

TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG
PTS. Đỗ Xuân Tùng (chủ biên)
PTS. Trương Trí Ngộ - KS. Nguyễn Văn Thanh



NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG

PTS . ĐỖ XUÂN TÙNG (*chủ biên*)

PTS . TRƯƠNG TRI NGỘ, KS . NGUYỄN VĂN THANH

TRANG BỊ ĐIỆN MÁY XÂY DỰNG

**NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG
HÀ NỘI 1998**

LỜI NÓI ĐẦU

Nước ta đang ở thời kì công nghiệp hóa, hiện đại hóa nền kinh tế. Nhu cầu xây dựng các công trình dân dụng, công nghiệp và các cơ sở hạ tầng ngày càng tăng. Việc sử dụng các máy móc và trang bị kĩ thuật xây dựng đã có bước tiến đáng kể. Nhiều loại máy móc mới hiện đại xuất hiện phục vụ cho công nghệ xây dựng. Các trang thiết bị điện, các hệ thống truyền động điện là một bộ phận quan trọng, đóng góp vai trò đáng kể trong việc nâng cao hiệu suất làm việc của các loại máy móc xây dựng khác nhau. Nhu cầu kiến thức về trang bị điện và hệ thống truyền động điện trong máy xây dựng của các cán bộ trong ngành ngày càng cao nhằm đáp ứng cho việc sử dụng, vận hành máy móc có hiệu quả cũng như cho nghiên cứu cải tiến nâng cao chất lượng của các hệ thống trang bị điện để đáp ứng các yêu cầu công nghệ mới.

Do yêu cầu trên chúng tôi biên soạn cuốn giáo trình "Trang bị điện máy xây dựng". Sách đề cập đến các kiến thức cơ bản về các hệ thống truyền động điện trong máy xây dựng và máy móc nói chung ; Các phương pháp lựa chọn và điều khiển máy điện cho hệ thống truyền động điện ; các thiết bị và khí cụ điện và giới thiệu các sơ đồ mạch điện điều khiển máy điện trong các máy nâng - vận chuyển, máy xúc, trong ô tô và máy kéo.

Giáo trình "Trang bị điện máy xây dựng" gồm tám chương :

PTS. Đỗ Xuân Tùng viết chương 2, chương 3, chương 4, chương 5 và là chủ biên.

PTS. Trương Tri Ngộ viết chương 7, chương 8. Kĩ sư Nguyễn Văn Thanh viết chương 1, chương 6.

Sách được dùng làm tài liệu giảng dạy cho sinh viên ngành Cơ điện xây dựng Trường đại học Xây dựng Hà Nội. Đồng thời có thể dùng làm tài liệu tham khảo cho các kĩ sư thuộc các ngành có liên quan.

Các tác giả xin chân thành cảm ơn PTS Nguyễn Văn Liên đã đọc và đóng góp nhiều ý kiến có giá trị cho nội dung cuốn sách. Các tác giả cũng xin chân thành cảm ơn Ban giám hiệu Trường đại học Xây dựng Hà Nội và Nhà xuất bản Xây dựng đã giúp đỡ, tạo mọi điều kiện thuận lợi để xuất bản cuốn sách này.

Các tác giả

Chương I

CƠ SỞ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN VÀ ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

§1.1. CƠ SỞ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

1. Khái niệm chung về hệ thống truyền động điện

a. *Định nghĩa* : Hệ thống truyền động điện là một tập hợp các thiết bị điện, thiết bị điện tử, thiết bị điện tử v.v... dùng để biến đổi điện năng thành cơ năng và khống chế quá trình biến đổi đó.

b. Cấu trúc và phân loại

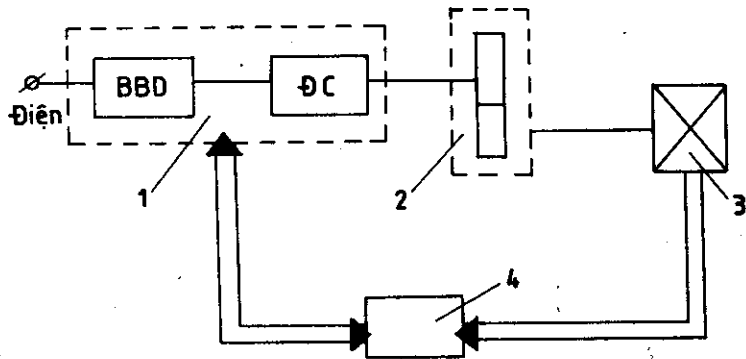
- Cấu trúc của hệ thống truyền động điện được biểu diễn theo mô hình như hình 1.1.

- Phân loại :

Quan điểm về công dụng gồm hai phần :

Phần điện : gồm động cơ (ĐC) và bộ biến đổi (BBD) để biến điện năng thành cơ năng và ngược lại và các thiết bị điều khiển đóng, cắt khống chế động cơ đó.

Phần cơ : là phần phụ thuộc vào yêu cầu công nghệ của từng máy sản xuất cụ thể.



Hình 1.1

1. Bộ biến đổi (BBD) và động cơ điện (ĐC);
2. Khâu truyền trung gian; 3. Máy sản xuất;
4. Các bộ điều chỉnh, đóng cắt, người vận hành v.v...

Ngoài ra người ta còn phân loại theo yêu cầu về điều chỉnh tốc độ.

- Loại truyền động không điều chỉnh : là loại truyền động chỉ có một động cơ điện nối trực tiếp với máy sản xuất và lưới điện, có một tốc độ nhất định.

- Loại truyền động điện có điều chỉnh tốc độ là loại truyền động có thể điều chỉnh được tốc độ, mômen, lực kéo, vị trí v.v... Thường là truyền động bằng nhiều động cơ điện có điều khiển bằng số, điều khiển tương tự hay điều khiển theo chương trình.

2. Khái niệm về đặc tính cơ của máy sản xuất và động cơ điện

a. Đặc tính cơ của máy sản xuất (M_{sx})

Trong hệ thống động học quan hệ hàm số giữa mômen và tốc độ $M(\omega)$, $M(n)$ gọi là đặc tính cơ. Các máy sản xuất có đặc tính cơ rất đa dạng. Theo công thức thực nghiệm ta có :

$$M_c = M_{C_0} + (M_{C_{dm}} - M_{C_0}) \left(\frac{n}{n_{dm}} \right)^x$$

trong đó :

- M_{C_0} : mômen ứng với tốc độ $n = 0$
- M_{dm} : mômen ứng với tốc độ định mức $n = n_{dm}$
- M_c : mômen ứng với tốc độ đang xét n .
- x : hệ số phụ thuộc vào tính chất của từng máy sản xuất, nói lên sự biến đổi của mômen cân khi tốc độ thay đổi.

Đặc tính cơ của máy sản xuất biểu diễn trên hình 2.1.

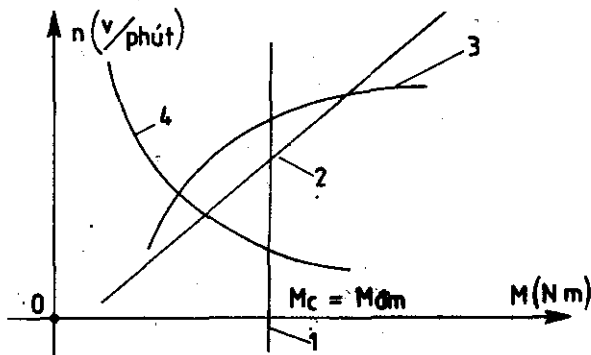
Trên hình vẽ :

$x = 0$ ứng với $M_c = M_{dm} = \text{Const}$ là đường 1, đó là đặc tính cơ của các cơ cấu nâng hạ tải trọng, của băng tải (khi khối lượng di chuyển không đổi) của cơ cấu ăn dao máy cắt gọt kim loại.

$x = 1$ ứng với mômen tỉ lệ bậc nhất với tốc độ là đường 2, thường gặp ở máy phát điện một chiều kích thích độc lập tải thuận trở.

$x = 2$ ứng với mômen tỉ lệ bậc hai đối với tốc độ là đường 3, là đặc tính của máy bơm li tâm, quạt gió, (truyền động theo nguyên tắc li tâm).

$x = -1$ ứng với mômen tỉ lệ nghịch với tốc độ là đường 4 thường có ở truyền động chính máy cắt gọt kim loại, máy cuốn dây, cuốn giấy v.v...



Hình 2.1

b. Đặc tính cơ của động cơ điện

Đặc tính cơ của động cơ điện là quan hệ giữa mômen điện từ sinh ra trong động cơ và tốc độ quay trên trục động cơ $n = f(M)$ hay $\omega = f(M)$. Ta sẽ nghiên cứu từng loại động cơ điện một chiều và từng loại động cơ điện xoay chiều sau.

+ Phân loại : Đặc tính cơ của động cơ điện được phân làm hai loại để xét như sau :

- Đặc tính cơ tự nhiên : là quan hệ $n = f(M)$ của động cơ ứng với các tham số của động cơ ở chế độ định mức : U_{dm} , f_{dm} , R_{dm} v.v... Với sơ đồ đấu dây theo cách mắc thông thường.
- Đặc tính cơ nhân tạo : là quan hệ $n = f(M)$ khi sơ đồ dạng đặc biệt để có các thông số thay đổi khác chế độ định mức.

(U ; ϕ ; R lấy các giá trị khác với giá trị ở chế độ định mức)

+ Đánh giá đặc tính cơ : để đánh giá và so sánh chất lượng đặc tính cơ người ta đưa ra khái niệm về độ cứng :

$$\beta = \frac{dM}{dn} \approx \frac{\Delta M}{\Delta n}$$

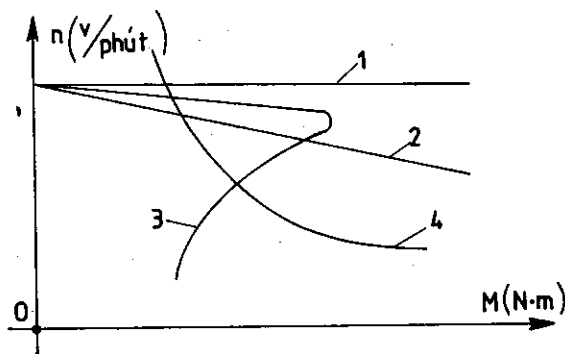
Trên hình vẽ 3.1 biểu diễn một số đường đặc tính cơ của các động cơ.

Đường 1 là đặc tính cơ của động cơ đồng bộ

$|\beta| = \infty$ - Đặc tính cơ cứng tuyệt đối

- Đặc tính cơ cứng : $|\beta| \leq (40 + 10)$ là đường 2 - Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích thích song song; là phần trên của đường số 3 - Đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ ba pha.

Đặc tính cơ mềm : $|\beta| \leq 10$ là đường 4 - Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp và phần dưới của đường số 3.



Hình 3.1

+ Tác dụng của đặc tính cơ :

- Biết điểm làm việc ổn định của hệ thống biết được M thì suy ra được n, có tính trực quan khi đánh giá điểm làm việc.

- Biết được quá trình quá độ khi khởi động, khi hãm, khi đảo chiều quay v. v...

- Có thể tính được một số tham số của hệ thống như R_{kd} (điện trở khởi động) $R_{phụ}$ (điện trở phụ) của mạch điện trong sơ đồ.

3. Phương trình cơ bản của truyền động điện

Khi nghiên cứu một hệ thống động học người ta thường chú ý thiết lập quan hệ giữa 3 đại lượng :

- Lực và mômen (F, M)
- Tốc độ, vận tốc góc của chuyển động (v, ω)
- Thời gian chuyển động (t).

a. Chuyển động tịnh tiến :

$$F - F_c = m \frac{dv}{dt}$$

trong đó :

F là lực gây chuyển động đơn vị [N]

F_c là lực cản trở chuyển động

$m \frac{dv}{dt}$ là lực quán tính

trong đó m : khối lượng vật [kg]

$\frac{dv}{dt}$: gia tốc chuyển động [m/s^2].

Tùy theo giá trị và dấu của $m \frac{dv}{dt}$ mà ta có vật, hay hệ thống chuyển động đều, chuyển động nhanh dần đều hay chậm dần đều v.v...

b. Chuyển động quay

Từ quan điểm năng lượng ta có phương trình :

$$P_{d.c} - P_c = P_{\text{động}} = \frac{dA}{dt}$$

trong đó : $P_{d.c}$ công suất động cơ sinh ra trên đầu trục - đơn vị là [W] hay [KW].

- P_c : công suất tiêu thụ ở máy sản xuất
- $P_{\text{động}}$: công suất gây chuyển động, làm thay đổi trạng thái làm việc của hệ thống.
- A là động năng của hệ thống quay :

$$A = \frac{J\omega^2}{2}$$

trong đó : J - mômen quán tính [kgm^2]

Vì $J = m\rho^2$ ở đó : m - khối lượng vật quay

ρ - bán kính trọng tâm vật quay. Khi vật đối xứng thường $\rho = \text{Const.}$

$$P_{d.c} - P_c = \frac{d \left[\frac{J\omega^2}{2} \right]}{dt} = J\omega \cdot \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ}{dt}$$

Đối với động cơ điện thường có $\frac{dJ}{dt} = 0$

$$P_{d.c} - P_c = J\omega \frac{d\omega}{dt}$$

Chia hai vế của phương trình cho ω (vận tốc góc) ta được :

$$M_{d.c} - M_c = J \frac{d\omega}{dt}$$

Trong tính toán kĩ thuật hay dùng đại lượng GD^2 gọi là mômen vô lăng.

$$J = m\rho^2 = \frac{G}{g} \left(\frac{D}{2} \right)^2 = \frac{GD^2}{4g}$$

$g = 9,8 \text{ m/s}^2$ là gia tốc trọng trường

trong đó G là trọng lượng vật quay [KG]

D là đường kính vật quay [m]

$$GD^2 [\text{KGm}^2] ; \omega [\text{rad/s}] = \frac{2\pi \times n}{60} ; n[\text{v/phút}].$$

Do vậy :

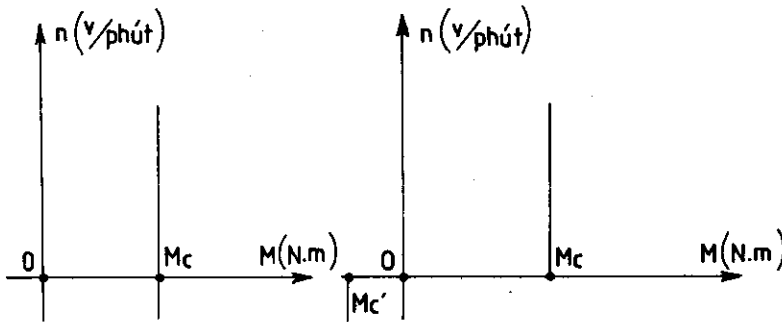
$$M_{d.c} - M_c = J \cdot \frac{d\omega}{dt} = \frac{GD^2}{4g} \cdot \frac{d[2\pi \times n]}{dt}$$

$$M_{d.c} - M_c = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt}$$

c. Xét dấu mômen

Trong hệ thống truyền động điện quy ước xét dấu, chiều mômen như sau :

- Đối với động cơ điện lấy chiều quay của rôto làm cơ sở để xét, nếu mômen cùng chiều thì lấy dấu dương (+) nếu ngược chiều thì lấy dấu âm (-).
- Đối với máy sản xuất (phụ tải) M_c được phân hai loại :
 - + M_c thế năng : là mômen không phụ thuộc vào chiều quay hay $M_c = \text{Const}$ thường có ở tải trọng treo (trong máy xây dựng).
 - + M_c phản kháng : là mômen cản luôn luôn chống lại chiều chuyển động như là mômen ma sát, cơ cấu ăn dao của máy cắt gọt kim loại. Hình 4.1 biểu diễn các loại mômen trên.



Hình 4.1 : Biểu diễn mômen phản kháng và thế năng

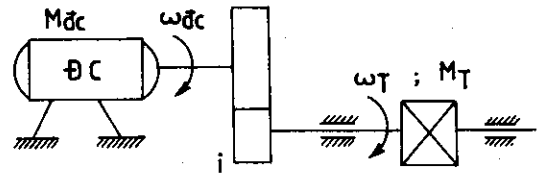
4. Sự quy đổi mômen cản, lực cản và mômen quán tính, khối quán tính

a. Quy đổi mômen cản M_c và lực cản F_c về trục động cơ điện

Cho hệ thống động học như hình vẽ 5.1.

Khâu truyền có tỉ số truyền $i = \frac{\omega_{d.c}}{\omega_T}$

Đơn giản ta bỏ qua tổn thất khâu truyền để quy đổi mômen cản ở tang M_T về trục động cơ. Cơ sở của việc quy đổi là năng lượng của hệ thống được bảo toàn :



Hình 5.1

$$P_T = M_T \cdot \omega_T$$

$$P_{qd} = M_{qd} \times \omega_{qd} \text{ (quy đổi)}$$

$\omega_{qd} = \omega_{d.c}$. Do đó :

$$P_T = M_T \times \omega_T = P_{qd} = M_{qd} \times \omega_{d.c}$$

$$M_{qd} = M_T \times \frac{\omega_T}{\omega_{d.c}} = \frac{M_T}{i}$$

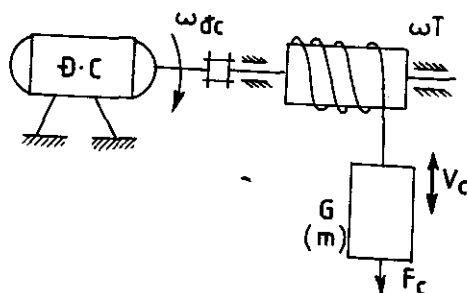
Tổng quát nếu có k cặp bánh truyền với các hệ số truyền $i_1, i_2, \dots, i_k$

$$M_{qd} = \frac{M_T}{i_1 i_2 \dots i_k}$$

Nếu có kể đến hiệu suất η của các khâu truyền ta có công thức tổng quát khi quy đổi mômen cản về trục động cơ :

$$M_{qd} = \frac{M_T}{i_1 i_2 \dots i_k \cdot \eta_1 \eta_2 \dots \eta_k}$$

- Quy đổi lực cản F_c : Cho hệ thống động học như hình vẽ 6.1, ta thực hiện quy đổi chuyển động tịnh tiến về chuyển động quay.



Hình 6.1

$$F_c \times V_c = P_c = P_{qd} = M_{qd} \times \omega_{qd} = M_{qd} \times \omega_{dc}$$

$$M_{qd} = \frac{F_c V_c}{\omega_{dc}} = \frac{30 F_c \cdot V_c}{\pi n_{dc}}$$

b. Quy đổi mômen quán tính và khối quán tính

- Quy đổi mômen quán tính :



Hình 7.1

Cho hệ thống động học như

hình vẽ 7.1.

Nếu hệ thống có cùng tốc độ ta có :

$$J_{\text{hệ thống}} = \sum_{i=1}^K J_i$$

Năng lượng hệ thống chuyển động quay :

$$A = J_{dc} \frac{\omega_{dc}^2}{2} + J_1 \frac{\omega_1^2}{2} + J_2 \frac{\omega_2^2}{2} + \dots + J_k \frac{\omega_k^2}{2} + J_T \frac{\omega_T^2}{2}$$

$$A_{qd} = J_{qd} \frac{\omega_{qd}^2}{2} = J_{qd} \times \frac{\omega_{dc}^2}{2} = A$$

$$J_{qd} = J_{dc} + J_1 \left(\frac{\omega_1}{\omega_{dc}} \right)^2 + J_2 \left(\frac{\omega_2}{\omega_{dc}} \right)^2 + \dots + J_T \left(\frac{\omega_T}{\omega_{dc}} \right)^2$$

$$J_{qd} = J_{dc} + J_1/i_1^2 + J_2/i_1^2 i_2^2 + \dots + J_T/i_1^2 i_2^2 i_k^2$$

Ở đây $J_1, J_2, \dots, J_k$ là mômen quán tính của các cặp bánh truyền trung gian, xác định các đại lượng này thường khó khăn và phức tạp cho nên trong thực tế được tính gần đúng :

$$J_{qd} = \delta J_{dc} + \frac{J_T}{i_1^2 i_2^2 \dots i_k^2}$$

$$\delta = 1,1 \div 1,3$$

$$GD_{qd}^2 = \delta GD_{dc}^2 + \frac{GD_T^2}{i_1^2 i_2^2 \dots i_k^2}$$

- Quy đổi khối quán tính :

Cho hệ thống động học như hình 6.1, ta thực hiện quy đổi khối quán tính như sau :
Năng lượng hệ thống vừa chuyển động quay vừa chuyển động tịnh tiến :

$$A = (J_{dc} + J_T) \frac{\omega_{dc}^2}{2} + \frac{mV_c^2}{2}$$

$$A_{qd} = m_{qd} \frac{V_{qd}^2}{2} = m_{qd} \frac{V_c^2}{2} = A$$

$$m_{qd} = m + (J_{dc} + J_T) \left(\frac{\omega_{dc}}{V_c} \right)^2$$

Hệ thống động học này có thể tính mômen quy đổi như sau :

$$J_{qd} = (J_{dc} + J_T) + m \left(\frac{V_c}{\omega_{dc}} \right)^2 = J + m \left(\frac{V_c}{\omega_{dc}} \right)^2$$

Hoặc tính theo mômen vô lăng :

$$GD_{qd}^2 = \delta GD_{dc}^2 + 365G \left(\frac{V_c}{n_{dc}} \right)^2$$

5. Điều kiện ổn định tĩnh của hệ thống truyền động điện

Điểm làm việc của hệ thống truyền động điện phải thỏa mãn sự phù hợp giữa đặc tính cơ của động cơ điện và đặc tính cơ của máy sản xuất, thể hiện ở phương trình :

$$M_{dc} - M_c = 0 \text{ hay } M_{dc}(\omega) - M_c(\omega) = 0$$

Tuy nhiên không phải động cơ điện nào cũng có chế độ làm việc phù hợp với phụ tải mà phải có các điều kiện dẫn tới hệ thống ổn định hay không ổn định. Người ta đã tìm ra điều kiện ổn định cho động cơ với phụ tải :

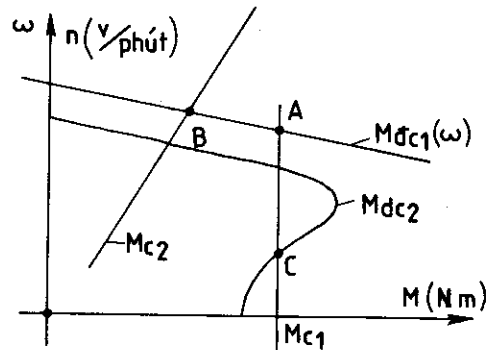
$$\beta_{dc} - \beta_c < 0$$

Hiệu số độ cứng đặc tính cơ động cơ và phụ tải là âm. Hình 8.1 biểu diễn các đặc tính ổn định và không ổn định đó. Thí dụ điểm A ta có $\beta_{dc_1} < 0$ và $\beta_{c_1} = 0$ do đó $\beta_{dc_1} - \beta_{c_1} < 0$.

Thí dụ điểm B ta có : $\beta_{dc_1} < 0$; $\beta_{c_2} > 0$

$$\beta_{dc_1} - \beta_{c_2} < 0 \text{ hệ thống ổn định.}$$

Điểm C là điểm có : $\beta_{dc_2} > 0$; $\beta_{c_1} = 0$ do đó $\beta_{dc_2} - \beta_{c_1} > 0$ hệ thống làm việc không ổn định.

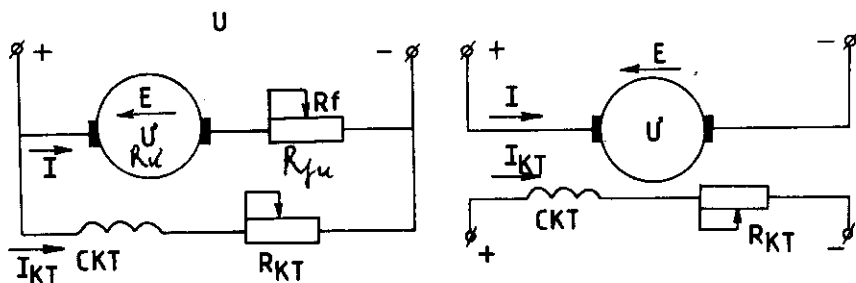


Hình 8.1

§1.2. ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

1. Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích thích độc lập.

Sơ đồ mạch điện được biểu diễn ở hình 9.1.



Kích từ song song

Kích từ độc lập

Hình 9.1

a. Phương trình đặc tính cơ $n = f(M)$

Theo sơ đồ mạch điện và nguyên lý làm việc của động cơ điện một chiều kích thích độc lập ta có các phương trình sau :

$$U = E + IR \quad (1)$$

$$E = C_e \phi . n \quad (2)$$

$$M = C_M \phi . I \quad (3)$$

trong đó :

- U : điện áp một chiều của nguồn điện hoặc lưới điện. Đơn vị [V].
- I : dòng điện phần ứng. Đơn vị [A]
- E : sức điện động sinh ra ở máy điện
- $R = R_u + R_{kt}$: điện trở mạch điện. Đơn vị [Ω]

trong đó R_u là điện trở của cuộn dây phần ứng

- ϕ : từ thông dưới một cực từ đơn vị [Wb]
- M : mômen điện từ, đơn vị [Nm]
- n : tốc độ trên trục động cơ, đơn vị [v/phút]

$$C_e = \frac{pN}{60a} : \text{hệ số phụ thuộc vào cấu tạo máy điện}$$

trong đó :

- p là số đối cực từ
- N : số thanh dẫn tác dụng
- a : số đối mạch nhánh mắc song song

$$C_M = \frac{pN}{2\pi a} = C_e \frac{60}{2\pi} = 9,55 C_e$$

Thay (1) và (3) vào (2) ta được :

$$n = \frac{U}{C_e \phi} - \frac{R}{C_e \phi C_M \phi} . M \quad (4)$$

Đối với động cơ một chiều này nếu giữ cho $\phi = \text{Const}$ thì ta có các hệ số $k_e = C_e \phi = \text{Const}$

$$k_M = C_M \phi = \text{Const}$$

Phương trình sẽ có dạng :

$$n = \frac{U}{k_e} - \frac{R}{k_e k_M} \cdot M \quad (5)$$

Ngoài ra người ta còn dùng đặc tính cơ quan hệ $n = f(I)$ gọi là đặc tính cơ điện. Phương trình sẽ có dạng

$$n = \frac{U}{k_e} - \frac{R}{k_e} \cdot I$$

Khi động cơ chạy không tải $M = 0$ hay $I = 0$

$$U = E = k_e n_0 ; \text{ do đó } n_0 = \frac{U}{k_e} = \text{Const.}$$

n_0 gọi là tốc độ không tải lí tưởng. Do vậy có thể biểu diễn $n = f(M)$:

$$n = n_0 - \Delta n$$

trong đó $\Delta n = \frac{R}{k_e k_M} M = \frac{R}{k_e} I$ gọi là độ rơi tốc độ.

b. Dạng đặc tính cơ : $n = f(M)$

$$n = \frac{U}{k_e} - \frac{R M}{k_e k_M}$$

nếu $U = \text{Const}$

$R = \text{Const}$

thì $n = f(M)$ quan hệ bậc nhất (tuyến tính)

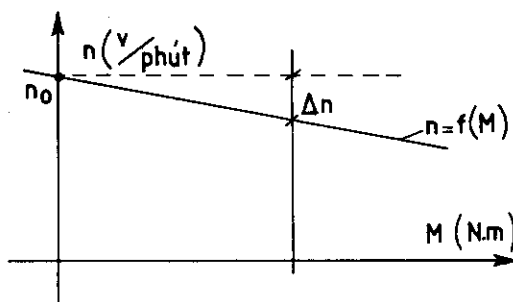
$$n = a - bM$$

với $a = \frac{U}{k_e} = n_0 = \text{const}$

$$b = \frac{R}{k_e k_M}$$

Đặc tính cơ là một đường thẳng không đi qua gốc tọa độ ; có hệ số góc là $(-b)$ và R càng lớn thì đường thẳng càng dốc. Hình 10.1 biểu diễn dạng đặc tính cơ đó.

* Đơn vị tương đối : Để so sánh phẩm chất các đường đặc tính cơ và đơn giản cách vẽ đặc tính cơ người ta đưa ra định nghĩa đơn vị tương đối :



Hình 10.1 : Biểu diễn dạng đặc tính cơ

$$\text{D.V.T.D} = \frac{\text{Trị số tuyệt đối đại lượng xét}}{\text{Trị số đại lượng cơ bản}}$$

Thông thường các đại lượng cơ bản là các đại lượng định mức : U_{dm} , I_{dm} , M_{dm} , n_{dm} , R_{dm} v.v...

$$- n^* (\text{tốc độ tương đối}) = \frac{n}{n_{cbn}} = \nu \text{ (nuy)}$$

Đối với động cơ điện một chiều kích thích song song

$$\nu = n^* = \frac{n}{n_0}$$

$$- I^* (\text{dòng điện tương đối}) = \frac{I}{I_{dm}} = \iota \text{ (iôta)}$$

$$- R^* (\text{điện trở tương đối}) = \frac{R}{R_{dm}} = \rho \text{ (rô)}$$

$$- M^* (\text{mômen tương đối}) = \frac{M}{M_{dm}} = \mu \text{ (muy)}$$

Đối với động cơ một chiều kích thích song song $n = f(M)$ biểu diễn ở hệ đơn vị tương đối là :

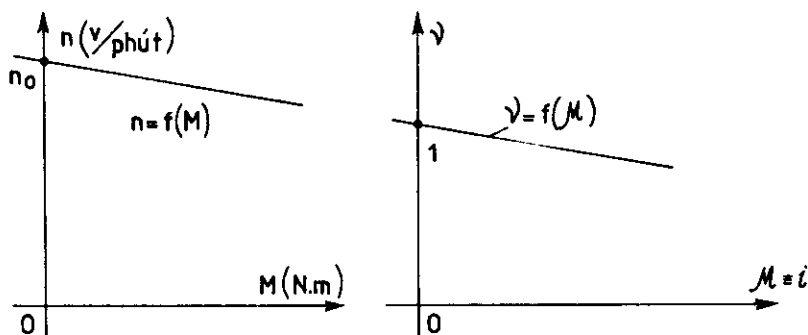
$$\nu = f(\mu) = f(\iota)$$

Đặc tính cơ : $n = f(M) = n_0 - \Delta n$

Chia 2 vế cho n_0 ta có :

$$\frac{n}{n_0} = 1 - \frac{\Delta n}{n_0} = 1 - \frac{RI}{k_e} \cdot \frac{U}{k_e}$$

$$\nu = 1 - \rho \iota$$



Hình 11.1 : Biểu diễn đặc tính cơ $n = f(M)$ và đặc tính cơ trong đơn vị tương đối $\nu = f(\mu)$ hay $\nu = f(\iota)$

c. Phương pháp vẽ đặc tính cơ

Đặc tính cơ $n = f(M)$ của động cơ điện một chiều kích thích song song là một đường thẳng do vậy chỉ cần tìm 2 điểm theo với số liệu định mức của động cơ như : P_{dm} , U_{dm} , I_{dm} , n_{dm} , R_u .

- Vẽ đặc tính cơ tự nhiên : $n = f(M)$ với $R = R_f + R_u = R_u$ vì $R_f = 0$. Phương trình sẽ có dạng :

$$n = \frac{U}{k_e} - \frac{R_u \cdot M}{k_e \cdot k_M}$$

* Điểm A(0 ; n_0) cắt trục tung tại $n = n_0$.

$$n_0 = \frac{U}{k_e} = \frac{U_{dm}}{k_e} \text{ mà } k_e = \frac{E_{dm}}{n_{dm}}$$

$$k_e = \frac{U_{dm} - R_u I_{dm}}{n_{dm}} \text{ vậy } n_0 = n_{dm} \frac{U_{dm}}{U_{dm} - R_u I_{dm}}$$

* Điểm B(M_{dm} ; n_{dm})

từ công thức $P = M \times \omega = M \cdot \frac{2\pi \times n}{60}$; ([W] = [Nm] [rad/s])

ta có : $M = \frac{60P}{2\pi n}$; $M_{dm} = \frac{60P_{dm}}{2\pi n_{dm}}$

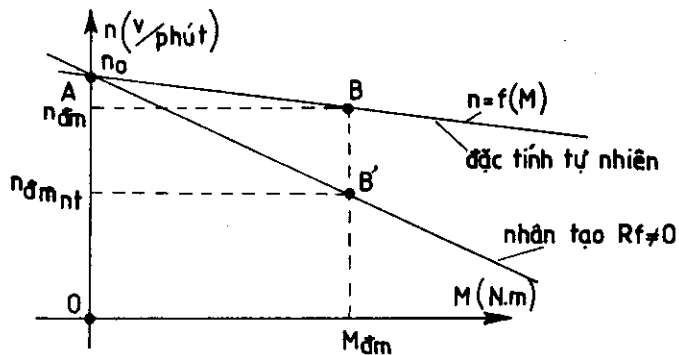
Vì P_{dm} cho trên nhân động cơ điện với đơn vị KW = 10^3 W.

Do vậy : $M_{dm} = \frac{P_{dm} \times 60 \times 10^3}{2\pi n_{dm}} = 9550 \frac{P_{dm}}{n_{dm}}$
[Nm]

- Vẽ đặc tính cơ nhân tạo :
bằng cách mắc nối tiếp R_f
với mạch phản ứng có nghĩa
 $R_f \neq 0$. $R = R_u + R_f$. Phương
trình đặc tính cơ nhân tạo có
dạng :

$$n = \frac{U}{k_e} - \frac{(R_u + R_f) \cdot M}{k_e k_M}$$

Đặc tính này vẫn đi qua
điểm A (0 ; n_0) và điểm B'
(M_{dm} ; n_{dm}), nghĩa là đường
đặc tính cơ nhân tạo thấp hơn
đường tự nhiên vì $R = R_u + R_f$
 $> R_u$ hay $n_{dm_{nt}} < n_{dm}$



Hình 12.1 : Biểu diễn cách vẽ
đặc tính tự nhiên và nhân tạo

Ta biết :

$$n_{dm} = \frac{U_{dm} - R_u I_{dm}}{k_e}$$

$$n_{dm_{nt}} = \frac{U_{dm} - (R_u + R_f) I_{dm}}{k_e}$$

lập tỉ số :

$$\frac{n_{dm_{nt}}}{n_{dm}} = \frac{U_{dm} - (R_u + R_f) I_{dm}}{U_{dm} - R_u I_{dm}}$$

Do đó ta có công thức xác định n_{dm} :

$$n_{dm} = n_{dm} \left(\frac{U_{dm} - (R_u + R_f) I_{dm}}{U_{dm} - R_u I_{dm}} \right)$$

Hoặc lập tỉ số :

$$\frac{n_{dm}}{n_o} = \frac{U_{dm} - (R_u + R_f) I_{dm}}{U_{dm}}$$

$$n_{dm} = n_o \frac{U_{dm} - (R_u + R_f) I_{dm}}{U_{dm}}$$

* *Chú ý* : nếu ở nhãn máy hoặc lí lịch động cơ không cho chỉ số R_u thì ta có thể tính R_u theo các số liệu định mức sau :

$$\Delta P = P_{điện} - P_{cơ} = U_{dm} I_{dm} - P_{dm}$$

$$(tổn hao công suất) = U_{dm} I_{dm} (1 - \eta_{dm})$$

$$\eta_{dm} = \frac{P_{cơ}}{P_{điện}} = \frac{P_{dm} \cdot 10^3}{U_{dm} \cdot I_{dm}}$$

tổn hao công suất trong dây quấn phần ứng là :

$$R_u I_{dm}^2 = 0,5 \Delta P = 0,5 U_{dm} I_{dm} (1 - \eta_{dm})$$

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

d. Ảnh hưởng các tham số đến đặc tính cơ

Từ phương trình đặc tính cơ $n = f(M)$, ta thấy có một số tham số điện áp, điện trở, từ thông nếu biến thiên sẽ làm thay đổi các đặc tính cơ

$$n = f(M)$$

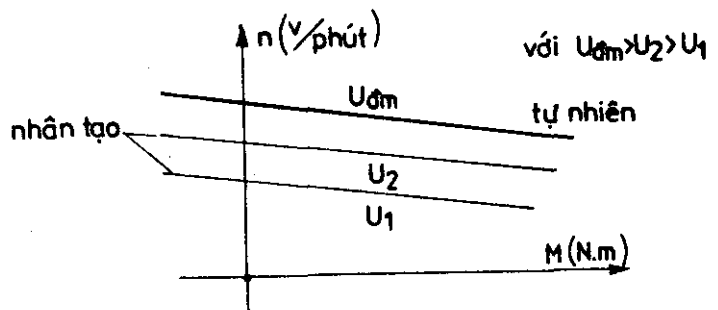
từ phương trình đặc tính cơ ta thấy tốc độ là hàm của nhiều biến $n = f(U, R, \phi, M)$

- Thay đổi điện áp nguồn : $n = f(M)$ với U biến thiên. Ta được một họ đặc tính cơ song song với đường đặc tính cơ tự

nhân vì $n_o = \frac{U}{k_c} = \text{var.}$

Với các điện áp khác nhau sẽ có những n_o khác nhau còn hệ số góc của các đường đặc tính không

đổi vì $\frac{R}{k_c k_M} = \text{const.}$ Các dạng đặc tính biểu diễn ở hình 13.1.



Hình 13.1 : Họ đặc tính nhân tạo

Trong thực tế người ta chỉ thay đổi theo hướng $U < U_{dm}$, nghĩa là các đường đặc tính nhân tạo thấp hơn đặc tính cơ tự nhiên.

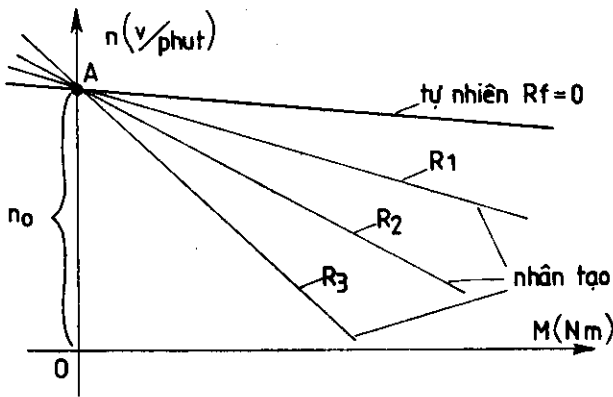
- Thay đổi điện trở mạch điện : $R = R_u + R_f$

Bằng cách mắc nối tiếp các điện trở phụ khác nhau với mạch phản ứng : $n = f(M)$ với R_f biến thiên. Họ đặc tính nhân tạo này có đặc điểm đều đi qua điểm A ($0 ; n_0$) vì $n_0 = \frac{U}{k_e} = \text{const}$ còn hệ số góc đường thẳng.

$$b = \frac{R_u + R_f}{k_e k_M} = \text{var}$$

R_f càng lớn đặc tính cơ càng dốc, nghĩa là đặc tính cơ nhân tạo càng mềm. Các họ đặc tính biểu diễn trên hình 14.1.

với $R_{f3} > R_{f2} > R_{f1}$



$$R_1 = R_u + R_{f1}$$

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

$$R_3 = R_u + R_{f3}$$

Hình 14.1 : Biểu diễn họ đặc tính nhân tạo $n = f(M)$ với R biến thiên

- Thay đổi từ thông kích từ của động cơ :

Trong các trường hợp đặc biệt người ta thay đổi giảm từ thông đặt vào động cơ $\phi < \phi_{dm}$

$n = f(M)$ với ϕ biến thiên

Trường hợp này ta có :

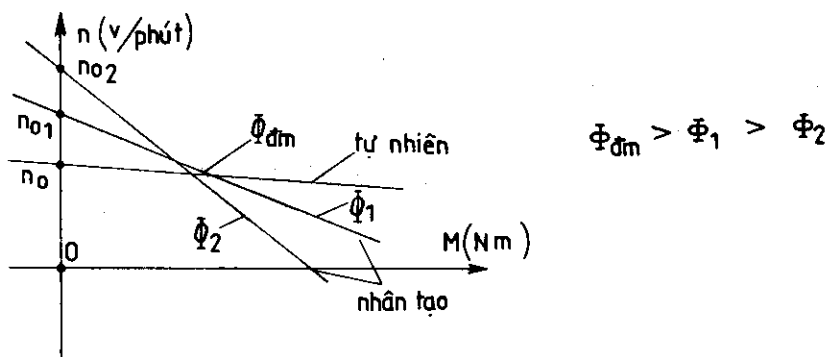
$$a = n_0 = \frac{U}{C_e \phi} = \text{var}$$

$$|b| = \frac{R}{C_e \phi C_M \phi} = \text{var}$$

nếu ϕ giảm k lần thì n_0 tăng lên k lần. Nhưng $|b|$ lại tăng k^2 lần. Họ đặc tính nhân tạo này được biểu diễn ở hình 15.1.

e. Khởi động và tính điện trở khởi động

Khởi động động cơ điện một chiều kích thích độc lập là trạng thái n biến thiên từ 0 đến $n_{\text{làm việc}}$, tại thời điểm $n = 0$, ta có dòng điện ở mạch phản ứng là dòng điện khởi



Hình 15.1 : Biểu diễn đặc tính nhân tạo với ϕ biến thiên.

động. $I_{kd} = \frac{U}{R_u} \gg I_{dm}$ thường $I_{kd} = (10 \div 20)I_{dm}$, dòng điện này sẽ làm cho động cơ làm việc không an toàn, do vậy để động cơ làm việc an toàn phải có cách hạn chế dòng điện khởi động để $I_{kd} \leq 2,5I_{dm}$ bằng cách nối tiếp với phần ứng các cấp điện trở phụ sau đó sẽ cắt dần với sự tăng dần của tốc độ n để phù hợp với biểu thức :

$n_{\text{biến thiên}}$ kéo theo $E = k_c n$ biến thiên

$$I_{kd} = \frac{U - E}{R_u + R_f} \leq 2,5I_{dm}$$

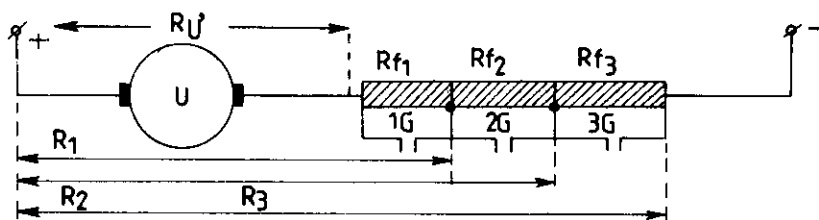
Dòng điện khởi động sẽ dao động ở phạm vi I_{kd1} và I_{kd2} khi cắt các cấp điện trở phụ.

$$I_{kd1} = (2 \div 2,5)I_{dm}, \text{ giới hạn trên}$$

$$I_{kd2} = (1,2 \div 1,5)I_{dm}, \text{ giới hạn dưới}$$

Giả sử ta có một động cơ điện một chiều được mở máy với 3 cấp điện trở phụ mắc nối tiếp với mạch phần ứng R_{f1} , R_{f2} , R_{f3} , khi tốc độ tăng ta cắt dần các cấp R_f tương xứng khi khởi động xong thì cũng loại trừ các cấp R_f ra khỏi mạch phần ứng.

Hình 16.1 Biểu diễn sơ đồ mắc điện trở khởi động vào mạch phần ứng với các cấp R_{f1} , R_{f2} , R_{f3} được nối tắt bằng các tiếp điểm 1G, 2G, 3G của các khí cụ tự động.



Hình 16.1 :

- Tính điện trở khởi động

+ Phương pháp đồ thị : Dựa vào số liệu định mức của động cơ điện mà vẽ các đặc tính tự nhiên và họ đặc tính nhân tạo khởi động sao cho phù hợp với số cấp m điện trở đưa vào, sau đó sẽ đo trên đặc tính mà tính các điện trở khởi động tương xứng. Các bước tiến hành như sau :

- Vẽ đặc tính tự nhiên $n = f(I)$ cơ điện

- Chọn 2 giới hạn I_{kd1} , I_{kd2} cho thích hợp, vẽ m đường đặc tính khởi động tương xứng với số cấp điện trở phụ nối với mạch phản ứng.

Theo công thức $n = n_0 - \Delta n$ ta thấy ứng với $M = \text{const}$ thì $I = \text{const}$ thí dụ $I_1 = I_{kd1} = \text{const}$ ta sẽ có độ dài đoạn : $\overline{SA}$ là độ rơi tốc độ của đặc tính tự nhiên

$\overline{SC}$ là độ rơi tốc độ của đặc tính nhân tạo 1 ứng với điện trở của mạch $R_1 = R_u + R_{f1}$

$\overline{SE}$ độ rơi tốc độ của đặc tính nhân tạo 2 ứng với điện trở mạch là $R_2 = R_1 + R_{f2}$

$\overline{SH}$ độ rơi tốc độ của đặc tính nhân tạo 3 (m) ứng với điện trở mạch là $(R_m) R_3 = R_2 + R_{f3}$

Theo hình vẽ ta thấy có sự tương quan giữa độ dài hình học và điện trở trong mạch

$\overline{SA}$ tỉ lệ với R_u

$\overline{AC}$ tỉ lệ với R_{f1}

$\overline{CE}$ tỉ lệ với R_{f2}

$\overline{EH}$ tỉ lệ với R_{f3} hay R_{fm}

Lập tỉ số :

$$\frac{R_{f1}}{R_u} = \frac{\overline{AC}}{\overline{SA}} \text{ suy ra } R_{f1} = R_u \cdot \frac{\overline{AC}}{\overline{SA}}$$

$$R_{f2} = R_u \cdot \frac{\overline{CE}}{\overline{SA}}$$

$$R_{f3} = R_u \cdot \frac{\overline{EH}}{\overline{SA}}$$

Vì theo hình 16.1 ta đã có : $R_1 = R_u + R_{f1}$

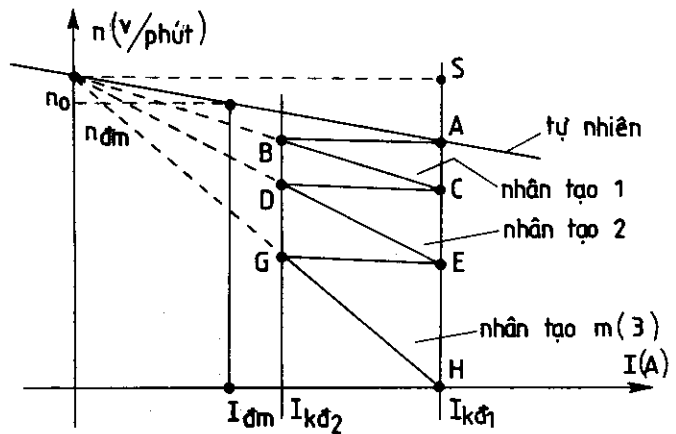
$$R_2 = R_1 + R_{f2} = R_u + R_{f1} + R_{f2}$$

$$R_3 = R_2 + R_{f3} = R_u + R_{f1} + R_{f2} + R_{f3}$$

+ Phương pháp giải tích :

tại điểm G :
$$I_{kd2} = \frac{U - E_3}{R_3} = \frac{U - E_m}{R_m}$$

tại điểm E :
$$I_{kd1} = \frac{U - E_2}{R_2} = \frac{U - E_{m-1}}{R_{m-1}}$$



Hình 17.1 : Biểu diễn cách vẽ đặc tính khởi động

Do 2 điểm E và G nằm trên đường song song với trục hoành do vậy $n_G = n_E$ hay $E_3 = E_2$ lập tỉ số :

$$\frac{I_{kd_1}}{I_{kd_2}} = \frac{R_3}{R_2} = \frac{R_m}{R_{m-1}} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_1}{R_u}$$

Đặt $\lambda = \frac{I_{kd_1}}{I_{kd_2}}$ ta sẽ có $R_1 = R_u \lambda$

$$R_2 = R_1 \lambda = R_u \lambda^2$$

$$R_3 = R_2 \lambda = R_u \lambda^3$$

$$R_m = R_{m-1} \lambda = R_u \lambda^m$$

Theo hình 16.1 ta có :

$$R_{f1} = R_1 - R_u = R_u (\lambda - 1)$$

$$R_{f2} = R_2 - R_1 = R_u \lambda (\lambda - 1)$$

.....

$$R_{fm} = R_m - R_{m-1} = R_u \lambda^{m-1} (\lambda - 1)$$

Tại điểm $H(I_{kd_1} ; 0) : n = 0 ; I_{kd_1} = \frac{U}{R_m} = \frac{U_{dm}}{R_m}$

Do vậy $R_m = \frac{U_{dm}}{I_{kd_1}}$ mà $\rho_m = \frac{R_m}{R_{dm}} = R_m^*$

$$\rho_m = \frac{U_{dm}}{R_{dm}} \frac{1}{I_{kd_1}} = \frac{I_{dm}}{I_{kd_1}} = \frac{1}{I_{kd_1}^*} = \frac{1}{I_{kd_1}}$$

Theo phần trên :

$$R_m = R_u \lambda^m \text{ ta có } \lambda = \sqrt[m]{\frac{R_m}{R_u}}$$

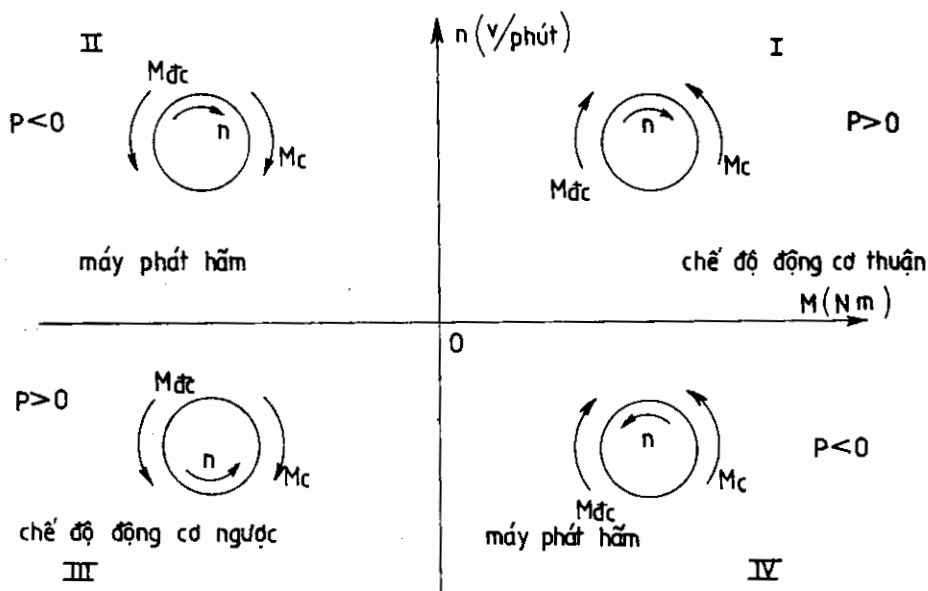
$$\lambda = \sqrt[m]{\frac{\rho_m}{\rho_u}} = \sqrt[m]{\frac{1}{\rho_u I_{kd_1}}}$$

Từ đây ta có : $m = \frac{\ln \left(\frac{1}{\rho_u I_{kd_1}} \right)}{\ln \lambda}$

m là số cấp phải nguyên và dương

2. Các chế độ làm việc của động cơ trong truyền động điện (T.Đ.Đ).

a. *Chế độ động cơ* : là chế độ máy điện nhận điện năng từ lưới điện để biến thành cơ năng trên đầu trục kéo tải máy sản xuất, quy ước $P > 0$ nghĩa là : $P \equiv M \times n > 0$ hay là mômen và tốc độ luôn luôn cùng dấu trong hệ tọa độ biểu diễn đặc tính cơ $n = f(M)$, nó nằm ở góc phần tư I và III



Hình 18.1 : Biểu diễn chế độ làm việc của động cơ trong TDD

b. Chế độ máy phát - các trạng thái hãm : là chế độ máy điện do một nguyên nhân ngoại lực nào đó động cơ không phát ra công suất cơ học P_c , hay $P_c \equiv M \cdot n < 0$. Mômen và tốc độ luôn luôn trái dấu, những điểm làm việc nằm ở góc phần tư II và IV hệ tọa độ.

* Định nghĩa trạng thái hãm là trạng thái động cơ sinh ra một lực hay một mômen chống lại chiều chuyển động mà động cơ đang tiến hành.

- Có thể giảm tốc độ hệ thống, kể cả dừng máy.
- Có thể giữ cho hệ thống làm việc ổn định ở một tốc độ nào đó khi hệ thống chịu một mômen ngoại lực.
- Có thể giữ cho hệ thống đứng yên khi chịu một lực tác động.

Động cơ điện thường sử dụng 3 trạng thái hãm:

- Hãm tái sinh
- Hãm ngược
- Hãm động năng

+ Hãm tái sinh : là trạng thái hãm xảy ra khi có một mômen bên ngoài tác động lên trục động cơ làm cho tốc độ động cơ lớn hơn tốc độ không tải lý tưởng ($n > n_0$) khi này động cơ làm việc như một máy phát biến cơ năng thành điện năng trả về lưới điện. Dòng điện phản ứng đổi chiều, gọi là dòng điện hãm. Ta thấy do $n > n_0$ dẫn tới $E > U$ cho nên $I = \frac{U - E}{R} < 0$.

Dòng điện hãm sinh ra mômen hãm. Trong thực tế khi tàu điện xuống dốc hay xảy ra hãm tái sinh vì khi đó trọng lượng xuống dốc sẽ làm cho $n > n_0$, dòng điện sẽ đổi chiều sinh ra mômen hãm làm cho tốc độ hệ thống không tăng nữa. Hoặc khi cần trục (các máy nâng) hạ tải trọng bằng cách đổi chiều điện áp cũng xuất hiện hãm tái sinh. Hình 19.1 mô tả trạng thái đó.

Hệ thống đang làm việc ở chế độ nâng tại điểm A. Khi đổi chiều điện áp để làm việc ở chế độ hạ thì điểm làm việc chuyển sang B và chạy về C sau đó ổn định ở điểm D ở chế độ hạ. Đoạn - n_0 D là đoạn hãm tái sinh. Lúc hãm tái sinh :

$$n = n_0 - \Delta n =$$

$$= n_0 - \frac{R}{k_e k_M} \cdot M_h \text{ mà } M_h < 0 \text{ nên}$$

$$n > n_0 \text{ hay}$$

$$n = n_0 + \Delta n$$

Khi R càng lớn thì Δn càng lớn dẫn tới tốc độ càng tăng (R tăng dẫn tới I_h giảm làm cho M_h giảm).

+ Hãm ngược : là trạng thái hãm xảy ra khi hệ thống chịu tác dụng của một ngoại lực làm cho rôto động cơ quay theo chiều ngược lại với chiều mômen hiện có, hoặc đổi chiều mômen động cơ với chiều quay của rôto đang tiến hành, lúc này E_h ngược dấu với E_{dc} . Ta xét hai trường hợp cụ thể :

- Hãm ngược bằng cách mắc điện trở hãm (R_h) nối tiếp với mạch phản ứng của động cơ của các máy nâng (cần trục, cầu trục v.v...) để hạ tải trọng.

- Khi nâng tải : M_{dc} cân bằng với M_c hệ thống nâng ổn định tại điểm A (đường tự nhiên).

- Khi hạ tải : bằng cách mắc R_h nối tiếp với mạch phản ứng điểm làm việc chuyển từ A sang B trên đường nhân tạo lúc này $M_h < M_c$ (dòng phản ứng giảm) làm cho hệ thống tốc độ giảm dần về $n = 0$ tại điểm C. Để hệ thống cân bằng ổn định tại điểm D thì rôto động cơ phải quay theo chiều ngược lại. $\overline{CD}$ là đoạn hãm ngược.

$$I_h = \frac{U + E}{R} = \frac{U + E}{R_u + R_h}$$

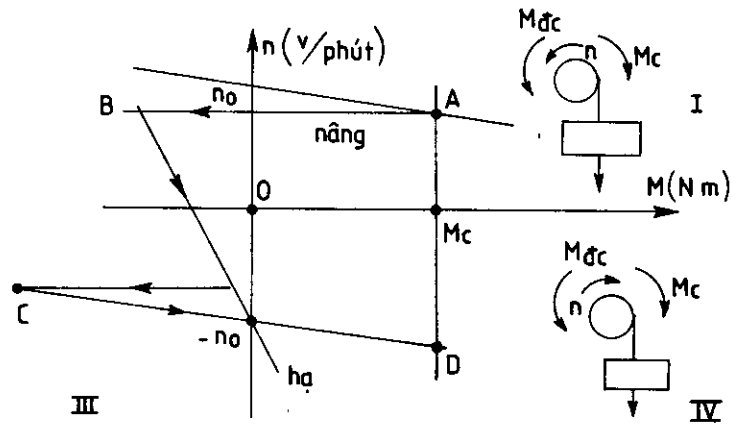
Khi hãm ngược động cơ làm việc như một máy phát nối tiếp cùng chiều với nguồn điện cung cấp cho điện trở hãm và điện trở phản ứng. Từ công thức :

$$n = \frac{U}{k_e} - \frac{(R_u + R_h)M}{k_e k_M}$$

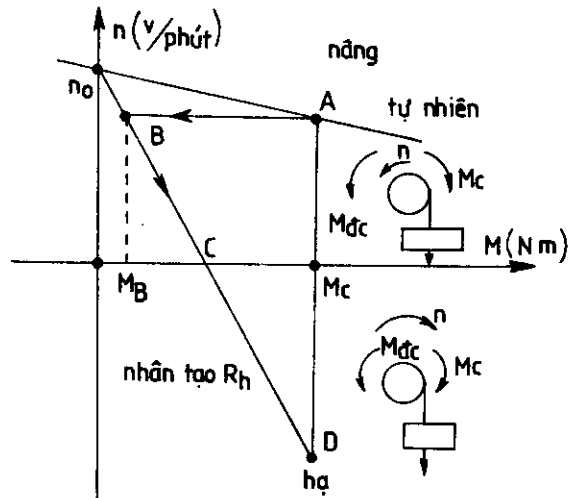
nếu thay $n = n_D$ và $M = M_c$ có thể tính R_h tương xứng với $n_D =$ tốc độ hạ yêu cầu.

- Hãm ngược bằng cách thay đổi chiều điện áp đặt vào mạch phản ứng.

Sơ đồ đấu dây như hình 21.1.



Hình 19.1

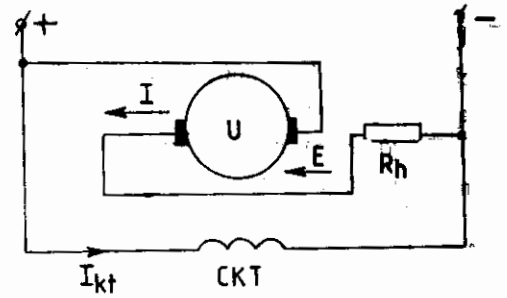


Hình 20.1 : Biểu diễn đoạn $\overline{CD}$ là đoạn hãm ngược

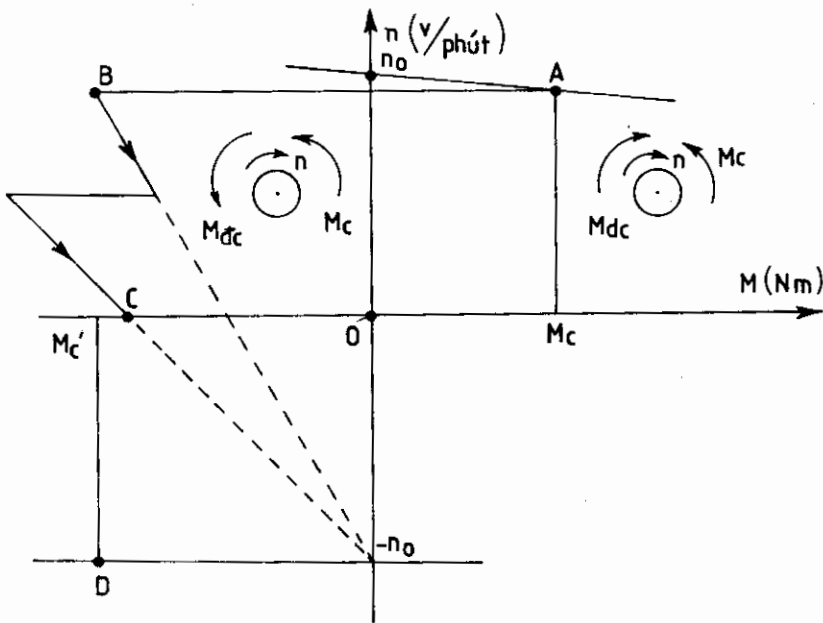
Hãm ngược được dùng trong trường hợp phụ tải là cơ cấu có mômen cản có tính chất ma sát, vận xoắn (mômen phản kháng) v.v...

Muốn hãm ngược ta đổi chiều điện áp đặt vào phần ứng, để hạn chế dòng điện lúc chuyển chế độ không vượt quá giới hạn an toàn người ta phải cho các cấp R_t nối tiếp với mạch phần ứng sau đó sẽ cắt dần để động cơ làm việc ở đường tự nhiên theo chế độ ngược lại (góc phân tư thứ III).

Khi điện áp đổi chiều thì dòng điện đổi chiều dẫn tới mômen động cơ cũng đổi chiều làm cho tốc độ động cơ bị giảm (hãm). Điểm làm việc chuyển từ A sang B sau đó từ B giảm dần về C. Đoạn BC là đoạn hãm ngược vì lúc này mômen động cơ ngược chiều với chiều quay của rôto.



Hình 21.1 : Biểu diễn sơ đồ đấu dây đổi chiều áp



Hình 22.1 : Biểu diễn trạng thái hãm ngược

$$I = I_h = \frac{-U - E_h}{R_u + R_h} = -\frac{(U + E_h)}{R_u + R_h}$$

Nói tóm lại : Hãm ngược là phương pháp hãm có hiệu quả nhất vì hệ thống nhận cả năng lượng từ nguồn và cả năng lượng bên ngoài (ngoại lực) để thực hiện hãm. Độ dốc của BC phụ thuộc vào R_h . Song chỉ thực hiện ở các truyền động có công suất nhỏ và trung bình, số lần hãm ít do trong quá trình hãm tổn thất năng lượng lớn.

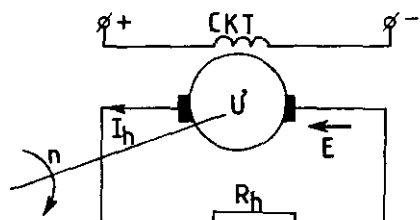
- Hãm động năng : là trạng thái hãm xảy ra khi cắt phần ứng động cơ khỏi lưới điện và đóng vào nó một điện trở hãm. Có hai trường hợp :

+ Hãm động năng kích thích độc lập : Sơ đồ như hình 23.1.

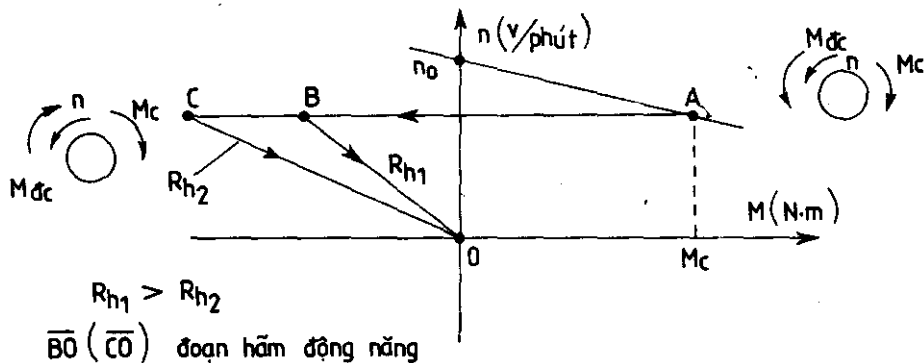
Cắt phần ứng khỏi nguồn một chiều và đóng kín mạch bằng R_h . Còn cuộn CKT vẫn để nguyên, khi này do quán tính cơ rôto vẫn quay với tốc độ n sức điện động E trở thành nguồn phát làm cho I_u đổi chiều sinh ra mômen hãm để tốc độ động cơ n mau giảm dần về

không. $I_h = \frac{-E_h}{R_u + R_h}$ và $n = \frac{-R}{k_e k_M} \cdot M$, đặc tính hãm

đi qua gốc tọa độ. Hệ thống đang làm việc tại A khi thực hiện hãm động năng điểm làm việc sẽ chuyển sang B và đoạn $\overline{BO}$ là đoạn hãm động năng.

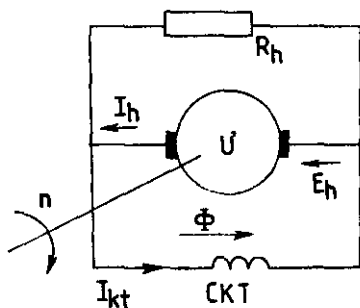


Hình 23.1

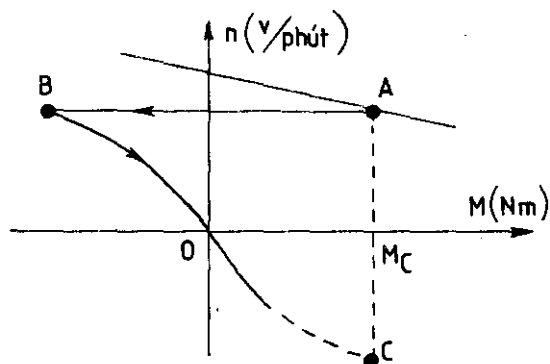


Hình 23.1 : Hãm động năng

- Hãm động năng tự kích : là trạng thái cắt cả phần ứng và CKT khỏi lưới điện và đóng vào nó một điện trở hãm. Sơ đồ như hình vẽ 24.1.



Hình 24.1



Hình 25.1 : Đặc tính hãm động năng

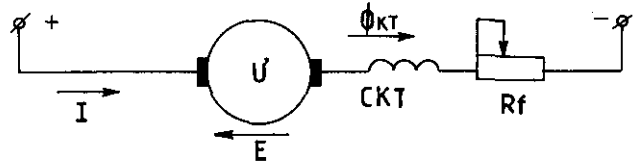
Lí luận và tính toán tương tự ta có đoạn $\overline{BO}$ ($\overline{OC}$) là đoạn hãm động năng tự kích là một đường cong đi qua gốc tọa độ.

$$n = \frac{-(R_u + R_h)}{C_e \phi \times C_M \phi} \cdot M$$

Ở đây $I_h = \frac{-E_h}{R_u + R_h}$, do n giảm nên E giảm mà E giảm kéo theo I_{kt} giảm làm cho ϕ giảm theo do đó hệ số :

$$\frac{R}{C_e C_M \phi^2} \neq \text{Const}, \text{ nên quan hệ}$$

$n = f(M)$ khi hãm không phải là đường thẳng. Phương pháp này có ưu điểm là không tiêu thụ năng lượng của lưới nhưng nhược điểm mômen hãm đủ lớn chỉ khi tốc độ còn lớn vì khi n nhỏ động năng không còn tác dụng hãm nữa.



Hình 26.1 : Sơ đồ đấu dây của động cơ một chiều kích thích nối tiếp

3. Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp

a. Dạng đặc tính cơ $n = f(M)$

Đối với máy điện một chiều ta có phương trình

$$n = \frac{U - IR}{C_e \phi} = \frac{U}{C_e \phi} - \frac{R}{C_e \phi C_M \phi} \cdot M$$

Ở đây $R = R_u + R_{CKT} + R_f$, từ thông biến thiên theo dòng phần ứng vì $I = I_{CKT}$. Nếu tuyến tính hóa đường cong từ hóa $\phi(I)$. Ta có thể có :

$$\phi = C_\phi I_{CKT} = C_\phi \cdot I = C_\phi I_{\text{phụ tải}}$$

Mà ta có :

$$M = C_M \phi \times I = \frac{C_M}{C_\phi} \cdot \phi^2 = k^2 \phi^2$$

$$\phi = \sqrt{M/k^2}$$

$$\text{Do đó : } n = \frac{U}{C_e \sqrt{\frac{M}{k^2}}} - \frac{R \cdot k^2}{C_e C_M} = \frac{A}{\sqrt{M}} - B$$

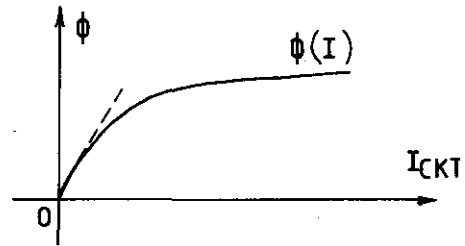
$$\text{trong đó } k^2 = \frac{C_M}{C_\phi} = \text{const}$$

$$A = \frac{kU}{C_e} ; B = \frac{Rk^2}{C_e C_M}$$

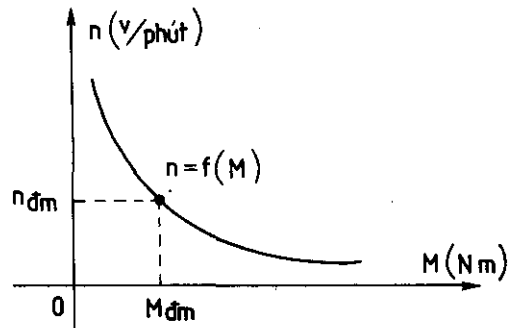
$n = f(M)$ có dạng hypecbôn.

b. Cách vẽ đặc tính cơ $n = f(M)$ của động cơ một chiều kích thích nối tiếp

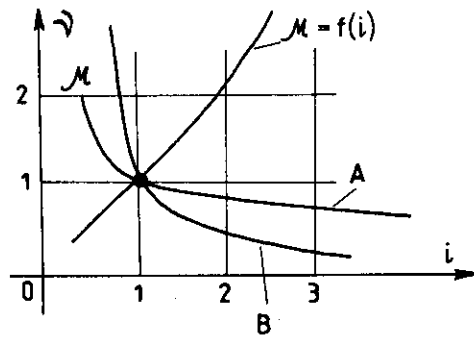
Dựa vào đặc tính vạn năng $v = f(i)$, $\mu = f(i)$ cho ở các sổ tay máy điện và số liệu định mức của động cơ ta lập bảng tìm quan hệ $n = f(M)$ và $n = f(I)$.



Hình 27.1 : Đường cong sắt từ



Hình 28.1 : Dạng đặc tính cơ của động cơ một chiều kích thích nối tiếp



$$\nu = \frac{n}{n_{dm}}$$

$$\zeta = \frac{I}{I_{dm}}$$

$$\mu = \frac{M}{M_{dm}}$$

Hình 29.1 : Đặc tính vận năng trong hệ đơn vị tương đối. Đường A ứng với động cơ có công suất lớn hơn 10KW, đường B ứng với động cơ có công suất đến 10KW

- Vẽ đặc tính tự nhiên :

Lập bảng ứng với 1 điểm $i_1 \rightarrow \mu_1, \nu_1$.

ứng với số liệu định mức : I_{dm}, n_{dm}, M_{dm} .

ta có các giá trị tương ứng :

$$I_1 = i_1 I_{dm}; n_1 = \nu_1 n_{dm}; M_1 = \mu_1 M_{dm}$$

tương tự như vậy ta tìm nhiều điểm khác

$$I_2 = i_2 I_{dm}; n_2 = \nu_2 n_{dm}; M_2 = \mu_2 M_{dm}$$

$$I_n = i_n I_{dm}; n_n = \nu_n n_{dm}; M_n = \mu_n M_{dm}$$

Sau khi vẽ đặc tính cơ ta thấy :

- Đặc tính cơ $n = f(M)$ không có tốc độ không tải lí tưởng.

- Phụ tải càng nhỏ thì tốc độ càng lớn

- Đặc tính mềm khi tải nhỏ,

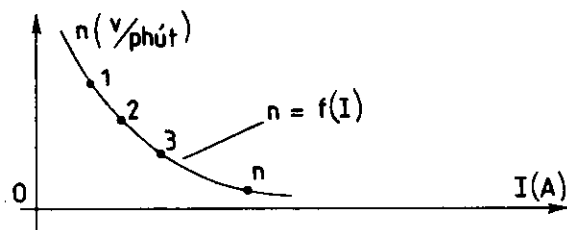
cứng khi tải lớn

- Khi $I = 0$ thì $n = \infty$. Thực tế do có ma sát ổ trục, vành góp chổi than v.v. ... nên khi không tải $n_{max} (5 \div 6)n_{dm}$. Động cơ này thường dùng ở máy vận chuyển, máy xúc, cần trục v.v...

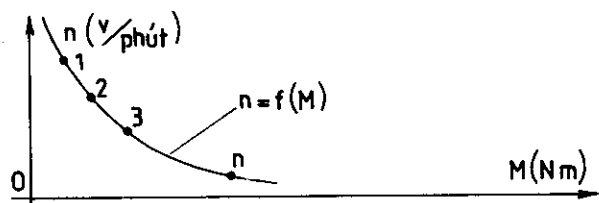
- Vẽ đặc tính cơ nhân tạo :

Ta biết đặc tính cơ tự nhiên là đường $n = f(M)$ với $R_f = 0$ hay $R = R_u + R_{CKT}$, muốn vẽ đường nhân tạo ta dùng công thức :

$$\frac{n_{nt}}{n_{tn}} = \frac{U - I(R_u + R_{CKT} + R_f)}{U - I(R_u + R_{CKT})}$$



Hình 30.1: Đường đặc tính cơ điện



Hình 31.1 : Đặc tính cơ của động cơ

$$n_{nt} = n_{tn} \frac{[U - I(R_u + R_{CKT} + R_t)]}{[U - I(R_u + R_{CKT})]}$$

- Các dạng đặc tính khác :

Việc khởi động động cơ một chiều kích thích nối tiếp tương tự động cơ song song khi ta tuyến tính hóa đặc tính cơ.

Chế độ hãm : không có hãm tái sinh còn các chế độ hãm ngược, hãm động năng tương tự động cơ điện một chiều kích thích song song.

4. Đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ ba pha (ĐK3fa)

Hiện nay trong công nghiệp ĐK3pha được sử dụng rất rộng rãi nó chiếm từ 80 ÷ 90% số động cơ đang sử dụng vì có những ưu điểm sau :

- Cấu tạo đơn giản
- Vận hành, bảo quản dễ dàng (nhất là đối với động cơ không đồng bộ lồng sóc).

- Giá thành rẻ

a. Phương trình đặc tính cơ và cách vẽ ; $n = f(M)$

Đối với ĐK3fa ta dùng sơ đồ thay thế của 1 pha vì coi động cơ là phụ tải 3 pha đối xứng. Sơ đồ biểu diễn như hình 33.1.

Theo sơ đồ

$$I_2 = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + x^2}} \quad x = x_1 + x_2'$$

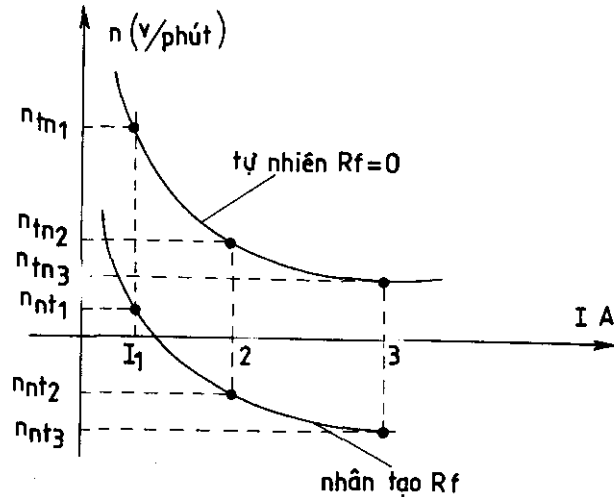
$$R_1 \approx 0 \text{ (rất nhỏ so với } \frac{R_2'}{s} \text{)}.$$

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1}, \text{ nếu coi tổn hao không đáng kể tính gần đúng : } P_{\text{đầu}} \approx P_{\text{cơ}}$$

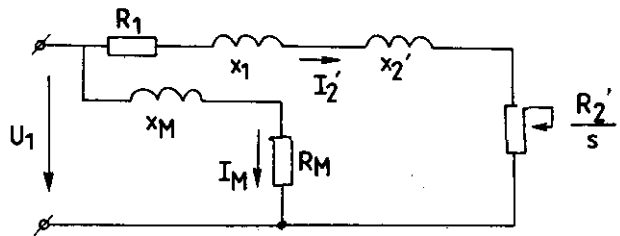
Ở sơ đồ thay thế :

$$P_{\text{đt}} = 3 \cdot I_2'^2 \frac{R_2'}{s} = P$$

$$P_{\text{đầu}} = 3 \cdot \frac{U_1^2}{[(\frac{R_2'}{s})^2 + x^2]} \cdot (\frac{R_2'}{s})$$



Hình 32.1 : Đặc tính tự nhiên và nhân tạo của Đ.C



Hình 33.1 : Sơ đồ thay thế 1 pha của ĐK3fa

$$\text{mà } M_{\text{điù}} = \frac{P_{\text{điù}}}{\omega_1} \text{ trong đó } \omega_1 = \frac{\omega}{p} = \frac{2\pi f}{p}$$

f : tần số dòng điện xoay chiều hình sin 3pha.

p : số đối cực từ hình thành trong DK3fa (do cấu tạo)

$$M_{\text{điù}} = M = \frac{3p}{\omega} \cdot U_1^2 \frac{R_2' s}{R_2'^2 + (sx)^2}$$

Đây là đặc tính $M = f(s)$ hay $n = f(M)$ của động cơ không đồng bộ 3 pha

$$s = 0 \text{ thì } n = n_1 = \frac{60f_1}{p}$$

$$s = 1 \text{ thì } n = 0$$

với
$$\frac{dM}{ds} = 0 \text{ ta có } s_k = \pm \frac{R_2'}{x}$$

s_k gọi là độ trượt tới hạn của động cơ, thường các nhà máy chế tạo động cơ có $s_k = 0,05 \div 0,14$. Thay s_k vào phương trình ta được :

$$M_{\text{max}} = \pm \frac{3p}{\omega} \frac{U_1^2}{2x}$$

Lập tỉ số :

$$\frac{M}{M_{\text{max}}} = \frac{2x \cdot R_2' s}{R_2'^2 + (sx)^2}$$

sau đó chia tử và mẫu cho x^2 và thay $s_k = \frac{R_2'}{x}$ ta được :

$$\frac{M}{M_{\text{max}}} = \frac{2s \cdot R_2' / x}{s_k^2 + s^2} = \frac{2s \cdot s_k}{s_k^2 + s^2}$$

$$\frac{M}{M_{\text{max}}} = \frac{2}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}} \text{ (Công thức Клоcca)}$$

Đây là phương trình đặc tính cơ dạng gần đúng vì s_{max} có hai giá trị nên M_{max} tương ứng có 2 giá trị

Dạng đặc tính cơ với $s > 0 ; n < n_1 ; M > 0$

Dạng đặc tính cơ với $s < 0 ; n > n_1 ; M < 0$ là trạng thái máy phát

Cách vẽ đặc tính cơ : $M = f(s)$ từ phương trình : $M = \frac{2M_{\text{max}}}{\frac{s_k}{s} + \frac{s}{s_k}}$

ta thấy lí lịch máy thường cho $\lambda = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{đm}}}$, λ là hệ số quá tải về mômen

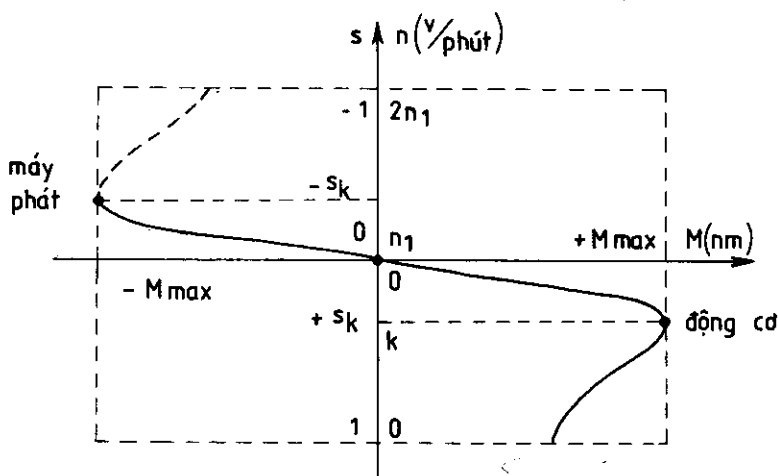
$$M_{\max} = \lambda \cdot M_{dm}$$

$$s_k = s_{dm} [\lambda \pm \sqrt{\lambda^2 - 1}] \text{ (từ phương trình ở chế độ định mức)}$$

$$\text{mà } s_{dm} = \frac{n_1 - n_{dm}}{n_1} \text{ trong đó } n_1 = \frac{60f}{p} [\text{v/phút}]$$

Lập bảng số :

s	1	s_k	0
n	0	n_{th}	n_1
M	$\frac{2M_{\max} s_k}{1 + s_k^2}$	$M_{\max}$	0



Hình 34.1 : Vẽ đặc tính cơ $M = f(s)$ hay $n = f(M)$.

b. Ảnh hưởng của các tham số đối với đặc tính cơ

- Đối với ĐK3pha rôto dây quấn có thể mắc nối tiếp R_f ở mạch ngoài với rôto. Khi đó :

$$M_{\max} \equiv \frac{U_1^2}{2x} = \text{const} ; s_k = \frac{(R_2 + R_f)'}{x} = \text{var}$$

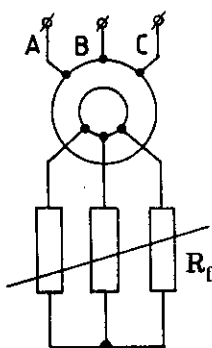
R_f càng lớn đặc tính càng mềm

$$\cos \varphi_2 = \frac{R_2'}{s} + \frac{R_f'}{s} \cdot \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} + \frac{R_f'}{s}\right)^2 + x^2}$$

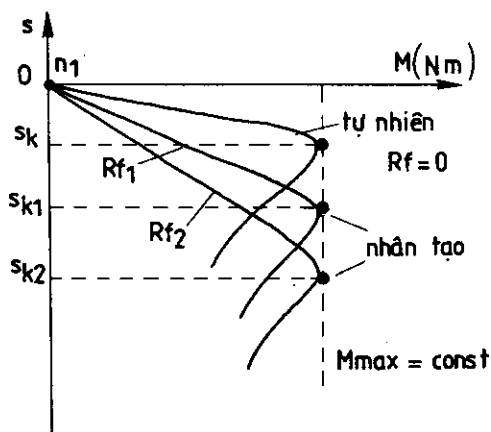
Cách vẽ gần đúng các họ đặc tính nhân tạo như hình 36.1. Ở đây ta có : $s_k = \frac{R_2'}{x}$
tn

$$s_k = \frac{(R_2 + R_f)'}{x}$$

nt



Hình 35.1



Hình 36.1

lập tỉ số và so sánh :

$$\frac{s_k}{s_{k1}} = \frac{R_2'}{(R_2 + R_f)} = \frac{R_2}{R_2 + R_f}$$

Với phương trình $M = \frac{2M_{\max}}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}$ ta thực hiện tuyến tính hóa đoạn làm việc ổn định $\overline{Os_k}$

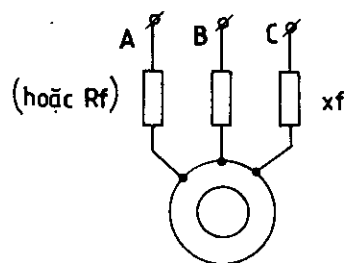
$$S \ll s_k \text{ ứng với } M = \text{const} \approx \frac{2M_{\max}}{s_k/s}$$

Ta có : $\frac{M}{2M_{\max}} = \frac{s}{s_k} = \text{const (đường tự nhiên)}$

Gần đúng : $\frac{s_{nt}}{s_k} \approx \frac{s_{tn}}{s_k}$ nên $\frac{s_k}{s_{nt}} = \frac{s_{tn}}{s_{nt}}$

Do đó :

$$\frac{s_{tn}}{s_{nt}} = \frac{R_2}{R_2 + R_f} \text{ hay } s_{nt} = s_{tn} \left(\frac{R_2 + R_f}{R_2} \right)$$



Hình 37.1

- Ảnh hưởng của điện trở và điện kháng ở mạch stato : Trong thực tế để hạn chế dòng mở máy của ĐK3pha lồng sóc, người ta thường mắc thêm điện trở hoặc điện kháng phụ x_f vào stato. Sơ đồ như hình 37.1.

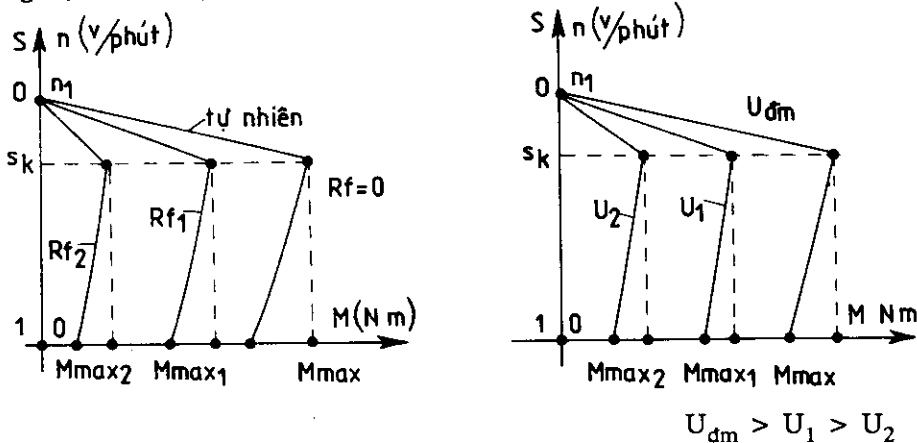
Với sơ đồ này ta có :

$$s_k = \frac{R'_2}{x} = \text{const}$$

$$M_{\max} = \frac{3p}{\omega} \cdot \frac{U_1^2}{2x} \text{ (giảm)}$$

Vì $\dot{U}_{1dc} = \dot{U}_{1lưới} - \dot{U}_{x_f}$ nghĩa là $U_{1dc} < U_{1lưới}$

Các dạng đặc tính được vẽ như hình 38.1 :



Hình 38.1

Ảnh hưởng của các x_f cũng chính là ảnh hưởng việc giảm điện áp đặt vào stato.

c. Khởi động ĐK3pha

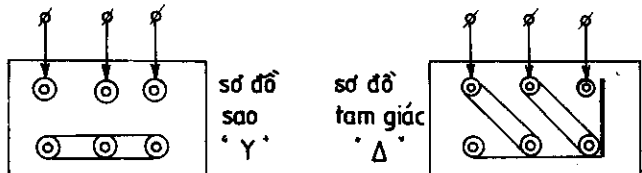
- Đối với động cơ không đồng bộ ba pha rôto lồng sóc thường có 4 cách.

+ Đóng trực tiếp động cơ vào lưới điện khi công suất động cơ nhỏ $P_{dc} < 5\% P$ máy biến áp, lúc này I_{kd} không đáng kể. Khi lưới điện chiếu sáng và mạch động lực độc lập với nhau thì có thể $P_{dc} < 15\% P_{mBA}$ cũng đóng trực tiếp được.

+ Thay đổi điện áp (giảm áp) khi khởi động bằng cách đổi nối sơ đồ tam giác sang sơ đồ sao. (Bình thường làm việc sơ đồ đấu tam giác ; khởi động chuyển sang sơ đồ nối sao theo hình 39.1.

+ Dùng biến áp tự ngẫu để giảm điện áp khi khởi động ĐK3pha.

+ Dùng điện trở hoặc điện kháng nối tiếp với stato. Đặc điểm của phương pháp này I_{kd} giảm dần tới M_{kd} giảm do vậy chỉ khởi động cho các động cơ không tải (cơ cấu quạt gió, máy cắt gọt kim loại v.v...).



Hình 39.1 : Biểu diễn hộp đấu dây ĐK3pha

- Đối với động cơ không đồng bộ 3 pha rôto dây quấn khi khởi động mắc nối tiếp với rôto các cấp R_{kd} , sau đó cắt dần đến khi khởi động xong.

Nếu tuyến tính hóa đặc tính $n = f(M)$ và tính gần đúng ta cũng có cách vẽ các dạng đặc tính khởi động như sau :

- Về đặc tính tự nhiên $n = f(M)$

- Chọn giới hạn : $M_1 = (0,8 \div 0,85)M_{\max}$

$$M_2 = (1,1 \div 1,2)M_{\text{đm}}$$

tương tự động cơ một chiều có $\lambda = \sqrt[m]{\frac{1}{\rho_u l_1}}$

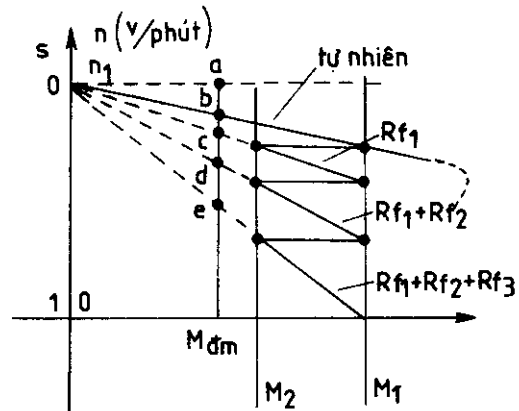
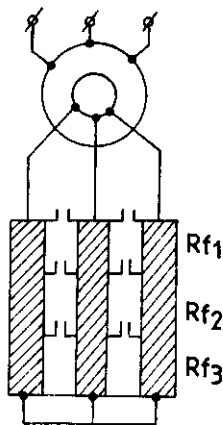
thì ĐK3pha có : $\lambda = \sqrt{\frac{1}{s_{\text{đm}} \mu_1}}$

Ở động cơ không đồng bộ ba pha ta có : $R_2 = \frac{E_{2\text{đm}} s_{\text{đm}}}{\sqrt{3} I_{2\text{đm}}}$

mà $R_{2\text{đm}} = \frac{E_{2\text{đm}}}{\sqrt{3} I_{2\text{đm}}}$

Cho nên : $s_{\text{đm}} = \frac{R_2}{R_{2\text{đm}}} = R_2^* = \rho_2$

R_2 : điện trở thực của 1 pha rôto.



Hình 40.1 : Biểu diễn sơ đồ mắc điện trở khởi động và đặc tính khởi động

Theo cách tính tỉ lệ gần đúng :

$$\frac{s_{\text{tn}}}{s_{\text{nt}}} = \frac{R_2}{R_2 + R_f} \text{ ta có : } \frac{\overline{ab}}{\overline{ac}} = \frac{R_2}{R_2 + R_{f1}}$$

$$\text{Do đó : } \frac{\overline{bc}}{\overline{ab}} = \frac{R_{f1}}{R_2} \rightarrow R_{f1} = R_2 \cdot \frac{\overline{bc}}{\overline{ab}}$$

$$R_{f3} = R_2 \cdot \frac{\overline{de}}{\overline{ab}}$$

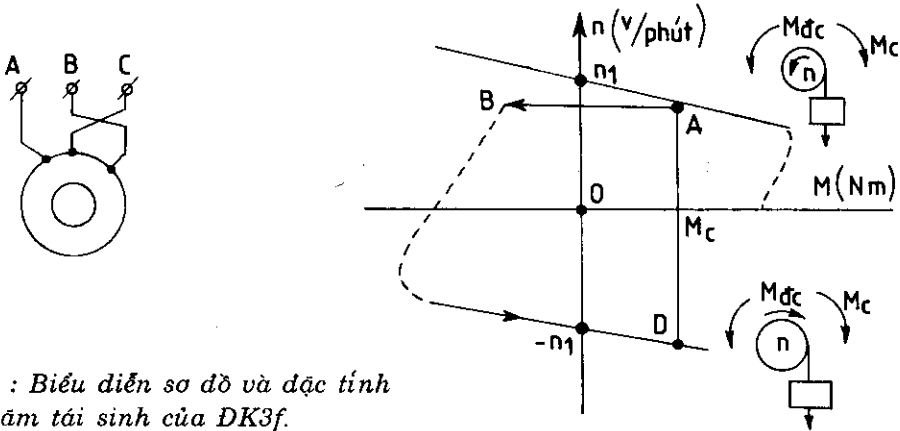
d. Các trạng thái hãm của động cơ không đồng bộ (ĐK3pha)

+ Hãm tái sinh : xảy ra khi có một mômen ngoại lực tác động vào động cơ làm cho tốc độ động cơ lớn hơn tốc độ đồng bộ $n > n_1 = \frac{60f}{p}$.

Lúc này động cơ làm việc trả năng lượng về lưới. Thực tế hãm tái sinh thực hiện trong hai trường hợp :

- Mômen phụ tải có tính chất thế
- Mômen có tính chất phản kháng như mômen ma sát, vận ép của những vật không đàn hồi v.v...

Thí dụ khi hạ tải trọng của máy nâng bằng cách đổi chéo thứ tự 2 trong 3 pha điện vào động cơ.



Hình 41.1 : Biểu diễn sơ đồ và đặc tính hãm tái sinh của DK3f.

Động cơ đang nâng tải ổn định ở điểm A. Khi đảo chéo 2 trong 3 pha (B cho C) động cơ sẽ chuyển điểm làm việc sang B và ổn định ở điểm D ở chế độ hạ tải. Đoạn $-n_1D$ là đoạn hãm tái sinh vì $n_D > n_1$.

Ngoài ra khi thay đổi số đối cực từ (tăng) cũng xảy ra hãm tái sinh

$$n_1 = \frac{60f}{p} \text{ thay } p' > p \text{ ta sẽ có}$$

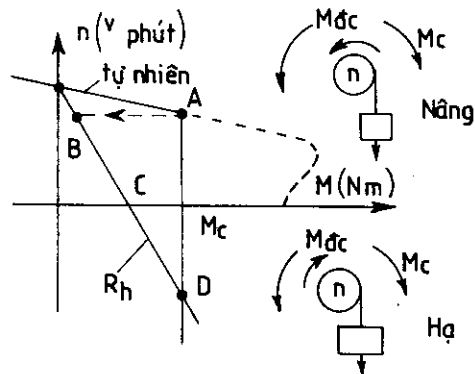
$$n'_1 = \frac{60f}{p'} < n_1 \text{ (tốc độ đang tiến hành)}$$

+ Hãm ngược đối với DK3pha : tương tự động cơ một chiều kích thích song song.

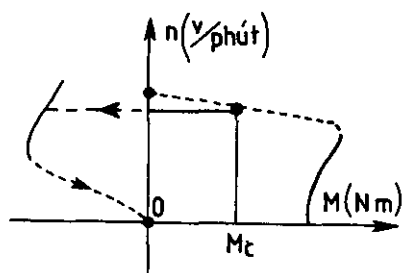
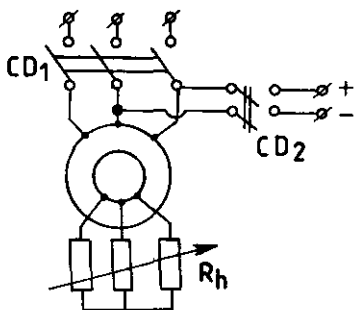
- Đối với DK3pha dây quấn có thể mắc R_h nối tiếp với rôto để hạ tải trọng.

* Hãm ngược đối với DK3f còn thực hiện bằng cách đổi chéo 2 trong 3 pha, do tính chất của từ trường quay trong máy điện $M_{đt}$ đổi chiều, ngược chiều với chiều quay rôto đang tiến hành.

+ Hãm động năng DK3f là trạng thái hãm xảy ra khi cắt stato khỏi nguồn điện 3 pha và đặt vào 2 trong 3 pha của stato nguồn điện một chiều, động cơ lúc này tận dụng động năng quán tính sinh ra mômen hãm chống lại chuyển động đang tiến hành làm cho tốc độ giảm nhanh về trạng thái đứng yên.



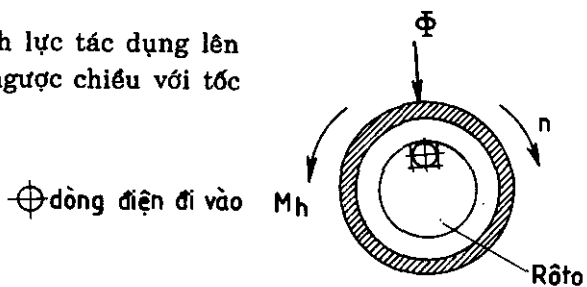
Hình 42.1 : Đặc tính hãm ngược



Hình 43.1 : Sơ đồ và đặc tính hãm động năng

- Dùng quy tắc bàn tay phải xác định chiều dòng điện cảm ứng chạy ở thanh dẫn của rôto.

- Dùng quy tắc bàn tay trái xác định lực tác dụng lên thanh dẫn rôto tạo thành mômen hãm ngược chiều với tốc độ đang tiến hành.



Hình 44.1 Xác định chiều M_h

Chương II

ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

2.1. KHÁI NIỆM, CÁC CHỈ TIÊU CỦA ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

Sản xuất công nghiệp và giao thông vận tải ngày càng cần có những hệ thống truyền động điện có khả năng thay đổi tốc độ thường xuyên, dễ dàng với độ chính xác cao. Vấn đề điều chỉnh tốc độ là một trong những nội dung chính của truyền động điện, nó có ý nghĩa đặc biệt quan trọng đối với các quá trình công nghệ sản xuất tiên tiến đòi hỏi hiệu suất và chất lượng, không ngừng được nâng cao.

Điều chỉnh tốc độ của hệ thống truyền động điện có thể được tiến hành bằng các phương pháp cơ khí, thủy lực hay điện thuận tuý. Trong giai đoạn hiện nay điều chỉnh tốc độ bằng phương pháp điện được ứng dụng rộng rãi do tính ưu việt về độ nhạy, độ tin cậy, và tính kinh tế cao. Kỹ thuật điều chỉnh tốc độ đã đạt đến chất lượng cao nhờ sử dụng những thành tựu mới của kĩ thuật điện tử, tin học ...

Điều chỉnh tốc độ bằng điện là sử dụng các biện pháp điện thuận tuý để tác động tới nguồn cung cấp hoặc động cơ điện của hệ thống truyền động điện làm thay đổi các thông số của chúng dẫn đến thay đổi tốc độ quay của động cơ điện.

Các chỉ tiêu cơ bản được dùng để đánh giá chất lượng của phương pháp điều chỉnh tốc độ là :

- 1- Dải điều chỉnh tốc độ D
- 2- Độ trơn γ của điều chỉnh tốc độ
- 3- Sai số tốc độ S %
- 4- Chỉ tiêu kinh tế của điều chỉnh tốc độ
- 5- Hướng điều chỉnh tốc độ
- 6- Phụ tải cho phép của động cơ điện trong quá trình điều chỉnh tốc độ

2.1.1. Dải điều chỉnh tốc độ D.

Dải điều chỉnh còn gọi là phạm vi điều chỉnh là tỉ số giữa giá trị lớn nhất và giá trị nhỏ nhất của tốc độ làm việc của hệ thống truyền động điện ứng với một phụ tải đã cho :

$$D = \frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}} \quad (2-1)$$

Tốc độ cực đại $\omega_{\max}$ bị hạn chế bởi độ bền cơ học của động cơ điện. Tốc độ nhỏ nhất $\omega_{\min}$ của dải điều chỉnh bị giới hạn bởi yêu cầu về mômen khởi động, về sai số tốc độ làm việc cho phép. Các quá trình công nghệ sản xuất có yêu cầu rất khác nhau về phạm vi điều chỉnh tốc độ. Các máy gia công cắt gọt kim loại có yêu cầu về phạm vi điều chỉnh tốc độ từ $D = 4$ đến $D = 100$. Một số máy cán kim loại có yêu cầu phạm vi điều chỉnh tốc độ $D = 20 \div 25$. Đối với các máy có yêu cầu cao về phạm vi điều chỉnh tốc độ cần sử dụng các hệ truyền động điện theo kiểu kín có các mạch vòng phản hồi.

Phạm vi điều chỉnh tốc độ D phụ thuộc vào yêu cầu về sai số điều chỉnh tốc độ và độ cứng của đặc tính cơ của hệ truyền động điện. Mối quan hệ này sẽ được xét tới sau khi có

khái niệm về sai số điều chỉnh tốc độ và trong quá trình nghiên cứu các phương pháp điều chỉnh tốc độ của các loại động cơ điện.

2.1.2. Độ trơn điều chỉnh tốc độ :

Độ trơn điều chỉnh được đặc trưng bởi số cấp tốc độ ổn định có thể đạt được trong dải điều chỉnh. Để đánh giá độ trơn điều chỉnh người ta dùng tỉ số :

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

trong đó ω_i là giá trị tốc độ ổn định ở cấp thứ i

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

Số cấp tốc độ ổn định đạt được trong dải điều chỉnh càng nhiều thì hệ số độ trơn điều chỉnh γ càng cao. Trong hệ điều chỉnh vô cấp hệ truyền động có thể làm việc ổn định ở mọi tốc độ trong suốt dải điều chỉnh cho nên hệ số độ trơn điều chỉnh có giá trị tiến tới đơn vị :

$$\gamma = \frac{\omega_{i+1}}{\omega_i} \rightarrow 1$$

Trong hệ điều chỉnh nhảy cấp (có cấp) hệ truyền động chỉ có thể làm việc ổn định ở một số giá trị của tốc độ trong dải điều chỉnh.

Trong nhiều trường hợp độ trơn điều chỉnh có ảnh hưởng đến chất lượng của sản phẩm.

2.1.3. Sai số điều chỉnh tốc độ

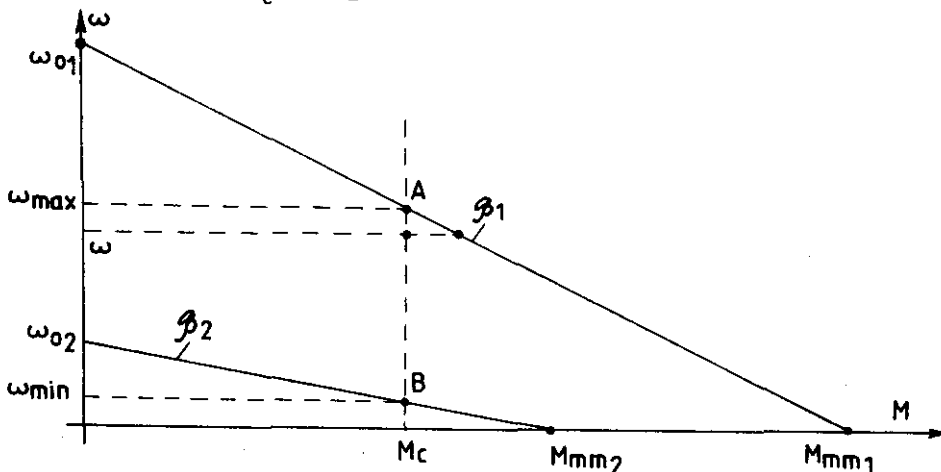
Sai số tĩnh tốc độ là đại lượng đặc trưng cho độ chính xác duy trì tốc độ đặt ; thường được tính theo phần trăm

$$S \% = \frac{\omega_d - \omega}{\omega_d} \quad (2-3)$$

Trong đó : ω_d - là tốc độ đặt hay tốc độ mong muốn do công nghệ sản xuất yêu cầu.

ω - là tốc độ làm việc thực của truyền động điện

Mối quan hệ giữa sai số tốc độ S , dải điều chỉnh D và độ cứng β của đặc tính cơ được minh họa, nhờ ví dụ H.2-1 trong trường hợp đặc tính cơ của hệ truyền động điện là tuyến tính còn mômen cản M_c không đổi.



Hình 2.1 : Xác định quan hệ giữa D , S và β

Khi hệ truyền động làm việc với tốc độ cực đại $\omega_{\max}$ trên đường đặc tính cơ có độ cứng β_1 ứng với tốc độ không tải lí tưởng ω_{01} thì sai số tốc độ tương ứng là :

$$S_1\% = \frac{\omega_{\max} - \omega}{\omega_{\max}} 100\% = \frac{\omega_{01} - \omega_{\max}}{\omega_{01}} 100\% = \frac{M_c}{\omega_{01}\beta_1} 100\% \quad (2-4)$$

Tương tự ứng với tốc độ nhỏ nhất $\omega_{\min}$ trên đặc tính cơ với độ cứng β_2 và tốc độ không tải lí tưởng ω_{02} sai số tốc độ là :

$$S_2\% = \frac{\omega_{02} - \omega_{\min}}{\omega_{02}} 100\% = \frac{M_c}{\omega_{02}\beta_2} 100\% \quad (2-5)$$

Từ biểu thức (2-5) ta có thể rút ra quan hệ sau đây :

$$S_2\% = \frac{\omega_{02} - \omega_{\min}}{\omega_{02}} 100\% = \left(1 - \frac{\omega_{\min}}{\omega_{02}}\right) 100\% \quad (2-6)$$

Từ đường đặc tính cơ trên H.2-1 ta lại có biểu thức :

$$S_2\% = \frac{\omega_{02} - \omega_{\min}}{\omega_{02}} 100\% = \frac{M_c}{M_{mm_2}} 100\% = \frac{1}{K_{mm_2}} 100\% \quad (2-7)$$

Với $K_{mm_2} = \frac{M_{mm_2}}{M_c}$ là bội số mở máy

Từ các biểu thức (2-6) và (2-7) ta có đẳng thức :

$$\frac{1}{K_{mm_2}} = 1 - \frac{\omega_{\min}}{\omega_{02}}, \text{ suy ra } \omega_{\min} = \omega_{02} \left(1 - \frac{1}{K_{mm_2}}\right) \quad (2-8)$$

Tốc độ không tải lí tưởng ω_{02} được tính từ công thức (2-5) :

$$\omega_{02} = \frac{M_c}{\beta_2 S_2\%} \cdot 100\% = \frac{M_c K_{mm_2}}{\beta_2}$$

Do đó tốc độ nhỏ nhất tính từ biểu thức (2-8) có dạng :

$$\omega_{\min} = \frac{M_c K_{mm_2}}{\beta_2} \left(1 - \frac{1}{K_{mm_2}}\right) = \frac{M_c K_{mm_2}}{\beta_2} (1 - S_2) \quad (2-9)$$

Từ biểu thức (2-9) có thể thấy rằng tốc độ nhỏ nhất $\omega_{\min}$ có trị số càng lớn khi độ cứng β_2 của đặc tính cơ càng thấp khiến dải điều chỉnh D bị thu hẹp. Để bảo đảm cho dải điều chỉnh D và sai số tốc độ S (độ chính xác điều chỉnh tốc độ) phù hợp với yêu cầu công nghệ cần xác định giá trị tối thiểu của độ cứng đặc tính cơ.

2.1.4. Chỉ tiêu kinh tế :

Khi xét đến tính kinh tế của một phương pháp điều chỉnh tốc độ cần xét đến nhiều yếu tố như vốn đầu tư, chi phí vận hành hệ thống và hiệu quả do phương pháp điều chỉnh tốc độ mang lại.

Trong chi phí vận hành thì tổn thất năng lượng ΔP khi biến đổi và điều chỉnh đóng vai trò quan trọng, nó xác định hiệu suất của hệ truyền động.

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P}$$

Trong đó

P_2 : là công suất trên trục động cơ

ΔP : là tổn thất công suất khi điều chỉnh.

Khi sử dụng các phương pháp điều chỉnh tốc độ khác nhau thì tổn thất công suất ΔP cũng khác nhau. Tổn thất công suất ΔP càng nhỏ thì tính kinh tế của phương pháp điều chỉnh tốc độ càng cao. Ngoài ra hệ số công suất $\cos\phi$ của hệ thống cũng ảnh hưởng đến chi phí vận hành và do đó đến chỉ tiêu kinh tế của phương pháp điều chỉnh tốc độ. Chỉ tiêu kinh tế có ý nghĩa quan trọng, trong nhiều trường hợp là chỉ tiêu ưu tiên cho việc lựa chọn phương án điều chỉnh.

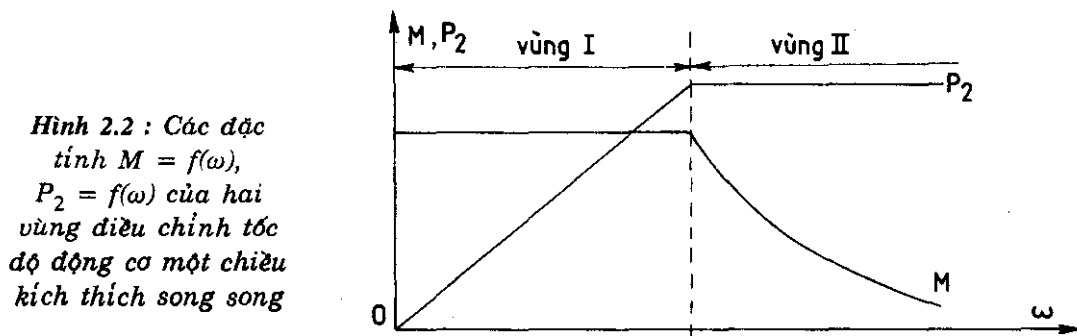
2.1.5. Hướng điều chỉnh tốc độ :

Chỉ tiêu này thể hiện khả năng tăng hay là giảm tốc độ của phương pháp điều chỉnh, so với tốc độ cơ bản. Tốc độ cơ bản được hiểu là tốc độ của động cơ tương ứng với giá trị định mức của điện áp và từ thông, khi không có bất kì điện trở nào được nối vào mạch điện động cơ. Tốc độ cơ bản được xác định bởi đường đặc tính cơ tự nhiên và mômen phụ tải của hệ truyền động. Điều chỉnh tốc độ theo phương pháp điện trở chỉ cho phép nhận được các tốc độ thấp hơn tốc độ cơ bản ; ngược lại điều chỉnh bằng cách giảm từ thông trong động cơ một chiều sẽ cho phép đạt được những tốc độ cao hơn tốc độ cơ bản.

2.1.6. Phụ tải cho phép của động cơ

Phụ tải cho phép của động cơ điện khi điều chỉnh tốc độ phụ thuộc vào phương pháp điều chỉnh và do phát nóng của động cơ quyết định. Phát nóng của động cơ lại phụ thuộc vào tổn thất công suất trong động cơ. Tổn thất này chủ yếu là do dòng điện động cơ tiêu thụ gây ra. Để sử dụng động cơ 1 cách có hiệu quả nhất khi điều chỉnh tốc độ cần giữ cho dòng điện bằng dòng điện định mức . Khi đó động cơ sẽ làm việc đẩy dòng tải ở mọi tốc độ mà không phát nóng quá mức.

Vậy phụ tải cho phép của động cơ phụ thuộc vào dòng điện định mức và vào phương pháp điều chỉnh tốc độ. Có thể minh họa điều đó nhờ ví dụ về động cơ một chiều kích thích song song. Trong quá trình điều chỉnh tốc độ dòng điện động cơ tiêu thụ bằng dòng định mức I_{dm} và giả thiết ở mọi tốc độ điều kiện làm mát động cơ không thay đổi. Từ hình vẽ Hình 2.2 có thể phân biệt hai vùng điều chỉnh tốc độ của động cơ.



Vùng I tương ứng với các phương pháp điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở hoặc điện áp của mạch phần ứng động cơ. Còn từ thông được giữ ở giá trị định mức $\phi = \phi_{dm} = \text{const}$. Trong vùng điều chỉnh này mômen động cơ không đổi khi tốc độ thay đổi :

$$M = C \cdot \phi_{dm} \cdot I_{dm} = \text{const}$$

Công suất trên trục động cơ tỉ lệ bậc nhất với tốc độ ω :

$$P_2 = M \cdot \omega$$

Vùng điều chỉnh II tương ứng với điều chỉnh tốc độ bằng phương pháp thay đổi từ thông ϕ của động cơ. Để xác định quy luật biến thiên của mômen động cơ khi thay đổi tốc độ cần dựa vào phương trình điện áp của động cơ một chiều.

$$U_{dm} = I_{dm} \cdot R + E$$

với $E = C \cdot \phi \cdot \omega$ là sức điện động của động cơ,

U_{dm} là điện áp định mức của động cơ.

R là điện trở mạch phần ứng của động cơ. Từ biểu thức của phương trình điện áp của động cơ điện có thể suy ra :

$$\Phi = \frac{U_{dm} - I_{dm} \cdot R}{C \cdot \omega}$$

Do đó mômen của động cơ điện là :

$$M = C \cdot \phi \cdot I_{dm} = \frac{(U_{dm} - I_{dm} \cdot R) \cdot I_{dm}}{\omega}$$

Từ biểu thức này có thể thấy rõ, khi $I = I_{dm} = \text{const}$, $U = U_{dm} = \text{const}$, để điều chỉnh tốc độ ω cần thay đổi từ thông ϕ theo quy luật hyperbol, khi đó mômen quay cũng thay đổi theo quy luật hypecbol.

Tương ứng công suất trên trục động cơ P_2 được giữ không đổi :

$$P_2 = M \cdot \omega = (U_{dm} - I_{dm} \cdot R) \cdot I_{dm} = \text{const}$$

Phụ tải cho phép khi điều chỉnh tốc độ của các loại động cơ khác được xác định một cách tương tự như trên.

2.2- ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU KÍCH THÍCH SONG SONG

Từ phương trình của đường đặc tính tốc độ của động cơ một chiều kích thích song song

$$\omega = \frac{U - I \cdot R}{C \cdot \Phi} \quad (2-10)$$

Có thể thấy rõ ba phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ :

- Điều chỉnh điện trở mạch phần ứng R
- Điều chỉnh từ thông ϕ trong động cơ
- Điều chỉnh điện áp U đặt vào phần ứng của động cơ.

2.2.1- Điều chỉnh tốc độ động cơ bằng cách thay đổi điện trở mạch phần ứng R

Để thay đổi điện trở mạch phần ứng có thể dùng một điện trở phụ đấu nối tiếp hoặc đấu song song với mạch điện phần ứng của động cơ :

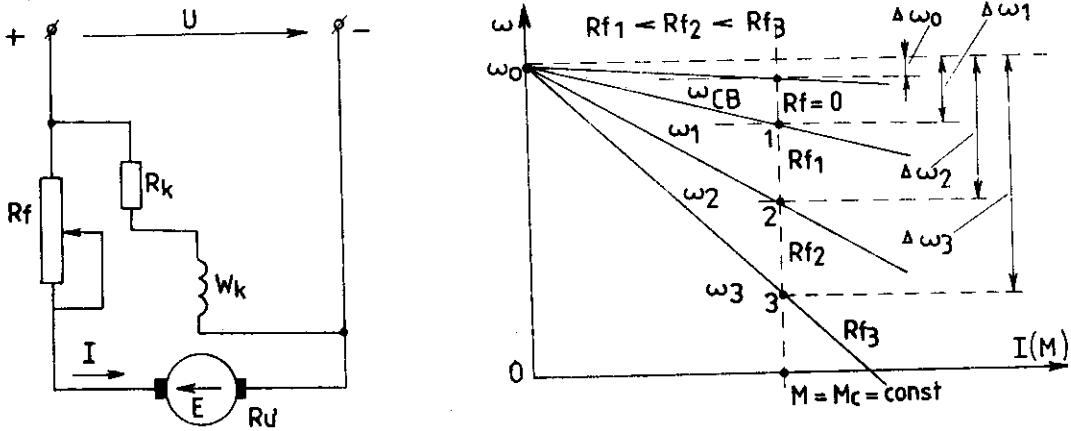
- Dùng điện trở phụ R_f nối tiếp với mạch phần ứng như hình 2.3. Khi đó điện trở mạch phần ứng của động cơ $R = R_u + R_f$

Với R_u là điện trở của dây quấn phần ứng của động cơ. Phương trình đường đặc tính tốc độ và đường đặc tính cơ có dạng :

$$\omega = \frac{U}{C \cdot \Phi} - \frac{(R_u + R_f)}{C \cdot \Phi} \cdot I = \omega_o - \Delta \omega$$

$$\omega = \frac{U}{C \cdot \Phi} - \frac{(R_u + R_f)}{(C \cdot \Phi)^2} M = \omega_o - \Delta \omega$$

Trong các phương trình trên độ sụt tốc độ $\Delta \omega$ tỉ lệ với dòng điện phần ứng I và mômen M của động cơ, nên các đường đặc tính tốc độ và đặc tính cơ, khi điều chỉnh là những đường thẳng có độ cứng thấp hơn độ cứng của đường đặc tính tự nhiên ($\beta = (C \cdot \Phi)^2 / (R_u + R_f) < \beta_o = (C \cdot \Phi)^2 / R_u$ đối với đặc tính cơ) và đều cắt trục tốc độ tại điểm tốc độ không tải lý tưởng ω_o như chỉ rõ trên hình 2.3 vẽ tương ứng với trường hợp mômen phụ tải M_c không đổi :



Hình 2.3 : Sơ đồ và các đường đặc tính của động cơ khi điều chỉnh tốc độ bằng điện trở R_f .

Khi điều chỉnh tốc độ nếu tăng điện trở R_f độ sụt tốc độ $\Delta \omega = \frac{(R_u + R_f)}{(C \cdot \Phi)^2} \cdot M$ tăng theo

do đó chỉ có thể điều chỉnh tốc độ ở vùng dưới tốc độ cơ bản ω_{CB} và dải điều chỉnh tốc độ của phương pháp điều chỉnh bằng điện trở phụ R_f thay đổi tùy thuộc vào phụ tải M_c của động cơ. Động cơ được sử dụng tối ưu nhất về mặt dòng điện nếu phương pháp điều chỉnh được tiến hành khi mômen phụ tải M_c không đổi để bảo đảm $I = I_{dm} = \text{const}$. Điện trở điều chỉnh R_f được tính toán để làm việc lâu dài với dòng điện định mức của động cơ, khi cần thiết có thể sử dụng làm biến trở mở máy động cơ. Trong quá trình điều chỉnh tốc độ tổn thất năng lượng phụ sẽ phát sinh trên điện trở điều chỉnh R_f làm giảm hiệu suất của hệ thống truyền động điện.

- Dùng điện trở phụ R_s nối song song với mạch phần ứng của động cơ như hình 2.4.

Trong trường hợp này dòng điện phần ứng của động cơ $I = I_f - I_s$

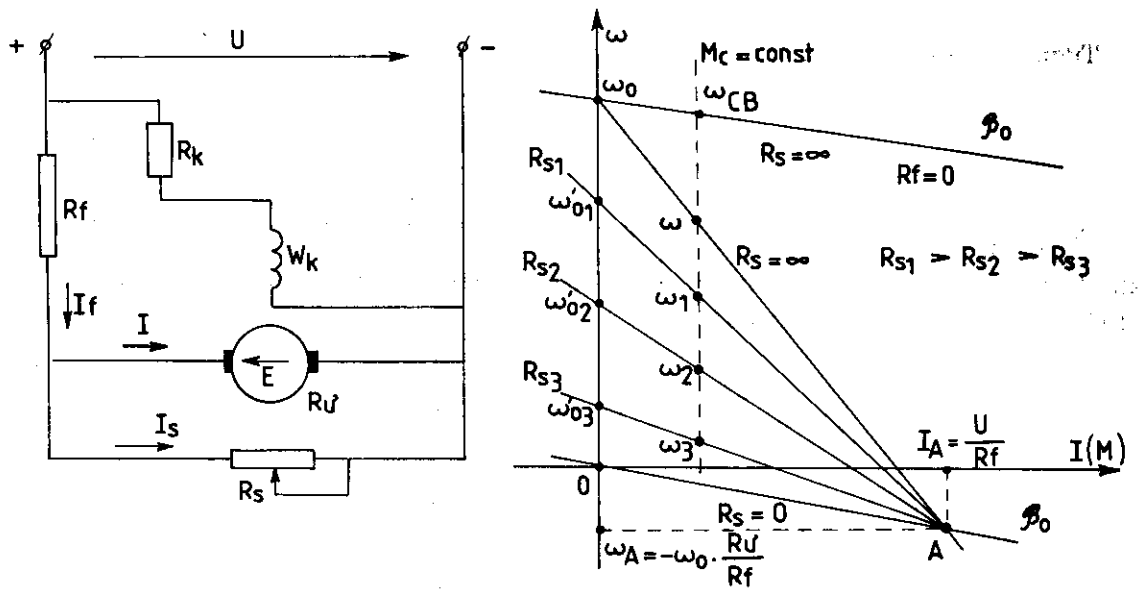
với I_s - là dòng trên biến trở điều chỉnh R_s . Để cho việc thay đổi trị số của điện trở R_s gây hiệu ứng điều chỉnh tốc độ cần sử dụng phối hợp điện trở phụ R_f nối tiếp với mạch phần ứng.

Từ mạch điện hình 2.4 có thể nhận được các quan hệ sau :

$$U = E + I \cdot R_u + I_f \cdot R_f \quad (2.11)$$

$$U = I_s \cdot R_s + I_f \cdot R_f \quad (2.12)$$

$$I_f = I + I_s \quad (2.13)$$



Hình 2.4 : Sơ đồ và các đường đặc tính của động cơ khi điều chỉnh tốc độ bằng điện trở R_s ; $R_f = \text{const}$.

Dòng điện qua điện trở R_s xác định từ (2.12) có biểu thức là :

$$I_s = \frac{U - I_f \cdot R_f}{R_s}$$

Sau khi thay biểu thức của I_s vào (2.13) có thể nhận được quan hệ :

$$I_f = I + \frac{U - I_f R_f}{R_s}$$

Từ biểu thức này có thể suy ra công thức tính I_f :

$$I_f = \frac{U + I R_s}{R_s + R_f} \quad (2.14)$$

Phương trình đường đặc tính tốc độ được xây dựng từ (2.11) và (2.14). Từ (2.11) sức điện động E của động cơ là :

$$E = U - I R_u - I_f R_f$$

$$E = U - I R_u - \left(\frac{U + I R_s}{R_s + R_f} \right) \cdot R_f$$

Thay $E = C \cdot \phi \cdot \omega$ vào biểu thức thứ hai vừa nhận được và biến đổi vế phải ta có :

$$C \cdot \phi \cdot \omega = U \frac{R_s}{R_s + R_f} - I \left(R_u + \frac{R_s R_f}{R_s + R_f} \right)$$

Từ đó viết được phương trình đặc tính tốc độ của hệ truyền động :

$$\omega = \frac{U}{C \cdot \phi} \cdot \frac{R_s}{(R_s + R_f)} - I \cdot \frac{1}{C \cdot \phi} \left(R_u + \frac{R_s R_f}{R_s + R_f} \right) \quad (2.15)$$

Tương tự ta có phương trình đường đặc tính cơ :

$$\omega = \frac{U}{C \cdot \Phi} \cdot \frac{R_s}{(R_s + R_f)} - M \cdot \frac{1}{(C \cdot \Phi)^2} \left(R_u + \frac{R_s R_f}{R_s + R_f} \right) \quad (2.16)$$

Đặt $\frac{U}{C \cdot \Phi} = \omega_0$: đây là tốc độ không tải trên đường đặc tính tự nhiên và đường đặc tính khi điều chỉnh chỉ bằng điện trở R_f nối tiếp với phần ứng của động cơ ; các phương trình (2.15), (2.16) được viết lại như sau :

$$\omega = \omega_0 \cdot \frac{R_s}{R_s + R_f} - I \cdot \frac{1}{C \cdot \Phi} \left(R_u + \frac{R_s R_f}{R_s + R_f} \right) \quad (2.17)$$

$$\omega = \omega_0 \cdot \frac{R_s}{R_s + R_f} - M \cdot \frac{1}{(C \cdot \Phi)^2} \left(R_u + \frac{R_s R_f}{R_s + R_f} \right) \quad (2.18)$$

Các quan hệ (2.17), (2.18), chứng tỏ đường đặc tính tốc độ và đặc tính cơ trong trường hợp điều chỉnh tốc độ bằng điện trở R_s phối hợp với R_f là các đường thẳng cắt trục tốc độ

tại điểm có tốc độ không tải $\omega'_0 = \omega_0 \cdot \frac{R_s}{R_s + R_f} < \omega_0$.

Khi điều chỉnh tốc độ có thể áp dụng một trong ba phương án điều chỉnh sau đây :

- Giữ nguyên trị số điện trở R_f , chỉ thay đổi điện trở R_s .
- Chỉ thay đổi điện trở R_f còn R_s được duy trì không đổi.
- Thay đổi đồng thời trị số của hai điện trở R_f và R_s .

Xét quan hệ giữa tốc độ ω và dòng điện phần ứng I hoặc quan hệ giữa ω và mômen động cơ M trong ba trường hợp đó.

Trường hợp 1 : R_f không đổi còn R_s có trị số biến đổi (hình 2.4).

Các đường đặc tính của hệ truyền động trong trường hợp này, nằm trong vùng giới hạn bởi hai đường đặc tính ứng với $R_s = 0$ và $R_s = \infty$.

Khi $R_s = \infty$, điện trở bị ngắt khỏi mạch điện các phương trình (2.17), (2.18) có dạng :

$$\omega = \omega_0 - \frac{I}{C \cdot \Phi} (R_u + R_f) \quad (2.19)$$

$$\omega = \omega_0 - \frac{M}{(C \cdot \Phi)^2} (R_u + R_f) \quad (2.20)$$

Các đặc tính tốc độ và đặc tính cơ đều cắt đường đặc tính tự nhiên của động cơ tại tung độ $\omega = \omega_0$ trên trục tốc độ.

Khi $R_s = 0$, phần ứng động cơ được nối tắt, các biểu thức (2.17), (2.18) lại có dạng :

$$\omega = -I \cdot \frac{R_u}{C \cdot \Phi} \quad (2.21)$$

$$\omega = -M \cdot \frac{R_u}{(C \cdot \Phi)^2} \quad (2.22)$$

Lúc này các đường đặc tính đều đi qua gốc toạ độ và song song với đường đặc tính tự nhiên và có cùng độ cứng với đặc tính tự nhiên :

$$\beta = \beta_o = \frac{(C \cdot \Phi)^2}{R_u} \text{ đối với đặc tính cơ.}$$

Các đường đặc tính điều chỉnh khi $R_s = \infty$ và khi $R_s = 0$ cắt nhau tại điểm A trên đồ thị hình 2.4. Toạ độ điểm A được xác định bằng cách kết hợp (2.19) với (2.21) hoặc (2.20) với (2.22) và có các trị số :

$$I_A = \frac{C \cdot \Phi \cdot \omega_o}{R_f} = \frac{U}{R_f}$$

$$\omega_A = -\omega_o \frac{R_u}{R_f}$$

Có thể nhận xét toạ độ điểm A (I_A, ω_A) không phụ thuộc vào giá trị biến đổi của điện trở R_s mà được xác định bởi giá trị không đổi của điện trở R_f . Từ đó suy ra rằng với các giá trị khác nhau của R_s ($0 < R_s < \infty$) các đường đặc tính điều chỉnh đều đi qua điểm A và nằm trong phạm vi giới hạn bởi hai đường đặc tính ứng với $R_s = 0$ và $R_s = \infty$. Khi giảm trị số của R_s tốc độ không tải ω_o giảm theo, độ cứng của đường đặc tính điều chỉnh tăng, tốc độ động cơ giảm, động cơ có khả năng làm việc ổn định ở tốc độ thấp. Nếu tiến hành điều chỉnh tốc độ với mômen cản của phụ tải M_c không đổi có thể duy trì cho dòng điện động cơ không đổi và bằng dòng điện định mức $I = I_{dm} = \text{Const}$ vì từ thông do cuộn kích từ gây ra ϕ không thay đổi. Nghĩa là động cơ được sử dụng tối ưu về dòng điện.

Phương pháp điều chỉnh tốc độ bằng điện trở R_s biến đổi kết hợp với điện trở R_f cố định thường được dùng cho hệ truyền động có công suất không lớn và được tiến hành để giảm sơ bộ tốc độ trước khi dừng chính xác các chuyển động. Kéo dài thời gian làm việc với các điện trở R_f và R_s trong mạch điện của động cơ sẽ gây tổn hao năng lượng lớn trên các điện trở này làm giảm chỉ tiêu năng lượng của điều chỉnh tốc độ.

Trường hợp 2 : R_f có trị số biến đổi còn R_s không thay đổi H.2-5.

Các đường đặc tính tốc độ và đặc tính cơ nằm trong vùng giới hạn bởi các đặc tính khi $R_f = 0$ và $R_f = \infty$.

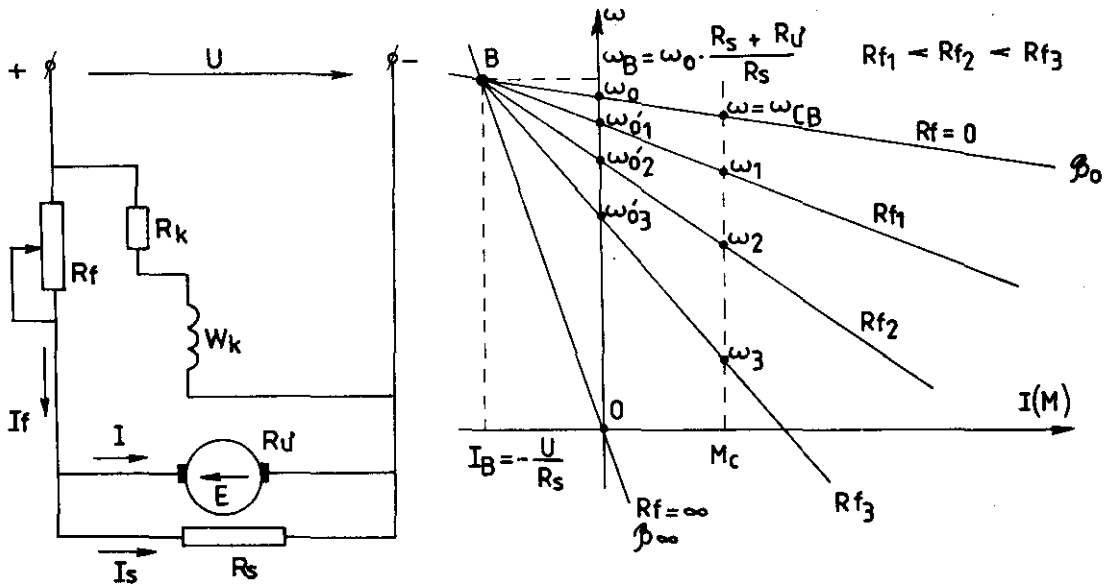
Nếu $R_f = 0$ các phương trình (2-15), (2.16) có dạng :

$$\omega = \frac{U}{C \cdot \Phi} - I \cdot \frac{R_u}{C \cdot \Phi} \quad (2.23)$$

$$\omega = \frac{U}{C \cdot \Phi} - M \cdot \frac{R_u}{(C \cdot \Phi)^2} \quad (2.24)$$

Đường đặc tính tốc độ và đường đặc tính cơ ứng với (2.23), (2.24) là các đường đặc tính tự nhiên của động cơ điện. Chế độ làm việc của động cơ lúc này không phụ thuộc vào điện trở R_s chỉ phụ thuộc vào điện áp U đặt vào phần ứng và vào điện trở R_u của phần ứng của động cơ.

Khi $R_f = \infty$ các phương trình (2.15), (2.16) trở thành phương trình ở chế độ hãm động năng với điện trở hãm bằng trị số của R_s :



Hình 2.5 : Sơ đồ và các đường đặc tính của động cơ khi điều chỉnh tốc độ bằng điện trở R_f ; $R_s = \text{const}$

$$\omega = -\frac{I}{C \cdot \Phi} \cdot (R_u + R_s) \quad (2.25)$$

$$\omega = -\frac{M}{(C \cdot \Phi)^2} \cdot (R_u + R_s) \quad (2.26)$$

Đường đặc tính khi đó đi qua gốc tọa độ và cắt đường đặc tính khi $R_f = 0$ tại điểm B trên đồ thị hình 2.5. Tọa độ điểm B được xác định nhờ kết hợp (2.23) với (2.25) hoặc (2.24)

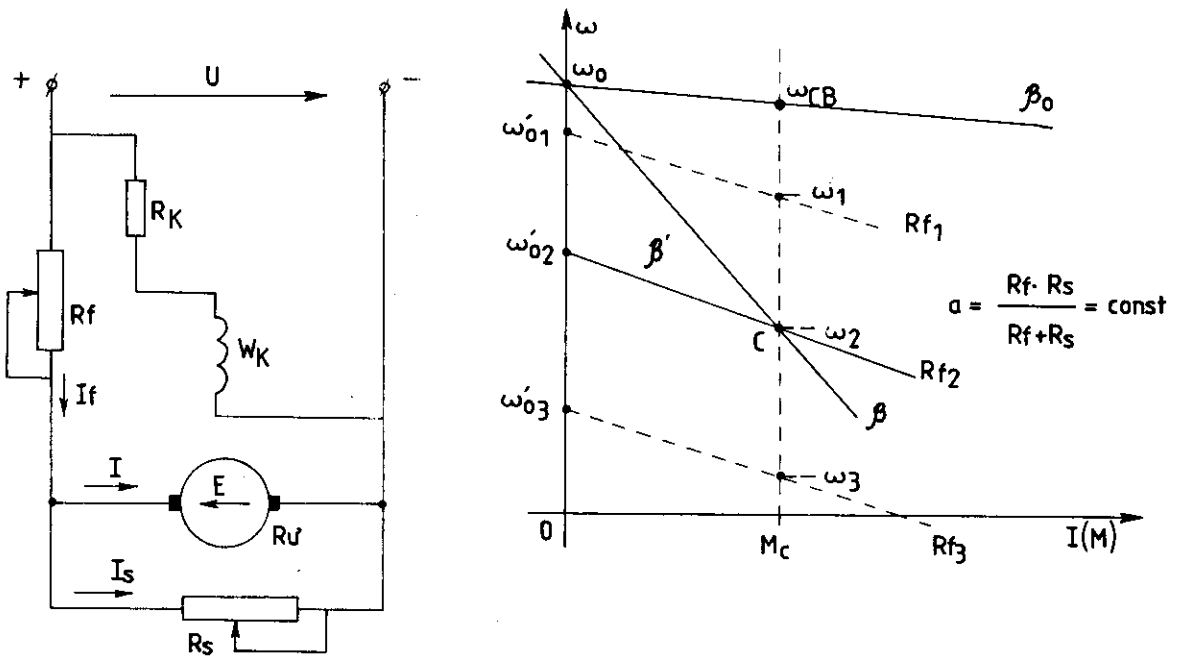
với (2.26) : $\omega_B = \omega_0 \cdot \frac{R_s + R_u}{R_s}$; $I_B = -\frac{U}{R_s}$

Vị trí điểm B không phụ thuộc vào R_f mà được xác định bởi R_s cho nên khi biến đổi giá trị của R_f từ $R_f = 0$ đến $R_f = \infty$ các đường đặc tính điều chỉnh đều qua điểm B và có độ

cứng giảm dần từ $\beta_0 = \frac{(C \cdot \Phi)^2}{R_u}$ đến $\beta_\infty = \frac{(C \cdot \Phi)^2}{R_u + R_s}$

Trường hợp 3 : Đồng thời biến thiên trị số của R_f và R_s (hình 2.6)

Trường hợp này các phương trình đường đặc tính tốc độ và đường đặc tính cơ có dạng (2.17), (2.18) như đã thiết lập ở phần đầu. Trên đồ thị hình 2.6 vẽ đường đặc tính cơ tự nhiên với độ cứng β_0 . Khi mômen phụ tải không đổi, $M_c = \text{const}$, tốc độ cơ bản ω_{CB} của động cơ được xác định trên đặc tính tự nhiên. Muốn giảm tốc độ quay đến trị số ω_2 ứng với điểm C nếu chọn phương pháp điều chỉnh chỉ bằng điện trở R_f ($R_s = \infty$) theo hình 2.3, cần chọn trị số của R_f sao cho đường đặc tính điều chỉnh đi qua điểm ω_0 và điểm C, với độ cứng β . Còn nếu chọn phương pháp điều chỉnh bằng cách biến thiên cả hai điện trở R_f và R_s thì đặc tính cơ sẽ đi qua điểm C và điểm $\omega'_{02} < \omega_0$ và có độ cứng β' . Kết quả ta có $\beta' < \beta$, vậy phương pháp điều chỉnh này cho phép động cơ làm việc ở tốc độ thấp với độ ổn định cao hơn.



Hình 2.6 : Sơ đồ và các đường đặc tính của động cơ khi điều chỉnh đồng thời cả hai điện trở R_f và R_s .

Từ các phương trình (2.17), (2.18) nếu đặt $a = \frac{R_s R_f}{R_s + R_f}$ ta nhận được các biểu thức :

$$\omega = \omega_o \cdot \frac{a}{R_f} - I \cdot \frac{1}{C \cdot \Phi} (R_u + a) = \omega'_o - \Delta \omega \quad (2.25)$$

$$\omega = \omega_o \cdot \frac{a}{R_f} - M \cdot \frac{1}{(C \cdot \Phi)^2} (R_u + a) = \omega'_o - \Delta \omega \quad (2.26)$$

Trong đó $\omega'_o = \omega_o \cdot \frac{a}{R_f} < \omega_o$

$$\Delta \omega = I \cdot \frac{1}{C \cdot \Phi} (R_u + a) = M \cdot \frac{1}{(C \cdot \Phi)^2} (R_u + a)$$

Để nhận được một họ đường đặc tính điều chỉnh có cùng độ cứng β' , như vẽ trên hình 2.6, khi thay đổi R_f đồng thời với R_s từ (2.25), (2.26) cần có hệ số a không đổi, hoặc là

$$\frac{1}{a} = \frac{R_f + R_s}{R_f \cdot R_s} = \frac{1}{R_f} + \frac{1}{R_s} = \text{const}$$

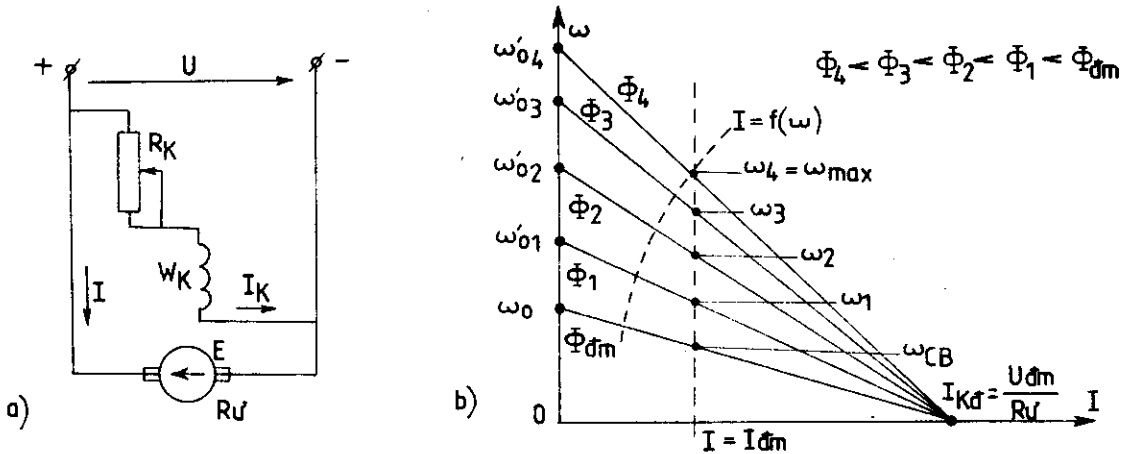
Vậy muốn cho các đường đặc tính điều chỉnh song song với nhau khi tăng R_f phải giảm R_s sao cho tổng các điện dẫn của hai điện trở là một trị số không đổi.

Muốn thay đổi độ cứng β' của đường đặc tính điều chỉnh ta thay đổi giá trị của tổng các điện dẫn $\frac{1}{R_f} + \frac{1}{R_s} = \frac{1}{a}$ để thay đổi trị số của hệ số a .

2.2.2. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi từ thông :

Muốn thay đổi từ thông của các cực từ trong máy điện một chiều ta thay đổi dòng điện kích từ I_k của cuộn dây kích từ W_k . Đây là một trong các phương pháp điều chỉnh tốc độ đơn giản nhưng có tính kinh tế cao. Muốn điều chỉnh dòng điện kích từ I_k ta dùng biến trở R_k đặt nối tiếp với cuộn dây kích từ (hình 2.7a).

Trong động cơ một chiều kích từ độc lập người ta còn điều chỉnh dòng điện kích từ bằng cách thay đổi trị số điện áp đặt vào mạch kích từ.



Hình 2.7 : Sơ đồ và đặc tính tốc độ của động cơ khi điều chỉnh tốc độ bằng cách giảm từ thông ϕ

Khi điều chỉnh tốc độ chỉ có thể giảm từ thông kích thích đến các giá trị nhỏ hơn từ thông định mức ϕ_{dm} của động cơ. Đối với các động cơ điện có ϕ_{dm} nằm ở chỗ tiếp giáp giữa vùng tuyến tính và vùng bão hoà của đường đặc tính từ hoá có thể xem như khi điều chỉnh tốc độ từ thông phụ thuộc tuyến tính vào dòng điện kích từ :

$\phi = C_o \cdot I_k$, trong đó C_o là hằng số phụ thuộc vào thông số và kết cấu của máy điện.

Theo phương trình (2.10), trên hình 2.7b ta vẽ được họ các đường đặc tính tốc độ khi điều chỉnh. Đó là những đường thẳng có độ dốc khác nhau.

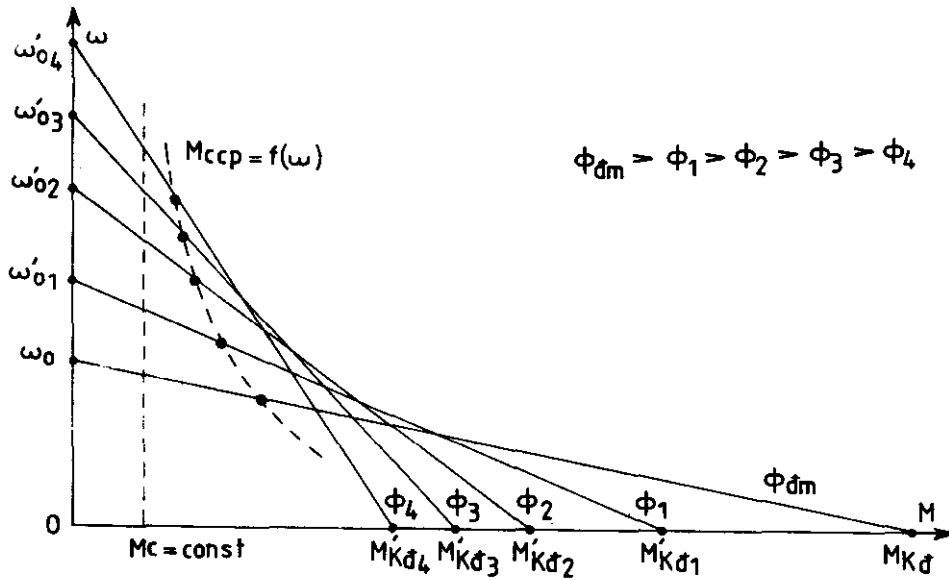
Với từ thông kích thích $\phi = \phi_{dm}$, đường đặc tính tốc độ là đường thấp nhất trong vùng điều chỉnh đồng thời là đường đặc tính tự nhiên khi $U = U_{dm}$ và $R = R_u$. Tốc độ không tải lúc này là $\omega_o = \frac{U_{dm}}{C \cdot \phi_{dm}}$ còn dòng điện khởi động $I_{kd} = \frac{U_{dm}}{R_u}$.

Khi giảm từ thông đến trị số $\phi < \phi_{dm}$ tốc độ không tải tăng đến $\omega'_o = \frac{U_{dm}}{C \cdot \phi} > \omega_o$ còn dòng điện khởi động không thay đổi $I_{kd} = \text{const}$. Do đó họ đặc tính tốc độ khi giảm từ thông có chung giao điểm tại hoành độ $I_{kd} = \frac{U_{dm}}{R_u}$ trên trục dòng điện và có độ dốc tăng dần.

Trên hình 2.8 trình bày họ các đường đặc tính cơ thiết lập theo phương trình đặc tính cơ.

$$\omega = \frac{U}{C \cdot \phi} - M \cdot \frac{R}{(C \cdot \phi)^2}$$

tương ứng với họ đặc tính tốc độ của hình 2.7. Các đường đặc tính cơ cũng có tốc độ không tải ω_0 tăng dần khi giảm từ thông ϕ nhưng mômen khởi động lại giảm dần : $M'_{kd} = C \cdot \phi \cdot I_{kd} < M_{kd} = C \cdot \phi_{dm} \cdot I_{kd}$ từ đó thấy được khi giảm từ thông kích thích độ cứng của đặc tính cơ giảm nhanh.



Hình 2.8 : Họ đặc tính cơ khi điều chỉnh tốc độ bằng cách giảm từ thông

Như đã đề cập tới trong mục (2.1.6) để sử dụng động cơ một cách tối ưu nhất khi điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi từ thông kích thích ϕ , cần giữ cho dòng điện không đổi bằng dòng điện định mức $I = I_{dm} = \text{const}$ (hình 2.7). Trong trường hợp đó công suất động cơ là hằng số còn mômen phụ tải cho phép M_{ccp} sẽ biến đổi theo tốc độ với quy luật hypecbôn (quan hệ $M_{ccp} = f(\omega)$ trên hình 2.8). Ở phía bên phải đường cong $M_{ccp} = f(\omega)$ động cơ bị quá tải ; Ở vùng bên trái đường cong $M_{ccp} = f(\omega)$ động cơ làm việc non tải.

Trong trường hợp mômen phụ tải của động cơ không đổi $M_c = \text{const}$ (hình 2.8) khi điều chỉnh tốc độ dòng điện I sẽ biến đổi theo, ta có quan hệ $I = f(\omega)$ như vẽ trên hình 2.7. Đối với phụ tải dài hạn cần thiết phải chọn động cơ sao cho ở tốc độ làm việc lớn nhất của vùng điều chỉnh ($\omega_{\max} = \omega_4$ chẳng hạn trên hình 2.7) dòng điện của động cơ gần bằng dòng điện định mức. Ở những tốc độ làm việc khác thấp hơn động cơ sẽ làm việc non tải, dòng điện phản ứng của động cơ nhỏ hơn dòng điện định mức do từ thông kích thích tăng.

Từ hình 2.8 có thể kết luận khi giảm từ thông tốc độ tăng nếu mômen phụ tải M_c nhỏ và tốc độ giảm khi mômen phụ tải lớn. Phạm vi điều chỉnh tốc độ bị giới hạn bởi tốc độ lớn nhất $\omega_{\max}$ của vùng điều chỉnh. Ở tốc độ này điều kiện chuyển mạch của cổ góp xấu đi, xuất hiện tia lửa điện mạnh trên cổ góp. Mặt khác độ cứng đặc tính cơ rất thấp, động cơ làm việc không ổn định khi có dao động của phụ tải. Tốc độ làm việc $\omega_{\max}$ còn bị hạn chế chủ yếu bởi độ bền cơ học của phần ứng của động cơ.

Tốc độ làm việc thấp nhất của dải điều chỉnh bị giới hạn bởi đường đặc tính ứng với từ thông lớn nhất, chính là từ thông định mức ϕ_{dm} của động cơ đã cho.

2.2.3. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp U đặt vào phần ứng của động cơ :

Để điều chỉnh điện áp đặt vào mạch phần ứng của động cơ điện một chiều có thể sử dụng các hệ truyền động như :

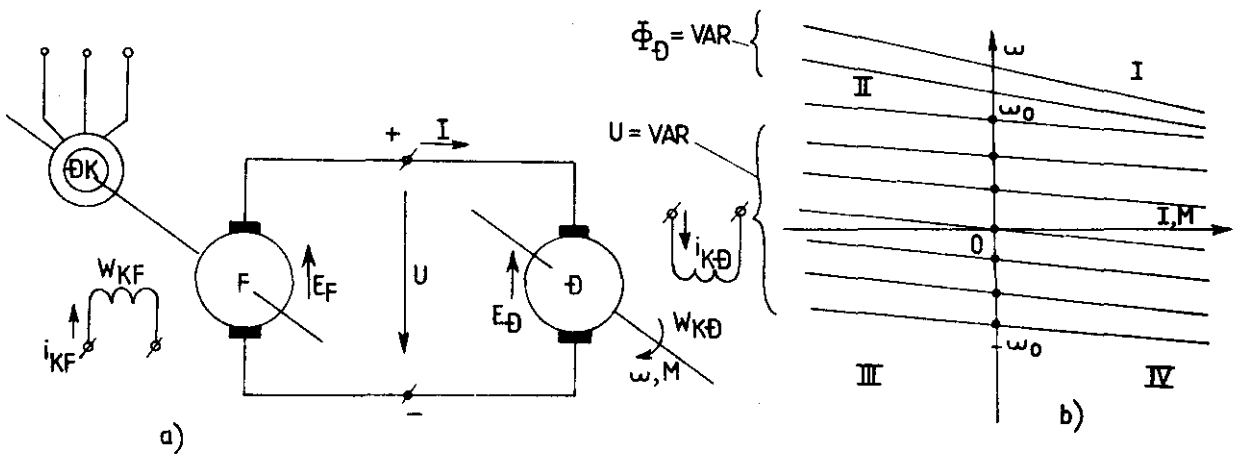
- Hệ truyền động máy phát - động cơ
- Hệ truyền động máy điện khuếch đại - động cơ
- Hệ truyền động chỉnh lưu Tiristor - động cơ
- Hệ truyền động xung áp - động cơ
- Hệ truyền động khuếch đại từ - động cơ.

Đối với động cơ công suất nhỏ có thể sử dụng biến trở điều chỉnh điện áp để thay đổi điện áp đặt vào động cơ điện.

Trong phạm vi chương trình này sẽ giới thiệu những khái niệm cơ bản về điều chỉnh tốc độ bằng phương pháp điều chỉnh điện áp trong hệ thống truyền động máy phát - động cơ (F-D). Các hệ truyền động :

Chỉnh lưu Tiristor - động cơ và hệ truyền động xung áp - động cơ sẽ được đề cập đến trong các mục (2.4) và (2.5).

Hệ thống máy phát - động cơ hình 2.9a sử dụng máy phát điện một chiều kích từ độc lập F để cấp điện cho động cơ một chiều D. Máy phát F thường do động cơ sơ cấp không đồng bộ ba pha ĐK quay với tốc độ không đổi.



Hình 2.9 : Sơ đồ và họ đặc tính cơ, họ đặc tính tốc độ của hệ thống F - D khi $\phi_D = const$

Trong sơ đồ này khi điều chỉnh dòng điện kích từ i_{KF} của máy phát điện F có thể thay đổi điện áp U đặt vào động cơ điện D đến những trị số rất nhỏ, nhờ đó việc điều chỉnh tốc độ động cơ được tiến hành 1 cách đơn giản trong phạm vi tương đối rộng.

Từ sơ đồ hình 2.9 ta có phương trình :

$$E_F - E_D = I (R_{u_F} + R_{u_D})$$

Trong đó : $- E_F$ là sức điện động của máy phát điện F phụ thuộc vào dòng điện kích từ của máy phát i_{KF} .

- E_D : là sức điện động của động cơ điện được tính theo biểu thức :

$$E_D = C \cdot \phi_D \cdot \omega$$

với ϕ_D là từ thông của động cơ điện được tạo nên bởi dòng kích từ i_{KD} của động cơ ; ω là tốc độ góc của động cơ.

- R_{uF} , R_{uD} là điện trở mạch phản ứng của máy phát F và của động cơ D.

Từ phương trình vừa nhận được ta suy ra phương trình đường đặc tính tốc độ và phương trình đường đặc tính cơ của hệ thống :

$$\omega = \frac{E_F}{C \cdot \Phi_D} - I \cdot \frac{(R_{uF} + R_{uD})}{C \cdot \Phi_D} = \omega_{ox} - I \frac{(R_{uF} + R_{uD})}{C \cdot \Phi_D} \quad (2.27)$$

$$\omega = \frac{E_F}{C \cdot \Phi_D} - M \cdot \frac{(R_{uF} + R_{uD})}{(C \cdot \Phi_D)^2} = \omega_{ox} - M \frac{(R_{uF} + R_{uD})}{(C \cdot \Phi_D)^2} \quad (2.28)$$

Ở đây, $\omega_{ox} = \frac{E_F}{C \cdot \Phi_D}$ là tốc độ không tải của hệ thống máy phát - động cơ. Tốc độ này phụ thuộc vào sức điện động E_F của máy phát điện tức là phụ thuộc vào dòng điện kích từ i_{KF} của máy phát điện.

Dựa vào (2.27) và (2.28) ta xây dựng được họ đặc tính tốc độ và họ đặc tính cơ là những đường thẳng song song có độ dốc lớn hơn độ dốc của đặc tính tự nhiên của động cơ như hình 2.9b. Các đặc tính cơ của hệ thống F-D có độ cứng $\beta = (C \cdot \phi_D)^2 / (R_{uF} + R_{uD})$ thấp hơn độ cứng của đặc tính cơ tự nhiên của động cơ $\beta_o = (C \cdot \phi_D)^2 / R_{uD}$.

Muốn mở rộng hơn nữa phạm vi điều chỉnh tốc độ của hệ thống máy phát động cơ, ngoài cách điều chỉnh điện áp U khi giữ cho $\phi_D = \text{const}$ ta còn dùng biện pháp giảm từ thông ϕ_D của động cơ khi giữ cho điện áp không đổi $U = \text{const}$. Lúc này họ các đường đặc tính cơ có độ dốc lớn hơn và phân bố ở phía trên vùng điều chỉnh bằng cách thay đổi điện áp U như chỉ rõ trên hình 2.9b. Kết quả đối với hệ thống máy phát - động cơ có 2 vùng điều chỉnh tốc độ. Nhằm bảo đảm tính kinh tế của điều chỉnh tốc độ hai biện pháp điều chỉnh tốc độ nói trên được vận dụng như sau :

Khi mômen của hệ thống F - D không đổi $M = \text{const}$ người ta điều chỉnh tốc độ trong vùng điện áp thay đổi $U = \text{var}$.

Còn khi công suất không đổi thì tốc độ được điều chỉnh trong vùng giảm từ thông động cơ.

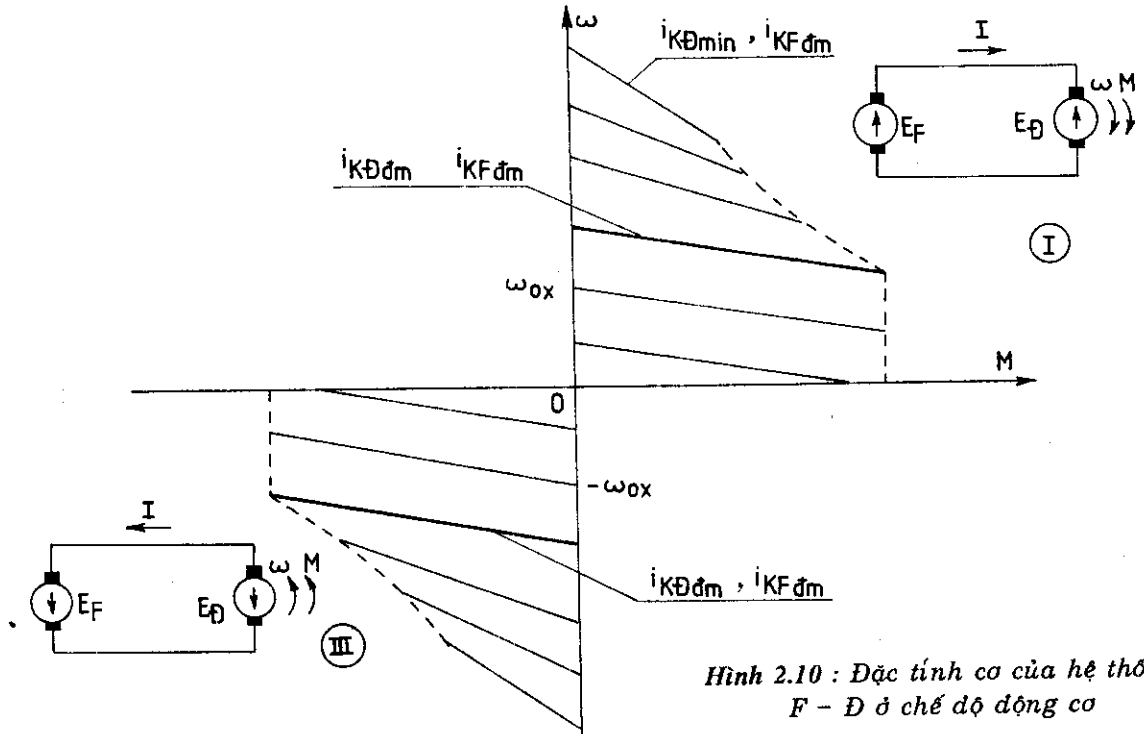
$$\phi = \text{var}$$

Chế độ động cơ của hệ thống F - D có các đoạn đặc tính nằm trong góc phần tư thứ I và thứ III của hệ toạ độ (M, ω) , như hình 2.10. Dòng điện phản ứng I được cung cấp từ máy phát F tới động cơ D. Mômen quay M của động cơ cùng chiều với tốc độ ω của nó, ta có $|\omega_{ox}| > |\omega|$, $|E_F| > |E_D|$. Công suất điện từ của máy phát, công suất điện từ và công suất cơ của động cơ là :

$$\left. \begin{aligned} P_F &= E_F \cdot I > 0 \\ P_D &= E_D \cdot I < 0 \\ P_{co} &= M \cdot \omega > 0 \end{aligned} \right\} \quad (2-29)$$

Vùng hãm tái sinh của hệ thống F - D nằm ở góc phần tư thứ II và thứ IV khi $|\omega| > |\omega_{ox}|$ như hình 2.11, do đó $|E_D| > |E_F|$; Dòng điện phần ứng I chạy ngược từ động cơ về máy phát, mômen quay ngược chiều với tốc độ. Máy phát và động cơ đổi chức năng cho nhau và dòng năng lượng chuyển vận theo chiều ngược lại từ tải $\rightarrow$ động cơ $\rightarrow$ máy phát $\rightarrow$ nguồn. Công suất điện từ của máy phát, công suất điện từ và công suất cơ của động cơ trường hợp này là :

$$\left. \begin{aligned} P_F &= E_F \cdot I < 0 \\ P_D &= E_D \cdot I > 0 \\ P_{co} &= M \cdot \omega < 0 \end{aligned} \right\} \quad (2-30)$$

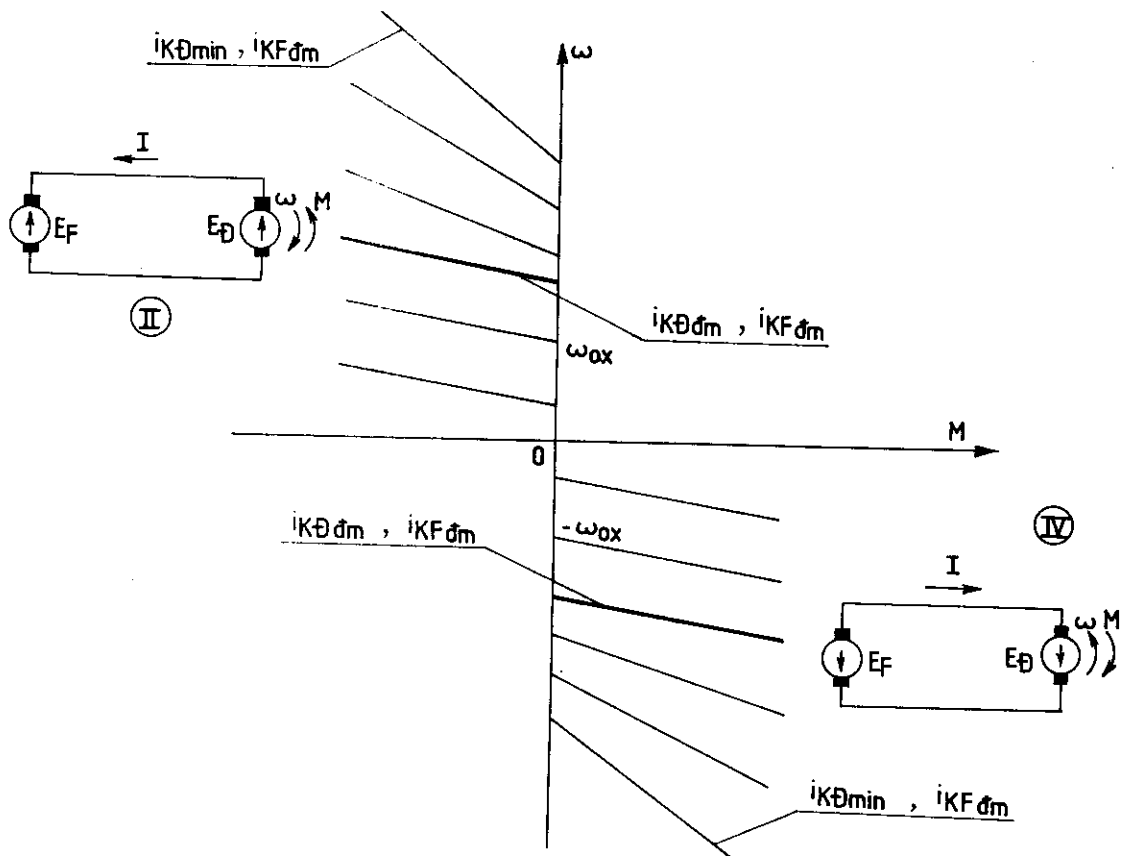


Hình 2.10 : Đặc tính cơ của hệ thống F - D ở chế độ động cơ

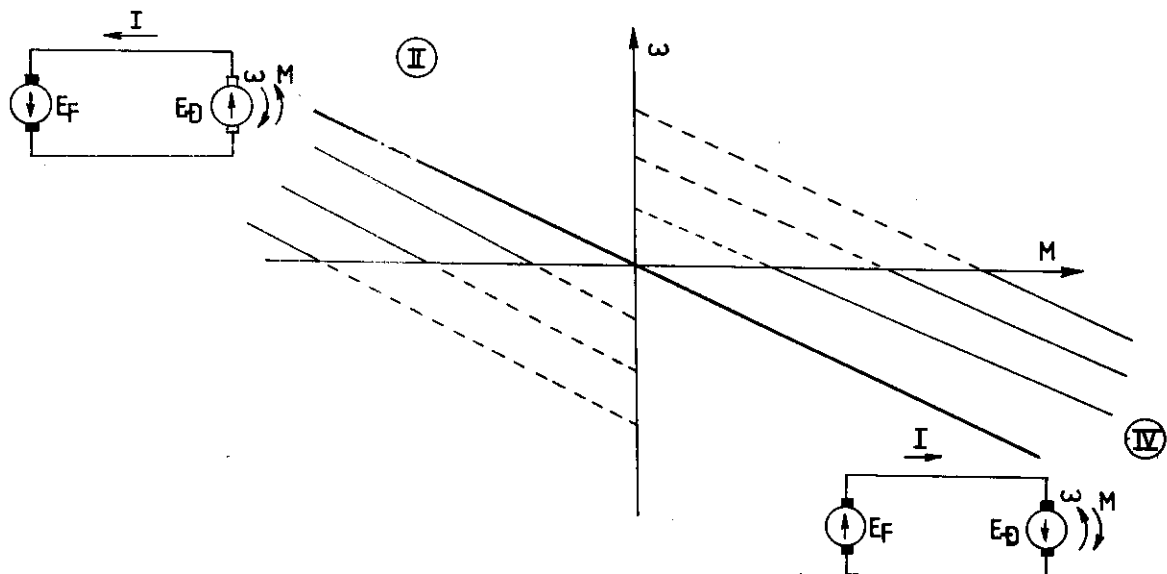
Hãm tái sinh trong hệ thống máy phát - động cơ xảy ra khi tiến hành giảm tốc độ động cơ, khi hãm để đảo chiều quay hoặc khi làm việc ổn định với phụ tải thế năng trong trường hợp hạ hãm trong các máy nâng.

Vùng hãm ngược của hệ thống F - D bao gồm các phần đặc tính bị giới hạn bởi trục mômen M và đường đặc tính hãm động năng đi qua gốc tọa độ như hình 2.12. Sức điện động E_D của động cơ tác dụng cùng chiều với sức điện động E_F của máy phát và cùng cung cấp dòng điện I cho điện trở của mạch phần ứng gây tiêu tán nhiệt năng trên điện trở dây quấn phần ứng của máy phát và động cơ. Sức điện động E_D trở nên có cùng chiều tác dụng với sức điện động E_F là do hoặc khi thực hiện đảo chiều quay của động cơ ta đảo chiều sức điện động E_F của máy phát hoặc là do khi tiến hành hạ hãm vật nâng trong máy nâng, rôto của động cơ bị kéo quay ngược dưới tác dụng của phụ tải thế năng. Biểu thức tính các công suất là :

$$\left. \begin{aligned} P_F &= E_F I > 0 \\ P_D &= E_D I > 0 \\ P_{co} &= M \cdot \omega < 0 \end{aligned} \right\} \quad (2-31)$$



Hình 2.11 : Đặc tính cơ hệ thống F – Đ ở chế độ hãm tái sinh



Hình 2.12 : Đặc tính cơ của hệ thống F – Đ ở chế độ hãm ngược

Ưu điểm nổi bật của hệ thống máy phát – động cơ là có khả năng quá tải lớn, sự chuyển đổi trạng thái làm việc rất linh hoạt, phạm vi điều chỉnh tốc độ được mở rộng, có khả năng giữ cho độ cứng β của các đường đặc tính cơ không đổi khi điều chỉnh tốc độ.

Nhược điểm của hệ thống này là dùng nhiều máy điện quay, trong đó ít nhất, là hai máy điện một chiều ; Công suất lắp đặt máy gấp ba lần công suất động cơ chấp hành.

Ngoài ra, do máy phát một chiều có từ dư của cực từ, đặc tính từ hóa có từ trễ nên khó điều chỉnh sâu tốc độ.

2.3. ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU KÍCH THÍCH NỐI TIẾP

Tương tự như đối với động cơ một chiều kích thích song song có thể điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều kích thích nối tiếp theo một trong ba phương pháp :

- Phương pháp thay đổi điện áp U đặt vào động cơ
- Phương pháp thay đổi điện trở của mạch điện phần ứng
- Phương pháp thay đổi từ thông ϕ

2.3.1. Điều chỉnh tốc độ quay bằng cách thay đổi điện trở của mạch điện phần ứng

Trường hợp này người ta dùng một điện trở phụ R_f đặt nối tiếp với mạch điện phần ứng như hình 2.13a.

Nếu xem như máy điện làm việc với mạch từ chưa bão hòa từ thông ϕ tỉ lệ với dòng điện I qua cuộn dây kích từ W_k

$$\phi = C_o \cdot I \quad (2-32)$$

với C_o : là hằng số tỉ lệ.

Điện trở mạch điện phần ứng :

$$R = R_u + R_f \quad (2-33)$$

Mômen quay của động cơ trong trường hợp này tỉ lệ với bình phương dòng điện I :

$$M = C \cdot \phi \cdot I = C \cdot C_o \cdot I^2 \quad (2-34)$$

Kết hợp các biểu thức (2-10), (2-32), (2-33), (2-34) có thể viết phương trình của đường đặc tính tốc độ và của đường đặc tính cơ như sau :

$$\omega = \frac{U}{C \cdot C_o \cdot I} - \frac{R_u + R_f}{C \cdot C_o} = \frac{A}{I} - \frac{R_u + R_f}{B} \quad (2-35)$$

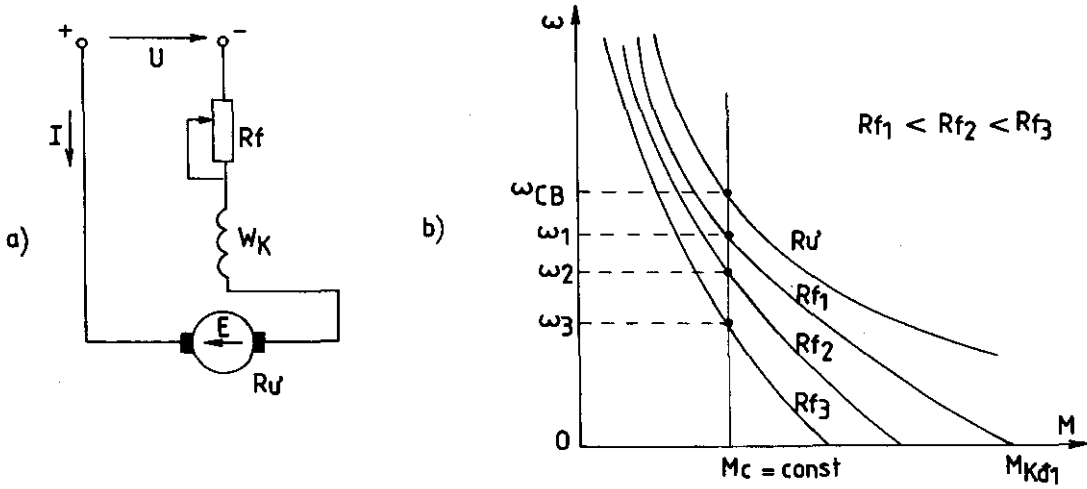
$$\omega = \frac{U}{\sqrt{C} \cdot \sqrt{C_o} \cdot \sqrt{M}} - \frac{R_u + R_f}{C \cdot C_o} = \frac{A'}{\sqrt{M}} - \frac{R_u + R_f}{B} \quad (2-36)$$

với
$$A = \frac{U}{C \cdot C_o} ; A' = \frac{U}{\sqrt{C} \cdot \sqrt{C_o}} ; B = C \cdot C_o$$

Trên hình 2.13b vẽ các đường đặc tính cơ của động cơ điện theo biểu thức (2-36). Cũng theo (2-36) có thể xác định trị số của mômen khởi động khi $\omega = 0$:

$$M_{kd} = \left(\frac{A' \cdot B}{R_u + R_f} \right)^2$$

Khi tăng điện trở phụ R_f độ sụt tốc độ $\Delta\omega$ tăng theo, do đó tốc độ ω giảm và đường đặc tính cơ càng trở nên dốc hơn.



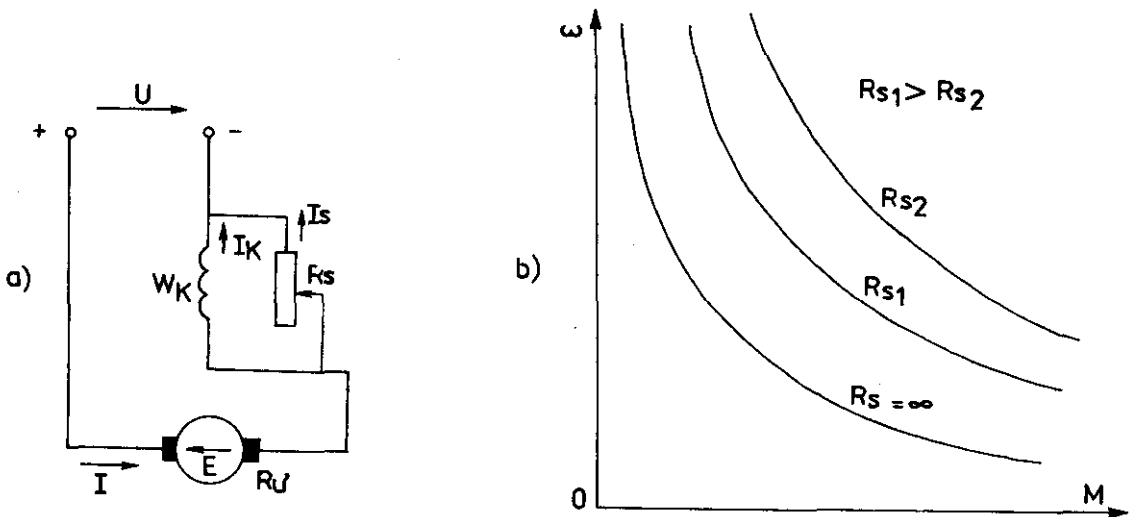
Hình 2.13 : Sơ đồ và các đặc tính cơ của động cơ kích thích nối tiếp khi điều chỉnh tốc độ bằng điện trở phụ R_f

Từ biểu thức (2-36), trong trường hợp mômen là hằng số có thể xác định quan hệ giữa các tốc độ như sau :

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{A' \cdot B - \sqrt{M} (R_u + R_{f2})}{A' \cdot B - \sqrt{M} (R_u + R_{f1})} = \frac{\omega_{CB} - \Delta \omega_2}{\omega_{CB} - \Delta \omega_1}$$

Điều chỉnh tốc độ theo phương pháp này gây tiêu hao năng lượng lớn trên điện trở phụ R_f ; phạm vi điều chỉnh bị hạn chế vì chỉ có thể giảm tốc độ so với tốc độ cơ bản ω_{CB} .

2.3.2. Điều chỉnh tốc độ quay bằng cách dùng điện trở R_s nối song song với cuộn dây kích từ nối tiếp W_k để thay đổi từ thông ϕ của máy điện như hình 2.14a.



Hình 2.14 : Sơ đồ và các đường đặc tính cơ của động cơ kích thích nối tiếp khi điều chỉnh tốc độ bằng điện trở R_s để giảm từ thông ϕ

Dòng điện kích từ chạy qua cuộn dây kích từ nối tiếp là :

$$I_K = I - I_s$$

Gọi R_{Kt} là điện trở của cuộn dây kích từ ta có quan hệ :

$$I_K \cdot R_{Kt} = I_s R_s$$

Suy ra :

$$R_s = R_{Kt} \cdot \frac{I_K}{I_s}$$

Thông thường cuộn dây kích từ nối tiếp W_K có điện trở R_{Kt} nhỏ ; bởi vậy điện trở R_s cũng phải có trị số nhỏ để có thể làm cho dòng kích từ I_K thay đổi đáng kể. Dòng kích từ I_K phụ thuộc vào dòng điện động cơ theo biểu thức :

$$I_K = I \cdot \frac{R_s}{R_s + R_{Kt}}$$

Gọi q là hệ số phụ thuộc của I_K vào I : $I_K = q \cdot I$;

Ta có $q = \frac{R_s}{R_s + R_{Kt}}$, và điện trở R_s phải được lựa chọn theo biểu thức :

$$R_s = \frac{q}{1 - q} \cdot R_{Kt}$$

Muốn cho dòng điện kích từ I_K chỉ bằng một nửa dòng điện phản ứng của động cơ I , ta có $q = 0,5$ và điện trở R_s phải có trị số :

$$R_s = \frac{0,5}{1 - 0,5} \cdot R_{Kt} = R_{Kt}$$

Vì điện trở R_s có trị số nhỏ nên tiêu tán năng lượng trên nó trong quá trình điều chỉnh không lớn.

Phương pháp điều chỉnh bằng điện trở R_s nối song song với cuộn dây kích từ chỉ cho phép giảm từ thông ϕ của máy điện do đó chỉ có thể làm tăng tốc độ quay của động cơ. Điện trở điều chỉnh R_s càng nhỏ, dòng điện kích từ I_K sẽ càng nhỏ khiến cho từ thông ϕ càng giảm đi và các đường đặc tính cơ lúc này được phân bố ở phía trên của đường tính đặc cơ tự nhiên khi $R_s = \infty$ như trình bày trên hình 2.14b.

Các đường đặc tính cơ có độ dốc càng lớn khi R_s càng nhỏ, khiến cho động cơ làm việc không ổn định khi có dao động của phụ tải.

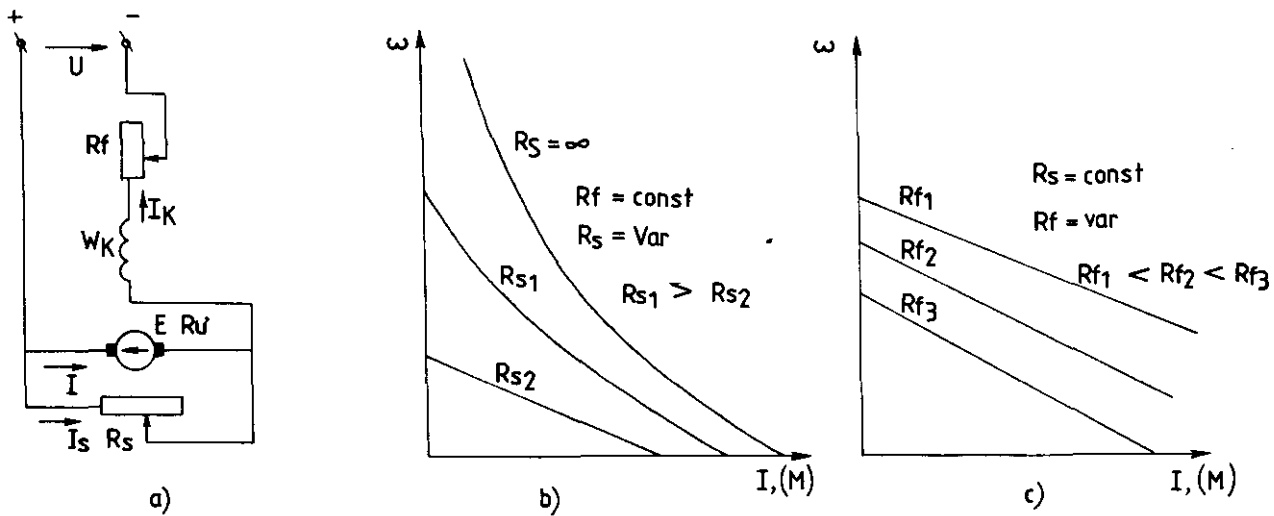
2.3.3. Điều chỉnh tốc độ bằng các điện trở R_f nối tiếp với mạch điện phản ứng và R_s mắc song song với phần ứng của động cơ như hình 2.15a.

Nhược điểm của động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp là không có khả năng làm việc ở chế độ không tải hoặc khi mômen phụ tải nhỏ vì tốc độ quay ở các chế độ này có trị số rất lớn. Điều này có thể khắc phục được nếu thực hiện điều chỉnh tốc độ bằng cách kết hợp hai điện trở R_f với R_s mắc nối tiếp và song song với phần ứng của động cơ.

Dòng điện kích từ trong trường hợp này là :

$$I_K = I + I_s > I$$

Nhờ vậy từ thông máy điện tăng và dẫn đến giảm tốc độ quay ω của động cơ. Từ sơ đồ hình 2.15a ta có các phương trình sau :



Hình 2.15 : So đồ và các đường đặc tính tốc độ của động cơ kích thích nối tiếp khi điều chỉnh tốc độ quay bằng cách kết hợp các điện trở R_f và R_s .

$$U = I_s R_s + (I_s + I) R_f \quad (2-37)$$

$$I_s R_s = E + I R_u \quad (2-38)$$

Suy ra dòng điện qua điện trở R_s là :

$$I_s = \frac{U - I R_f}{R_s + R_f} \quad (2-39)$$

Và sức điện động của động cơ :

$$E = I_s R_s - I R_u \quad (2-40)$$

Để xây dựng đường đặc tính tốc độ của động cơ $\omega = f(I)$, ứng với R_s và R_f đã cho trước, trước hết ta xác định dòng I_s theo (2-39) khi cho các giá trị khác nhau của dòng điện I . Từ các trị số của dòng điện I đã cho và các giá trị của dòng điện I_s vừa xác định được ta có thể xác định các dòng điện kích từ tương ứng theo biểu thức $I_K = I + I_s$. Dựa vào đường đặc tính từ hóa $\phi = f(I_K)$ của mạch từ động cơ điện suy ra các giá trị của từ thông ϕ .

Cuối cùng từ công thức $E = C \cdot \phi \cdot \omega$ ta xác định các tốc độ ω của động cơ. Cố định một giá trị của điện trở R_f ($R_f = \text{const}$) và cho những trị số khác nhau của điện trở R_s ($R_s = \text{var}$) theo phương pháp nói trên ta vẽ được họ các đường đặc tính tốc độ như hình 2.15b.

Nếu giữ cho điện trở R_s không đổi ($R_s = \text{const}$) và thay đổi trị số của điện trở R_f ($R_f = \text{var}$) ta có họ các đường đặc tính tốc độ như hình 2.15c. Đối với đồ thị hình 2.15b và hình 2.15c ta có thể xác định tốc độ quay ω khi dòng điện phần ứng $I = 0$. Theo biểu thức (2-38) dòng điện $I = 0$ khi có biểu thức :

$$E = I_s R_s$$

Khi dòng điện $I = 0$, dòng điện kích từ chính là dòng điện qua điện trở R_s :

$$I_K = I_s = \frac{U}{R_s + R_f}$$

Tốc độ quay khi $I = 0$ được xác định theo quan hệ :

$$\omega = \frac{E}{C \cdot \phi} = \frac{I_s R_s}{C \cdot C_o \cdot I_K} = \frac{I_s R_s}{C \cdot C_o \cdot I_s} = \frac{R_s}{C \cdot C_o}$$

Ở đây hệ số tỉ lệ C_o giữa dòng kích từ I_K và từ thông ϕ được xác định từ đường đặc tính từ hóa của máy điện tương ứng với trị số dòng điện kích từ :

$$I_K = \frac{U}{R_s + R_f}$$

Ở cả hai đồ thị nói trên cũng có thể xác định dòng điện phản ứng động cơ I khi tốc độ quay $\omega = 0$.

Khi $\omega = 0$ sức điện động E triệt tiêu. Theo biểu thức (2-38) ta có :

$$I_s R_s = I \cdot R_u$$

Suy ra :

$$I_s = I \cdot \frac{R_u}{R_s}$$

Thay trị số của I_s vào biểu thức (2-37) ta được :

$$U = I \cdot \frac{R_u}{R_s} \cdot R_s + I \cdot \frac{R_u}{R_s} \cdot R_f + I R_f$$

$$U = I \left(R_u + R_f + \frac{R_u R_f}{R_s} \right)$$

Từ đó suy ra dòng điện phản ứng động cơ : khi $\omega = 0$

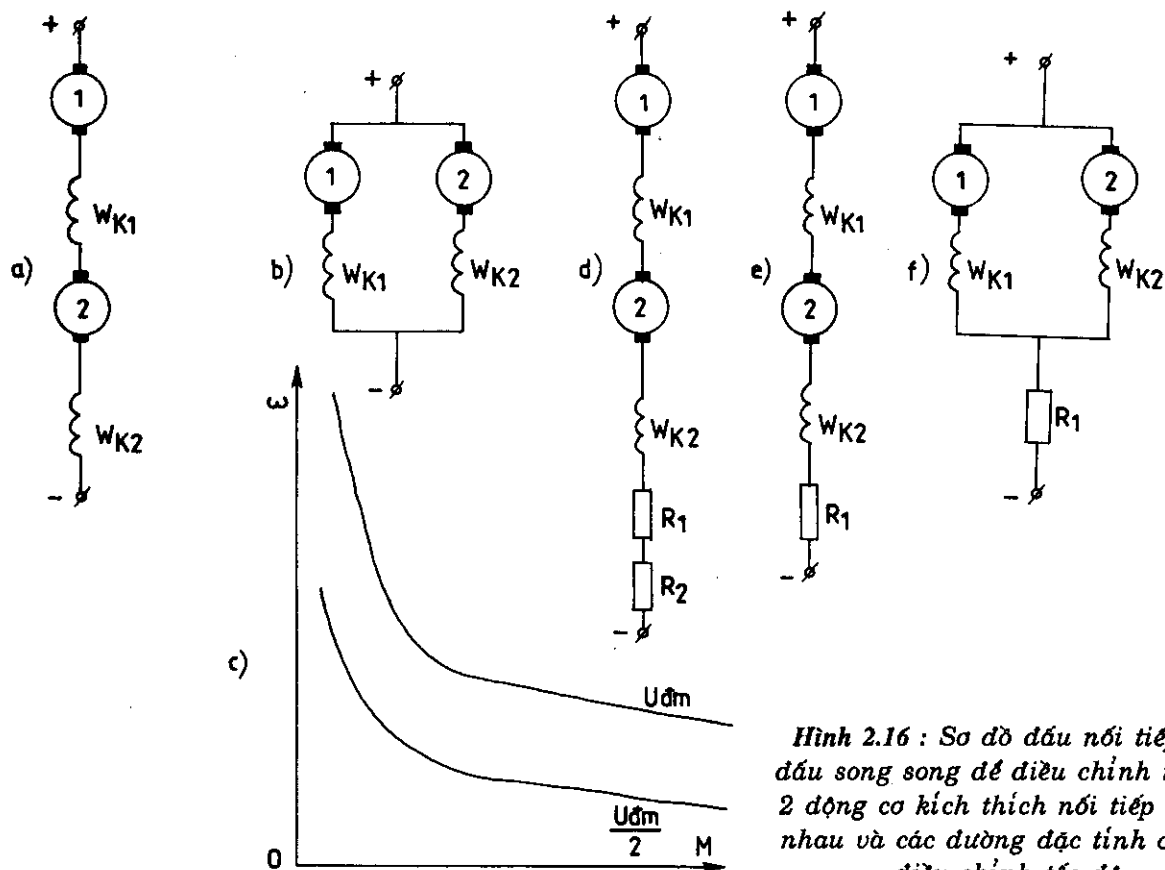
$$I = \frac{U \cdot R_s}{R_u R_s + R_f R_s + R_u R_f}$$

Phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ kích thích nối tiếp bằng cách sử dụng phối hợp hai điện trở R_f và R_s cho phép giảm tốc độ đến những giá trị nhỏ, ổn định khi phụ tải của động cơ nhỏ và tránh hiện tượng động cơ bị lỏng lên. Song phương pháp này cũng gây tiêu hao năng lượng phụ trên các điện trở nên chỉ được áp dụng khi yêu cầu điều chỉnh tốc độ trong khoảng thời gian ngắn.

2.3.4. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp U đặt vào phần ứng động cơ kích thích nối tiếp

Muốn thay đổi điện áp U đặt vào phần ứng của động cơ điện, có thể dùng một máy phát điện một chiều cung cấp riêng cho động cơ hoặc là áp dụng phương án chuyển từ đấu nối tiếp sang đấu song song giữa hai động cơ khi sử dụng hai động cơ để cùng truyền động cho một trục quay của máy sản xuất.

Khi hai động cơ có cùng công suất được mắc nối tiếp nhau như hình 2.16a, điện áp trên mỗi động cơ bằng một nửa điện áp lưới điện. Khi chuyển sang mắc song song hình 2.16b, điện áp trên mỗi động cơ bằng điện áp lưới nên tốc độ các động cơ tăng gấp 2 lần và ta nhận được hai cấp điều chỉnh tốc độ. Các đường đặc tính cơ của động cơ điện trong trường hợp điều chỉnh trên được trình bày trên hình 2.16c. Để có các cấp tốc độ trung gian có thể sử dụng các điện trở phụ R_1, R_2 như hình 2.16d, e, f.



Hình 2.16 : So đồ đấu nối tiếp và đấu song song để điều chỉnh tốc độ 2 động cơ kích thích nối tiếp giống nhau và các đường đặc tính cơ khi điều chỉnh tốc độ

Trong nhiều trường hợp người ta phải sử dụng hai động cơ có công suất bằng một nửa công suất tải để truyền động là do các yêu cầu sau :

- Cần giảm thời gian mở máy hay thời gian hãm của hệ thống truyền động vì sử dụng hai động cơ có công suất bằng một nửa sẽ có mômen quán tính nhỏ hơn so với khi sử dụng một động cơ lớn có công suất gấp đôi.

- Cần tăng cường độ tin cậy hoạt động của hệ truyền động ; trong trường hợp một động cơ sự cố, công suất truyền động giảm nhỏ thì động cơ còn lại vẫn bảo đảm cho hệ thống hoạt động bình thường.

- Lắp đặt hai động cơ nhỏ trên máy sẽ thuận tiện hơn là lắp đặt một động cơ kích thước lớn.

Truyền động hai động cơ được sử dụng trong các cấu trúc có tải trọng nặng lớn, trong giao thông vận tải đường sắt, tàu điện, trong máy cắt gọt kim loại có lưỡi dao cắt lớn và nhiều cơ cấu máy móc khác.

2.4. HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG CHÍNH LƯU ĐIỀU KHIỂN - ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU (CLĐK - Đ)

Trong hệ thống truyền động chỉnh lưu điều khiển - động cơ một chiều, bộ biến đổi điện là các mạch chỉnh lưu tiristor các loại khác nhau được dùng làm nguồn điều chỉnh điện áp để cung cấp cho phần ứng hoặc cho cuộn dây kích từ của động cơ.

Để xây dựng họ các đường đặc tính cơ của hệ thống truyền động CLĐK - Đ ta lấy sơ đồ chỉnh lưu hình tia ba pha để phân tích các chế độ làm việc khi phụ tải là phần ứng động cơ điện một chiều.

2.4.1. Các chế độ làm việc với dòng điện liên tục và dòng điện gián đoạn

Sơ đồ nối dây và sơ đồ thay thế của chỉnh lưu ba pha hình tia được trình bày trên hình 2.17. Trong đó :

Các sức điện động thứ cấp của máy biến áp nguồn là :

$$\begin{aligned} u_a &= U_{2m} \sin \omega t = U_{2m} \sin \theta \\ u_b &= U_{2m} \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) = U_{2m} \sin \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) \\ u_c &= U_{2m} \sin \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right) = U_{2m} \sin \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \end{aligned}$$

Động cơ điện có sức điện động, điện trở và điện cảm của phần ứng là E, R_u, L_u .

Máy biến áp có điện trở và điện cảm tản của một pha của dây quấn thứ cấp đã quy đổi là :

$$\begin{aligned} R_{ba} &= R_2 + R_1(W_2/W_1)^2 \\ L_{ba} &= L_2 + L_1(W_2/W_1)^2 = L_K \end{aligned}$$

Do đó điện trở mạch một chiều

$$R = R_u + R_{ba}$$

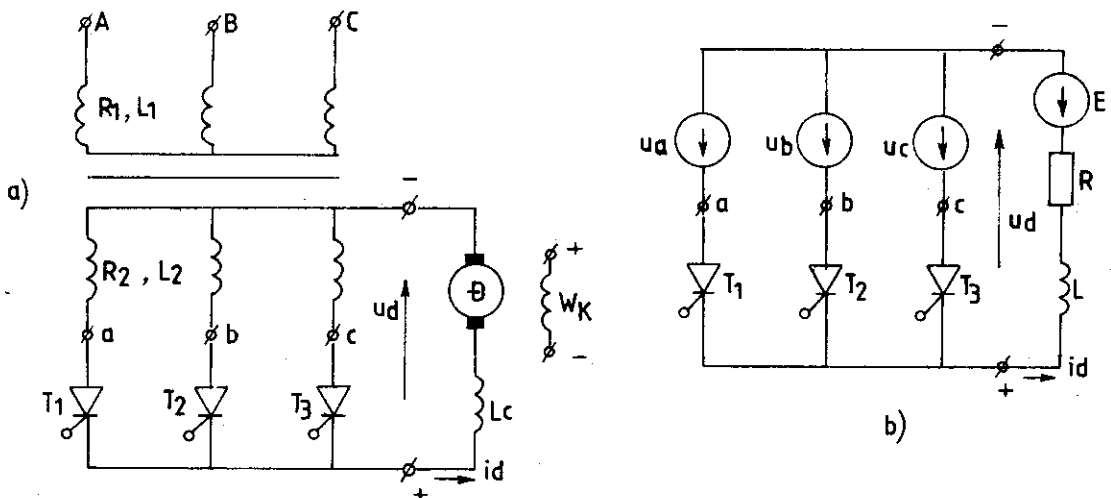
điện cảm mạch một chiều :

$$L = L_u + L_c + L_K$$

Trong quá trình vận hành của hệ thống CLĐK-Đ tùy theo mức độ lớn hay nhỏ của phụ tải trên trục của động cơ ứng với một góc điều khiển α nhất định mà dòng điện chỉnh lưu i_d chảy qua phần ứng của động cơ là dòng liên tục hay dòng gián đoạn.

a. Chế độ dòng điện liên tục

Ở chế độ làm việc với dòng điện liên tục, điện áp chỉnh lưu u_d , dòng điện chỉnh lưu i_d có dạng như trình bày trên hình 2.18a.



Hình 2.17 : Sơ đồ nối dây và sơ đồ thay thế của chỉnh lưu 3 pha hình tia

Giá trị trung bình của điện áp chỉnh lưu là :

$$U_d = \frac{m}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha + \frac{2\pi}{m}} U_{2m} \sin\theta d\theta = \frac{m}{\pi} \sin\frac{\pi}{m} U_{2m} \cos\alpha = U_{d_0} \cos\alpha \quad (2-41)$$

Với $U_{d_0} = \frac{m}{\pi} \sin\frac{\pi}{m} U_{2m}$;

$$\theta = \omega t$$

$$\alpha = \alpha_0 - \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m} \right)$$

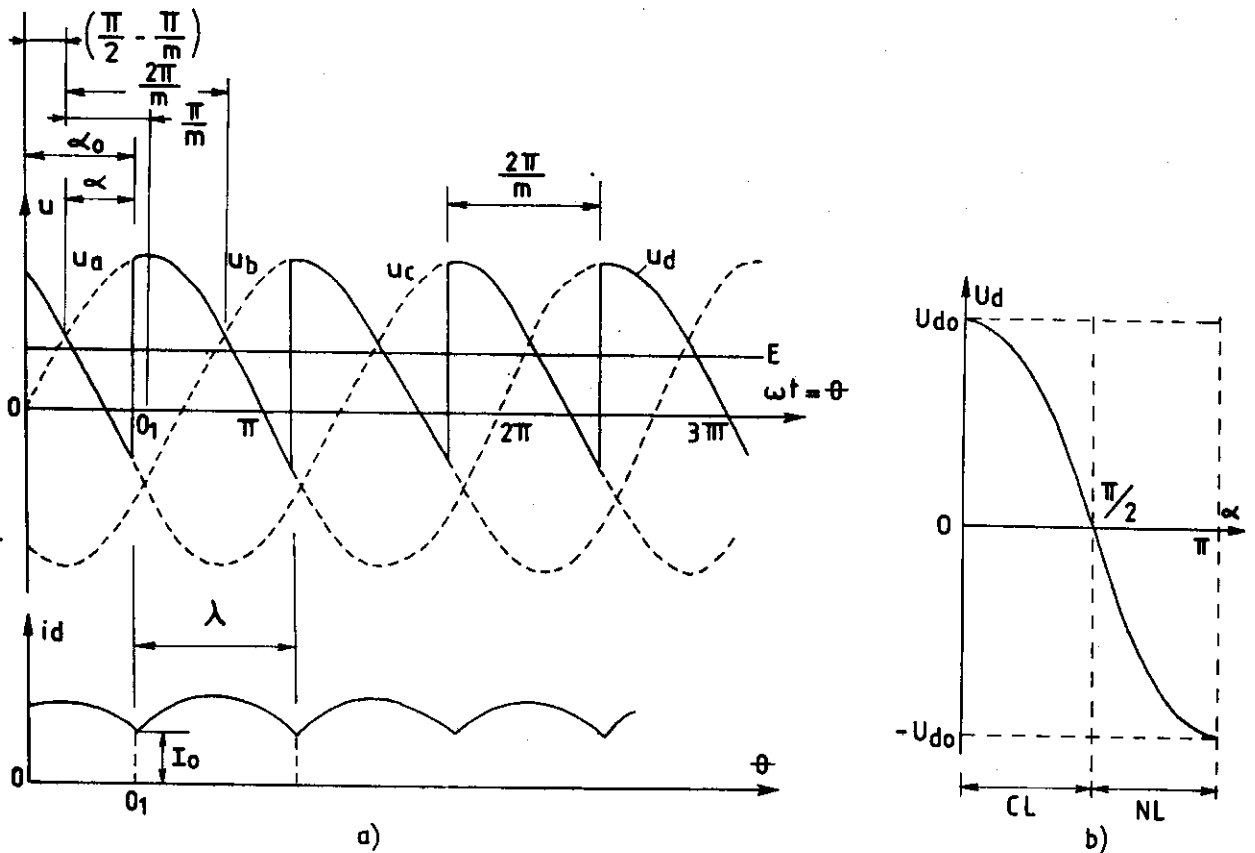
trong đó :

ω : là tần số góc của điện áp xoay chiều

α_0 : là góc điều khiển mở các tiristor, được tính từ thời điểm các sức điện động xoay chiều u_a, u_b, u_c bắt đầu dương

α : là góc điều khiển mở các tiristor được tính từ thời điểm chuyển mạch tự do

m : là số xung áp đập mạch của điện áp chỉnh lưu u_d trong một chu kì của điện áp xoay chiều. Trong trường hợp chỉnh lưu ba pha hình tia $m = 3$.



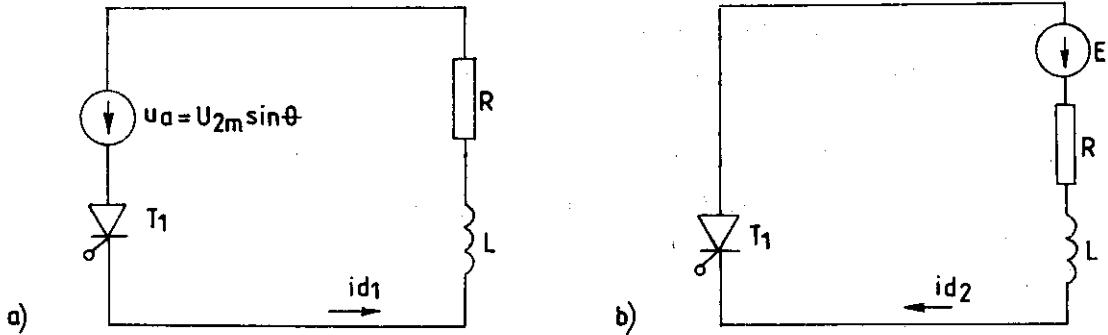
Hình 2.18 : Chỉnh lưu hình tia 3 pha
a) Đồ thị thời gian của u_d, i_d ; b) Đặc tính điều chỉnh

Trên hình 2.18b vẽ đường đặc tính điều chỉnh mô tả quan hệ $U_d = f(\alpha)$ của bộ chỉnh lưu tiristor.

Trong khoảng $0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$, bộ biến đổi làm việc ở chế độ chỉnh lưu (C.L) với $U_d > 0$. Khi $\frac{\pi}{2} < \alpha < \pi$, ta có chế độ nghịch lưu phụ thuộc (N.L) của bộ biến đổi ứng với $U_d < 0$.

Để tìm biểu thức theo thời gian của dòng điện chỉnh lưu i_d trong khoảng dẫn λ của mỗi tiristor ta dựa vào sơ đồ mạch điện hình 2.17b khi tiristor T_1 thuộc pha a mở dẫn điện.

Theo phương pháp xếp chồng mạch điện gồm pha a, T_1 mở dẫn điện và tải được phân tích thành hai mạch điện trên hình 2.19.



Hình 2.19 : Các sơ đồ mạch điện dùng để xác định dòng chỉnh lưu i_d khi T_1 mở theo nguyên tắc xếp chồng

Trên sơ đồ hình 2.19a chỉ có nguồn $u_a = U_{2m} \sin \theta$ tác động để gây ra dòng i_{d1} . Trên sơ đồ hình 2.19b chỉ có nguồn sức điện động E gây ra dòng điện i_{d2}

Các dòng điện i_{d1} và i_{d2} kết hợp lại với nhau thành dòng điện chỉnh lưu i_d qua tải khi tiristor T_1 mở.

Các mạch điện hình 2.19 tương ứng với các phương trình vi phân (Khi lấy O_1 là gốc thời gian ứng với thời điểm T_1 bắt đầu mở trên hình 2.18a) :

$$U_{2m} \sin(\theta' + \alpha_o) = R.i_{d1} + \frac{L di_{d1}}{dt}$$

$$E = R.i_{d2} + \frac{L di_{d2}}{dt}$$

Nghiệm của hai phương trình này là :

$$i_{d1} = \frac{U_{2m}}{z} \sin(\theta' + \alpha_o - \varphi) + A.e^{-\frac{R}{X_L} \theta'}$$

$$i_{d2} = \frac{E}{R} + B.e^{-\frac{R}{X_L} \theta'}$$

Theo nguyên tắc xếp chồng dòng điện chỉnh lưu i_d khi có đồng thời cả hai nguồn $U_{2m} \sin(\theta' + \alpha_o)$ và E tác động là :

$$i_d = i_{d1} - i_{d2} = \frac{U_{2m}}{z} \sin(\theta' + \alpha_o - \varphi) - \frac{E}{R} + (A - B) e^{-\frac{R}{X_L} \theta'}$$

trong đó : $z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$; $X_L = \omega.L$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_L}{R} ;$$

$(A - B) = C$ là hằng số tích phân xác định theo điều kiện ban đầu.

Thay sơ kiện ban đầu $\theta' = 0$, $i_d = I_o$ vào biểu thức của dòng điện i_d ta được :

$$I_o = \frac{U_{2m}}{z} \sin(\alpha_o - \varphi) - \frac{E}{R} + (A - B)$$

từ đó
$$(A - B) = C = I_o - \frac{U_{2m}}{z} \sin(\alpha_o - \varphi) + \frac{E}{R}$$

và cuối cùng ta có biểu thức của dòng điện chỉnh lưu :

$$i_d = \frac{1}{R} \left\{ [RI_o + E - U_{2m} \cos \varphi \sin(\alpha_o - \varphi)] e^{-\frac{R}{X_L} \theta'} - [E - U_{2m} \cos \varphi \sin(\theta' + \alpha_o - \varphi)] \right\}$$

thay $\theta' = (\theta - \alpha_o)$ vào biểu thức của i_d ta nhận được nghiệm i_d viết theo gốc thời gian 0 là :

$$i_d = \frac{1}{R} \left\{ [RI_o + E - U_{2m} \cos \varphi \sin(\alpha_o - \varphi)] e^{-(\theta - \alpha_o) \cot \varphi} - [E - U_{2m} \cos \varphi \sin(\theta - \varphi)] \right\} \quad (2-42)$$

Thành phần sinh ra mômen quay của động cơ điện là thành phần một chiều của dòng điện chỉnh lưu được xác định theo biểu thức :

$$I = \frac{m}{2\pi} \int_0^\lambda i_d \cdot d\theta = \frac{m}{2\pi R} \left[U_{2m} \sin \frac{\lambda}{2} \cdot \sin \left(\alpha_o + \frac{\lambda}{2} \right) - \frac{\lambda}{2} E \right] \quad (2-43)$$

với λ là góc dẫn của van.

Nếu đặt $\varepsilon = \frac{E}{U_{2m}}$; $I_m = \frac{U_{2m}}{R}$ ta có thể xây dựng được quan hệ $\varepsilon = f \left(\frac{I}{I_{dm}} \right)$ của hệ

chỉnh lưu hình tia ba pha khi phụ tải là một động cơ một chiều xác định, ứng với các giá trị khác nhau của góc mở α của các tiristor. Vì sức điện động E của động cơ tỉ lệ với tốc độ góc ω nên có thể xem quan hệ đó cũng là đặc tính tốc độ của động cơ.

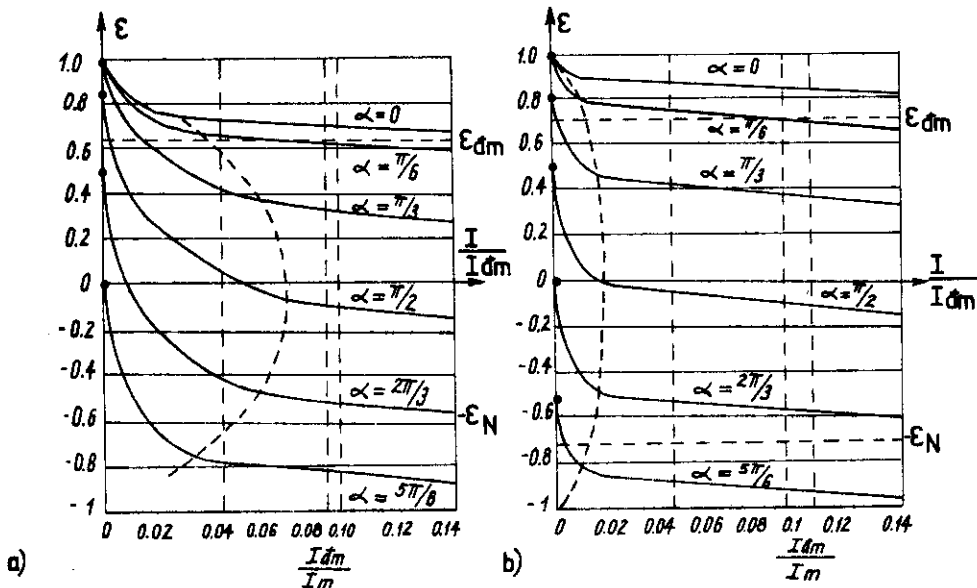
Trên hình 2.20a vẽ họ các đường đặc tính tốc độ của một động cơ điện một chiều ($P_{dm} = 14,5KW$; $U_{dm} = 220V$; $I_{dm} = 79A$; $\omega_{dm} = 112S^{-1}$; $R = 0,37\Omega$; $L = 4,9mH$; $\eta = 0,833$) được cung cấp từ bộ chỉnh lưu ba pha hình tia.

Ở chế độ dòng điện liên tục góc dẫn của mỗi tiristor là $\lambda = \frac{2\pi}{m}$.

Còn trị số nhỏ nhất của I_o của dòng i_d có thể xác định theo điều kiện $i_d = I_o$ khi $\theta' = 0$ và khi $\theta' = \lambda$ theo phương trình đã nhận được :

$$i_d = \frac{U_{2m}}{z} \sin(\theta' + \alpha_o - \varphi) - \frac{E}{R} + (A - B) e^{-\frac{R}{X_L} \theta'}$$

Thực vậy lần lượt thay $\theta' = 0$ và $\theta' = \lambda$ ta có :



Hình 2.20 : Đặc tính tốc độ $\varepsilon = f\left(\frac{I}{I_{dm}}\right)$
 của động cơ được cung cấp từ chỉnh lưu điều khiển.
 a) Ba pha hình tia ; b) Ba pha cầu

$$I_o = \frac{U_{2m}}{z} \sin(\alpha_o - \varphi) - \frac{E}{R} + (A - B) = \frac{U_{2m}}{z} \sin(\lambda + \alpha_o - \varphi) - \frac{E}{R} + (A - B) e^{-\lambda/\tau \cos \varphi}$$

suy ra :

$$(A - B) = \frac{U_{2m}}{2} \left[\frac{\sin(\lambda + \alpha_o - \varphi) - \sin(\alpha_o - \varphi)}{1 - e^{-\lambda/\tau \cos \varphi}} \right]$$

và
$$I_o = \frac{U_{2m}}{z} \sin(\alpha_o - \varphi) - \frac{E}{R} + \frac{U_{2m}}{z} \left[\frac{\sin(\lambda + \alpha_o - \varphi) - \sin(\alpha_o - \varphi)}{1 - e^{-\lambda/\tau \cos \varphi}} \right]$$

b. Chế độ dòng điện gián đoạn

Ở chế độ dòng điện gián đoạn góc dẫn λ của tiristor trở nên nhỏ hơn $\frac{2\pi}{m}$, dòng điện qua van trở về không trước thời điểm van kế tiếp bắt đầu mở.

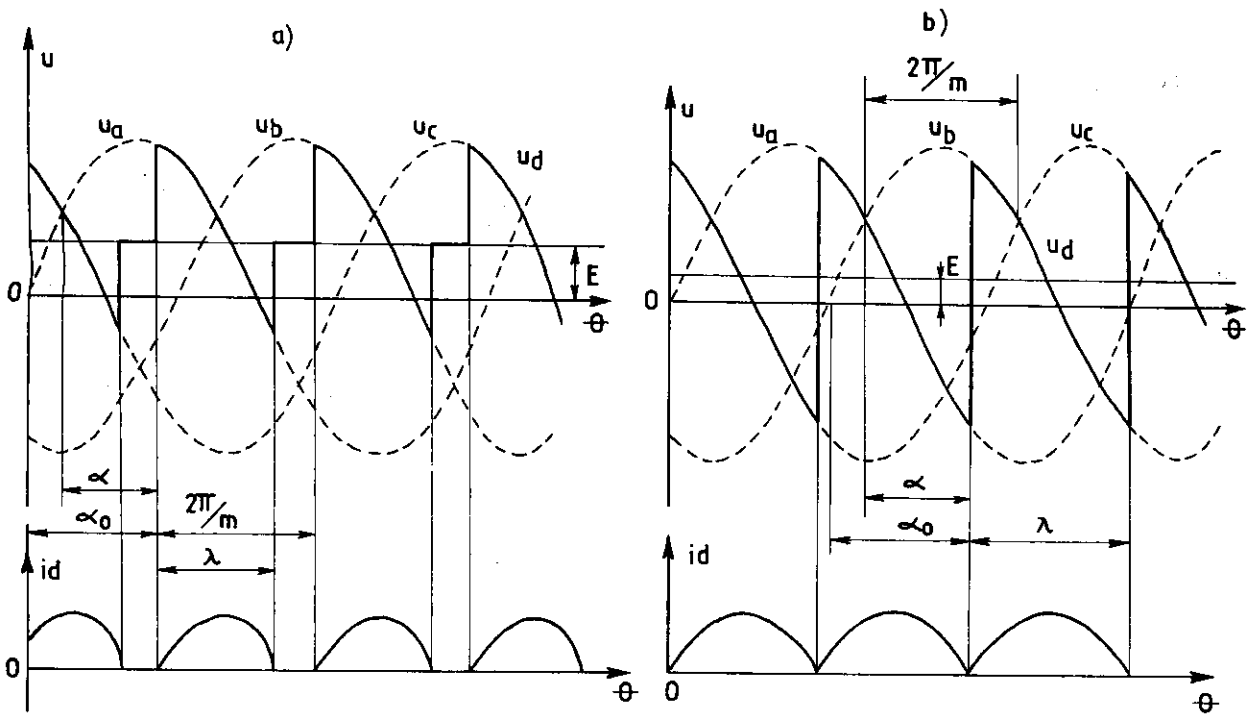
Trên hình 2.21a vẽ đồ thị thời gian của điện áp và dòng điện chỉnh lưu ở chế độ dòng điện gián đoạn.

Khi van mở : $\alpha_o \leq \theta \leq \alpha_o + \lambda$ ta có $u_d = u_a$

0 = Khi van khóa $\alpha_o + \lambda < \theta \leq \alpha_o + \frac{2\pi}{m}$ thì $u_d = E$. Thay $I_o = 0$ vào (2-42) ta được biểu thức của dòng chỉnh lưu trong khoảng dẫn λ của tiristor :

$$i_d = I_m \left\{ [\varepsilon - \cos \varphi \sin(\alpha_o - \varphi)] e^{-(\theta - \alpha_o) \cot \varphi} - [\varepsilon - \cos \varphi \sin(\theta - \varphi)] \right\} \quad (2-44)$$

Trong đó : $\varepsilon = \frac{E}{U_{2m}}, I_m = \frac{U_{2m}}{R}$



Hình 2.21 : Chế độ dòng điện gián đoạn và biên liên tục

Trong trường hợp bỏ qua điện trở R trong mạch phản ứng thì khi tiristor T_1 mở ta có phương trình mô tả mạch điện hình 2.17b là :

$$u_a = U_{2m} \sin \theta = E + \frac{L di_d}{dt}$$

Sau khi tích phân hai vế của phương trình lên ta có nghiệm tổng quát

$$i_d = \frac{U_{2m}}{X_L} (-\cos \theta) - \frac{E}{X_L} \cdot \theta + C$$

Trong đó : $X_L = \omega L$, C là hằng số tích phân.

Tại thời điểm $\theta = \alpha_0$ thì $i_d = 0$ nên nghiệm riêng của phương trình là :

$$i_d = \frac{U_{2m}}{X_L} (\cos \alpha_0 - \cos \theta) + \frac{E}{X_L} \cdot (\alpha_0 - \theta) \quad (2-45)$$

Tại thời điểm $u_a = E$ ta có $\frac{di_d}{dt} = u_a - E = 0$ nên i_d đạt cực đại. Đặt

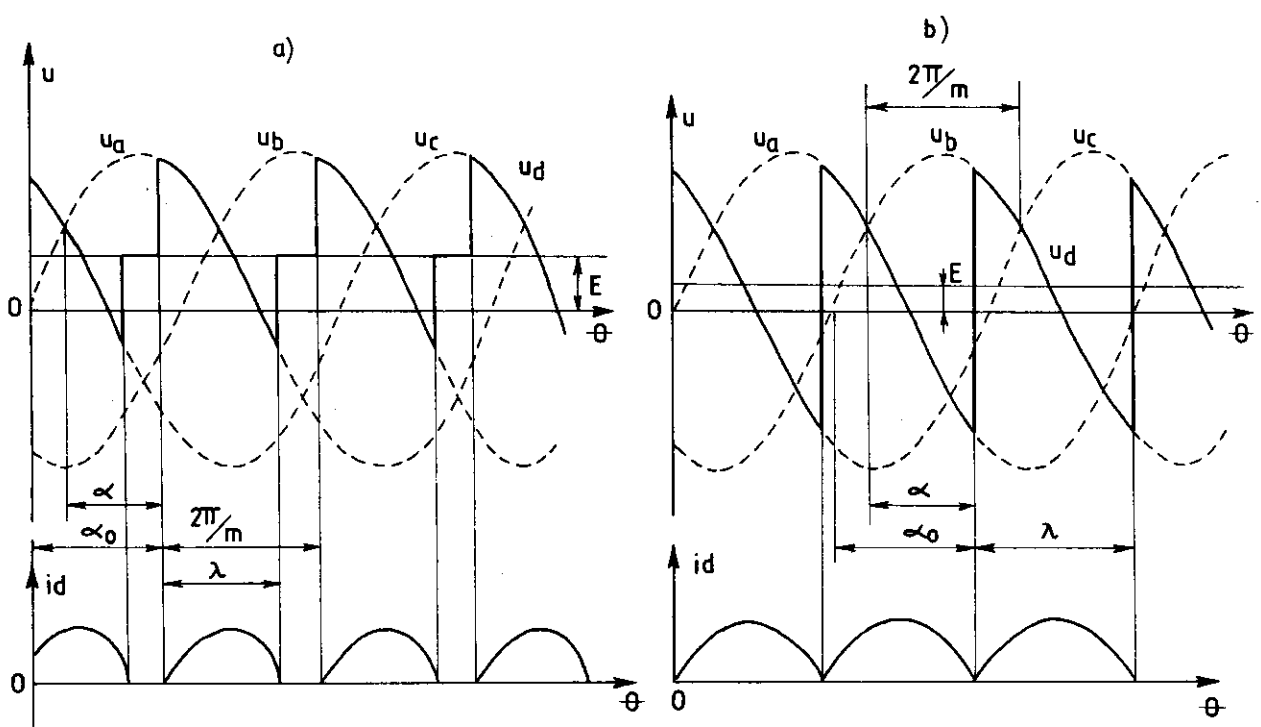
$\varepsilon = E/U_{2m}$; $I'_m = \frac{U_{2m}}{X_L}$; và $i_d^* = \frac{i_d}{I'_m}$ có thể viết (2-45) trong hệ đơn vị tương đối :

$$i_d^* = (\cos \alpha_0 - \cos \theta) + \varepsilon (\alpha_0 - \theta) \quad (2-46)$$

Tại $\theta = \alpha_0 + \lambda$, $i_d^* = 0$ nên : $0 = \cos \alpha_0 - \cos (\alpha_0 + \lambda) - \varepsilon \lambda$

$$\text{Suy ra : } \varepsilon = \frac{\cos \alpha_0 - \cos (\alpha_0 + \lambda)}{\lambda} \quad (2-47)$$

(2-47) cho biết quan hệ hàm ẩn giữa ba đại lượng α_0 , ε và λ .



Hình 2.21 : Chế độ dòng điện gián đoạn và biên liên tục

Trong trường hợp bỏ qua điện trở R trong mạch phản ứng thì khi tiristor T_1 mở ta có phương trình mô tả mạch điện hình 2.17b là :

$$u_a = U_{2m} \sin \theta = E + \frac{L di_d}{dt}$$

Sau khi tích phân hai vế của phương trình lên ta có nghiệm tổng quát

$$i_d = \frac{U_{2m}}{X_L} (-\cos \theta) - \frac{E}{X_L} \cdot \theta + C$$

Trong đó : $X_L = \omega L$, C là hằng số tích phân.

Tại thời điểm $\theta = \alpha_0$ thì $i_d = 0$ nên nghiệm riêng của phương trình là :

$$i_d = \frac{U_{2m}}{X_L} (\cos \alpha_0 - \cos \theta) + \frac{E}{X_L} \cdot (\alpha_0 - \theta) \quad (2-45)$$

Tại thời điểm $u_a = E$ ta có $\frac{di_d}{dt} = u_a - E = 0$ nên i_d đạt cực đại. Đặt

$\varepsilon = E/U_{2m}$; $I'_m = \frac{U_{2m}}{X_L}$; và $i_d^* = \frac{i_d}{I'_m}$ có thể viết (2-45) trong hệ đơn vị tương đối :

$$i_d^* = (\cos \alpha_0 - \cos \theta) + \varepsilon (\alpha_0 - \theta) \quad (2-46)$$

Tại $\theta = \alpha_0 + \lambda$, $i_d^* = 0$ nên : $0 = \cos \alpha_0 - \cos (\alpha_0 + \lambda) - \varepsilon \lambda$

$$\text{Suy ra : } \varepsilon = \frac{\cos \alpha_0 - \cos (\alpha_0 + \lambda)}{\lambda} \quad (2-47)$$

(2-47) cho biết quan hệ hàm ẩn giữa ba đại lượng α_0 , ε và λ .

Trị số trung bình của dòng điện ở chế độ gián đoạn trong hệ đơn vị tương đối :

$$I_d^* = \frac{m}{2\pi} \int_{\alpha_0}^{\alpha_0 + \lambda} i_d d\theta = \frac{m}{2\pi} \left\{ \frac{\lambda}{2} [\cos\alpha_0 + \cos(\alpha_0 + \lambda)] + \sin\alpha_0 - \sin(\alpha_0 + \lambda) \right\} \quad (2-48)$$

Khi giữ cho góc điều khiển $\alpha_0 = \text{const}$ và tăng dần sức điện động E thì góc dẫn λ giảm dần, khi E đạt giá trị $E = U_{2m} \sin\alpha_0$ thì theo phương trình của mạch điện :

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

góc dẫn $\lambda = 0$, dòng chỉnh lưu $i_d = 0$.

Nếu giảm dần E góc dẫn λ tăng dần và khi $\lambda = \frac{2\pi}{m}$ dòng điện i_d bắt đầu trở nên liên tục với các giá trị tương ứng của ε và I_d^* là $\varepsilon_{b.l.t}$ và $I_{b.l.t}^*$. Các giá trị này đặc trưng cho chế độ biên liên tục và được xác định bằng cách thay $\lambda = \frac{2\pi}{m}$ vào (2-47) và (2-48) :

$$\varepsilon_{b.l.t} = \frac{\cos\alpha_0 - \cos\left(\alpha_0 + \frac{2\pi}{m}\right)}{2\pi/m} \quad (2-49)$$

$$I_{b.l.t}^* = \frac{m}{2\pi} \left\{ \frac{\pi}{m} \left[\cos\alpha_0 + \cos\left(\alpha_0 + \frac{2\pi}{m}\right) \right] - \sin\left(\alpha_0 + \frac{2\pi}{m}\right) \sin\alpha_0 \right\} \quad (2-50)$$

Vì $\alpha_0 = \alpha + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m}$ nên

$$\varepsilon_{b.l.t} = \frac{m}{\pi} \sin\frac{\pi}{m} \cos\alpha \quad (2-51)$$

$$I_{b.l.t}^* = \left(\frac{m}{\pi} \sin\frac{\pi}{m} - \cos\frac{\pi}{m} \right) \sin\alpha \quad (2-52)$$

$$\text{hoặc } I_{b.l.t} = \frac{U_{2m}}{X_L} \left(\frac{m}{\pi} \sin\frac{\pi}{m} - \cos\frac{\pi}{m} \right) \sin\alpha \quad (2-53)$$

Phương trình của đường biên liên tục phân chia 2 miền dòng điện gián đoạn và liên tục trên các mặt phẳng (ε, I^*) hình 2.20 và (ω, M) hình 2.26 được xác định bằng cách tính $\cos\alpha$ và $\sin\alpha$ từ (2-51), (2-52) rồi lập biểu thức $1 = \cos^2\alpha + \sin^2\alpha$:

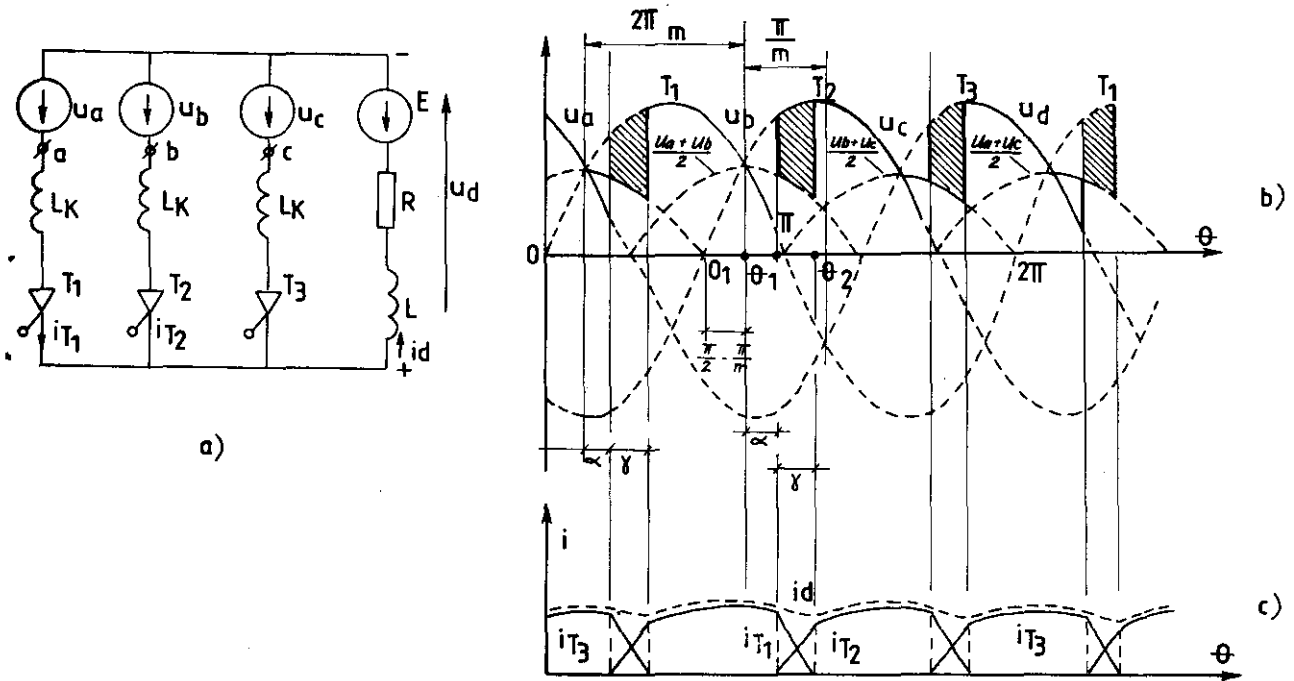
$$\left(\frac{\varepsilon_{b.l.t}}{\frac{m}{\pi} \sin\frac{\pi}{m}} \right)^2 + \left(\frac{I_{b.l.t}}{\frac{m}{\pi} \sin\frac{\pi}{m} - \cos\frac{\pi}{m}} \right)^2 = 1 \quad (2-54)$$

Đường biên liên tục là đường elíp biểu diễn bằng nét đứt trên các hình 2.20 và hình 2.26.

Thay $\varepsilon_{b.l.t} = \frac{E}{U_{2m}}$ và $I_{b.l.t}^* = \frac{I_{blt}}{U_{2m}} \cdot X_L$ vào (2-54) có thể thấy rõ nếu tăng điện cảm

L hoặc số xung áp đập mạch m bằng cách tăng số pha chỉnh lưu có thể giảm độ rộng vùng dòng điện gián đoạn.

2.4.2. Hiện tượng trùng dẫn : Còn được gọi là hiện tượng chuyển mạch



Hình 2.22 : Hiện tượng chuyển mạch giữa các tiristor :
 T_3 với T_1 , T_1 với T_2 và T_2 với T_3

Ở trên ta xem như khi một van khóa lại thì van tiếp theo mở ra tức thời. Điều này không thể có trong thực tế vì mạch chỉnh lưu luôn luôn có điện cảm L_K của cuộn dây thứ cấp máy biến áp hoặc của nguồn điện... Điện cảm này ngăn cản dòng điện của các van biến thiên đột ngột. Vì vậy trong các bộ biến đổi có từ 2 van trở lên thường xuất hiện những khoảng thời gian một số van cùng mở cho dòng điện chạy qua gọi là khoảng trùng dẫn kí hiệu bởi góc trùng dẫn γ (hay còn gọi là góc chuyển mạch). Ta xét hiện tượng chuyển mạch trong bộ biến đổi ba pha hình tia.

Trên hình 2.22b và c vẽ đồ thị điện áp chỉnh lưu u_d và dòng điện qua các van i_{T1}, i_{T2}, i_{T3} khi có sự chuyển mạch của dòng điện từ van T_3 sang van T_1 , từ T_1 sang T_2 và T_2 sang T_3 .

Giả sử van T_1 đang mở dẫn điện ta có $i_{T1} = i_d$, tại thời điểm θ_1 xuất hiện xung để mở van T_2 . Van T_1 từ từ khóa lại nên dòng i_{T1} giảm dần từ trị số $i_{T1} = i_d$ đến trị số $i_{T1} = 0$ tại thời điểm θ_2 . Còn van T_2 mở ra dần nên dòng i_{T2} tăng dần từ $i_{T2} = 0$ đến trị số $i_{T2} = i_d$ tại thời điểm θ_2 . Trong khoảng trùng dẫn $\gamma = \theta_2 - \theta_1$ cả hai van T_1, T_2 đều mở nên từ sơ đồ hình 2.22a ta có phương trình cân bằng điện áp cho các pha a và pha b lúc chuyển mạch là :

$$u_a - Lk \frac{di_{T1}}{dt} = u_d$$

$$u_b - Lk \frac{di_{T2}}{dt} = u_d$$

Vì $i_d = i_{T1} + i_{T2}$ và nếu xem như $\frac{di_{T1}}{dt} = -\frac{di_{T2}}{dt}$ thì trong giai đoạn $(\theta_1 - \theta_2)$

$$u_d = \frac{u_a + u_b}{2}$$

và
$$\frac{di_{T2}}{dt} = \frac{u_b - u_a}{2L_k}$$

Nếu chọn gốc thời gian là tại điểm O_1 trên đồ thị hình 2.22b thì

$$u_b = U_{2m} \sin\left(\theta + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m}\right)$$

$$u_a = U_{2m} \sin\left(\theta + \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{m}\right)$$

Do đó :

$$\frac{di_{T2}}{dt} = \frac{U_{2m}}{L_k} \sin \frac{\pi}{m} \cdot \sin \theta \quad (2-55)$$

Thời điểm bắt đầu xảy ra chuyển mạch là tại $\theta = \alpha$; Sau khi tích phân hai vế của phương trình ta được biểu thức của dòng điện qua van T_2

$$i_{T2} = \frac{U_{2m}}{\omega \cdot L_k} \sin \frac{\pi}{m} (\cos \alpha - \cos \theta) \quad (2-56)$$

Quá trình chuyển mạch kết thúc tại $\theta_2 = \alpha + \gamma$ khi $i_{T1} = 0$ và $i_{T2} = i_d$.

Để xác định góc chuyển mạch γ ta thay vào (2-56) các giá trị :

$$\theta = \theta_2 = \alpha + \gamma ; \quad i_{T2}(\theta_2) = I_d.$$

Kết quả tính được :

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

Với
$$I_{mk} = \frac{U_{2m}}{\omega \cdot L_k} \sin \frac{\pi}{m}$$

Do có hiện tượng chuyển mạch nên giá trị trung bình của điện áp chỉnh lưu bị giảm một lượng là :

$$\Delta U_\gamma = \frac{m}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\gamma} \left(u_b - \frac{u_a + u_b}{2} \right) d\theta = \frac{m}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\gamma} \frac{(u_b - u_a)}{2} d\theta$$

Thay
$$u_b = U_{2m} \sin\left(\theta + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m}\right)$$

$$u_a = U_{2m} \sin\left(\theta + \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{m}\right)$$

vào biểu thức tính ΔU_γ ta có :

$$\Delta U_\gamma = \frac{m}{2\pi} \cdot U_{2m} \cdot \sin\frac{\pi}{m} [\cos\alpha - \cos(\alpha + \gamma)] \quad (2-57)$$

Từ (2-56) khi $\theta = \alpha + \gamma$ ta có :

$$i_{T_2} = I_d = \frac{U_{2m}}{\omega \cdot L_k} \sin\frac{\pi}{m} [\cos\alpha - \cos(\alpha + \gamma)] \quad (2-58)$$

Kết hợp (2-57) và (2-58) ta có thể tính sụt áp do chuyển mạch theo biểu thức khác sau đây :

$$\Delta U_\gamma = \frac{m \cdot \omega \cdot L_k}{2\pi} \cdot I_d = X_k \cdot I_d \quad (2-59)$$

2.4.3. Chế độ nghịch lưu phụ thuộc

Khi tăng góc mở α của tiristor đến giá trị gần bằng π , và đảo chiều của sức điện động E của động cơ bằng cách đảo chiều dòng điện kích từ của nó thì do $\alpha > \frac{\pi}{2}$ nên điện áp chỉnh lưu U_d đảo chiều còn dòng điện chỉnh lưu i_d vẫn giữ nguyên chiều cũ. Công suất điện từ của động cơ và của bộ biến đổi là :

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

$$P_d = U_d \cdot I_d < 0$$

Bộ biến đổi chuyển sang làm việc ở chế độ nghịch lưu phụ thuộc, nhận điện năng do động cơ phát ra, biến điện năng của dòng điện một chiều thành điện năng dòng điện xoay chiều trả về cho lưới điện. Động cơ điện lúc này làm việc ở chế độ hãm tái sinh, có mômen ngược chiều với tốc độ và trở thành máy phát điện một chiều có i_d cùng chiều với E. Ở chế độ nghịch lưu phụ thuộc của bộ biến đổi cũng xảy ra hiện tượng trùng dẫn và dòng điện gián đoạn. Trên hình 2.23 trình bày sơ đồ bộ biến đổi ở chế độ nghịch lưu cùng với đồ thị điện áp chỉnh lưu u_d và dòng điện i_d , i_{T_1} , i_{T_2} , i_{T_3} có tính đến hiện tượng chuyển mạch.

Xét quá trình chuyển mạch của dòng điện từ van T_3 sang van T_1 , ta có nhận xét rằng giai đoạn chuyển mạch phải hoàn thành trước thời điểm chuyển mạch tự nhiên ứng với điểm A trên đồ thị hình 2.23b, là thời điểm u_c bắt đầu dương hơn u_a . Nếu kết thúc sau thời điểm này van T_3 không thể khóa lại mà tiếp tục mở dẫn điện. Gọi δ là khoảng thời gian từ lúc kết thúc chuyển mạch đến thời điểm chuyển mạch tự nhiên và đặt tên là góc khóa. Như vậy điều kiện an toàn để bộ biến đổi có thể làm việc ở chế độ nghịch lưu phụ thuộc là :

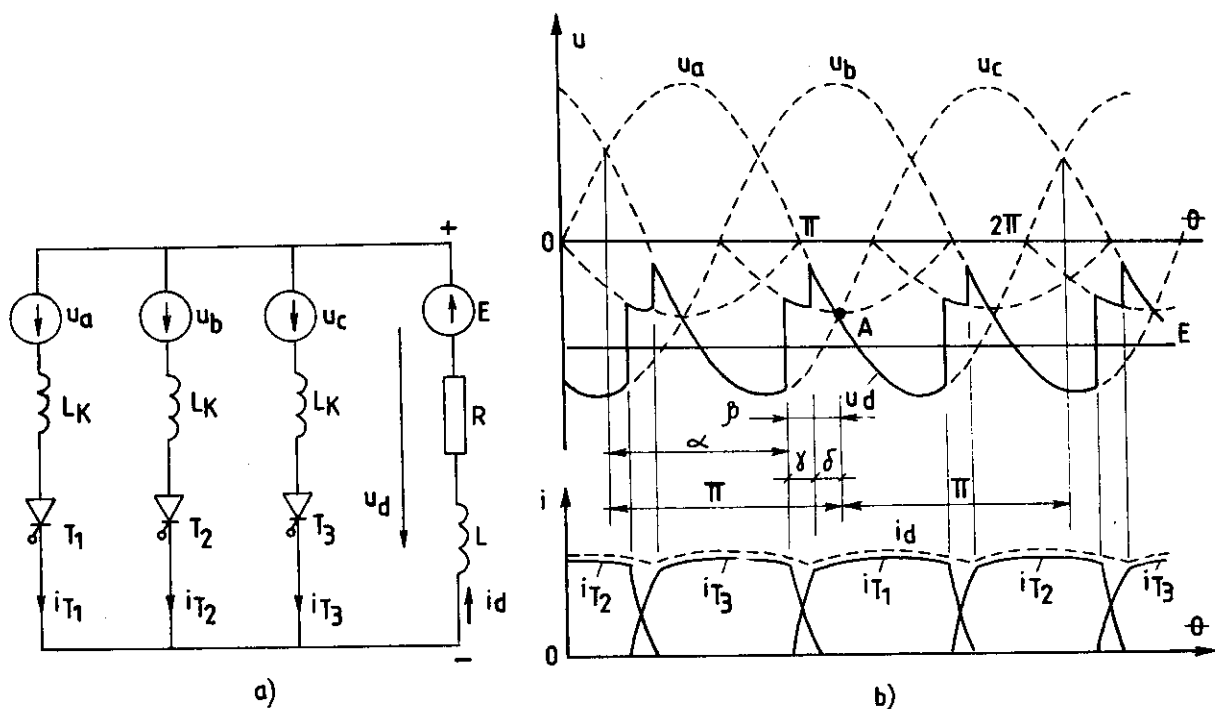
$$\alpha < \alpha_{\max} = \pi - (\gamma_{\max} + \delta) \quad (2-60)$$

Đối với chế độ nghịch lưu phụ thuộc thường hay sử dụng khái niệm góc thông sớm β thay cho góc mở α :

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

Khi đó điều kiện an toàn (2-60) trở thành :

$$\beta > \beta_{\min} = \gamma_{\max} + \delta \quad (2-61)$$



Hình 2.23 : Chế độ nghịch lưu phụ thuộc trong bộ biến đổi ba pha hình tia

Nếu điều kiện này không được thực hiện nghịch lưu sẽ rơi vào tình trạng sự cố, van cần được khóa sẽ vẫn tiếp tục mở dẫn điện, không thực hiện được chuyển mạch dòng điện giữa các van, dòng điện i_d và điện áp u_d sẽ mất ổn định và không kiểm soát được áp và dòng nghịch lưu.

Trên hình 2.24 trình bày trường hợp sự cố khi chuyển mạch dòng điện từ van T_3 sang van T_1 ; do $\beta < \beta_{\min}$ nên van cần được khóa lại là T_3 không khóa để chuyển dòng cho van T_1 mà tiếp tục mở dẫn điện khiến cho u_d tăng mất ổn định do đó i_d tăng nhanh.

2.4.4. Đặc tính cơ của hệ thống truyền động chỉnh lưu điều khiển - động cơ một chiều

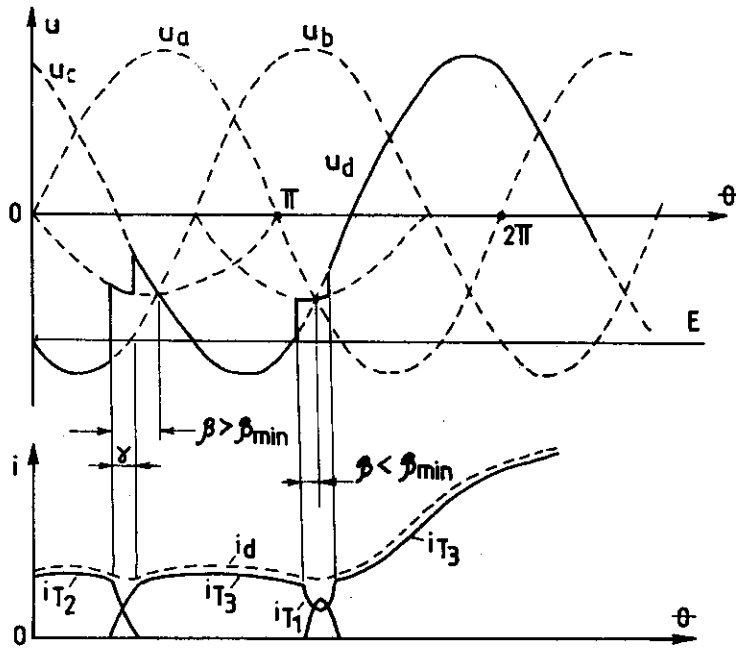
a. Chế độ dòng điện liên tục

Phương trình đường đặc tính tốc độ $\omega = f(I)$ và đường đặc tính cơ $\omega = f(M)$ của hệ truyền động chỉnh lưu điều khiển - động cơ điện một chiều được thiết lập dựa vào sơ đồ thay thế của hệ truyền động vẽ trên hình 2.25, trong đó :

U_d là trị số trung bình của điện áp chỉnh lưu

E là sức điện động của động cơ $E = C \cdot \phi_{dm} \cdot \omega$

I là dòng điện mạch phản ứng của động cơ điện



Hình 2.24 : Trạng thái sự cố lật
nghịch lưu khi $\beta < \beta_{\min}$

R là điện trở mạch phản ứng của động cơ điện

X_k là điện trở phản kháng gây ra sụt áp
do hiện tượng chuyển mạch giữa các van :

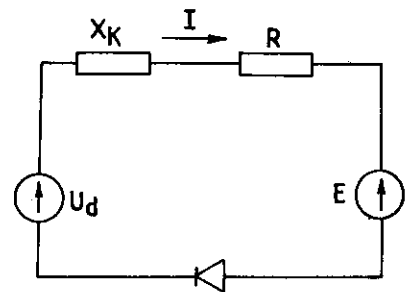
$$\Delta U_\gamma = I X_k$$

Từ sơ đồ thay thế này có thể viết được các phương
trình đặc tính tốc độ và đặc tính cơ sau :

$$\omega = \frac{U_d}{C \cdot \phi_{dm}} - \frac{(R + X_k)}{C \cdot \phi_{dm}} I = \frac{U_{do} \cos \alpha}{C \cdot \phi_{dm}} - \frac{(R + X_k)}{C \cdot \phi_{dm}} I$$

$$\omega = \frac{U_{do} \cos \alpha}{C \cdot \phi_{dm}} - \frac{(R + X_k)}{(C \cdot \phi_{dm})^2} \cdot M$$

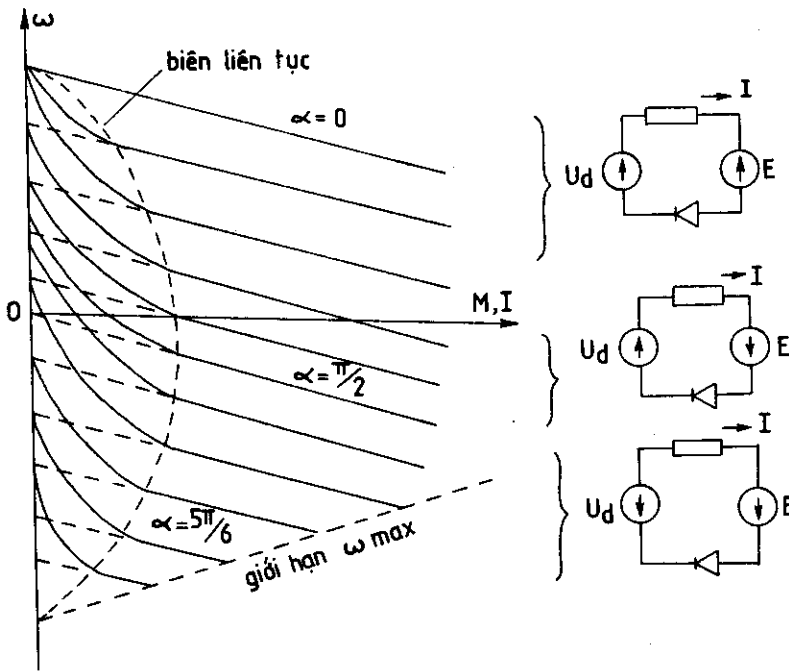
Khi thay đổi góc điều khiển α từ $0 \div \pi$, điện áp
chỉnh lưu U_d biến thiên từ U_{do} đến $-U_{do}$ ta được một
họ đặc tính ở chế độ dòng điện liên tục là những đoạn
đường thẳng song song nằm ở bên phải của mặt phẳng
tọa độ (ω, I) hay (ω, M) hình 2.26 do dòng I chỉ có
thể có một chiều cố định. Các đường đặc tính này nếu
kéo dài sẽ cắt trục tốc độ ω tại điểm có tung độ $\omega_o =$
 $\frac{U_{do} \cos \alpha}{C \cdot \phi_{dm}}$. Các đường đặc tính cơ có độ cứng $\beta =$



Hình 2.25 : Sơ đồ thay thế
của chỉnh lưu điều khiển
- động cơ điện một chiều

$\left(\frac{C \cdot \phi_{dm}}{R + X_k}\right)^2$, như vậy chúng mềm hơn các đặc tính của hệ F - Đ bởi thành phần điện trở phản kháng X_k tạo nên sụt áp ΔU_γ do hiện tượng chuyển mạch gây ra.

Đối với những góc điều khiển $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}$ thì $U_d > 0$, bộ biến đổi làm việc ở chế độ chỉnh lưu còn động cơ điện làm việc ở chế độ động cơ chừng nào $E > 0$, và khi E đảo chiều thì động cơ làm việc ở chế độ hãm ngược.



Hình 2.26 : Đặc tính cơ $\omega = f(M)$
và đặc tính tốc độ $\omega = f(I)$ của hệ CLDK - Đ

Với những giá trị của góc điều khiển $\frac{\pi}{2} \leq \alpha < \alpha_{max}$ trong trường hợp tải có tính chất thế năng muốn động cơ quay ngược lại phải đảo chiều E ; Vì U_d cũng đảo chiều nên nếu $|E| > |U_d|$ thì I vẫn duy trì chiều cũ, động cơ làm việc ở chế độ hãm tái sinh, bộ biến đổi làm việc ở chế độ nghịch lưu phụ thuộc biến năng lượng dòng điện một chiều thành điện năng xoay chiều cùng tần số với lưới điện và trả lại cho lưới điện. Lúc này dòng điện của mạch phản ứng là :

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

Còn phương trình đặc tính tốc độ viết trong hệ tọa độ (ω, M) với chiều dương của trục độ ω ngược lại so với trước đây là :

$$\omega = \frac{U_{d0} \cos \beta}{C \cdot \phi_{dm}} + \frac{R + X_k}{C \cdot \phi_{dm}} \cdot I$$

Như đã xác định trong phần chuyển mạch dòng điện giữa các van :

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

Mặt khác quan hệ giữa γ , α và δ là :

$$\gamma + \alpha = \pi - \delta$$

Kết hợp hai biểu thức trên ta có :

$$\cos(\gamma + \alpha) = -\cos \delta = \cos \alpha - \frac{I}{I_{km}}$$

Vì $\beta = \pi - \alpha$ nên suy ra :

$$\cos \beta_{\min} = -\cos \alpha_{\max} = \cos \delta - \frac{I}{I_{km}}$$

Dem kết quả này thay vào biểu thức của đường đặc tính tốc độ và đơn giản kết quả đó dựa vào các quan hệ sau :

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

$$I_{km} = U_{2m} \sin \frac{\pi}{m} \cdot \frac{1}{\omega L_k}$$

$$X_k = \frac{m \cdot \omega \cdot L_k}{2\pi}$$

ta nhận được biểu thức của tốc độ tối đa cho phép $\omega_{\max}$ khi hệ CLĐK-D làm việc ở chế độ nghịch lưu phụ thuộc :

$$\omega_{\max} = \frac{U_{do} \cos \delta}{C \cdot \phi_{dm}} - \frac{X_k - R}{C \cdot \phi_{dm}} \cdot I$$

Tốc độ này được biểu diễn bởi đường nét đứt dốc nghiêng về phía trục hoành M trên hình 2.26.

Khi dòng điện qua các van tăng theo mômen tải khiến góc chuyển mạch γ tăng lên ; để cho an toàn cần giảm góc mở $\alpha_{\max}$ nghĩa là phải tăng góc thông sớm $\beta_{\min}$, điều đó làm cho $U_d = U_{do} \cos \beta_{\min}$ giảm đi do đó tốc độ cực đại $\omega_{\max}$ giảm theo.

b. Chế độ dòng điện gián đoạn

Phần đặc tính cơ hay đặc tính tốc độ của hệ truyền động chỉnh lưu điều khiển - động cơ một chiều khi làm việc ở chế độ dòng điện gián đoạn được xây dựng dựa vào các biểu thức (2-47) và (2-48) theo cách sau đây :

Cho một giá trị cố định của α ; còn góc λ biến thiên từ 0 đến $\frac{2\pi}{m}$. Với mỗi giá trị của λ , ta xác định được một cặp giá trị (ε, I_d^*) theo (2-47) và (2-48) hay tương ứng là một cặp giá trị (ω, I) . Tập hợp các trị số ω, I sẽ cho đoạn đặc tính tốc độ hay đặc tính cơ ở chế độ dòng điện gián đoạn. Đó là đoạn cong rất dốc sát trục tung trên hình 2.26. Vì đặc tính lúc này rất dốc nên hệ thống không ổn định khi làm việc ở chế độ dòng điện gián đoạn.

Đường biên liên tục phân chia hai miền dòng điện liên tục và dòng điện gián đoạn được xác định bởi phương trình (2-54). Chế độ biên liên tục tương ứng với các góc $\lambda = \frac{2\pi}{m}$ và γ

= 0. Trên hình 2.20b vẽ họ đặc tính của động cơ tương ứng nhưng được cung cấp từ bộ biến đổi cấu ba pha có $m = 6$, và với điện cảm L lớn gấp 5 lần. Đường elip thể hiện chế độ biên liên tục có trục nhỏ bị thu hẹp lại rất nhiều so với đường biên liên tục trên hình 2.20a. Điều đó chứng tỏ rõ việc tăng các thông số m, L có tác dụng thu hẹp vùng dòng điện gián đoạn.

Tuy vậy m lớn thì mạch chỉnh lưu và mạch điều khiển các van phức tạp còn L lớn làm ảnh hưởng không tốt đến quá trình quá độ, làm tăng kích thước và trọng lượng của hệ thống.

2.5. HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG BỘ BẮM XUNG ÁP - ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU

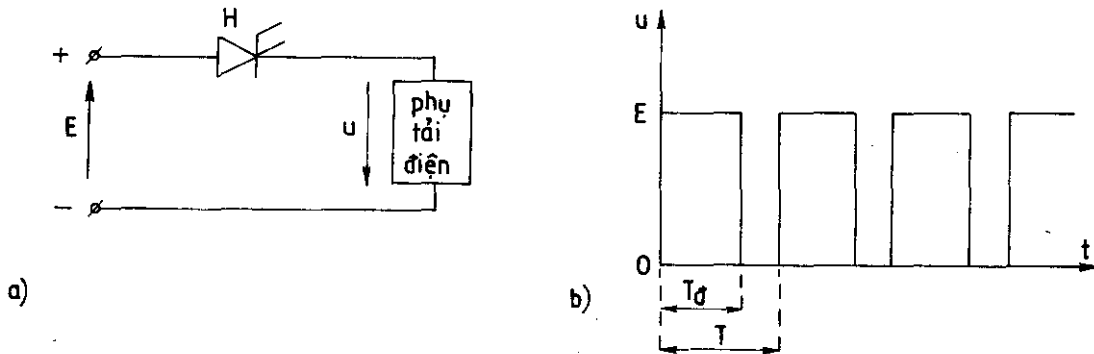
2.5.1. Bộ băm xung áp một chiều

Bộ băm điện dùng để biến đổi điện áp một chiều không đổi E thành các xung áp một chiều có trị số trung bình U_{Tb} có thể điều chỉnh từ trị số không đến trị số lớn nhất bằng điện áp một chiều E cung cấp cho bộ băm. Đây là trường hợp bộ băm làm việc ở chế độ giảm áp.

a. Nguyên tắc làm việc của bộ băm điện ở chế độ giảm áp

Bộ băm điện là một khóa điện H bằng tranzitor hay bằng tiristor được điều khiển đóng mở một cách chu kì. Bộ băm điện H trên hình 2.27a được đặt giữa nguồn điện áp một chiều E và phụ tải điện.

Khi thiết bị băm H đóng thì điện áp trên tải $u = E$. Còn khi H mở thì $u = 0$. Trên hình 2.26b biểu diễn đồ thị điện áp tải u .



Hình 2.27 : Nguyên tắc làm việc của bộ băm điện ở chế độ giảm áp

Trị số trung bình của điện áp một chiều đặt lên phụ tải là :

$$U_{Tb} = \frac{1}{T} \int_0^T u \, dt = \frac{1}{T} \int_0^{T_d} E \, dt = \frac{T_d}{T} E = \alpha E \quad (2-62)$$

Với T_d : là thời gian đóng của khóa H hay độ rộng xung

T : là chu kì băm hay chu kì xung

$\alpha = \frac{T_d}{T}$ là hệ số lấp đầy xung áp còn gọi là tỉ số chu kì ; ta có $\alpha \leq 1$. Bằng cách biến đổi trị số của hệ số α ta nhận được những giá trị khác nhau của điện áp trung bình trên tải U_{tb} .

Có thể làm α biến đổi bằng hai cách :

1. Cố định chu kì xung T , thay đổi thời gian đóng mạch T_d của bộ băm H ; ta có bộ băm tần số cố định.

2. Cố định thời gian đóng mạch T_d , biến đổi chu kì băm T , ta có bộ băm tần số biến thiên.

Nếu $\alpha = 1$, tức $T_d = T$ ta có $U_{tb} = E$; Khi đó bộ băm thường xuyên đóng mạch. Khi $\alpha = 0$, $T_d = 0$, ta có $U_{tb} = 0$, bộ băm thường xuyên ngắt mạch.

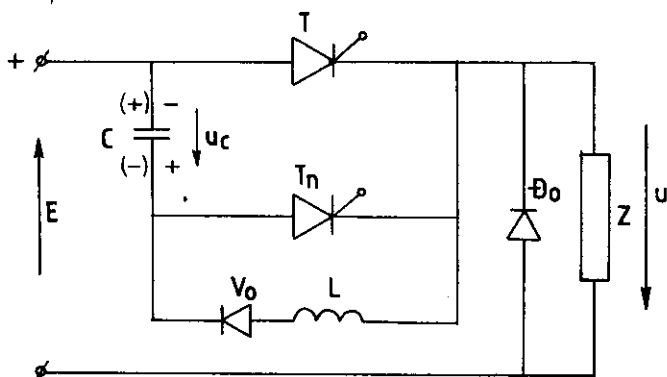
Bộ băm H đóng và ngắt liên tục với tần số cao (cỡ $200 + 300\text{Hz}$) nên thường là một khóa bán dẫn. Trên hình 2.28 nêu một ví dụ về thiết bị băm điện thực tế dùng tiristor. Trên sơ đồ tiristor T làm nhiệm vụ của khóa H , tiristor T_n làm nhiệm vụ ngắt tiristor T . Cuộn cảm L và diốt V_o tạo thành mạch nạp cho tụ điện C với cực tính như ghi trên hình vẽ trong thời gian T mở. D_o có tác dụng duy trì dòng qua tải khi T khóa.

Có thể hiểu một cách tóm tắt quá trình hoạt động của thiết bị này như sau : Ở trạng thái ban đầu cả hai tiristor T và T_n đều khóa tụ chuyển mạch C chưa được nạp điện. Muốn khởi động bộ khóa trước hết cho xung điều khiển mở T_n ; tụ điện C được nạp tới trị số $u_c = E$ với cực tính ghi trong dấu ngoặc trên hình 2.28. Lúc này điện áp trên tải $u = 0$. Bộ băm đã ở trạng thái sẵn sàng làm việc.

Để mở bộ khóa, tại thời điểm ban đầu $t = 0$ cho xung điều khiển mở tiristor T , điện áp trên tải $u = E$. Vì T đã mở nên tụ C tích điện sẵn cũng phóng điện qua tiristor T , cuộn L , van V_o và kết quả C được nạp theo cực tính ngược lại. Tại thời điểm $t = T_d$ muốn khóa T lại chỉ cần cho xung điều khiển mở tiristor T_n . Qua T_n điện áp trên tụ u_c được đặt lên T , tiristor T chịu điện áp ngược nên khóa lại, điện áp tải $u = 0$; Tụ C lại được nạp đến $u_c = E$ và T_n khóa lại khi tụ C nạp đầy. Tại thời điểm $t = T$, lại cho xung mở T , ta lại có $u = E$. Quá trình lặp lại như trước ; kết quả ta có điện áp tải u là các xung áp một chiều như hình 2.27b.

Độ dài mỗi xung là T_d là thời gian mở của tiristor T , tương ứng với khoảng thời gian giữa xung mở T và xung mở T_n . T_d có thể điều chỉnh tùy theo ý muốn song T_d không thể nhỏ hơn một nửa chu kì của mạch dao động $L - C$ tức là phải bảo đảm $T_d > \pi \sqrt{L:C}$.

Chu kì băm T tương ứng với khoảng thời gian giữa hai xung liên tiếp mở tiristor T . Cũng có thể biến đổi chu kì băm theo ý muốn.

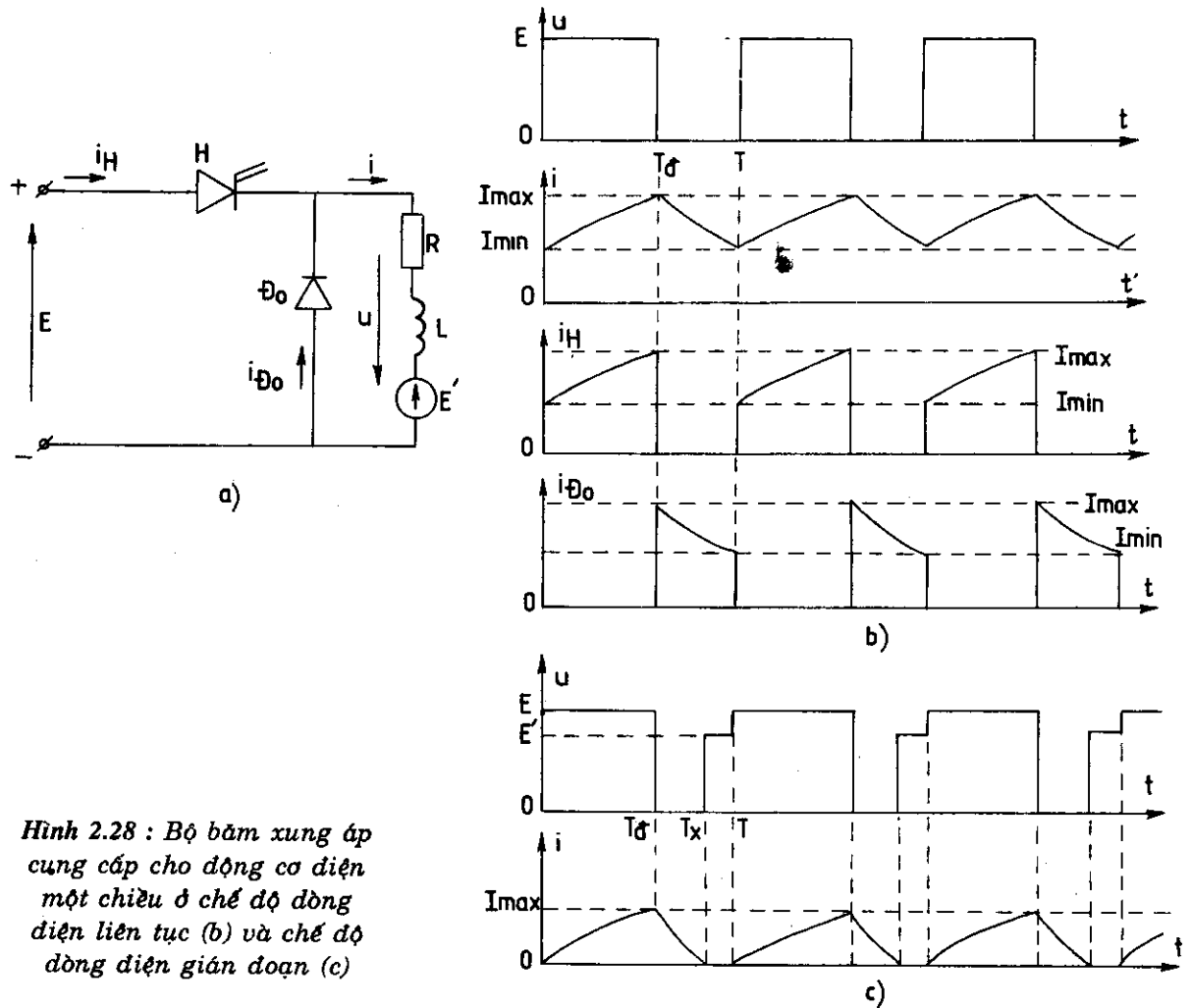


Hình 2.28 : Sơ đồ nguyên lí của thiết bị băm điện dùng tiristor

Để có bộ băm tần số cố định ta giữ nguyên khoảng thời gian giữa hai xung kế tiếp mở tiristor T còn điều chỉnh khoảng thời gian giữa xung mở T và xung mở tiristor Tn.

b. Dòng điện qua mạch tải khi bộ băm xung áp làm việc ở chế độ giảm áp.

Trên hình 2.28a trình bày sơ đồ của bộ băm xung áp H cung cấp cho tải là động cơ điện một chiều có sức điện động E, có điện trở phần ứng R và điện cảm mạch phần ứng L. Diốt Đ_o như đã nói ở trên có tác dụng duy trì dòng mạch tải khi khóa H ở trạng thái ngắt điện. Trên đồ thị hình 2.28b vẽ đồ thị điện áp tải u, dòng điện tải i, dòng điện qua diốt Đ_o và dòng điện qua khóa H i_H ở chế độ dòng điện liên tục i của động cơ.



Hình 2.28 : Bộ băm xung áp cung cấp cho động cơ điện một chiều ở chế độ dòng điện liên tục (b) và chế độ dòng điện gián đoạn (c)

Giả sử xét quá trình khi dao động của dòng tải i đã trở nên xác lập.

Trong khoảng thời gian $0 < t < T_d$ khóa H đóng điện, điện áp tải $u = E$, dòng tải tăng từ trị số nhỏ nhất $I_{\min}$ đến giá trị lớn nhất $I_{\max}$. Biểu thức dòng điện i có thể xác định bằng cách giải phương trình mạch điện khi khóa H đóng :

$$\frac{di}{dt} + \frac{R}{L}i = \frac{E - E'}{L}$$

Biểu thức tổng quát của dòng điện là :

$$i = K_1 \cdot e^{(-R/L)t} + \frac{E - E'}{R}$$

Vì tại $t = 0$ $i = I_{\min} = K_1 + \frac{E - E'}{R}$ nên :

$$K_1 = I_{\min} - \frac{E - E'}{R}$$

Ta có biểu thức dòng điện :

$$i = \left(I_{\min} - \frac{E - E'}{R} \right) e^{-\frac{R}{L}t} + \frac{E - E'}{R} \quad (2-63)$$

Nghĩa là trong giai đoạn H đóng thì dòng điện tải i tăng từ trị số $I_{\min}$ đến trị số $I_{\max}$ theo quy luật hàm số mũ ; ta có trị số lớn nhất của i lúc $t = T_d$ là :

$$I_{\max} = \left(I_{\min} - \frac{E - E'}{R} \right) e^{-\frac{R}{L} \cdot T_d} + \frac{E - E'}{R}$$

$$I_{\max} = \frac{E - E'}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L} \cdot T_d} \right) + I_{\min} e^{-\frac{R}{L} T_d}$$

đặt $T_u = \frac{L}{R}$: là hằng số thời gian mạch phần ứng của động cơ. Ta có :

$$I_{\max} = \frac{E - E'}{R} \left(1 - e^{-\frac{T_d}{T_u}} \right) + I_{\min} e^{-\frac{T_d}{T_u}} \quad (2-64)$$

Trong khoảng thời gian $T_d < t < T$. Khóa H ngắt điện, điện áp $u = 0$ do van D_o dẫn điện.

Ta có phương trình :

$$\frac{di}{dt'} + \frac{R}{L} i = -\frac{E'}{R}$$

với $t' = t - T_d$

nghiệm tổng quát của phương trình là :

$$i = K_2 e^{-\frac{R}{L}t'} - \frac{E'}{R}$$

tại $t' = 0$ ($t = T_d$), $i = I_{\max} = K_2 - \frac{E'}{R}$ nên $K_2 = I_{\max} + \frac{E'}{R}$. Cuối cùng ta có :

$$i = \left(I_{\max} + \frac{E'}{R} \right) e^{-\frac{R}{L}(t-T_d)} - \frac{E'}{R} \quad (2-65)$$

Trong giai đoạn này i giảm theo hàm mũ và khi $t = T$ thì i giảm đến trị số :

$$I_{\min} = \left(I_{\max} + \frac{E'}{R} \right) e^{-\frac{(T-T_d)}{T_u}} - \frac{E'}{R}$$

$$I_{\min} = -\frac{E'}{R} \left[1 - e^{-\frac{(T-T_d)}{T_u}} \right] + I_{\max} e^{-\frac{(T-T_d)}{T_u}} \quad (2-66)$$

Từ (2-64) và (2-66) có thể xác định $I_{\max}$ và $I_{\min}$:

$$I_{\max} = \frac{E}{R} \cdot \frac{(1 - e^{-\frac{T_d}{T_u}})}{\frac{T}{(1 - e^{-\frac{T}{T_u}})}} - \frac{E'}{R} \quad (2-67)$$

$$I_{\min} = \frac{E}{R} \cdot \frac{\frac{T_d}{(e^{\frac{T_d}{T_u}} - 1)}}{\frac{T}{(e^{\frac{T}{T_u}} - 1)}} - \frac{E'}{R} \quad (2-68)$$

Khi khóa H đóng liên tục $T_d = T$ thì $i = I = I_{\max} = I_{\min} = \frac{E - E'}{R}$. Dòng điện phản ứng là không đổi.

Nếu thời gian đóng điện T_d của khóa H giảm nhỏ đến giá trị tới hạn $T_{d_{gh}}$ thì dòng điện nhỏ nhất $I_{\min} = 0$ lúc này hệ thống làm việc ở biên giới chuyển từ chế độ dòng điện liên tục sang chế độ dòng điện gián đoạn. Trên hình 2.28c, vẽ đồ thị dòng điện i và điện áp u trên tải ở chế độ dòng điện gián đoạn. Trường hợp này dòng điện $i = 0$ tại $t = T_x < T$; dòng điện $I_{\min} = 0$ và trong khoảng thời gian $T_x + T$ dòng điện $i = 0$ còn điện áp $u = E'$.

Có thể xác định dòng điện $I_{\max}$ ở chế độ dòng điện gián đoạn khi thay $I_{\min} = 0$ vào (2-64) :

$$I_{\max} = \frac{E - E'}{R} \left(1 - e^{-\frac{T_d}{T_u}} \right) \quad (2-69)$$

Muốn xác định thời điểm $t = T_x$ tại đó dòng điện $i = 0$ ta thay trị số $I_{\max}$ từ (2-69) vào (2-65) và cho cân bằng với vế trái bằng không ta có :

$$\begin{aligned} 0 &= -\frac{E'}{R} \left[1 - e^{-\frac{(T_x - T_d)}{T_u}} \right] + I_{\max} e^{-\frac{(T_x - T_d)}{T_u}} = \\ &= -\frac{E'}{R} \left[1 - e^{-\frac{(T_x - T_d)}{T_u}} \right] + \frac{E - E'}{R} \left(1 - e^{-\frac{T_d}{T_u}} \right) \cdot e^{-\frac{(T_x - T_d)}{T_u}} \end{aligned} \quad (2-70)$$

Từ (2-70) suy ra T_x :

$$T_x = T_u \ln \left\{ e^{\frac{T_d}{T_u}} \left[1 + \frac{E - E'}{E'} \left(1 - e^{-\frac{T_d}{T_u}} \right) \right] \right\} \quad (2-71)$$

Vì khi $T_x = T$ hệ thống làm việc ở trạng thái biên liên tục với thời gian đóng điện tới hạn của khóa H là $T_{d_{gh}}$ nên từ (2-71) có thể suy ra trị số $T_{d_{gh}}$ nếu thay $T_x = T$.

Trị số trung bình của dòng điện qua tải I được xác định từ biểu đồ hình 2.28b, c, và theo biểu thức tích phân :

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T i dt = \frac{1}{T} \left(\int_0^{T_d} i dt + \int_{T_d}^{T_x} i dt \right) \quad (2-72)$$

nếu đặt
$$I_1 = \frac{E - E'}{R} \quad (2-73)$$

$$I_2 = -\frac{E'}{R} \quad (2-74)$$

và kết hợp các biểu thức (2-63), (2-65) với (2-72), (2-73), (2-74) ta có biểu thức xác định trị số trung bình của dòng tải cho mọi trường hợp :

$$I = \frac{1}{T} [I_1 T_d + T_u (I_{\min} - I_1)(1 - e^{-T_d/T_u}) - I_2(T_x - T_d) + T_u(I_{\max} + I_2)(1 - e^{-(T_x - T_d)/T_u})] \quad (2-75)$$

Ở chế độ dòng điện liên tục chỉ cần thay $T_x = T$ vào (2-75) ta được biểu thức :

$$I = \frac{1}{T} \left[I_1 T_d + T_u (I_{\min} - I_1)(1 - e^{-\frac{T_d}{T_u}}) - I_2(T - T_d) + T_u(I_{\max} + I_2)(1 - e^{-\frac{(T - T_d)}{T_u}}) \right] \quad (2-76)$$

Đối với chế độ dòng điện gián đoạn vì $I_{\min} = 0$ nên từ (2-75) suy ra :

$$I = \frac{1}{T} \left[I_1 T_d - I_1 T_u(1 - e^{-\frac{T_d}{T_u}}) - I_2(T_x - T_d) + T_u(I_{\max} + I_2)(1 - e^{-\frac{(T_x - T_d)}{T_u}}) \right] \quad (2-77)$$

Ở chế độ biên liên tục ta có $I_{\min} = 0$ và $T_x = T$ nên :

$$I = \frac{1}{T} \left[I_1 T_d - I_1 T_u(1 - e^{-\frac{T_d}{T_u}}) - I_2(T - T_d) + T_u(I_{\max} + I_2)(1 - e^{-\frac{(T - T_d)}{T_u}}) \right] \quad (2-78)$$

Trị số trung bình của điện áp trên tải ở chế độ gián đoạn được xác định dựa vào biểu đồ 2-28C và biểu thức tích phân :

$$U_{Tb} = -\frac{1}{T} \int_0^T u \, dt = \frac{1}{T} \left(\int_0^{T_d} E \, dt + \int_{T_x}^{T_d} E' \, dt \right) = \frac{1}{T} [E \cdot T_d + (T - T_x) E'] \quad (2-79)$$

Khi thay $T_x = T$ vào (2-79) sẽ tìm lại được biểu thức của điện áp trung bình ở chế độ dòng điện liên tục (2-62).

2.5.2. Đặc tính tốc độ và đặc tính cơ của hệ thống truyền động bộ băm xung áp - động cơ một chiều

Trong chế độ dòng điện liên tục vì $T_x = T$ nên ta có

$$U_{Tb} = \alpha E \text{ với } 0 \leq \alpha \leq 1.$$

Đối với tải là động cơ một chiều có dòng điện trung bình của phần ứng là I , sức điện động là E' như hình 2.28a.

ta có quan hệ :

$$E' = U_{Tb} - IR$$

với $E' = C.\phi.\omega$. Từ đó suy ra :

$$\omega = \frac{\alpha E}{C.\phi} - \frac{R}{C.\phi} . I \quad (2-80)$$

Theo (2-80) các đặc tính tốc độ (hay các đặc tính cơ) ở chế độ dòng điện liên tục là một họ các nửa đường thẳng song song ứng với các trị số khác nhau của α , như trình bày trên hình 2.29.

Phần đặc tính tốc độ hay đặc tính cơ ở chế độ dòng điện gián đoạn được xây dựng theo (2-77) kết hợp với (2-69), (2-73), (2-74). Theo cách đó cần cố định một giá trị của T_d hay của $\alpha = \frac{T_d}{T}$. Sau đó cho các giá trị khác nhau của tốc độ ω của động cơ để suy ra các giá trị tương ứng của sức điện động $E' = C.\phi.\omega$. Dùng (2-69), (2-73), (2-74) tìm được các trị số tương ứng của I_{max} , I_1 , I_2 . Cuối cùng theo (2-77) ta suy ra các giá trị của I và được một loạt các cặp trị số (ω , I). Phần đặc tính ở chế độ dòng điện gián đoạn nằm sát trục ω và có độ dốc lớn như hình 2-29.

Đường biên liên tục mô tả quan hệ $\omega = f(I_{b.l.t})$ là đường phân cách miền dòng điện gián đoạn với miền dòng điện liên tục, có thể được xác định theo biểu thức (2-78) kết hợp với (2-69), (2-71), (2-73) và (2-74).

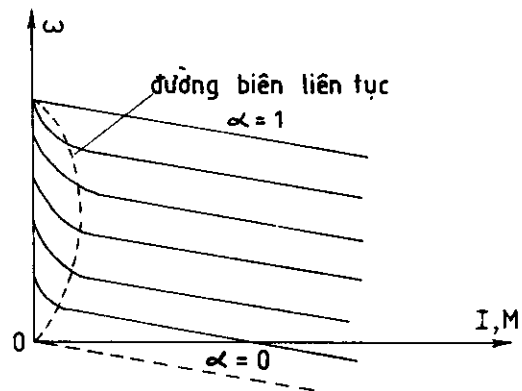
Thay $I = I_{b.l.t}$ và $T_d = T_{dgh}$ vào (2-78) ta có :

$$I_{b.l.t} = \frac{1}{T} \left[I_1 \cdot T_{dgh} - I_1 T_u (1 - e^{-\frac{T_{dgh}}{T_u}}) - I_2 (T - T_{dgh}) + T_u (I_{max} + I_2) (1 - e^{-\frac{(T - T_{dgh})}{T_u}}) \right] \quad (2-81)$$

Thời gian đóng điện tới hạn của khóa H là T_{dgh} được xác định từ (2-71) nếu thay $T_x = T$, $T_d = T_{dgh}$:

$$T = T_u \cdot \ln \left\{ e^{\frac{T_{dgh}}{T_u}} \left[1 + \frac{E - E'}{E'} (1 - e^{-\frac{T_{dgh}}{T_u}}) \right] \right\} \quad (2-82)$$

Ta cho những giá trị khác nhau của tốc độ góc ω của động cơ để có những giá trị của sức điện động E' , từ đó theo (2-82), (2-69), (2-73), (2-74) tính được các trị số tương ứng của T_{dgh} , I_{max} , I_1 , I_2 . Đem các kết quả này thay vào (2-81) sẽ xác định được các trị số của dòng điện ở chế độ biên liên tục $I_{b.l.t}$ tương ứng với các giá trị đã cho của ω . Trên hình 2.29 đường biên liên tục là một nửa đường elíp vẽ bằng các nét đứt. Dòng điện $I_{b.l.t}$ có trị số nhỏ nhất là $I_{b.l.t} = 0$ ứng với các tốc độ $\omega = 0$ (khi $\alpha = 0$) và $\omega = \omega_{max}$ (khi $\alpha = 1$).

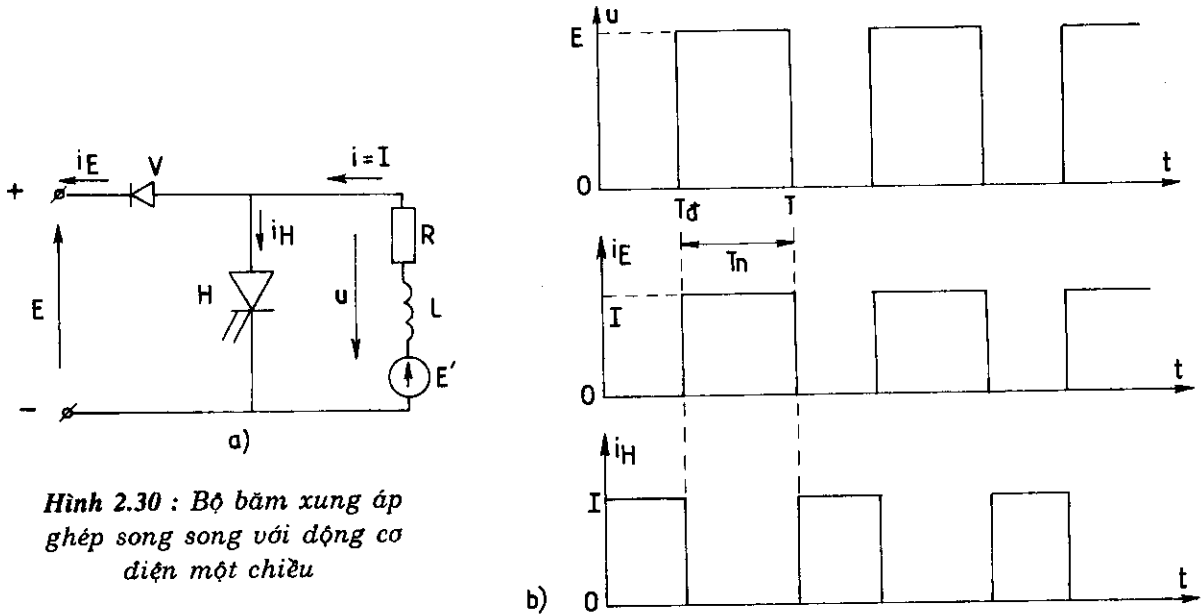


Hình 2.29 : Đặc tính cơ (hay đặc tính tốc độ) của hệ thống truyền động bộ băm xung áp - động cơ điện một chiều.

2.5.3. Bộ băm xung áp một chiều ghép song song với động cơ điện một chiều

Để thực hiện hãm tái sinh đối với động cơ điện một chiều ta ghép song song với động cơ một bộ băm điện một chiều như hình 2.30a. Ở chế độ hãm tái sinh máy điện làm việc ở chế độ máy phát để trả năng lượng về nguồn đã từng nuôi nó khi nó làm việc ở chế độ động cơ.

Trên sơ đồ hình 2.30a L là điện cảm phần ứng của động cơ điện có thêm vào điện cảm bổ sung cần thiết để san bằng dòng điện mạch tải sao cho $i = I = \text{const}$.



Hình 2.30 : Bộ băm xung áp ghép song song với động cơ điện một chiều

Trên hình 2.30b vẽ đồ thị điện áp trên tải u , dòng điện qua khóa H i_H và dòng điện trả về nguồn i_E . Trong khoảng thời gian $0 \leq t \leq T_d$ khóa H đóng điện nên điện áp tải $u = 0$, dòng điện qua khóa H bằng dòng điện trên tải : $i_H = i = I$, dòng qua van V để trả năng lượng cho nguồn bằng không $i_E = 0$. Trong khoảng thời gian $T_d < t < T$, khóa H ngắt điện nên $i_H = 0$ còn $i_E = i = I$ và $u = E$.

Vậy thời gian đóng điện là T_d , thời gian ngắt điện là $T_n = T - T_d$, tỉ số chu kì $\alpha = \frac{T_d}{T}$.

Diốt V dùng để ngăn dòng điện của nguồn khép mạch qua khóa H khi nó đóng điện, tránh hiện tượng ngắn mạch nguồn điện.

Trị số trung bình của điện áp một chiều trên tải

$$U_{Tb} = \frac{1}{T} \int_0^T u \, dt = \frac{1}{T} \int_{T_d}^T E \, dt = \frac{T - T_d}{T} E = (1 - \alpha)E \quad (2-83)$$

Trị số trung bình của dòng điện tải năng lượng trả lại cho nguồn :

$$I_E = \frac{1}{T} \int_0^T i_E \, dt = \frac{1}{T} \int_{T_d}^T I \, dt = (1 - \alpha)I \quad (2-84)$$

Trị số trung bình của dòng điện qua khóa H :

$$I_H = \frac{1}{T} \int_0^T i_H dt = \frac{1}{T} \int_0^{T_d} I dt = \alpha I$$

Ở chế độ hãm tái sinh của máy điện ta có các phương trình :

$$E' = R.i + L \frac{di}{dt} \text{ khi khóa H đóng điện}$$

$$E' - Ri - L \frac{di}{dt} = u \text{ khi khóa H ngắt điện}$$

Lấy tích phân hai vế của biểu thức thứ hai :

$$\frac{1}{T} \int_0^T E' dt - \frac{1}{T} \int_0^T Ri dt - \frac{1}{T} \int_1^1 L di = \frac{1}{T} \int_0^T u dt$$

Ta được kết quả :

$$E' - RI = U_{Tb}$$

$$I = \frac{E' - U_{Tb}}{R}$$

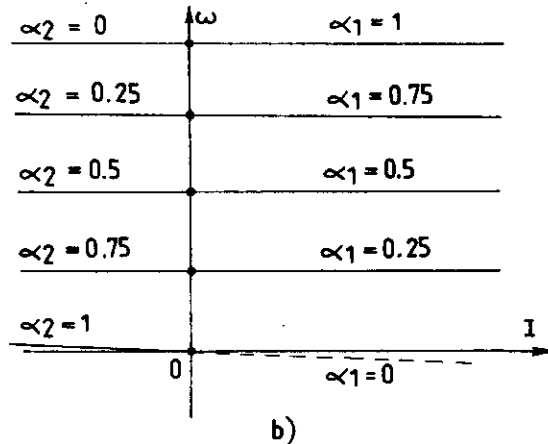
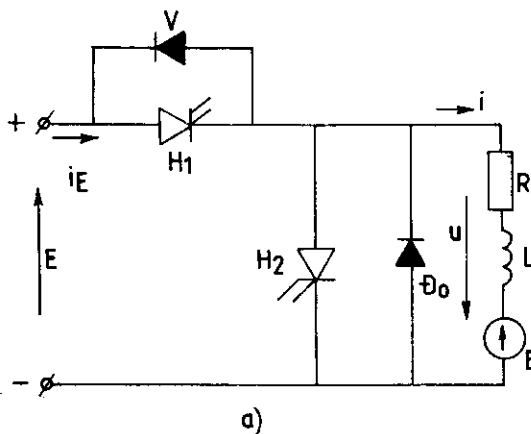
Muốn thực hiện hãm tái sinh cần có điều kiện $I > 0$, muốn thế E' phải lớn hơn điện áp U_{Tb} : $E' > U_{Tb}$.

Vì dòng $I_E = (1 - \alpha)I$ nên muốn khống chế dòng điện hãm tái sinh phải tác động vào tỉ số chu kì α .

2.5.4. Hệ thống điều khiển bằng xung áp có đảo chiều dòng điện

Để thực hiện quá trình hãm tái sinh, cần đảo chiều dòng điện phản ứng động cơ khi hãm. Muốn vậy ta sử dụng hai bộ băm xung áp H_1 và H_2 để điều khiển động cơ một chiều như hình 2.31a.

Bộ băm H_1 cùng với diốt D_0 được sử dụng để điều khiển máy điện khi nó làm việc ở chế độ động cơ. Bộ băm H_2 ghép song song với động cơ cùng với diốt V bảo đảm thực hiện quá trình hãm tái sinh, lúc động cơ làm việc ở chế độ máy phát để trả năng lượng lại cho nguồn điện. Hệ thống điều khiển này không cho phép đảo chiều quay của động cơ điện.



Hình 2.31 : Hệ thống điều khiển xung áp có đảo chiều dòng điện

Các khóa H_1, H_2 hoạt động với cùng một chu kì đóng cắt T và thời gian đóng điện của khóa này bằng thời gian ngắt điện của khóa kia và ngược lại :

$$T_{d1} = T_{n2} ; T_{d2} = T_{n1}$$

$$T_{d1} + T_{n1} = T_{d2} + T_{n2} = T$$

Tỉ số chu kì của mỗi khóa là :

$$\alpha_1 = \frac{T_{d1}}{T} = \frac{T_{n2}}{T} ; \alpha_2 = \frac{T_{d2}}{T} = \frac{T_{n1}}{T}$$

Khi muốn cho máy điện làm việc ở chế độ động cơ ta cho khóa H_1 hoạt động còn khóa H_2 không hoạt động. Năng lượng được truyền tải từ nguồn điện đến động cơ để biến thành cơ năng.

Điện áp trung bình trên tải là : $U_{Tb} = \alpha_1 E$. Phương trình của mạch tải là :

$$U_{Tb} = E' + I.R \text{ với } I > 0$$

$$\text{Suy ra : } E' = U_{Tb} - I.R = \alpha_1 E - I.R$$

$$\text{Hoặc } C.\phi.\omega = \alpha_1 E - I.R \quad (2-86)$$

Theo (2-86) có thể thấy đặc tính tốc độ là những đường thẳng song song, phân bố ở góc phần tư thứ nhất của mặt phẳng (ω, I) khi cho α_1 biến thiên từ không đến 1 như vẽ trên hình 2.31b. Khi cần thực hiện hãm tái sinh ta cho H_2 hoạt động còn H_1 ngừng hoạt động, máy điện chuyển sang chế độ máy phát biến cơ năng tích lũy được ở chế độ động cơ thành điện năng và truyền tải theo chiều ngược lại để trả về cho nguồn. Điện áp trên tải lúc này là ;

$$U_{Tb} = (1 - \alpha_2)E$$

Phương trình mạch tải vẫn là :

$$U_{Tb} = E' + I.R \text{ nhưng với } I < 0$$

Suy ra :

$$E' = U_{Tb} - I.R = (1 - \alpha_2)E - I.R \quad (2-87)$$

$$\text{Vì } \alpha_1 + \alpha_2 = \frac{T_{d1}}{T} + \frac{T_{d2}}{T} = \frac{T_{d1} + T_{n1}}{T} = 1 \text{ nên (2-87) còn có thể viết dưới dạng :}$$

$$E' = \alpha_1 E - I.R \text{ với } I < 0$$

Hoặc :

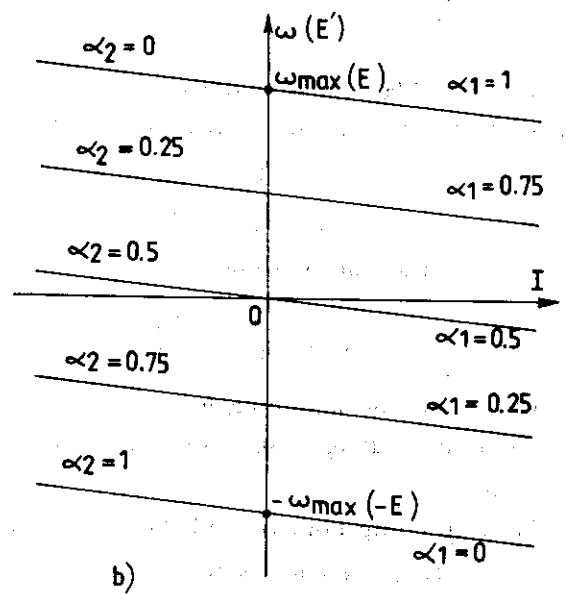
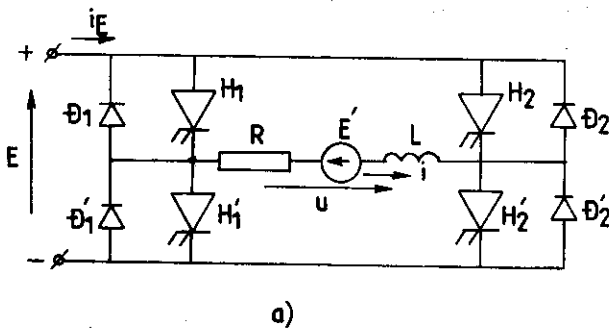
$$C.\phi.\omega = (1 - \alpha_2)E - I.R = \alpha_1 E - I.R \quad (2-88)$$

Từ (2-88) vẽ được đặc tính tốc độ ở chế độ hãm tái sinh là phần kéo dài tiếp theo của đặc tính ở chế độ động cơ. Đặc tính ở chế độ hãm tái sinh nằm ở góc phần tư thứ hai của hệ tọa độ (ω, I) như vẽ trên hình 2.31b khi cho α_2 biến thiên từ 1 đến không.

2.5.5. Hệ thống truyền động bằng xung áp thực hiện đảo chiều dòng điện và đảo chiều điện áp

Để thực hiện đảo chiều quay của động cơ một chiều và bảo đảm đảo chiều dòng điện động cơ ta sử dụng bốn khóa điện H_1, H_2, H'_1, H'_2 ghép theo sơ đồ hình 2.32a.

Trong hệ thống này khi máy điện có một chiều quay nhất định, nó có khả năng làm việc ở chế độ động cơ hoặc ở chế độ máy phát.



Hình 2.32 : Hệ thống truyền động bằng xung áp đảo dòng và đảo áp

Để thực hiện khả năng này các khóa điện được đưa vào hoạt động theo từng cặp ; Khi H_1 cùng hoạt động với H'_2 thì H'_1 và H_2 cùng không hoạt động và ngược lại ; Xét từng trường hợp làm việc của các cặp khóa điện :

Khi cặp khóa H_1, H'_2 hoạt động với thời gian đóng điện T_{d1} , thời gian ngắt điện T_{n1} , chu kì đóng ngắt $T = T_{d1} + T_{n1}$, tỉ số chu kì $\alpha_1 = \frac{T_{d1}}{T}$ ta có dòng qua tải luôn luôn dương : $i > 0$.

Trong khoảng thời gian T_{d1} , H_1 và H'_2 đóng điện nên

$$u = E$$

$$i_E = i$$

Trong khoảng thời gian T_{n1} , H_1 và H'_2 ngắt điện cặp diốt Δ_1, Δ_2 mở để duy trì chiều của dòng điện i nên

$$u = -E$$

$$-i_E = i$$

Điện áp trung bình trên tải khi H_1 và H'_2 hoạt động là :

$$U_{Tb} = \frac{E T_{d1} - E T_{n1}}{T} = \frac{\alpha_1 T \cdot E - (T - T_{d1}) E}{T} = \frac{\alpha_1 T E - (T - \alpha_1 T) E}{T} = (2\alpha_1 - 1)E$$

nếu $0,5 < \alpha_1 < 1$ thì $U_{Tb} > 0$ khi đó công suất mạch tải $P = U_{Tb} \cdot I > 0$ nên máy điện làm việc ở chế độ động cơ quay thuận vì $U_{Tb} > 0$.

nếu $0 < \alpha < 0,5$ thì $U_{Tb} < 0$ khi đó công suất mạch tải $P = U_{Tb} \cdot I < 0$ nên máy điện làm việc ở chế độ máy phát quay ngược vì $U_{Tb} < 0$.

Trong trường hợp cặp khóa H'_1 và H_2 hoạt động với thời gian đóng điện $T_{d2} = T_{n1}$ thời gian ngắt điện $T_{n2} = T_{d1}$, chu kì đóng, ngắt $T = T_{d2} + T_{n2} = T_{d1} + T_{n1}$, tỉ số chu kì là α_2

$= \frac{T_{d2}}{T} = \frac{T_{n1}}{T}$ thì dòng điện qua tải luôn âm : $i < 0$. Trong khoảng thời gian T_{d2} H'_1 và H_2 đóng điện nên

$$u = -E$$

$$i_E = -i$$

Trong khoảng thời gian T_{n2} , H'_1 và H_2 ngắt điện nên cặp diốt D'_2 , D_1 mở để duy trì chiều dòng điện i nên

$$u = E$$

$$-i_E = -i \text{ hay } i_E = i$$

Kết quả là trị số trung bình điện áp trên tải là :

$$U_{Tb} = \frac{-ET_{d2} + ET_{n2}}{T} = \frac{-\alpha_2 T E + (T - T_{d2}) E}{T} = \frac{-\alpha_2 T E + (T - \alpha_2 T) E}{T} = -(2\alpha_2 - 1)E$$

Khi $0,5 < \alpha_2 < 1$ thì $U_{Tb} < 0$ và công suất mạch tải $P = U_{Tb} I > 0$ nên máy điện làm việc ở chế độ động cơ quay ngược vì $U_{Tb} < 0$.

Khi $0 < \alpha_2 < 0,5$ ta có $U_{Tb} > 0$, công suất mạch tải $P = U_{Tb} I < 0$ nên máy điện làm việc ở chế độ máy phát quay thuận.

Trong hệ thống, điều khiển các cặp khóa được tiến hành theo luật sau :

$$T_{d1} + T_{n1} = T_{d1} + T_{d2} = T$$

hoặc $\alpha_1 T + \alpha_2 T = T$

suy ra : $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$.

Từ quy luật điều khiển các cặp khóa điện và theo các kết luận khi phân tích các trường hợp hoạt động của các cặp khóa đó có thể suy ra quan hệ $\omega = f(I)$ của hệ thống truyền động là một họ các đường thẳng song song được phân bố trong cả bốn góc phần tư của hệ tọa độ (ω, I) như trên hình 2.32b.

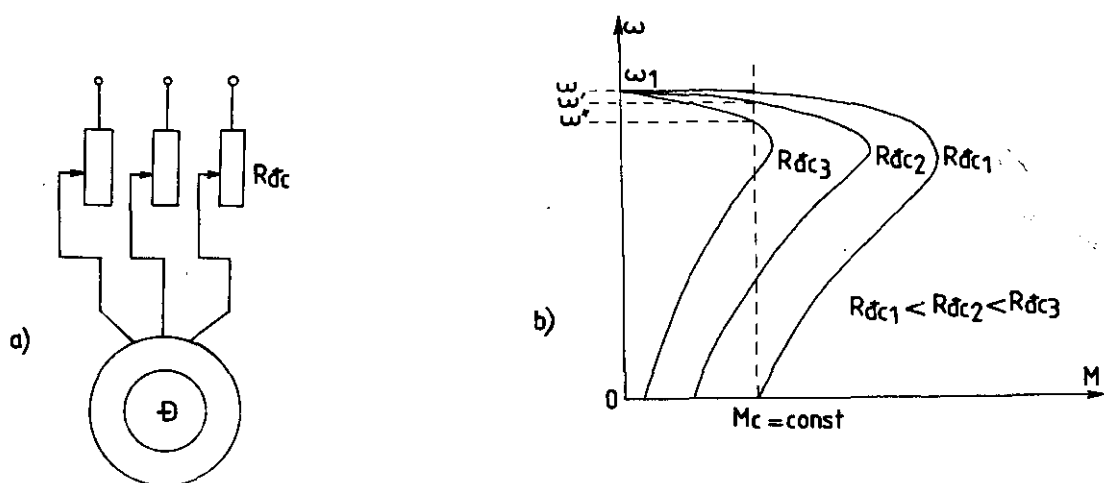
2.6. ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ QUAY CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Trong công nghiệp thường sử dụng các phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ sau đây :

- a - Điều chỉnh điện áp đặt vào động cơ
- b - Điều chỉnh điện trở của mạch điện roto
- c - Điều chỉnh số cặp cực từ trường quay của động cơ
- d - Điều chỉnh tần số của nguồn cung cấp cho động cơ
- e - Điều chỉnh công suất trượt P_s .

2.6.1. Điều chỉnh điện áp đặt vào động cơ

Mômen quay động cơ không đồng bộ tỉ lệ với bình phương điện áp đặt vào dây quấn stato do đó có thể điều chỉnh được mômen quay M và tốc độ quay ω của động cơ không đồng bộ bằng cách điều chỉnh điện áp đặt vào động cơ khi giữ tần số không đổi.



Hình 2.33 : Sơ đồ nối động cơ vào lưới điện và đặc tính cơ khi điều chỉnh điện áp đặt vào động cơ.

Nếu điện áp lưới điện cố định, để điều chỉnh điện áp đặt vào động cơ ta thay đổi điện áp rơi trên điện trở điều chỉnh R_{dc} nối giữa động cơ và lưới điện như hình 2.33a. Khi tăng điện trở điều chỉnh R_{dc} tốc độ quay ω giảm nếu mômen quay là hằng số như chỉ rõ trên đồ thị hình 2.33b.

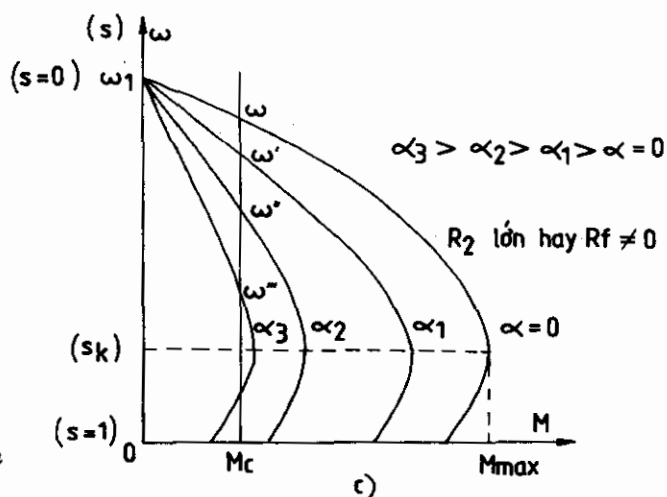
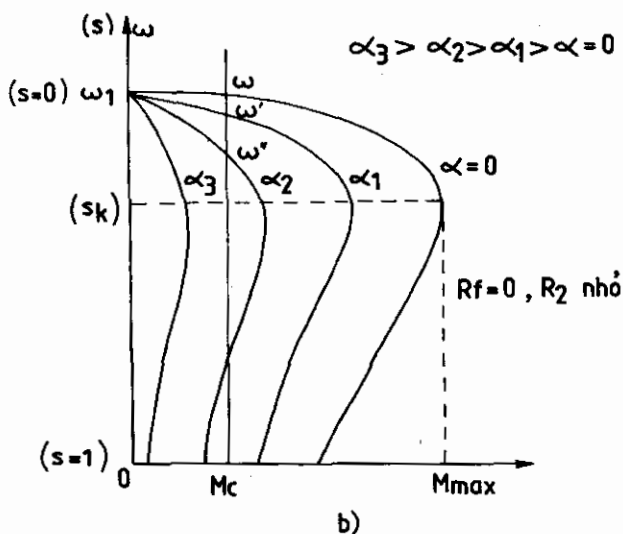
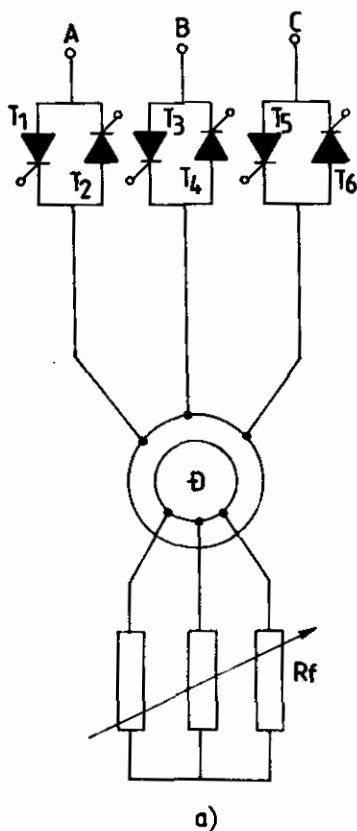
Cũng có thể tiến hành điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ bằng cách sử dụng ba cuộn dây điều chỉnh có điện cảm L_{dc} để thay thế cho ba điện trở điều chỉnh R_{dc} nói trên.

Muốn điều chỉnh theo hướng tăng tốc độ có thể sử dụng ba tụ điện có dung kháng X_c nối giữa động cơ và lưới điện. Vì dung kháng X_c của tụ điện có tác dụng bù trừ cảm kháng của dây quấn động cơ nên tổng trở của mạch điện giảm khiến dòng điện roto I_2 tăng lên. Để bảo đảm cho mômen quay M không đổi hệ số trượt s của động cơ giảm làm cho tốc độ của động cơ $n = n_1(1 - s)$ tăng lên. Sự thay đổi của tốc độ quay khi điều chỉnh bằng tụ điện dĩ nhiên phụ thuộc vào tương quan giữa điện dung của tụ điện và điện cảm của dây quấn động cơ.

Điều chỉnh điện áp đặt vào động cơ theo cách nói trên gây tiêu hao năng lượng trên phần tử điều chỉnh. Vì lí do kĩ thuật và kinh tế người ta dùng phổ biến hiện nay các thiết bị điều chỉnh điện áp xoay chiều bằng tiristor. Trên hình 2.34a trình bày sơ đồ của một bộ điều chỉnh điện áp ba pha dùng ba cặp tiristor đấu song song ngược để cung cấp cho động cơ không đồng bộ ba pha.

Việc điều chỉnh điện áp đặt vào động cơ được tiến hành khi góc điều khiển mở các tiristor $\alpha > \varphi$ với φ là góc lệch pha giữa dòng điện và điện áp của động cơ. Còn khi $0 < \alpha \leq \varphi$ thì điện áp đặt vào động cơ không thể điều chỉnh được và luôn luôn bằng điện áp của lưới điện. Trong phạm vi điều chỉnh được nếu góc α càng lớn, điện áp đặt vào động cơ càng nhỏ, trị số mômen tới hạn M_{max} giảm dần. Kết quả là ứng với mômen phụ tải M_c không đổi, tốc độ ω giảm khi góc α tăng như trên hình 2.34b. Cần lưu ý rằng hệ số trượt tới hạn $s_k = \frac{R_2}{X_2}$

không phụ thuộc vào góc mở α của các tiristor. Ta có nhận xét là phạm vi điều chỉnh tốc độ theo phương pháp này hẹp. Để mở rộng phạm vi điều chỉnh tốc độ cần sử dụng phương pháp điều chỉnh đối với các động cơ có điện trở mạch roto R_2 lớn, khi đó hệ số trượt tới hạn tăng làm mở rộng phạm vi điều chỉnh tốc độ như hình 2.34c.



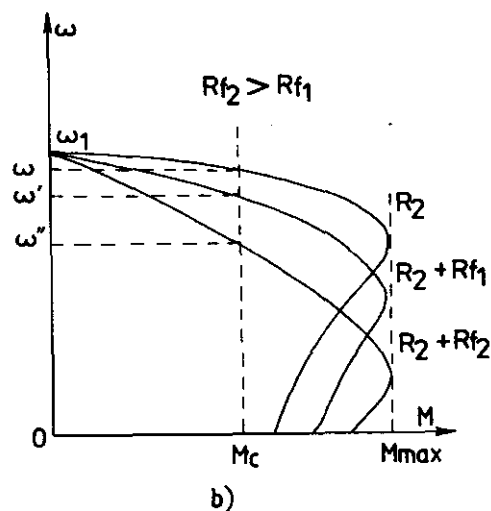
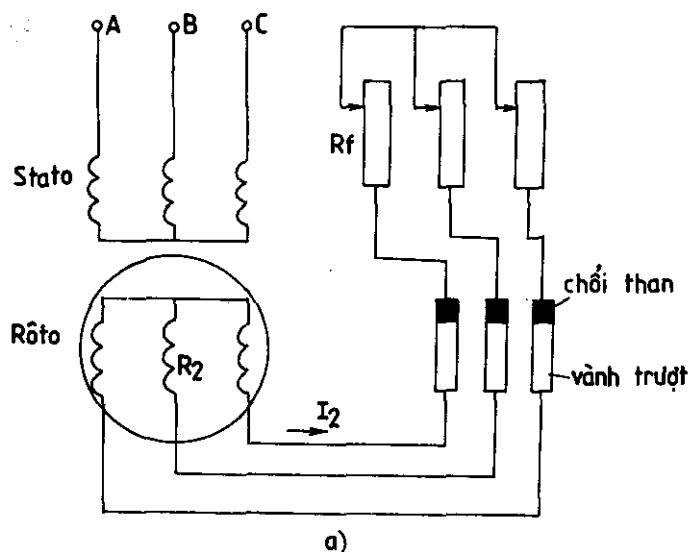
Hình 2.34 : Điều chỉnh điện áp
động cơ không đồng bộ
a) Sơ đồ nguyên lý
b) và c) Đặc tính cơ khi điều chỉnh

Điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ roto lồng sóc bằng bộ biến đổi điện áp có ưu điểm là giá thành hạ song vì điện áp đặt vào động cơ bị băm nhỏ và có dạng rất phức tạp, ngoài thành phần sóng điện áp cơ bản tạo ra mômen quay cho động cơ, còn chứa nhiều thành phần sóng hài bậc cao. Các sóng bậc cao này chỉ tạo ra các mômen phụ làm phát nóng động cơ. Để tránh cho động cơ bị phát nóng quá mức cho phép, người ta thường sử dụng động cơ dây quấn để điều chỉnh tốc độ bằng bộ biến đổi điện áp xoay chiều. Khi đó, vừa bảo đảm điện trở mạch roto có trị số lớn nhờ điện trở phụ để nới rộng phạm vi điều chỉnh, mặt khác các tổn thất do mômen phụ gây ra bởi các sóng hài bậc cao của điện áp đặt vào động cơ không bị tích tụ lại trong động cơ mà được thoát ra ngoài trên điện trở phụ dưới dạng nhiệt ; khiến động cơ không phát nóng mạnh. Song, hiệu suất điều chỉnh giảm nhiều.

Phương pháp điều chỉnh điện áp để thay đổi tốc độ động cơ không đồng bộ thích hợp với các hệ truyền động mà mômen cần của phụ tải là hàm tăng theo tốc độ như : quạt gió, bơm li tâm.

2.6.2. Điều chỉnh điện trở của mạch điện roto

Phương pháp điều chỉnh tốc độ bằng cách điều chỉnh điện trở của mạch điện roto chỉ áp dụng đối với động cơ không đồng bộ roto dây quấn nhờ thêm điện trở phụ R_f vào mạch điện



Hình 2.35 : Điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ bằng điện trở phụ R_f trong mạch roto

roto qua chổi điện tử trên các vành trượt gắn trên trục quay của roto như hình 2.35a. Điện trở trong mạch roto của động cơ là :

$$R_r = R_2 + R_f$$

trong đó :

R_2 - điện trở dây quấn roto

R_f - điện trở phụ mắc thêm vào mạch roto

Khi tăng giá trị của điện trở phụ R_f thì mômen tối hạn $M_{\max}$ không thay đổi, còn hệ số trượt tối hạn $s_k = \frac{R'_2 + R'_f}{x_1 + x'_2}$ tăng tỉ lệ với R_r , do đó tốc độ tối hạn $\omega_k = \omega_1(1 - s_k)$ giảm khiến tốc độ động cơ giảm, như chỉ rõ trên hình 2.35b. Dựa vào biểu thức gần đúng mô tả quan hệ giữa mômen M và hệ số trượt s :

$$\frac{M}{M_{\max}} = \frac{2}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}} \quad (2-89)$$

Ta có nhận xét khi tốc độ quay ω lớn thì hệ số trượt s nhỏ nên $\frac{s}{s_k}$ nhỏ hơn nhiều so với

đơn vị : $\frac{s}{s_k} \ll 1$.

Khi đó (2-89) có dạng :

$$M = 2 \cdot \frac{M_{\max}}{s_k} s \quad (2-90)$$

Biểu thức (2-90) chứng tỏ rằng đoạn đặc tính làm việc của động cơ, tức là đoạn có hệ số trượt từ $s = 0$ đến $s = s_k$ có thể coi là một đoạn thẳng ; Do đó khi điều chỉnh điện trở mạch roto với $M = \text{const}$ từ (2-90) ta có quan hệ :

$$\frac{s_2}{R_2 + R_{f2}} = \frac{s_1}{R_2 + R_{f1}}$$

hay là ;
$$\frac{s_2}{s_1} = \frac{R_2 + R_{f2}}{R_2 + R_{f1}}$$

với s_1 là hệ số trượt ứng với điện trở phụ R_{f1}

s_2 là hệ số trượt ứng với điện trở phụ R_{f2} .

Mặt khác do quan hệ giữa tốc độ góc của roto ω_r và tốc độ góc của từ trường quay ω_1 của động cơ là :

$$\omega_r = \omega_1(1 - s)$$

nên ta còn có biểu thức :

$$\frac{\omega''}{\omega'} = \frac{1 - s_2}{1 - s_1}$$

ω' là tốc độ góc của động cơ khi điện trở phụ là R_{f1} .

ω'' là tốc độ góc khi điện trở phụ là R_{f2} .

Phương pháp điều chỉnh điện trở mạch roto chỉ cho phép giảm tốc độ so với tốc độ cơ bản ω trên đường đặc tính tự nhiên. Phạm vi điều chỉnh tốc độ thay đổi tùy theo phụ tải của động cơ. Khi giảm tốc độ quay của động cơ độ cứng của đặc tính cơ giảm nhanh điều đó làm hạn chế phạm vi điều chỉnh.

Nhược điểm của phương pháp điều chỉnh điện trở mạch roto là gây tổn hao năng lượng trên điện trở phụ. Phương pháp điều chỉnh này được sử dụng rộng rãi đối với các hệ truyền động có mômen tải là mômen quạt gió, hoặc các hệ truyền động làm việc ở chế độ ngắn hạn lặp lại như các cơ cấu làm việc của cần trục.

Ta cũng có nhận xét là độ trơn điều chỉnh của phương pháp điều chỉnh điện trở mạch roto phụ thuộc vào số cấp điện trở phụ được nối thêm vào mạch roto. Để có thể tiến hành điều chỉnh trơn điện trở mạch roto ta dùng các van bán dẫn như sơ đồ hình 2.36a. Phương pháp điều chỉnh điện trở mạch roto bằng các van bán dẫn có ưu điểm cho phép thực hiện tự động hóa việc điều chỉnh. Trên hình 2.36a, b trình bày sơ đồ và nguyên lý điều chỉnh trơn điện trở mạch roto bằng phương pháp xung.

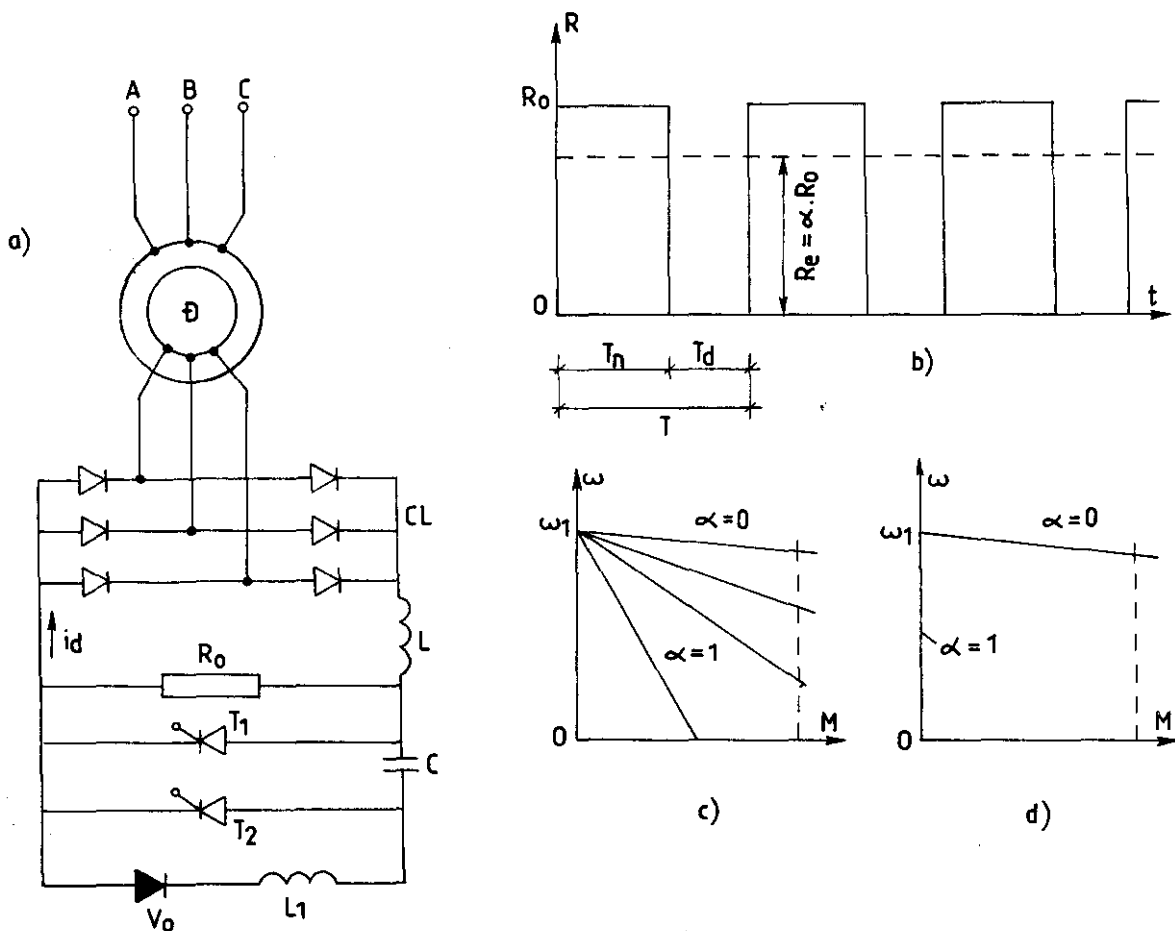
Trên sơ đồ hình 2.36a sức điện động ba pha của dây quấn roto được biến đổi thành điện áp chỉnh lưu nhờ cầu chỉnh lưu 3 pha C.L. để cung cấp cho mạch điều khiển gồm điện trở R_o nối song song với tiristor T_1 . Tiristor T_1 được điều khiển đóng và ngắt mạch một cách chu kì để điều chỉnh trị số trung bình của điện trở mạch điện một chiều.

Khi khóa T_1 đóng, điện trở R_o bị loại khỏi mạch nên dòng điện roto tăng. Lúc T_1 ngắt điện, R_o lại được khôi phục trong mạch điện, dòng điện roto giảm. Ta có đồ thị của điện trở mạch một chiều theo thời gian như hình 2.36b. Trị số trung bình của điện trở tương đương mạch một chiều :

$$R_e = \frac{1}{T} \int_0^T R dt = \frac{1}{T} \int_0^{T_n} R_o dt = \frac{T_n}{T} \cdot R_o = \alpha R_o \quad (2-91)$$

với T_n : thời gian ngắt mạch của khóa tiristor T_1

T_d : thời gian đóng mạch của T_1 .



Hình 2.36 : Điều chỉnh xung điện trở mạch roto

a) Sơ đồ điều khiển ; b) Nguyên lý điều chỉnh ; c) và d) Các đặc tính điều chỉnh.

$T = T_n + T_d$ là chu kì đóng và ngắt mạch của T_1 .

$\alpha = \frac{T_n}{T}$ là tỉ số chu kì đóng ngắt mạch.

Khi cố định chu kì T và điều chỉnh thời gian ngắt T_n của tiristor để biến đổi liên tục tỉ số chu kì α ta có thể tiến hành điều chỉnh trơn giá trị trung bình của điện trở tương đương R_e của mạch một chiều. Cuộn cảm L được sử dụng để san bằng dòng i_d của mạch một chiều. Điện trở R_e trong mạch một chiều được tính quy đổi về mạch xoay chiều ba pha của dây quấn roto theo nguyên tắc bảo toàn công suất :

Tổn thất đồng trên mạch roto hình 2-36a là :

$$\Delta P_{Cu_2} = I_d^2 (R_e + 2 R_2)$$

Tổn thất đồng trong mạch roto của sơ đồ hình 2.35a khi có điện trở phụ R_f là :

$$\Delta P_{Cu_2} = 3 I_2^2 (R_2 + R_f)$$

Vì tổn hao công suất phải bằng nhau nên

$$3 I_2^2 (R_2 + R_f) = I_d^2 (R_e + 2 R_2) \quad (2-92)$$

Trong sơ đồ chỉnh lưu cầu ba pha ta có $I_d^2 = 1,5 I_2^2$ nên từ (2-92) suy ra :

$$R_f = \frac{1}{2} R_e = \alpha \cdot \frac{R_o}{2} \quad (2-93)$$

Từ (2-93) có thể thấy điện trở phụ tính đối về mạch 3 pha của roto có thể điều chỉnh trơn nhờ biến đổi tỉ số chu kì α liên tục.

Sau khi có điện trở phụ tính đối theo 2-93) ta dựng được đặc tính cơ của động cơ theo cách thông thường. Họ đặc tính cơ này quét kín phần mặt phẳng giới hạn bởi đặc tính cơ tự nhiên khi $\alpha = 0$ ứng với $R_f = 0$ và đặc tính cơ có điện trở phụ $R_f = \frac{R_o}{2}$

khi $\alpha = 1$ - Xem hình 2-36c

Để mở rộng phạm vi điều chỉnh mômen có thể mắc nối tiếp với điện trở R_o một tụ điện điện dung đủ lớn khi đó đường đặc tính ứng với $\alpha = 1$ sẽ tiến sát tới trục tung (xem hình 2-36d).

Trên sơ đồ hình 2-36a tụ điện C diốt v_o và cuộn dây L_1 tạo mạch nạp điện ngược cho tụ C để khi cho xung mở Tiris Tor T_2 thì tụ điện c sẽ đưa điện áp ngược đặt lên Tiris Tor T_1 để khoá T_1 lại giống như trong mạch tạo xung áp một chiều ở hình 2.28.

2.6.3. Điều chỉnh số cặp cực của từ trường quay trong động cơ không đồng bộ

Tốc độ quay của từ trường trong động cơ có số cặp cực từ P khi động cơ được cung cấp từ lưới điện có tần số f là :

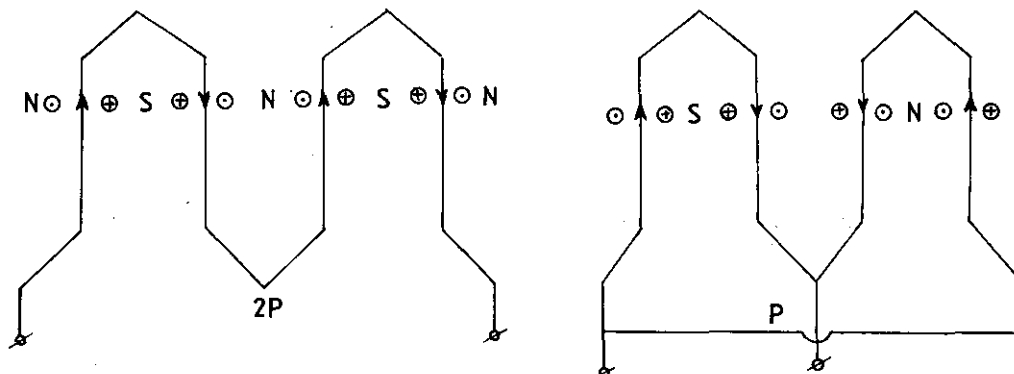
$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{P} \text{ (vòng/phút)}$$

Hay tốc độ góc của từ trường quay :

$$\omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60} = \frac{2\pi \cdot f}{P} = \frac{\omega}{P} \text{ (Rad/gy)}$$

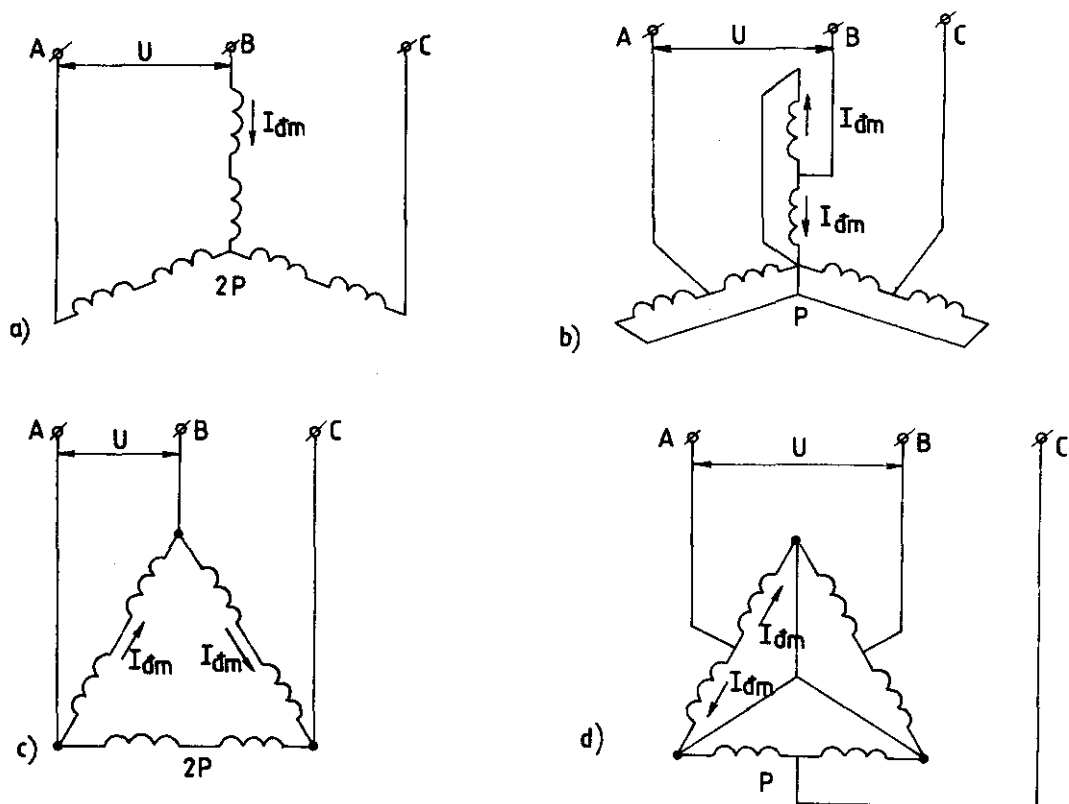
Vì vậy bằng cách thay đổi số cặp cực từ P có thể điều chỉnh tốc độ quay của động cơ.

Đối với các động cơ có thể thay đổi số cặp cực từ P của từ trường quay dây quấn của mỗi pha được phân thành hai phần tương tự như nhau. Khi chuyển từ đấu nối tiếp giữa hai phần này sang đấu song song dòng điện trong một phần giữ nguyên chiều cũ còn trong phần kia dòng điện đảo chiều - xem hình 2.37. Kết quả là số cặp cực từ giảm còn một nửa khiến tốc độ từ trường quay tăng gấp đôi.



Hình 2.37 : Sơ đồ chuyển dây quấn Stator từ đấu nối tiếp sang đấu song song

Trong thực tế khi đấu nối tiếp giữa hai phần của dây quấn mỗi pha dây quấn ba pha của Stato động cơ được đấu theo kiểu sao (λ) hay kiểu tam giác (Δ) - xem hình 2.38a và hình 2.38c. Khi chuyển sau đấu song song giữa hai phần của mỗi pha, dây quấn ba pha của Stato được đấu thành hình sao kép ($\lambda\lambda$) - xem hình 2.38b và hình 2.38d.



Hình 2.38 : Sơ đồ chuyển dây quấn Stato của động cơ không đồng bộ từ đấu λ (a) và Δ (c) sang đấu hình sao kép $\lambda\lambda$ (b và d)

Những động cơ như vậy thường gọi là động cơ hai cấp tốc độ. Khi chuyển dây quấn Stato từ đấu hình sao sang đấu hình sao kép công suất động cơ tiêu thụ từ lưới điện trong từng trường hợp là :

$$P_{1\lambda} = \sqrt{3} U \cdot I_{dm} \cdot \cos \varphi_{1\lambda} \quad \text{Khi đấu } \lambda$$

$$P_{1\lambda\lambda} = 2 \cdot \sqrt{3} U \cdot I_{dm} \cdot \cos \varphi_{1\lambda\lambda} \quad \text{Khi đấu } \lambda\lambda$$

Nếu coi như $\cos \varphi_{1\lambda} = \cos \varphi_{1\lambda\lambda}$ và không xét đến tổn thất trong động cơ thì khi đấu dây quấn Stato theo kiểu $\lambda\lambda$ công suất tăng lên gấp đôi ; tốc độ tăng gấp đôi, còn mômen quay của động cơ là tỉ số giữa công suất và tốc độ góc được duy trì không đổi. Vậy điều chỉnh tốc độ động cơ bằng cách chuyển từ đấu dây quấn Stato hình sao sang hình sao kép thích hợp khi mômen là hằng số. Đặc tính cơ của động cơ hai cấp tốc độ trong trường hợp điều chỉnh với mômen không đổi được trình bày trên hình 2.39. Từ đồ thị hình 2.39 có thể nhận thấy khi thực hiện giảm tốc độ góc từ ω_1 đến ω_2 tồn tại một giai đoạn động cơ chuyển sang chế độ máy phát trả lại năng lượng cho lưới điện. Đối với động cơ hai cấp tốc độ, điều chỉnh tốc độ bằng cách chuyển từ dây quấn Stato đấu tam giác sang đấu hình sao kép như hình 2.38 c,d ta có công suất tiêu thụ từ lưới điện trong mỗi trường hợp là :

$$P_{1\Delta} = 3 \cdot U \cdot I_{dm} \cdot \cos \varphi_{1\Delta}$$

$$P_{1\lambda\lambda} = 2 \cdot \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{dm} \cdot \cos \varphi_{1\lambda\lambda} = 3,46 UI_{dm} \cdot \cos \varphi_{1\lambda\lambda}$$

Nếu cũng coi như $\cos \varphi_{1\Delta} = \cos \varphi_{1\lambda\lambda}$ và so sánh hai biểu thức công suất có thể kết luận khi tiến hành điều chỉnh tốc độ công suất thay đổi không đáng kể. Vậy cách chuyển đổi từ đấu Δ sang đấu $\lambda\lambda$ thích hợp khi công suất truyền động không đổi, tương ứng với các đặc tính cơ trên hình 2.40.

Ngoài động cơ hai cấp tốc độ còn có động cơ ba cấp tốc độ, bốn cấp tốc độ. Ở động cơ bốn cấp tốc độ dây quấn Stato gồm hai cuộn dây độc lập đều có thể chuyển đổi cách đấu theo các sơ đồ hình 2.38. Đối với động cơ ba cấp tốc độ chỉ có một cuộn dây Stato có thể chuyển đổi cách đấu dây còn với cuộn dây kia không thực hiện được chuyển đổi cách đấu dây.

Các động cơ có số đôi cực từ P thay đổi thường là động cơ roto lồng sóc vì từ trường quay của roto được hình thành tương ứng với số đôi cực P của từ trường quay stato. Đối với động cơ roto dây quấn muốn thay đổi số đôi cực từ P phải tiến hành chuyển đổi cả đối với dây quấn stato và dây quấn roto như vậy rất phức tạp ...

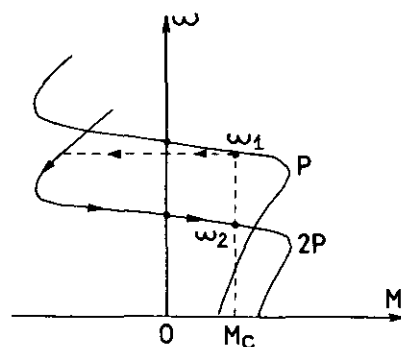
Phương pháp thay đổi số đôi cực P của động cơ có phạm vi điều chỉnh tốc độ hạn chế vì mở rộng phạm vi điều chỉnh sẽ làm tăng kích thước, trọng lượng động cơ. Phương pháp điều chỉnh này không trơn, mà nhảy cấp nhưng có ưu điểm là rất kinh tế vì không có tiêu hao năng lượng phụ và các đường đặc tính cơ khi điều chỉnh vẫn giữ được độ cứng lớn. Phương pháp điều chỉnh tốc độ nhờ thay đổi số đôi cực được sử dụng rộng rãi khi không có yêu cầu về độ trơn điều chỉnh; phương pháp này cũng được sử dụng đối với quạt gió, máy bơm, máy nâng, thang máy ...

2.6.4. Điều chỉnh tần số của nguồn điện cấp cho động cơ.

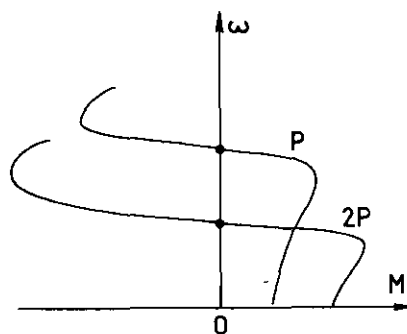
Công nghệ sản xuất các thiết bị điện tử ngày càng hoàn thiện nên các bộ biến đổi tần số tĩnh ngày càng được sử dụng rộng rãi trong kĩ thuật điều chỉnh tốc độ của động cơ không đồng bộ. Điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ bằng cách biến đổi tần số của nguồn điện cấp cho động cơ cho phép xây dựng được họ các đặc tính điều chỉnh của động cơ không đồng bộ tương tự như họ đặc tính điều chỉnh của động cơ một chiều khi biến đổi điện áp.

Từ biểu thức tốc độ của động cơ không đồng bộ

$$n = n_1 (1-s) = \frac{60 f}{P} (1-s)$$



Hình 2.39 : Đặc tính cơ của động cơ hai cấp tốc độ, điều chỉnh tốc độ với mômen không đổi.



Hình 2.40 : Đặc tính cơ của động cơ hai cấp tốc độ, điều chỉnh tốc độ với công suất không đổi.

nếu thay đổi tần số f của nguồn điện cấp cho động cơ có thể điều chỉnh trơn tốc độ của động cơ. Đối với động cơ không đồng bộ roto lồng sóc chỉ có điều chỉnh tần số mới thực hiện điều chỉnh trơn tốc độ trong phạm vi rộng.

Khi điều chỉnh tần số f cần thiết bảo đảm cho các đặc tính điều chỉnh có độ cứng β lớn trong toàn bộ phạm vi điều chỉnh và động cơ phải bảo đảm khả năng quá tải. Điều này có thể đạt được nếu động cơ vận hành với từ thông không đổi $\phi = \text{const}$.

Đối với động cơ không đồng bộ nếu bỏ qua điện áp rơi trên điện trở và điện cảm dây quấn stato, ta có biểu thức :

$$U_1 \approx E_1 = 4,44 \, \text{kg} q_1 \cdot W_1 f \cdot \phi$$

suy ra
$$\Phi = K \cdot \frac{U_1}{f} \quad (2.94)$$

với
$$K = \frac{1}{4,44 \, \text{kg} \, q_1 \, W_1}$$
 là một hằng số

Từ (2.94) nếu giữ U_1 không đổi và giảm tần số f , ví dụ, xuống còn một nửa trị số ban đầu thì từ thông ϕ tăng lên gấp đôi, mạch từ máy điện trở nên rất bão hoà. Trong trường hợp như vậy dòng điện từ hoá và tổn thất sắt trong lõi thép stato sẽ lớn đến mức làm động cơ phát nóng dữ dội và có thể bị cháy động cơ.

Để bảo đảm cho mạch từ máy điện làm việc với từ thông không đổi bằng từ thông định mức với mọi giá trị của tần số f cần thiết phải biến đổi điện áp U_1 cùng với tần số f theo quy luật :

$$\frac{U_1}{f} = \frac{\Phi}{K} = \text{const} \quad (2.95)$$

nếu giảm tần số f thì đồng thời phải giảm điện áp U_1 đặt vào động cơ và ngược lại, khi đó từ thông ϕ được duy trì không đổi bảo đảm cho mạch từ máy điện luôn luôn làm việc ở chế độ định mức.

Khi thay đổi tần số theo quy luật (2.95) tốc độ từ trường quay $\omega_1 = \frac{2\pi f}{P} = \frac{\omega}{P}$ biến đổi tỉ lệ theo f ; hệ số trượt tới hạn :

$$s_K = \frac{R'_2}{x_1 + x'_2} = \frac{R'_2}{2\pi f (L_1 + L'_2)} = \frac{R'_2}{2\pi f (L_1 + K_e \cdot K_i \cdot L_2)}$$

biến thiên tỉ lệ nghịch với f còn mômen tới hạn

$$M_{\text{max}} = \frac{3P}{2\omega} \cdot U_1^2 \cdot \frac{1}{(x_1 + x'_2)} = \frac{3P}{8\pi^2} \cdot \frac{\Phi^2}{K^2 (L_1 + K_e \cdot K_i \cdot L_2)} \quad (2.96)$$

có trị số không thay đổi. Trên đồ thị hình 2-41 trình bày họ đặc tính cơ khi điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ bằng cách biến thiên tần số f . Đối với các tần số f có trị số nhỏ các điện kháng tản của dây quấn stato là $x_1 = 2\pi f \cdot L_1$ và của dây quấn roto là $x_2 = 2\pi f L_2$ trở nên khá nhỏ nên không thể bỏ qua điện trở R_1 của dây quấn roto nữa. Mômen tới hạn được xác định theo biểu thức có chứa điện trở R_1 của dây quấn stato.

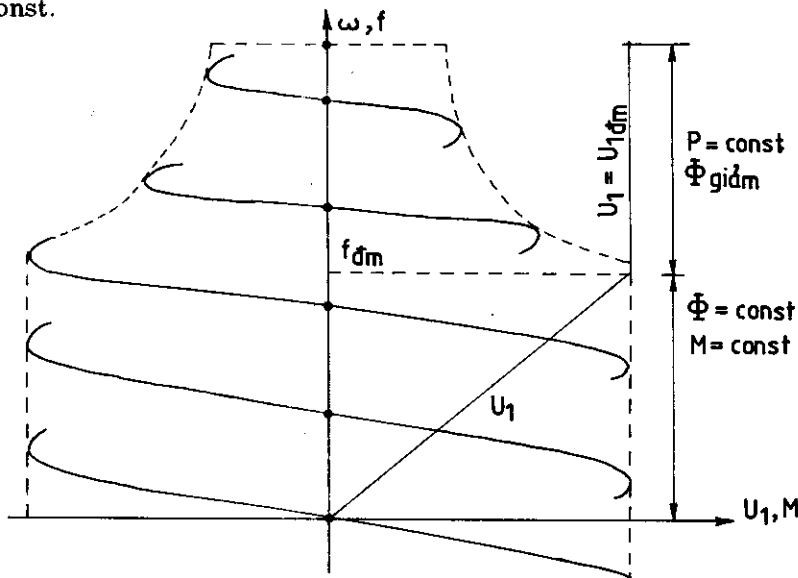
$$M_{\max} = \frac{3P}{2\omega} \cdot \frac{U_1^2}{R_1 + \sqrt{R_1^2 + (x_1 + x'_2)^2}}$$

Mặt khác do ảnh hưởng mạnh của điện áp rơi trên dây quấn stato khi f nhỏ và U_1 nhỏ nên mômen giới hạn $M_{\max}$ bị suy giảm ở các tần số thấp. Xem hình 2.41. Từ đồ thị hình 2.41 có thể thấy các đặc tính điều chỉnh có độ cứng tương đối lớn bằng độ cứng của đặc tính cơ tự nhiên khi $f = f_{dm}$.

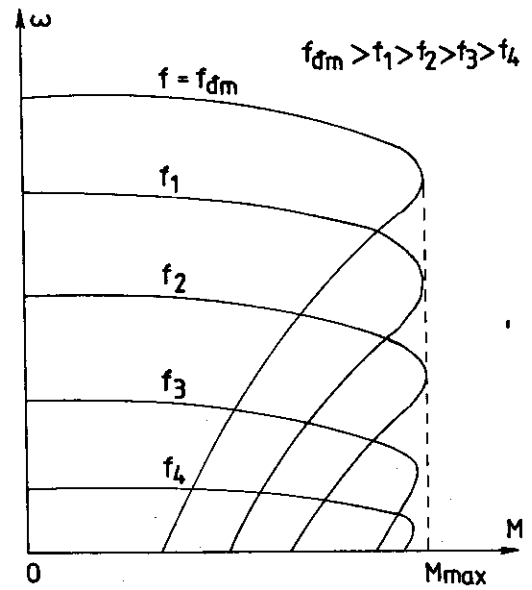
Để duy trì khả năng quá tải của động cơ ở tần số làm việc thấp người ta giảm điện áp U_1 với mức độ ít hơn so với mức độ giảm tần số f để cho $M_{\max}$ không bị suy giảm.

Nếu xuất phát từ các tần số f thấp khi tăng dần cần phải tăng điện áp U_1 một cách tỉ lệ: $U_1 = \frac{\Phi}{K} f = K'f$. Khi tần số f đạt trị số f_{dm} thì điện áp U_1 cũng đạt trị số điện áp định mức của lưới điện $U_1 = U_{1dm}$. Vì dây quấn động cơ không cho phép điện áp đặt vào được lớn hơn điện áp U_{1dm} nên khi tăng tần số đến các trị số lớn hơn f_{dm} ta không được phép tăng U_1 nữa mà phải duy trì $U_1 = U_{1dm} = \text{const}$. Trong trường hợp đó theo quan hệ (2.94) từ thông Φ trong động cơ giảm. Cho nên mômen tối hạn $M_{\max}$ theo (2.96) bị suy giảm.

Trên đồ thị hình 2.42 trình bày các quan hệ $\omega = f(M)$, và $U_1 = f(f)$ khi điều chỉnh tần số của điện áp nguồn cung cấp cho động cơ trong hai trường hợp: Khi điều chỉnh tốc độ ω ở vùng phía dưới các tốc độ cơ bản xác định bởi đặc tính cơ tự nhiên, tương ứng với các điện áp $U_1 < U_{1dm}$ và khi điều chỉnh tốc độ ở phía lớn hơn các tốc độ cơ bản với điện áp $U_1 = U_{1dm} = \text{const}$.



Hình 2.42: Đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ khi điều chỉnh f và quan hệ $U_1 = f(f)$



Hình 2.41: Đặc tính cơ động cơ không đồng bộ khi điều chỉnh tần số f của nguồn điện cấp cho động cơ.

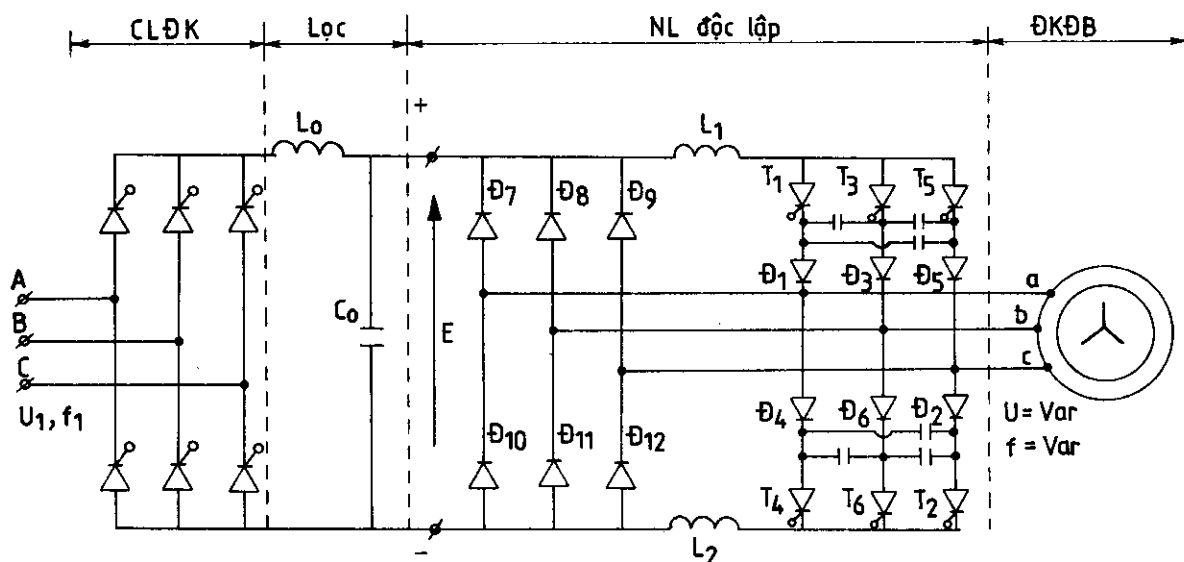
Tóm lại cũng tương tự như đối với động cơ điện một chiều khi điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ bằng phương pháp biến đổi tần số cũng tồn tại hai cách điều chỉnh tốc độ cách này tiếp theo cách kia :

- a) Điều chỉnh với mômen không đổi $M = \text{const}$ hoặc từ thông không đổi $\phi = \text{const}$.
- b) Điều chỉnh với công suất không đổi $P = \text{const}$ hoặc khi từ thông ϕ suy giảm :

Để biến thiên tần số của điện áp và dòng điện cung cấp cho động cơ không đồng bộ có thể sử dụng các loại thiết bị biến đổi tần số khác nhau, làm việc theo các nguyên tắc khác nhau. Song các thiết bị biến tần dùng các linh kiện điện tử công suất được sử dụng ngày càng phổ biến nhờ đáp ứng được tốc độ tác động nhanh, độ chính xác cao, và cho phép dễ dàng tự động hoá quá trình điều khiển.

Trên hình 2.43 trình bày sơ đồ nguyên lý của bộ biến tần gián tiếp nguồn áp bao gồm các khối chức năng chính :

- Khối chỉnh lưu điều khiển cầu ba pha (CLĐK)
- Khâu trung gian một chiều $L_0 - C_0$ là khối lọc điện để tạo điện áp một chiều $E = \text{const}$.
- Khối nghịch lưu độc lập (NL). Trong khối nghịch lưu ba pha các diốt $D_7 \div D_{12}$ tạo thành cầu ba pha đấu song song ngược với cầu ba pha tạo nên bởi các Tiristor $T_1 \div T_6$, cho phép dòng tải trả năng lượng phản kháng về nguồn nhờ tụ điện C_0 .
- Khối động cơ không đồng bộ 3 pha (ĐKĐB)



Hình 2.43 : Sơ đồ nguyên tắc của biến tần gián tiếp nguồn áp dùng khóa Tiristor

Xét nguyên tác làm việc của sơ đồ hình 2.43 :

Thứ tự mở của các khoá tiristor là $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$ như hình 2.44b. Các khoá tiristor được điều khiển mở lệch pha nhau một khoảng thời gian bằng $\frac{1}{6}$ của chu kỳ T điện áp đặt vào động cơ. Mỗi tiristor mở cho dòng chạy qua trong khoảng dẫn $\lambda = \pi$; vậy tại mỗi thời điểm có ba tiristor cùng mở, hai ở nhóm này và một ở nhóm kia theo các nhóm sau :

(T_1, T_6, T_5)	cùng mở trong khoảng	từ $0 + \theta_1$
(T_1, T_6, T_2)	cùng mở trong khoảng	từ $\theta_1 + \theta_2$
(T_1, T_2, T_3)	cùng mở trong khoảng	từ $\theta_2 + \theta_3$
(T_4, T_2, T_3)	cùng mở trong khoảng	từ $\theta_3 + \theta_4$
(T_4, T_5, T_3)	cùng mở trong khoảng	từ $\theta_4 + \theta_5$
(T_4, T_5, T_6)	cùng mở trong khoảng	từ $\theta_5 + 2\pi$

Khi một trong các tiristor thuộc nhóm anốt chung (T_1 hoặc T_3 , hoặc T_5) mở thì dòng có chiều từ nguồn chạy vào động cơ nghĩa là $i > 0$; ngược lại $i < 0$ nghĩa là dòng từ động cơ chạy về cực âm nguồn khi một trong các tiristor thuộc nhóm Katốt chung mở (hoặc T_4 , hoặc T_2 , hoặc T_6 mở)

Khi các Tiristor T_1 hay T_4 mở dòng pha a hình thành còn khi T_3 hoặc T_6 và T_2 hoặc T_5 mở thì dòng pha b và pha c xuất hiện

Có thể xét quá trình tạo các điện áp các pha a,b,c của động cơ qua sự hình thành sáu tổ hợp đầu dây giữa các pha a,b,c của động cơ tương ứng với sáu nhóm các tiristor cùng mở dẫn điện như hình 2.44a. Giả thiết động cơ có dây quấn stato đầu hình sao và có tổng trở các pha $Z_a = Z_b = Z_c$, điện áp các pha là u_a, u_b, u_c . Xét trong khoảng thời gian từ $0 + \theta_1$ các Tiristor T_1, T_5, T_6 cùng mở. Từ sơ đồ nối dây giữa các pha ở hình 2.44a ta có :

$$u_a = u_c = \frac{E}{Z + \frac{Z}{2}} \cdot \frac{Z}{2} = \frac{E}{3}$$

$$u_b = \frac{-E}{Z + \frac{Z}{2}} \cdot Z = -\frac{2E}{3}$$

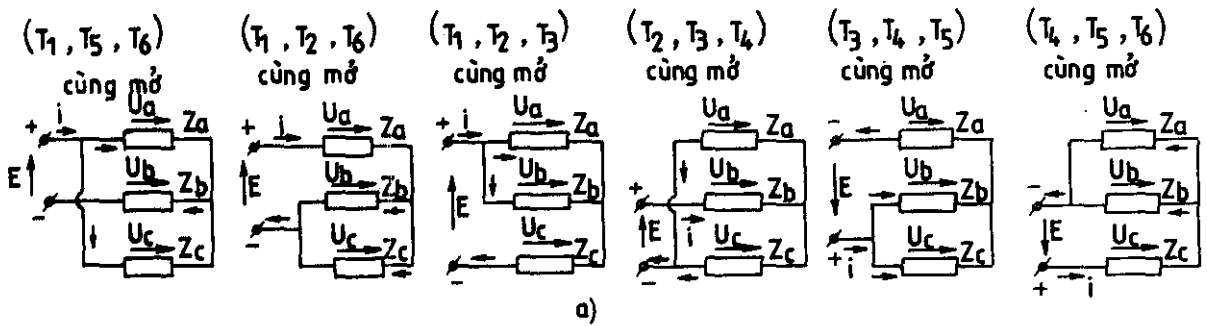
Tương tự suy ra các điện áp u_a, u_b, u_c trong năm khoảng tiếp theo của chu kì T của điện áp động cơ. Các điện áp pha u_a, u_b được trình bày trên hình 2.44 c và d. Điện áp dây $u_{ab} = u_a - u_b$ được vẽ trên hình 2.44e. Các điện áp pha và điện áp dây lệch pha nhau góc $\frac{2\pi}{3}$.

Giá trị hiệu dụng của điện áp pha tính cho pha bất kì như pha a chẳng hạn :

$$U_p = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \cdot 2 \left[\int_0^{\frac{\pi}{3}} \left(\frac{E}{3}\right)^2 d\theta + \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} \left(\frac{2E}{3}\right)^2 d\theta + \int_{\frac{2\pi}{3}}^{\pi} \left(\frac{E}{3}\right)^2 d\theta \right]} = \frac{\sqrt{2}}{3} E$$

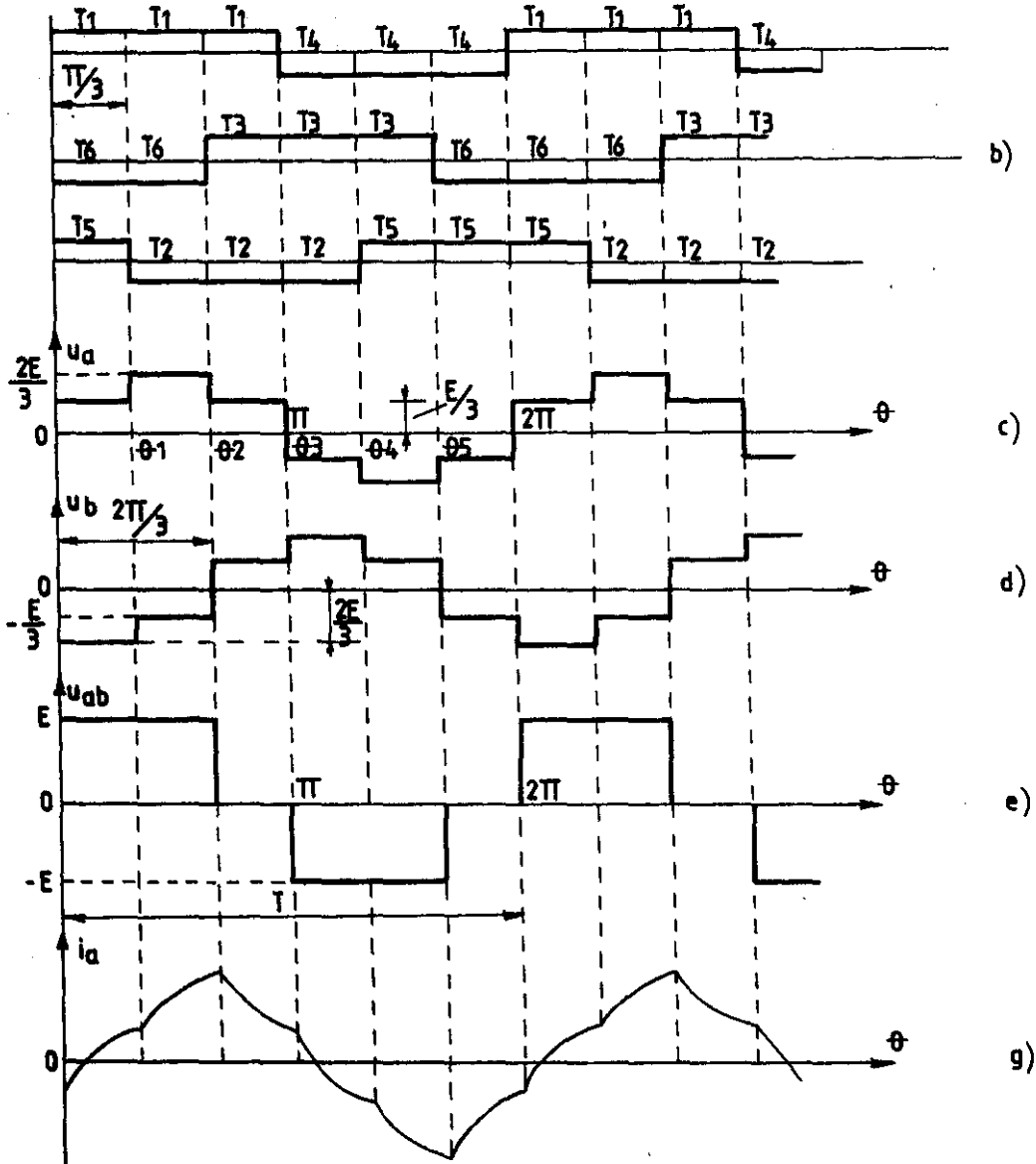
Đối với trường hợp tải là động cơ có tính cảm kháng ($R + L$) nên dòng tải của các pha là dòng xoay chiều không điều hoà bao gồm các đoạn đường cong tăng trưởng và suy giảm theo hàm mũ như hình 2.44g đối với dòng i_a của pha a của động cơ.

Muốn điều chỉnh tần số f của điện áp trên tải ta điều chỉnh khoảng thời gian mở giữa các Tiristor $\frac{T}{6}$.



$$u_a = u_c = \frac{E}{3}; u_a = \frac{2E}{3}; u_a = u_b = \frac{E}{3}; u_a = u_c = -\frac{E}{3}; u_a = -\frac{2E}{3}; u_a = u_b = -\frac{E}{3}$$

$$u_b = -\frac{2E}{3}; u_b = u_c = -\frac{E}{3}; u_c = -\frac{2E}{3}; u_b = \frac{2E}{3}; u_b = u_c = \frac{E}{3}; u_c = \frac{2E}{3}$$



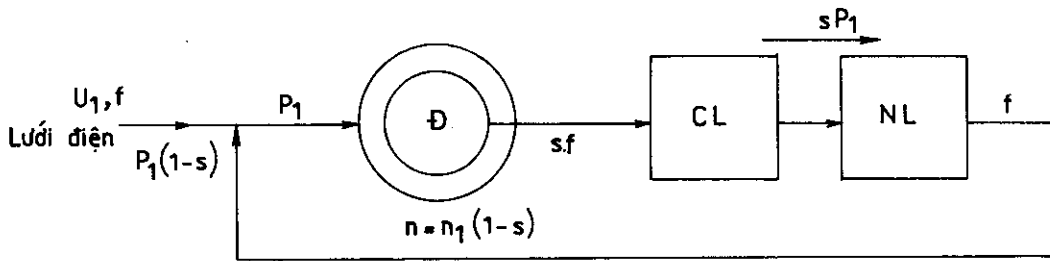
Hình 2.44 : a) các tổ hợp dấu dây quấn stato khi các khoá hoạt động b) ; c) ; d) ; e) ; g) : đồ thị điện áp và dòng điện của động cơ.

Còn để điều chỉnh điện áp trên tải U_p ta chỉ việc điều chỉnh trị số của sức điện động chỉnh lưu E của bộ chỉnh lưu có điều khiển bằng cách thay đổi góc mở α của các tiristor trong khối chỉnh lưu hoặc dùng các phương pháp điều chế độ rộng các xung áp bằng chỉnh nghịch lưu.

2.6.5. Điều chỉnh công suất trượt

Đối với động cơ không đồng bộ roto dây quấn có thể điều chỉnh tốc độ bằng cách điều chỉnh công suất trượt ΔP_{Cu_2} trên mạch điện roto.

Ở các hệ thống truyền động công suất lớn tổn hao này là đáng kể. Để vừa điều chỉnh được tốc độ, vừa tận dụng được công suất trượt tiêu tán trong mạch roto người ta sử dụng các sơ đồ điều chỉnh công suất trượt gọi là các sơ đồ nối tầng làm việc theo nguyên tắc chỉnh lưu sức điện động ba pha của dây quấn roto rồi qua bộ nghịch lưu phụ thuộc nhằm trả lại năng lượng trượt về cho lưới điện. Vậy mạch điện nối tầng đòi hỏi một bộ chỉnh lưu và một bộ nghịch lưu phụ thuộc nối theo sơ đồ nguyên tắc hình 2.45.



Hình 2.45 : Sơ đồ nguyên tắc mạch nối tầng của động cơ không đồng bộ

Phương pháp điều chỉnh tốc độ bằng mạch nối tầng cho phép tận dụng được công suất trượt lẽ ra là bị tiêu hao trên dây quấn roto và trên điện trở điều chỉnh. Ta có quan hệ $\Delta P_{Cu_2} = s.P_{dt} \approx s.P_1$ nếu bỏ qua tổn thất đồng stato ΔP_{Cu_1} và tổn thất sắt ΔP_{Fe} .

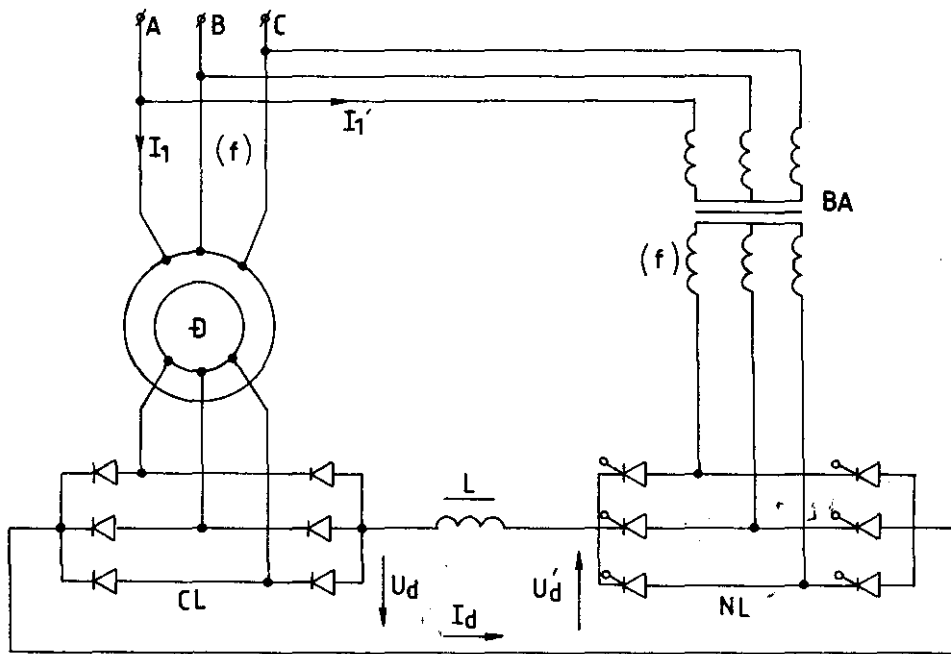
ΔP_{Cu_2} là công suất trượt được trả lại cho nguồn, P_1 là công suất động cơ tiêu thụ từ lưới

P_{dt} : là công suất điện từ của từ trường quay. Vậy công suất lưới điện truyền cho hệ thống là

$$P_1 - sP_1 = P_1(1-s)$$

Phương pháp điều chỉnh công suất trượt cho phép nâng cao hiệu suất của điều chỉnh tốc độ. Để thực hiện mạch nối cấp trong thực tế người ta sử dụng mạch chỉnh lưu diốt cầu ba pha (CL) nối tiếp với bộ nghịch lưu phụ thuộc (NL) có điều khiển như sơ đồ hình 2.46.

Mạch chỉnh lưu CL biến đổi công suất trượt ΔP_{Cu_2} có tần số $f_2 = sf$ thành công suất của dòng một chiều i_d . Bộ nghịch lưu phụ thuộc NL có nhiệm vụ biến đổi công suất một chiều này thành công suất mạch ba pha có tần số bằng tần số f của lưới điện và trả lại cho lưới điện qua biến áp ba pha có tỉ số biến đổi điện áp là k . Để điều chỉnh công suất trượt trả lại cho lưới điện cần thay đổi góc điều khiển mở các tiristor là α của bộ nghịch lưu. Theo lý thuyết ở chế độ nghịch lưu, góc điều khiển α biến đổi từ 90° đến 180° .



Hình 2.46 : Sơ đồ mạch nối tăng của động cơ không đồng bộ

Cuộn dây san bằng L để san bằng dòng chỉnh lưu : $i_d = I_d$. Gọi U_1 là điện áp pha đặt vào dây quấn stato, E_{2s} là sức điện động mỗi pha của dây quấn roto khi động cơ có tốc độ quay là n . Bởi vì

$$U_1 \approx E_1 = 4,44 \cdot f \cdot W_1 K_{gq1} \cdot \phi$$

$$E_{2s} = s \cdot E_2 = s \cdot 4,44 f W_2 K_{gq2} \phi$$

Nên
$$\frac{E_{2s}}{U_1} = s \cdot \frac{W_2 K_{gq2}}{W_1 K_{gq1}} = s \cdot k_e.$$

Hoặc là
$$E_{2s} = U_1 \cdot s \cdot k_e \quad (2.97)$$

với $k_e = \frac{W_2 K_{gq2}}{W_1 K_{gq1}}$ là tỉ số biến đổi sức điện động của động cơ không đồng bộ

Điện áp ở đầu ra của bộ chỉnh lưu là :

$$U_d = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} \cdot E_{2s} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} s \cdot k_e \cdot U_1$$

Điện áp của bộ nghịch lưu :

$$U'_d = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} k \cdot U_1 \cdot \cos \alpha$$

Khi động cơ chạy không tải, mômen của động cơ rất nhỏ có thể bỏ qua, dòng chỉnh lưu I_d cũng sắp xỉ bằng không mặt khác các điện áp U_d và U'_d bằng nhau về trị số nhưng ngược dấu nhau :

$$U_d = -U'_d \rightarrow \frac{3\sqrt{6}}{\pi} s_o \cdot k_e \cdot U_1 = -\frac{3\sqrt{6}}{\pi} k \cdot U_1 \cos \alpha$$

với s_o : là hệ số trượt khi động cơ của hệ thống nối tầng quay không tải với tốc độ không tải n_o

Từ đẳng thức trên suy ra

$$s_o = -\frac{k}{k_e} \cos \alpha \quad (2.98)$$

Vì ở chế độ nghịch lưu $90^\circ < \alpha < 180^\circ$ nên $\cos \alpha < 0$ suy ra $s_o > 0$

Theo biểu thức tính hệ số trượt $s = \frac{n_1 - n}{n_1}$,

khi hệ thống nối tầng quay không tải thì hệ số trượt tương ứng $s_o = \frac{n_1 - n_o}{n_1} > 0$

cho nên $n_o < n_1$. Từ các phân tích trên có thể kết luận tốc độ không tải của hệ thống nối tầng n_o nhỏ hơn tốc độ từ trường quay n_1 và thay đổi theo trị số của góc điều khiển mở các tiristor α của bộ nghịch lưu.

Trên hình 2.47 trình bày quan hệ $U_d = f(s)$ và $U'_d = f(\alpha)$

Từ các đồ thị hình 2.47 thấy rằng :

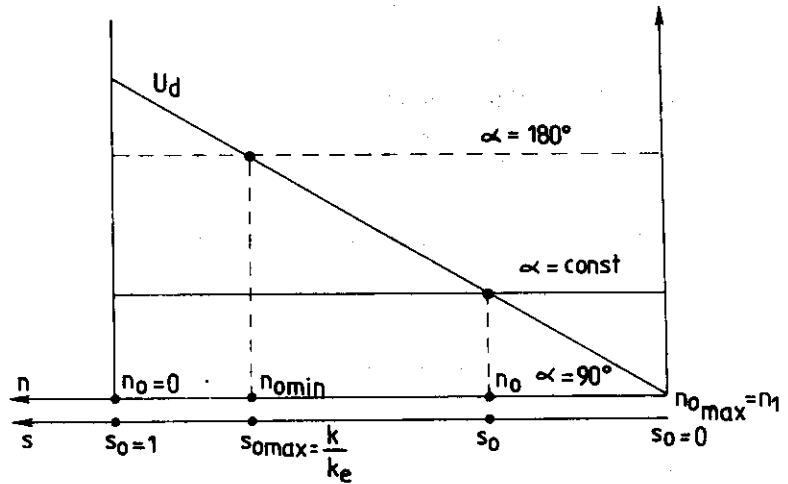
Khi biến thiên góc α từ 90° đến 180° hệ số trượt không tải biến thiên từ giá trị nhỏ nhất $s_o = 0$ đến giá trị lớn nhất $s_{o_{\max}} = \frac{k}{k_e}$.

Còn tốc độ không tải của hệ thống nối tầng biến thiên từ giá trị lớn nhất $n_{o_{\max}} = n_1$ đến giá trị nhỏ nhất $n_{o_{\min}} = n_1 (1 - s_{o_{\max}}) = n_1 \left(1 - \frac{k}{k_e}\right)$. Nếu chọn $k = k_e$ thì $n_{o_{\min}} = 0$ ứng với $s_{o_{\max}} = 1$.

Trong thực tế người ta xác định một trị số lớn nhất của độ trượt không tải $s_{o_{\max}} = \frac{k}{k_e}$ để có một tốc độ không tải $n_{o_{\min}} = n_1 \left(1 - \frac{k}{k_e}\right)$ theo yêu cầu điều chỉnh. Như vậy thấy rõ tốc độ không tải n_o (hay độ trượt không tải s_o) tùy thuộc vào góc mở α của các tiristor, nên điều chỉnh α dẫn tới điều chỉnh tốc độ quay của động cơ.

Phạm vi điều chỉnh tốc độ phụ thuộc vào tỉ số $\frac{k}{k_e}$, khi $\frac{k}{k_e} = 1$, ta có phạm vi điều chỉnh lớn nhất.

Trong hệ thống nối tầng hiệu số giữa công suất điện từ của từ trường quay P_{dt} và công suất chuyển thành cơ năng làm quay roto P'_2 là :



Hình 2.47 : Các quan hệ $U_d = f(s); U'_d = f(\alpha)$

$$P_{dt} - P'_2 = \Delta P_{Cu_2} + U_d \cdot I_d \quad (2.99)$$

ở đây ΔP_{Cu_2} là phần tổn hao trên dây quấn roto.

$U_d \cdot I_d$: là công suất của mạch chỉnh lưu nối tiếp với nghịch lưu. Biểu thức (2.99) có thể viết dưới dạng sau nếu bỏ qua tổn thất ΔP_{Cu_2} :

$$M \cdot \frac{2\pi n_1}{60} - M \cdot \frac{2\pi n}{60} \approx U_d \cdot I_d \text{ hoặc } M \cdot \frac{2\pi n_1}{60} \left(\frac{n_1 - n}{n_1} \right) \approx U_d \cdot I_d \quad (2.100)$$

suy ra

$$P_{dt} \cdot s \approx U_d \cdot I_d$$

Biểu thức (2.100) có thể viết dưới dạng

$$M \cdot \frac{2\pi n_1}{60} s = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} k_e \cdot s \cdot U_1 \cdot I_d$$

suy ra biểu thức mômen động cơ :

$$M = \frac{90\sqrt{6}}{\pi^2} \cdot \frac{k_e}{n_1} \cdot U_1 \cdot I_d \quad (2.101)$$

Trong biểu thức (2-101) dòng chỉnh lưu I_d tỉ lệ với hiệu các điện áp U_d và U'_d :

$$(U_d - U'_d) = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} (k_e s - k \cdot \cos \alpha) U_1$$

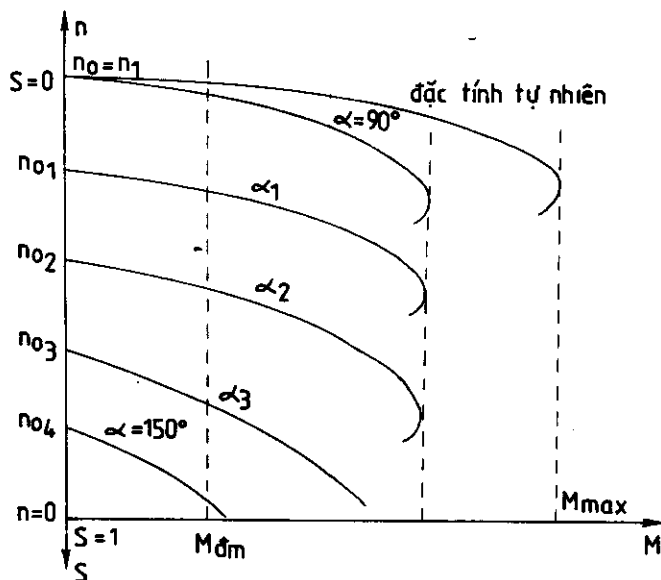
Với góc mở α không đổi nếu tăng hệ số trượt s dòng I_d tăng nên mômen M tăng còn tốc độ $n = n_1(1-s)$ giảm.

$$\text{Khi } I_d = 0, M = 0 \text{ ta có } s = s_0 = \frac{k}{k_e} \cos \alpha = \frac{n_1 - n_0}{n_1} \text{ và } n_0 = n_1 \left(1 + \frac{k}{k_e} \cos \alpha \right)$$

Khi $\alpha = 90^\circ$ thì $n_0 = n_1$

Khi $90^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ ta có $n_{0_{\min}} <$

$n_0 < n_1$ với $n_{0_{\min}} = n_1 \left(1 - \frac{k}{k_e} \right)$. Từ các phân tích trên có thể kết luận đặc tính cơ là một họ đường có độ dốc hầu như không đổi như trên hình 2.48. Thực tế do có hiện tượng chuyển mạch giữa các Tiristor nên các đặc tính hơi dốc hơn ở vùng tốc độ thấp. Mômen tới hạn của hệ thống nối tăng nhỏ hơn mômen tới hạn của động cơ trên đặc tính cơ tự nhiên là do có sụt áp gây ra trên điện trở của mạch một chiều, trên điện trở và điện kháng tản của máy biến áp và do sụt áp gây nên bởi hiện tượng chuyển mạch của nghịch lưu và chỉnh lưu.



Hình 2.48 : Họ đặc tính điều chỉnh của hệ thống nối tăng khi góc mở α thay đổi.

Chương III

CHỌN CÔNG SUẤT ĐỘNG CƠ ĐIỆN

3.1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ CHỌN CÔNG SUẤT ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Chọn công suất của động cơ điện nhằm thực hiện nhiệm vụ đặt ra đối với hệ thống truyền động điện. Để tiến hành chọn công suất động cơ cần phải tính toán phụ tải không những ở chế độ làm việc xác lập mà còn cả ở chế độ quá độ. Nhằm mục đích đó người ta thiết lập các đồ thị phụ tải mô tả quan hệ mômen quay M , công suất P và dòng điện i của động cơ theo thời gian :

$$M = f_1(t) ; P = f_2(t) ; i = f_3(t)$$

Động cơ có công suất lựa chọn được tương ứng với đồ thị phụ tải phải bảo đảm luôn làm việc đầy tải mà không bị phát nóng quá mức giới hạn cho phép. Động cơ còn phải bảo đảm làm việc bình thường khi bị quá tải ngắn hạn và có mômen khởi động đủ lớn để bảo đảm khởi động được cơ cấu làm việc.

Trong đa số các trường hợp việc chọn công suất động cơ được tiến hành theo điều kiện phát nóng sau đó được kiểm nghiệm lại theo khả năng quá tải.

3.1.1. Phát nóng và nguội lạnh của động cơ điện

Khi động cơ làm việc tổn thất năng lượng trong động cơ $\Delta W = \int_0^t \Delta P dt$ sẽ làm cho động cơ phát nóng, nhiệt độ động cơ sẽ tăng và trở nên lớn hơn nhiệt độ môi trường xung quanh. Gọi τ là chênh lệch giữa nhiệt độ động cơ và nhiệt độ môi trường tính bằng $^{\circ}\text{C}$, và coi động cơ là vật thể đồng nhất ta có phương trình cân bằng nhiệt của động cơ khi làm việc với phụ tải không đổi :

$$Q \cdot dt = A \cdot \tau dt + c d\tau \quad (J) \quad (3.1)$$

Trong đó :

Q : là nhiệt lượng do động cơ phát ra trong đơn vị thời gian tính bằng $\text{J/g} \cdot \text{s}$.

C : là nhiệt dung của máy điện, là nhiệt lượng cần thiết để nâng nhiệt độ của động cơ lên 1°C $\left(\frac{\text{J}}{\text{độ}} \right)$.

A là hệ số tỏa nhiệt, là lượng nhiệt động cơ toả ra môi trường xung quanh trong một đơn vị thời gian khi chênh lệch nhiệt độ bằng 1°C $(\text{J/g} \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C})$. Hệ số A phụ thuộc tốc độ truyền nhiệt của không khí làm mát máy điện (ở động cơ có quạt làm mát, hệ số A phụ thuộc vào tốc độ quay).

Quá trình phát nóng của động cơ được đặc trưng bởi quan hệ của chênh lệch nhiệt độ động cơ so với môi trường theo thời gian $\tau = f(t)$, quan hệ này suy ra từ phương trình (3-1). Từ phương trình này ta suy ra :

$$dt = \frac{C \cdot d\tau}{Q - A \cdot \tau} \quad (3.2)$$

Sau khi tích phân hai vế ta có :

$$t = -\frac{C}{A} \ln (Q - A\tau) + K \quad (3.3)$$

Gọi chênh lệch nhiệt độ tại $t = 0$ là τ_0 ta xác định được hằng số tích phân :

$$K = \frac{C}{A} \ln (Q - A\tau_0)$$

Thay trị số của K vào (3.3) ta có :

$$t = -\frac{C}{A} \left[\ln (Q - A\tau) - \ln (Q - A\tau_0) \right] = -\frac{C}{A} \ln \frac{Q - A\tau}{Q - A\tau_0} \quad (3.4)$$

Từ (3-4) suy ra : $-\frac{A}{C}t = \ln \frac{Q - A\tau}{Q - A\tau_0}$

$$e^{-\frac{A}{C}t} = \frac{Q - A\tau}{Q - A\tau_0}$$

Từ đó xác định được chênh lệch nhiệt độ giữa động cơ và môi trường xung quanh :

$$\tau = \frac{Q}{A} (1 - e^{-\frac{A}{C}t}) + \tau_0 e^{-\frac{A}{C}t} \quad (3-5)$$

đặt $\frac{C}{A} = T_H$ và $\frac{Q}{A} = \tau_\infty$ Ta có phương trình mô tả quá trình tăng trưởng của chênh lệch nhiệt giữa động cơ và môi trường khi động cơ phát nóng :

$$\tau = \tau_\infty (1 - e^{-t/T_H}) + \tau_0 e^{-t/T_H} \quad (3-6)$$

Nếu tại thời điểm ban đầu nhiệt độ động cơ và môi trường bằng nhau. Ta có $\tau_0 = 0$ và phương trình phát nóng (3-6) của động cơ có dạng :

$$\tau = \tau_\infty (1 - e^{-t/T_H}) \quad (3.7)$$

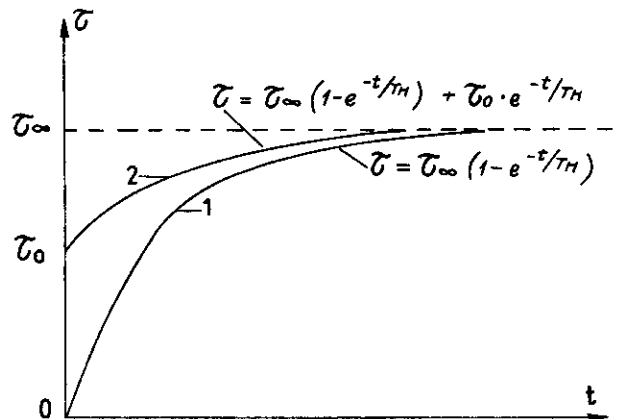
Dựa vào (3-6) và (3-7) có thể vẽ được đường cong phát nóng của động cơ trong hai trường hợp $\tau_0 = 0$ và $\tau_0 \neq 0$ như các đường cong 1 và 2 trên hình 3.1.

Để xét ý nghĩa của các trị số τ_∞ và T_H , ta xét các biểu thức (3-5) và (3-6).

Thực vậy khi thời gian đủ lớn tức là $t = \infty$ ta có : $\tau = \tau_\infty = \frac{Q}{A}$.

Đại lượng này chính là chênh lệch nhiệt độ ổn định giữa động cơ và môi trường xung quanh sau một khoảng thời gian đủ lớn. Còn đại lượng

$T_H = \frac{C}{A}$ (gy) được gọi là hằng số thời gian phát nóng đặc trưng cho tốc độ phát nóng của động cơ. Có thể hình dung đó là khoảng thời



Hình 3.1 : Các đường cong phát nóng của động cơ điện

gian cần thiết để động cơ đạt tới nhiệt độ ổn định τ_{∞} với giả thiết toàn bộ nhiệt lượng được tích tụ lại trong động cơ mà không được phát ra môi trường xung quanh. Điều này có thể được giải thích nếu thay $A = 0$ vào phương trình cân bằng nhiệt (3-1) ta có :

$$Q \, dt = C \, d\tau$$

và nếu xét trường hợp $\tau_0 = 0$ sau khi tích phân ta được biểu thức

$$t = \frac{C}{Q} \cdot \tau \quad (3.8)$$

Sau khi thay $\tau = \tau_{\infty} = \frac{Q}{A}$ vào (3-8) ta được giá trị của khoảng thời gian cần thiết để nhiệt độ động cơ đạt trị số ổn định τ_{∞} là t_{od} :

$$t_{od} = \frac{C}{Q} \tau_{\infty} = \frac{C}{A} = T_H$$

Trong điều kiện thực tế có tồn tại sự phát xạ nhiệt từ động cơ ra môi trường xung quanh nên sau khoảng thời gian bằng T_H nhiệt độ động cơ chỉ có thể đạt tới trị số $\tau = 0,632 \tau_{\infty}$. Trị số này được xác định từ (3-7) khi thay $t = T_H$, ta được :

$$\tau = \tau_{\infty} (1 - e^{-1}) = 0,632 \tau_{\infty} \quad (3.9)$$

Dựa vào trị số $0,632 \tau_{\infty}$ ta xác định được hằng số thời gian phát nóng của động cơ T_H như trên đồ thị hình 3-2 ; cũng có thể xác định T_H bằng phương pháp kẻ tiếp tuyến với đường cong phát nóng như trên đồ thị hình 3-3. Phương pháp thứ hai này suy ra bằng cách lấy đạo hàm biểu thức (3-7) :

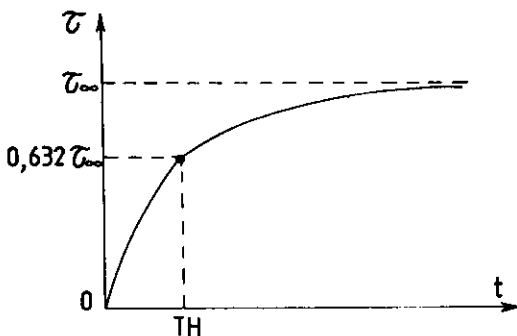
$$\frac{d\tau}{dt} = \frac{\tau_{\infty}}{T_H} e^{-t/T_H}$$

Tại $t = 0$ ta có : $\frac{d\tau}{dt} = \frac{\tau_{\infty}}{T_H} = \operatorname{tg} \alpha$

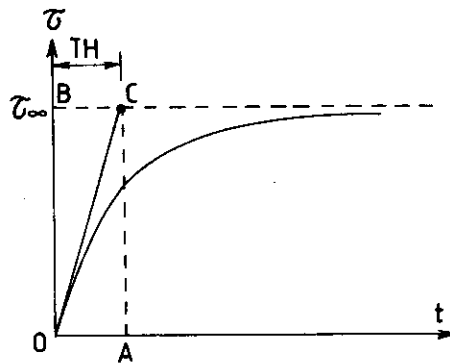
suy ra $T_H = \frac{\tau_{\infty}}{\operatorname{tg} \alpha}$

Trên hình 3.3 ta thấy $\tau_{\infty} = AC$ còn $\operatorname{tg} \alpha = \frac{AC}{OA}$ còn $OA = BC$ nên :

$$T_H = BC$$



Hình 3.2 : Xác định hằng số thời gian phát nóng T_H theo trị số $0,632 \tau_{\infty}$



Hình 3.3 : Xác định hằng số thời gian phát nóng bằng đường tiếp tuyến với đường cong phát nóng

Khi động cơ ngừng vận hành nhiệt độ động cơ giảm và xảy ra quá trình nguội lạnh động cơ. Chênh lệch nhiệt độ τ khi động cơ nguội lạnh giảm dần. Khi đó quan hệ $\tau = f(t)$ khi động cơ nguội lạnh từ trị số chênh lệch nhiệt độ $\tau_{10đ}$ đến trị số $\tau_{2\infty}$ được xác định từ quan hệ (3-6) nếu thay $\tau_{\infty} = \tau_{2\infty}$ và $\tau_0 = \tau_{10đ}$ khi đó ta có biểu thức :

$$\tau = \tau_{2\infty} (1 - e^{-t/T_H}) + \tau_{10đ} \cdot e^{-t/T_H} \quad (3.10)$$

Nếu quá trình nguội lạnh động cơ xảy ra cho đến khi động cơ có nhiệt độ bằng nhiệt độ môi trường xung quanh thì $\tau_{2\infty} = 0$ nên ta có biểu thức :

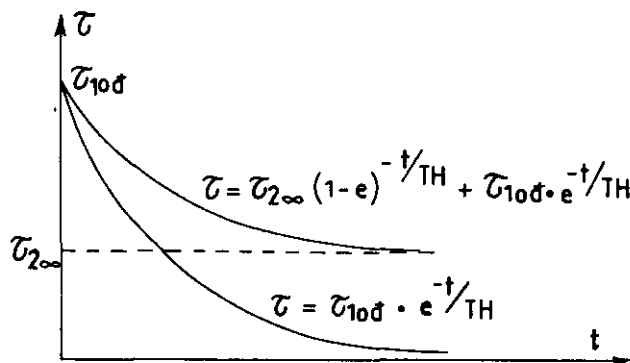
$$\tau = \tau_{10đ} e^{-t/T_H} \quad (3.11)$$

Trên hình 3.4, vẽ các đường cong nguội lạnh của động cơ điện đối với hai trường hợp trên theo các biểu thức (3.10) và (3.11).

Lựa chọn công suất động cơ một cách hợp lí theo điều kiện phát nóng cho phép phải bảo đảm điều kiện

$$\tau_{\infty} = \tau_{cp}$$

τ_{cp} : chênh lệch nhiệt độ cho phép được quyết định bởi cấp cách điện được sử dụng cho động cơ.



Hình 3.4 : Các đường cong nguội lạnh của động cơ

3.1.2. Các chế độ làm việc của hệ thống truyền động điện.

Căn cứ vào đặc điểm phát nóng và nguội lạnh của động cơ điện người ta phân chế độ làm việc của hệ thống truyền động điện thành ba chế độ :

a) *Chế độ phụ tải dài hạn* : ở chế độ làm việc dài hạn phụ tải được duy trì trong thời gian dài đủ để nhiệt độ của động cơ đạt tới trị số ổn định $\tau_{0đ}$ như hình 3.5a.

b) *Chế độ phụ tải ngắn hạn* : phụ tải chỉ được duy trì trong thời gian ngắn, còn thời gian nghỉ dài nên khi làm việc nhiệt độ động cơ chưa kịp đạt đến trị số ổn định $\tau_{0đ}$, khi nghỉ nhiệt độ động cơ giảm về trị số ban đầu như hình 3.5b.

c) *Chế độ ngắn hạn lặp lại* : phụ tải biến đổi một cách chu kì, thời gian làm việc t_{lv} và thời gian nghỉ t_n xen kẽ nhau. Nhiệt độ động cơ chưa kịp đạt trị số ổn định $\tau_{0đ}$ thì đã giảm do mất phụ tải, nhiệt độ động cơ chưa kịp giảm về trị số ban đầu thì lại tăng lên do có tải như hình 3.5c. Chế độ làm việc ngắn hạn lặp lại được đặc trưng bởi thời gian đóng điện tương đối $\varepsilon\%$.

$$\varepsilon\% = \frac{t_{lv}}{t_{lv} + t_n} \cdot 100\% = \frac{t_{lv}}{t_{ck}} \cdot 100\% \quad (3.12)$$

trong đó t_{lv} : thời gian có phụ tải

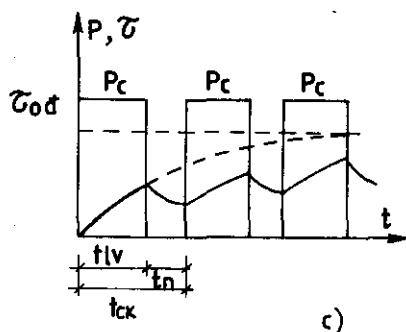
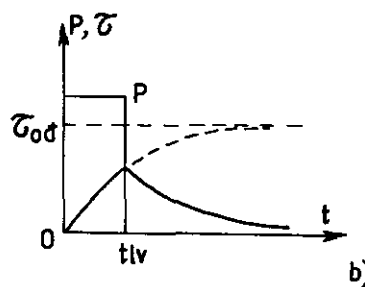
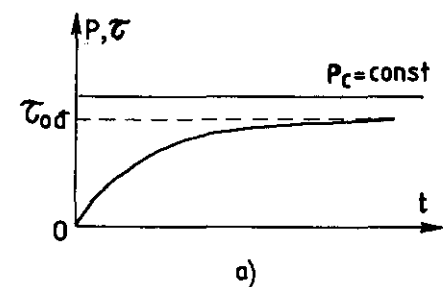
t_n : thời gian nghỉ, không có phụ tải

$t_{c.k}$: thời gian của một chu kì $t_{c.k} = t_{lv} + t_n$

3.2. CHỌN CÔNG SUẤT ĐỘNG CƠ CHO CÁC HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG CÓ TỐC ĐỘ LÀM VIỆC KHÔNG ĐỔI.

Để chọn công suất động cơ cần biết đồ thị phụ tải $M_c(t)$ và $P_c(t)$ đã được quy đổi về trục động cơ và trị số yêu cầu của tốc độ.

Dựa vào biểu đồ phụ tải ta chọn sơ bộ động cơ theo công suất. Với động cơ đã chọn ta có các tham số của động cơ từ đó có thể xây dựng đồ thị phụ tải chính xác ở chế độ làm việc xác lập, khi khởi động và hãm.



Hình 3.5 : Các chế độ làm việc của hệ thống truyền động điện
a) Chế độ dài hạn ; b) Chế độ ngắn hạn ;
c) Chế độ ngắn hạn lặp lại

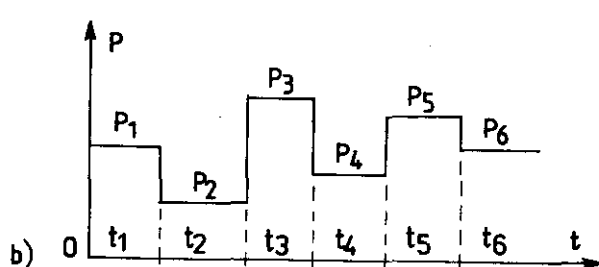
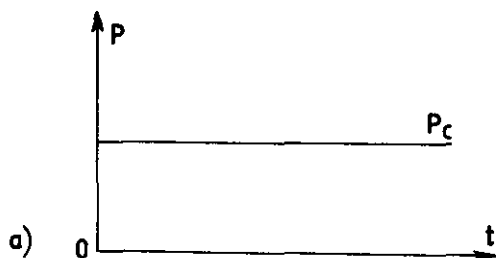
Theo đồ thị phụ tải chính xác tiến hành kiểm nghiệm lại động cơ đã chọn.

3.2.1. Chọn công suất động cơ làm việc dài hạn

a. Đối với phụ tải dài hạn không đổi $P_c = \text{const}$, như hình 3.6a

Động cơ được chọn phải có công suất định mức $P_{dm} \geq P_c$ và có tốc độ định mức ω_{dm} phù hợp với tốc độ yêu cầu. Thường chọn $P_{dm} = (1 \div 1,3) P_c$. Khi kiểm nghiệm động cơ chỉ cần kiểm nghiệm điều kiện khởi động và phát nóng, không cần kiểm nghiệm quá tải về Mômen

b. Đối với phụ tải dài hạn biến đổi như hình 3.6b.



Hình 3.6 : Phụ tải dài hạn :
a) Phụ tải không đổi $P_c = \text{const}$; b) Phụ tải biến đổi

Động cơ được chọn theo trị số trung bình của công suất

$$P_{dm} = (1 + 1,3)P_{tb} \text{ với } P_{tb} = \frac{P_1 t_1 + P_2 t_2 + P_3 t_3 + \dots + P_n t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}$$

Tổng quát
$$P_{tb} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}$$

Cũng có thể tính theo mômen trung bình :

$$M_{dm} = (1 + 1,3)M_{tb} \text{ với } M_{tb} = \frac{M_1 t_1 + M_2 t_2 + M_3 t_3 + \dots + M_n t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}$$

Tổng quát
$$M_{tb} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}$$

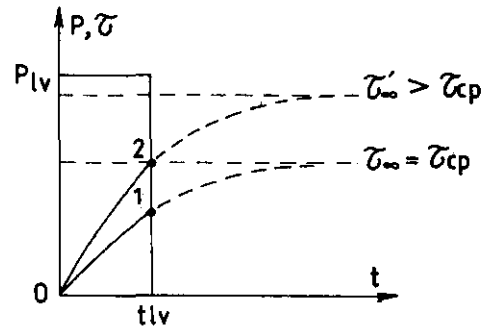
Động cơ cần được kiểm nghiệm về phát nóng, về quá tải mômen và về khả năng khởi động.

3.2.2. Chọn công suất động cơ làm việc ngắn hạn

Trong chế độ làm việc ngắn hạn có thể sử dụng động cơ dài hạn hoặc sử dụng động cơ chuyên dùng cho chế độ làm việc ngắn hạn.

a. Chọn công suất động cơ dài hạn làm việc ở chế độ ngắn hạn

Khi chọn công suất động cơ dài hạn để làm việc ở chế độ ngắn hạn theo công suất làm việc theo yêu cầu P_{lv} , thì động cơ không được tận dụng về phương diện phát nóng vì ở cuối thời gian làm việc $t = t_{lv}$ nhiệt độ động cơ chưa đạt trị số ổn định $\tau_{\infty} = \tau_{cp}$ như đường cong phát nóng 1 trên hình 3.7. Từ đó cho thấy với công suất làm việc yêu cầu P_{lv} có thể chọn động cơ có công suất nhỏ hơn sao cho quá trình phát nóng của động cơ xảy ra theo đường cong 2 để ở cuối thời gian làm việc $t = t_{lv}$ thì nhiệt độ động cơ đạt tới nhiệt độ cho phép $\tau = \tau_{cp}$. Động cơ được tận dụng triệt để hơn về phương diện phát nóng.



Hình 3.7 : Đường cong phát nóng của động cơ ở chế độ ngắn hạn ; đường 1 : $P_{dm} = P_{lv}$; đường 2 : $P_{dm} < P_{lv}$

Nói chung công suất động cơ dài hạn sử dụng để làm việc ở chế độ ngắn hạn được chọn theo khả năng quá tải của động cơ theo biểu thức :

$$P_{dm} = (1 + 1,3) \frac{P_{lv}}{k_{qt}}$$

với k_{qt} là hệ số quá tải, đối với động cơ một chiều có thể chọn $k_{qt} = (2 \div 2,5)$; đối với động cơ không đồng bộ roto dây quấn $k_{qt} = (2 \div 2,5)$; đối với động cơ không đồng bộ roto lồng

số $k_{qt} = (1,7 \div 2,2)$. Động cơ đã được chọn khi làm việc với phụ tải ngắn hạn theo yêu cầu là P_{lv} thì ở cuối thời gian làm việc đạt được nhiệt độ τ_{cp} . Để kiểm nghiệm lại điều này ta xét hệ số quá tải về nhiệt của động cơ :

$$\gamma_t = \frac{\Delta P_{n.h}}{\Delta P_{d.h}}$$

trong đó : $\Delta P_{n.h}$: là tổn thất cho phép khi phụ tải ngắn hạn

$\Delta P_{d.h}$: là tổn thất khi phụ tải dài hạn

Vì nhiệt độ ổn định của động cơ khi thời gian đủ lớn ($t = \infty$) là τ_{∞} và τ'_{∞} tỉ lệ với các tổn thất tương ứng nên có thể coi $\gamma_t = \frac{\Delta P_{n.h}}{\Delta P_{d.h}} = \frac{\tau'_{\infty}}{\tau_{\infty}}$ (xem hình 3.7)

và nếu coi như $\tau_{\infty} = \tau_{cp}$ ta có

$$\gamma_t = \frac{\tau'_{\infty}}{\tau_{cp}}$$

Vì ở cuối thời gian làm việc $t = t_{lv}$ thì $\tau = \tau_{cp}$ nên đem các giá trị này thay vào biểu thức (3.7) ta có

$$\tau_{cp} = \tau'_{\infty} (1 - e^{-t_{lv}/T_H})$$

Từ đây suy ra hệ số quá tải về nhiệt :

$$\gamma_t = \frac{\tau'_{\infty}}{\tau_{cp}} = \frac{1}{1 - e^{-t_{lv}/T_H}} \quad (3.13)$$

Từ (3.13) suy ra thời gian làm việc cho phép để nhiệt độ động cơ đạt trị số τ_{cp} :

$$t_{lv_{cp}} = T_H \ln \frac{\gamma_t}{\gamma_t - 1} \quad (3.14)$$

Thời gian làm việc cho phép của động cơ $t_{lv_{cp}}$ tính theo (3.14) phải nhỏ hơn hay bằng thời gian làm việc theo yêu cầu $t_{lv} : t_{lv_{cp}} \leq t_{lv}$

Trường hợp phụ tải làm việc ngắn hạn không phải là hằng số mà biến thiên như hình 3.8 ta có :

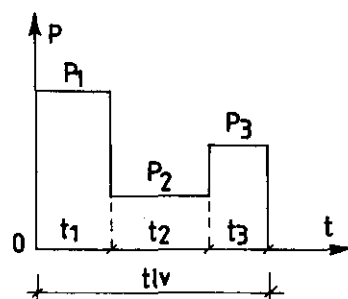
Thời gian làm việc $t_{lv} = t_1 + t_2 + t_3$

còn phụ tải được tính trung bình theo biểu thức :

$$P_{lv} = P_{tb} = \frac{P_1 t_1 + P_2 t_2 + P_3 t_3}{t_1 + t_2 + t_3}$$

b. Chọn công suất động cơ ngắn hạn làm việc với phụ tải ngắn hạn

Động cơ ngắn hạn được chế tạo có thời gian làm việc tiêu chuẩn hóa là 15,30,60,90 phút. Ta phải chọn động cơ có $t_{chuẩn} = t_{lv}$ và có công suất định mức $P_{dm} \geq P_{lv}$ hay có mômen định mức $M_{dm} \geq M_{lv}$



Hình 3.8 : Phụ tải ngắn hạn biến đổi

Nếu thời gian làm việc t_{lv} khác thời gian làm việc tiêu chuẩn của động cơ $t_{lv} \neq t_{chuẩn}$ ta chọn sơ bộ động cơ có $P_{dm} \geq P_{lv}$ và có $t_{chuẩn}$ gần với giá trị t_{lv} .

Sau đó xác định tổn thất ΔP_{dm} khi động cơ có công suất định mức P_{dm} , và tổn thất ΔP_{lv} khi động cơ vận hành với công suất P_{lv} .

Để cho ở cuối thời gian làm việc nhiệt độ động cơ không vượt quá nhiệt độ cho phép cần thỏa mãn điều kiện :

$$\Delta P_{dm} \geq \frac{1 - e^{-t_{lv}/T_H}}{1 - e^{-t_{chuẩn}/T_H}} \cdot \Delta P_{lv}$$

Sau đó cần tiến hành kiểm nghiệm động cơ đã chọn theo điều kiện quá tải về mômen và về mômen khởi động, cũng như theo điều kiện phát nóng.

3.2.3. Chọn công suất động cơ cho phụ tải ngắn hạn lặp lại.

a. *Chọn công suất động cơ dài hạn làm việc với phụ tải ngắn hạn lặp lại.* Để tận dụng triệt để khả năng phát nóng cho phép động cơ dài hạn được chọn với công suất định mức P_{dm} nhỏ hơn công suất của phụ tải ngắn hạn lặp lại P_{lv} : $P_{dm} < P_{lv}$. Khi đó hệ số quá tải về nhiệt là :

$$\gamma_t = \frac{\Delta P_{lv}}{\Delta P_{dm}} = \frac{\tau'_{\infty}}{\tau_{cp}} \quad (3.15)$$

Trong đó : ΔP_{lv} : là tổn thất khi làm việc với phụ tải P_{lv}

ΔP_{dm} : là tổn thất khi động cơ làm việc với phụ tải P_{dm}

τ'_{∞} : là nhiệt độ ổn định ở $t = \infty$ khi động cơ làm việc với công suất P_{lv}

τ_{cp} : là nhiệt độ ổn định ở $t = \infty$ khi động cơ làm việc với P_{dm} , nhiệt độ này thường là nhiệt độ cho phép của động cơ ($\tau_{cp} = \tau_{\infty}$)

Để ý đến phương trình đường cong phát nóng (3-6) của động cơ và đồ thị phát nóng, nguội lạnh hình 3.9 ở chế độ phụ tải ngắn hạn lặp lại, xét ở những chu kì làm việc khá xa thời điểm ban đầu $t = 0$ khi nhiệt độ động cơ dao động ổn định giữa hai trị số τ_0 và $\tau_{\infty} = \tau_{cp}$.

Trong khoảng thời gian làm việc t_{lv} ta có biểu thức :

$$\tau_{cp} = \tau_{\infty} = \tau'_{\infty} (1 - e^{-t_{lv}/T_H}) + \tau_0 \cdot e^{-t_{lv}/T_H} \quad (3-16)$$

Còn trong khoảng thời gian nghỉ t_n , nếu coi hằng số thời gian phát nóng T_H và hằng số thời gian nguội lạnh T_0 là bằng nhau, theo phương trình nguội lạnh (3-11) của động cơ ta có :

$$\tau_0 = \tau_{\infty} e^{-t_n/T_H} = \tau_{cp} \cdot e^{-t_n/T_H} \quad (3.17)$$

Thay (3-17) vào (3.16) ta được biểu thức :

$$\tau_{cp} = \tau_{\infty} = \tau'_{\infty} (1 - e^{-t_{lv}/T_H}) + \tau_{cp} e^{-(t_{lv} + t_n)/T_H}$$

Chia hai vế của biểu thức này cho τ_{cp} :

$$1 = \frac{\tau'_{\infty}}{\tau_{cp}} (1 - e^{-t_{lv}/T_H}) + e^{-(t_{lv} + t_n)/T_H}$$

$$1 = \gamma_T (1 - e^{\frac{-t_{lv}}{T_H}}) + e^{\frac{-(t_{lv} + t_n)}{T_H}}$$

Suy ra công thức tính hệ số quá tải nhiệt :

$$\gamma_T = \frac{1 - e^{\frac{-(t_{lv} + t_n)}{T_H}}}{1 - e^{\frac{-t_{lv}}{T_H}}} = \frac{1 - e^{\frac{-t_{lv}}{T_H} \cdot \frac{1}{\varepsilon'}}}{1 - e^{\frac{-t_{lv}}{T_H}}} \quad (3.18)$$

Trong thực tế, hằng số thời gian nguội lạnh T_o khác với hằng số thời gian phát nóng T_H vì khi động cơ nghỉ điều kiện làm mát xấu đi nên (3.18) được viết lại như sau :

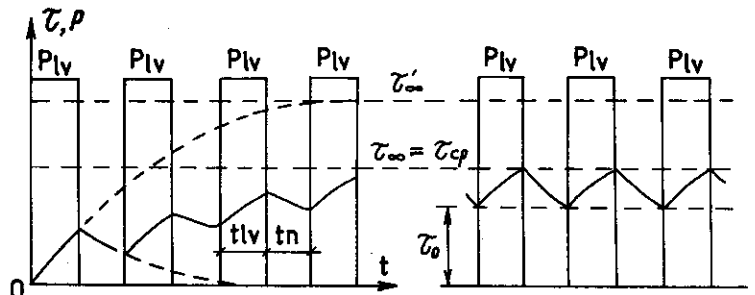
$$\gamma_T = \frac{\tau_{\infty}}{\tau_{cp}} = \frac{1 - e^{\frac{-t_{lv}}{T_H} \cdot \frac{1}{\varepsilon'}}}{1 - e^{\frac{-t_{lv}}{T_H}}} \quad (3.19)$$

Với : $\varepsilon' = \frac{t_{lv}}{t_{lv} + \beta \cdot t_n} ; \beta = \frac{T_H}{T_o}$

β là hệ số xét đến điều kiện làm mát bị xấu đi trong thời gian động cơ nghỉ t_n ($\beta = 0,5$ đối với máy điện một chiều, $\beta = 0,25$ đối với máy điện không đồng bộ).

Tóm lại khi chọn động cơ dài hạn để làm việc với phụ tải ngắn hạn lặp lại ta dựa vào đồ thị phụ tải $P = f(t)$ để có các trị số P_{lv} , t_{lv} , t_n , dựa vào các trị số này sơ bộ chọn động cơ có công suất $P_{dm} < P_{lv}$. Sau khi có động cơ ta xác định được các hằng số phát nóng T_H và nguội lạnh T_o để tính ε' rồi từ đó tính hệ số quá tải về nhiệt γ_T theo (3.19). Động cơ chọn được phải thỏa mãn biểu thức

$$\frac{\Delta P_{lv}}{\Delta P_{dm}} \leq \gamma_T$$



Hình 3.9 : Đồ thị phát nóng và nguội lạnh của động cơ ở chế độ ngắn hạn lặp lại

Nếu điều kiện này không thỏa mãn thì phải tiến hành chọn lại động cơ cho đến khi đạt được yêu cầu đó.

b- Chọn công suất động cơ ngắn hạn lặp lại làm việc với phụ tải ngắn hạn lặp lại.

Đối với chế độ ngắn hạn lặp lại người ta chế tạo loại động cơ chuyên dụng ngắn hạn lặp lại có độ bền cơ khí cao, quán tính nhỏ do yêu cầu mở máy và hãm liên tục, có khả năng quá tải lớn (từ 2,5 + 3,5). Động cơ ngắn hạn lặp lại được chế tạo với thời gian đóng điện tương đối chuẩn hóa $\varepsilon\% = 15\%, 25\%, 40\%$ và 60% .

Động cơ được lựa chọn theo hai điều kiện :

$$P_{dm} \geq P_{lv}$$

$$\varepsilon_{dm}\% = \varepsilon_{lv}\%$$

Trong trường hợp động cơ có $\varepsilon_{dm}\%$ không phù hợp với $\varepsilon_{lv}\%$ của phụ tải yêu cầu thì công suất động cơ được hiệu chỉnh theo công thức :

$$P_{dm} = P_{lv} \sqrt{\frac{\varepsilon_{lv}\%}{\varepsilon_{dm}\%}} \quad (3.20)$$

Trong trường hợp phụ tải ngắn hạn lặp lại không phải là hằng số như hình 3.10 phải dùng biểu thức xác định phụ tải trung bình

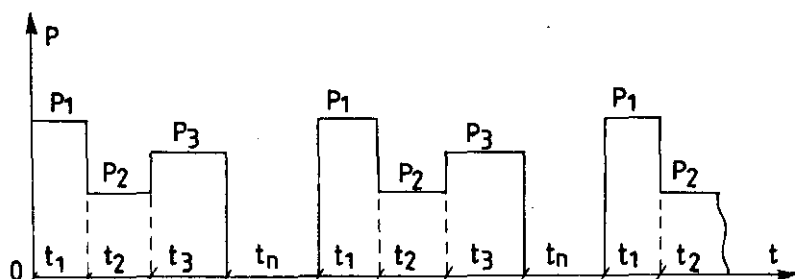
$$P_{tb} = \frac{P_1 t_1 + P_2 t_2 + P_3 t_3}{t_1 + t_2 + t_3}$$

thời gian làm việc $t_{lv} = t_1 + t_2 + t_3$

$$\varepsilon_{lv}\% = \frac{t_{lv}}{t_{lv} + t_n} 100\%$$

Công suất động cơ được tính theo biểu thức : $P_{dm} = P_{tb} \sqrt{\frac{\varepsilon_{lv}\%}{\varepsilon_{dm}\%}}$

Sau đó tiến hành kiểm nghiệm động cơ về mômen quá tải, mômen khởi động và về phát nóng.



Hình 3.10 : Phụ tải ngắn hạn lặp lại biến đổi

3.3. KIỂM NGHIỆM CÔNG SUẤT ĐỘNG CƠ

Trong phần 3.2 giới thiệu cách chọn sơ bộ ban đầu công suất của động cơ. Để khẳng định việc tính chọn đó là chấp nhận được cần tiến hành kiểm nghiệm lại động cơ đã chọn theo ba yêu cầu :

Kiểm nghiệm phát nóng của động cơ.

Kiểm nghiệm quá tải về mômen.

Kiểm nghiệm khả năng khởi động của động cơ.

3.3.1. Kiểm nghiệm phát nóng của động cơ.

Khi công suất động cơ được lựa chọn hợp lý thì nhiệt độ của động cơ không vượt quá trị số cho phép và thỏa mãn biểu thức

$$\tau \leq \tau_{cp}$$

Tính toán phát nóng của động cơ là vấn đề phức tạp không thể thực hiện một cách chính xác. Tuy vậy có thể tiến hành kiểm nghiệm phát nóng một cách gián tiếp qua các đại lượng điện, như kiểm nghiệm theo tổn thất trung bình, theo dòng điện đẳng trị, theo mômen đẳng trị và theo công suất đẳng trị.

a. Kiểm nghiệm phát nóng động cơ bằng phương pháp tổn thất trung bình.

Dựa vào đồ thị phụ tải $P = f(t)$ tiến hành xác định tổn thất công suất ΔP_i trong từng khoảng thời gian t_i ứng với phụ tải P_i theo biểu thức

$$\Delta P_i = P_i \frac{1 - \eta_i}{\eta_i} \quad (3-21)$$

Trong đó η_i là hiệu suất của động cơ khi làm việc với phụ tải P_i , được xác định dựa vào đường cong hiệu suất làm việc $\eta = f(p)$ của động cơ.

Sau đó tính tổn thất trung bình theo biểu thức :

$$\Delta P_{tb} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta P_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (3.22)$$

Theo yêu cầu kiểm nghiệm, nếu

$$\Delta P_{tb} \leq \Delta P_{dm}$$

thì động cơ thỏa mãn điều kiện phát nóng

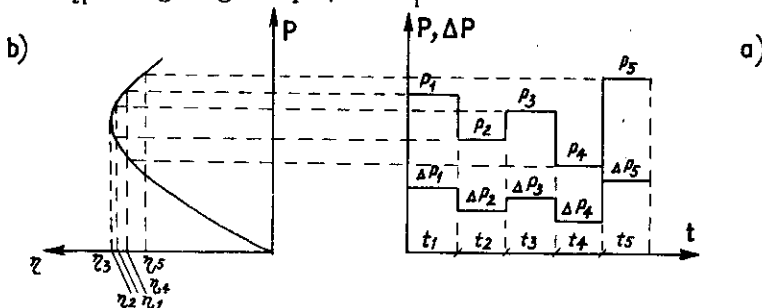
Tổn thất định mức của động cơ được xác định theo biểu thức

$$\Delta P_{dm} = P_{dm} \frac{1 - \eta_{dm}}{\eta_{dm}}$$

P_{dm} : là công suất định mức của động cơ

η_{dm} : là hiệu suất định mức của động cơ.

Trên hình 3.11. Trình bày đồ thị phụ tải $P_{(t)}$, đồ thị tổn thất $\Delta P_{i(t)}$ của động cơ và cách xác định hiệu suất η_i tương ứng với phụ tải P_i .



Hình 3.11 : a) Đồ thị phụ tải $P_{(t)}$, tổn thất $\Delta P_{i(t)}$; b) Xác định hiệu suất η_i

Đối với các động cơ có gắn quạt trên trục để tự làm mát trong biểu thức tính ΔP_{tb} phải xét đến khả năng suy giảm của truyền nhiệt khi dừng động cơ, khi khởi động và hãm, ta có :

$$\Delta P_{tb} = \frac{\sum_1^n \Delta P_i t_i}{\alpha \cdot \sum t_k + \beta \sum t_n + \sum t_{lv}} \quad (3.23)$$

Trong đó

α : là hệ số suy giảm truyền nhiệt khi khởi động và khi hãm, $\alpha = 0,75$ đối với động cơ điện một chiều, $\alpha = 0,5$ đối với động cơ xoay chiều.

t_k : là thời gian khởi động hay hãm

β : là hệ số suy giảm truyền nhiệt khi động cơ dừng được xác định như trong biểu thức (3.19)

t_n : thời gian nghỉ

t_{lv} : thời gian làm việc.

b) Kiểm nghiệm phát nóng động cơ theo dòng điện đẳng trị I_{dt} . Xuất phát từ biểu thức tổn thất công suất của động cơ :

Theo dòng điện đẳng trị : $\Delta P_{tb} = K + I_{dt}^2 \cdot R$

Với K là tổn thất không đổi ; thay ΔP_{tb} vào (3.22) ta được :

$$K + I_{dt}^2 R = \frac{(K + I_1^2 \cdot R) t_1 + (K + I_2^2 \cdot R) t_2 + \dots + (K + I_n^2 \cdot R) t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

$$K + I_{dt}^2 R = \frac{K(t_1 + t_2 + \dots + t_n)}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} + \frac{(I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n)}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} R$$

Suy ra dòng điện đẳng trị :

$$I_{dt} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad (3.24)$$

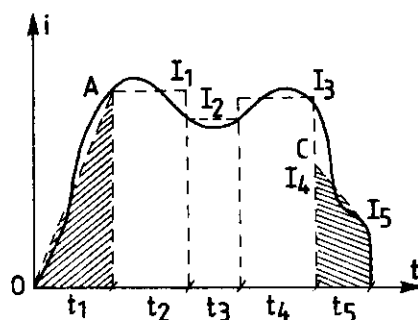
Điều kiện kiểm nghiệm theo phát nóng của động cơ là :

$$I_{dt} \leq I_{dm}$$

I_{dm} : là dòng điện định mức của động cơ.

Việc xác định dòng điện đẳng trị I_{dt} dựa vào đồ thị dòng điện $i = f(t)$. Trường hợp đồ thị dòng điện là đường cong biến thiên liên tục như hình 3.12 việc xác định I_{dt} sẽ phức tạp. Lúc đó ta phân chia đường cong $i = f(t)$ thành đường bậc thang (xem hình 3.12) và dùng công thức.

$$I_{dt} = \sqrt{\frac{1}{\sum_1^n t_i} \int_0^{\sum t_i} i^2 dt} \quad (3.25)$$



Hình 3.12 : Phân chia đường cong $i = f(t)$ thành đoạn để tính dòng đẳng trị I_{dt} .

Đối với những khoảng thời gian phân chia có dòng điện là không đổi (ví dụ t_2, t_3, t_4) dòng điện hằng trị được tính theo (3.24). Đối với những khoảng thời gian phân chia tạo nên diện tích hình tam giác (như từ $0 \div t_1$) dòng hằng trị có trị số tính theo (3.25) là :

$$I_{dt1} = \sqrt{\frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} i^2 dt}$$

Vì đoạn này phương trình gần đúng của dòng điện là phương trình đường thẳng $i = \alpha t$ do đó :

$$I_{dt1} = \sqrt{\frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} \alpha^2 \cdot t^2 dt} = \frac{\alpha t_1}{\sqrt{3}} = \frac{I_1}{\sqrt{3}} \quad (3.26)$$

Đối với các khoảng phân chia có dạng hình thang (như khoảng t_5) nếu sử dụng công thức (3.25) ta tính được dòng điện hằng trị là :

$$I_{dt5} = \sqrt{\frac{I_4^2 + I_4 I_5 + I_5^2}{3}} \quad (3.27)$$

Các công thức (3.24) (3.26) (3.27) cho khả năng xác định dòng điện hằng trị với độ chính xác đạt yêu cầu kĩ thuật trong trường hợp đường cong $i = f(t)$ có dạng bất kì.

c. Phương pháp mômen hằng trị

Phương pháp kiểm nghiệm phát nóng của động cơ theo mômen hằng trị được suy ra từ phương pháp dòng điện hằng trị khi mômen động cơ tỉ lệ với dòng điện : $M = C.I$ với C là hằng số tỉ lệ. Đó là trường hợp động cơ điện một chiều vận hành với từ thông không đổi.

Đối với động cơ không đồng bộ mômen quay có biểu thức là :

$$M = C_m \cdot I_2 \phi_2 \cos \varphi_2$$

Ta cần có $\phi_2 =$ hằng số, $\cos \varphi_2 = \text{const}$ để có $M = \text{const}$

Công thức tính mômen hằng trị suy ra từ (3.25) là :

$$M_{dt} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_i^2 t_i}{t_1 + t_2 + \dots + t_i}} \quad (3.28)$$

Động cơ được kiểm nghiệm theo điều kiện

$$M_{dm} \geq M_{dt} \quad (3.29)$$

d) Phương pháp công suất hằng trị :

Đối với các hệ thống truyền động có tốc độ ít thay đổi thì do công suất P tỉ lệ với mômen M nên có thể dùng đại lượng công suất hằng trị để kiểm nghiệm phát nóng.

Công thức xác định công suất hằng trị là :

$$P_{dt} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_i^2 t_i}{t_1 + t_2 + \dots + t_i}} \quad (3.30)$$

Động cơ được kiểm nghiệm theo điều kiện :

$$P_{dm} \geq P_{dt}$$

Phương pháp công suất hằng trị không áp dụng được khi tốc độ động cơ biến đổi nhiều trong quá trình vận hành đặc biệt khi khởi động hoặc khi hãm. Trên hình 3.13 vẽ đồ thị

biến đổi của tốc độ ω , công suất P và mômen M của động cơ khi mở máy, làm việc bình thường và khi hãm. Đường biểu diễn công suất $P(t)$ ở các giai đoạn khởi động và hãm không thể hiện được trạng thái phát nóng của động cơ vì đồ thị ở các giai đoạn này chỉ cho biết quy luật biến thiên của công suất hữu ích mà không tính đến các tổn thất khi mở máy hoặc khi hãm. Trong trường hợp như vậy muốn sử dụng được biểu thức tính công suất đẳng trị (3.30) để kiểm nghiệm phát nóng cho động cơ cần phải tính toán hiệu chỉnh lại công suất $P(t)$ như đường nét đứt trên hình 3.13.

3.3.2. Kiểm nghiệm động cơ theo quá tải về mômen và theo mômen khởi động.

a. Kiểm nghiệm quá tải về mômen :

điều kiện kiểm nghiệm là : $M_{dm} > M_{max}$

Trong đó M_{max} là mômen lớn nhất của phụ tải xác định từ đồ thị phụ tải. Đối với động cơ điện một chiều có thể kiểm nghiệm theo dòng điện :

$$\frac{I_{max}}{I_{dm}} \leq \lambda_i$$

với I_{max} là trị số lớn nhất của dòng điện xác định trên đồ thị phụ tải ; còn λ_i là hệ số quá tải cho phép về dòng điện. Đối với động cơ điện một chiều kết cấu bình thường $\lambda_i = 2 + 2,5$.

Đối với động cơ không đồng bộ ta có thể kiểm nghiệm quá tải cho phép theo biểu thức :

$$\lambda M_{dm} \geq M_{max}$$

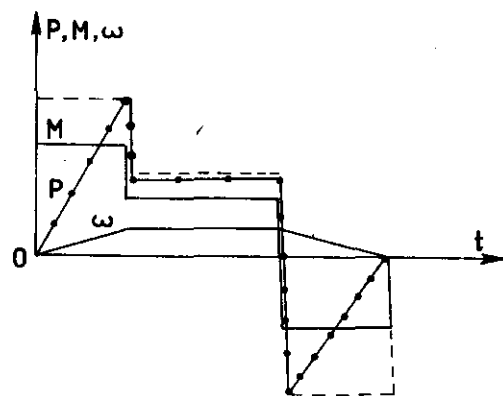
với λ là hệ số quá tải về mômen của động cơ

b. Kiểm nghiệm về mômen khởi động

Khi khởi động để mở máy thì mômen khởi động $M_{kđc}$ của động cơ phải thắng được mômen cản của phụ tải khi mở máy, ta có điều kiện kiểm nghiệm về mômen khởi động là :

$$M_{kđc} > M_{c. mở máy}$$

Tóm lại có thể thấy rằng kiểm nghiệm động cơ đã chọn được theo điều kiện quá tải và theo mômen khởi động được tiến hành dễ dàng không phải tính toán nhiều.



Hình 3.13 : Đồ thị $\omega(t)$, $P(t)$ và $M(t)$ của động cơ khi khởi động và khi hãm

3.4. CHỌN CÔNG SUẤT ĐỘNG CƠ CHO HỆ TRUYỀN ĐỘNG CÓ ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ.

Việc tính chọn công suất động cơ khi có kèm theo điều chỉnh tốc độ phải gắn liền với một hệ thống truyền động cho trước để có được đầy đủ các điều kiện cơ bản cho việc tính chọn. Những yêu cầu cơ bản đó là :

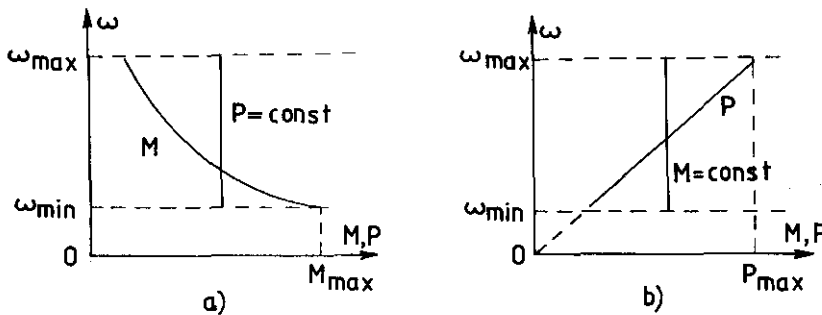
a. Các đồ thị phụ tải $P(t)$; $M(t)$; các đặc tính của phụ tải yêu cầu $P_{yc}(\omega)$; $M_{yc}(\omega)$; và phạm vi điều chỉnh tốc độ $D = \omega_{max}/\omega_{min}$. Biết được các yêu cầu này có thể tính được những tham số lớn nhất mà phụ tải yêu cầu như P_{ycmax} và M_{ycmax} .

Khi phụ tải yêu cầu điều chỉnh tốc độ với công suất không đổi : $P = const$ (xem hình 3.14a) ta có công suất yêu cầu cực đại $P_{ycmax} = P_{dm} = const$ Nhưng mômen yêu cầu cực

đại thì phụ thuộc vào phạm vi điều chỉnh $M_{ycmax} = \frac{P_{dm}}{\omega_{min}}$

Khi phụ tải truyền động yêu cầu trong phạm vi điều chỉnh giữ $M = \text{const}$ (xem hình 3.14b) ta có công suất yêu cầu cực đại $P_{yc \max} = M_{dm} \cdot \omega_{\max}$.

b. Loại động cơ dự định chọn là loại một chiều hay xoay chiều ; phương pháp điều chỉnh tốc độ và bộ biến đổi điện được sử dụng trong hệ thống truyền động cần được xác định trước.



Hình 3.14 : Đồ thị công suất và mômen cần tính của hệ truyền động điện có điều chỉnh tốc độ
a. Khi $P = \text{const}$, b. Khi $M = \text{const}$

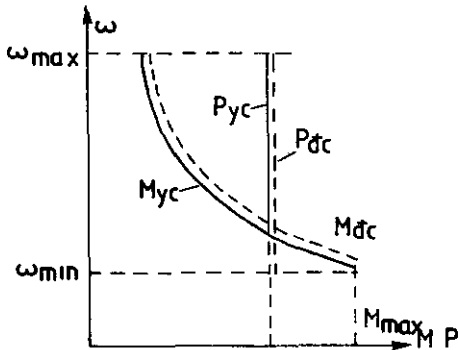
Yêu cầu về loại động cơ và loại truyền động cho phép xác định các đặc tính điều chỉnh $P_{dc}(\omega)$ và $M_{dc}(\omega)$ của truyền động. Thông thường đặc tính điều chỉnh $P_{dc}(\omega)$ và $M_{dc}(\omega)$ phù hợp với các đặc tính mà phụ tải yêu cầu $P_{yc}(\omega)$ và $M_{yc}(\omega)$ khi đã chọn phương pháp điều chỉnh tốc độ thích hợp như hình 3.15.

Nhưng trong thực tế đôi khi vì mục đích đơn giản cấu trúc điều chỉnh người ta dùng hệ truyền động có đặc tính điều chỉnh không phù hợp với yêu cầu. Như trường hợp sử dụng loại động cơ một chiều đối với tải có công suất không đổi $P = \text{const}$ thì phương pháp điều chỉnh thích hợp là điều chỉnh từ thông kích từ. Nhưng nếu dùng phương pháp điều chỉnh điện áp phần ứng thì công suất động cơ không phải chọn theo biểu thức $P_{dm} = P_{yc}$ mà theo

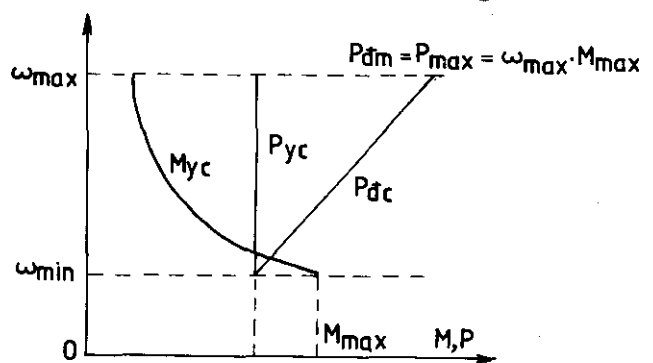
$$\text{biểu thức } P_{dm} = M_{\max} \cdot \omega_{\max} = \omega_{\max} \cdot \frac{P_{yc}}{\omega_{\min}} = D \cdot P_{yc}$$

Điều này có nghĩa công suất đặt phải lớn hơn D lần so với P_{yc} (xem hình 3.16).

Biết được loại truyền động, loại động cơ, phương pháp điều chỉnh tốc độ ta có thể xác định được tổn thất công suất ΔP cũng như tiêu thụ công suất phản kháng Q trong suốt phạm vi điều chỉnh để làm cơ sở cho tính chọn động cơ, cũng như xét đến hiệu suất của hệ thống truyền động, và xác định kích thước, công suất lắp đặt truyền động.



Hình 3.15 : Đặc tính điều chỉnh, P_{dc} , M_{dc} phù hợp với yêu cầu P_{yc} , M_{yc}



Hình 3.16 : Đặc tính điều chỉnh không phù hợp với yêu cầu