quad 0 < \omega t < \pi/3 \quad (6-23)$$

ψ là góc lệch giữa dòng điện stato và sức điện động E .

Giá trị trung bình của mômen được tính:

$$M_{tb} = \frac{1}{\pi/3} \int_0^{\pi/3} K\Phi_r\Phi_s\sin(-\omega t + \psi + 2\pi/3) d\omega t \quad (6-24)$$

$$M_{tb} = \frac{3}{\pi} K\Phi_r\Phi_s\cos\Psi . \quad (6-25)$$

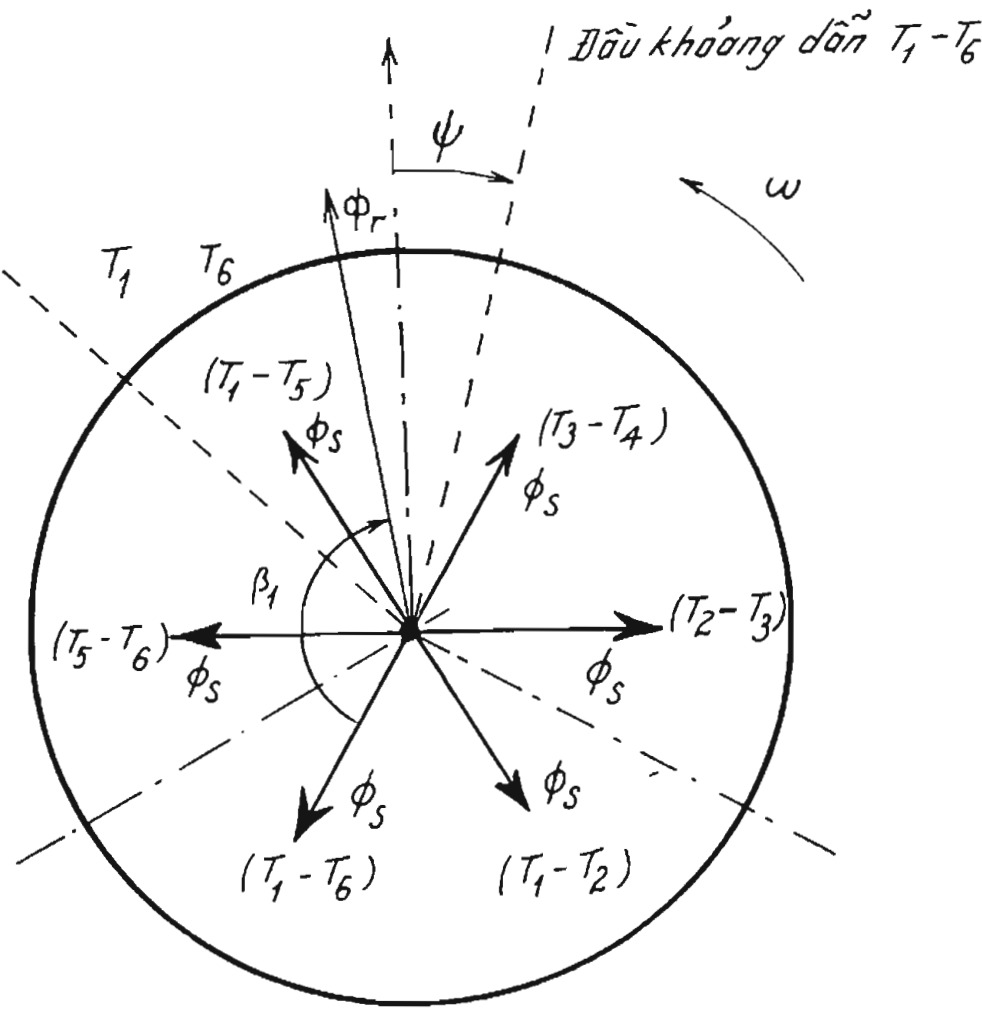
Như vậy mô men trung bình của động cơ sẽ thay đổi theo góc ψ (xem H.6-15):

$$M_{tb} > 0 \text{ khi } 0 \leq \psi < \pi/2; \quad M_{tb} < 0 \text{ khi } \pi/2 < \psi \leq \pi$$

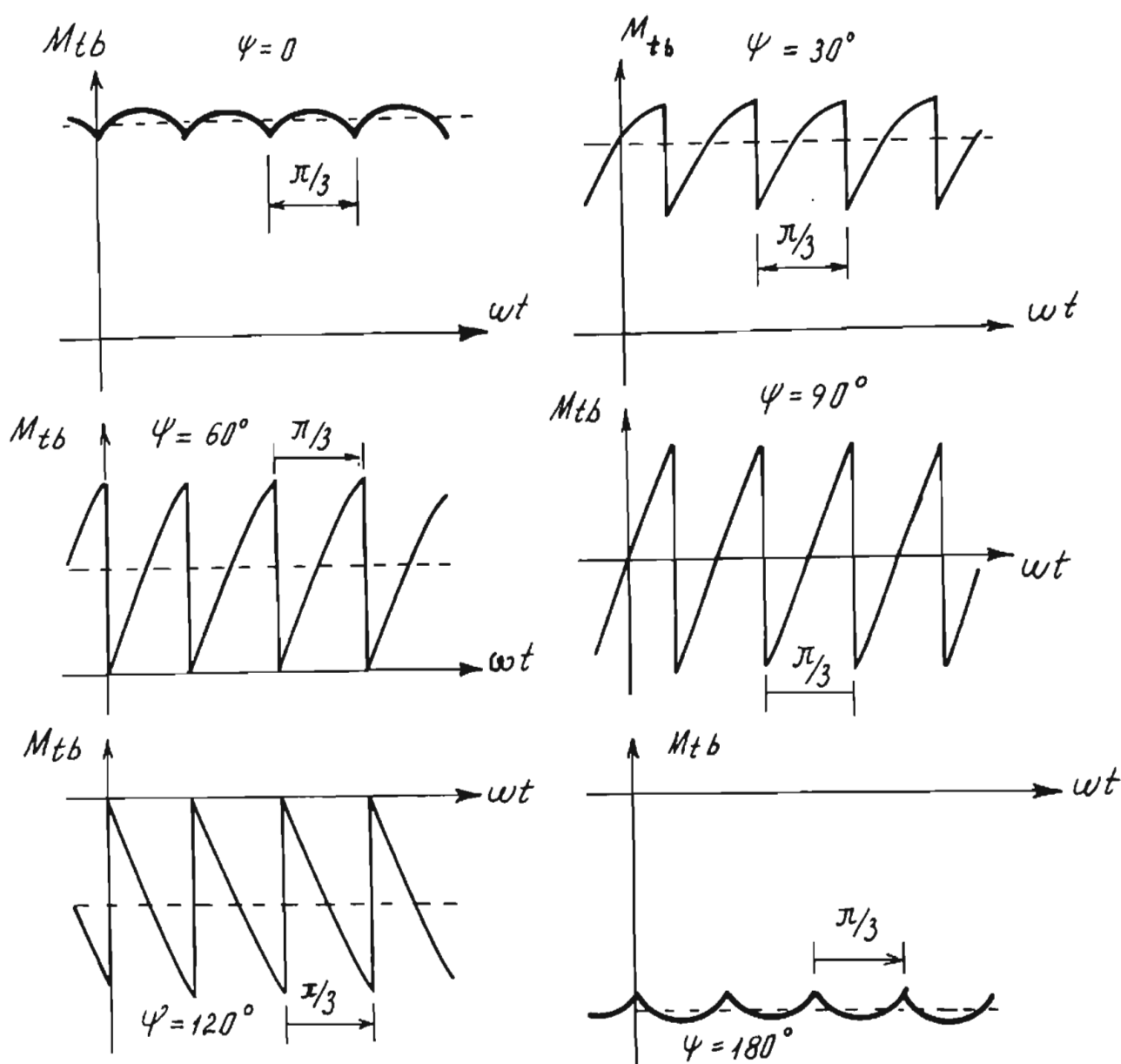
$$M_{tb} = 0 \text{ khi } \psi = \pi/2.$$

6-7.3. Giới hạn của chuyển mạch tự nhiên và vấn đề khởi động

Như phần 7-6.1 đã trình bày thực chất chuyển mạch tự nhiên của nghịch lưu là chuyển mạch theo điện áp tải. Nhờ điện áp của mạch vòng chuyển mạch để mở và khóa các tiristo. Khi ở tốc độ thấp, điện áp động cơ nhỏ, điện trở mạch stato lúc này có thể so sánh với điện cảm, nên gây sụt áp lớn. Do vậy ở tốc độ thấp việc chuyển mạch tự nhiên khó khăn hơn, đến một giá trị nào đó thì chuyển mạch tự nhiên sẽ không thực hiện được, đó là giới hạn của chuyển mạch tự nhiên. Thực tế giới hạn chuyển mạch tự nhiên ở khoảng tốc độ $5 \div 10\%$ tốc độ định mức động cơ. Điều này dẫn đến vấn đề khởi động động cơ từ tốc độ 0 đến $(5 \div 10\%)$ tốc độ định mức.



Hình 6-14. Từ thông phần ứng Φ_s ứng với các cặp tiristo dẫn và từ thông cực từ Φ_p .



Hình 6-15. Mô men trung bình của động cơ với góc ψ ($0 \div 180^\circ$).

Tùy theo loại phụ tải, cấu tạo của động cơ và công suất động cơ, ta có các biện pháp khởi động thích hợp.

a) *Khởi động dùng chuyển mạch cường bức*

Làm việc của nghịch lưu chuyển mạch cường bức giống như trong truyền động điều khiển tần số động cơ không đồng bộ (xem H.6-16). Biện pháp khởi động này dùng cho mọi loại động cơ, ở các giải công suất khác nhau.

b) *Khởi động dùng phương pháp dòng gián đoạn.*

Nội dung của phương pháp này là : Dựa vào tín hiệu đồng bộ (v

trí rôto), ta xác định được điểm chuyển mạch. Tại thời điểm đó góc mở chỉnh lưu CL được tăng $\alpha_1 > 90^\circ$, dòng I_d giảm về giá trị 0, lúc này ta cho xung mở tiristo nghịch lưu để tiến hành chuyển mạch. Mặc dù lúc đó điện áp thấp nhưng dòng I_d đã giảm về 0, nên chuyển mạch đã thực hiện được (xem H.6-17), phương pháp khởi động này thường thực hiện ở công suất lớn, tải nhẹ.

c) Khởi động bằng phương pháp khởi động không đồng bộ

Phương pháp này giống như khởi động động cơ đồng bộ ta thường gặp. Nhưng nó chỉ ứng dụng với động cơ có cuộn dây khởi động (hoặc rôto có lồng sóc khởi động) và động cơ vận hành với lưới điện áp xoay chiều.

6-7.4. Quy luật điều khiển

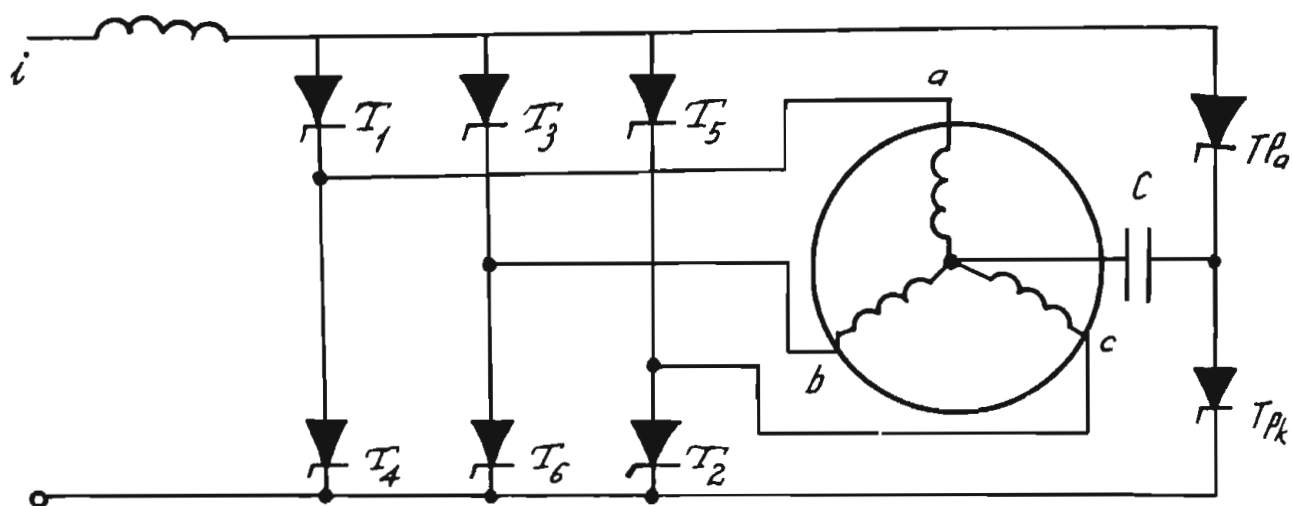
Việc nghiên cứu quy luật điều khiển ở đây, tương tự như trong truyền động điều khiển tần số động cơ không đồng bộ. Tức là cần phải lập luật điều khiển như thế nào đó để trong suốt giải điều chỉnh động cơ sinh ra mô men khắc phục mômen phụ tải và tổn thất là nhỏ nhất. Đối với truyền động động cơ đồng bộ dùng bộ biến đổi dòng điện chuyển mạch tự nhiên, mômen động cơ phụ thuộc vào ba đại lượng (xem biểu thức (6-25));

- I_d quyết định giá trị từ thông phần ứng Φ_s ,
- I_{kt} dòng kích từ quyết định giá trị từ thông Φ_r
- Góc mở β hay góc lệch ψ hoặc φ .

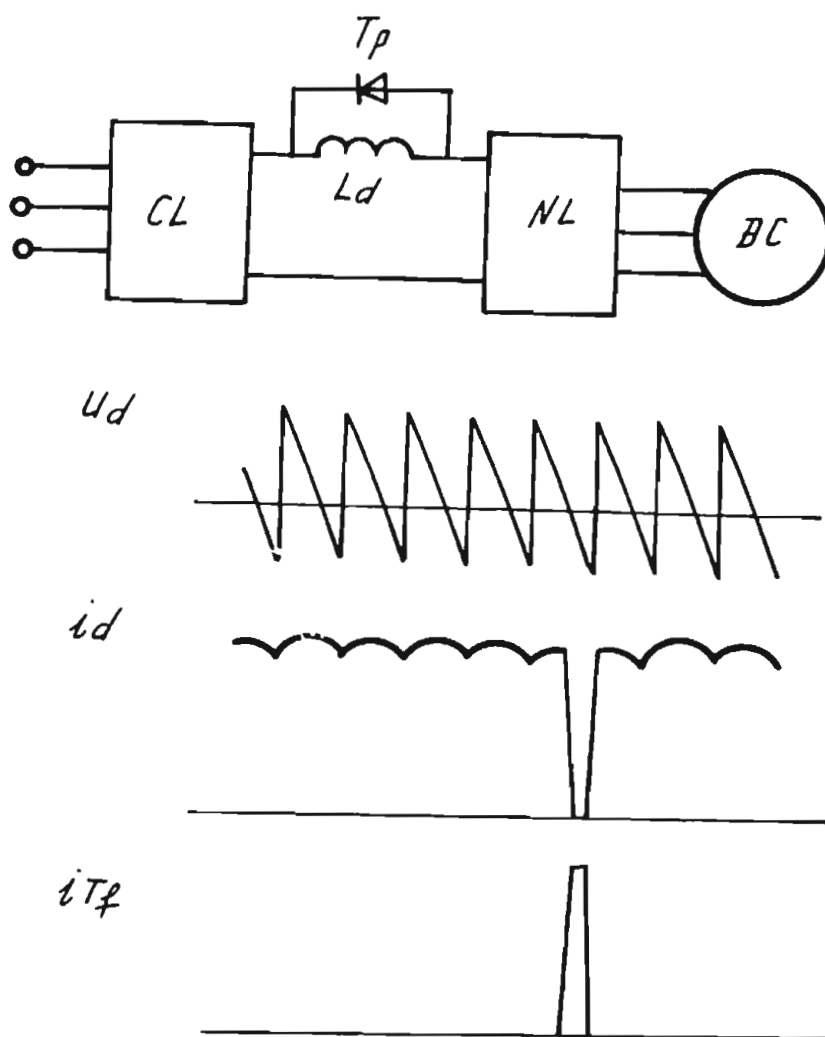
Trường hợp đơn giản nhất ta có quy luật điều khiển từ thông cực từ không đổi và góc lệch ψ không đổi

- Từ thông rôto $\Phi_r \sim \frac{E}{\omega}$ nếu giữ dòng kích từ không đổi ta có quan hệ $\frac{E}{\omega} = \text{const}$ và $\Phi_r = \text{const}$.
- Góc lệch giữa dòng điện và sức điện động ψ được giữ không đổi.

Như vậy theo (6-25) ta có $M = CI_d$ (6-26) trong đó : C là hằng số.



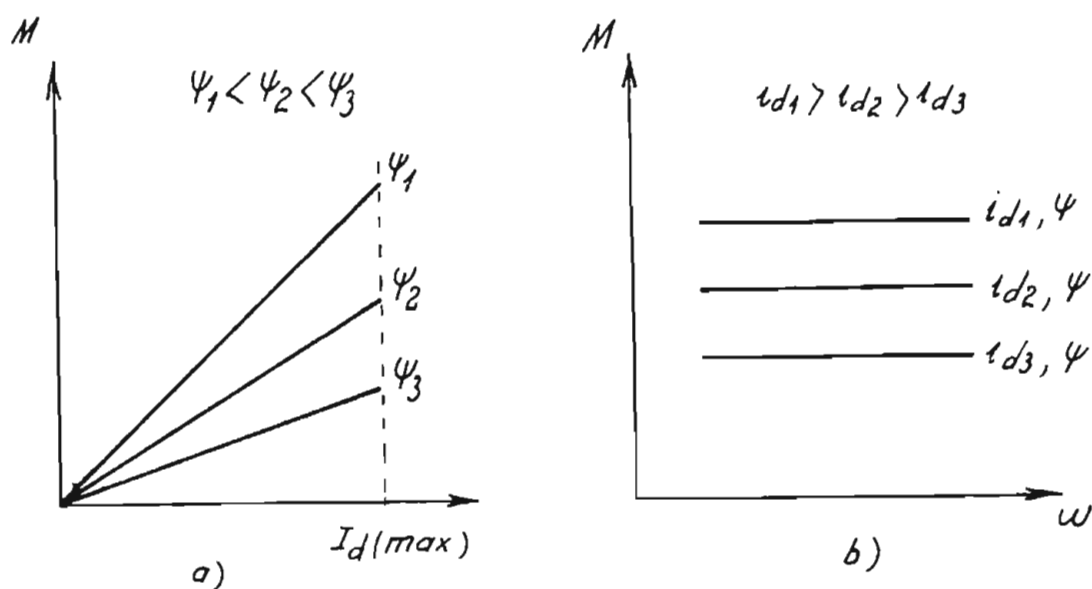
Hình 6-16. Sơ đồ nguyên lý khởi động dùng chuyển mạch cưỡng bức.



Hình 6-17. Sơ đồ nguyên lý khởi động bằng phương pháp dòng gián đoạn và đồ thị điện áp, dòng mạch CL

Điều chỉnh mô men theo quan hệ (6-26), truyền động động cơ đồng bộ tương đương với truyền động động cơ một chiều kích từ độc lập.

Trên H.6-18 biểu diễn quan hệ $M(I_d)$ với góc ψ giữ không đổi và đặc tính $M(\omega)$ với I_d và ψ không đổi.



Hình 6-18. a) Quan hệ $M(I_d)$ với góc ψ khác nhau,
b) Đặc tính cơ $M(\omega)$ (với I_d không đổi ở các giá trị khác nhau và $\psi =$ hằng số).

6-8. CẤU TRÚC MẠCH ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ TRUYỀN ĐỘNG ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ DÙNG BIẾN TẦN NGUỒN DÒNG

Cấu trúc hệ truyền động động cơ đồng bộ – biến tần nguồn dòng rất đa dạng. Trong phần này sẽ giới thiệu những mẫu thông dụng trong thực tế ở giải công suất trung bình và lớn. Trên hình 6-19 trình bày sơ đồ nguyên lý hệ truyền động. Nó gồm các khâu .

Mạch lực gồm có bộ chỉnh lưu tiristo CL I cuộn cảm lọc một chiều L_d , nghịch lưu tiristo NL II, mạch kích từ dùng chỉnh lưu tiristo CL II.

Mạch điều khiển gồm ba phần

a) *Mạch điều khiển chỉnh lưu* có hai mạch vòng điều chỉnh : tốc độ R_ω và dòng điện R_I .

b) *Mạch điều khiển kích từ* có một mạch vòng điều chỉnh kích từ đảm bảo giữ dòng kích từ không đổi.

c) *Mạch điều khiển nghịch lưu* có ba phần chính : Mạch tạo tín hiệu đồng pha, mạch dịch pha tạo góc vượt trước ψ và mạch phân phối xung, khuếch đại xung.

Mạch tạo tín hiệu đồng pha ở đây dùng cơ cấu đo vị trí rôto (xem H. 6-21) được cấu tạo bởi đĩa gắn cứng vào trục rôto và bốn đầu đo optron (cấu tạo đĩa đo H.6-20a ứng với động cơ có $2p = 4$). Ba đầu đo O_1, O_2, O_3 sẽ đo vị trí rôto cho ta ba tín hiệu PA, PB, PC đồng pha với EA, EB, EC . Đầu đo O_4 đo tốc độ động cơ SP Số xung ra ứng với số nhịp trong chu kỳ sức điện động là 128 xung.

– Từ bốn tín hiệu PA, PB, PC và SP đưa vào mạch dịch pha, mạch này có cấu tạo đơn giản là mạch đếm chương trình 6 bit, bằng việc đặt trước dung lượng bộ đếm ban đầu $b0, b1, b2, b3, b4, b5$, tương ứng với góc vượt trước ψ .

– Mạch phân phối xung và khuếch đại xung có cấu tạo tương tự như mạch điều khiển nghịch lưu trong điều khiển tần số động cơ không đồng bộ. Cấu trúc mạch điều khiển nghịch lưu được trình bày trên H.6-21.

Mômen động cơ có thể viết dưới dạng :

$$M = \frac{P}{\omega} = K \frac{E}{\omega} \cdot I_s \cos \Psi. \quad (6-27)$$

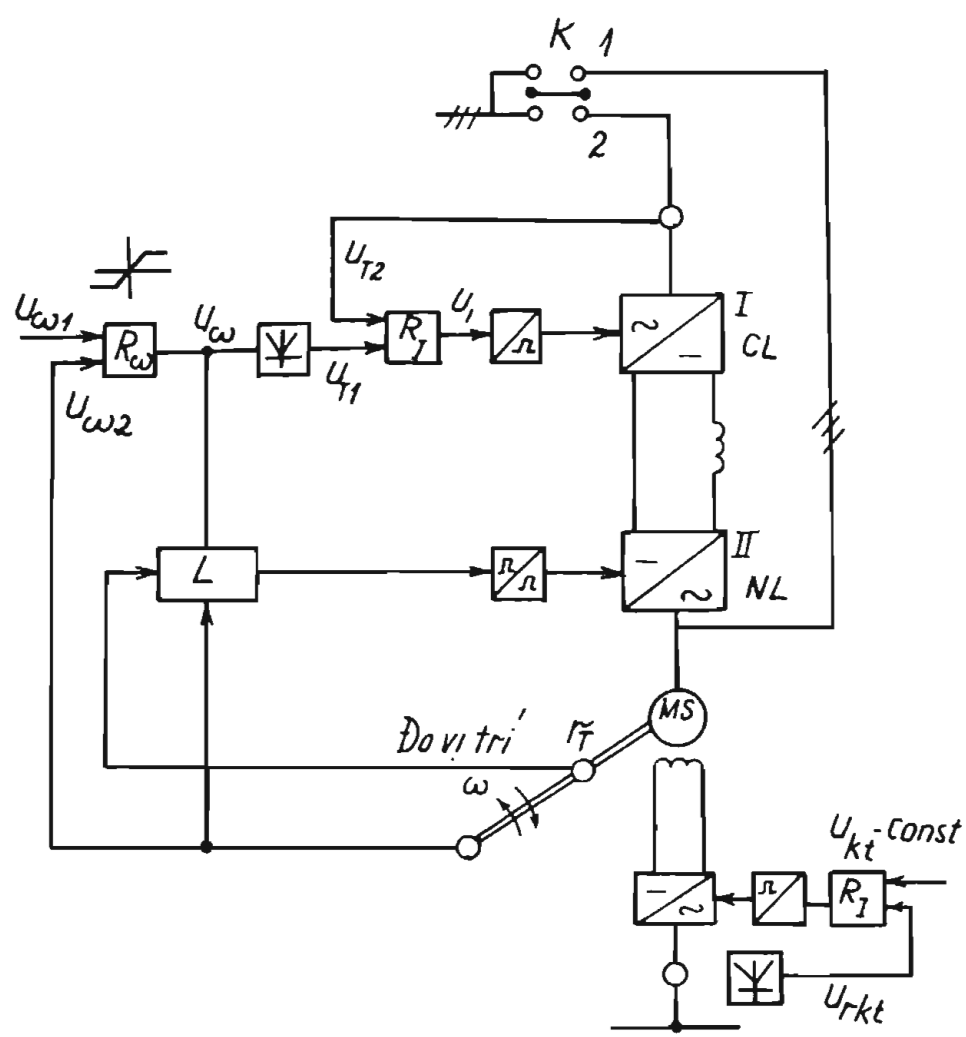
Nếu đảm bảo điều kiện $I_{kt} = \text{hằng số}$, thì tỷ số $\frac{E}{\omega}$ sẽ là hằng số. Đồng thời với việc đặt trước góc $\psi = \text{const}$, ta có :

$$M = C I_s = C I_d. \quad (6-28)$$

Như vậy mômen trung bình của động cơ đồng bộ sẽ được điều khiển tương tự như mômen động cơ một chiều.

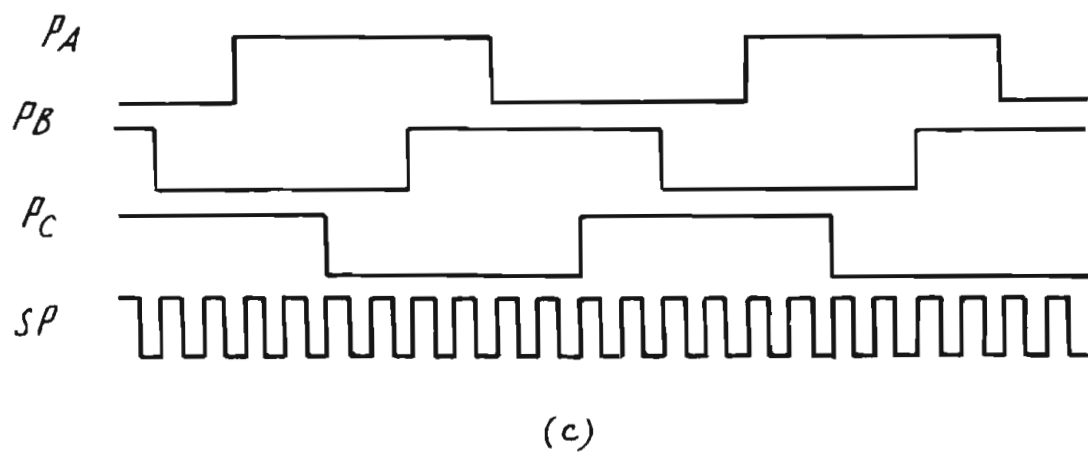
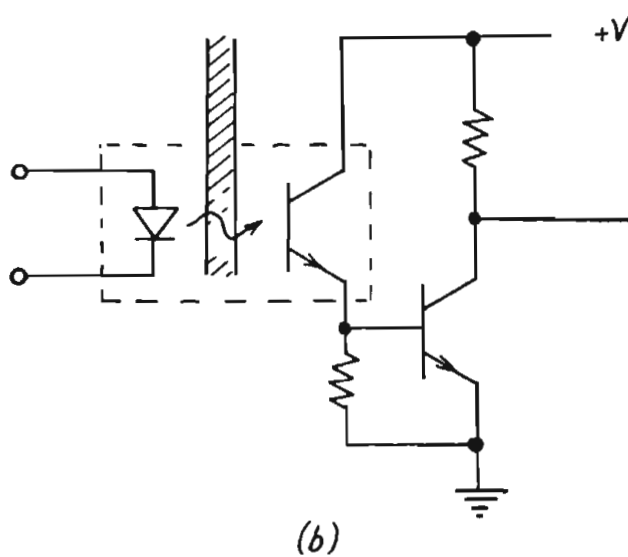
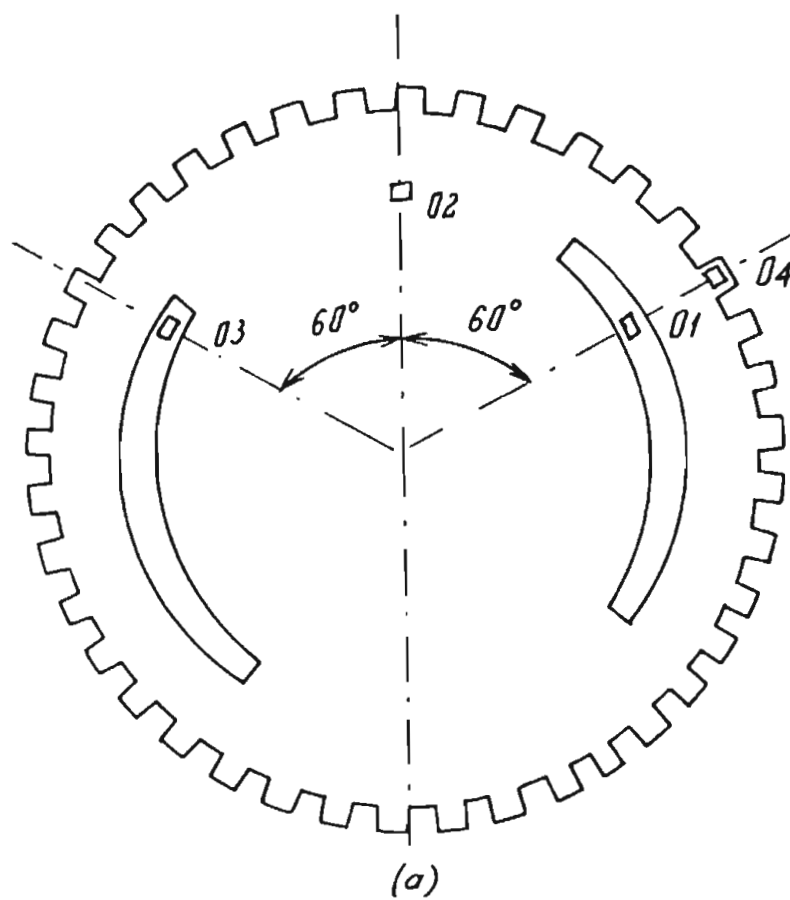
Khởi động hệ truyền động: ở đây sử dụng phương pháp khởi động không đồng bộ, nối trực tiếp với lưới để tốc độ đạt đến (10–15%) tốc độ định mức sau đó đưa bộ biến đổi tần số vào làm việc đảm bảo điều kiện chuyển mạch tự nhiên (xem H.6–19) (Đầu tiên k đóng ở vị trí 1, khi khởi động đến 10–15% ω_{dm} , K chuyển sang vị trí 2).

Truyền động thực hiện hãm tái sinh: lúc đó bộ chỉnh lưu CL_I có góc điều khiển $\alpha_I > 90^\circ$ điện áp chỉnh lưu $U_d < 0$, bộ nghịch lưu NL_{II} có góc điều khiển $\alpha_{II} = 180^\circ - \beta < 90^\circ$ lúc đó sẽ có $U_{NL} > 0$.



Hình 6–19. Cấu trúc hệ truyền động động cơ đồng bộ bộ biến đổi tần số dòng điện chuyển mạch tự nhiên

- Bộ biến đổi I–CL, BBDII–NL; MS động cơ đồng bộ, – K Bộ đóng cắt khởi động
- R_w bộ điều chỉnh tốc độ, R_I bộ điều chỉnh dòng điện, R_{IK} bộ điều chỉnh kích từ. – VT đo vị trí; khối L: lô gic tạo xung điều khiển NL.



Hình 6-20. a) Đĩa đo vị trí rôto; b) Cấu tạo đầu đo; c) Tín hiệu đo.

Trong một số trường hợp mạch đo vị trí rôto không thích hợp với cấu trúc về cơ hoặc môi trường làm việc, người ta thay thế bằng việc đo điện áp stato của động cơ (cách ly mạch lực bằng biến áp hay các phần tử optron). Lúc đó tín hiệu đồng pha không phải là sức điện động mà là điện áp stato U_a, U_b, U_c và góc lệch pha cần điều khiển là góc φ . Ví dụ $\varphi = 30^\circ$ thì $\alpha_{II} = 150^\circ$ ở chế độ động cơ, $\varphi = 150^\circ$, $\alpha_{II} = 30^\circ$ trong chế độ hãm tái sinh.

Sơ đồ cấu trúc trình bày trên H.6-22 về cơ bản nó tương tự như cấu trúc H.6-19 nhưng có điều khác ở mạch điều khiển kích từ và mạch đo tín hiệu đồng pha, lúc đó mômen động cơ được tính:

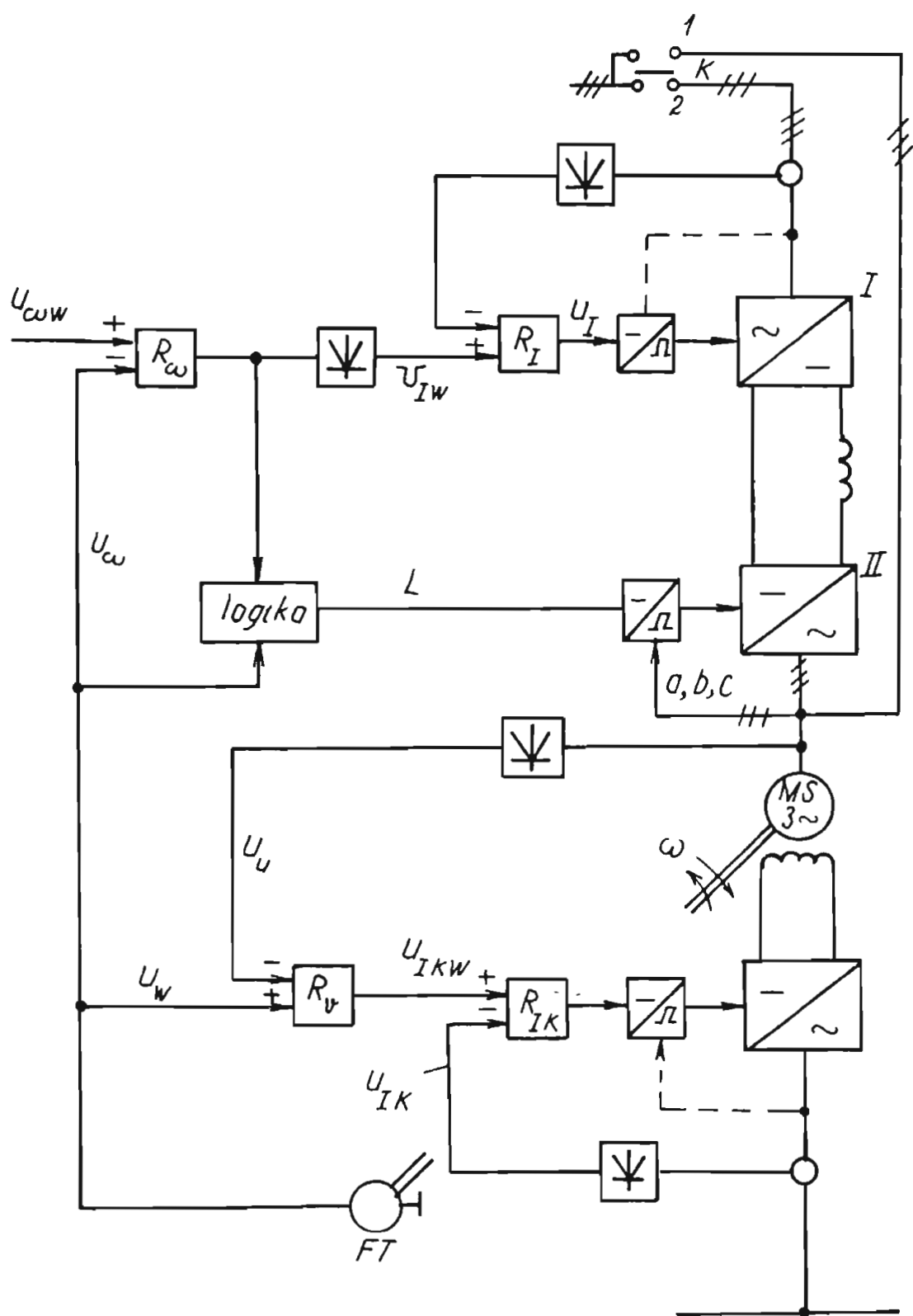
$$M = \frac{3U_s I_s}{\omega} \cos\varphi. \quad (6-29)$$

Nếu ta giữ $\varphi = \text{const}$, và $\frac{U}{\omega} = \text{const}$, thì mômen động cơ sẽ tỷ lệ với dòng I_d .

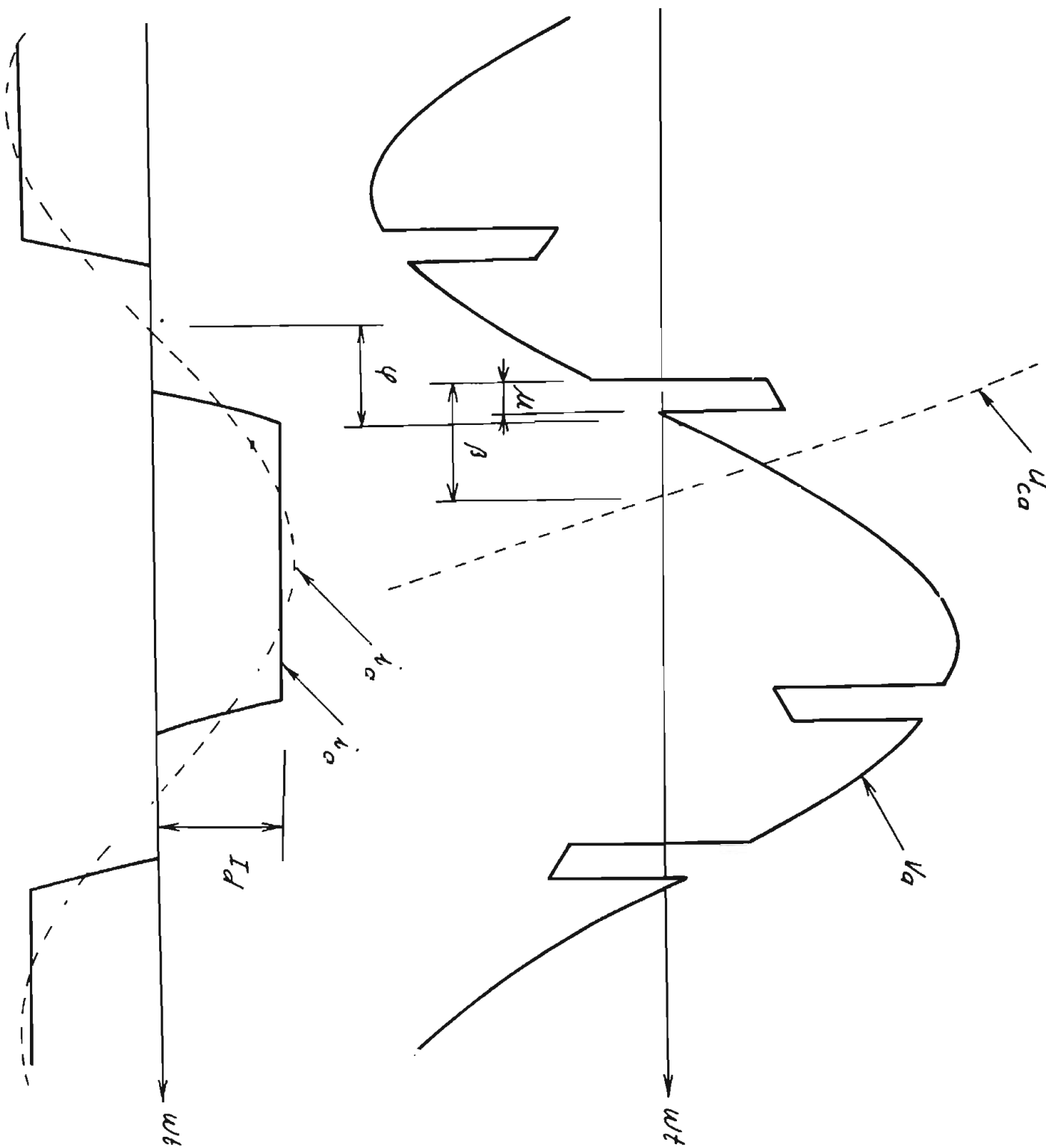
$$M = C_2 I_d. \quad (6-30)$$

Để đảm bảo quan hệ $\frac{U_s}{\omega} = \text{const}$, mạch kích từ cần bố trí thêm bộ điều chỉnh điện áp R_u .

Đồ thị dòng điện và điện áp pha trình bày trên H.6-23.



Hình 6-22 Sơ đồ cấu trúc hệ truyền động động cơ dòng bộ BBD tần số nguồn dòng chuyển mạch tự nhiên (điều khiển NL thông qua đo điện áp $U_{a, b, c}$).



Hình 6–23. Đồ thị dòng điện và điện áp NL khi điều khiển theo góc φ .

Chương 7

TÍNH VÀ CHỌN HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

7-1. NHỮNG VẤN ĐỀ CHUNG

Nội dung cơ bản của tính chọn hệ truyền động điện bao gồm

Xác định công suất động cơ truyền động ;

- Chọn động cơ và loại truyền động ;

- Tính chọn thiết bị mạch lực như bộ biến đổi, các thiết bị đóng cắt, các mạch lọc v.v... ;

- Tính chọn mạch điều khiển ;

- Tính chọn thiết bị và mạch bảo vệ, đo lường, tín hiệu hóa.

Để có thể thực hiện chính xác các nội dung trên người thiết kế cần phải xác định được những yêu cầu cụ thể đối với hệ truyền động, đó là yêu cầu công nghệ và kinh tế. Trong phần này sẽ dẫn ra những hạng mục cơ bản cần xác định trước khi tính chọn hệ truyền động điện.

T Các yêu cầu về công nghệ

T_1 - Loại phụ tải truyền động, trong đó cần tính rõ tổng số chu kỳ làm việc trong một giờ, tổng số lần đảo chiều trong một giờ ;

T_2 - Chiều quay ;

T_3 - Giảm đồ phụ tải ;

T_{3-1} Đối với tải liên tục, cần xác định đặc tính tải $M_c(\omega)$ trong giới hạn làm việc $\omega_{\min}$ và $\omega_{\max}$

- T_{3-2} - Đối với tải liên tục, nhưng máy lại thực hiện công nghệ có nhiều giai đoạn khác nhau, thì giản đồ phụ tải phải xác định rõ tại từng điểm làm việc $M_{cl}(\omega_i)$
- T_{3-3} - Đối với các loại phụ tải còn lại khác, cần phải xây dựng giản đồ phụ tải đầy đủ gồm $M_c(t)$, $\omega(t)$ và $M_c(\omega)$;
- T_4 - Các số liệu yêu cầu về khởi động và hãm truyền động gồm
- Yêu cầu về gia tốc, giảm tốc ;
 - Các yêu cầu về cơ cấu hãm ;
- T_5 - Sơ đồ động học của thiết bị truyền động với số liệu về mômen quán tính và hộp tốc độ ;
- T_6 - Yêu cầu về tính chất mômen quán tính không đổi $J = \text{const}$ hoặc thay đổi $J = f(\omega)$, $J = f(\varphi)$;
- T_7 - Yêu cầu đối với truyền động trong trạng thái vận hành bất bình thường như hãm khẩn cấp, đảo chiều tức thời hay giảm tốc độ đột ngột ;
- T_8 - Yêu cầu về độ chính xác
- T_{8-1} - Yêu cầu về độ chính xác tốc độ trong trạng thái tĩnh $\delta_{\omega}^{\%} = \frac{\Delta\omega}{\omega_{dm}} 100 [\%]$;
- Sai lệch tốc độ cực đại trong trạng thái động khi phụ tải tác động nhảy cấp từ 0 đến định mức $\delta_{\max}^{\%} = \frac{\Delta\omega}{\omega_{dm}} 100 [\%]$;
 - Tích sai lệch cực đại trong chế độ động với thời gian điều chỉnh tương ứng $\tau_{dc} \cdot \frac{\Delta\omega_{\max}}{\omega_{dm}} \cdot 100 [\%]$;
- T_{8-2} - Độ chính xác vị trí $\pm \Delta\varphi [rad]$, $\pm \Delta S [m]$;

T_{8-3} - Độ chính xác điều chỉnh dòng điện (hoặc mômen) theo mục đích công nghệ

$$\frac{\pm \Delta I}{I_{dm}} 100 [\%];$$

T_{8-4} - Độ chính xác điều chỉnh lực kéo $\pm \Delta F$ [N] ;

T_9 - Yêu cầu truyền động nhiều động cơ ;

T_{9-1} Yêu cầu đồng tốc độ dài $V_1 = V_2$ [m/s]

$$\pm \Delta V_{1,2} = V_1 - V_2 \text{ [m/s],}$$

T_{9-2} - Yêu cầu về giữ tỷ lệ tốc độ

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = K;$$

T_{9-3} Yêu cầu về độ chính xác dịch chuyển

$$\varphi_1 = \varphi_2 [\text{rad}], \quad S_1 = S_2 \text{ [m]}$$

$$\pm \Delta \varphi_{1,2} = \varphi_1 - \varphi_2, \quad \pm \Delta S_{1,2} = S_1 - S_2 ;$$

T_{10} Những yêu cầu khác

- Tính chất của thiết kế Lập nhiệm vụ thiết kế cho một dự án, thiết kế chế tạo, thiết kế lắp ráp hoặc thiết kế để hướng dẫn vận hành.

- Các tiêu chuẩn dùng trong thiết kế Theo tiêu chuẩn Việt Nam, hay theo tiêu chuẩn quốc tế v.v.

N - Tham số và điều kiện nguồn điện cung cấp cho hệ truyền động.

N_1 Tham số nguồn điện cung cấp

Lưới điện xoay chiều 3 ~ 50 Hz, 6kV ; 3 ~ 50 Hz, 380 V ...

Lưới điện một chiều 600 V, 1000 V ...

N_{11} Độ dao động điện áp lưới, thí dụ 3 380
 $V_{-5\%}^{+10\%}$

N_{12} Độ dao động tần số 50 Hz $\pm 1\%$,

N_2 - Công suất ngắn mạch ;

N_{21} Công suất ngắn mạch ở nguồn cao áp mà trong đó có cấp cho hệ truyền động,

N_{22} Giá trị thực của công suất ngắn mạch phục vụ cho việc xác định sụt áp của nguồn ΔU ,

N_{23} - Nếu hệ truyền động nối với lưới hạ áp cần xác định rõ tham số của nó. Thí dụ lưới 3 x 380 V cấp từ biến thế 1000 kVA $6kV_{-5\%}^{+10\%}/0,4$ và $\Delta U_K = 5\%$,

N_3 - Giá trị dòng khởi động cho phép ;

N_4 Yêu cầu hạn chế thành phần điều hòa bậc cao dòng và áp ảnh hưởng tới nguồn cung cấp ;

N_5 Các yêu cầu đặc biệt khác, thí dụ cần cắt nguồn tự động hay bằng tay khi có sự cố ở lưới hay ở hệ truyền động.

M Ảnh hưởng môi trường tới hệ truyền động

Môi trường nơi lắp đặt hệ truyền động có ảnh hưởng lớn đến cấu trúc hệ truyền động, cấp cách điện động cơ và buồng điều khiển. Vì vậy ngay từ khi tính chọn đã phải xác định rõ điều kiện môi trường.

Thí dụ - Nhiệt độ -10°C đến 40°C

Độ cao so với mực nước biển < 1000 m

Độ ẩm tương đối $< 80\%$

Độ ẩm tuyệt đối $< 15\text{g/m}^3$

- Bụi < 15 mg m⁻³
- Độ ồn < 70 db

K - Yêu cầu về kết cấu hệ truyền động

K_1 - Yêu cầu về kiểu kín, hay kiểu hở,

K_2 - Dạng lắp ráp bộ hay mặt bích,

K_3 - Phương pháp làm mát tự làm mát hay làm mát cưỡng bức,

K_4 - Hạn chế tiếng ồn,

K_5 - Yêu cầu hạn chế không gian, kích thước lắp đặt.

S - Yêu cầu về độ tin cậy, mức độ tự động hóa, trình độ người vận hành và bảo trì.

Độ tin cậy hệ truyền động có liên quan tới chất lượng và độ phức tạp của các phần tử trong hệ. Vì vậy, cần phải tính chọn sao cho hệ truyền động có cấu trúc đơn giản nhất mà đáp ứng được yêu cầu công nghệ.

7-2. PHÁT NÓNG VÀ NGUỘI LẠNH MÁY ĐIỆN

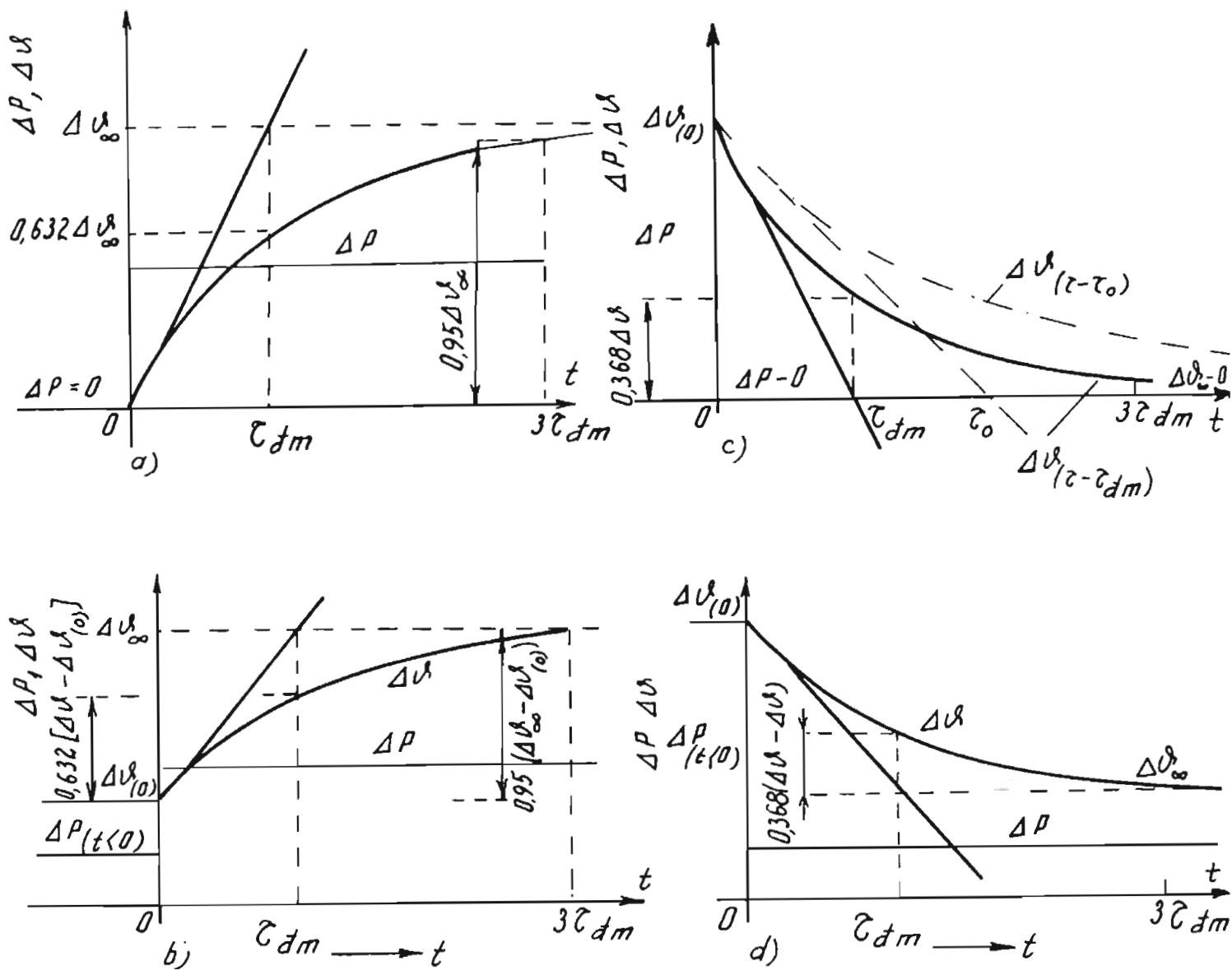
Khi máy điện làm việc, phát sinh các tổn thất ΔP và tổn thất năng lượng $\Delta W = \int_1^0 \Delta P dt$. Tổn thất này sẽ đốt nóng máy điện.

Đối với vật thể đồng nhất, ta có quan hệ

$$\Delta P dt = C dv + A \Delta v dt. \quad (7-1)$$

trong đó Δv là nhiệt sai giữa máy điện và môi trường 0°C

C - là nhiệt dung của máy điện, là nhiệt lượng cần thiết để :



Hình 7-1. Quá trình phát nóng và nguội lạnh của máy điện.

a) Phát nóng từ nhiệt độ môi trường [$\Delta v_0 = 0$]

$$\Delta v = \Delta v_\infty (1 - e^{-t/\tau_{dm}}); \quad \left(\frac{dv}{dt} \right)_0 = \frac{\Delta v_\infty}{\tau_{dm}}$$

b) Phát nóng từ nhiệt độ có [$\Delta v_0 \neq 0$]

$$\Delta v = \Delta v_0 + [\Delta v_\infty - \Delta v_0 (1 - e^{-t/\tau_{dm}})]$$

$$\left(\frac{dv}{dt} \right)_0 = \frac{\Delta v_\infty - \Delta v_0}{\tau_{dm}}$$

c) Nguội lạnh đến nhiệt độ môi trường $\Delta v_\infty = 0$

$$\Delta v = \Delta v_0 e^{-t/\tau_{dm}}; \quad \left(\frac{dv}{dt} \right)_0 = -\frac{\Delta v_0}{\tau_{dm}}$$

d) Nguội lạnh đến nhiệt độ có [$\Delta v_\infty \neq 0$] (tương tự như trường hợp b)

nâng nhiệt độ của máy điện lên 1°C (J/độ).

A – Hệ số tỏa nhiệt (W /độ) phụ thuộc vào tốc độ truyền nhiệt của không khí làm mát máy điện (ở máy điện có quạt làm mát, hệ số A phụ thuộc vào tốc độ quay).

Giải phương trình (7–1), ta nhận được

$$\Delta v = \Delta v(o) + [\Delta v_{\infty} - \Delta v(o)](1 - e^{-t/\tau}) \quad (7-2)$$

trong đó:

Δv_o là nhiệt sai ban đầu

Δv_{∞} là nhiệt sai ổn định; $\Delta v_{\infty} = \frac{\Delta P}{A}$

τ là hằng số thời gian phát nóng (s).

Trên H.7–1 biểu diễn quá trình phát nóng và nguội lạnh máy điện khi tổn thất ΔP tăng nhảy cấp.

Giá trị của hằng số thời gian phát nóng định mức τ_{dm} thường ở giới hạn .

- | | |
|--|-------------------|
| – Máy nhỏ kiểu hở | : 5 ÷ 20 phút |
| – Máy trung bình quạt gió ngoài, kiểu hở | : 20 ÷ 40 phút |
| – Máy lớn quạt gió ngoài, kiểu hở | : 30 ÷ 50 phút |
| – Máy kiểu kín làm mát bề mặt | : 50 ÷ 120 phút |
| – Máy kín chống nổ | : 120 ÷ 240 phút. |

7–3. CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC CỦA TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

Căn cứ vào đặc tính phát nóng và nguội lạnh của máy điện, người ta chia chế độ làm việc của truyền động thành ba loại . Dài hạn, ngắn hạn và ngắn hạn lặp lại (xem H.7–2).

a) Chế độ dài hạn Do phụ tải duy trì trong thời gian dài, cho nên nhiệt độ của động cơ đủ thời gian đạt tới trị số ổn định.

b) Chế độ ngắn hạn : Do phụ tải duy trì trong thời gian ngắn,

thời gian nghỉ dài, cho nên nhiệt độ động cơ chưa kịp đạt tới giá trị ổn định và nhiệt độ động cơ sẽ giảm về giá trị ban đầu.

c) Chế độ ngắn hạn lặp lại: Phụ tải có tính chất chu kỳ, thời gian làm việc và nghỉ xen kẽ nhau. Nhiệt độ động cơ chưa tăng đến trị số ổn định thì được giảm do mất tải; Nhiệt độ động cơ suy giảm chưa về giá trị ban đầu thì lại tăng lên do có tải. Do vậy, người ta đưa ra khái niệm thời gian đóng điện tương đối:

$$\varepsilon \% = \frac{t_{lv}}{t_{c.kỳ}} \cdot 100\%, \tag{7-3}$$

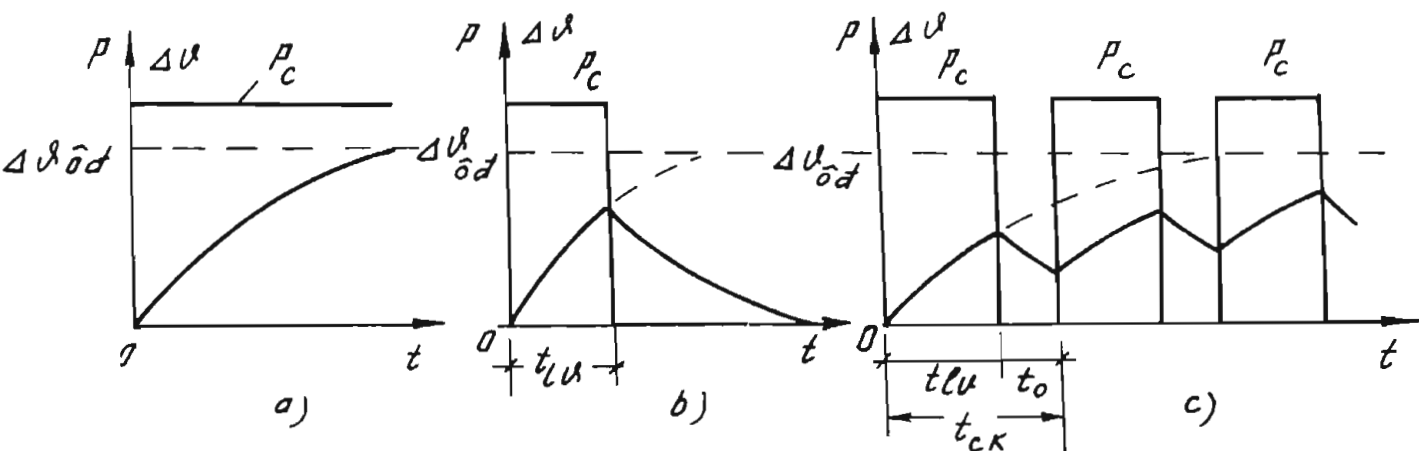
trong đó : t_{lv} : thời gian làm việc có tải

$t_{c.kỳ} = t_{lv} + t_{nghỉ}$ là thời gian của một chu kỳ.

7-4. CHỌN CÔNG SUẤT ĐỘNG CƠ CHO NHỮNG TRUYỀN ĐỘNG KHÔNG ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ

Để chọn công suất động cơ, chúng ta cần phải biết đồ thị phụ tải $M_c(t)$ và $P_c(t)$ đã quy đổi về trục động cơ và giá trị tốc độ yêu cầu.

Từ biểu đồ phụ tải, ta tính chọn sơ bộ động cơ theo công suất; tra ở trong sổ tay tra cứu ta có đầy đủ các tham số của động cơ. Từ đó tiến hành xây dựng đồ thị phụ tải chính xác (trong các chế độ tĩnh, khởi động và hãm).



Hình 7-2. Phân loại các chế độ làm việc của truyền động điện.
a) Dài hạn; b) Ngắn hạn; c) Ngắn hạn lặp lại.

Dựa vào đồ thị phụ tải chính xác, tiến hành kiểm nghiệm động cơ đã chọn.

7-4.1. Chọn công suất động cơ làm việc dài hạn.

Đối với phụ tải dài hạn có loại không đổi (H.7-4a) và loại biến đổi (H.7-4b).

a) Phụ tải dài hạn không đổi: Động cơ cần chọn phải có công suất định mức $P_{dm} \geq P_c$ và ω_{dm} phù hợp với tốc độ yêu cầu. Thông thường $P_{dm} = (1 - 1,3)P_c$. Trong trường hợp này việc kiểm nghiệm động cơ đơn giản: Không cần kiểm nghiệm quá tải về mô men, nhưng cần phải kiểm nghiệm điều kiện khởi động và phát nóng.

b) Phụ tải dài hạn biến đổi: Để chọn được động cơ phải xuất phát từ đồ thị phụ tải tính ra giá trị trung bình của mô men hoặc công suất.

$$M_{tb} = \frac{\sum_0^n M_i t_i}{\sum_0^n t_i}$$

$$P_{tb} = \frac{\sum_0^n P_i t_i}{\sum_0^n t_i}$$
(7-4)

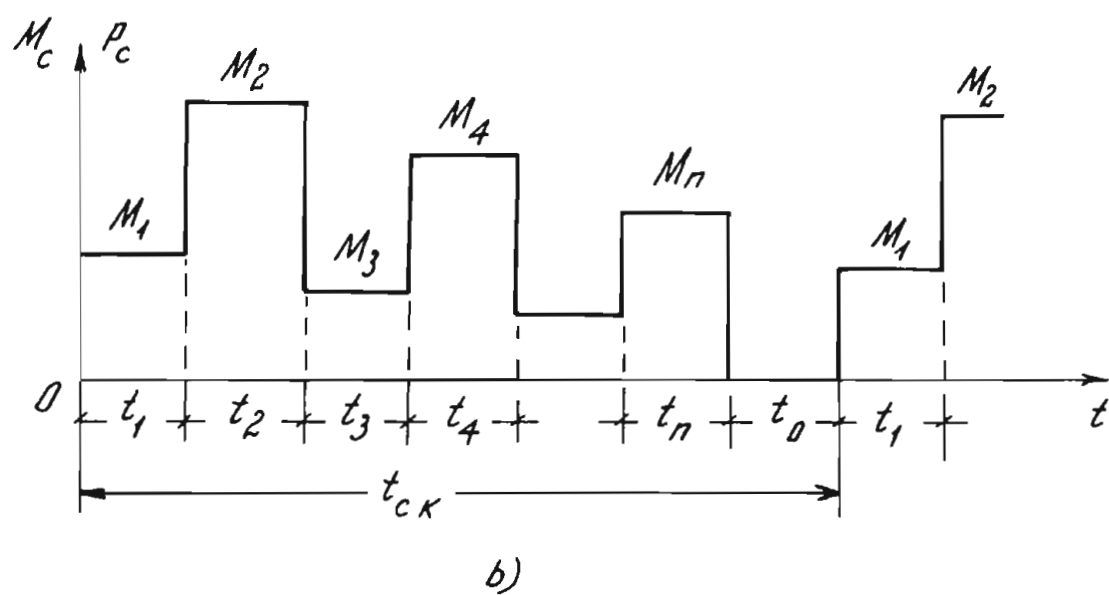
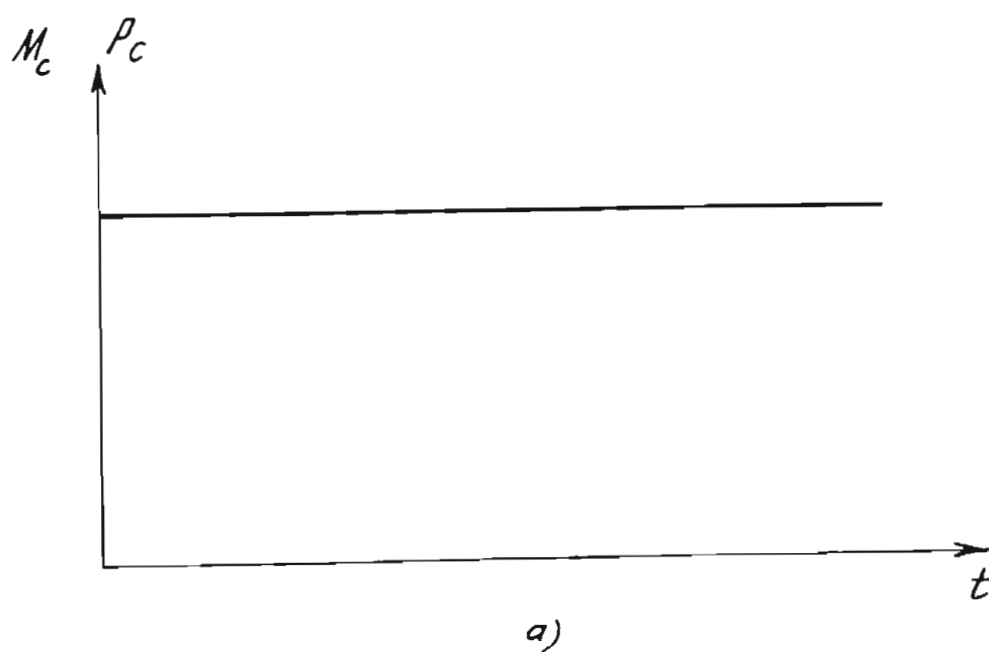
động cơ chọn phải có : $M_{dm} = (1 \div 1,3)M_{tb}$

$$P_{dm} = (1 \div 1,3) P_{tb}$$

Điều kiện kiểm nghiệm : kiểm nghiệm phát nóng, quá tải về mômen và khởi động.

7-4.2. Chọn công suất động cơ làm việc ngắn hạn

Trong chế độ làm việc ngắn hạn có thể sử dụng động cơ dài hạn hoặc sử dụng động cơ chuyên dùng cho chế độ làm việc ngắn hạn.



Hình 7-4. Đồ thị phụ tải a) Phụ tải dài hạn không đổi; b) Phụ tải dài hạn biến đổi.

Biểu đồ phụ tải ngắn hạn tính tại trục động cơ được trình bày trên H.7-5.

a) Chọn công suất động cơ dài hạn làm việc ở chế độ ngắn hạn.

Giả thiết động cơ dài hạn được chọn có công suất định mức P_{dm} và mô men định mức M_{dm} . Chắc chắn rằng trong chế độ ngắn hạn với thời gian t_{lv} , có thể tăng công suất phụ tải đến giá trị $P_{lv} = x P_{dm}$ hay $M_{lv} = x M_{dm}$, khi đó phải tính toán thời gian làm việc t_{lv} sao cho phát nóng động cơ đạt giá trị cho phép.

$$\Delta\vartheta_{cf} = \frac{\Delta P_{dm}}{A_{dm}} = \frac{K_{dm} + V_{dm}}{A_{dm}} \quad (7-5)$$

trong đó K_{dm} là tổn thất định mức bất biến,

V_{dm} là tổn thất định mức biến đổi.

Giá trị phát nóng ổn định khi động cơ làm việc với công suất P_{lv} là .

$$\Delta\vartheta'_{od} = \frac{\Delta P_{lv}}{A_{dm}} = \frac{K_{dm} + x^2 V_{dm}}{A_{dm}} \quad (7-6)$$

Xuất phát từ đường cong phát nóng $\Delta\vartheta(t)$, có thể xác định

$$\Delta\vartheta_{max} = \Delta\vartheta_{cf} = \Delta\vartheta'_{od} (1 - e^{-t_{lv}/T}) \quad (7-7)$$

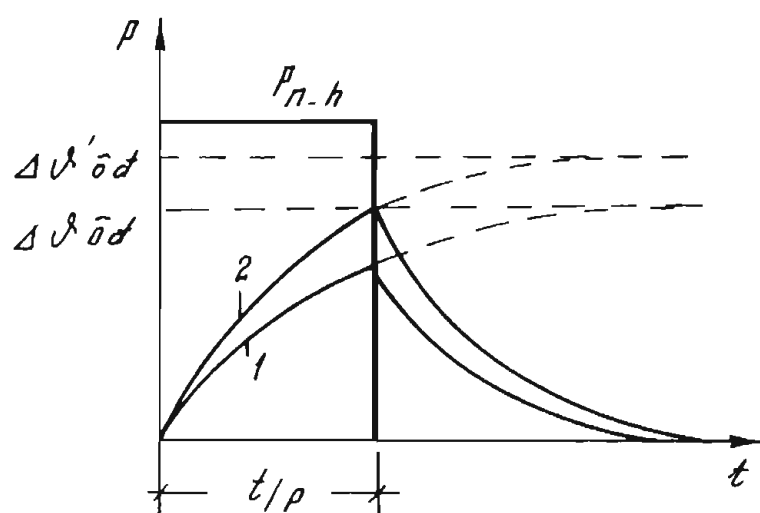
đồng thời ta đặt $\gamma = \frac{K_{dm}}{V_{dm}}$ và $x = \frac{M}{M_{dm}}$ sau khi biến đổi, tìm được giá

trị mômen M_{lv} cho phép trong thời gian t_{lv}

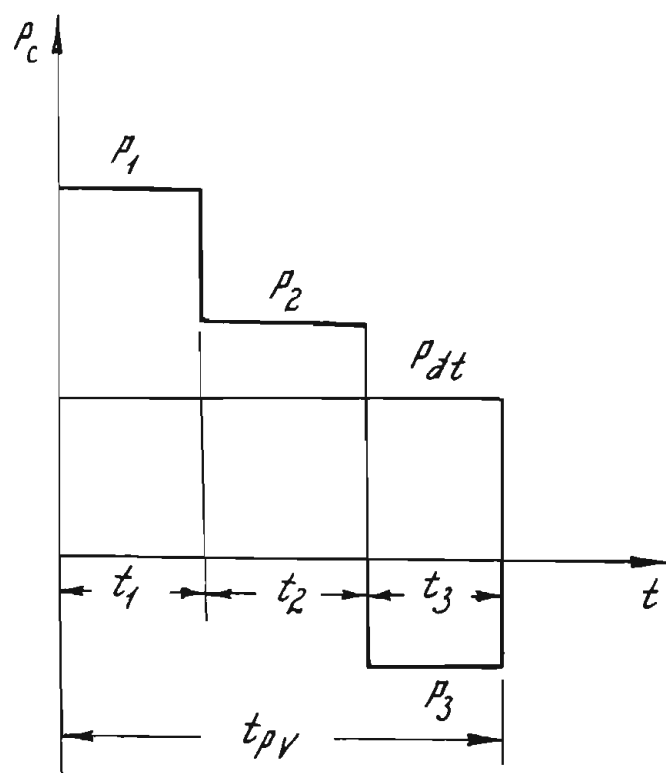
$$M_{lv} = M_{dm} \sqrt{\frac{\gamma + 1}{1 - e^{-t_{lv}/T}} - \gamma} \quad (7-8)$$

Giá trị M_{lv} tìm được không được vượt quá giá trị cho phép theo điều kiện quá tải về mômen của động cơ.

Từ biểu thức (7-8) tìm được thời gian làm việc, trong thời gian này động cơ có thể làm việc với M_{lv}



Hình 7-5. Đồ thị phụ tải ngắn hạn không đối và đường cong phát nóng nguội lạnh của động cơ ở chế độ ngắn hạn Đường 1: $P_{dm} = P_{lv}$; Đường 2: $P_{dm} < P_{lv}$.



Hình 7-6. Đồ thị phụ tải ngắn hạn biến đổi.

$$t_{lv} = \frac{1}{T} \frac{M_{dm}^2 M_{lv}}{M_{lv}^2 - M_{dm}^2} \quad (7-9)$$

Nếu phụ tải biến đổi như trên H.7-6 thì giá trị mô men có tính bằng công thức đẳng trị

$$M_{dl} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + M_n^2 t_n}{t_{lv}}} \quad (7-10)$$

Để chọn công suất động cơ dài hạn làm việc với phụ tải ngắn hạn ta phải dựa vào công suất làm việc yêu cầu P_{lv} và giả thiết hệ số quá tải công suất x để chọn sơ bộ động cơ dài hạn. Từ đó có thể xác định được thời gian làm việc cho phép động cơ vừa chọn. Việc tính chọn đó được tính lặp lại nhiều lần làm sao cho t_{lv} tính toán $\leq t_{lv}$ yêu cầu.

b) *Chọn động cơ ngắn hạn làm việc với phụ tải ngắn hạn.*

Động cơ ngắn hạn được chế tạo có thời gian làm việc tiêu chuẩn là 15, 30, 60, 90 phút. Như vậy ta phải chọn $t_{lv} = t_{chuẩn}$ và công suất động cơ $P_{dm\ chọn} \geq P_{lv}$ hay $M_{dm\ chọn} \geq M_{lv}$.

Nếu $t_{lv} \neq t_{chuẩn}$ thì sơ bộ chọn động cơ có $t_{chuẩn}$ và P_{dm} gần với giá trị t_{lv} và P_{lv} . Sau đó xác định tổn thất động cơ ΔP_{dm} với công suất P_{dm} và ΔP_{lv} với P_{lv} . Quy tắc chọn động cơ là

$$\Delta P_{dm} \geq \frac{1 - e^{t_{lv}/T}}{1 - e^{-t_{ch}/T}} \Delta P_{lv} \quad (7-11)$$

Đồng thời tiến hành kiểm nghiệm động cơ theo điều kiện quá tải về mô men và mô men khởi động, cũng như điều kiện phát nóng.

7-4.3. Chọn công suất động cơ cho phụ tải ngắn hạn lặp lại

Biểu đồ phụ tải ngắn hạn lặp lại được trình bày trên (H.7-7). Sau một thời gian, nhiệt sai động cơ sẽ ổn định có hai giá trị Δv_{min} và Δv_{max} .

Cũng tương tự như trong trường hợp phụ tải ngắn hạn, ta có thể chọn động cơ dài hạn làm việc với phụ tải ngắn hạn lặp lại, hoặc

chọn động cơ chuyên dụng ngắn hạn lặp lại.

a) *Tính chọn công suất động cơ dài hạn làm việc với phụ tải ngắn hạn lặp lại:*

Thường động cơ dài hạn được chọn ở công suất $P_{dm} \leq P_{lv}$ để tận dụng hết khả năng phát nóng cho phép của động cơ. Như vậy hệ số quá tải về nhiệt độ được tính.

$$\delta = \frac{\Delta P_{lv}}{\Delta P_{dm}} = \frac{\Delta \vartheta'_{od}}{\Delta \vartheta_{max}} \quad (7-12)$$

trong đó $\Delta \vartheta'_{od}$ và $\Delta \vartheta_{max}$ được định nghĩa trong (7-6) và (7-7)

Xuất phát từ đường cong phát nóng ta có

$$\delta = \frac{\Delta v'_{od}}{\Delta v_{max}} = \frac{1 - e^{-t_{lv}/\varepsilon' \tau}}{1 - e^{-t_{lv}/\tau}} \quad (7-13)$$

trong đó τ – hằng số thời gian phát nóng của động cơ.

$$\varepsilon' = \frac{t_{lv}}{t_{lv} + \beta t_o} \quad \text{và} \quad \beta = \frac{\tau}{t_o} \quad (7-14)$$

β là hệ số xét đến điều kiện làm mát bị xấu đi trong thời gian nghỉ t_o ($\beta = 0,5$ đối với máy một chiều; $\beta = 0,25$ đối với máy không đồng bộ).

Để chọn được động cơ dài hạn làm việc với phụ tải ngắn hạn lặp lại, ta dựa vào đồ thị phụ tải để có p_{lv} yêu cầu t_{lv} , t_o từ đó chọn sơ bộ công suất động cơ để có τ và τ_o để tính ε' và cuối cùng là δ . Sử dụng phương pháp tính lặp sao cho $\frac{\Delta P_{lv}}{\delta} \leq \Delta P_{dm}$ của động cơ chọn thì kết thúc việc tính chọn.

b) *Tính chọn công suất động cơ ngắn hạn lặp lại cho phụ tải ngắn hạn lặp lại.*

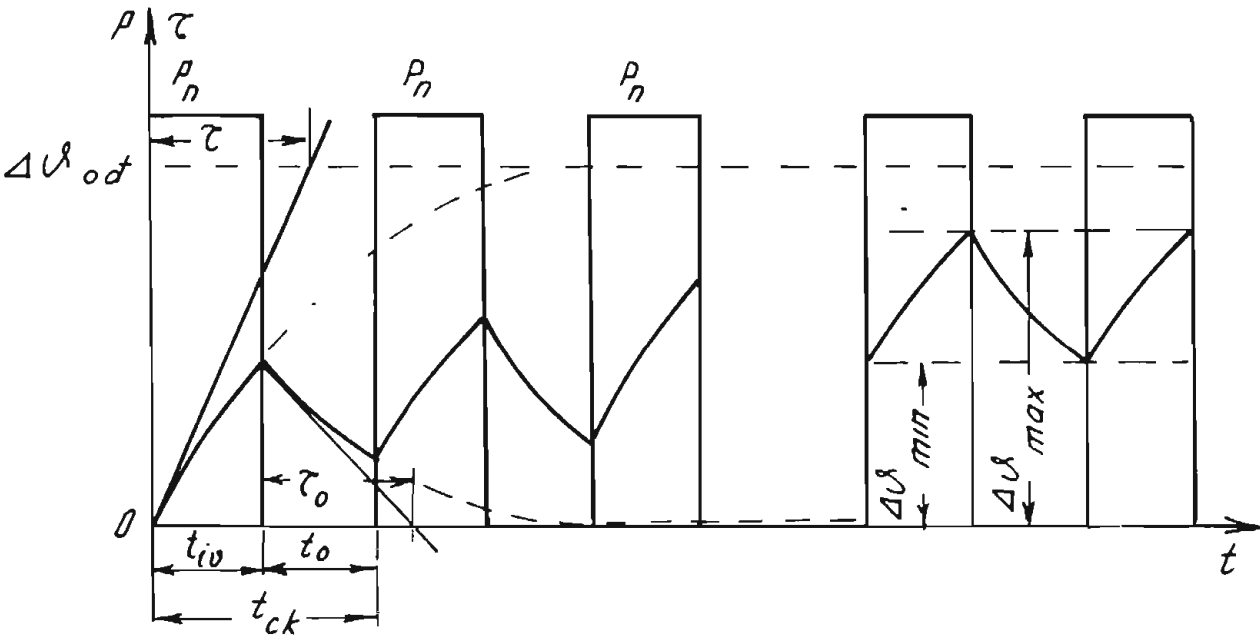
Động cơ ngắn hạn lặp lại, được chế tạo chuyên dụng có độ bền cơ khí cao, quán tính nhỏ (để đảm bảo chế độ khởi động và hãm thường

xuyên) và khả năng quá tải lớn (từ $2,5 \div 3,5$). Đồng thời được chế tạo chuẩn với thời gian đóng điện $\varepsilon\% = 15\%, 25\%, 40\%$ và 60% .

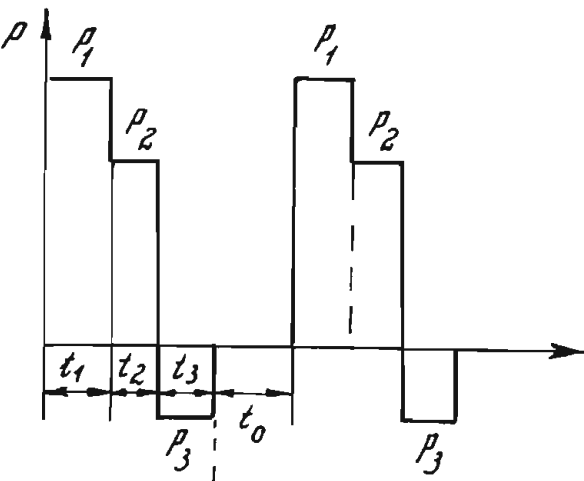
Động cơ được chọn cần có hai tham số

$$P_{dm\ chọn} \geq P_{lv}$$

$$\varepsilon\%_{dm\ chọn} \text{ phù hợp với } \varepsilon\% \text{ làm việc}$$



Hình 7-7 Đồ thị phụ tải ngắn hạn lặp lại không đổi và các đường cong phát nóng nguội lạnh của động cơ.



Hình 7-8 Đồ thị phụ tải ngắn hạn lặp lại biến đổi.

Trong trường hợp $\varepsilon_{lv}^{\%}$ không phù hợp với $\varepsilon_{dm\ chon}^{\%}$ thì cần hiệu chỉnh lại công suất định mức theo công thức :

$$P_{dm\ chon} = P_{lv} \sqrt{\frac{\varepsilon_{lv}^{\%}}{\varepsilon_{dm\ chon}^{\%}}} \quad (7-15)$$

Ghi chú: Trong trường hợp phụ tải biến đổi như trên H.7-8 thì ta phải dùng công thức tính các đại lượng đẳng trị

$$P_{dt} = \sqrt{\frac{\sum_0^n P_i^2 t_i}{\sum t_i}} \quad (7-16)$$

$$\varepsilon_{dt}^{\%} = \frac{\sum t_i}{\sum t_i \sum t_{io}} \quad (7-17)$$

Sau đó phải kiểm tra về mô men quá tải, mô men khởi động và phát nóng.

7-5. TÍNH CHỌN CÔNG SUẤT ĐỘNG CƠ CHO TRUYỀN ĐỘNG CÓ ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ

Để tính chọn công suất động cơ trong trường hợp này cần phải biết những yêu cầu cơ bản sau:

- Đặc tính phụ tải $P_{yc}(\omega)$, $M_{yc}(\omega)$ và đồ thị phụ tải: $P_c(t)$, $M_c(t)$, $\omega(t)$;
- Phạm vi điều chỉnh tốc độ : ω_{max} và ω_{min}
- Loại động cơ (một chiều hoặc xoay chiều) dự định chọn.
- Phương pháp điều chỉnh và bộ biến đổi trong hệ thống truyền động đó cần phải định hướng xác định trước.

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, $P =$ hằng số (xem H.7-9a).

Ta có công suất yêu cầu cực đại $P_{\max} = P_{\text{đm}} = \text{const}$, nhưng mômen yêu cầu cực đại lại phụ thuộc vào phạm vi điều chỉnh

$$M_{\max} = \frac{P_{\text{đm}}}{\omega_{\min}}$$

Đối với phụ tải truyền động yêu cầu trong phạm vi điều chỉnh, $M = \text{const}$ (xem H.7-9b). Ta có công suất yêu cầu cực đại $P_{\max} = M_{\text{đm}} \cdot \omega_{\max}$.

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 $P_{\text{đc}}(\omega)$, $M_{\text{đ/c}}(\omega)$ của truyền động. Thông thường các đặc tính điều chỉnh này thường phù hợp với đặc tính phụ tải yêu cầu $P_{\text{yc}}(\omega)$, $M_{\text{yc}}(\omega)$ (xem H.7-10).

Tuy vậy có trường hợp, người ta thiết kế hệ truyền động có đặc tính điều chỉnh không phù hợp chỉ vì mục đích đơn giản cấu trúc điều chỉnh.

Ví dụ: Đối với tải $P = \text{const}$, khi sử dụng động cơ một chiều, phương pháp điều chỉnh thích hợp là điều chỉnh từ thông kích từ. Nhưng ta dùng phương pháp điều chỉnh điện áp phần ứng thì khi tính chọn công suất động cơ cần phải xét yêu cầu $M_{\max}$ (H.7-11). Như vậy công suất động cơ lúc đó không phải là $P_{\text{đm}} = P_{\text{yc}}$ mà

$$P_{\text{đm}} = M_{\max} \cdot \omega_{\max} = \frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}} \cdot P_{\text{y/c}} = D \cdot P_{\text{y/c}} \quad (7-18)$$

Như vậy công suất đặt sẽ lớn hơn D lần so với $P_{\text{y/c}}$.

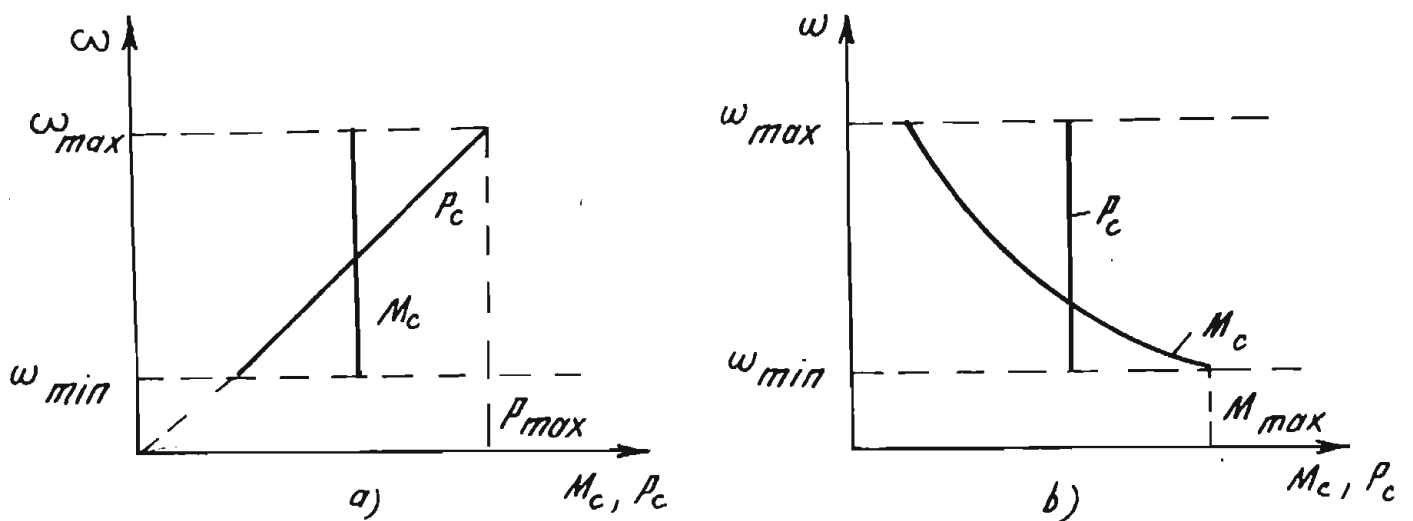
Mặt khác việc tính chọn công suất động cơ còn phụ thuộc vào phương pháp điều chỉnh tốc độ, ví dụ cùng một loại động cơ như động cơ không đồng bộ, mỗi phương pháp điều chỉnh khác nhau có đặc tính hiệu suất truyền động khác nhau (xem 7-4.3), phương pháp điều chỉnh điện áp dùng tiristo có hiệu suất rất thấp so với phương pháp điều chỉnh tần số dùng bộ biến đổi tiristo. Vì vậy khi

tính chọn công suất động cơ bắt buộc phải xét tới tổn thất công 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 các yêu cầu cơ bản cho việc tính chọn.

7-6. KIỂM NGHIỆM CÔNG SUẤT ĐỘNG CƠ

Việc tính chọn công suất động cơ phần 7-4 và 7-5 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.



Hình 7-9. Đồ thị công suất và mômen cản tĩnh của các truyền động điện điều chỉnh với $M_c = \text{const}$ (a), và $P_c = \text{const}$ (b).

Yêu cầu về kiểm nghiệm việc tính chọn công suất động cơ gồm có:

– Kiểm nghiệm phát nóng :

$$\Delta \vartheta \leq \Delta \vartheta_{cf}$$

– Kiểm nghiệm quá tải về mômen

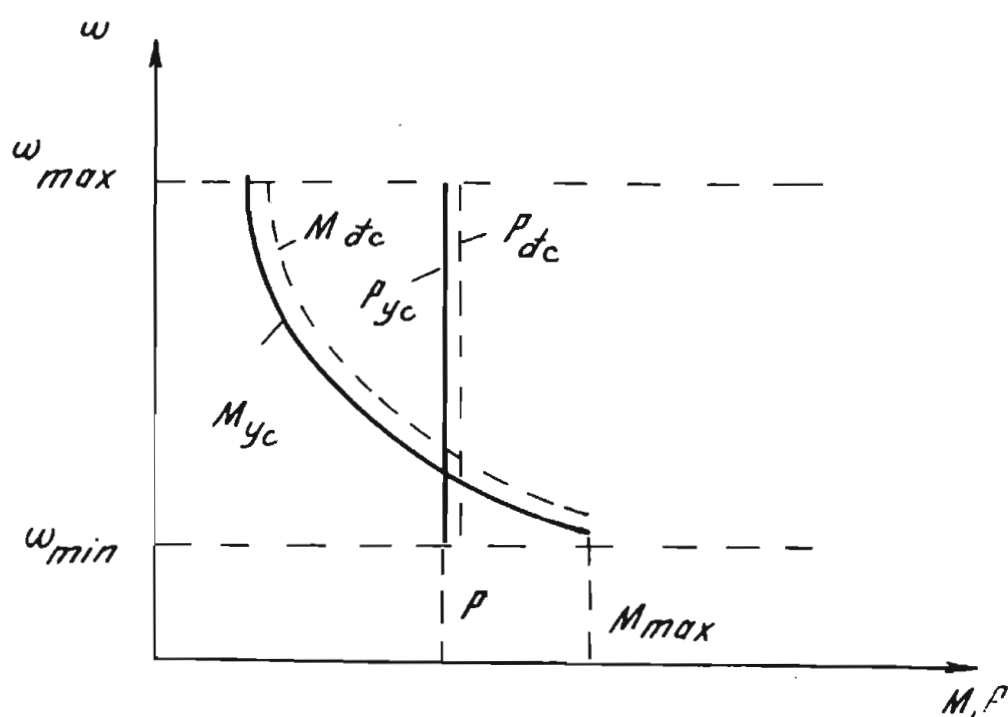
$$M_{dm \text{ đ/c}} > M_{c \text{ max}}$$

– Kiểm nghiệm mô men khởi động

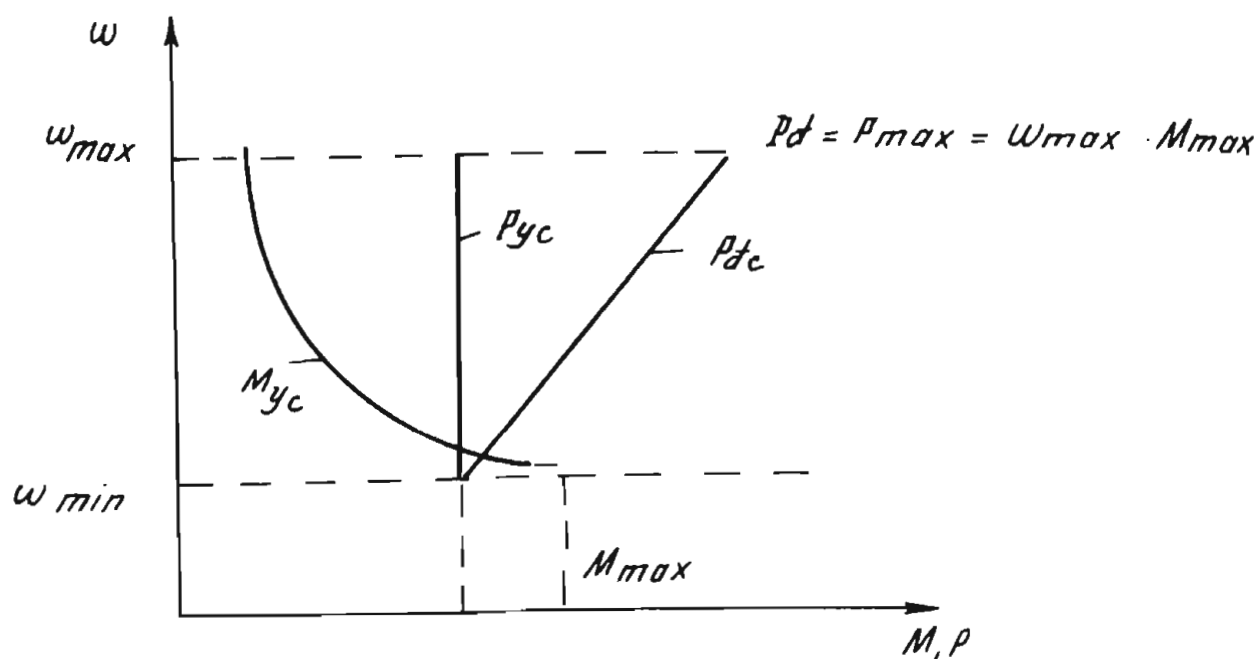
$$M_{kd \text{ đ/c}} \geq M_{c \text{ mở máy}}$$

Ta thấy rằng việc kiểm nghiệm theo yêu cầu quá tải về mômen

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



Hình 7-10. Đặc tính phụ tải yêu cầu M_{yc} và P_{yc} (đường nét liền). Đặc tính điều chỉnh M_{dc} và P_{dc} (đường nét đứt) phù hợp với phụ tải.



Hình 7-11. Đặc tính chọn công suất động cơ có đặc tính điều chỉnh không phù hợp.

toán phức tạp). Tuy vậy gần đúng có thể sử dụng các phương pháp kiểm nghiệm phát nóng gián tiếp qua đại lượng điện.

a) *Kiểm nghiệm phát nóng động cơ bằng phương pháp tổn thất trung bình*: Xuất phát từ biểu thức :

$$\Delta v_i = \frac{\Delta P_i}{A} (1 - e^{-t/\tau}) + \Delta v_{bdi} e^{-t/\tau} \quad (7-19)$$

Thay thế các giá trị tổn thất công suất Δp_i ở các giai đoạn vào (7-19) và tính toán gần đúng ta có tổn thất trung bình:

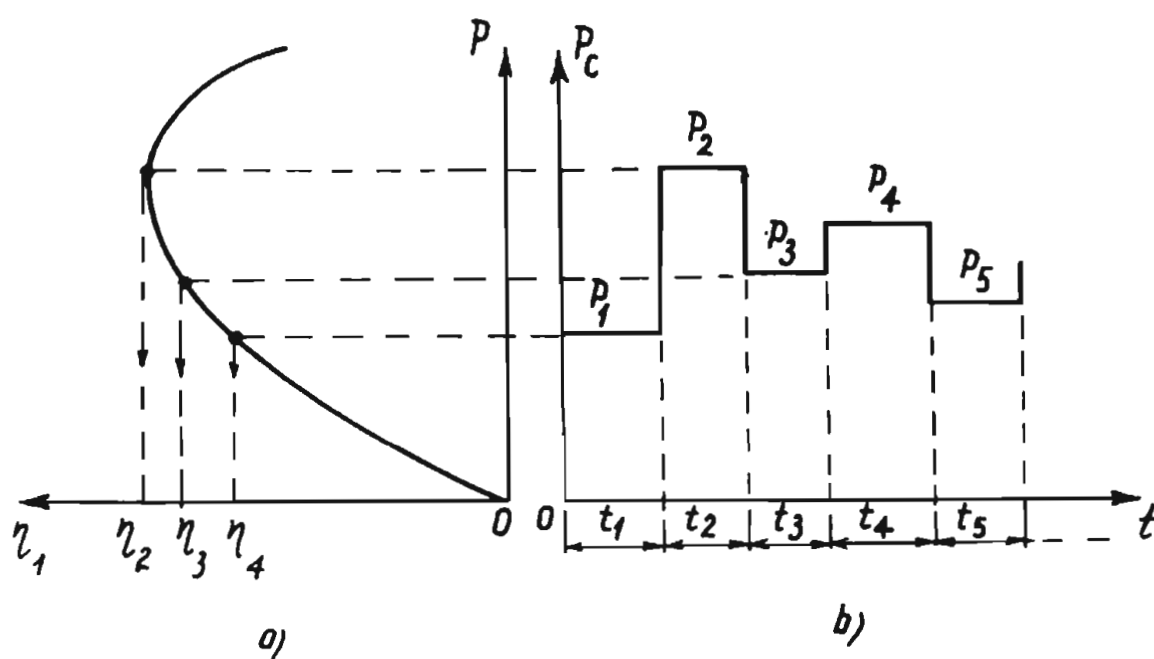
$$\Delta P_{tb} = \frac{\Delta P_1 t_1 + \Delta P_2 t_2 + \dots + \Delta P_i t_i}{t_1 + t_2 + \dots + t_i}$$

Như vậy ta có điều kiện kiểm nghiệm, nếu

$$\Delta P_{tb} \leq \Delta P_{dm \text{ đ/c}} \quad (7-20)$$

thì động cơ chọn thỏa mãn điều kiện phát nóng.

Việc tính ΔP_i , dựa vào đồ thị $P(t)$ và $\rho(\eta)$ của động cơ (xem H.7-12), và $\Delta P_{dm \text{ đ/c}}$ được xác định theo công thức



Hình 7-12. Đường cong hiệu suất của động cơ (a), đồ thị phụ tải (b) và cách xác định η .

$$\Delta P_{dm \text{ đ/c}} = P_{dm} \cdot \frac{1 - \eta_{dm}}{\eta_{dm}} \quad (7-21)$$

Chú ý đối với động cơ có quạt gió tự làm mát trong biểu thức (7-20) phải tính đến khả năng suy giảm của truyền nhiệt khi dừng máy, khi khởi động và hãm. Ta có

$$\Delta P_{tb} = \frac{\sum_1^n P_i t_i}{\alpha \sum t_k + \beta \sum t_o + \sum t_{lv}}, \quad (7-22)$$

trong đó :

α là hệ số giảm truyền nhiệt khi khởi động và hãm,

$\alpha = 0,75$ đối với động cơ một chiều,

$\alpha = 0,5$ động cơ xoay chiều;

t_k là thời gian khởi động và hãm; (β và t_o xem 7-4.3).

b) *Kiểm nghiệm phát nóng động cơ theo đại lượng dòng điện đẳng trị :*

Xuất phát từ biểu thức:

$$\Delta P = K + V = K + bI^2, \quad (7-23)$$

trong đó: K là tổn thất không đổi

V – là tổn thất biến đổi, $V = bI^2$

b – hệ số.

Như vậy tương đương với biểu thức ΔP_{tb} ta có biểu thức dòng điện đẳng trị

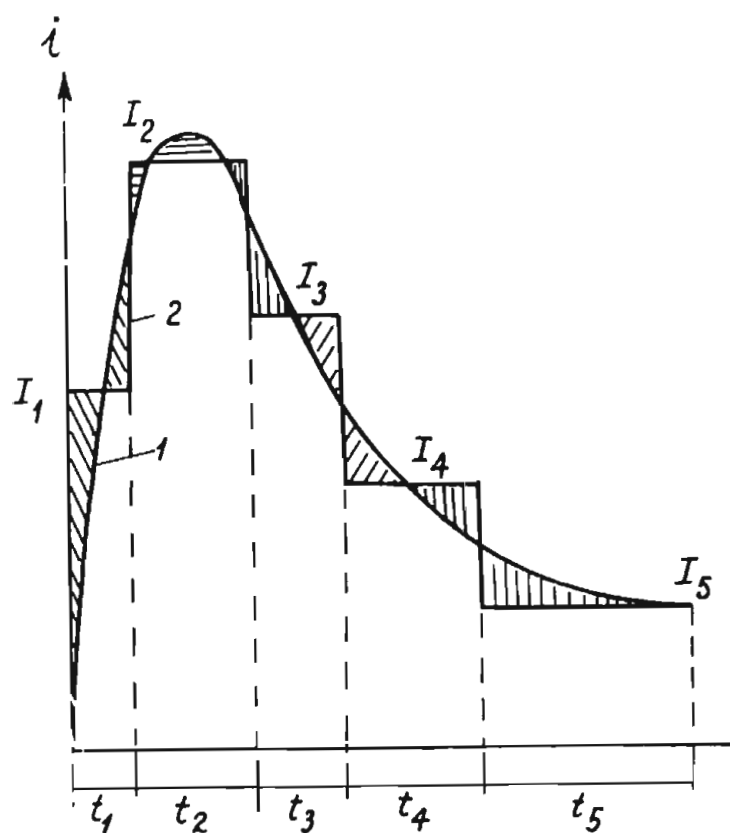
$$I_{dt} = \sqrt{\frac{\sum_1^n I_i^2 t_i}{\alpha \sum t_k + \beta \sum t_o + \sum t_{lv}}} \quad (7-24)$$

Điều kiện kiểm nghiệm $I_{dt} \leq I_{dmđ/c}$

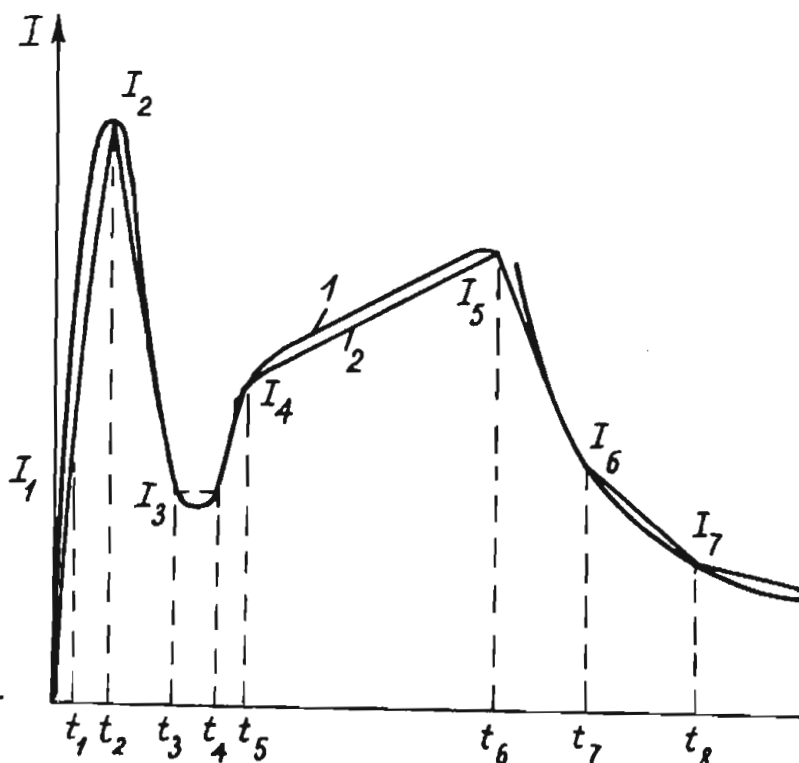
Để tính toán giá trị I_{dt} ta phải tính quá trình quá độ. Giả thiết ta

có kết quả tính dòng điện $i(t)$ trên H.7-13 dạng đường dòng điện là liên tục.

Dùng phương pháp bậc thang để xác định i_i và t_i .



Hình 7-13. Đồ thị $I = f(t)$ có dạng đường cong liên tục



Hình 7-14. Đồ thị $I = f(t)$ có dạng đường cong gãy khúc.

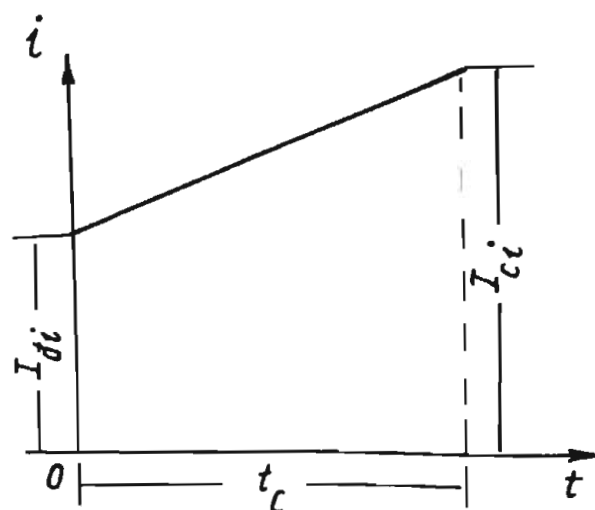
Trong trường hợp đường cong dòng điện có dạng tăng trưởng lớn (H.7-14) ta dùng công thức tính gần đúng

$$I_i = \sqrt{I_{di} I_{ci}} + \frac{\Delta I^2}{3} \quad (7-25)$$

trong đó I_{di} , I_{ci} xác định theo đồ thị trên H.7-15.

∞. Phương pháp mômen đẳng trị

Phương pháp kiểm nghiệm động cơ theo điều kiện phát nóng gián tiếp là mômen được suy ra



Hình 7-15. Minh họa cách tính toán gần đúng dòng điện ở đoạn gãy khúc.

từ phương pháp dùng điện đẳng trị, khi mômen tỷ lệ với dòng điện $M = CI$ (C là hệ số tỷ lệ).

Đối với động cơ một chiều điều kiện này được thỏa mãn khi từ thông động cơ không đổi.

Đối với động cơ xoay chiều không đồng bộ.

$$M = C_m I_2 \Phi_2 \cos \varphi_2 \tag{7-26}$$

Ta cần phải có $\Phi_2 =$ hằng số và $\cos \varphi_2 =$ hằng số (tức là gần tốc độ định mức của động cơ).

Công thức kiểm nghiệm

$$M_{\text{động cơ}} \geq M_{\text{đt}} \tag{7-27}$$

$$M_{\text{đt}} = \sqrt{\frac{1}{T_{\text{ck}}} \sum_1^n M_i^2 t_i} \tag{7-28}$$

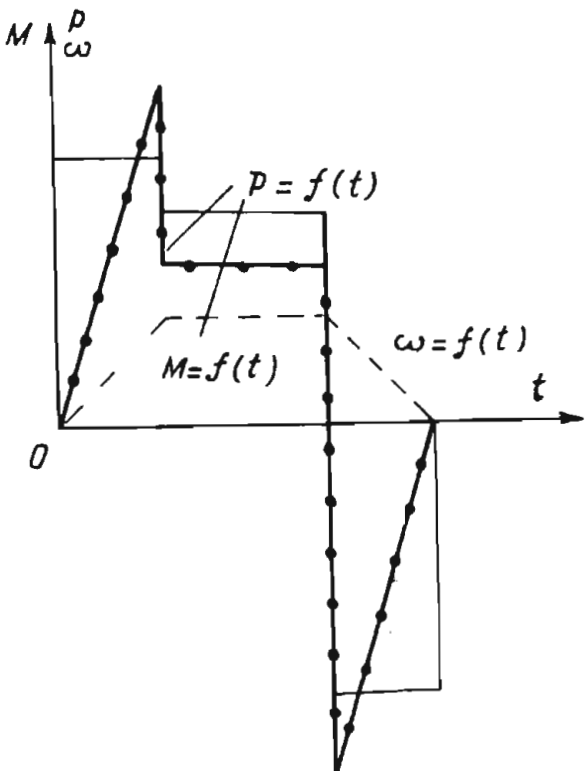
d- Phương pháp công suất đẳng trị

Ở truyền động tốc độ ít thay đổi thì $P \sim M$ do vậy có thể dùng đại lượng công suất đẳng trị để kiểm nghiệm phát nóng

$$P_{\text{động cơ}} \geq P_{\text{đt}} \tag{7-29}$$

$$P_{\text{đt}} = \sqrt{\frac{1}{T_{\text{ck}}} \sum_1^n P_i^2 t_i} \tag{7-30}$$

Trong thực tế ở giản đồ phụ tải, tốc độ truyền động sẽ có thay đổi lớn trong quá trình khởi động và hãm. Do vậy cần phải tính toán hiệu chỉnh $P(t)$ như trên H.7-16.



Hình 7-16. Minh họa cách tính toán hiệu chỉnh P trong đoạn khởi động và hãm.

7-7. CHỌN PHƯƠNG ÁN TRUYỀN ĐỘNG

Chọn phương án truyền động là dựa trên các yêu cầu công nghệ và kết quả tính chọn công suất động cơ, từ đó tìm ra một loạt các hệ truyền động có thể thỏa mãn yêu cầu đặt ra. Bằng việc phân tích, so sánh các chỉ tiêu kinh tế, kỹ thuật các hệ truyền động này kết hợp tính khả thi cụ thể mà ta có thể lựa chọn được một vài phương án hoặc một phương án duy nhất để thiết kế.

Lựa chọn phương án truyền động tức là phải xác định được loại động cơ truyền động một chiều hay xoay chiều, phương pháp điều chỉnh tốc độ phù hợp với đặc tính tải, sơ đồ nối bộ biến đổi đảm bảo yêu cầu truyền động. Trên bảng 7-1 và bảng 7-2, trình bày tóm tắt các loại truyền động cùng với các đặc tính cơ bản và khả năng, phạm vi ứng dụng. Các thông tin ghi trên bảng 7-1, bảng 7-2 có thể phục vụ cho việc định hướng, khi đề xuất các phương án truyền động.

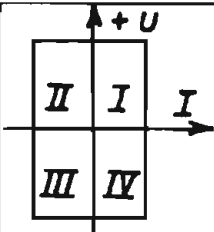
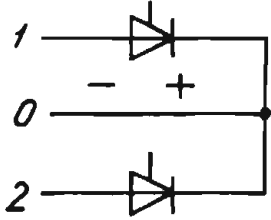
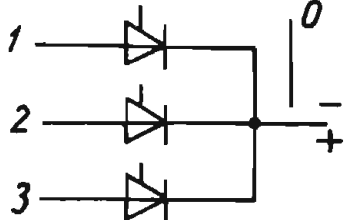
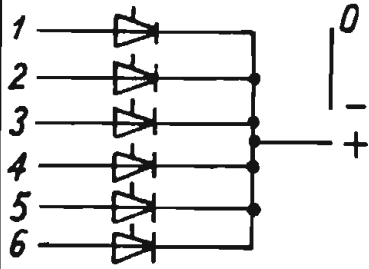
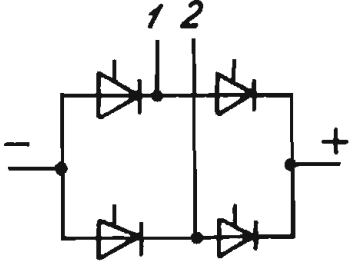
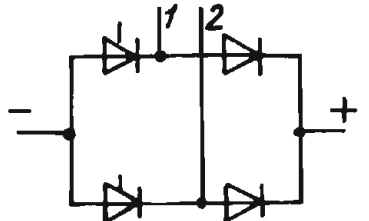
7-8. NHỮNG THÔNG SỐ CƠ BẢN ĐỂ TÍNH CHỌN BỘ BIẾN ĐỔI

Khi đã xác định được loại truyền động ta đã có phương án mạch lực của bộ biến đổi. Tuy vậy khi bắt tay vào tính toán bộ biến đổi cần phải xác định rõ tham số và yêu cầu chi tiết đối với bộ biến đổi cụ thể.

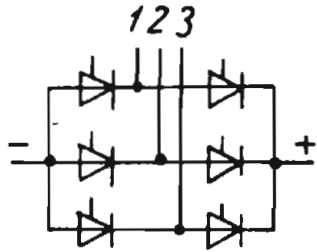
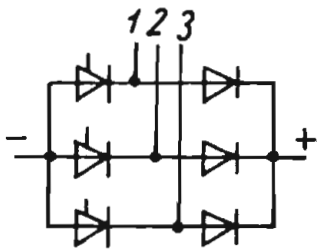
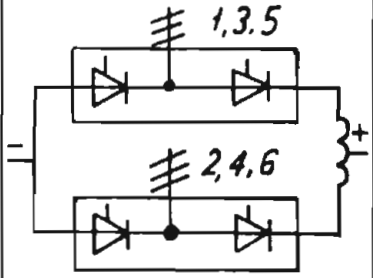
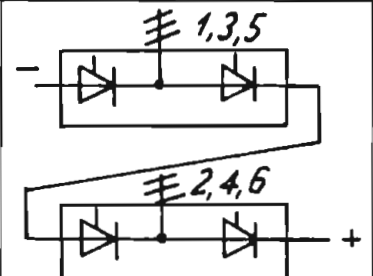
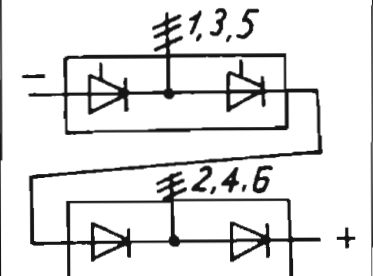
B-1 - Loại động cơ và truyền động cũng như loại công nghệ cụ thể mà nó phục vụ.

B-2 - Các tham số định mức động cơ U_{dm} , I_{dm} , P_{dm} , f_{dm} , $\cos\varphi_{dm}$, η_{dm} .

Bảng 7-1. Đặc tính các hệ truyền động một chiều

TT	Sơ đồ khối	Số xung		Công suất kW	Sử dụng
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1		2	I, IV	Một vài kW (220V)	Trong hệ truyền động yêu cầu không cao
2		3	I, IV	Đến hàng chục kW (440V)	Không yêu cầu cao về xung dòng điện
3		6	I, IV	Vài trăm kW (440V)	Điện áp thấp và dòng lớn
4		2	I, IV	Một vài kW	Dùng cho hệ có yêu cầu không cao ở mạch phần ứng và mạch kích từ
5		2	I	Một vài kW	

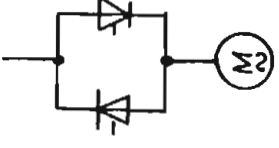
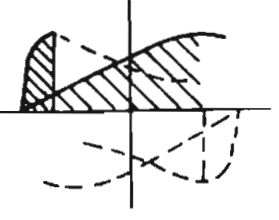
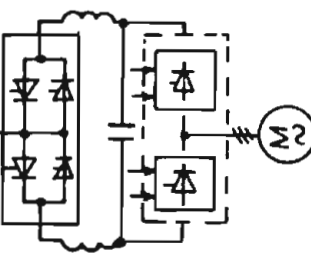
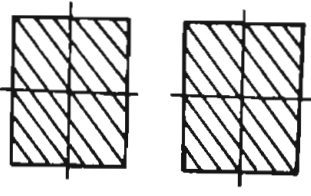
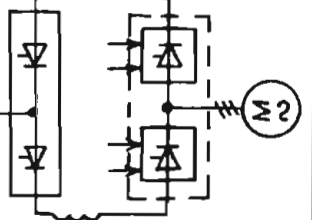
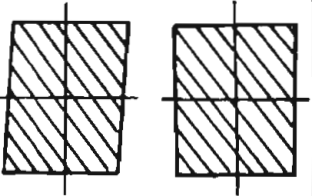
Tiếp bảng 7-1

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
6		6	I, IV	Một vài kW đến vài MW	Hệ có yêu cầu cao và không đảo chiều
7		6	I	Vài chục kW	Cấp cho mạch kích từ công suất cỡ trung
8		12	I, IV	Vài trăm kW đến hàng chục MW	Truyền động công suất lớn hoặc cho một nhóm động cơ
9		12	I, IV	Vài trăm kW đến hàng chục MW	Truyền công suất lớn hoặc cấp cho một nhóm động cơ (phản ứng nối tiếp)
10		6 hoặc 12	I	Từ trăm kW đến vài MW	Truyền động công suất lớn điện áp cao

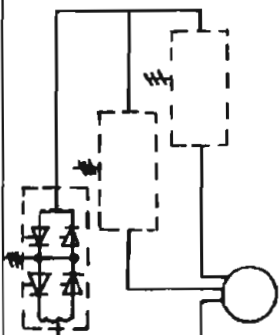
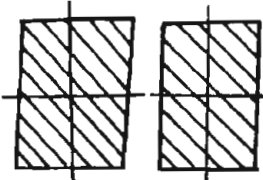
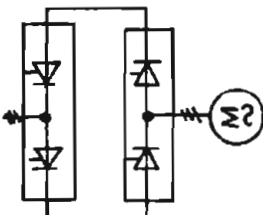
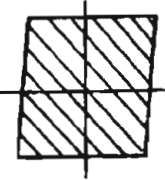
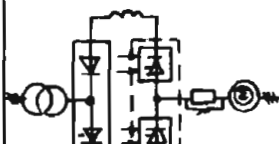
Tiếp bảng 7-1

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
11		3 hoặc 6	I, II III, IV	Vài kW đến trăm kW (440V)	Truyền động yêu cầu đặc tính đồng cao và đảo chiều quay
12		3 hoặc 6	I, II III, IV	Vài kW đến hàng trăm kW (440V)	Truyền động đảo chiều có vùng kém nhay khi đảo chiều dòng điện
13		2, 6 12	I, II III, IV	Vài kW đến 10 MW	Truyền động có yêu cầu đặc tính đồng cao. Đảo chiều quay
14		2, 6 12	I, II III, IV	Vài kW đến vài MW	Truyền động đảo chiều có vùng kém nhay khi đảo chiều dòng điện

Bảng 7-2. Đặc tính các hệ truyền động xoay chiều

TT	Sơ đồ nối	Động cơ	Đặc tính $\omega = f(\cdot M)$	Công suất	Vùng điều chỉnh	Sử dụng
1		Không đồng bộ rotor dây quấn, lồng sóc		Đến 10 kW lồng sóc Chục kW dây quấn	$\frac{\omega_1}{\omega_1}$ đến 1 0.1 đến 1	Hệ có yêu cầu không cao công suất nhỏ, dung khởi động động cơ không đồng bộ rotor lồng sóc phụ tải bơm đến 1000 kW 400 V
2		Không đồng bộ Đồng bộ		Đến 500 kW	-0.05 đến 1 và 2 đến 1 khi nâng cao tần số -Điều chỉnh vectơ 0,001 đến 1	-Thay cho truyền động một chiều yêu cầu cao khi sử dụng tranzistor công suất và điều chỉnh vectơ
3		Không đồng bộ Đồng bộ		Đến 500 kW	0.05 đến 1 và 2 đến 1 khi tăng tần số	Truyền động công suất lớn có hãm tái sinh

Tiếp bảng 7-2

TT	Sơ đồ nối	Động cơ	Đặc tính $\omega = f(M)$	Công suất	Vùng điều chỉnh	Sử dụng
4		Không đồng bộ Đồng bộ		Vài trăm kW đến chục MW	$0.05 \div 0.4$ $0.05 \div 0.4$	Truyền động công suất lớn vùng điều chỉnh hẹp ở vùng tần số đến 20 Hz
5		Đồng bộ		Vài trăm kW đến chục MW	$0.05 - 1$	Đặc tính hệ tương tự như động cơ một chiều công suất truyền động lớn
6		Không đồng bộ rotor dây quấn		Vài trăm kW đến chục MW	$0.5 \div 1$	Cho truyền động công suất trung bình yêu cầu cao
7		Không đồng bộ rotor dây quấn		Vài trăm kW đến MW	$0.5 \div 1.5$	Cho truyền động công suất trung bình yêu cầu cao

- B-3- Khả năng quá tải cho phép của động cơ ;
- B-4- Đối với hệ truyền động đảo chiều quay cân xác định yêu cầu về dòng điện và điện áp trong chế độ động và tĩnh ;
- B-5- Giới hạn lớn nhất của thành phần điều hòa bậc cao dòng và áp do hệ truyền động tạo ra ;
- B-6- Phạm vi biến đổi phụ tải (min - max) ;
- B-7- Dòng điện và thời gian khởi động ;
- B-8- Cấp điện áp của lưới điện và tham số của lưới cấp cho hệ truyền động :
- Giá trị điện áp và công suất định mức của lưới,
 - Độ dao động điện áp lưới,
 - Công suất ngắn mạch của lưới,
 - Khoảng cách từ nguồn tới nơi lắp đặt.

7-9. TÍNH CHỌN BỘ BIẾN ĐỔI CHỈNH LƯU TIRISTOR

7-9.1. Xác định điện áp không tải chỉnh lưu và điện áp ra của máy biến áp

Bộ biến đổi chỉnh lưu tiristor cần có giá trị điện áp không tải đảm bảo cấp cho phần ứng động cơ một chiều có các tham số sức điện động định mức động cơ $E_{u\text{ dm}}$, sụt áp tổng ở mạch khi dòng phản ứng cực đại $I_{u\text{ max}}$. Cụ thể

$$\gamma_1 U_{d0} \cos \alpha_{\min} = \gamma_2 E_{u\text{ dm}} + \sum U_v + I_{u\text{ max}} R_u \sum + \Delta U_{\gamma\text{ max}} \quad (7-31)$$

trong đó U_{d0} - điện áp không tải của chỉnh lưu.

- γ_1 - hệ số tính đến sự suy giảm điện áp lưới $\gamma_1 = 0,95$,
- γ_2 - hệ số dự trữ máy biến áp $\gamma_2 = 1,04 \div 1,06$
- $\alpha_{\min}$ góc điều khiển cực tiểu. Đối với sơ đồ đảo chiều $\alpha_{\min} = 12^\circ$ ($m = 6$ xung), $\alpha_{\min} = 18^\circ$ ($m = 12$ xung).

Đối với sơ đồ không đảo chiều $\alpha_{\min} = 0$

$\sum \Delta U_v$ - tổng sụt áp trên van

- R_{Σ} - điện trở đẳng trị tổng quy đổi về mạch một chiều gồm điện trở toàn phần mạch phản ứng, điện trở máy biến áp, điện trở cuộn lọc một chiều.

$(I_{u \max})$ - dòng phản ứng cực đại nằm trong khoảng $2 \div 2,5 I_{u \text{ dm}}$

- Sụt áp cực đại do trùng dẫn $\Delta U_{\gamma \max}$ được tính

$$\Delta U_{\gamma \max} = \Delta U_{\gamma \text{ dm}} \frac{I_{u \max}}{I_{u \text{ dm}}} \cdot \frac{I_{u \text{ dm}}}{I_{d \text{ dm}}}$$

trong đó $I_{d \text{ dm}}$ - dòng định mức bộ biến đổi

$\Delta U_{\gamma \text{ dm}}$ - sụt áp trùng dẫn định mức được xác định

$$\Delta U_{\gamma \text{ dm}} = U_{d0} - U_K - Y_{\gamma}$$

- U_K - điện áp ngắn mạch (%)

- Y_{γ} - đối với sơ đồ sáu xung và mười hai xung $Y_{\gamma} = 0,5$.

Nếu $I_{u \text{ dm}} = I_{d \text{ dm}}$ ta có

$$U_{d0} = \frac{\gamma_2 E_{u \text{ dm}} + \sum \Delta U_v + R_{\Sigma} I_{u \max}}{\gamma_1 \cos \alpha_{\min} - Y_{\gamma} U_K \lambda} \quad (7-32)$$

$$\lambda = \frac{I_{u \max}}{I_{u \text{ dm}}} \text{ bội số dòng điện}$$

Từ (7-32) ta dễ dàng xác định điện áp đầu ra của máy biến áp U_2

$$U_2 = \frac{U_{d0}}{K_{sd}} \quad (7-33)$$

K_{sd} - hệ số sơ đồ chỉnh lưu khi không cần có biến áp nguồn thì có thể chọn động cơ và bộ biến đổi phù hợp với lưới theo hướng dẫn trên bảng 7-3

Bảng 7-3. Quan hệ giữa điện áp lưới và điện áp định mức động cơ khi không dùng biến áp nguồn

Điện áp lưới. V	2 220	2 380	3 ~ 380	3 ~ 500	3 660
Hệ số sơ đồ K_{sd}	0.9	0.9	1.35	1.35	1.35
Điện áp không tải chính lưu. V	198	342	513	675	891
Điện áp định mức động cơ. V	160 ÷ 180	270 ÷ 300	400 ÷ 440	530 – 580	700 ÷ 760

7-9.2. Máy biến áp nguồn

Máy biến áp nguồn bộ biến đổi có ba chức năng chính

- Tạo điện áp U_2 phù hợp điện áp động cơ.
- Cách ly giữa phần lực bộ biến đổi và lưới điện,
- Khi bộ biến đổi cần cách ly một số đầu ra của biến áp.

Khi tính toán máy biến áp nguồn cần lưu ý

– Nếu có thể phối hợp giữa động cơ bộ biến đổi và lưới thì không cần biến áp nguồn (xem bảng 7-3) ;

– Khi hệ truyền động nối với lưới cao áp thì phải xem xét ảnh hưởng của sóng điều hòa bậc cao từ bộ biến đổi tới lưới, ảnh hưởng sụt áp do huy động công suất phản kháng định ;

Ở lưới hạ áp cần chọn cấp điện áp lưới cho kinh tế :

Lưới 3 x 380 V dùng đến $P = 100$ kW, 3 x 660 V dùng đến $P = 350$ kW.

– Công suất lớn hơn thì nối vào lưới 6, 10, 22 hoặc 110 kV

– Sơ đồ nối dây xem bảng 7-4.

7-9.3. Tính chọn cuộn kháng lọc mạch một chiều :

Điện cảm mạch phản ứng động cơ một chiều kích từ độc lập có thể tính gần đúng

$$L_u \approx K_L \cdot \frac{U_{udm}}{I_{udm} Z_p n_{dm}} [H] \quad (7-34)$$

Trong đó K_L - hệ số lấy giá trị $5,5 \div 5,7$ đối với máy không bù, $K_L = 1,4 \div 1,9$ đối với máy có bù ; Z_p - số đôi cực.

Cuộn kháng lọc mạch một chiều được nối vào mạch phản ứng động cơ với mục đích làm giảm vùng dòng điện gián đoạn (làm giảm xung dòng một chiều) đồng thời cải thiện điều kiện chuyển mạch của động cơ điện.

Điện áp đầu ra bộ biến đổi m xung chứa sóng điều hòa cơ bản và bậc cao với tần số góc

$$\omega_K = K.m.\omega_1$$

ở đây ω_1 - tần số góc lưới điện ($f_1 = 50$ HZ, $\omega_1 = 314$ 1/s) ;

K - số nguyên bậc của các thành phần điều hòa.

Điện áp xoay chiều này gây ra trong mạch phản ứng dòng điện xoay chiều điều hòa với giá trị hiệu dụng

$$I_\sigma = \frac{1}{\omega_1 L_\Sigma} \sqrt{\sum_k \left(\frac{U_{km}}{Km} \right)^2} \quad (7-35)$$

L_Σ - điện cảm tổng của mạch một chiều (bỏ qua giá trị điện trở).

Ta gọi g_σ là hệ số đập mạch điện áp đầu ra bộ biến đổi

$$g_\sigma = \frac{1}{\omega_1} \sqrt{\sum_k \left(\frac{U_{km}}{Km U_{d0}} \right)^2} \quad (7-36)$$

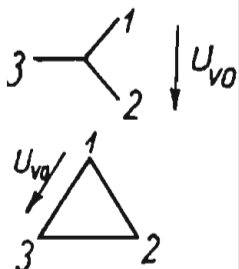
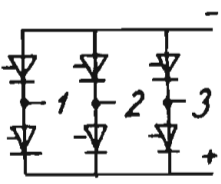
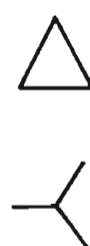
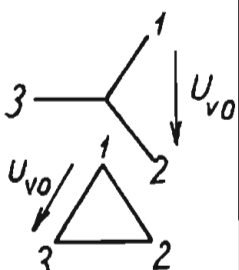
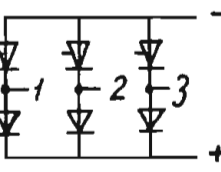
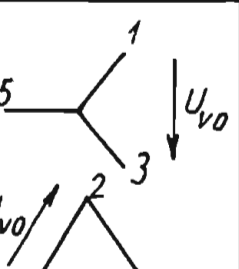
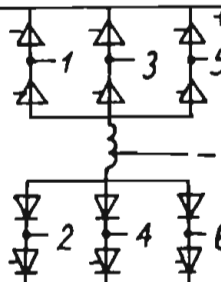
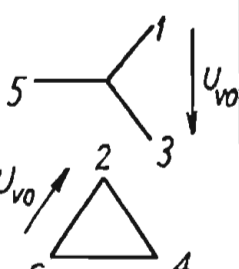
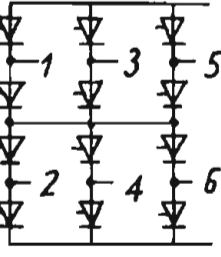
và gọi g_σ hệ số đập mạch dòng điện được xác định

Bảng 7.4. Sơ đồ nối các bộ

Số TT	Sơ đồ nối				Điện áp		
		Biến áp		Độ biến đổi	$\frac{U_{d0}}{U_{v0}}$	$\frac{U_{d\alpha}}{U_{d0}}$	$\frac{\Delta U_L^*}{U_k^%}$
		I	II				
	1	2	3	4	5	6	7
1					0,45 $(\frac{\sqrt{2}}{\pi})$	$\cos\alpha$	0,7 $(\frac{1}{\sqrt{2}})$
2					0,675 $(\frac{3}{\pi\sqrt{2}})$	$\cos\alpha$	0,866 $(\frac{\sqrt{3}}{2})$
3					0,675 $(\frac{3}{\pi\sqrt{2}})$	$\cos\alpha$	0,5
4					0,9 $(\frac{2\sqrt{2}}{\pi})$	$\frac{1 + \cos\alpha}{2}$	0,707 $(\frac{1}{\sqrt{2}})$
5					0,9 $(\frac{2\sqrt{2}}{\pi})$	$\cos\alpha$	0,707 $(\frac{1}{\sqrt{2}})$

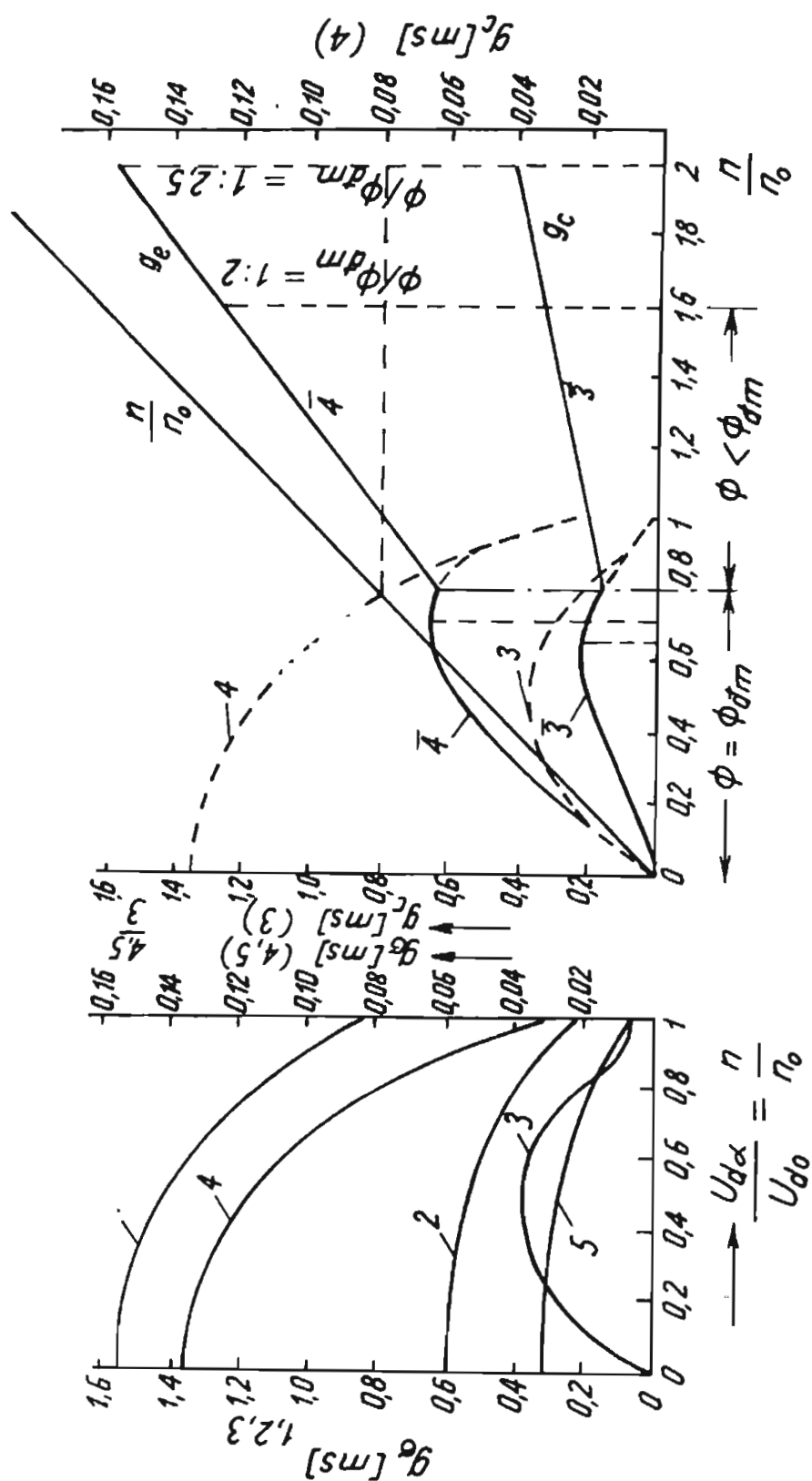
biến đổi tiristor và các tham số

		Phần Tiristor			Điện áp			
Sóng điều hòa u_{δ}/u_{d_0} $\alpha=30^\circ$ $\alpha=90^\circ$		$\frac{E}{U_{d_0}}$	$\frac{I_{nhàn h}}{I_d}$	Góc dẫn λ	$\frac{I_L}{I_d}$	$\frac{I_2}{I_d}$	$\frac{S_T}{U_{d_0} I_d}$	Sơ đồ nối khi do U_k^p
8	9	10	11	12	13	14	15	16
0,483	0,917	3,14	$\frac{1}{2}$	180°	0,5	$0,707$ $\left(\frac{4}{\sqrt{2}}\right)$	1,34	1 - 2
0,483	0,550	09 $\left(\frac{\pi}{4}\right)$	$\frac{1}{3}$	120°	0,472 $\left(\frac{\sqrt{2}}{3}\right)$	0,577 $\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)$	1,46	1-2-3
0,042	0,308	2,09 $\left(\frac{2\tau}{3}\right)$	$\frac{1}{4}$	120°	0,408 $\left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)$	0,289 $\left(\frac{1}{2\sqrt{3}}\right)$	1,26	1-3-5 a 2-4-6
0,483	0,917	1,57 $\left(\frac{\pi}{2}\right)$	$\frac{1}{2}$	180°	1	1	1,14	1-2
0,483	0,492	1,57 $\left(\frac{\pi}{2}\right)$	$\frac{1}{2}$	180°	$\sqrt{\frac{\pi-\alpha}{\pi}}$	$\sqrt{\frac{\pi-\alpha}{\pi}}$	1,44	1-2

	1	2	3	4	5	6	7
6					1,35 $\left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi}\right)$	$\cos\alpha$	0,5
7					1,35 $\left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi}\right)$	$\frac{1 + \cos\alpha}{2}$	0,5
8					1,35 $\left(\frac{3\sqrt{2}}{\pi}\right)$	$\cos\alpha$	0,26
9					2,7 $\left(\frac{6\sqrt{2}}{\pi}\right)$	$\cos\alpha$	0,26

Tiếp hàng 7.4

8	9	10	11	12	13	14	15	16
0,402	0,308	1,05 $\left(\frac{\pi}{2}\right)$	$\frac{1}{3}$	120°	0,816 $\sqrt{\frac{2}{3}}$	0,816 $\sqrt{\frac{2}{3}}$	1,05	1-2-3
0,402	0,402	1,05 $\left(\frac{\pi}{3}\right)$	$\frac{1}{3}$	120°	$\alpha < \frac{\pi}{3}$ 0,816 $\alpha > \frac{\pi}{3}$ $\sqrt{\frac{\pi-\alpha}{\pi}}$	$\alpha < \frac{\pi}{3}$ 0,816 $\alpha > \frac{\pi}{3}$ $\sqrt{\frac{\pi-\alpha}{\pi}}$	1,05	1-2-3
0,012	0,152	1,05 $\left(\frac{\pi}{3}\right)$	$\frac{1}{6}$	120°	0,408 $\left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)$	0,79	1,03	1-2-3 đến 2-4-6
0,012	0,152	0,53 $\left(\frac{\pi}{3}\right)$	$\frac{1}{3}$	120°	1	0,79	1,03	1-3-5 đến 2-4-6



Hình 7-17. a) Quan hệ $g_{\sigma} = f\left(\frac{U_{d\alpha}}{U_{d0}}\right)$

b) Quan hệ $g_c = g_{\sigma} \cdot \frac{n}{n_0}$ với giá trị khác nhau:

$$\sigma_1 = \frac{I_\sigma}{I_{dm}} = \frac{U_{do} g_\sigma}{I_{dm} \cdot L_\Sigma} \quad (7-37)$$

Hệ số đập mạch điện áp g_σ phụ thuộc vào góc điều khiển α , $g_\sigma = f\left(\frac{U_{do}}{U_{d0}}\right)$ được trình bày trên H.7-17.

b) Quan hệ $g_c = \frac{n}{n_0}$ với giá trị kích từ khác nhau.

Bảng 7-5. Hướng dẫn lắp đặt các bộ biến đổi theo chỉ tiêu độ méo điện áp lưới

Bộ biến đổi	Vùng công suất P_{max} [MW]	Độ méo cho phép σ_v [p.]	Tác dụng lên lưới m	Sóng điều hòa bậc cao được khảo sát $P_{min} \quad v_{max}$		$\frac{S_k}{P_{max}}$			Điện áp lưới U_l [KV]
						$U_K = 0,05$	$U_K = 0,1$	$U_K = 0,15$	
Rất nhỏ	0,01 az 0,25	0,04	6	5	13	40	35	30	0,38 ; 0,5 ; 0,63
			12	11	13	25	20	15	
Nhỏ	0,25 az 1	0,03	6	5	13	55	50	40	6 ; 10 ; 22
			12	11	13	35	25	15	
Trung bình	1 az 10	0,02	6	5	25	90	70	60	6 ; 10 ; 22 ; 110
			12	11	25	50	35	25	
Lớn	nad 10	0,01	6	5	25	180	140	120	110
			12	11	25	105	70	50	

Do thành phần dòng xoay chiều nên giá trị dòng điện định mức động cơ bị giảm

$$I'_{dm} = I_{dm} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{R_m}{R} \sigma_1^2}} \quad (7-38)$$

Tỷ số $\frac{R_m}{R}$ đặc trưng cho sự ảnh hưởng của dòng điện điều hòa bậc cao làm tăng điện trở tổng mạch phản ứng, giá trị tỷ số này $\frac{R_m}{R} = 2 \div 3$.

Dòng điện xoay chiều còn gây ảnh hưởng xấu tới quá trình chuyển mạch ở vành góp máy điện. Cụ thể do ảnh hưởng dòng xoay chiều điều hòa bậc m , từ trường của các cặp cực chuyển mạch bị chậm lại 90° so với dòng điện điều hòa bậc m . Điện áp chuyển mạch chậm trễ sẽ không bù được điện áp phản ứng phần ứng vì sụt áp xoay chiều ΔU_2 không thể tăng nhảy cấp.

$$\begin{aligned} \Delta U_2 &= c I_\sigma n = c \sigma_1 I_{dm} n = \frac{U_{do} g_\sigma}{L_\Sigma} n_o \frac{n}{n_o} \\ &= \frac{U_{do} n_o}{L_\Sigma} g_c \end{aligned} \quad (7-39)$$

Trong đó $g_c = g_\sigma \left(\frac{n}{n_o} \right)$

n - tốc độ quay của động cơ (vg/ph) ;

n_o - tốc độ quay không tải lý tưởng của động cơ.

Chính vì vậy ngày nay các nhà sản xuất đưa ra chỉ tiêu về độ lớn của hệ số đập mạch cho phép của các động cơ ứng với giá trị tốc độ từ đó đưa ra định nghĩa giá trị cho phép $[\sigma_1 n]_{cl}$ của động cơ.

Trên hình 7-17a,b trình bày hệ số đập mạch điện áp g_σ và hệ số g_c (ảnh hưởng xấu tới chuyển mạch của máy điện).

Từ các lý luận nêu trên ta rút ra giá trị điện cảm cần thiết nối vào mạch một chiều

$$L_d = \frac{U_{do} r_o}{I_{ddm} [\sigma_{ln}]_{cf}} g_{cmax} - L_u \quad (7-40)$$

g_{cmax} là giá trị cực đại của hệ số gây khó khăn cho chuyển mạch. Nếu như $L_d \leq 0$ có nghĩa là không cần bố trí cuộn kháng một chiều.

Nếu chỉ quan tâm tới việc hạn chế vùng dòng điện gián đoạn thì giá trị điện cảm cần thiết mạch một chiều sẽ là

$$L_\Sigma \geq \frac{U_{do}}{I_{dmin}} g_o \quad (7-41)$$

Trong đó :

I_{dmin} dòng phụ tải nhỏ nhất khi vận hành ;

g_o - là hệ số dòng điện gián đoạn có thể lấy giá trị

$$g_o = (2 \div 2,2) g_\sigma \quad (7-42)$$

7-9.4 Ảnh hưởng sóng điều hòa bậc cao và tiêu thụ công suất phản kháng của bộ biến đổi tới lưới điện

a. Bộ biến đổi làm việc như nguồn dòng điều hòa bậc cao

Đối với bộ biến đổi chỉnh lưu tiristor m xung ra, khi vận hành sẽ gây ra ở lưới xoay chiều dòng điện điều hòa bậc cao cấp

$$= Km \pm 1$$

Giá trị hiệu dụng điều hòa bậc

$$I_v = \frac{1}{v} I_1 K_v \left[\frac{U_{d\alpha}}{U_{do}} \alpha \right] \quad (7-43)$$

Trong đó I_1 giá trị hiệu dụng điều hòa bậc 1.

Sóng điều hòa bậc cao nguồn dòng gây ra tổn thất phụ và gây nhiễu cho lưới điện. Đặc biệt nguy hiểm khi lưới có nối một số phân tử gây cộng hưởng (như nối với tụ điện). Để giảm ảnh hưởng sóng điều hòa bậc cao có ba biện pháp

Chọn bộ biến đổi có nhiều xung ra ($m = 6, 12, 18 \dots$),

Đối với lưới có nhiều bộ biến đổi (n bộ biến đổi) có cùng số xung đầu ra m ta sử dụng các biến áp cấp cho các bộ biến đổi có góc lệch điện áp ra quan hệ với nhau một góc $\delta = \frac{360}{m.n}$. Như vậy, sóng điều hòa bậc cao ở lưới sẽ giảm (xem bảng 7-4).

Nếu công suất của bộ biến đổi lớn đối với lưới thì ta bố trí mạch lọc đầu vào bộ biến đổi. Trong trường hợp tổng quát, trong lưới điện có nhiều bộ biến đổi sẽ phát ra ít sóng điều hòa hơn so với lưới có một bộ biến đổi công suất tương đương. Nếu như góc điều khiển của hai bộ biến đổi có sai lệch một góc $\Delta\alpha$ thì về pha của chúng sẽ sai lệch $\nu\Delta\alpha$. Nếu $\nu\Delta\alpha = \pi$ thì nhiễu của chúng đối với lưới sẽ bị triệt tiêu.

Khi xét sóng điều hòa do một nhóm bộ biến đổi gây ra ta có

$$I_\nu = \frac{1}{\nu} \varphi_{\nu\alpha} I_{1\Sigma} = \frac{1}{\nu} \xi_{\nu\alpha} \beta \sum I_1 \tag{7-44}$$

β - hệ số vận hành đồng thời các bộ biến đổi ;

$\xi_{\nu\alpha} < 1$ - hệ số làm suy giảm nhiễu điều hòa do lệch pha và ảnh hưởng của chuyển mạch trong bộ biến đổi

$$\xi_{\nu\alpha} = f\left(\Delta\alpha, \alpha \frac{U_{d\alpha}}{U_{do}}\right).$$

Khi nối bộ biến đổi vào lưới sẽ gây ra làm méo dạng điện áp lưới

$$\sigma_\mu = \frac{\sqrt{\sum U_\nu^2}}{U_1} = \frac{\sqrt{3} x''_k \sqrt{\sum (UI_\nu)^2}}{U_1} = \frac{\sqrt{\sum \nu^2 \left(\frac{I_\nu}{I_1}\right)^2}}{\frac{S_k}{S_{1\max}}} \tag{7-45}$$

Trong đó S_K - công suất ngắn mạch của lưới
 $S_{l \max}$ công suất biểu kiến lớn nhất của tất cả các bộ biến đổi.

Thực tế khi tính toán người ta hay dùng biểu thức kinh nghiệm

$$I_\nu = \frac{1}{\nu} I_1 e^{-(\nu^2/20)U_K} \quad (7-46)$$

$$\sigma_\mu = \frac{\sqrt{\sum_{\nu=\nu_{\min}}^{\nu=\nu_{\max}} -(\nu^2/10)U_K}}{\frac{S_K}{P_{\max}}} \quad (7-47)$$

Trong đó U_K - điện áp ngắn mạch của máy biến áp bộ biến đổi
 $P_{\max}$ - công suất cực đại của các bộ biến đổi

Trên bảng 7-5 dẫn ra các giá trị cho phép đặt các bộ biến đổi theo chỉ tiêu méo điện áp lưới.

b. Công suất phản kháng của bộ biến đổi

Khi nối bộ biến đổi ba pha vào lưới nó yêu cầu công suất phản kháng :

$$Q_1 + \sqrt{3} U_1 I_1 \sqrt{1 - \left(\cos \alpha - \frac{U_{d\alpha}}{U_{do}} \right)^2} \quad (7-48)$$

Như vậy ta có $\frac{Q_1}{S_1} = f\left(\frac{U_{d\alpha}}{U_{do}}\right) \quad (7-49)$

Biểu diễn (7-49) ta có giản đồ vẽ trên hình 7-18.

Bộ biến đổi điều khiển hoàn toàn khi $\approx 90^\circ$ có yêu cầu công suất phản kháng lớn nhất.

Đối với hệ truyền động đảo chiều, khi khởi động động cơ có mômen lớn $M_{\max} \sim I_{d\max}$ cần huy động công suất đỉnh từ lưới $Q_{l\max} = U_{do} I_{d\max}$ đồng thời dẫn đến sụt áp trên lưới điện

$$\Delta U = \frac{Q_{\max}}{S_k} = \frac{1}{\frac{S_k}{Q_{\max}}} \quad (7-50)$$

Từ biểu thức (7-47) và (7-50) ta thấy rằng khi bộ biến đổi tiristor nối với lưới để đảm bảo điện áp lưới ít bị méo và sụt áp khi khởi động đều yêu cầu lưới có công suất S_K lớn.

c. *Lọc sóng điều hòa bậc cao và bù công suất phản kháng*

Từ hai phần trên cho ta thấy cần phải giải quyết đồng thời vấn đề lọc sóng điều hòa bậc cao và bù công suất phản kháng, thường được nối ở lưới cao áp (6kV, 10kV, 22kV).

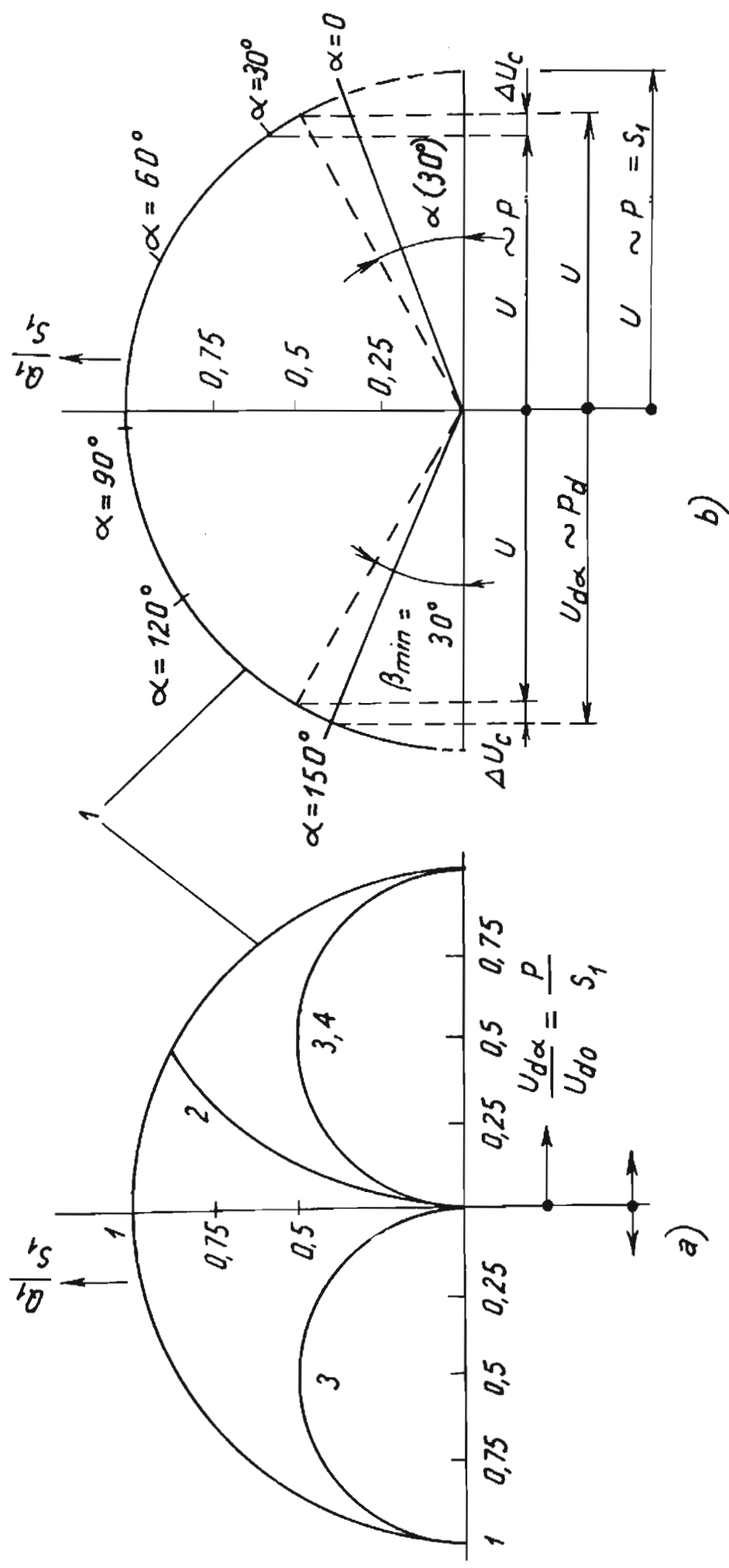
Bộ lọc được thiết lập thành nhóm mạch LC cộng hưởng nối tiếp, nó sẽ ngăn mạch dòng điện điều hòa bậc cao (xem hình 7-19a).

Bộ lọc cũng có thể bố trí một bộ lọc giải rộng (xem hình 7-19b). Trên hình 7-19d là hệ truyền động đảo chiều công suất lớn dùng bộ biến đổi được nối vào lưới, người ta bố trí mạch bù động dùng máy đồng bộ (xem hình 7-19c).

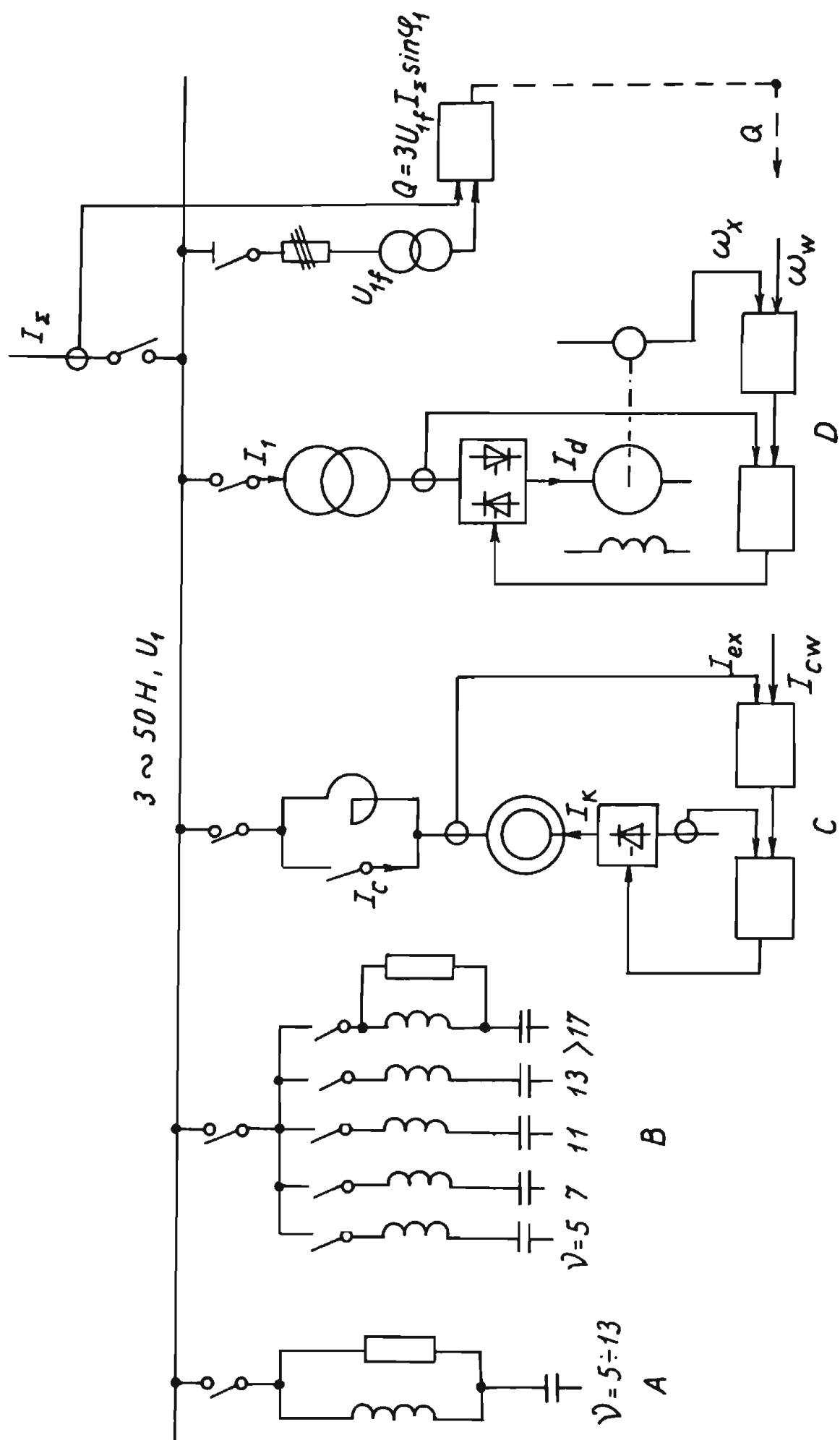
Đặc biệt ở hệ truyền động đảo chiều có yêu cầu độ tăng trưởng dòng điện lớn $\left(\frac{di}{dt}\right)_{\max} = 50 \div 100 \text{ A/s}$ thì máy bù đồng bộ phải có yêu cầu đáp ứng như $U_{Kt\max} \geq 10 U_{Ktdm}$ và $\left(\frac{dQ}{dt}\right)_{\max} = 10 Q_{dm}/s$ nhằm đảm bảo huy động công suất phản kháng đỉnh trong quá trình quá độ của hệ truyền động.

7-9.5. Một số vấn đề về chống nhiễu ở mạch điều khiển

Mạch điều khiển bộ biến đổi làm việc với tín hiệu có công suất nhỏ $10^{-2} \div 10^{-4} \text{ W}$, vì vậy nó rất nhạy với nhiễu. Việc chống nhiễu cần được thực hiện ở mạch điều khiển bằng các mạch lọc, đồng thời cần phải thực hiện các yêu cầu về lắp đặt cáp truyền tín hiệu



Hình 7-18 Quan hệ $\frac{Q_1}{S_1} = f\left(\frac{l_{d\alpha}}{l_{d0}}\right)$



Hình 7-19. Bố trí mạch lọc và bù công suất phản kháng.

a) Cáp điều khiển cần phải có bọc chống nhiễu đặt cách xa cáp lực cao thế ít nhất là 60 cm (chống nhiễu điện trường).

b) Chống các liên hệ tạo điện cảm ký sinh do các mạch vòng cáp lực và cáp điều khiển

Cáp truyền tín hiệu cộng và trừ thường bố trí thành một cặp

Các cặp (một hoặc nhiều cặp) cần phải xoắn với bước xoắn cực đại là 15 mm (tức là 70 bước xoắn trong một mét)

Cáp điều khiển đặt xa cáp lực có dòng điện chạy lớn hơn 200 A khoảng 30 cm, cáp lực có dòng điện lớn hơn 1000 A khoảng 1 mét

- Không bố trí cáp lực và cáp điều khiển trong một rãnh hoặc trong cùng một ống thép

- Môi trường lắp đặt cáp điều khiển phải cách ly và chống nhiễu tích cực, khi có đường dây cao thế lò điện cảm ứng, máy hàn điện.

c) Tín hiệu nhiễu có thể xâm nhập vào mạch điều khiển khi cáp tín hiệu có dòng điện ký sinh gây sụt áp, để chống ta dùng các biện pháp

Tiếp địa phần vỏ hộp điều khiển

- Tiếp địa vỏ bọc chống nhiễu ở các đầu cáp

Cách ly cổng vào ra mạch điều khiển

- Các tín hiệu xung điều khiển tiristor phải cách ly với mạch lực.

7-10. MẠCH BẢO VỆ HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

7-10.1. Mục đích và yêu cầu mạch bảo vệ truyền động điện

Mạch bảo vệ được thiết lập để đảm bảo an toàn và tránh gây tổn thất cho người vận hành thiết bị và sản phẩm. Do vậy, quan điểm khi xây dựng mạch bảo vệ là phải có biện pháp phòng

ngừa các sự cố và các trạng thái làm việc bất bình thường xảy ra nhằm hạn chế tổn thất ở mức thấp nhất.

Trong hệ thống gồm lưới điện – truyền động – máy sản xuất thường nảy sinh các trạng thái làm việc bất bình thường hay sự cố như

- Sụt áp lưới điện trong thời gian ngắn cỡ 10^{-1} s ở thời điểm trước khi cắt các thiết bị bảo vệ cắt do có ngắn mạch ở phụ tải lân cận,

- Các nhiễu gây ra chế độ làm việc bất bình thường ở mạch lực, mạch điều chỉnh và mạch điều khiển,

- Quá tải truyền động,

- Mất pha điện áp nguồn,

- Ngắn mạch một hoặc nhiều pha chạm đất,

- Ngắn mạch các pha.

Tùy theo các loại sự cố và mức độ ta có thể phân ra các nhóm loại bảo vệ.

a) *Bảo vệ cắt khẩn cấp* . Như ngắn mạch ở bộ biến đổi hệ truyền động, mất kích từ động cơ, quá tốc độ, quá dòng, quá điện áp phân ứng, đánh lửa gây ngắn mạch ở vành góp, ngắn mạch một số vòng dây của máy điện, máy biến áp nguồn v.v. Mạch bảo vệ thực hiện cắt khẩn cấp bằng các thiết bị truyền thống như cầu chì, aptômát, role v.v., kết hợp với bảo vệ ở mạch điều khiển như khóa tiristor, cắt nguồn nuôi, khóa các bộ điều chỉnh v.v.

b) *Bảo vệ cắt có thời gian* . Quá tải, cách điện giảm, quá nhiệt v.v. Mạch bảo vệ phát hiện và phát tín hiệu cảnh báo trong lúc đó mạch điều chỉnh sẽ tự thay đổi tham số điều khiển để thoát khỏi sự cố hoặc người vận hành trực tiếp điều chỉnh. Nếu sau một thời gian quy định mạch bảo vệ sẽ tác động cắt hệ thống, ngừng làm việc để giải quyết sự cố.

Trong các hệ truyền động hiện đại điều khiển số dùng vi xử lý hay vi tính có trang bị chương trình kiểm tra trạng thái của hệ để phát tín hiệu cảnh báo hoặc dự báo sự cố xảy ra bất kịp thời để tránh gây ra hư hỏng.

Mạch bảo vệ còn có yêu cầu tính chọn lọc cao, phân cấp rõ ràng, có thể một mạch bảo vệ cho một loạt các phần khác nhau hoặc bảo vệ cho cả một loạt truyền động trong một dây chuyền (vì dừng một truyền động sẽ gây tổn thất lớn cho sản xuất so với dừng cả hệ như trong công nghệ sản xuất giấy, cán thép v.v).

7-10.2. Các sự cố ngăn mạch

Trong hệ thống Lưới điện - Truyền động - Máy sản xuất có thể xảy ra nhiều loại sự cố ngăn mạch :

- Ngăn mạch bên sơ cấp biến áp của bộ biến đổi các thiết bị bảo vệ đường dây và biến áp tác động loại sự cố.

- Ngăn mạch bên thứ cấp biến áp của bộ biến đổi nhưng nằm ngoài bộ biến đổi, thiết bị bảo vệ biến áp nguồn tác động lại sự cố.

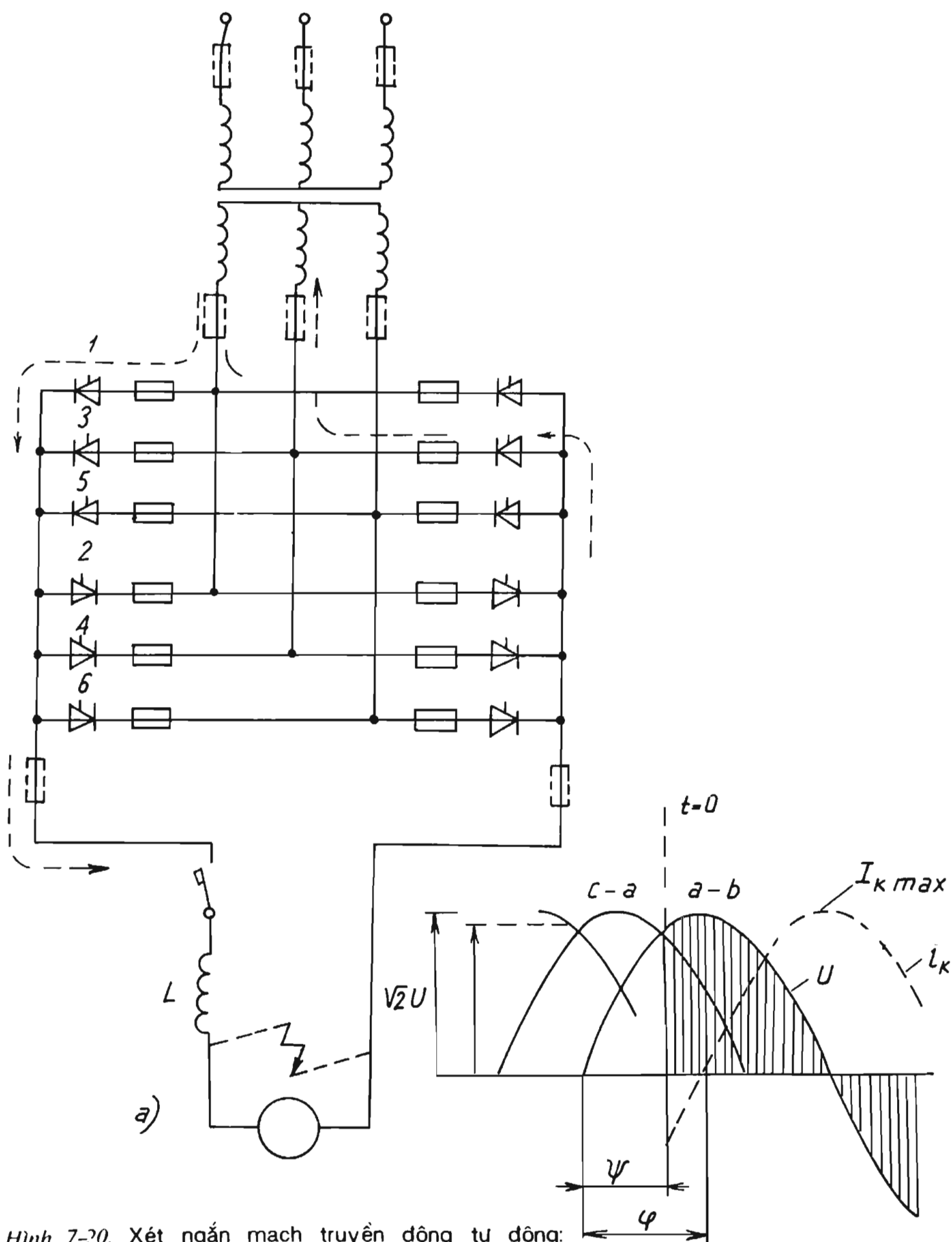
- Ngăn mạch bên trong hệ truyền động bộ biến đổi và động cơ.

Trong phần này ta nghiên cứu các đặc tính ngăn mạch ở bên trong hệ truyền động.

Xét hệ truyền động chỉnh lưu tiristor động cơ một chiều kích từ độc lập H.7-20.

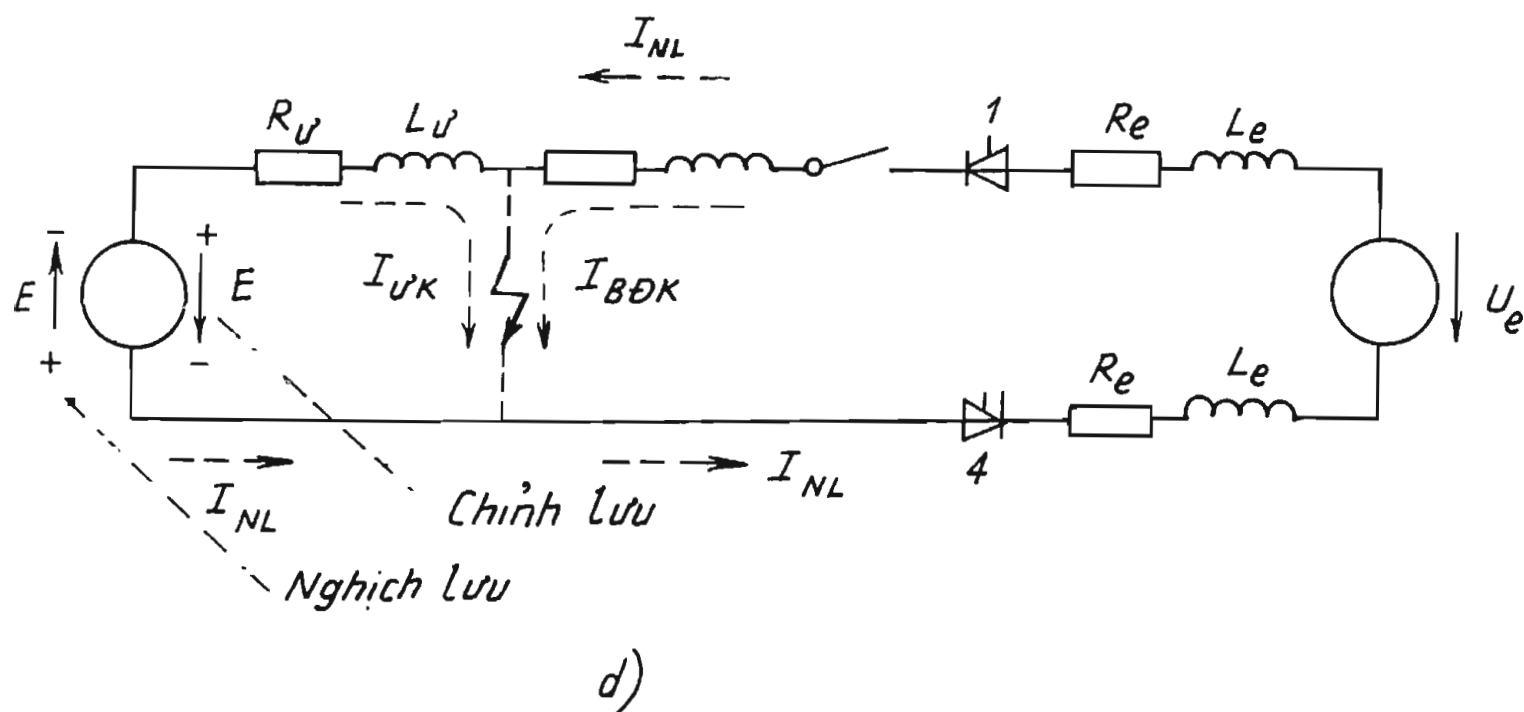
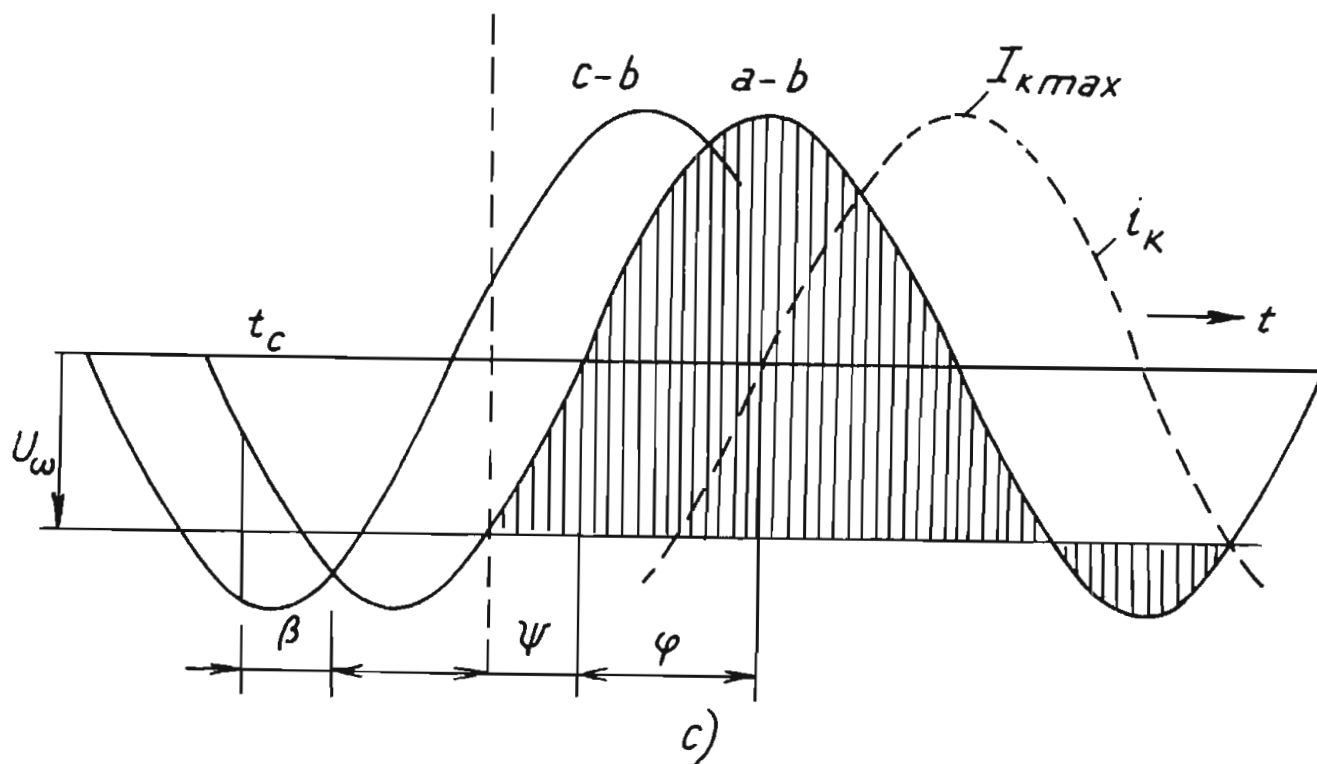
a. Khi hệ đang vận hành ở chế độ nghịch lưu và lưới điện bình thường.

Nguyên nhân nảy sinh sự cố : khi hệ làm việc ở chế độ nghịch lưu (truyền động hãm tái sinh) do quy luật phát xung không đúng hệ chuyển sang chế độ chỉnh lưu, dòng điện tăng vọt thiết bị bảo vệ tác động aptomat mạch một chiều nhảy hoặc cầu chì tác động nhanh đứt. Ta có



Hình 7-20. Xét ngắn mạch truyền động tự động:
a) Mạch lực; b) Điện áp và dòng điện
khi ngắn mạch chỉnh lưu;

Hình 7-20 Xét ngắn mạch truyền động tự động:
 c) Điện áp và dòng điện khi ngắn mạch nghịch lưu
 d) Sơ đồ thay thế



$$L_{\Sigma} \frac{di}{dt} + R_{\Sigma} i = R + 2 U_2 \sin(\omega t - \psi) \quad (7-51)$$

Trong đó $L_{\Sigma} = L_u + L_{cK} + 2L_{ba}$

$$R_{\Sigma} = R_u + R_{cK} + 2R_{ba}$$

Giả thiết $t = 0, i_{(0)} = 0$, lúc đó $E = \sqrt{2} U_2 \sin \psi$

Dòng ngắn mạch được tính

$$i_K(t) = \frac{E}{R_{\Sigma}} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_u}} \right) + \frac{\sqrt{2} U_1}{\sqrt{R_{\Sigma}^2 + \omega^2 L_{\Sigma}^2}} [e^{-\frac{t}{T_u}} \sin(\psi + \varphi) + \sin(\omega t - \psi - \varphi)] \quad (7-52)$$

Trong đó $T_u = \frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}}, \varphi = \arctg \frac{\omega L}{R}$

Thành phần thứ nhất của $i_K(t)$ (7-52) là dòng ngắn mạch do năng lượng tích lũy động cơ sinh ra, với điều kiện năng lượng tích lũy là rất lớn và kích từ động cơ giữ nguyên ta có dòng ngắn mạch lớn nhất vào khoảng $9 \div 10 I_{udm}$. Thành phần dòng thứ hai có đặc tính vẽ trên H.7-21. Tùy theo giá trị điện kháng của máy biến áp, điện cảm, điện trở động cơ và điện cảm cuộn lọc, mà dòng ngắn mạch cực đại sẽ có giá trị từ $(2 \div 4) I_{Kmax}$

$$\left(I_{Kmax} = \frac{E}{R_{\Sigma}} \right).$$

b. Khi hệ đang vận hành ở chế độ chỉnh lưu.

Ngắn mạch xảy ra do nguyên nhân cách điện bị hỏng, điện áp chỉnh lưu tăng nhảy cấp (do mất tín hiệu phản hồi dòng), v.v. Bảo vệ trong chế độ ngắn mạch thường dùng biện pháp khóa toàn bộ mạch phát xung bởi vì dòng điện ngắn mạch này không thể chuyển mạch, không cần thiết để cho cầu chì tác động nhanh, hoặc aptomat tác động nhanh cắt mạch.

Khi cách điện động cơ bị hỏng hoặc trên vành góp động cơ bị đánh lửa vòng tròn gây ngắn mạch. Dòng ngắn mạch lúc đó có hai thành phần

- Ngắn mạch riêng của động cơ (nhóm phần trên)
- Ngắn mạch bộ biến đổi (ngắn mạch hai pha), dòng qua tiristor lúc đó được tính từ phương trình

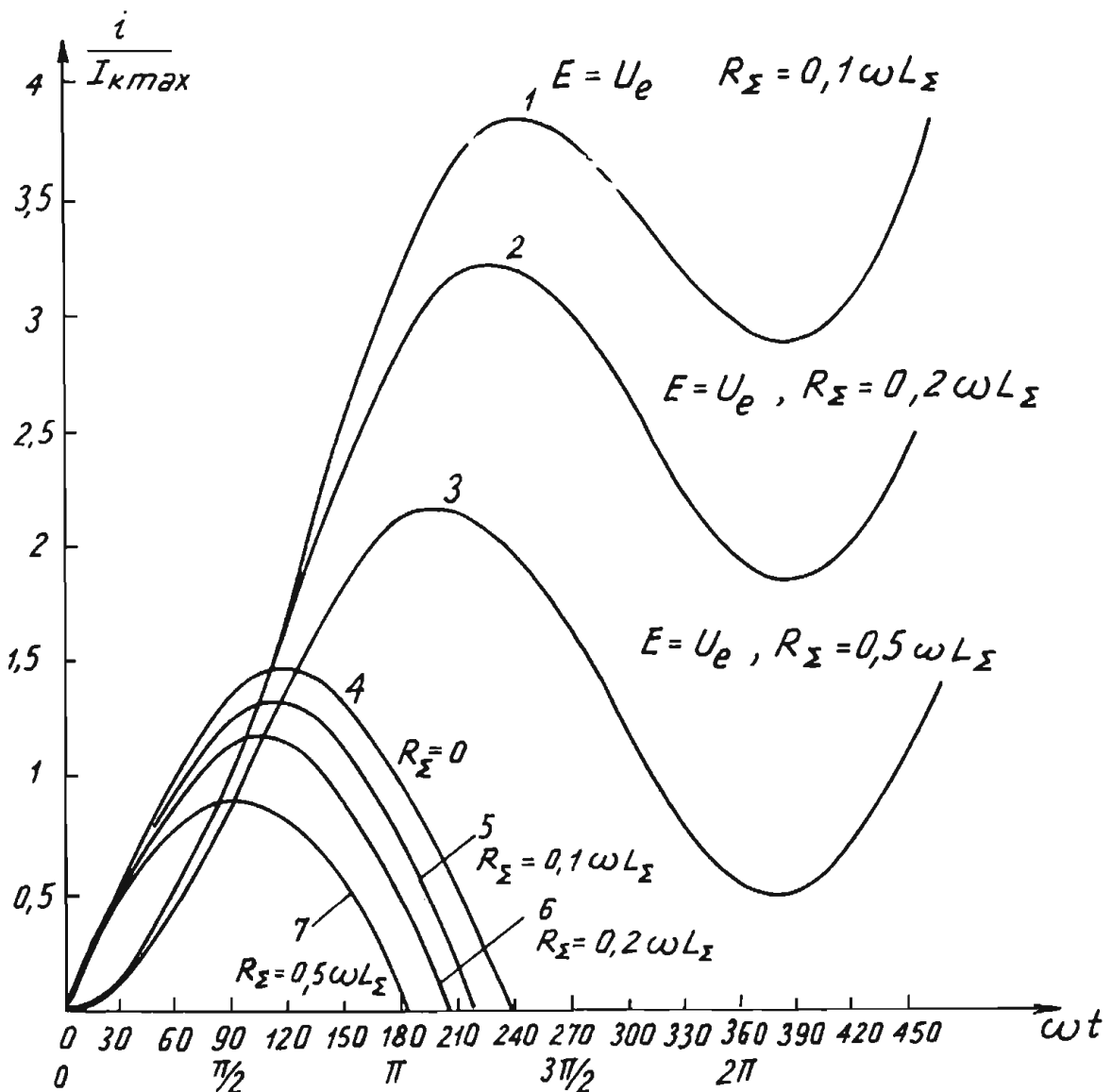
$$L_{\Sigma} \frac{di}{dt} + R_{\Sigma} i = \sqrt{2} U_2 \sin(\omega t + \psi) \quad (7-53)$$

Trong đó $L_{\Sigma} = L_{cK} + 2L_{ba}$, $R_{\Sigma} = R_{cK} + 2R_{ba}$

Với điều kiện đầu $i(0) = 0$

$$i_K(t) = \frac{\sqrt{2} U_2}{\sqrt{R_{\Sigma}^2 + L_{\Sigma}^2 \omega^2}} [e^{-\frac{R_{\Sigma}}{L_{\Sigma}} t} \sin(\psi - \varphi) + \sin(\omega t + \psi - \varphi)] \quad (7-54)$$

$T_{\Sigma} = \frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}}$, dòng ngắn mạch đạt giá trị cực đại.



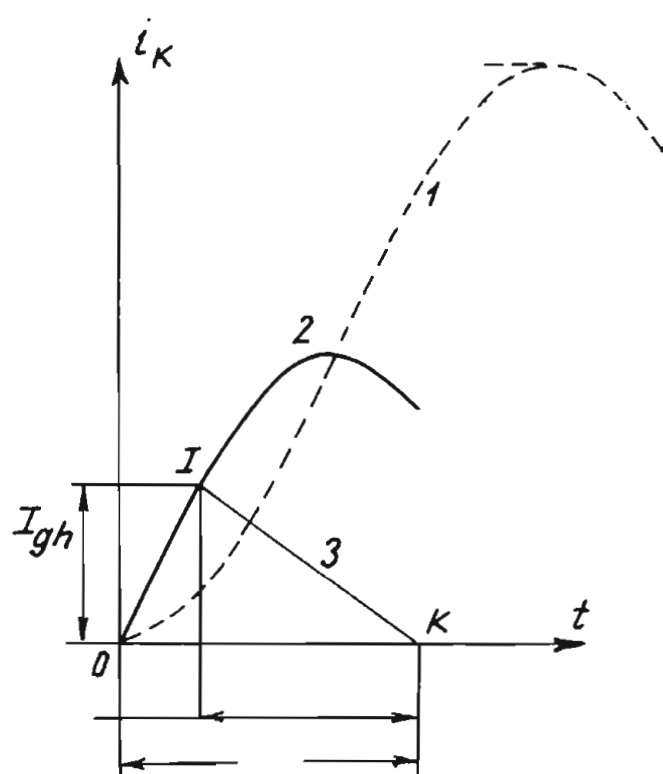
Hình 7-21. Đặc tính dòng điện ngắn mạch.

Khi $\alpha = 0$ (tức là $\psi' = 60^\circ$) với giá trị $1,5 I_{K\max}$ (H.7-21).

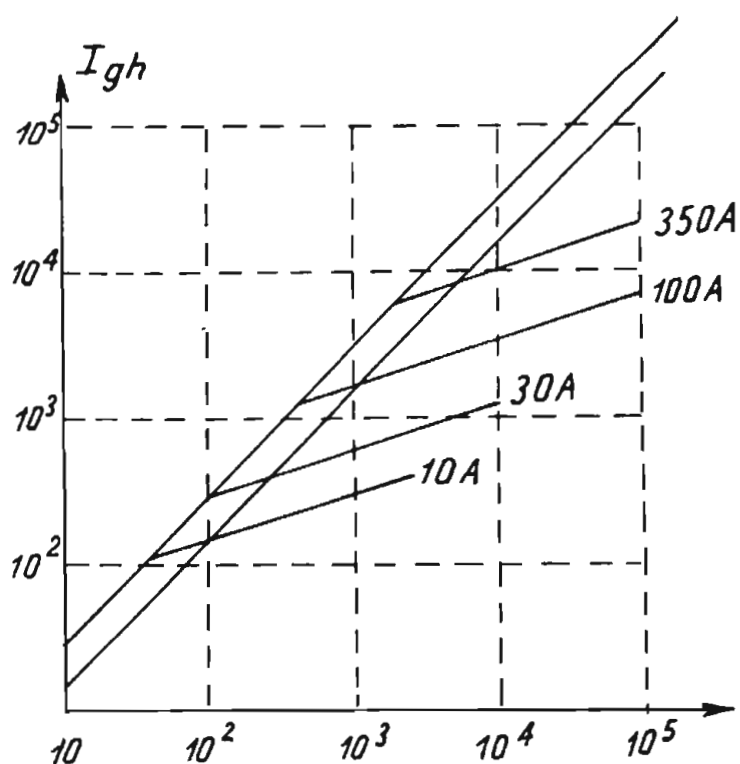
Nhận xét Khi bộ biến đổi làm việc trong chế độ nghịch lưu dòng ngắn mạch lớn nhất và nguy hiểm nhất. Vì vậy để tránh gây hỏng hóc cần bố trí thiết bị bảo vệ tác động nhanh (cầu chì tác động nhanh, aptomat tác động nhanh). Đối với phụ tải cần đảo chiều liên tục, cần có mạch theo dõi dự báo về dòng ngắn mạch nghịch lưu.

7-10.3. Các thiết bị bảo vệ

a. Thiết bị bảo vệ dòng điện ngắn mạch



Hình 7-22. Đặc tính tác động của cầu chì.

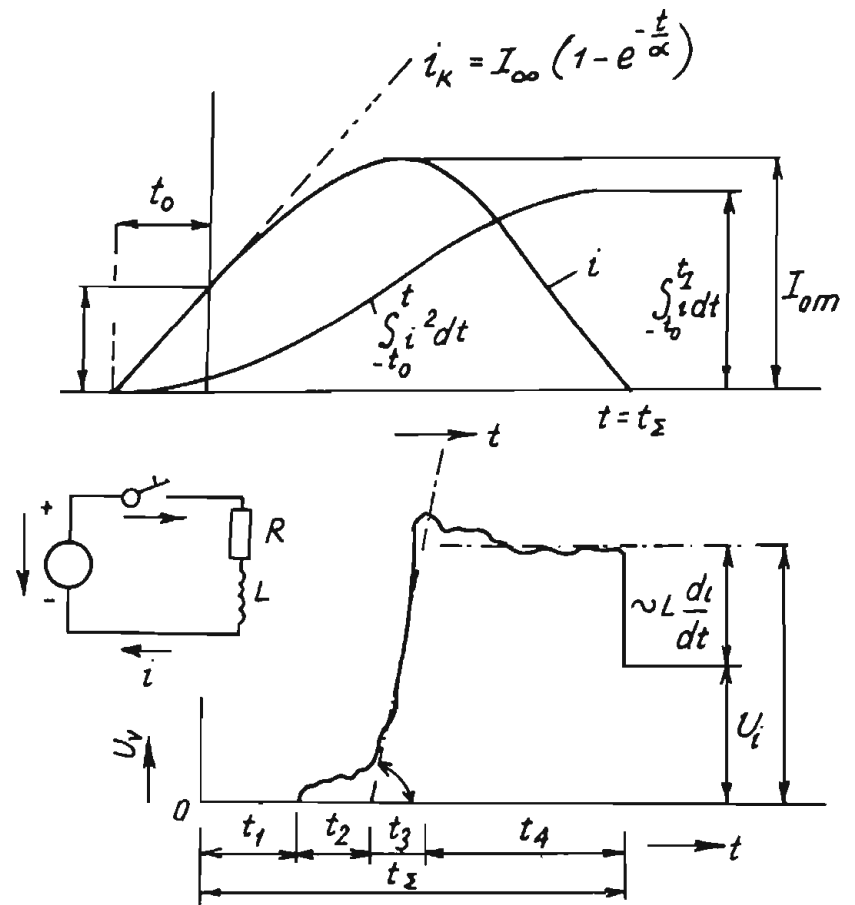


Hình 7-23. Đặc tính dòng giới hạn I_{gh} của cầu chì.

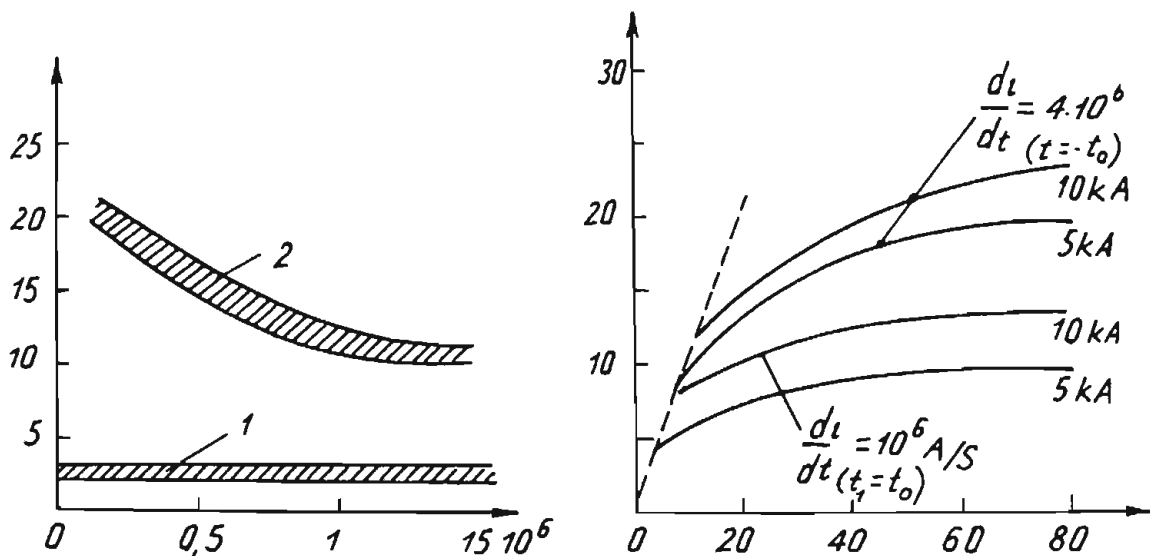
- Cầu chì Khi ngắn mạch dây chảy sẽ bị nung nóng, uốn và đứt, gây ra cắt mạch. Trên hình 7-22 là đặc tính thời gian của cầu chì và H.7-23 là đặc tính giới hạn dòng điện cắt của cầu chì tác động nhanh.

- Thiết bị bảo vệ quá dòng tác động nhanh ở mạch một chiều trên H.7-24 là đặc tính tác động, khi $t \leq 0$ dòng điện ở giá trị

dưới tác động, trong thời gian t_1 dòng điện bắt đầu vượt quá giới hạn công tác bắt đầu mở và trong thời gian t_2 cơ cấu tiếp điểm bắt đầu tách, nên trong thời gian t_3 điện áp trên hai đầu tiếp điểm tăng rất nhanh $d_u/d_t = 300 \div 500 \text{ V/ms}$. Khi tăng đến giá trị cực đại, điện áp này được giữ lại cho đến khi tiếp



Hình 7-24 Đặc tính tác động của thiết bị bảo vệ quá dòng tác động nhanh theo thời gian



Hình 7-25. a) Đặc tính tác động của thiết bị bảo vệ quá dòng tác động nhanh (1 - điện tử, 2 - điện tử)

b) Đặc tính dòng giới hạn của thiết bị bảo vệ quá dòng tác động nhanh ($I_{dm} = 4000 \text{ A}$)

điểm tách ra, điện áp trên hai cực còn lại không đổi $U = F + L di/dt$. Bảo vệ quá dòng tác động nhanh có hai loại điện từ và điện tử, đặc tính của nó vẽ trên H.7-24.

Năng lượng cắt tỷ lệ với tích phân

$$\left[I^2t \right]_{\text{cắt}} = \int_0^{t_2} i^2 dt \tag{7-55}$$

- Rơle nhiệt :

Dùng để bảo vệ quá tải, có thể nối trực tiếp vào mạch hoặc qua biến dòng. Đặc tính tác động của nó

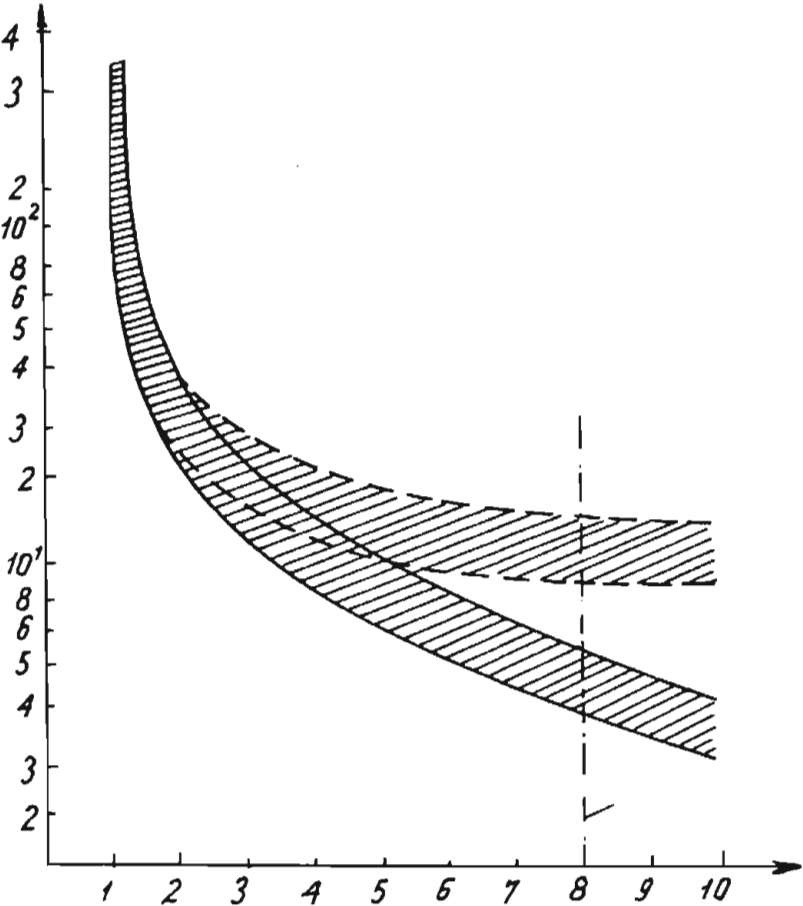
$$t_{\text{td}} = f\left(\frac{I}{I_{\text{cd}}}\right)$$

là hàm của tỷ lệ dòng điện chạy qua với dòng điện chỉnh định (xem H.7-26).

b. Các thiết bị bảo vệ khác :

- Rơle bảo vệ quá áp mạch một chiều dùng bảo vệ hệ truyền động một chiều có điều chỉnh từ thông

Rơle bảo vệ mất từ thông dùng trong hệ truyền động động cơ một chiều và động cơ xoay chiều đồng bộ, thường sử dụng các loại rơle dòng điện.

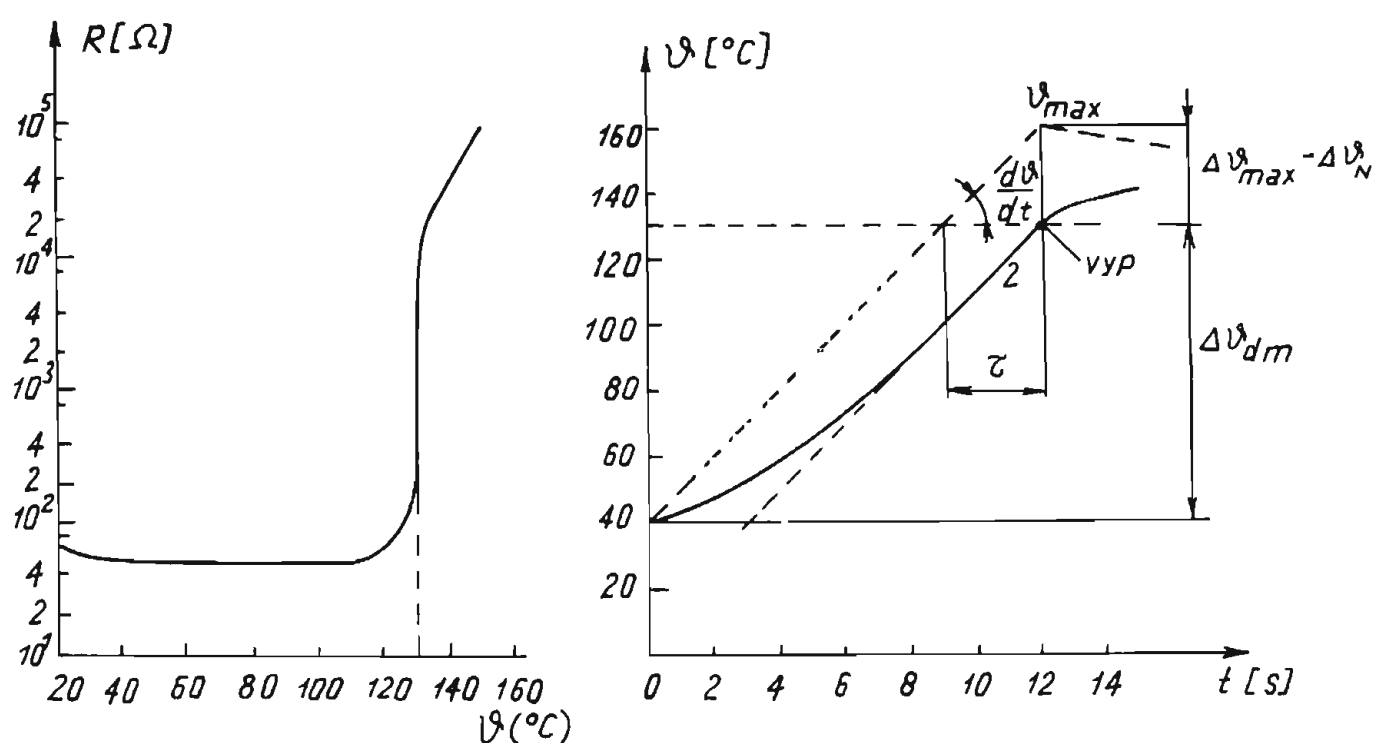


Hình 7-26. Đặc tính của rơle nhiệt

- A - Phần tử nhiệt nối trực tiếp
- B - Phần tử nhiệt nối qua biến dòng
- C - Giá trị dòng ngắn mạch

$$\lambda_1 \text{ là bội số dòng điện chỉnh định } \lambda_1 = \frac{I}{I_{\text{đặt}}}$$

- Role bảo vệ quá nhiệt Trong truyền động sử dụng nhiều role bảo vệ nhiệt như bảo vệ quá nhiệt động cơ, máy biến áp, các ổ bi, các tiristor, quá nhiệt trong tủ điều khiển v.v. Người ta thường dùng điện trở nhiệt bán dẫn đã tinh thể (termistor). Đặc tính của nó được trình bày trên H.7-27. Khi nhiệt độ thấp điện trở của nó nhỏ, khi nhiệt độ tăng đến giá trị tác động, điện trở của nó tăng đột biến rất lớn, cắt tín hiệu điều khiển.



Hình 7-27 Đặc tính của termistor

a) $R[\Omega]$; b) $\theta^\circ(t)$

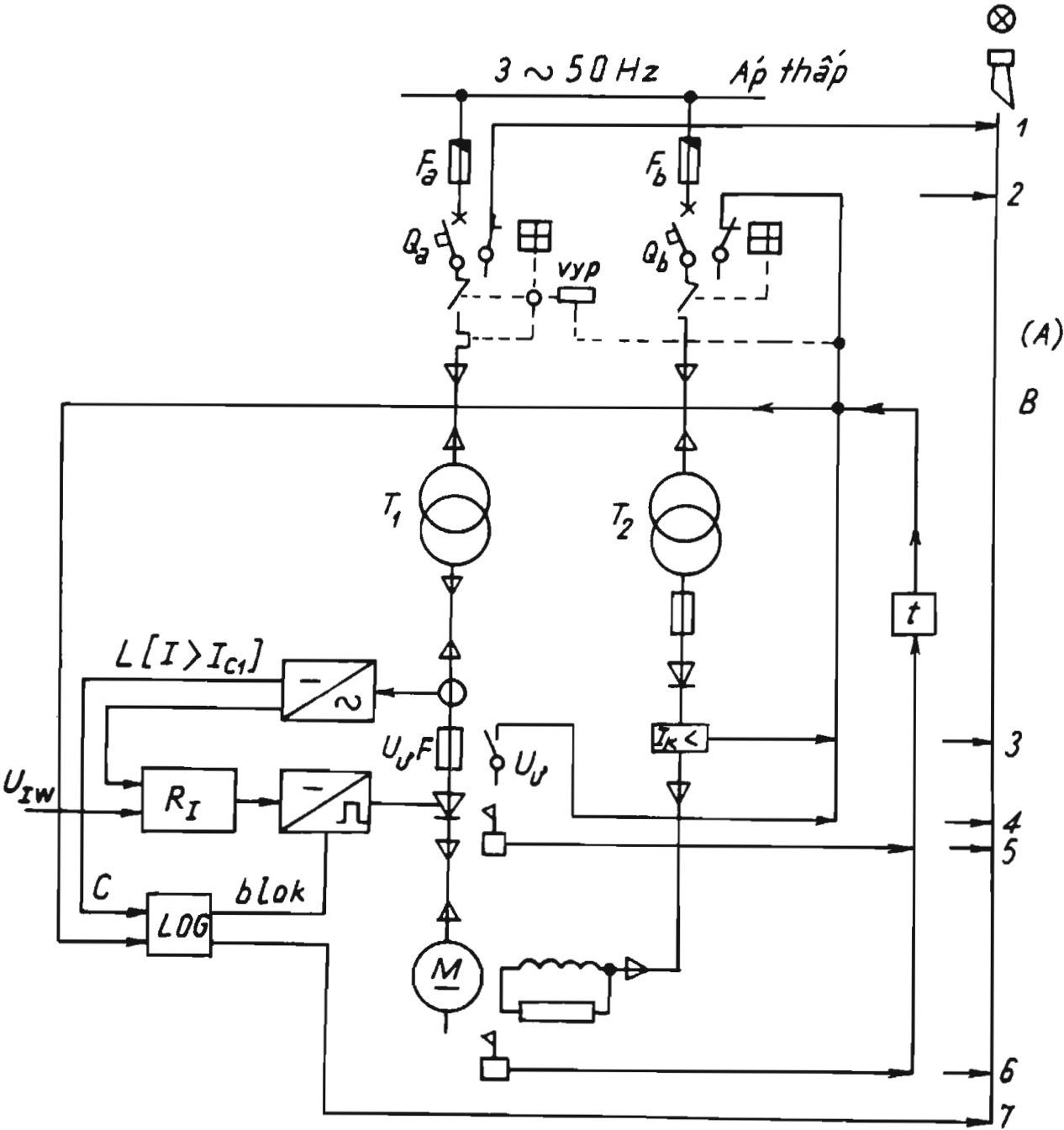
Thường người ta chế tạo loại termistor với dải nhiệt độ $50 \div 180^\circ\text{C}$ gần cách ly với phần phát nhiệt. Thực tế trong bảo vệ nhiệt, người ta nối tiếp nhiều termistor ở các phần phát nhiệt để gửi tín hiệu cảnh báo hoặc bảo vệ cắt hệ thống.

7-10.4. Phương pháp tổ chức bảo vệ hệ truyền động điện

Muốn xây dựng mạch bảo vệ tác động chính xác và hiệu quả cần thực hiện qua các bước sau

Thông kê các phần tử trong hệ có khả năng sinh ra sự cố như máy sản xuất, động cơ truyền động, bộ biến đổi, mạch điều khiển bộ biến đổi và nguồn cung cấp,

Khả năng và nguyên nhân phát sinh sự cố từ những phần tử trên,



Hình 7-28. Mạch bảo vệ truyền động tiristor động cơ một chiều

Xác định sự cố xảy ra cho toàn hệ khi một trong các phân tử của hệ truyền động phát sinh sự cố,

Thiết lập thiết bị và mạch bảo vệ, sao cho các thiết bị này sẽ đảm bảo loại trừ tất cả sự cố có thể sinh ra. Trên bảng 7-6 là thí dụ tổ chức mạch bảo vệ cho hệ truyền động tiristor động cơ một chiều và sơ đồ bảo vệ đối với hệ truyền động đơn giản (không đảo chiều) hình 7-28 và hệ phức tạp (có đảo chiều) hình 7-29.

Phân tích mạch bảo vệ hình 7-29 Hệ có sáu tác động

A Cắt aptômát chính cấp nguồn cho truyền động, A tác động khi quá dòng đầu vào (1), sự cố máy biến áp nguồn (11) quá có thời gian (8), quá nhiệt biến áp có thời gian (10) bảo vệ hơi dầu biến áp có thời gian (12)

C - Cắt cầu chì tác động nhanh ở mạch lực bộ biến đổi

B - Khóa mạch điều khiển quá dòng tổng (1), mất áp kích từ (2), thấp dòng kích từ (3), sự cố biến áp nguồn (11), quá dòng phản ứng (16), quá áp phản ứng (17), quá tốc độ (20, 21), các tín hiệu cắt có thời gian (8, 10, 12, 5, 22) là các bảo vệ quá nhiệt.

D. Bảo vệ quá dòng tác động nhanh ở mạch phản ứng bằng thiết bị cắt điện tử gồm tất cả các bảo vệ của B

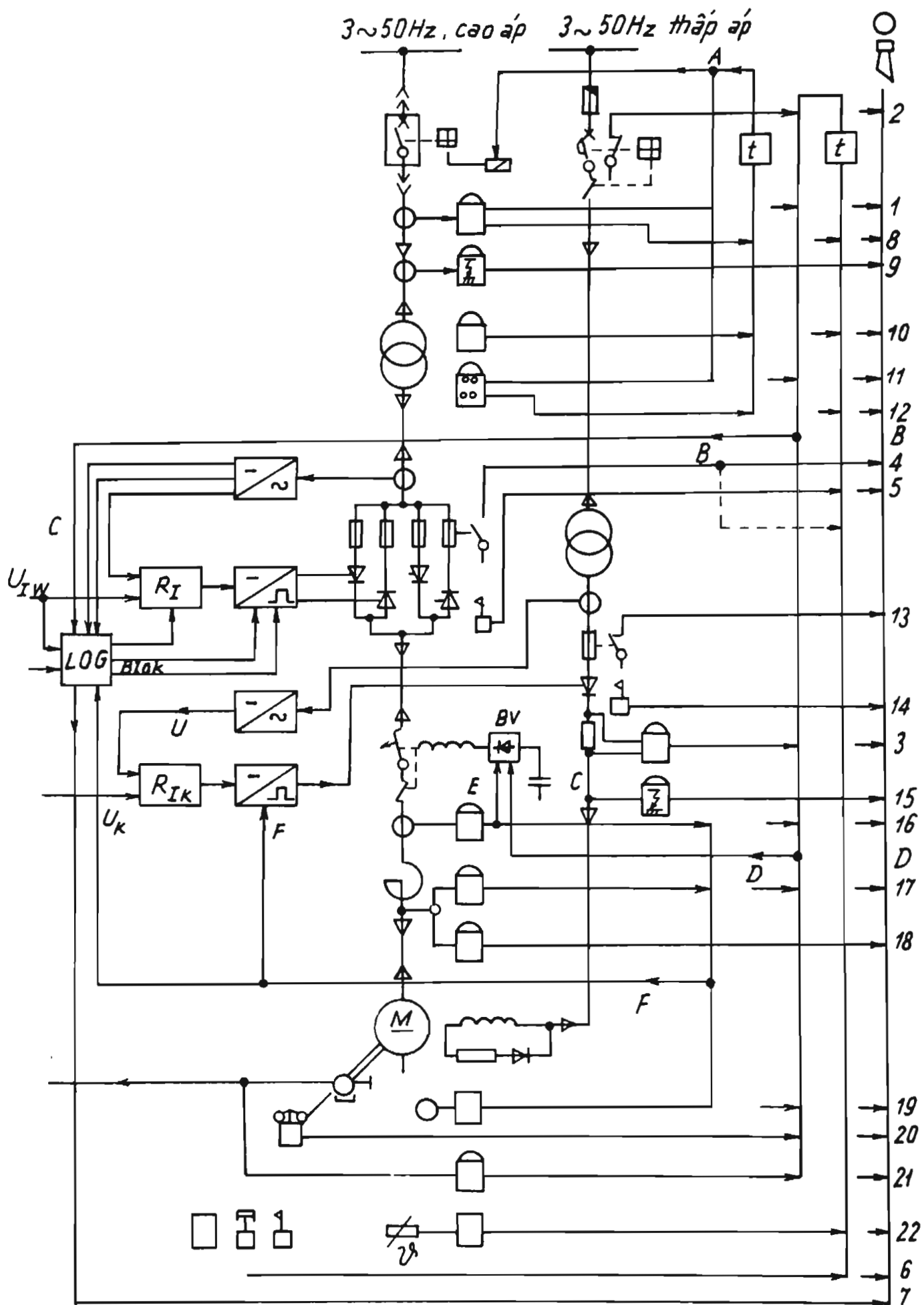
E Bảo vệ ngắn mạch bộ biến đổi cắt nhanh ở mạch phản ứng

F Bảo vệ kích từ khi có sự cố quá dòng (16) quá áp (17), mạch kích từ bị khóa phát xung. Ngoài ra tất cả các sự cố đều được tín hiệu hóa và phát còi cảnh báo.

cho phản ứng
cơ

**Bảng 7.6. Giản đồ tổ chức mạch bảo vệ
hệ truyền động tiristor động cơ một chiều
kích từ độc lập**

Sự cố ở mạch vòng điều chỉnh tốc độ	Sự cố ở mạch vòng điều chỉnh dòng điện	Su cố	Bảo vệ
→	→	Quá tải	Rơle nhiệt, termistor
→	→	Quá dòng	Khoá xung điều khiển
.....→	→	Mất kích từ	Thấp dòng kích từ
→	→	Quá tốc	Thiết bị bảo vệ lực cắt
→	→	Ngắn mạch chuyển lưu	
→	→	Ngắn mạch phản ứng	
→	→	Quá áp mạnh phản ứng	Rơle quá áp
→	→	Ngắn mạch bên trong	Cầu chì tác động nhanh
→	→	Quá tốc phần cơ cấu phanh hãm tác động	Cắt mạch lực
→	→	Ngắn mạch nghịch lưu	Cầu chì tác động nhanh
→	→		Bảo vệ quá dòng tải động nhanh
→	→	Ngắn mạch phản ứng	Cắt kích từ



Hình 7-29. Mạch bảo vệ hệ truyền động tiristor động cơ một chiều có đảo chiều quay

7-11. ĐỘ TIN CẬY HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

Ngày nay thiết bị công nghệ thường được xây dựng theo dây chuyền sản xuất liên tục khép kín. Do vậy khi có sự cố xảy ra thường dẫn đến tổn thất lớn. Tổn thất này có khi vượt quá cả giá thành hệ truyền động. Vì vậy đặc tính quan trọng nhất của hệ truyền động là độ tin cậy.

Độ tin cậy được định nghĩa bao gồm tuổi thọ, an toàn không gây sự cố, khả năng vận hành, sửa chữa và bảo quản. Điều này phụ thuộc vào việc thiết kế hệ truyền động, nơi sản xuất chế tạo hệ truyền động và phụ thuộc cả vào người vận hành sử dụng và bảo hành, bảo trì.

7-11.1. Chỉ tiêu độ tin cậy :

Chỉ tiêu độ tin cậy của sản phẩm ngày nay được thống nhất đánh giá bằng xác suất vận hành không sự cố $R(t)$

$$R(t) = \frac{N(t)}{N_0(0)} \quad (7-56)$$

$N(t)$ = tổng số sản phẩm không có sự cố sau thời gian theo dõi thử nghiệm ;

$N_0(0)$ = tổng sản phẩm mang ra thử nghiệm.

Người ta còn đưa ra chỉ tiêu đánh giá là xác suất giữa hai khoảng thời gian sự cố gần nhau nhất (t_2, t_1)

$$\lambda(t) = \frac{1}{t_2 - t_1} \frac{N(t_1) - N(t_2)}{N(t_1)}$$

$N(t_1)$ và $N(t_2)$ là sản phẩm không bị hư hỏng tính từ thời gian đầu t_1 và đến thời gian kết thúc t_2 .

Phần lớn sản phẩm, đặc biệt là sản phẩm điện tử có đặc tính cường độ hỏng hóc như trên H.7-30 gồm ba giai đoạn

Bắt đầu sử dụng thường hay bị sự cố

- Thời gian có mức độ sự cố thấp và không đổi

Thời gian cuối tuổi thọ của sản phẩm mức độ hư hỏng tăng lên.

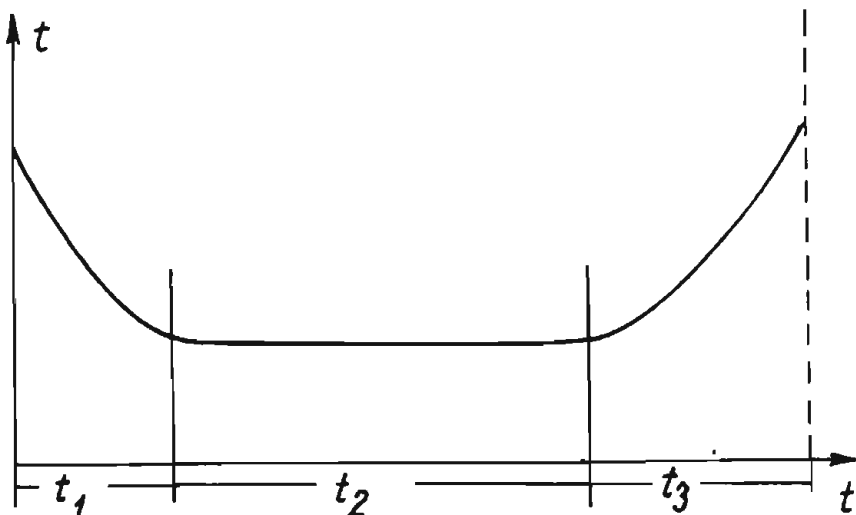
Ngày nay các sản phẩm được quan tâm rất nhiều không những đến chất lượng mà còn độ tin cậy. Có sản phẩm đạt chỉ tiêu thời gian xảy ra sự cố đầu tiên tới $(100 \div 150) \cdot 10^3$ giờ

7-11.2. Phương pháp đảm bảo độ tin cậy của thiết bị khi vận hành

Vì độ tin cậy sản phẩm phụ thuộc vào cả người vận hành thiết bị. Cho nên cần có kế hoạch và phương pháp để đảm bảo độ tin cậy của máy theo nhà sản xuất ra sản phẩm đã tính toán, cụ thể :

- Lắp đặt máy và đưa vào vận hành Phải tuân theo đúng yêu cầu của nhà sản xuất khi vận chuyển và đưa máy vào vị trí. Môi trường lắp đặt đảm bảo. Lần chạy thử đầu tiên phải có quy trình kiểm tra chặt chẽ như Phân nguồn cung cấp, phân phụ tải tránh nguyên nhân sơ suất gây sự cố, kiểm tra toàn bộ mạch điều khiển bảo vệ. Thông thường các hệ truyền động ngày nay đều trang bị chương trình thử máy, cần tuân thủ đúng các yêu cầu của nhà sản xuất.

Trong quá trình vận hành Người vận hành phải thực hiện công việc bảo trì máy sau mỗi ca vận hành hoặc sau định kỳ. Người quản lý cần lên kế hoạch khai thác máy. Khi có sự cố cần đánh giá nguyên nhân sự cố khắc phục kịp thời đặt thiết bị dự phòng thay thế để chủ động sản xuất. Sau một thời gian vận hành, hoặc



Hình 7-30. Đặc tính cường độ hỏng hóc thiết bị

- 1 giai đoạn đầu đi vào sản xuất nhiều sự cố
- t_2 giai đoạn giữa ít sự cố
- t_3 giai đoạn cuối

sau một lần sửa chữa phải thử nghiệm, chỉnh định tham số của máy.

Phần cuối của tuổi thọ máy Đánh giá từng phần trong hệ và có kế hoạch thay thế nhằm kéo dài tuổi thọ của máy.

Đối với cơ sở sản xuất cần tổ chức đào tạo cho công nhân vận hành, quy trình vận hành và phương pháp bảo trì máy định kỳ. Tổ chức một đội ngũ có chuyên môn cao bảo trì và sửa chữa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO CHÍNH

- /1/ L.Kule a Kolektiv. Technika elektrických pohonů SNTL—Praha 1983.
- /2/ Bùi Đình Tiểu – Phạm Duy Nhi. Cơ sở truyền động điện tự động Hà nội 1983
- /3/ Nguyễn Bính. Điện tử công suất. Hà nội 1993
- /4/ П.Ц. Сарбатов. Тиристорные преобразователи частоты в электроприводе. Москва, 1980
- /5/ М.Г. Чиликин. Вентильный электропривод с синхронным двигателем зависимым инвертором. Москва, 1977.
- /6/ Albert Wiart and Jean Hamel. Railway Traction Powered by Synchrons motors Supplied Through Natural Commutation Inverters
(Proceedings Second European Conference on Power Electronics and Applications) No = 3–1987
- /7/ Zdzislawa Grunwalda. Napęd elektryczny. Warszawa – 1987
- /8/ S.B. Dewan , A. Straughen. Power Semiconductor Circuits. Toronto 1975.
- /9/ F. Csáki, K. Ganszky, I. Ipsits , S.Marti. Power Electronics. Budapest 197.5.
- /10/ K. Oknishi, K. Miyachi. Principle of Constant Magnitude Regulation of Secondary Flux Based on Slip Frequency Control in I.M. Drive. IEEE No2 .1985
- /11/ Kalas V.a Kolektiv. Technická Kybernetika Elektrických Pohonů. Bratislava 1978
- /12/ Автоматизированный электропривод, силовые полупроводниковые, преобразовательная Техника.
(Актуальные проблемы и задачи. Энергоатомиздат – 1982

MỤC LỤC

	<i>Trang</i>
Lời nói đầu	3
Chương 1. Những khái niệm cơ bản về hệ truyền động điện	
1-1. Cấu trúc chung và phân loại	5
1-2. Khái niệm chung về đặc tính cơ động cơ điện	6
1-3. Đặc tính cơ máy sản xuất	7
1-4. Trạng thái làm việc của truyền động điện	9
1-5. Quy đổi mômen cản, lực cản và mô men quán tính, khối lượng quán tính	12
1-6. Phương trình động học của truyền động điện	14
1-7. Điều kiện ổn định tĩnh của truyền động điện	15
1-8. Động học của khớp nối mềm	17
Chương 2. Đặc tính cơ của động cơ điện	
2-1. Khái niệm chung	19
2-2. Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích từ độc lập	21
2-2.1. Phương trình đặc tính cơ	21
2-2.2. Xét ảnh hưởng các tham số đến đặc tính cơ	25
2-2.3. Cách vẽ các đặc tính cơ	28
2-2.4. Khởi động và tính toán điện trở khởi động	32
2-2.5. Đặc tính cơ trong các trạng thái hãm	38
2-3. Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều nối tiếp	46
2-3.1. Phương trình đặc tính cơ	47
2-3.2. Cách vẽ đặc tính cơ	50
2-3.3. Khởi động và xác định điện trở khởi động	52
2-3.4. Trạng thái hãm của động cơ kích từ nối tiếp	55
2-4. Đặc tính cơ động không đồng bộ	58
2-4.1. Phương trình đặc tính cơ	58

2-4.2. Ảnh hưởng của các thông số đến đặc tính cơ	65
2-4.3. cách vẽ đặc tính cơ tự nhiên và đặc tính cơ biến trở	70
2-4.4. Khởi động và cách xác định điện trở khởi động	72
2-4.5. Đặc tính cơ trong các trạng thái hãm.	73
2-5. Đặc tính cơ động cơ đồng bộ	82
2-5.1. Các đặc tính của động cơ đồng bộ	83
2-5.2. Khởi động và hãm động cơ đồng bộ	86

Chương 3. Điều chỉnh tốc độ truyền động điện

3-1. Sai số tốc độ	89
3-2. Độ trơn của điều chỉnh tốc độ	90
3-3. Dải điều chỉnh tốc độ	90
3-4. Sự phù hợp giữa đặc tính điều chỉnh và đặc tính tải	92
3-5. Chỉ tiêu kinh tế	92
3-6. Các chỉ tiêu khác	92
3-7. Tổn thất năng lượng khi điều chỉnh	93

Chương 4: Điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều

4-1. Khái niệm chung	95
4-2. Nguyên lý điều chỉnh điện áp phần ứng	96
4-3. Nguyên lý điều chỉnh từ thông động cơ	101
4-4. Hệ thống truyền động máy phát—động cơ một chiều (F—Đ).	103
4-4.1. Cấu trúc hệ F—Đ và các đặc tính cơ bản	103
4-4.2. Các chế độ làm việc của hệ F—Đ	105
4-4.3. Đặc điểm của hệ F—Đ	110
4-5. Hệ thống chỉnh lưu — động cơ một chiều.	110
4-5.1. Chỉnh lưu bán dẫn làm việc với động cơ điện	110
4-5.2. Đặc tính cơ của hệ truyền động chỉnh lưu tiristo—động cơ một chiều	124
4-5.3. Truyền động tiristo — động cơ một chiều (T—Đ) có đảo chiều quay	128
4-5.4. Nhận xét chung	137

4-6. Các hệ truyền động điều chỉnh xung áp – động cơ một chiều	138
4-6.1. Điều chỉnh xung áp mạch đơn	138
4-6.2. Đặc tính cơ	142
4-6.3. Điều chỉnh xung áp đảo chiều	144
4-7. Ổn định tốc độ làm việc của truyền động điện một chiều.	147
4-7.1. Điều chỉnh E_b theo dòng điện tải.	148
4-7.2. Điều chỉnh E_b theo điện áp phản ứng.	150
4-7.3. Điều chỉnh E_b theo tốc độ động cơ.	152
4-8. Hạn chế điện trong truyền động điện một chiều.	154
4-8.1. Hạn chế dòng điện bằng các mạch ngắt dòng	154
4-8.2 Tự động điều chỉnh dòng điện	156

Chương 5. Điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ.

5-1. Điều chỉnh điện áp động cơ	160
5-2. Điều chỉnh điện trở mạch rôto	170
5-3. Điều chỉnh công suất trượt	173
5-4. Điều chỉnh tần số nguồn cấp cho động cơ không đồng bộ	178
5-4-1. Mô tả động cơ không đồng bộ dưới dạng của đại lượng véctơ	178
5-4.2. Điều chỉnh tần số nguồn điện áp	190
5-4.3. Điều chỉnh tần số nguồn dòng điện	190

Chương 6. Điều chỉnh tốc độ động cơ đồng bộ

6-1. Khái quát chung	211
6-2. Mô tả toán học động cơ đồng bộ	211
6-3. Động cơ đồng bộ trong chế độ xác lập	214
6-4. Sự tương đồng giữa truyền động cơ đồng bộ và động cơ một chiều	216
6-5. Phân loại hệ truyền động điều chỉnh tốc độ động cơ đồng bộ	218

6-6. Truyền động điều chỉnh tốc độ động cơ đồng bộ dùng biến tần nguồn áp	219
6-7. Hệ truyền động động cơ đồng bộ với bộ biến đổi tần số nguồn dòng chuyển mạch tự nhiên	222
6-7.1. Quá trình chuyển mạch	224
6-7.2. Mômen của động cơ	228
6-7.3. Giới hạn của chuyển mạch tự nhiên và vấn đề khởi động	229
6-7.4. Quy luật điều khiển	231
6-8. Cấu trúc mạch điều chỉnh tốc độ truyền động động cơ đồng bộ dùng biến tần nguồn dòng	233

Chương 7. Chọn công suất động cơ điện cho truyền động

7-1. Những vấn đề chung	241
7-2. Phát nóng và nguội lạnh máy điện	245
7-3. Các chế độ làm việc của truyền động điện	247
7-4. Chọn công suất động cơ cho những truyền động không điều chỉnh tốc độ	248
7-4.1. Chọn công suất động cơ làm việc dài hạn	249
7-4.2. Chọn công suất động cơ làm việc ngắn hạn	249
7-4.3. Chọn công suất động cơ cho phụ tải ngắn hạn lặp lại	253
7-5. Tính chọn công suất động cơ cho truyền động có điều chỉnh tốc độ	256
7-6. Kiểm nghiệm công suất động cơ	258
7-7. Chọn phương án truyền động	264
7-8. Những vấn đề cơ bản để tính chọn bộ biến đổi	264
7-9. Tính chọn bộ biến đổi chỉnh lưu tiristor	270

7-9.1. Xác định điện áp không tải chỉnh lưu và điện áp ra của máy biến áp	270
7-9.2. Máy biến áp nguồn	272
7-9.3. Tính chọn cuộn kháng lọc mạch một chiều	273
7-9.4. Ảnh hưởng sóng điều hoà bậc cao và tiêu thụ công suất phản kháng của bộ biến đổi tới lưới điện	281
7-9.5. Chống nhiễu ở mạch điều khiển	
7-10. Mạch bảo vệ hệ truyền động điện	287
7-10.1. Mục đích và yêu cầu mạch bảo vệ truyền động điện	287
7-10.2. Các sự cố ngắn mạch	289
7-10.3. Các thiết bị bảo vệ	294
7-10.4. Phương pháp tổ chức bảo vệ hệ truyền động điện	297
7-11. Độ tin cậy hệ truyền động điện	303
7-11.1. Chỉ tiêu độ tin cậy	303
7-11.2. Phương pháp đảm bảo độ tin cậy của thiết bị khi vận hành	304
Tài liệu tham khảo	306

TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

**BÙI QUỐC KHÁNH
NGUYỄN VĂN LIÊN
NGUYỄN THỊ HIỀN**

Chịu trách nhiệm xuất bản : PGs. TS. Tô Đăng Hải
Biên tập : Ngọc Khuê
Vẽ bìa : Trần Thắng

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
Hà Nội 2006

In 1000 cuốn khổ 14,5 x 20,5cm tại Công ty cổ phần In Hàng không.
Quyết định xuất bản số: 409-2006/CXB/67-33/KHKT.
In xong và nộp lưu chiểu tháng 9-2006



1956 - 2006

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI

50 NĂM XÂY DỰNG
VÀ PHÁT TRIỂN

206294



Giá: 26.000đ