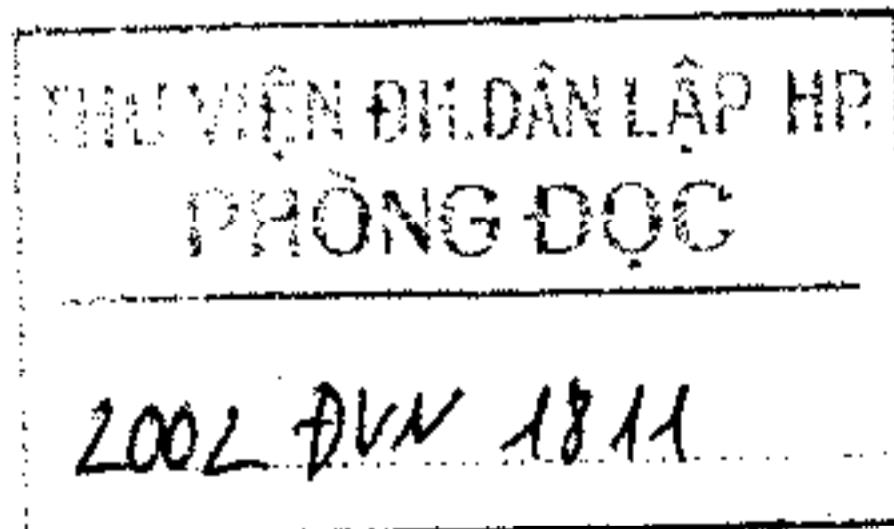


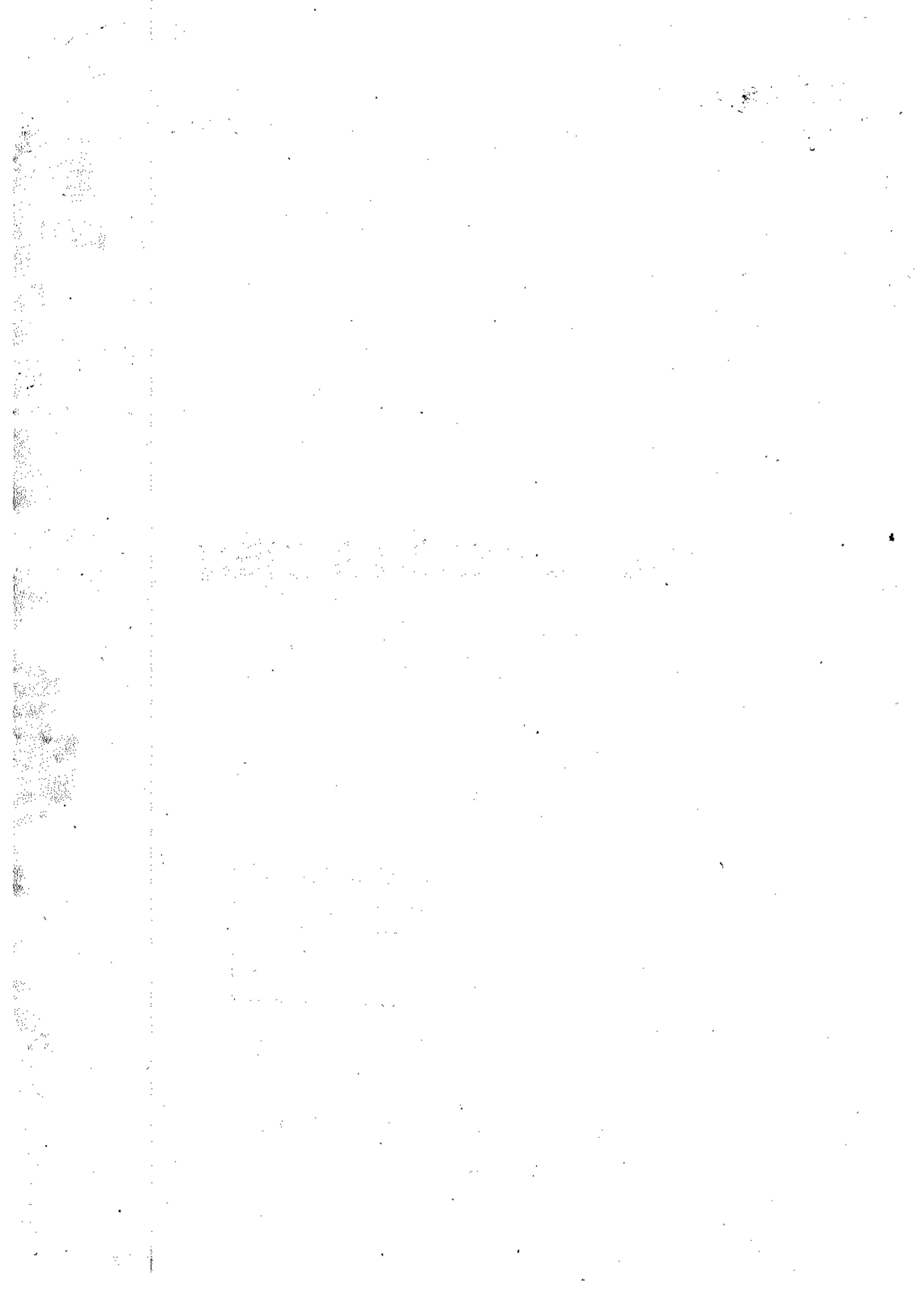
BÙI QUỐC KHÁNH - NGUYỄN VĂN LIÊN  
NGUYỄN THỊ HIỀN

# TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

*Tái bản lần thứ 5*



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC & KỸ THUẬT  
HÀ NỘI 2001



## 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 đồng 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...

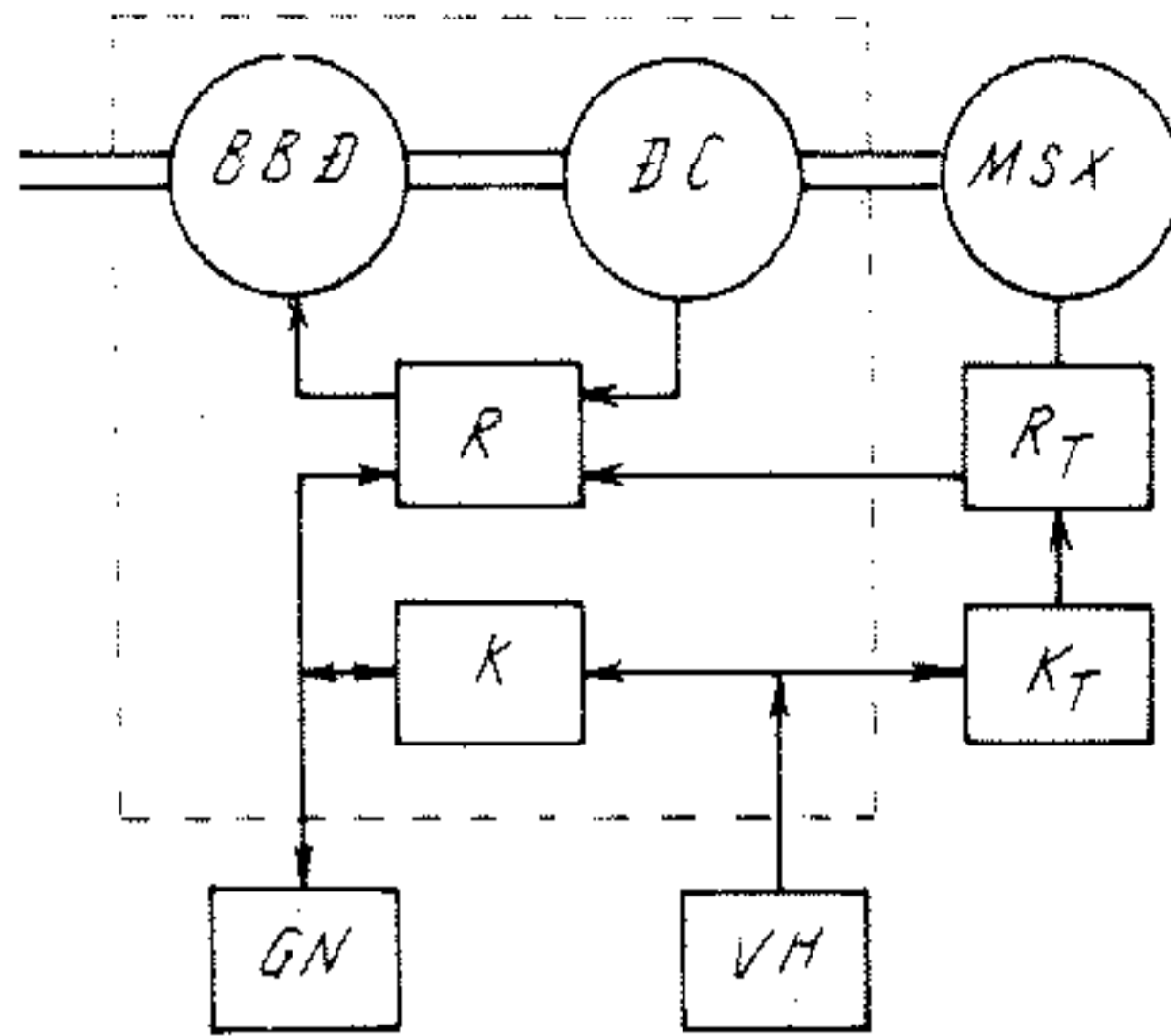
- Phần điều khiển gồm các cơ cấu đo lường, các bộ điều chỉnh tham số và công nghệ, ngoài ra còn có các thiết bị điều khiển, đóng cắt phục vụ công nghệ và cho người vận hành. Đồng thời một số hệ truyền động có cả mạch ghép nối với các thiết bị tự động khác trong một dây chuyền sản xuất.

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  $M_{dm}, \omega_{dm}$ . 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

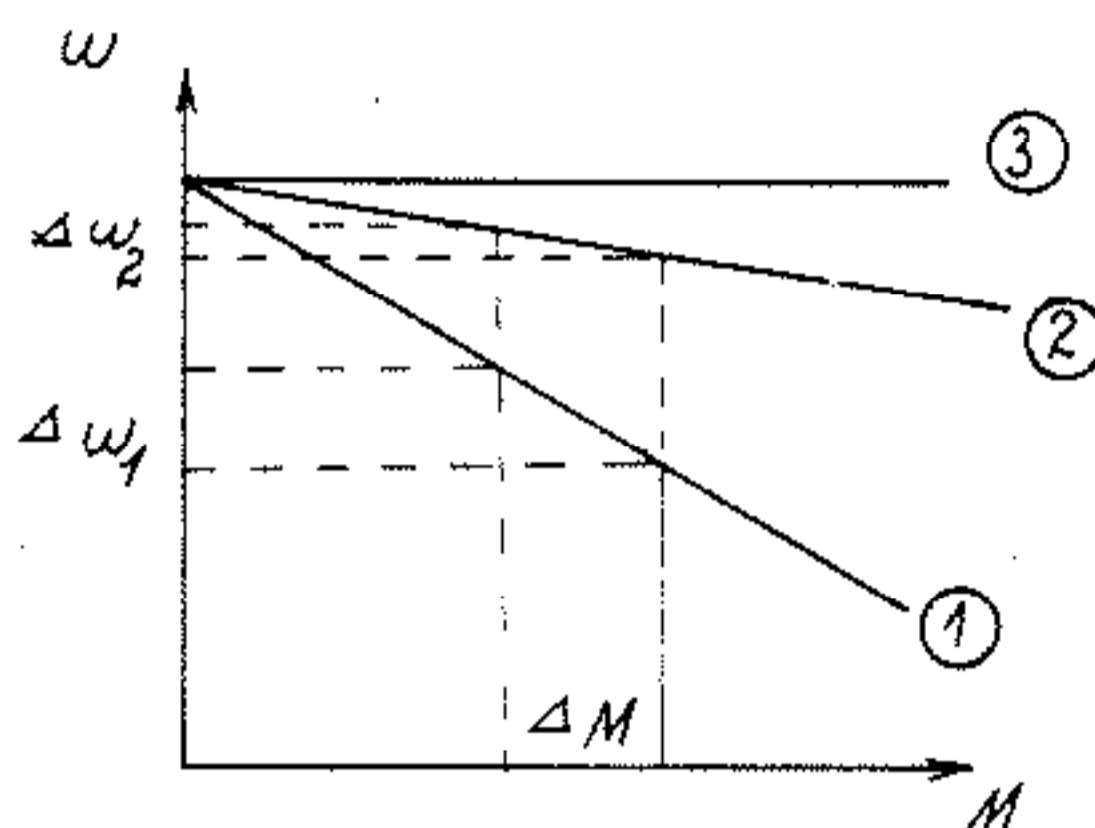
niệm độ cứng đặc tính cơ  $\beta$  và được tính:

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

$\beta$  lớn, ta có đặc tính cơ cứng,  $\beta$  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:

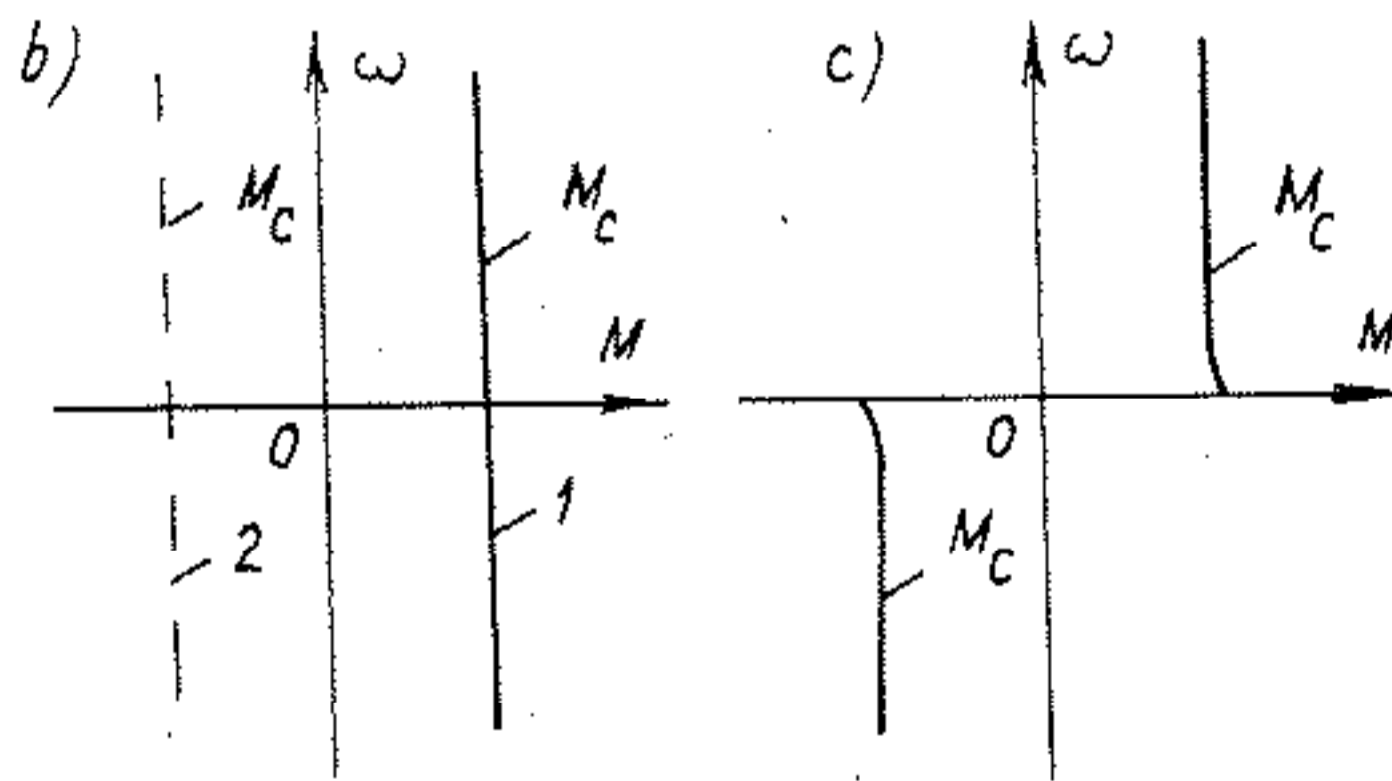
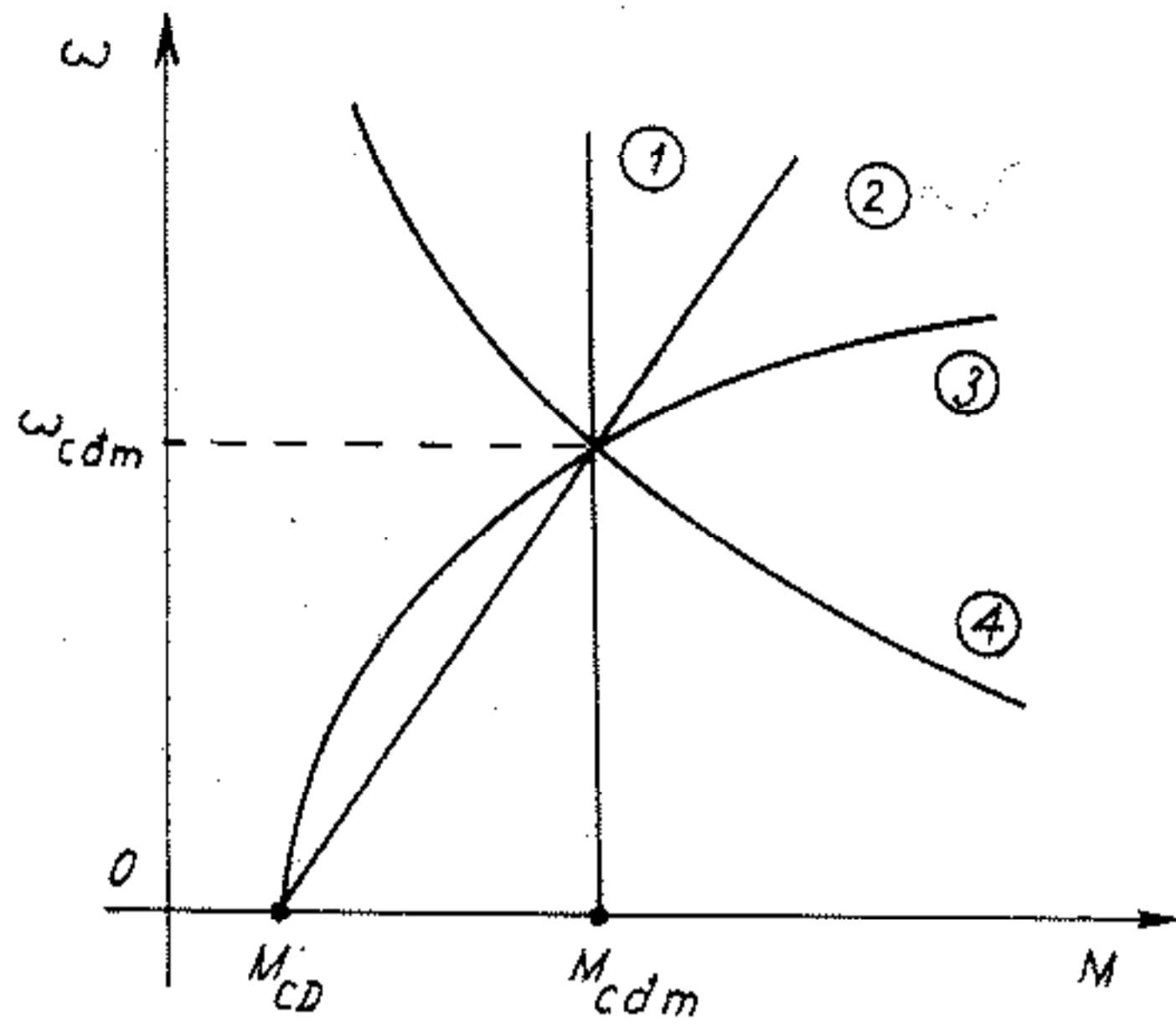
$M_{co}$  - Mômen ứng với tốc độ  $\omega = 0$

$M_{dm}$  - Mômen ứng với tốc độ định mức  $\omega_{dm}$

$M_c$  - Mômen ứng với tốc độ  $\omega$ .

Ta có các trường hợp:

-  $\alpha = 0$ ,  $M_c = M_{dm} = \text{const}$ , các cơ cấu nâng hạ, băng tải, cơ cấu án 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 cáp cân bằng có đặc tính thuộc loại này.
- Mômen phụ thuộc vào số vòng quay và đường đi  $M_c = f(\omega, s)$  như các loại xe điện.
- Mômen 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  $P_{cơ} = M \cdot \omega$  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,

$\Delta P$  - 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,

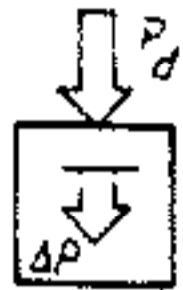
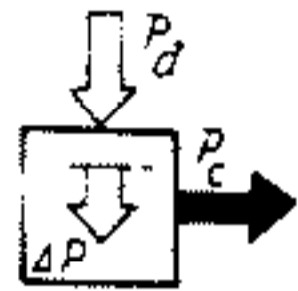

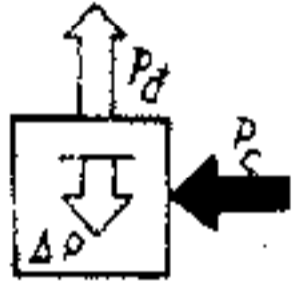
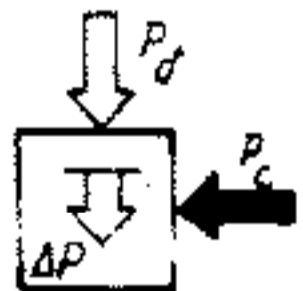

- Trạng thái hãm gồm hãm không tải, hãm tái sinh, hãm ngược và hãm động năng.

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

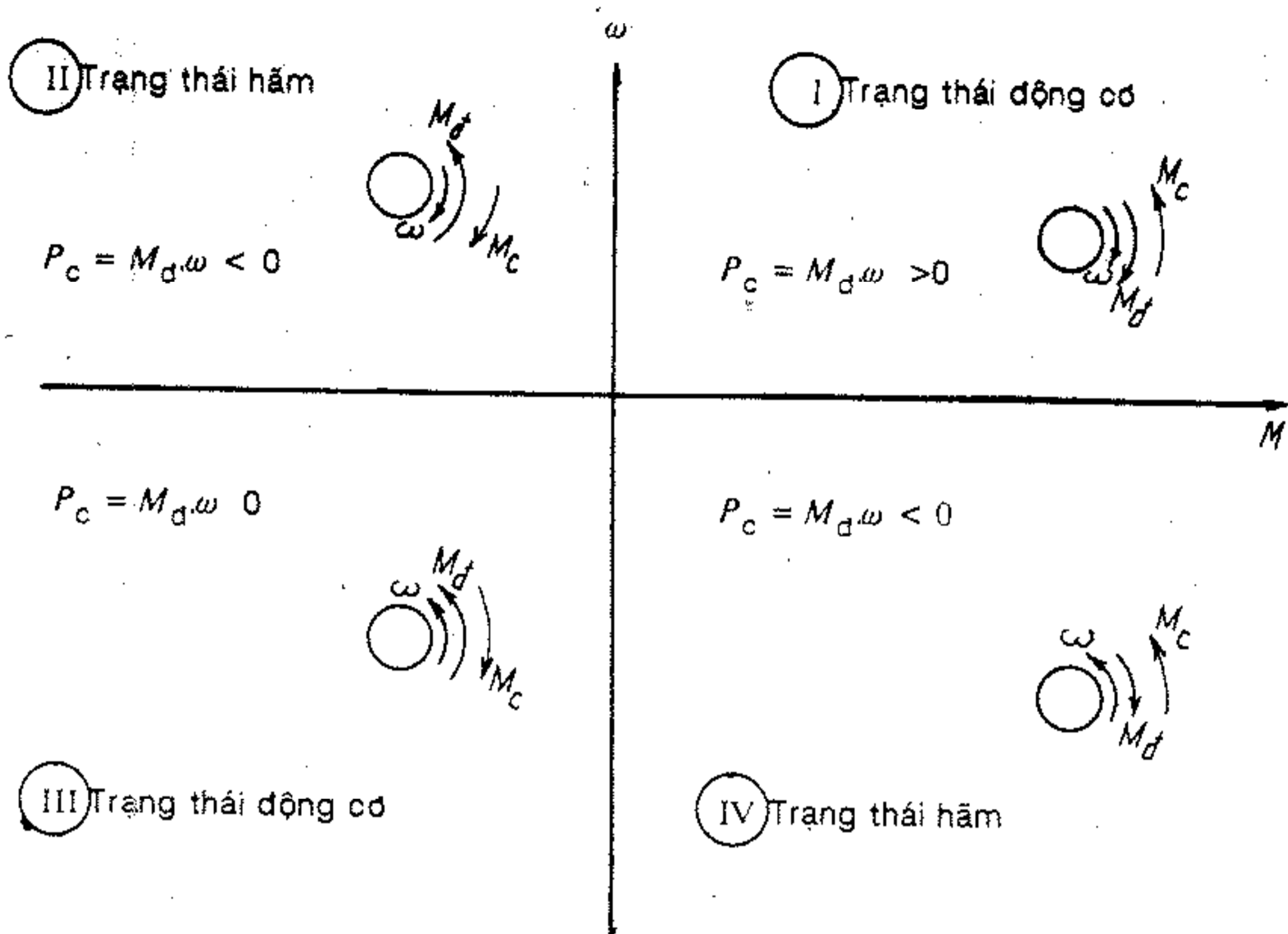
Hãm ngược  $P_{điện} > 0$ ,  $P_{cơ} < 0$  điện năng và cơ năng chuyển thành tổn thất  $\Delta P$ .

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

Bảng 1-1

	Biểu đồ công suất	$P_{điện}$	$P_{cơ}$	$N^p$	Trạng thái làm việc
1		0	= 0	= $P_{điện}$	- Động cơ không tải
2		0	0	= $P_d - P_c$	- Có tải
3		= 0	< ()	= $ P_{cơ} $	Hãm không tải
4		< ()	< ()	= $ P_c - P_d $	- Hãm tái sinh
5		0	< ()	= $ P_c +  P_d  $	- Hãm ngược
6		= 0	< ()	= $ P_{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  $\omega$ ,  $M$ ,  $v$ ,  $F$  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  $\eta_i$ . Mômen này sẽ tác động lên trục động cơ có giá trị  $M_{cqd}$  :

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

$$M_{cqd} = M_1 \cdot \frac{1}{\eta_i} \cdot \frac{1}{i}, \quad (1-5)$$

trong đó:  $i = \frac{\omega_d}{\omega_1}$ ;  $\eta_i$  là hiệu suất hộp tốc độ.

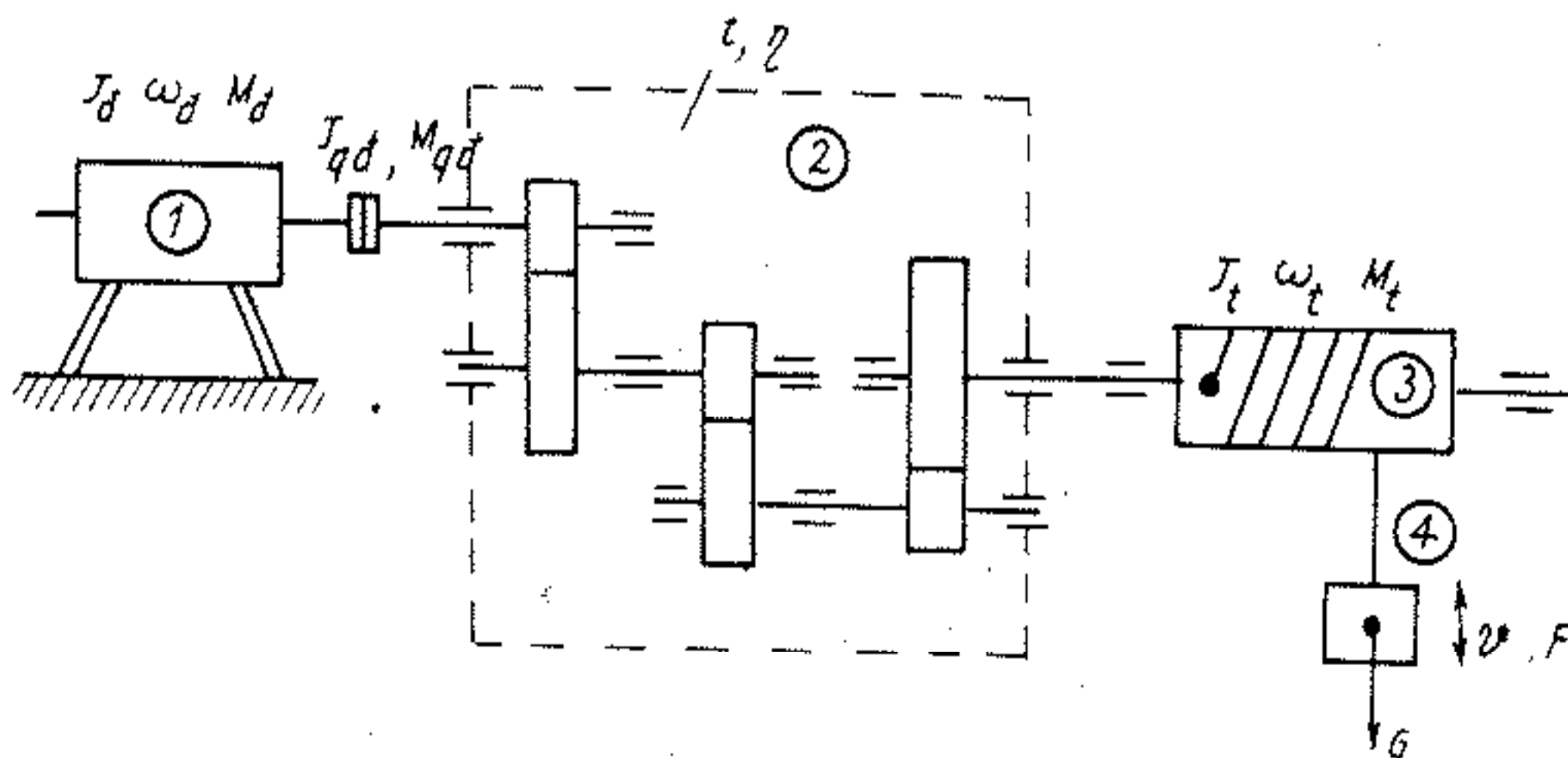
– Giả thiết tải trọng  $G$  sinh ra lực  $F_c$  có vận tốc chuyển động là  $v$ , nó sẽ tác động lên trục động cơ một mômen  $M_{cqd}$ , ta có:

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

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

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  $J_1$ , 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:

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

$$J_{qd} = J_d + \sum_1^K \left( \frac{J_K}{i_k^2} \right) + \frac{J_1}{i_T^2} + \frac{m}{\rho^2} \quad (1-9)$$

## 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,

$\Delta W$  - 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  $\omega$  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

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

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

$M = M_c$  thì  $\frac{d\omega}{dt} = 0$  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 phân 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  $\omega M$  và của máy sản xuất  $\omega M_c$ . 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 tính 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:

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

Điều kiện để ổn định là

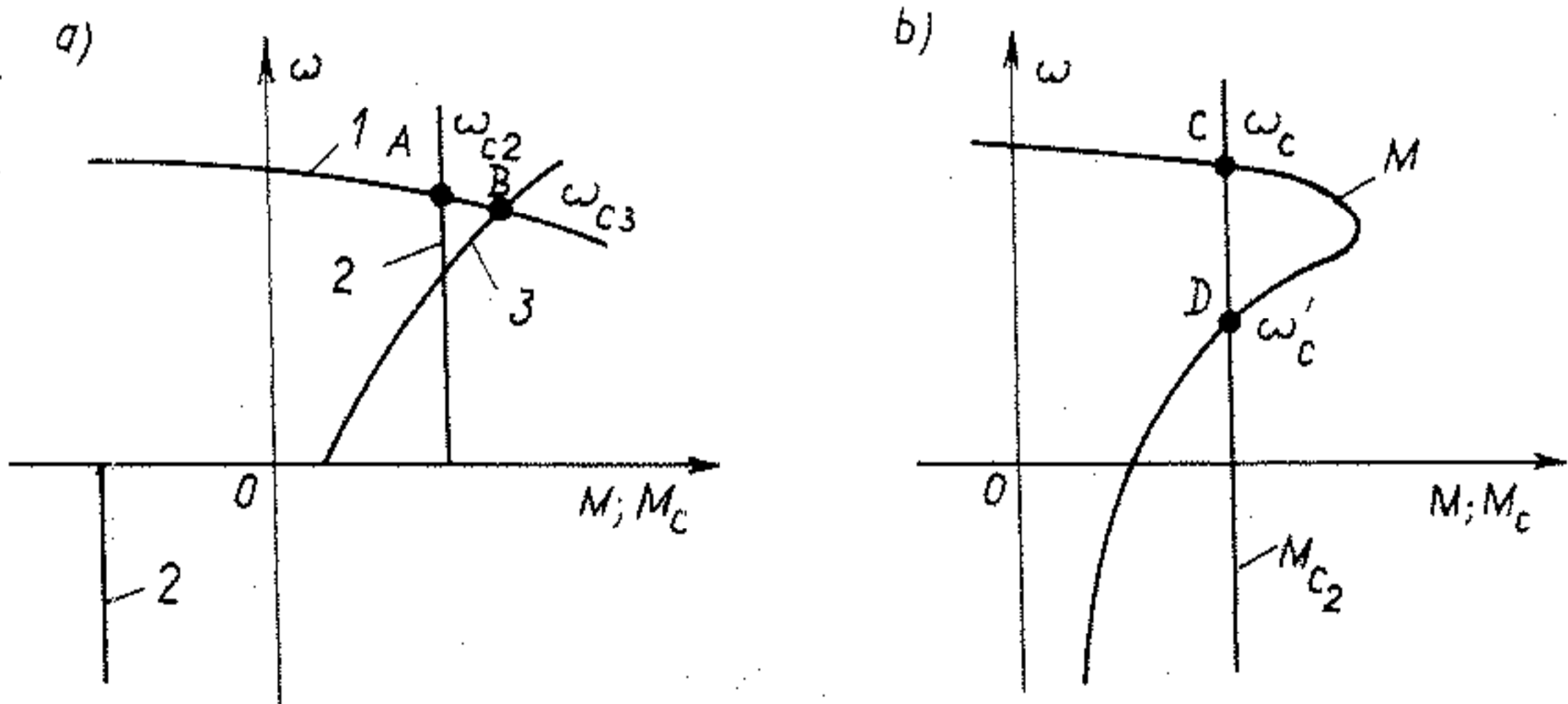
$$\left( \frac{\partial M}{\partial \omega_x} \right) - \left( \frac{\partial M_c}{\partial \omega_x} \right) < 0 \quad (1-16)$$

Hay  $\beta_d < \beta_c < 0$  (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 dung 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,

-  $\sigma_1, \sigma_2$  là góc xoắn,

-  $C$  là hệ số đàn hồi.

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

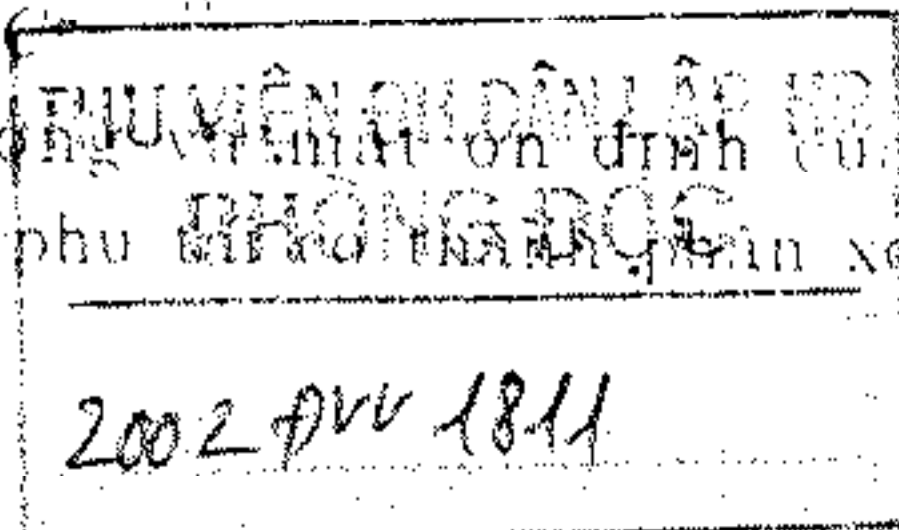
a) Khi  $k_1 = k_2 = k_3 = 0$  tần số dao động riêng là

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

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

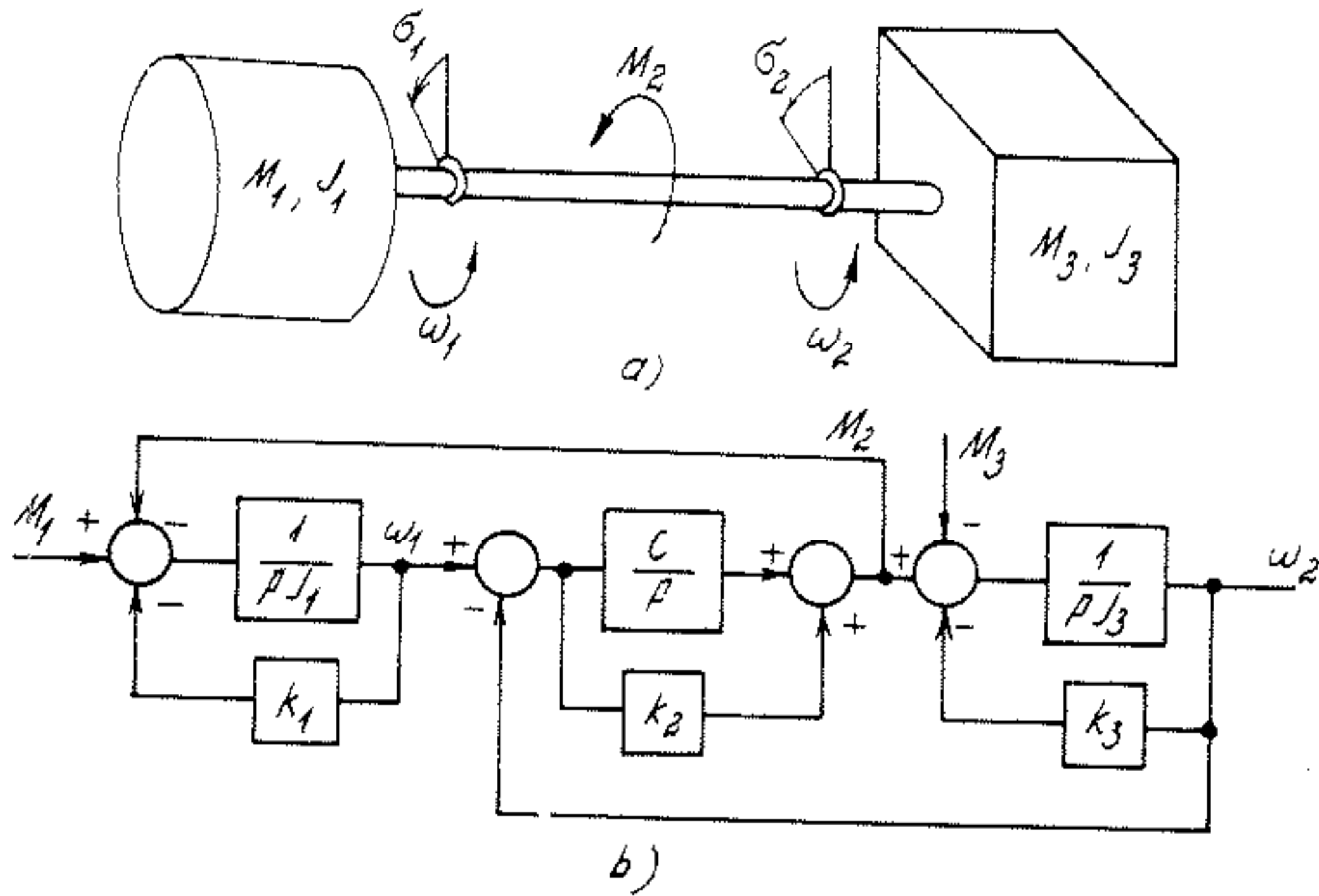
$$\Omega = \Omega_0 \sqrt{1 - \frac{k_2^2}{4c^2}} = \Omega_0' \quad (1-22)$$

Điều này sẽ gây ra cộng hưởng và mất ổn định của hệ, khi mômen động cơ  $M_1$  hoặc mômen phụ tải  $M_3$  biến thiên, trên 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:

$\omega$  - 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 để dàng so sánh, đánh giá các chế độ làm việc của truyền động điện, người ta có thể dùng hệ đơn vị tương đối

Muôn 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:  $U_{dm}$ ,  $I_{dm}$ ,  $\omega_{dm}$ ,  $M_{dm}$ ,  $\Phi_{dm}$ ,  $R_{cb}$

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:

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

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

$$\Phi^* = \frac{\Phi}{\Phi_{dm}}, \quad R^* = \frac{R}{R_{ch}}, \quad \omega^* = \frac{\omega}{\omega_{dm}} \quad \text{hoặc} \quad \omega^* = \frac{\omega}{\omega_0}$$

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  $\omega_0$ , với động cơ không đồng bộ và động cơ đồng bộ là tốc độ đồng bộ  $\omega_1$ . Còn với động cơ kích từ nối tiếp tốc độ cơ bản là  $\omega_{dm}$ .

- Trị số điện trở cơ bản là  $R_{ch}$ .

Với các động cơ một chiều:

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

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:

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

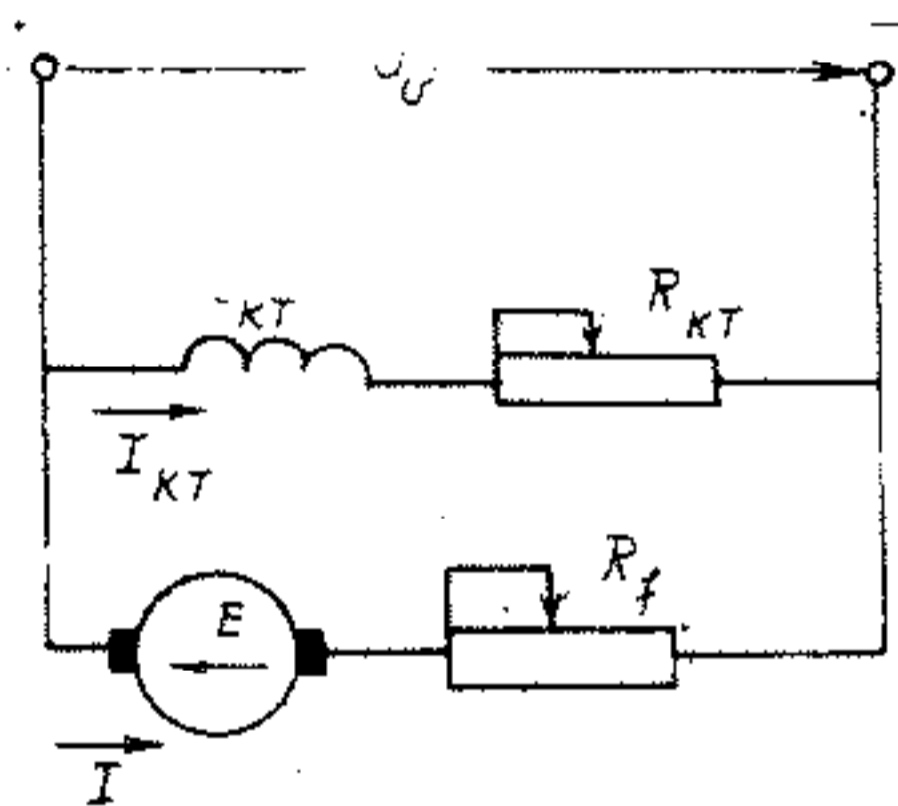
Trong phạm vi chương này, chúng ta sẽ nghiên cứu đặc tính cơ, trạng thái làm việc và các phương pháp khởi động của ba loại

động cơ điện thường sử dụng;

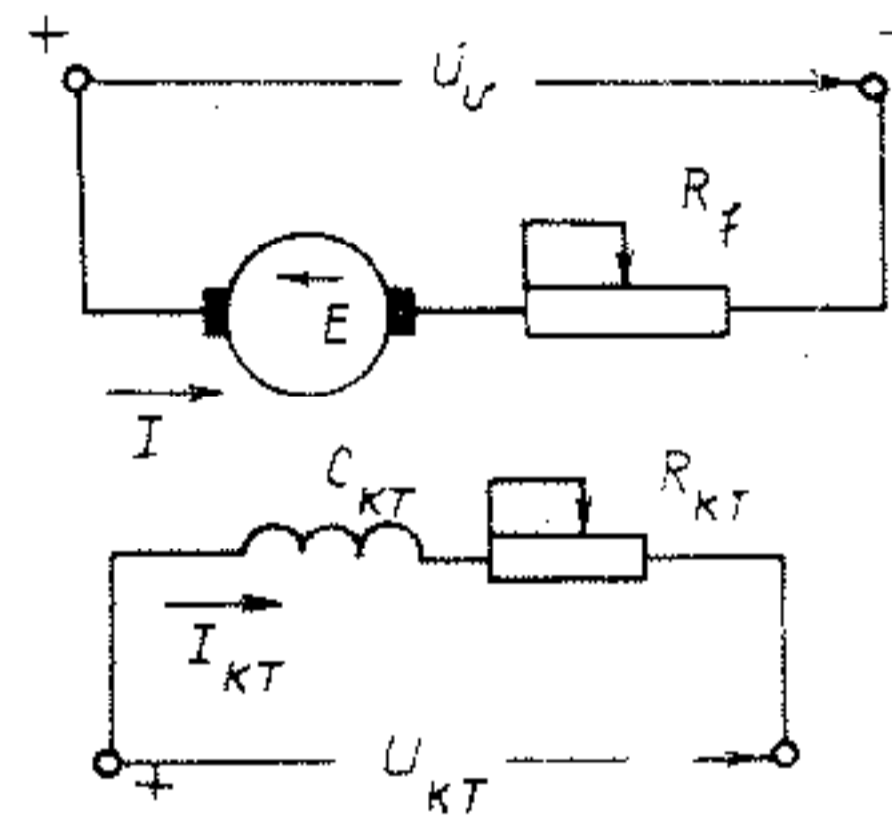
- Động cơ một chiều
- Động cơ xoay chiều không đồng bộ ba pha
- Động cơ xoay chiều đồng bộ ba pha.

## 2-2. ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU KÍCH TỬ 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 phân 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 phân 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 phân 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,  $\Omega$

$R_f$  - điện trở phụ trong mạch phần ứng,  $\Omega$

$I_u$  - dòng điện mạch phần ứng.

Với  $R_u = r_u + r_{ct} + r_f + r_{ct}$

$r_u$  - điện trở cuộn dây phần ứng,

$r_{ct}$  - 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,

$\Phi$  - từ thông kích từ dưới một cực từ,  $W_b$ ,

$\omega$  - tốc độ góc, rad/s.

$$K = \frac{pN}{2\pi a} \quad \text{- hệ số cấu tạo của động cơ}$$

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:

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

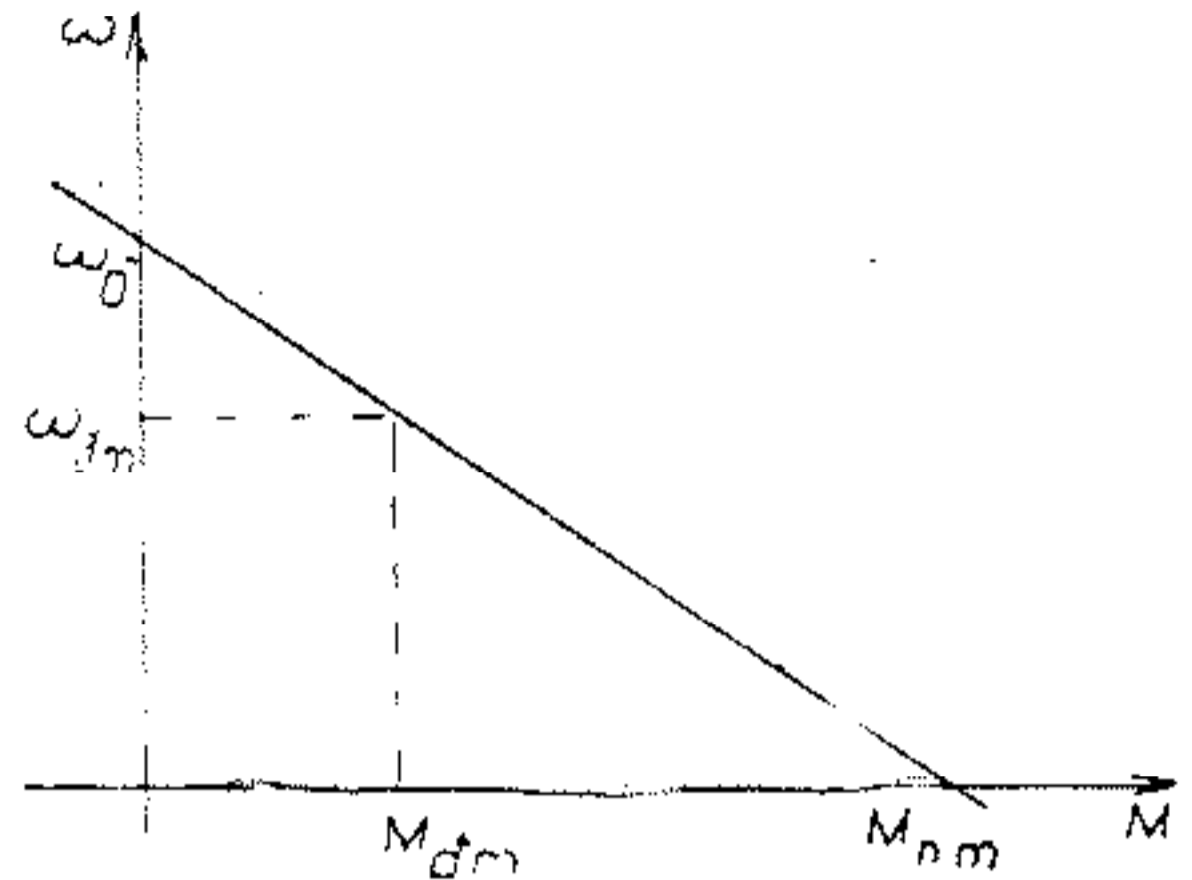
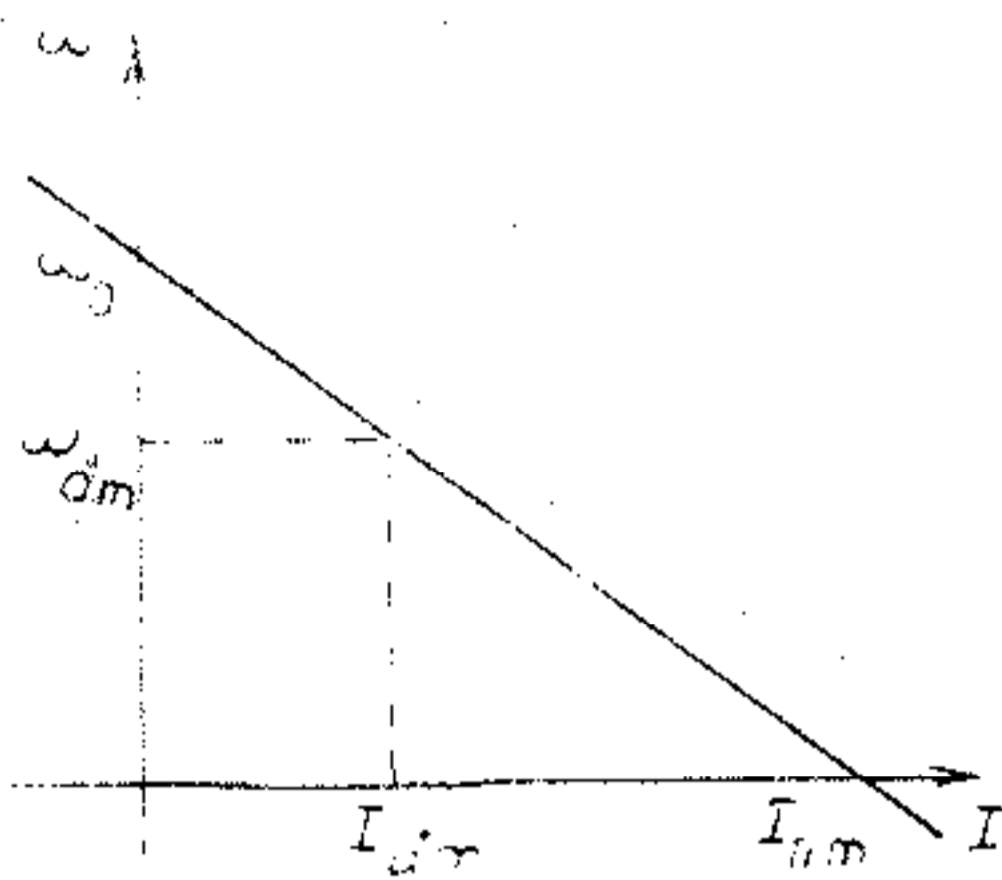
Nếu bỏ qua các tổn thất cơ và tổn thất thép thì mômen cơ trên trục động cơ bằng mômen điện từ, ta ký hiệu là  $M$  Nghĩa là  $M_{dt} = M_{cơ} = M$

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

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

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:

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

$\omega_0$  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:

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

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



trong đó 
$$R = R_u + R_l \cdot \omega_0 = \frac{U_u}{K\Phi}$$

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

$\Delta\omega$  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 
$$\omega^* = \frac{\omega}{\omega_0}, \quad I^* = \frac{I}{I_{dm}}, \quad M^* = \frac{M}{M_{dm}}, \quad R^* = \frac{R}{R_{ch}}$$

$(R_{ch} = \frac{U_{dm}}{I_{dm}}$  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  $\Phi$ , 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:

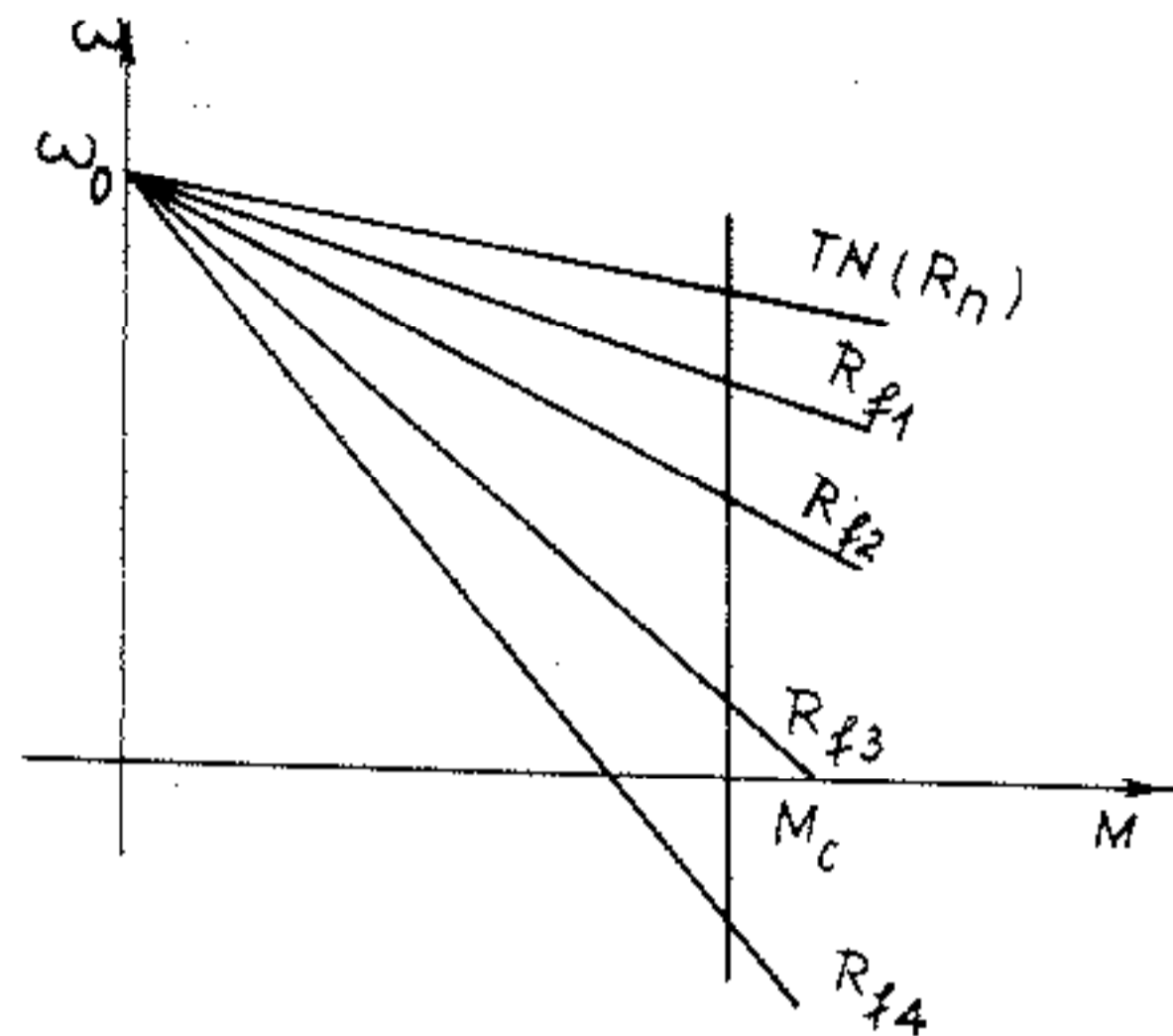
$$\omega_0 = \frac{U_{dm}}{K\Phi_{dm}} = \text{const}$$

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

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

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

$\beta_{TN}$  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.



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

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

#### b) Ảnh hưởng của điện áp phản ứng

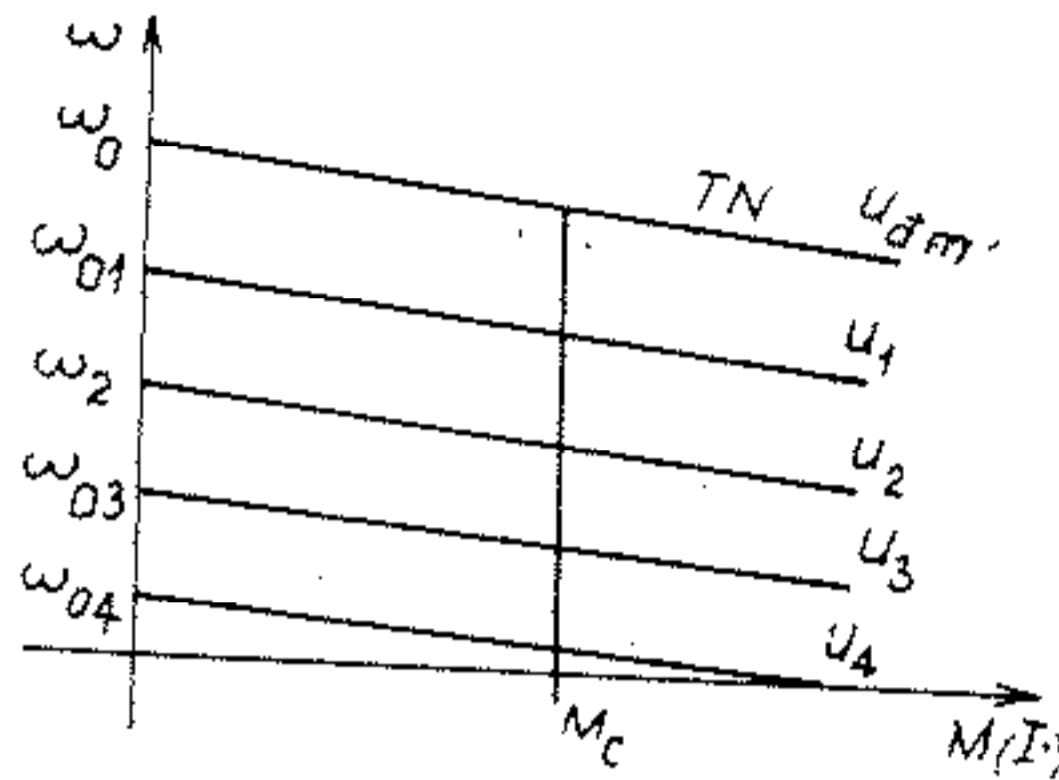
Giả thiết từ thông  $\Phi = \Phi_{dm} = \text{const}$ , điện trở phản ứng  $R_u = \text{const}$ . Khi thay đổi điện áp theo hướng giảm so với  $U_{dm}$ , ta có:

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

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

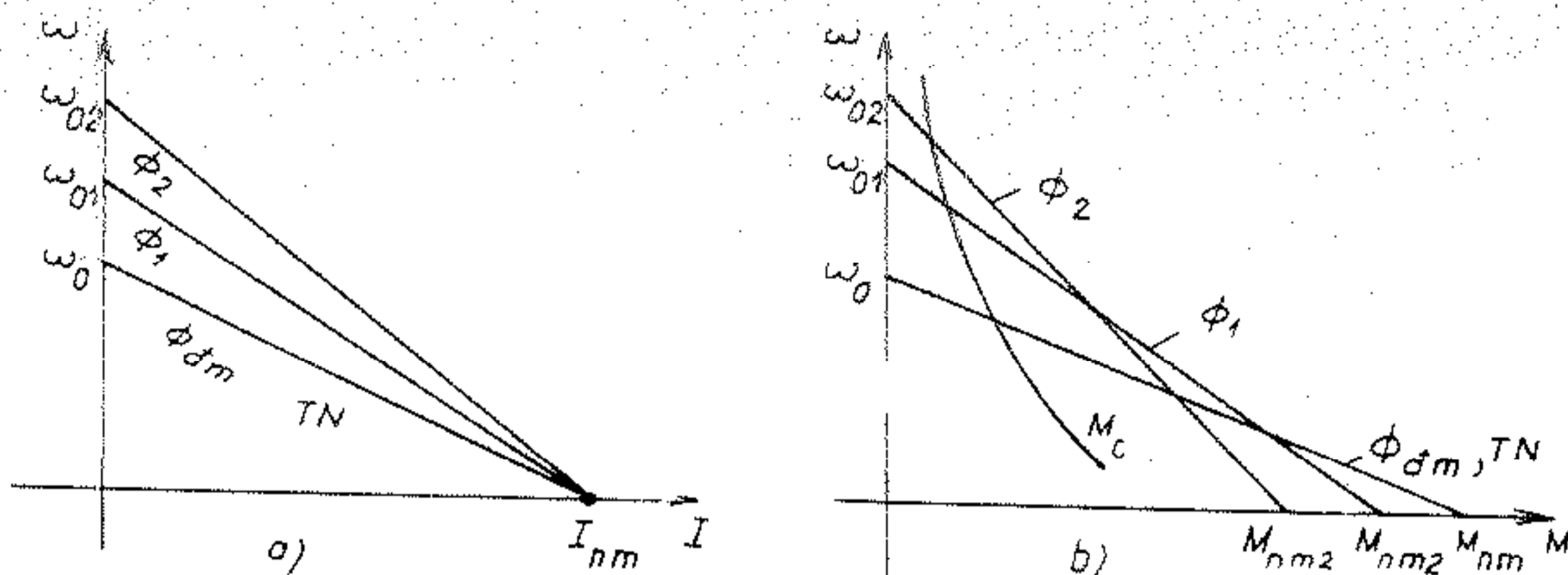
Giả thiết điện áp phân ứng  $U_u = U_{dm} = \text{const}$ . Điện trở phần ứng  $R_u = \text{const}$ . Muốn thay đổi từ thông ta thay đổi dòng điện kích từ  $I_{kt}$  động cơ.

Trong trường hợp này:

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

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  $\omega_{ox}$  tăng, còn  $\beta$  sẽ giảm. Ta có một họ đặc tính cơ với  $\omega_{ox}$  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 
$$I_{nm} = \frac{U_{dm}}{R_u} = \text{const}$$

Momen 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 momen 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

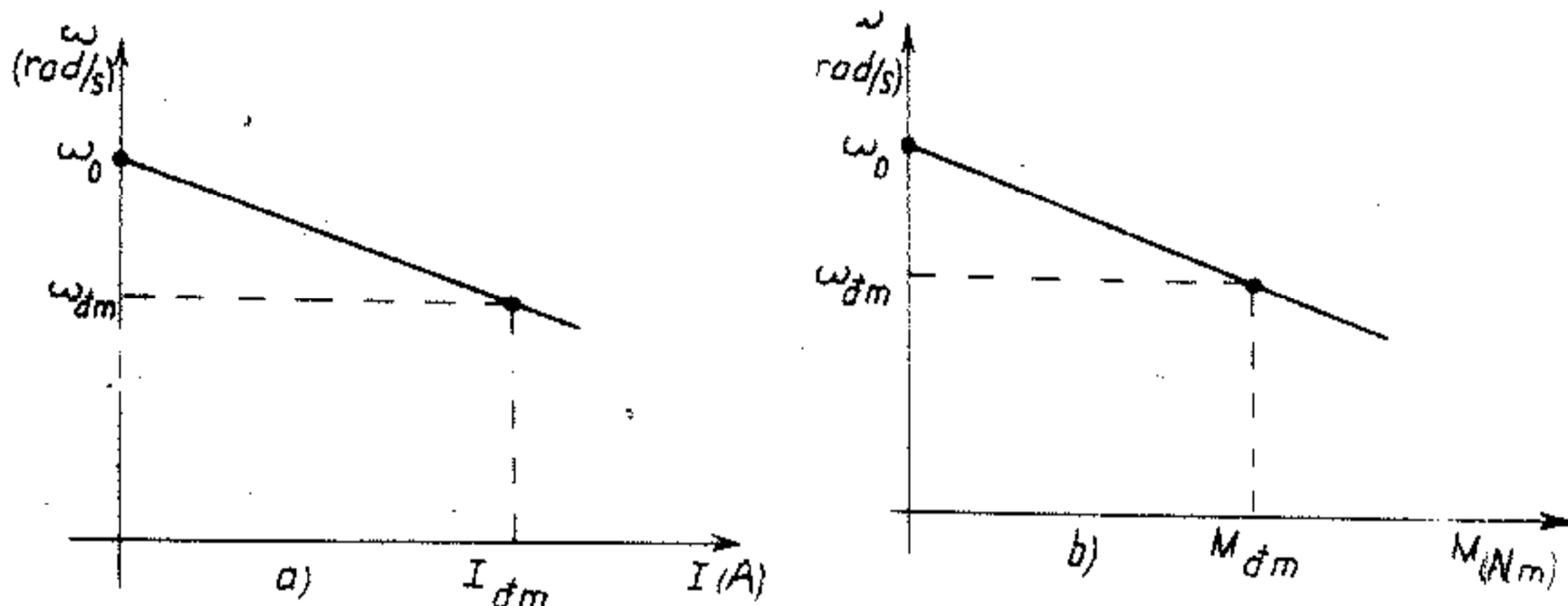
– Đặc tính cơ tự nhiên (xem H.2-8a)

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  $\omega_0$  như ở đặc tính cơ điện.

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

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

b) Cách vẽ đặc tính nhân tạo

Đặc tính biến trở: Các đặc tính biến trở đều đi qua điểm không tải lý tưởng  $\omega_0$ , 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  $\omega$  ứng với  $I_{dm}$

Đối với đặc tính cơ  $\omega$  ứng với  $M_{dm}$

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

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

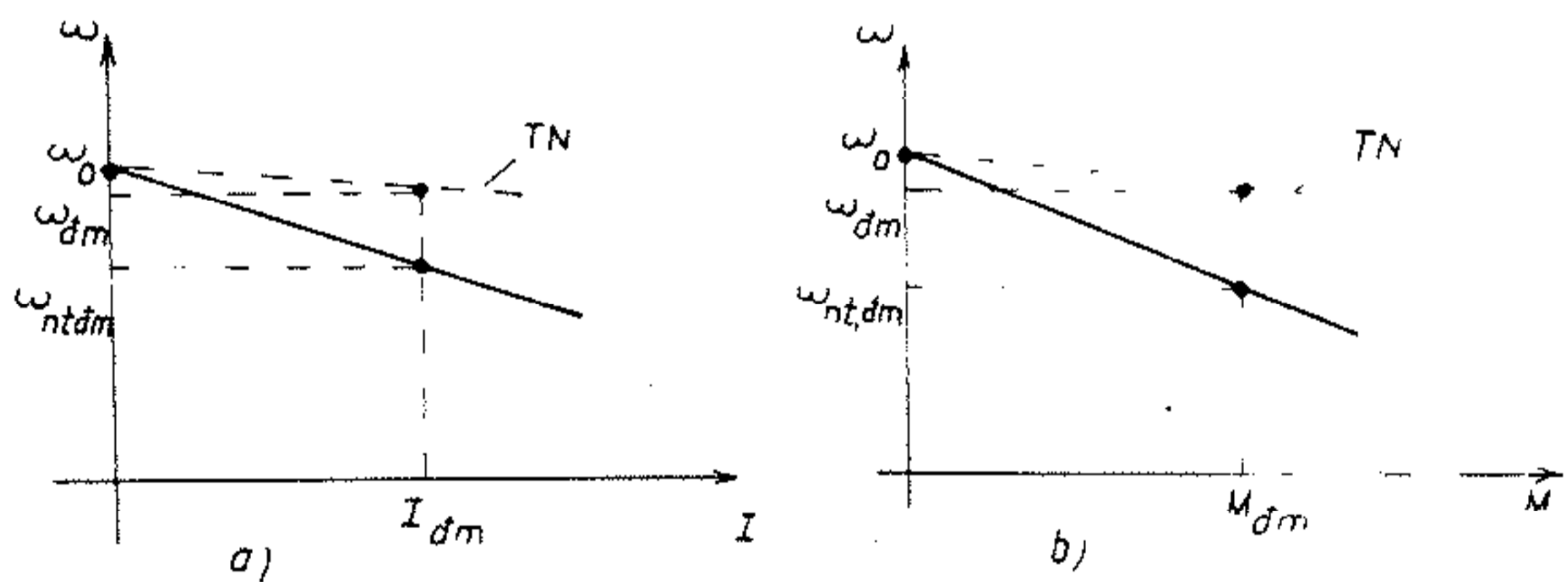
Và từ phương trình đặc tính biến trở tính được:

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

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

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

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 phần ứng  $R_u$  không ghi trên nhãn máy. Do vậy lúc đo 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  $\eta_{dm}$  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  $\omega_{0x} = \omega_{0TN} \cdot x$  là

giá trị tốc độ không tải khi giảm từ thông

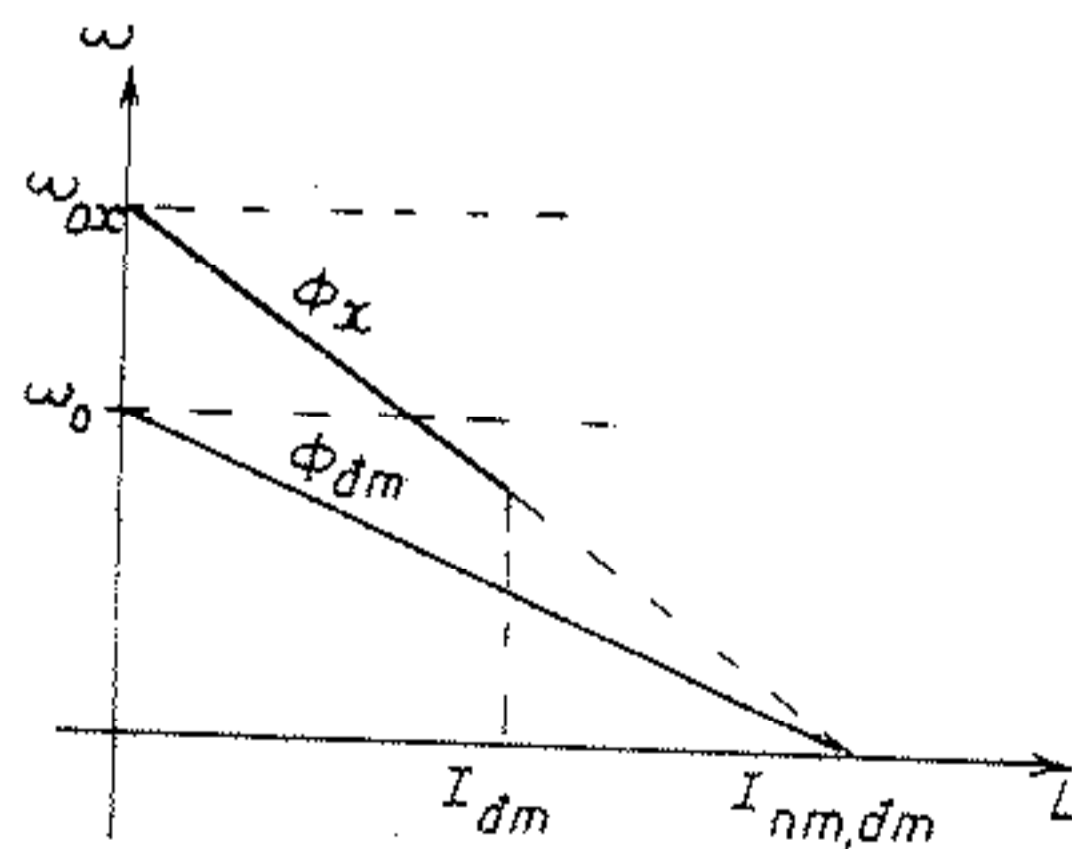
- Dòng điện ngắn mạch  $I_{nm}$  được tính

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

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

#### Đặc tính cơ

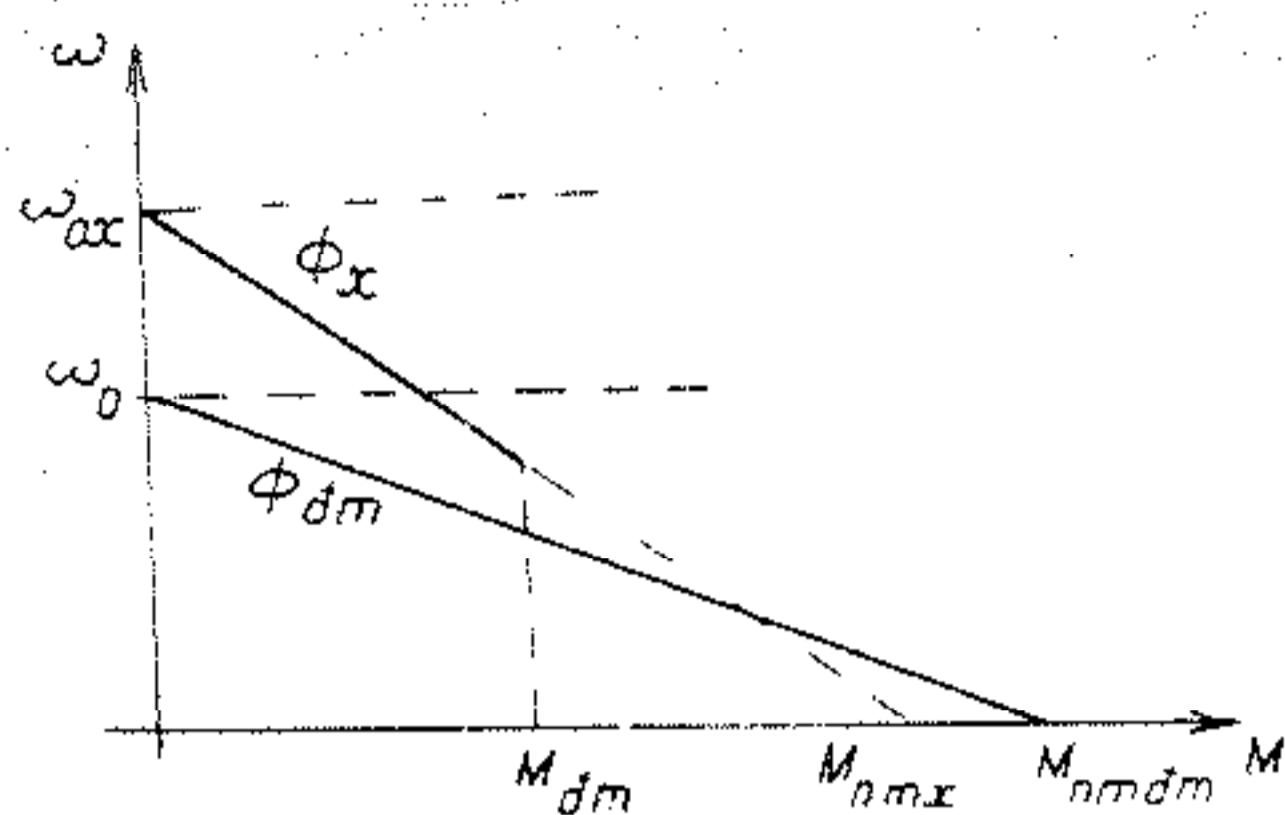
Cách vẽ đặc tính cơ giảm từ thông cũng tương



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

từ 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

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



Hình 2-11 Đặc tính cơ khi giảm từ thông

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

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)  $I_{nm} = (20 \div 25) I_{dm}$

Với giá trị dòng điện khởi động lớn, sẽ không cho phép vẽ 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

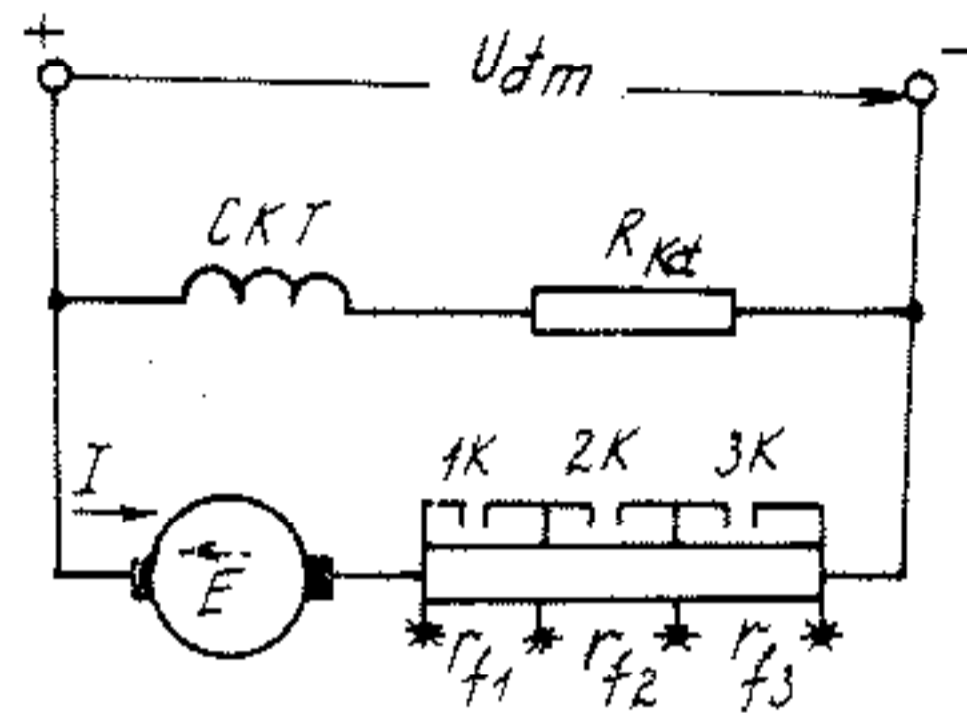
Để hạn chế dòng điện khởi động ta có thể giảm điện áp nguồn đặt vào phân ứng động cơ điện hoặc nối thêm điện trở phụ  $R_f$  vào mạch phân ứng. Phương pháp thứ nhất được sử dụng trong những hệ thống có bộ biến đổi điện áp. Phương pháp thứ hai thường sử



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



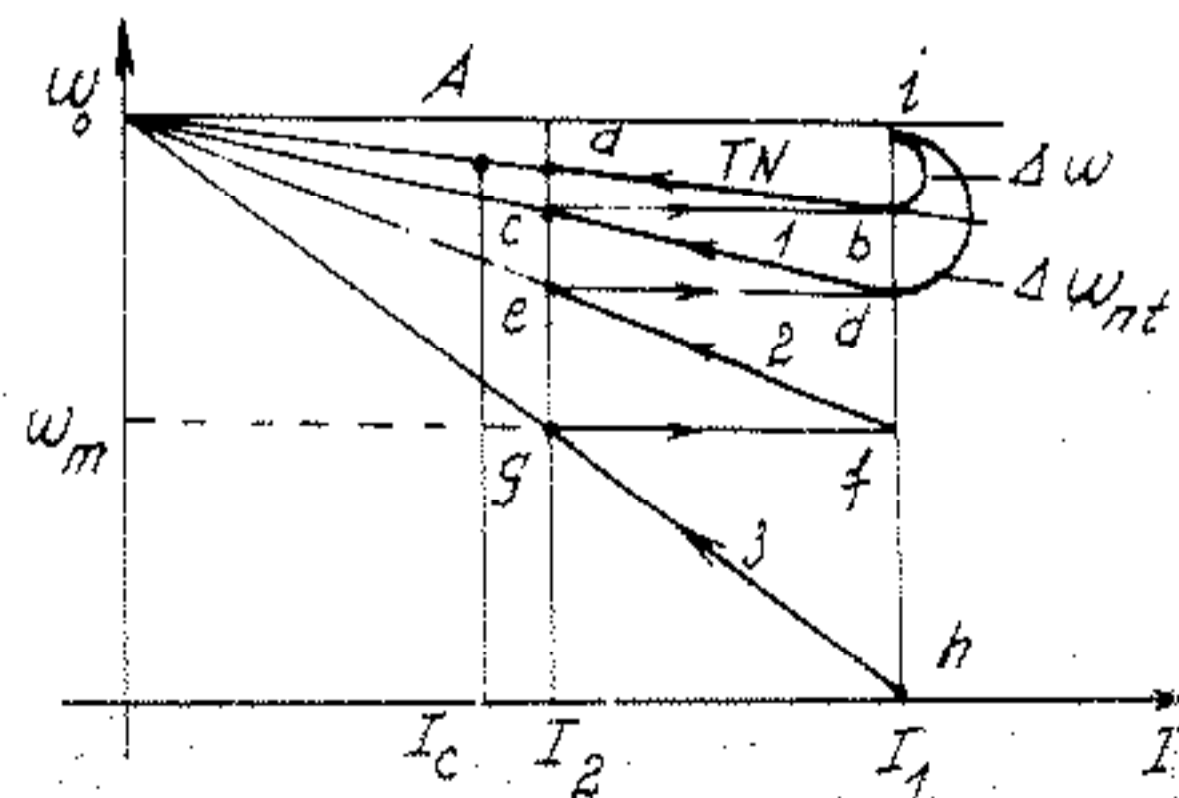
Hình 2-12. Sơ đồ đấu dây của động cơ khởi động qua 3 cấp điện trở.

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

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

$$I = \frac{U_{dm} - K\Phi\omega}{R_u + R_l} \quad (2-23)$$

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 côngtacto.

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 ( $I = I_c$ )

Muôn 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  $\omega_0$  với  $a$  ( $I_1$ ) 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  $\omega_0$  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:

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

Qua đồ thị ta có:

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

Tương tự như vậy:

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

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

### 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 thư ( $m$ ); 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:

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

Tại điểm g trên H.2-13 ta có

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

Tại điểm f

$$I_1 = \frac{U_{dm} - E_m}{R_{m-1}}$$

Trong đó  $E_m$  là sức điện động của động cơ ứng với  $\omega_m$ , 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.

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

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

Ta lần lượt rút ra:

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

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:

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

- Nếu biết  $\lambda$ ,  $R_m$ ,  $R_u$  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:

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

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  $\lambda$

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

+ 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  $\lambda$ :

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

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

- 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  $\lambda$

- 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:

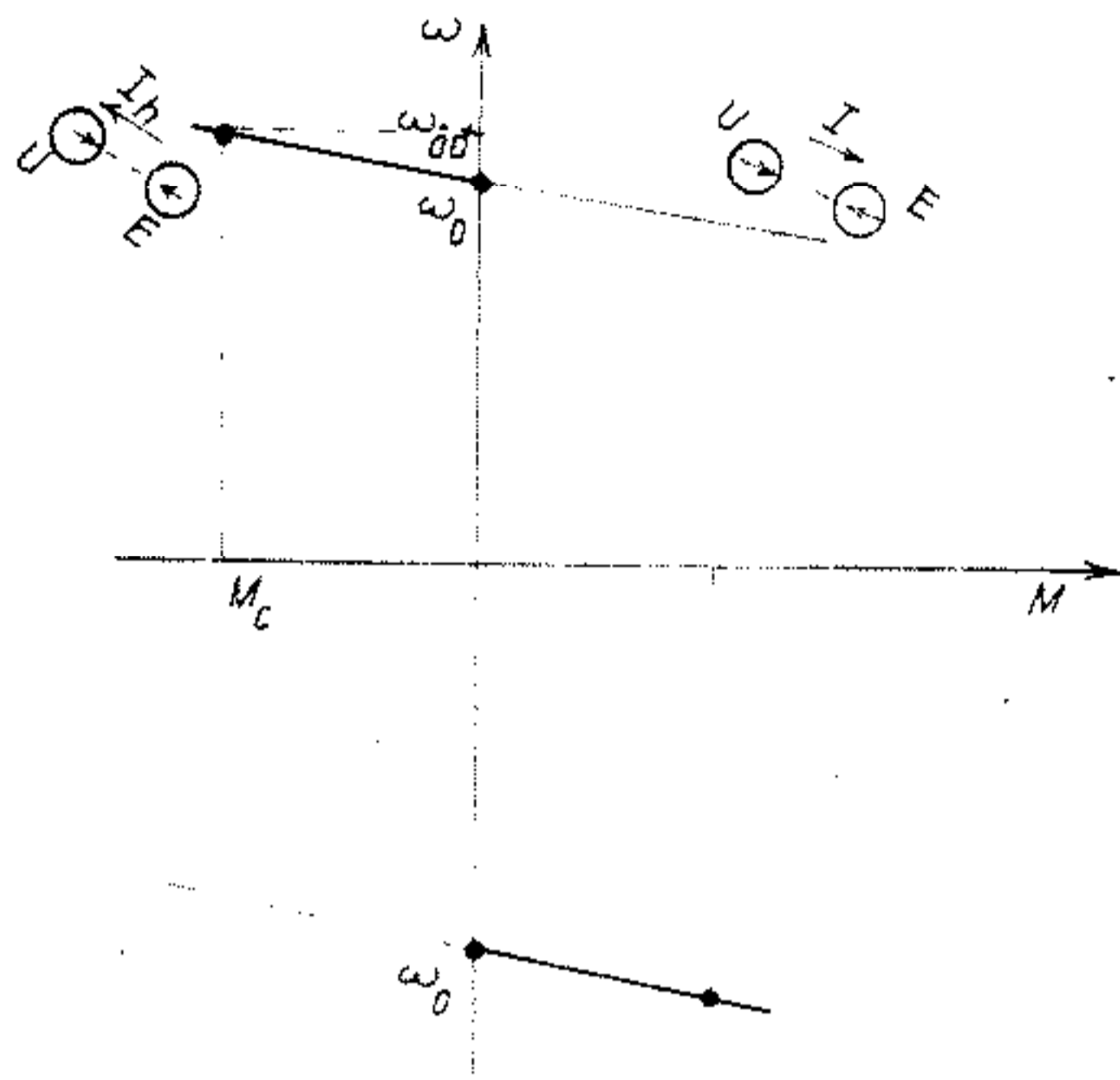
$$I_h = \frac{U_u - E_u}{R} = \frac{K\Phi\omega_0 - K\Phi\omega}{R} < 0 \quad (2-38)$$

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

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 phân ứng. Tốc độ động cơ tăng dần lên, khi tốc độ gần đạt tới giá trị  $\omega_0$  ta cắt điện trở phụ, động cơ tăng tốc độ trên

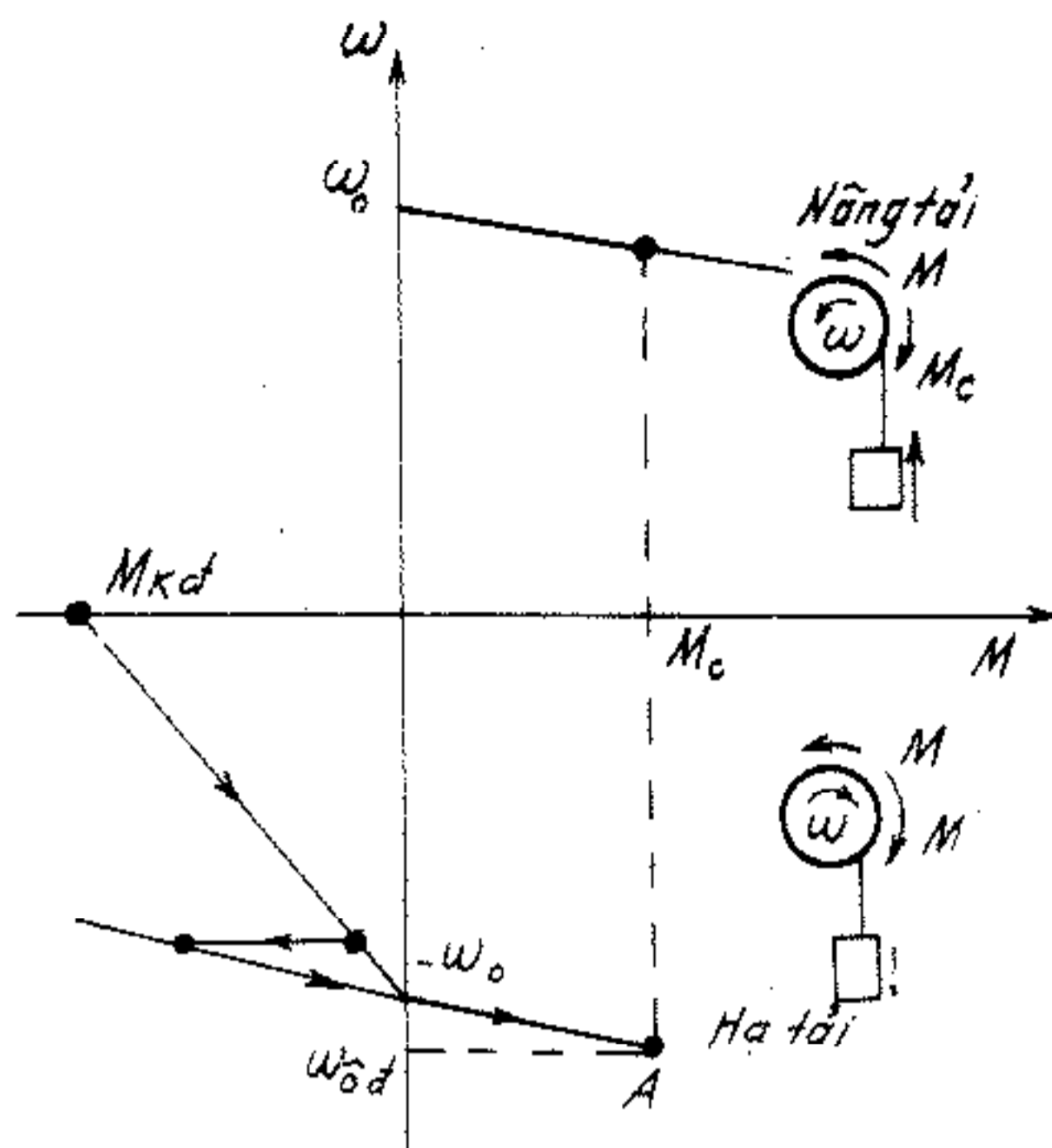
đường đặc tính tự nhiên. Khi tốc độ vượt quá  $\omega > \omega_{0d}$ , mômen điện từ của động cơ đổi dấu trở thành mômen hãm đến điểm A mômen  $M_h = M_c$ , tải trọng được hạ với tốc độ ổn định  $\omega_{0d}$ , trong trạng thái hãm tái sinh.

b) *Hãm ngược*: Trạng thái hãm ngược của động cơ xảy ra khi phần ứng dưới tác dụng của dòng 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.

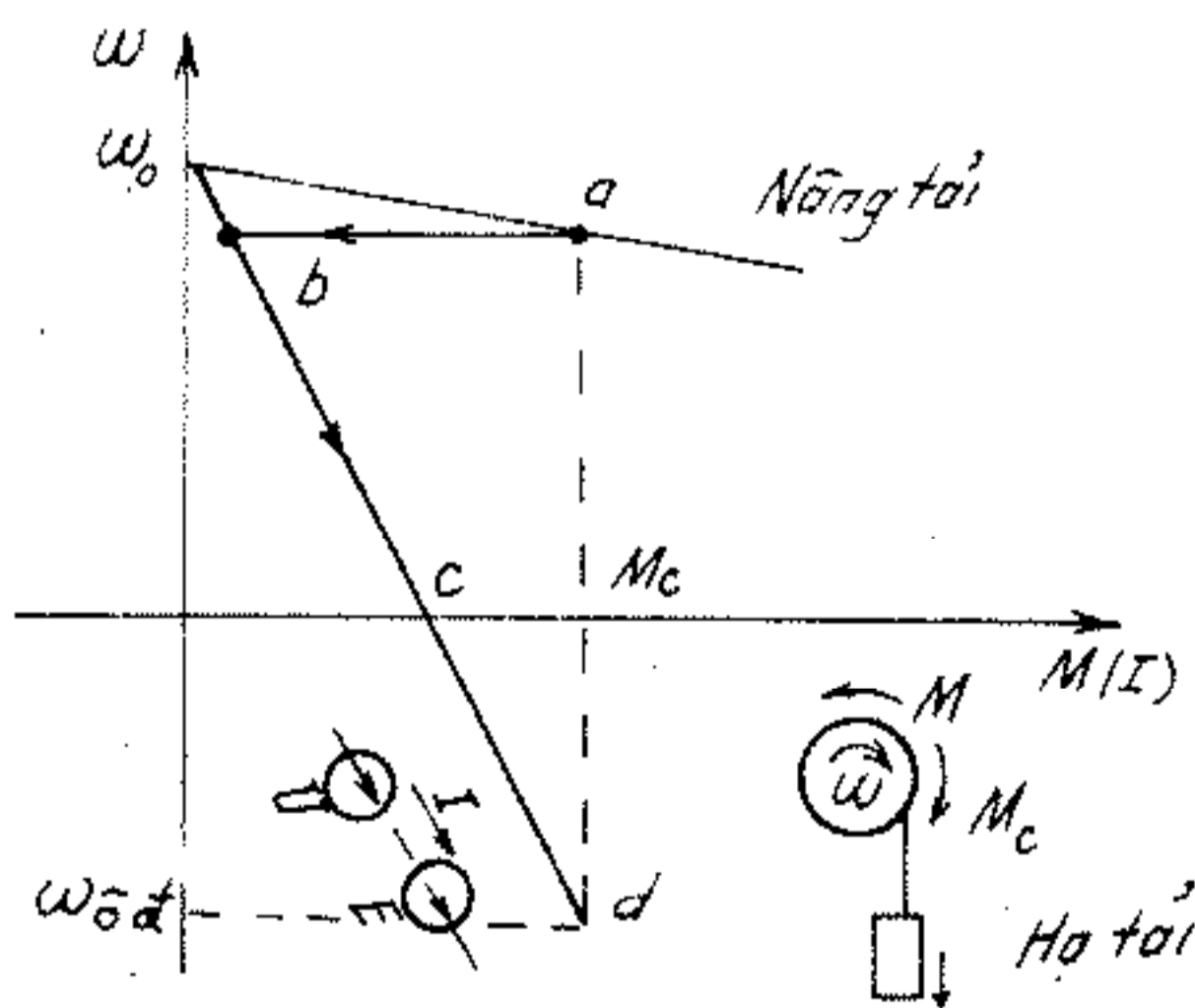
Có hai trường hợp hãm ngược:

- *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  $\omega_{0d}$ ,  $cd$  là đoạn đặc tính hãm ngược. Khi hãm ngược vì tốc độ đổi chiều, sức điện động đổi dấu nên:

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

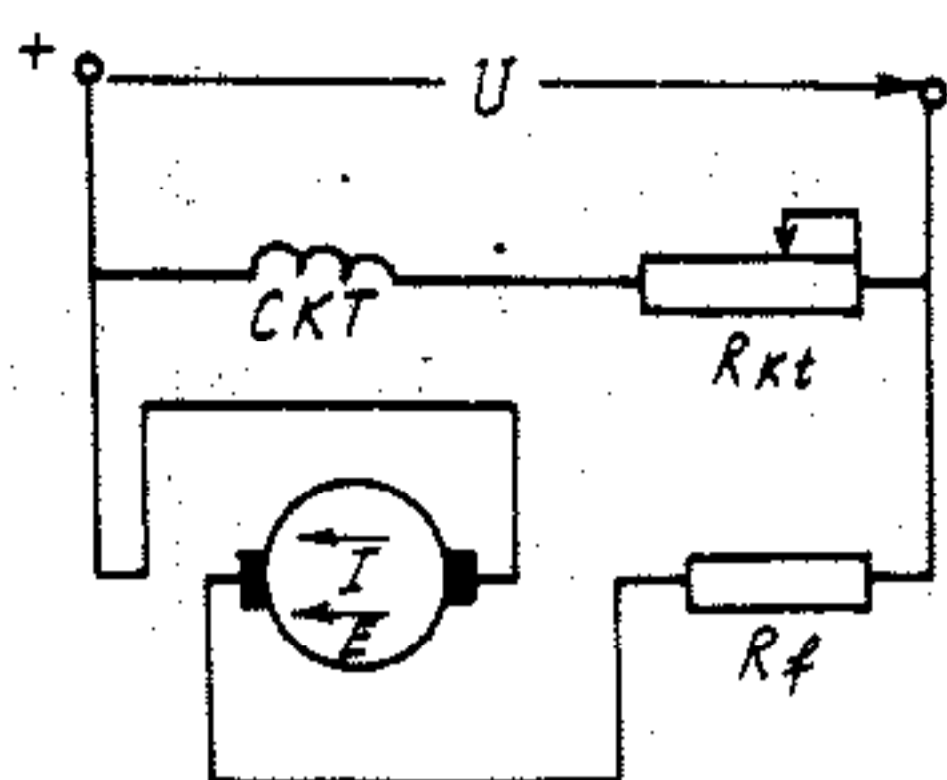
$$M = K\Phi I_h \quad (2-41)$$

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 nhân 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.

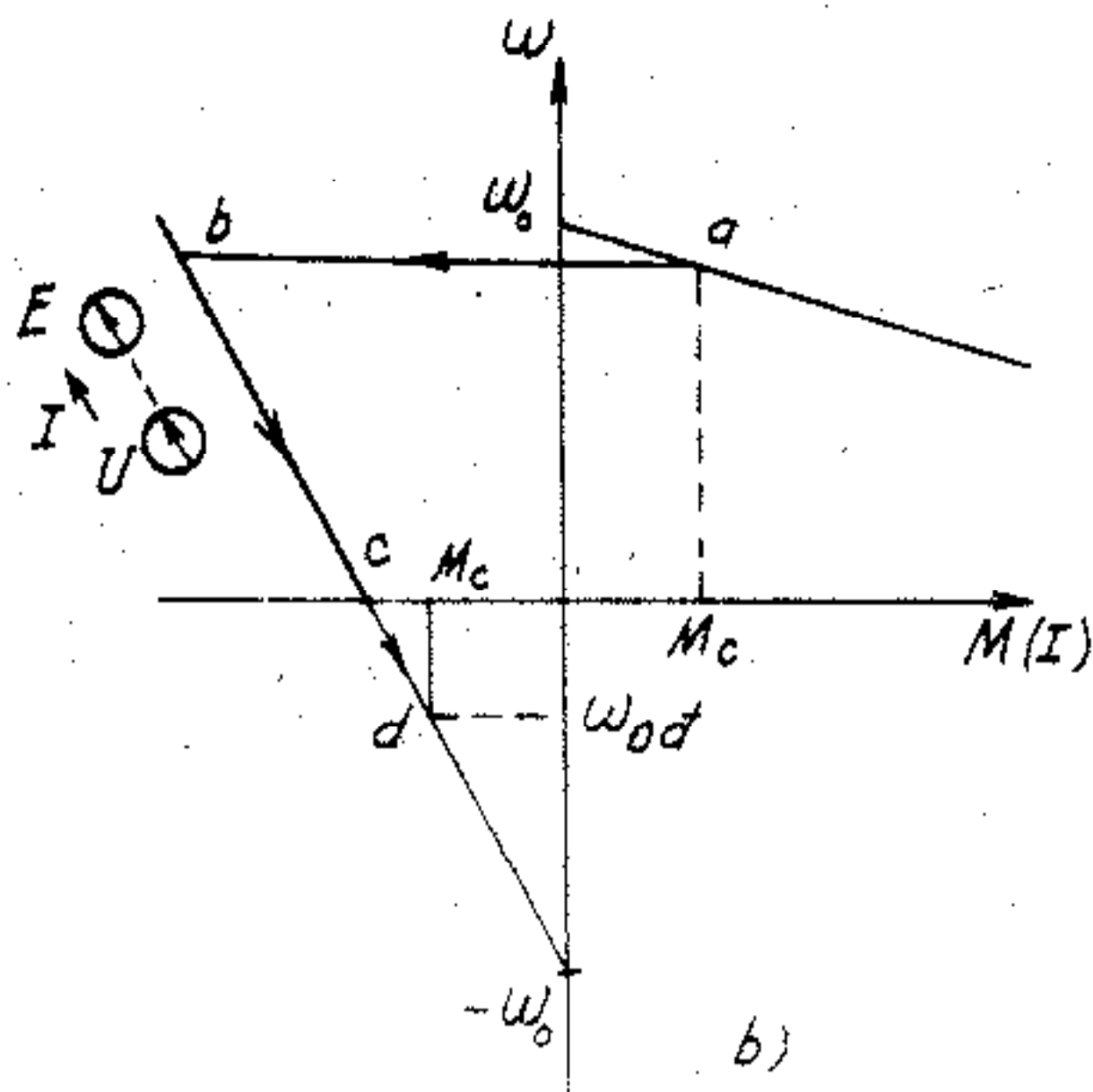
Vì sơ đồ nối dây của động cơ không thay đổi, nên phương trình đặc tính cơ là phương trình đặc tính biến trở.

– 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:



a)



b)

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.

$$I_h = \frac{-U_u - E_u}{R_u + R_l} = \frac{U_u + E_u}{R_u + R_l} \quad (2-42)$$

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

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:

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

### 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 lam 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  $\omega_{hd}$  nên

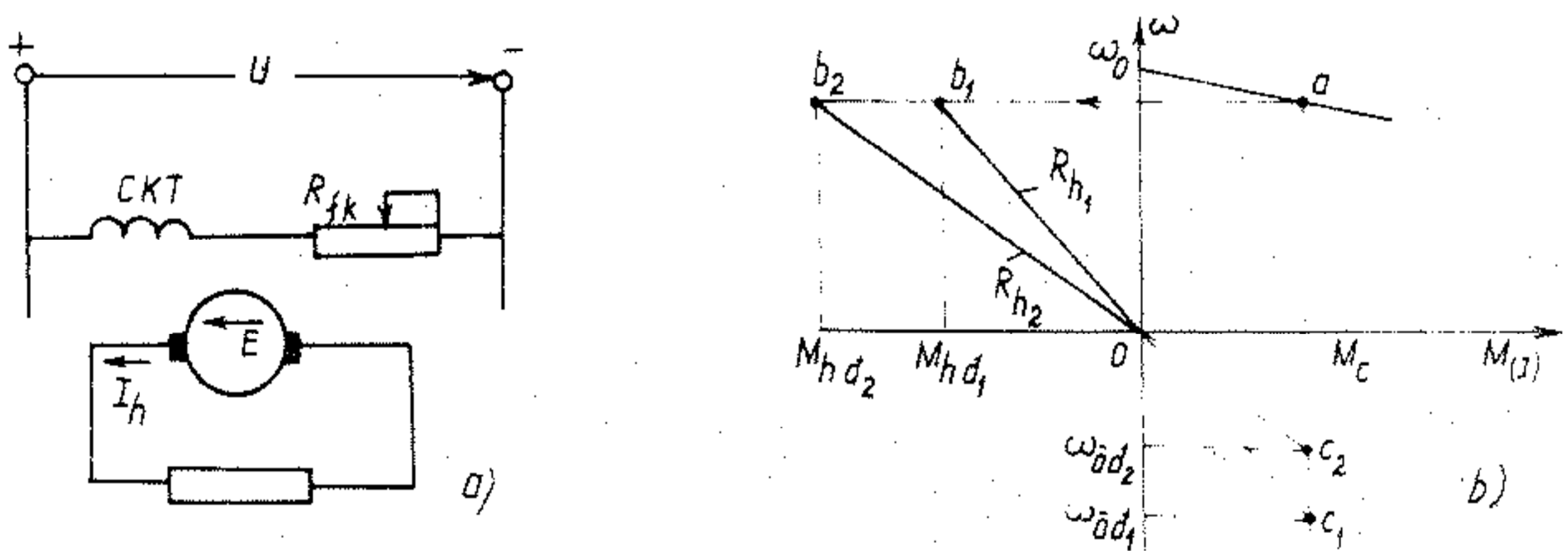
$$E_{hd} = K\Phi\omega_{hd} \quad (2-45)$$

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

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

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 đông năng tự kích từ

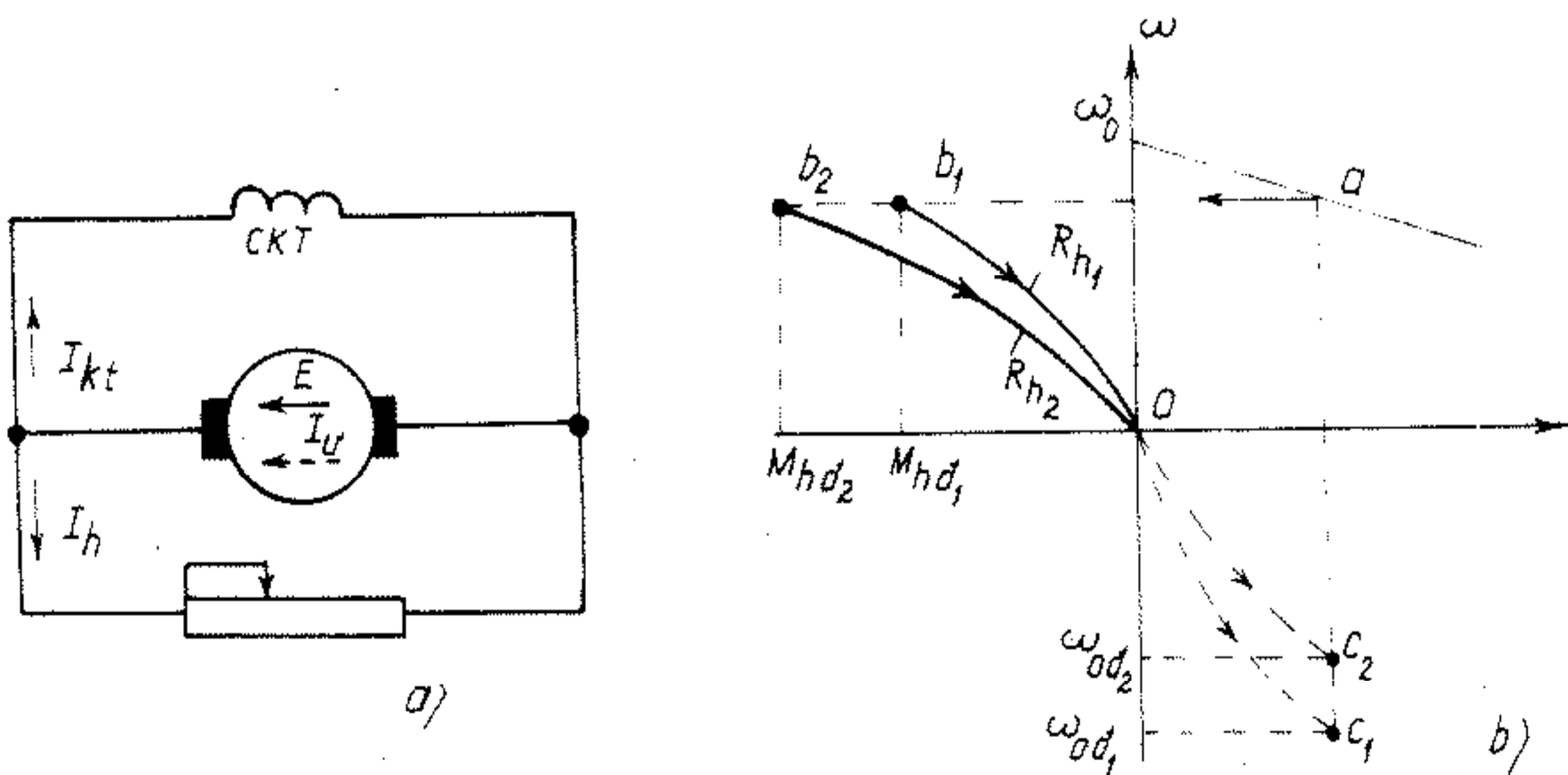
Hãm đông năng tự kích xảy ra khi động cơ đang quay ta cắt cả phân ứng lân cuộn kích từ khỏi lưới điện để đóng vào một điện trở hãm. Sơ đồ nguyên lý thể hiện trên H.2-19a. Chú ý chiều dòng điện kích từ vẫn phải giữ không đổi.

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

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

Và các phương trình đặc tính là:

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



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

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

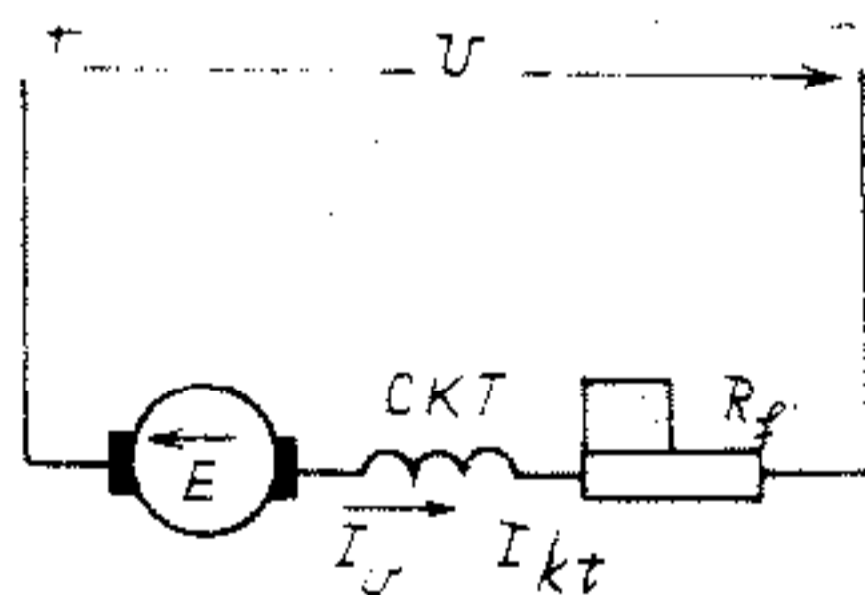
Trong quá trình hãm tốc độ giảm dần, dòng kích từ giảm dần và do đó từ thông  $\Phi$  giảm dần và là hàm số của tốc độ. Vì vậy các đặc tính cơ khi hãm có dạng như đường đặc tính không tải của máy phát điện tự kích và phi tuyến, như trên H.2-19b

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 NỘI 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  $R_u = r_u + r_{ctf} + r_{ct} + r_{kt}$ .

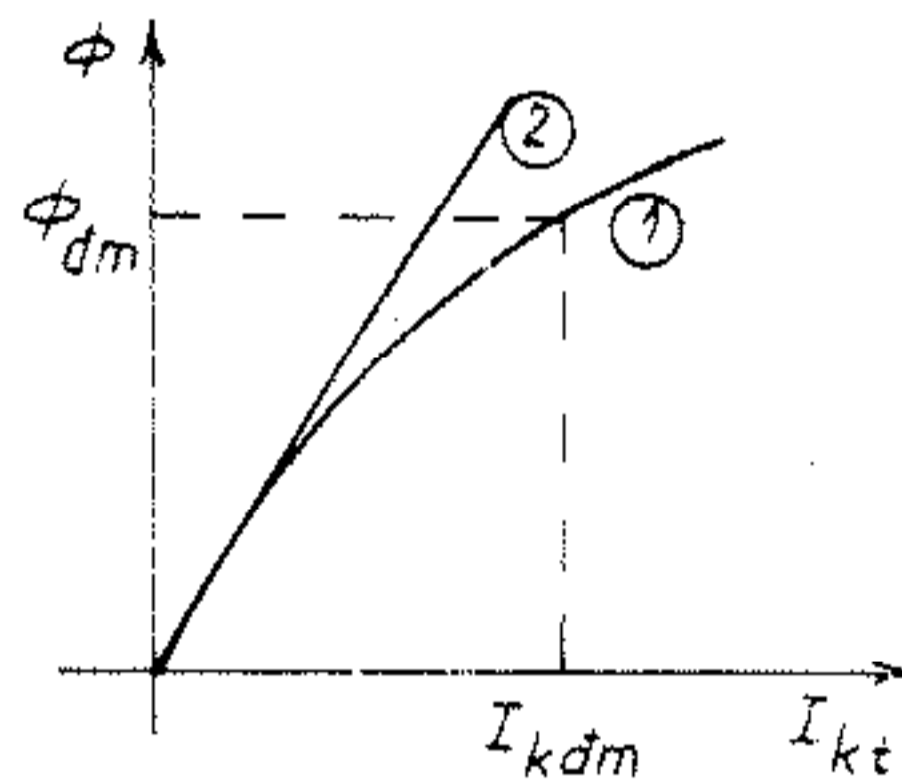
Sau khi biến đổi ta nhận được:

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

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

Trong các phương trình trên từ thông  $\Phi$  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:

$$\omega = \frac{U_u}{K.C.I_u} - \frac{R}{K.C} I_u = \frac{A_v}{I_u} - B \quad (2-56)$$

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

Ta cũng có:

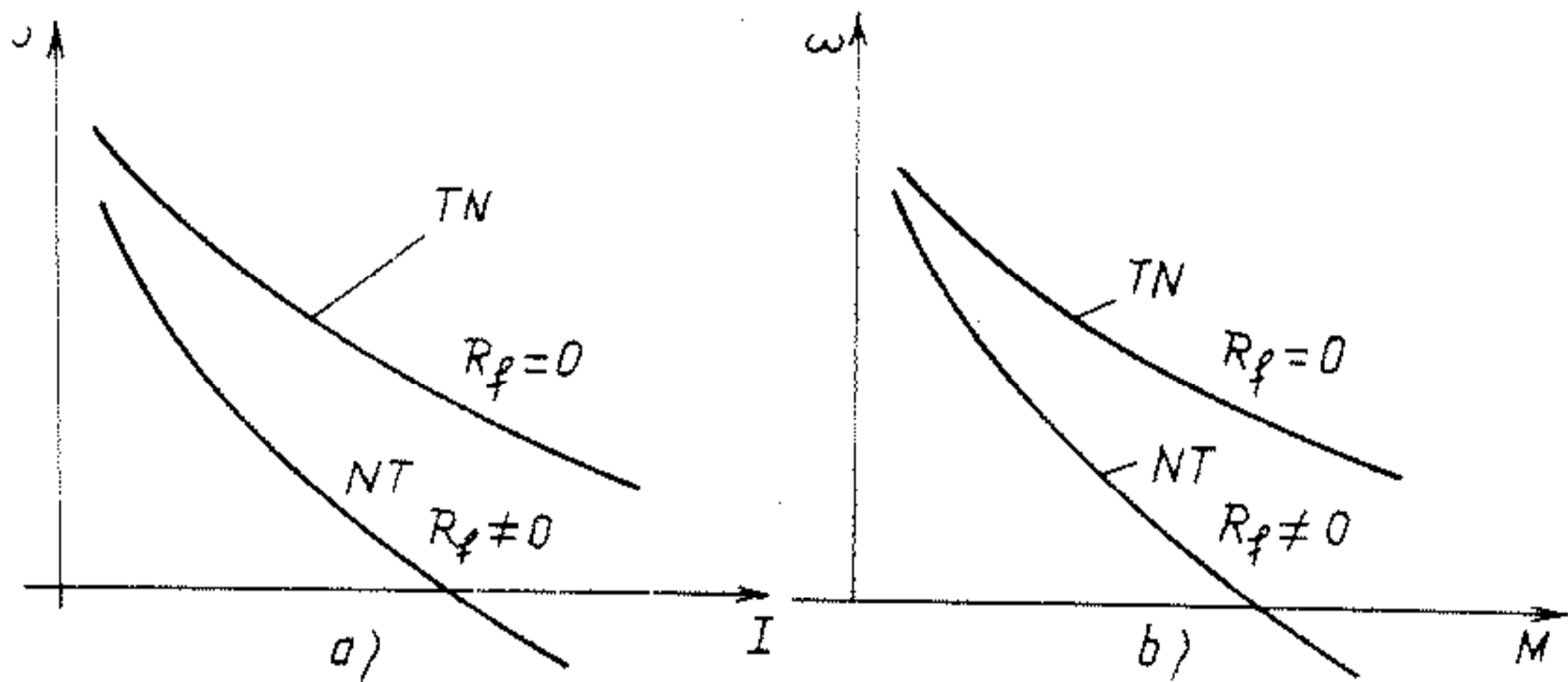
$$I_u = \sqrt{\frac{M}{K.C}} \quad (2-57)$$

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:  $\Phi_{du} = (2 + 10) \Phi'_{dm}$  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  $\omega_{ot}$  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:

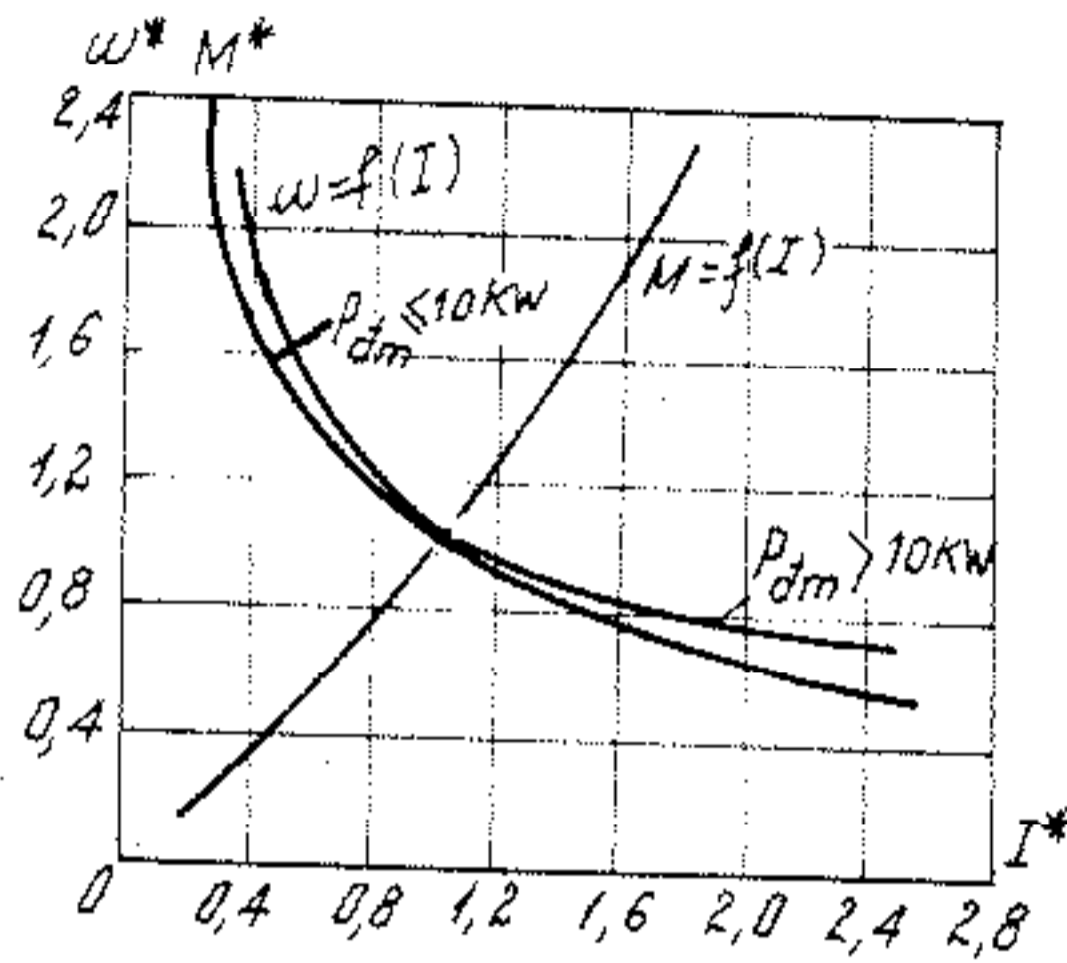
- Đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ nối tiếp mềm và độ cứng thay đổi theo phụ tải. Do đó thông qua tốc độ của động cơ ta có thể biết được sự thay đổi của phụ tải. Tuy nhiên không nên sử dụng động cơ này cho những truyền động có yêu cầu ổn định cao mà nên sử dụng nó cho những truyền động có yêu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

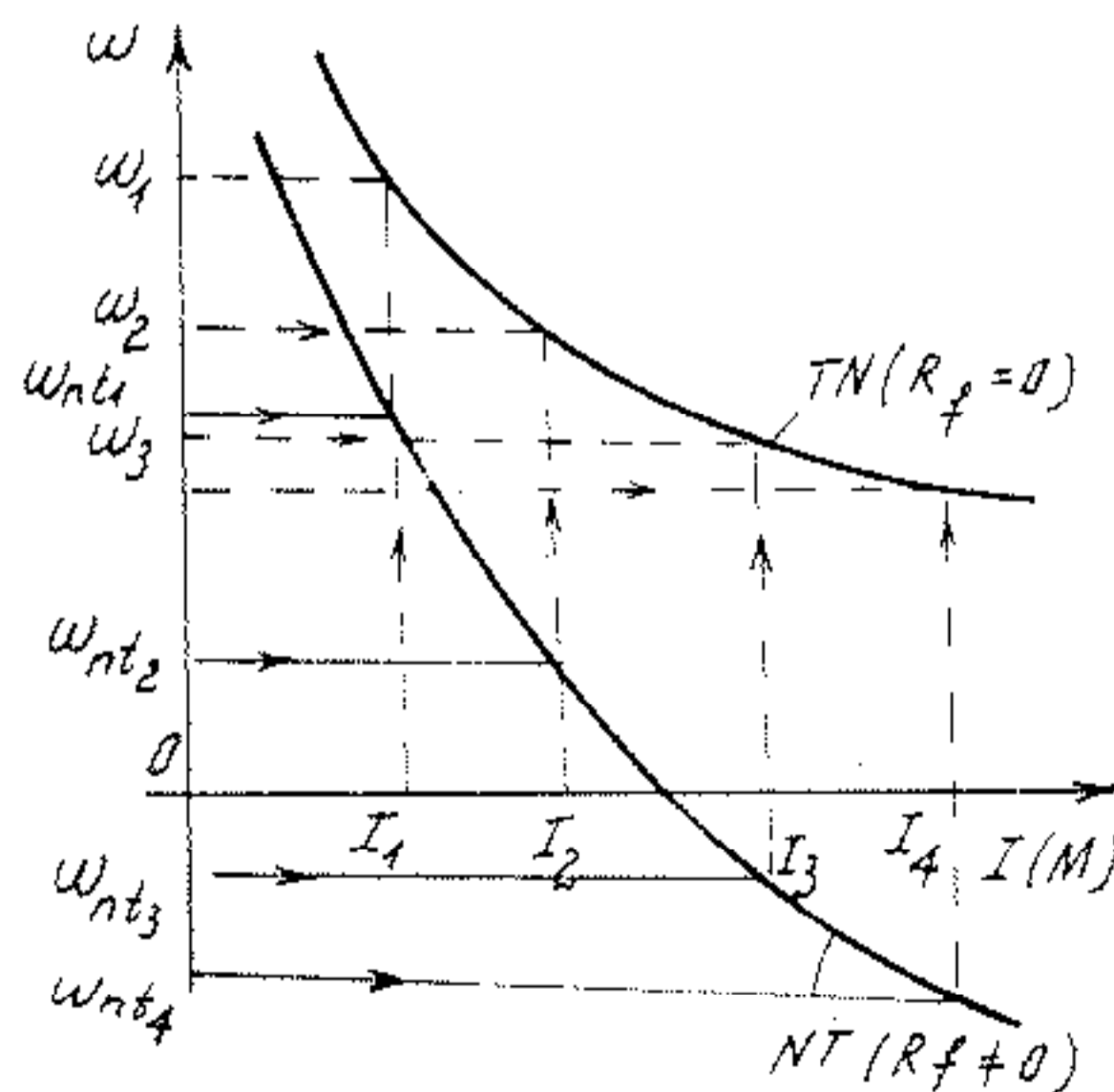


Hình 2-23. Đặc tính vạn năng của động cơ một chiều kích từ nối tiếp.

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  $P_{dm}$ ,  $I_{dm}$ ,  $\eta_{dm}$ , 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:

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

Bảng 2-1

$I^*$	$I^*_1$	$I^*_2$	$I^*_3$	$I^*_4$	$I^*_n$
$I(A)$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_n$
$\omega^*$	$\omega^*_1$	$\omega^*_2$	$\omega^*_3$	$\omega^*_4$	$\omega^*_n$
$\omega(\text{rad/s})$	$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$	$\omega_4$	$\omega_n$
$M^*$	$M^*_1$	$M^*_2$	$M^*_3$	$M^*_4$	$M^*_n$
$M(\text{Nm})$	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_n$

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:

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

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 phần 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:

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

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

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:

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

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

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

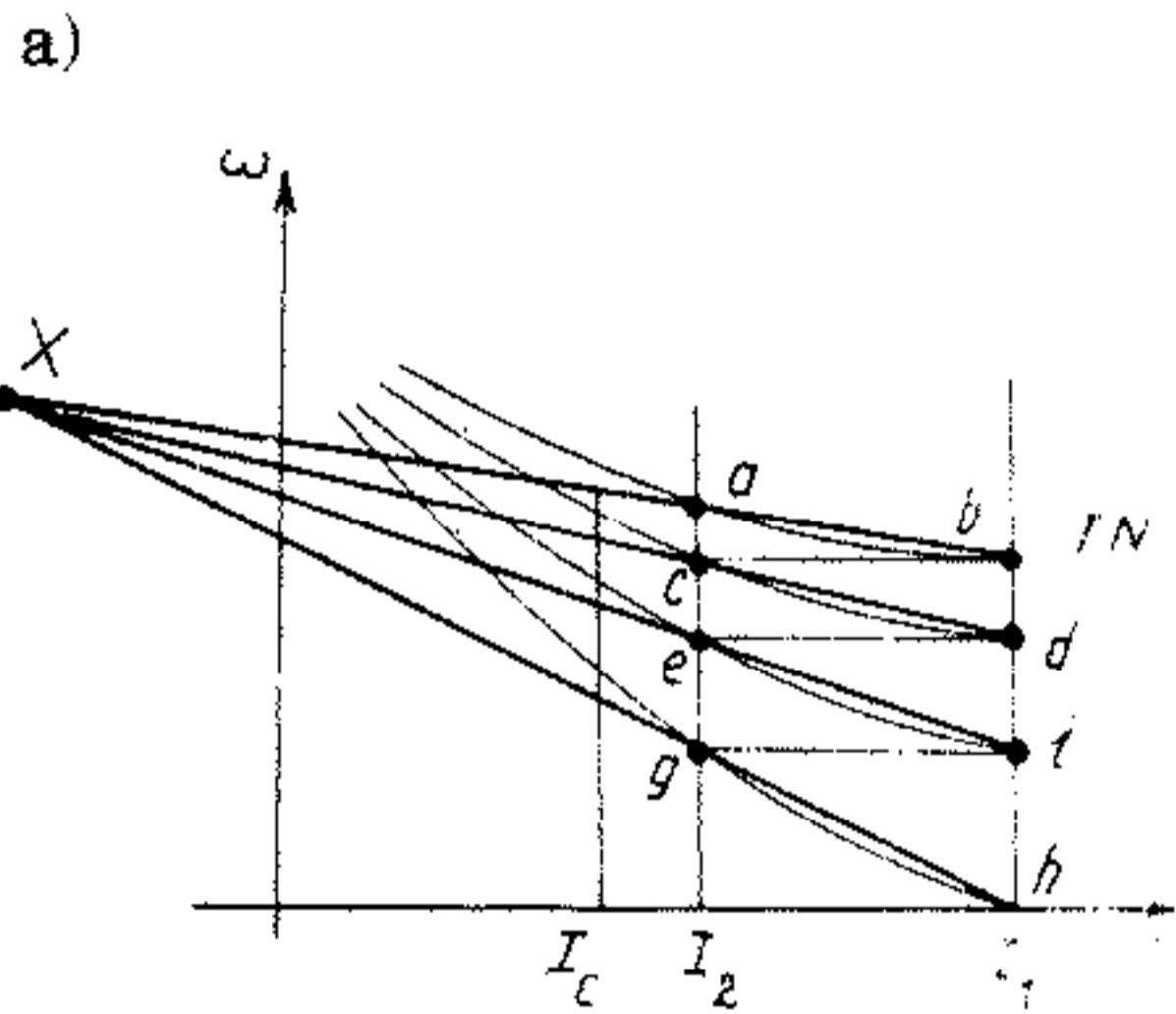
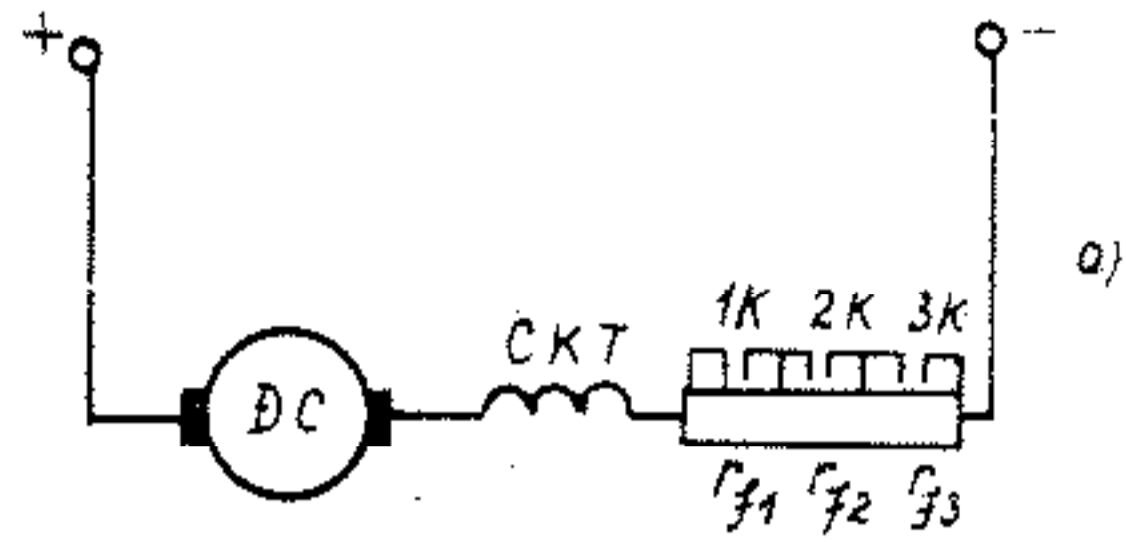
$$fh = AR_{f3} \quad eg = BR_{f3}$$

Từ đó suy ra các đẳng thức:

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

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

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



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 hoá 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 hành vẽ ra đặc tính cơ điện tự nhiên.

2. Chọn dòng điện giới hạn  $I_f \leq (2 \div 2,5)I_{dm}$  và tính điện trở tổng của mạch phản 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:

$$R_{f1} = \frac{bd}{bh} R_f$$

$$R_{f2} = \frac{df}{bh} R_f$$

$$R_{f3} = \frac{fh}{bh} R_f$$

(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  $\omega_{ot}$  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

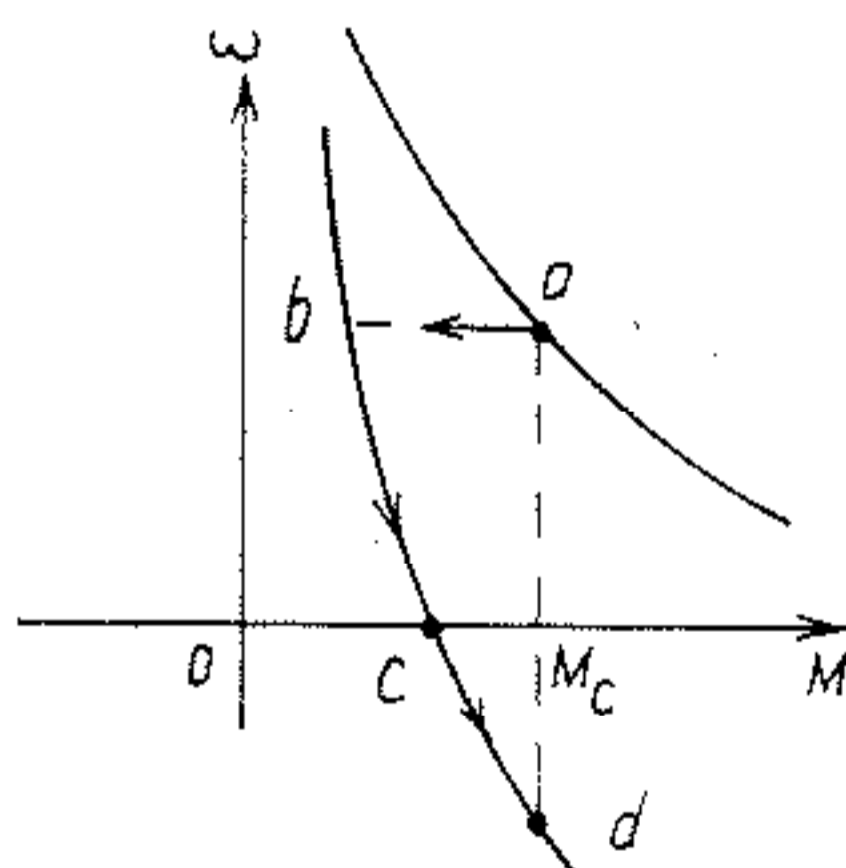
– Hãm ngược bằng cách đưa  $R_f$  lớn vào động cơ. Đặc tính cơ khi hãm chính là đặc tính biến trở. Ứng với tải thế năng, đoạn đặc tính cơ chính là đặc tính hãm ngược. Dòng điện hãm ngược được tính như sau:

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

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:

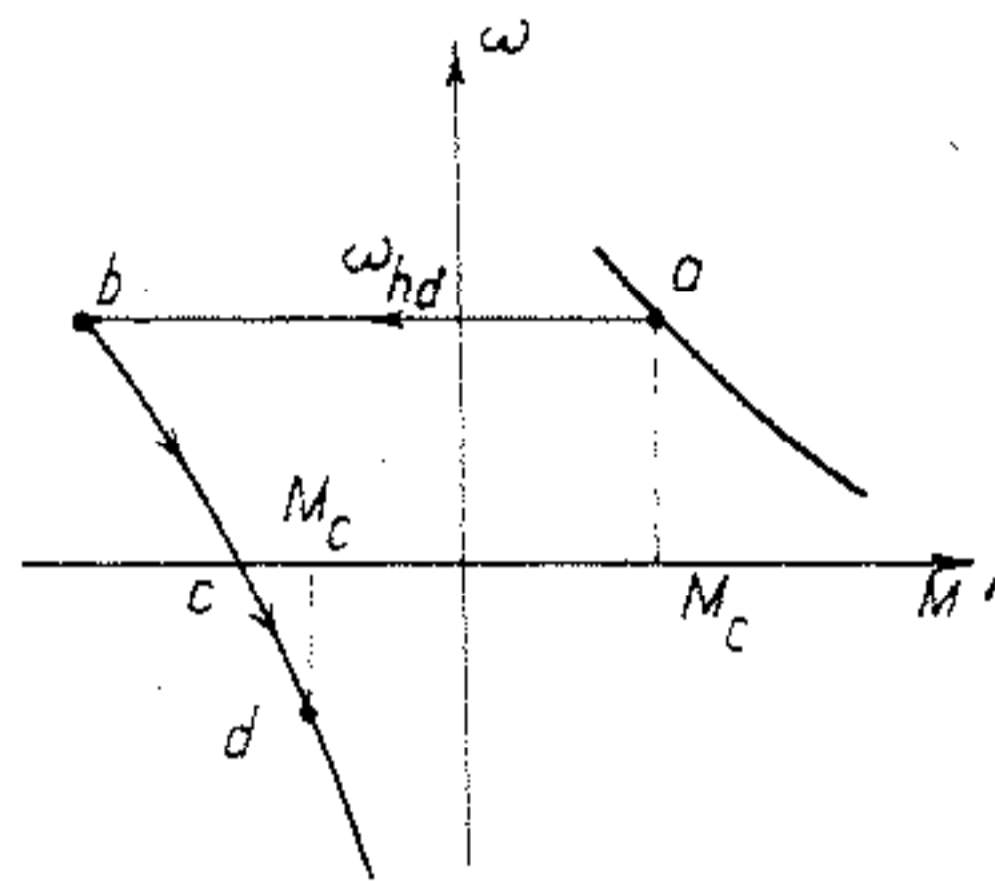
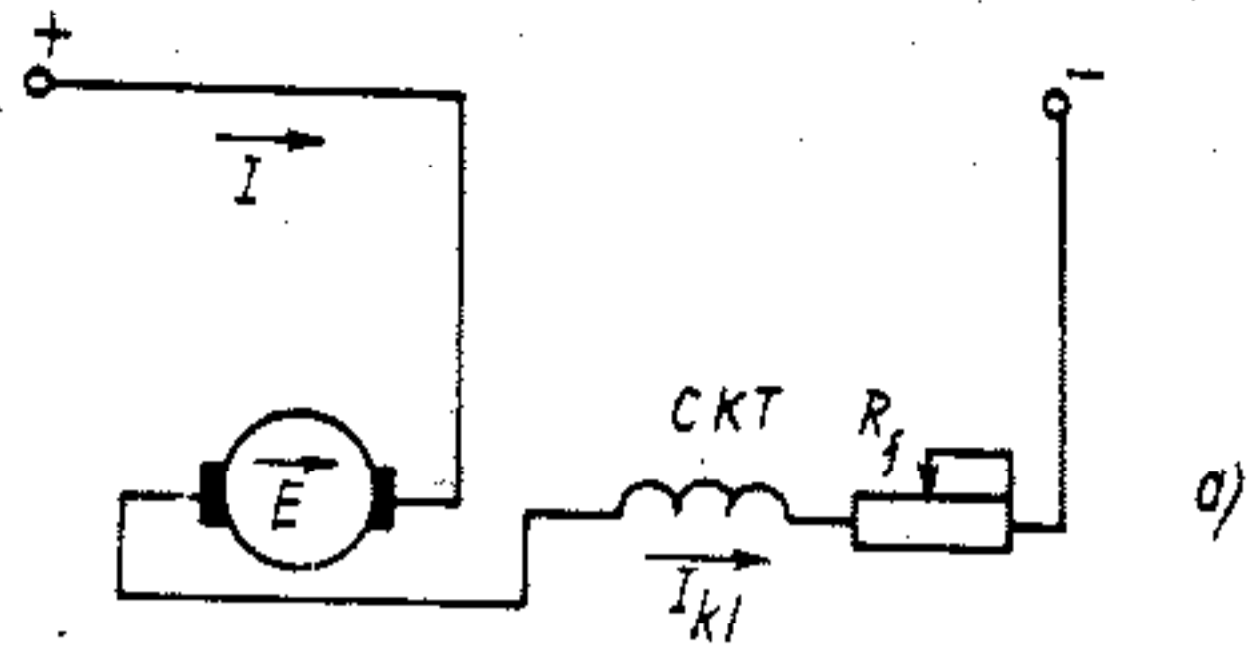
Khi động cơ đang quay, muốn thực hiện hãm ta cắt phân ứng động cơ khỏi nguồn điện một chiều và đóng vào điện trở hãm. Còn cuộn kích

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  $I_{ktdm}$ . 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  $R'_u = r_u + r_{ct} + r_{ct}$



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

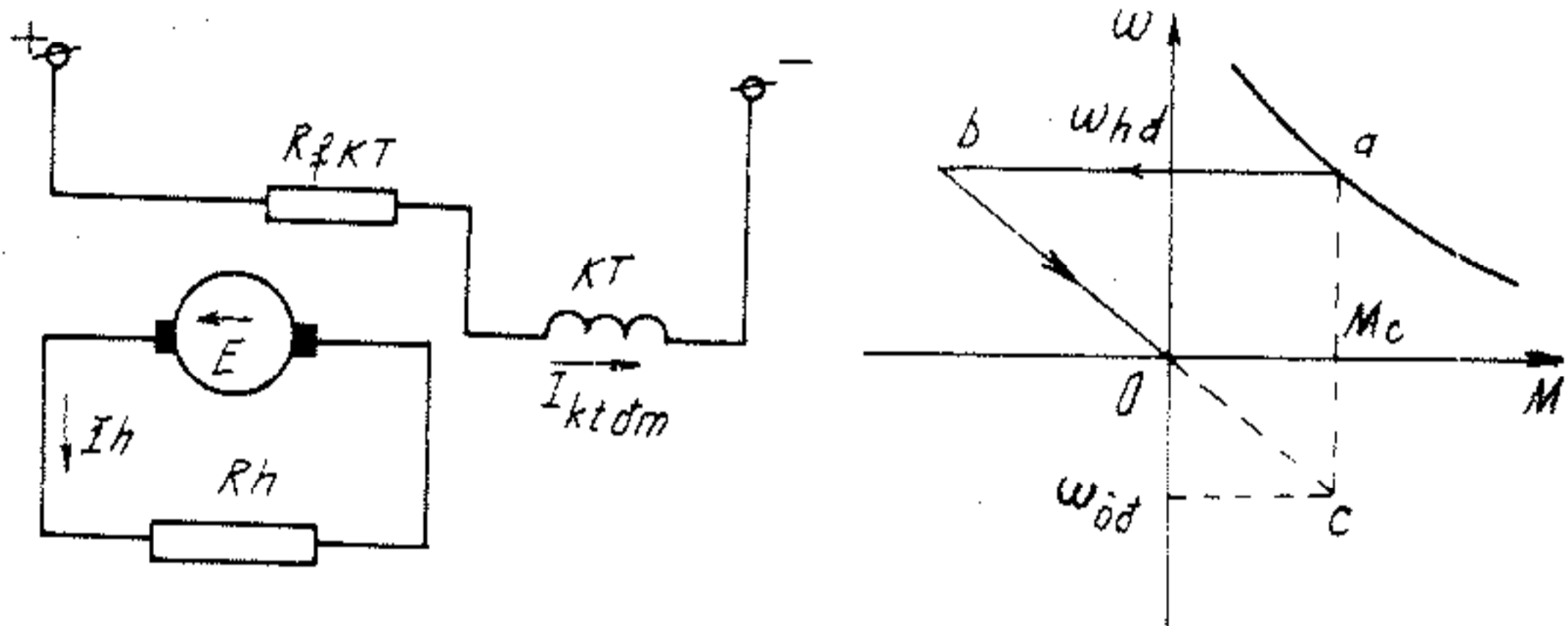


Điện trở hãm  $R_h$  được chọn sao cho dòng điện hãm ban đầu nằm trong giới hạn cho phép:

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

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.

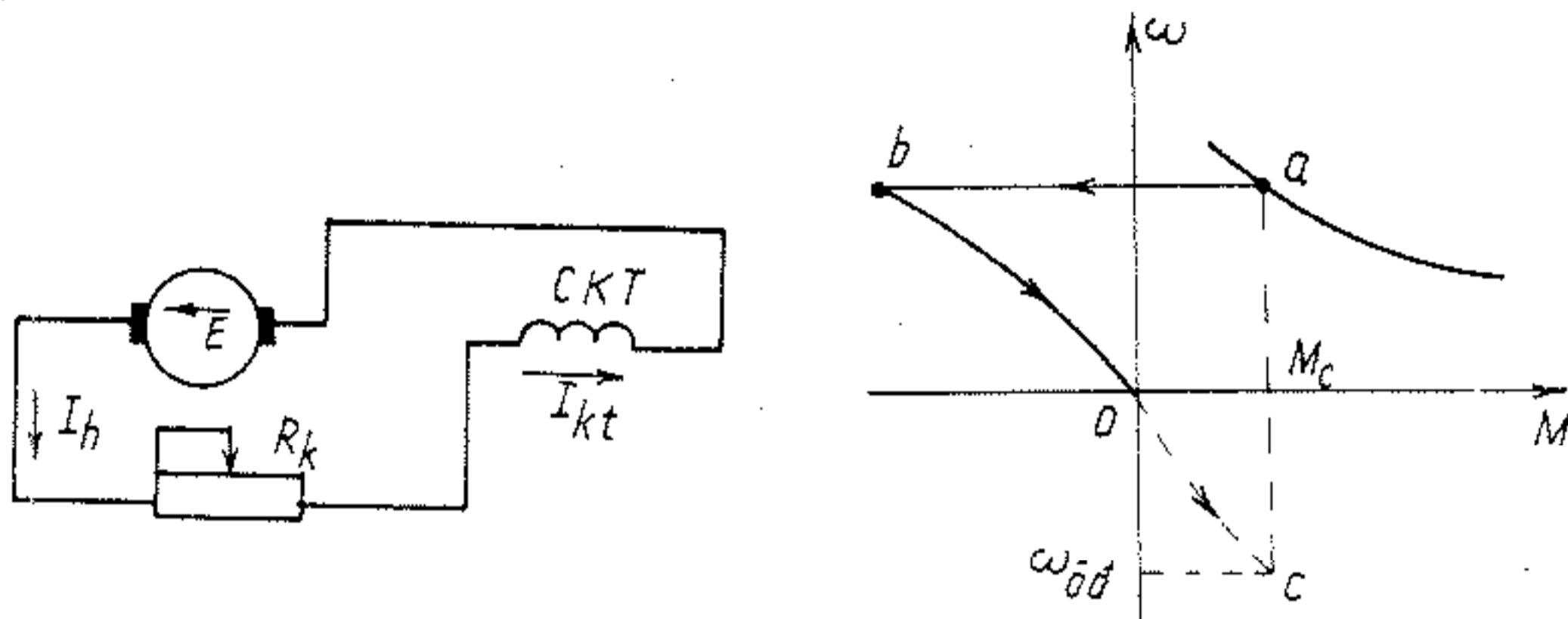
- Hãm động năng tự kích:

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

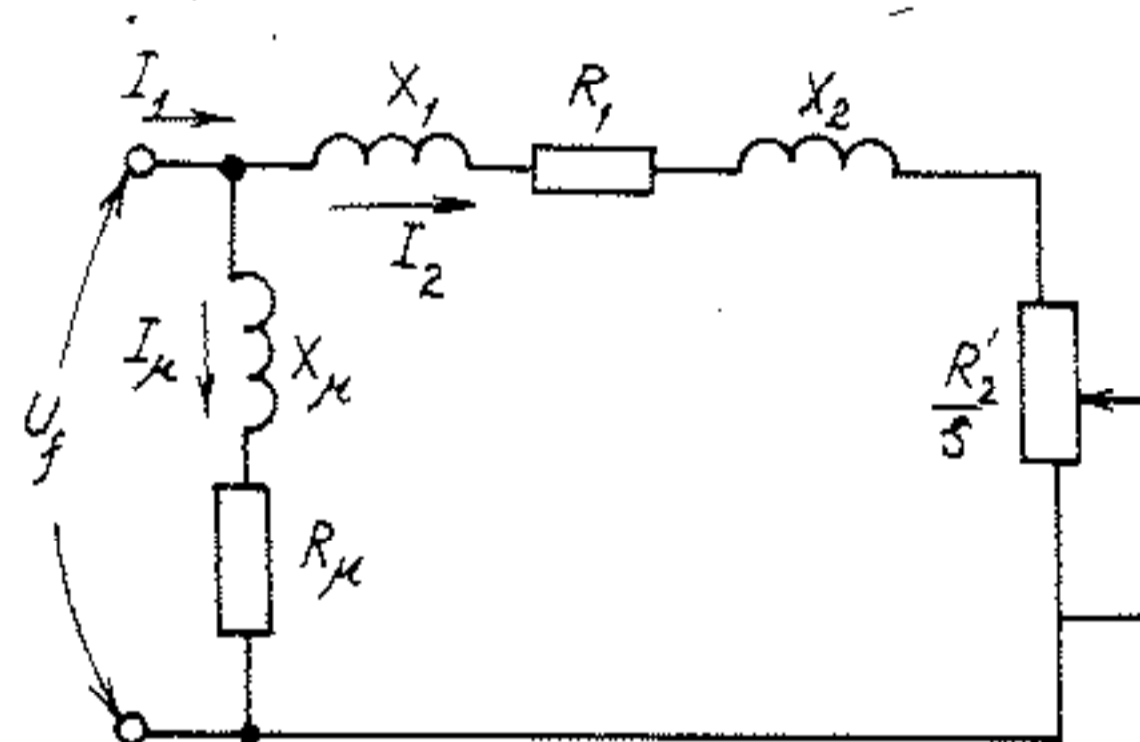
bộ ba sử dụng sơ đồ thay thế. Trên H.2-30 là sơ đồ thay thế một pha của động cơ không đồng bộ. Khi nghiên cứu ta đưa ra một số giả thiết sau đây:

- 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

$I_{\mu}, I_1, I_2$  - các dòng điện từ hóa, stato và dòng điện rôto đã quy đổi về stato.



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

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

$R_{\mu}, R_1, R'_2$  - 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.

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

$\omega_1$  - 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,

$\omega$  - tốc độ góc của động cơ.

Từ sơ đồ thay thế ta tính được dòng điện stato

$$I_1 = U_{f1} \left[ \frac{1}{\sqrt{R_\mu^2 + X_\mu^2}} + \frac{1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{nm}^2}} \right] \quad (2-71)$$

$X_{nm} = X_{1\delta} + X_{2\sigma}$  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:

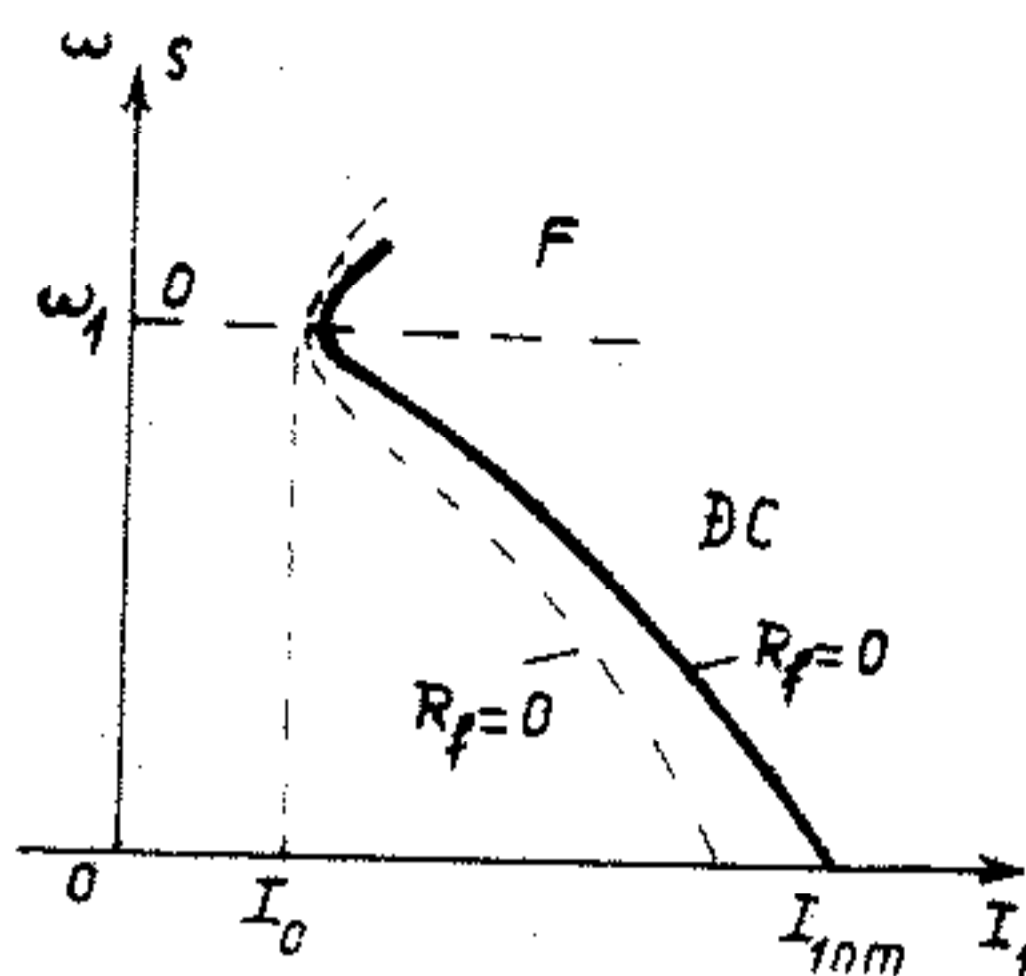
Khi  $\omega = 0, s = 1$  thì  $I_1 = I_{1nm}$

Khi  $\omega = \omega_1, s = 0$  ta có:

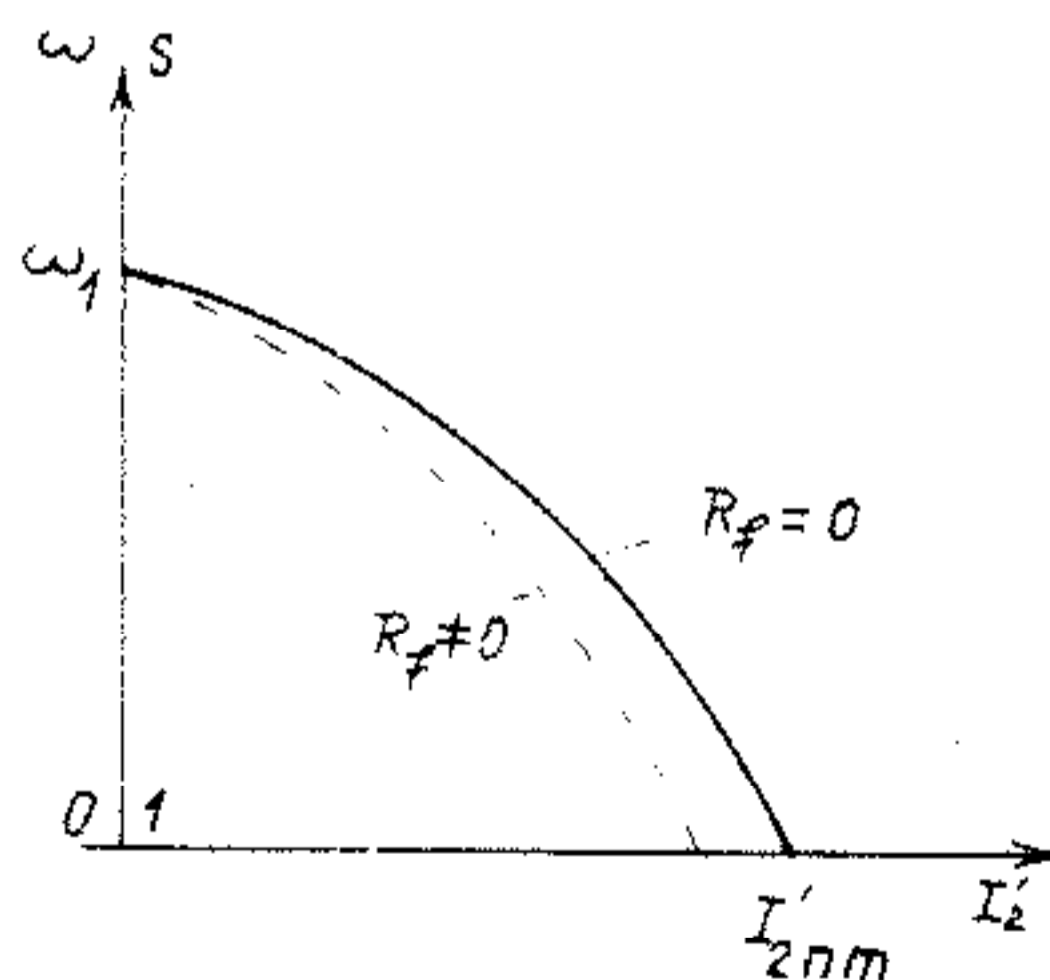
$$I_1 = U_{f1} \left[ \frac{1}{\sqrt{R_\mu^2 + X_\mu^2}} \right] = I_\mu \quad (2-72)$$

$I_{1nm}$  - dòng điện ngắn mạch stato

$I_\mu$  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  $M_{dt} = M_{cơ} = M$ .

Công suất đó chia thành 2 phần:

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

$\Delta P_2$ : công suất tổn hao đồng trong rôto

$$P_{12} = P_{cơ} + \Delta P_2$$

hay

$$M\omega_1 = M\omega + \Delta P_2$$

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

$$\text{Mặt khác} \quad \Delta P_2 = 3I_2^2 R'_2 \quad (2-76)$$

$$\text{nên} \quad M = \frac{3I_2^2 R'_2 / s}{\omega_1} \quad (2-77)$$

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:

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

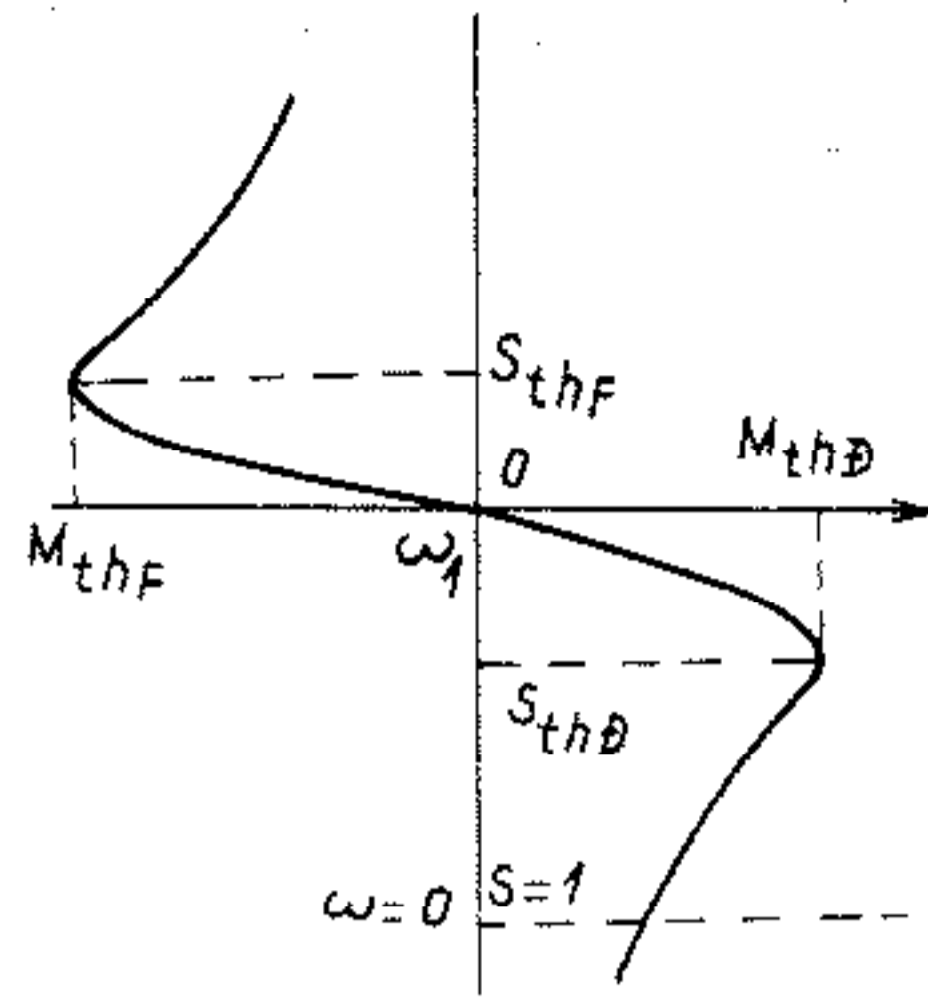
Thay (2-79) và (2-78) để tìm  $M_{th}$ :

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

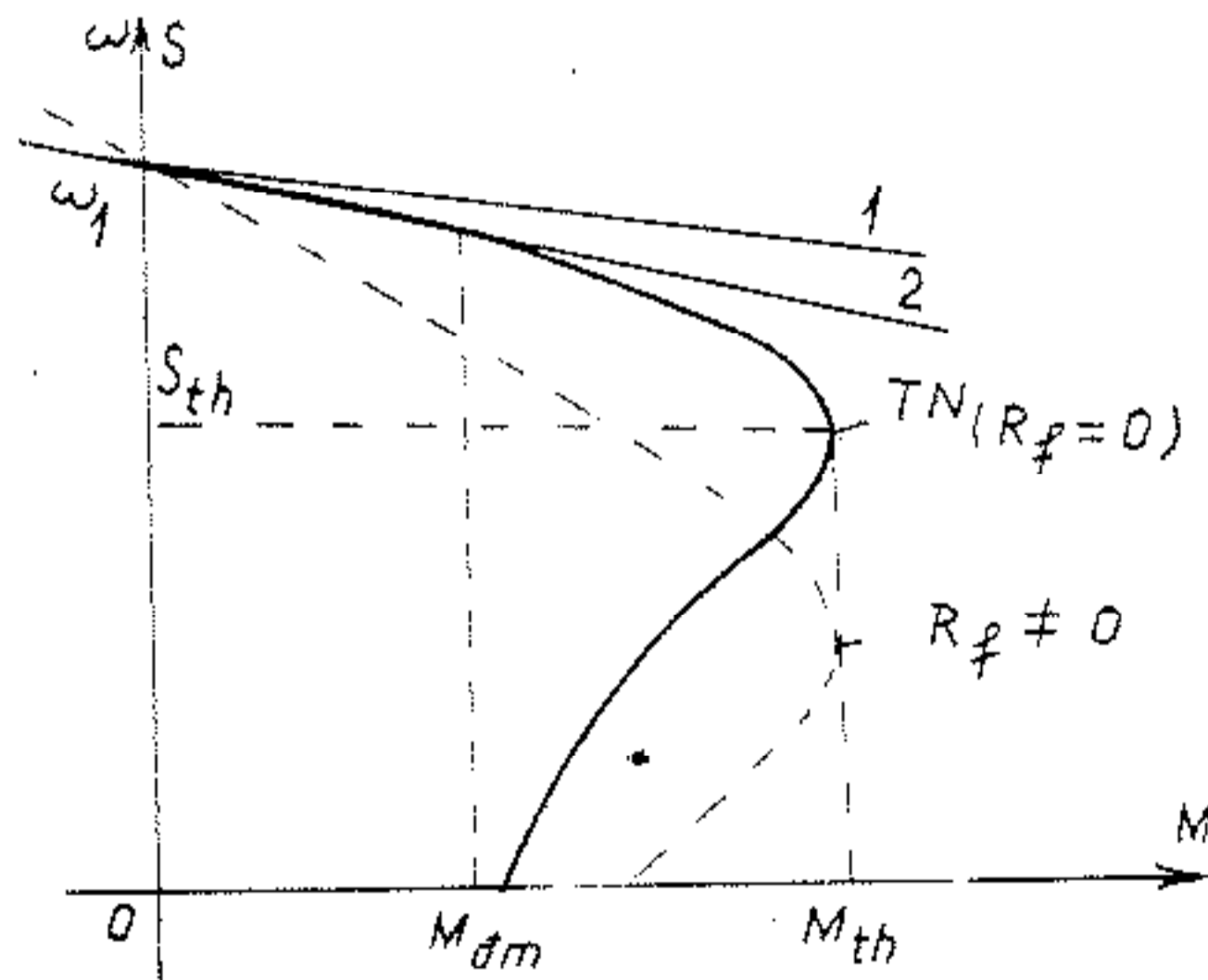
Trong hai biểu thức trên dấu (+) ứng với trạng thái động cơ, dấu (-) ứng với trạng thái máy phát. Do đó  $M_{th}$  ở chế độ máy phát lớn hơn  $M_{th}$  ở chế độ động cơ.

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

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

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  $s \ll s_{th}$ , tỉ 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  $\omega_1$ : 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  $\beta$  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  $\beta$  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:

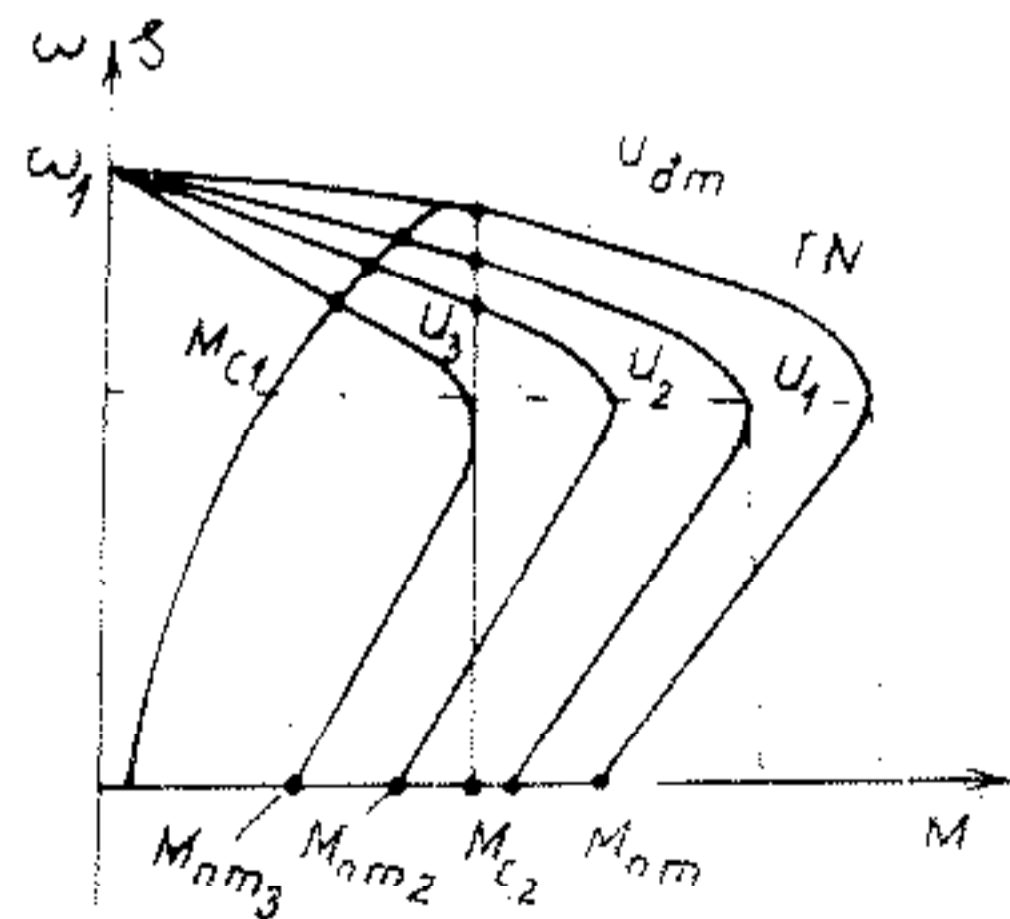
- Ảnh hưởng điện trở, điện kháng mạch stato (nối thêm điện trở phụ  $R_{1f}$  và  $X_{1f}$  vào mạch stato)
- Ảnh hưởng điện trở mạch rôto (nối thêm điện trở phụ  $R_{2f}$  vào mạch rôto đối với động cơ rôto quấn dây).
- Ảnh hưởng của suy giảm điện áp lưới cấp cho động cơ
- Ảnh hưởng của thay đổi tần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

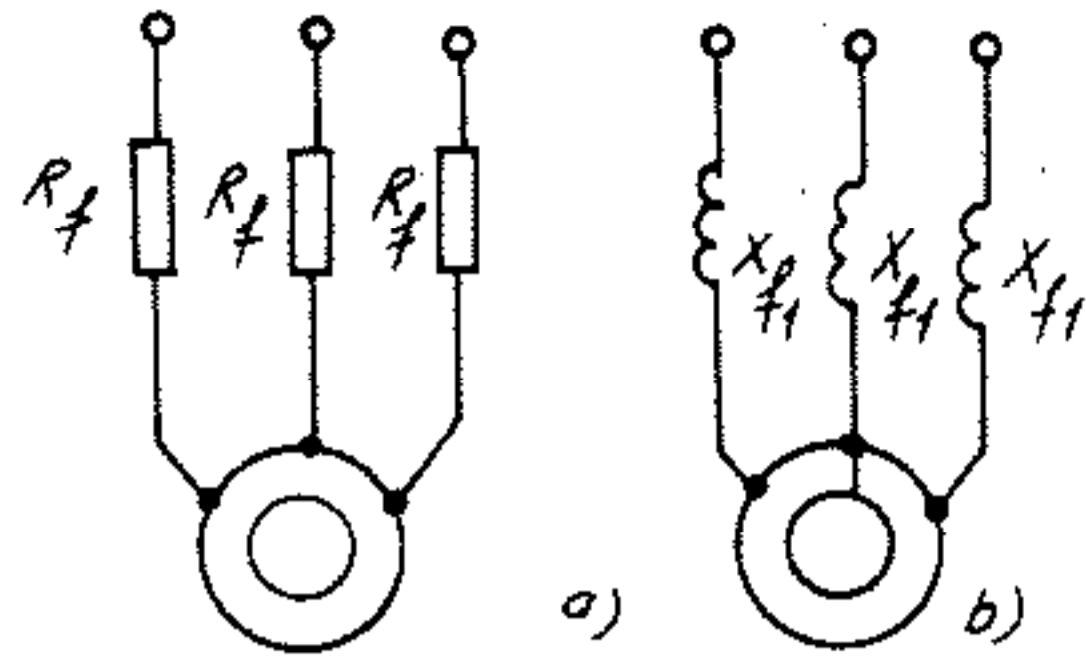
Khi điện áp lưới suy giảm, theo (2-80) mômen tới hạn sẽ giảm bình phương lần độ suy giảm của điện áp. Trong khi đó tốc độ đồng bộ  $\omega_1$  giữ nguyên và độ trượt tới hạn  $s_{th}$  không thay đổi. Ta có dạng đặc tính cơ khi điện áp lưới giảm trên H.2-35. Đặc tính này



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

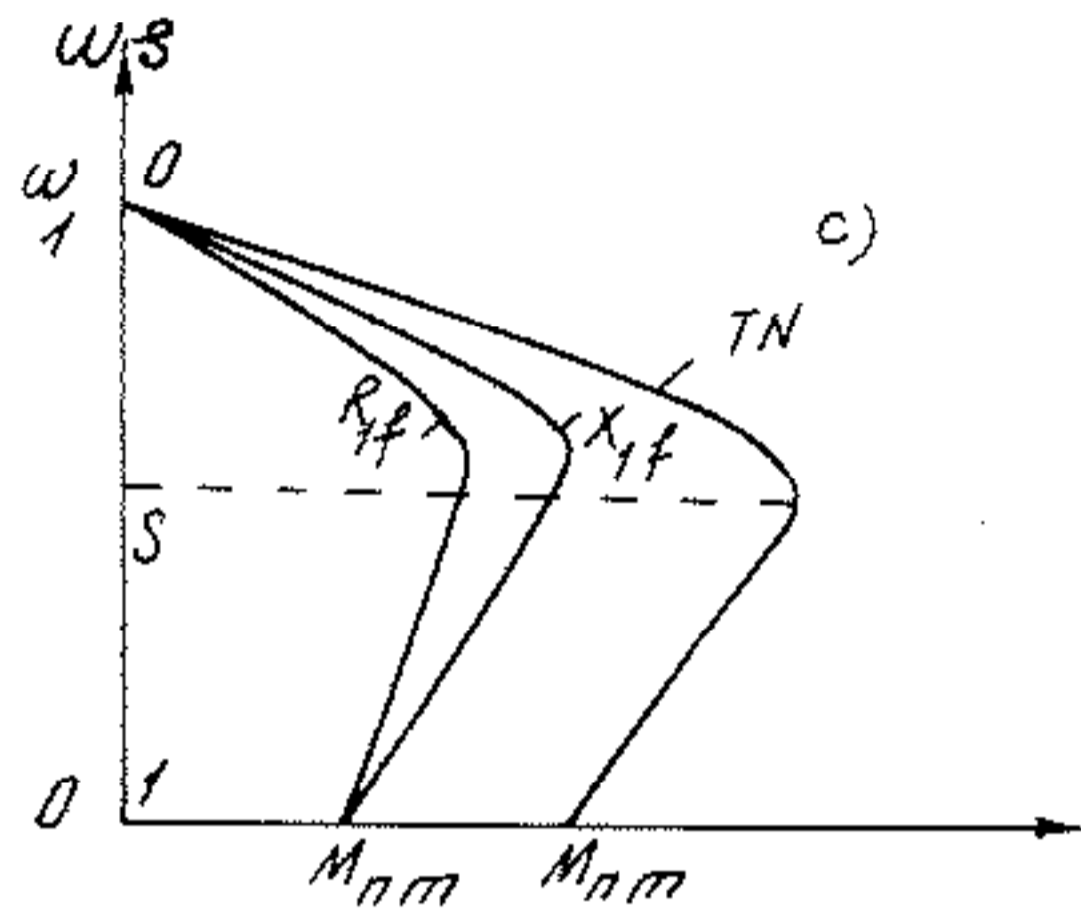
thích hợp với phụ tải bơm và quạt gió không thích hợp với tải không đổi.

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 có mômen khởi động là  $M_{nm}$  thì đặc tính cơ với  $X_f$  trong mạch cứng hơn đặc tính cơ với  $R_f$ .

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.

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:

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

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

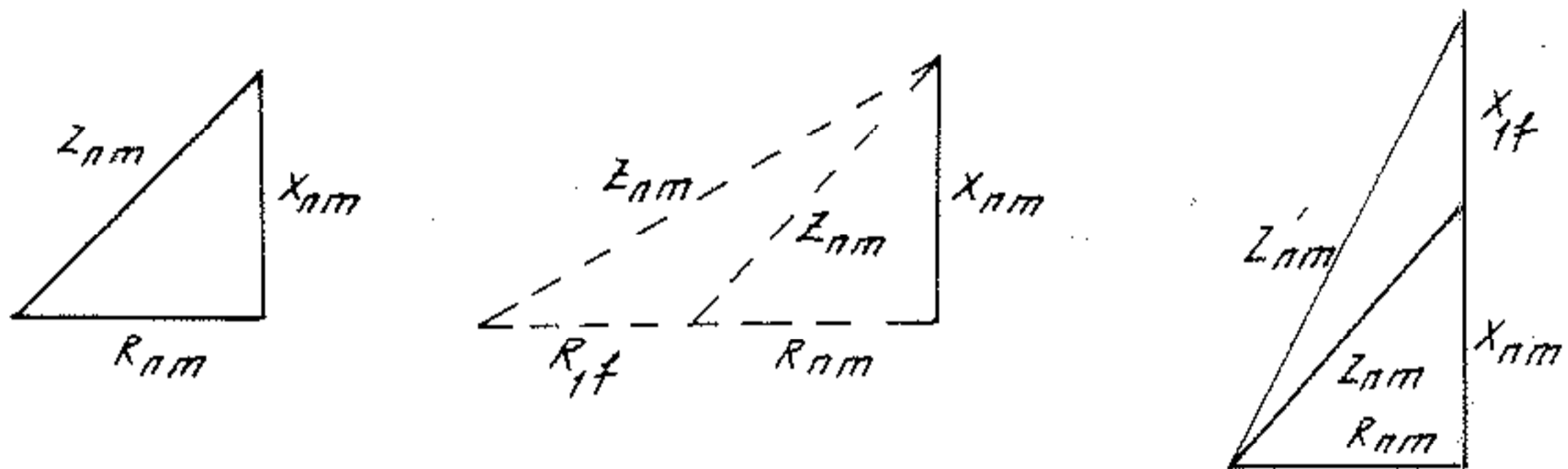
$$R_{lf} = \sqrt{\left(\frac{Z_{nm}}{\alpha}\right)^2 - X_{nm}^2} - R_{nm} \quad (2-92)$$

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

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  $R_{lf}$ ; c) Tam giác tổng trở ngắn mạch thêm  $X_{lf}$

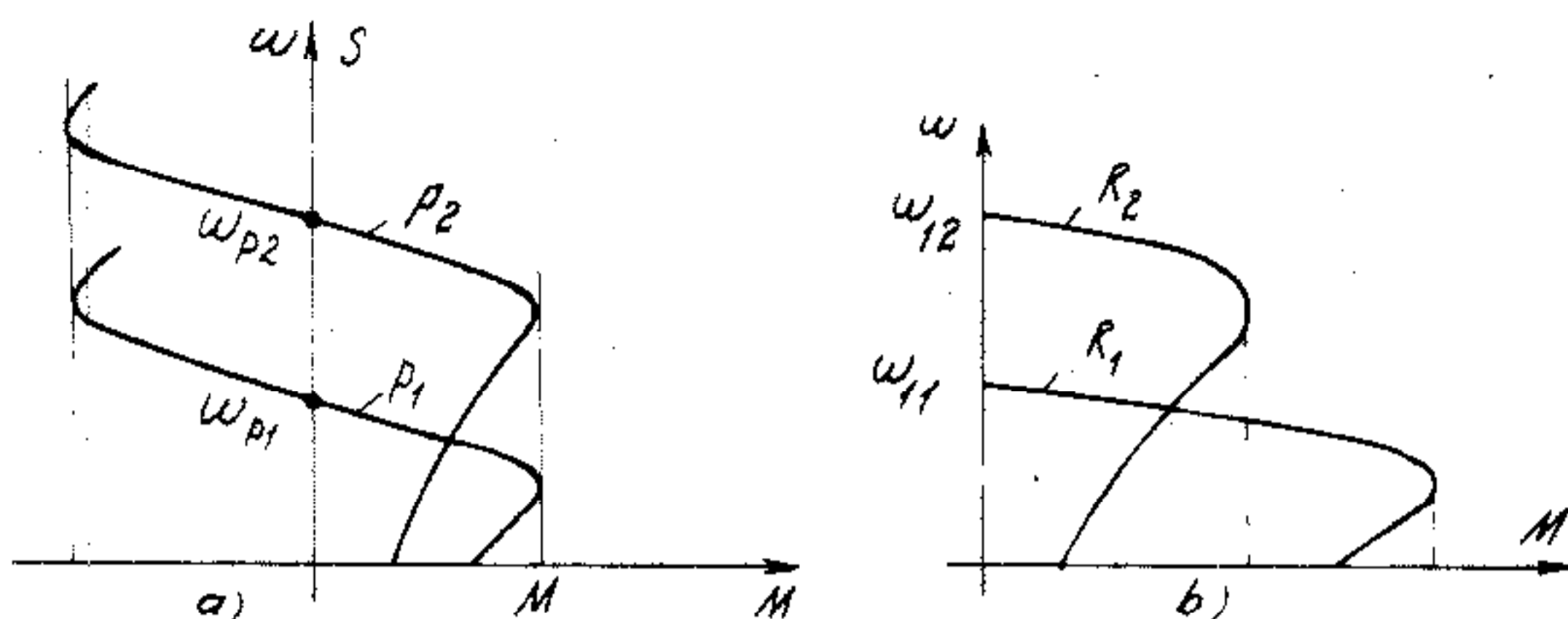
### c) Ảnh hưởng của số đôi cực $p$

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

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

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

Nếu thay đổi số đôi cực  $p$  thì  $\omega_1$  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

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

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

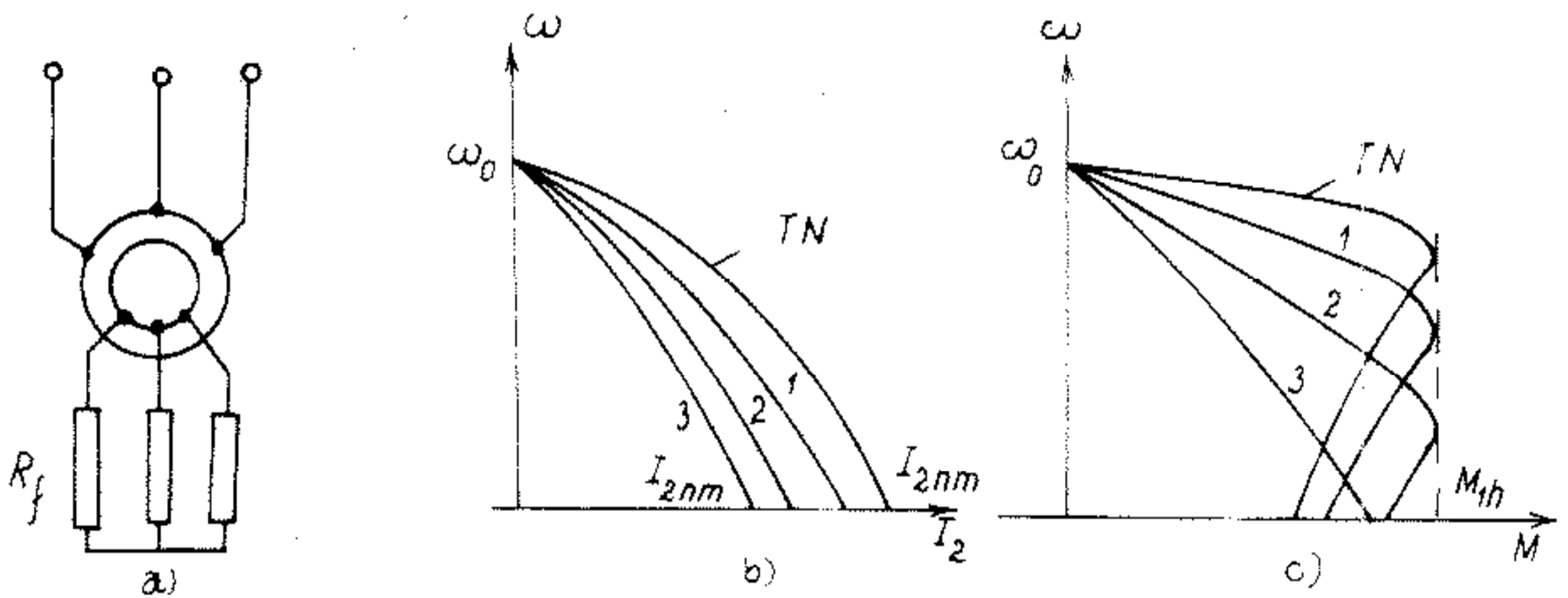
$$s_{th} = \frac{R'_2 + R'_{2f}}{\dot{X}_{nm}}$$

$R_{2f}$  càng lớn  $s_{th}$  sẽ càng lớn và theo (2-88) thì  $\delta$  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). 
$$I_{2nm} = \frac{U_{fl}}{\sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + X_{nm}^2}}$$

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  $f_1 > f_{ldm}$  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 KDB (xem chương 5).

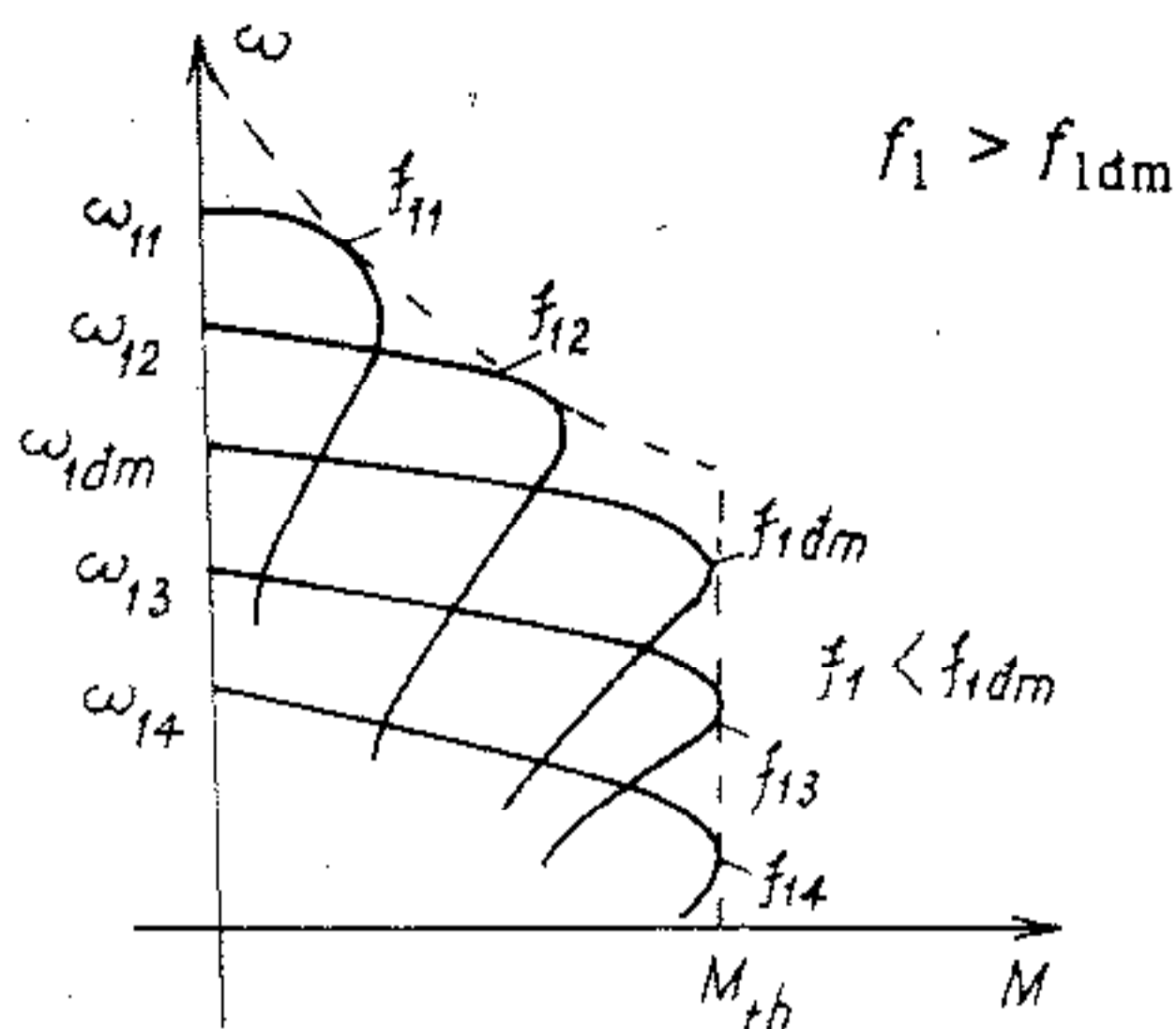
Trên H.2-40 trình bày đặc tính cơ khi  $f_1 < f_{1dm}$  với điều kiện từ thông  $\Phi = \text{const}$  (hoặc gần đúng giữ  $\frac{U_1}{f_1} = \text{const}$ ) thì  $M_{th}$  được giữ không đổi. Ở vùng  $f_1 > f_{1dm}$ , mômen tới hạn  $M_{th}$  tỷ lệ nghịch với bình phương tần số.

### 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):

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



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

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

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:

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

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

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:

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

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

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

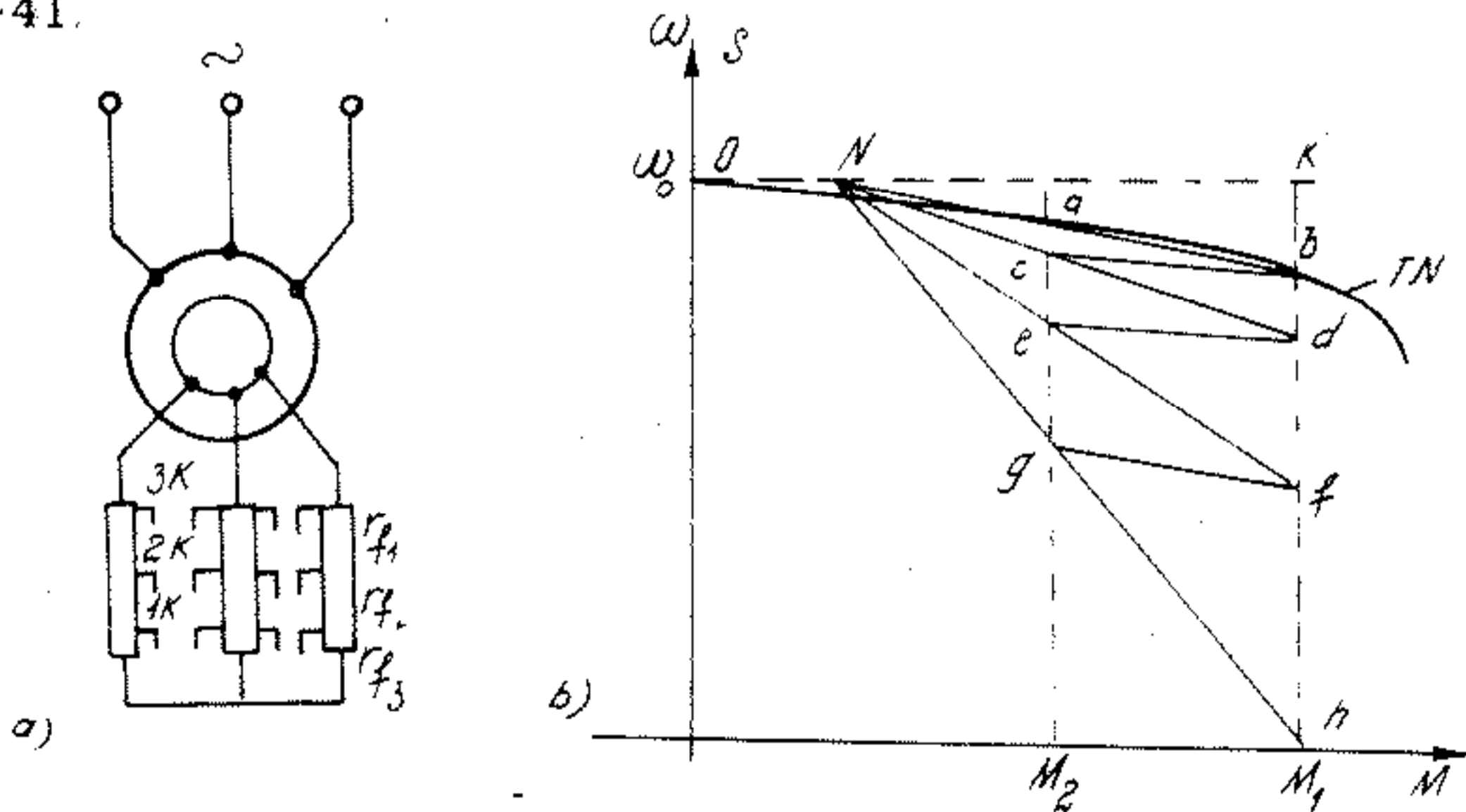
Chú ý khi vẽ đặc tính cơ tự nhiên hay đặc tính cơ biến trở trong một số trường hợp ta có thể bỏ qua thông số  $R_1$  hay đơn giản coi  $R_1 \approx R'_2$ . Lúc này các biểu thức tính toán có thể đơn giản đi. Tuy nhiên đặc tính cơ vẽ được sẽ là gần đúng.

### 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  $\omega_1$  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  $\omega$  của rôto lớn hơn tốc độ đồng bộ  $\omega_1$

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:

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

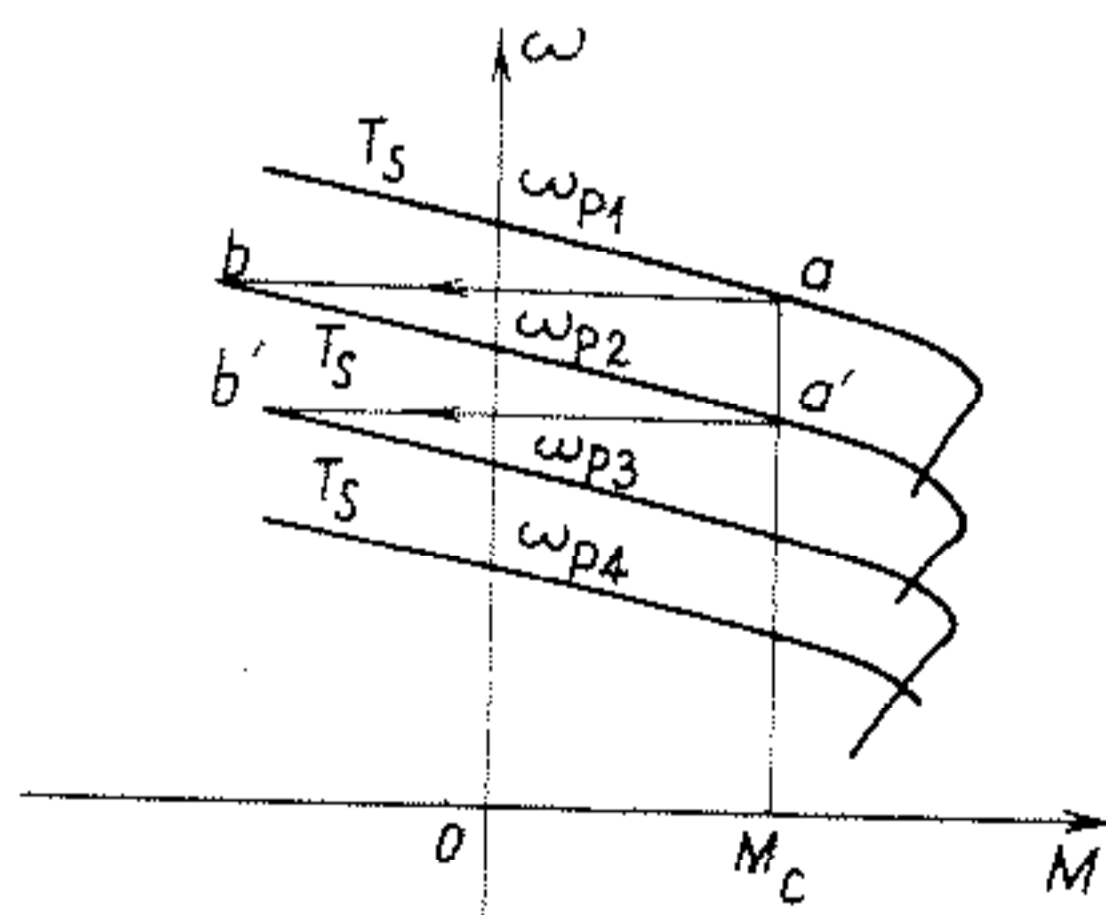
$$= \frac{E_2 R_2 s}{R_2^2 + (X_2 s)^2} - j \frac{E_2 X_2 s^2}{R_2^2 + (X_2 s)^2} \quad (2-98)$$

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.

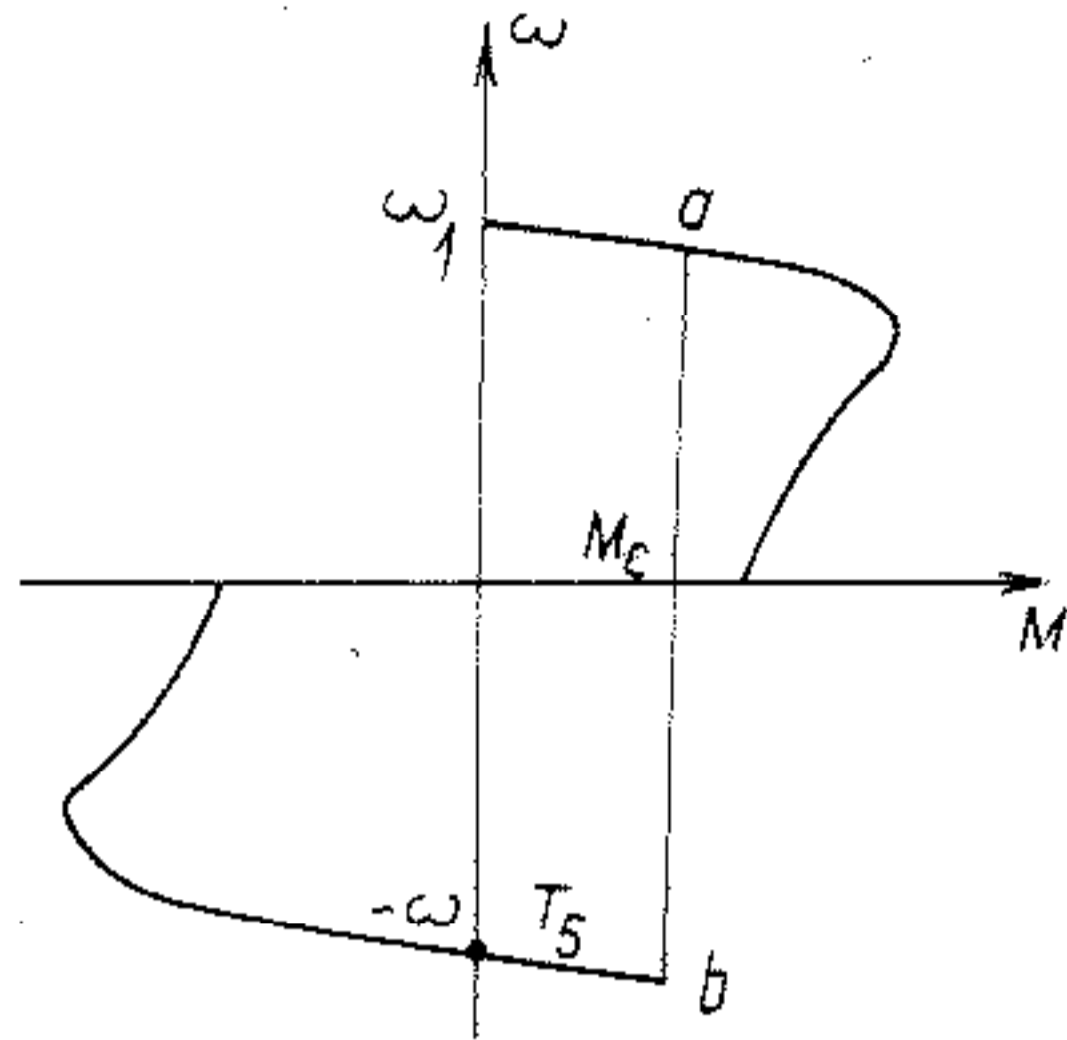
- Hãm ngược xảy ra khi động cơ đang làm việc, ta đổi thứ tự 2 trong 3 pha điện áp đặt vào stato; động cơ chuyển sang làm việc trên đặc tính hãm ngược  $bc$  hoặc  $b'c'$ .

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

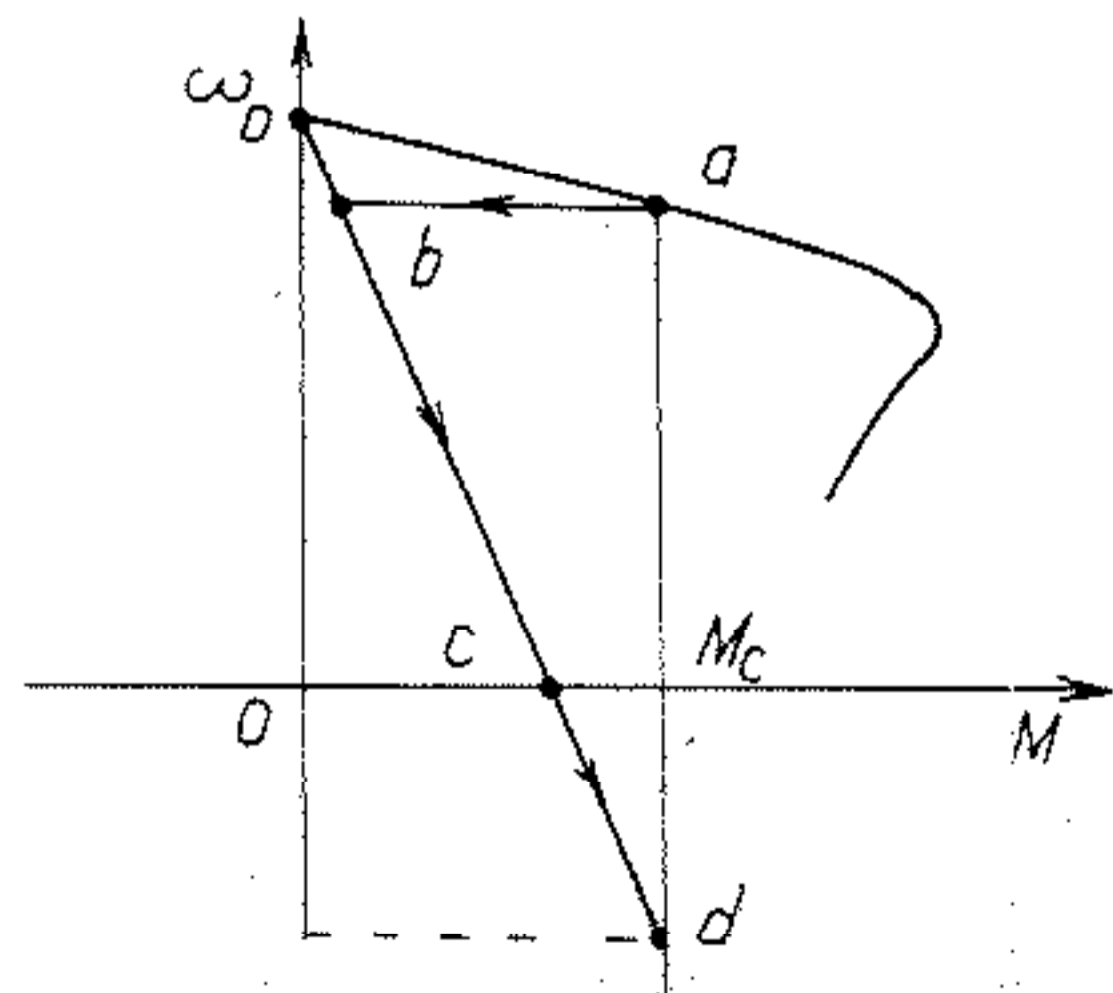
Chú ý rằng trong cả hai trường hợp hãm ngược vì

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

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

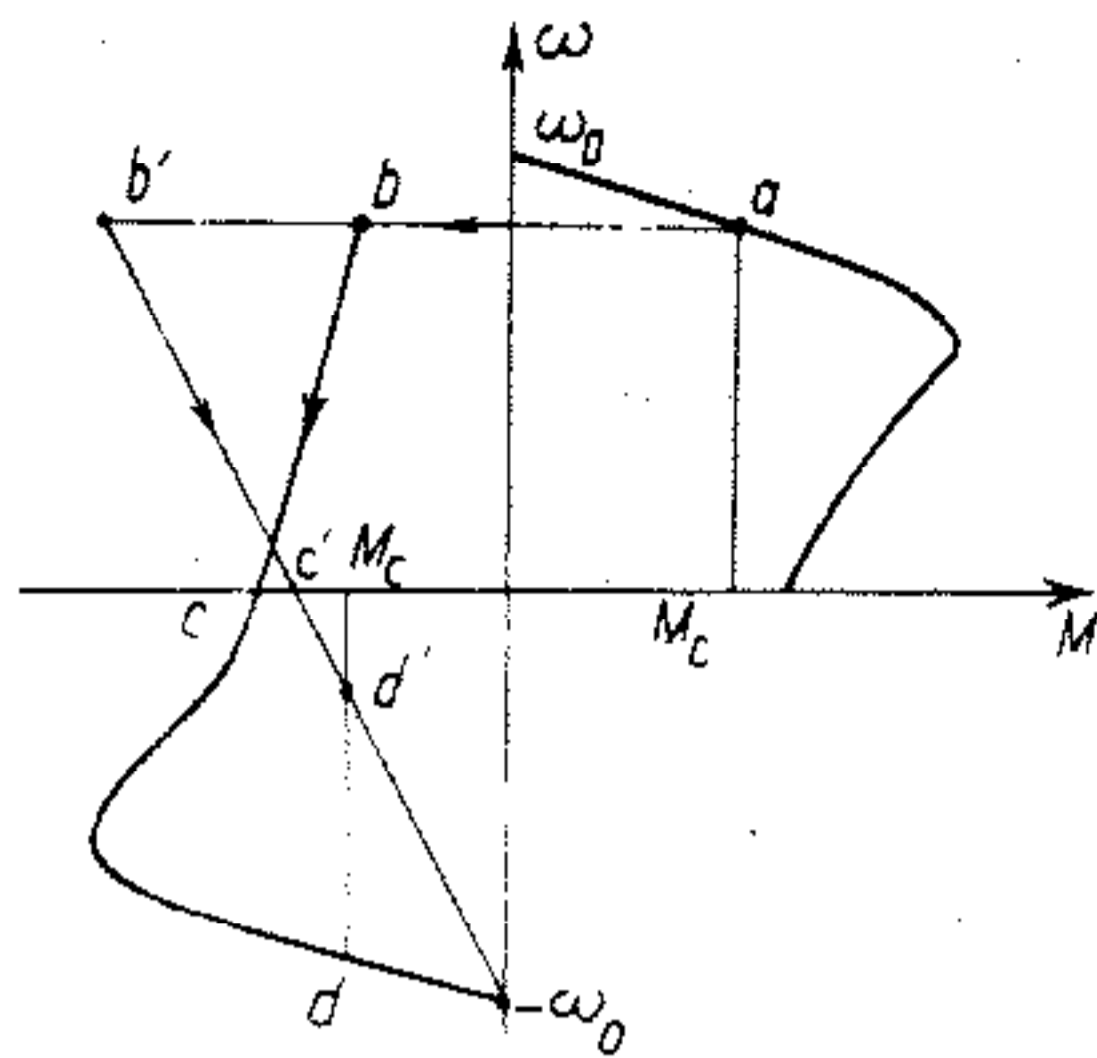


Hình 2-43. Đặc tính cơ hãm tái sinh của động cơ không đồng bộ với tải thế năng.



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

kháng  $X'_{20}$  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.



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

### c) Hãm động năng

Trạng thái hãm động năng xảy ra khi động cơ đang quay ta cắt stato động cơ khỏi nguồn điện xoay chiều, rồi đóng vào nguồn một chiều.

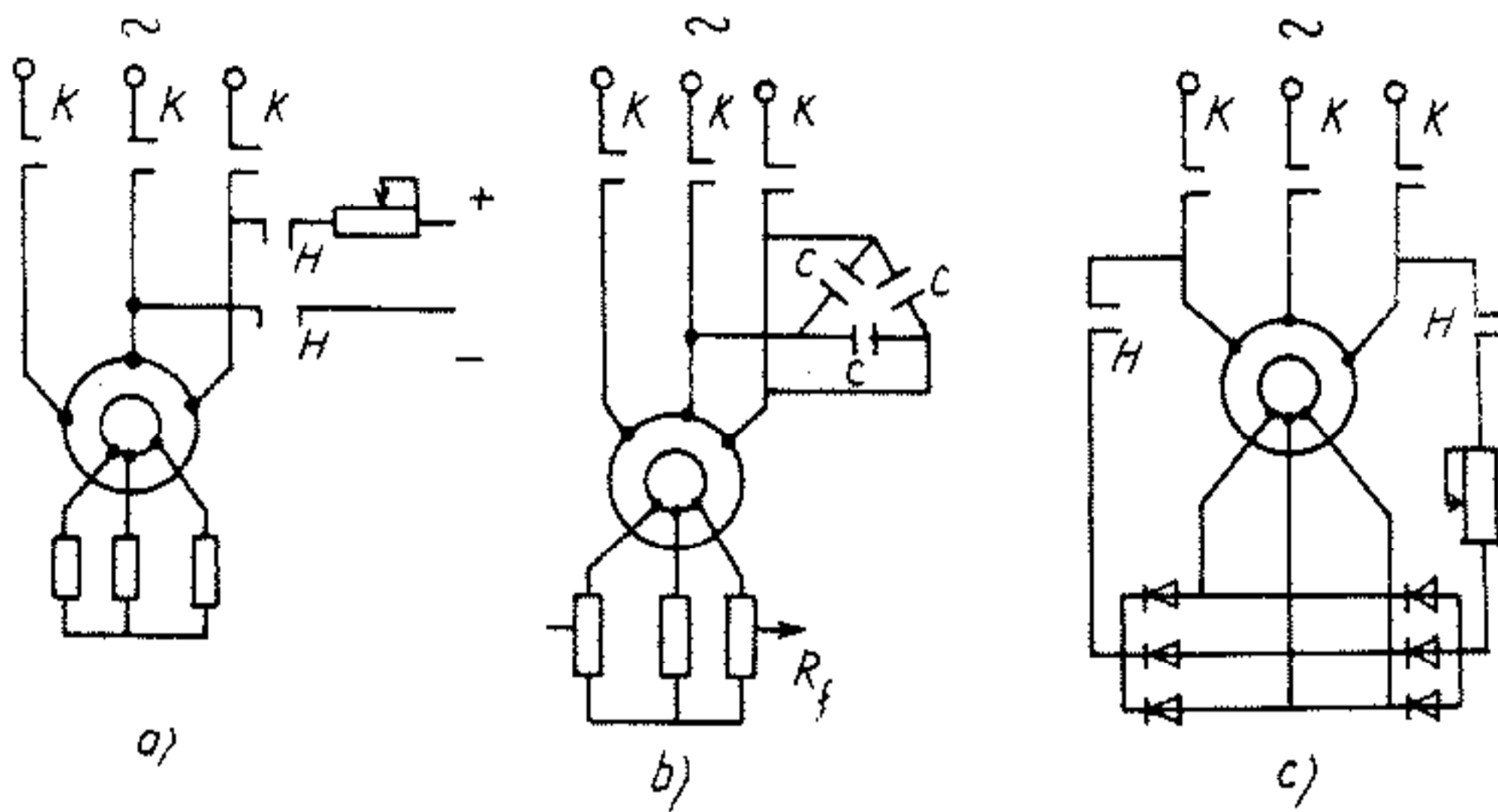
Người ta chia hãm động năng của động cơ không đồng bộ thành hai dạng: Hãm động năng kích từ độc lập và tự kích.

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.

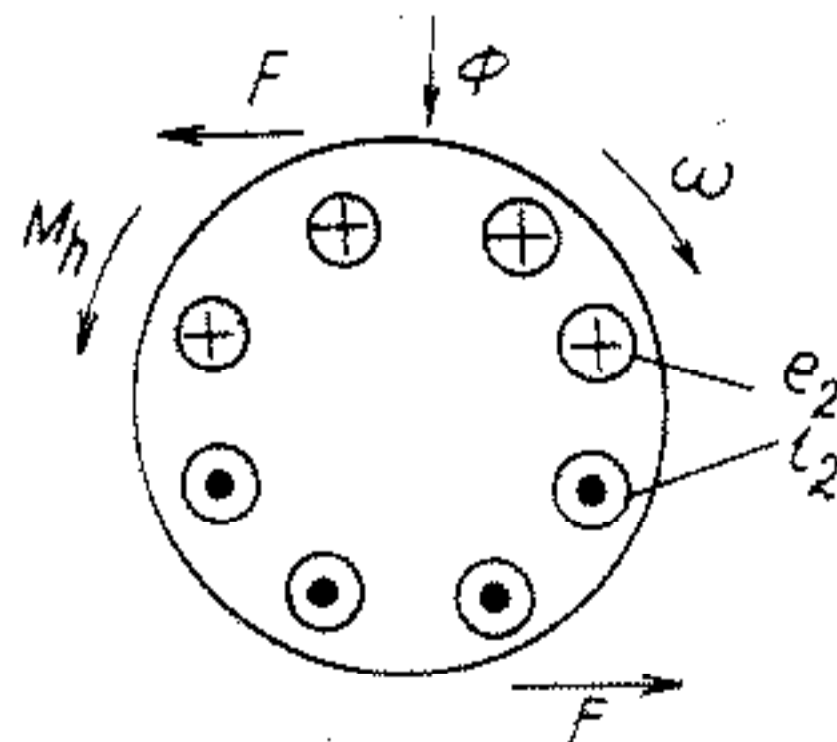
Khi cắt stato khỏi nguồn xoay chiều rồi đóng vào nguồn một chiều thì dòng một chiều này sinh ra một từ trường đứng yên so với stato, giả sử từ thông  $\Phi$  có chiều như mũi tên trên H.2-47. Rôto động cơ theo quán tính vẫn quay theo chiều cũ thể hiện như trên hình vẽ và các thanh dẫn rôto sẽ cắt từ 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  $\Phi$  có giá trị không đổi còn ở hãm động năng tự kích thì  $\phi$  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

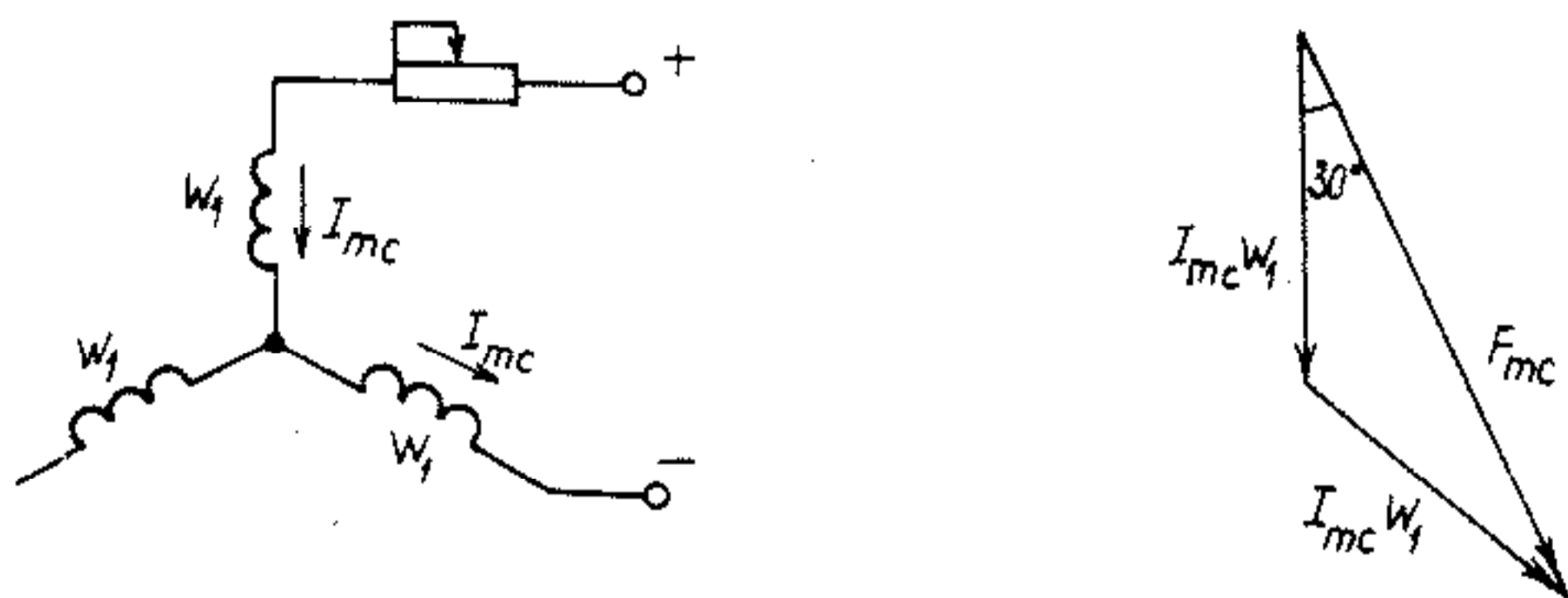
đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ ở trạng thái hãm động năng ta thay thế một cách đẳng trị chế độ máy phát đồng bộ có tần số thay đổi bằng chế độ làm việc động cơ không đồng bộ. Nghĩa là cuộn dây stato thực tế đấu vào nguồn một chiều nhưng ta coi như đấu vào nguồn xoay chiều. Điều kiện đẳng trị ở 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 vectơ như H. 2-48 ta có thể xác định  $\alpha$ , A như sau:

$$F_{mc} = 2I_{mc}w_1 \cos 30^\circ = \sqrt{3} w_1 I_{mc}$$

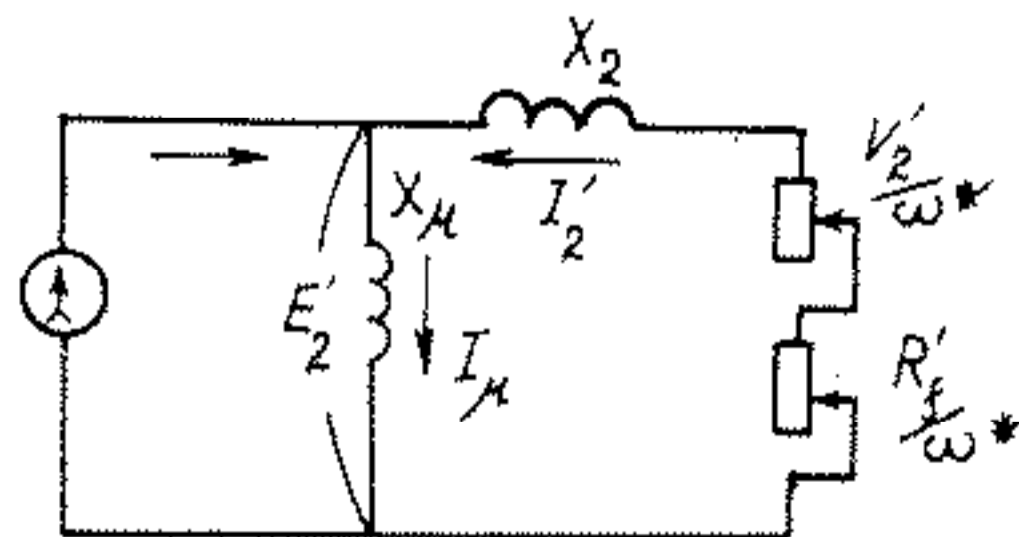
và  $\alpha = \sqrt{3}$  ;  $A = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$

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 mạch stato và đồ thị vectơ 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  $I_\mu$ , từ thông  $\Phi$  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  $I_\mu$  đều thay đổi, do đó từ thông  $\Phi$  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:

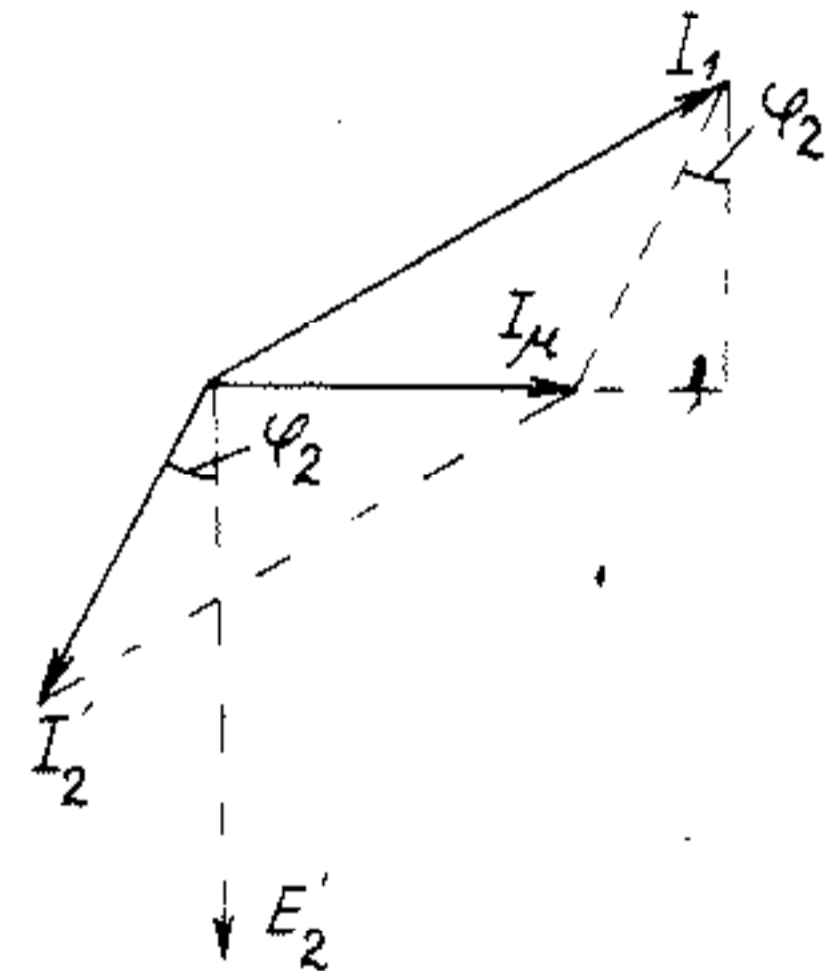
$$R_2 = r_2 + R_{f2}$$

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:

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

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:

$$M = -\frac{3I_1^2 \frac{R'_2}{\omega^*}}{\omega_1} \quad (2-104)$$

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:

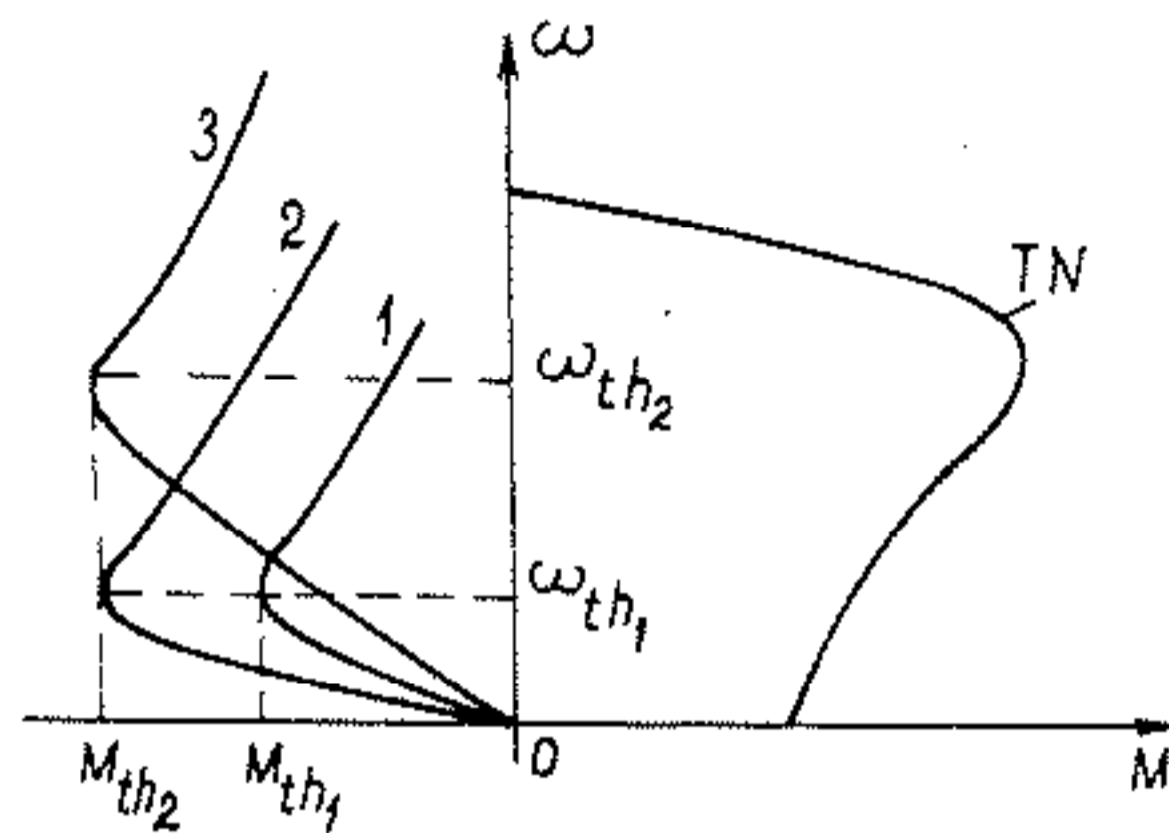
$$\omega_{th} = \frac{R_2}{X_\mu + X_2} \quad (2-106)$$

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

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

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



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

2-51. Đường 1 và 2 có

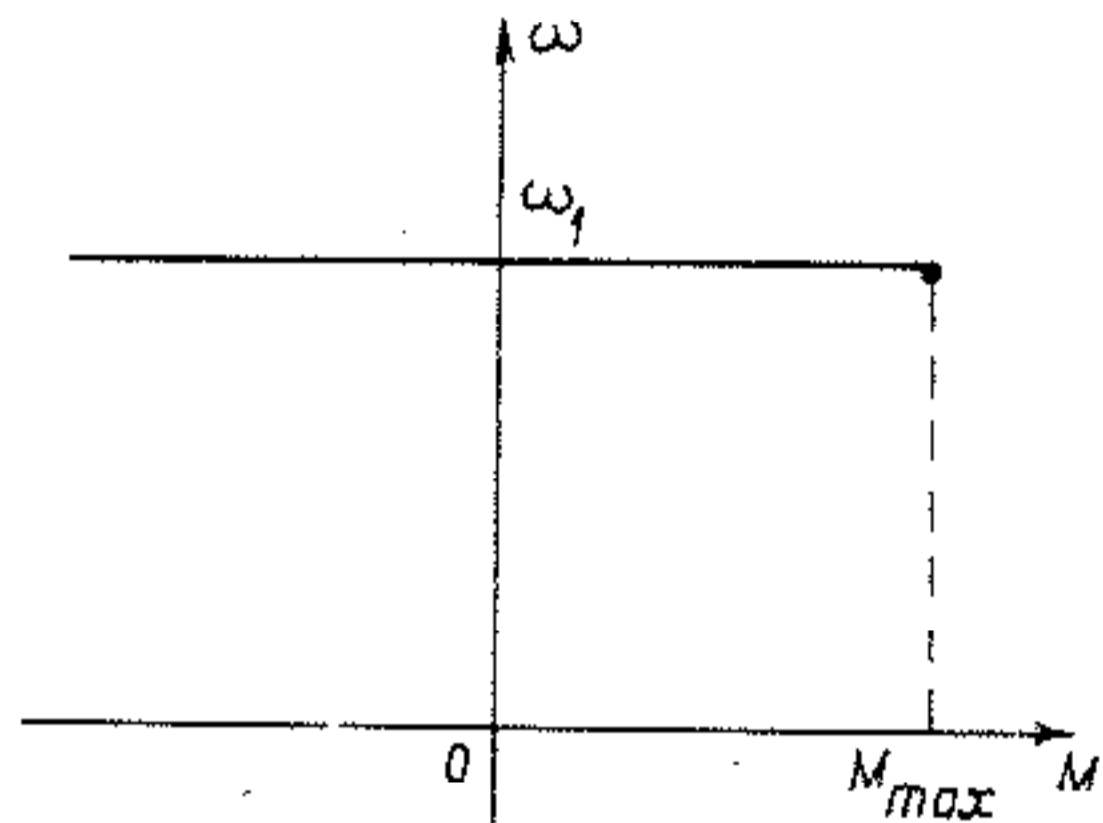
cùng điện trở  $R'_2$  nhưng có  $M_{th2} > M_{th1}$  nên dòng một chiều tương ứng  $I_{mc2} > I_{mc1}$ . Còn đường 2 và 3 có cùng dòng một chiều nhưng điện trở  $R_2$  lại khác nhau.

## 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  $R_4$  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  $X_m$  và điện kháng cuộn dây một pha của stato:  $X_s = X_m + X_1$

$\theta$  – góc lệch pha giữa  $U$  và  $E$ ,

$\varphi$  – 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:

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

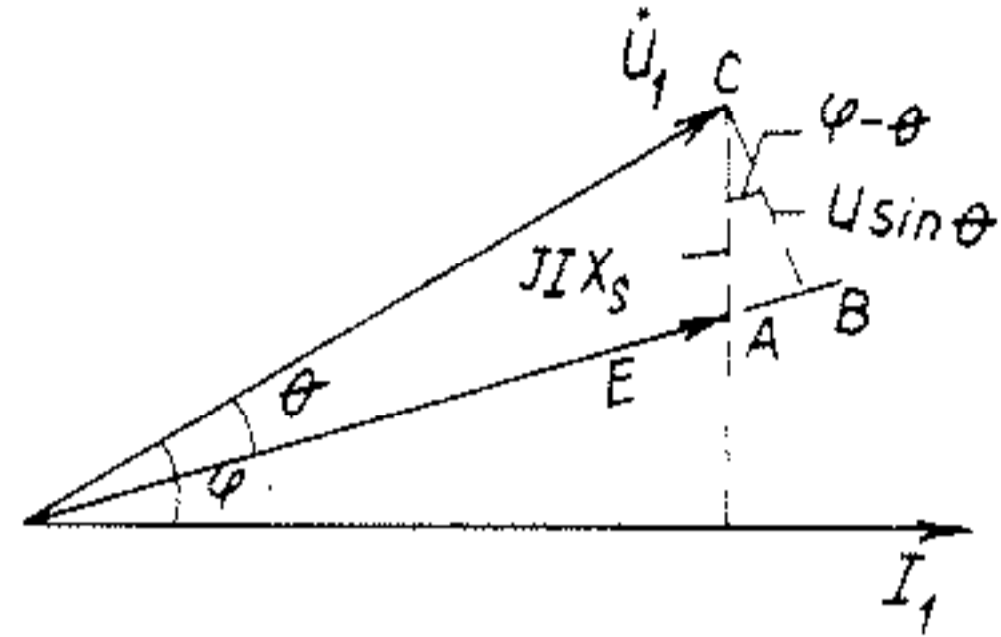
Thay vào phương trình trên ta được:

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

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

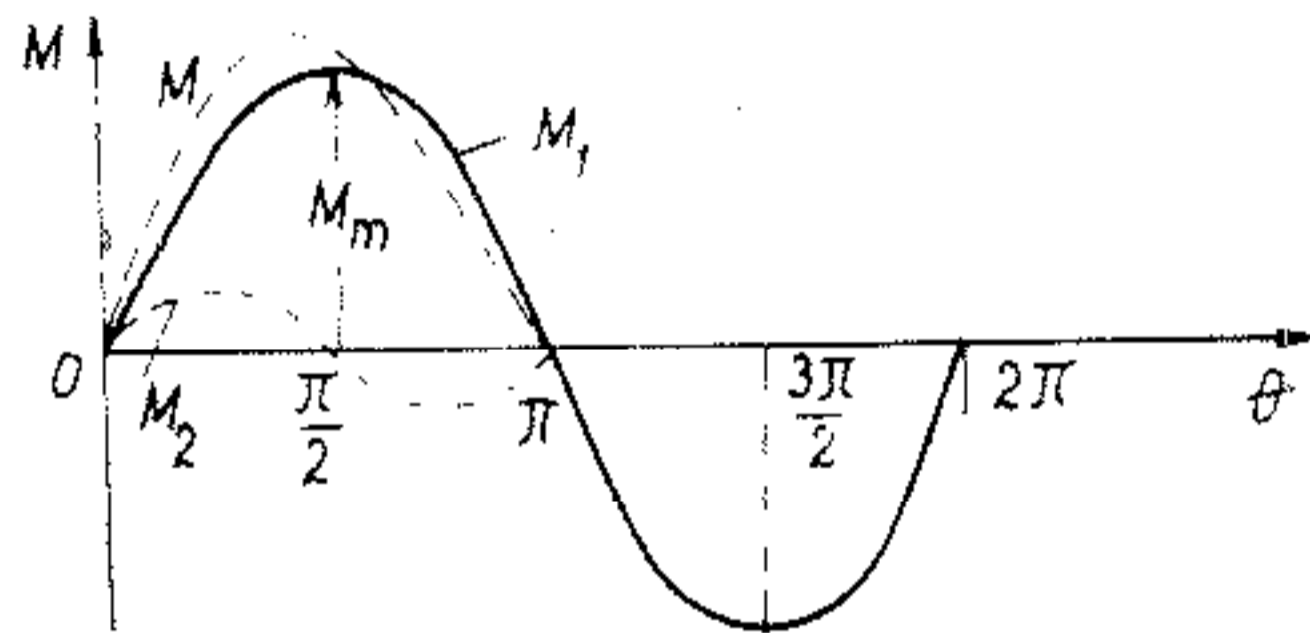
$$M = \frac{P}{\omega_1} = \frac{3EU_1}{\omega_1 X_s} \sin\theta \quad (2-114)$$

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  $\theta$  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.

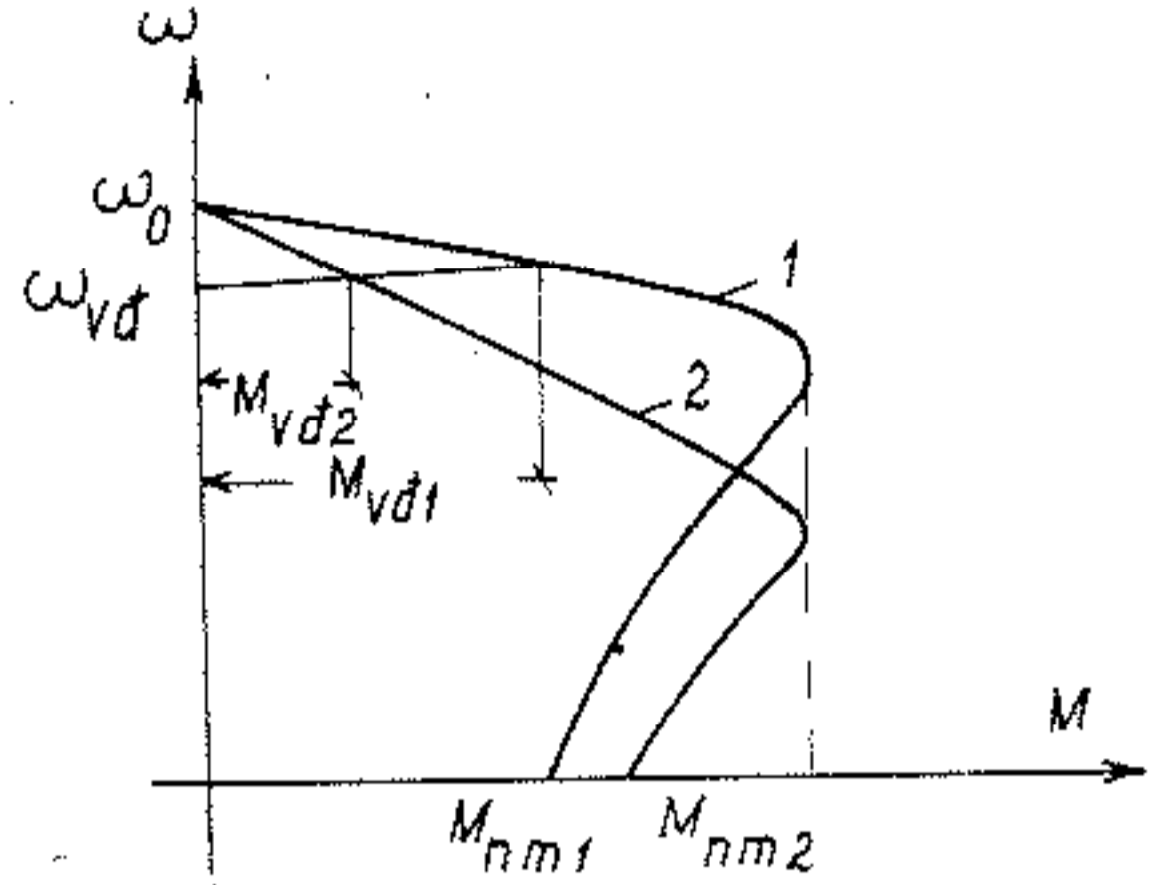
Đường 1: Đặc tính khởi động của động cơ có cuộn dây khởi động điện trở nhỏ.

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% ÷ 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.



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

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 ngắt mạch chúng.

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

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

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  $U_{kd} < U_{dm}$ .

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

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

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

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

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

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

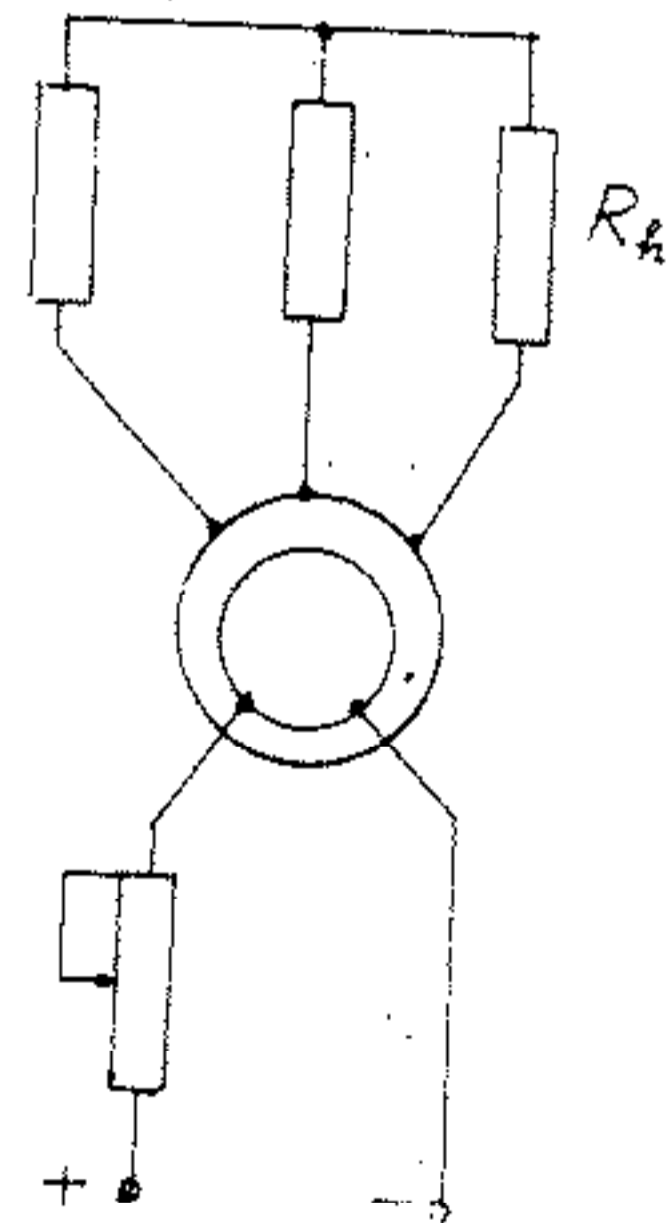
*b) Trạng thái hãm động cơ điện đồng bộ*

– 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  $(M, \omega)$ , 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 thuận 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:  $\omega_d$  – tốc độ đặt,

$\omega$  – 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  $\omega_i$  là giá trị tốc độ ổn định đạt được ở cấp  $i$ ,

$\omega_{i+1}$  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 giải 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  $\beta_1$  và  $\beta_2$ , mômen tải không đổi  $M_c$ , sai số tốc độ tương ứng sẽ là:

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

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

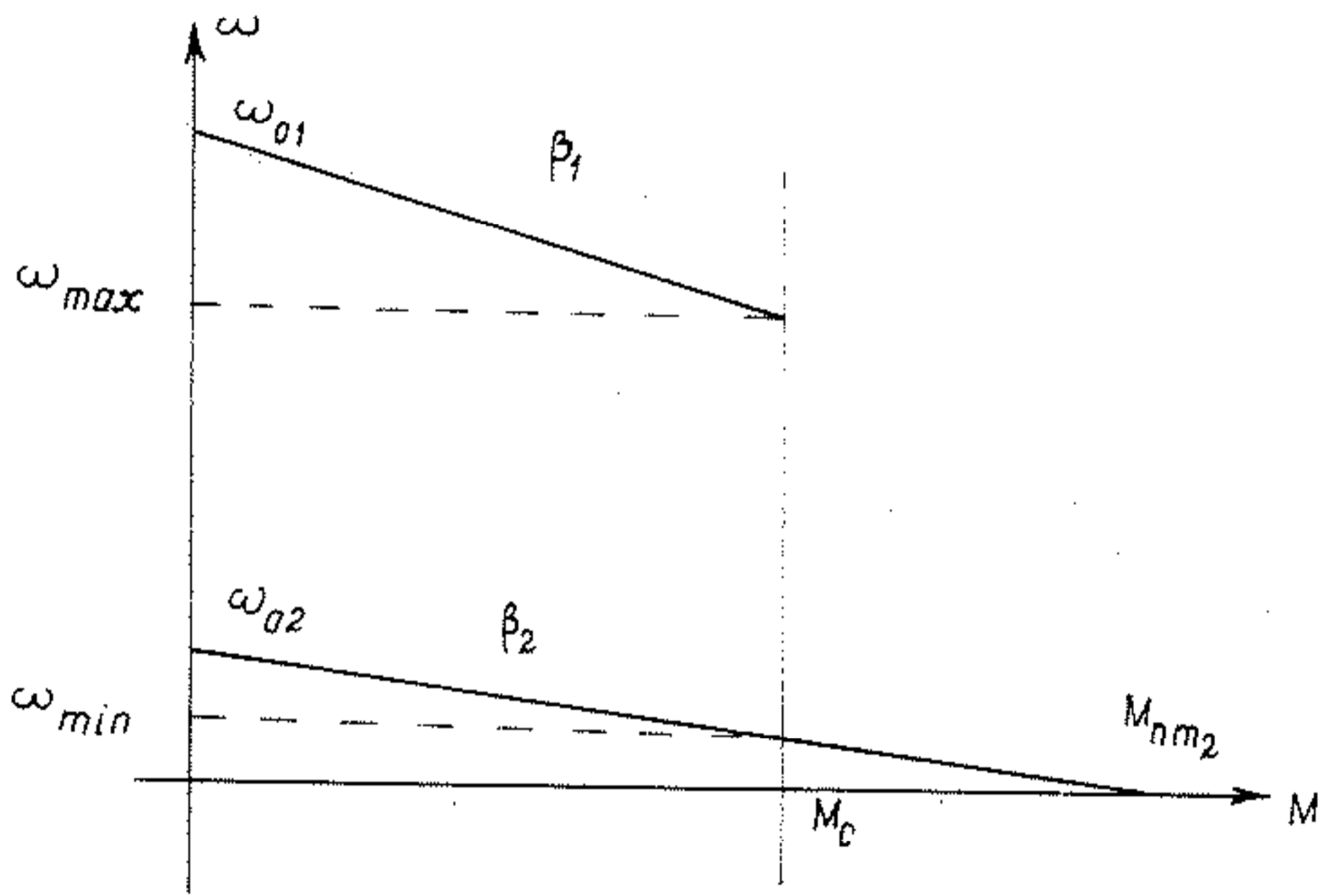
Nếu gọi bội số mômen khởi động là  $K_{nm2} = M_{nm2}/M_c$  thì:

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

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  $\sim B^2 f^2$ .

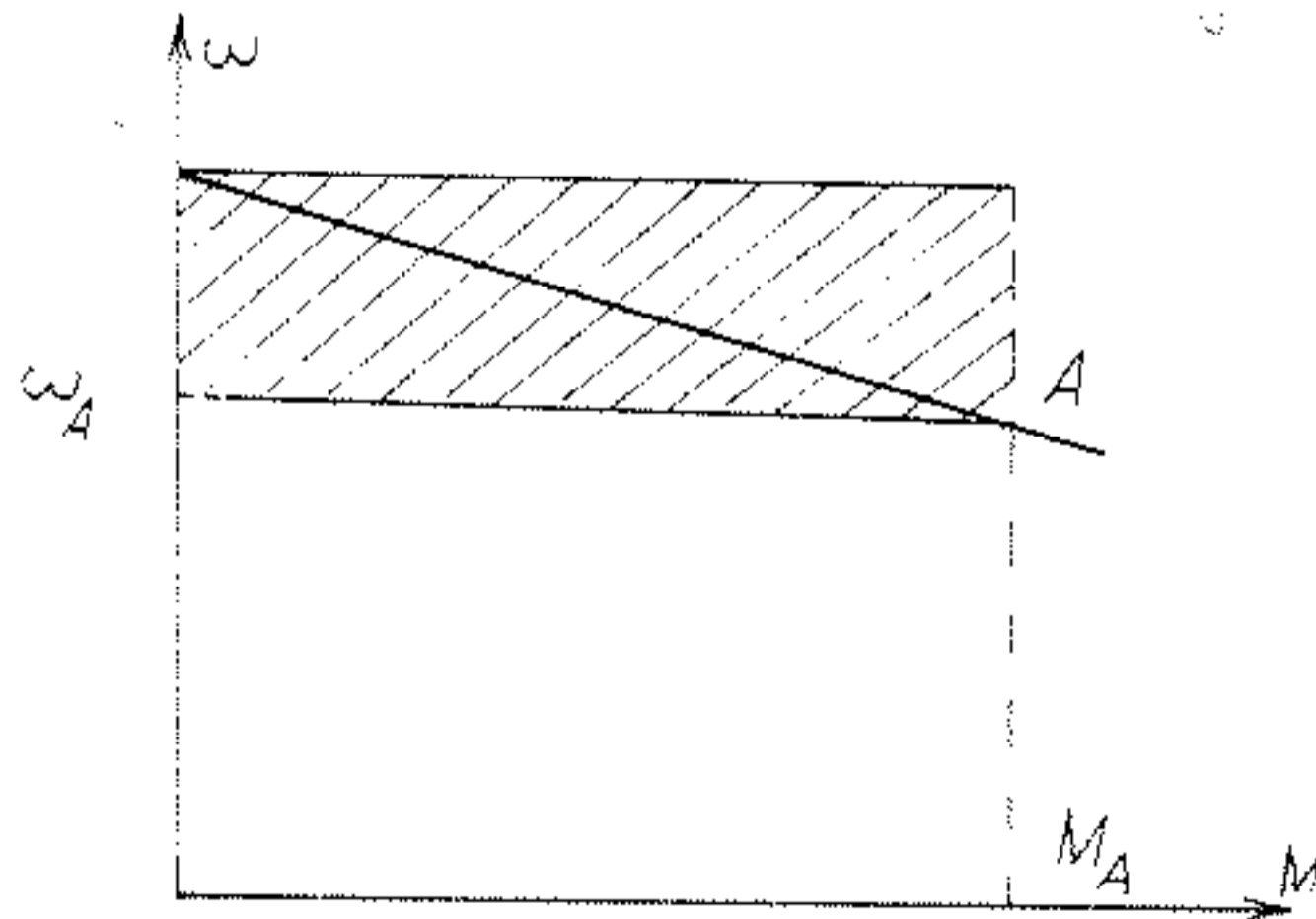
Có thể dùng công thức kinh nghiệm, gần đúng coi tổn thất trong mạch từ như sau:

$$\Delta P_{Fe} \sim B^2 f^{1.3}$$

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

$$\Delta P_{cơ} = f(\omega)$$

Ở mỗi phần của mạch lực lại có thể chia tổn thất thành hai loại: tổn thất không đổi  $\Delta P_0$  và tổn thất biến đổi phụ thuộc vào bình phương dòng điện  $\Delta P_{cu}$ . 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:

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

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  $\omega_1$  đến giá trị  $\omega_2$  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.

$$\Delta W = \int_{t_1}^{t_2} M(\omega_0 - \omega) dt = \Delta W_j + \Delta W_{c\sigma, r} \quad (3-5)$$

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.

$$\Delta W_j = \int_{\omega_1}^{\omega_2} J_{\Sigma}(\omega_0 - \omega) d\omega.$$

Còn tổn thất cơ học trên tải là:

$$\Delta W_{c\sigma, r} = \int_{t_1}^{t_2} M_c(\omega_0 - \omega) dt.$$

## 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 (*BBĐXA*).

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-D*)
- Hệ truyền động máy điện khuếch đại - động cơ (*MĐKD-D*)
- Hệ truyền động khuếch đại từ - động cơ (*KDT-D*)

- Hệ truyền động chỉnh lưu tiristo-động cơ ( $T-D$ )
- Hệ truyền động xung áp-động cơ ( $XA-D$ ).

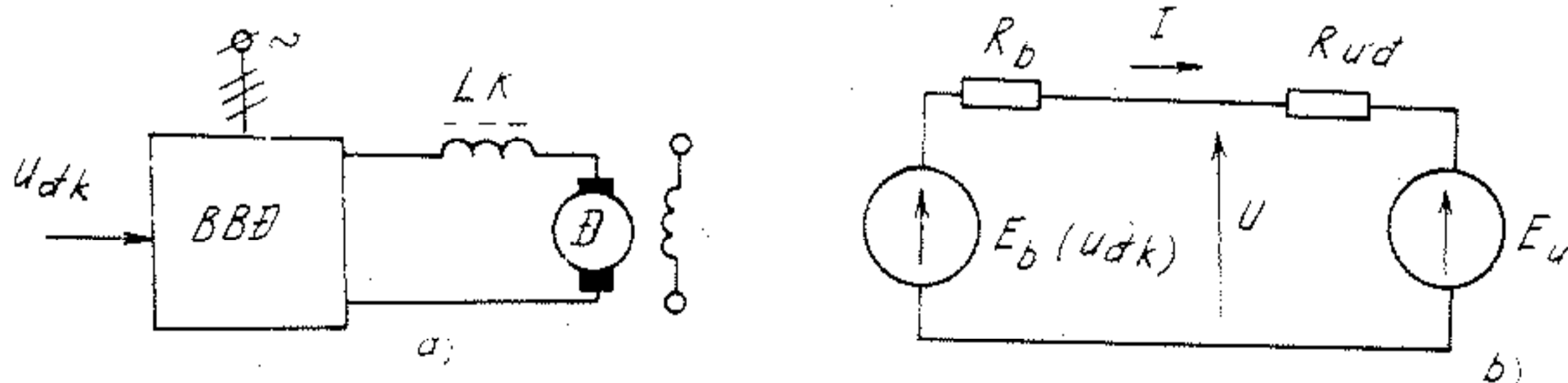
Theo cấu trúc mạch điều khiển các hệ truyền động, điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều có loại điều khiển theo mạch kín (ta có hệ truyền động điều chỉnh tự động) và loại điều khiển mạch hở (hệ truyền động điều khiển "hở"). Hệ điều chỉnh tự động truyền động điện có cấu trúc phức tạp, nhưng có chất lượng 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:

$$E_b - E_u = I_u (R_b + R_{ud})$$

$$\omega = \frac{E_b}{K \cdot \Phi_{dm}} - \frac{R_b + R_{ud}}{K \cdot \Phi_{dm}} I_u \quad (4-1)$$

$$\omega = \omega_o (U_{dk}) - \frac{M}{|\beta|}$$

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

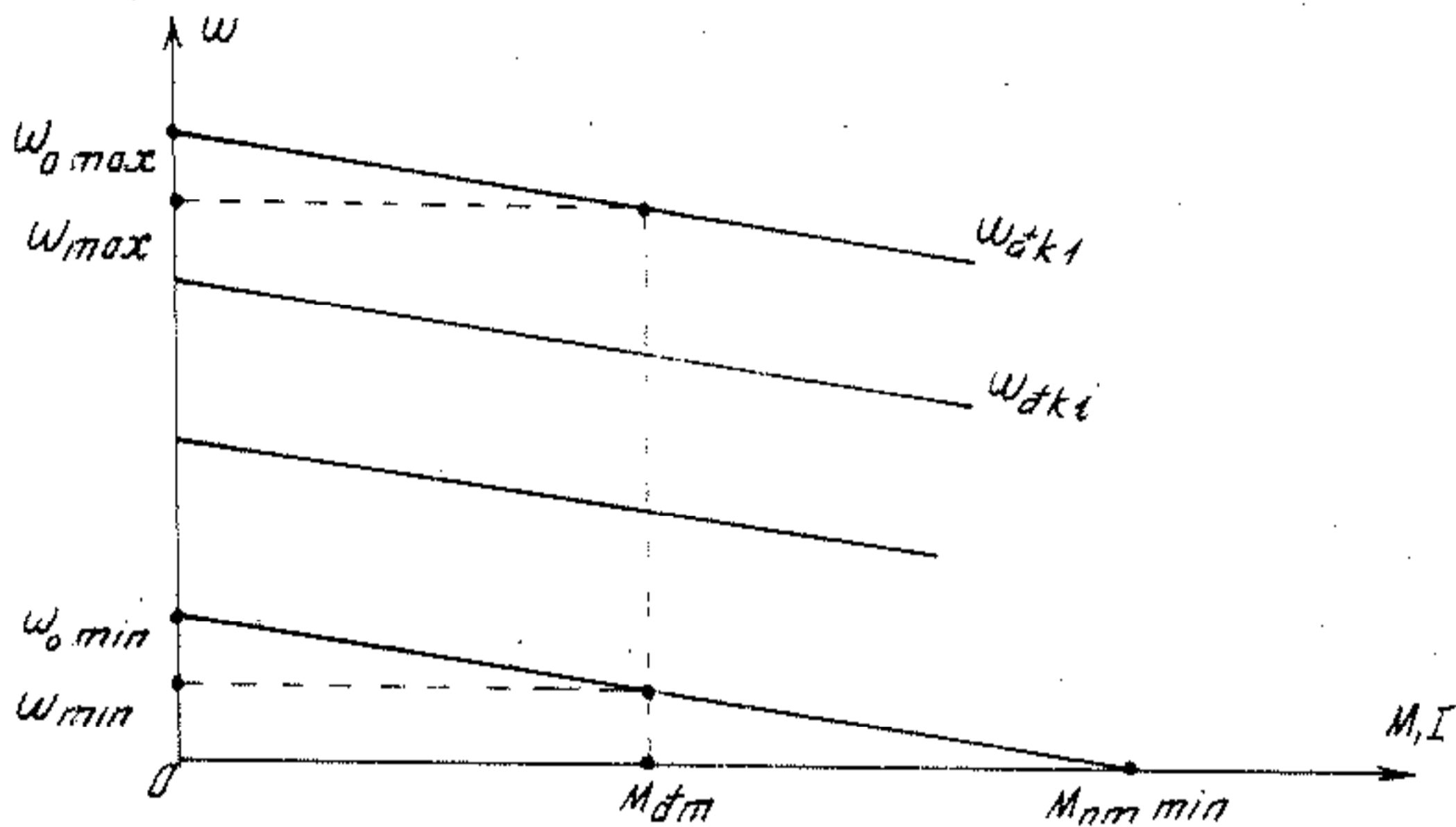
$$M_{nmmmin} = M_{cmax} = K_M \cdot M_{dm}$$

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

$$\omega_{\min} = (M_{\text{nmmin}} - M_{\text{đm}}) \frac{1}{|\beta|} = \frac{M_{\text{đm}}}{|\beta|} (K_M - 1)$$

$$D = \frac{\omega_{\text{omax}} - \frac{M_{\text{đm}}}{|\beta|}}{(K_M - 1)M_{\text{đm}}/|\beta|} = \frac{\omega_{\text{omax}} \cdot |\beta|}{M_{\text{đm}} - 1} - 1 \quad (4-3)$$



Hình 4-2. Xác định phạm vi điều chỉnh.

Với một cơ cấu máy cụ thể thì các giá trị  $\omega_{\text{omax}}$ ,  $M_{\text{đm}}$ ,  $K_M$  là xác định, vì vậy phạm vi điều chỉnh  $D$  phụ thuộc tuyến tính vào giá trị của độ cứng  $\beta$ . 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:

$$\omega_{\text{omax}} \cdot |\beta| / M_{\text{đm}} \leq 10.$$

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  $M_{\text{dm}}$ ,  $\omega_{\text{omin}}$ ,  $s_{\text{cp}}$  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.

$$E_b = E_u + I_u(R_b + R_{ud})$$

$$I_u E_b = I_u E_u + I_u^2(R_b + R_{ud})$$

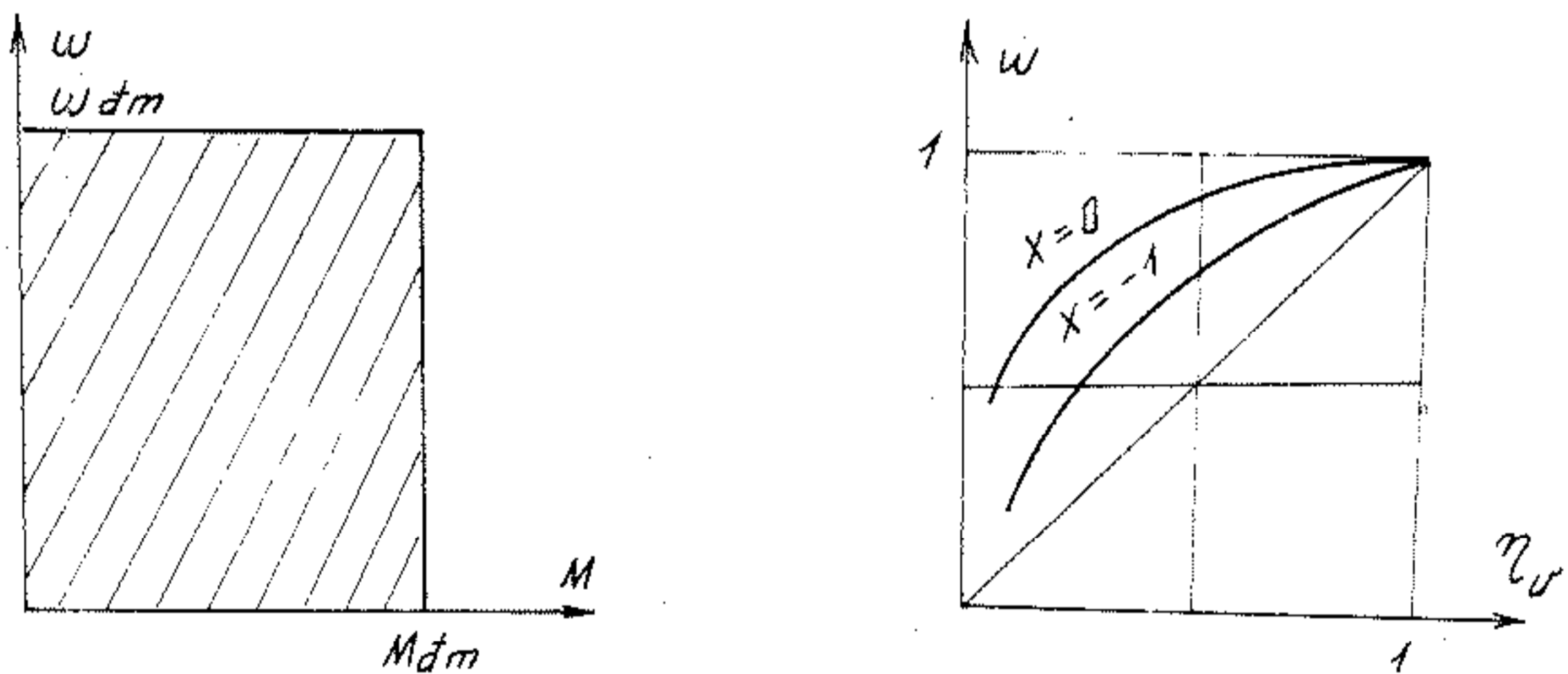
Nếu đặt  $R_b + R_{ud} = R$  thì hiệu suất biến đổi năng lượng của hệ sẽ là:

$$\eta_u = \frac{I_u E_u}{I_u E_u + I_u^2 R} = \frac{\omega}{\omega + \frac{MR}{(K\Phi_{dm})^2}}$$

$$\eta_u = \frac{\omega^*}{\omega^* + M^* R^*}$$

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

$$\eta_u = \frac{\omega^*}{\omega^* + R^* (\omega^*)^{x-1}} \quad (4-5)$$



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 phản ứng là rất thích hợp trong trường hợp mômen tải là hằng số trong toàn dải điều chỉnh. Cũng thấy rằng không nên

nổi 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:

$$i_k = \frac{e_k}{r_b + r_k} + w_k \frac{d\Phi}{dt}, \quad (4-6)$$

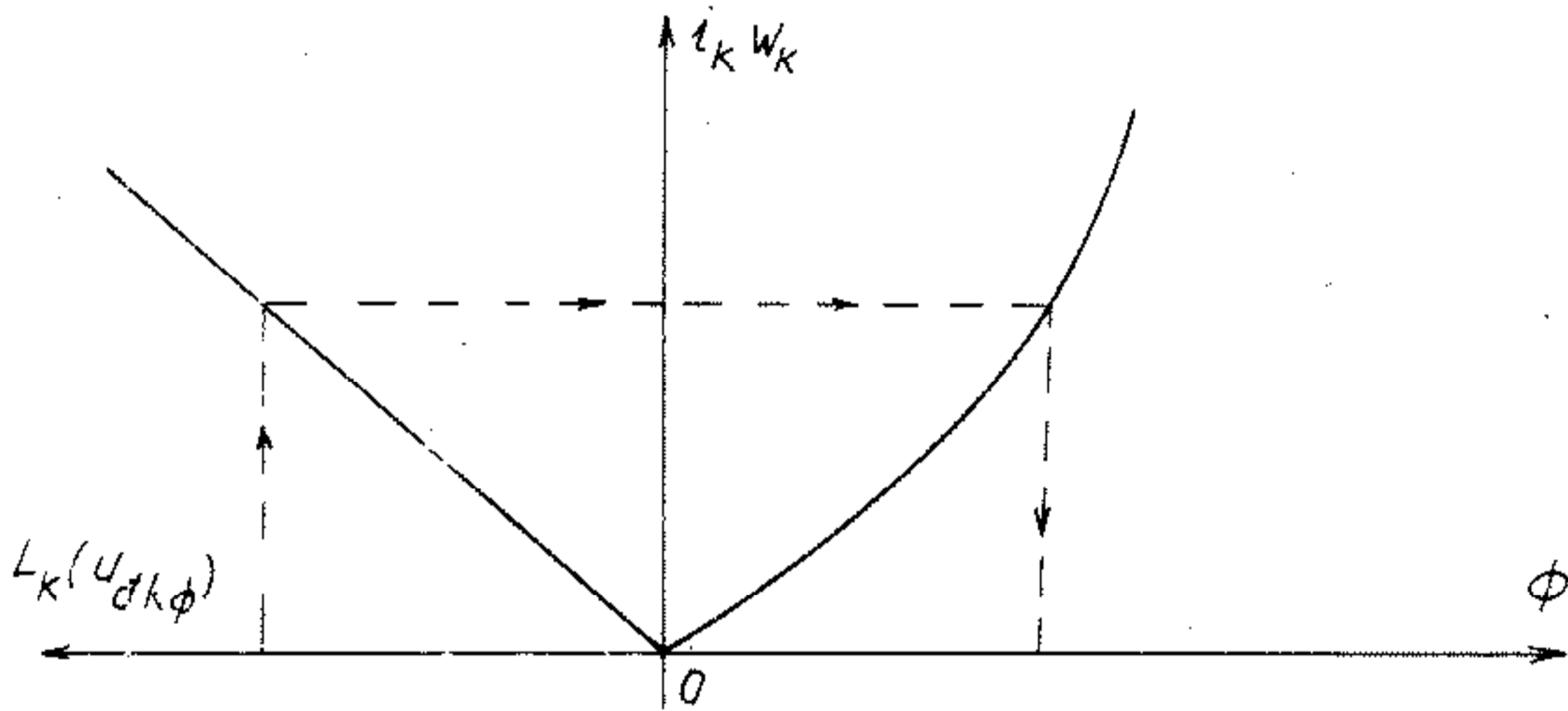
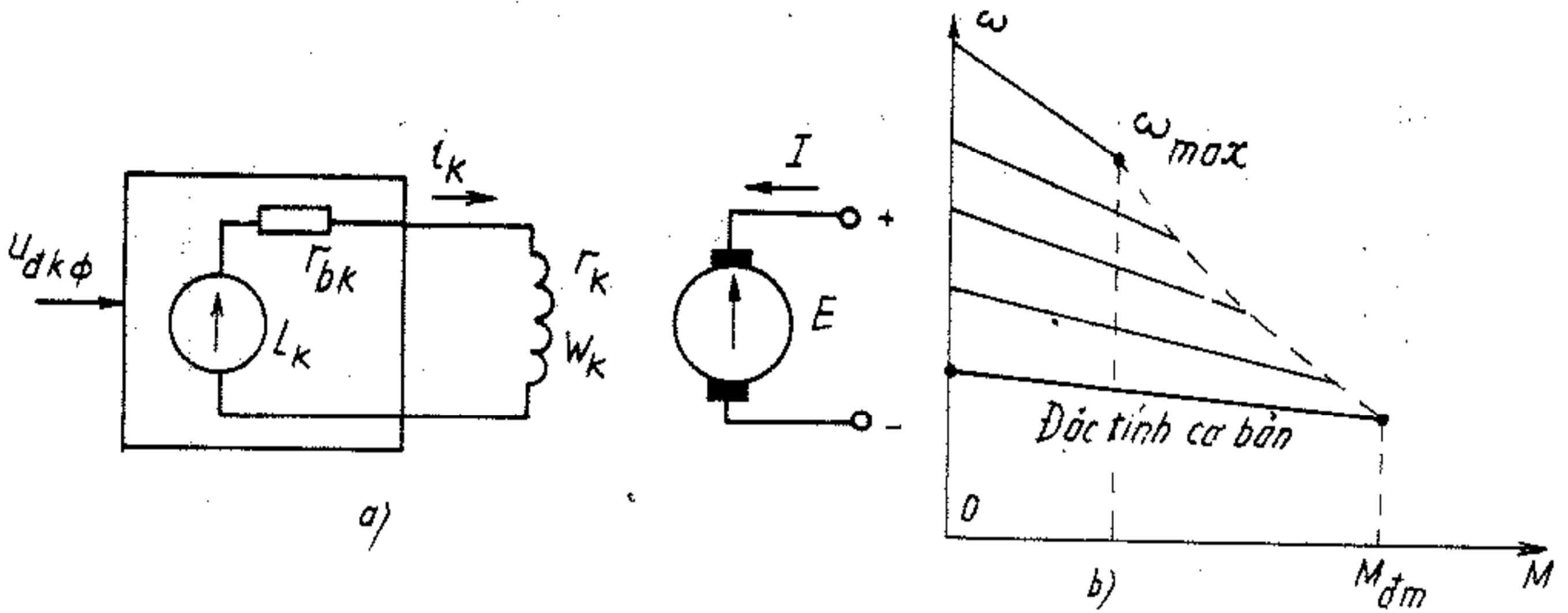
trong đó  $r_k$  - điện trở dây quấn kích thích,  
 $r_b$  - điện trở của nguồn điện áp kích thích,  
 $w_k$  - số vòng dây của dây quấn kích thích.

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 phản 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,

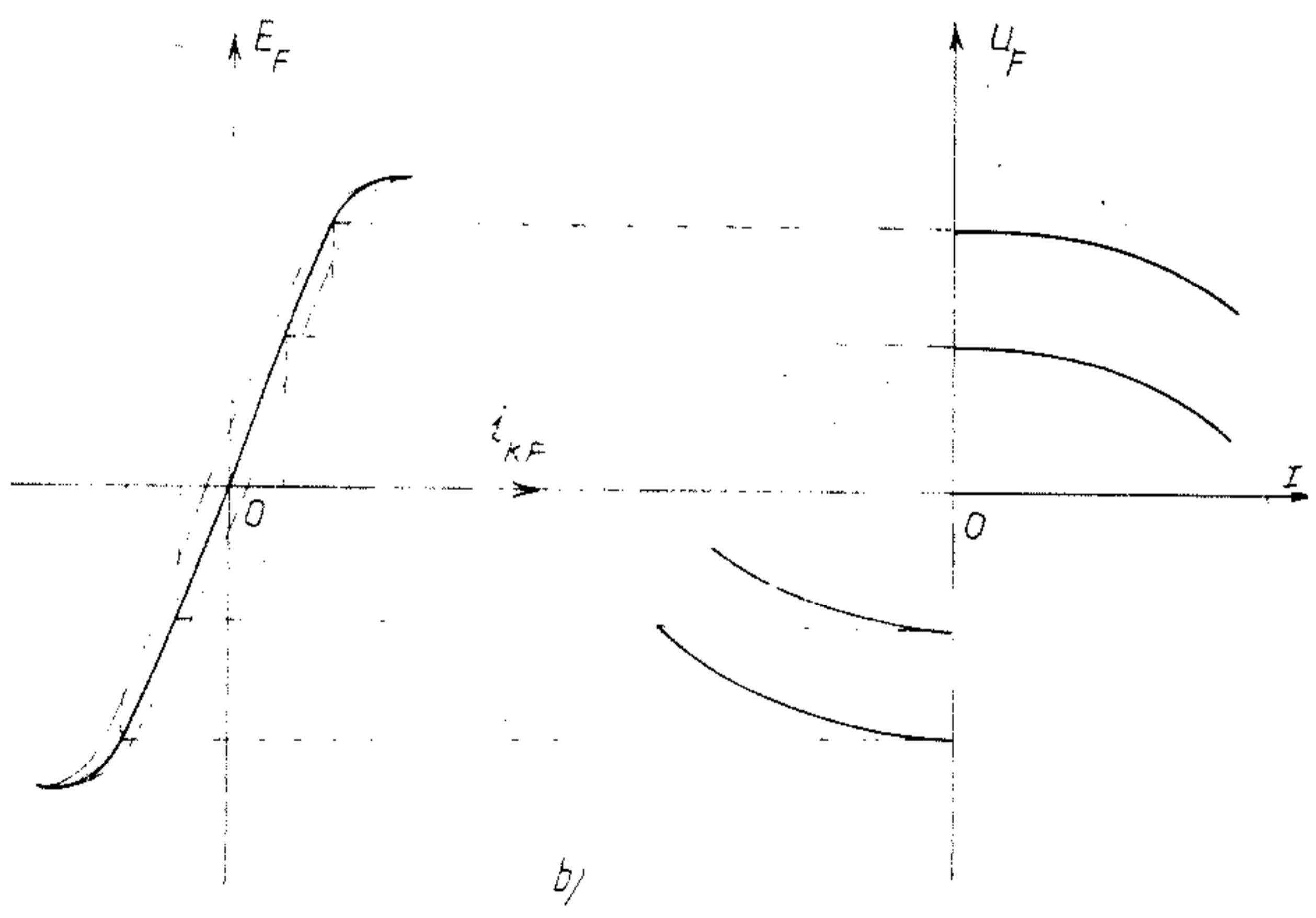
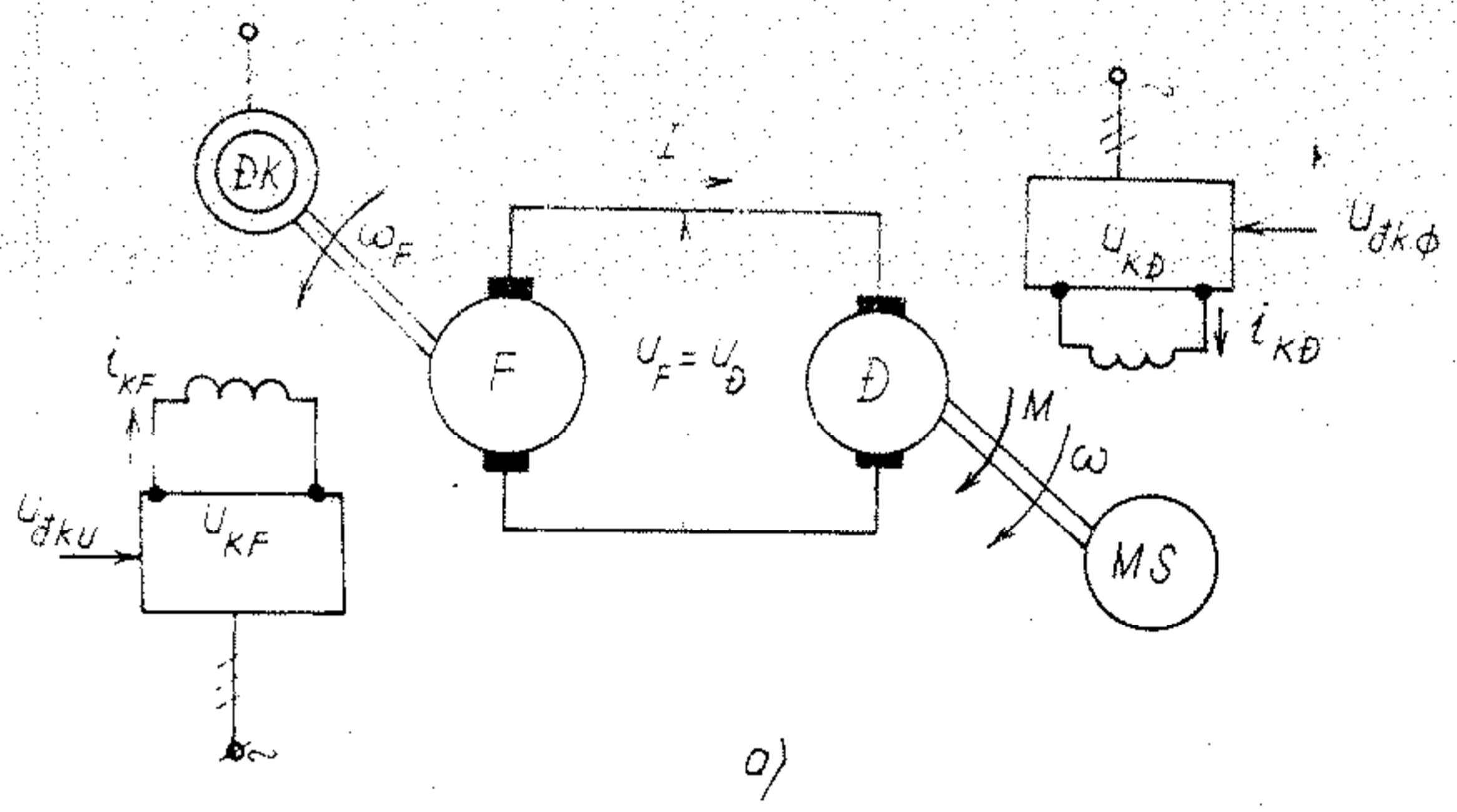
$C = \Delta\Phi_F/\Delta i_{KF}$  là hệ số góc của đặc tính từ hóa.

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 đồng cơ a) Sơ đồ nguyên lý  
 b) Các đặc tính tự hóa và đặc tính tải



Nếu đặt  $R = R_{\text{đl}} + R_{\text{đl}}$  thì có thể viết được phương trình các đặc tính của hệ  $F-D$  như sau:

$$\left. \begin{aligned} \omega &= \frac{K_1}{K_\Phi} U_{\text{Kl}} - \frac{RI}{K_\Phi} \\ \omega &= \frac{K_1}{K_\Phi} U_{\text{Kl}} - \frac{R}{(K_\Phi)^2} M \\ \omega &= \omega_0(U_{\text{Kl}}, U_{\text{KD}}) - \frac{M}{\beta(U_{\text{KD}})} \end{aligned} \right\} (4-9)$$

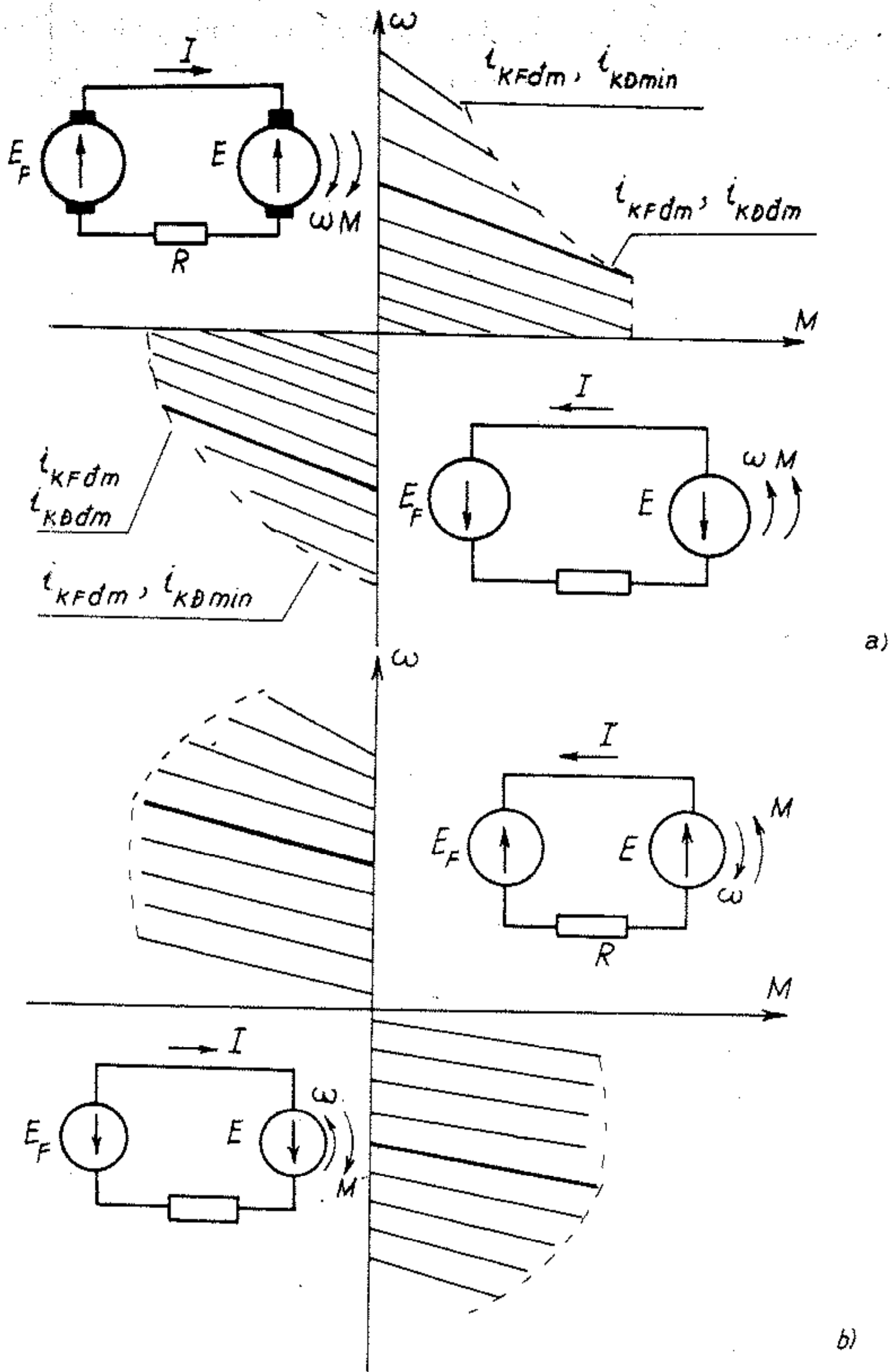
Các biểu thức (4-9) chứng tỏ rằng, khi điều chỉnh dòng điện kích thích của máy phát thì điều chỉnh được tốc độ không tải của hệ thống còn độ cứng đặc tính cơ thì giữ nguyên. Cũng có thể điều chỉnh kích từ của động cơ để có dải điều chỉnh tốc độ rộng hơn.

#### 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 xúng đối nhau và  $|E_F| > |E|$ ,  $|\omega_c| > |\omega|$ . Công suất điện từ của máy phát và động cơ là

$$\left. \begin{aligned} P_F &= E_F \cdot I > 0 \\ P_D &= E \cdot I < 0 \\ P_{\text{cơ}} &= M \cdot \omega > 0 \end{aligned} \right\} (4-10)$$



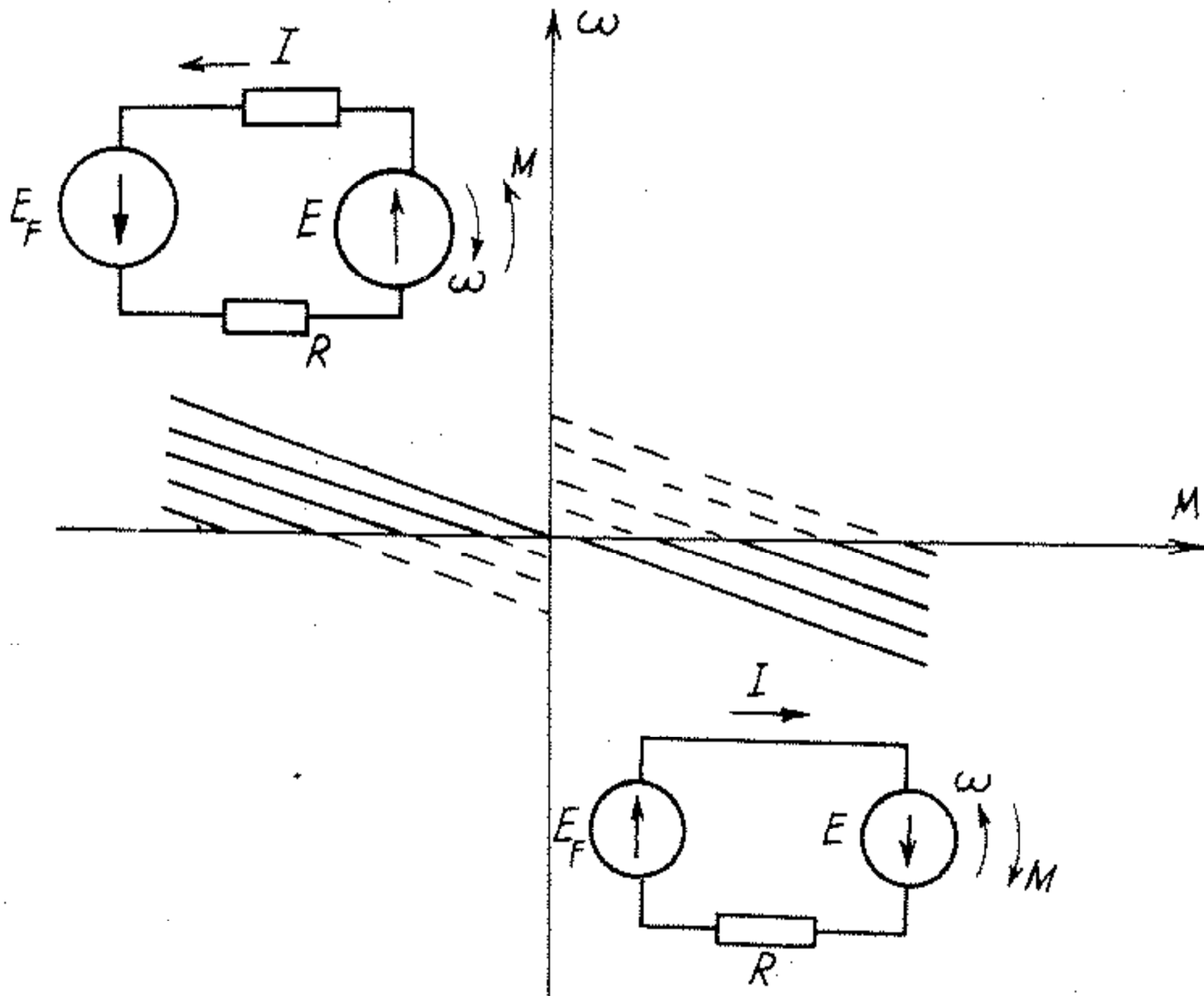
Hình 4-6. Đặc tính cơ hệ F-D. a) Trong chế độ động cơ; b) Trong chế độ hãm tái sinh

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:

$$\begin{aligned} P_F &= E_F \cdot I < 0 \\ P_D &= E \cdot I > 0 \\ P_{cơ} &= M \cdot \omega < 0. \end{aligned} \tag{4-11}$$

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-D 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:

$$P_F = E_F \cdot I > 0$$

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

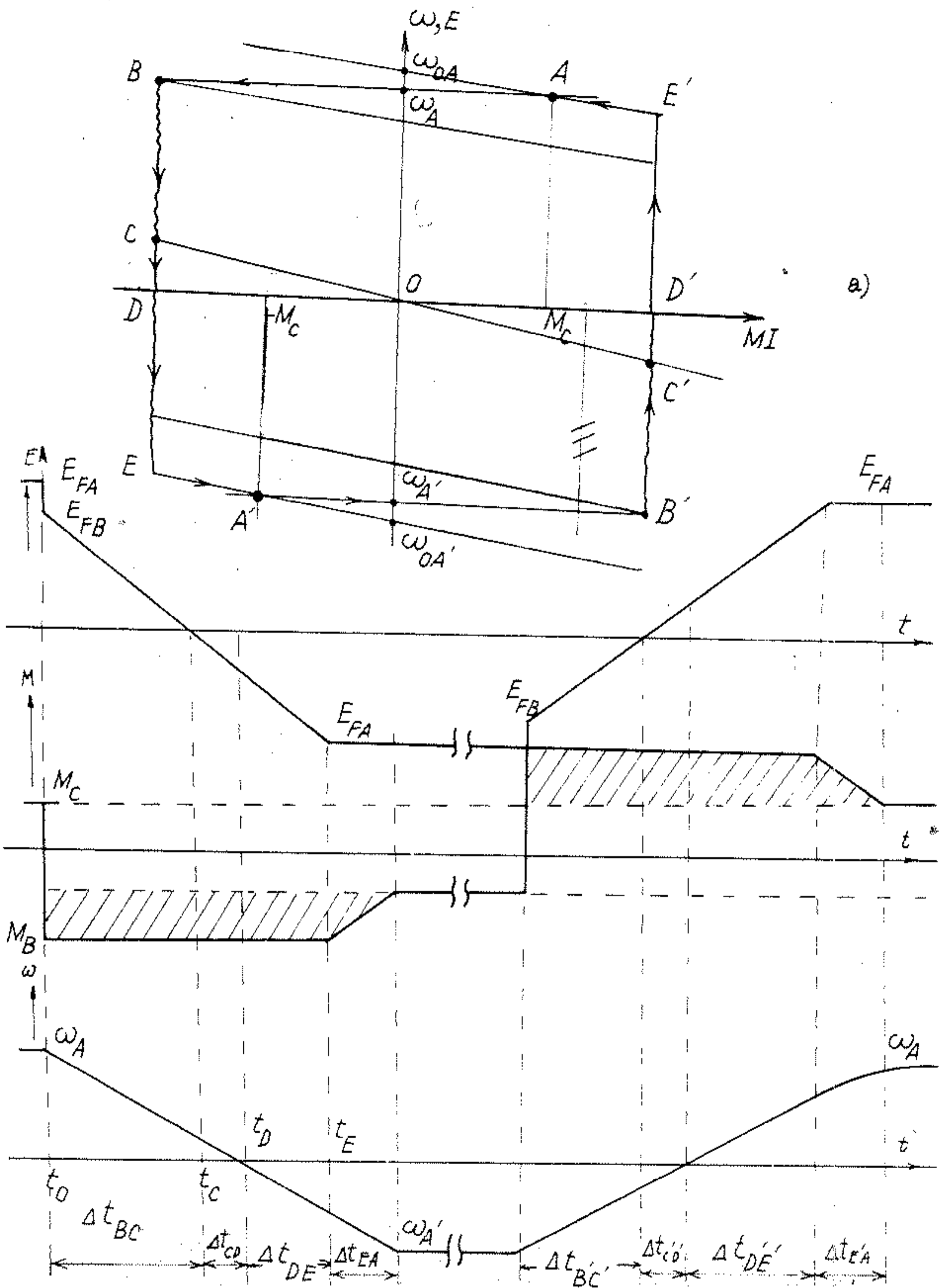
$$P_{co} = M \cdot \omega < 0.$$

Hai nguồn sđđ  $E$  và  $E_F$  cùng chiều và cùng cung cấp cho điện trở mạch phản 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 CHÍNH LƯU - ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU

#### 4-5.1. Chính 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 số  $E_d$  phụ thuộc vào giá trị của pha xung điều khiển (góc điều khiển). Chính 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 phần ứng động cơ ( $L - R - E$ ). Để tìm hiểu hoạt động của hệ  $CL - Đ$  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:

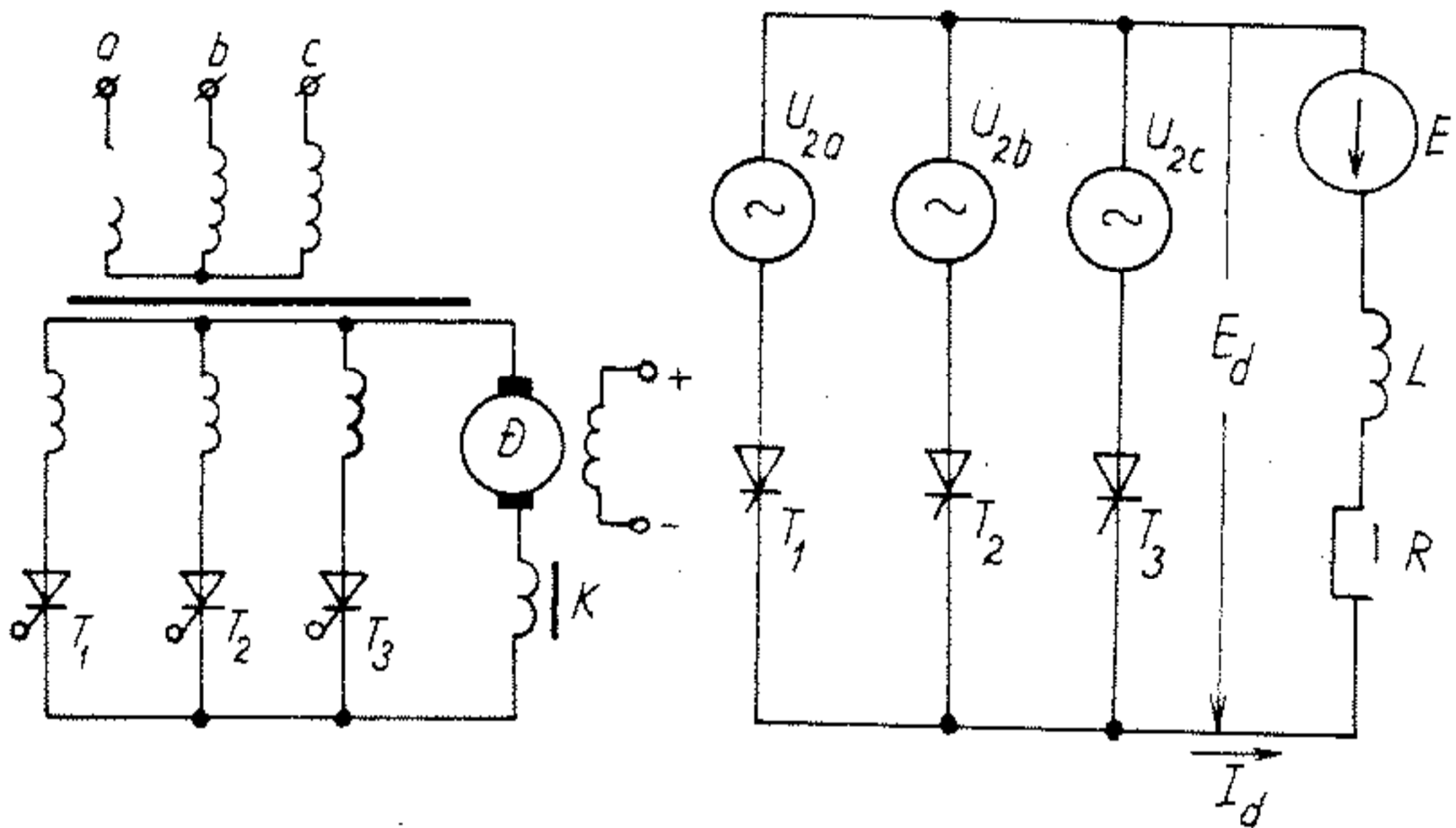
$$E_d = \frac{p}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha + 2\pi/p} U_{2m} \sin\theta \cdot d\theta = E_{do} \cos \alpha, \quad (4-12)$$

$$\theta = \omega_e t,$$

$$\alpha = \alpha_o - \left( \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p} \right),$$

$$E_{do} = \frac{p}{\pi} \sin \frac{\pi}{p} U_{2m}$$

- trong đó:  $\omega_c$  – tần số góc của điện áp xoay chiều;  
 $\alpha$  – góc mở van (hay góc điều khiển) tính từ thời điểm chuyển mạch tự nhiên;  
 $\alpha_0$  – góc điều khiển tính từ thời điểm sđd 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:

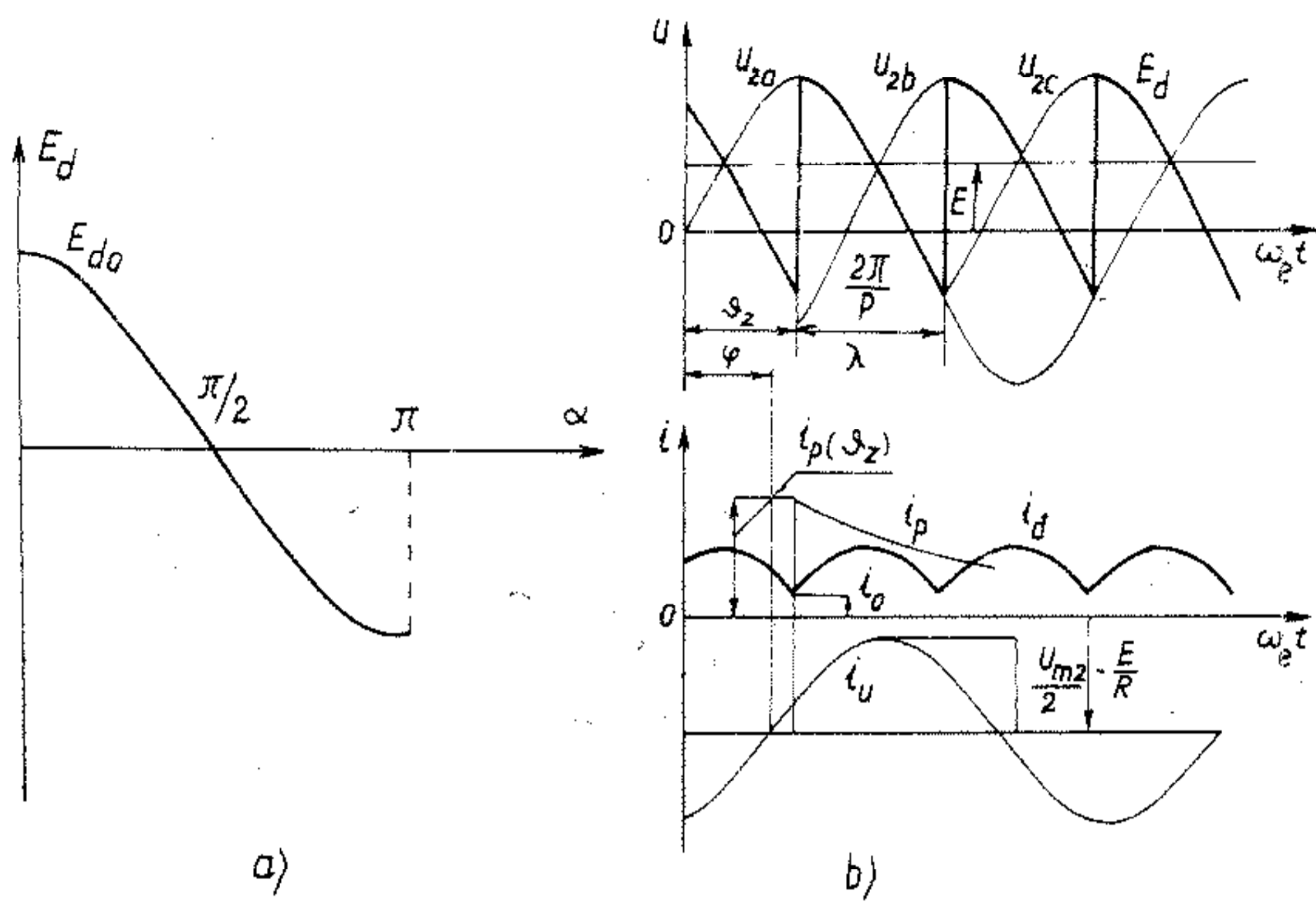
$$U_{2m} \sin(\theta + \alpha_0) = E + Ri_d + L \frac{di_d}{dt}$$

với sơ kiện khi  $\theta = \alpha_0$  thì  $i_d = I_0$ , có nghiệm sau:

$$i_d = [RI_0 + E - U_{2m} \cos \varphi \sin(\alpha_0 - \varphi)] \cdot e^{-(\theta - \alpha_0) \cot \varphi} - [E - U_{2m} \cos \varphi \sin(\theta - \varphi)] \quad (4-13)$$

trong đó  $\varphi = \arctg \frac{\omega_c L}{R}$





Hình 4-10. Chỉnh lưu hình tia ba pha. a) Đặc tính điều chỉnh b) Đồ thị thời gian.

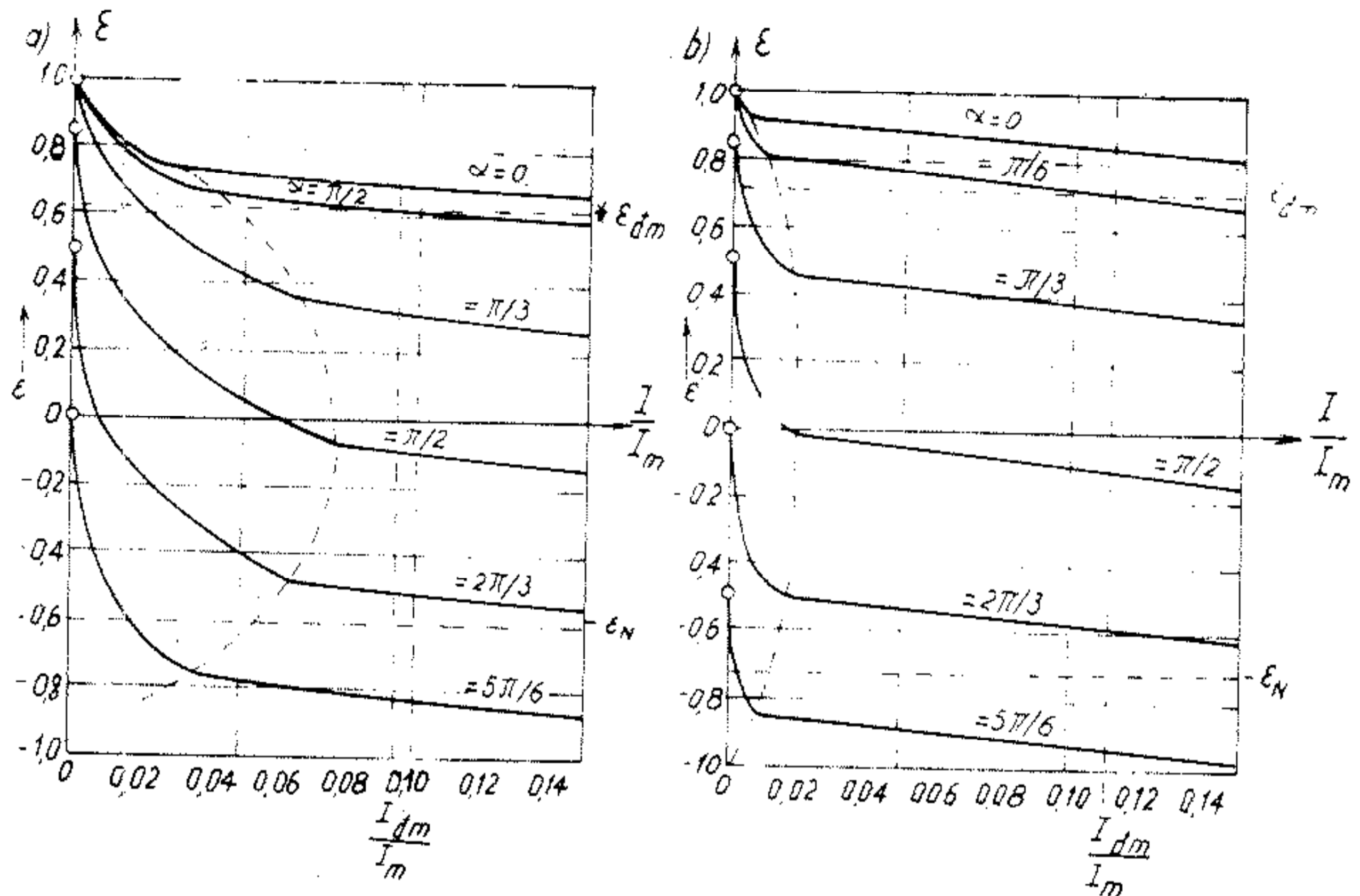
Nếu gọi góc dẫn của van là  $\lambda$  thì có thể tính được thành phần một chiều của dòng điện chỉnh lưu, chính là thành phần sinh mômen quay của động cơ:

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{p}{2\pi} \int_0^\lambda i_d \cdot d\theta \\
 &= \frac{p}{2\pi R} \left[ U_{2m} \sin \frac{\lambda}{2} \cdot \sin \left( \alpha_0 + \frac{\lambda}{2} \right) - \frac{\lambda}{2} E \right]. \quad (4-14)
 \end{aligned}$$

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:  $P_{dm} = 14.5 \text{ kW}$ ;  $U_{dm} = 220\text{V}$ ;  $I_{dm} = 79\text{A}$ ;  $\omega_{dm} = 112\text{s}^{-1}$ ;  $R = 0,37\Omega$ ;  $L = 4,9\text{mH}$ ;  $\eta_{dm} = 0,833$ .

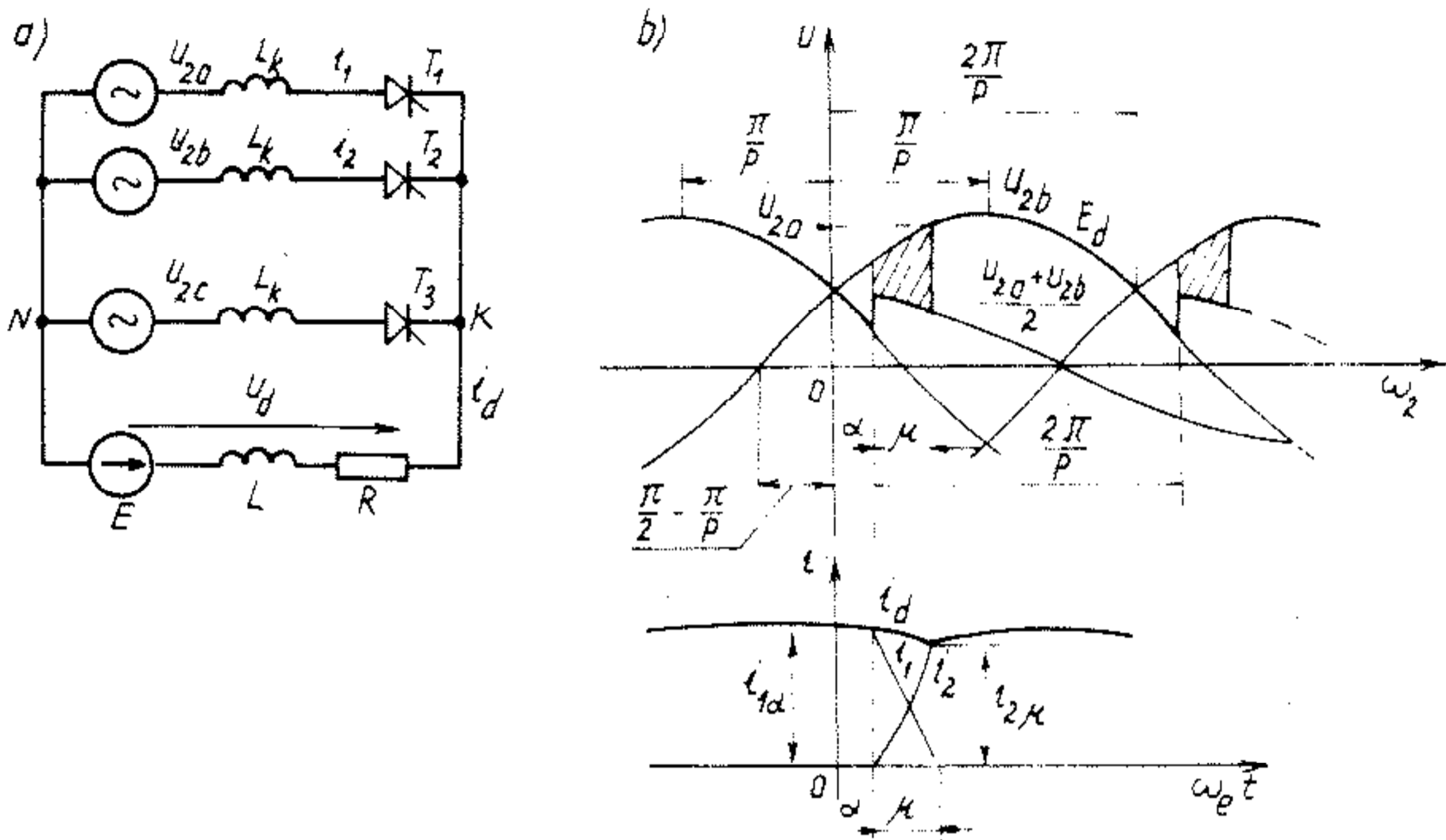


Hình 4-11. Đặc tính tốc độ ở hệ đơn vị tương đối  $\varepsilon = (I^*)$  của động cơ khi nối với chỉnh lưu điều khiển.

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 qua 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 sốđ chỉnh lưu bằng trung bình cộng của điện áp hai pha. Phương trình cân bằng điện áp cho các pha lúc chuyển mạch là:

$$U_{2a} - L_k \frac{di_1}{dt} = E_d$$

$$U_{2b} - L_k \frac{di_2}{dt} = E_d$$

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:

$$i_2 = I_{mk}(\cos\alpha - \cos\theta), \quad (4-17)$$

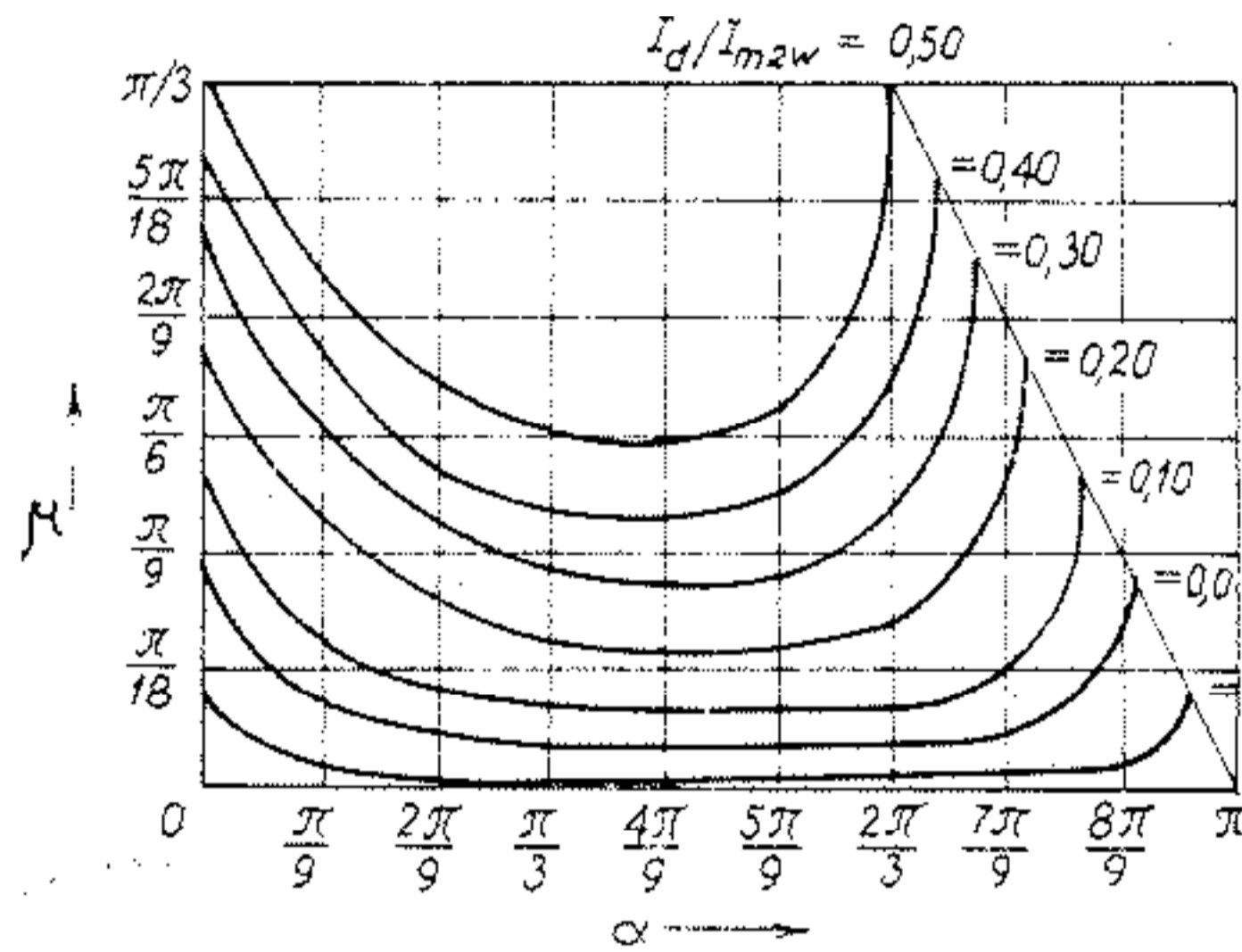
trong đó

$$I_{mk} = \frac{U_{2m} \cdot \sin\pi/p}{\omega_e L_k}$$

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  $\mu$ :

$$\mu = \arccos\left(\cos\alpha - \frac{I_d}{I_{mk}}\right) - \alpha$$

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 4-19b). Giá trị trung bình của sụt áp do chuyển mạch được tính như sau:



Hình 4-13. Quan hệ giữa góc chuyển mạch  $\mu$  và góc điều khiển  $\alpha$  ứng với các dòng điện chỉnh lưu khác nhau.

$$\Delta U_k = \frac{pL_k \cdot \omega_e}{2\pi} \cdot I_d = X_k I_d$$

### 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 số chỉnh lưu bằng số nguồn:

$$e_d = U_2, \quad 0 \leq \theta \leq \alpha_0 + \lambda$$

Khi dòng điện bằng không, số chỉnh lưu bằng số của động cơ điện:

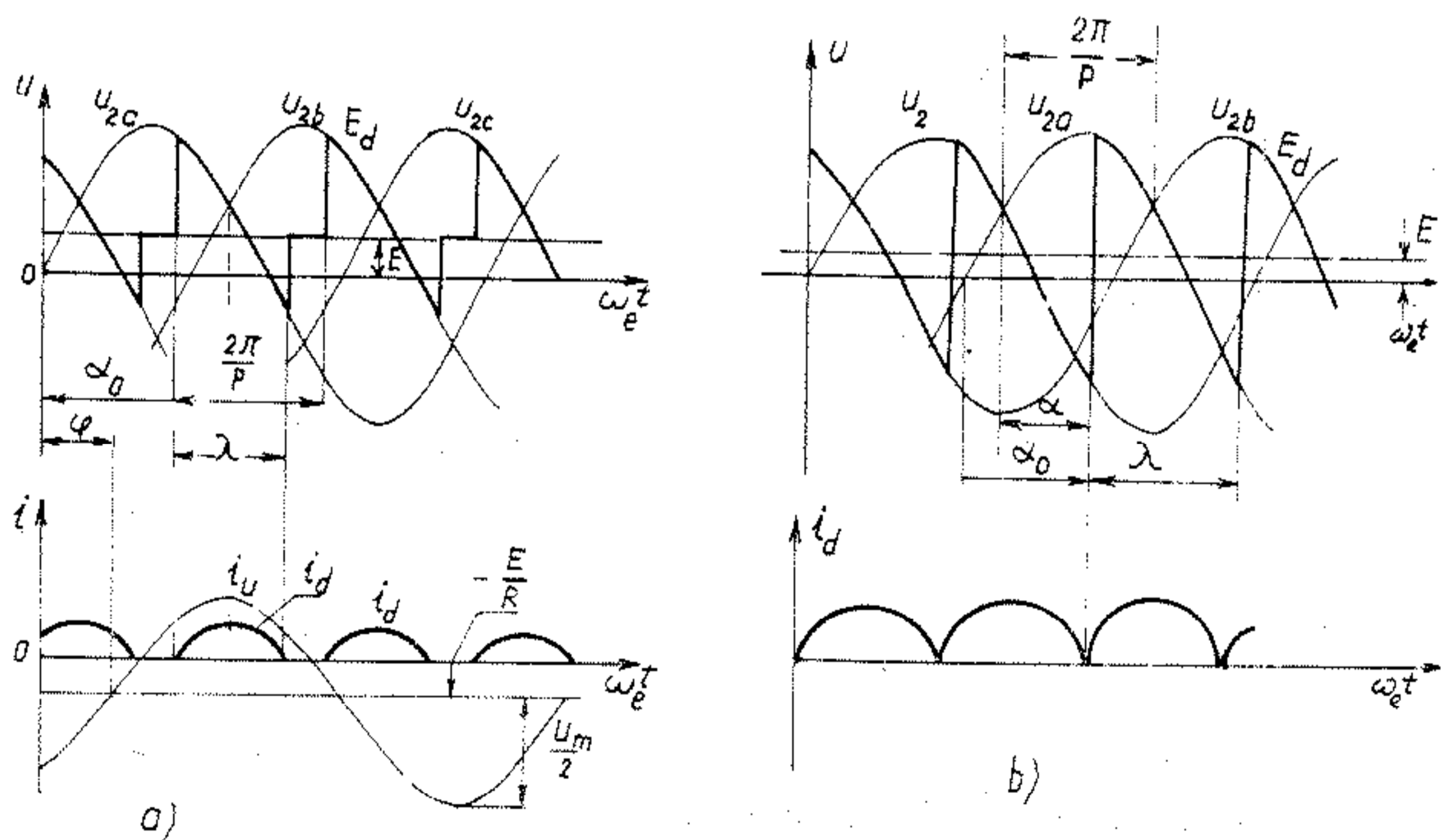
$$e_d = E; \quad \alpha_0 + \lambda < \theta \leq 2\pi/p.$$

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 phản 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  $\lambda$  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  $\lambda$ ,  $\alpha_0$ ,  $\varepsilon$ , 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 ( $\varepsilon$ ) thì góc dẫn  $\lambda$  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  $\lambda$  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 sdd  $E$  (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  $\varepsilon_{\text{blt}} = E/U_{2m}$ ,  $I_{\text{blt}}^* = I \omega_e L / U_{2m}$ , 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 trong sơ đồ H.4-14 ta tăng góc mở của các van đến giá trị gần bằng  $\pi$  và đảo chiều sđđ  $E$  bằng cách dùng ngoại lực bắt rôto động cơ quay ngược, hoặc đảo chiều dòng điện kích từ động cơ thì dòng điện chỉnh lưu vẫn theo chiều cũ nhưng sđđ chỉnh lưu đã đảo dấu do các van dẫn dòng trong thời gian điện áp anốt âm. Công suất điện từ của động cơ và của chỉnh lưu là:

$$P_{\text{dt}} = E \cdot I_d > 0,$$

$$P_d = E_d \cdot I_d < 0.$$

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  $\mu_{2a}$  bắt đầu dương hơn  $U_{2b}$ . Thời gian của quá trình này gọi là thời gian khóa  $\delta$ . Như vậy nếu tính cả góc chuyển mạch  $\mu$  thì điều kiện an toàn để bộ biến đổi có thể làm việc ở chế độ nghịch lưu phụ thuộc là:

$$\alpha < \alpha_{\text{max}} = \pi - \mu_{\text{max}} - \delta \quad (4-30)$$

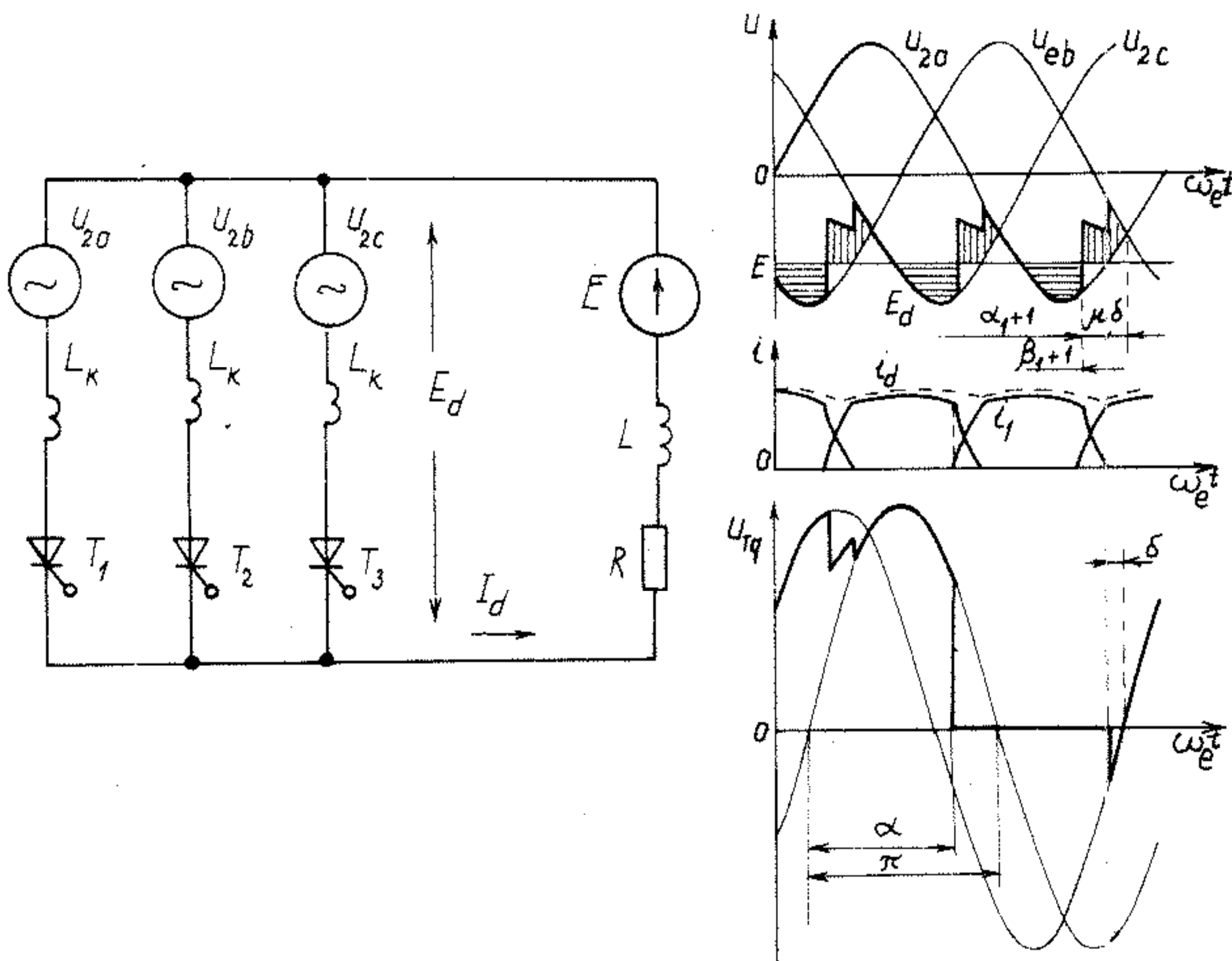


Khi biểu diễn các quan hệ của bộ biến đổi ở chế độ nghịch lưu phụ thuộc thường dùng khái niệm góc thông sớm  $\beta$  thay cho khái niệm góc mở (góc thông chậm)  $\alpha$ :

$$\beta = \pi - \alpha.$$

Như vậy điều kiện an toàn (4-22) sẽ là

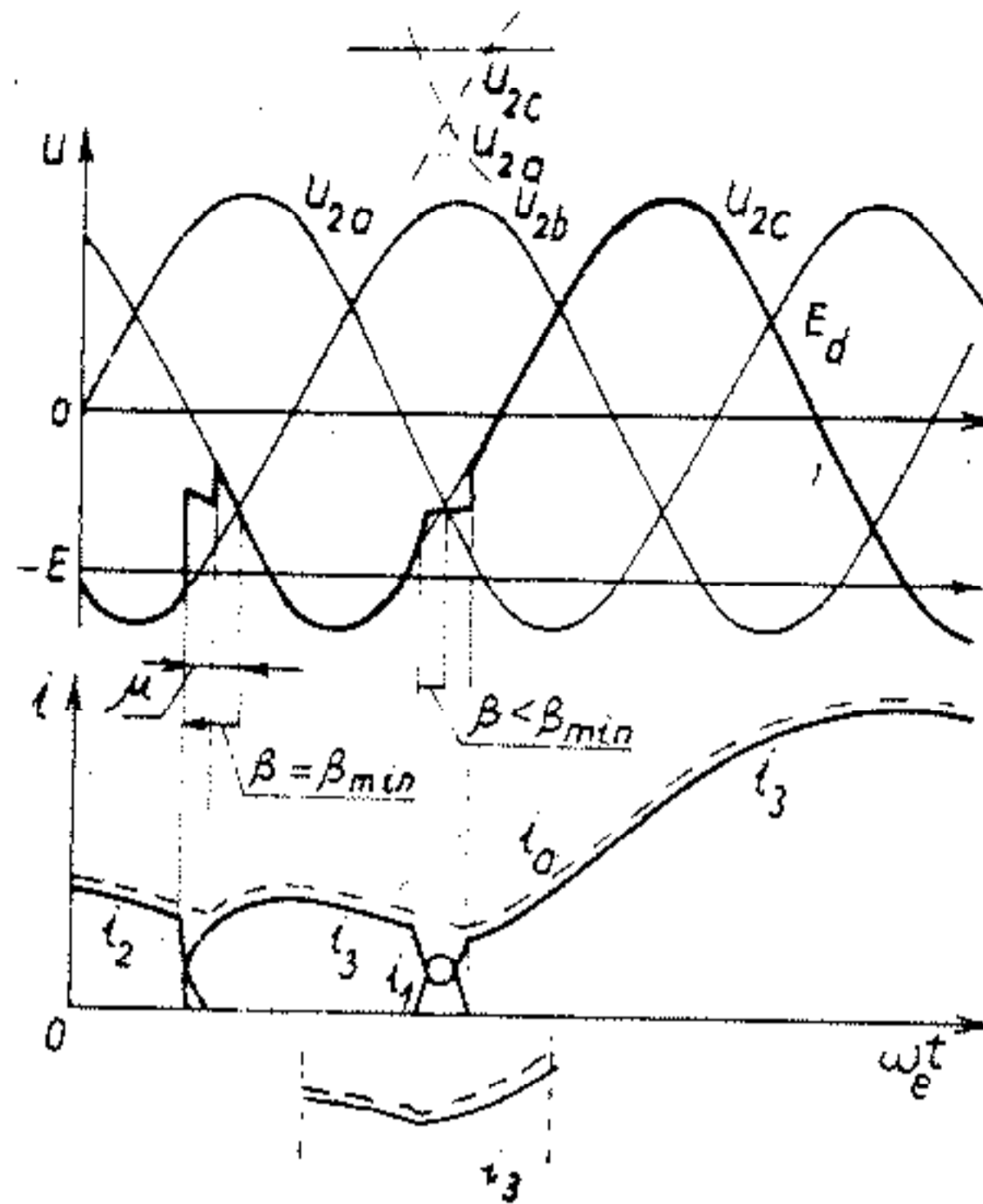
$$\beta > \beta_{\min} = \mu_{\max} + \delta, \quad (4-31)$$



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

có 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.



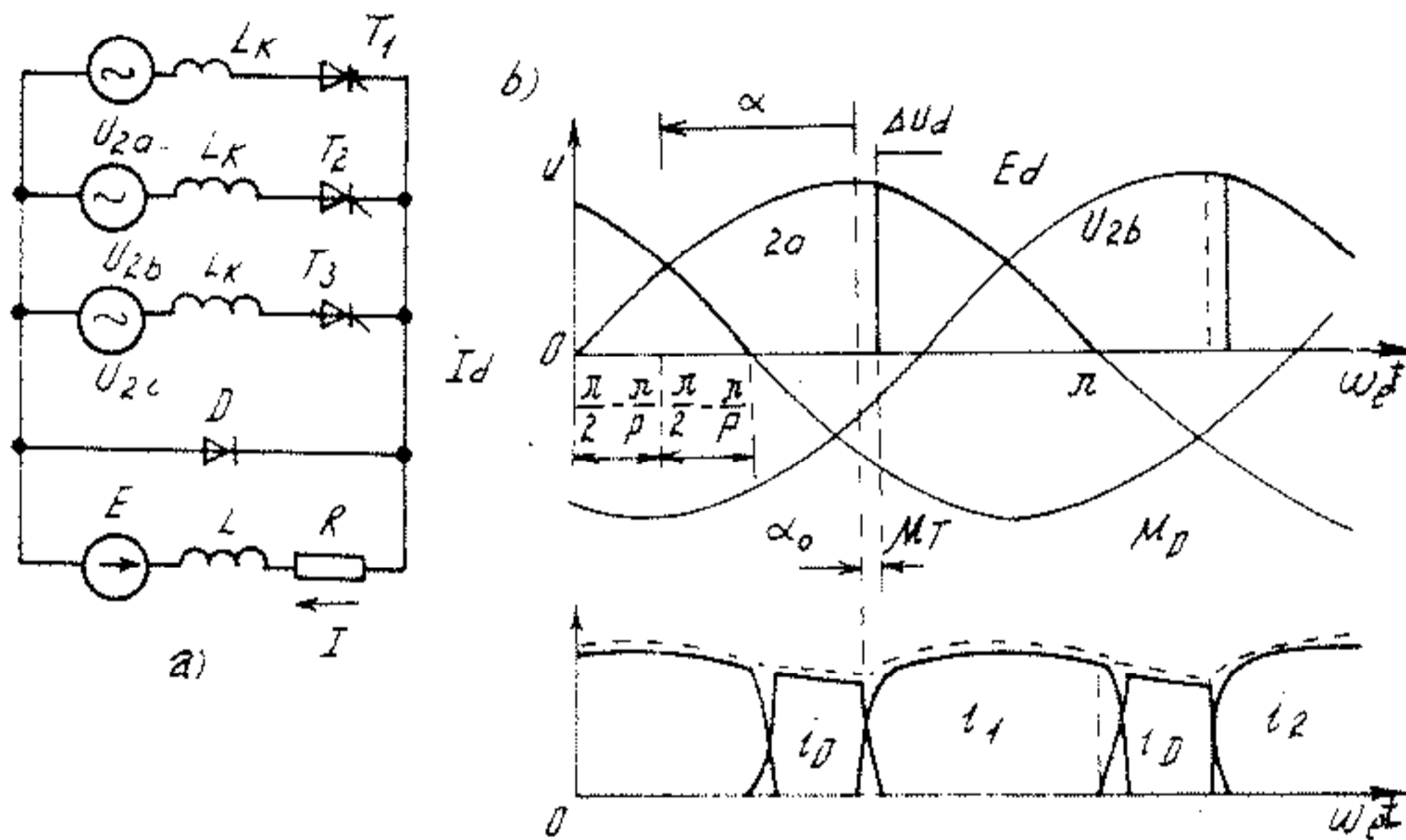
Hình 4-16. Trạng thái lật nghịch lưu khi  $\beta < \beta_{min}$

#### e. Van đệm trong mạch chỉnh lưu

Trong các chỉnh lưu mạch đơn, khi giá trị góc điều khiển  $\alpha$  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 sđd luôn luôn dương, người ta thường nối thêm một van đệm song song ngược với sđd 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 đêm mà không chảy qua tiristo vừa dẫn. Cũng xảy ra chuyển mạch dòng điện giữa van đêm và các tiristo chỉnh 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 đêm xảy ra lâu hơn quá trình chuyển mạch ngược lại.



Hình 4-17. Hệ CL-D có van điện.

Gần đúng ta coi rằng sụt áp do chuyển mạch từ van đêm sang van tiristo là ngắn, có thể bỏ qua, còn sụt áp do chuyển mạch từ van tiristo sang van đêm đúng bằng sụt áp do chuyển mạch giữa các van tiristo với nhau, khi mà van đêm 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 đêm chưa dẫn dòng, tức là khi  $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p}$  thì

$$E_d = E_{d0} \cos \alpha - I_d X_k$$

Khi van đem 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:

$$E_{dR} = \frac{p}{2\pi} \int_{\alpha + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p}}^{\pi} U_{2m} \sin\theta d\theta = E_{d0} \frac{1 - \sin(\alpha - \frac{\pi}{p})}{2 \sin \frac{\pi}{p}}$$

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

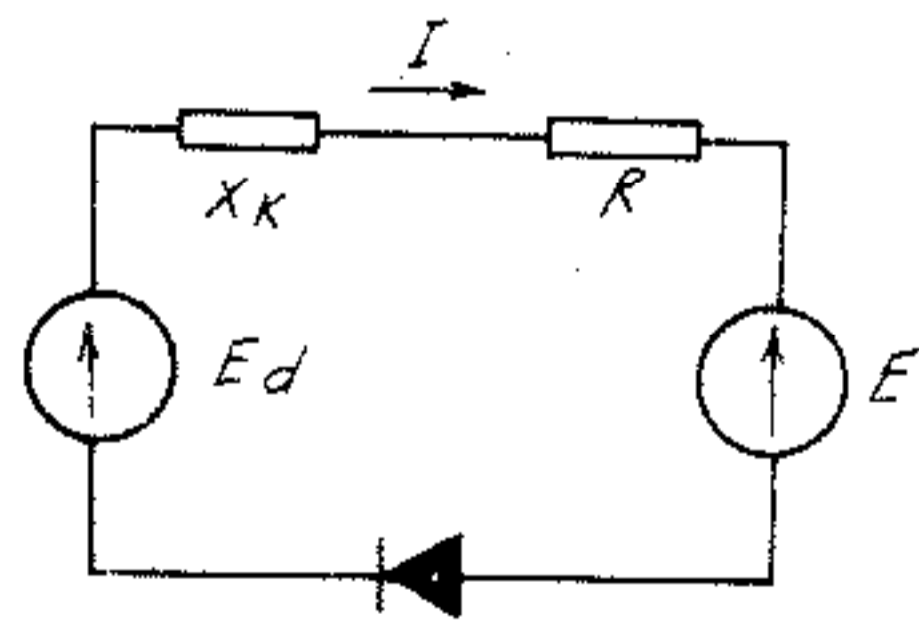
Dòng điện chỉnh lưu  $I_d$  chính là dòng điện phần ứng động cơ điện. Dựa vào sơ đồ thay thế có thể viết được phương trình đặc tính:

$$\omega = \frac{E_{d0} \cdot \cos\alpha}{K\Phi_{dm}} - \frac{R_r X_k}{K\Phi_{dm}} I$$

$$\omega = \frac{E_{d0} \cdot \cos\alpha}{K\Phi_{dm}} - \frac{R_r X_k}{(K\Phi_{dm})^2} M.$$

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  $\alpha$ :

$$\omega_0 = \frac{E_{dc} \cdot \cos\alpha}{K\Phi_{dm}} \quad (4-32)$$



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  $\alpha$  từ  $0 - \pi$ , sđđ chỉnh lưu biến thiên từ  $E_{d0}$  đến  $-E_{d0}$  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 phản 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  $\Delta U_k$  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 phản 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 phản ứng và phương trình đặc tính tốc độ là:

$$I = \frac{E - E_d}{R + X_k}$$

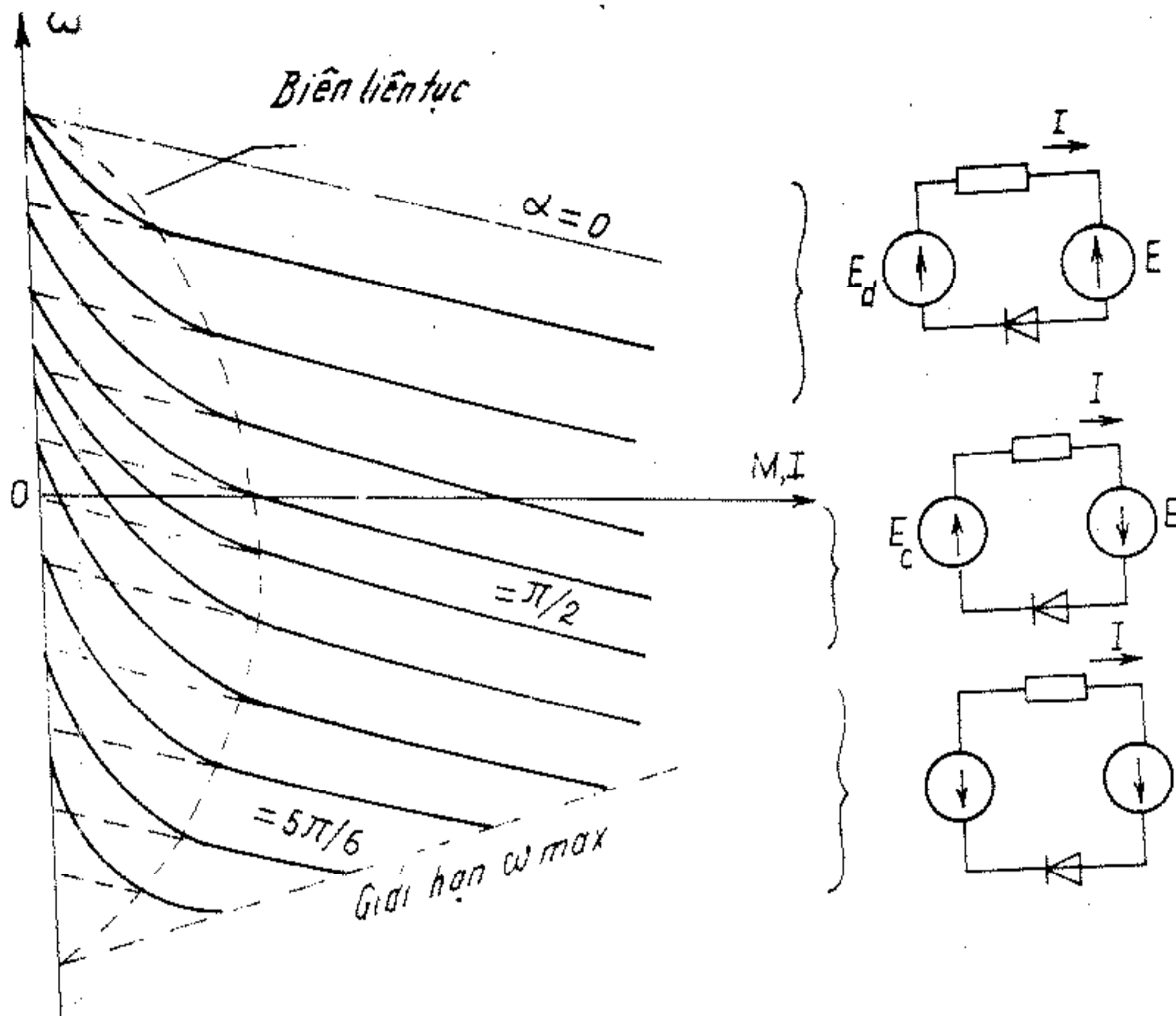
$$\omega = \frac{E_{d0} \cdot \cos \beta}{K\Phi_{dm}} + \frac{R + X_k}{K\Phi_{dm}} I$$

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.

Phôi 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 số 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  $\alpha$  cố định cho một đặc tính, cho góc dẫn  $\lambda = 0 \div 2\pi/p$  từ (4-23) ta tính được bằng giá trị  $\omega$  tương ứng với mỗi cặp  $(\lambda, \omega)$  thay vào (4-25) được một giá trị của  $I$ . Tập hợp các giá trị  $(\omega, I)$  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  $[\omega_{\text{bi}}, I_{\text{bi}}]$  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 phản 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 phần ứng và đảo chiều dòng kích từ động cơ.
- Giữ nguyên chiều dòng kích từ và đảo chiều dòng điện phần 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:



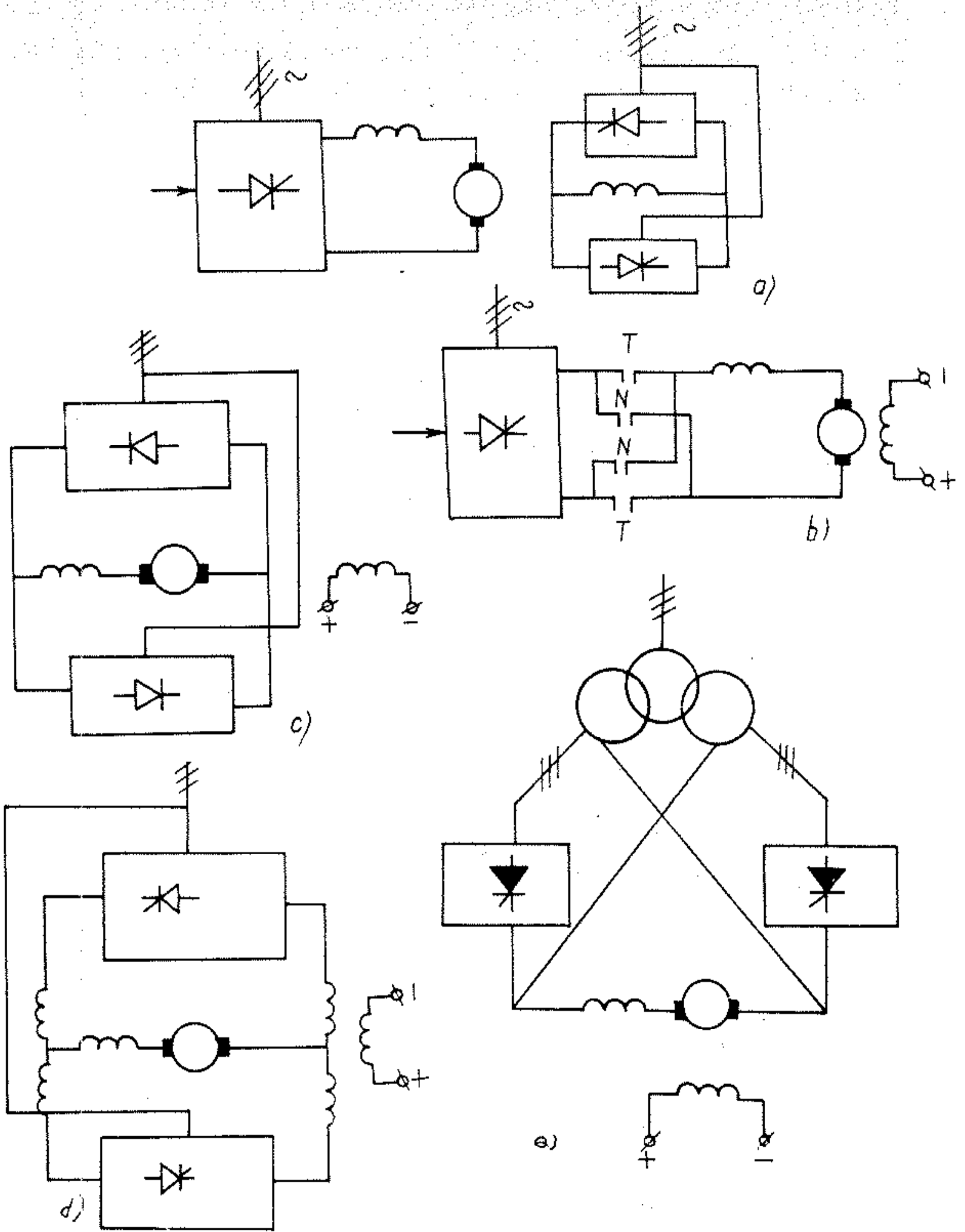
Loại H.4-20a dùng cho công suất lớn rất ít đảo chiều.

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 công kênh. Vốn đầu tư và tổn thất lớn hơn.

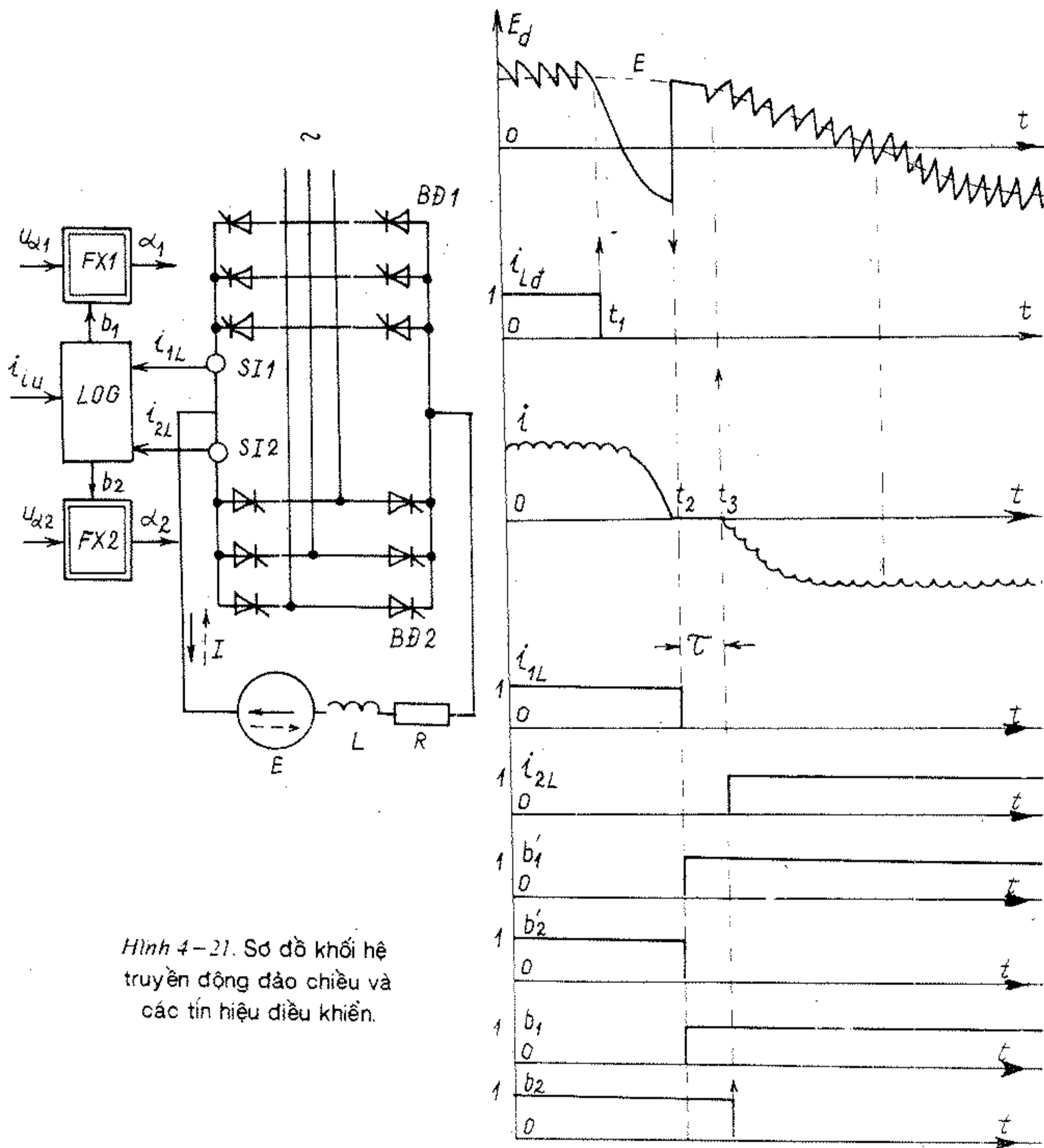
Về nguyên tắc xây dựng mạch điều khiển, có thể chia làm hai loại chính: điều khiển riêng và điều khiển chung. Sơ đồ H.4-20a, b, c có nguyên tắc mạch điều khiển gần giống nhau là phải khóa các bộ biến đổi mạch phần ứng để cắt dòng, sau đó tiến hành chuyển mạch, như vậy khi điều khiển tồn tại một thời 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  $\alpha_1$  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 có được hãm tái sinh, nếu nhịp điệu giảm  $\alpha_2$  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.

chính tự động dòng điện của hệ thống. Trên sơ đồ của khối logic LOG,  $i_{Ld}$ ,  $i_{L1}$ ,  $i_{L2}$  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.

$i_{Ld} = 1$  – phát xung điều khiển mở  $BD_1$ ,

$i_{Ld} = 0$  – phát xung điều khiển mở  $BD_2$ ,

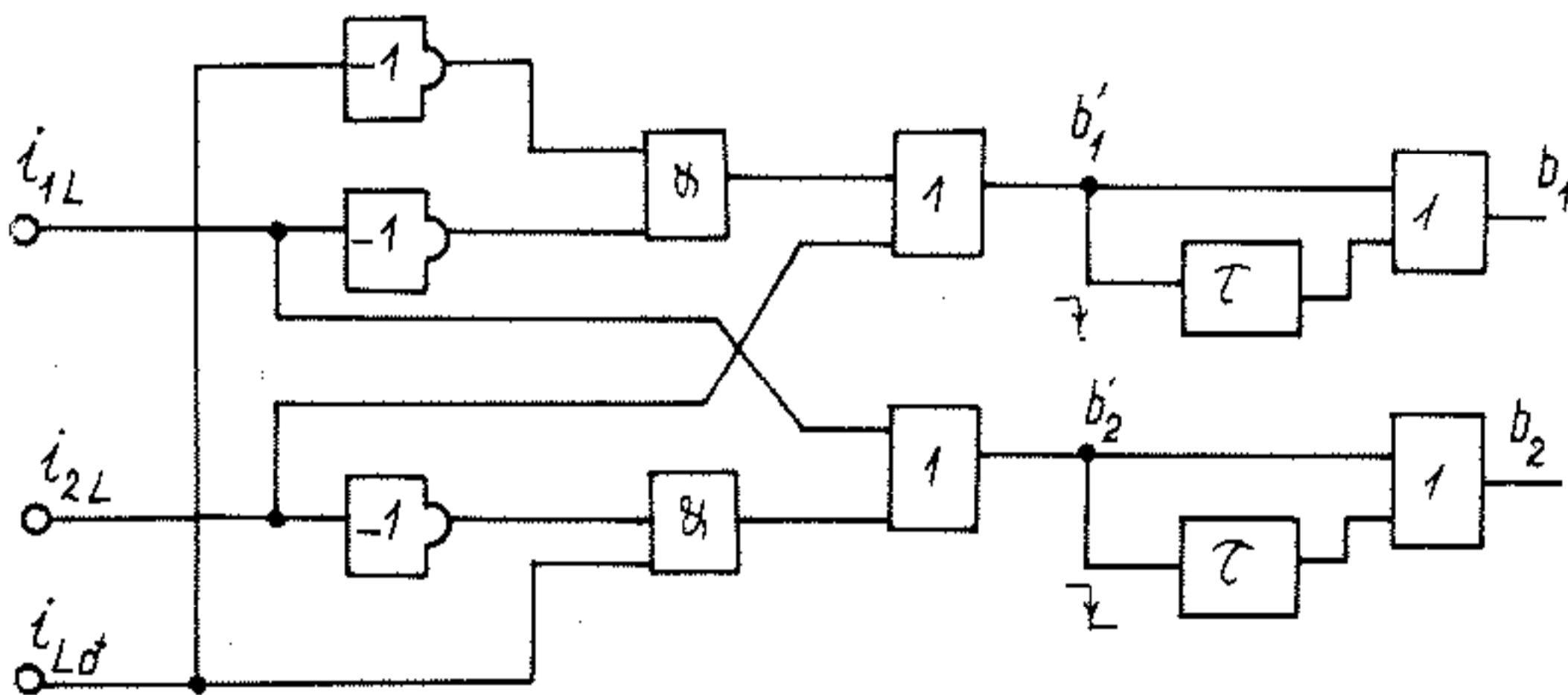
$i_{1L}$  ( $i_{2L}$ ) = 1 – có dòng điện chảy qua  $BD_1$  ( $BD_2$ ),

$b_1$  ( $b_2$ ) = 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.

$$b_1 = \bar{i}_{Ld} \cdot \bar{i}_{1L} + i_{2L}; \quad b_2 = i_{Ld} \cdot \bar{i}_{2L} + i_{1L}.$$

Khoảng thời gian trễ được bảo đảm bởi các mạch xung có độ rộng không đổi  $\tau$ .



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  $\mu$  và góc khóa  $\delta$  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:

$$\alpha_{\min} \geq \mu + \delta.$$

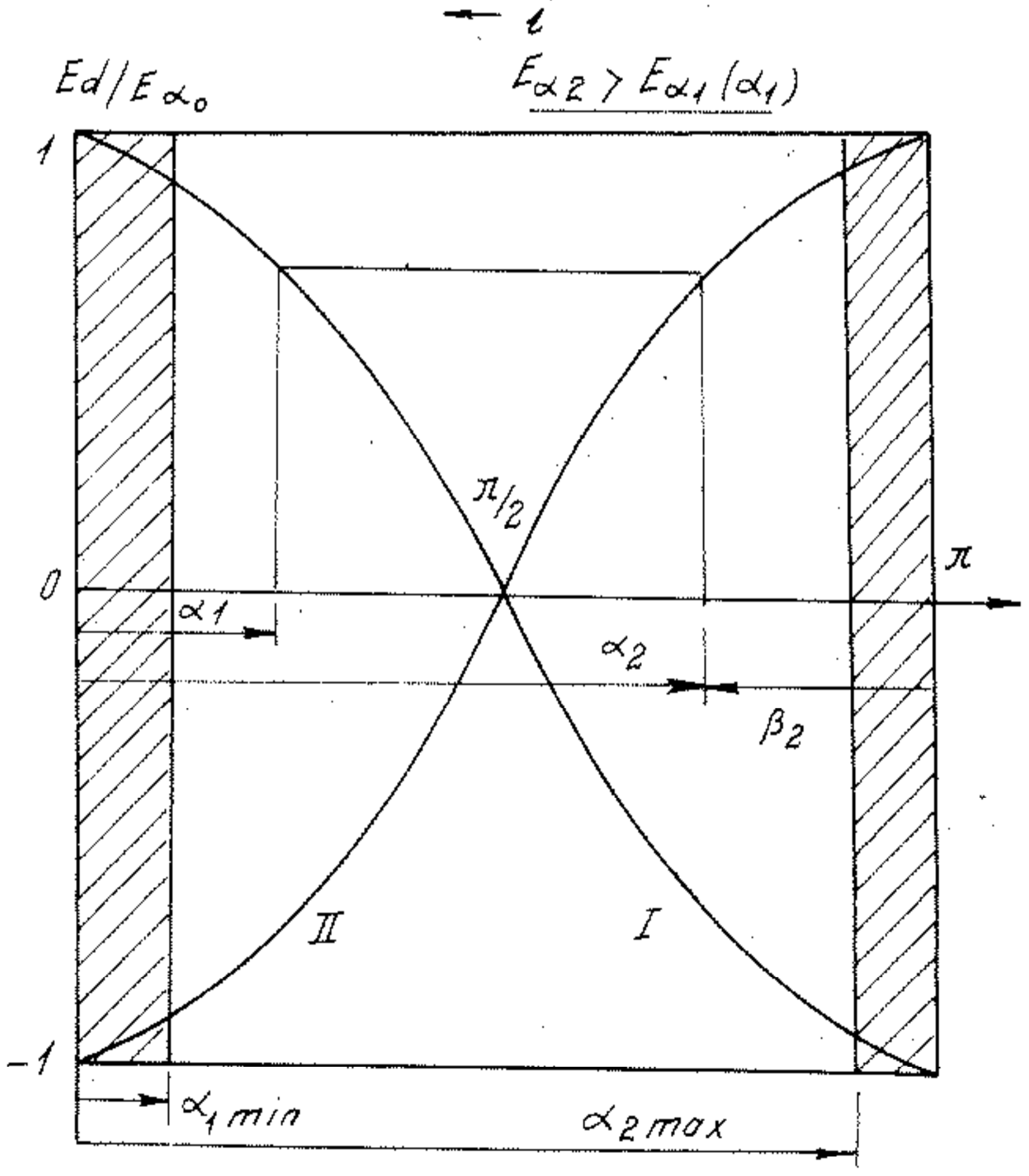
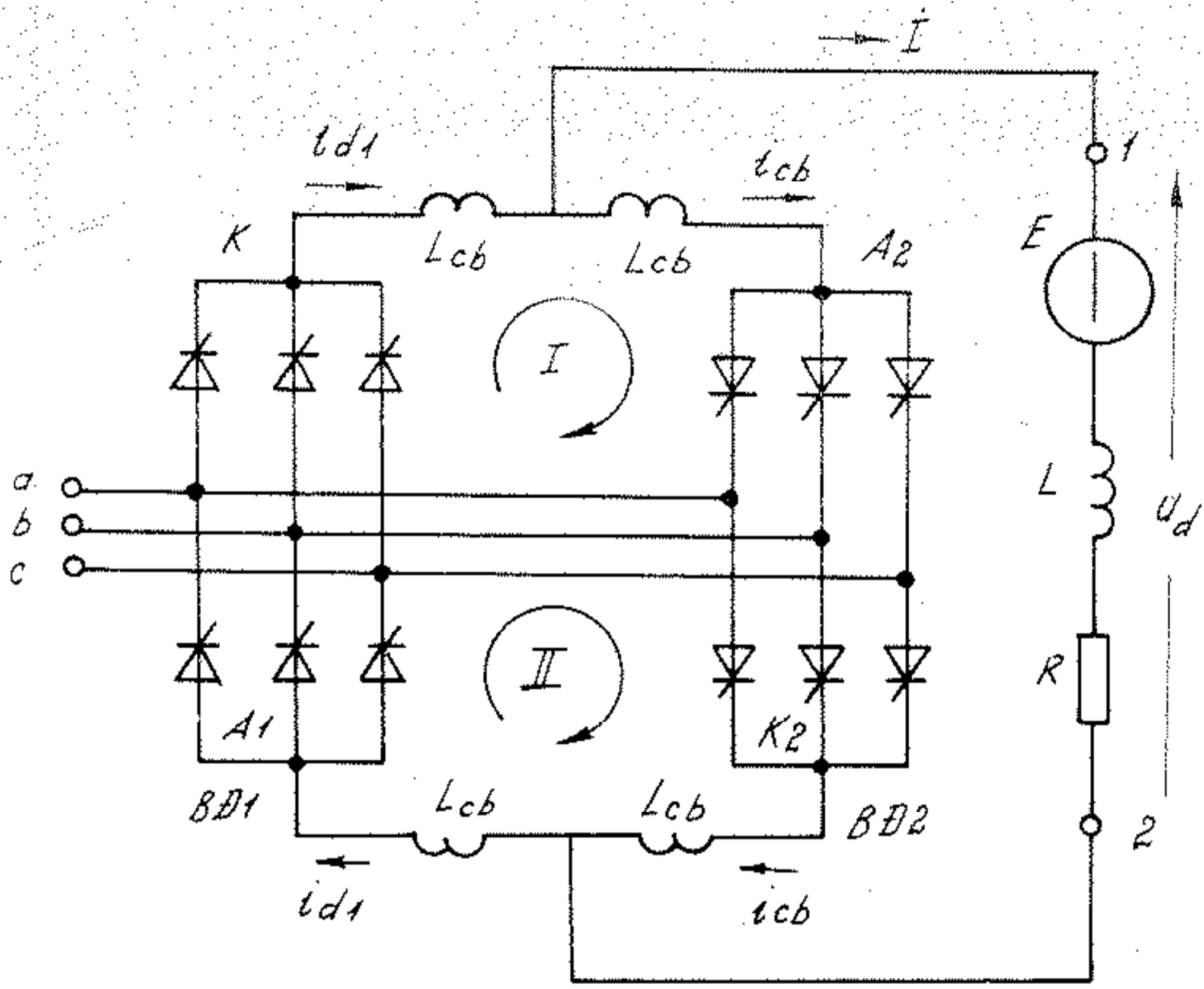
Nếu chọn  $|E_{d1}| = |E_{d2}|$  thì  $\alpha_1 + \alpha_2 = \pi$  và ta có phương pháp điều khiển chung đối xứng, khi này sđđ tổng trong mạch vòng giữa hai bộ biến đổi sẽ triệt tiêu và dòng điện trung bình chảy vòng qua hai bộ biến đổi cũng triệt tiêu:

$$I_{cb} = \frac{E_{d1} + E_{d2}}{R_{cb}} = 0,$$

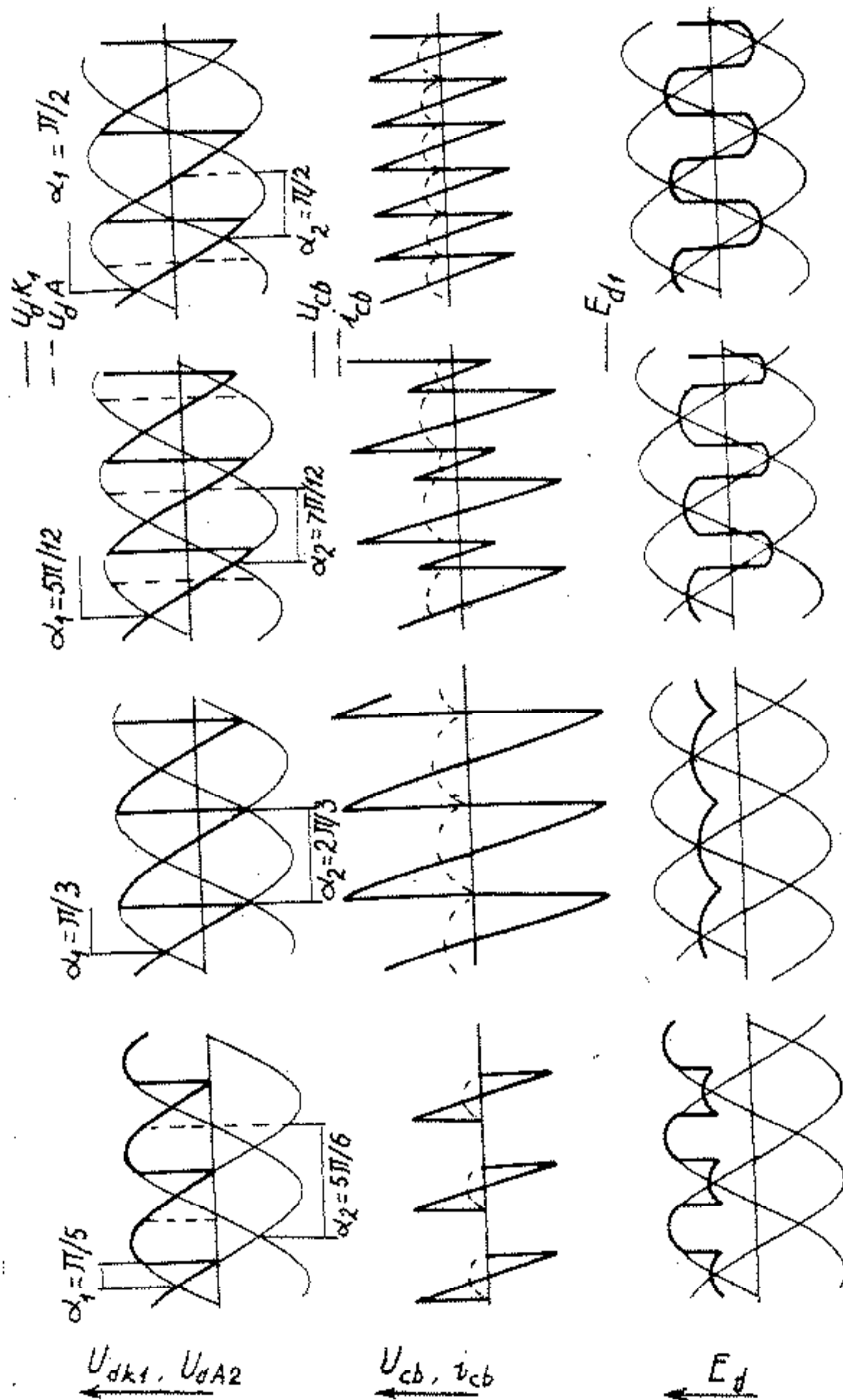
trong đó  $R_{cb}$  là tổng điện trở trong mạch vòng cân bằng.

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.

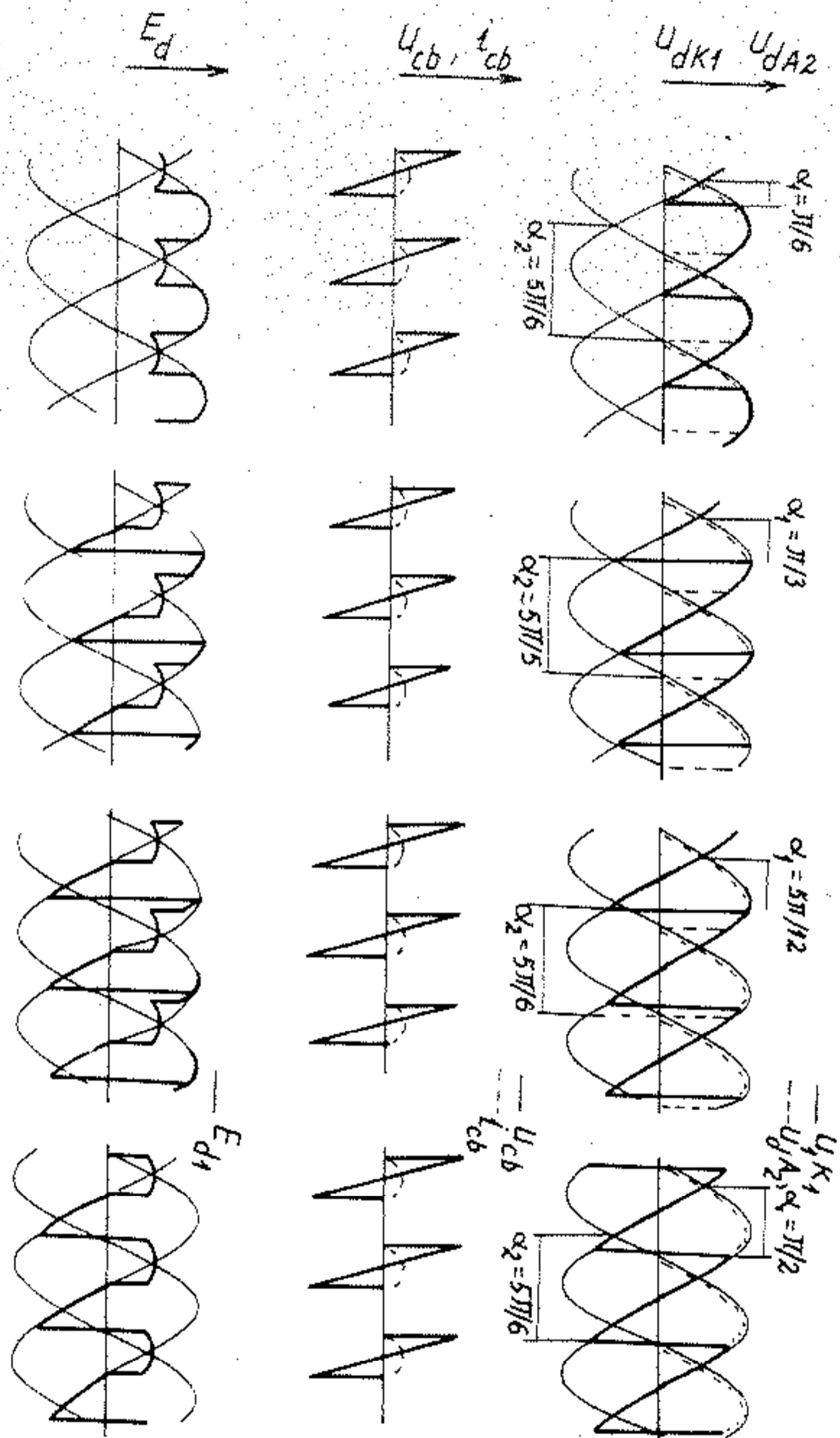
Trong các phương pháp điều khiển chung, mặc dù đã bảo đảm  $|E_{d2}| \geq |E_{d1}|$ , tức là không xuất hiện giá trị trung bình của dòng cân bằng, song giá trị tức thời của sđđ các bộ chỉnh lưu  $e_{d1}(t)$ ,  $e_{d2}(t)$



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:

$$i = \frac{U_N - E}{R} (1 - e^{-t/T_u}) + I_{\min} e^{-t/T_u} \quad (4-35)$$

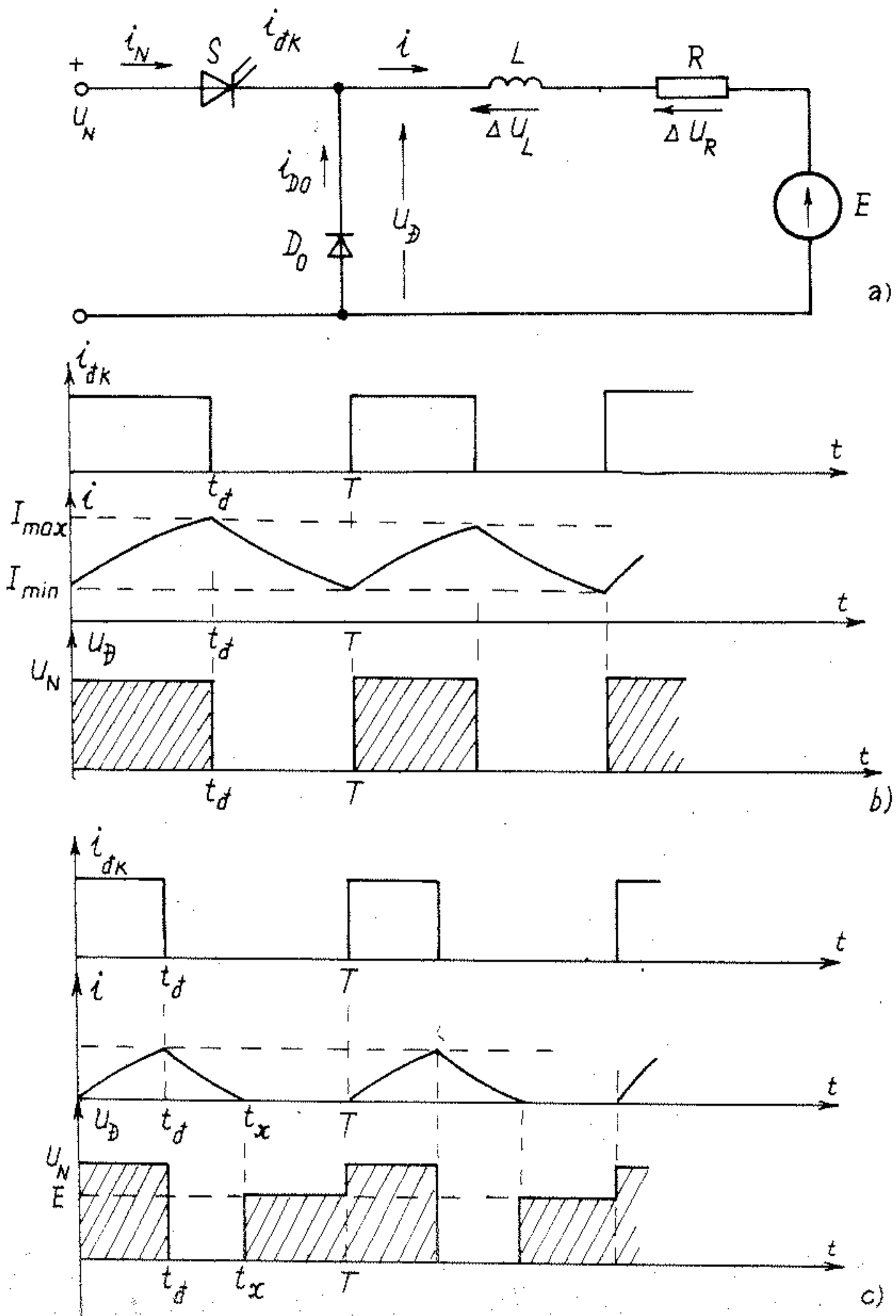
$$0 \leq t < t_d$$

$T_u = L/R$  - 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  $D_0$  dẫn nên



Hình 4-26. Nguyên lý làm việc cơ bản của bộ điều chỉnh xung áp loại A.

$$\frac{di}{dt'} + \frac{R}{L}i = -\frac{E}{L}; \quad t' = t - t_d \quad (4-37)$$

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)

$$\frac{E}{U_N} = \frac{e^{(t_{dgh}/T).(T/T_u)} - 1}{e^{T/T_u} - 1}, \quad (4-42)$$

hoặc ở dạng rút gọn:

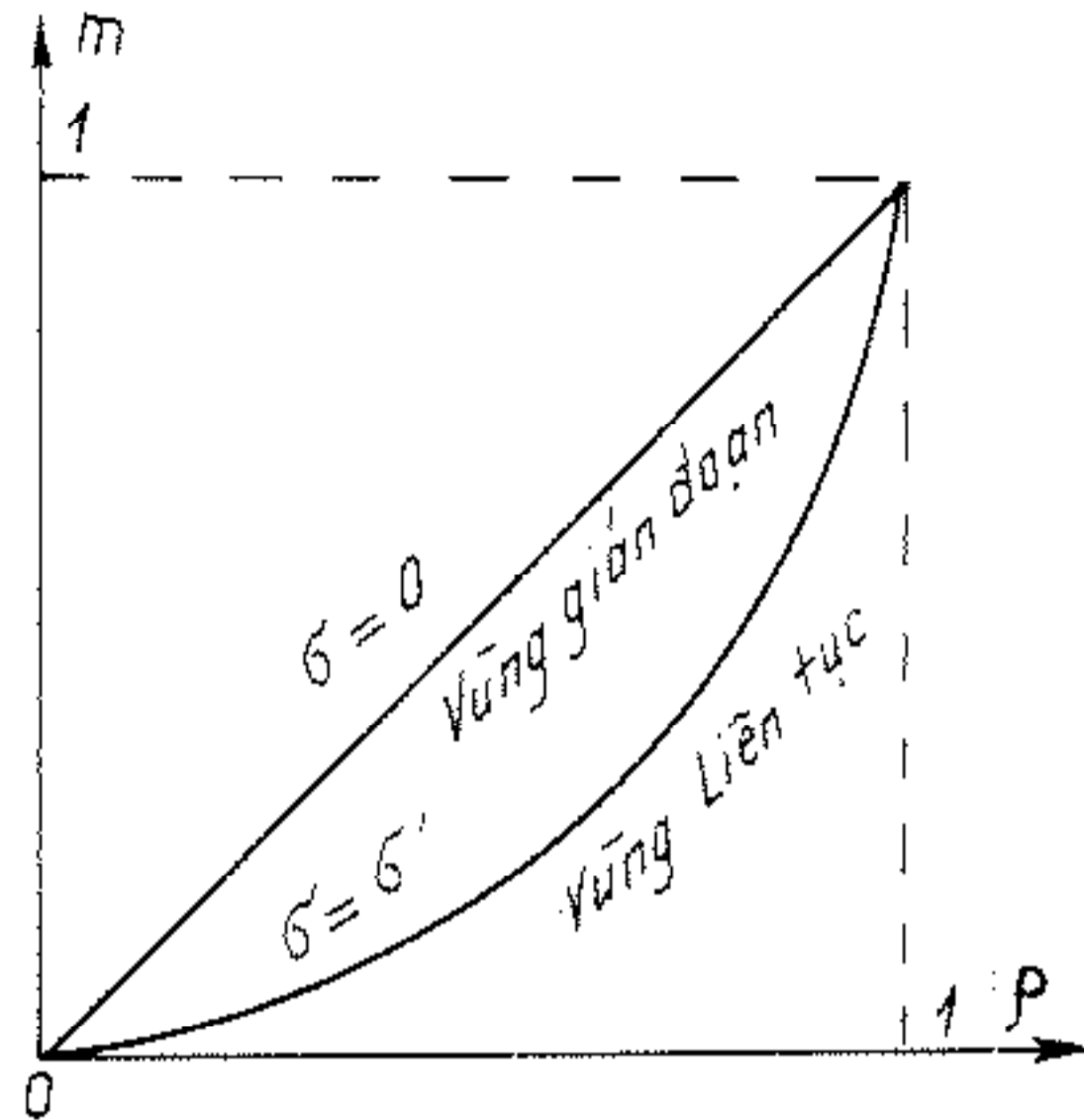
$$m = \frac{e^{\rho.\sigma} - 1}{e^{\sigma} - 1}, \quad (4-43)$$

trong đó

$$m = E/U_N, \rho = t_d/T;$$

$$\sigma = T/T_u.$$

Từ (4-43) dựng được họ đường cong phụ thuộc giữa  $m$  và  $\rho$  (H. 4-27), trong đó  $\sigma$  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:

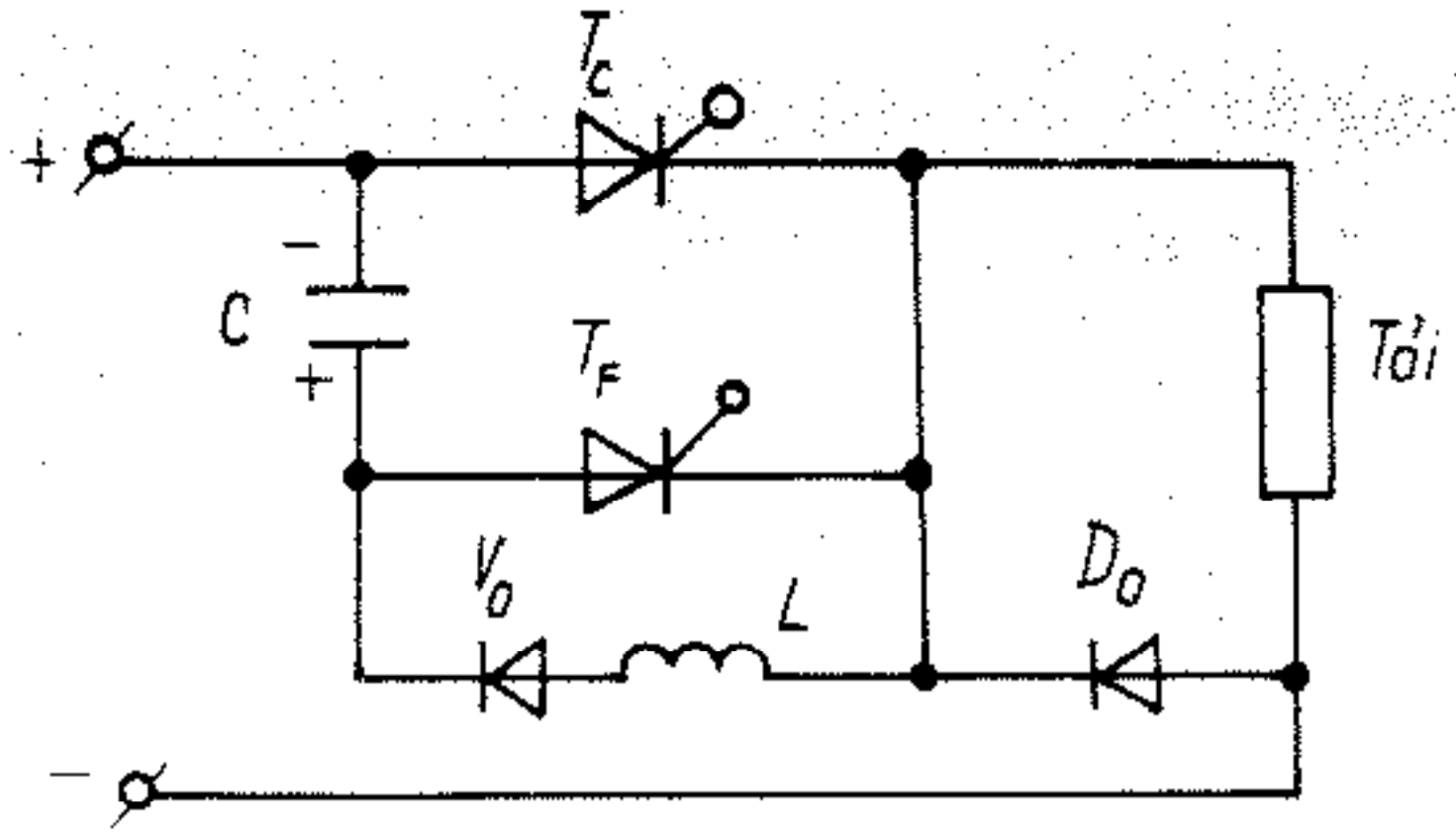
$$t_x = T_u \cdot \ln \left\{ e^{t_d/T_u} \left[ 1 + \frac{U_N - E}{E} (1 - e^{-t_d/T_u}) \right] \right\} \quad (4-46)$$

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

$$\begin{aligned}
 U_D &= \frac{1}{T} \int_0^T u_D dt = \frac{1}{T} \left[ \int_0^{t_d} U_N dt + \int_{t_x}^T E dt \right] = \\
 &= \frac{1}{T} [U_N \cdot t_d + (t - t_x)E] .
 \end{aligned} \tag{4-47}$$

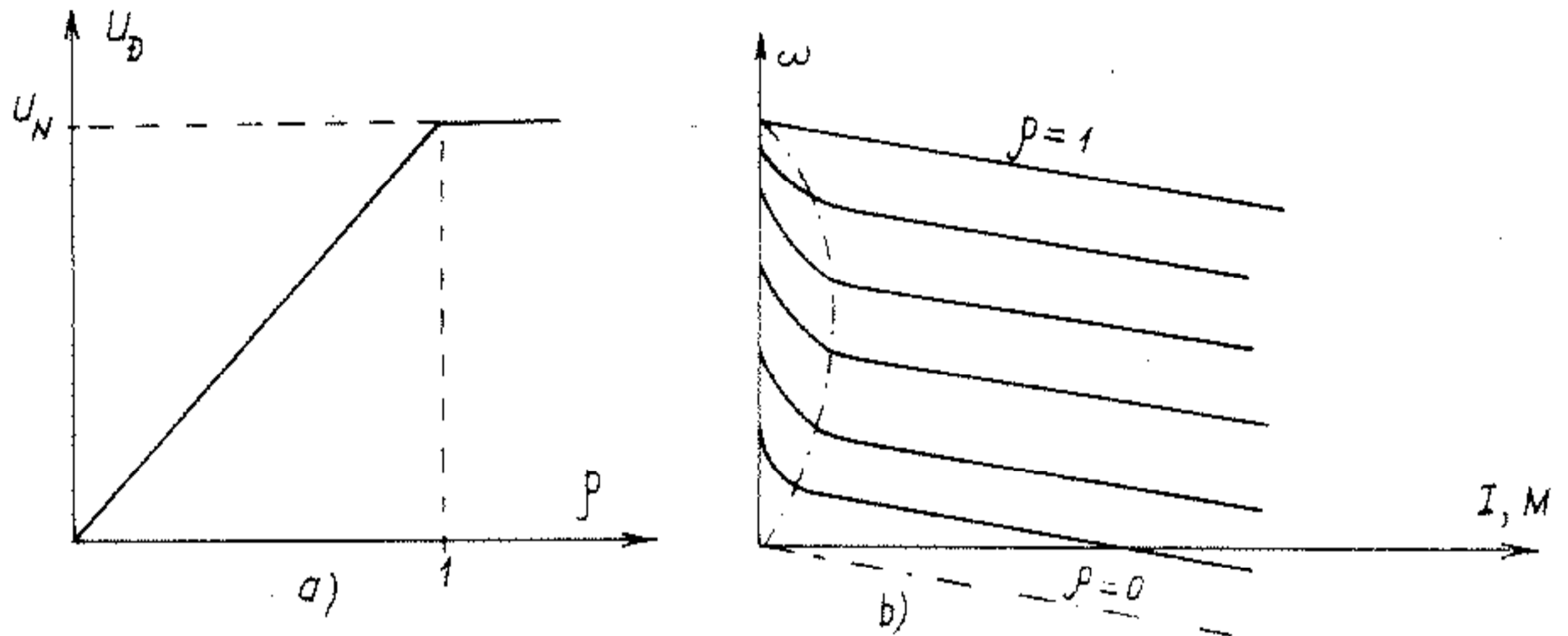
Trong chế độ dòng điện liên tục vì  $t_x = T$  nên:

$$U_D = \frac{t_d}{T} U_N = \rho U_N \tag{4-48}$$

$$\omega = \frac{\rho U_N}{K\Phi} - \frac{R_u}{K\Phi} I \tag{4-49}$$

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.

$$\begin{aligned}
 I_{\text{blt}} &= \frac{1}{2} I_{\text{max}} \\
 &= \frac{1}{2R} (U_N - E)(1 - e^{-t_{\text{dgh}}/\tau_u}) \\
 &= \frac{1}{2R} \frac{\rho}{\rho + \frac{1}{\sigma}} (U_N - K\phi \omega_{\text{blt}}). \quad (4-50)
 \end{aligned}$$

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

$$I_{\text{blt}} = \frac{U_N}{2} \frac{\rho(1 - \rho)}{\rho + \frac{1}{\sigma}} \quad (4-51)$$

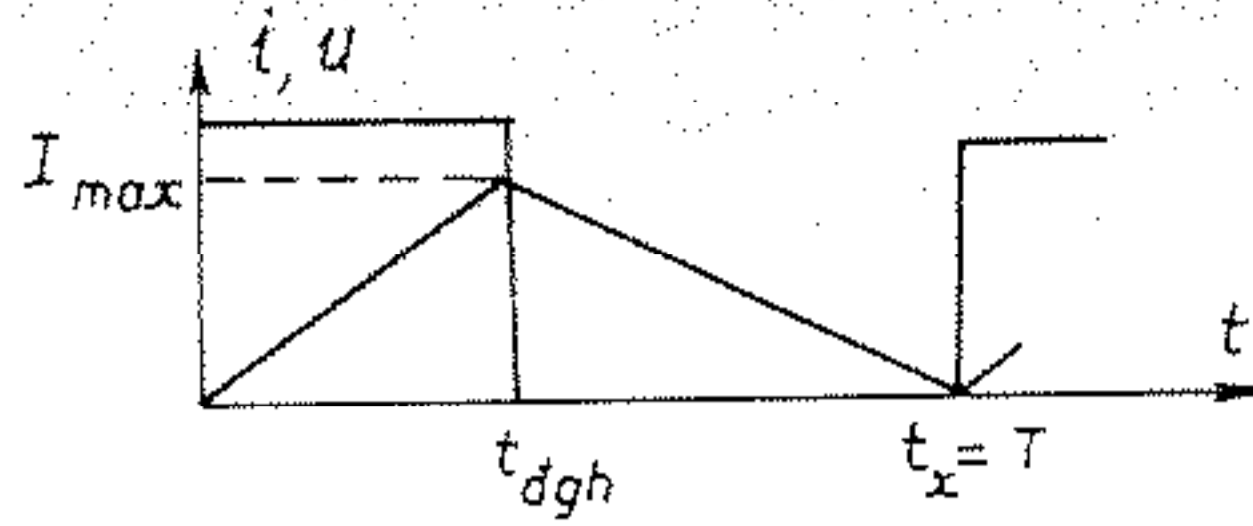
Sử dụng (4-48) và (4-50) xác định được biên giới liên tục, chính

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  $\rho$ ,  $\sigma$  và  $U_N$  và đạt giá trị cực đại

$$I_{blt.th} = \frac{U_N}{2\sigma} (\sigma - 2\sqrt{\sigma + 1} + 2),$$

tại giá trị tới hạn của  $\rho$ :

$$\rho_{th} = \frac{1}{\sigma} (\sqrt{1 + \sigma} - 1).$$



Hình 4-30. Đồ thị dòng áp ở biên gián đoạn.

### 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 phản ứng có thể đảo dấu, song sđđ động cơ chỉ có chiều dương. Khi khóa  $S_1$  và van  $D_1$  vận hành, dòng điện phản 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 sđđ  $E$ , 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 sđđ tự cảm  $\Delta U_L > 0$ , cùng chiều với sđđ quay  $E$ , tổng hai sđđ 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 phản ứng là dương thì máy điện làm việc ở chế độ động cơ trong góc  $I$  của mặt phẳng tọa độ  $[\omega, I]$ .

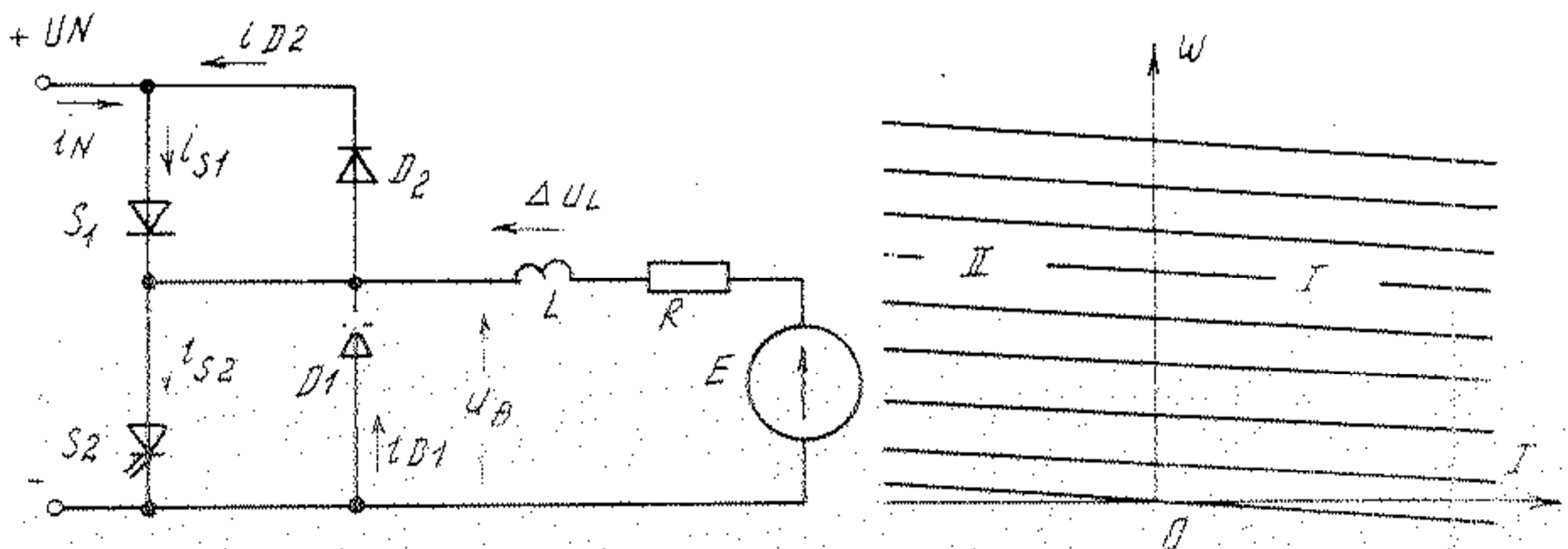
Một đặc điểm của bộ băm xung loại  $B$  là do dòng điện phản ứng có phần âm nên giá trị trung bình của nó có thể nhỏ bất kỳ, thậm chí bằng không và truyền động không có chế độ dòng điện gián đoạn. Dòng điện phản ứng của  $DX-D$  loại  $B$  bao gồm bốn đoạn ứng với góc dẫn của bốn phần tử bán dẫn  $S_1, D_1, S_2, D_2$ .

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  $I < 0$ .

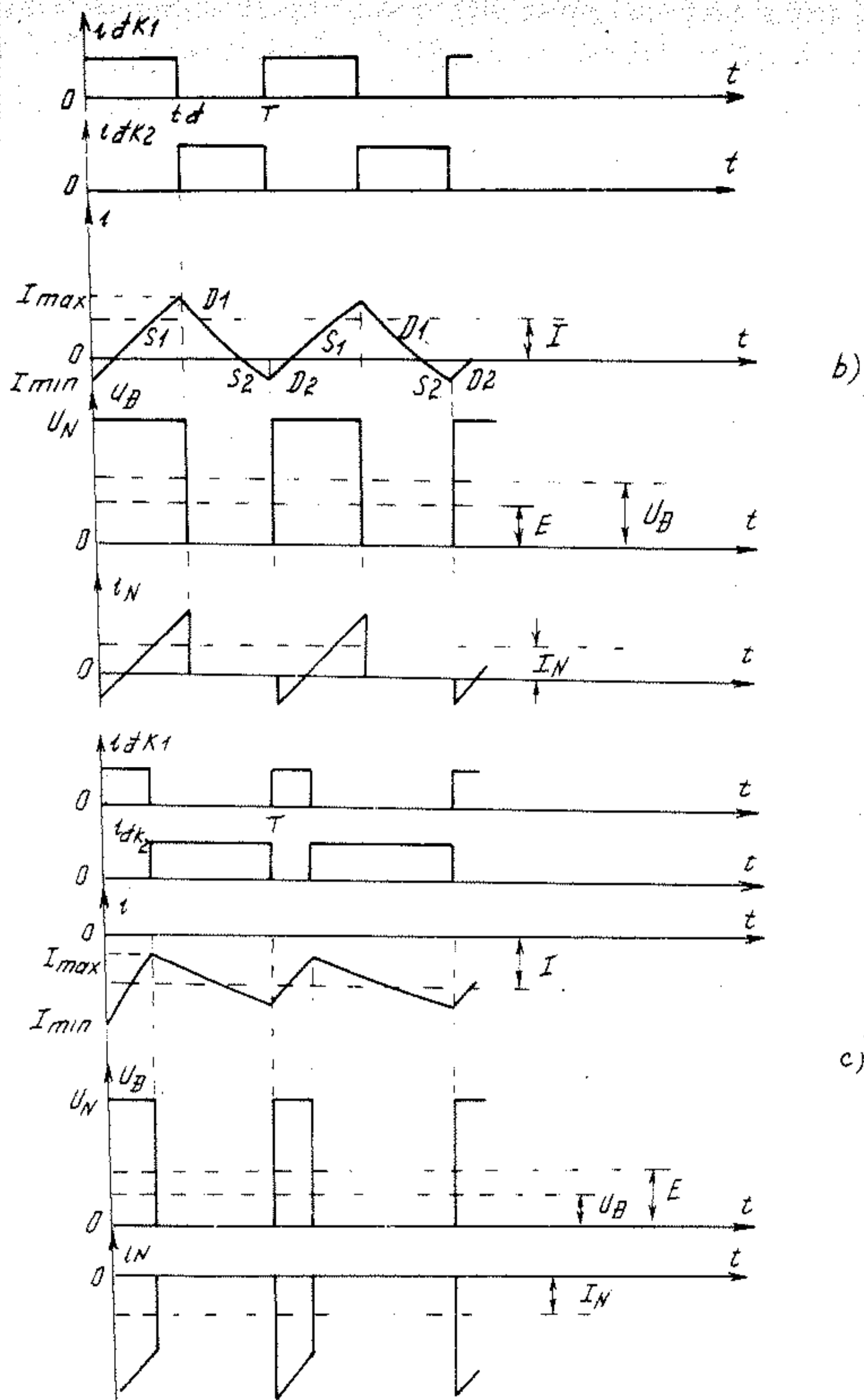
Khi điều chỉnh  $\rho$  sao cho  $I_{\max} < 0$  và do đó dòng trung bình của phần ứng  $I < 0$  thì hệ thống sẽ làm việc ở góc thứ II, khóa  $S_1$  và van  $D_1$  không dẫn dòng. Quá trình dòng và áp được mô tả trên H. 4-31,  $c$ .

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  $[\omega, M]$ .

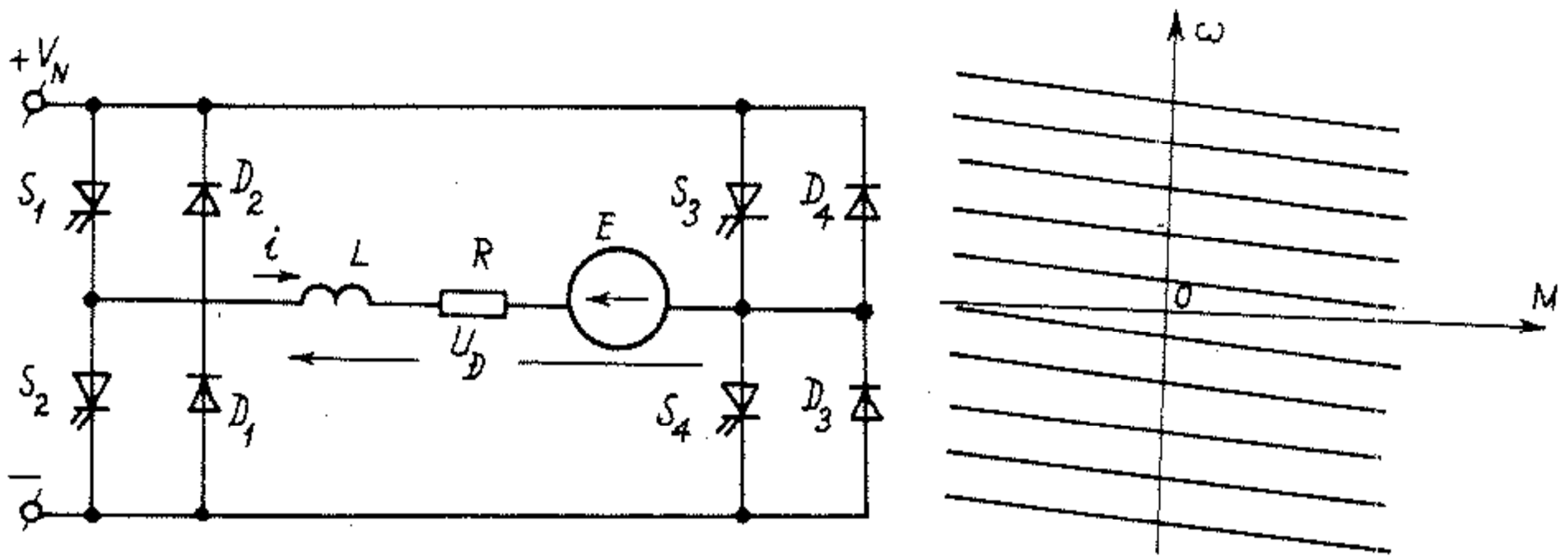
Truyền động đảo chiều được thực hiện bởi bộ điều chỉnh xung loại  $B$  kép, sơ đồ nguyên lý và đặc tính cơ như H. 4-32



Hình 4-31. Bộ điều chỉnh xung áp loại  $B$  a)



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  $E_{b0}$ , 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:

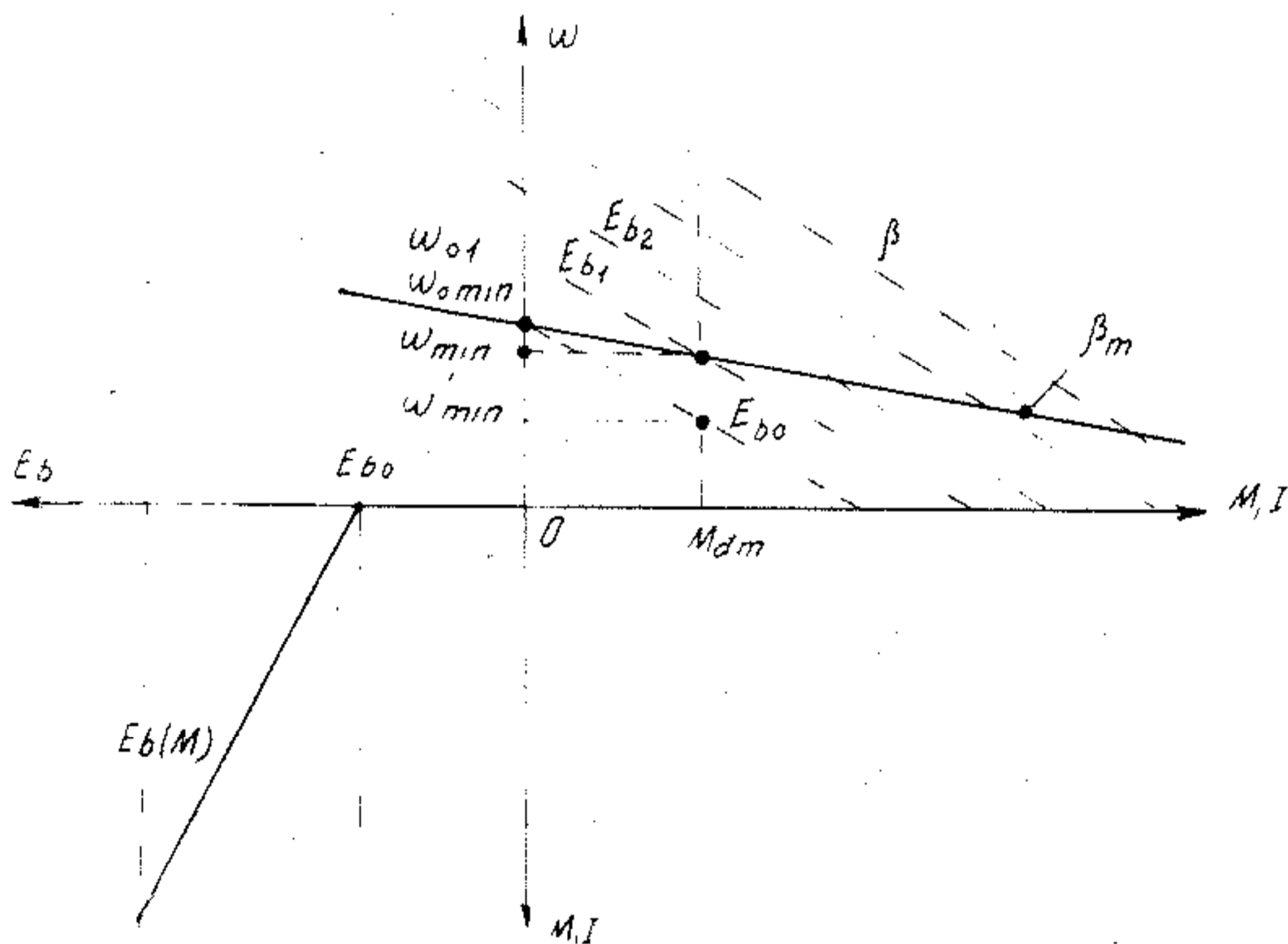
$$S = \frac{M_{dm}}{\beta \cdot \omega_{omin}} > S_{cp}$$

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  $(\omega_{min}, M_{dm})$  đã nằm trên đặc tính khác của hệ có  $\omega_o = \omega_{o1}$  và  $E_{b1} = K\phi_{dm} \cdot \omega_{o1} > E_{b0}$ . Nối điểm  $(\omega_{omin}, 0)$  với điểm  $(\omega_{min}, M_{dm})$  và kéo dài ra ta được đặc tính

mong muốn có độ cứng  $\beta_m$  và

$$\omega = \omega_{\text{omin}} - \frac{M}{\beta_m} \quad (4-52)$$

Giá trị của  $\beta_m$  được xác định bởi biểu thức (4-4), các giao điểm của đặc tính cơ mong muốn với những đặc tính cơ của hệ hờ 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

Y định điều chỉnh sđđ  $E_b$  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 hờ 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:

$$\frac{E_h}{K\Phi_{dm}} - \frac{M}{\beta} = \omega_0 - \frac{M}{\beta_m}$$

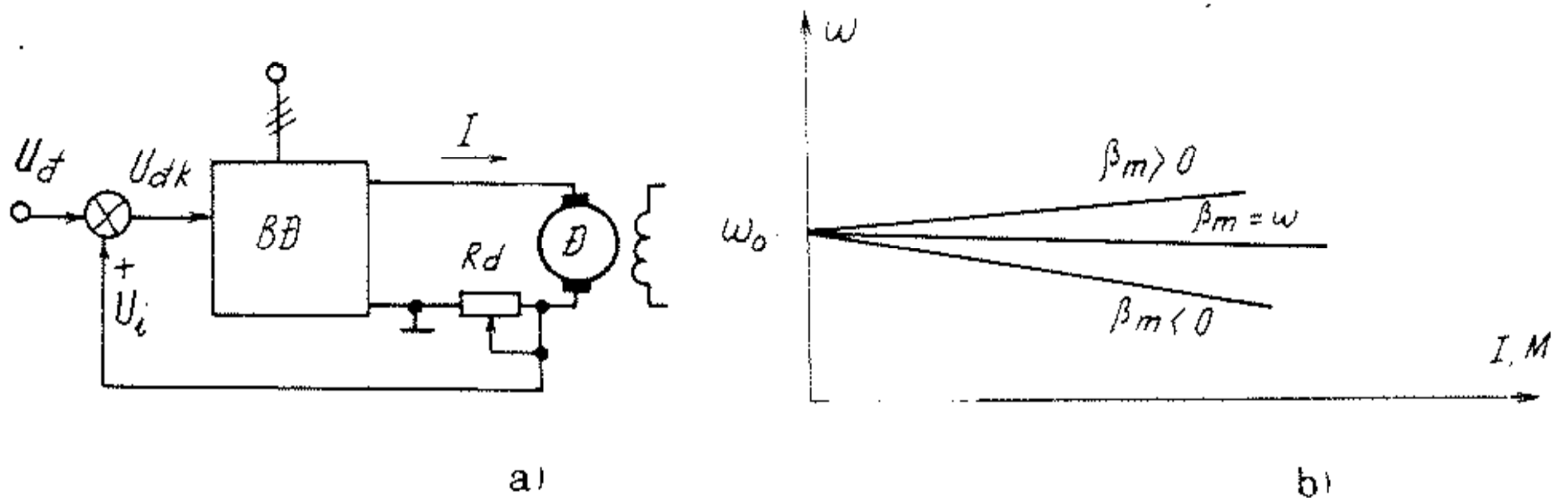
$$E_h = K\Phi_{dm} \left[ \omega_0 + \left( \frac{1}{\beta} - \frac{1}{\beta_m} \right) M \right] \quad (4-53)$$

$$E_h = E_{bo} + K'_d I,$$

trong đó

$$E_{bo} = K\Phi_{dm} \omega_0$$

$$K'_d = (K\Phi_{dm})^2 \left( \frac{1}{\beta} - \frac{1}{\beta_m} \right) \quad (4-54)$$



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:

$$E_h = K_h (U_d + R_d I), \quad (4-55)$$

$$\omega = \frac{K_h u_d}{K\Phi_{dm}} - \frac{R + (1 - K_h)R_d}{K\Phi_{dm}} I.$$

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):

$$E_{bo} - K_b u_d, \quad K'_d = K_b R_d$$

Nếu chọn  $K_b R_d = R + R_d$  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  $\beta$ ,  $\beta_m$  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  $i_1$  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:

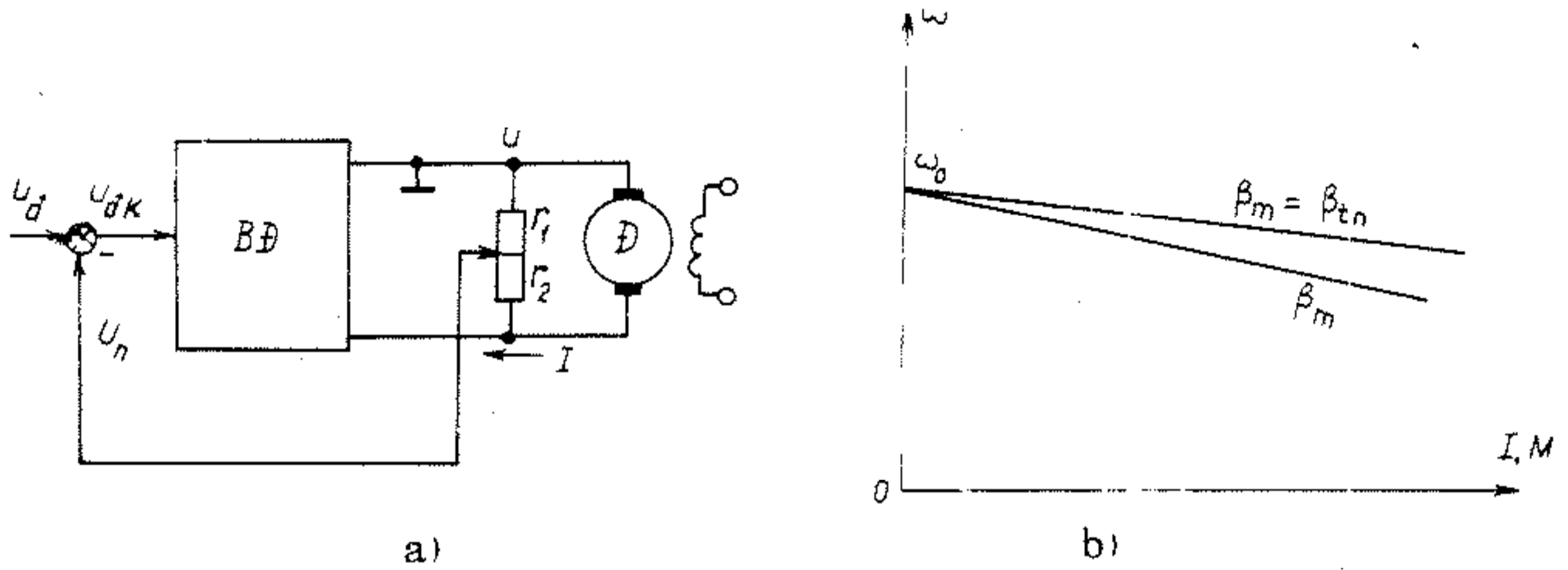
$$b = \left( \frac{1}{\beta} - \frac{1}{\beta_m} \right) \left( \frac{1}{\beta} - \frac{1}{\beta_{tn}} \right)$$

$$E'_{bo} = E_{bo} \frac{1}{1-b} \quad K'_a = \frac{b}{1-b}$$

ta được biểu thức tính sđđ  $E_b$  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 phân 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:

$$E_b = K_b(U_d - K_a U).$$

$$\omega = \frac{K_b \cdot U_d}{(1 + K_b \cdot K_a) \cdot K\Phi_{dm}} = \frac{R - \frac{K_b \cdot K_a}{1 + K_b \cdot K_a} R_b}{(K\Phi_{dm})^2} M \quad (4-58)$$

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:

$$E_b = \frac{1}{1 - K_d R} \left( E_{bo} - \frac{K_d K \Phi_{dm}}{R} \omega \right)$$

$$E_b = \frac{\beta_m}{\beta} E_{bo} - \left( \frac{\beta_m}{\beta} - 1 \right) K \Phi_{dm} \omega$$

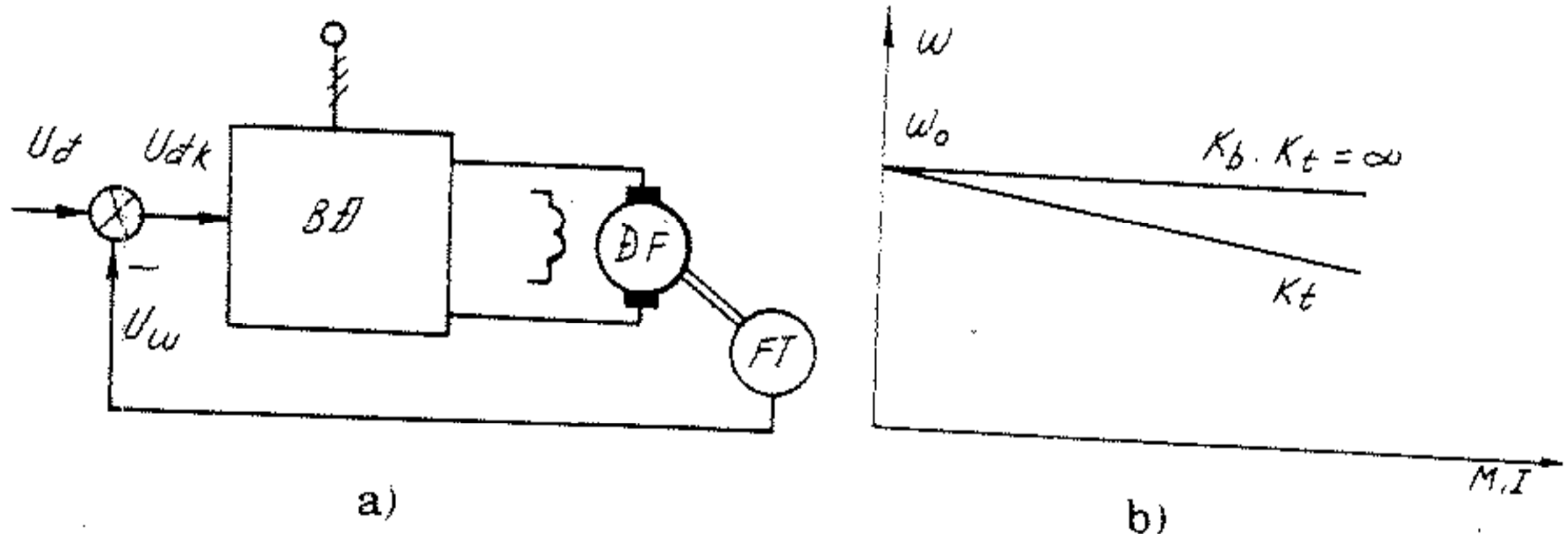
$$E_b = E_{bo} - K_t \omega, \quad (4-60)$$

trong đó  $E_{bo} = \frac{\beta_m}{\beta} E_{bo}$ ,  $K_t = \left( \frac{\beta_m}{\beta} - 1 \right) K \Phi_{dm}$ .

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  $U_\omega = K_t \omega$ .

$$\omega = \frac{K_b U_d - R M / K \Phi_{dm}}{(1 + K_b K_t / K \Phi_{dm}) K \Phi_{dm}}$$

$$\beta_m = \frac{(K \Phi_{dm})^2 (1 + K_b K_t / K \Phi_{dm})}{R} \quad (4-61)$$

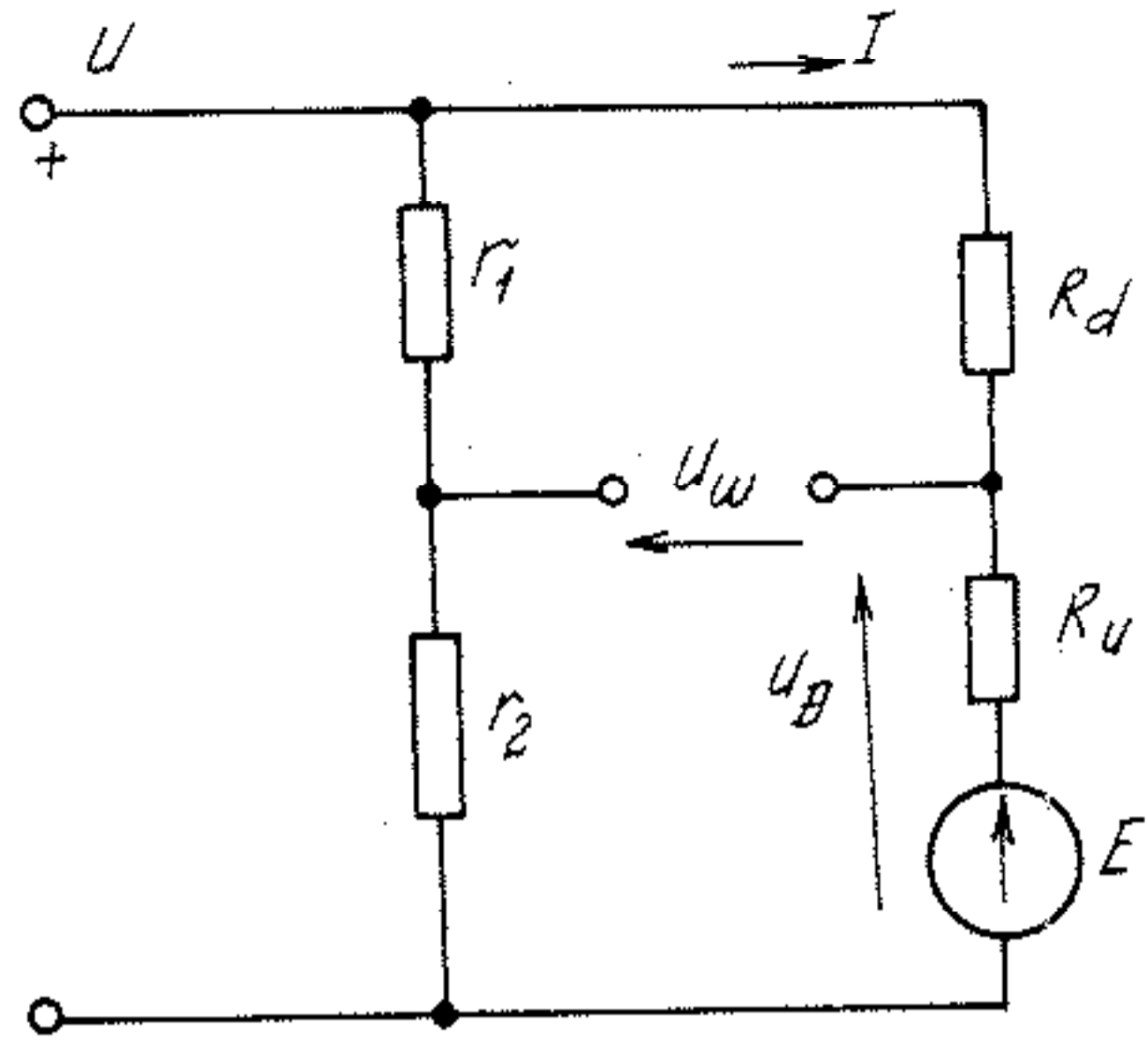


Hình 4-36. Phản hồi âm tốc độ động cơ



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.

$$U_w = U_{r_2} - U_D = \frac{r_2}{r_1 + r_2} U - (IR_u + E),$$

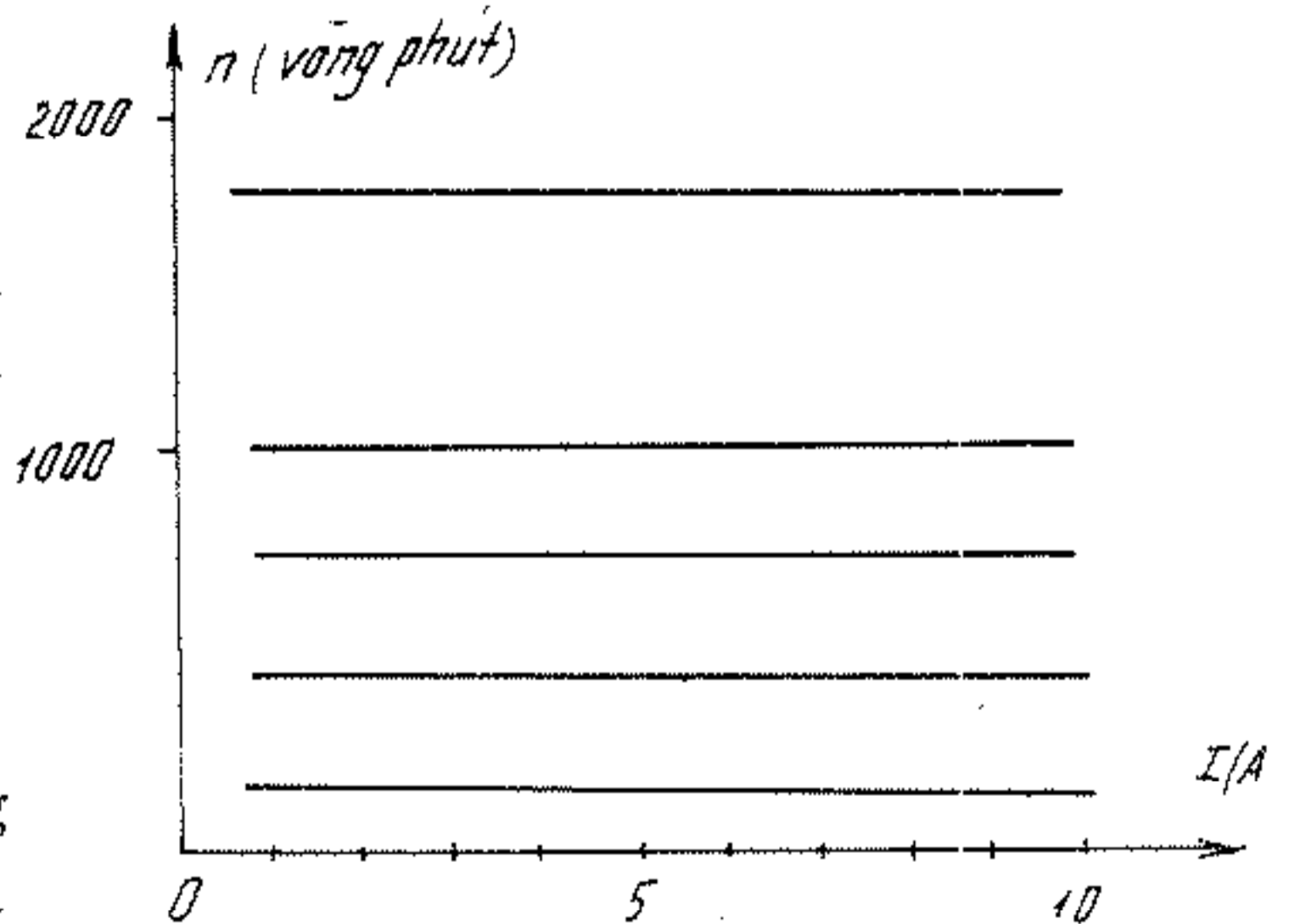
$$I = \frac{U - E}{R_d + R_u}$$

Trong trường hợp cầu điện trở  $r_1, r_2, R_d, R_u$  là một cầu cân bằng, tức là

$$\frac{R_u}{R_d R_u} = \frac{r_2}{r_1 + r_2},$$

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

$$u_w = - \frac{R_d}{R_u + R_d} E = - K_t \omega$$



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**

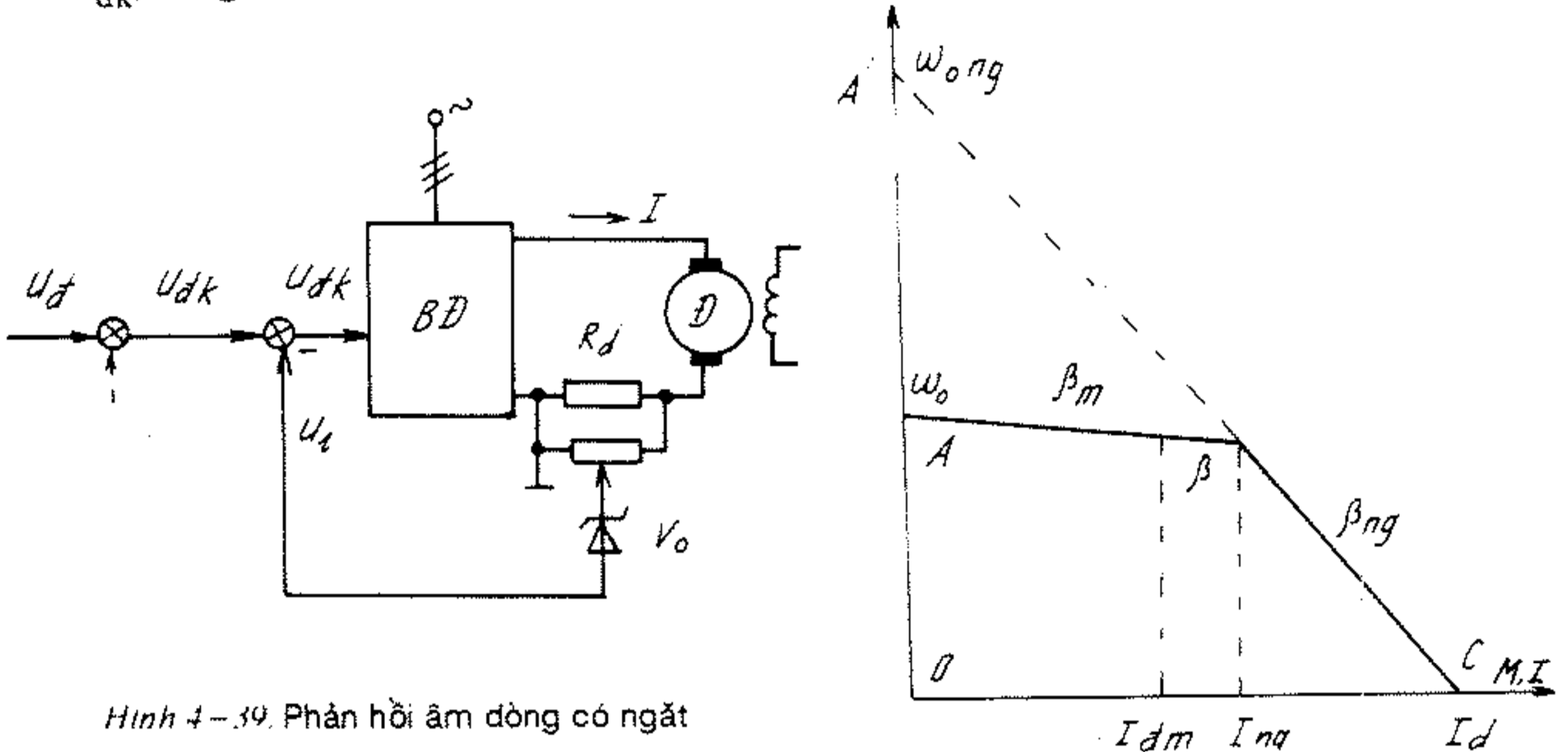
Vấn đề hạn chế dòng điện chỉ được đặt ra với các hệ truyền động kiểu vòng kín vì khi thiết kế, tính toán các hệ này có dùng các mạch phản hồi để giảm sai số tốc độ, tức là tăng độ cứng đặc tính cơ, đồng thời làm tăng giá trị dòng điện ngắn mạch và mômen ngắn mạch. Kết quả là gây nguy hiểm cho động cơ 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 điện 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:

$$u_i = aR_d(I - I_{ng})$$

$$u_{dk} = u'_{dk} - a.R_d(I - I_{ng}).$$

$$E_b = K_b[u'_{dk} - aR_d(I - I_{ng})], \quad I > I_{ng}$$

$$K\Phi_{dm}\omega = K_b(u'_{dk} + a.R_d I_{ng}) - [R + (1 + aK_b)R_d]I$$

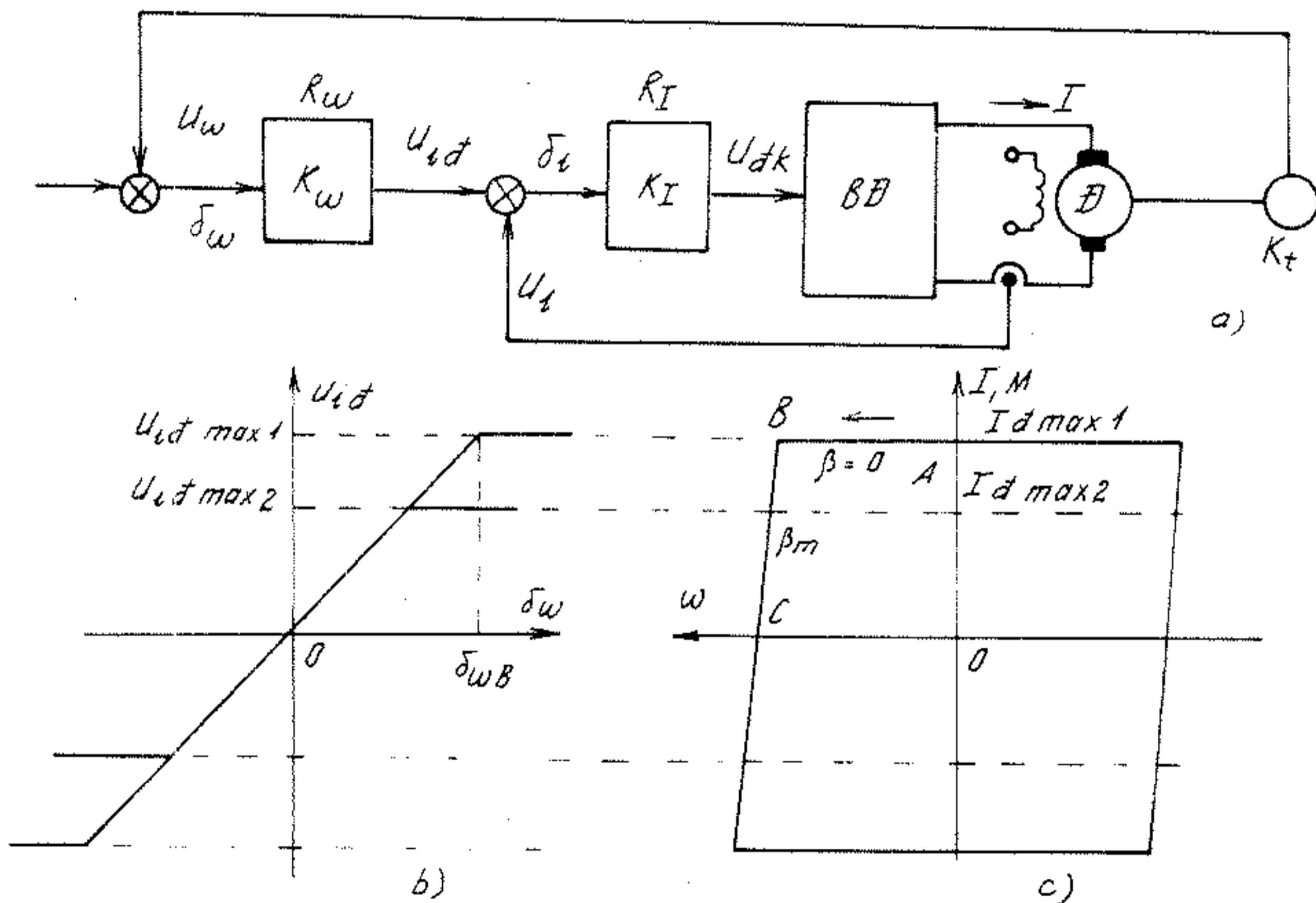
$$\omega = \omega_{ong}(a, I_{ng}, u'_{dk}) - \frac{M}{\beta_{ng}} \quad (4-60)$$

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  $\omega_{ong}$  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  $I < I_{ng}$ . Do các thành phần phản hồi để tăng độ cứng vẫn tồn tại ngay cả khi  $I > I_{ng}$  nên đoạn  $BC$  không thể đạt được độ cứng tùy ý, nhất là không thể đạt được giá trị  $\beta_{ng} = 0$ . Biểu thức tính độ cứng  $\beta_{ng}$  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  $R_1$ , vòng điều chỉnh tốc độ có bộ điều chỉnh tốc độ  $R_\omega$ , bộ điều chỉnh này có đặc tính khuếch đại có vùng bão hòa (H. 4-30, b). Điện áp đầu ra của  $R_\omega$  là điện áp đặt dòng điện phản ứng  $u_{id}$ , giá trị bão hòa  $u_{idmax}$  chính là giá trị đạt cực đại của dòng điện phản ứng. Bộ điều chỉnh dòng điện  $R_1$  trong mạch vòng có nhiệm vụ duy trì dòng điện phản ứng luôn bằng giá trị đặt ( $u_{id}$ ), bất kể hệ thống đang làm việc ổn định hay đang trong quá trình quá độ,  $R_1$  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  $\delta_i$  luôn nhỏ, bộ điều chỉnh  $R_1$  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  $u_\omega$  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  $R_\omega$  sẽ ở rất sâu trong vùng bão hòa của đặc tính điều chỉnh, tín hiệu ra của  $R_\omega$  sẽ là  $u_{id} = u_{idmax} = \text{const}$ , mạch vòng tốc độ bị "ngát" ra khỏi sơ đồ. Do hoạt động của mạch vòng dòng điện mà dòng điện phản 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

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{K\Phi_{dm} I_{dmax} - M_c}{J}$$

Mặc dù sau đó tốc độ động cơ tăng dần lên nhưng dòng điện phản ứng vẫn được duy trì ở giá trị  $I = I_{dmax}$  chừng nào mà bộ điều chỉnh tốc độ  $R_\omega$  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  $R_\omega$  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  $\beta_m$  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.