

BÙI ĐÌNH TIỂU — PHẠM DUY NHI

CƠ SỞ
TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN TỰ ĐỘNG

TẬP II

Thu Vien DHKTCN-TN



MTK06004324

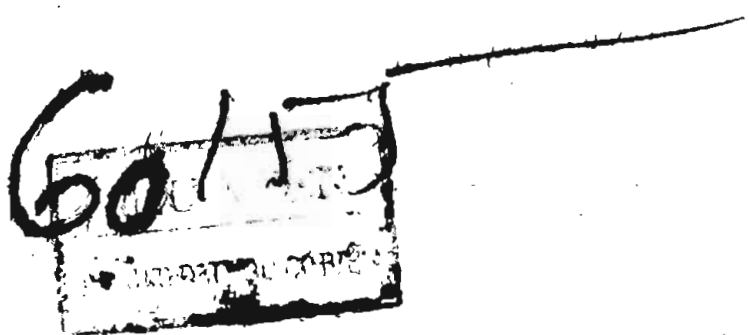
NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC VÀ TRUNG HỌC CHUYÊN NGHIỆP

HÀ NỘI — 1983

BUI DINH TIÊU — PHẠM DUY NHI

CƠ SỞ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN TỰ ĐỘNG

TẬP II



NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC VÀ TRUNG HỌC CHUYÊN NGHIỆP

HÀ NỘI — 1983

LỜI GIỚI THIỆU

Ở nước ta hiện nay chuyên ngành « Điện khí hóa xi nghiệp » đã được mở tại nhiều trường đại học kỹ thuật và tuyển sinh với một số lượng đáng kể. Soạn thảo giáo trình « Cơ sở truyền động điện tự động » — một trong những giáo trình chính của ngành — đang là một đòi hỏi cấp bách.

Vì vậy, tiếp theo tập I, chúng tôi gấp rút biên soạn tập II của giáo trình này mong đáp ứng phần nào yêu cầu trên.

Đề cương của tập sách này hoàn toàn thống nhất với tập I và đã được giới thiệu tổng quát trong bài mở đầu. Tuy nhiên, để tiện theo dõi, chúng tôi đánh số các chương mục một cách độc lập không liên quan đến tập đầu và sắp xếp lại một vài vấn đề.

Nội dung tập sách gồm hai phần: phần I — Quá trình quá độ trong truyền động điện, do đồng chí Bùi Đình Tiểu biên soạn; phần II — chọn máy điện cho truyền động điện, do đồng chí Phạm Duy Nhi biên soạn.

Trong quá trình chuẩn bị đề cương và hoàn thành bản thảo, chúng tôi nhận được nhiều ý kiến giúp đỡ rất hiệu quả của các đồng chí trong liên ban bồi dưỡng và kiểm tra kiến thức nghiên cứu sinh ngành truyền động điện của bộ Đại học và trung học chuyên nghiệp và các đồng chí cán bộ giảng dạy bộ môn Điện khí hóa xi nghiệp trường Đại Học Bách khoa Hà nội. Xin chân thành cảm ơn về sự giúp đỡ quý báu đó.

Do trình độ và thời gian có hạn, cuốn sách chắc chắn còn nhiều sai sót. Rất mong sự góp ý xây dựng của người đọc.

Các tác giả

PHẦN I

QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ TRONG TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

Chương 1

ĐỘNG HỌC CỦA TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

§ 1-1. Ý NGHĨA CỦA QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ VÀ MỤC ĐÍCH KHẢO SÁT

Quá trình quá độ là một trạng thái làm việc của hệ truyền động điện khi tính cân-bằng cơ học hoặc điện từ trong nó bị phá vỡ.

Từ phương trình chuyển động

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

ta thấy nếu vì một lý do nào đó mà mômen cản và mômen động cơ khác nhau, hoặc mômen quán tính của hệ thay đổi, thì hệ sẽ chuyển động có gia tốc. Khi đó tốc độ của truyền động cũng như mômen và dòng điện của động cơ đều biến đổi theo thời gian. Người ta còn gọi quá trình này là phi tĩnh, quá trình không xác lập hoặc quá trình động.

Có nhiều nguyên nhân gây mất cân bằng trong hệ truyền động điện. Ta có thể nêu lên một số đề làm ví dụ:

- thay đổi tín hiệu điều khiển như đóng mạch đề khởi động, cắt mạch đề dừng máy, thay mức điện áp đề điều tốc;
- dao động ngẫu nhiên của thông số nguồn như điện áp hoặc tần số;
- biến đổi phụ tải như ăn tải, nhả tải, dao động ngẫu nhiên của lực cản trong quá trình làm việc;
- biến đổi các thông số của hệ thống như mômen quán tính, điện trở và điện cảm, v.v...

Những nguyên nhân trên xuất hiện có thể do tác động chủ động của người điều khiển, do những dao động ngẫu nhiên trong nội bộ hệ thống hoặc do những nhiễu loạn từ bên ngoài đưa đến, kể cả các sự cố phát sinh trong hệ và trong nguồn điện. . .

Những nhiễu loạn từ phía phụ tải, được gọi là nhiễu cơ học, làm biến đổi mômen cản M_c hoặc mômen quán tính J , còn những nhiễu loạn ở phía nguồn hoặc trong mạch điện của động cơ (nhiễu loạn điện từ) thì làm thay đổi mômen của động cơ M , và đều dẫn đến tình trạng mất cân bằng trong hệ thống điện cơ.

Tuy nhiên, nếu hệ thống hoàn toàn không chứa một phần tử nào có quán tính cơ học, quán tính điện từ và quán tính nhiệt thì sự mất cân bằng nêu trên chỉ làm thay đổi chuyển động một cách đột biến, nghĩa là hệ sẽ chuyển từ trạng thái xác lập này sang trạng thái xác lập khác một cách tức thời, và không xảy ra quá trình quá độ. Điều đó không có trong thực tế. Các phần tử quán tính (cơ học và điện từ) trong hệ truyền động điện có tác dụng như những kho dự trữ năng lượng. Việc tích năng lượng vào hoặc phóng năng lượng từ đó ra ngoài đều xảy ra từ từ. Vì vậy việc chuyển giao năng lượng từ nguồn đến tải của truyền động điện không thể xảy ra tức thời ngay cả khi có tác động nhiễu loạn đột biến. Chính đó là nguyên nhân trực tiếp gây ra quá trình quá độ.

Quá trình quá độ là một chế độ làm việc quan trọng của truyền động điện. Những điều kiện làm việc nặng nề và những hiện tượng vật lý đặc biệt thường phát sinh trong thời gian này như sự tăng vọt của dòng điện và mômen động cơ, việc xuất hiện lực động trong bộ truyền, sự dao động của tốc độ. Vì vậy việc nghiên cứu quá trình quá độ có ý nghĩa quan trọng ngay cả đối với những hệ truyền động điện có chế độ làm việc ít biến động nhất.

Hiện nay người ta sử dụng phổ biến các hệ truyền động điện tự động, nhờ đó có thể thực hiện điều khiển các quá trình công nghệ bằng cách trực tiếp điều khiển truyền động điện. Vì vậy, quá trình quá độ thường xảy ra trong thời gian làm việc của truyền động điện và ý nghĩa của nó càng trở nên quan trọng hơn.

Dựa vào mức độ ảnh hưởng của quá trình quá độ đến chế độ làm việc, người ta chia các hệ truyền động thành ba loại:

— Những hệ có ít quá trình quá độ như máy bơm li tâm, quạt thông gió hãm lò. Chúng ít khởi động và hãm máy còn phụ tải thì ổn định;

— Những hệ có nhiều quá trình quá độ như truyền động của máy xúc, máy bào giường, cần trục v.v... Trong quá trình làm việc của máy, truyền động điện phải khởi động, hãm dừng, đảo chiều thường xuyên, còn phụ tải thì biến động bất thường.

— Những hệ luôn luôn làm việc trong quá trình quá độ như truyền động búa máy, máy nén piston, trục của máy cán thép thuận nghịch. Phụ tải của các máy này tăng giảm chu kỳ một cách liên tục, hệ truyền động có thể phải đảo chiều thường xuyên. Ngoài ra, các hệ thống có mômen quán tính thay đổi trong quá trình làm việc, như truyền động của trục quán máy xeo giấy hoặc trục quán của máy cán thép băng, cũng thuộc loại này.

Các máy thuộc loại thứ nhất thì ít gặp, loại thứ hai thì rất phổ biến. Nghiên cứu quá trình quá độ, ta có thể tìm được biện pháp rút ngắn thời gian của nó tức nâng cao năng suất máy, tạo được những quy luật chuyển động

thích hợp để tăng chất lượng gia công trên máy, tính toán các thông số cần thiết cho mạch bảo vệ, ổn định hóa hệ thống, hạn chế được gia tốc và lực động cơ hại cho các bộ phận cơ học hoặc người sử dụng, tính toán phát nhiệt để chọn công suất động cơ truyền động.

§ 1-2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ

1. Số liệu cho trước và những đại lượng cần tìm

Để nghiên cứu hoặc tính toán quá trình quá độ của truyền động điện, cần biết trước các đặc tính và số liệu sau: đặc tính cơ (hoặc đặc tính dòng điện) của động cơ và của máy sản xuất; sơ đồ mạch điện của hệ; các số liệu cơ học như mômen quán tính, mômen hãm của phanh (nếu có)...; loại quá trình (khởi động, hãm, đảo chiều, thay đổi tải,...); điều kiện ban đầu (giá trị tốc độ, mômen, dòng điện... tại thời điểm xảy ra quá trình quá độ).

Mục đích nghiên cứu và tính toán quá trình quá độ là tìm các quan hệ theo thời gian của tốc độ truyền động $\omega = f(t)$, dòng điện động cơ $i = f(t)$, mômen động cơ $M = f(t)$, hành trình của bộ phận làm việc L_{qd} hoặc góc quay của trục động cơ φ_{qd} sau khi kết thúc quá trình quá độ, thời gian của quá trình t_{qd} ,...

2. Phương pháp nghiên cứu.

Để đạt được mục đích nghiên cứu nêu trên, ta có thể sử dụng một trong các phương pháp sau đây:

a) *Giải trực tiếp hệ phương trình vi phân.* Bất kỳ một quá trình quá độ nào của bất kỳ hệ nào cũng được mô tả bằng các phương trình vi phân viết cho phần điện và phần cơ của hệ. Chẳng hạn ta xét quá trình quá độ khởi động trong hệ F—Đ (hình 1-1). Quá trình bắt đầu khi đóng tiếp điểm K để nối mạch kích từ của máy phát F vào nguồn điện một chiều. Kế đó là các quá trình quá độ diễn ra trong mạch kích từ của máy phát, trong mạch phản ứng của máy phát—động cơ và trong phần cơ của hệ truyền động. Mỗi quá trình đó được diễn tả bằng một phương trình vi phân trong hệ (1-1):

$$\left. \begin{aligned} U_k &= i_k R_k + L_k \frac{di_k}{dt} : \\ e_f &= K\Phi\omega + i_{\Sigma} R_{\Sigma} + L_{\Sigma} \frac{di_{\Sigma}}{dt} : \\ M &= M_c + J \frac{d\omega}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

trong đó, $R_{\Sigma} = R_{\Sigma f} + R_{\Sigma d}$; $L_{\Sigma} = L_{\Sigma f} + L_{\Sigma d}$ — tổng điện trở và điện cảm của mạch phản ứng máy phát—động cơ;

J — tổng mômen quán tính của hệ truyền động khi đã qui đổi về tốc độ động cơ;

ω — tốc độ của động cơ, tức tốc độ qui ước dùng để qui đổi các đại lượng cơ học khi lập mẫu cơ học cho hệ.

Chú ý rằng, trong hệ phương trình trên, giữa mômen M và dòng điện phần ứng có mối quan hệ:

$$M = K\Phi i_u. \quad (1-2a)$$

Còn giữa sđđ e_f và dòng kích từ i_k của máy phát có quan hệ:

$$e_f = K_1 i_k. \quad (1-2b)$$

Mặt khác, M và M_c lại có quan hệ với ω theo các phương trình đặc tính cơ. Rõ ràng là, khi coi điện trở, điện cảm trong các mạch điện và mômen quán tính của hệ là hằng số, thì các phương trình (1-1) là tuyến tính và ta có thể giải trực tiếp chúng để tìm các nghiệm $M(t)$, $i_u(t)$ hoặc $\omega(t)$.

Đối với những hệ thống phức tạp, quá trình quá độ được mô tả bằng nhiều phương trình vi phân hơn. Tuy nhiên về nguyên tắc ta có thể biến đổi chúng thành một phương trình tổng quát dạng:

$$A_n x^{(n)} + A_{n-1} x^{(n-1)} + \dots + A_1 x + A_0 = F(t), \quad (1-3)$$

trong đó, $F(t)$ — hàm nhiễu loạn.

x — đại lượng cần tìm nào đó, ví dụ M , i_u hoặc ω .

Với những giả thiết có thể chấp nhận được đối với đa số hệ truyền động điện, phương trình (1-3) là phương trình tuyến tính, nghĩa là các hệ số $A_1, A_2, \dots, A_n$ đều là hằng số. Phương trình đặc trưng của nó là:

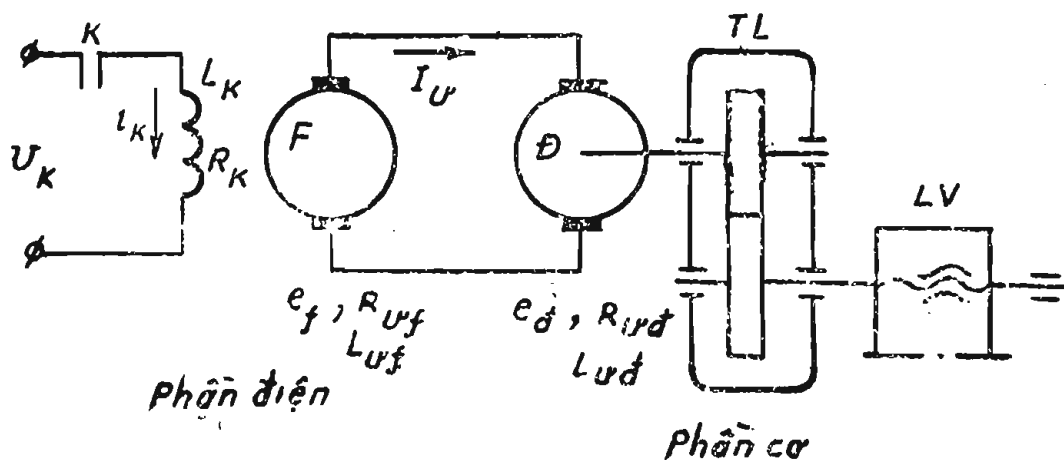
$$A_n \alpha^n + A_{n-1} \alpha^{n-1} + \dots + A_1 \alpha + A_0 = 0. \quad (1-4)$$

Giải phương trình này ta được giá trị của các nghiệm $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$. Cuối cùng, nghiệm của phương trình vi phân (1-3) sẽ có dạng:

$$x = C_1 e^{\alpha_1 t} + C_2 e^{\alpha_2 t} + \dots + C_n e^{\alpha_n t}, \quad (1-5)$$

trong đó $C_1, C_2, \dots, C_n$ — Các hằng số xác định nhờ điều kiện ban đầu của quá trình.

Cần ý rằng, các nghiệm $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ có thể là thuần số, hoặc hàm số, hoặc phức số. Nếu các α là thuần số thì quan hệ (1-5) sẽ đơn trị, nếu có những nghiệm α là số phức thì quan hệ $x(t)$ sẽ có dạng dao động (đa trị).



Hình 1-1. Hệ truyền động nối theo sơ đồ F-Đ.

Phương pháp giải trực tiếp các phương trình vi phân được ứng dụng cho những hệ tuyến tính khi đặc tính cơ của động cơ và của máy sản xuất là đường thẳng hoặc có phương trình đơn giản. Nó được sử dụng thuận tiện đối

với các hệ thống có ít phần tử và điều khiển vòng hở, đặc biệt là khi cho phép bỏ qua quán tính điện từ. Khi đó, quá trình quá độ được mô tả bằng hai hoặc chỉ một phương trình vi phân mà thôi.

Ví dụ, xét quá trình quá độ của hệ thống vẽ trên hình 1-2. Quá trình xảy ra khi đóng hoặc mở tiếp điểm K trong mạch phần ứng của động cơ. Sau đó quá trình sẽ diễn biến cả trong phần điện và phần cơ của hệ, và được mô tả bởi hai phương trình sau:

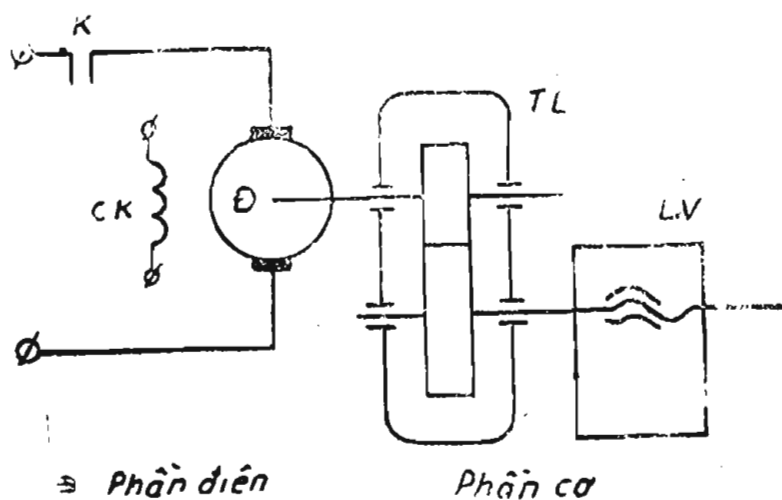
$$\left. \begin{aligned} U &= K\Phi\omega + R_{\text{r}}i_{\text{r}} + L_{\text{r}} \frac{di_{\text{r}}}{dt}; \\ M &= M_{\text{c}} + J \frac{d\omega}{dt}. \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

Đặc biệt, khi điện cảm mạch phần ứng của động cơ đủ nhỏ ta có thể bỏ qua quá trình điện từ, do đó quá trình quá độ được mô tả chỉ bằng phương trình chuyển động.

$$M = M_{\text{c}} + J \frac{d\omega}{dt}. \quad (1-7)$$

Rõ ràng là, nếu các quan hệ $M(\omega)$ và $M_{\text{c}}(\omega)$ đều là những đường thẳng hoặc là những hàm đơn giản, thì việc giải hệ (1-6) hoặc giải phương trình (1-7) là dễ dàng.

b) *Giải các phương trình vi phân bằng đồ thị.* Nếu động cơ truyền động hoặc máy sản xuất có đặc tính cơ là đường cong phức tạp khó biểu thị bằng giải tích, thì người ta thường dùng phương pháp đồ thị để tìm nghiệm của các phương trình vi phân. Chẳng hạn, nếu ta có một hệ thống đơn giản mà quá trình quá độ của nó được biểu diễn bằng phương trình (1-7). Trong đó, mômen M của động cơ và M_{c} của máy sản xuất đều phụ thuộc



Hình 1-2. Hệ truyền động dùng động cơ một chiều

tốc độ theo những đường cong phức tạp như trên hình 1-3. Bằng đồ thị ta dễ dàng dựng được đường cong $M_{\text{dg}} = M - M_{\text{c}}$ (góc phần tư thứ 2 hình 1-3). Tùy theo dạng của đường cong này ta chia nó ra nhiều phần, mỗi phần ứng với một khoảng tốc độ $\Delta\omega$. Trong từng phần ta coi hiệu $M - M_{\text{c}}$ có một giá trị trung bình không đổi. Ví dụ, trên hình 1-3 ta chia đường cong M_{dg} thành ba phần, mỗi phần có một giá trị trung bình (M_{dg1} , M_{dg2} , M_{dg3}) không đổi. Khi đó, phương trình (1-7) sẽ được viết theo từng khoảng của tốc độ:

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

Đối với khoảng thứ i nào đó, ta có:

$$\int_{\omega_i}^{\omega_{i+1}} d\omega = \frac{M_{dgi}}{J} \int_{t_i}^{t_{i+1}} dt,$$

hoặc

$$\Delta\omega = \frac{M_{dgi}}{J} \Delta t_i,$$

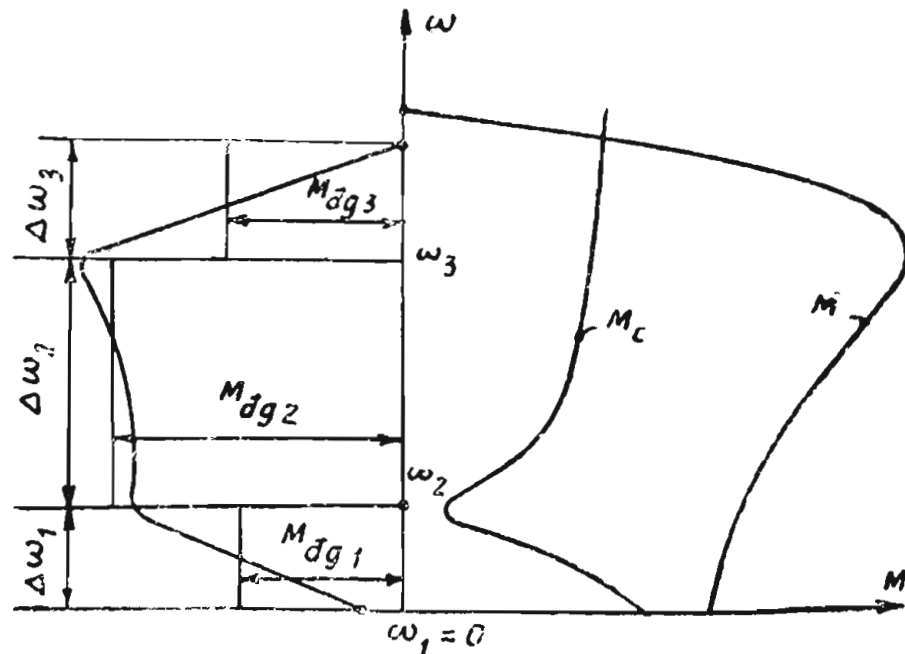
trong đó $\Delta\omega_i$ là số đã biết.

Cuối cùng ta có

$$\Delta t_i = \frac{J}{M_{dgi}} \Delta\omega_i. \quad (1-8)$$

Quan hệ (1-8) cho phép ta xác định được tọa độ của một điểm trên mặt phẳng $[t, \omega]$.

Giải phương trình chuyển động cho tất cả các phần đã chia như trên, ta sẽ được quan hệ $\omega = f(t)$ cần tìm.



Hình 1-3. Dựng đường cong $M_{dg}(\omega)$ bằng đồ thị.

c) *Giải phương trình vi phân bằng cách sai phân hóa.* Có thể nói tất cả các hệ truyền động điện thực tế đều là phi tuyến, nghĩa là nó chứa một hoặc nhiều phần tử phi tuyến như máy phát, động cơ, khuếch đại từ,... Vì vậy các phương trình vi phân mô tả hệ thống cũng là phi tuyến. Khi giải chúng, người ta sử dụng phương pháp sai phân để tuyến tính hóa các đường cong cần thiết, nhờ đó mà biến những phương trình vi phân thành các phương trình đại số. Phương pháp này cũng được ứng dụng cả cho các hệ tuyến tính khi không muốn giải các phương trình vi phân.

Ta hãy xét hệ phương trình (1-1) làm ví dụ. Rõ ràng là do các đặc tính từ hóa của máy phát và động cơ đều cong, nên L_k và L_{Σ} đều là những đại lượng

biến thiên, do đó hệ phương trình (1-1) là phi tuyến. Tuy nhiên, nếu lấy các gia số đủ nhỏ của các đại lượng tương ứng với các gia số Δt nào đó, thì các phương trình (1-1) được viết thành:

$$\left. \begin{aligned} U_k &= i_k R_k + L_k \frac{\Delta i_k}{\Delta t}; \\ e_r &= K\Phi\omega + i_r R_{r\Sigma} + L_{r\Sigma} \frac{\Delta i_r}{\Delta t}; \\ M &= M_c + J \frac{\Delta \omega}{\Delta t} \end{aligned} \right\} \quad (1-9a)$$

trong đó, $L_k, L_{r\Sigma}$ đều coi là không đổi trong suốt khoảng thời gian Δt đang xét.

Việc giải các phương trình đại số (1-9a) là rất dễ dàng. Tuy nhiên, đối với các hệ phức tạp, số lượng phương trình lớn, thì phương pháp này đòi hỏi phải tính toán nhiều và dễ làm lẫn. Mặt khác, do khối lượng tính toán lớn nên không thể lấy các gia số quá nhỏ, điều đó dẫn đến những sai số đáng kể.

d) *Tuyến tính hóa các phương trình vi phân.* Đối với các hệ phi tuyến, muốn nghiên cứu được chính xác hơn, ta phải tuyến tính hóa các phương trình vi phân nhờ chuỗi Taylo. Trong một vùng đủ hẹp xung quanh điểm xác lập, nếu phương trình vi phân mô tả cho một phần tử hoặc một hệ thống là phi tuyến nhưng đơn trị và không đột biến, thì ta có thể phân tích các hàm số chứa trong phương trình theo chuỗi Taylo. Chẳng hạn ta xét phương trình sau đây lấy từ hệ (1-1);

$$e_r = K\Phi\omega + R_{r\Sigma}i_r + L_{r\Sigma} \frac{di_r}{dt}. \quad (1-9b)$$

Vế phải của (1-9b) chứa ba hàm thời gian là $\omega(t)$, $\Phi(t)$ và $i_r(t)$ và có thể viết dưới dạng

$$F_1[I_r, I'_r, \Phi, \omega] = F_1[I_r^0 + \Delta I_r, (I'_r)^0 + \Delta I'_r, \Phi^0 + \Delta\Phi, \omega^0 + \Delta\omega], \quad (1-10)$$

trong đó $I'_r, \Delta I'_r$ — đạo hàm của dòng điện phần ứng và gia số của nó. Các đại lượng có chỉ số « 0 » đều tương ứng với giá trị xác lập.

Phân tích (1-10) theo chuỗi Taylo ta được:

$$\begin{aligned} F_1[I_r, I'_r, \Phi, \omega] &= F_1[I_r^0, (\Delta I'_r)^0, \Phi^0, \omega^0] + \frac{\partial F_1}{\partial I_r} \Delta I_r + \frac{\partial F_1}{\partial I'_r} \Delta I'_r + \\ &+ \frac{\partial F_1}{\partial \Phi} \Delta\Phi + \frac{\partial F_1}{\partial \omega} \Delta\omega + \frac{\partial^2 F_1}{\partial I_r^2} \Delta I_r^2 + \frac{\partial^2 F_1}{\partial I'_r^2} \Delta I'^2_r + \frac{\partial^2 F_1}{\partial \Phi^2} \Delta\Phi^2 + \frac{\partial^2 F_1}{\partial \omega^2} \Delta\omega^2 + \\ &+ 2\left(\frac{\partial^2 F_1}{\partial I_r \partial I'_r}\right) \Delta I_r \cdot \Delta I'_r + 2\left(\frac{\partial^2 F_1}{\partial I'_r \partial \Phi}\right) \Delta I'_r \cdot \Delta\Phi + 2\left(\frac{\partial^2 F_1}{\partial I_r \partial \omega}\right) \Delta I_r \cdot \Delta\omega + \\ &+ 2\left(\frac{\partial^2 F_1}{\partial I'_r \partial \Phi}\right) \Delta I'_r \cdot \Delta\Phi + 2\left(\frac{\partial^2 F_1}{\partial I'_r \partial \omega}\right) \Delta I'_r \cdot \Delta\omega + 2\left(\frac{\partial^2 F_1}{\partial \Phi \partial \omega}\right) \Delta\Phi \cdot \Delta\omega + \dots \quad (1-11) \end{aligned}$$

Giá trị các đạo hàm riêng được xác định theo điểm xác lập. Do đó, từ phương trình (1-9b) và (1-10) ta có:

$$\left(\frac{\partial F_1}{\partial I_u}\right)^0 = R_{u\Sigma}; \left(\frac{\partial F_1}{\partial \Phi}\right)^0 = K\omega^0; \left(\frac{\partial F_1}{\partial I'_u}\right)^0 = L_{u\Sigma}; \left(\frac{\partial F_1}{\partial \omega}\right)^0 = K\Phi^0. \quad (1-12)$$

Mặt khác, bỏ qua tất cả những số hạng chứa gia số bậc hai (hoặc tích hai gia số) trở lên thì phương trình (1-11) được rút gọn thành:

$$F_1[I_u, I'_u, \Phi, \omega] \approx L_{u\Sigma}(\Delta I'_u)^0 + R_{u\Sigma}I_u^0 + K\Phi^0\omega^0 + L_{u\Sigma}\Delta I'_u + R_{u\Sigma}\Delta I_u + K\omega^0\Delta\Phi + K\Phi^0\Delta\omega. \quad (1-13)$$

Vế trái của phương trình (1-9b) có thể biểu thị:

$$e_f = E_f^0 + \Delta E_f. \quad (1-14)$$

Nếu ΔE_f không phải là hàm bậc thang theo thời gian thì khi $t = 0$ ta có $\Delta E_f^0 = 0$, còn đạo hàm của dòng phản ứng tại thời điểm ban đầu $(\Delta I'_u)^0 = 0$. So sánh (1-13) với (1-14) ta thấy

$$R_{u\Sigma}I_u^0 + K\Phi^0\omega^0 = E_f^0 \quad (1-15)$$

và

$$L_{u\Sigma}\Delta I'_u + R_{u\Sigma}\Delta I_u + K\Phi^0\Delta\omega + K\omega^0\Delta\Phi = \Delta E_f, \quad (1-16)$$

trong đó các hệ số đều coi không đổi và bằng giá trị tương ứng tại điểm xác lập lấy làm gốc cho các gia số.

Như vậy, ta đã biến phương trình vi phân phi tuyến (1-9b) thành phương trình vi phân tuyến tính (1-16). Hệ gồm những phương trình này có thể giải được theo phương pháp đầu (mục a).

e) Tìm đặc tính quá độ bằng phương pháp mô hình hóa và máy tính. Mô hình hóa là phương pháp nghiên cứu động học rất có hiệu quả. Nó cho phép khảo sát các hệ tự động tương đối phức tạp chứa nhiều phần tử và có xét đến tính phi tuyến của hệ ở một mức độ nhất định. Nội dung của phương pháp này là dựa vào phương trình vi phân hoặc hàm truyền của từng khâu trong hệ để ta xây dựng một mô hình toán học, trong đó mỗi khâu trong hệ vật lý (hệ truyền động điện) được thay bằng một khâu động học tổng quát có cùng hàm truyền. Đưa mô hình này lên máy tính điện tử tương tự, ta nhận được các đặc tính quá độ cần thiết như $\omega(t)$, $M(t)$, $i(t)$ v.v... Khả năng ứng dụng của phương pháp này phụ thuộc dung lượng của máy tính.

Đối với những hệ phức tạp hơn hoặc khi cần khảo sát chính xác các đặc tính nêu trên có xét đến ảnh hưởng của nhiều thông số, người ta dùng máy tính số.

f) Dựn đặc tính quá độ bằng phương pháp tần số. Đối với các hệ tự động vòng kín tuyến tính ta có thể dựn đặc tính quá độ bằng phép tính gần đúng nhờ đặc tính tần phân thực. Trước hết, dựa vào sơ đồ cấu trúc của hệ tự động ta xác định hàm truyền của nó rồi suy ra phương trình đặc tính biên - pha tần. Biến đổi phương trình này ta được phương trình đặc tính tần

phần thực. Chia đặc tính này thành các hình thang vuông và dựa vào các bảng chuẩn của hình thang đơn vị, ta sẽ xác định được các số liệu cần thiết để dựng đặc tính quá độ.

Phương pháp tần số được sử dụng rộng rãi trong thiết kế truyền động điện để đánh giá chất lượng các quá trình quá độ.

§ 1-3. QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ CƠ HỌC VÀ QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ ĐIỆN-CƠ

Có thể phân loại quá trình quá độ theo nhiều dấu hiệu, nhưng cách phổ biến nhất là theo tác dụng của các khâu quán tính trong hệ. Thông thường, một hệ truyền động điện có chứa các phần tử có quán tính điện từ, quán tính cơ học và quán tính nhiệt.

Quán tính nhiệt của hệ do nhiệt dung của các vật thể, ví dụ của động cơ điện, gây ra. Khi trạng thái cân bằng của hệ bị phá vỡ, dòng điện trong động cơ biến đổi và nhiệt độ của động cơ thay đổi. Nhiệt dung của động cơ càng lớn thì sự biến đổi của nhiệt độ càng chậm; nghĩa là quán tính nhiệt càng lớn. Trong trạng thái quá độ, nhiệt độ của máy điện thay đổi theo qui luật hàm mũ (theo thời gian) — xem phần III:

$$\theta = \theta_{x1} + (\theta_{bd} - \theta_{x1})e^{-\frac{t}{T_n}} \quad (1-17)$$

trong đó θ_{bd} , θ_{x1} — nhiệt độ ban đầu và nhiệt độ xác lập của động cơ, [°C];

$T_n = \frac{C}{A}$ — hằng số thời gian phát nóng của động cơ, [s]; C — nhiệt dung của động cơ, [J/độ]; A — hệ số tỏa nhiệt của động cơ vào môi trường, [W/độ].

Hằng số thời gian phát nóng của động cơ T_n phụ thuộc công suất và thường rất lớn (trên vài chục phút), nghĩa là có thể coi vô cùng lớn so với thời gian của quá trình quá độ cơ điện (dưới vài giây). Vì vậy, khi nghiên cứu quá trình quá độ ta hoàn toàn có thể bỏ qua ảnh hưởng của quá trình nhiệt. Sau đây ta khảo sát hai loại quán tính chủ yếu, tương ứng với hai loại quá trình quá độ.

1. Quá trình quá độ cơ học.

Quán tính cơ học do mômen quán tính hoặc khối lượng của các vật thể chuyển động gây ra. Vì bất kì hệ thống truyền động nào cũng chứa đựng phần cơ, nên luôn luôn tồn tại quán tính này. Nếu quán tính điện từ của hệ đủ nhỏ có thể bỏ qua, thì ta coi quá trình quá độ chỉ chịu ảnh hưởng của quán tính cơ học mà thôi. Quá trình quá độ loại này được gọi là quá trình cơ học.

Khi xét quá trình quá độ cơ học, ta coi các đại lượng điện từ đều biến đổi tức thời, ví dụ dòng điện và mômen điện từ của động cơ. Để cho đơn giản, ta xét một hệ truyền động có phần cơ thuộc mẫu đơn khối (hình 1-4a). Coi lượng vào của hệ là mômen động cơ M , lượng ra là tốc độ truyền động ω ,

lượng nhiễu loạn là M_c . Giả sử các đại lượng đó có tương quan về chiều như đã ghi trên hình 1-4a. Giá trị của chúng liên hệ với nhau qua phương trình chuyển động

$$M - M_c = M_{dg} = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (1-18a)$$

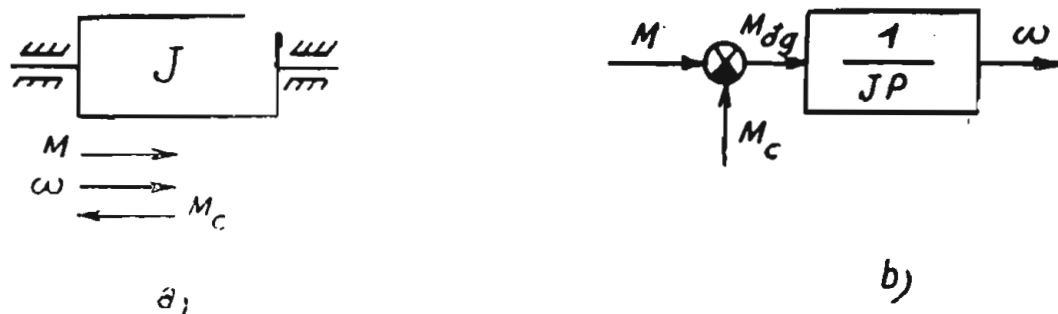
hoặc viết theo dạng toán tử Laplace :

$$M - M_c = M_{dg} = Jp \quad (1-18b)$$

Hàm truyền của hệ sẽ là

$$W(p) = \frac{\omega(p)}{M_{dg}(p)} = \frac{1}{Jp}. \quad (1-18c)$$

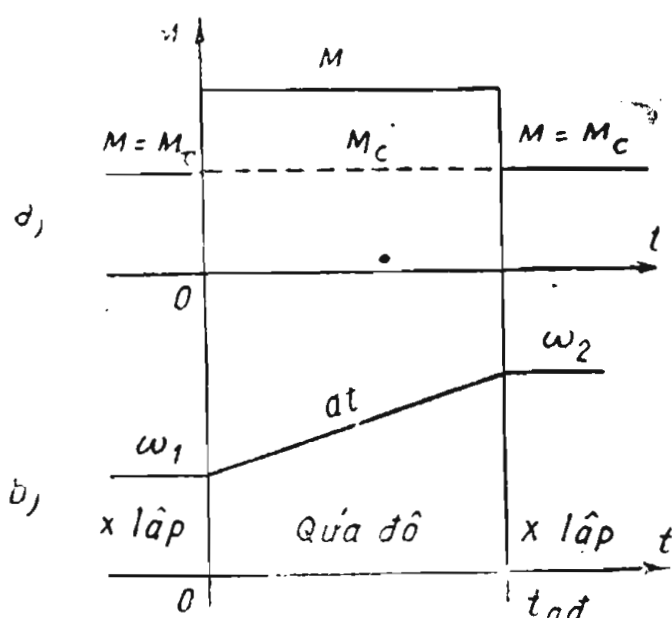
Ta biểu thị hệ này bằng sơ đồ cấu trúc đơn giản như trên hình 1-4b.



Hình 1-4. Mẫu cơ học và sơ đồ cấu trúc của hệ truyền động đơn khối.

Nếu trong quá trình quá độ, $M_{dg} = \text{const}$ thì từ (1-18a) ta tìm được nghiệm $\omega(t)$ như sau :

$$\omega = \int \frac{M_{dg}}{J} dt = at. \quad (1-19)$$



Hình 1-5. Quá trình quá độ cơ học trong hệ đơn khối khi $M_{dg} = \text{const}$

Hình 1-5 minh họa cho điều kiện $M_{dg} = \text{const}$ và quan hệ (1-19). Giả sử máy sản xuất có phụ tải loại $M_c = \text{const}$, và trước khi xảy ra quá trình quá độ ($t < 0$) hệ đã làm việc xác lập với $M = M_c$ và $\omega = \omega_1 = \text{const}$. Trong quá trình quá độ, động cơ duy trì một mômen $M = \text{const}$ và lớn hơn mômen cản, do đó xuất hiện một mômen động đặt vào hệ $M_{dg} = \text{const}$ (hình 1-5a). Hệ sẽ tăng tốc theo qui luật đường thẳng (1-19) nghĩa là có gia tốc không đổi

$$a = \frac{M_{dg}}{J} = \text{const}.$$

Quy luật đó được giữ nguyên cho đến khi mômen động cơ giảm (đột biến) xuống bằng M_c thì hệ lại làm việc xác lập với giá trị tốc độ mới $\omega = \omega_2$.

Điều kiện $M_{dg} = \text{const}$ nêu trên thường được thỏa mãn trong các hệ tự động vòng kín có điều khiển mômen hoặc dòng điện.

Đa số các hệ điều khiển vòng hở có mômen động phụ thuộc tốc độ theo đường thẳng (hình 1-6a). Phương trình của đặc tính mômen động có thể viết dưới dạng:

$$M_{dg} = M_o - \beta_{dg}\omega. \quad (1-20)$$

trong đó M_o – mômen động ứng với giá trị tốc độ $\omega = 0$

β_{dg} – độ cứng của đặc tính $M_{dg}(\omega)$, [N.m]

$$\beta_{dg} = \frac{dM_{dg}}{d\omega} = \frac{M_o}{\omega_{x1}}; \quad (1-21)$$

ω_{x1} – tốc độ xác lập khi $M_{dg} = 0$,

Thay (1-20) vào (1-18a) ta được:

$$M_o - \beta_{dg}\omega = J \frac{d\omega}{dt},$$

hoặc

$$\omega_{x1} = \omega + T_c \frac{d\omega}{dt}, \quad (1-22)$$

trong đó, $\frac{M_o}{\beta_{dg}} = \omega_{x1}$ – xác định theo (1-21);

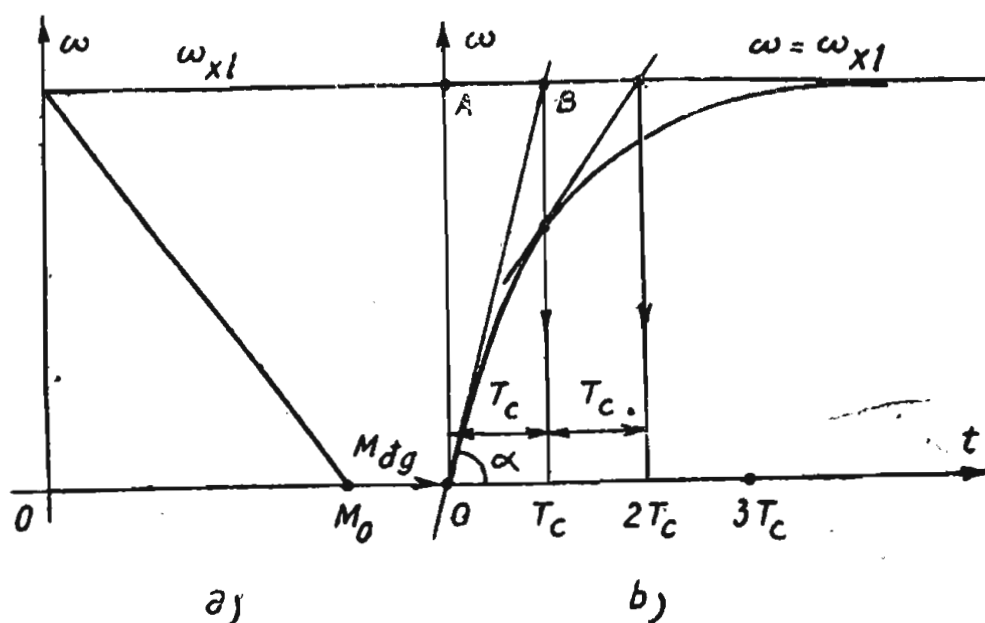
T_c – hằng số thời gian cơ học, [s]:

$$T_c = \frac{J}{\beta_{dg}}. \quad (1-23)$$

Nghiệm của phương trình (1-22) sẽ là:

$$\omega = \omega_{x1} + (\omega_{bd} - \omega_{x1}) e^{-\frac{t}{T_c}} \quad (1-24)$$

trong đó ω_{bd} – giá trị tốc độ ở thời điểm đầu tiên của quá trình quá độ.



Hình 1-6. Quá trình quá độ cơ học trong hệ đơn khối khi $M_{dg} = f(\omega)$ là đường thẳng.

Như vậy, khi M_{dg} phụ thuộc tốc độ theo qui luật đường thẳng thì tốc độ truyền động sẽ biến thiên theo dạng hàm mũ trong thời gian quá trình quá độ. Đường cong $\omega(t)$ theo (1-24) được vẽ trên hình 1-6b.

Từ (1-24) hoặc từ hình 1-6b ta thấy tốc độ chỉ có thể đạt đến giá trị xác lập sau thời gian vô cùng lớn, nghĩa là $t_{qd} = \infty$. Đó là thời gian lí thuyết. Tuy nhiên chỉ sau một khoảng $t = (3 - 5) T_c$ thì ω đạt đến 95 - 99% ω_{x1} , nên trong thực tế người ta coi $t_{qd} \approx (3 - 5) T_c$.

Hằng số thời gian cơ học là đại lượng quan trọng trong việc khảo sát các quá trình quá độ. Nó là thời gian cần thiết để đưa tốc độ truyền động từ giá trị ban đầu đến giá trị xác lập khi mômen động được giữ nguyên trị số M_o trong suốt thời gian đó. Thực vậy, nếu $M_{dg} = M_o = \text{const}$, phương trình chuyển động được viết thành

$$M_o = J \frac{d\omega}{dt},$$

và do đó

$$t = \frac{J}{M_o} \omega$$

Thời gian để cho tốc độ đạt đến giá trị xác lập sẽ là

$$t_{x1} = \frac{J}{M_o} \omega_{x1}.$$

Mặt khác, nếu thay $\omega_{x1} = M_o/\beta_{dg}$ theo (1-21) ta được

$$t_{x1} = \frac{J}{M_o} \cdot \frac{M_o}{\beta_{dg}} = \frac{J}{\beta_{dg}} \quad (1-25)$$

So sánh (1-25) và (1-23) ta thấy $T_c = t_{x1}$.

Trên đồ thị, hằng số thời gian cơ học được xác định bằng cách kẻ tiếp tuyến với đường cong $\omega(t)$. Khoảng đóng trên trục thời gian kể từ điểm tiếp xúc, tới giao điểm của đường tiếp tuyến với đường nằm ngang $\omega = \omega_{x1}$, chính là T_c (xem hình 1-6). Thực vậy, nếu ta chọn điểm gốc thời gian ($t = 0$) để kẻ tiếp tuyến như đã vẽ trên hình 1-6, thì

$$\text{tg} \alpha = \frac{\omega_{x1}}{AB}, \quad (1-26)$$

trong đó AB — đo theo đơn vị thời gian [s].

Mặt khác, về giải tích ta lại có

$$\text{tg} \alpha = d\omega/dt,$$

trong đó, ω phụ thuộc thời gian theo (1-24).

Từ (1-24) ta có:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{T_c} \omega_{x1} e^{-\frac{t}{T_c}}$$

Tại $t = 0$, ta có

$$\left(\frac{d\omega}{dt} \right)_0 = \frac{1}{T_c} \omega_{x1} \quad (1-27)$$

So sánh (1-26) với (1-27) ta thấy: $T_c = AB$.

2. Quán tính điện từ và quá trình quá độ điện cơ.

Nhiều hệ truyền động ngoài quán tính cơ học như đã xét trên, còn có quán tính điện từ đủ lớn.

Quán tính điện từ do điện cảm trong mạch điện gây ra. Khi điện cảm đủ lớn thì quán tính này có ảnh hưởng đáng kể đến quá trình quá độ. Người ta gọi quá trình quá độ loại này là quá trình quá độ điện - cơ.

Ta xét hệ truyền động vẽ trên hình 1-2, quá trình quá độ của nó được mô tả bằng hệ phương trình (1-6). Viết dưới dạng toán tử laplace ta có:

$$\left. \begin{aligned} U - K\Phi\omega &= i_{ur}R_{ur}(1+T_{ur}p); \\ i_{ur} - I_c &= \frac{J}{K\Phi}\omega p, \end{aligned} \right\} \quad (1-28)$$

trong đó $i_{ur} = \frac{M}{K\Phi}$; $I_c = \frac{M_c}{K\Phi}$ - dòng điện phản ứng và dòng điện tải, [A];

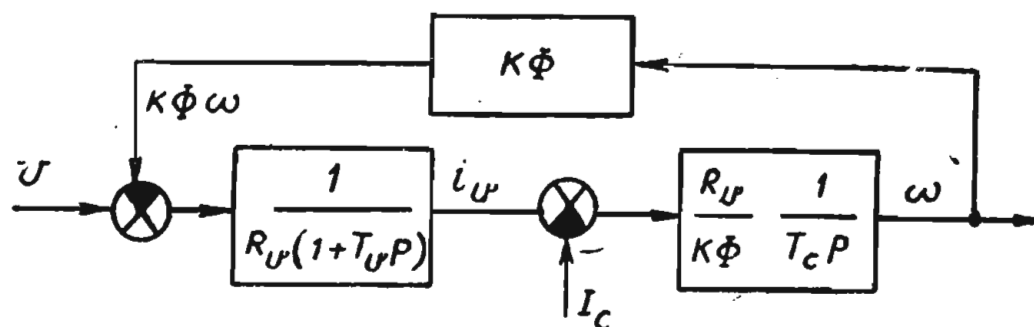
$T_{ur} = \frac{L_{ur}}{R_{ur}}$ - hằng số thời gian điện từ của mạch phản ứng, [s].

Nhân và chia vế phải của phương trình thứ hai với $(R_{ur}/K\Phi)$ ta được:

$$i_{ur} - I_c = T_c \frac{K\Phi}{R_{ur}} p \cdot \omega, \quad (1-29)$$

trong đó $T_c = \frac{J R_{ur}}{(K\Phi)^2} = \frac{J}{\beta}$ - hằng số thời gian cơ học của hệ truyền động.

Từ (1-28) và (1-29) ta có sơ đồ cấu trúc của hệ như trên hình 1-7. Lượng vào của hệ là điện áp trên phần ứng động cơ, lượng ra là tốc độ truyền động, còn nhiễu loạn là phụ tải I_c .



Hình 1-7. Sơ đồ cấu trúc của hệ truyền động có quá trình quá độ điện cơ

Rút i_{ur} từ (1-29) thay vào phương trình thứ nhất trong (1-28) ta được một phương trình chung:

$$U - K\Phi\omega = T_c K\Phi\omega p + T_c T_{ur} K\Phi\omega p^2 + R_{ur} I_c + T_c T_{ur} I_c p.$$

Vì $I_c = \text{const}$ nên $T_c T_{ur} I_c p = 0$, do đó

$$U = K\Phi\omega + K\Phi T_c \omega p + K\Phi T_c T_{ur} \omega p^2 + R_{ur} I_c. \quad (1-30a)$$

Hoặc viết dưới dạng hàm gốc:

$$U = K\Phi\omega + K\Phi T_c \frac{d\omega}{dt} + K\Phi T_c T_{ur} \frac{d^2\omega}{dt^2} + R_{ur} I_c. \quad (1-30b)$$

Như vậy quá trình quá độ điện cơ trong hệ này được mô tả bằng phương trình vi phân bậc hai, và phụ thuộc vào các hằng số thời gian T_c , T_u .

Để cho đơn giản ta xét quá trình quá độ không tải, ($M_c = 0$, $I_c = 0$). Khi đó phương trình (1-30) được đưa về dạng

$$\frac{U}{k\Phi} = \omega + T_c \frac{d\omega}{dt} + T_c T_u \frac{d^2\omega}{dt^2}; \quad (1-30c)$$

hoặc

$$\frac{1}{T_c T_u} \frac{U}{k\Phi} = \frac{1}{T_c T_u} \omega + \frac{1}{T_u} \frac{d\omega}{dt} + \frac{d^2\omega}{dt^2}$$

Phương trình đặc trưng của nó là

$$\alpha^2 + \frac{1}{T_u} \alpha + \frac{1}{T_u T_c} = 0. \quad (1-31)$$

Nghiệm của phương trình đặc trưng là

$$\alpha_{1,2} = -\frac{1}{2T_u} \pm \sqrt{\frac{1}{4T_u^2} - \frac{1}{T_u T_c}} \quad (1-32)$$

và nghiệm của phương trình vi phân (1-30) có dạng

$$\omega = Ae^{\alpha_1 t} + Be^{\alpha_2 t}, \quad (1-33)$$

trong đó, A, B – các hệ số xác định theo điều kiện ban đầu.

Từ (1-32) ta thấy, nếu

$$T_u < \frac{1}{4} T_c \quad (1-34)$$

thì biểu thức dưới căn của (1-32) sẽ dương, các nghiệm đều là số thực, do đó hàm quá độ (1-33) có dạng không chu kỳ. Đường cong $\omega(t)$ trong trường hợp này là đơn trị như đường 1 trên hình 1-8.

Nếu

$$T_u > \frac{1}{4} T_c \quad (1-35)$$

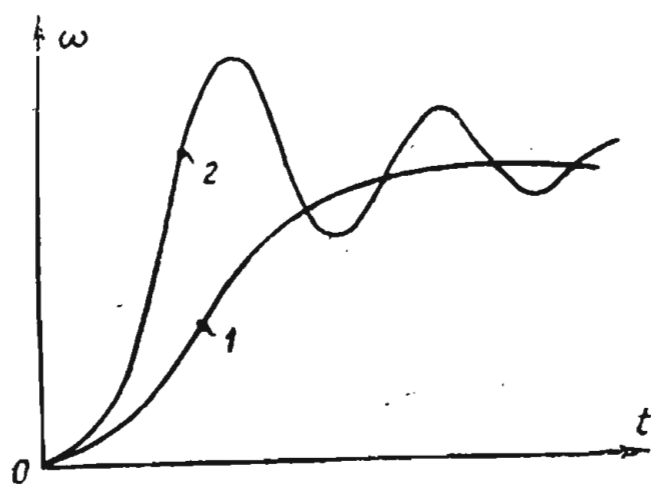
thì các nghiệm của phương trình đặc trưng sẽ là số phức dạng

$$\alpha = -\beta \pm j\Omega$$

và nghiệm của phương trình vi phân (1-30) có dạng hàm điều hòa:

$$\omega = Ce^{-\beta t}(\cos\Omega t \pm j\sin\Omega t). \quad (1-36)$$

Hàm quá độ $\omega(t)$ trong trường hợp này có dạng dao động như đường 2 trên hình 1-8.



Hình 1-8. Đặc tính quá độ $\omega(t)$ khi

$T_u < \frac{1}{4} T_c$ (đường 1) và khi

$T_u > \frac{1}{4} T_c$ (đường 2).

§1-4. ĐỘ ỔN ĐỊNH CỦA TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

Truyền động điện cũng như bất kỳ một hệ vật lý nào, nó có thể ổn định hoặc không ổn định. Một hệ được gọi là ổn định nếu sau khi trạng thái cân bằng của nó bị phá vỡ, hệ trải qua một quá trình quá độ nhất định, rồi đạt đến một trạng thái cân bằng mới, nghĩa là sau một thời gian nhất định nó lại làm việc ở trạng thái xác lập. Đối với hệ này khi thời gian quá trình quá độ $t \rightarrow \infty$ thì gia số của những đại lượng vật lý trong hệ như gia số tốc độ $\Delta\omega$, gia số mômen động ΔM_{ag} đều tiến tới không (khi nhiễu loạn không còn nữa).

Ngược lại, hệ không ổn định thì sau khi trạng thái cân bằng của nó bị phá vỡ, các đại lượng vật lý trong nó sẽ tăng vô hạn hoặc giảm về không.

Đối với các hệ truyền động điện, cũng như hệ kỹ thuật nói chung, người ta xếp khái niệm về độ ổn định thành hai loại: ổn định tĩnh và ổn định động.

1. Ổn định tĩnh.

Khái niệm ổn định tĩnh được sử dụng khi sự chuyển biến của hệ thống từ trạng thái xác lập này sang trạng thái xác lập khác diễn ra tương đối chậm, đến mức mà vai trò của các khối quán tính và điện cảm trong hệ không có ý nghĩa. Nói cách khác trong trường hợp này ta có thể bỏ qua tốc độ biến thiên của năng lượng điện từ và động năng tích lũy trong hệ.

Do đặc điểm nêu trên, khi xét độ ổn định tĩnh ta căn cứ vào trạng thái ban đầu và trạng thái cuối cùng của hệ, mà không cần quan tâm đến diễn biến trung gian giữa hai trạng thái đó. Các trạng thái ban đầu và cuối cùng của hệ truyền động điện đều là những trạng thái xác lập và được xác định bởi sự tương quan giữa đặc tính cơ của động cơ và đặc tính cơ của máy sản xuất.

Như đã chứng minh trong chương 1 tập I, tiêu chuẩn ổn định tĩnh là độ cứng đặc tính cơ của động cơ nhỏ hơn độ cứng đặc tính cơ của máy sản xuất:

$$\beta < \beta_c. \quad (1-37)$$

Khi thỏa mãn điều kiện đó, một hệ thống, dù không có một bộ điều chỉnh nào, ví dụ hệ thống hở, vẫn tự cân bằng được.

Các quá trình quá độ khảo sát trong phần này đều dựa trên giả thiết các hệ thỏa mãn tiêu chuẩn (1-37).

2. Ổn định động

Khái niệm ổn định động được dùng khi sự chuyển biến trạng thái của hệ thống xảy ra một cách đột ngột hoặc nhanh chóng, mà khi đó tốc độ biến thiên của năng lượng điện từ và động năng không thể bỏ qua được, nghĩa là quán tính đóng vai trò quan trọng đối với sự làm việc của hệ.

Khác với trường hợp trên, khi xét độ ổn định động ta cần nghiên cứu đặc điểm làm việc của hệ trong thời gian chuyển từ trạng thái xác lập này sang trạng thái xác lập khác. Như vậy, nội dung nghiên cứu quá trình quá độ thuộc về khái niệm ổn định động.

Khảo sát độ ổn định động, ta có cơ sở đánh giá một cách sâu sắc và chính xác hơn các tính chất của truyền động điện về khả năng làm việc ổn định của nó.

Thực vậy, nhiều trường hợp nếu phân tích hệ thống trên cơ sở độ ổn định tĩnh ta thấy nó không thể làm việc được, nhưng thực ra nó lại có thể làm việc bình thường nếu xét vấn đề trên quan điểm ổn định động.

Để làm ví dụ, ta khảo sát độ ổn định động của động cơ không đồng bộ khi điện áp stato giảm xuống trong một khoảng thời gian nhất định, sau đó lại được phục hồi.

Khi điện áp stato là định mức, đặc tính cơ của động cơ là đường M trên hình 1-10 có phương trình

$$M = \frac{2M_{th}}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}} \quad (1-38)$$

Khi điện áp stato giảm xuống, đặc tính của động cơ sẽ là đường M' có phương trình:

$$M' = \frac{2M'_{th}}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}} \quad (1-39)$$

Giả thiết điện áp giảm đến mức làm cho $M'_{th} < M_c$. Trên quan điểm độ ổn định tĩnh ta thấy động cơ sẽ không làm việc vì $M < M_c$. Nhưng trong quá trình động, cần xét đến ảnh hưởng của quán tính của truyền động. Sau khi điện áp sụt, động cơ bị giảm tốc vì mômen động của hệ âm:

$$M' - M_c < 0. \quad (1-40)$$

Thời gian cần thiết để cho tốc độ giảm từ ω_1 đến ω_2 (tương ứng, độ trượt tăng từ s_1 đến s_2) là t_{12} . Nếu thời gian duy trì tình trạng sụt áp $t_{sa} < t_{12}$, thì hệ làm việc hoàn toàn bình thường. Ta có thể tìm được mối liên hệ giữa giá trị sụt áp, thời gian sụt áp và mômen cản sao cho hệ vẫn làm việc bình thường.

Thực vậy, viết phương trình chuyển động cho hệ sau khi sụt áp ta có

$$M' - M_c = J \frac{d\omega}{dt} = -J\omega_0 \frac{ds}{dt}. \quad (1-41)$$

Thay M' bằng các biểu thức (1-39) và (1-40) và chia cả hai vế cho M_{th} :

$$\frac{2u^{*2}}{s^* + \frac{1}{s^*}} - M_c^* = -\frac{J\omega_0}{M_{th}} \frac{ds}{dt}, \quad (1-42)$$

trong đó

$$M_c^* = \frac{M_c}{M_{th}}; \quad s^* = \frac{s}{s_{th}}; \quad u^* = \frac{U}{U_{dm}}.$$

Thay $ds = s_{th} ds^*$ và đặt

$$\frac{J\omega_0}{M_{th}} s_{th} = T_c; \quad t^* = \frac{t}{T_c}$$

thì từ (1-42) ta được:

$$dt^* = \frac{dt}{T_c} = \frac{(s^* + 1/s^*) ds^*}{M_c^* (s^* + 1/s^*) - 2u^{*2}}. \quad (1-43)$$

Thời gian giảm tốc độ từ ω_1 đến ω_2 sẽ là:

$$t_{12}^* = \int_{s_1^*}^{s_2^*} \frac{(s^* + 1/s^*) ds^*}{M_c^* (s^* + 1/s^*) - 2u^*} \quad (1-44)$$

Các giá trị s_1^* và s_2^* được xác định bằng cách thay $M = M_c$ vào phương trình (1-38):

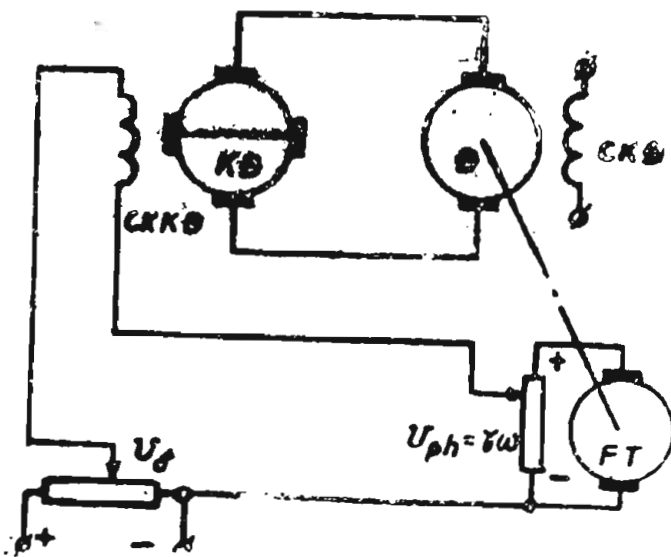
$$M_c = \frac{2 M_{th}}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}} = \frac{2 M_{th}}{s^* + 1/s^*}$$

Ta có

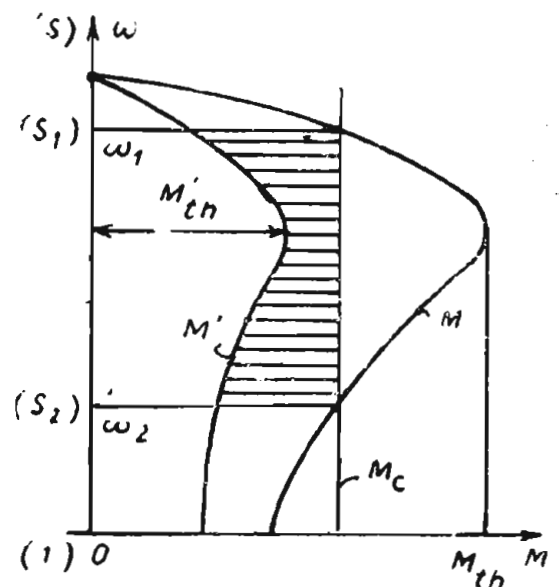
$$s_{1,2}^* = \frac{1}{M_c^*} \pm \sqrt{\left(\frac{1}{M_c^*}\right)^2 - 1}. \quad (1-45)$$

Thay các giá trị s_1^* và s_2^* từ (1-45) vào làm cận của tích phân (1-44) ta tìm được thời gian t_{12}^* :

$$t_{12}^* = f(M_c^*, u^*). \quad (1-46)$$



Hình 1-9. Hệ truyền động điện tự động vòng kín

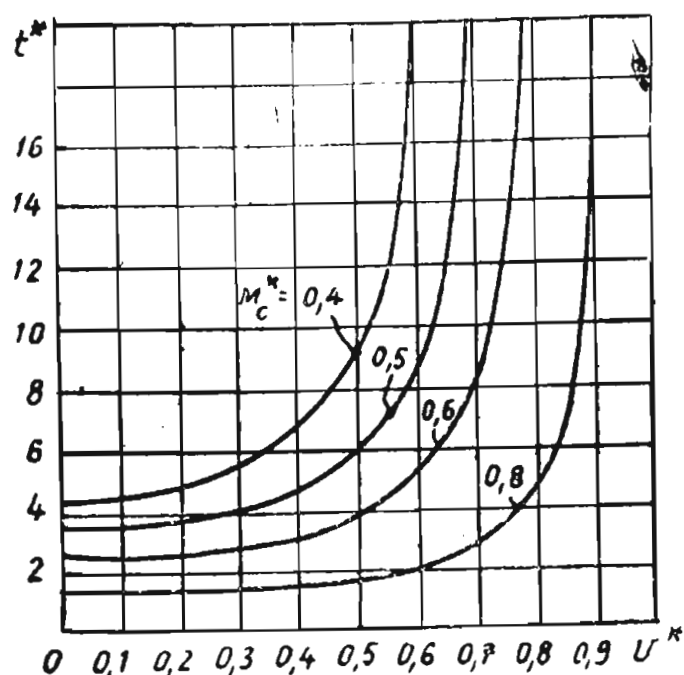


Hình 1-10. Các đặc tính của động cơ và máy sản xuất dùng để khảo sát độ ổn định động khi sụt áp.

Kết quả nghiên cứu cho ở dạng họ đường cong trên hình 1-11. Giá trị thời gian (tính theo đơn vị séc) sẽ phụ thuộc vào mômen phụ tải M_c , điện áp sụt U , và momen quán tính J của hệ. Khi đã biết mômen phụ tải và độ sụt áp có thể có, biểu thức (1-46) hoặc họ đường cong 1-11 cho phép ta xác định được khoảng thời gian tối đa mà hệ truyền động có thể giữ được trạng thái ổn định động. Dựa vào thời gian đó, người ta tính toán hệ thống bảo vệ, ví dụ chỉnh định role thời gian dùng để bảo vệ sụt áp.

§1-5. ĐẶC TÍNH CƠ ĐỘNG

Trong các chương trước của giáo trình (Tập I) ta đã làm quen với đặc tính cơ tĩnh của động cơ hoặc của truyền động điện. Đó là quan hệ giữa tốc độ và mômen động cơ ở trạng thái xác lập. Nói cách khác, đó là tập hợp các điểm hình học trên mặt phẳng $[M, \omega]$ khi cho hệ thống làm việc ở các trạng thái cân bằng giữa động cơ và phụ tải. Đặc tính này giúp ta khảo sát các trạng thái xác lập và cả một số trạng thái quá độ cơ học, nghĩa là khi không đòi hỏi khảo sát tính chất động bên trong phần điện của hệ truyền động.



Hình 1-11. Quan hệ $t_{12}^* = f(M_c^*, u^*)$ dùng để xác định thời gian sụt áp cho phép theo độ ổn định động.

độ. Nói cách khác, nó là quan hệ giữa hai đại lượng cơ học ω và M tại từng thời điểm khi trạng thái cân bằng trong hệ đã bị phá vỡ.

Đặc tính cơ động biểu thị quan hệ $M(\omega)$ cho trường hợp tổng quát nhất, còn đặc tính cơ tĩnh chỉ là một trường hợp riêng của nó. Ứng với các thông số đã cho cố định của động cơ và của nguồn, một hệ truyền động điện có thể có vô số các đặc tính cơ động khác nhau. Dạng của các đặc tính này phụ thuộc vào điều kiện làm việc của hệ thống như loại quá trình quá độ, điều kiện ban đầu, tính chất và giá trị của nhiễu loạn v.v..

Vì trong quá trình quá độ, phần cơ và phần điện của hệ truyền động có tác dụng qua lại chặt chẽ, nên đặc tính cơ động của động cơ phản ánh tính chất của toàn hệ chứ không phải chỉ của riêng động cơ. Do đó ta chỉ sử dụng nó để phân tích hệ thống.

Để làm ví dụ, ta xác định phương trình đặc tính cơ động của động cơ một chiều kích từ độc lập và dựng một đặc tính ứng với một điều kiện cụ thể.

Từ phương trình cân bằng điện và phương trình mômen của động cơ khi coi mạch kích từ được nối cố định:

$$\left. \begin{aligned} U &= i_r R_r + L_r \frac{di_r}{dt} + K\Phi_{\omega}; \\ M &= K\Phi i_r, \end{aligned} \right\} \quad (1-47)$$

ta tìm được :

$$M = \frac{K\Phi U}{R_{ur}} - \frac{(K\Phi)^2}{R_{ur}} \omega - \frac{L_{ur}}{R_{ur}} \frac{dM}{dt},$$

hoặc

$$M = M_{nm} - \beta\omega - T_{ur} \frac{dM}{dt} \quad (1-48)$$

Biểu thức (1-48) chính là phương trình đặc tính cơ động của động cơ.

Ở trạng thái xác lập, $dM/dt = 0$, thì phương trình này sẽ có dạng của đặc tính tĩnh đã biết :

$$M = M_{nm} - \beta\omega,$$

hoặc

$$\omega = \omega_0 - \frac{M}{\beta}$$

Nếu trên trục động cơ có một mômen cản biến thiên chu kỳ theo thời gian và giả thiết hệ đã làm việc ở trạng thái xác lập động thì mômen của động cơ cũng sẽ biến thiên chu kỳ với quy luật thích ứng với mômen cản. Giả sử qui luật đó là

$$M = M_{tb} + \Delta M_m \sin \Omega t. \quad (1-49)$$

Thay biểu thức này vào (1-48) ta được :

$$\omega = \frac{M_{nm} - M_{tb}}{\beta} - \frac{\Delta M_m}{\beta} \sin \Omega t - \frac{\Omega T_{ur} \Delta M_m}{\beta} \cos \Omega t = \omega_{tb} - \Delta \omega, \quad (1-50)$$

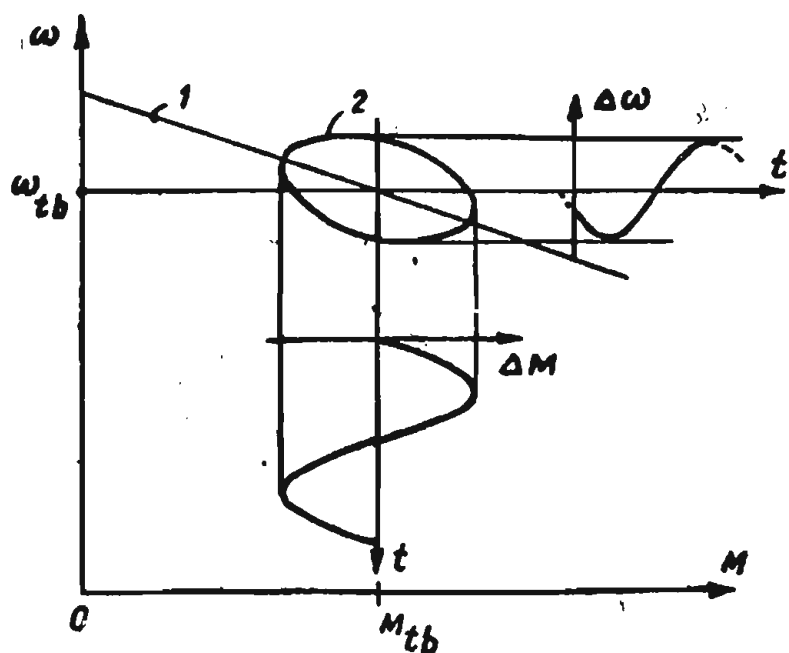
trong đó

$$\omega_{tb} = \frac{M_{nm} - M_{tb}}{\beta};$$

$$\Delta \omega = \frac{\Delta M}{\beta} \sin \Omega t + \frac{\Omega T_{ur} \Delta M_m}{\beta} \cos \Omega t.$$

Biểu thị các đại lượng này lên mặt phẳng cơ học $[M, \omega]$ ta sẽ tìm được đặc tính cơ động là đường elip bao quanh điểm $[M_{tb}, \omega_{tb}]$ như trên hình 1-12.

Từ (1-50) ta thấy, đối với trường hợp cụ thể này, khi nhiều của mômen đã hoàn toàn xác định, biên độ dao động của tốc độ vẫn còn phụ thuộc hằng số thời gian điện từ T_{ur} của mạch phản ứng. Hằng số này càng lớn thì đường đặc tính càng tròn, nghĩa là dao động tốc độ càng lớn. Ở mức giới hạn khi $T_{ur} \rightarrow 0$ (hoặc khi tần số dao động của mômen cản $\Omega \rightarrow 0$) thì đặc tính động sẽ trùng với đặc tính tĩnh. Đó chính là trường hợp bỏ qua quán tính điện từ của động cơ.



Hình 1-12. Đặc tính tĩnh (1), đặc tính động (2) của động cơ kích từ độc lập.

2. Dựng đặc tính cơ động.

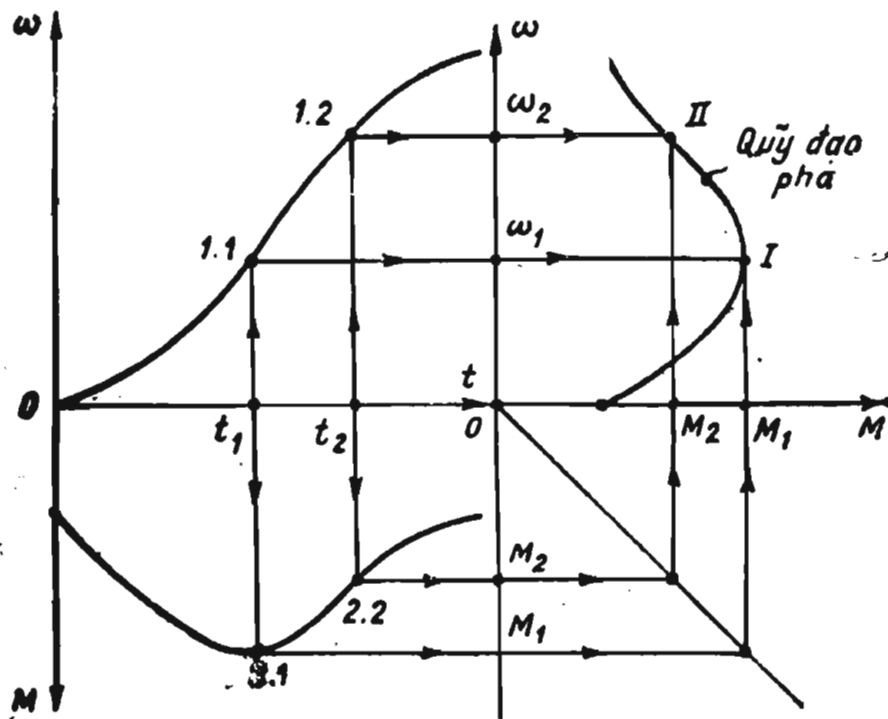
Sau khi tính toán quá trình quá độ, việc dựng đặc tính cơ động trở nên đơn giản. Đó là việc tìm quỹ đạo của điểm làm việc của hệ trên mặt phẳng cơ học. Cũng vì vậy người ta còn gọi đặc tính này là quỹ đạo pha,

Giả sử đã biết các quan hệ $\omega = f(t)$ và $M = f(t)$, ta sử dụng t như một biến trung gian, thì sẽ tìm được đặc tính động $M(t) = f[\omega(t)]$ một cách dễ dàng. Để dễ hình dung, trên hình 1-13 trình bày cách dựng đặc tính này của hệ khi biết các đặc tính quá độ $M(t)$ và $\omega(t)$.

Rõ ràng là nếu không xét đến quán tính điện từ trong hệ truyền động và khi quá trình quá độ chỉ xảy ra ứng với một đường đặc tính cơ, thì đặc tính cơ động trùng với đặc tính cơ tĩnh. Khi đó ta có thể làm một bài toán ngược, là dựa vào một đặc tính quá độ ví dụ đường $\omega(t)$ và đặc tính cơ tĩnh (tức quỹ đạo pha) để tìm ra đặc tính quá độ thứ hai [ví dụ đường $M(t)$].

Tương tự, ta thấy đặc tính cơ động của quá trình khởi động dùng biến trở trùng với tia đặc tính cơ khởi động, đặc tính động của quá trình hãm ngược v.v...

Nhiều trường hợp quá trình quá độ diễn biến phức tạp, ví dụ các quá trình trong hệ F-Đ, (xem chương III), đặc tính cơ động khác với đặc tính tĩnh, khi đó nó biểu thị một cách trực quan quá trình chuyển đổi trạng thái làm việc của động cơ và các phần tử khác trong hệ.



Hình 1-13. Tìm quỹ đạo pha của hệ nhờ các đặc tính quá độ đã biết.

Chương II

QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ CƠ HỌC

§ 2-1. PHẠM VI ỨNG DỤNG

Như đã nêu trong chương I truyền động điện là một hệ điện cơ nên trong nó luôn luôn tồn tại cả quá trình quá độ cơ học lẫn quá trình quá độ điện từ. Tuy nhiên, trong một số trường hợp cụ thể, nếu hằng số thời gian

điện từ rất nhỏ so với hằng số thời gian cơ học, ta có thể bỏ qua quá trình điện từ. Khi đó, quá trình quá độ của hệ trở thành quá trình quá độ cơ học và việc tính toán trở nên đơn giản. Giả thiết đơn giản hóa này có thể ứng dụng được cho các trường hợp sau đây:

1. Các quá trình quá độ xảy ra trong mạch phần ứng của máy điện một chiều khi có nối điện trở phụ. Đó là các quá trình khởi động bằng phương pháp biến trở, hãm co hạn chế dòng và mômen bằng điện trở phụ, tăng hoặc giảm tốc độ nhờ biến trở mạch phần ứng. Do nối điện trở phụ nên hằng số thời gian điện từ của hệ, tức hằng số thời gian của mạch phần ứng, trở nên rất nhỏ:

$$T_{ur} = \frac{L_{ur}}{R_{ur} + R_{urp}} \quad (2-1)$$

2. Những quá trình quá độ xảy ra trong các mạch của động cơ không đồng bộ roto dây quấn khi có nối điện trở phụ trong mạch roto. Đó là quá trình khởi động dùng biến trở, quá trình hãm ngược và hãm động năng có điện trở phụ trong mạch roto, điều chỉnh tốc độ bằng biến trở. Cũng như trường hợp trên, hằng số thời gian điện từ của sơ đồ thay thế của động cơ trong trường hợp này rất nhỏ:

$$T_d = \frac{X_{nm}}{\Omega \left(\frac{R_2^2 + R_{2p}^2}{s} + R_1 \right)} \quad (2-2)$$

trong đó $X_{nm} = X_1 + X_2$ — điện kháng ngắn mạch của động cơ;

$\Omega = 2\pi f$ — tần số góc của dòng điện lưới.

3. Các quá trình quá độ xảy ra trong mạch stato của động cơ không đồng bộ roto lồng sóc khi không sử dụng điện kháng phụ. Đó là các trường hợp khởi động trực tiếp, khởi động dùng điện trở phụ trong mạch stato, hãm ngược hoặc hãm động năng. Nếu hằng số thời gian điện từ của động cơ đủ nhỏ, hoặc không đòi hỏi kết quả tính toán chính xác cao thì cho phép bỏ qua quá trình điện từ trong động cơ.

4. Đa số các quá trình biến đổi các thông số cơ học, như đột biến của phụ tải, biến thiên của mômen quán tính, dao động tốc độ do mômen đàn hồi trong phần cơ của hệ. Các quá trình này xảy ra khi mạch điện của hệ không thay đổi. Mặc dù các đại lượng cơ và điện trong hệ có tác dụng qua lại lẫn nhau, nhưng cho phép bỏ qua quá trình điện từ khi khảo sát.

Như vậy, phần lớn các quá trình quá độ trong hệ truyền động tự động vòng hở có thể đưa về dạng quá độ cơ học. Để tiện khảo sát ta chia chúng thành các nhóm sau: các quá trình có quan hệ giữa mômen động và tốc độ $M_{dg}(\omega)$ là đường thẳng, các quá trình có quan hệ $M_{dg}(\omega)$ là đường cong, các quá trình có thông số của nguồn biến đổi và các quá trình đặc biệt. Cuối cùng ta sẽ khảo sát một số chỉ tiêu chung của quá trình quá độ cơ học như năng lượng làm việc và tổn thất, tỷ số truyền tối ưu...

A – CÁC QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ KHI ÁP NGUỒN KHÔNG ĐỔI VÀ ĐẶC TÍNH $M_{dg}(\omega)$ LÀ ĐƯỜNG THẲNG

§ 2-2. QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ CƠ HỌC KHI MÔMEN ĐỘNG PHỤ THUỘC TỐC ĐỘ THEO ĐƯỜNG THẲNG

Mômen động là hiệu của mômen động cơ và mômen cản:

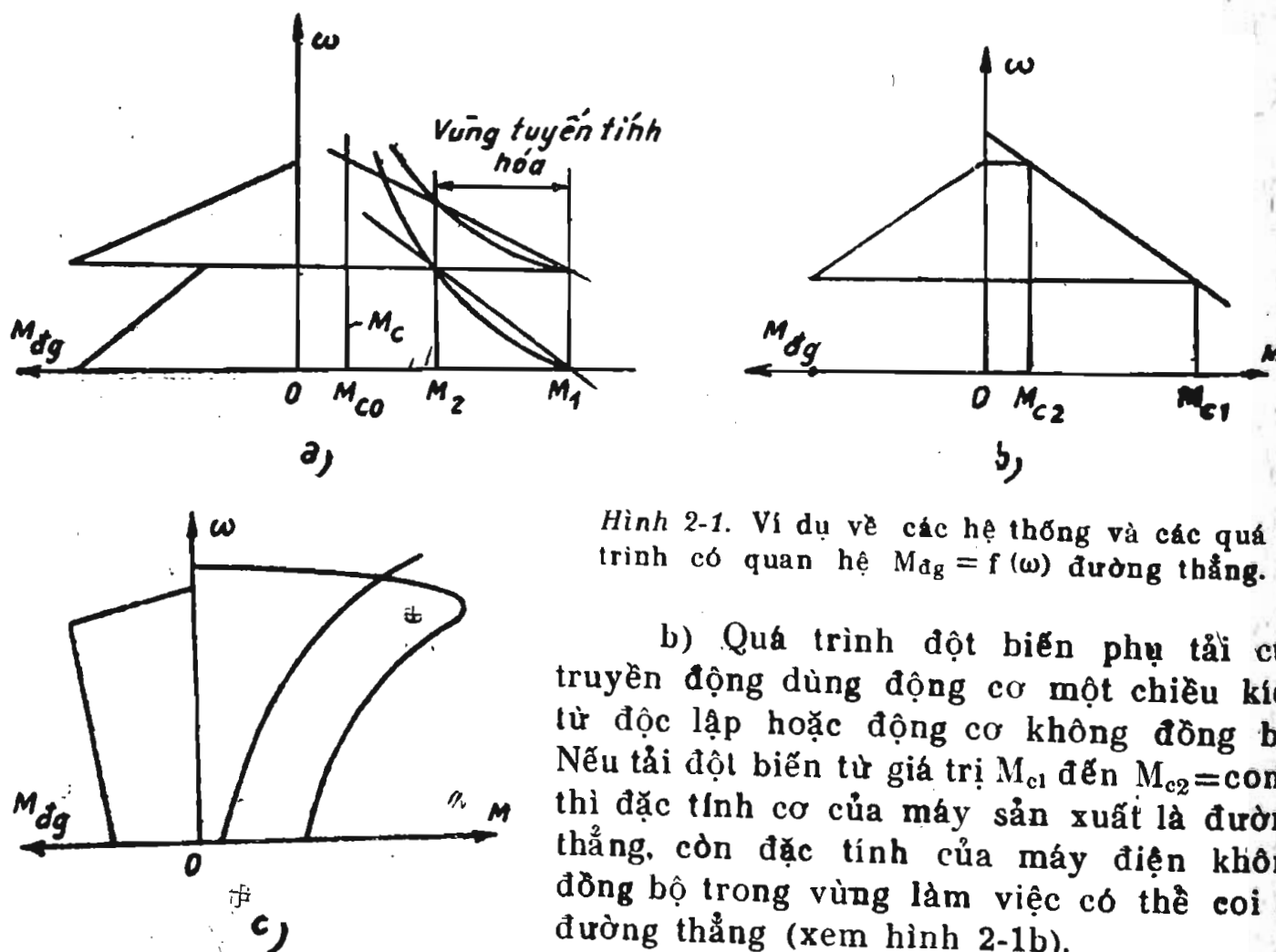
$$M_{dg} = M(\omega) - M_c(\omega) = f(\omega).$$

Quan hệ $M_{dg} = f(\omega)$ sẽ là đường thẳng hoặc được coi là thẳng nếu:

- các đặc tính cơ của động cơ và của máy sản xuất đều thẳng;
- các đặc tính cơ nêu trên có thể tuyến tính hóa trong phạm vi khảo sát;
- cả hai đặc tính cơ nêu trên đều cong, nhưng có dạng phù hợp nhau đến mức hiệu của chúng lại là một đường thẳng.

Nêu một số trường hợp làm ví dụ:

a) Khởi động và hãm các hệ dùng động cơ một chiều và động cơ không đồng bộ roto dây quấn. Lúc khởi động và hãm, máy thường làm việc không tải nên $M_c = \text{const}$. Còn các đặc tính của máy điện, vì có dùng điện trở phụ nên hoặc đã là thẳng hoặc có thể tuyến tính hóa được trong phạm vi các cấp khởi động (hình 2-1a).



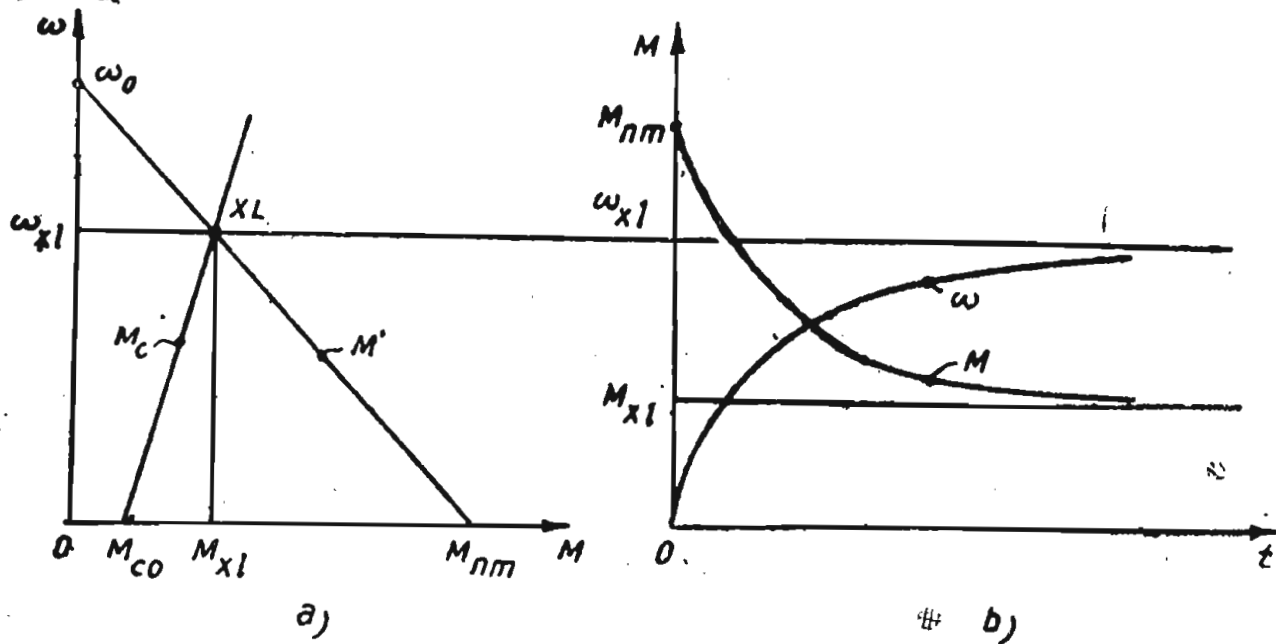
Hình 2-1. Ví dụ về các hệ thống và các quá trình có quan hệ $M_{dg} = f(\omega)$ đường thẳng.

b) Quá trình đột biến phụ tải của truyền động dùng động cơ một chiều kích từ độc lập hoặc động cơ không đồng bộ. Nếu tải đột biến từ giá trị M_{c1} đến $M_{c2} = \text{const}$ thì đặc tính cơ của máy sản xuất là đường thẳng, còn đặc tính của máy điện không đồng bộ trong vùng làm việc có thể coi là đường thẳng (xem hình 2-1b).

c) Khởi động trực tiếp động cơ không đồng bộ trong truyền động quạt gió hoặc bơm li tâm. Ở trường hợp này, đặc tính cơ của động cơ trong vùng khởi động (từ $s = 1$ đến $s = s_{th}$) là đường cong gần như phù hợp với đặc tính cơ của quạt gió, vì thế hiệu $M - M_c$ có thể phụ thuộc tuyến tính với tốc độ (xem hình 2-1c).

Các trường hợp nêu trong mục a và b là rất quan trọng vì thường gặp trong tính toán thực tế. Do đó, tiết này khảo sát một cách tổng quát để tìm hàm quá độ $\omega(t)$ và $M(t)$, còn những trường hợp cụ thể sẽ được xét trong các tiết § 2-3, § 2-4, § 2-5.

Để cho tổng quát, ta dùng phương pháp giải trực tiếp các phương trình vi phân để xét quá trình quá độ trong hệ khi mômen gây chuyển động do động cơ tạo ra là M và mômen cản là M_c đều phụ thuộc tốc độ theo đường thẳng, như trên hình 2-2.



Hình 2-2. Các đặc tính tĩnh và đặc tính quá độ tổng quát khi $M_{dg} = f(\omega)$ là đường thẳng.

Phương trình của các đặc tính này là

$$M = M_{nm} - \beta\omega; \quad (2-3)$$

$$M_c = M_{co} + \beta_c\omega. \quad (2-4)$$

trong đó, M_{nm} – mômen ngắn mạch của động cơ;

M_{co} – mômen cản của của máy sản xuất khi tốc độ $\omega = 0$;

β, β_c – độ cứng của đặc tính cơ của động cơ và của máy sản xuất.

Đối với hệ có mẫu cơ học đơn khối thì quá trình quá độ cơ học được mô tả bằng phương trình chuyển động

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt} \quad (2-5)$$

Thay M và M_c từ (2-3) và (2-4) vào (2-5) và đặt

$$\frac{M_{nm} - M_{co}}{\beta + \beta_c} = \frac{M_o}{\beta_{dg}} = \omega_{xl}, \quad (2-6)$$

$$\frac{J}{\beta + \beta_c} = \frac{J}{\beta_{dg}} = T_c, \quad (2-7)$$

trong đó:

$$\beta + \beta_c = \frac{M_{nm} - M_{x1}}{\omega_{x1}} + \frac{M_{x1} - M_{cd}}{\omega_{x1}} = \frac{M_o}{\omega_{x1}} = \beta_{dg}.$$

Các đại lượng ω_{x1} và T_c là tốc độ xác lập và hằng số thời gian cơ học như đã khảo sát trong § 1-3 [xem (1-26) và (1-22)].

Kết quả, phương trình (2-5) trở thành dạng quen thuộc của quá trình quá độ cơ học tương tự như phương trình (1-22):

$$\omega_{x1} = \omega + T_c \frac{d\omega}{dt}. \quad (2-8)$$

Để tìm quan hệ giữa mômen của động cơ với thời gian, ta thay vào (2-8) giá trị của ω rút từ (2-3):

$$\omega = \frac{M_{nm}}{\beta} - \frac{M}{\beta} = \omega_o - \frac{M}{\beta}, \quad (2-9)$$

và

$$\omega_{x1} = \frac{M_{nm}}{\beta} - \frac{M_{x1}}{\beta} = \omega_o - \frac{M_{x1}}{\beta} \quad (2-10)$$

Sau khi thay ta được phương trình vi phân viết cho M :

$$M_{x1} = M + T_c \frac{dM}{dt} \quad (2-11)$$

Giải các phương trình (2-8) và (2-11) với điều kiện ban đầu là khi $t = 0$, $\omega = \omega_{bd}$ và $M_j = M_{bd}$, ta được các nghiệm

$$\omega = \omega_{x1} + (\omega_{bd} - \omega_{x1})e^{-\frac{t}{T_c}} \quad (2-12)$$

$$M = M_{x1} + (M_{bd} - M_{x1})e^{-\frac{t}{T_c}} \quad (2-13)$$

trong đó, M_{x1} có thể xác định bằng cách thay ω_{x1} từ (2-6) vào (2-3)

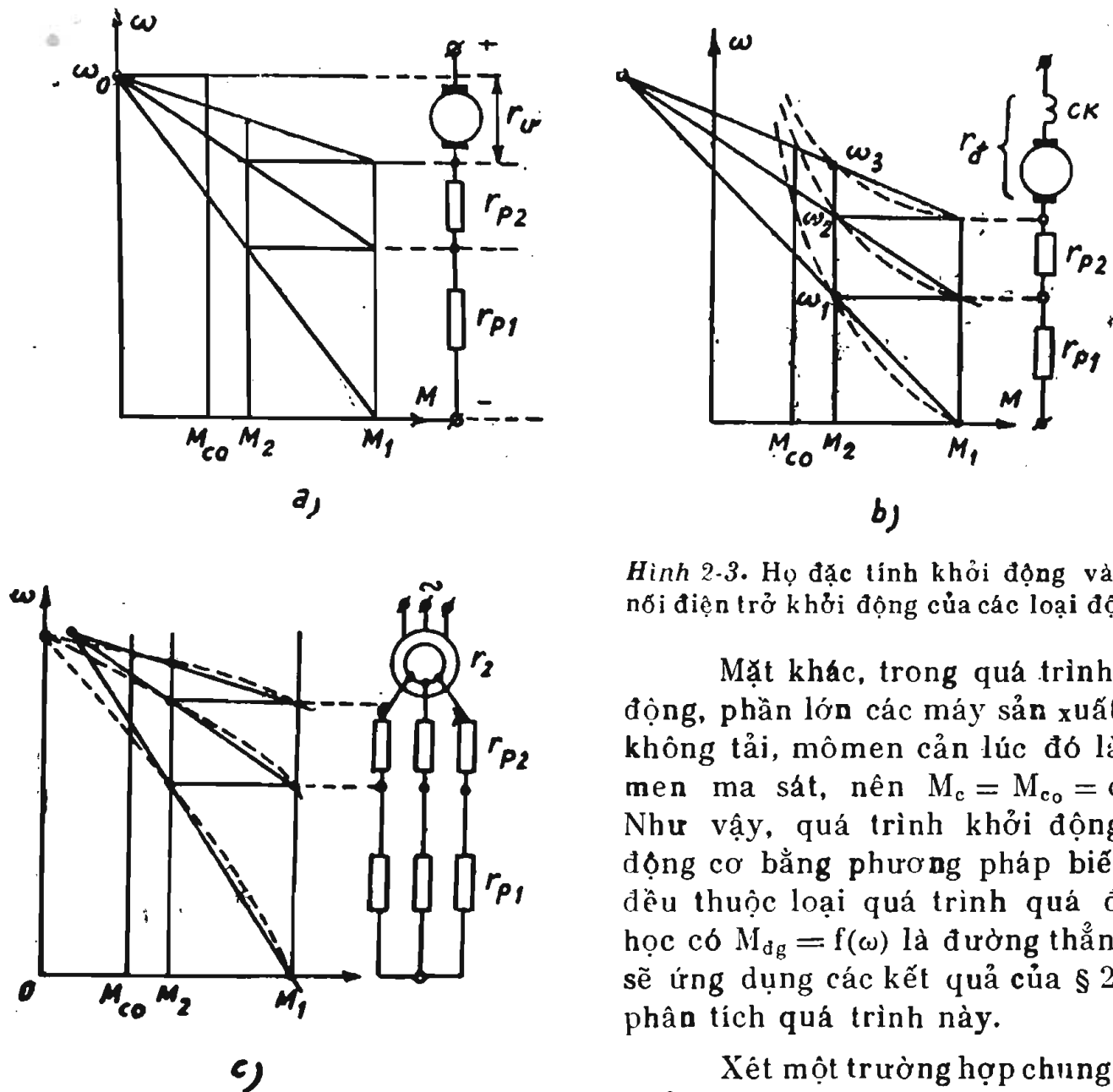
$$M_{x1} = M_{nm} - \beta \frac{M_{nm} - M_{co}}{(\beta + \beta_c)} \quad (2-14)$$

Các đặc tính quá độ $\omega(t)$ và $M(t)$ theo (2-12) và (2-13) với điều kiện ban đầu $\omega_{bd} = 0$, $M_{bd} = M_{nm}$ được vẽ trên hình 2-2b.

§ 2-3. QUÁ TRÌNH QUA ĐỘ KHỞI ĐỘNG BANG BIẾN TRỞ

Phương pháp khởi động bằng biến trở được ứng dụng rộng rãi trong thực tế cho các động cơ một chiều kích từ độc lập, kích từ nối tiếp, kích từ hỗn hợp và động cơ không đồng bộ rôto dây quấn. Trong quá trình khởi động, điện trở phụ (biến trở khởi động) sẽ được cắt dần từng cấp; do đó tốc độ động cơ tăng dần còn mômen và dòng điện động cơ được hạn chế trong giới hạn có lợi. Sơ đồ và các đặc tính khởi động của các loại động cơ được trình bày trên hình 2-3.

Đối với động cơ một chiều kích từ độc lập, họ đặc tính khởi động là những tia thẳng (hình 2-3a). Các đặc tính khởi động của động cơ một chiều kích từ nối tiếp và động cơ không đồng bộ đều là những đường cong, nhưng trong phạm vi biến thiên của mômen khởi động, từ M_1 đến M_2 , ta có thể coi chúng là những đoạn thẳng, như đã vẽ trên các hình 2-3b và c.



Hình 2-3. Họ đặc tính khởi động và sơ đồ nối điện trở khởi động của các loại động cơ.

Mặt khác, trong quá trình khởi động, phần lớn các máy sản xuất đều, không tải, mômen cản lúc đó là mômen ma sát, nên $M_c = M_{c0} = \text{const}$. Như vậy, quá trình khởi động các động cơ bằng phương pháp biến trở đều thuộc loại quá trình quá độ cơ học có $M_{dg} = f(\omega)$ là đường thẳng. Ta sẽ ứng dụng các kết quả của § 2-2 để phân tích quá trình này.

Xét một trường hợp chung nhất, khởi động m cấp với $m + 1$ đường đặc

tính thẳng đi qua một điểm (ω_0) như trên hình 2-4a. Ta chia quá trình khởi động đó ra làm $m + 1$ giai đoạn ứng với $m + 1$ đoạn đặc tính khởi động nằm giữa hai đường dóng $M_1 = \text{const}$ và $M_2 = \text{const}$. Đối với mỗi giai đoạn, ta xác định hằng số thời gian cơ học T_{ci} , các điều kiện ban đầu và điều kiện xác lập rồi ứng dụng các biểu thức (2-12), (2-13) ta dựng được đặc tính quá độ.

Coi $M_c = \text{const}$, nghĩa là $\beta_c = 0$, ta có hằng số thời gian cơ học ở giai đoạn i nào đó sẽ là

$$T_{ci} = \frac{J}{\beta_i} = \frac{J \Delta \omega}{\Delta M} \quad (2-15)$$

trong đó β_i — độ cứng của đặc tính cơ của động cơ trong giai đoạn đang xét.

Nếu là động cơ một chiều kích từ song song, sử dụng biểu thức

$$\beta = \frac{(K\Phi)^2}{R_U + R_{Up}}$$

ta có:

$$T_{c1} = \frac{J(R_U + R_{Up})}{(K\Phi)^2} \quad (2-15a)$$

Đối với động cơ không đồng bộ khi coi đặc tính cơ của nó là đường thẳng, ta có

$$\beta = \frac{1}{\omega_0} \frac{M_{dm}}{s_{dm}}$$

nên

$$T_{c1} = \frac{J\omega_0 s_{dm1}}{M_{dm}} \quad (2-15b)$$

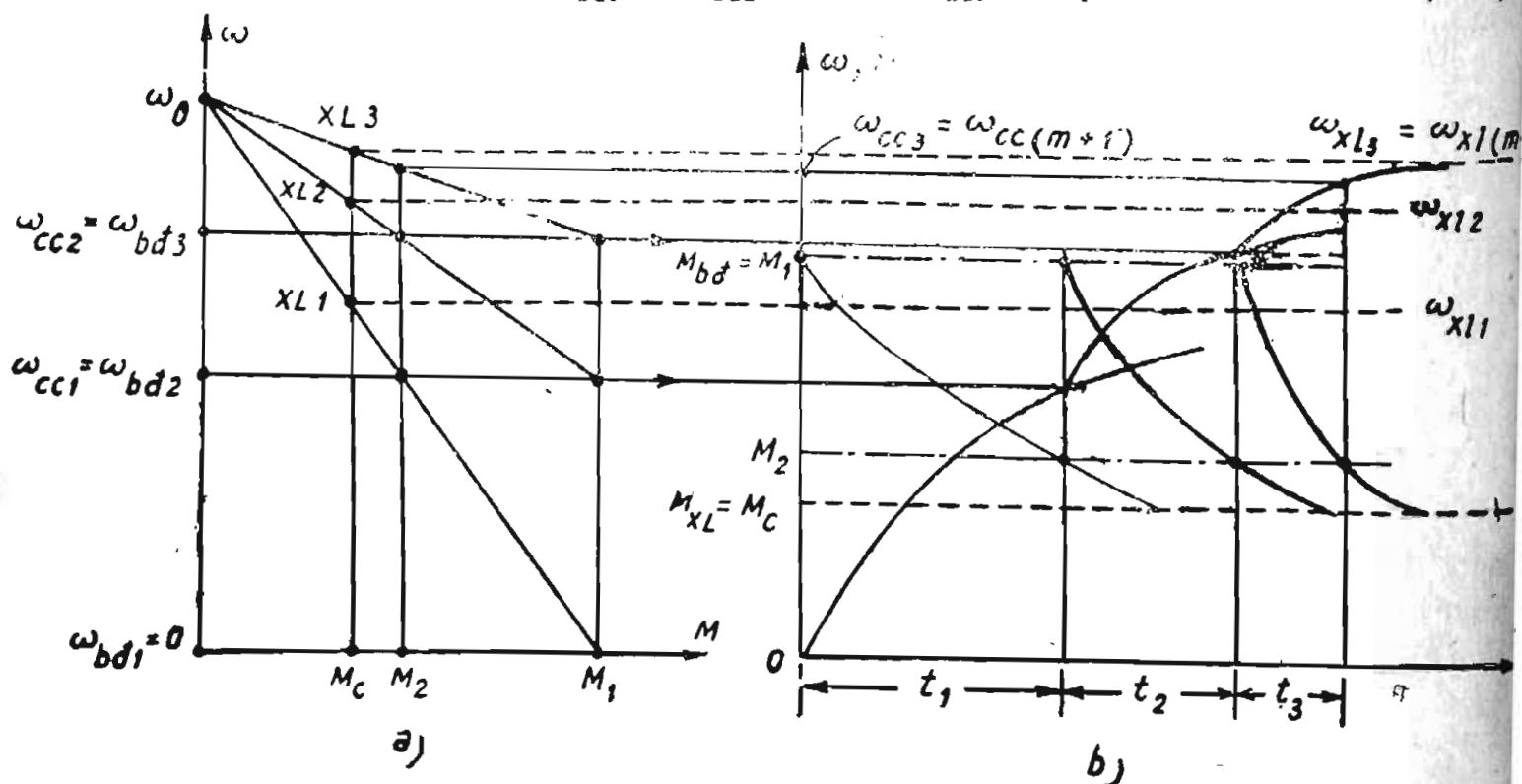
trong đó s_{dm1} – độ trượt trên đặc tính thứ i khi $M = M_{dm}$.

Đối với động cơ một chiều kích từ nối tiếp và hỗn hợp ta có thể xác định T_{c1} theo (2-15) bằng cách đo các khoảng $\Delta\omega$ và ΔM trên đồ thị đặc tính cơ. Ví dụ đối với trường hợp vẽ trên hình 2-3b ta có

$$T_{c1} = \frac{J\omega_1}{M_1 - M_2}; \quad T_{c2} = \frac{J(\omega_2 - \omega_1)}{M_1 - M_2}; \quad T_{c3} = \frac{J(\omega_3 - \omega_2)}{M_1 - M_2}.$$

Điều kiện ban đầu và các giá trị xác lập của mỗi giai đoạn có thể xác định trên đồ thị (xem hình 2-4). Trong đó, chú ý rằng mômen ban đầu của tất cả các giai đoạn đều là M_1 :

$$M_{bd1} = M_{bd2} = \dots = M_{bd1} = M_1. \quad (2-16)$$



Hình 2-4. Họ đặc tính cơ và đặc tính quá độ khi khởi động bằng biến trở.

Tốc độ ban đầu của giai đoạn một là $\omega_{bd1} = 0$, còn của các giai đoạn khác có thể xác định nhờ phương trình đặc tính cơ khi cho $M = M_1$:

$$\omega_{bd1} = \omega / M = M_1. \quad (2-17)$$

Điểm cuối của các giai đoạn đều ứng với $M = M_2$.

Các giá trị xác lập ω_{x1} , M_{x1} của mỗi giai đoạn là tọa độ của điểm xác lập, tức giao điểm của đường đặc tính đang xét với đường M_c (xem hình 2-4). Như vậy, trong trường hợp khởi động với $M_c = \text{const}$, mômen xác lập của tất cả các giai đoạn đều là M_c :

$$M_{x11} = M_{x12} = \dots = M_{x1i} = M_c. \quad (2-18)$$

Tốc độ xác lập của mỗi giai đoạn có thể xác định bằng cách thay $M = M_c$ vào phương trình đặc tính cơ tương ứng.

Sau khi xác định các đại lượng cần thiết đã nêu trên, thay chúng vào (2-12) và (2-13) ta được phương trình các đặc tính quá độ của từng giai đoạn:

$$\omega_i = \omega_{x1i} + (\omega_{bdi} - \omega_{x1i}) e^{-\frac{t}{T_{ei}}}; \quad (2-19)$$

$$M_i = M_c + (M_1 - M_c) e^{-\frac{t}{T_{ei}}}. \quad (2-20)$$

Các đặc tính này được vẽ trên hình 2-4b.

Thời gian của quá trình khởi động là khoảng thời gian tăng tốc từ 0 đến $\omega_{x1(m+1)}$. Tuy nhiên, vì M_2 và M_c chênh lệch nhau không nhiều, nên ta có thể coi thời gian khởi động là thời gian tăng tốc từ $\omega = 0$ đến $\omega_{cc(m+1)}$ (xem hình (2-4):

$$t_{kd} \approx \sum_{i=1}^{m+1} t_i, \quad (2-21)$$

trong đó, thời gian mỗi giai đoạn t_i được xác định nhờ (2-20) khi cho $M = M_2$ và $t = t_i$:

$$t_i = T_{ei} \ln \frac{M_1 - M_c}{M_2 - M_c}. \quad (2-22)$$

Từ (2-21) và (2-22) ta có:

$$t_{kd} = \ln \frac{M_1 - M_c}{M_2 - M_c} \sum_{i=1}^{m+1} T_{ei}. \quad (2-23)$$

§ 2-4. QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ HĂM DỪNG TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

Để hãm dừng truyền động điện người ta thường dùng phương pháp hãm ngược hoặc hãm động năng. Đối với động cơ kích từ độc lập, đặc tính cơ ở những trạng thái đó đều là đường thẳng. Đối với các động cơ một chiều kích từ nối tiếp, kích từ hỗn hợp và động cơ không đồng bộ roto dây quấn khi thực hiện các phương pháp hãm này đều nối thêm điện trở phụ đủ lớn vào mạch, do đó đặc tính cơ của chúng đều có thể tuyến tính hóa được.

Mặt khác đối với đa số máy sản xuất, quá trình hãm xảy ra khi không tải, nên mômen cản lúc đó $M_c = \text{const}$ ($\beta_c = 0$). Vì vậy, ta khảo sát các quá trình quá độ hãm dừng như một trường hợp riêng của quá trình quá độ có $M_{dg}(\omega)$ là đường thẳng. Để dễ phân tích, ta xét riêng hai trường hợp: hãm ngược và hãm động năng.

1. Hãm ngược.

Giả sử xét một quá trình hãm ngược do đảo cực tính điện áp trên phần ứng của máy điện một chiều hoặc đảo thứ tự pha của điện áp stato của máy điện không đồng bộ. Đặc tính cơ của các động cơ được vẽ trên hình 2-5a) trong đó đường thẳng 1 là của động cơ một chiều kích từ độc lập, đường cong (nét đứt) 2 là của động cơ một chiều kích từ nối tiếp, đường cong 3 là của động cơ không đồng bộ roto dây quấn. Trong phạm vi của quá trình hãm (từ ω_{bd} đến $\omega = 0$) ta có thể tuyến tính hóa các đường 2 và 3, để nhận được một dạng đường thẳng chung đi qua điểm BD và CC. Điểm ban đầu BD được xác định nhờ tốc độ ω_{bd} trước khi hãm và mômen lớn nhất cho phép trong quá trình hãm $M_{bd} = M_1$.

Đối với động cơ một chiều, mômen cho phép thường lấy theo điều kiện chuyển mạch trên cỡ góp, và bằng

$$M_1 = (2 \div 2,5) M_{dm}$$

Còn đối với máy điện không đồng bộ

$$M_1 = 0,85 M_{th}.$$

Đặc tính hãm của các động cơ khi đã tuyến tính hóa đều được biểu thị bằng phương trình chung sau:

$$M = M_{nm} - \beta \omega.$$

Thay $M_{nm} = -M_2$; $\beta = \frac{\Delta M}{\Delta \omega} = \frac{M_1 - M_2}{\omega_{bd}}$, ta được:

$$\omega = -\omega_{bd} \frac{M + M_2}{M_1 - M_2}. \quad (2-24)$$

Vì quá trình xảy ra với giả thiết $M_c = \text{const}$, nên điểm xác lập sẽ là giao điểm của đường $M_c = \text{const}$ với đường đặc tính cơ của động cơ. Đó là điểm XL trên hình 2-5a, ứng với các giá trị $M_{x1} = M_c$ và ω_{x1} .

Có thể xác định ω_{x1} bằng cách thay $M = M_c$ vào (2-24):

$$\omega_{x1} = -\omega_{bd} \frac{M_c + M_2}{M_1 - M_2}. \quad (2-25)$$

Thay các giá trị $M_{bd} = M_1$, ω_{bd} , $M_{x1} = M_c$; và ω_{x1} theo (2-25) vào (2-12) và (2-13) ta được các phương trình của đặc tính quá độ:

$$\omega = \omega_{bd} \frac{M_1 + M_c}{M_1 - M_2} e^{-\frac{t}{T_c}} - \omega_{bd} \frac{M_c + M_2}{M_1 - M_2} \quad (2-26)$$

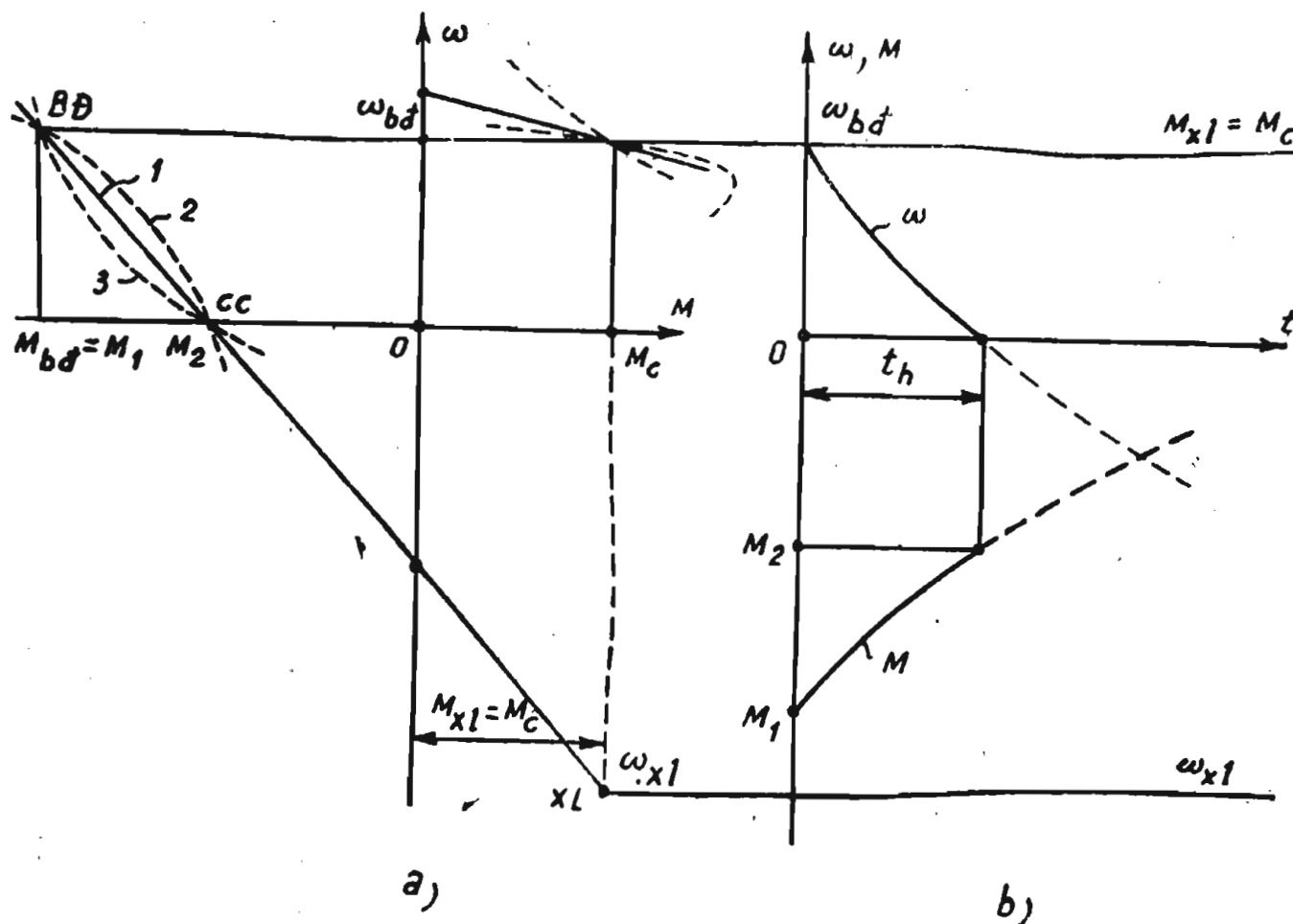
$$M = M_c - (M_1 + M_c) e^{-\frac{t}{T_c}} \quad (2-27)$$

trong đó

$$T_c = \frac{J}{\beta} = \frac{J \omega_{bd}}{M_1 - M_2}. \quad (2-28)$$

Các quan hệ (2-26) và (2-27) được biểu diễn trên hình 2-5b, Quá trình hãm kết thúc khi $\omega = 0$ và $M = -M_2$. Thay $M = -M_2$ vào (2-27) ta sẽ xác định được thời gian hãm:

$$t_h = T_c \ln \frac{M_1 + M_c}{M_2 + M_c} \quad (2-29)$$



Hình 2-5. Các đặc tính của quá trình hãm ngược.

2. Hãm động năng.

Đặc tính hãm động năng kích từ độc lập của các động cơ một chiều là đường thẳng đi qua gốc tọa độ như đường 1 trên hình 2-6a, còn khi hãm tự kích, đặc tính cơ sẽ là đường nét đứt 2. Đối với động cơ không đồng bộ roto dây quấn, khi cho điện trở phụ đủ lớn vào mạch roto, sao cho độ trượt tới hạn của đặc tính hãm $v_{th} = \frac{\omega_{th}}{\omega_0} > 1$, thì đặc tính hãm động năng của nó sẽ có dạng như đường cong 3. Ta cũng có thể tuyến tính hóa các đường này về dạng đường 1, đi qua 2 điểm BD và 0.

Tương tự như trường hợp hãm ngược, tọa độ của điểm BD cũng được xác định bởi tốc độ làm việc trước khi hãm và mômen cho phép M_1 .

Các giá trị ω_{x1} và M_{x1} được xác định bởi giao điểm của đặc tính cơ trong trạng thái hãm với đường $M_c = \text{const}$.

Ta có thể biểu thị đặc tính hãm bằng phương trình đường thẳng

$$\omega = -\omega_{bd} \frac{M}{M_1} \quad (2-30)$$

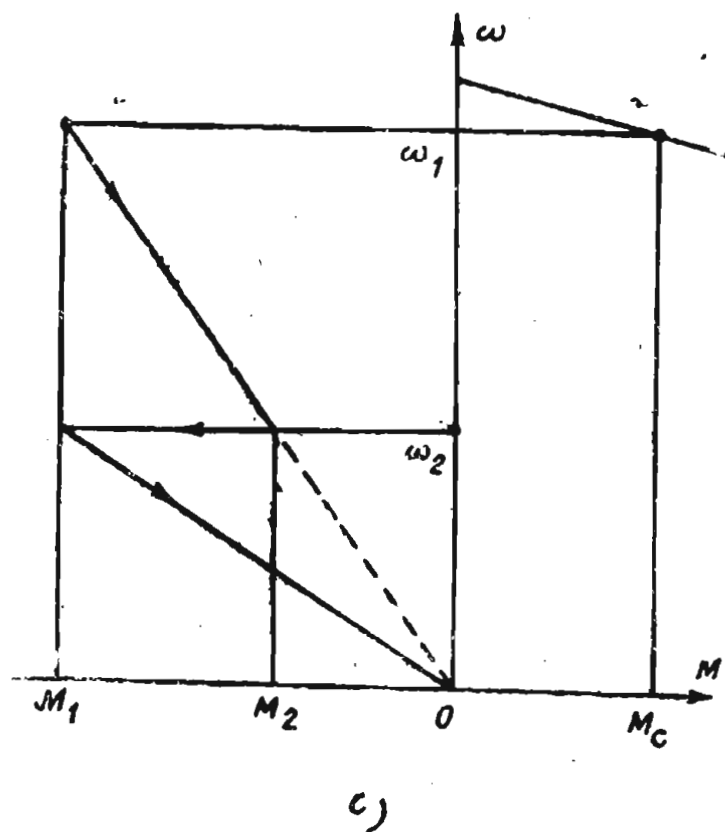
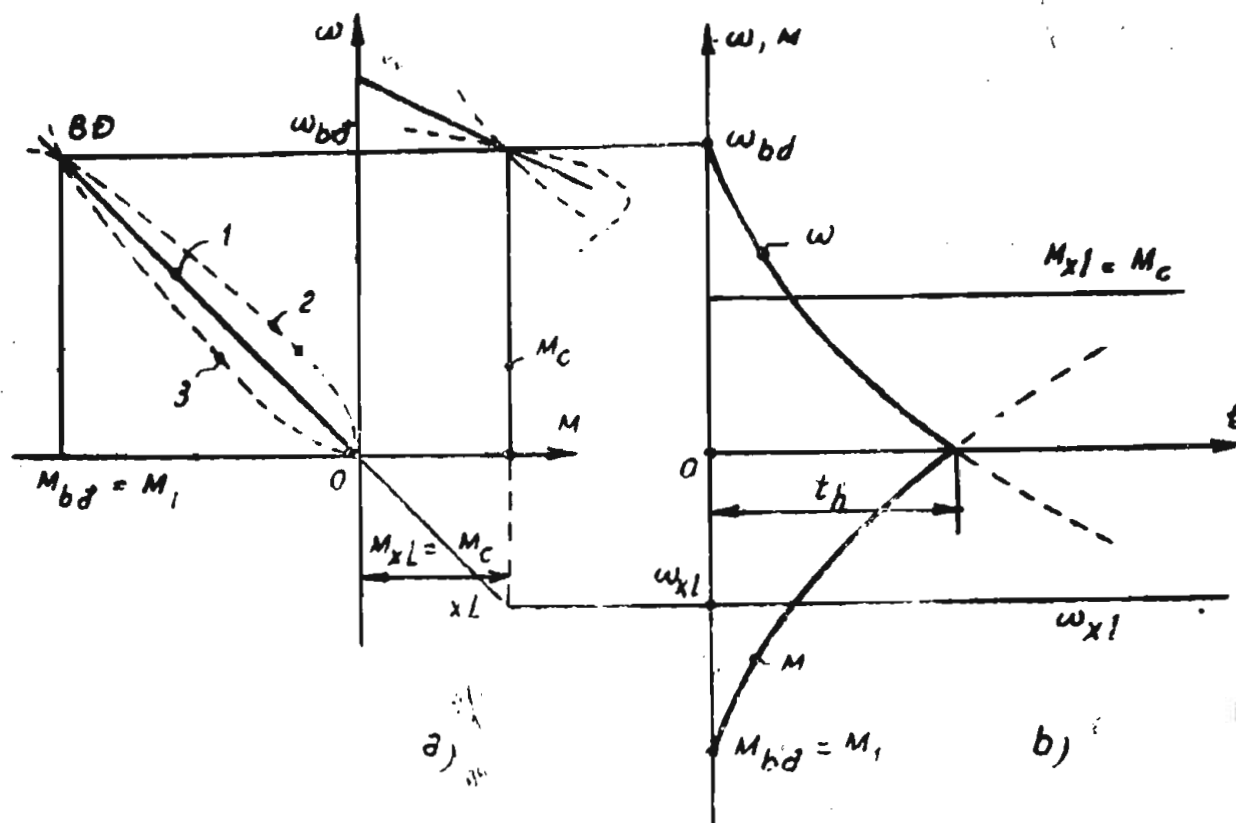
Thay $M = M_c$ ta được

$$\omega_{x1} = -\omega_{bd} \frac{M_c}{M_1},$$

(2-31)

còn

$$M_{x1} = M_c,$$



Hình 2-6. Các đặc tính của quá trình hãm động năng (a và b) và đặc tính cơ khí hãm động năng hai cấp với $M_1 = \text{const}$).

Thay các giá trị ω_{bd} , $M_{bd} = -M_1$; $\omega_{x1} = \omega_{bd} M_c/M_1$ và $M_{x1} = M_c$ vào các biểu thức (2-12) và (2-13) ta được:

$$\omega = \omega_{bd} \frac{M_1 + M_c}{M_1} e^{-t/T_c} - \omega_{bd} \frac{M_c}{M_1}; \quad (2-32)$$

$$M = M_c - (M_c + M_1)e^{-t/T_c}, \quad (2-33)$$

trong đó, $T_c = J \frac{\omega_{bd}}{M_1}$

Các quan hệ này được biểu diễn bằng những đặc tính quá độ trên hình 2-6b.

Quá trình hãm, tức quá trình giảm tốc từ ω_{bd} đến 0, sẽ kết thúc khi $M = 0$. Thay giá trị $M = 0$ vào (2-33) ta xác định được thời gian hãm:

$$t_h = T_c \ln \frac{M_1 + M_c}{M_1}. \quad (2-34)$$

Một số trường hợp, khi mômen quán tính của hệ lớn, mômen cản nhỏ và yêu cầu hãm nhanh, người ta thực hiện hãm động năng hai cấp. Khi tốc độ giảm đến một giá trị nhất định rồi, một phần điện trở hãm sẽ được nối ngắn đi, nhờ đó dòng và mômen hãm tăng lên. Đặc tính cơ trong trường hợp này có hai đoạn như trên hình 2-6. Thời điểm chuyển cấp điện trở hãm có thể xác định theo yêu cầu tối ưu về thời gian (tức bảo đảm thời gian hãm nhỏ nhất) hoặc tối ưu về hành trình (bảo đảm hành trình hãm ngắn nhất) hoặc duy trì mômen cực đại không đổi (như trường hợp nêu trên hình 2-6). Để khảo sát quá trình này ta cũng chia nó thành hai giai đoạn và tiến hành tương tự như đã xét quá trình khởi động.

Thời gian hãm lúc đó sẽ được xác định theo (2-29) — cho giai đoạn thứ nhất và (2-34) — cho giai đoạn thứ hai. Nghĩa là:

$$t_h = J \frac{\omega_1 - \omega_2}{M_1 - M_2} \ln \frac{M_1 + M_c}{M_2 + M_c} + J \frac{\omega_2}{M_1} \ln \frac{M_1 + M_c}{M_1}. \quad (2-35)$$

§ 2-5. ĐẶC ĐIỂM LÀM VIỆC CỦA TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN KHI TẢI THAY ĐỔI KIỂU ĐỘT BIẾN CHU KỲ

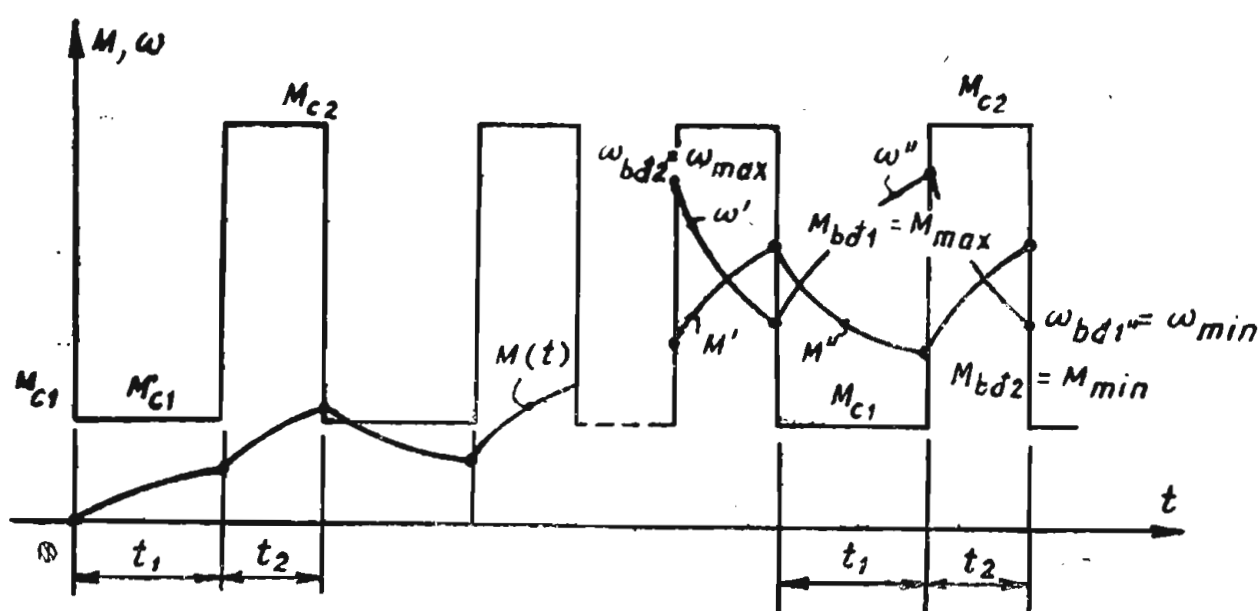
Khi tải của truyền động biến thiên theo thời gian, thì hệ luôn luôn làm việc ở trạng thái quá độ. Ta sẽ phân tích đặc điểm làm việc của truyền động này trên quan điểm quá trình quá độ cơ học. Trước hết hãy tìm quan hệ theo thời gian của mômen và tốc độ của truyền động, sau đó đánh giá vai trò của mômen quán tính.

1. Mômen của động cơ và tốc độ của truyền động điện.

Giả sử đồ thị phụ tải của truyền động có dạng bậc thang hai cấp như trên hình 2-7. Đó là đồ thị thường gặp ở máy búa, máy cán, ... Ở mỗi cấp, mômen cản không phụ thuộc tốc độ nghĩa là $M_c = \text{const}$. Khi tải đột biến giả

sử từ M_{c1} đến M_{c2} , thì hệ thống sẽ làm việc ở trạng thái quá độ cơ học, và nếu động cơ có đặc tính cơ là đường thẳng, thì quá trình này mang đặc tính $M_{dg}(\omega)$ kiểu tuyến tính. Do đó, ta sẽ ứng dụng các kết quả trong § 2-2 để phân tích sự biến thiên của mômen động cơ và tốc độ của truyền động điện.

Biểu thức (2-13) cho thấy rằng, nếu đóng động cơ vào nguồn đồng thời cho ăn tải vào chu kỳ đầu tiên, thì mômen của động cơ sẽ tăng từ 0 đến giá trị xác lập $M_{x11} = M_{c1}$ theo đường hàm mũ. Đến cuối khoảng thời gian t_1 , phụ tải tăng đột ngột lên M_{c2} , nên hệ thống lại chuyển sang quá trình quá độ khác, với $M_{x12} = M_{c2}$ và biến thiên theo đường hàm mũ khác. Kết quả ta được một đường răng cưa tăng dần như trên hình 2-7.



Hình 2-7. Đồ thị mômen và vận tốc của truyền động có tải đột biến chu kỳ

Ở những chu kỳ xa gốc tọa độ, đường răng cưa đó nằm trên một khoảng tung độ ổn định, nghĩa là các đỉnh M_{max} và M_{min} không đổi và do đó giá trị trung bình của momen M_{tb} sẽ không đổi.

Tương tự, từ (2-12) ta cũng nhận thấy tốc độ động cơ sẽ biến thiên theo đường răng cưa, nhưng có pha ngược lại. Ở những chu kỳ xa gốc tọa độ, các đỉnh của đường răng cưa tốc độ ω_{min} , ω_{max} và giá trị trung bình của nó cũng không đổi.

Như vậy, truyền động này không có trạng thái xác lập tĩnh mà chỉ có trạng thái xác lập động (hoặc còn gọi là tựa xác lập). Ở trạng thái này momen trung bình của động cơ sẽ cân bằng với momen trung bình của phụ tải, và tốc độ trung bình sẽ không đổi. Còn giá trị tức thời của momen động cơ và tốc độ truyền động thì vẫn biến thiên theo thời gian.

Vi vậy, đối với hệ thống đang khảo sát, việc nghiên cứu trạng thái xác lập động có ý nghĩa quan trọng

Ta xét một chu kỳ ở xa gốc tọa độ. Khi hệ đã làm việc xác lập, theo (2-12) và (2-13) thì

– đối với khoảng t_1 , ta có $M_{x11} = M_{c1}$, nên:

$$\left. \begin{aligned} M' &= M_{c1} + (M_{bd1} - M_{c1})e^{-t/T_c} \\ \omega' &= \omega_{x11} + (\omega_{bd1} - \omega_{x11})e^{-t/T_c} \end{aligned} \right\} \quad (2-36)$$

– đối với khoảng t_2 , ta có $M_{x12} = M_{c2}$, nên:

$$\left. \begin{aligned} M' &= M_{c2} + (M_{bd2} - M_{c2})e^{-t/T_c} \\ \omega' &= \omega_{x12} + (\omega_{bd2} - \omega_{x12})e^{-t/T_c} \end{aligned} \right\} \quad (2-37)$$

trong đó $M_{bd1} = M_{cc2} = M_{max}$; $M_{bd2} = M_{cc1} = M_{min}$.

Ta có thể xác định được các giá trị M_{max} và M_{min} bằng cách thay $t = t_2$ vào (2-37) và $t = t_1$ vào (2-36):

$$M_{max} = M''|_{t=t_2} = M_{c2} + (M_{min} - M_{c2})e^{-t_2/T_c};$$

$$M_{min} = M'|_{t=t_1} = M_{c1} + (M_{max} - M_{c1})e^{-t_1/T_c}$$

Thế hai phương trình trên cho nhau ta được:

$$M_{max} = \frac{M_{c2}(1 - e^{-t_2/T_c}) + M_{c1}(1 - e^{-t_1/T_c})e^{-t_2/T_c}}{1 - e^{-t_{ck}/T_c}} \quad (2-38)$$

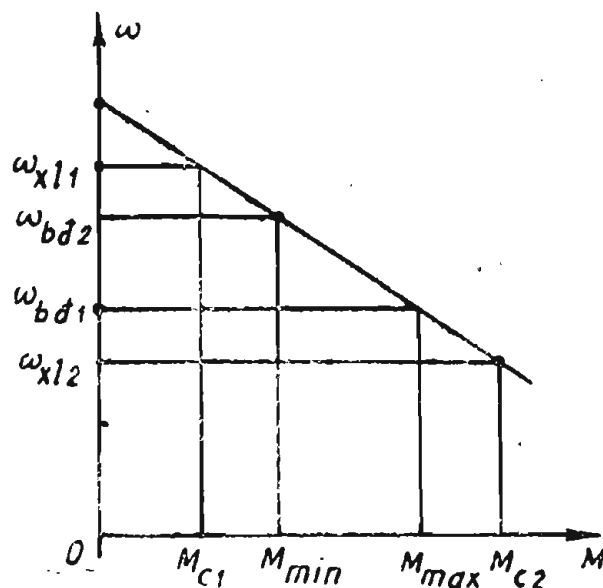
$$M_{min} = \frac{M_{c1}(1 - e^{-t_1/T_c}) + M_{c2}(1 - e^{-t_2/T_c})e^{-t_1/T_c}}{1 - e^{-t_{ck}/T_c}} \quad (2-39)$$

trong đó, $t_{ck} = t_1 + t_2$

$T_c = J/\beta$; β – độ cứng đặc tính cơ của động cơ.

Các quan hệ $M = f(t)$ theo (2-36) và (2-37) được vẽ trên hình 2-7 (phía bên phải). Trong khoảng t_1 , phụ tải nhỏ, mômen động cơ là hàm giảm theo thời gian nhưng giá trị của nó $M' > M_{c1}$. Trong khoảng t_2 , phụ tải lớn, mômen động cơ tăng dần theo thời gian nhưng giá trị của nó $M'' < M_{c2}$. Mômen cực đại của động cơ theo (2-38) sẽ nhỏ hơn M_{c2} , còn $M_{min} > M_{c1}$. Như vậy, để khắc phục một phụ tải kiểu đột biến nhảy cấp, động cơ truyền động không cần thiết phải sinh ra mômen bao phủ được mômen phụ tải.

Để xác định các quan hệ của tốc độ theo (2-36) và (2-37) ta dựa vào đặc tính cơ của động cơ để tìm các giá trị xác lập ω_{x11} , ω_{x12} và các giá trị đỉnh ω_{bd1} , ω_{bd2} . Trong đó ω_{x11} tương ứng với M_{c1} , $\omega_{x12} - M_{c2}$, ω_{bd2} ứng với M_{min} còn $\omega_{bd1} - M_{max}$. Các giá trị đó được ghi trên hình 2-8, còn đường cong $\omega(t)$ thì vẽ trên hình 2-7.



Hình 2-8. Xác định các giá trị tốc độ nhờ đặc tính cơ của động cơ

2. Ý nghĩa của mômen quán tính và độ trượt của bánh đà đối với chế độ làm việc của động cơ.

Đồ thị hình 2-7 cho thấy rằng, trong khi mômen tải biến thiên nhảy cấp thì mômen động cơ lại biến thiên hàm mũ bằng phẳng hơn. Hằng số thời gian cơ học của hệ càng lớn, nghĩa là mômen quán tính càng lớn, thì đường cong $M(t)$ lại càng được san bằng. Như vậy, phần cơ của hệ truyền động đã đóng vai trò một bộ lọc phẳng đối với các nhiễu loạn phụ tải.

Thực vậy, trong khoảng thời gian t_1 mômen tải từ lớn giảm xuống nhỏ và tốc độ truyền động tăng từ $\omega_{\min}$ đến $\omega_{\max}$. Dự trữ động năng tích vào các khối chuyển động trong thời gian đó sẽ là:

$$\Delta W = J \frac{\omega_{\max}^2 - \omega_{\min}^2}{2} > 0, \quad (2-40)$$

Phần năng lượng này do mômen động $M' - M_{c1}$ truyền vào hệ thống.

Trong khoảng thời gian t_2 , do mômen cản tăng lên, nên tốc độ động cơ giảm xuống, phần động năng đã tích lũy được trong các khối chuyển động lại phóng ra, hỗ trợ cho động cơ để khắc phục phụ tải M_{c2} . Nó bằng về trị số nhưng ngược dấu với ΔW nêu trên:

$$\Delta W' = J \frac{\omega_{\min}^2 - \omega_{\max}^2}{2} < 0.$$

Phần động năng tích phóng này càng lớn thì điều kiện làm việc của động cơ càng nhẹ nhàng. Nói một cách khác, khi đồ thị phụ tải đã cho trước Δw càng lớn thì công suất yêu cầu của động cơ càng nhỏ. Biểu thức (2-40) cho thấy, dự trữ động năng ΔW tỷ lệ với mômen quán tính J của hệ và mức chênh lệch tốc độ $\omega_{\max} - \omega_{\min}$ trong một chu kỳ.

Để tăng dự trữ động năng, người ta sử dụng bánh đà lắp trên trục động cơ theo sơ đồ đơn giản hóa trên hình 2-9. Đó là cấu trúc phổ biến của máy búa, máy đập,... Bánh đà làm tăng mômen quán tính của hệ và do đó cho phép giảm công suất lắp đặt của động cơ.

Có thể tăng dự trữ động năng bằng cách làm mềm đặc tính của động cơ truyền động, để làm tăng thành phần $(\omega_{\max}^2 - \omega_{\min}^2)$ trong biểu thức (2-40). Ở các hệ truyền động tự động, người ta sử dụng nguyên tắc điều khiển theo hàm của dòng điện (hàm của tải) để giữ cho động cơ làm việc ở đặc tính cơ cứng trong thời gian nhẹ tải t_1 và tự động chuyển sang làm việc ở đặc tính mềm hơn khi tải nặng (thời gian t_2). Như vậy, một mặt bảo đảm có được dự trữ động năng lớn, mặt khác tạo cho máy có tốc độ làm việc (khi tải nhẹ) cao để nâng cao năng suất máy.

Để đánh giá mức độ phụ thuộc của dự trữ động năng ΔW với độ chênh lệch của tốc độ $\omega_{\max} - \omega_{\min}$, ta sử dụng đại lượng tương đối

$$\Delta W^* = \frac{\Delta W}{W_{\max}}, \quad (2-41)$$

trong đó $W_{\max} = J \frac{\omega_{\max}^2}{2}$

Từ (2-40) và (2-41) ta có :

$$\Delta W^* = s_{da} (2 - s_{da}), \quad (2-42)$$

trong đó

$$s_{da} = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{\omega_{\max}} - \text{độ trượt của bánh đà.}$$

Quan hệ (1-42) được biểu diễn thành đường cong trên hình 2-10. Khi độ trượt của bánh đà s_{da} tăng từ 0—0,2 thì dự trữ động năng trong nó tăng rất nhanh, còn ở vùng $s_{da} > 0,2$ sự phụ thuộc $\Delta W(s_{da})$ trở nên yếu đi nhiều. Vì vậy, người ta chỉ sử dụng những đặc tính cơ tương đối mềm cho loại truyền động đang khảo sát.

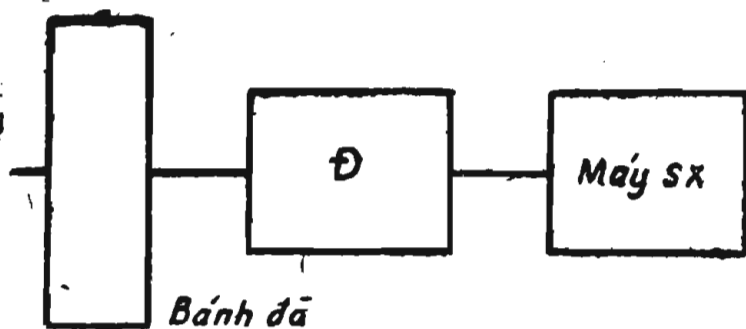
3. Khái niệm về mối tương quan giữa động cơ và bánh đà

Biểu thức (2-38) cho thấy rằng để khắc phục phụ tải loại đột biến như đồ thị đã cho (hình 2-7) động cơ phải có khả năng tạo ra được một mômen cực đại là $M_{\max}$. Đối với động cơ không đồng bộ thì điều kiện để chọn động cơ là

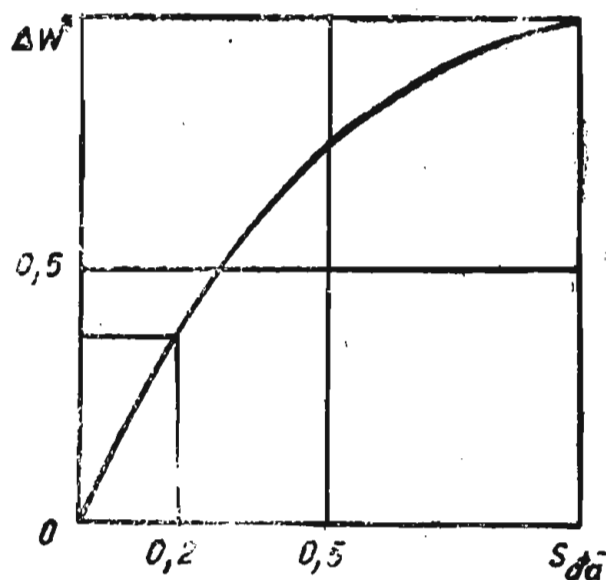
$$M_{\max} \leq M_{th}. \quad (2-43)$$

Bánh đà càng lớn, nghĩa là mômen quán tính và hằng số thời gian cơ học của hệ càng lớn, thì $M_{\max}$ càng nhỏ và công suất yêu cầu của động cơ càng nhỏ.

Từ (2-38) và (2-49) ta tìm được điều kiện chọn tương quan giữa công suất (hoặc mômen) của động cơ và mômen quán tính của bánh đà.



Hình 2-9. Hệ truyền động điện dùng bánh đà.



Hình 2-10. Quan hệ giữa dự trữ động năng (tương đối) và độ trượt của bánh đà.

Thông thường, $t_2 \approx \left(\frac{1}{5} \div \frac{1}{10} \right) t_1$ nên ta có thể bỏ qua các số hạng chứa e^{-t_1/T_c} và e^{-t_{ck}/T_c} Khi đó, biểu thức (2-38) được viết là

$$M_{\max} \approx M_{c2} - (M_{c2} - M_{c1}) e^{-t_2/T_c}$$

Do đó

$$T_c \approx \frac{t_2}{\ln \frac{M_{c2} - M_{c1}}{M_{c2} - M_{\max}}}$$

Dùng điều kiện (2-43), lấy $M_{\max} - M_{th} = \lambda M_{dm}$, ta có:

$$T_c \approx \frac{t_2}{\ln \frac{M_{c2} - M_{c1}}{M_{c2} - \lambda M_{dm}}} \quad (2-44)$$

hoặc

$$J \approx \beta \frac{t_2}{\ln \frac{M_{c2} - M_{c1}}{M_{c2} - \lambda M_{dm}}} \quad (2-45)$$

trong đó, β — độ cứng của đặc tính cơ của động cơ:

Với động cơ cho trước, thì theo (2-45) ta có thể xác định mômen quán tính của bánh đà.

$$J_{da} = J - J_{ht}$$

trong đó J_{ht} — mômen quán tính của hệ thống (không kể bánh đà) khi đã qui đổi về tốc độ động cơ).

Nếu chưa cho động cơ, ta có thể tự chọn giá trị J , rồi xác định λM_{dm} cuối cùng dựa vào giá trị này để chọn động cơ.

Trên đây ta phân tích trường hợp có đồ thị phụ tải tối giản gồm 2 cấp. Nếu đồ thị phụ tải nhiều cấp, thì dựa vào phương trình (2-13) ta vẽ được quan hệ $M(t)$ cho toàn chu kỳ — và xác định được giá trị $M_{\max}$. Các thông số cơ học của hệ thống cũng như cỡ động cơ sẽ được tính toán dựa vào giá trị $M_{\max}$ tương tự như đã xét trên.

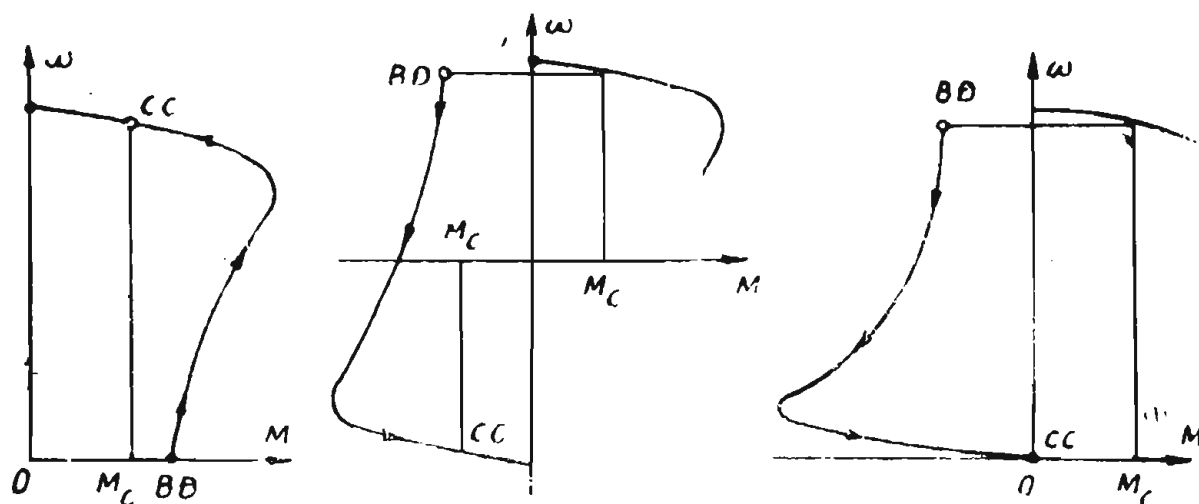
B — CÁC QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ KHI ÁP NGUỒN KHÔNG ĐỔI VÀ ĐẶC TÍNH $M_{dg}(\omega)$ LÀ ĐƯỜNG CONG

§2-6. CÁC QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ TRONG TRUYỀN ĐỘNG KHÔNG ĐỒNG BỘ TƯƠNG ỨNG VỚI PHẦN ĐƯỜNG CONG CỦA ĐẶC TÍNH CƠ

Ta khảo sát hệ truyền động dùng động cơ lồng sóc. Đa số các quá trình khởi động, hãm ngược, đảo chiều quay và hãm động năng đều được thực hiện bằng cách chuyển mạch ở phía stato, còn mạch roto được giữ nguyên. Quá trình quá độ xảy ra tương ứng với toàn bộ hoặc một phần nào đó của đặc

tính cơ, nhưng đều bao gồm đoạn làm việc và đoạn không làm việc, nghĩa là một đường cong rất khó tuyến tính hóa. Như vậy, ngay cả khi mômen phụ tải hằng số, quan hệ giữa mômen động của hệ với tốc độ $M_{dg}(\omega)$ cũng là đường cong. Trên hình 2-11 trình bày dạng đặc tính cơ của động cơ trong các trường hợp thường gặp như khởi động trực tiếp động cơ không đồng bộ (a), đảo chiều quay (b) và hãm động năng (c). Từ điểm ban đầu (ứng với điểm BD trên đặc tính cơ) đến điểm cuối của quá trình quá độ (ứng với điểm CC), đặc tính cơ đều là những đường cong. Nếu $M_c = \text{const}$ thì đặc tính $M_{dg}(\omega)$ cũng là đường cong có dạng tương tự.

Một số quá trình quá độ khác của truyền động này xảy ra khi có điều khiển trong mạch stato, như quá trình khởi động hoặc hãm dùng điện trở phụ stato, quá trình điều chỉnh tốc độ bằng điện kháng phụ stato, cũng có các đặc tính cơ cong tương tự như đã nêu trên hình 2-11.



Hình 2-11. Các quá trình quá độ có đặc tính $M_{dg}(\omega)$ là đường cong

Để khảo sát các quá trình quá độ loại này, thuận tiện nhất là dùng phương pháp đồ thị. Tuy nhiên, khi đặc tính cơ của động cơ $M(\omega)$ và đặc tính cơ của máy sản xuất $M_c(\omega)$ có thể biểu thị bằng các biểu thức đơn giản thì ta có thể dùng phương pháp giải tích để giải trực tiếp các phương trình vi phân và tìm quan hệ của tốc độ cũng như mômen theo thời gian.

1. Khảo sát bằng phương pháp đồ thị.

Ta xét một quá trình khởi động trực tiếp động cơ không đồng bộ khi mômen cản $M_c = \text{const}$. Các đặc tính cơ có dạng như trên hình 2-12. Quan hệ giữa mômen động và tốc độ được xác định nhờ đồ thị, bằng cách trừ các hoành độ của hai đường cong M và M_c cho nhau, đó là đường M_{dg} .

Từ phương trình

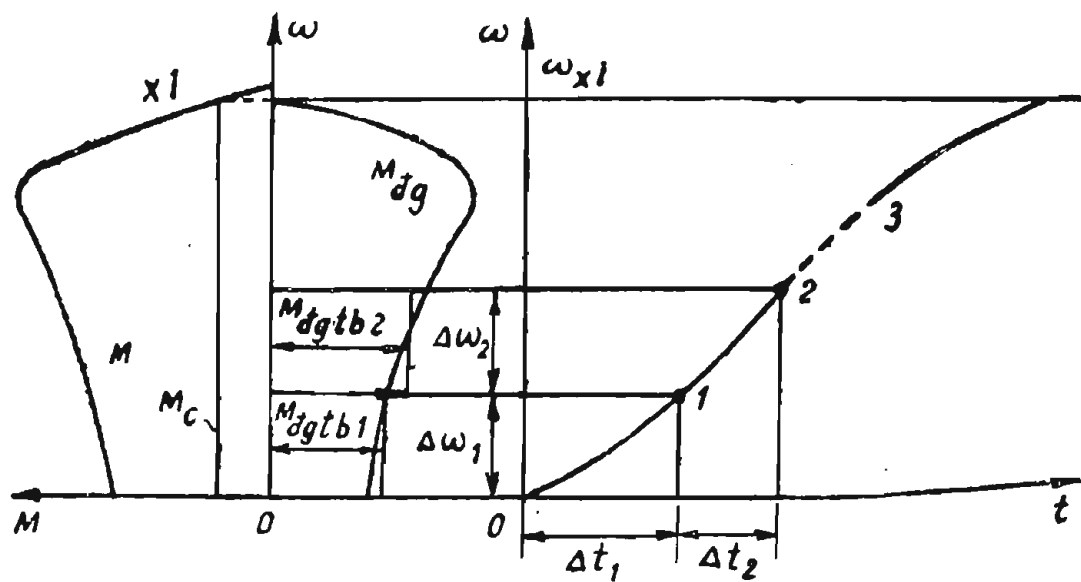
$$M_{dg} = J \frac{d\omega}{dt}$$

ta có biểu thức sai phân hóa

$$M_{dg} = \frac{J\Delta\omega}{\Delta t}$$

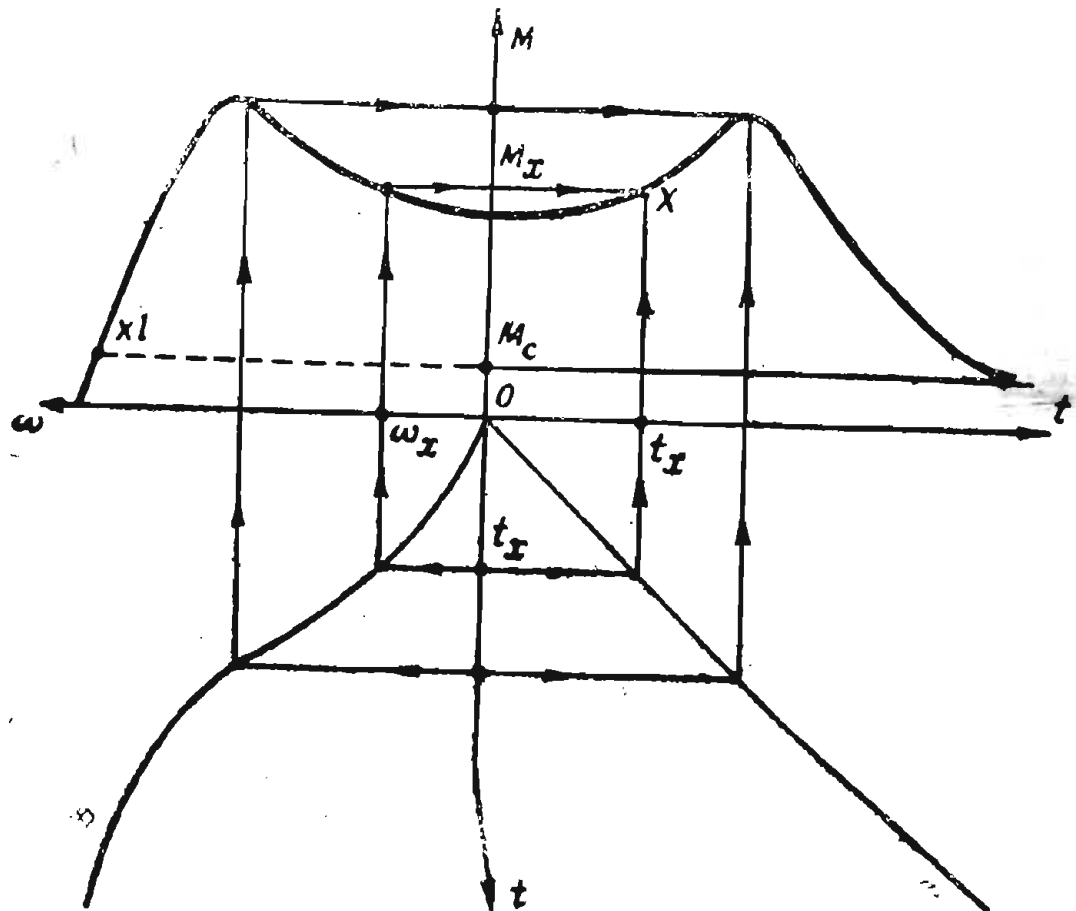
hoặc

$$\Delta t = \frac{J}{M_{dg}} \Delta \omega \quad (2-46)$$



Hình 2-12. Xác định quan hệ $\omega(t)$ bằng phương pháp đồ thị.

Để sử dụng (2-46), ta chia đường cong $M_{dg}(\omega)$ thành các khoảng tương ứng với những giá trị $\Delta\omega$ chọn trước. Nếu đường cong có dạng biến đổi đều đặn thì các khoảng $\Delta\omega$ được lấy bằng nhau. Ngược lại, khi đường cong biến thiên phức tạp thì ta chia nó thành những khoảng không đều: ở vùng biến đổi nhiều (độ cong lớn) ta lấy $\Delta\omega$ nhỏ, ở vùng cong ít ta lấy $\Delta\omega$ lớn hơn.



Hình 2-13. Xác định quan hệ $M(t)$ bằng phương pháp đồ thị.

Trong mỗi khoảng đã chia, ta lấy một giá trị trung bình của mômen động $M_{dg.tb}$ và coi là không đổi trong suốt khoảng đó. Biểu thức (2-46) được viết lại cho một khoảng thứ i bất kỳ là:

$$\Delta t_i = \frac{J}{M_{dg,1bi}} \Delta \omega_i \quad (4-46a)$$

Biểu thức (2-46) cho phép ta xác định được khoảng thời gian tương ứng với gia số tốc độ $\Delta \omega_i$. Xác định liên tiếp các giá trị Δt ứng với các khoảng $\Delta \omega$ kề nhau, ta được những điểm 1, 2, 3 ..., trên hình 2-12. Nối chúng lại ta có đường cong cần tìm $\omega(t)$.

Đặc tính quá độ $M(t)$ được xác định bằng cách kết hợp đường $\omega(t)$ với đặc tính cơ $M(\omega)$. Ứng với một thời gian t_x đã chọn, theo đường $\omega(t)$ ta tra được ω_x , rồi từ ω_x dóng theo đặc tính cơ ta tìm được M_x (theo các đường dóng ghi mũi tên trên hình 2-13). Kết quả ta có đường cong $M(t)$ như trên hình 2-13.

2. Khảo sát bằng phương pháp giải tích.

Ta sẽ khảo sát quá trình quá độ của hệ có động cơ không đồng bộ khi phụ tải $M_c = 0$ và đặc tính cơ của động cơ được biểu diễn bởi phương trình Cloos gần đúng:

$$M = \frac{2M_{th}}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}} \quad (2-47)$$

Đối với các quá trình quá độ của truyền động không đồng bộ, đây là trường hợp đơn giản nhất và ta có thể khảo sát bằng cách giải trực tiếp phương trình vi phân (phương trình chuyển động). Kết quả phân tích không những cho ta các quan hệ $\omega(t)$, $M(t)$ như khi khảo sát bằng phương pháp đồ thị, mà còn cho phép ta nhận xét tổng quát về ảnh hưởng của độ trượt tới hạn đến thời gian của các quá trình quá độ, từ đó có thể tìm được giá trị tối ưu của độ trượt tới hạn (trên quan điểm thời gian).

Từ phương trình chuyển động, cho $M_c = 0$ và thay M bằng biểu thức (2-47) ta có

$$\frac{2M_{th}}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}} = J \frac{d\omega}{dt} \quad (2-48)$$

Vì $\omega = \omega_0 (1-s)$, nên $d\omega/dt = -\omega_0 ds/dt$, do đó từ (2-48) ta rút ra

$$dt = -\frac{J\omega_0}{2M_{th}} \left(\frac{s_{th}}{s} + \frac{s}{s_{th}} \right) ds.$$

Thời gian của quá trình quá độ đang diễn biến sẽ tương ứng với sự biến thiên của độ trượt từ giá trị ban đầu s_{bd} đến giá trị đang xét s nào đó, nên:

$$t = \int_{s_{bd}}^s -\frac{J\omega_0}{2M_{th}} \left(\frac{s_{th}}{s} + \frac{s}{s_{th}} \right) ds \quad (2-49)$$

Lấy tích phân và đặt $\frac{J\omega_0}{M_{th}} = T_{c,0}$ — hằng số thời gian qui ước, ta được:

$$1 = \frac{1}{2} T_{co} \left(\frac{s_{bd}^2 - s^2}{2s_{th}} + s_{th} \ln \frac{s_{bd}}{s} \right). \quad (2-50)$$

Cho s những giá trị khác nhau, ta sẽ xác định được các giá trị t tương ứng và vẽ được đường cong $s(t)$. Trên hình 2-14 là đường cong biểu diễn quan hệ (2-50) khi cho $s_{bd} = 1$ (quá trình khởi động). Quan hệ $\omega(t)$ được suy trực tiếp từ đường $s(t)$ bằng cách đổi trục s sang trục $\omega = \omega_0(1-s)$. Còn quan hệ $M(t)$ tìm được bằng cách thay cả giá trị s , tương ứng với các giá trị t cho trước vào phương trình đặc tính cơ.

Thời gian kết thúc quá trình quá độ sẽ tương ứng với sự biến thiên của độ trượt từ s_{bd} đến giá trị cuối cùng s_{cc} . Thay $s = s_{cc}$ vào (2-50) ta được:

$$t_{qd} = \frac{1}{2} T_{co} \left(\frac{s_{bd}^2 - s_{cc}^2}{2s_{th}} + s_{th} \ln \frac{s_{bd}}{s_{cc}} \right). \quad (2-51)$$

Biểu thức này cho thấy rằng, khi s_{bd} và s_{cc} đã cho, nghĩa là khi đã cho loại quá trình quá độ, thì thời gian của quá trình phụ thuộc vào độ trượt tới hạn s_{th} của động cơ. Quan hệ $t_{qd} = f(s_{th})$ theo (2-51) là quan hệ đường cong có cực trị (cực tiểu). Để làm ví dụ, ta thay $s_{bd} = 1$ và $s_{cc} \approx 0,05$, nghĩa là xét quá trình khởi động, từ (2-51) ta được

$$\frac{t_{qd}}{T_{co}} = \frac{1}{2} \left(\frac{1 - 0,05^2}{2s_{th}} + s_{th} \ln \frac{1}{0,05} \right). \quad (2-51a)$$

Quan hệ (2-51a) được biểu thị bằng đường cong trên hình 2-15

Bằng cách lấy đạo hàm dt_{qd}/ds_{th} của (2-51) rồi cho bằng không, ta xác định được giá trị tối ưu $s_{th,tu}$:

$$s_{th,tu} = \sqrt{\frac{s_{bd}^2 - s_{cc}^2}{2 \ln \frac{s_{bd}}{s_{cc}}}} \quad (2-52)$$

Như vậy, ta có thể dựa vào s_{bd} và s_{cc} để xác định $s_{th,tu}$ theo (2-52) để bảo đảm cho quá trình quá độ kết thúc nhanh nhất. Bảng (2-1) liệt kê kết quả tính toán $s_{th,tu}$ cho các quá trình khởi động, hãm ngược và đảo chiều. Chú ý rằng, đối với các quá trình khởi động và đảo chiều ta lấy $s_{cc} \approx 0,05$ phù hợp với thực tế kỹ thuật và giả thuyết tính toán coi ω_{cc} sai khác với giá trị xác lập khoảng 5% (xem § 1-3).

Từ $s_{th,tu}$ ta xác định được độ trượt định mức tối ưu $s_{dm,tu}$ theo quan hệ

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

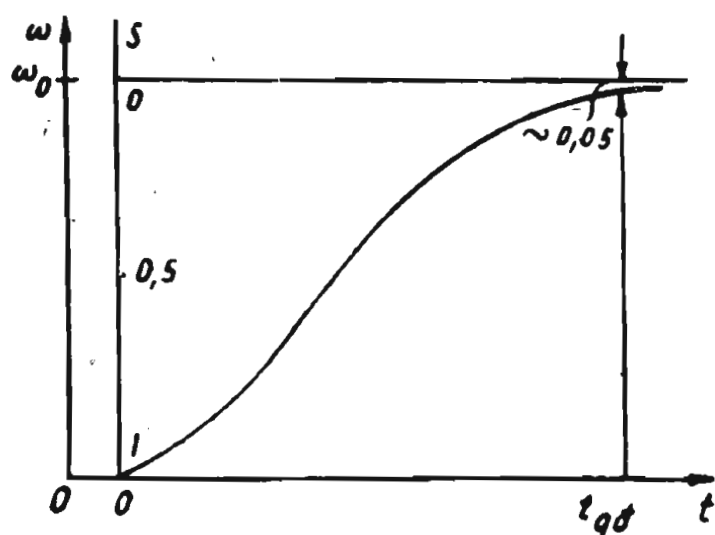
hoặc

$$s_{dm,tu} = \frac{1}{\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}} s_{th,tu} \approx \frac{1}{4} s_{th,tu}. \quad (2-53)$$

Các giá trị $s_{dm,tu}$ xác định theo (2-53) cũng được ghi trong bảng 2-1.

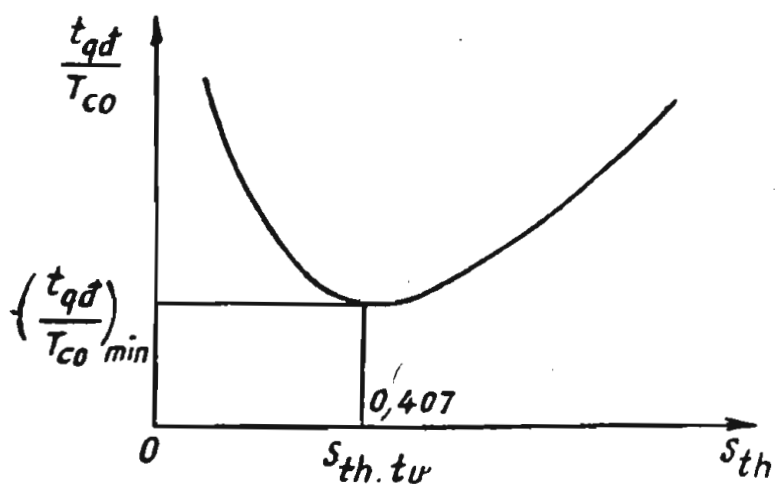
Giá trị tối ưu của độ trượt tới hạn đối với các quá trình khởi động, hãm ngược và đảo chiều

Loại quá trình	S_{bd}	S_{cc}	$S_{th.tu}$	$S_{dm.tu}$
Khởi động	1	0,05	0,407	0,103
Hãm ngược	2	1	1,47	0,39
Đảo chiều	2	0,05	0,74	0,19

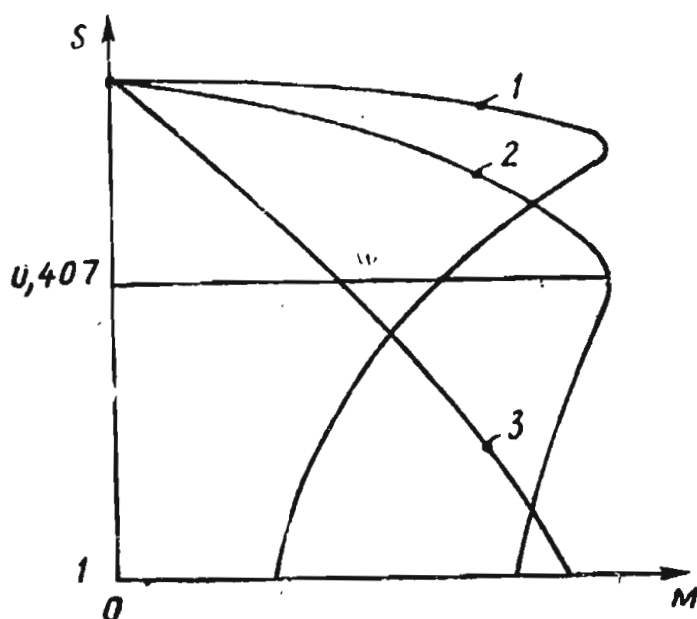


Hình 2-14. Đường cong $s = f(t)$ dựng theo (2-50) ứng với quá trình khởi động

Về ý nghĩa vật lý, ta thấy đặc tính cơ ứng với độ trượt tới hạn $s_{th.tu}$ là đường có giá trị mômen tác dụng của động cơ trong quá trình quá độ là lớn nhất. Giá trị đó được biểu thị bằng diện tích giới hạn bởi đường đặc tính cơ $M(s)$ và các trục tọa độ. Thực vậy, so sánh 3 đường cong trên hình 2-16, ta thấy đường 2 (có $s_{th} = 0,407$) bao diện tích lớn nhất trong giới hạn từ $s = 1$ đến $s = 0$, nghĩa là nó bảo đảm thời gian khởi động nhỏ nhất.



Hình 2-15. Quan hệ $t_{qđ} = f(s_{th})$ ứng với quá trình khởi động.



Hình 2-16. Dạng các đặc tính cơ ứng với các độ trượt tới hạn khác nhau.

§2-7. QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ DO MÔMEN CẢN BIẾN THIÊN THEO HÀM CỦA GÓC QUAY HOẶC HÀNH TRÌNH

Một loại cơ cấu sản xuất, như các máy piston và máy có cơ cấu truyền lực kiểu thanh truyền – tay quay, mômen cản trong quá trình làm việc biến

đều phụ thuộc góc quay của trục động cơ hoặc hành trình của cơ cấu chấp hành. Trường hợp chung, ta có thể biểu thị mômen này thành hàm số:

$$M_c = M_{co} + \sum_{k=1}^n M_{cm} \sin k\alpha \quad \text{khi } 0 < \alpha < \alpha_0. \quad (2-54)$$

$$M_c = M_{co} \quad \text{khi } \alpha_0 < \alpha < \alpha_{ck}. \quad (2-50)$$

trong đó α_{ck} — góc quay ứng với một chu kỳ biến thiên của tải;
 α_0 — góc quay khi bắt đầu vào giai đoạn làm việc.

Trường hợp đơn giản nhất, M_c biến thiên thuần sin theo góc quay trong giai đoạn làm việc, khi đó (2-54) có dạng

$$M_c = M_{co} + M_{cm} \sin \alpha. \quad (2-55)$$

Các quan hệ (2-54) và (2-55) được biểu diễn trên hình 2-17.

Phương trình chuyển động của hệ thống trong trường hợp đơn giản nhất này cũng có dạng như sau:

$$M - M_{co} - M_{cm} \sin \alpha = J \frac{d\omega}{dt} \quad (2-56)$$

Nếu ta biến đổi về phải

$$J \frac{d\omega}{dt} = J \frac{d\omega}{d\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{dt} = J\omega \frac{d\omega}{d\alpha}.$$

thì phương trình chuyển động được viết lại:

$$M(\omega) - M_{co} - M_{cm} \sin \alpha = J\omega \frac{d\omega}{d\alpha}. \quad (2-57)$$

Thông thường các cơ cấu sản xuất loại này có mômen quán tính của bộ truyền biến đổi theo góc quay. Tuy nhiên, giá trị của nó khá nhỏ so với mômen quán tính của động cơ và của bộ phận làm việc, do đó trong tiết này ta coi $J = \text{const}$.

Cần thấy rằng, mặc dù đã coi $J = \text{const}$, phương trình (2-57) vẫn là phương trình phi tuyến ngay cả khi đặc tính cơ của động cơ là đường thẳng. Do đó không thể giải trực tiếp phương trình vi phân này.

Ta có hai cách giải gần đúng sau đây:

1. Phương pháp đồ thị.

Sử dụng phương pháp đồ thị đối với trường hợp này phức tạp hơn trường hợp đã xét trong §2-6. Ở đây, số liệu cho trước cũng là các đường cong $M(\omega)$ của động cơ và $M_c(\alpha)$ của máy sản xuất nhưng quan hệ giữa α và ω lại chưa biết. Quan hệ đó phụ thuộc thời gian, mà thời gian lại chính là đại lượng cần tìm. Vì vậy việc giải bằng đồ thị phải tiến hành theo phương pháp gần đúng liên tiếp. Nội dung của phương pháp này như sau:

Sai phân hóa phương trình (2-56) ta được:

$$M - M_c = J \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (2-58)$$

Tự chọn lấy gia số $\Delta\omega_i$ và gia số $\Delta\alpha_i$, ta xác định được M và M_c theo các đường cong $M(\omega)$ và $M_c(\alpha)$, rồi theo (2-58) tính ra gia số thời gian Δt_i .

Sau khi đã có Δt_i ta có thể nghiệm lại $\Delta\alpha_i$ đã chọn theo quan hệ

$$\Delta\alpha_{i*} = \left(\omega_{bdi} + \frac{1}{2} \Delta\omega_i \right) \Delta t_i, \quad (2-59)$$

trong đó ω_{bdi} — tốc độ ở đầu khoảng thứ i .

Nếu kết quả phù hợp với giá trị $\Delta\alpha_i$ đã chọn, thì các gia số $\Delta\omega_i$ và Δt_i là đúng và cho ta một điểm trên đường cong $\omega(t)$ cần tìm. Ngược lại, nếu kết quả không phù hợp, nghĩa là $\Delta\alpha_{i*} \neq \Delta\alpha_i$ thì phải chọn lại $\Delta\alpha_i$ và tính lại tất cả.

Việc dựng đường cong $\omega(t)$, $\alpha(t)$ và $M(\alpha)$ được giới thiệu trên hình 2-18. Trước hết ta vẽ quan hệ $M(\alpha)$ lên góc phần tư thứ I và đặc tính cơ $M(\omega)$ lên góc phần tư thứ II.

Giả thiết trước lúc bước vào giai đoạn làm việc ($\alpha=0$) hệ đang làm việc xác lập với tốc độ ω_1 và $M_1=M_{c0}$ [điểm 1 trên đường $M(\omega)$]. Bắt đầu từ điểm này, ta chia đường đặc tính cơ thành các khoảng ứng với các gia số $\Delta\omega$ chọn trước. Trong mỗi khoảng ta lấy một giá trị trung bình M_{tbl} và coi là không đổi. Đối với khoảng thứ nhất ta có $\Delta\omega_1$, M_{tbl} .

Mặt khác, từ $x=0$ trên trục α , ta lấy một gia số $\Delta\alpha_1$ và xác định M_{ctbl} trong khoảng này, như đã ghi trên góc phần tư thứ I.

Theo (2-58) ta tính được

$$\Delta t_1 = \frac{J}{M_{tbl} - M_{ctbl}} \Delta\omega_1, \quad (2-60)$$

Để kiểm nghiệm gia số $\Delta\alpha_1$, ta dùng biểu thức (2-59):

$$\Delta\alpha_{1*} = \left(\omega_1 + \frac{1}{2} \Delta\omega_1 \right) \Delta t_1.$$

Giả sử gia số góc quay đã được nghiệm đúng, nghĩa là $\Delta\alpha_{1*} = \Delta\alpha_1$.

Đặt giá trị Δt_1 lên trục t (kể từ gốc 0). Các giá trị $\Delta\omega_1$ và Δt_1 cho ta một điểm trên đường cong $\omega(t)$ (góc phần tư thứ III), còn các giá trị $\Delta\alpha_1$ và Δt_1 cho ta một điểm trên đường cong $\alpha(t)$ (góc phần tư thứ IV).

Từ điểm 2 trên đường $M(\omega)$ và điểm $\alpha_0 + \Delta\alpha_1$ trên trục α , ta xác định được điểm a trên đường $M(\alpha)$.

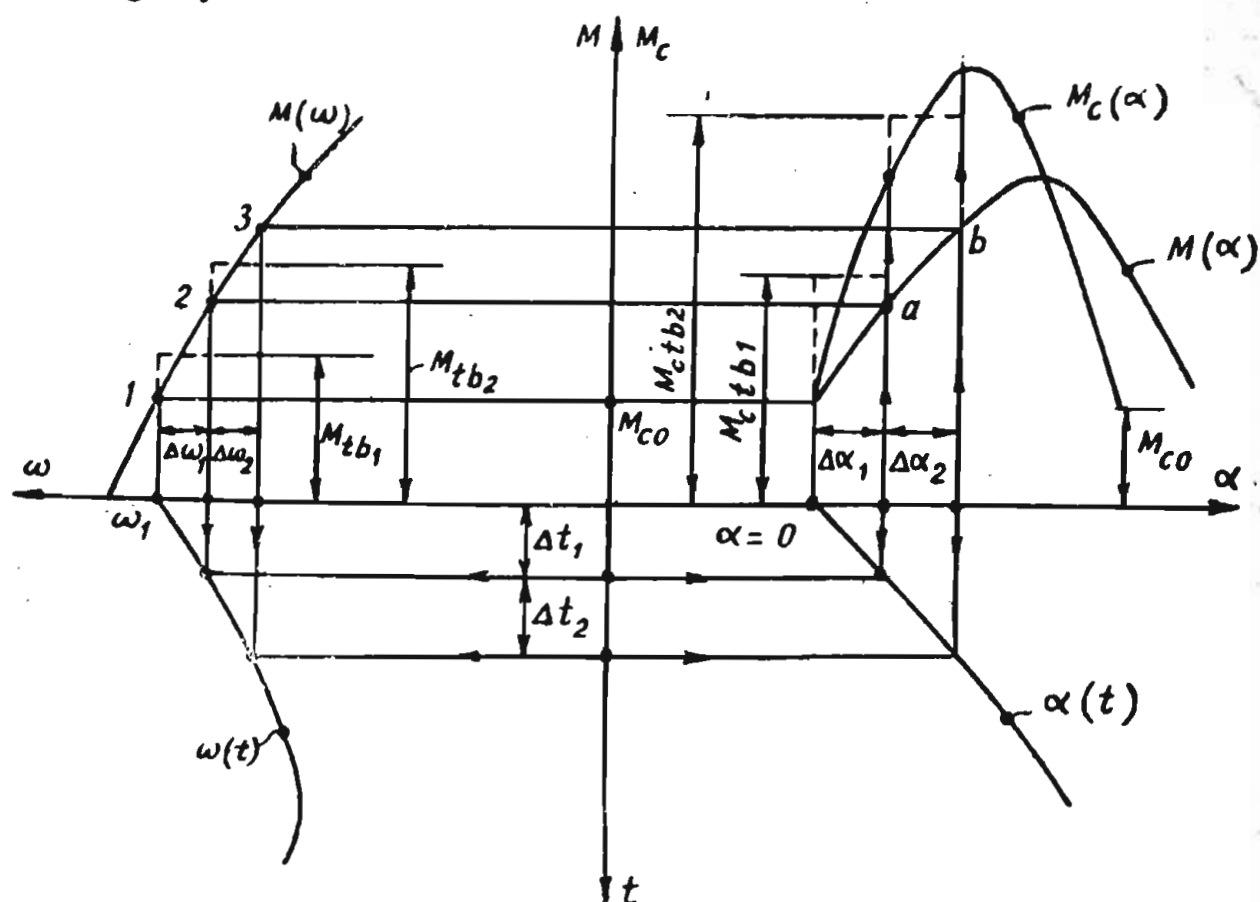
Sau đó, tiến hành tương tự cho khoảng $\Delta\omega_2$, $\Delta\omega_3...$ ta sẽ vẽ được toàn bộ các đường cong $\omega(t)$, $\alpha(t)$ và $M(\alpha)$.

Quan hệ $M(t)$ sẽ được suy ra từ đường $\omega(t)$ và $M(\omega)$ đã có.

2. Phương pháp giải tích.

Nếu mômen cản có phương trình dạng (2-54a) thì ta có thể giải phương trình (2-57) một cách gần đúng bằng phương pháp giải tích. Nội dung của phương

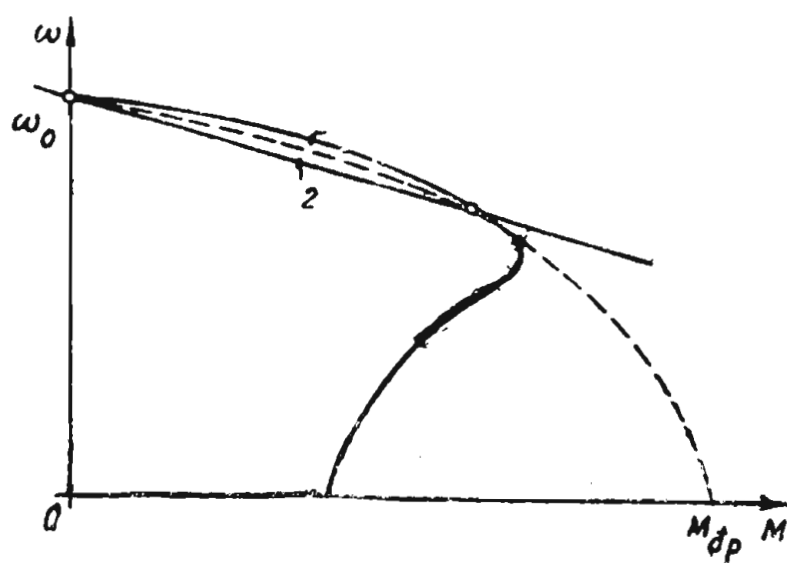
pháp này là thay thế phương trình đặc tính cơ của động cơ $M(\omega)$ bằng một hàm số gần đúng nào đó, sao cho khi thay vào (2-57) thì biến được phương trình này về dạng tuyến tính.



Hình 2-18. Dựng các đường cong quá độ $\omega(t)$, $\alpha(t)$ và $M(\alpha)$ bằng phương pháp đồ thị

Muốn thế, ta thay đường đặc tính cơ của động cơ bằng đường parabol gần đúng, như đường nét đứt trên hình 2-19. Đường này có phương trình

$$M = M_{dp} - \frac{M_{dp}}{\omega_0^2} \omega^2. \quad (2-61)$$



Hình 2-19. Thay thế đặc tính cơ của động cơ [không đồng bộ (1) và một chiều (2)] bằng đường parabol.

Giá trị M_{dp} tại đỉnh của đường parabol được chọn tùy theo loại động cơ và có ảnh hưởng tới độ chính xác của việc thay thế đặc tính cơ. Đối với động cơ một chiều kích từ độc lập, ta lấy

$$M_{dp} = \frac{M_{dp}}{2s_{dm}(1-s_{dm})}, \quad (2-62)$$

trong đó $s_{dm} = (\omega_0 - \omega_{dm})/\omega_0$.

Khi đó, sai số về mômen không vượt quá 5% trong phạm vi biến thiên từ $M = 0$ đến $M = 2,5M_{dm}$.

Đối với động cơ không đồng bộ ta lấy

$$M_{dp} = \frac{0,8M_{th}}{s_{th}(1-0,25s_{th})} \quad (2-62a)$$

Khi đó sai số về mômen không vượt quá 15% trong phạm vi biến thiên từ $M=0$ đến $M=M_{th}$. Cả hai trường hợp, sai số về tốc độ đều không đáng kể.

Từ (2-61), lấy đạo hàm $dM/d\omega$ ta được:

$$\frac{dM}{d\omega} = -2 \frac{M_{dp}}{\omega_0^2} \omega.$$

Biến đổi biểu thức này, ta có:

$$\frac{dM}{d\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{d\omega} = -2 \frac{M_{dp}}{\omega_0^2} \omega,$$

hoặc
$$\omega \frac{d\omega}{d\alpha} = -\frac{\omega_0^2}{2M_{dp}} \frac{dM}{d\alpha} \quad (2-63)$$

Thay quan hệ này vào (2-57) ta được một phương trình vi phân tuyến tính:

$$\theta_c \frac{dM}{d\alpha} + M = M_{co} + M_{cm} \sin \alpha \quad (2-64)$$

trong đó θ – hệ số đặc trưng cho tốc độ biến thiên của mômen theo góc quay:

$$\theta_c = J \frac{\omega_0^2}{2M_{dp}} = T_c \cdot \omega_0. \quad (2-65)$$

Nghiệm của phương trình trên là

$$M = M_{cd} + \frac{M_{cm}}{\sqrt{1+\theta_c^2}} \sin(\alpha - \arctg \theta_c) + Ce^{-\frac{\alpha}{\theta_c}}.$$

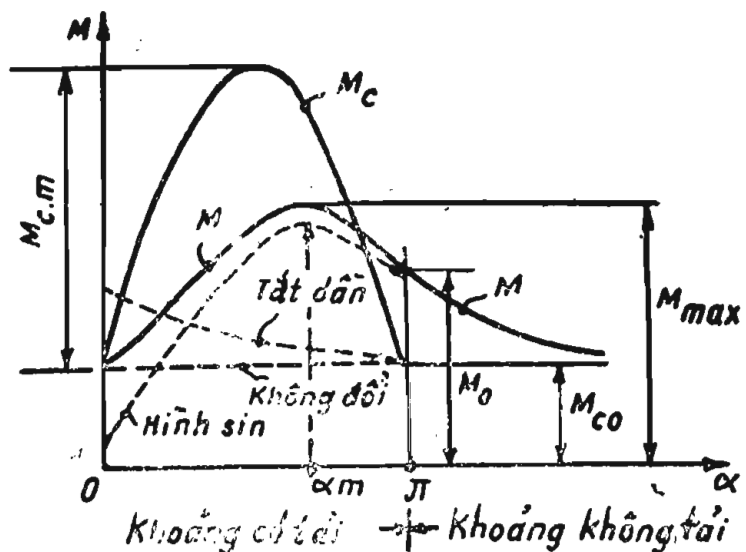
Hằng số tích phân C được xác định theo điều kiện ban đầu $M = M_{co}$ khi $\alpha = 0$:

$$C = \frac{M_{cm}}{\sqrt{1+\theta_c^2}} \sin(\arctg \theta_c) = M_{cm} \cos \Psi \sin \Psi, \text{ trong đó } \Psi = \arctg \theta_c.$$

Thay hằng số C vào biểu thức M , ta được kết quả cuối cùng:

$$M = M_{co} + M_{cm} \cos \Psi [\sin(\alpha - \Psi) + \sin \Psi e^{-\frac{\alpha}{\theta_c}}]. \quad (2-66)$$

Ta có thể phân chia về phải của (2-66) thành ba thành phần: thành phần không đổi M_{co} , thành phần hình sin $M_{cm} \cos \Psi \sin(\alpha - \Psi)$, và thành phần hàm mũ $M_{cm} \cos \Psi \sin \Psi e^{-\alpha/\theta_c}$. Quan hệ (2-66) và các thành phần của mômen được biểu diễn trên hình 2-20.



Hình 2-20. Đồ thị của mômen cân và mômen động cơ theo hàm của góc quay.

Trong khoảng thời gian máy làm việc không tải ($M_c = M_{c0}$), mômen động cơ biến đổi theo qui luật hàm mũ, tương tự như đã xét trong tiết § 2-2. Chỉ cần chú ý rằng, ở đây ta viết quan hệ $M = f(\alpha)$ thay cho quan hệ $M = f(t)$ nên không dùng hằng số thời gian T_c mà dùng hệ số θ_c :

$$M = M_{c0} + (M_0 - M_{c0})e^{-\frac{\alpha}{\theta_c}} \quad (2-67)$$

trong đó M_0 — mômen động cơ ở cuối khoảng thời gian có tải ($\alpha = \pi$).

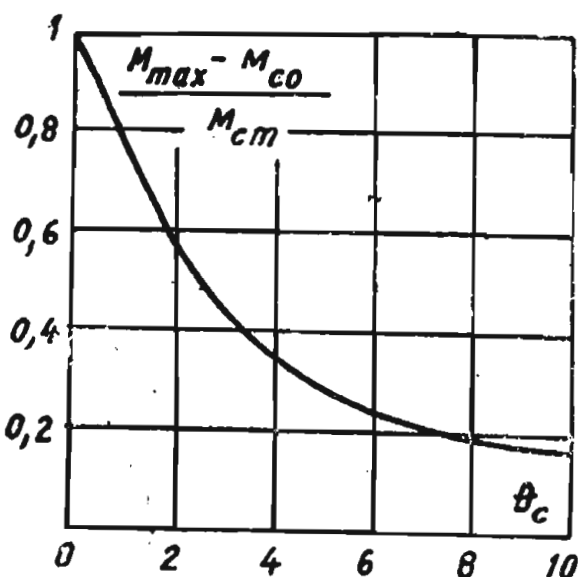
Biểu thức (2-66) cho thấy rằng, mômen của động cơ đạt cực đại khi $\alpha - \Psi = \frac{\pi}{2}$, tức là khi $\alpha = \frac{\pi}{2} - \arctg \theta_c = \alpha_m$. Thay giá trị đó vào (2-66) ta được

$$M_{\max} = M_{cd} + \frac{M_{cm}}{\sqrt{1 + \theta_c^2}} \left[1 + \frac{\theta_c}{\sqrt{1 + \theta_c^2}} e^{-\frac{\pi}{2\theta_c} - \frac{\arctg \theta_c}{\theta_c}} \right]. \quad (2-68)$$

Rõ ràng là khi $\theta_c \neq 0$, $M_{\max} < M_{cd} + M_{cm}$ — điều đó hoàn toàn tương tự như trường hợp đã xét trong § 2 — 5 là quán tính cơ học đã có tác dụng lọc nhiễu loạn phụ tải.

Từ (2-68) ta viết được biểu thức của đỉnh mômen động cơ theo đơn vị tương đối như sau:

$$\frac{M_{\max} - M_{cd}}{M_{cm}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \theta_c^2}} \left[1 + \frac{\theta_c}{\sqrt{1 + \theta_c^2}} e^{-\frac{\pi}{2\theta_c} - \frac{\arctg \theta_c}{\theta_c}} \right]. \quad (2-69)$$



Hình 2-21 Quan hệ giữa mômen cực đại của động cơ và hệ số θ_c .

Quan hệ này được biểu thị trên hình 2-20 theo dạng đường cong suy giảm. θ_c càng lớn thì đỉnh mômen càng nhỏ, nghĩa là mômen động cơ càng được san bằng.

Quan hệ (2-69) và đường cong hình 2-20 cũng cho phép ta dựa vào số liệu của đồ thị mômen tải và hệ số θ_c của hệ, có thể tra ra $M_{\max}$, rồi dựa vào đó để chọn động cơ, mà không cần phải tính toán quá trình quá độ.

Cuối cùng, cần lưu ý rằng, các kết luận trên đây chỉ đúng khi ta thay đặc tính cơ của động cơ bằng đường parabol

CÁC QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ CƠ HỌC KHI THÔNG SỐ CỦA NGUỒN BIẾN THIÊN THEO THỜI GIAN

Nhiều hệ thống có quá trình quá độ xảy ra kèm theo sự thay đổi một thông số nào đó của nguồn điện có tác động trực tiếp đối với mômen động cơ. Hiện tượng này rất phổ biến trong các hệ truyền động tự động. Ví dụ trong hệ V—Đ, khi khởi động hoặc tăng tốc người ta đóng hoặc thay đổi tín hiệu đặt U_d trên đầu vào của hệ điều khiển của bộ biến đổi, rồi do tác dụng của các hồi tiếp mà tín hiệu điều khiển thay đổi theo thời gian (chứ không đột biến) theo quy luật đã định. Kết quả là sđđ của bộ biến đổi sẽ thay đổi theo thời gian. Cùng lúc đó, phần cơ của hệ truyền động cũng nằm trong trạng thái quá độ.

Hiện tượng này cũng quan sát thấy cả trong các hệ tự động vòng hở như hệ F — Đ. Do quán tính điện từ của mạch kích từ máy phát, mà các quá trình quá độ đều diễn ra khi sđđ của máy phát thay đổi từ từ.

Tuy nhiên, để dễ phân biệt, ta xếp các quá trình quá độ trong hệ F—Đ vào loại quá trình điện từ (dễ thấy) và sẽ xét trong chương 3. Ở đây ta chỉ xét các quá trình cơ học của những hệ có thông số nguồn được điều khiển theo qui luật biết trước. Khi đó, quán tính của toàn bộ phần điện của hệ truyền động, bao gồm hệ điều khiển và thiết bị biến đổi làm nguồn cho động cơ, được coi là cho trước và thể hiện trong qui luật biến thiên của thông số nguồn. Bởi vậy, ta không cần xét đến quá trình quá độ điện từ của hệ, mà chỉ xét quá trình quá độ cơ học mà thôi.

§2-8. QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ TRONG HỆ BỘ BIẾN ĐỔI— ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU

Trong hệ này, thông số điều khiển có tác động đối với mômen động cơ chính là sđđ của bộ biến đổi. Chẳng hạn, khi khởi động, người ta đóng điện áp điều khiển, và do đó sđđ của bộ biến đổi e_b tăng dần; khi hãm, người ta cắt điện áp điều khiển và sđđ e_b giảm dần.

Vì sđđ nguồn, hoặc điện áp trên phần ứng động cơ, không có ảnh hưởng đến độ cứng của đặc tính cơ, nên quá trình quá độ của hệ sẽ xảy ra với một họ đặc tính cơ thẳng có độ cứng $\beta = \text{const}$. Nếu mômen tải phụ thuộc tuyến tính với tốc độ, thì trường hợp này có thể ứng dụng một phần kết quả khảo sát ở tiết §2-2, nghĩa là ta sử dụng phương trình vi phân tuyến tính (2-8) để mô tả quá trình quá độ:

$$\omega_{x1} = \omega + T_c \frac{d\omega}{dt}$$

Điểm khác cơ bản với trường hợp trong §2-2 là ở đây do điện áp nguồn biến thiên theo thời gian nên ω_{x1} phụ thuộc thời gian. Giả sử $M_c = \text{const}$, ta có

$$\omega_{x1} = \omega_0(t) - \frac{M_c}{\beta} = \frac{e_b(t)}{k\Phi} - \frac{M_c}{\beta}. \quad (2-70)$$

Khi biết hàm $e_b = f(t)$, ta xác định được hàm $\omega_{x1} = f(t)$ và giải được phương trình (2-8). Rõ ràng là nghiệm của phương trình này phụ thuộc vào qui luật biến thiên của sdd của bộ biến đổi.

Để làm ví dụ ta khảo trường hợp khởi động khi e_b biến thiên tuyến tính theo thời gian, nghĩa là:

$$\left\{ \begin{array}{l} e_b = \epsilon t \quad \text{khi } 0 < t < t_e, \\ e_b = E_{b.dm} \quad \text{khi } t > t_e. \end{array} \right\} \quad (2-71)$$

Quy luật này được biểu thị bằng đường gấp khúc e_b trên hình 2-22. Thời gian t_e được xác định theo các số liệu cho trước:

$$t_e = \frac{E_{b.dm}}{\epsilon} \quad (2-72)$$

Tốc độ không tải lí tưởng của động cơ sẽ biến thiên theo qui luật tương tự như e_b :

$$\left. \begin{array}{l} \omega_o = \frac{e_b}{K\Phi} = \frac{\epsilon}{K\Phi} t = at \quad \text{khi } 0 < t < t_e, \\ \omega_o = \frac{E_{b.dm}}{K\Phi} = \omega_{o.dm} = \text{const} \quad \text{khi } t > t_e. \end{array} \right\} \quad (2-73)$$

Quan hệ $\omega_o(t)$ cũng được biểu diễn trên hình 2-22 (đường ω_o).

Khi tải có tính phản kháng và có trị số không đổi, quá trình khởi động bao gồm ba giai đoạn:

1. Giai đoạn 1 từ $t = 0$ đến thời điểm t_1 tương ứng với lúc $M = M_c$. Trong giai đoạn này, vì $M < M_c$ nên động cơ chưa quay, nghĩa là $\omega = 0$, $E = K\Phi\omega = 0$, dòng phản ứng chính là dòng ngắn mạch và mômen động cơ cũng chính là mômen ngắn mạch. Ta có

$$M = M_{nm} = K\Phi I_{nm} = K\Phi \frac{e_b}{R} = \frac{K\Phi\epsilon}{R} t, \quad (2-74)$$

trong đó, $R = R_b + R_x$ — tổng điện trở mạch phần ứng BĐ—Đ. Quan hệ (2-74) là quan hệ đường thẳng, đó là đoạn 0—1 trên đường M (hình 2-22).

Cho $M = M_c$, từ (2-74) ta xác định được thời gian t_1 của giai đoạn này:

$$t_1 = \frac{M_c}{K\Phi} \frac{R}{\epsilon}. \quad (2-75)$$

Thay t_1 vào (2-73) ta tìm được giá trị ω_{o1} ở thời điểm cuối của giai đoạn 1, tức là giá trị ban đầu của giai đoạn 2:

$$\omega_{o1} = \frac{M_c R}{(K\Phi)^2} = \Delta\omega_c. \quad (2-76)$$

Giá trị đó đúng bằng sụt tốc lĩnh do tải M_c gây ra.

2. Giai đoạn 2 từ t_1 đến t_e , là giai đoạn tăng tốc từ $\omega = 0$ khi e_b tăng tuyến tính theo thời gian.

Để cho đơn giản, ta dời gốc thời gian về điểm t_1 , lúc đó biến thời gian sẽ là

$$t' = t - t_1 \text{ hoặc } t = t' + t_1. \quad (2-77)$$

Viết lại quan hệ $\omega_o(t)$ theo biến t' , ta có:

$$\omega_o = at = at' + \omega_{o1} = at' + \Delta\omega_c. \quad (2-78)$$

Phối hợp các quan hệ (2-8), (2-70) và (2-78) ta được:

$$T_c \frac{d\omega}{dt'} + \omega = at'. \quad (2-79)$$

Nghiệm riêng của phương trình này là

$$\omega_r = at' + A$$

Hằng số A được xác định bằng cách thay chính ω_r và $d\omega_r/dt'$ vào (2-79):

$$A = -T_c a.$$

Nghiệm tự do của phương trình (2-79) là

$$\omega_{td} = ce^{-t'/T_c},$$

và nghiệm chung sẽ là:

$$\omega = \omega_r + \omega_{td} = at' - T_c a + ce^{-t'/T_c}$$

Hằng số C được xác định bằng cách thay điều kiện ban đầu ($\omega = 0$ khi $t' = 0$) vào biểu thức nghiệm chung. Ta có:

$$C = T_c a$$

Cuối cùng, nghiệm của phương trình vi phân (2-79) có dạng.

$$\omega = at' - aT_c(1 - e^{-t'/T_c}). \quad (2-80)$$

Theo (2-80) ta vẽ được đoạn 1—2 trên đường ω (hình 2-22).

Mômen của động cơ tìm được nhờ biểu thức

$$M = M_c + J \frac{d\omega}{dt'}$$

Lấy đạo hàm $d\omega/dt'$ từ quan hệ (2-80) rồi thay vào biểu thức mômen ta được:

$$M = M_c + aJ(1 - e^{-t'/T_c}), \quad (2-81)$$

trong đó, thành phần sau của vế phải chính là mômen động:

$$M_{dg} = aJ(1 - e^{-t'/T_c}). \quad (2-82)$$

Quan hệ (2-81) được biểu diễn bằng đoạn 1-2 trên đường M (hình 2-22).

Như trên đã nêu, giai đoạn này kết thúc khi $t = t_e$, nghĩa là khi

$$t_2 = t_e - t_1 = \frac{E_{bđm}}{\epsilon} - \frac{M_c R}{K\Phi}. \quad (2-83)$$

Thay giá trị t_2 vào (2-80) và (2-81) ta xác định được giá trị của tốc độ ω_2 và mômen M_2 ở cuối giai đoạn 2, tức là các giá trị ban đầu của giai đoạn 3.

3. Giai đoạn 3 từ thời điểm $t = t_e$ cho đến khi $\omega \rightarrow \omega_{x1.cc}$ hoặc $M \rightarrow M_c$.
 Hãy dời gốc thời gian đến điểm t_e , ta sẽ được quá trình quá độ với điện áp nguồn $e_b = E_{b.dm}$ không đổi. Theo kết quả §2-2 ta có:

$$\omega = \omega_{x1.cc} + (\omega_{bd3} - \omega_{x1.cc})e^{-t''/T_c} \quad (2-84)$$

$$M = M_c + (M_{bd3} - M_c)e^{-t''/T_c} \quad (2-85)$$

trong đó $\omega_{x1.cc}$ – giá trị xác lập cuối cùng của tốc độ:

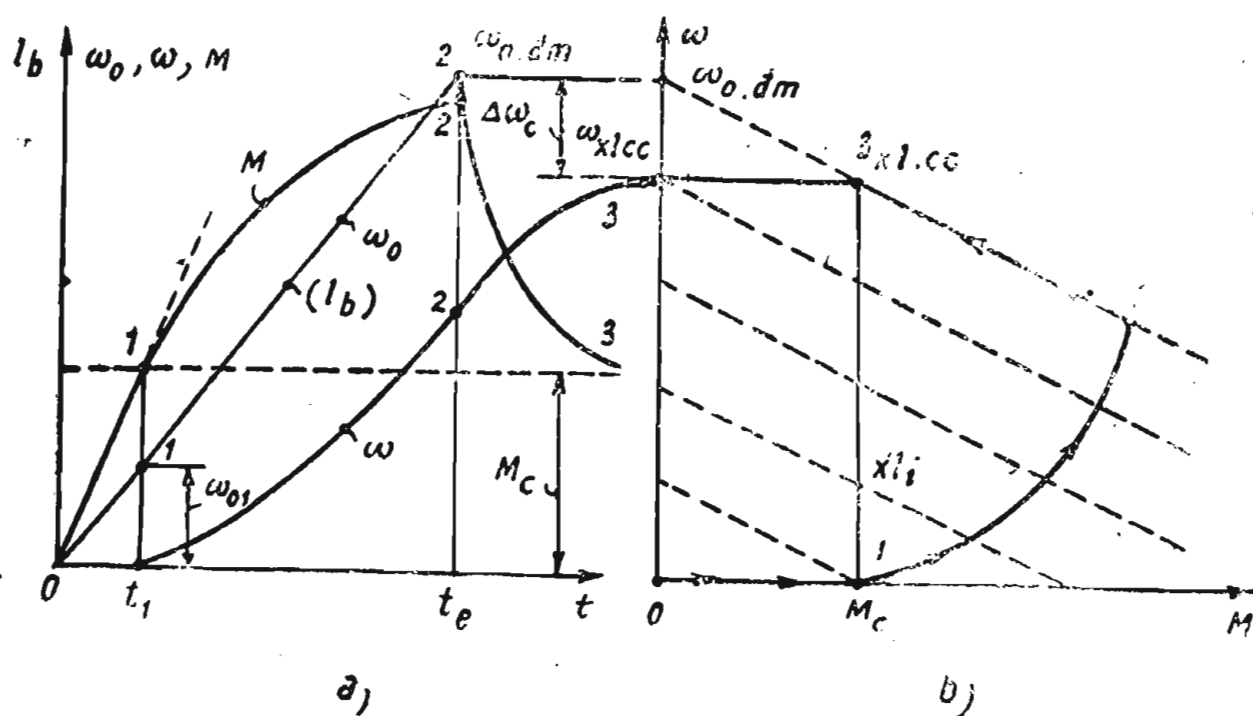
$$\omega_{x1.cc} = \omega_{0.dm} - \Delta\omega_c;$$

ω_{bd3} , M_{bd3} – giá trị tốc độ và mômen ở đầu giai đoạn 3, tức ở cuối giai đoạn 2.

$t'' = t - t_e$ – biến thời gian lấy theo gốc mới,

Các quan hệ (2-84) và (2-85) được biểu diễn bằng đoạn 2-3 trên các đường cong ω và M (hình 2-22a)

Chú ý rằng trong 3 giai đoạn quá độ xét trên, giai đoạn 2 chiếm phần lượng lớn nhất, nghĩa là nó quyết định thời gian và đặc điểm của quá trình quá độ. Từ (2-82) ta thấy mômen động của hệ, và do đó cả gia tốc của truyền động, chỉ phụ thuộc vào a và T_c , tức phụ thuộc vào tính chất của bản thân truyền động, chứ không phụ thuộc vào mômen cản. Dựa vào đặc điểm này, ta có thể thông qua qui luật điều khiển bộ biến đổi để tạo hình cho các quá trình quá độ theo yêu cầu công nghệ.



Hình 2-22. Các đặc tính quá độ (a) và quỹ đạo pha (b) của hệ BD-Đ.

Từ các đường cong $M(t)$ và $\omega(t)$ ta tìm được quỹ đạo pha (đặc tính ca động) của hệ như trên hình 2-22b. Trong giai đoạn 1 điểm làm việc của hệ di chuyển trên trục hoành (mũi tên) sau đó tiếp tục di chuyển trên vô số đường đặc tính cơ tĩnh và tiến tới điểm xác lập cuối cùng. Các đoạn 01, 12, 23 trên quỹ đạo pha là tương ứng với ba giai đoạn khởi động đã trình bày trên.

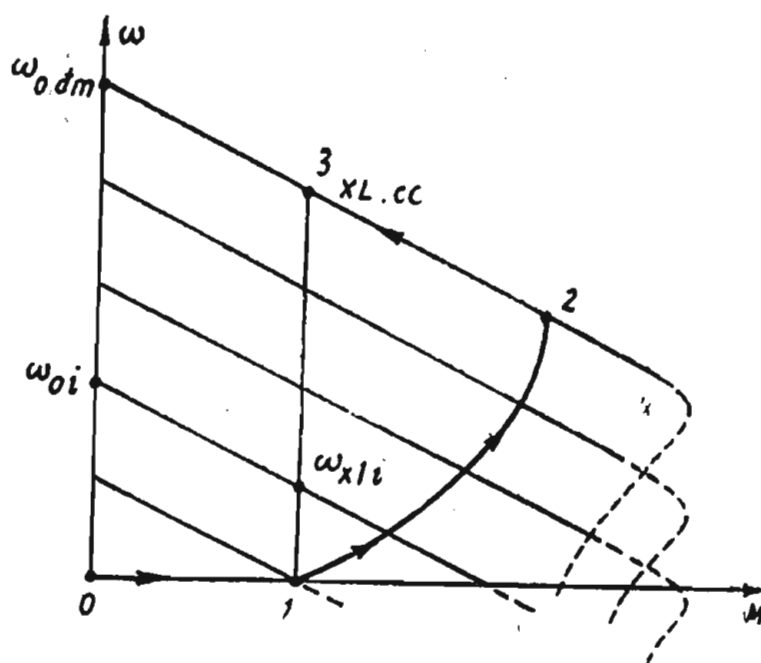
§ 2-9. QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ TRONG HỆ BIẾN TẦN – ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Hệ biến tần — động cơ không đồng bộ về hình thức điều chỉnh tốc độ và điều khiển các quá trình quá độ hoàn toàn tương tự như hệ Bộ biến đổi — Động cơ một chiều.

Thực vậy, trong quá trình quá độ, tần số ra của bộ biến tần cũng biến đổi theo thời gian với một qui luật nhất định tương tự sđđ của bộ biến đổi xoay chiều — một chiều. Vì tốc độ từ trường quay của động cơ tỷ lệ với tần số của nguồn điện stato nên nó sẽ lặp lại qui luật biến thiên của tần số, giống như quan hệ $\omega_0(t)$ trong truyền động một chiều (§ 2-8).

Hơn nữa, khi điều khiển các quá trình quá độ bằng tần số, thì điểm làm việc (quĩ đạo pha) của động cơ chỉ di chuyển trên đoạn làm việc của họ đặc tính cơ biến tần mà thôi. Khi đó họ đặc tính này có thể coi là những đường thẳng tương tự như họ đặc tính cơ biến đổi điện áp nguồn của động cơ một chiều (xem hình 2-23).

Đề làm ví dụ, ta sẽ khảo sát quá trình khởi động của động cơ khi tần số nguồn tăng tuyến tính với thời gian và $M_c = \text{const}$ có tính phản kháng.



Hình 2-23. Quỹ đạo pha của hệ BT-Đ

Ta có :

$$(f = \sigma t \text{ khi } 0 < t < t_f, \quad (2-86)$$

$$\left. \begin{aligned} f &= f_{dm} = \text{const khi } t > t_f. \end{aligned} \right\} \quad (2-87)$$

Tốc độ từ trường quay sẽ biến thiên theo qui luật tương tự, nghĩa là

$$\left. \begin{aligned} \omega_0 &= \frac{2\pi}{p} f = \frac{2\pi\varepsilon}{p} \cdot t = at \text{ khi } 0 < t < t_r, \\ \omega_0 &= \omega_{\text{odm}} = \frac{2\pi}{p'} f_{\text{dm}} \text{ khi } t > t_r \end{aligned} \right\} \quad (2-88)$$

Thời gian t_f cũng được xác định tương tự như (2-72)

$$t_f = \frac{f_{dm}}{f_{dm}}. \quad (2-89)$$

Cũng tương tự như §2-8, quá trình này cũng có ba giai đoạn; - Giai đoạn 1 từ $t = 0$ đến t_1 ứng với khi $M = M_c$. Trong giai đoạn này vì $M < M_c$ nên $\omega = 0$. $M = M_{nm}$. Coi đoạn đặc tính làm việc của động cơ không đồng bộ là đường thẳng, ta có

$$M = M_{pm} = \beta \omega_0 = \beta \cdot a.t. \quad (2-90)$$

trong đó β - độ cứng của đặc tính cơ (đoạn làm việc).

Quan hệ (2-90) được biểu thị bằng đoạn thẳng, tương tự như đoạn 0—1 trên đường M của hình 2-22.

Đối với các giai đoạn 2 và 3, phương pháp khảo sát và kết quả nhận được cũng hoàn toàn giống như các phần tương ứng nêu trong §2-8.

Quỹ đạo pha của hệ được vẽ trên hình 2-23. Điềm làm việc của hệ không di chuyển xuống phần cong của đặc tính cơ tĩnh, do đó quá trình quá độ cơ học của hệ này hoàn toàn giống với hệ BD — Đ.

D — CÁC QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ CƠ HỌC ĐẶC BIỆT

Trong nhóm này ta xét hai trường hợp: quá trình quá độ khi mômen quán tính của hệ biến đổi theo hành trình còn mômen động thì phụ thuộc phi tuyến theo tốc độ và quá trình quá độ trong hệ lưỡng khối.

§ 2-10. QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ TRONG HỆ CÓ MÔMEN QUÁN TÍNH BIẾN ĐỔI

Thực tế có nhiều truyền động làm việc với mômen quán tính biến đổi. Đó là các thiết bị quán mà đường kính trục quay to dần như trục quán thép cán, trục quán vải, quán giấy v.v...; các cơ cấu khuỷu trong đó có một bộ phận chuyển động tịnh tiến; các cơ cấu có tỷ số truyền từ động cơ đến bộ phận làm việc biến đổi.

Đối với nhóm máy này, truyền động luôn luôn làm việc trong trạng thái quá độ. Để việc khảo sát được tiến hành cụ thể, ta lấy ví dụ một cơ cấu kiểu khuỷu.

Kết cấu cơ khí của bộ truyền được trình bày một cách đơn giản trên hình 2-24. Giả thiết trục khuỷu quay với tốc độ không đổi $\omega = \text{const}$. Thanh truyền l sẽ đưa con trượt T chạy đi chạy lại. Bộ phận làm việc được nối với con trượt này.

Mômen cản của cơ cấu này, như đã xét trong §2-7, có đặc tính dao động phụ thuộc góc quay của trục khuỷu.

Mômen quán tính của toàn hệ phụ thuộc mômen quán tính của con trượt T (và những bộ phận chuyển động tịnh tiến nối cứng với nó) cũng biến thiên theo hàm của góc quay. Trước hết ta xác định mômen quán tính.

1. Mômen quán tính của hệ

Từ hình 2-24 và giả thiết đã nêu, ta có;

— mômen quán tính của trục khuỷu và các khối nối cứng với nó là hằng số $J_0 = \text{const}$;

— mômen quán tính của con trượt sẽ là đại lượng biến đổi và được xác định như sau:

Ta tính đổi dự trữ động năng của khối m chuyển động tịnh tiến với tốc độ v thành dự trữ động năng của mômen quán tính J_1 khi nó quay với tốc độ qui đổi ω :

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{J_1 \omega^2}{2}, \text{ hoặc } J_1 = m \frac{v^2}{\omega^2}. \quad (2-91)$$

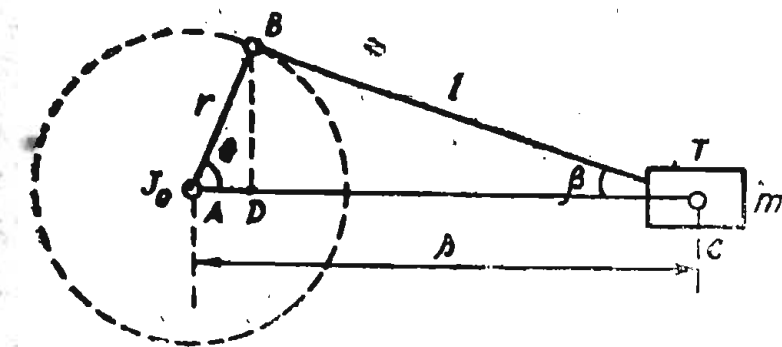
Dựa vào hình 2-24 ta xác định được v như sau:

$$v = \frac{ds}{dt}$$

trong đó

$$s = AD + DC = r \cos \theta + l \cos \beta.$$

$$\text{Vì } l \sin \beta = r \sin \theta, \text{ hoặc } \sin \beta = \frac{r}{l} \sin \theta$$



Hình 2-24. Giản đồ của cơ cấu khuỷu.

nên
$$\cos \beta = \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l}\right)^2 \sin^2 \theta}$$

Thông thường $l \gg r$ nên có thể tính gần đúng:

$$s = r \cos \theta + l \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l}\right)^2 \sin^2 \theta} \approx r \cos \theta + l.$$

Do đó

$$v = \frac{ds}{dt} = -r \sin \theta \frac{d\theta}{dt} = -r \omega \sin \theta.$$

Thay giá trị của v vào (2-91) ta được

$$J_1 = m r^2 \sin^2 \theta = J_1 \sin^2 \theta, \quad (2-92)$$

trong đó J_1 — mômen quán tính qui đổi của khối m .

θ — góc quay của trục khuỷu (tức trục động cơ).

Mômen quán tính tổng của hệ sẽ là:

$$J_{\Sigma} = J_0 + J_1 = J_0 + J_1 \sin^2 \theta.$$

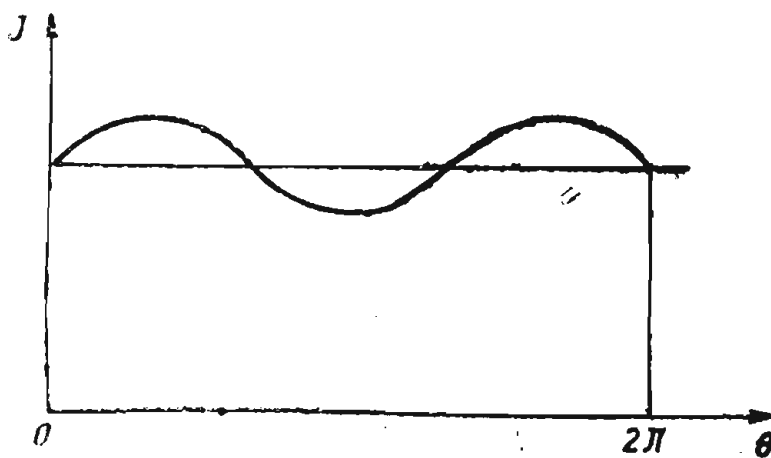
Sau khi biến đổi lượng giác ta được biểu thức cuối cùng

$$J_{\Sigma} = J_0 + \frac{J_1}{2} - J_1 \frac{\cos 2\theta}{2}. \quad (2-93)$$

Như vậy, mômen quán tính của toàn hệ biến đổi dạng sin theo góc quay, như biểu thị trên hình 2-25.

2. Phương trình chuyển động.

Theo kết quả nêu trong chương 1 (tập I), khi mômen quán tính biến thiên theo góc quay thì phương trình chuyển động được viết dưới dạng tổng quát



Hình 2-25 Quan hệ giữa mômen quán tính của hệ có bộ truyền khuỷu và góc quay của trục động cơ.

$$M - M_c = J_\Sigma \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ_\Sigma}{d\theta}. \quad (2-94)$$

Thay vào (2-94) các giá trị của J_Σ từ (2-93) và đạo hàm của nó

$$\frac{dJ_\Sigma}{d\theta} = 2J_1 \sin\theta \cos\theta \frac{d\theta}{dt} = J_1 \omega \sin 2\theta$$

ta được

$$M - M_c = (J_0 + J_1 \sin^2\theta) \frac{d\omega}{dt} + \frac{1}{2} J_1 \omega^3 \sin 2\theta. \quad (2-95)$$

Đây là phương trình vi phân phi tuyến và không thể giải trực tiếp bằng cách lấy tích phân. Ta có thể giải nó bằng máy tính hoặc dùng phương pháp đồ thị.

3. Dùng các đặc tính quá độ bằng đồ thị

Để giải phương trình (2-95) bằng đồ thị, ta viết nó thành dạng

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{(M - M_c) - \frac{1}{2} J_1 \omega^3 \sin 2\theta}{J_0 + J_1 \sin^2\theta} \quad (2-95a)$$

rồi sai phân hóa

$$\Delta t = \frac{J_0 + J_1 \sin^2\theta}{(M - M_c) - \frac{1}{2} J_1 \omega^3 \sin 2\theta} \Delta\omega. \quad (2-96)$$

Điều kiện cho trước là các quan hệ $M_c = f(\theta)$, $M = f(\omega)$ và $J = f(\theta)$. Về các quan hệ này lên các góc phần tư trên hình 2-26. Trên hai góc còn lại, ta đặt hệ trục $[\omega, t]$ và $[\theta, t]$. Mục đích khảo sát là tìm các quan hệ $\omega(t)$, $\theta(t)$ và $M(\theta)$.

Giả thiết khảo sát quá trình khởi động, bắt đầu từ $\omega = 0$ ta chia đặc tính cơ của động cơ thành các đoạn ứng với những giá trị tùy ý $\Delta\omega_2$. Trong mỗi đoạn ta lấy một giá trị trung bình của mômen động cơ M_{tb1} . Giả sử vào đầu quá trình trục đang nằm ở vị trí θ_1 tương ứng với giá trị M_{c1} và $J_{\Sigma 1}$ nào đó. Thay các giá trị này cùng với gia số tốc độ đầu tiên $\Delta\omega_1$ vào (2-96) ta xác định được Δt_1 . Đặt Δt_1 lên trục t , rồi kết hợp với $\Delta\omega_1$ ta xác định được một điểm trên đường $\omega(t)$ cần tìm.

Tiếp theo ta xác định gia số góc quay tương ứng:

$$\Delta\theta_1 = \omega_{tb1} \Delta t_1 = \frac{0 + \Delta\omega_1}{2} \Delta t_1.$$

Đặt giá trị $\Delta\theta_1$ kể với θ_1 ta xác định được góc quay của trục ở giai đoạn thứ hai:

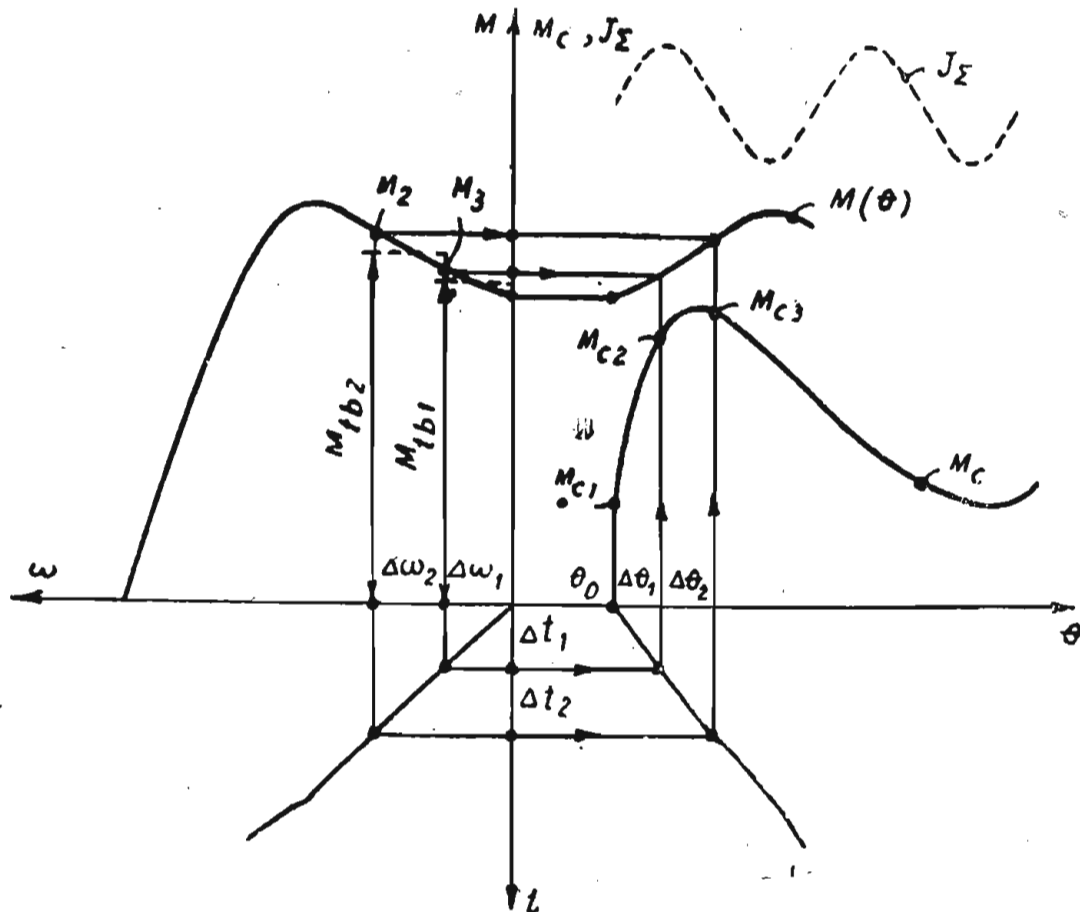
$$\theta_2 = \theta_1 + \Delta\theta_1.$$

Từ cặp giá trị Δt_1 và θ_2 ta xác định được một điểm trên đường $\theta(t)$.

Mặt khác, từ θ_2 và M_2 trên đặc tính cơ (xem hình vẽ) ta tìm được một điểm trên đặc tính $M(\theta)$.

Sau đó, từ θ_2 đóng lên đường $M_c(\theta)$ ta được giá trị M_{c2} và đóng lên đường J_Σ ta được $J_{\Sigma 2}$, rồi dùng giá trị M_{c2} , M_{tb2} , $J_{\Sigma 2}$ và $\Delta\omega_2$ thay vào (2-96) ta lại xác định được Δt_2 , v.v...

Trình tự dựng các đặc tính quá độ và dạng của chúng trình bày trên hình 2-26.



Hình 2-26. Dựng các đặc tính quá độ khi mômen quán tính và mômen cân biến thiên theo hàm của góc quay.

§ 2-11, QUA TRÌNH QUÁ ĐỘ CƠ HỌC TRONG HỆ LƯỠNG KHỐI

Tính đàn hồi của khâu liên lạc cơ học giữa hai khối chuyển động trong hệ lưỡng khối là nguyên nhân gây ra lực đàn hồi và làm cho quá trình quá độ trở nên phức tạp.

1. Đặc tính quá độ và hàm truyền

Ta sẽ khảo sát một quá trình quá độ đơn giản nhất, đó là quá trình khởi động không tải ($M_c = 0$) khi mômen động cơ không đổi suốt trong thời gian khởi động.

Như đã biết, chuyển động của hệ lưỡng khối được mô tả bởi hệ phương trình sau:

$$\left. \begin{aligned} M - M_{đh} &= J_1 \frac{d\omega_1}{dt}, \\ M_{đh} - M_c &= J_2 \frac{d\omega_2}{dt}, \\ M_{đh} &= c(\varphi_1 - \varphi_2) = c \int (\omega_1 - \omega_2) dt, \end{aligned} \right\} \quad (2-97)$$

trong đó, J_1, J_2 — mômen quán tính của các khối chuyển động tính đối về cùng một tốc độ (thường lấy tốc độ động cơ);

ω_1, ω_2 — giá trị tức thời của tốc độ ở phía động cơ và phía tải (nghĩa là ở hai đầu phần tử đàn hồi);

M_{dh} — mômen đàn hồi;

c — độ cứng của phần tử đàn hồi;

φ_1, φ_2 — góc quay ở hai đầu trục của phần tử đàn hồi.

Các đại lượng trong hệ phương trình (2-97) được ghi chú trên hình 2-27. Để cho dễ so sánh, các đại lượng mômen và tốc độ được biểu diễn bằng các vectơ. Nhấn đơn giản cách viết khi biến đổi các phương trình, ta dùng kí hiệu toán tử p thay cho d/dt . Từ hai phương trình đầu của hệ (2-97) ta có

$$M - M_c = J_1 p \omega_1 + J_2 p \omega_2.$$

Thế phương trình thứ ba vào phương trình thứ hai ta rút ra biểu thức của ω_2 :

$$\omega_2 = \frac{\frac{c}{p} \omega_1 - M_c}{J_2 p + \frac{c}{p}}$$

Thay giá trị này vào đẳng thức trên và cho $M_c = 0$ ta được phương trình viết cho ω_1 :

$$J_1 p^3 \omega_1 + J_1 \Omega_{12}^2 p \omega_1 = p^2 M + \frac{J_1}{J_1 + J_2} \Omega_{12}^2 M. \quad (2-98)$$

hoặc

$$\frac{1}{\Omega_{12}^2} \frac{d^3 \omega_1}{dt^3} + \frac{d\omega_1}{dt} = \frac{1}{J_1 \Omega_{12}^2} \frac{d^2 M}{dt^2} + \frac{1}{J_1 + J_2} M \quad (2-98a)$$

trong đó Ω_{12} — tần số (góc) dao động tự do của hệ:

$$\Omega_{12} = \sqrt{c \frac{J_1 + J_2}{J_1 J_2}} = \sqrt{\Omega_1 \Omega_2} \quad (2-99)$$

$$\Omega_1 = \sqrt{\frac{c}{J_1}}, \quad \Omega_2 = \sqrt{\frac{c}{J_2}} \quad \text{— tần số dao động riêng của khối thứ nhất và khối thứ hai.}$$

Nếu trong quá trình quá độ $M = \text{const}$, thì phương trình (2-98) có dạng đơn giản hơn:

$$\frac{1}{\Omega_{12}^2} \frac{d^3 \omega_1}{dt^3} + \frac{d\omega_1}{dt} = a_{tb}, \quad (2-100)$$

trong đó, $a_{tb} = \frac{M}{J_1 + J_2}$ — gia tốc trung bình của hệ.

Phương trình đặc trưng của (2-100) là

$$\frac{1}{\Omega_{12}^2} p^3 + p = 0$$

Nghiệm của nó sẽ là

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= 0, \\ p_{2,3} &= \pm j \Omega_{12} \end{aligned} \right\} \quad (2-101)$$

Như vậy, nghiệm tự do của phương trình vi phân (2-100) có dạng

$$\omega_{1d} = A \cos \Omega_{12}t + B \sin \Omega_{12}t.$$

Nghiệm cưỡng bức của phương trình vi phân phụ thuộc vào thành phần ở vế phải, nghĩa là

$$\omega_{cb} = a_{tb}t,$$

Nghiệm chung của phương trình sẽ là

$$\omega_1 = A \cos \Omega_{12}t + B \sin \Omega_{12}t + a_{tb}t.$$

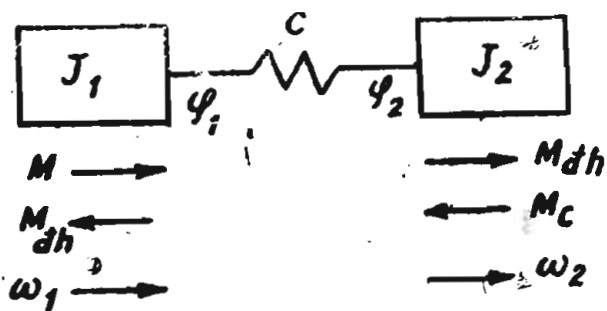
Dùng điều kiện ban đầu: khi $t = 0$, $\omega_1 = 0$ và $\frac{d\omega_1}{dt} = \frac{M}{J_1} = \frac{a_{tb}(J_1 + J_2)}{J_1}$

ta sẽ xác định được các hằng số A và B. Cuối cùng, nghiệm ω_1 có dạng

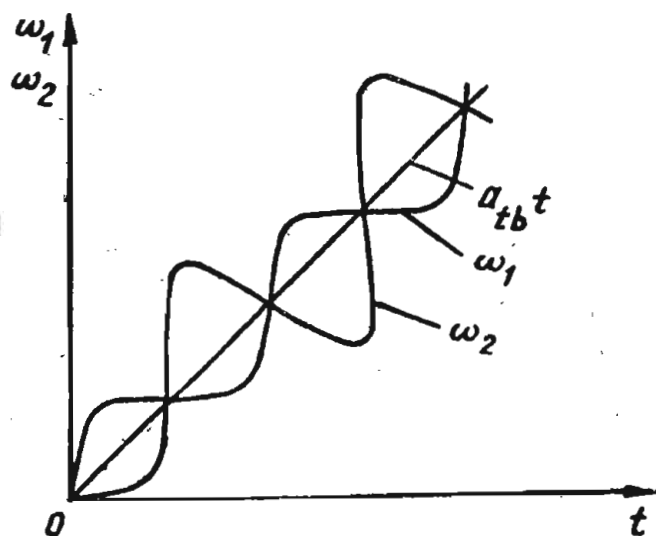
$$\omega_1 = a_{tb}t + \frac{J_2 a_{tb}}{J_1 \Omega_{12}} \sin \Omega_{12}t. \quad (2-102)$$

Bằng cách tương tự, từ hệ (2-97) viết phương trình vi phân cho ω_2 và giải ra ta nhận được nghiệm ω_2 như sau:

$$\omega_2 = a_{tb}t - \frac{a_{tb}}{\Omega_{12}} \sin \Omega_{12}t. \quad (2-103)$$



Hình 12-27. Sơ đồ thay thế của hệ cơ học lưỡng khối



Hình 2-28. Quan hệ giữa tốc độ của các khối và thời gian khi khởi động không tải và $M = \text{const}$

Các quan hệ (2-102) và (2-103) được biểu diễn thành các đường cong trên hình 2-28. Đó là các đường dao động ngược pha nhau xung quanh đường thẳng trung bình $a_{tb}t$. Như vậy, các hàm tốc độ bao gồm thành phần trung bình $a_{tb}t$ biến thiên bậc nhất theo thời gian và thành phần biến thiên điều hòa.

Biểu thức (2-102) cho thấy, biên độ của thành phần biến thiên điều hòa của tốc độ phía động cơ ω_1 không những phụ thuộc vào mômen quán tính của khối phía động cơ J_1 và tần số dao động tự do Ω_{12} của hệ, mà còn phụ thuộc vào mômen quán tính của khối chuyển động phía phụ tải J_2 . Khối này càng

nhỏ thì dao động tốc độ của trục động cơ càng nhỏ. Khi J_1 không đáng kể ta có thể coi tốc độ tăng tuyến tính theo thời gian, nghĩa là nó biến thiên theo qui luật giống như trong hệ đơn khối (xem §1-3).

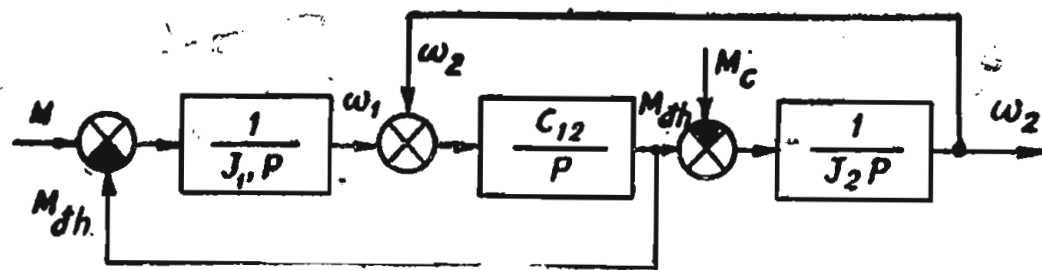
Ngược lại, sự dao động của tốc độ phía phụ tải ω_2 lại không phụ thuộc vào mômen quán tính của các khối, mà chỉ phụ thuộc vào gia tốc trung bình của hệ thống a_{tb} và tần số dao động tự do Ω_{12} . Ngay cả khi $J_2 \rightarrow 0$, ω_2 vẫn giữ nguyên tính chất dao động [xem biểu thức (2-103)].

Để khảo sát các quá trình động trong hệ lưỡng khối được thuận tiện, người ta thường sử dụng sơ đồ cấu trúc của hệ và các hàm truyền.

Từ hệ phương trình (2-97), ta có thể viết các phương trình dưới dạng toán tử laplace:

$$\left. \begin{aligned} M - M_{dh} &= J_1 p \omega_1 \\ M_{dh} - M_c &= J_2 p \omega_2 \\ M_{dh} &= \frac{c}{p} (\omega_1 - \omega_2) \end{aligned} \right\} \quad (2-97a)$$

Dựa vào hệ phương trình này ta lập được sơ đồ cấu trúc của hệ lưỡng khối như trên hình 2-29.



Hình 2-29. Sơ đồ cấu trúc của hệ cơ học lưỡng khối.

Nếu coi lượng vào là M , lượng ra là ω_1 (khi cần khảo sát ω_1) cho $M_c = 0$ từ sơ đồ cấu trúc ta có hàm truyền là

$$W_{\omega_1}(p) = \frac{\omega_1(p)}{M(p)} = \frac{p^2 + \frac{J_1}{J_1 + J_2} \Omega_{12}^2}{J_1 p (p^2 + \Omega_{12}^2)} \quad (2-104)$$

Rõ ràng là từ (2-104) ta viết được ngay phương trình (2-98).

Nếu coi lượng vào là M , lượng ra là ω_2 ta sẽ có hàm truyền thứ hai:

$$W_{\omega_2}(p) = \frac{\omega_2(p)}{M(p)} = \frac{\Omega_{12}^2}{p(J_1 + J_2)(p^2 + \Omega_{12}^2)} \quad (2-105)$$

Dựa vào đây ta viết được phương trình vi phân theo ω_2 và giải được kết quả (2-103).

Khi coi lượng vào là M , lượng ra là mômen đàn hồi M_{dh} , ta có

$$W_{M_{dh}}(p) = \frac{M_{dh}(p)}{M(p)} = \frac{\frac{J_2}{J_1 + J_2} \Omega_{12}^2}{p^2 + \Omega_{12}^2} \quad (2-106)$$

Tương tự như vậy ta có thể viết được loạt hàm truyền khi coi tín hiệu vào là mômen phụ tải M_c :

$$W'_{\omega_1}(p) = \frac{\omega_1(p)}{M_c(p)} = W_{\omega_2}(p) = \frac{\Omega_{12}^2}{p(J_1 + J_2)(p^2 + \Omega_{12}^2)} \quad (2-107)$$

$$W'_{\omega_2}(p) = \frac{\omega_2(p)}{M_c(p)} = \frac{p^2 + [J_2/(J_1 + J_2)]\Omega_{12}^2}{J_2 p(p^2 + \Omega_{12}^2)} \quad (2-108)$$

2. Hiện tượng cản dũ.

Các biểu thức (2-102), (2-103) và hình 2-28 chỉ đúng với trường hợp bỏ qua các lực cản dũ trong hệ. Khi đó, tốc độ ở hai đầu phần tử đàn hồi dao động không tắt.

Thực tế, trong hệ luôn luôn tồn tại các lực ma sát nhớt và lực biến dạng làm tiêu tán năng lượng dao động cơ học. Ta có thể lấy ví dụ các lực (mômen) sau đây:

— mômen ma sát nhớt do các phần tử chuyển động trong dầu và trong không khí. Nó tỷ lệ bậc nhất với tốc độ và hướng ngược với tốc độ:

$$M_{ms} = -\gamma\omega_1; \quad M'_{sm} = -\gamma\omega_2. \quad (2-109)$$

— Mômen biến dạng phát sinh trong các thiết bị cơ khí khi có biến dạng. Nó có chiều ngược với tốc độ biến dạng và có giá trị tỷ lệ với tốc độ này, nghĩa là:

$$M_{bd} = -\gamma(\omega_1 - \omega_2). \quad (2-110)$$

— Gia số mômen của động cơ. Vì đặc tính cơ của động cơ có độ cứng nhất định, nên khi tốc độ thay đổi, mômen động cơ sẽ biến đổi một lượng.

$$\Delta M = -\beta\omega_1 \quad (2-111)$$

Về giá trị cũng như về chiều, nó hoàn toàn giống mômen ma sát nhớt M_{sm} [xem (2-109)]. Ý nghĩa vật lý của linh cản dũ do ΔM gây ra được giải thích như sau:

Khi tốc độ của trục động cơ dao động, mômen động cơ sẽ thay đổi một cách tương ứng. Kết quả là dòng điện của động cơ bị dao động và gây ra các tổn thất nhiệt trong mạch điện và mạch từ. Như vậy, động cơ đã biến năng lượng của dao động cơ học thành năng lượng điện từ và tiêu tán nó trên điện trở và từ trở của mình.

Rõ ràng là nếu độ cứng của đặc tính cơ $\beta = 0$ thì mômen và dòng điện động cơ sẽ không thay đổi theo tốc độ, năng lượng của dao động cơ học sẽ không được biến đổi và tiêu tán trong động cơ. Lúc đó động cơ không có tác dụng cản dũ đối với dao động cơ học.

Các mômen cản dũ nêu trên làm cho dao động trong hệ mang tính chất tắt dần.

Chẳng hạn đối với trường hợp khảo sát trong mục 1, ta thấy $\Delta M = 0$ (vì coi $M = \text{const}$), thành phần M_{ms} thường rất nhỏ nên có thể bỏ qua, thành phần M_{bd} sẽ có tác dụng cản dũ chủ yếu.

Khi xét đến M_{db} , hệ phương trình (2-97) có dạng

$$\left. \begin{aligned} M - M'_{dh} &= J_1 \frac{d\omega_1}{dt}, \\ M'_{dh} - M_c &= J_2 \frac{d\omega_2}{dt}, \\ M'_{dh} &= M_{dh} + M_{bd} = c \int (\omega_1 - \omega_2) dt + \gamma(\omega_1 - \omega_2). \end{aligned} \right\} \quad (2-112)$$

Biến đổi phương trình như đã tiến hành ở trên, ta được phương trình vi phân viết cho ω_1 như sau:

$$\frac{1}{\Omega_{12}^2} \frac{d^3\omega_1}{dt^3} + \frac{2\alpha_{cd}}{\Omega_{12}^2} \frac{d^2\omega_1}{dt^2} + \frac{d\omega_1}{dt} = a_{tb}, \quad (2-113)$$

trong đó, α_{cd} — hệ số cản diu:

$$\alpha_{cd} = \frac{1}{2} \gamma \frac{J_1 + J_2}{J_1 J_2} \quad (2-114)$$

Nghiệm của phương trình vi phân (2-113) sẽ có dạng

$$\omega_1 = a_{tb} t + c e^{-\alpha_{cd} t} (A \cos \Omega'_{12} t + B \sin \Omega'_{12} t),$$

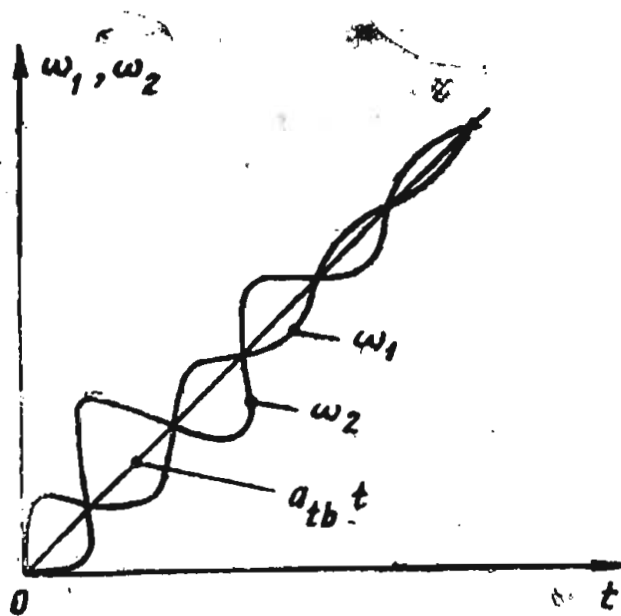
trong đó,

$$\Omega'_{12} = \sqrt{\Omega_{12}^2 - \alpha_{cd}^2}.$$

Các hằng số A và B cũng được xác định theo điều kiện ban đầu khi $t = 0$, $\omega_1 = 0$ và $d\omega_1/dt = \frac{M}{J_1}$. Biểu thức cuối cùng của nghiệm ω_1 là

$$\omega_1 = a_{tb} t + \frac{J_2 a_{tb}}{J_1 \Omega'_{12}} e^{-\alpha_{cd} t} \sin \Omega'_{12} t \quad (2-115)$$

a)



Hình 2-30. Các đường cong tốc độ $\omega_1(t)$ và $\omega_2(t)$ khi xét đến tác dụng cản diu của hệ

Bằng cách tương tự ta tìm được quan hệ $\omega_2(t)$ như sau:

$$\omega_2 = a_{tb} t - \frac{a_{tb}}{\Omega'_{12}} e^{-\alpha_{cd} t} \sin \Omega'_{12} t. \quad (2-115a)$$

Các biểu thức (2-115) và (2-115a) được biểu diễn trên hình 2-30.

So sánh (2-115) và (2-115a) với (2-102) và (2-103) ta thấy mômen (hoặc hệ số) cản diu làm cho các dao động tốc độ tắt dần và làm giảm tần số của dao động ($\Omega'_{12} < \Omega_{12}$). Chú ý rằng thông thường mômen cản diu có giá trị không lớn, nên quá trình tắt dần chậm.

E - TỶ SỐ TRUYỀN TỐI ƯU VÀ QUAN HỆ NĂNG LƯỢNG TRONG QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ

§ 2-12. TỶ SỐ TRUYỀN TỐI ƯU

Các chỉ tiêu chất lượng quan trọng của quá trình quá độ là thời gian kết thúc của quá trình và độ lớn của mômen hoặc dòng điện động cơ trong quá trình đó. Khi cần bảo đảm năng suất làm việc cao thì phải giảm thời gian các quá trình quá độ đến nhỏ nhất, còn khi yêu cầu giữ gia tốc của hệ thống ở một giá trị cho trước nào đó thì cần phải cho động cơ làm việc với mômen và dòng điện cực tiểu.

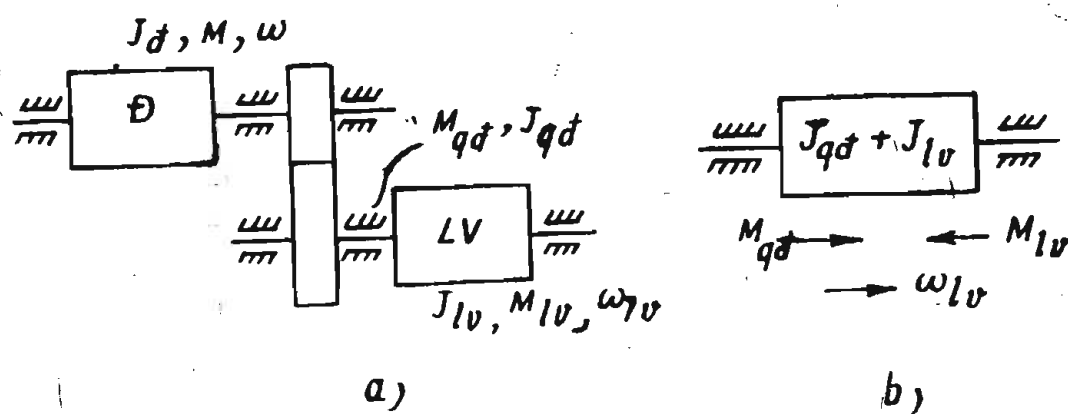
Nếu kết cấu cơ khí của máy và tốc độ của bộ phận làm việc đã có sẵn, giả thiết đã dự kiến sơ bộ một số thông số của động cơ thì hai đại lượng nêu trên phụ thuộc vào tỷ số truyền từ trục động cơ đến bộ phận làm việc. Ta có thể tìm ra một giá trị tối ưu của tỉ số truyền i_{tr} theo điều kiện thời gian hoặc mômen.

1. Theo điều kiện thời gian.

Để thuận tiện cho việc xác định tỷ số truyền tối ưu, ta dùng mẫu cơ học có tốc độ quy đổi là tốc độ của bộ phận làm việc. Khi đó ta phải quy đổi mômen và mômen quán tính của động cơ từ tốc độ ω về tốc độ ω_{lv} :

$$M_{qd} = i\eta M; J_{qd} = J_d i^2. \quad (2-116)$$

Như vậy, nếu hệ thống có sơ đồ động học như trên hình 2-31a thì mẫu thay thế của nó sẽ như trên hình 2-31b.



Hình 2-31. Sơ đồ động học (a) và mẫu cơ học dùng tốc độ quy đổi là ω_{lv} (b)

Phương trình chuyển động viết cho mẫu cơ học này sẽ là

$$\pm M_{qd} - M_{lv} = (J_{qd} + J_{lv}) \frac{d\omega_{lv}}{dt}, \quad (2-117)$$

hoặc

$$\frac{d\omega_{lv}}{dt} = \frac{\pm iM - M_{lv}}{i^2 J_d + J_{lv}}, \quad (2-118)$$

trong đó, dấu + trước M và M_{qd} dùng cho trường hợp động cơ gây chuyển động (tăng tốc), dấu - ứng với trường hợp động cơ hãm chuyển động (giảm tốc); coi bộ truyền có hiệu suất $\eta = 1$.

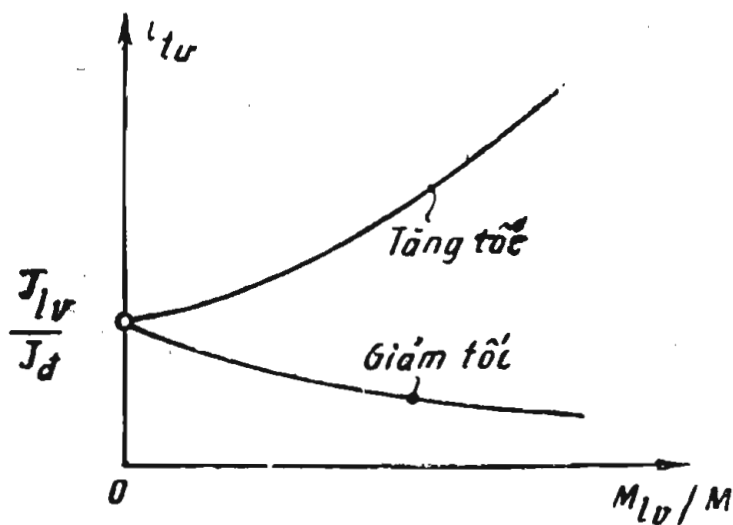
Để bảo đảm thời gian của quá trình quá độ nhỏ nhất, ta phải xác định tỷ số truyền i sao cho gia tốc $d\omega_{lv}/dt$ đạt được cực đại. Muốn vậy, ta lấy đạo hàm về phải của (2-118), rồi cho bằng không để tìm cực trị của $d\omega_{lv}/dt$.

Kết quả ta tìm được biểu thức của tỷ số truyền tối ưu như sau:

$$i_{tu} = \pm \frac{M_{lv}}{M} + \sqrt{\left(\frac{M_{lv}}{M}\right)^2 + \frac{J_{lv}}{J_d}}. \quad (2-119)$$

Nếu cho $J_{lv}/J_d = \text{const}$, thì i_{tu} phụ thuộc tỷ số M_{lv}/M . Quan hệ đó được biểu diễn bằng hai đường cong trên hình 2-32. Như vậy, rõ ràng là không thể chọn một tỷ số truyền tối ưu thỏa mãn cho mọi quá trình quá độ và mọi giá trị phụ tải. Đối với mỗi truyền động điện ta chỉ có thể chọn một giá trị $i_{tu,0}$ cho trường hợp không tải ($M_{lv} = 0$). Giá trị đó là chung cho cả quá trình tăng tốc cũng như quá trình giảm tốc:

$$i_{tu,0} = \sqrt{\frac{J_{lv}}{J_d}}. \quad (2-120)$$



Hình 2-32. Quan hệ giữa tỷ số truyền tối ưu và mômen phụ tải (giá trị tương đối)

Đối với các cơ cấu thường xuyên khởi động và hãm khi hành trình làm việc ngắn, thực tế hệ sẽ không có trạng thái làm việc xác lập. Đồ thị tốc độ theo thời gian của trường hợp này có dạng tam giác như hình 2-33. Điều kiện tối ưu lúc đó là bảo đảm cho tổng thời gian khởi động t_{kd} và thời gian hãm t_h nhỏ nhất.

Từ (2-118), bằng cách lấy tích phân biểu thức của dt , ta tìm được tổng số $t_{kd} + t_h$:

$$t_{kd} + t_h = (J_{lv} + i^2 J_d) \left(\frac{1}{iM - M_{lv}} + \frac{1}{iM + M_{lv}} \right) \omega_{lv}. \quad (2-121)$$

Lấy đạo hàm về phải của (2-121) rồi cho bằng không ta được:

$$i_{tu} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{J_{lv}}{J_d} + 3 \left(\frac{M_{lv}}{M}\right)^2} + \sqrt{\left[\frac{J_{lv}}{J_d} + 3 \left(\frac{M_{lv}}{M}\right)^2\right]^2 + 4 \frac{J_{lv}}{J_d} \cdot \frac{M_{lv}}{M}}. \quad (2-122)$$

Tương tự như (2-119), nếu cho $M_{lv} = 0$ thì ta cũng được giá trị $i_{tu,0}$ như (2-120).

2. Theo điều kiện mômen.

Một số hệ truyền động điện do điều kiện công nghệ, đòi hỏi phải có một gia tốc nhất định. Ta coi đó là một số liệu cho trước để khảo sát quá trình quá độ. Điều kiện chọn tỷ số truyền tối ưu ở đây là đảm bảo giá trị nhỏ nhất cho mômen động cơ.

Từ (2-117) ta có thể viết lại phương trình chuyển động dưới dạng:

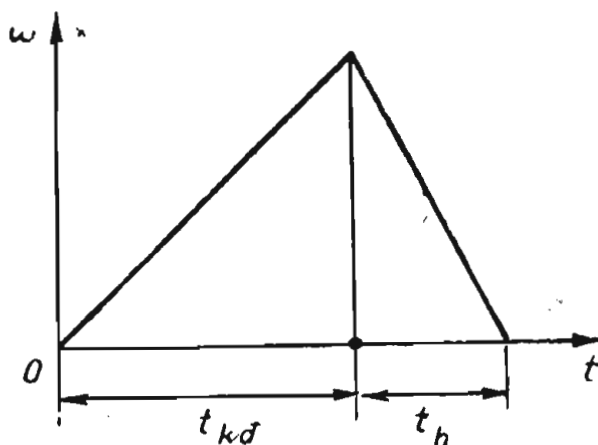
$$M = \frac{M_{lv} + J_{lv} \frac{d\omega_{lv}}{dt} + J_d i^2 \frac{d\omega_{lv}}{dt}}{i} \quad (2-123)$$

Bằng cách tìm cực trị của mômen, ta xác định được

$$i_{tur} = \sqrt{\frac{J_{lv}}{J_d} + \frac{M_{lv}}{J_d(d\omega_{lv}/dt)}} \quad (2-124)$$

Nếu $M_{lv} = 0$, thì từ (2-124) ta cũng nhận được công thức (2-120).

Như vậy, quan hệ (2-120) là đặc trưng chung cho trạng thái tối ưu theo điều kiện thời gian hoặc mômen. Điều đó là hoàn toàn đúng vì thực chất hai điều kiện nêu trên chỉ là hai cách diễn đạt của một vấn đề. Điều kiện thứ nhất có ý nghĩa là: nếu cho $M = \text{const}$ thì khi $i = i_{tur}$ gia tốc của hệ sẽ lớn nhất; còn điều kiện thứ hai là: nếu giữ gia tốc $d\omega/dt = \text{const}$ thì khi $i = i_{tur}$ mômen của động cơ sẽ bé nhất.



Khi thay $i_{tur.o} = \omega/\omega_{lv}$ thì từ (2-120) ta rút ra quan hệ

$$\frac{J_d \omega^2}{2} = \frac{J_{lv} \omega_{lv}^2}{2} \quad (2-125)$$

Như vậy khi chọn tỉ số truyền là $i_{tur.o}$ thì dự trữ động năng của khối chuyển động trên trục động cơ bằng dự trữ động năng của khối lắp trên trục làm việc.

§2-13. NĂNG LƯỢNG LAM VIỆC VÀ NĂNG LƯỢNG TỒN THẤT TRONG QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ CƠ HỌC

1. Quan hệ giữa các phần năng lượng trong hệ truyền động điện.

Ta khảo sát quan hệ năng lượng trong các quá trình quá độ khi bỏ qua quán tính điện từ đối với các hệ truyền động điện có tốc độ không tải lý tưởng hữu hạn, ví dụ truyền động dùng động cơ một chiều kích từ độc lập, kích từ hỗn hợp, động cơ không đồng bộ và động cơ đồng bộ.

Quá trình quá độ trong các hệ thống nêu trên thường được biểu hiện bằng sự thay đổi tốc độ không tải lý tưởng. Chẳng hạn, quá trình khởi động là do tăng đột biến tốc độ không tải lý tưởng từ 0 đến ω_o ; đảo chiều là do thay đổi tức thời tốc độ không tải lý tưởng từ ω_o đến $-\omega_o$, v.v... Sau khi đột biến giá trị của ω_o được giữ không đổi suốt trong thời gian của quá trình quá độ.

Mặc dù tốc độ không tải lý tưởng đột biến, tốc độ của truyền động vẫn thay đổi từ từ do quán tính cơ học. Tốc độ không tải lý tưởng ω_0 đặc trưng cho mức năng lượng của nguồn điện đưa vào hệ thống, còn tốc độ ω của trục làm việc thì đặc trưng cho mức năng lượng cơ học mà khối chuyển động thu nhận được. Như vậy, năng lượng của nguồn điện đưa vào hệ thống một cách tức thời, còn năng lượng truyền cho phần cơ của hệ tăng từ từ. Phần chênh lệch giữa hai mức năng lượng đó sẽ bị mất đi một cách vô ích, ta gọi là tổn thất.

Để cho tổng quát, ta hãy coi mức năng lượng tương ứng với ω_0 do nguồn điện tạo ra tương tự như động năng của trục 1 do một động cơ nào đó quay với tốc độ $\omega_0 = \text{const}$ (xem hình 2-34). Trục làm việc 3 mang khối chuyển động J sẽ tiếp nhận năng lượng từ trục 1 và thay đổi dần dần tốc độ của mình do có quán tính cơ học. Sự chuyển đổi mạch điện của động cơ truyền động để gây quá trình quá độ trong hệ thực tế được thay bằng thao tác đóng cắt khớp li hợp 2 trong hình 2-34. Như vậy, ta đã biến đổi quá trình quá độ trong hệ điện—cơ thành quá trình tương đương trong hệ thuần cơ.

Nếu hệ thực dùng động cơ không đồng bộ, thì trục 1 biểu thị cho năng lượng của từ trường quay khi tần số và số cực không đổi ($\omega_0 = 2\pi f/p = \text{const}$). Nếu dùng động cơ một chiều thì trục 1 thay cho nguồn năng lượng điện từ do điện áp U tạo ra khi từ thông động cơ không đổi ($\omega_0 = U/K\Phi = \text{const}$).

Khi đóng hoặc cắt khớp 2, năng lượng từ trục 1 truyền vào trục 3 sẽ là:

$$\Delta W_{ng} = \int_{t_1}^{t_2} P dt = \int_{t_1}^{t_2} M \omega_0 dt, \quad (2-126)$$

trong đó $P = M\omega_0$ — công suất của trục 1 (của nguồn);
 M — mômen trên trục 1.

Đối với hệ thực, nếu coi quá trình quá độ xảy ra khi không tải $M_c = 0$, thì từ phương trình chuyển động ta có

$$M = J d\omega/dt.$$

Thay giá trị của M vào (2-126) ta được biểu thức của năng lượng do nguồn đưa vào hệ như sau:

$$\Delta W_{ng} = \int_{\omega_{bd}}^{\omega_{cc}} J \omega_0 d\omega = J \omega_0 (\omega_{cc} - \omega_{bd}), \quad (2-127)$$

hoặc

$$\Delta W_{ng} = J \omega_0^2 (s_{bd} - s_{cc}), \quad (2-127a)$$

trong đó,

$$s_{bd} = \frac{\omega_0 - \omega_{bd}}{\omega_0}; \quad s_{cc} = \frac{\omega_0 - \omega_{cc}}{\omega_0}$$

ω_{bd} , ω_{cc} — các giá trị ban đầu và cuối cùng của tốc độ trong quá trình quá độ đang xét.

Như trên đã nêu, năng lượng do nguồn đưa vào sẽ được chia thành hai phần, một là dự trữ động năng cho khối chuyển động ΔW_{dg} và hai là tổn thất ΔW_{tt} :

$$\Delta W_{ng} = \Delta W_{dg} + \Delta W_{tt}, \quad (2-128)$$

Dự trữ động năng của một khối đang quay với tốc độ ω sẽ là

$$W_{dg} = J \frac{\omega^2}{2}$$

hoặc

$$\frac{dW_{dg}}{d\omega} = J\omega. \quad (1-129)$$

Khi tốc độ biến thiên từ ω_{bd} đến ω_{cc} , dự trữ động năng sẽ thay đổi một lượng:

$$\Delta W_{dg} = \int_{\omega_{bd}}^{\omega_{cc}} J\omega d\omega = J \frac{\omega_{cc}^2 - \omega_{bd}^2}{2} \quad (2-130)$$

hoặc

$$\Delta W_{dg} = \frac{J\omega_o^2}{2} [s_{cc}(s_{cc} - 2) - s_{bd}(s_{bd} - 2)]. \quad (2-130a)$$

Từ (2-128) (2-127) và (2-130) ta xác định được tổn thất năng lượng

$$\Delta W_{tt} = J \left(\omega_o - \frac{\omega_{bd} + \omega_{cc}}{2} \right) (\omega_{cc} - \omega_{bd}) \quad (2-131)$$

hoặc

$$\Delta W_{tt} = J \frac{\omega_o}{2} (s_{bd}^2 - s_{cc}^2). \quad (2-131a)$$

Thay các giá trị ω_{bd} , ω_{cc} hoặc s_{bd} , s_{cc} vào các biểu thức trên, ta xác định được ΔW_{tt} của các quá trình quá độ khởi động, hãm ngược đảo chiều ghi trong bảng 2-2.

Bảng 2-2

Tổn thất năng lượng trong các quá trình quá độ

Loại quá trình	s_{bd}	s_{cc}	W_{tt}
Khởi động	0	1	$J \frac{\omega_o^2}{2}$
Hãm ngược	2	1	$3J \frac{\omega_o^2}{2}$
Đảo chiều	2	0	$4J \frac{\omega_o^2}{2}$

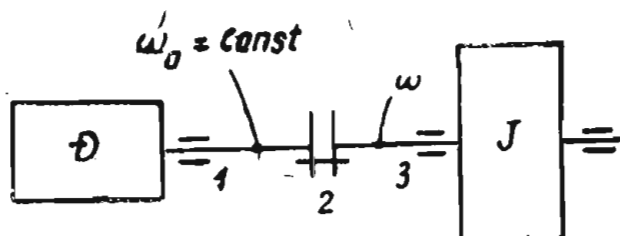
Đặc biệt chú ý rằng, năng lượng làm việc và năng lượng tổn thất không phụ thuộc vào thông số điện của hệ và hình dạng các đặc tính quá độ, nghĩa là không phụ thuộc vào phương pháp thực hiện quá trình quá độ. Chúng chỉ phụ thuộc vào các thông số cơ học là J , ω_{bd} và ω_{cc} .

Để thấy rõ mối quan hệ giữa ba phần năng lượng nêu trên, ta xét một quá trình khởi động với những số liệu ghi trong bảng 2-2. Khi đó, $\Delta W_{ng} = J\omega_o$, $\Delta W_{dg} = J\omega_o/2$ và $\Delta W_{tt} = J\omega_o^2/2$. Nếu $\omega_o = \text{const}$, ta có thể biểu diễn ΔW_{ng} bằng

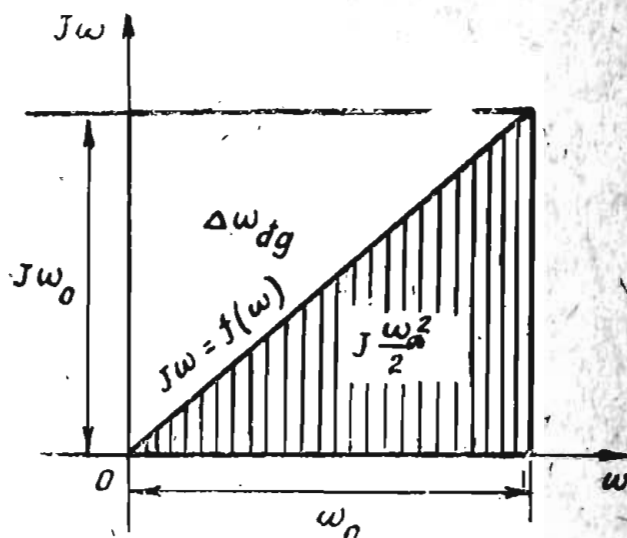
diện tích hình chữ nhật $J\omega_0 \times \omega_0$ trên hình 2-35. Tia $J\omega = f(\omega)$ chia đôi hình chữ nhật này thành hai phần bằng nhau tương ứng với lượng $\Delta W_{dg} = J\omega_0^2/2$ và $\Delta W_{tt} = J\omega_0^2/2$. Phần gạch sọc trên hình biểu thị cho tổn thất trong hệ thống. Rõ ràng là trong quá trình khởi động, tổn thất bằng năng lượng hữu ích, nghĩa là hiệu suất của hệ trong quá trình này.

$$\eta = 0,5.$$

Cần chú ý rằng, những kết luận trên đây được rút ra cho trường hợp ω_0 không đổi trong quá trình quá độ với giả thiết coi $J = \text{const}$.



Hình 2-34. Sơ đồ thay thế của hệ điện cơ để nghiên cứu quan hệ năng lượng trong quá trình quá độ cơ học.



Hình 2-35. Biểu diễn quan hệ giữa ΔW_{tt} , ΔW_{dg} và ΔW_{tt} trong quá trình khởi động.

2. Tồn thất năng lượng trong động cơ.

Tùy theo loại quá trình quá độ, tổn thất ΔW_{tt} được trích từ năng lượng ΔW_{ng} do nguồn điện đưa vào, hoặc lấy từ động năng ΔW_{dg} tích lũy trong hệ. Hình 2-36 minh họa sự chuyển hóa năng lượng trong quá trình khởi động (a) và quá trình hãm ngược (b). Lúc khởi động, một phần năng lượng từ nguồn điện được biến thành động năng, phần còn lại là tổn thất; khi hãm ngược, cả năng lượng lấy từ nguồn lẫn động năng dự trữ trong phần cơ của hệ đều biến thành tổn thất.

Đối với sơ đồ thay thế cơ học hình 2-34, tổn thất ΔW_{tt} sẽ được tiêu tán trong khớp nối 2 dưới dạng nhiệt do ma sát trượt giữa hai phần quay của khớp.

Đối với hệ truyền động thực tế, tổn thất năng lượng được tiêu tán trong động cơ dưới dạng nhiệt do dòng điện phần ứng hoặc dòng roto gây ra trên điện trở.

Thực vậy đối với động cơ một chiều, khi khởi động không tải ta có quan hệ.

$$M = K\Phi I_r = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (2-132)$$

Vì bỏ qua quán tính điện từ (xét quá trình quá độ cơ học), nên dòng phần ứng được xác định theo

$$I_r = \frac{U - K\Phi\omega}{R_r} \quad (2-133)$$

Từ hai biểu thức trên ta có:

$$R_u I_u^2 = J \frac{U}{K\Phi} \frac{d\omega}{dt} - J\omega \frac{d\omega}{dt},$$

hoặc

$$R_u I_u^2 dt = J\omega_0 d\omega - J\omega d\omega. \quad (2-134)$$

Lấy tích phân cả hai vế của đẳng thức trên với cận thời gian từ 0 đến ∞ , tương ứng với cận tốc độ từ 0 đến ω_0 ta được giá trị của tổn thất năng lượng:

$$\Delta W_{11} = R_u \int_0^{\omega_0} I_u^2 dt = J\omega_0 \int_0^{\omega_0} d\omega - J \int_0^{\omega_0} \omega d\omega = J \frac{\omega_0^2}{2}. \quad (2-135)$$

Đối với động cơ không đồng bộ, tổn thất trong mạch roto ΔW_{12} cũng được xác định tương tự. Từ quan hệ

$$3I_2'^2 R_2' = sM\omega_0, \quad (2-136)$$

thay $M = J \frac{d\omega}{dt}$ ta có

$$3I_2'^2 R_2' dt = J\omega_0 s d\omega.$$

Do đó

$$\Delta W_{12} = 3R_2' \int_0^{\omega_0} I_2'^2 dt = J\omega_0 \int_0^{\omega_0} s d\omega = J \frac{\omega_0^2}{2}. \quad (2-136a)$$

Các biểu thức (2-135) và (2-136) phù hợp với (2-131) đã chứng minh cho trường hợp chung.

Chú ý rằng, đối với động cơ không đồng bộ, ngoài tổn thất trong mạch roto như đã nêu ở trên, còn có tổn thất trong mạch stato. Lượng tổn thất này được xác định như sau:

$$\Delta W_{111} = \int_0^{\omega_0} 3I_1'^2 R_1 dt = \int_0^{\omega_0} 3I_2'^2 R_1 dt. \quad (2-137)$$

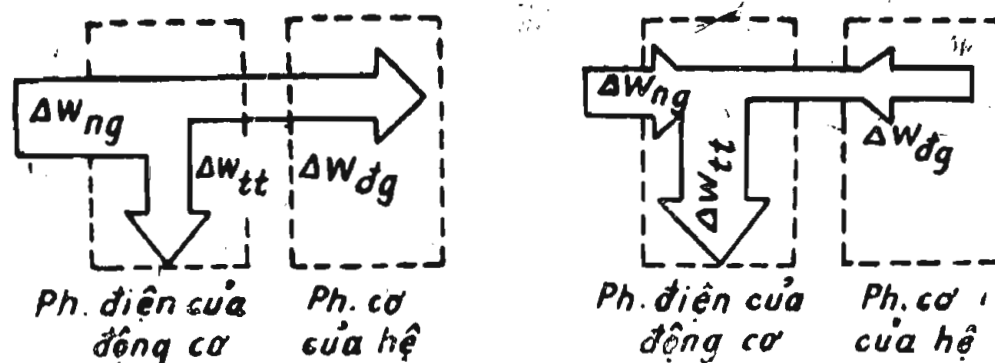
Nếu nhân và chia vế phải của (2-137) cho R_2 , rồi so sánh với (2-136) ta được:

$$\Delta W_{111} = \frac{R_1}{R_2'} \Delta W_{12}. \quad (2-138)$$

Như vậy tổn thất chung trong động cơ không đồng bộ khi khởi động sẽ là

$$\Delta W_{11} = \Delta W_{111} + \Delta W_{12} = J \frac{\omega_0^2}{2} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right). \quad (2-139)$$

Các biểu thức (2-136) và (2-138) cho thấy rằng, trong khi tổn thất ở mạch roto của động cơ không đồng bộ không phụ thuộc vào điện trở của các mạch điện, thì tổn thất trong mạch stato lại phụ thuộc vào tỷ số R_1/R_2 . Điện trở roto càng lớn, nghĩa là đặc tính cơ càng mềm, thì tổn thất trong mạch stato càng ít, và do đó tổn thất chung trong động cơ càng nhỏ. Chẳng hạn, nếu khởi động dùng biến trở phụ trong mạch roto, thì tổn thất ΔW_{tt} giữ nguyên như khi khởi động trực tiếp, còn ΔW_{tt} lại giảm đi nhiều lần. Dựa vào nhận xét này, người ta chế tạo các động cơ có độ trượt lớn để dùng cho những truyền động thường xuyên làm việc trong trạng thái quá độ.



Hình 2-36. Phân bố năng lượng của hệ truyền động điện trong quá trình khởi động (a) và hãm ngược (b)

3. Tổn thất năng lượng trong quá trình quá độ có tải.

Tất cả những kết luận nêu trên đều được tìm ra trong trường hợp không tải lý tưởng. Dựa vào những kết luận đó ta có thể đánh giá được ảnh hưởng của quá trình quá độ đối với tính chất năng lượng của hệ.

Tuy nhiên, thực tế các quá trình quá độ luôn luôn xảy ra khi hệ có mang một phụ tải nhất định, ít nhất cũng là do mômen tổn thất má sát trong bộ truyền gây ra. Ngoài ra có nhiều hệ thống làm việc nặng tải trong quá trình quá độ.

Khi đó, ngoài tổn thất năng lượng do chính quá trình quá độ gây ra, còn có phần tổn thất do tải. Mômen phụ tải có tác dụng trực tiếp đối với giá trị của mômen động, làm thay đổi thời gian của quá trình quá độ, do đó làm thay đổi quan hệ năng lượng trong hệ. Mức độ ảnh hưởng của tải đối với năng lượng tổn thất phụ thuộc vào phương pháp thực hiện quá trình quá độ. Nhận xét này ngược với trường hợp không tải.

Thực vậy, nếu giả thiết trong quá trình quá độ mômen động cơ có giá trị $M = \text{const}$ (giá trị trung bình), và mômen tải là $M_c = \text{const}$, thì phương trình chuyển động phải viết ở dạng đầy đủ:

$$M = M_c + J \frac{d\omega}{dt} \quad (2-140)$$

hoặc

$$dt = \frac{J}{M - M_c} d\omega. \quad (2-140a)$$

Sử dụng các biểu thức này kết hợp với (2-134) hoặc (2-136) ta sẽ tìm được tổn thất năng lượng trong quá trình quá độ có tải với cùng một kết quả như nhau.

—Chẳng hạn, nếu sử dụng (2-136) ta có :

$$\Delta W_{tt} = \int_{s_{cc}}^{s_{bd}} 3I_2^2 R_2' dt = \int_{s_{cc}}^{s_{bd}} s M \omega_o dt .$$

Thế giá trị dt từ (2-140a) vào đẳng thức trên ta được

$$\Delta W_{tt} = J \omega_o^2 \int_{s_{cc}}^{s_{bd}} \left(1 + \frac{M_c}{M - M_c} \right) s ds$$

sau khi tích phân

$$\Delta W_{tt} = J \frac{\omega_o^2}{2} (s_{bd}^2 - s_{cc}^2) \left(1 + \frac{M_c}{M - M_c} \right) \quad (2-141)$$

So sánh (2-141) với (2-131a) ta thấy khi có tải tổn thất năng lượng không những phụ thuộc M_c mà còn phụ thuộc cả vào mômen động cơ M nghĩa là phụ thuộc vào phương pháp thực hiện quá trình quá độ. Nếu như trong trường hợp không tải, khởi động động cơ không đồng bộ bằng cách đóng điện trực tiếp, hoặc giảm nhỏ điện áp stato đều có tổn thất năng lượng là $J\omega_o^2/2$ như nhau, thì khi có tải lại hoàn toàn khác nhau. Trường hợp giảm nhỏ điện áp stato mômen động cơ giảm xuống, do đó thành phần $\left(\frac{M_c}{M - M_c} \right)$ trong (2-141) tăng lên, và kết quả ΔW_{tt} tăng lên.

§ 2-14. CÁC PHƯƠNG PHÁP GIẢM TỔN THẤT NĂNG LƯỢNG TRONG QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ CƠ HỌC

Ở nhiều hệ truyền động điện thời gian của các quá trình quá độ chiếm một phần lượng lớn trong toàn bộ thời gian làm việc. Đặc biệt, có những hệ thống chỉ làm việc trong trạng thái quá độ mà thôi. Khi đó, việc làm giảm tổn thất năng lượng trong quá trình quá độ có ý nghĩa quan trọng. Nó không những cải thiện chỉ tiêu năng lượng của hệ, mà còn làm giảm nhiệt độ phát nóng động cơ do đó tăng tuổi thọ cho động cơ truyền động. Có nhiều biện pháp giảm tổn thất :

1. Giảm mômen quán tính của hệ.

Biểu thức (2-131) cho thấy, nếu giảm mômen quán tính của hệ thì ΔW_{tt} giảm một cách tỷ lệ. Có thể làm giảm mômen quán tính của hệ bằng những cách sau đây :

– Chọn động cơ có đường kính roto nhỏ. Một cách gần đúng ta có thể chứng minh được rằng, công suất định mức của động cơ tỷ lệ với lập phương của đường kính roto, còn mômen quán tính của nó thì tỷ lệ với đường kính roto mũ 5:

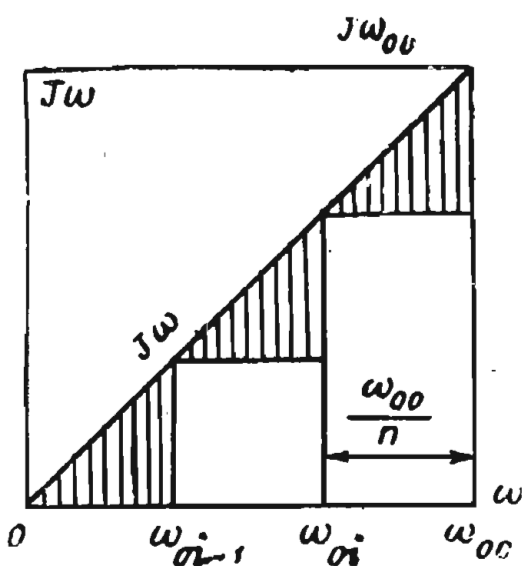
$$P_{dm} \equiv D^3; \quad J \equiv D^5.$$

Khi công suất đã cho trước, ta có thể xác định tỷ lệ thích hợp giữa đường kính và chiều dài roto, sao cho vừa bảo đảm công suất đã cho, vừa bảo đảm mômen quán tính nhỏ.

– Sử dụng kết cấu truyền động hai động cơ. Nếu dùng hai động cơ có công suất $P/2$ thay cho một động cơ có công suất P thì mômen quán tính có thể giảm đi khoảng 20–30%.

– Dùng khớp li hợp cắt rời động cơ khỏi bộ truyền và cơ cấu làm việc. Biện pháp này có hiệu quả đối với trường hợp bộ phận làm việc có mômen quán tính lớn. Tuy nhiên, nó chỉ được sử dụng khi công nghệ của máy sản xuất cho phép.

2. Chia quá trình quá độ thành nhiều cấp.



Hình 2-37. Biểu đồ tổn thất năng lượng trong quá trình quá độ khi ω_0 biến thiên nhiều cấp.

Trong tiết §2-15 ta chỉ khảo sát quá trình quá độ một cấp, nghĩa là khi tốc độ không tải lý tưởng đột biến một cấp và giữ giá trị không đổi suốt trong thời gian quá độ.

Nếu trong quá trình quá độ, ta cho ω_0 biến thiên nhiều lần, mỗi lần đột biến một khoảng $\Delta\omega = \omega_{00}/n$, thì biểu đồ tổn thất năng lượng sẽ như trên hình 2-37.

Tổn thất trong toàn bộ quá trình được biểu thị bằng diện tích gạch sọc. So sánh với hình 2-35 ta thấy ở đây tổn thất đã được giảm đi đáng kể.

Sử dụng biểu thức (2-131), tính ΔW_{ui} cho khoảng thứ i nào đó, nghĩa là thay

$$\omega_0 = \omega_{oi}; \quad \omega_{bd} = \omega_{oi-1}; \quad \omega_{cc} = \omega_{oi}$$

và đặt
$$\omega_{oi} - \omega_{oi-1} = \Delta\omega = \frac{\omega_{00}}{n}$$

Ta được:

$$\Delta W_{ui} = J \frac{\Delta\omega^2}{2} = \frac{J}{2} \frac{\omega_{00}^2}{n^2}$$

Tổn thất chung trong toàn bộ quá trình sẽ là

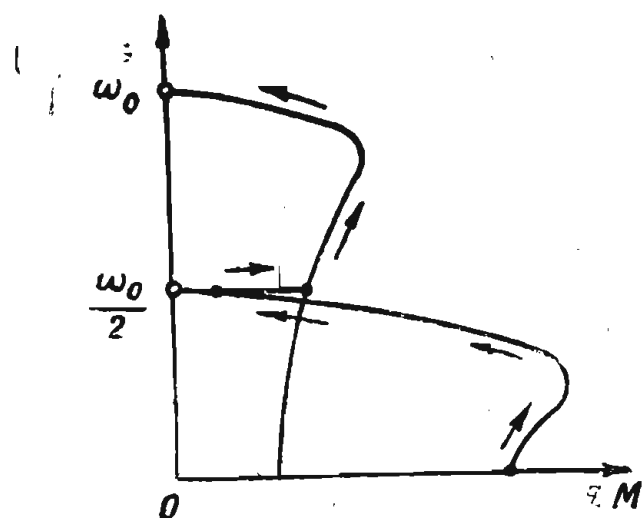
$$\Delta W_u = \sum_{i=1}^n \Delta W_{ui} = \frac{J}{2} \frac{\omega_{00}^2}{n} \quad (2-142)$$

So sánh biểu thức này với (2-131) ta thấy tổn thất giảm được n lần. (n là số cấp biến thiên của ω_0).

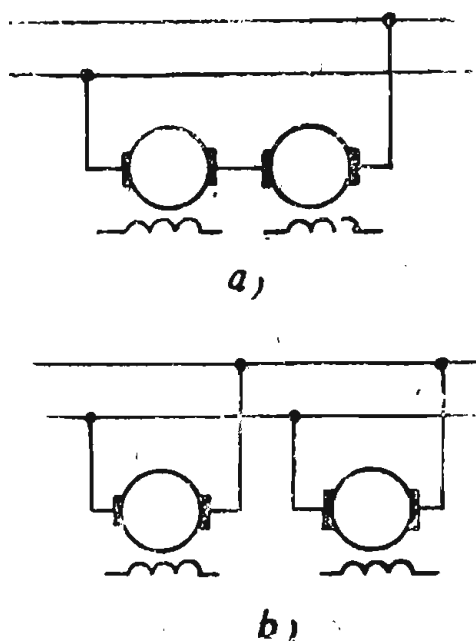
Nếu cho ω_0 biến đổi liên tục, số cấp $n \rightarrow \infty$ thì ta được kết quả lí tưởng: $\Delta W_{11} \rightarrow 0$.

Thực tế, khi sử dụng động cơ không đồng bộ hai hoặc nhiều tốc độ, người ta thường khởi động và hãm nhiều cấp. Hình 2-38 minh họa trường hợp khởi động hai cấp, và kết quả là tổn thất năng lượng giảm được hai lần so với trường hợp khởi động một cấp.

Khi dùng truyền động hai động cơ một chiều (nối trực hoặc không nối trực), khi khởi động người ta thường thực hiện chuyển đổi kiểu nối tiếp — song song, như sơ đồ hình 2-39. Khi đó quá trình được chia thành hai cấp: $0 \div \frac{1}{2} \omega_0$ và $\frac{1}{2} \omega_0 \div \omega_0$.



Hình 2-38. Minh họa cho quá trình khởi động động cơ không đồng bộ hai tốc độ.



Hình 2-39. Sơ đồ chuyển đổi mạch điện hai động cơ khi khởi động hai cấp.

Đối với các hệ BD—Đ như hệ V—Đ, F—Đ, cũng như hệ biến tần — động cơ không đồng bộ, điện áp hoặc tần số thay đổi liên tục trong thời gian quá độ. Khi đó ta được kết quả gần như lí tưởng: $W_{11} \rightarrow 0$.

Chương III

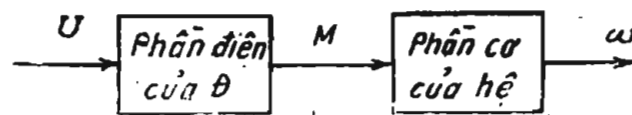
QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ ĐIỆN CƠ TRONG HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

§3-1. KHAI NIỆM CHUNG

Chương II đã khảo sát các quá trình quá độ của truyền động điện khi bỏ qua quán tính điện từ trong phần điện của hệ. Để phân tích các quá trình đó, ta coi mômen của động cơ biến đổi tức thời khi tín hiệu nhiễu loạn hoặc tín hiệu điều khiển đặt vào hệ thống thay đổi. Nói cách khác, ta chỉ khảo sát

quá trình động xảy ra trong phần cơ của truyền động điện mà thôi. Sơ đồ cấu trúc của hệ trong trường hợp này biểu diễn mối liên hệ động học giữa mômen của động cơ, mômen tải, tốc độ làm việc của truyền động và những thông số cơ học khác (xem các hình 1-4, 2-29). Nếu chia hệ truyền động thành phần cơ và phần điện, thì M là lượng ra của phần điện. Nó chính là mômen điện từ đặt lên rôto của động cơ (mà trong tính toán gần đúng ta coi bằng mômen trên trục động cơ). Dựa trên mô hình này, ta đã mô tả quá trình quá độ cơ học trong hệ đơn khối bằng phương trình vi phân bậc nhất, còn hệ lưỡng khối phương trình vi phân bậc 3.

Thực tế, nhiều trường hợp không cho phép bỏ qua quán tính điện từ của phần điện. Khi đó mômen M của động cơ chỉ là một đại lượng trung gian, còn đầu vào của hệ phải là một đại lượng điện nào đó, ví dụ điện áp phần ứng của động cơ hoặc điện áp điều khiển của bộ biến đổi. Trên hình 3-1 vẽ sơ đồ chức năng của hệ dùng động cơ một chiều khi điều khiển điện áp phần ứng. Ở đây, mặc dù U đột biến, mômen động cơ vẫn biến đổi từ từ (có quán tính), và tốc độ của truyền động thì biến thiên còn chậm hơn nữa.



Hình 3-1. Sơ đồ chức năng của hệ truyền động khi xét đến quán tính điện từ của phần điện.

Đối với hệ đơn khối, quá trình quá độ trong phần cơ được mô tả bởi phương trình

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

hoặc

$$M - M_c = Jp\omega. \quad (3-1)$$

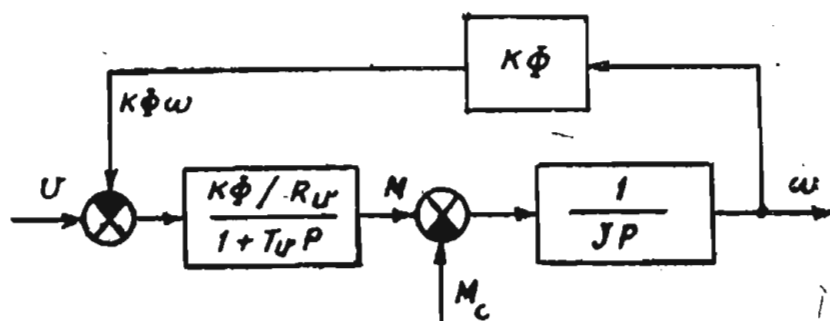
Mô tả toán học của phần điện phụ thuộc vào cấu trúc của động cơ và bộ biến đổi năng lượng cung cấp cho động cơ. Nếu sử dụng động cơ một chiều kích từ độc lập nối vào lưới điện phân xưởng thì quá trình quá độ điện từ trong phần điện của hệ chính là quá trình xảy ra trong mạch điện của động cơ. Phương trình mô tả nó sẽ là:

$$U = K\Phi\omega + R_{tr}i_{tr} + L_{tr} \frac{di_{tr}}{dt},$$

hoặc
và

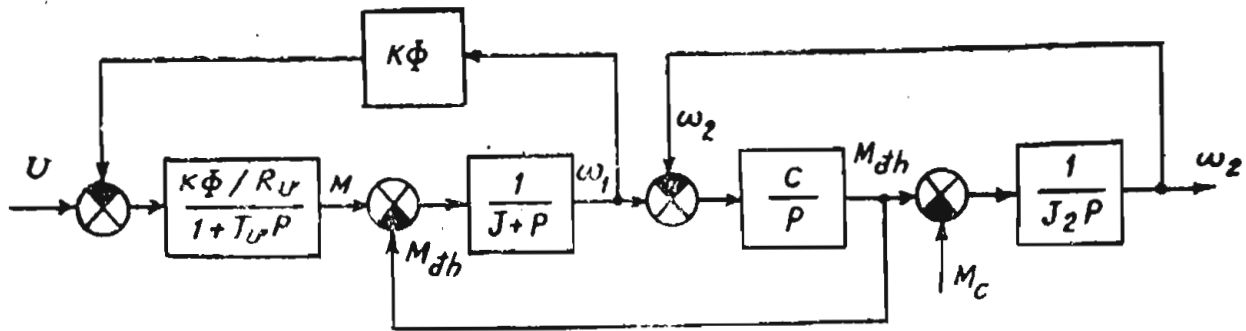
$$\left. \begin{aligned} U - K\Phi\omega &= R_u(1 + T_{up})i_{tr}; \\ M &= K\Phi i_{tr}. \end{aligned} \right\} \quad (3-2)$$

Từ (3-1) và (3-2) ta có sơ đồ cấu trúc của hệ như trên hình 3-2.



Hình 3-2. Sơ đồ cấu trúc của hệ dùng động cơ một chiều kích từ độc lập.

Nếu phần cơ là một hệ lưỡng khối, ta chỉ cần thay cấu trúc $\frac{1}{J_p}$ trong sơ đồ hình 3-2 bằng cấu trúc đã nêu trong § 2-11, ta được sơ đồ hình 3-3.



Hình 3-3. Sơ đồ cấu trúc của truyền động một chiều có phần cơ lưỡng khối.

Hàm truyền của hệ thống và các hàm quá độ được xác định nhờ những sơ đồ cấu trúc này.

Khi dùng động cơ không đồng bộ, quá trình quá độ điện từ xảy ra trong động cơ rất phức tạp và sẽ được xét kỹ trong § 3-5. Kết quả phân tích cho thấy rằng, nếu coi đặc tính cơ trong đoạn làm việc là đường thẳng có độ cứng

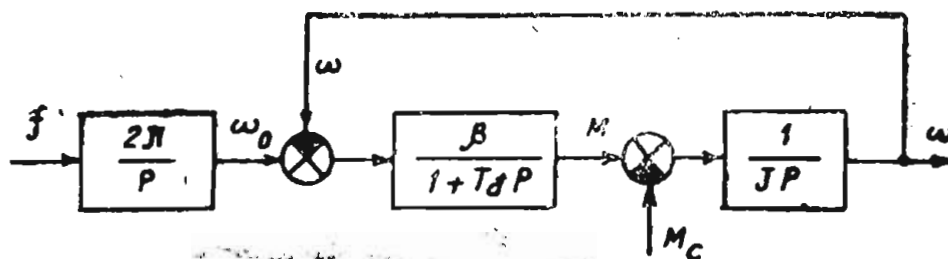
$$\beta = \frac{2M_{th}}{\omega_0 s_{th}}$$

thì quá trình quá độ điện từ được mô tả bằng phương trình

$$(T_d p + 1)M = \beta(\omega_0 - \omega) \quad (3-3)$$

trong đó $T_d = \frac{1}{2\pi f s_{th}}$ — hằng số thời gian điện từ.

Coi ω_0 hoặc f là lượng vào, M là lượng ra của phần điện, ta có thể biểu thị phương trình (3-3) bằng phần đầu trong sơ đồ cấu trúc hình 3-4. Cấu trúc này bảo đảm độ chính xác cần thiết trong phạm vi biến thiên của mô-men — $-0,8M_{th} \leq M \leq 0,8M_{th}$.

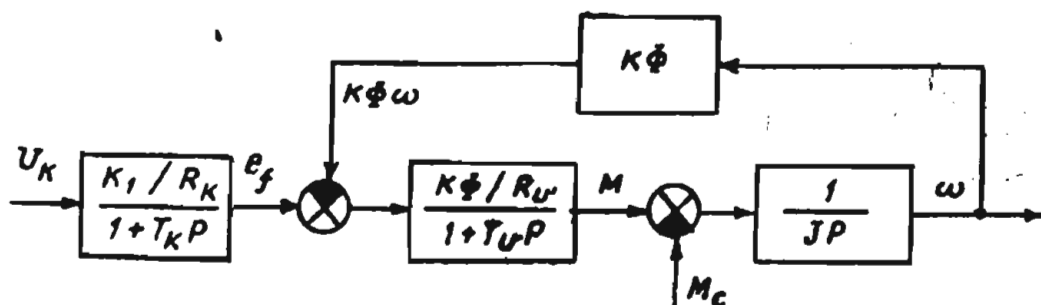


Hình 3-4. Sơ đồ cấu trúc của truyền động không đồng bộ (phần cơ đơn khối).

Đối với những hệ thống có sử dụng các bộ biến đổi, quá trình quá độ còn bao gồm cả quá trình điện từ xảy ra trong bộ biến đổi nữa. Chẳng hạn, đối với hệ F — Đ, ta cần xét đến quán tính điện từ trong mạch kích máy phát, quán tính điện từ trong mạch phần ứng chung F—Đ và quán tính cơ học của hệ. Như đã xét trong § 1-2, quá trình quá độ của hệ này được mô tả bởi hệ phương trình sau:

$$\left. \begin{aligned} U_k &= R_k(1 + T_k p) i_k \\ i_k K_1 &= e_f \\ e_f - e &= R_{ur}(1 + T_{ur} p) i_{ur} \\ i_{ur} K\Phi &= M \\ M - M_c &= Jp\omega. \end{aligned} \right\} \quad (3-4)$$

Tương ứng, ta có sơ đồ cấu trúc trên hình 3-5.



Hình 3-5. Sơ đồ cấu trúc của hệ F-Đ.

Nếu $T_k \gg T_{ur}$ ta có thể bỏ qua T_{ur} và cấu trúc của hệ trở nên đơn giản hơn.

Các ví dụ trên đây cho thấy khi đã xét đến quán tính điện từ, quá trình quá độ của truyền động điện được mô tả bằng phương trình vi phân bậc cao, ít nhất là bậc 2. Do đó, như đã trình bày trong chương I, hàm quá độ của hệ có thể mang tính chất dao động.

Sau đây ta khảo sát một số quá trình quá độ điển hình trong các hệ thường gặp.

§ 3-2. QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ ĐIỆN CƠ TRONG TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN MỘT CHIỀU KHI ĐIỀU KHIỂN MẠCH PHẦN ỨNG

Để đơn giản hóa việc khảo sát quá trình quá độ điện cơ của động cơ một chiều, ta giả thiết mạch từ của nó không bão hòa, nghĩa là coi điện cảm phần ứng $L_{ur} = \text{const}$; bỏ qua phản ứng phần ứng và không xét đến ảnh hưởng của dòng xoáy trong các rơ-cơ từ.

Khi từ thông của động cơ không đổi ta cần xét đến quán tính điện từ của mạch phần ứng trong các trường hợp khởi động trực tiếp và thay đổi phụ tải. Khi đó, do không có điện trở phụ nên hằng số thời gian điện từ có giá trị đủ lớn, có thể so sánh được với hằng số thời gian cơ học. Trước hết ta khảo sát quá trình khởi động.

1. Quá trình khởi động không tải.

Đối với các động cơ công suất nhỏ, cỡ dưới 1kW, người ta cho phép đóng trực tiếp phần ứng của nó và nguồn điện, còn mạch kích từ thường được đóng điện sẵn từ trước. Sơ đồ nguyên lý của hệ được vẽ trên hình 3-6.

Quá trình quá độ của truyền động được mô tả bởi các phương trình cân bằng điện và cơ:

$$\left. \begin{aligned} U &= K\Phi\omega + R_{ur}i_{ur} + L_{ur}\frac{di_{ur}}{dt} \\ M - M_c &= J\frac{d\omega}{dt} \\ M &= K\Phi i_{ur}; M_c = K\Phi I_c. \end{aligned} \right\} \quad (3-5)$$

Nếu khởi động không tải, $M_c = 0$, thì từ (3-5) ta có thể biến đổi để rút ra phương trình vi phân viết cho ω hoặc i_{ur} như sau:

$$T_{ur}T_c\frac{d^2\omega}{dt^2} + T_c\frac{d\omega}{dt} + \omega = \omega_0. \quad (3-6)$$

$$T_{ur}T_c\frac{d^2i_{ur}}{dt^2} + T_c\frac{di_{ur}}{dt} + i_{ur} = 0. \quad (3-7)$$

Hai phương trình trên có dạng giống nhau. Phương trình đặc trưng của chúng là

$$\alpha^2 + \frac{1}{T_{ur}}\alpha + \frac{1}{T_{ur}T_c} = 0. \quad (3-8)$$

Nghiệm của (3-8) là

$$\alpha_{1,2} = -\frac{1}{2T_{ur}} \pm \frac{\sqrt{1 - 4T_{ur}/T_c}}{2T_{ur}} \quad (3-9)$$

Nghiệm của phương trình vi phân (3-6) và (3-7) phụ thuộc vào dấu của biểu thức dưới căn trong (2-9). Ta chia ra hai trường hợp:

a. Nếu $T_{ur} < \frac{1}{4}T_c$, thì $1 - 4T_{ur}/T_c > 0$, nên $\alpha_{1,2}$ đều là số thực và âm. Khi đó, các phương trình (3-6) và (3-7) sẽ có nghiệm là:

$$\omega = \omega_0 + Ae^{\alpha_1 t} + Be^{\alpha_2 t} \quad (3-10)$$

$$i_{ur} = Ce^{\alpha_1 t} + De^{\alpha_2 t}. \quad (3-11)$$

Để tiến tới xác định các hằng số tích phân, ta lấy đạo hàm các biểu thức trên:

$$\omega' = A\alpha_1 e^{\alpha_1 t} + B\alpha_2 e^{\alpha_2 t}, \quad (3-12)$$

$$i'_{ur} = C\alpha_1 e^{\alpha_1 t} + D\alpha_2 e^{\alpha_2 t} \quad (3-13)$$

Các hằng số A, B, C, D được xác định theo điều kiện ban đầu: khi $t = 0$

$$\omega = 0; \quad i_{ur} = 0; \quad \frac{d\omega}{dt} = \frac{M}{J} = 0; \quad \frac{di_{ur}}{dt} = \frac{U}{L_{ur}}, \quad (3-14)$$

trong đó $d\omega/dt$ và di_{ur}/dt được xác định nhờ (3-5) bằng cách cho $\omega = 0$, $i_{ur} = 0$, $M = 0$, $M_c = 0$.

Thay (3-14) vào (3-10) ÷ (3-13) ta được

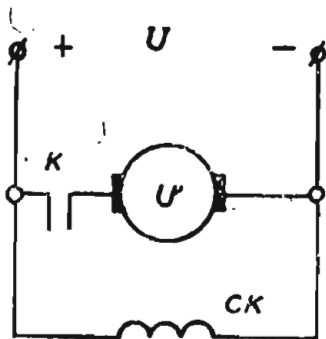
$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{\omega_0 \alpha_2}{\alpha_1 - \alpha_2}; & B &= -\frac{\omega_0 \alpha_1}{\alpha_1 - \alpha_2} \\ C &= \frac{U}{L_{\Sigma}(\alpha_1 - \alpha_2)}; & D &= -\frac{U}{L_{\Sigma}(\alpha_1 - \alpha_2)} \end{aligned} \right\} \quad (3-15)$$

Cuối cùng, thay các giá trị của A, B, C, D vào (3-10) và (3-11) ta được các hàm quá độ

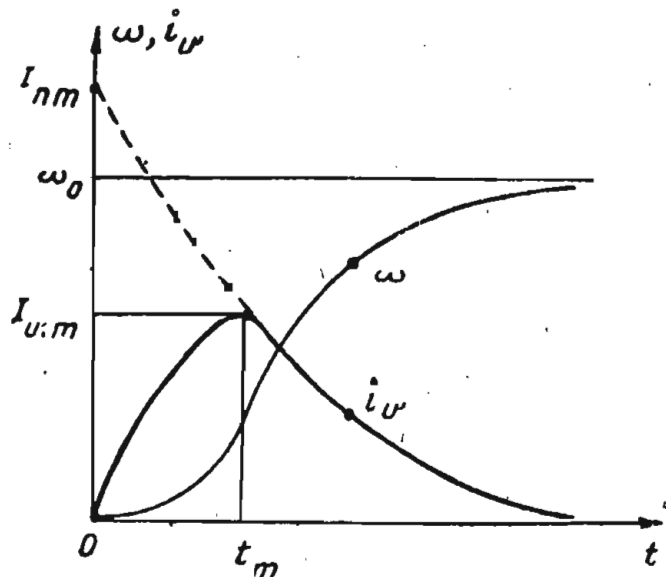
$$\omega = \omega_0 \left[1 + \frac{1}{\alpha_1 - \alpha_2} \left(\alpha_2 e^{\alpha_1 t} - \alpha_1 e^{\alpha_2 t} \right) \right] \quad (3-16)$$

$$i_{\Sigma} = \frac{U}{L_{\Sigma}(\alpha_1 - \alpha_2)} (e^{\alpha_1 t} - e^{\alpha_2 t}) \quad (3-17)$$

Những quan hệ này được biểu diễn bằng các đường cong dạng không chu kỳ trên hình 3-7. Như vậy, trong quá trình khởi động, tốc độ tăng đơn trị, còn dòng điện phần ứng thì có điểm cực đại. Lấy đạo hàm của (3-17) theo thời gian, rồi cho bằng không ta sẽ xác định được giá trị của thời gian và dòng điện tương ứng với điểm cực đại đó:



Hình 3-6. Sơ đồ nguyên lý khởi động trực tiếp động cơ một chiều kích từ độc lập.



Hình 3-7. Các quan hệ $\omega(t)$ và $i_{\Sigma}(t)$ khi khởi động trực tiếp động cơ một chiều có

$$T_{\Sigma} < \frac{1}{4} T_c.$$

$$t_m = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\ln(\alpha_2/\alpha_1)}, \quad (3-18)$$

$$I_{\Sigma m} = -\frac{U}{\alpha_2 L_{\Sigma}} \left(\frac{\alpha_2}{\alpha_1} \right)^{\frac{\alpha_1}{\alpha_1 - \alpha_2}}$$

hoặc

$$I_{\Sigma m} = -\frac{I_{nm}}{\alpha_2 T_{\Sigma}} \left(\frac{\alpha_2}{\alpha_1} \right)^{\frac{\alpha_1}{\alpha_1 - \alpha_2}} \quad (3-19)$$

trong đó $I_{nm} = U/R_{\Sigma}$ – dòng ngắn mạch của động cơ.

Biểu thức (3-19) cho thấy rằng, nhờ ảnh hưởng của điện cảm L_r , dòng điện cực đại trong thời gian khởi động luôn luôn nhỏ hơn dòng ngắn mạch I_{nm} . Cần nhớ rằng I_{nm} chính là giá trị cực đại của dòng điện phản ứng khi khởi động không xét đến ảnh hưởng của L_r . Để dễ so sánh, trên hình 3-7 có biểu thị giá trị I_{nm} một cách định tính. Nếu thay giá trị của α_2 từ (3-9) vào (3-19) ta được

$$\frac{I_{um}}{I_{nm}} = \frac{2}{1 - \sqrt{1 - 4T_r/T_c}} \left(\frac{\alpha_2}{\alpha_1} \right)^{\frac{\alpha_1}{\alpha_1 - \alpha_2}} \quad (3-20)$$

Tỷ số này chỉ phụ thuộc vào tỷ số T_r/T_c ; $\frac{T_r}{T_c}$ càng lớn thì dòng cực đại càng nhỏ.

b) Khi $T_r > \frac{1}{4} T_c$, biểu thức dưới căn của (3-9) âm, nên nghiệm của phương trình đặc trưng (3-8) là số phức có phần thực âm:

$$\alpha_{1,2} = \beta \pm j\Omega, \quad (3-21)$$

trong đó

$$\gamma = -\frac{1}{2T_r}, \quad (3-22)$$

$$\Omega = \frac{1}{2T_r} \sqrt{\frac{4T_r}{T_c} - 1} \quad (3-23)$$

Lúc đó, nghiệm của các phương trình vi phân (3-6) và (3-7) có dạng:

$$\omega = \omega_0 + e^{\gamma t} (A \cos \Omega t + \beta \sin \Omega t); \quad (3-24)$$

$$i_r = e^{\gamma t} (C \cos \Omega t + D \sin \Omega t). \quad (3-25)$$

Tương tự như trên, tìm đạo hàm ω' và i_r' , rồi sử dụng điều kiện ban đầu (3-15) ta xác định được các hằng số tích phân như sau:

$$A = -\omega_0; \quad B = -\frac{\gamma \omega_0}{\Omega}; \quad C = 0; \quad D = \frac{U}{\Omega L_r}. \quad (3-26)$$

Thay giá trị của các hằng số A, B, C, D vào (3-24) và (3-25) ta được các quan hệ $\omega(t)$ và $i_r(t)$:

$$\omega = \omega_0 \left[1 - e^{\gamma t} \left(\cos \Omega t + \frac{\gamma}{\Omega} \sin \Omega t \right) \right]; \quad (3-27)$$

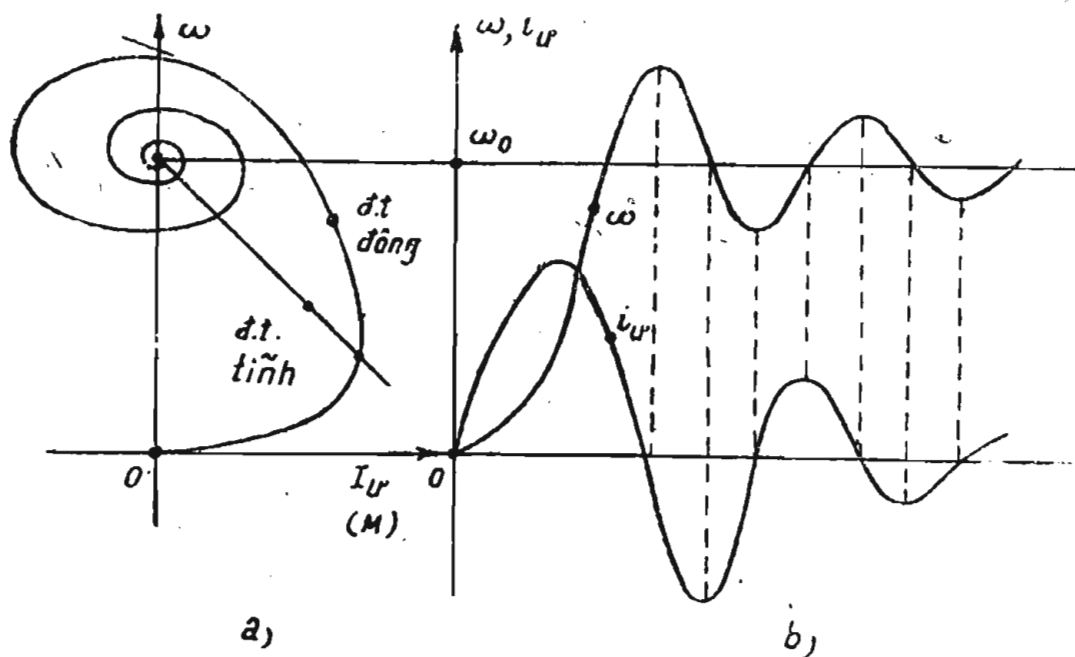
$$i_r = \frac{U}{\Omega L_r} e^{\gamma t} \sin \Omega t. \quad (3-28)$$

Những quan hệ này được biểu diễn trên hình 3-8b bằng các đường cong dạng dao động. Mức độ tắt dần của các dao động này phụ thuộc vào giá trị phần thực $|\gamma|$, nghĩa là phụ thuộc vào hằng số thời gian điện từ T_r .

Từ các quan hệ $\omega(t)$ và $i_r(t)$ ta có đặc tính cơ động là đường xoắn ốc như trên hình 3-8a. Diểm làm việc của hệ thống dịch chuyển qua cả hai góc phần tư của mặt phẳng đặc tính cơ, nghĩa là trạng thái làm việc của động cơ luôn luôn thay đổi, từ trạng thái động cơ sang trạng thái máy phát và ngược lại.

Đó là do kết quả của quá trình trao đổi năng lượng giữa hai kho: Kho động năng $J \frac{\omega^2}{2}$ và kho năng lượng điện từ $L_r \frac{i_r^2}{2}$. Kho thứ nhất chính là khối quán tính J của hệ truyền động, kho thứ hai là điện cảm L_r của mạch phần ứng động cơ.

Khi đóng động cơ vào nguồn điện, mức chuẩn của năng lượng nguồn cung cấp cho động cơ chỉ tương ứng với ω_0 (xem §2-12). Ban đầu do $\omega = 0$ nghĩa là s.d.d. của động cơ $E = 0$, nên dòng điện tăng nhanh. Năng lượng của nguồn một phần được truyền vào phần cơ và tích lũy động năng cho khối J , một phần tích lũy vào cuộn kháng L_r dưới dạng năng lượng điện từ. Phần động năng tăng lên bao nhiêu, thì phần năng lượng điện từ giảm đi bấy nhiêu. Do đó, khi tốc độ đạt đến một giá trị nào đó thì dòng điện sẽ giảm. Khi tốc độ đạt đến ω_0 , nghĩa là đạt đến mức chuẩn do nguồn đưa vào, thì vì năng lượng điện từ cộng tác dụng với nguồn và đều được chuyển hóa thành động năng, nên tốc độ tiếp tục tăng quá ω_0 . Khi dòng điện $i_r = 0$, nghĩa là năng lượng điện từ bị triệt tiêu, thì động năng đạt được cực đại, tương ứng với đỉnh cao nhất của đường cong $\omega(t)$. Vì mức động năng này lớn hơn mức do nguồn cung cấp ($\omega > \omega_0$), nên khối quán tính J sẽ phóng năng lượng về nguồn đồng thời tích lũy cho cuộn kháng. Nói cách khác, lúc này động năng duy trì tình trạng quay roto của động cơ trong từ trường stato với tốc độ $\omega > \omega_0$, vì vậy nó biến động cơ thành máy phát, v.v... Quá trình trao đổi năng lượng đó được thể hiện trên hình 3-8.



Hình 3-8. Đường đặc tính cơ động (a), tương ứng là các quan hệ $\omega(t)$ và $i(t)$ (b) khi khởi động trực tiếp động cơ

một chiều có $T_r > \frac{1}{4} T_c$

2. Quá trình thay đổi phụ tải

Có thể nói quá trình quá độ điện cơ trong động cơ một chiều khi thay đổi tải thường gặp hơn quá trình khởi động trực tiếp đã khảo sát. Dù cho tải

thay đổi đột ngột, hay biến đổi theo hàm tuần hoàn, trong truyền động công suất nhỏ hay công suất lớn, ảnh hưởng của điện cảm mạch phản ứng vẫn là đáng kể. Vì vậy, khảo sát quá trình này là một yêu cầu thực tế.

Giả sử truyền động đang làm việc xác lập ở điểm BD với tải là M_{c1} (hình 3-9a) thì mômen cản đột biến thành M_{c2} . Quá trình quá độ cũng được mô tả bằng hệ phương trình (3-5), chỉ cần chú ý đây là quá trình quá độ có tải, với $M_c = M_{c2}$.

Để khảo sát quá trình này, ta cũng biến đổi hệ (3-5) thành các phương trình vi phân viết cho tốc độ và dòng điện hoặc mômen, tương tự như (3-6) và (3-7), nghĩa là:

$$T_r T_c \frac{d^2 \omega}{dt^2} + T_c \frac{d\omega}{dt} + \omega = \omega_{x1} \quad (3-29)$$

$$T_r T_c \frac{d^2 i_r}{dt^2} + T_c \frac{di_r}{dt} + i_r = I_c \quad (3-30)$$

trong đó, $\omega_{x1} = \omega_0 - \frac{M_{c2}}{\beta}$ — tốc độ xác lập khi tải là M_{c2} .

$$I_c = \frac{M_{c2}}{K\Phi} — \text{dòng tải.}$$

Việc giải các phương trình này hoàn toàn giống trường hợp khởi động, chỉ khác về điều kiện ban đầu của quá trình, nghĩa là khác về giá trị của các hằng số tích phân, từ hình 3-9a và hệ phương trình (3-5) ta thấy, khi $t = 0$

$$\left. \begin{aligned} \omega = \omega_{bd}; \quad i_r = I_{c1} = \frac{M_{c1}}{K\Phi}; \quad \frac{d\omega}{dt} = \frac{M_{c1} - M_{c2}}{J} = \omega'_{bd}; \\ \frac{di_r}{dt} = \frac{U - K\Phi\omega_{bd} - R_r I_{c1}}{L_r} = i'_{rbd}, \end{aligned} \right\} \quad (3-31)$$

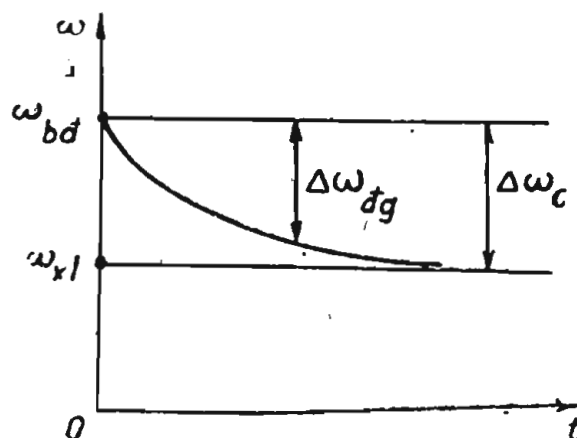
trong đó ω'_{bd} và i'_{rbd} được xác định nhờ (3-5) khi thay $\omega = \omega_{bd}$, $M = M_{c1}$, $M_c = M_{c2}$, $i_r = I_{c1}$.

Dạng đặc tính quá độ cũng phụ thuộc vào tính chất của nghiệm phương trình đặc trưng [biểu thức (3-9)].

Nếu $T_r < \frac{1}{4} T_c$, nghiệm đó là số thực và âm thì quá trình quá độ có tính không chu kỳ. Các hàm quá độ sẽ là:

$$\left. \begin{aligned} \omega = \omega_{x1} + Ae^{\alpha_1 t} + Be^{\alpha_2 t}; \\ i_r = I_{c2} + Ce^{\alpha_1 t} + De^{\alpha_2 t}. \end{aligned} \right\} \quad (3-32)$$

Khi đó, tốc độ sẽ tăng đơn trị từ ω_{bd} đến ω_{x1} tương tự như trong quá trình khởi động đã xét.



Hình 3-9. Đặc tính cơ (a) và các quan hệ $\omega(t)$, $i_r(t)$ (b) trong quá trình thay đổi phụ tải khi $T_r > \frac{1}{4} T_c$.

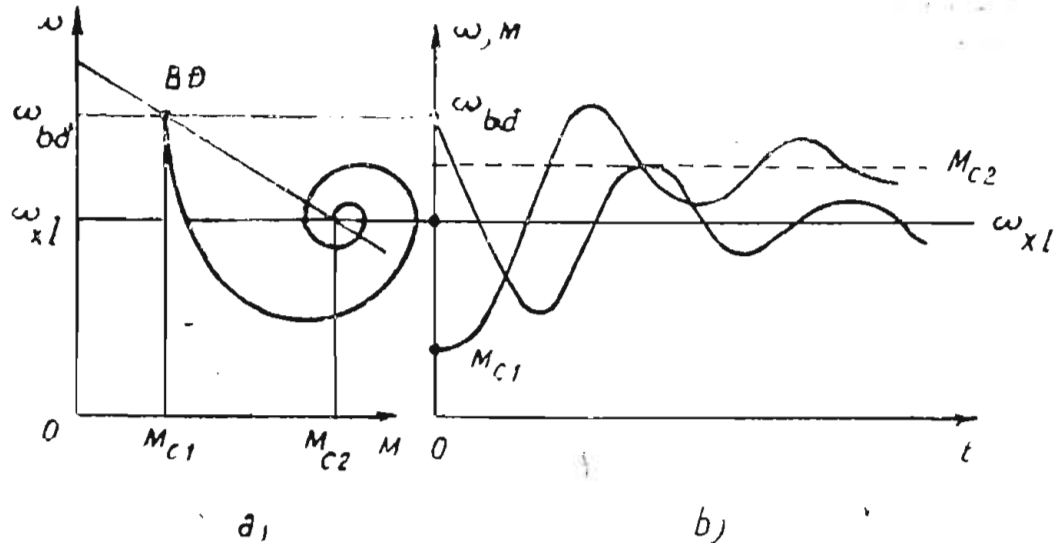
Nếu gọi hiệu giữa tốc độ tức thời và tốc độ ban đầu là sụt tốc động:

$$\Delta\omega_{dg} = \omega - \omega_{bd}, \quad (3-33)$$

thì rõ ràng trong quá trình này nó luôn luôn nhỏ hơn sụt tốc tĩnh

$$\Delta\omega_{dg} < \Delta\omega_c, \quad (3-34)$$

trong đó $\Delta\omega_c = \omega_{cc} - \omega_{bd} = \frac{M_{c2} - M_{c1}}{\beta}$ — sụt tốc tĩnh. Các quan hệ (3-33) và (3-34) được minh họa trên hình 3-10.

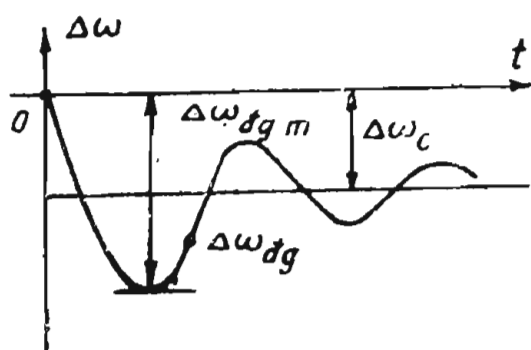


Hình 3-10. Quan hệ $\omega(t)$ và sụt tốc trong quá trình thay đổi phụ tải khi $T_r < \frac{1}{4} T_c$.

Xuất phát từ nhận xét trên đây, người ta ít quan tâm đến trường hợp $T_r < \frac{1}{4} T_c$

Khi $T_r > \frac{1}{4} T_c$, quán tính điện từ không những ảnh hưởng đến thời gian của quá trình quá độ, mà còn gây sụt tốc động lớn đáng kể, mà trong nhiều trường hợp cần tính toán và kiểm tra.

Thực vậy, khi $T_r > \frac{1}{4} T_c$, nghiệm của phương trình đặc trưng (3-9) là số phức có phần thực âm, nên hàm quá độ có dạng



Hình 3-11. Quan hệ giữa độ sụt tốc động và thời gian khi $T_r > \frac{1}{4} T_c$.

$$\left. \begin{aligned} \omega &= \omega_{x1} + e^{\gamma t} (A \cos \Omega t + B \sin \Omega t); \\ i_r &= I_{c2} + e^{\gamma t} (C \cos \Omega t + D \sin \Omega t). \end{aligned} \right\} \quad (3-35)$$

Các quan hệ này được biểu diễn trên hình 3-9b, và tương ứng là đặc tính cơ động trên hình 3-9a.

Từ (3-33), và quan hệ $\omega(t)$ trên hình 3-9b ta suy ra quan hệ $\Delta\omega_{dg} = f(t)$ như trên hình 3-11. Sụt tốc đạt được cực đại $\Delta\omega_{dg.m}$ khi tốc độ cực tiểu. Vì quá trình quá độ mang tính chất dao động, nghĩa là ω dao động xung

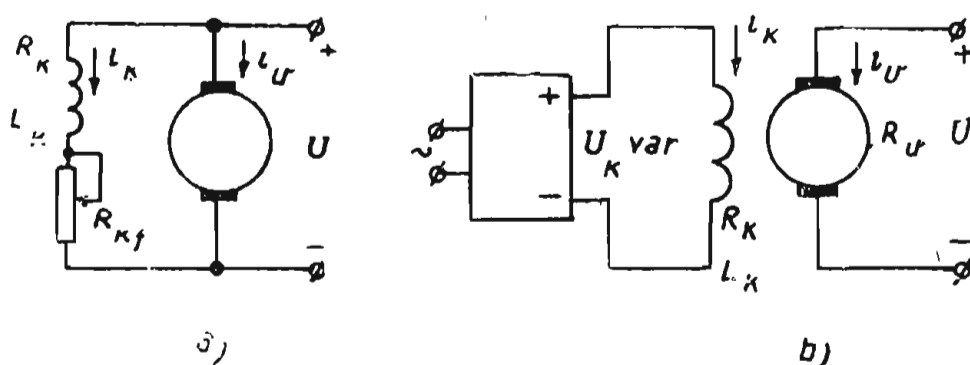
quanh trị số xác lập một số chu kỳ, nên $\Delta\omega_{dg.m}$ xuất hiện ở chu kỳ đầu tiên và có giá trị

$$\Delta\omega_{dg.m} > \Delta\omega_c. \quad (3-36)$$

§ 3-3. QUA TRÌNH QUA ĐỘ ĐIỆN CƠ CỦA TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN MỘT CHIỀU KHI ĐIỀU KHIỂN TỪ THÔNG

Ta khảo sát hệ truyền động dùng động cơ một chiều kích từ độc lập khi thực hiện chuyển đổi trong mạch kích từ của động cơ. Thực tế, quá trình này xảy ra khi điều chỉnh tốc độ của truyền động phía trên giá trị cơ bản, khi hãm điện, từ tốc độ cao về tốc cơ bản v.v.. Như đã biết, mạch kích từ của các máy điện có điện cảm rất lớn so với mạch phần ứng, nghĩa là hằng số thời gian điện từ của mạch này có thể so sánh được với hằng số thời gian cơ học của truyền động, do đó cần phải xét đến nó.

Để cho đơn giản, ta bỏ qua điện cảm của mạch phần ứng, coi phản ứng phần ứng được bù hoàn toàn và không xét đến dòng xoáy trong các rơla cực từ. Ta sẽ khảo sát trường hợp thay đổi điện trở phụ hoặc thay đổi điện áp đặt vào cuộn kích từ theo các sơ đồ hình 3-12.



Hình 3-12. Sơ đồ của hệ truyền động một chiều có điều khiển từ thông:

a — dùng điện trở phụ; b — dùng nguồn áp điều chỉnh $U_k = \text{var}$.

Quá trình quá độ của hệ truyền động khi từ thông của động cơ thay đổi được mô tả bằng hệ phương trình tổng quát sau đây:

$$U_k = i_k R_k + W \frac{d\Phi}{dt}; \quad (3-37)$$

$$U = K\Phi\omega + i_u R_u + L_u \frac{di_u}{dt}; \quad (3-38)$$

$$K\Phi i_u - M_c = J \frac{d\omega}{dt} \quad (3-39)$$

trong đó, U_k — điện áp đặt vào mạch kích từ; U — điện áp trên phần ứng; W — số vòng dây của cuộn kích từ.

Từ hệ phương trình trên, kết hợp với đường cong từ hóa của động cơ, ta có thể phân tích quá trình quá độ bằng giải tích hoặc bằng đồ thị.

1. Phương pháp giải tích.

Hệ phương trình nêu trên là phi tuyến. Để khảo sát quá trình quá độ này, ta phải ứng dụng một trong các phép tính gần đúng, ví dụ phương pháp tuyến tính hóa nhờ chuỗi Taylor (xem § 1-2). Khi đó, phương trình (3-37) được viết thành dạng tuyến tính cho các khoảng $\Delta\Phi$, ΔU_k , Δi_k tương ứng với nhau. Trong khoảng đó, đặc tính từ hóa của động cơ $\Phi(i_k)$ được coi là thẳng, nghĩa là

$$\Delta\Phi = K_1 \Delta i_k. \quad (3-40)$$

Phương trình (3-37) được viết thành dạng:

$$\Delta U_k = \frac{R_k}{K_1} \Delta\Phi + W \frac{d(\Delta\Phi)}{dt},$$

hoặc

$$\Delta U_k = \frac{R_k}{K_1} (1 + T_{kp}) \Delta\Phi, \quad (3-41)$$

trong đó, $T_k = \frac{WK_1}{R_k} = \frac{L_k}{R_k}$ — hằng số thời gian điện từ của mạch kích từ động cơ.

Dùng phương pháp khai triển Taylor, các phương trình (3-38) và (3-39) được viết thành dạng;

$$\Delta U = L_{\sigma} \frac{d(\Delta I_{\sigma})}{dt} + R_{\sigma} \Delta I_{\sigma} + K\Phi^{\circ} \Delta\omega + K\omega^{\circ} \Delta\Phi; \quad (3-42)$$

$$J \frac{d(\Delta\omega)}{dt} = K\Phi^{\circ} \Delta I_{\sigma} + K I_{\sigma}^{\circ} \Delta\Phi - M_c, \quad (3-43)$$

trong đó, $\Delta\Phi$, $\Delta\omega$, ΔI_{σ} — các gia số tương ứng của khoảng đang xét.

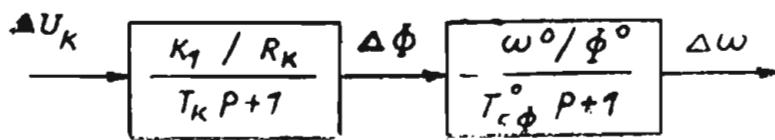
Φ° , ω° , I_{σ}° — giá trị xác lập của các đại lượng tương ứng với khoảng dao động đang xét.

Trong hai phương trình trên, ta coi $U = \text{const}$, nghĩa là $\Delta U = 0$, $L_{\sigma} = 0$, $M_c = 0$, nên sau khi biến đổi, ta được:

$$\Delta\Phi = - \frac{\Phi^{\circ}}{\omega^{\circ}} (1 + T_{c\phi}^{\circ} p) \Delta\omega, \quad (4-44)$$

trong đó $T_{c\phi}^{\circ} = \frac{J}{\beta_{\phi}^{\circ}} = \frac{J R_{\sigma}}{(K\Phi^{\circ})^2}$ — hằng số thời gian cơ học ứng với từ thông Φ° ;

$\beta_{\phi}^{\circ} = \frac{(K\Phi^{\circ})^{\circ}}{R_{\sigma}}$ — độ cứng của đặc tính cơ ứng với từ thông Φ° .



Hình 3-13. Sơ đồ cấu trúc của hệ có điều khiển từ thông.

Dựa vào (3-41) và (3-44) ta có sơ đồ cấu trúc của hệ khi điều khiển từ thông như trên hình 3-13. Như vậy, khi coi lượng vào là điện áp kích từ, lượng ra là tốc độ, thì hàm truyền của hệ thống sẽ là

$$W_{\phi}(p) = \frac{\Delta\omega(p)}{\Delta U_k(p)} = \frac{K_1 \omega^{\circ} / R_k \Phi^{\circ}}{(1 + T_{kp}) (1 + T_{c\phi} p)}. \quad (3-45)$$

Dựa vào hàm truyền này ta sẽ tìm được hàm $\Delta\omega(t)$ và sau đó suy ra $\Delta i_{\sigma}(t)$.

2. Phương pháp đồ thị.

Như đã biết, phương pháp đồ thị được thực hiện trên cơ sở sai phân hóa các phương trình vi phân (3-37) và (3-39):

$$U_k = I_{k, \text{tbi}} R_k + W \frac{\Delta \Phi_i}{\Delta t_i} \quad (3-46)$$

$$U = K\Phi\omega + J \frac{R_{ur}}{K\Phi} \frac{\Delta\omega_i}{\Delta t_i} + M_c \frac{R_{ur}}{K\Phi} \quad (3-47)$$

trong đó, phương trình (3-47) được rút ra nhờ (3-38) và (3-39) khi cho $L_{ur} = 0$.

Từ (3-46) ta có

$$\Delta t_i = \frac{W}{R_k} \frac{\Delta \Phi_i}{I_{kx1} - I_{ktbi}}. \quad (3-48)$$

trong đó $\Delta \Phi_i$ — gia số của từ thông được chọn tùy ý;

$I_{kx1} = U_k/R$ — giá trị xác lập của dòng kích từ;

$I_{ktbi} = I_{k bdi} + \frac{\Delta i_{ki}}{2}$ — giá trị trung bình của dòng kích từ trong khoảng đang xét

$I_{k bdi}$ — giá trị ban đầu của dòng kích từ ở khoảng đang xét.

Để tính Δt_i ta chia đặc tính từ hóa của động cơ thành những khoảng $\Delta \Phi$ như trên hình 3-14. Trong mỗi khoảng, ta lấy giá trị trung bình của dòng kích từ $I_{k, \text{tb}}$ rồi thay vào (3-48). Trên hình 3-14 đưa ra một ví dụ cách dựng đường cong $\Phi(t)$ khi giảm từ thông từ giá trị ban đầu Φ_{bdo} đến Φ_{x1} . Đường cong này sẽ được sử dụng để giải phương trình (3-47).

Để tìm quan hệ $\omega(t)$ ta sử dụng phương trình sai phân hóa (3-47). Sau khi biến đổi nó ta được

$$\omega_o \Phi^* = \omega \Phi^{*2} + T_c \frac{\Delta \omega}{\Delta t} + \Delta \omega_c, \quad (3-49)$$

trong đó $\Phi^* = \frac{\Phi}{\Phi_{dm}}$ — giá trị tương đối của từ thông,

$T_c = \frac{JR_{ur}}{(K\Phi_{dm})^2}$ — hằng số thời gian cơ học khi từ thông định mức;

$\omega_o = U/K\Phi_{dm}$ — tốc độ không tải lý tưởng khi từ thông định mức;

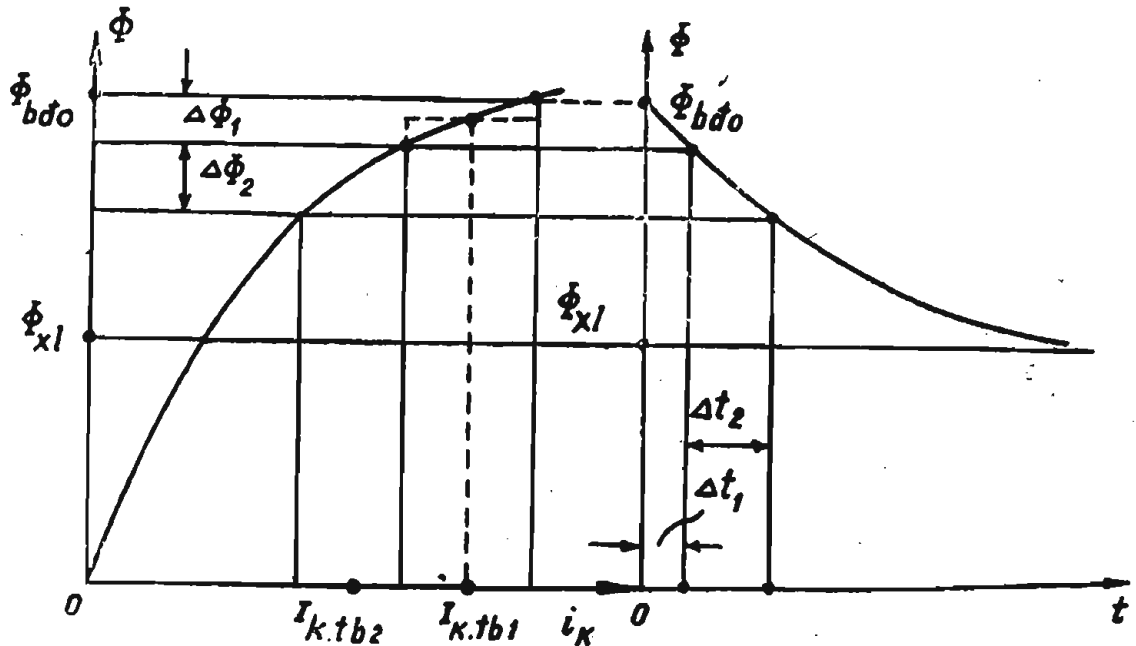
$\Delta \omega_c = \frac{M_c R_{ur}}{(K\Phi_{dm})^2}$ — sụt tốc tĩnh trên đặc tính tự nhiên khi phụ tải là M_c .

Trong khoảng sai phân đang xét, ta cho $\omega_i = \omega_{bdi} + \frac{\Delta \omega_i}{2}$ và coi từ thông

có giá trị trung bình không đổi $\Phi^* = \Phi_{tbi}^*$, rồi thay vào đẳng thức (3-49) ta rút ra

$$\Delta \omega_i = \frac{\omega_o \Phi_{tbi}^* - \Delta \omega_c - \omega_{bdi} \Phi_{tbi}^{*2}}{\frac{T_c}{\Delta t_i} + \frac{1}{2} \Phi_{tbi}^{*2}} \quad (3-50)$$

Bằng cách chia đường cong $\Phi(t)$ trên hình 3-14 ra làm nhiều khoảng với những Δt_i tùy ý, trong mỗi khoảng lấy một giá trị Φ_{bi} , rồi thay vào (3-50) ta xác định được gia số $\Delta\omega_i$ tương ứng. Tính toán nhiều cặp giá trị $\Delta\omega, \Delta t$ như trên, ta sẽ được đường cong $\omega(t)$. Trên hình 3-15 vẽ dạng một đường cong tốc độ theo thời gian khi giảm từ thông.



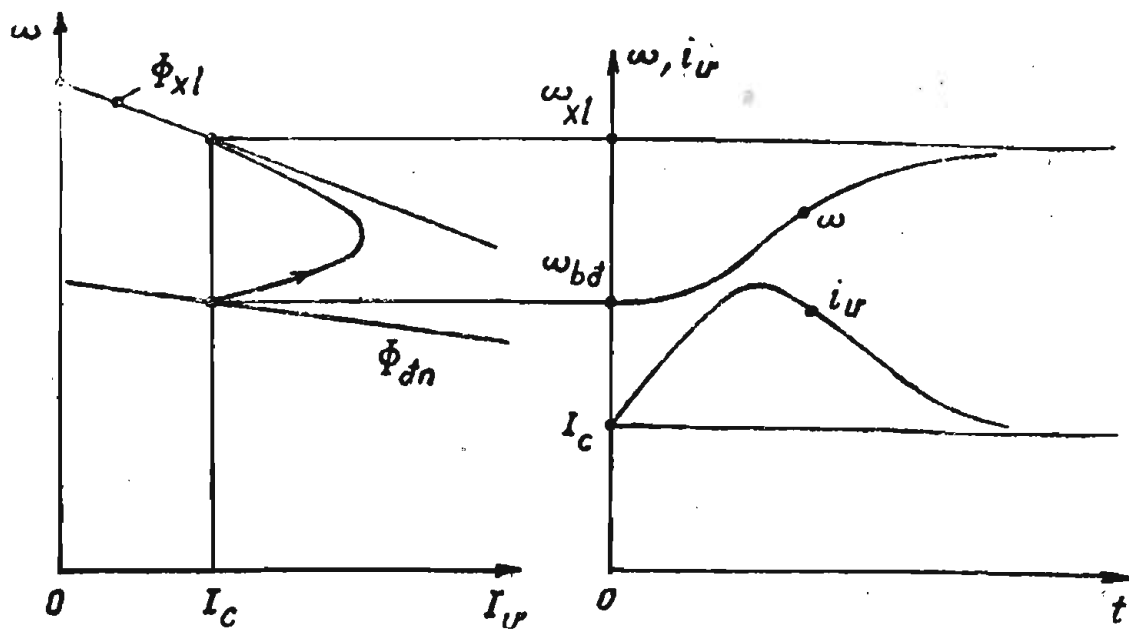
Hình 3-14. Dựng đường cong $\Phi(t)$ bằng phương pháp đồ thị

Quan hệ của dòng điện phản ứng theo thời gian $i_{ur}(t)$ sẽ được suy ra nhờ các đường cong $\Phi(t)$, $\omega(t)$ và phương trình (3-39).

Thực vậy, sai phân hóa (3-39) ta được

$$i_{ur} = \frac{1}{K\Phi} \left[J \frac{\Delta\omega}{\Delta t} + M_c \right]. \quad (3-51)$$

Trong mỗi khoảng Δt tùy ý, ta tra được giá trị trung bình của Φ nhờ đường cong $\Phi(t)$ và gia số $\Delta\omega$ tương ứng nhờ đường cong $\omega(t)$. Thay những giá trị đó vào (3-51) ta tính được một giá trị i_{ur} . Dạng đường cong $i_{ur}(t)$ được biểu diễn trên hình 3-15.



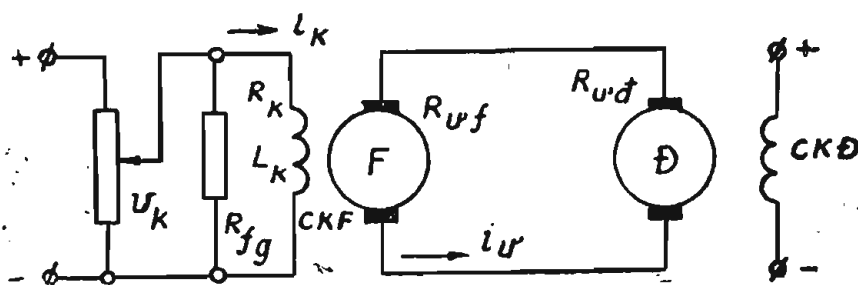
Hình 3-15. Quan hệ $\omega(t)$, $i_{ur}(t)$ và quỹ đạo pha khi giảm từ thông.

Từ hai quan hệ $\omega(t)$ và $i_U(t)$ ta dựng được quỹ đạo pha của hệ khi giảm từ thông như trên hình 3-15.

§3-4. QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ TRONG HỆ MÁY PHÁT — ĐỘNG CƠ

1. Phương trình tổng quát.

Hệ máy phát — động cơ — một dạng của hệ BĐ—Đ — được ứng dụng rộng rãi trong thực tế, không những để điều tốc truyền động trong giải rộng, mà còn để tạo hình cần thiết cho các quá trình quá độ. Sơ đồ nguyên lý của nó được giới thiệu trên hình 3-16.



Hình 3-16. Sơ đồ nguyên lý của hệ F — D.

Trừ những quá trình ăn tải và tháo tải, các quá trình quá độ của hệ F—Đ đều được thực hiện nhờ những thao tác trong mạch kích từ của máy phát, ví dụ khởi động bằng cách đóng mạch kích từ của máy phát vào nguồn, dừng máy: cắt điện mạch kích từ máy phát, đảo chiều: đổi cực tính của điện áp kích từ máy phát, điều tốc: thay đổi giá trị điện áp hoặc dòng kích từ máy phát.

Như đã biết, mạch kích từ của máy điện có điện cảm rất lớn so với mạch phần ứng. Những máy phát có công suất khoảng 10 — 100 kW có hằng số thời gian kích từ bằng khoảng 0,5 — 1s, còn các máy phát từ 100 kW đến hàng nghìn kW thì hằng số thời gian kích từ có thể đến 2 — 4s. Phần lớn trường hợp, hằng số thời gian điện từ này lớn hơn hằng số thời gian cơ học, do đó luôn luôn phải xét đến nó khi khảo sát quá trình quá độ.

Quá trình quá độ của hệ F — Đ được mô tả bởi hệ phương trình (3-4) đã nêu trong §3-1. Những phương trình này được viết với các giả thiết gần đúng sau: coi mạch từ của máy phát không bão hòa, bỏ qua phản ứng phần ứng của động cơ, không xét từ trễ và dòng xoáy trong mạch từ của máy phát và coi từ thông động cơ không đổi.

Sơ đồ cấu trúc của hệ khi xét đến quán tính điện từ của mạch phần ứng F — Đ đã trình bày trên hình 3-4.

Tuy nhiên, điện cảm của phần ứng động cơ và máy phát có giá trị rất nhỏ so với điện cảm của mạch kích từ máy phát L_K nghĩa là

$$L_{U\Sigma} = L_{Uđ} + L_{Uf} \ll L_K.$$

Do đó, ta bỏ qua quán tính điện từ mạch phản ứng. Khi đó phương trình mô tả hệ thống sẽ là:

$$U_k = R_k i_k + L_k \frac{di_k}{dt} \quad (3-52)$$

$$i_k K_1 = e_f \quad (3-53)$$

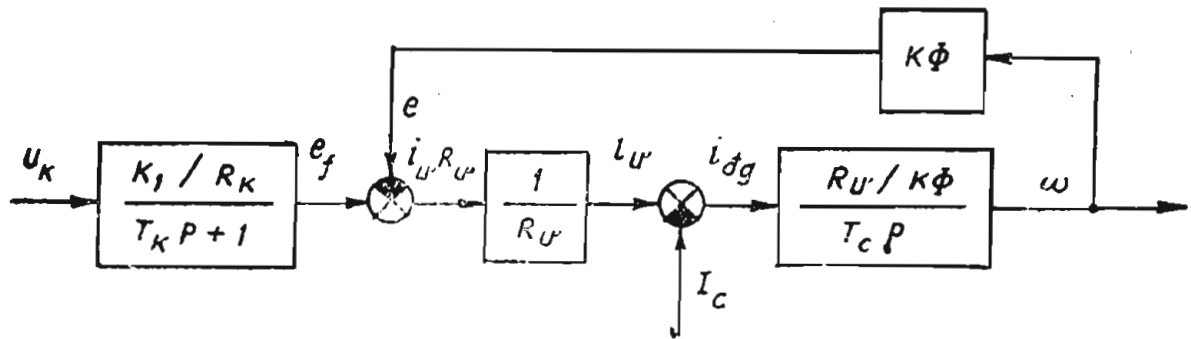
$$e_f = K\Phi\omega + i_u R_{u\Sigma} \quad (3-54)$$

$$i_u K\Phi = M \quad (3-55)$$

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt} \quad (3-56)$$

trong đó $R_{u\Sigma} = R_{ud} = R_{uf}$ - điện trở tổng của mạch phản ứng.

Chuyển hệ phương trình trên sang dạng toán tử Laplace bằng cách thay d/dt bằng p , ta được sơ đồ cấu trúc trên hình 3-17.



Hình 3-17. Sơ đồ cấu trúc của hệ F - Đ khi không xét đến quán tính điện từ của mạch phản ứng.

Khâu thứ nhất trong sơ đồ này biểu thị động học trong mạch kích từ của máy phát:

$$\dot{W}_1(p) = \frac{e_f(p)}{U_k(p)} = \frac{K_1/R_k}{T_k p + 1} \quad (3-57)$$

Biểu thức này được rút ra từ hai phương trình (3-52) và (3-53). Để cho dễ thấy, ta viết lại (3-57) dưới dạng phương trình vi phân:

$$K_1 \frac{U_k}{R_k} = e_f + \frac{dl_f}{dt} \quad (3-57a)$$

Nghiệm của phương trình này là một hàm mũ của thời gian:

$$e_f = E_{f.xl} + Ce^{-\frac{t}{T_k}}, \quad (3-58)$$

trong đó, $E_{f.xl} = K_1 \frac{U_k}{R_k}$ - giá trị xác lập của s.đ.đ. máy phát.

Hằng số tích phân C được xác định theo điều kiện ban đầu: khi $t = 0$, $I_f = E_{f.bd}$, ta được

$$C = E_{f.bd} - E_{f.xl}$$

Do đó, (3-57) được viết lại là

$$e_f = E_{f.xl} + (E_{f.bd} - E_{f.xl}) e^{-\frac{t}{T_k}} \quad (3-59)$$

Các khâu còn lại trong sơ đồ cấu trúc 3-17 biểu thị động học và các quan hệ điện cơ trong mạch phần ứng F—Đ và phần cơ của hệ. Từ sơ đồ ta có:

$$\left. \begin{aligned} \omega &= \frac{R_{u\Sigma}/K\Phi}{T_{cp}} (i_u - I_c) \\ i_u &= \frac{1}{R_{u\Sigma}} (e_f - K\Phi\omega) \end{aligned} \right\} \quad (3-60)$$

Viết gộp hai phương trình này lại và biểu thị toán tử p qua d/dt, ta được:

$$T_c \frac{d\omega}{dt} + \omega = \frac{e_f}{K\Phi} - \frac{R_{u\Sigma}}{K\Phi} I_c \quad (3-61)$$

Thay e_f bằng biểu thức (3-59) và đặt $\frac{R_{u\Sigma}}{K\Phi} I_c = \Delta\omega_c$, ta có:

$$T_c \frac{d\omega}{dt} + \omega = \omega_{oxl} + (\omega_{obd} - \omega_{oxl}) e^{-\frac{t}{T_k}} - \Delta\omega_c, \quad (3-62)$$

trong đó, $\omega_{oxl} = \frac{E_{f,xl}}{K\Phi}$ — giá trị xác lập của tốc độ không tải lí tưởng.

$\omega_{obd} = \frac{E_{fbđ}}{K\Phi}$ — giá trị ban đầu của tốc độ không tải lí tưởng.

Ở vế phải của (3-62) ta có thể biến đổi các thành phần:

$$\omega_{oxl} - \Delta\omega_c = \omega_{xl} \quad (3-63)$$

$$\omega_{obd} - \omega_{oxl} = (\omega_{bđ} + \Delta\omega_c) - (\omega_{xl} + \Delta\omega_c) = \omega_{bđ} - \omega_{xl}. \quad (3-64)$$

Do đó, phương trình vi phân (3-62) được viết lại là:

$$T_c \frac{d\omega}{dt} + \omega = \omega_{xl} + (\omega_{bđ} - \omega_{xl}) e^{-t/T_k} \quad (3-65)$$

Nghiệm của phương trình này có hai thành phần cưỡng bức và một thành phần tự do:

$$\omega = \omega_{xl} + Ae^{-t/T_k} + Ce^{-t/T_c} \quad (3-66)$$

Hằng số tích phân A được xác định bằng cách thay riêng nghiệm cưỡng bức $\omega_{cb} = Ae^{-t/T_k}$ vào phương trình vi phân có vế phải tương ứng với nó:

$$T_c \frac{d\omega}{dt} + \omega = (\omega_{bđ} - \omega_{xl}) e^{-t/T_k}$$

Kết quả ta được:

$$A = \frac{\omega_{xl} - \omega_{bđ}}{1 - \frac{T_c}{T_k}} = \frac{T_k}{T_k - T_c} (\omega_{xl} - \omega_{bđ}). \quad (3-67)$$

Hằng số tích phân C được xác định theo điều kiện ban đầu, khi $t = 0$, $\omega = \omega_{bd}$. Kết quả là

$$C = (\omega_{bd} - \omega_{x1}) \frac{T_c}{T_k - T_c}. \quad (3-68)$$

Cuối cùng, sau khi thay A và C vào (3-65) ta được:

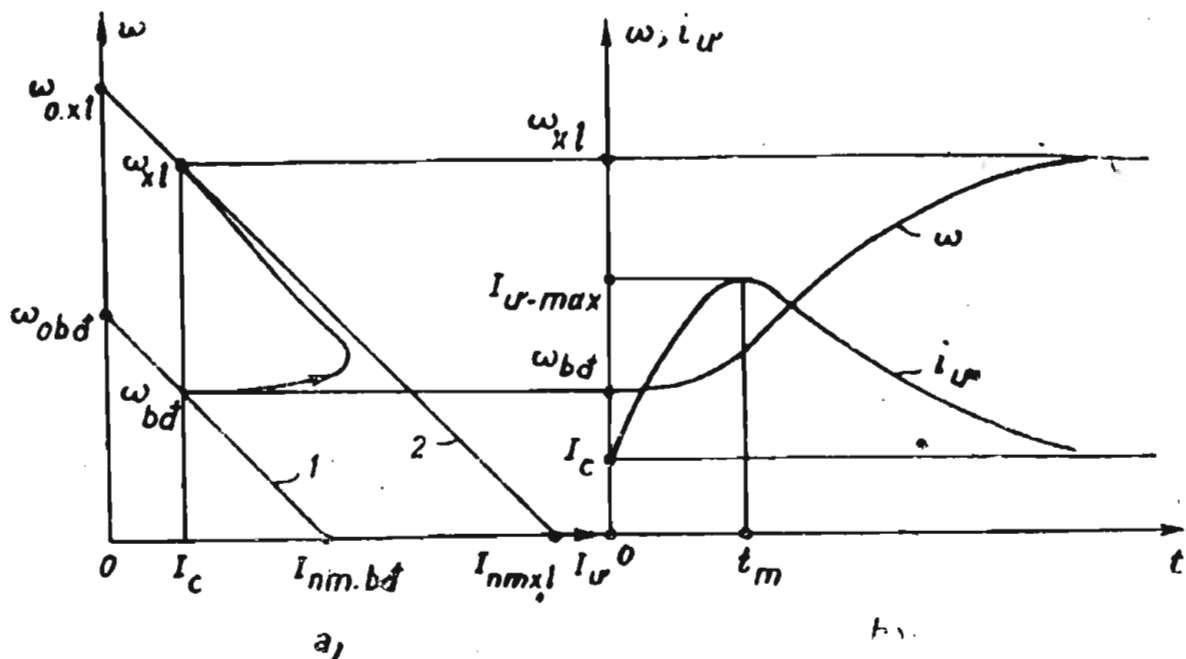
$$\omega = \omega_{x1} + \frac{\omega_{bd} - \omega_{x1}}{T_k - T_c} (T_k e^{-t/T_k} - T_c e^{-t/T_c}). \quad (3-69)$$

Trên hình 3-18 vẽ một đường cong $\omega(t)$ theo biểu thức (3-69) khi tăng điện áp kích từ máy phát từ U_{k1} đến U_{k2} , tương ứng là sđđ của máy phát tăng từ E_{f1} đến E_{fx1} :

$$E_{f1} = \frac{K_1}{R_k} U_{k1}; \quad E_{fx1} = \frac{K_1}{R_k} U_{k2}, \quad (3-70)$$

và tốc độ không tải li tưởng của hệ thống tăng từ ω_{o1} đến ω_{ox1} :

$$\omega_{o1} = \frac{E_{f1}}{K\Phi}; \quad \omega_{ox1} = \frac{E_{fx1}}{K\Phi}. \quad (3-71)$$



Hình 3-18. Đặc tính cơ động (a) của hệ F-Đ khi thay đổi điện áp kích từ của máy phát từ U_{K1} đến U_{K2} và các quan hệ $\omega(t)$, $i_U(t)$ (b)

Các điều kiện ban đầu và xác lập của quá trình này được biểu thị trên hai đường đặc tính cơ 1 và 2 (hình 3-18). Tốc độ ban đầu và tốc độ xác lập đều được xác định tương ứng với phụ tải M_c :

$$\omega_{bd} = \omega_{o1} - \Delta\omega_c = \frac{E_{f1}}{K\Phi} - \frac{M_c}{(K\Phi)^2} R_{\Sigma}; \quad (3-72)$$

$$\omega_{x1} = \omega_{ox1} - \Delta\omega_c = \frac{E_{fx1}}{K\Phi} - \frac{M_c}{(K\Phi)^2} R_{\Sigma}. \quad (3-73)$$

Dòng điện phản ứng và mômen của động cơ được xác định nhờ phương trình (3-55) và (3-56). Trước hết, lấy đạo hàm của tốc độ theo biểu thức (3-69), rồi thay vào (3-56) ta được:

$$M = M_c + J \left(\frac{\omega_{bd} - \omega_{xl}}{T_k - T_c} \right) (e^{-t/T_c} - e^{-t/T_k}). \quad (3-74)$$

Chia cả hai vế cho $K\Phi$ ta có:

$$i_r = I_c + \frac{J}{K\Phi} \left(\frac{\omega_{bd} - \omega_{xl}}{T_k - T_c} \right) (e^{-t/T_c} - e^{-t/T_k}). \quad (3-75)$$

Biến đổi (3-75) bằng cách nhân số hạng thứ hai trong vế phải với $\frac{R_{r\Sigma} K\Phi}{R_{r\Sigma} K\Phi}$, sau đó đặt:

$$\frac{JR_{r\Sigma}}{(K\Phi)^2} = T_c; \quad K\Phi\omega_{bd} = E_{fbd}; \quad K\Phi\omega_{oxl} = E_{fxl}; \quad \frac{E_{fbd}}{R_{r\Sigma}} = I_{nmbd};$$

$$\frac{E_{fxl}}{R_{r\Sigma}} = I_{nmxl},$$

ta được:

$$i_r = I_c + \frac{T_c}{T_k - T_c} (I_{nmbd} - I_{nmxl}) (e^{-t/T_c} - e^{-t/T_k}). \quad (3-75a)$$

Quan hệ $i_r(t)$ theo (3-75) hoặc (3-75a) được biểu diễn trên hình 3-18 bằng đường cong có cực trị. Giá trị cực đại $i_{r,max}$ được xác định bằng cách lấy đạo hàm của biểu thức (3-75) theo thời gian và cho bằng không. Kết quả ta tìm được thời gian t_m tương ứng với điểm cực trị của hàm $i_r(t)$:

$$t_m = \frac{T_k T_c}{T_k - T_c} \ln \left(\frac{T_k}{T_c} \right). \quad (3-76)$$

Thay t_m vào (3-75) ta được

$$i_{r,max} = I_c + (I_{nmxl} - I_{nmbd}) \left(\frac{T_c}{T_k} \right)^{T_k/T_k - T_c} \quad (3-77)$$

Các đại lượng $i_{r,max}$, I_{nmxl} , I_{nmbd} và t_m đều được chỉ dẫn trên hình 3-18.

Quan hệ $M(t)$ hoàn toàn tương tự như $i_r(t)$, tìm được bằng cách nhân (3-75) với $K\Phi$.

Cần chú ý rằng, hệ F — Đ vẫn mang tính chất động chung của các hệ BĐ — Đ, là mômen động và gia tốc không phụ thuộc vào mômen phụ tải (xem § 2-8). Thực vậy, từ (3-75) ta có:

$$M_{dg} = K\Phi(i_r - I_c) = J \left(\frac{\omega_{bd} - \omega_{oxl}}{T_k - T_c} \right) (e^{-t/T_c} - e^{-t/T_k}). \quad (3-78)$$

Biểu thức này cho thấy M_{dg} , và do đó cả gia tốc của hệ $\frac{d\omega}{dt}$ chỉ phụ thuộc vào các thông số của bản thân hệ thống (T_k , T_c) và tín hiệu điều khiển đặt vào hệ mà thôi (ω_{bd} , ω_{oxl}).

Dựa vào các kết quả trên đây, ta có thể khảo sát các quá trình quá độ cụ thể, như khởi động, hãm dừng, đảo chiều v.v... bằng cách xác định các điều kiện ban đầu và xác lập tương ứng.

2. Các quá trình quá độ thường gặp.

a) Khởi động. Quá trình khởi động được thực hiện bằng cách đóng mạch kích từ của máy phát vào nguồn. Giá trị xác lập của tốc độ được xác định bởi điện áp kích từ và mômen phụ tải khi khởi động theo (3-73) và (3-70).

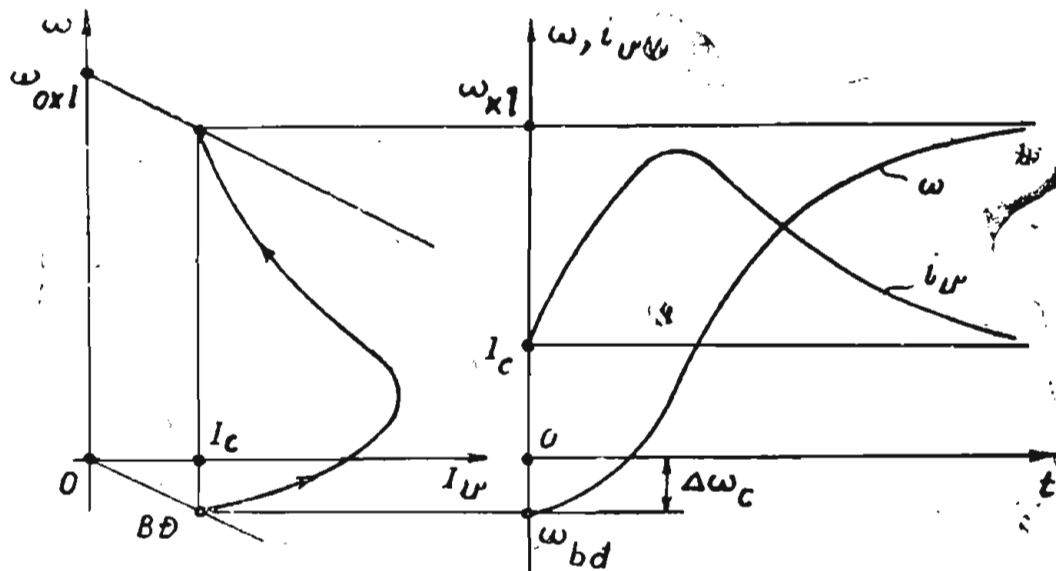
Điều kiện ban đầu tương ứng với $U_{k1} = 0$ và phụ thuộc tính chất phụ tải.

— Nếu phụ tải thuộc loại thể năng, thì khi $t = 0$, $U_{k1} \approx 0$, $E_f = 0$, nên trục động cơ được quay dưới tác dụng của tải M_c . Do đó điểm làm việc ban đầu BĐ nằm trên đặc tính hàm động năng ứng với tải M_c (xem hình 3-19). Nghĩa là

$$\left. \begin{aligned} \omega_{\text{bđ}} &= 0 \\ \omega_{\text{bđ}} &= -\Delta\omega_c = -\frac{M_c R_{\Sigma}}{(K\Phi)^2} \\ I_{\text{nm.bđ}} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3-79)$$

Thay các giá trị này vào các biểu thức (3-69), (3-75a) ta được các quan hệ $\omega(t)$ và $i_u(t)$ như trên hình 3-19.

— Nếu phụ tải thuộc loại phản kháng, thì quá trình khởi động phải chia làm hai giai đoạn.



Hình 3-19. Các đặc tính quá độ và quỹ đạo pha của hệ F-Đ khi khởi động với tải thể năng.

Giai đoạn 1 được kể từ thời điểm $t = 0$ đến thời điểm t_1 ứng với lúc $M = M_c$. Trong giai đoạn này do $\omega = 0$, nên quá trình diễn biến theo qui luật khác với các kết luận trong mục 1:

$$\omega = 0;$$

$$i_u = i_{\text{nm}} = \frac{e_f}{R_{\Sigma}} = \frac{E_{fxl}}{R_{\Sigma}} (1 - e^{-t/T_K}) \quad (3-80)$$

$$M = M_{\text{nm}} = K\Phi i_u = \frac{K\Phi}{R_{\Sigma}} E_{fxl} (1 - e^{-t/T_K}). \quad (3-81)$$

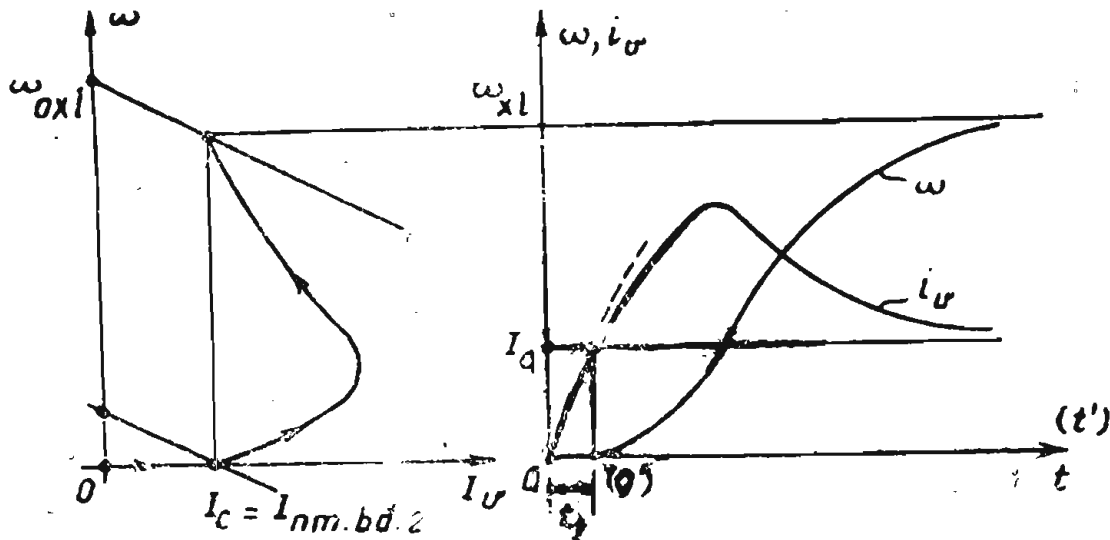
Các biểu thức (3-80) và (3-81) được rút ra bằng cách thay e_f bởi (3-59) và cho $E_{f.bd} = 0$.

Như vậy, trong giai đoạn 1 dòng phần ứng và mômen động cơ tăng theo luật hàm mũ, giống như $e_f(t)$. Có thể xác định được thời gian kết thúc giai đoạn t_1 bằng cách thay $M = M_c$ và $t = t_1$ vào biểu thức (3-81).

Giai đoạn 2 tính từ thời điểm t_1 cho đến khi quá trình đạt được xác lập. Để tính toán, ta dời gốc thời gian về điểm t_1 trên trục hoành (xem hình 3-20), nghĩa là sử dụng biến thời gian

$$t' = t - t_1 \quad (3-82)$$

thay cho biến t trong các biểu thức nêu ở mục 1.



Hình 3-20. Các đặc tính quá độ và quỹ đạo pha của hệ F-D khi khởi động với tải phản kháng.

Tất cả các quan hệ cần khảo sát trong giai đoạn này đều là ứng dụng kết quả trường hợp chung đã xét ở trên.

Điều kiện ban đầu là: khi $t' = 0$

$$\omega_{bd} = 0; \quad I_{nm.bd} = I_c. \quad (3-83)$$

Các giá trị xác lập là:

$$\left. \begin{aligned} \omega_{x1} &= \frac{E_{f.x1}}{K\Phi} - \Delta\omega_c = \frac{K_1 U_k}{R_k K\Phi} - \frac{M_c R_{u\Sigma}}{(K\Phi)^2} \\ I_{nm.x1} &= \frac{E_{f.x1}}{R_{u\Sigma}} \end{aligned} \right\} \quad (3-84)$$

Thay các điều kiện (3-83) và (3-84) với biến t' vào các biểu thức (3-69), (3-75) hoặc (3-75a) ta được các quan hệ $\omega(t)$ và $i_u(t)$. Trên hình 3-20 vẽ dạng các đường cong tốc độ và dòng điện theo thời gian trong cả hai giai đoạn khởi động. Trên hình này cũng dẫn ra các đặc tính cơ cần thiết để minh họa cho điều kiện ban đầu, điều kiện xác lập và quỹ đạo pha của hệ.

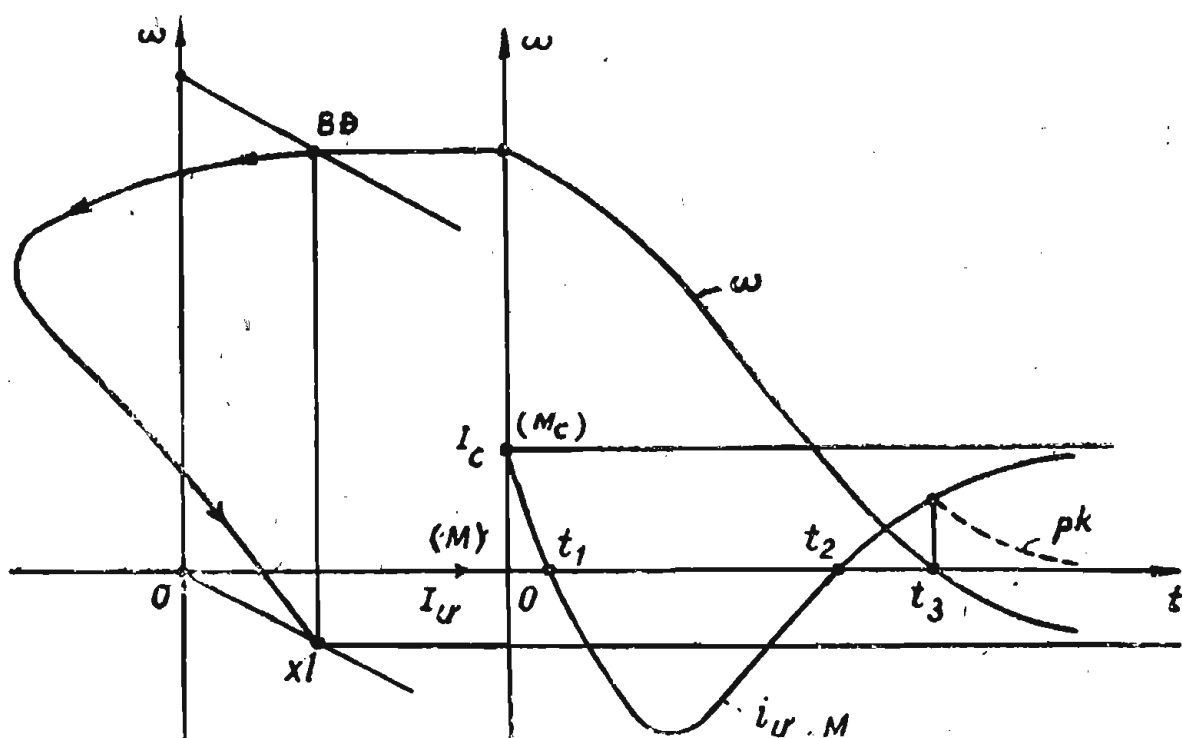
b. Dừng máy. Quá trình dừng máy được thực hiện bằng cách cắt điện mạch kích từ máy phát. Như vậy, giá trị xác lập của sđđ máy phát và tốc độ không tải lí tưởng sẽ là

$$E_{f.x1} = 0; \quad \omega_{0x1} = 0. \quad (3-85)$$

Trong quá trình giảm tốc, mômen phụ tải có tác dụng hãm chuyển động, do đó nó có xu thế làm cho truyền động quay ngược một khi mômen động cơ không còn đủ để duy trì chiều quay cũ. Dựa trên nhận xét này ta xác định được điểm xác lập của hệ sẽ là điểm x_l trên đặc tính hãm động năng [ứng với điều kiện (3-85)] như đã chỉ dẫn trên hình 3-21. Nhận xét đó đúng cả với tải thể năng lẫn tải phản kháng. Tuy nhiên, khi tốc độ truyền động bị triệt tiêu ($\omega = 0$) thì giá trị M_c sẽ phụ thuộc tính chất của tải, và do đó đặc tính quá độ ở giai đoạn cuối cùng sẽ thay đổi tùy thuộc vào loại phụ tải.

— Đối với tải thể năng, điều kiện xác lập sẽ là:

$$\left. \begin{aligned} \omega_{lx} &= -\Delta\omega_c \\ I_{nm.lx} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (3-86)$$



Hình 3-21. Các đặc tính quá độ và quỹ đạo pha của hệ F-Đ khi hãm dừng.

Thay các điều kiện này vào các biểu thức (3-69) và (3-75) ta xác định được quan hệ $\omega(t)$ và $i_r(t)$. Các đường cong này được dựng trên hình 3-21, tương ứng với chúng là quỹ đạo pha được vẽ ở phía bên trái. Chú ý rằng, đường $M(t)$ cũng chính là đường $i_r(t)$ nếu ta nhân trực tung với $K\Phi$. Nhìn vào các đường cong này ta thấy quá trình hãm dừng có thể chia thành bốn giai đoạn:

Giai đoạn 1 từ 0 đến t_1 , ω và M cùng dấu, có nghĩa là động cơ vẫn làm việc ở trạng thái động cơ nhưng vì $M < M_c$, nên hệ giảm tốc do tác dụng của tải.

Giai đoạn 2 từ t_1 đến t_2 , tốc độ và mômen ngược chiều nhau, động cơ làm việc ở trạng thái hãm tái sinh, máy phát chuyển sang làm việc ở trạng thái động cơ, năng lượng được biến đổi ngược để trả về lưới xoay chiều.

Chú ý rằng, ở giai đoạn này, tốc độ động cơ giảm nhanh dưới tác dụng hãm của mômen động cơ và mômen tải. Từ thời điểm t_2 , thì sdd của động cơ đủ nhỏ, và trở nên nhỏ hơn sdd của máy phát: $|E| < |E_f|$. Do đó dòng điện và mômen động cơ đổi chiều, quá trình chuyển sang giai đoạn 3.

Giai đoạn 3, từ t_2 đến t_3 M và ω lại cùng chiều. Động cơ trở về trạng thái động cơ, nhưng $M < M_c$, do đó tốc độ tiếp tục giảm.

Giai đoạn 4, từ t_3 cho đến khi kết thúc quá trình quá độ. Tại t_3 , tốc độ động cơ $\omega = 0$ (và sđđ của động cơ $E = 0$). Nếu không có biện pháp ghìm trực động cơ lại, thì dưới tác dụng của mômen cản thể năng, động cơ sẽ quay ngược và làm việc ở trạng thái hãm ngược, và cuối cùng chuyển sang trạng thái hãm động năng ở điểm xác lập.

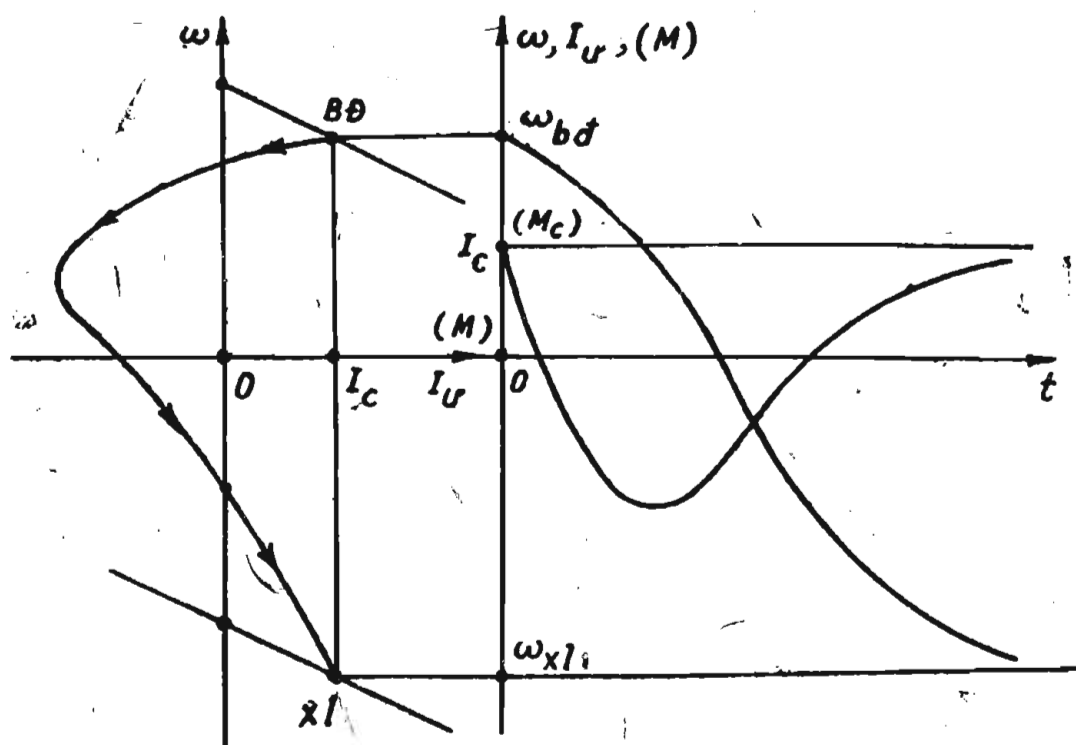
— Đối với tải phản kháng, điều kiện ban đầu và xác lập cũng giống như đối với tải thể năng. Ba giai đoạn đầu, nghĩa là khi tốc độ chưa giảm đến không, diễn biến của quá trình hãm hoàn toàn giống trường hợp tải thể năng.

Tại t_3 , $\omega = 0$ và do đó $M_c = 0$. Khác với trường hợp trên, ở đây động cơ sẽ không quay ngược mà giữ ở trạng thái ngắn mạch. Dòng điện và mômen động cơ được tạo ra do sđđ của máy phát (lúc này e_f đang giảm dần về 0), nên có dạng hàm mũ suy giảm như đoạn nét đứt pk trên hình 3-21.

c) Đảo chiều. Đảo chiều quay động cơ trong hệ F-D được thực hiện bằng cách đổi cực tính điện áp kích từ của máy phát.

Cũng như các trường hợp trên, các đặc tính quá độ của hệ thống phụ thuộc tính chất phụ tải.

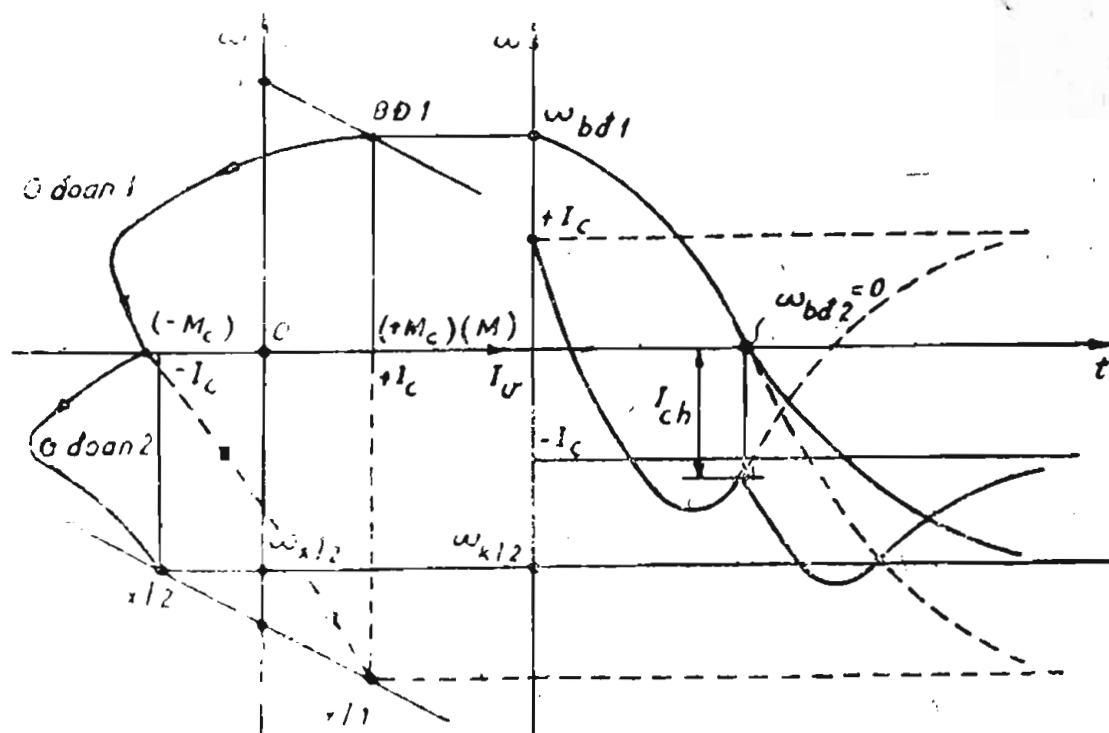
— Khi tải thể năng, quá trình quá độ chỉ có một điều kiện ban đầu (điểm BD trên hình 3-22) và một điều kiện xác lập (điểm xl) duy nhất. Các đặc tính quá độ và quỹ đạo pha của hệ như đã trình bày trên hình 3-22.



Hình 3-22. Các đặc tính quá độ và quỹ đạo pha của hệ thống F-D khi đảo chiều với tải thể năng.

— Khi tải phản kháng, quá trình quá độ đảo chiều được chia thành hai giai đoạn với hai điều kiện đầu và hai điều kiện xác lập khác nhau.

Giai đoạn 1 ứng với $\omega > 0$. Điều kiện ban đầu ứng với điểm BD1 trên đặc tính cơ khi chưa có lệnh đảo chiều. Điều kiện xác lập ứng với điểm x_1 trên đặc tính cơ ở chiều quay ngược khi tải là $+M_c$ (xem hình 3-23) Tuy nhiên, giai đoạn này kết thúc khi $\omega = 0$. Sau đó, động cơ quay ngược, mômen cản đổi chiều, nên điều kiện xác lập thay đổi, và do đó quá trình chuyển sang giai đoạn 2.



Hình 3-23. Các đặc tính quá độ và quỹ đạo pha của hệ thống F-Đ khi đảo chiều với tải phản kháng.

Giai đoạn 2 ứng với $\omega < 0$. Điều kiện ban đầu của nó là

$$\left. \begin{aligned} \omega_{bd2} &= 0 \\ i_{ubd2} &= I_{ch}; M_{bd2} = M_{ch}. \end{aligned} \right\} \quad (3-87)$$

còn điều kiện xác lập thì ứng với điểm x_{l2} (khi tải là $-M_c$).

Các đặc tính quá độ và quỹ đạo pha của hệ thống trong trường hợp này được trình bày trên hình 3-23.

3. Cường bức quá trình quá độ.

Như đã nêu, quá trình quá độ trong hệ F-Đ bao gồm chủ yếu quá trình điện từ trong mạch kích từ của máy phát và quá trình cơ học. Khi công suất máy phát khoảng chục kW trở lên, thì hằng số thời gian điện từ T_K lớn hơn nhiều so với hằng số thời gian cơ học của hệ. Nói cách khác, quán tính điện từ của mạch kích từ máy phát có ảnh hưởng quyết định đến thời gian của các quá trình quá độ. Vì T_K lớn, cỡ hàng sec, nên các hệ F-Đ thường có độ tác động nhanh thấp.

Để giảm thời gian các quá trình quá độ, người ta tiến hành cường bức kích từ nghĩa là rút ngắn thời gian kích từ và khử từ máy phát.

Biểu thức này cho thấy $T'_K < T_K$ (T_K là hằng số thời gian điện từ của bản thân cuộn kích từ). Nếu biết trước thời gian mong muốn của quá trình quá độ ta có thể ước tính hằng số T'_K và sau đó căn cứ (3-93) ta xác định được điện trở cường bức R_{cb} .

Hệ số cường bức α phải xác định sao cho khi xác lập dòng kích từ là $I_{K.xl}$ giống như trường hợp không có cường bức, nghĩa là:

$$I_{K.xl} = \frac{U_k}{R_k} = \frac{U_{dt}}{R_{dt} + R_k}.$$

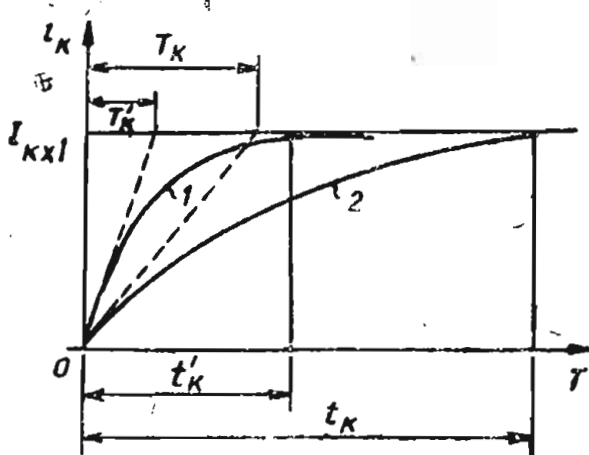
Thay U_{dt} và R_{dt} từ (3-91) và (3-92) vào biểu thức trên và biến đổi ta được:

$$\alpha = 1 + R_{cb} \left(\frac{1}{R_k} + \frac{1}{R_{fg}} \right). \quad (3-94)$$

Từ đó, ta có thể xác định được điện áp nguồn cần thiết:

$$U_k \approx U_k. \quad (3-95)$$

Sử dụng (3-93), (3-95) và (3-88) ta có thể suy ra đường cong $i_K(t)$ khi cường bức kích từ bằng phương pháp này như trên hình 3-26 (đường 1). Để dễ so sánh, trên đó được vẽ cả đường $i_K(t)$ khi không dùng cường bức (đường 2). Hai đường có chung giá trị xác lập $I_{K.xl}$, nhưng khác nhau về hằng số thời gian (T'_K và T_K).



Hình 3-26. Đồ thị $i_K(t)$ khi có cường bức liên tục (đường 1) và khi không dùng cường bức (đường 2).

khi $i_K = I_{K.xl}$. Như vậy, trong quá trình quá độ, điện trở R_{cb} bị nối ngắn mạch do đó:

$$T'_K = \frac{L_k}{R_k} = T_k \quad (3-96)$$

nghĩa là cùng giá trị như khi không dùng cường bức. Giá trị xác lập của dòng kích từ khi tiếp điểm CB đóng sẽ là:

$$I'_{K.xl} = \frac{\alpha U_k}{R_k} = \alpha I_{K.xl}. \quad (3-97)$$

b. Tăng dòng xác lập trong thời gian quá độ. Nội dung của phương pháp này là trong thời gian quá độ, ta đặt một điện áp lớn (điện áp cường bức αU_k) lên cuộn dây kích từ, còn hằng số thời gian điện từ của mạch (T_K) thì được giữ nguyên giống như khi không cường bức. Nhờ đó dòng kích từ tăng nhanh. Khi $i_K \approx I_{K.xl}$ thì ta giảm điện áp trở về trị số tương ứng với $I_{K.xl}$. Vì vậy, người ta còn gọi phương pháp này là cường bức có ngắt.

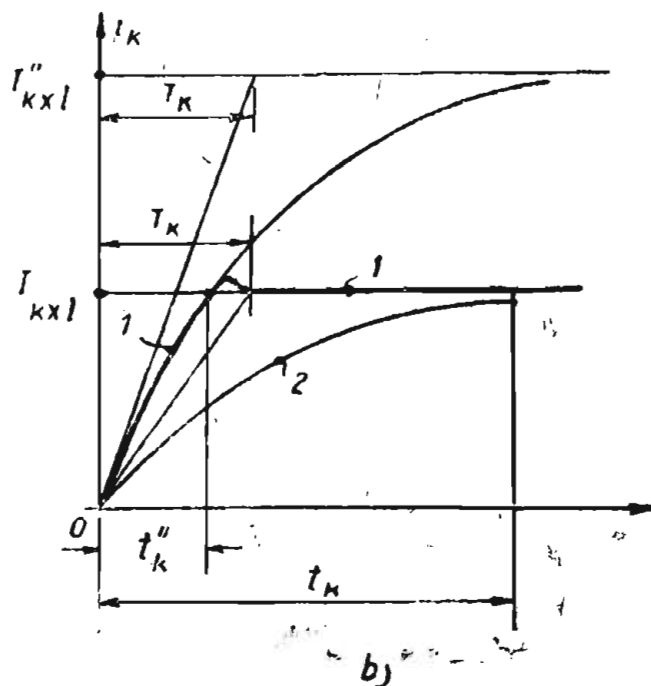
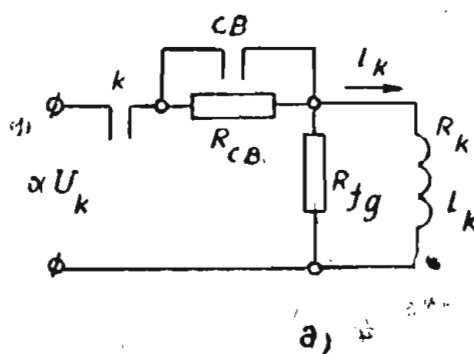
Để thực hiện phương pháp trên, ta dùng sơ đồ hình 3-27a. Tiếp điểm CB đóng trong thời gian quá độ, và mở ra

Đường cong $i_k(t)$ trong trường hợp này có dạng như đường 1 trên hình 3-27b. Để dễ so sánh, trên hình này được vẽ cả đường cong $i_k(t)$ khi không dùng cường bức (đường 2). Hai đường cong có cùng giá trị T_K nhưng khác nhau về giá trị dòng xác lập (I''_{Kx1} và I_{Kx1}).

Quá trình quá độ kích từ kết thúc khi $i_k = I_{Kx1}$. Ta có thể xác định được thời gian này nhờ các biểu thức (3-88) và (3-97) khi thay $t = t''_K$ và $i_k = I_{Kx1}$.

Tại thời điểm t''_K , điện trở R_{cb} được nối vào mạch, dòng kích từ sẽ được duy trì ở giá trị I_{Kx1} .

Việc phân tích trên đây cho thấy rằng, nếu biết trước giá trị yêu cầu của thời gian quá trình quá độ, ta có thể ước tính được t''_K (thời gian kích từ máy phát), rồi sau đó tính ra I''_{Kx1} và hệ số cường bức α . Điện trở cường bức R_{cb} được xác định nhờ biểu thức (3-94) khi coi α đã biết.



Hình 3-27. Sơ đồ mạch kích từ máy phát (a) và quan hệ $i_k(t)$ (b) khi dùng cường bức có ngắt.

§3-5. NGHIÊN CỨU ĐẶC TÍNH ĐỘNG CỦA TRUYỀN ĐỘNG DÙNG ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

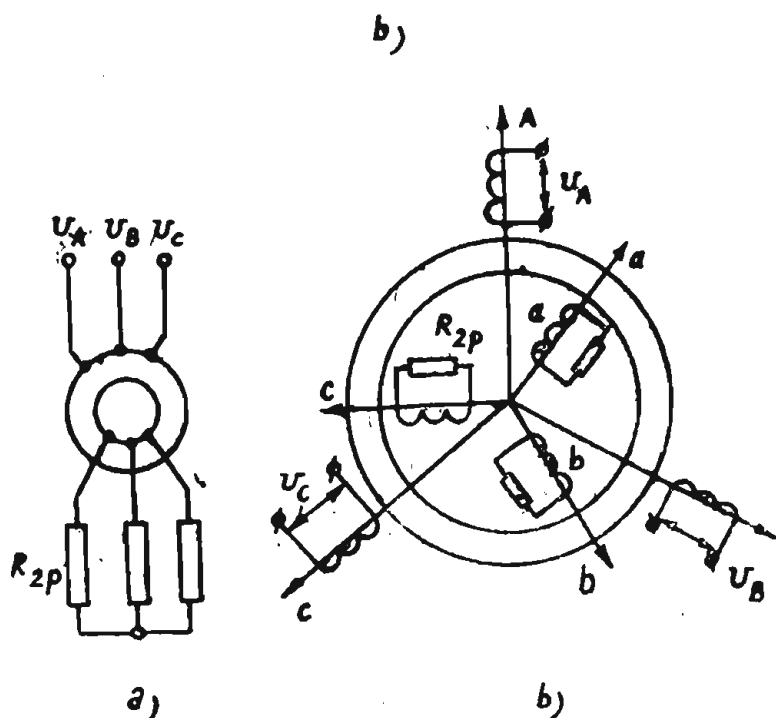
Khi xét quá trình quá độ của truyền động không đồng bộ, thường người ta bỏ qua quán tính điện từ trong động cơ (xem §2-2; §2-6). Tuy nhiên, điều đó có thể dẫn tới những sai số lớn, đặc biệt là sai số về mômen.

Quán tính điện từ của các mạch điện trong động cơ thực tế đã gây ra tính dao động đối với các quá trình quá độ. Do đó, trong nhiều trường hợp, mômen của động cơ có thể đạt đến giá trị rất lớn so với mômen tĩnh (tương ứng với đặc tính cơ tĩnh), gây ra những chấn động không cho phép trong phần cơ của truyền động điện. Điều đó đòi hỏi phải khảo sát cả quá trình quá độ điện từ trong động cơ không đồng bộ.

Để nghiên cứu quá trình quá độ điện cơ của truyền động không đồng bộ, ta lưu ý đến những giả thiết cơ bản đã nêu khi phân tích đặc tính cơ của loại động cơ này (xem chương 2—tập 1). Sơ đồ nối dây của động cơ được vẽ

lại trên hình 3-28a. Giả thiết dây quấn ba pha của máy điện được bố trí tập trung, lệch nhau một góc $2\pi/3$ trong không gian, ta có giản đồ thay thế trên hình 3-28b. Trong đó, điện áp nguồn đặt vào các pha stato được coi là đối xứng:

$$\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = 0 \quad (3-98)$$



Hình 3-28. Sơ đồ nối dây (a) và giản đồ thay thế (b) của động cơ không đồng bộ ba pha.

Giả thiết máy điện có cấu trúc đối xứng, dòng điện và từ thông móc vòng trong các pha cũng có biểu thức tương tự như (3-98).

Căn cứ vào giản đồ hình 3-28b, ta có thể viết các phương trình cân bằng điện áp, xác định từ thông móc vòng qua các cuộn dây pha, viết phương trình của mômen điện từ của động cơ và phương trình chuyển động của truyền động điện, cuối cùng có thể giải hệ phương trình đó trên máy tính để tìm các đặc tính quá độ.

Tuy nhiên, hệ phương trình đó sẽ là phi tuyến và có

rất nhiều biến, nên cách làm trực tiếp như vậy sẽ gặp nhiều khó khăn và thực tế là không giải quyết được.

Do đó, để nghiên cứu quá trình động trong động cơ không đồng bộ, người ta dùng phương pháp suy luận gián tiếp. Trước hết ta thay thế máy điện ba pha (hình 3-28) bằng một máy điện hai pha lý tưởng—gọi là máy điện tổng quát, sau đó viết và biến đổi các phương trình của máy này để tìm quan hệ theo thời gian của các biến thay thế, và cuối cùng dùng một phép tiếp đổi ngược để suy từ các biến thay thế trên máy điện tổng quát về các biến thực của máy ba pha thông thường.

Nhờ phương pháp đó ta tìm được những phương trình vi phân đơn giản hơn, ít biến hơn, thậm chí có thể là phương trình tuyến tính. Do đó, một mặt ta rút ra các hàm truyền đơn giản mô tả tính chất động của động cơ để dùng trong tính toán các hệ truyền động tự động, mặt khác có thể giải trực tiếp các phương trình vi phân để xác định các quan hệ cần tìm.

Trước hết hãy nghiên cứu các quan hệ điện từ và điện cơ trong máy điện tổng quát.

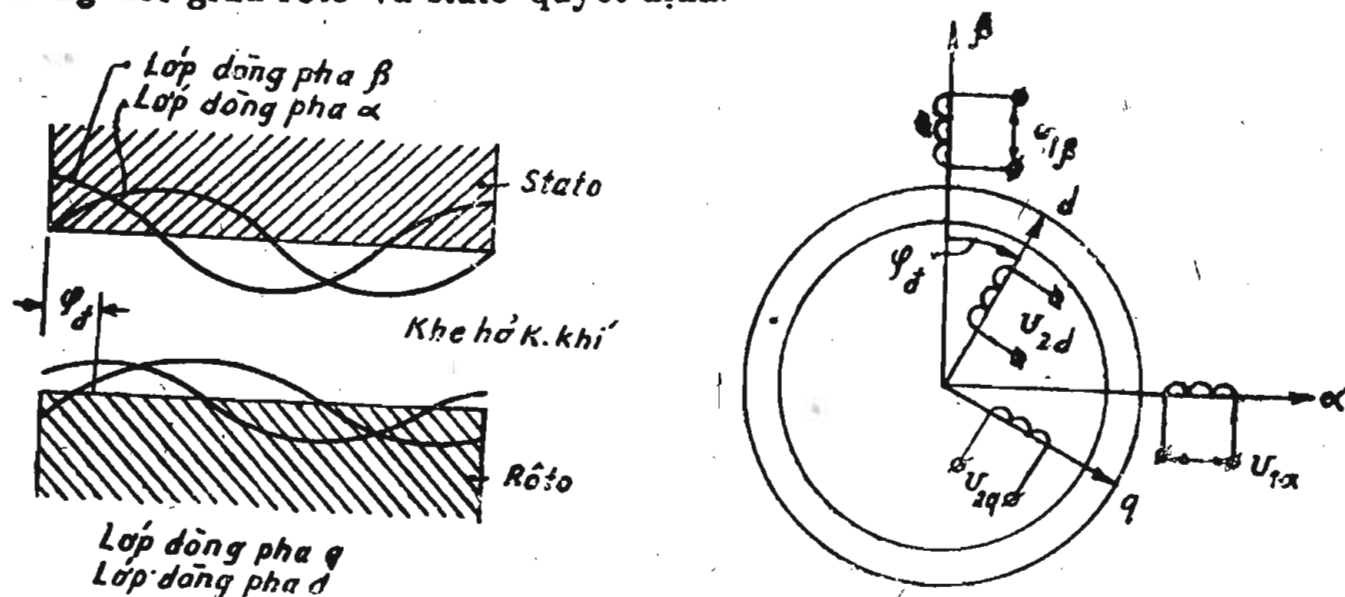
1. Máy điện tổng quát.

Máy điện tổng quát là một mô hình lý tưởng của máy điện xoay chiều hai pha. Trong lý thuyết truyền động điện người ta dùng nó để thay cho các loại máy điện thường gặp (kể cả máy điện một chiều) khi phân tích những quan hệ điện từ và điện cơ.

Qua máy này ta có thể viết được các phương trình tổng quát với số lượng ít và đơn giản hơn, làm giảm nhẹ việc phân tích. Điều đó có ý nghĩa quyết định đối với việc nghiên cứu động học của động cơ không đồng bộ.

Hãy tưởng tượng máy điện tổng quát như một máy xoay chiều hai pha. Ở mỗi phía (stato hoặc rôto) các pha đổ lệch nhau một góc 90° . Dây quấn các pha được phân bố đều đến mức, khi nối chúng vào nguồn thì sẽ tạo ra trên bề mặt stato và rôto những «lớp dòng» hình sin lệch nhau 90° . Những lớp dòng hình sin đó sẽ tạo ra từ thông hình sin trong không gian. Như vậy trong máy không tồn tại các sóng hài bậc cao của từ không.

Máy điện tổng quát cũng có loại cực lồi và loại cực ẩn. Để cho đơn giản, ở đây ta chỉ xét loại cực ẩn. Giản đồ khai triển của máy cực ẩn được vẽ trên hình 3-29a. Hai lớp dòng stato tương ứng với hai pha dây quấn stato là hai đường hình sin lệch nhau 90° . Ở rôto cũng có cảnh tượng tương tự như vậy. Giữa stato và rôto các lớp dòng từng đôi một lệch nhau một góc φ_d do vị trí tương đối giữa rôto và stato quyết định.



Hình 3-29. Giản đồ khai triển (a) và giản đồ thay thế (b) của máy điện tổng quát.

Để dễ hình dung, ta biểu diễn dây quấn các pha ở dạng tập trung như trên hình 3-29b. Trường hợp tổng quát nhất, các pha stato và rôto đều được cung cấp từ những nguồn tương ứng $U_{1\alpha}$, $U_{1\beta}$, U_{2d} , U_{2q} . Các trục của cuộn dây các pha stato (và rôto) lệch nhau 90° điện, còn trục của các cuộn dây rôto và stato từng đôi một lệch nhau một góc φ_d . Trên hình vẽ này ta dùng các chỉ số «1» để ký hiệu cho stato, số «2» cho rôto, các chữ α , β , d , q để ký hiệu trục của các cuộn dây tương ứng. Ví dụ $u_{1\alpha}$ — điện áp đặt vào cuộn dây stato nằm trên trục α ; i_{2q} — dòng điện trong cuộn dây rôto nằm trên trục q . Ta có thể dùng ký hiệu tương tự như vậy cho từ thông móc vòng trong các cuộn dây (Ψ), hệ số tự cảm và hồ cảm L , v.v...

Từ hình 3-29b ta thấy hệ trục tọa độ trục giao α, β được gắn cứng với stato nên đứng yên trong không gian, còn hệ trục d, q được gắn cứng với rôto nên bất động so với rôto nhưng lại chuyển động với tốc độ ω_d so với dây quấn stato. Tốc độ quay của nó được xác định:

$$\omega_d = p_{\alpha 1} \omega, \quad (3-99)$$

trong đó ω — tốc độ không gian của roto, ω_d — tốc độ điện của dây quấn roto, p_{ct} — số đôi cực từ của stato.

Động học của máy điện tổng quát được mô tả nhờ hệ phương trình cân bằng điện áp viết cho các mạch vòng và các phương trình mômen. Từ hình 3-29b ta viết được các phương trình Kierchoff:

$$\left. \begin{aligned} U_{1\alpha} &= R_1 i_{1\alpha} + p \Psi_{1\alpha} \\ U_{1\beta} &= R_1 i_{1\beta} + p \Psi_{1\beta} \\ U_{2d} &= R_2 i_{2d} + p \Psi_{2d} \\ U_{2q} &= R_2 i_{2q} + p \Psi_{2q} \end{aligned} \right\} \quad (3-100)$$

trong đó, R_1 — điện trở của cuộn dây stato; R_2 — điện trở của cuộn dây roto; $p = d/dt$ — toán tử Laplace.

Để cho đơn giản ta viết một cách tổng quát hệ phương trình trên bằng một phương trình

$$U_i = R_i i_i + p \Psi_i, \quad (3-100a)$$

trong đó, i lần lượt thay cho $1\alpha, 1\beta, 2d$, hoặc $2q$.

Từ thông móc vòng Ψ_i của mỗi cuộn dây bằng tổng từ thông do tự cảm và hồ cảm với các cuộn còn lại:

$$\left. \begin{aligned} \Psi_{1\alpha} &= L_{1\alpha,1\alpha} i_{1\alpha} + L_{1\alpha,1\beta} i_{1\beta} + L_{1\alpha,2d} i_{2d} + L_{1\alpha,2q} i_{2q} \\ \Psi_{1\beta} &= L_{1\beta,1\alpha} i_{1\alpha} + L_{1\beta,1\beta} i_{1\beta} + L_{1\beta,2d} i_{2d} + L_{1\beta,2q} i_{2q} \\ \Psi_{2d} &= L_{2d,1\alpha} i_{1\alpha} + L_{2d,1\beta} i_{1\beta} + L_{2d,2d} i_{2d} + L_{2d,2q} i_{2q} \\ \Psi_{2q} &= L_{2q,1\alpha} i_{1\alpha} + L_{2q,1\beta} i_{1\beta} + L_{2q,2d} i_{2d} + L_{2q,2q} i_{2q} \end{aligned} \right\} \quad (3-101)$$

trong đó, $L_{1\alpha,1\alpha}, L_{1\beta,1\beta}, L_{2d,2d}, L_{2q,2q}$ — hệ số tự cảm của các cuộn dây $1\alpha, 1\beta, 2d, 2q$; các đại lượng còn lại đều là hệ số hồ cảm giữa cuộn này và cuộn khác.

Các đẳng thức trên được viết tổng quát thành

$$\Psi_i = \sum_{j=1\alpha}^{j=2q} L_{ij} i_j \quad (3-101a)$$

trong đó i và j thay cho ký hiệu $1\alpha, 1\beta, 2d, 2q$. Ví dụ, trong đẳng thức thứ nhất của (3-101), $i = 1\alpha$, còn j lần lượt bằng $1\alpha, 1\beta, 2d, 2q$; ở đẳng thức thứ hai thì $i = 1\beta, j = 1\alpha, 2d, 2q$, v.v...

Các hệ số tự cảm đều không đổi khi máy điện làm việc:

$$\left. \begin{aligned} L_{1\alpha,1\alpha} &= L_{1\beta,1\beta} = L_1 = \text{const} \\ L_{2d,2d} &= L_{2q,2q} = L_2 = \text{const} \end{aligned} \right\} \quad (3-102)$$

Hệ số hồ cảm giữa các cuộn stato với nhau và giữa các cuộn roto với nhau đều bằng không vì trục của chúng thẳng góc với nhau:

$$\left. \begin{aligned} L_{1\alpha,1\beta} &= L_{1\beta,1\alpha} = 0 \\ L_{2d,2q} &= L_{2q,2d} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (3-103)$$

Hệ số hồ cảm giữa cuộn dây stato và cuộn dây roto thì phụ thuộc góc quay của roto. Khi máy điện làm việc, vị trí tương đối của chúng thay đổi do

đó hồ cảm thay đổi. Chu kỳ biến đổi của các hệ số hồ cảm này là $\varphi 2_d = \pi$. (Góc điện $\varphi_d = p_{ct}\varphi$). Hồ cảm đạt trị số cực đại L_{12} khi trục của hai cuộn dây trùng nhau, sau đó giảm dần theo $\cos\varphi_d$. Ta có :

$$\left. \begin{aligned} L_{1\alpha, 2d} &= L_{2d, 1\alpha} = L_{12}\cos\varphi_d \\ L_{1\alpha, 2n} &= L_{2q, 1\alpha} = L_{12}\cos(\varphi_d + 90^\circ) = -L_{12}\cos\varphi_d \\ L_{1\beta, 2q} &= L_{2q, 1\beta} = L_{12}\cos\varphi_d \\ L_{1\beta, 2d} &= L_{2d, 1\beta} = L_{12}\sin\varphi_d \end{aligned} \right\} \quad (3-104)$$

Thay các biểu thức (3-102) ÷ (3-104) vào (3-101) ta được :

$$\left. \begin{aligned} \psi_{1\alpha} &= L_{11}i_{1\alpha} + L_{12}\cos\varphi_d i_{2d} - L_{12}\sin\varphi_d i_{2q} \\ \psi_{1\beta} &= L_{11}i_{1\beta} + L_{12}\sin\varphi_d i_{2d} + L_{12}\cos\varphi_d i_{2q} \\ \psi_{2d} &= L_{21}i_{1\alpha} + L_{12}\cos\varphi_d i_{1\alpha} + L_{12}\sin\varphi_d i_{1\beta} \\ \psi_{2q} &= L_{21}i_{1\beta} - L_{12}\sin\varphi_d i_{1\alpha} + L_{12}\cos\varphi_d i_{1\beta} \end{aligned} \right\} \quad (3-105)$$

Sử dụng các hệ thức (3-105), ta có thể viết lại các phương trình cân bằng điện áp (3-100) ở dạng cụ thể. Tuy nhiên ở đây không cần biểu diễn cụ thể như vậy, mà chỉ cần lưu ý phương trình tổng quát (3-100a).

Thay (3-101a) vào (3-100a) ta có :

$$U_i = R_i i_i + p \sum_{j=1\alpha}^{j=2q} L_{ij} i_j \quad (3-106)$$

hoặc biểu thị theo dạng phương trình vi phân :

$$U_i = R_i i_i + \frac{d}{dt} \sum_{j=1\alpha}^{j=2q} L_{ij} i_j = R_i i_i + \sum_{j=1\alpha}^{j=2q} L_{ij} \frac{di_j}{dt} + \sum_{j=1\alpha}^{j=2q} \frac{\partial L_{ij}}{\partial \varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial t} i_j$$

vi $\frac{\partial \varphi}{\partial t}$ – tốc độ của roto, nên :

$$U_i = R_i i_i + \sum_{j=1\alpha}^{j=2q} L_{ij} \frac{di_j}{dt} + \omega \sum_{j=1\alpha}^{j=2q} \frac{\partial L_{ij}}{\partial \varphi} i_j \quad (3-107)$$

Mômen điện từ theo lý thuyết máy điện bằng đạo hàm riêng theo góc φ của tổng dự trữ năng lượng điện từ trong các cuộn dây của máy điện, nghĩa là

$$M = \frac{\partial}{\partial \varphi} \left[\frac{1}{2} \sum_{i=1\alpha}^{i=2q} i_i \psi_i \right] = \frac{1}{2} \sum_{i=1\alpha}^{i=2q} i_i \frac{\partial \psi_i}{\partial \varphi} \quad (3-108)$$

Thay ψ_i từ (3-101a) vào biểu thức trên ta được :

$$M = \frac{1}{2} \sum_{i=1\alpha}^{i=2q} i_i \sum_{j=1\alpha}^{j=2q} \frac{\partial L_{ij}}{\partial \varphi} i_j \quad (3-109)$$

Thay giá trị góc không gian theo góc điện : $\varphi = \frac{1}{p_{ct}} \varphi_d$, ta được

$$M = \frac{1}{2} p_{ct} \sum_{i=1\alpha}^{i=2q} i_i \sum_{j=1\alpha}^{j=2q} \frac{\partial L_{ij}}{\partial \varphi_d} i_j \quad (3-109a)$$

Nếu viết biểu thức này ở dạng khai triển cho máy cực ần, rồi thay L_{ij} theo (3-102) ÷ (3-104) ta được:

$$M = p_{ct} L_{12} [(i_{1\beta} i_{2d} - i_{1\alpha} i_{2q}) \cos \varphi_d - (i_{1\beta} i_{2q} + i_{1\alpha} i_{2d}) \sin \varphi_d]. \quad (3-110)$$

Cuối cùng, kết hợp các phương trình cân bằng điện áp (3-106), phương trình mômen (3-109) và phương trình chuyển động ta được hệ thống (3-111) mô tả động học của truyền động điện:

$$\left. \begin{aligned} U_i &= R_i i_i + \sum_{j=1\alpha}^{j=2q} L_{ij} \frac{di_j}{dt} + \omega \sum_{j=1\alpha}^{j=2q} \frac{\partial L_{ij}}{\partial \varphi} i_j \\ M &= \frac{1}{2} \sum_{i=1\alpha}^{i=2q} i_i \sum_{j=1\alpha}^{j=2q} \frac{\partial L_{ij}}{\partial \varphi} i_j \\ M - M_c &= J \frac{d\omega}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (3-111)$$

2. Biến đổi hệ trục tọa độ

Hệ phương trình (3-111) được viết theo các biến thực, tức là các dòng điện, điện áp, hệ số cảm từ của các cuộn dây. Cách viết như vậy cho phép ta quan sát trực tiếp các đại lượng vật lý trong hệ, tuy nhiên các phương trình trên đều là phi tuyến do các tích $i_i i_j$ và các hệ số biến thiên $L_{ij}(\varphi)$ gây ra. Vì vậy việc giải các phương trình này hết sức khó khăn, ngay cả khi dùng máy tính điện tử.

Để đơn giản hóa hệ phương trình (3-111), ta sử dụng một hệ trục tọa độ $[u, v]$ chung cho cả stato và roto, quay trong không gian với tốc độ ω_1 nào đó, để thay cho hệ trục α, β và d, q . Một biến thực nào đó, ví dụ điện áp u , dòng điện i hoặc từ thông móc vòng ψ được coi là vector tổng hợp của hai cuộn dây stato hoặc hai cuộn dây roto. Các giá trị tương ứng của biến này trong một cuộn dây nào đó khi dùng hệ tọa độ cũ (α, β, d, q) sẽ là hình chiếu của vector tổng hợp đó trên các trục tương ứng. Nếu dùng hệ tọa độ $[u, v]$, ta chiếu vector tổng lên hai trục này, sẽ xác định được các thành phần tương ứng. Để cho đơn giản ta dùng vector $\dot{X}_1$ (hoặc $\dot{X}_2$) để biểu thị cho các biến cần xét ($\dot{U}, \dot{I}, \dot{\psi}$). Chỉ số « 1 » dùng để chỉ vector của các cuộn dây stato, chỉ số « 2 » — roto.

Hình 3-30 minh họa việc xác định các thành phần của biến X_1 trên hệ trục tọa độ cũ α, β và trên hệ trục mới u, v . Thành phần x_{1u} chính là tổng hình chiếu của $x_{1\alpha}$ và $x_{1\beta}$ trên trục u , còn x_{1v} là tổng hình chiếu của $x_{1\alpha}$ và $x_{1\beta}$ trên trục v . Chú ý rằng $x_{1\alpha}, x_{1\beta}$ là những biến thực chứa trong cuộn dây stato α và β (ví dụ $u_{1\alpha}, u_{1\beta}$ hoặc $i_{1\alpha}, i_{1\beta}$ hoặc $\psi_{1\alpha}, \psi_{1\beta}$). Các biến x_{1u}, x_{1v} là những đại lượng qui đổi dùng để tính toán cho đơn giản. Như vậy, ta đã sử dụng các đại lượng x_{1u}, x_{1v} đẳng trị với $x_{1\alpha}, x_{1\beta}$ trong tính toán. Điều kiện đẳng trị phải là công suất không đổi. Ta sẽ kiểm nghiệm điều kiện này sau khi tìm được công thức qui đổi từ $x_{1\alpha}, x_{1\beta}$ sang x_{1u}, x_{1v} .

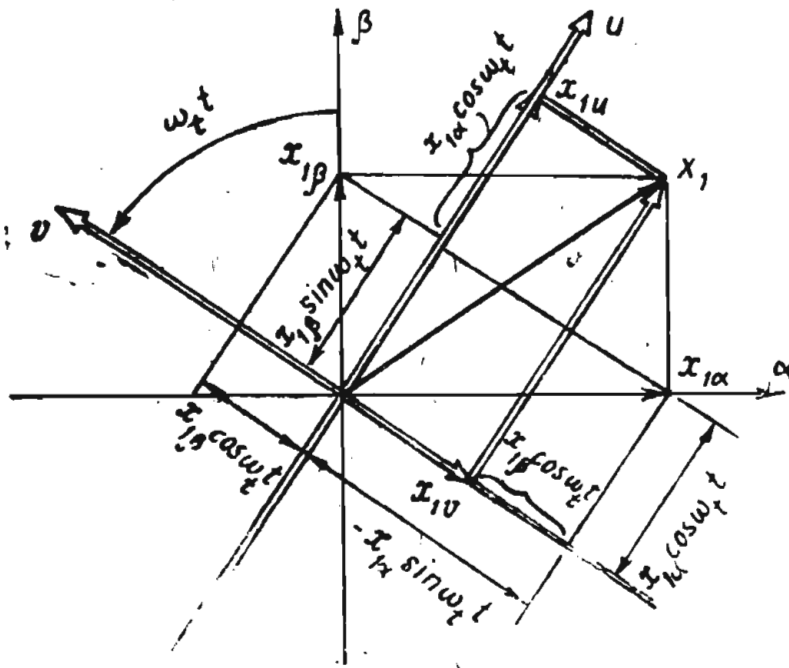
Từ đồ thị vector trên hình 3-30 ta thấy ngay rằng:

$$\left. \begin{aligned} x_{1u} &= x_{1\alpha} \cos \omega_1 t + x_{1\beta} \sin \omega_1 t \\ x_{1v} &= -x_{1\alpha} \sin \omega_1 t + x_{1\beta} \cos \omega_1 t \end{aligned} \right\} \quad (3-112)$$

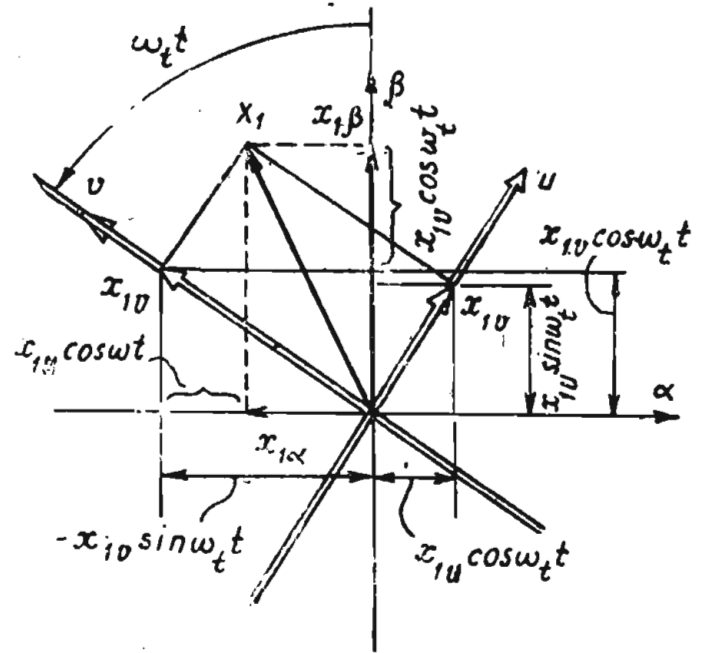
Tương tự như vậy, vẽ vector $\dot{X}_2$ biểu thị cho một biến nào đó của hai cuộn dây rotor, chiếu nó lên các trục d, q, và u, v ta được:

$$\left. \begin{aligned} x_{2u} &= x_{2d} \cos(\omega_1 t - \varphi_d) + x_{2q} \sin(\omega_1 t - \varphi_d); \\ x_{2v} &= -x_{2d} \sin(\omega_1 t - \varphi_d) + x_{2q} \cos(\omega_1 t - \varphi_d). \end{aligned} \right\} \quad (3-112a)$$

Những công thức này cho phép ta dựa vào các biến của dây quấn $x_{1\alpha}$, $x_{1\beta}$ hoặc x_{2d} , x_{2q} để xác định biến qui đổi đẳng trị x_{1u} , x_{1v} hoặc x_{2u} , x_{2v} mà không cần biết vector tổng $\dot{X}_1$ hoặc $\dot{X}_2$.



Hình 3-30. Minh họa cho phép qui đổi từ hệ trục α , β về hệ trục u , v .



Hình 3-31. Phép đổi ngược từ hệ trục u , v về hệ trục α , β .

Ngược lại, khi biết các biến x_{1u} , x_{1v} hoặc x_{2u} , x_{2v} ta cũng có thể xác định được các biến thực $x_{1\alpha}$, $x_{1\beta}$ hoặc x_{2d} , x_{2q} bằng một phép suy luận ngược. Hình 3-31 minh họa cho trường hợp này. Giả sử ta có vector $\dot{X}_1$ biểu thị cho một biến tổng hợp nào đó trong hai cuộn dây stato. Hình chiếu của nó trên các trục u , v là x_{1u} và x_{1v} . Tổng các hình chiếu của x_{1u} và x_{1v} trên trục β chính là $x_{1\beta}$, còn tổng các hình chiếu của x_{1u} và x_{1v} trên trục α sẽ là $x_{1\alpha}$. Nghĩa là:

$$\left. \begin{aligned} x_{1\alpha} &= x_{1u} \cos \omega_1 t - x_{1v} \sin \omega_1 t \\ x_{1\beta} &= x_{1u} \sin \omega_1 t + x_{1v} \cos \omega_1 t. \end{aligned} \right\} \quad (3-113)$$

Tương tự ta có thể tìm được các công thức xác định x_{2d} , x_{2q} khi biết x_{2u} và x_{2v} :

$$\left. \begin{aligned} x_{2d} &= x_{2u} \cos(\omega_1 t - \varphi_d) - x_{2v} \sin(\omega_1 t - \varphi_d) \\ x_{2q} &= x_{2u} \sin(\omega_1 t - \varphi_d) + x_{2v} \cos(\omega_1 t - \varphi_d) \end{aligned} \right\} \quad (3-113)$$

Khi dùng biến qui đổi ứng với hệ trục u, v, ta có thể viết lại các phương trình cân bằng điện áp của máy điện và phương trình mômen. Thay (3-113) vào hai phương trình đầu của (3-100) ta được:

$$U_{1u}\cos\omega_1 t - U_{1v}\sin\omega_1 t = R_1(i_{1u}\cos\omega_1 t - i_{1v}\sin\omega_1 t) + \frac{d}{dt}(\Psi_{1u}\cos\omega_1 t - \Psi_{1v}\sin\omega_1 t) \quad (3-114)$$

$$\left. \begin{aligned} U_{1u}\sin\omega_1 t + U_{1v}\cos\omega_1 t &= R_1(i_{1u}\sin\omega_1 t + i_{1v}\cos\omega_1 t) + \\ &+ \frac{d}{dt}(\Psi_{1u}\sin\omega_1 t + \Psi_{1v}\cos\omega_1 t). \end{aligned} \right\} \quad (3-115)$$

Lấy đạo hàm các hàm số lượng giác trong (3-114) và (3-115) ta có:

$$\left. \begin{aligned} U_{1u}\cos\omega_1 t - U_{1v}\sin\omega_1 t &= R_1(i_{1u}\cos\omega_1 t - i_{1v}\sin\omega_1 t) + \frac{d\Psi_{1u}}{dt}\cos\omega_1 t - \\ &- \Psi_{1u}\omega_1\sin\omega_1 t - \frac{d\Psi_{1v}}{dt}\sin\omega_1 t - \Psi_{1v}\omega_1\cos\omega_1 t \end{aligned} \right\} \quad (3-116)$$

$$\left. \begin{aligned} U_{1u}\sin\omega_1 t + U_{1v}\cos\omega_1 t &= R_1(i_{1u}\sin\omega_1 t + i_{1v}\cos\omega_1 t) + \frac{d\Psi_{1u}}{dt}\sin\omega_1 t + \\ &+ \Psi_{1u}\omega_1\cos\omega_1 t + \frac{d\Psi_{1v}}{dt}\cos\omega_1 t - \Psi_{1v}\omega_1\sin\omega_1 t. \end{aligned} \right\} \quad (3-117)$$

Nhân phương trình (3-116) với $\cos\omega_1 t$ và phương trình (3-117) với $\sin\omega_1 t$ rồi cộng kết quả với nhau ta được:

$$U_{1u} = R_1 i_{1u} + \frac{d\Psi_{1u}}{dt} - \omega_1 \Psi_{1v}. \quad (3-118)$$

Nếu nhân (3-116) với $-\sin\omega_1 t$ và (3-117) với $\cos\omega_1 t$ rồi cộng kết quả lại thì ta có:

$$U_{1v} = R_1 i_{1v} + \frac{d\Psi_{1v}}{dt} + \omega_1 \Psi_{1u}. \quad (3-118a)$$

Bằng cách tương tự, thay (3-113a) vào hai phương trình sau của (3-100) lấy đạo hàm và biến đổi các đẳng thức, ta được hai phương trình cân bằng điện áp của mạch roto viết theo hệ trục u, v.

Kết quả ta có 4 phương trình sau đây:

$$\left. \begin{aligned} U_{1u} &= R_1 i_{1u} + p\Psi_{1u} - \omega_1 \Psi_{1v}, \\ U_{1v} &= R_1 i_{1v} + p\Psi_{1v} + \omega_1 \Psi_{1u}; \\ U_{2u} &= R_2 i_{2u} + p\Psi_{2u} - (\omega_1 - \omega_d)\Psi_{2v}; \\ U_{2v} &= R_2 i_{2v} + p\Psi_{2v} + (\omega_1 - \omega_d)\Psi_{2u}, \end{aligned} \right\} \quad (3-119)$$

trong đó $p = d/dt$.

Cũng sử dụng các phương trình (3-113) và (3-113a) viết cho từ thông móc vòng, rồi thay vào (3-105), sau đó thực hiện phép biến đổi trung gian bằng cách nhân các phương trình với $\cos\omega_1 t$ hoặc $\sin\omega_1 t$ tương tự như khi rút phương trình (3-118) ta được:

$$\left. \begin{aligned} \Psi_{1u} &= L_{11}i_{1u} + L_{12}i_{2u} \\ \Psi_{1v} &= L_{11}i_{1v} + L_{12}i_{2v}, \\ \Psi_{2u} &= L_{21}i_{2u} + L_{22}i_{1u} \\ \Psi_{2v} &= L_{21}i_{2v} + L_{22}i_{1v}, \end{aligned} \right\} \quad (3-120)$$

Thay (3-120) vào (3-149) ta được hệ phương trình sau đây:

$$\left. \begin{aligned} u_{1u} &= (R_1 + pL_1) i_{1u} + pL_{12}i_{2u} - L_1\omega_1 i_{1v} - L_{12}\omega_1 i_{2v} \\ u_{1v} &= (R_1 + pL_1) i_{1v} + pL_{12}i_{2v} + L_1\omega_1 i_{1u} + L_{12}\omega_1 i_{2u} \\ u_{2u} &= (R_2 + pL_2) i_{2u} + pL_{12}i_{1u} - L_{12}(\omega_1 - \omega_d) i_{1v} - L_2(\omega_1 - \omega_d) i_{2v} \\ u_{2v} &= (R_2 + pL_2) i_{2v} + pL_{12}i_{1v} + L_{12}(\omega_1 - \omega_d) i_{1u} + L_2(\omega_1 - \omega_d) i_{2u} \end{aligned} \right\} \quad (3-121)$$

Như trên đã nêu, điều kiện qui đổi các biến thực ứng với các trục dây quấn α, β, d, q về các biến đẳng trị trong hệ trục u, v là công suất truyền tải trong máy điện không đổi. Đến đây ta có thể kiểm tra điều kiện đó. Đối với máy điện không đồng bộ $u_{2d} = u_{2q} = 0$, nên công suất do nguồn điện chuyển vào stato là:

$$\delta_1 = u_{1\alpha} i_{1\alpha} + u_{1\beta} i_{1\beta}. \quad (3-122)$$

Thay các biến $u_{1\alpha}, u_{1\beta}, i_{1\alpha}, i_{1\beta}$ theo công thức (3-113) ta được

$$\begin{aligned} S_1 &= (u_{1u} \cos\omega_1 t - u_{1v} \sin\omega_1 t) (i_{1u} \cos\omega_1 t - i_{1v} \sin\omega_1 t) + (u_{1u} \sin\omega_1 t + u_{1v} \cos\omega_1 t) \\ &\quad (i_{1u} \sin\omega_1 t + i_{1v} \cos\omega_1 t) = u_{1u} i_{1u} (\cos^2\omega_1 t + \sin^2\omega_1 t) + \\ &\quad + u_{1v} i_{1v} (\cos^2\omega_1 t + \sin^2\omega_1 t) = u_{1u} i_{1u} + u_{1v} i_{1v}. \end{aligned} \quad (3-123)$$

So sánh (3-122) với (3-123) ta thấy điều kiện bảo toàn công suất đã được thỏa mãn.

Ta có thể viết phương trình mômen theo các biến qui đổi bằng cách thay quan hệ (3-113) và (3-113a) vào (3-110):

$$\begin{aligned} M &= p_{ct} L_{12} \cos\varphi_d \{ (i_{1u} \sin\omega_1 t + i_{1v} \cos\omega_1 t) [i_{2u} \cos(\omega_1 t - \varphi_d) - i_{2v} \sin(\omega_1 t - \varphi_d)] - \\ &\quad - (i_{1u} \cos\omega_1 t - i_{1v} \sin\omega_1 t) [i_{2u} \sin(\omega_1 t - \varphi_d) + i_{2v} \cos(\omega_1 t - \varphi_d)] \} - \\ &\quad - p_{ict} L_{12} \sin\varphi_d \{ (i_{1u} \sin\omega_1 t + i_{1v} \cos\omega_1 t) [i_{2u} \sin(\omega_1 t - \varphi_d) + i_{2v} \cos(\omega_1 t - \varphi_d)] + \\ &\quad + (i_{1u} \cos\omega_1 t - i_{1v} \sin\omega_1 t) [i_{2u} \cos(\omega_1 t - \varphi_d) - i_{2v} \sin(\omega_1 t - \varphi_d)] \} = \\ &= p_{ct} L_{12} (i_{1v} i_{2u} - i_{1u} i_{2v}). \end{aligned} \quad (3-124)$$

Hệ thống phương trình tương đương với (3-111) gồm (3-119), (3-124) và phương trình chuyển động. mô tả quá trình động của truyền động điện thông qua các biến qui đổi. Tuy nhiên, ở hệ này nhờ việc sử dụng hệ trục u, v chung cho cả stato và roto, nên các phương trình trở nên đơn giản hơn. Về ý nghĩa vật lý, khi dùng hệ trục này ta đã coi các cuộn dây roto và stato cùng quay với một tốc độ, nên các hệ số biến đổi chu kỳ không còn nữa.

Chú ý rằng, trường hợp này máy điện không sinh công cơ học vì không có chuyển động tương đối giữa cuộn dây stato và roto. Công cơ học đó đã được qui đổi về điện do thành phần số phụ đưa vào mạch roto:

$$\left. \begin{aligned} e_{2u} &= \omega_d \psi_{2v} \\ e_{2v} &= -\omega_d \psi_{2u} \end{aligned} \right\} \quad (3-125)$$

Đó là các số hạng thứ 3 trong phương trình cân bằng điện áp mạch roto (3-119).

Mặc dù đã được đơn giản hóa, hệ phương trình (3-119) và (3-124) vẫn là phi tuyến nên thực tế việc nghiên cứu quá trình động dựa vào chúng vẫn rất khó thực hiện.

Để đơn giản hơn nữa, người ta dùng biến phức để biểu thị các đại lượng điện. Ta coi trục u là trục thực, trục v là trục ảo. Khi đó, một vector tổng hợp X nào đó sẽ được viết là:

$$\left. \begin{aligned} \bar{X}_1 &= x_{1u} + jx_{1v} \\ \bar{X}_2 &= x_{2u} + jx_{2v} \end{aligned} \right\} \quad (3-126)$$

Nếu nhân phương trình thứ hai của (3-119) với j , rồi cộng từng vế với phương trình thứ nhất, sau đó dùng (3-126) để biến đổi kết quả nhận được, ta có:

$$\bar{u}_1 = u_{1u} + ju_{1v} = R_1 \bar{i}_1 + p \bar{\psi}_1 + j\omega_l \bar{\psi}_1.$$

Biến đổi tương tự như vậy cho tất cả các phương trình (3-119) và (3-124) ta được:

$$\left. \begin{aligned} \bar{u}_1 &= R_1 \bar{i}_1 + p \bar{\psi}_1 + j\omega_l \bar{\psi}_1 \\ \bar{u}_2 &= R_2 \bar{i}_2 + p \bar{\psi}_2 + j(\omega_l - \omega_d) \bar{\psi}_2 \\ M &= p_{ct} L_{12} I_m (\bar{i}_1 \times \bar{i}_2^*) \end{aligned} \right\} \quad (3-127)$$

trong đó $\bar{i}_2^*$ - biểu thức phức liên hợp của $\bar{i}_2$.

Cũng biến đổi tương tự như trên cho hệ (3-120) ta có

$$\left. \begin{aligned} \bar{\psi}_1 &= \psi_{1u} + j\psi_{1v} = L_1 \bar{i}_1 + L_{12} \bar{i}_2 \\ \bar{\psi}_2 &= L_2 \bar{i}_2 + L_{12} \bar{i}_1 \end{aligned} \right\} \quad (3-128)$$

Thay (3-128) vào (3-127) ta được hệ phương trình động học sau đây:

$$\left. \begin{aligned} \bar{u}_1 &= R_1 \bar{i}_1 + (p + j\omega_l) (L_1 \bar{i}_1 + L_{12} \bar{i}_2) \\ \bar{u}_2 &= R_2 \bar{i}_2 + [p + j(\omega_l - \omega_d)] (L_2 \bar{i}_2 + L_{12} \bar{i}_1) \\ M &= p_{ct} L_{12} I_m (\bar{i}_1 \times \bar{i}_2^*) \end{aligned} \right\} \quad (3-129)$$

Nếu coi tốc độ điện $\omega_d = \text{const}$ thì hai phương trình đầu là tuyến tính nên có thể giải chúng để tìm các quan hệ $i_1(t)$ và $i_2(t)$, từ đó xác định được đặc tính mômen $M(t)$.

Trên đây đã đưa ra ba phương pháp khảo sát tính chất động của máy điện tổng quát: Phương pháp dùng trục của các cuộn dây làm hệ trục tọa độ, phương pháp dùng hệ trục quay thống nhất $[u, v]$ và phương pháp dùng biến phức ứng với hệ trục $[u, jv]$. Khi chuyển từ phương pháp này sang phương pháp khác, ta chỉ thay đổi các biến số điện và từ, còn các biến cơ học ω và M thì được giữ nguyên. Điều đó rất thuận lợi trong thực tế tính toán, vì phần lớn trường hợp ta chỉ quan tâm đến các biến cơ học, do đó không cần qui đổi qua lại dù sử dụng phương pháp này hay phương pháp kia.

Dùng biến phức đã làm đơn giản hóa một cách đáng kể việc tính toán. Trong các phương trình này, tốc độ quay của hệ trục ω_l có thể chọn tùy ý. Thông thường người ta chọn $\omega_l = 0$ hoặc $\omega_l = \omega_{sd} = p_{ct} \cdot \omega_0 = 2\pi f$.

Khi chọn $\omega_l = 0$, hệ phương trình (3-129) sẽ có dạng:

$$\left. \begin{aligned} \bar{u}_1 &= R_1 \bar{i}_1 + p \bar{\psi}_1 \\ \bar{u}_2 &= R_2 \bar{i}_2 + p \bar{\psi}_2 - j\omega_d \bar{\psi}_2 \\ M &= p_{ct} L_{12} I_m (\bar{i}_1 \times \bar{i}_2^*) \end{aligned} \right\} \quad (3-129a)$$

hoặc

$$\left. \begin{aligned} \bar{u}_1 &= R_1 \bar{i}_1 + p(L_1 \bar{i}_1 + L_{12} \bar{i}_2) ; \\ \bar{u}_2 &= R_2 \bar{i}_2 + (p - j\omega_d)(L_2 \bar{i}_2 + L_{12} \bar{i}_1) ; \\ M &= p_{ct} L_{12} I_m (\bar{i}_1 \times \bar{i}_2^*) . \end{aligned} \right\} \quad (3-129b)$$

Khi đó, việc qui đổi có ý nghĩa như sau: các biến của dây quấn stato được biểu thị trên hệ trục đứng yên α và β giống như các biến thực. Nói cách khác, ta chọn hệ trục u, v trùng với hệ α, β . Các biến của roto trên hệ trục d, q sẽ được qui đổi về hệ trục α, β gắn cứng với stato. Như vậy, từ (3-119) nếu thay $\omega_t = 0$ và dùng ký hiệu « α, β » thay cho « u, v » ta sẽ được các phương trình cân bằng điện áp đồng nghĩa với (3-129):

$$\left. \begin{aligned} u_{1\alpha} &= R_1 i_{1\alpha} + p\Psi_{1\alpha} \\ u_{1\beta} &= R_1 i_{1\beta} + p\Psi_{1\beta} \\ u_{2\alpha} &= R_2 i_{2\alpha} + p\Psi_{2\alpha} + \omega_d \Psi_{2\beta} \\ u_{2\beta} &= R_2 i_{2\beta} + p\Psi_{2\beta} - \omega_d \Psi_{2\alpha} . \end{aligned} \right\} \quad (3-130)$$

Khi chọn $\omega_t = \omega_{ob}$, ta thực hiện qui đổi các biến thực trên trục α, β, d, q về một hệ trục thống nhất x, y quay với tốc độ của từ trường stato. Người ta gọi phương pháp qui đổi này là phép biến đổi x, y . Khi đó, nếu điện áp đặt vào hai cuộn dây stato là hình sin và đối xứng, nghĩa là

$$\left. \begin{aligned} u_{1\alpha} &= U_{1\max} \cos \omega_{od} t \\ u_{1\beta} &= U_{1\max} \cos \left(\omega_{od} t - \frac{\pi}{2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3-131)$$

thì từ công thức biến đổi (3-112) khi cho $\omega_t = \omega_{od}$ ta có

$$\left. \begin{aligned} u_{1x} &= U_{1\max} \cos^2 \omega_{od} t + U_{1\max} \sin^2 \omega_{od} t = U_{1\max} \\ u_{1y} &= -U_{1\max} \cos \omega_{od} t \sin \omega_{od} t + U_{1\max} \sin \omega_{od} t \cos \omega_{od} t = 0 . \end{aligned} \right\} \quad (3-132)$$

Phương trình cân bằng điện áp được suy ra từ (3-119) sẽ có dạng:

$$\left. \begin{aligned} u_{1x} &= R_1 i_{1x} + p\Psi_{1x} - \omega_{od} \Psi_{1y} = U_{1\max} \\ u_{1y} &= R_1 i_{1y} + p\Psi_{1y} + \omega_{od} \Psi_{1x} = 0 \\ u_{2x} &= R_2 i_{2x} + p\Psi_{2x} - (\omega_{od} - \omega_d) \Psi_{2y} \\ u_{2y} &= R_2 i_{2y} + p\Psi_{2y} + (\omega_{od} - \omega_d) \Psi_{2x} \end{aligned} \right\} \quad (3-133)$$

Để tìm phương trình mômen ta có thể sử dụng (3-124) bằng cách thay ký hiệu « x » cho « u » và « y » cho « v ». Tuy nhiên, để cho thuận tiện khi phân tích, người ta thường dùng dạng biến đổi khác. Nếu biểu thị các đại lượng dòng điện trong (3-124) thông qua từ thông móc vòng theo (3-120) thì:

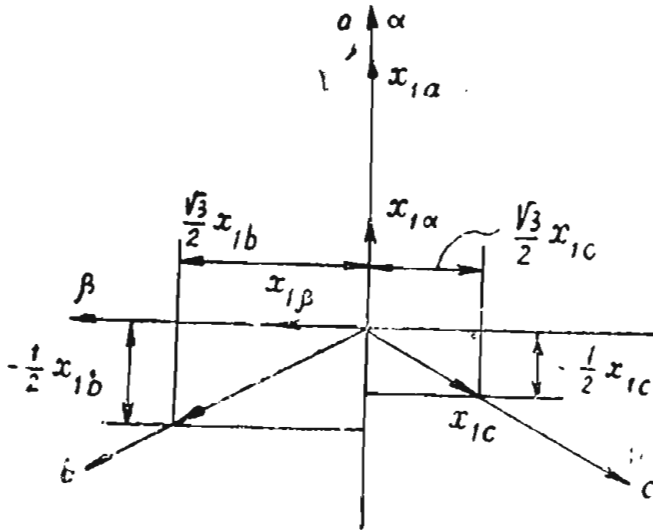
$$M = \frac{p_d L_{12}}{L_1 L_2 - L_{12}^2} (\Psi_{1y} \Psi_{2x} - \Psi_{1x} \Psi_{2y}) . \quad (3-134)$$

Hệ phương trình gồm (3-133), (3-134) và phương trình chuyển động được dùng để mô tả các quá trình động của động cơ không đồng bộ (xem mục 4).

Để ứng dụng các phương trình trên đây vào việc nghiên cứu động cơ không đồng bộ ba pha, ta phải tìm phép qui đổi từ động cơ ba pha về máy điện tổng quát.

3. Qui đổi máy điện ba pha về dạng máy điện tổng quát.

Người ta đã chứng minh được rằng, một máy điện đối xứng có số pha bất kỳ (ví dụ m pha ở stato và n pha ở rôto) đều có thể thay đổi các biến về dạng máy điện tổng quát và ứng dụng được các phương trình động học đã nêu trong các mục 1 và 2.



Hình 3-32. Minh họa cho phép qui đổi các biến của máy điện ba pha về máy điện tổng quát.

Đối với máy không đồng bộ ba pha, các biến thực của nó được biểu thị tương ứng với hệ ba trục a, b, c lệch nhau 120° . Hình 3-32 biểu diễn các biến x_1 nào đó của các cuộn dây stato (x thay cho điện áp u , hoặc dòng điện i hoặc từ thông Ψ). Trên hệ trục $1a, 1b, 1c$ ta có các biến thực x_{1a}, x_{1b}, x_{1c} , ví dụ dòng điện trong các cuộn dây tương ứng i_{1a}, i_{1b}, i_{1c} . Để qui đổi về máy điện tổng quát ta cần chuyển các biến trên về hệ trục trục giao α và β , chẳng hạn chọn α trùng với trục a như trên hình 3-32. Việc qui đổi sẽ được giải quyết nếu ta tìm ra hệ số tính đổi từ các biến thực $x_{1a},$

x_{1b}, x_{1c} sang các biến đẳng trị $x_{1\alpha}, x_{1\beta}$. Điều kiện tính đổi vẫn là bảo toàn công suất truyền tải trong máy điện.

Bằng phương pháp đã dùng khi qui đổi các hệ trục trong mục 2 ta coi các biến thực là những vector thành phần của một vector tổng hợp $\vec{X}_1$, thì các biến qui đổi $x_{1\alpha}, x_{1\beta}$ sẽ là hình chiếu của vector $\vec{X}_1$ đó trên các trục α và β . Như đã minh họa trên hình vẽ, biến $x_{1\alpha}$ chính là tổng các hình chiếu của x_{1a}, x_{1b}, x_{1c} trên trục α , còn $x_{1\beta}$ là tổng các hình chiếu của các biến thực này trên trục β , nghĩa là:

$$\left. \begin{aligned} x_{1\alpha} &= K_{ph} \left(x_{1a} - \frac{1}{2} x_{1b} - \frac{1}{2} x_{1c} \right) \\ x_{1\beta} &= K_{ph} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} x_{1b} - \frac{\sqrt{3}}{2} x_{1c} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3-135)$$

trong đó K_{ph} — hệ số phù hợp, được chọn theo điều kiện bảo toàn công suất,

Ta xét trường hợp đơn giản nhất khi

$$x_{1a} + x_{1b} + x_{1c} = 0. \quad (3-136)$$

Khi đó (3-135) được biến đổi thành

$$\left. \begin{aligned} x_{1\alpha} &= \frac{3}{2} K_{ph} x_{1a} \\ x_{1\beta} &= \frac{\sqrt{3}}{2} K_{ph} (x_{1b} - x_{1c}) \end{aligned} \right\} \quad (3-137)$$

Đối với mạch roto ta cũng tiến hành tính đổi như vậy :

$$\begin{aligned} x_{2d} &= K_{ph} \left(x_{2a} - \frac{1}{2} x_{2b} - \frac{1}{2} x_{2c} \right) \\ x_{2q} &= K_{ph} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} x_{2b} - \frac{\sqrt{3}}{2} x_{2c} \right) \end{aligned} \quad (3-138)$$

Hoặc

$$\left. \begin{aligned} x_{2d} &= \frac{3}{2} K_{ph} x_{2a} \\ x_{2q} &= \frac{\sqrt{3}}{2} K_{ph} (x_{2b} - x_{2c}) \end{aligned} \right\} \quad (3-139)$$

Ngược lại, nếu đã biết các biến qui đổi trên hệ trục α, β ta có thể biến đổi ngược để tìm biến thực của máy điện ba pha. Việc biến đổi ngược được minh họa bằng hình 3-33. Từ đó ta thấy:

$$\left. \begin{aligned} x_{1a} &= K_{ph} x_{1\alpha} \\ x_{1b} &= K_{ph} \left(-\frac{1}{2} i_{1\alpha} + \frac{\sqrt{3}}{2} i_{1\beta} \right) \\ x_{1c} &= K_{ph} \left(-\frac{1}{2} i_{1\alpha} - \frac{\sqrt{3}}{2} i_{1\beta} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3-140)$$

Để xác định K_{ph} , ta viết biểu thức của công suất tức thời từ nguồn truyền vào stato của máy điện ba pha theo các biến thực:

$$S_1 = u_{1a} i_{1a} + u_{1b} i_{1b} + u_{1c} i_{1c}. \quad (3-141)$$

Thay các biến u và i bằng quan hệ qui đổi trong (3-140) ta được:

$$\begin{aligned} S_1 &= (K_{ph} u_{1\alpha}) (K_{ph} i_{1\alpha}) + \left[K_{ph} \left(-\frac{1}{2} u_{1\alpha} + \frac{\sqrt{3}}{2} u_{1\beta} \right) \right] \times \\ &\times \left[K_{ph} \left(-\frac{1}{2} i_{1\alpha} + \frac{\sqrt{3}}{2} i_{1\beta} \right) \right] + \left[K_{ph} \left(-\frac{1}{2} u_{1\alpha} - \frac{\sqrt{3}}{2} u_{1\beta} \right) \right] \times \\ &\times \left[K_{ph} \left(-\frac{1}{2} i_{1\alpha} - \frac{\sqrt{3}}{2} i_{1\beta} \right) \right] = \frac{3}{2} K_{ph}^2 (u_{1\alpha} i_{1\alpha} + u_{1\beta} i_{1\beta}). \end{aligned} \quad (3-142)$$

Từ (3-141) và (3-142) ta thấy, muốn thỏa mãn điều kiện công suất không đổi, nghĩa là

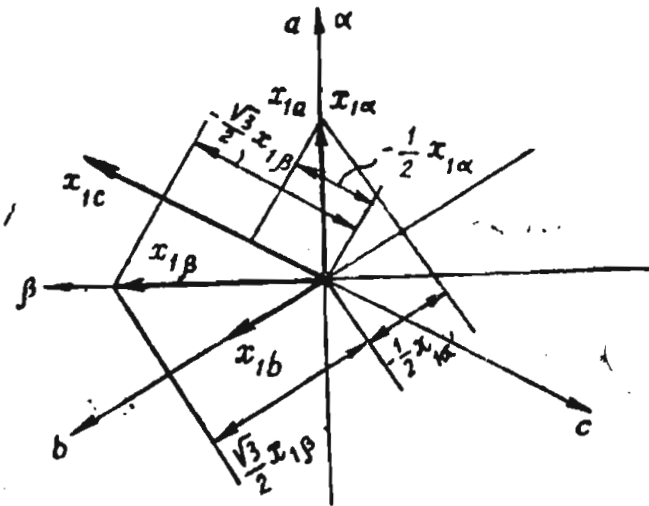
$$u_{1a} i_{1a} + u_{1b} i_{1b} + u_{1c} i_{1c} = u_{1\alpha} i_{1\alpha} + u_{1\beta} i_{1\beta}$$

thì

$$K_{ph} = \sqrt{\frac{2}{3}}. \quad (3-143)$$

Trường hợp máy điện không đối xứng, nghĩa là khi

$$x_{1a} + x_{1b} + x_{1c} \neq 0$$



Hình 3-33. Minh họa cho phép qui đổi ngược từ các biến của máy điện tổng quát sang các biến thực của máy ba pha.

thì khi qui đổi về máy tổng quát, ngoài các thành phần $x_{1\alpha}$, $x_{1\beta}$ còn có thành phần thứ tư không. Tuy nhiên, thành phần này không gây ảnh hưởng gì đến mômen của động cơ, do đó ta có thể bỏ qua nó khi khảo sát tính chất động của truyền động điện.

4. Quá trình quá độ điện từ trong động cơ không đồng bộ.

Sau khi đã qui đổi các biến của máy điện ba pha về dạng máy điện tổng quát nhờ (3-135) và (3-138) ta có thể ứng dụng một trong các hệ phương trình động học đã nêu trong mục 1 để khảo sát quá trình quá độ của truyền động điện.

Khi sử dụng phép biến đổi x, y (hệ trục tọa độ quay với tốc độ $\omega_t = \omega_{vd}$), ta ứng dụng hệ phương trình (3-133) và (3-134).

Nếu biểu thị các đại lượng dòng điện thông qua từ thông móc vòng nhờ (3-120) (trong đó thay ký hiệu « u » bằng « x » và « v » bằng « y », cho $u_{2x} = u_{2y} = 0$, ta được:

$$\left. \begin{aligned} p\Psi_{1x} &= u_{1x} - \frac{R_1 L_2}{L_1 L_2 - L_{12}^2} \Psi_{1x} + \frac{R_1 L_{12}}{L_1 L_2 - L_{12}^2} \Psi_{2x} + \omega_{od} \Psi_{1y} \\ p\Psi_{1y} &= u_{1y} - \frac{R_1 L_2}{L_1 L_2 - L_{12}^2} \Psi_{1y} + \frac{R_1 L_{12}}{L_1 L_2 - L_{12}^2} \Psi_{2y} - \omega_{od} \Psi_{1x} \\ p\Psi_{2x} &= -\frac{R'_2 L_1}{L_1 L_2 - L_{12}^2} \Psi_{2x} + \frac{R'_2 L_{12}}{L_1 L_2 - L_{12}^2} \Psi_{1x} + (\omega_{od} - \omega_d) \Psi_{2y} \\ p\Psi_{2y} &= -\frac{R'_2 L_1}{L_1 L_2 - L_{12}^2} \Psi_{2y} + \frac{R'_2 L_{12}}{L_1 L_2 - L_{12}^2} \Psi_{1y} - (\omega_{od} - \omega_d) \Psi_{2x} \\ M &= \frac{p_{ct} L_{12}}{L_1 L_2 - L_{12}^2} (\Psi_{1y} \Psi_{2x} - \Psi_{1x} \Psi_{2y}). \end{aligned} \right\} \quad (3-144)$$

trong đó, thông số R'_2 đã được tính đổi về mạch stato (xem chương 2, tập 1).

Kết hợp hệ phương trình trên đây với phương trình chuyển động của hệ:

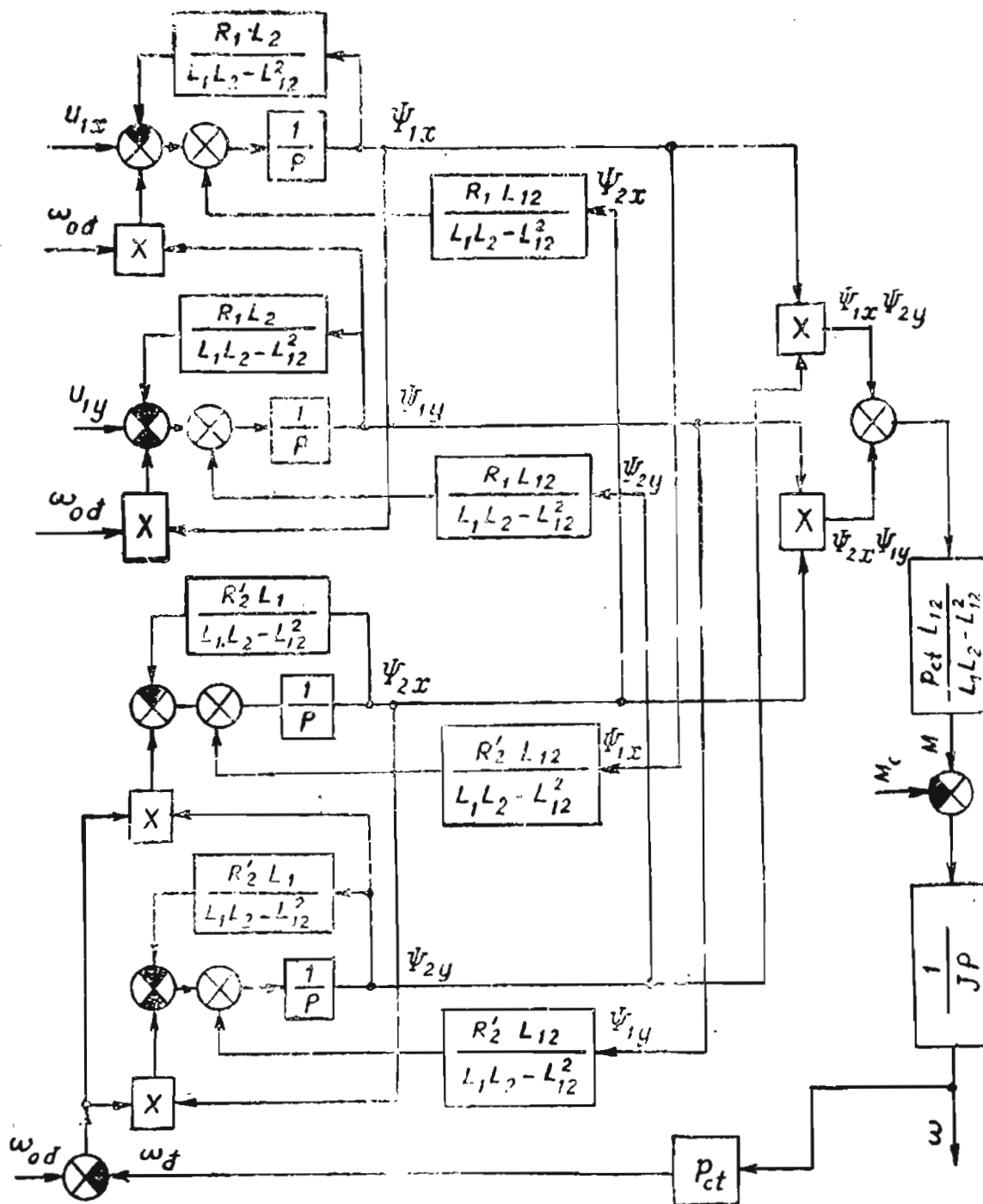
$$M - M_c = J p \omega = \frac{J}{p_{ct}} p \omega_d \quad (3-145)$$

ta được sơ đồ cấu trúc của hệ thống như trên hình 3-34.

Trong các phương trình trên, L_1 đặc trưng cho toàn bộ từ thông móc vòng trong cuộn dây stato, bao gồm từ thông chính móc vòng từ stato sang roto Ψ_{12} và từ thông tản Ψ_{1s} . Như đã trình bày trong chương 2 tập 1, từ thông

mốc vòng giữa stato và roto Ψ_{12} được biểu thị bằng mạch từ hóa (x_μ) còn từ thông tản Ψ_{1s} được đặc trưng bởi điện kháng x_1 . Do đó ta có thể suy luận:

$$L_1 = \frac{x_1 + x_\mu}{\omega_{od}} \quad (3-146)$$



Hình 3-34. Sơ đồ cấu trúc của truyền động điện dùng động cơ không đồng bộ.

Tương tự, ta có:

$$\left. \begin{aligned} L_2 &= \frac{x_2' + x_\mu}{\omega_{od}} \\ L_{12} &= \frac{x_\mu}{\omega_{od}} \end{aligned} \right\} \quad (3-146a)$$

Hệ phương trình (3-144) tương ứng với sơ đồ cấu trúc hình 3-34 hoàn toàn có thể giải được trên máy tính. Tuy nhiên, hệ phương trình nêu trên còn rất phức tạp, không cho ta những nhận xét trực quan.

Để đơn giản hóa, ta giả sử chỉ xét các quá trình quá độ khi tốc độ biến thiên trong một phạm vi hẹp, như các quá trình tương ứng với sự di chuyển của điểm làm việc trên đoạn đặc tính công tác (của đặc tính cơ). Khi đó từ thông tổng của động cơ có thể coi là không đổi: $\Psi_{1x} = \text{const}$, $\Psi_{1y} = \text{const}$. Nếu đồng thời coi $R_1 \approx 0$ thì từ (3-144) ta được:

$$\left. \begin{aligned} \Psi_{1x} &= \frac{u_{1y}}{\omega_{od}} = 0 \\ \Psi_{1y} &= -\frac{u_{1x}}{\omega_{od}} = -\frac{U_{1\max}}{\omega_{od}} \end{aligned} \right\} \quad (3-147)$$

trong đó ta đã sử dụng (3-132), thay $u_{1y} = 0$; $u_{1x} = U_{1\max}$ ($U_{1\max}$ là biên độ của điện áp đặt vào các cuộn dây stato). Ta thực hiện thêm một phép biến đổi phụ nữa:

$$\frac{R_2' L_1}{L_1 L_2 - L_{12}^2} = \frac{R_2' \omega_{od} (x_\mu + x_1)}{[(x_\mu + x_1)(x_\mu + x_2') - x_\mu^2]} \approx \frac{\omega_{od} R_2'}{x_1 + x_2'} = \omega_{od} s_{th} \quad (3-148)$$

Thay các biểu thức (3-147), (3-148) vào (3-144) ta được:

$$\left. \begin{aligned} p\Psi_{2x} + \omega_{od} s_{th} \Psi_{2x} - \omega_{od} s \Psi_{2y} &= 0 \\ p\Psi_{2y} + \omega_{od} s_{th} \Psi_{2y} + \omega_{od} s \Psi_{2x} &= -s_{th} \frac{L_{12}}{L_1} U_{1\max} \\ M &= \frac{p_{ct} L_{12}}{L_1 L_2 - L_{12}^2} \Psi_{1y} \Psi_{2x} \end{aligned} \right\} \quad (3-149)$$

trong đó, s — độ trượt:

$$= \frac{\omega_{od} - \omega_d}{\omega_{od}} = \frac{\omega_o - \omega}{\omega_o}$$

Mặc dù hai phương trình đầu của (3-149) là phi tuyến, ta cũng có thể biến đổi chúng (với điều kiện giữ nguyên bậc của phương trình vi phân — tức số mũ của p — trong phương trình biến đổi và phương trình xuất xứ). Rút Ψ_{2y} từ phương trình thứ nhất, rồi thay vào phương trình thứ hai ta xác định được Ψ_{2x} , sau đó thay Ψ_{2x} đã tìm ra và Ψ_{1y} từ (3-147) vào phương trình thứ ba, ta được:

$$M = \frac{p_{ct} L_{12}}{(L_1 L_2 - L_{12}^2)} \frac{U_{1\max}}{\omega_{od}} \frac{(L_{12}/L_1) s_{th} U_{1\max}}{(p + \omega_{od} s_{th}) \left[\frac{1}{\omega_{od} s_{th}} (p + \omega_{od} s_{th}) \right] + \omega_{od} s} \quad (3-150)$$

Ta đặt hằng số thời gian điện từ là

$$T_d = \frac{1}{\omega_{od} s_{th}} \quad (3-151)$$

và mômen tới hạn của động cơ là

$$M_{th} = \frac{1}{2} \frac{p_{ct} (L_{12}^2/L_1) U_{1max}^2}{2\omega_{od}^2 (L_1 L_2 - L_{12}^2)} \quad (3-152)$$

Thay L_1, L_2, L_{12} bằng các biểu thức (3-146), coi $x_\mu \gg x_1$ và $x_\mu \gg x_2$, biến đổi U_{1max} thành điện áp pha của máy điện ba pha U_f theo công thức biến ngược (3-137):

$$U_{1max} = \frac{1}{3} K_{ph} U_{fmax} = \sqrt{\frac{3}{2}} U_{fmax} = \sqrt{3} U_f$$

khi đó biểu thức M_{th} sẽ có dạng đơn giản sau:

$$M_{th} = \frac{3U_f^2}{2\omega_o [x_1 + x_2' + x_1 x_2' (2x_\mu + x_2')/x_\mu^2 + x_2'^2/x_\mu]} \approx \frac{3U_f^2}{2\omega_o (x_1 + x_2')}$$

Thay (3-151) và (3-152) vào (3-150) ta được

$$M = \frac{2M_{th}}{(1 + T_{dp}) \left[\frac{s_{th}}{s_{th}} (1 + T_{dp}) + \frac{s}{s_{th}} \right]} \quad (3-153)$$

Đó chính là phương trình đặc tính cơ động của động cơ không đồng bộ. Nếu cho $p = 0$ ta sẽ được phương trình Closs như trong chương 2 (tập 1).

Biến đổi (3-153) và viết lại ở dạng phương trình vi phân (thay $p = d/dt$) ta được:

$$\left(1 + \frac{s^2}{s_{th}^2}\right) M + 2T_d \frac{dM}{dt} + T_d^2 \frac{d^2 M}{dt^2} - T_d \frac{1}{s} \frac{ds}{dt} M - T_d^2 \frac{1}{s} \frac{ds}{dt} \frac{dM}{dt} = 2M_{th} \frac{s}{s_{th}} \quad (3-154)$$

Trong đoạn làm việc của đặc tính cơ, ta có thể tuyến tính hóa phương trình (3-154) nhờ chuỗi Taylo (xem § 1-3). Sau khi phân tích thành chuỗi và biến đổi ta được:

$$\left(1 + \frac{s^{o2}}{s_{th}^2}\right) \Delta M + 2T_d \frac{d\Delta M}{dt} + T_d^2 \frac{d^2 \Delta M}{dt^2} = \frac{2M_{th}}{s_{th}} \left(\frac{s_{th}^2 - s^{o2}}{s_{th}^2 + s^{o2}} \Delta s + T_d \frac{s_{th}^2}{s_{th}^2 + s^{o2}} \frac{d\Delta s}{dt} \right) \quad (3-155)$$

Trong đoạn làm việc của đặc tính cơ, ta coi $s^o/s_{th} \gg 1$, $s_{th}^2/(s_{th}^2 + s^{o2}) \approx 1$, $s^{o2}/(s_{th}^2 + s^{o2}) \approx 0$, Khi đó từ (3-155) ta được

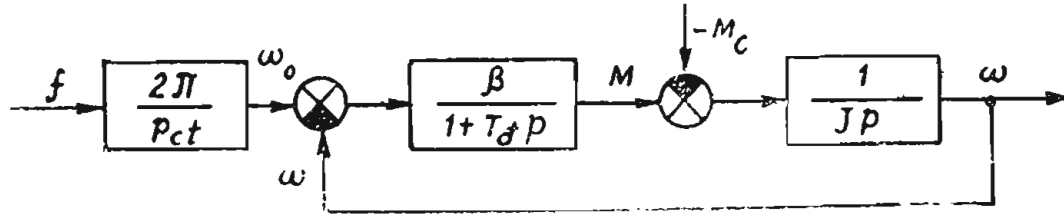
$$(T_{dp} + 1) \Delta M = - \frac{2M_{th}}{\omega_o s_{th}} \Delta \omega, \quad (3-156)$$

Nếu lấy điểm xác lập (khi tuyến tính hóa) là điểm không tải lý tưởng $s^o = 0$, thì $\Delta \omega = \omega_o - \omega$, $\Delta M = M$, nên (3-156) có dạng

$$(T_{dp} + 1)M = \beta (\omega_o - \omega), \quad (3-157)$$

trong đó $\beta = \frac{2M_{th}}{\omega_o s_{th}}$ - độ cứng của đặc tính cơ khi tuyến tính hóa xung quanh điểm không tải lý tưởng.

Kết hợp (3-157) với phương trình chuyển động, ta được sơ đồ cấu trúc của truyền động điện không đồng bộ như trên hình 3-35. Như đã nêu, hàm truyền (3-157) bảo đảm độ chính xác cần thiết trong phạm vi dao động của mômen từ $-0,8M_{th}$ đến $+0,8M_{th}$. Cấu trúc hình 3-35 được sử dụng khi khảo sát các tính chất động của hệ có điều khiển tần số hoặc các quá trình thay đổi tải ứng với đoạn làm việc của đặc tính cơ. Khi điều khiển tần số, quỹ đạo pha của các quá trình quá độ như khởi động, đảo chiều,... nằm trong phạm vi đoạn làm việc của họ đặc tính cơ lúc biến tần. Hơn nữa, việc điều khiển tần số luôn luôn được thực hiện theo qui luật Coxtenco (xem chương 5 tập 1), nên từ thông $\Phi_1 = \text{const}$, nghĩa là thỏa mãn giả thiết đã nêu trong mục này: $\Psi_{1x} = \text{const}$, $\Psi_{1y} = \text{const}$.



Hình 3-35. Sơ đồ cấu trúc của truyền động điện dùng động cơ không đồng bộ

Kết quả trên đây cũng có thể ứng dụng để khảo sát các quá trình khởi động, đảo chiều và hãm máy của động cơ roto dây quấn.

So sánh (3-157) với (3-2) hoặc (3-5) ta thấy quá trình quá độ điện cơ của động cơ không đồng bộ khi điều khiển tần số hoặc khi biến đổi phụ tải, rất giống với động cơ một chiều kích từ độc lập khi điều chỉnh điện áp.

5. Quá trình quá độ điện cơ trong truyền động dùng động cơ lồng sóc.

Đối với động cơ lồng sóc, các quá trình khởi động, hãm máy và đảo chiều đều xảy ra ứng với toàn bộ đường đặc tính cơ, kể cả đoạn làm việc và đoạn không làm việc. Đường đặc tính cong như vậy không thỏa mãn các điều kiện đã nêu khi rút quan hệ (3-156), do đó ta khảo sát các quá trình quá độ của động cơ này bằng phương pháp khác.

Thuận tiện hơn cả là dùng biến phức trong mặt phẳng $[u, j\omega]$ và chọn tốc độ quay của hệ trục là $\omega_1 = 0$. Sử dụng (3-129b), cho $\bar{u}_2 = 0$ ta có:

$$\left. \begin{aligned} \bar{u}_1 &= R_1 \bar{i}_1 + p(L_{11} \bar{i}_1 + L_{12} \bar{i}_2) \\ 0 &= R_2 \bar{i}_2 + (p - j\omega_d)(L_{22} \bar{i}_2 + L_{12} \bar{i}_1) \\ M &= p_{ct} L_{12} I_m (\bar{i}_1 \times \bar{i}_2^*) \\ M - M_c &= Jp\omega \end{aligned} \right\} \quad (3-158)$$

trong đó R_2 , i_2 đã được tính đổi từ roto về mạch stato.

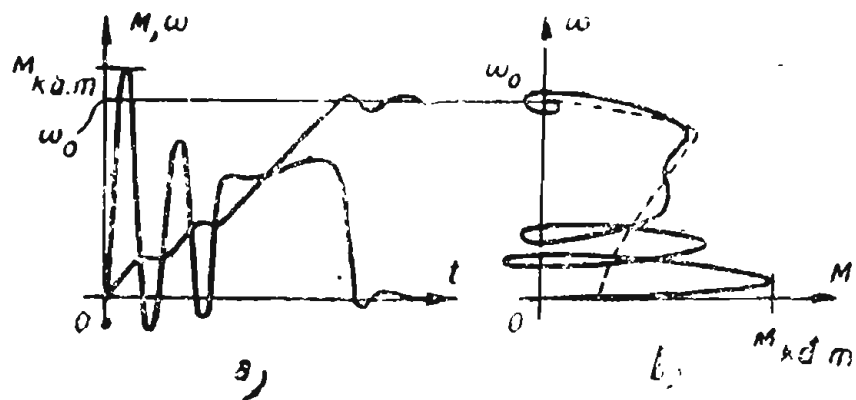
Vì quá trình quá độ điện từ xảy ra nhanh so với quá trình quá độ cơ học, nên người ta chỉ phân tích chúng với giả thiết $\omega = \text{const}$. Ví dụ đối với quá trình khởi động trực tiếp, ta chỉ cần quan tâm đến giai đoạn đầu, lúc đóng động cơ vào lưới, nghĩa là coi $\omega = 0$ ($\omega_d = 0$).

Khi đó hai phương trình đầu của (3-158) trở nên đơn giản hơn:

$$\left. \begin{aligned} \bar{u}_1 &= R_1 \bar{i}_1 + L_{11} p \bar{i}_1 + L_{12} p \bar{i}_2 \\ 0 &= R_2 \bar{i}_2 + L_{22} p \bar{i}_2 + L_{12} p \bar{i}_1 \end{aligned} \right\} \quad (3-159)$$

Hệ phương trình trên là tuyến tính. Ta có thể đưa chúng về dạng phương trình vi phân bậc hai, để tìm nghiệm $\bar{i}_1(t)$ và $\bar{i}_2(t)$. Sau đó lấy biểu thức liên hợp của $\bar{i}_2$ để xác định quan hệ $M(t)$ theo phương trình thứ ba trong (3-158).

Kết quả phân tích cho thấy mômen động cơ dao động rất lớn. Dạng tiêu biểu của các đặc tính quá độ khi khởi động không tải với $T_d \approx T_c$ được vẽ trên hình 3-36a và quỹ đạo pha của hệ truyền động — hình 3-36b. Đỉnh mômen lớn nhất xuất hiện trong chu kỳ dao động đầu tiên (thời gian của chu kỳ này nhỏ hơn chu kỳ điện áp lưới) và lớn hơn rất nhiều so với giá trị mômen trên đặc tính tĩnh (đường nét đứt).



Hình 3-36. Dạng đặc tính quá độ khi khởi động không tải.

Thông thường dao động của mômen tắt trước khi tốc độ động cơ đạt đến $\omega \approx \frac{1}{2} \omega_0$. Sau đó, đặc tính cơ động gần trùng với đặc tính tĩnh. Số lần dao động của mômen càng nhiều khi mômen quán tính của hệ càng lớn và mômen cản càng lớn.

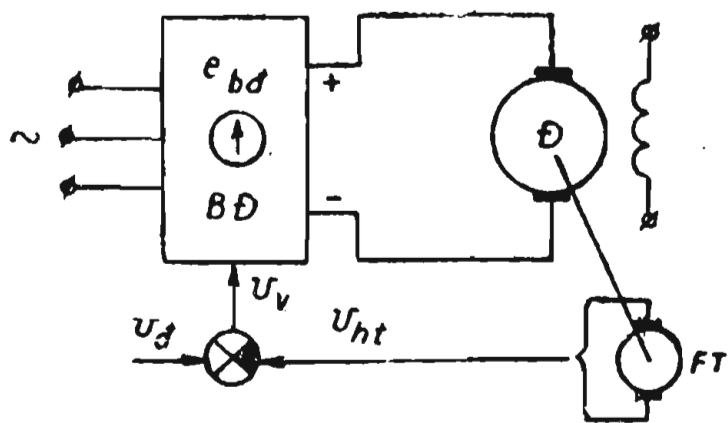
Đặc điểm vừa nêu trên của quá trình quá độ trong động cơ lồng sóc là một nhược điểm rất [quan trọng của loại động cơ này. Nó làm giảm độ tin cậy làm việc của động cơ, gây ảnh hưởng xấu đối với phần cơ của truyền động và hạn chế công suất tải của hệ.

Chương IV

CÁC PHƯƠNG PHÁP KHẢO SÁT QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ TRONG HỆ TRUYỀN ĐỘNG TỰ ĐỘNG VÒNG KÍN

§ 4-1. HÀM TRUYỀN CỦA HỆ THỐNG

Ngày nay các hệ truyền động điện điều chỉnh đều được tự động hóa kiểu vòng kín. Thông dụng nhất là các hệ tự động duy trì tốc độ, như đã trình bày trong chương 7 tập 1. Trên hình 4-1 là sơ đồ nguyên lý của hệ thống BD-Đ xây dựng theo nguyên tắc đó. Khi chất lượng điều chỉnh và các chỉ tiêu động yêu cầu cao thì số lượng phần tử trong hệ sẽ lớn, và do đó số lượng



Hình 4-1. Sơ đồ nguyên lý của hệ BD-Đ tự động.

phương trình vi phân mô tả quá trình động có thể tăng lên đáng kể. Giải trực tiếp hệ phương trình này sẽ gặp khó khăn, do đó người ta sử dụng những phương pháp giải gián tiếp dựa trên cơ sở hàm truyền hoặc đặc tính tần. Trước hết ta xét hàm truyền của hệ.

Trường hợp chung, bộ biến đổi là một khâu quán tính với hàm truyền :

$$W_{bd}(p) = \frac{e_{bd}(p)}{U_v(p)} = \frac{K_{bd}}{T_{bd}p + 1} \quad (4-1)$$

Nếu bộ biến đổi là máy phát một chiều, thì $K_{bd} = K_1/R_K$ và $T_{bd} = T_K = L_K/R_K$, như đã khảo sát trong § 3-4.

Đối với bộ biến đổi van, hàm truyền có dạng

$$W'_{bd}(p) = \frac{K_{bdv}e^{-\tau_{\max}p}}{T_{dk}p + 1} \quad (4-2)$$

trong đó $\tau_{\max} = \frac{2\pi}{m\omega_{od}}$ — thời gian trễ lớn nhất của chỉnh lưu, (m — số lần đập mạch của điện áp chỉnh lưu trong một chu kỳ của điện áp lưới; $\omega_{od} = 2\pi f$ — tần số góc của lưới xoay chiều);

T_{dk} — hằng số thời gian của mạch điều khiển van. Khi sử dụng hệ điều khiển bán dẫn thì coi $T_{dk} = 0$.

Nếu khai triển hàm e^x theo chuỗi lũy thừa và lấy $e^x \approx 1 + x$, thì (4-2) có dạng gần đúng:

$$W_{bd}(p) = \frac{K_{bdv}}{\tau_{\max}p + 1} \quad (4-3)$$

Khi dùng hệ điều khiển van có các phần tử từ thì cần xét đến hằng số thời gian T_{dk} . Để cho đơn giản ta coi:

$$W_{bd}(p) \approx \frac{K_{bdv}}{(\tau_{\max} + T_{dk})p + 1} \quad (4-3a)$$

Chú ý rằng khi ứng dụng các phương pháp tần số, hệ số truyền phức của máy phát có dạng

$$W_{bd}(j\Omega) = \frac{K_{bd}}{jT_{bd}\Omega + 1}, \quad (4-4)$$

nghĩa là về hình thức $W(j\Omega)$ tìm được bằng cách thay toán tử p trong hàm truyền bằng $j\Omega$.

Còn đối với bộ biến đổi van khi $T_{dk} = 0$, sẽ là

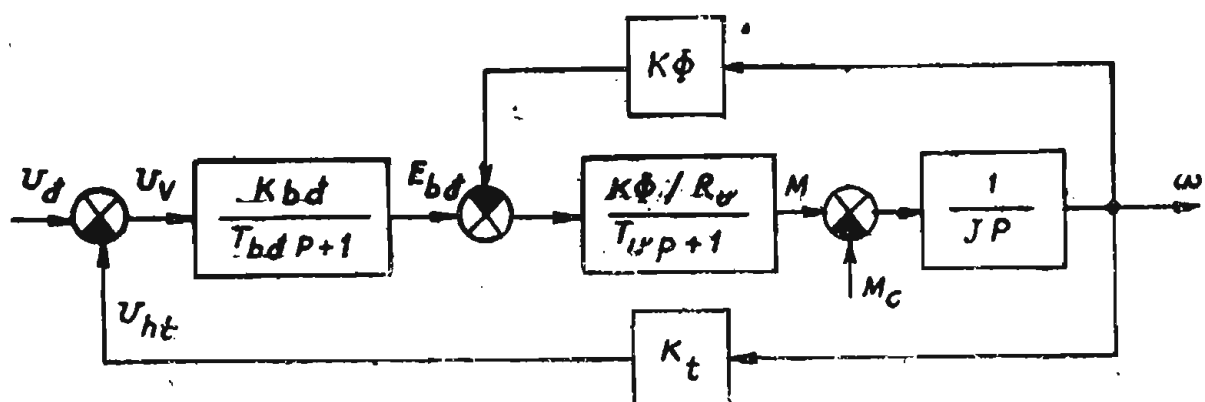
$$W_{bdv}(j\Omega) = K_{bdv}. \quad (4-5)$$

Thời gian trễ $\tau_{\max}$ trong hàm truyền của bộ biến đổi (4-2) và (4-3) chỉ xuất hiện khi tín hiệu vào đột biến bậc thang. Nếu lượng vào là hàm điều hòa như định nghĩa của hệ số truyền phức, thì bộ biến đổi lại là một khâu khuếch đại thuần, khi đó trị trung bình của sđđ của bộ biến đổi van cũng là một hàm điều hòa cùng tần số, cùng pha với lượng vào.

Nếu xét đến hằng số thời gian của hệ điều khiển van thì

$$W_{bd}(j\Omega) = \frac{K_{bdv}}{j\Omega T_{dk} + 1} \quad (4-5a)$$

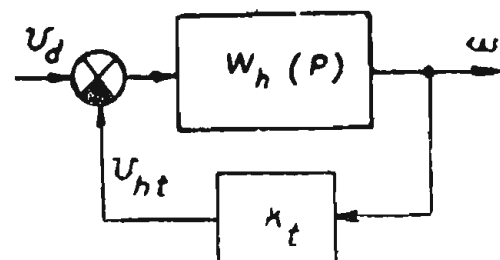
Sử dụng sơ đồ cấu trúc của động cơ điện một chiều khi điều khiển điện áp phần ứng trên hình 3-2 [hệ phương trình (3-2)], ta được sơ đồ cấu trúc chung của hệ thống như trên hình 4-2.



Hình 4-2. Sơ đồ cấu trúc của hệ BD-Đ tự động có hồi tiếp tốc độ.

Hệ thống có hai đầu vào tương ứng với tín hiệu điều khiển U_d và tín hiệu nhiễu loạn do tải M_c .

Ta có thể khảo sát riêng biệt hai quá trình quá độ khi thay đổi tín hiệu điều khiển và khi thay đổi tải. Khi khảo sát quá trình này thì coi lượng vào kia bằng không.



Hình 4-3. Sơ đồ cấu trúc tối giản của hệ tự động vòng kín.

Ví dụ, khi xét quá trình khởi động, ta đặt $M_c = 0$ và được sơ đồ cấu trúc một đầu vào là U_d . Biến đổi sơ đồ về dạng tối giản như hình 4-3, trong đó hàm truyền của hệ hở, bằng tích hàm truyền của các khâu trong mạch thuận:

$$W_h(p) = W_{bd}(p)W_d(p). \quad (4-6)$$

Hàm truyền của hệ kín sẽ là

$$W_k(p) = \frac{W_h(p)}{1 + W_h(p)W_{ht}(p)}. \quad (4-7)$$

trong đó $W_{ht}(p)$ — hàm truyền của khâu hồi tiếp. Đối với hệ thống đang xét ta có

$$W_{ht}(p) = K_t.$$

Trên cơ sở hàm truyền (3-7) hoặc hàm số tương tự với nó là phương trình đặc tính tần liên pha, người ta tìm ra những phương pháp dựng đặc tính quá độ đơn giản.

§.4-2. DỰNG ĐẶC TÍNH QUA ĐỘ BANG PHƯƠNG PHÁP TẦN SỐ

Phương pháp tần số được ứng dụng rất rộng rãi để phân tích các quá trình động của hệ truyền động tự độ g vòng kín loại tuyến tính. Để dựng đặc tính quá độ $x(t)$ nào đó như $\omega(t)$, $i(t)$, $M(t)$, ta dựa vào đặc tính tần phần thực $P(\Omega)$ của hệ kín khi coi đại lượng cần dựng là lượng ra, sau đó thay đường cong liên tục $P(\Omega)$ bằng đường gấp khúc tương ứng với các hình thang thành phần $P_i(\Omega)$. Mỗi hình thang thành phần, sau khi được qui đổi về hình thang đơn vị có chiều cao $P_{oi} = 1$ và chiều rộng $\Omega_o = 1$ ta sẽ trả được một đường cong $h_i(t)$ tương ứng. Theo nguyên tắc xếp chồng, đặc tính quá độ $x(t)$ sẽ tỉ lệ với tổng các đường cong h_i thành phần. Trước hết ta phải tìm đặc tính $P(\Omega)$.

1. Đặc tính tần phần thực.

Đặc tính phần thực $P(\Omega)$ có thể xác định bằng giải tích hoặc đồ thị.

a) Phương pháp giải tích: Từ hàm truyền của hệ kín (4-7) thay p bằng $j\Omega$ ta được phương trình của đặc tính tần biên pha.

$$W_k(j\Omega) = \frac{W_h(j\Omega)}{1 + W_h(j\Omega)W_{ht}(j\Omega)} = \frac{A + jB}{C + jD} \quad (4-8)$$

Nhân tử số và mẫu số của (4-8) với lượng phức liên hợp $C - jD$, ta sẽ chia được $W_k(j\Omega)$ thành phần thực và phần ảo:

$$W_k(j\Omega) = P(\Omega) + jQ(\Omega),$$

trong đó $P(\Omega)$ — phương trình đặc tính phần thực, và bằng

$$P(\Omega) = \frac{AC + BD}{C^2 + D^2} \quad (4-9)$$

Các biểu thức A, B, C, D đều là hàm của tần số Ω . Thay liên tiếp các giá trị Ω , ta tính được các giá trị tương ứng của P , nhờ đó vẽ được đường cong $P(\Omega)$.

b) Phương pháp đồ thị: Đặc tính tần phần thực của hệ kín có thể được suy ra từ đặc tính tần biên pha $W_h(j\Omega)$ hoặc đặc tính tần biên logarit $L_h(\Omega)$ của hệ hở. Phương pháp này tỏ ra thuận tiện nếu trước khi tiến hành dựng đặc tính quá độ, ta đã có sẵn các hàm $W_h(j\Omega)$ hoặc $L_h(\Omega)$, chẳng hạn trước đó ta đã tìm các hàm này để phân tích sơ bộ ổn định của hệ.

Phương pháp đồ thị được dùng nhiều nhất là phương pháp của Xolodovnicov. Bằng một phép biến đổi đơn giản, người ta đã tìm được quan hệ giữa $P(\Omega)$ của hệ kín với hàm logarit $L(\Omega)$ và pha $\varphi(\Omega)$ của hệ hở:

$$P(\Omega) = f[L(\Omega), \varphi(\Omega)]. \quad (4-10)$$

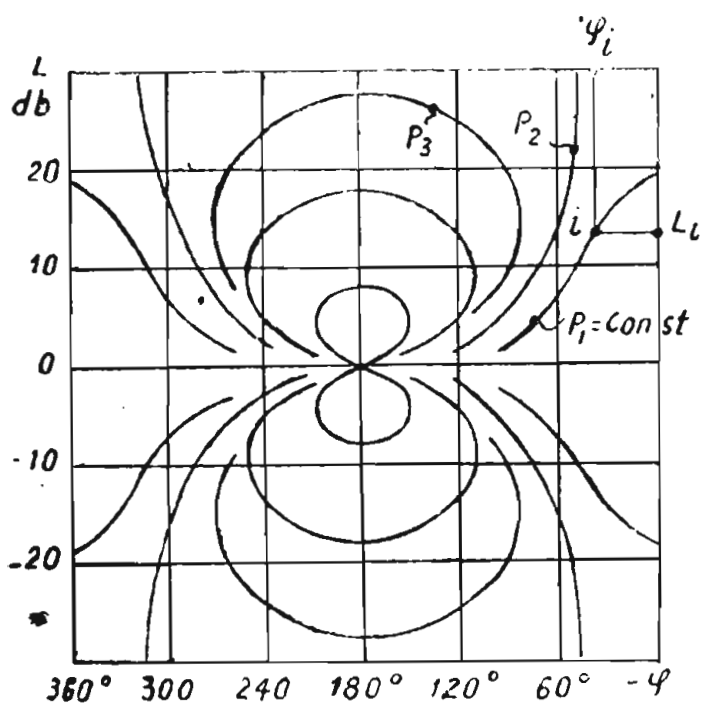
trong đó $L(\Omega) = 20 \lg kA(\Omega)$,

$kA(\Omega)$, $\varphi(\Omega)$ — phương trình đặc tính tần biên và đặc tính tần pha của hệ hở, được xác định nhờ $W_h(j\Omega)$:

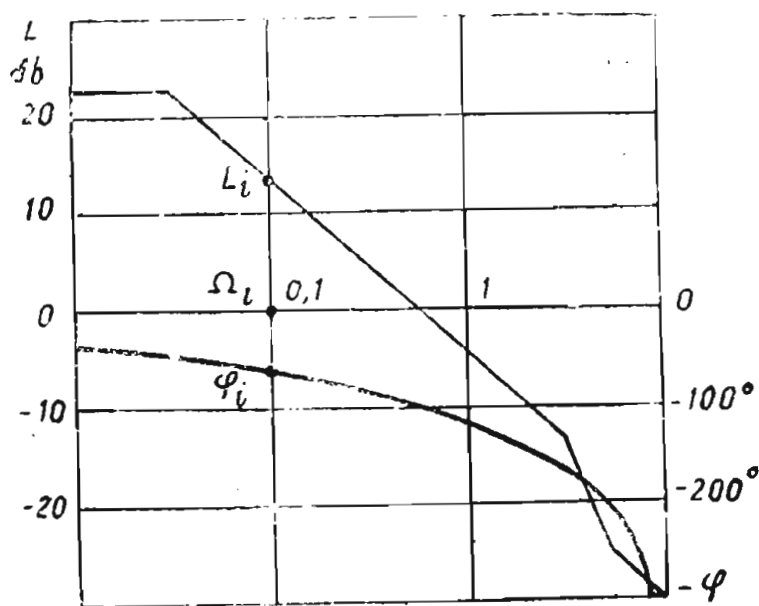
$$W_h(j\Omega) = kA(\Omega)e^{j\varphi(\Omega)} \quad (4-11)$$

Quan hệ (4-10) được biểu diễn dưới dạng đồ thị gọi là đồ thị cực logarit (hình 4-4), thực chất là một họ đường cong $L = f(\varphi)$ ứng với những giá trị $P = \text{const}$.

Nếu có sẵn đặc tính tần biên logarit $L(\Omega)$ và đặc tính tần pha $\varphi(\Omega)$ của hệ hở, giả sử như trên hình 4-5, thì ứng với một giá trị tần số Ω_i , ta tra được L_i và φ_i . Đặt cặp giá trị này lên đồ thị cực logarit, ta được một điểm i trên mặt phẳng $[L(\Omega), \varphi(\Omega)]$. Đường cong $P = \text{const}$ đi qua điểm này xác định giá trị P tương ứng (xem hình 4-4). Làm như thế với các giá trị khác của tần số, ta dựng được đặc tính tần phân thực $P(\Omega)$.

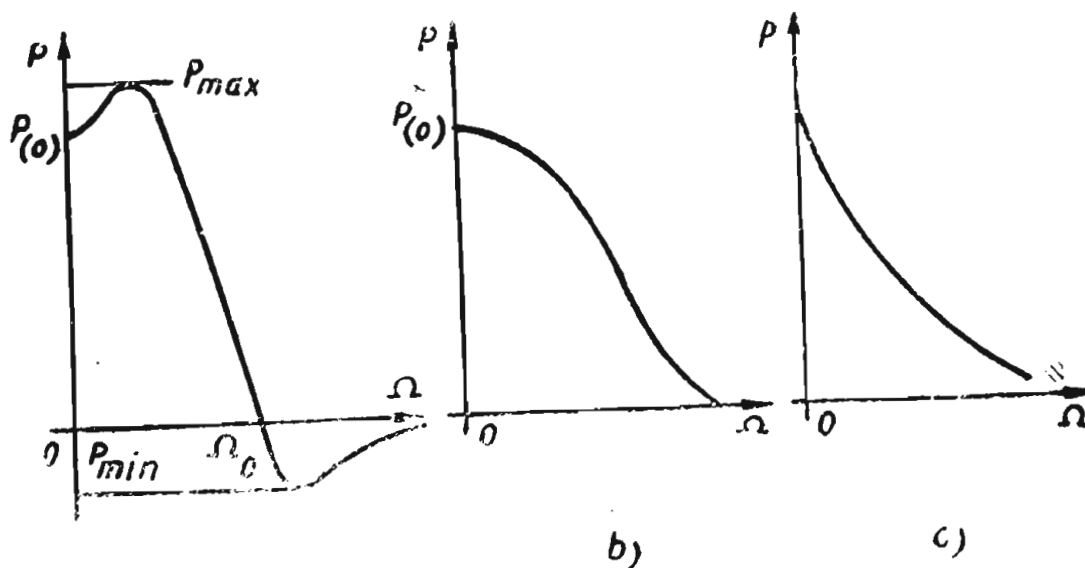


Hình 4-4. Dạng của đồ thị cực logarit



Hình 4-5. Đặc tính tần biên logarit và đặc tính tần pha của hệ hở

Hình 4-6 giới thiệu một số dạng thường gặp của đặc tính tần phân thực. Các thông số đặc trưng cho đặc tính này là $P(0)$ – giá trị phần thực khi tần số lượng vào $\Omega = 0$, nó tương ứng với giá trị xác lập của lượng ra x_∞ (khi $t \rightarrow \infty$);



Hình 4-6. Các dạng thường gặp của đặc tính tần phân thực

$P_{\max}$ và $P_{\min}$ — giá trị lớn nhất và nhỏ nhất của phần thực; Ω_0 — tần số giới hạn vùng giá trị dương của P . Nói chung, khi tần số tăng; giá trị phần thực sẽ giảm, tuy nhiên để bảo đảm độ chính xác cho đặc tính quá độ $h(t)$, đường cong $P(\Omega)$ cần vẽ đến vùng có $P \geq (5-10) \% P(0)$.

2. Dựng đặc tính quá độ.

Giả sử đặc tính tần phần thực của một hệ nào đó có dạng hình thang $P_t(\Omega)$ như trên hình 4-7. Theo lý thuyết điều khiển tự động, quan hệ giữa đặc tính tần phần thực hình thang và hàm quá độ $h(t)$ tương ứng với nó là

$$h(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{P_t(\Omega)}{\Omega} \sin \Omega t \, d\Omega. \quad (4-12)$$

Biểu diễn quan hệ $P_t(\Omega)$ theo các giá trị ghi trên hình 4-7 ta có

$$\left. \begin{aligned} P_t(\Omega) &= P_0 && \text{khi } 0 < \Omega < \Omega_d \\ P_t(\Omega) &= P_0 \frac{\Omega_0 - \Omega}{\Omega_0 - \Omega_d} && \text{khi } \Omega_d < \Omega < \Omega_0 \\ P_t(\Omega) &= 0 && \text{khi } \Omega > \Omega_0 \end{aligned} \right\} \quad (4-13)$$

Thay (4-13) vào (4-12) ta được

$$h(t) = \frac{2}{\pi} P_0 \left[\int_0^{\Omega_d} \frac{\sin \Omega t}{\Omega} \, d\Omega + \int_{\Omega_d}^{\Omega_0} \frac{\Omega_0 - \Omega}{\Omega_0 - \Omega_d} \frac{\sin \Omega t}{\Omega} \, d\Omega \right] \quad (4-14)$$

Để lập được các bảng mẫu vận năng về quan hệ giữa hàm $h(t)$ và đặc tính $P_t(\Omega)$, người ta biểu thị tung độ và hoành độ của $P_t(\Omega)$ theo đơn vị tương đối, nghĩa là đặt

$$P_0 = 1; \quad \Omega_0 = 1, \quad \kappa = \frac{\Omega_d}{\Omega_0}.$$

Khi đó (4-14) được viết lại là

$$h_{\kappa}(t) = \frac{2}{\pi} \left[\int_0^{\kappa} \frac{\sin \Omega t}{\Omega} \, d\Omega + \int_{\kappa}^1 \frac{1 - \Omega}{1 - \kappa} \frac{\sin \Omega t}{\Omega} \, d\Omega \right]. \quad (4-15)$$

Sau khi lấy tích phân, người ta đưa quan hệ (4-15) về dạng hàm số

$$h_{\kappa} = f(\tau, \kappa), \quad (4-16)$$

trong đó

$$h_{\kappa} = \frac{h}{P_0}; \quad \kappa = \frac{\Omega_d}{\Omega_0}; \quad \tau = \Omega_0 t. \quad (4-16a)$$

Quan hệ (4-16) được biểu thị dưới dạng bảng số mẫu, gọi là bảng hàm h . Đó là một họ bảng, mỗi bảng ứng với một giá trị κ . Khi có đặc tính phần thực

hình thang, ta xác định κ theo (4-16a) để tìm bảng tra lượng ứng, sau đó tự cho các trị τ , ta tra được các trị h_κ , cuối cùng theo (4-16a) ta tính ra h và t để dựng đường $h(t)$ cần tìm:

$$h = P_0 h_\kappa; \quad t = \frac{\tau}{\Omega_0}.$$

Tuy nhiên, đặc tính phần thực của các hệ truyền động đều là những đường cong liên tục như đã giới thiệu trên hình 4-6. Do đó để ứng dụng phương pháp tra bảng hàm h , ta cần tiến hành như sau:

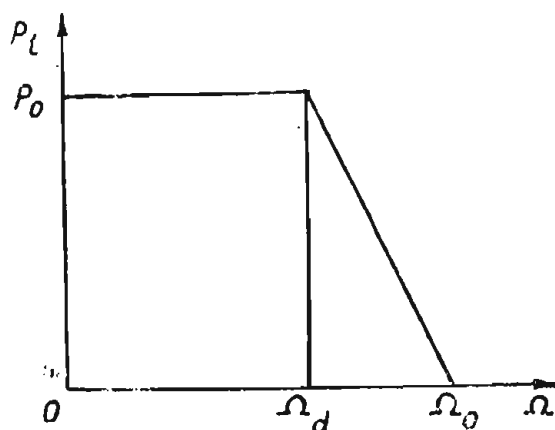
Thay đường cong $P(\Omega)$ bằng đường gấp khúc gần đúng sao cho diện tích bao bởi nó và các trục tọa độ, không đổi;

— Dựa vào đường gấp khúc này ta chia diện tích bao nó thành các hình thang vuông (hoặc tam giác) tương ứng, mỗi hình là một đặc tính $P_{li}(\Omega)$ thành phần;

— Sử dụng bảng hàm h và (4-16a) tìm quan hệ $h_i(t)$ ứng với các hình thang thành phần.

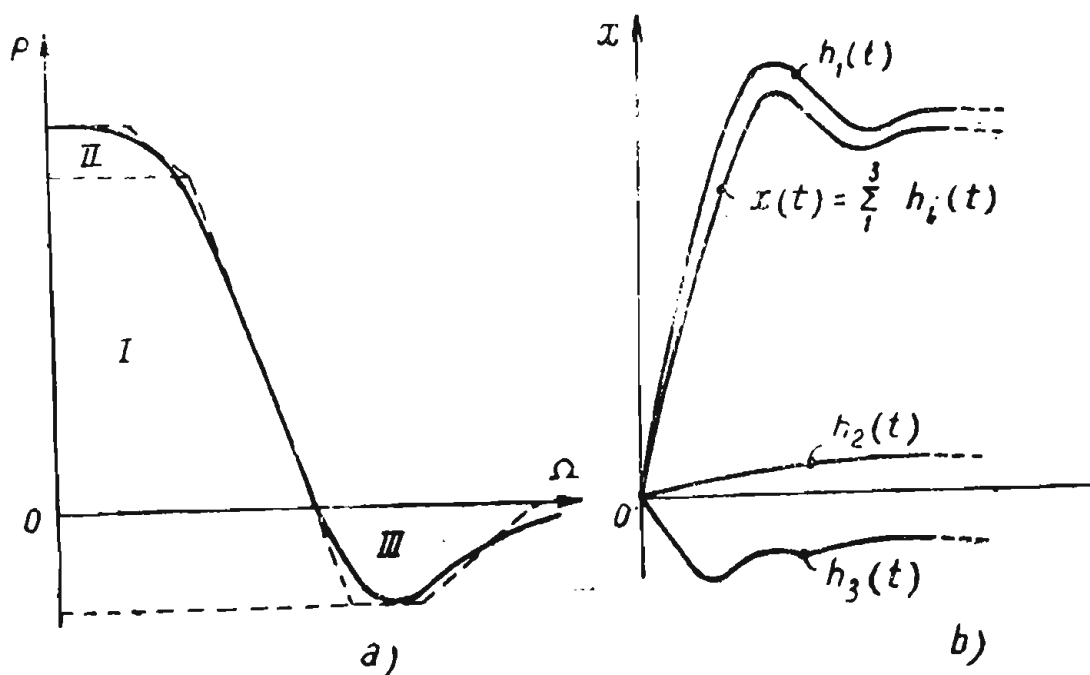
— Cộng đại số tung độ các đường $h_i(t)$ để được đặc tính chung của hệ $h(t)$.

— Biến đổi đại lượng h về đại lượng vật lý đang xét để được đặc tính quá độ $x(t)$.



Hình 4-7. Đặc tính tần phần thực hình thang

Hình 4-8 minh họa cho việc xây dựng đặc tính $h(t)$ và $x(t)$.



Hình 4-8. Hình thang hóa đặc tính $P(\Omega)$ (a) và cộng các đặc tính quá độ $h_i(t)$ (b).

Đại lượng vật lý tỷ lệ với h :

$$x = k_{qd} h. \quad (4-17)$$

Hệ số tỷ lệ k_{qd} được xác định theo trạng thái xác lập, nghĩa là dựa vào các số liệu tính toán tĩnh. Ví dụ đối với trường hợp nêu trên hình 4-3, lượng vào là tín hiệu điều khiển U_d , lượng ra x là tốc độ của truyền động ω . Theo tính toán tĩnh ta xác định được giá trị $U_{d,max}$ tương ứng với $\omega_{max} = \omega_{dm}$, do đó, hệ số khuếch đại của hệ thống là

$$k = \frac{x_r}{x_v} = \frac{\omega_{dm}}{U_{d,max}}$$

Ứng với lượng vào trong trường hợp khảo sát là U_{d1} , giá trị xác lập của lượng ra sẽ là

$$x_{\infty} = \omega_{x1} = KU_{d1}.$$

Giá trị đó sẽ tương ứng với $h_{\infty} = h(t)/t \rightarrow \infty$.

Do đó, công thức qui đổi (4-17) sẽ có dạng:

$$x = \frac{\omega_{x1}}{h_{\infty}} h = \frac{KU_{d1}}{h_{\infty}} \cdot h. \quad (4-18)$$

Như vậy, nếu nhân tung độ của đồ thị hình 4-8b với $K''_{qd} = \frac{kU_{d1}}{h_{\infty}}$ thì đường cong $h(t)$ cũng chính là đặc tính quá độ $\omega(t)$ cần tìm.

§4-3. KHẢO SÁT QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ BANG PHƯƠNG PHÁP MÔ HÌNH HÓA

1. Đặc điểm của phương pháp mô hình hóa.

Mô hình hóa là phương pháp tiên tiến rất thuận lợi trong việc nghiên cứu động học của các hệ truyền động tự động, đặc biệt là các hệ phi tuyến. So với các phương pháp tính toán khác, nó có nhiều ưu điểm cơ bản như: giải quyết được nhiều bài toán mà không cần thay đổi phép tính, ví dụ quan sát được nhiều đặc tính quá độ, phân tích hoặc tổng hợp hệ thống, khảo sát tổng quát hoặc khảo sát phân tử, v.v.; xét đến tính phi tuyến của các phần tử một cách đơn giản.

Mô hình hóa thực chất là một phương pháp thực nghiệm, dùng một mô hình gồm chủ yếu các phần tử điện tử có phương trình vi phân giống như của hệ thống truyền động được khảo sát, các đại lượng vật lý của hệ thực được thay thế bằng đại lượng điện áp có cùng qui luật biến thiên. Ta quan sát được đại lượng điện áp này trên màn ảnh của một ống phóng điện tử.

Các phần tử điện tử dùng để mô phỏng hệ vật lý được thiết lập trên cơ sở của bộ khuếch đại thuật toán có sẵn trong máy tính tương tự.

Khuếch đại thuật toán là bộ khuếch đại một chiều có hệ số khuếch đại lớn cỡ trên 10^4 , làm việc ở chế độ có phản hồi âm sâu.

Trên hình 4-9 vẽ sơ đồ một bộ khuếch đại thuật toán, trong đó Z_1 là điện trở đầu vào, Z_o — điện trở hồi tiếp. Hệ số khuếch đại của khâu này được xác định gần đúng:

$$K \approx \frac{Z_o(p)}{Z_1(p)}. \quad (4-19)$$

Bằng những sơ đồ nổi đặc biệt, từ phần tử cơ bản này ta có thể tạo được những khâu động tùy ý, đáp ứng yêu cầu mô hình hóa. Chú ý rằng, lượng vào và lượng ra của khâu mẫu như trên đều là điện áp.

2. Viết phương trình máy.

Một phần tử hoặc một hệ thống vật lý, đều được mô tả bởi những phương trình vi phân. Các phương trình này có một biến tự do là thời gian; còn các biến khác là những đại lượng vật lý nào đó như tốc độ, mômen, điện áp, v.v...

Muốn lập được một mô hình thay cho hệ thống đó, ta phải đổi các biến nêu trên cho phù hợp với các đại lượng có trên bộ khuếch đại thuật toán. Việc làm đó gọi là viết phương trình máy.

Trong phương trình máy, biến độc lập cũng là thời gian nhưng có thể thay đổi được. Các biến còn lại được biểu thị bằng điện áp.

Thực chất việc viết phương trình máy là tìm các tỉ xích phù hợp để đổi các biến thực thành biến máy.

Gọi U_r là biến ra của máy (hoặc của một khâu mẫu), x_r là biến thực trên đầu ra của hệ vật lý, tỷ xích lượng ra sẽ là:

$$m_r = \frac{U_r}{x_r} \quad (4-20)$$

Tương tự, ta có tỷ xích lượng vào m_v và tỷ xích thời gian m_t là

$$m_v = \frac{U_v}{x_v}; \quad m_t = \frac{\tau}{t}, \quad (4-21)$$

và tương ứng, toán tử laplace p cũng được chuyển thành:

$$P = \frac{p}{m_t} \quad (4-22)$$

(U_v , x_v — lượng vào của máy và của hệ vật lý; τ — thời gian máy).

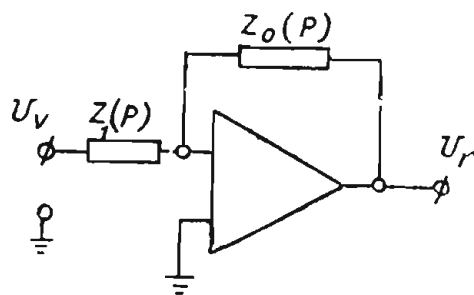
Vì điện áp làm việc của các bộ khuếch đại trên đa số máy tính là 100v, nên tỷ xích của biến ra m_r phải chọn sao cho.

$$m_r x_r \leq 100 \text{ V}$$

Muốn thế, trước hết phải xác định sơ bộ giá trị $x_{r.\max}$ có thể có trong quá trình làm việc kể cả lượng quá điều chỉnh nếu có, từ đó ta chọn

$$m_r = \frac{100}{x_{r.\max}}. \quad (4-23)$$

Chú ý rằng, người ta ít chú ý đến tỷ xích của lượng vào, vì thực chất lượng vào của một phần tử nào đó lại chính là lượng ra của phần tử đứng phía trước.



Hình 4-9. Phần tử cơ bản của thiết bị mô hình hóa.

Tỷ xích thời gian (biến tự do) được chọn theo yêu cầu quan sát. Thông thường, người ta muốn kéo dài quá trình để dễ phân tích, khi đó chọn tỷ xích thời gian $m_t > 1$, để cho $\tau > t$. Tuy nhiên, nếu có yêu cầu rút ngắn quá trình khảo sát, thì chọn $m_t < 1$.

Mặt khác, giá trị các tỷ xích có ảnh hưởng đến hệ số khuếch đại của các khâu. Trên máy không cho phép hệ số khuếch đại của các khâu lớn hơn 10. m_t càng nhỏ thì hệ số khuếch đại càng lớn. Do đó thường chọn $m_t = 10$.

Thay các đại lượng thực bằng các quan hệ (4-20) ÷ (4-22) vào phương trình vi phân của hệ thực, ta được phương trình máy. Trong phương trình này sẽ xuất hiện hệ số khuếch đại của các khâu mô phỏng. Khi đó, trước hết phải kiểm tra lại điều kiện.

$$K \leq 10,$$

sau đó, từ hệ số khuếch đại, ta xác định được các điện trở trên đầu vào của bộ khuếch đại theo (4-19).

3. Hai phương pháp mô hình hóa.

Có hai cách mô hình hóa hệ thống: mô phỏng phương trình vi phân tổng quát của hệ và mô phỏng cấu trúc của hệ. Ta xét từng phương pháp.

a) Lập mô hình theo phương trình vi phân tổng quát của hệ.

Trình tự tính toán được chia thành các bước sau:

— Tìm phương trình vi phân cho các phần tử trong hệ thực.

— Viết phương trình vi phân tổng quát của hệ. Bước này được thực hiện bằng cách thế dần các phương trình trong hệ để đưa về một phương trình liên quan giữa lượng ra và lượng vào. Dạng của nó như sau:

$$(a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0) \omega = b U_d, \quad (4-24)$$

trong đó ω — lượng ra của hệ (khi muốn khảo sát tốc độ);

U_d — điện áp chủ đạo (khi cần khảo sát tác dụng của tín hiệu điều khiển).

$a_0 \div a_n$, b — các hệ số, là những biểu thức của hằng số thời gian và hệ số khuếch đại của các khâu thực.

— Viết phương trình máy: chia cả 2 vế của (4-24) cho a_n , thay

$$\omega = \frac{U_r}{m_r}; \quad U_d = \frac{U_v}{m_v}, \quad t = \frac{\tau}{m_t} \text{ và } p = m_t P, \text{ ta được:}$$

$$\begin{aligned} p^n U_r = & \frac{b m_r}{a_n m_v m_t^n} U_v - \frac{a_{n-1}}{a_n m_t} P^{n-1} U_r - \frac{a_{n-2}}{a_n m_t^2} P^{n-2} U_r - \dots \\ & - \frac{a_1}{a_n m_t^{n-1}} P U_r - \frac{a_0}{a_n m_t^n} U_r. \end{aligned} \quad (4-25)$$

hoặc

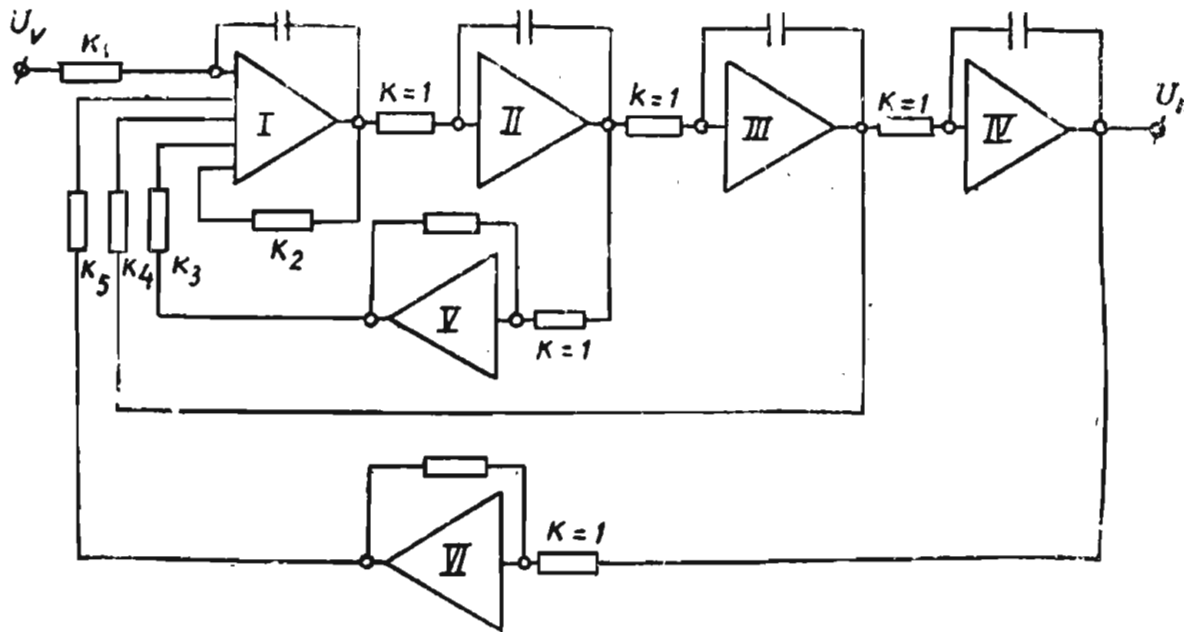
$$P^n U_r = K_1 U_v - K_2 P^{n-1} U_r - K_3 P^{n-2} U_r - \dots - K_n U_r, \quad (4-26)$$

trong có các hệ số khuếch đại:

$$K_1 = \frac{bm_r}{a_n m_v m_t^n}; K_2 = \frac{n_{n-1}}{a_n m_t}; K_3 = \frac{a_{n-2}}{a_n m_t^2} \dots$$

— Lập mô hình: Mỗi số hạng ở vế phải của (4-26) tương ứng là một đầu vào của bộ khuếch đại cộng. Tổng của chúng sẽ là $P^n U_r$. Đưa tín hiệu này liên tiếp qua $n + 1$ bộ tích phân ta sẽ nhận được U_r .

Hình 4-10 giới thiệu một mô hình dùng cho phương trình (4-26) khi $n=4$. Ở đây ta dùng bộ tích phân I để làm bộ cộng, do đó trên đầu ra của nó có ngay $P^3 U_r$. Ở các đầu ra của bộ II và IV, vì tín hiệu có dấu dương, do đó phải dùng thêm các bộ đảo dấu V và VI để lấy tín hiệu phản hồi.



Hình 4-10. Mô hình hóa phương trình vi phân tổng quát.

Phương pháp mô hình hóa vừa xét là không linh hoạt, nó chỉ đưa ra một đại lượng (ví dụ ω), mà không khảo sát được các đại lượng trung gian đặc trưng cho sự làm việc của các phần tử trong hệ thực, do đó chỉ thích ứng với một loại bài toán phân tích (ví dụ phân tích chất lượng của quá trình quá độ) mà không thuận tiện cho bài toán tổng hợp (ví dụ xác định thông số và vị trí của mạch hiệu chỉnh).

b) Lập mô hình theo cấu trúc của hệ.

Nội dung của phương pháp này là lập mô hình theo hệ phương trình vi phân xuất xứ của hệ, mà mỗi phương trình mô tả quá trình quá độ trong một khâu của hệ thực.

Trình tự tiến hành như sau :

- Viết phương trình cho các phần tử, lập sơ đồ cấu trúc của hệ thực ;
- Thay từng khâu trên sơ đồ cấu trúc bằng một khâu mẫu tương đương trên máy tính.

Chọn tỷ xích và hệ số khuếch đại cho các khâu mẫu.

Như vậy, thực chất của vấn đề là khảo sát việc mô hình hóa cho các khâu động học điển hình : khâu tỷ lệ, đảo dấu, cộng tích phân, quán tính, vi phân, đạo động v.v...

Do ưu điểm về cấu tạo, người ta chỉ chọn khâu tỷ lệ và các khâu có tính tích phân làm những khâu cơ bản trên máy. Các khâu có tính vi phân đều được lai ghép từ những khâu cơ bản mà ra.

Mô hình hóa các khâu động được trình bày trong nhiều tài liệu về máy tính tương tự và điều khiển tự động, còn việc chọn tỷ xích và hệ số khuếch đại thì đã nêu ở trên.

PHẦN II

TÍNH CHỌN MÁY ĐIỆN CHO TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

Chương V

TÍNH CHỌN CÔNG SUẤT ĐỘNG CƠ TRUYỀN ĐỘNG

§ 5-1. KHÁI NIỆM CHUNG

Như ta đã biết, động cơ là nguồn động lực chủ yếu của hệ thống truyền động điện, nó có nhiệm vụ biến điện năng thành cơ năng để làm chuyển động các bộ phận làm việc của máy sản xuất. Vì vậy muốn hệ thống truyền động điện làm việc an toàn, đảm bảo được các chỉ tiêu kỹ thuật và kinh tế, thì một trong những yếu tố quan trọng là phải tính chọn đúng động cơ và các máy điện của hệ thống.

Nội dung của công việc tính chọn máy điện cho hệ thống truyền động điện bao gồm : tính chọn công suất động cơ cho những truyền động không điều chỉnh ứng với phụ tải dài hạn, ngắn hạn và ngắn hạn lặp lại; tính chọn công suất động cơ cho những truyền động điều chỉnh; chọn sơ bộ máy điện theo các yêu cầu kỹ thuật; kiểm tra lại động cơ đã chọn sơ bộ theo điều kiện quá tải, khởi động và phát nóng.

Tính toán công suất động cơ theo yêu cầu của phụ tải là điều kiện quan trọng để tiến hành chọn động cơ cho truyền động điện. Công suất của động cơ được tính chọn theo chế độ làm việc của phụ tải. Những điều kiện làm việc của các máy sản xuất càng khác nhau; công suất truyền động yêu cầu càng lớn thì việc tính chọn công suất động cơ cho truyền động điện càng phức tạp.

Tính chọn đúng công suất của động cơ sẽ đảm bảo cho hệ thống truyền động điện làm việc an toàn và kinh tế. Nếu chọn công suất động cơ quá lớn so với yêu cầu của phụ tải thì kích thước và trọng lượng của động cơ sẽ bị tăng lên, dẫn tới tăng vốn đầu tư ban đầu. Mặt khác, động cơ luôn luôn làm việc non tải, do đó hiệu suất thấp. Đối với các động cơ xoay chiều khi làm việc non tải hệ số công suất $\cos\varphi$ sẽ thấp, ảnh hưởng đến lưới điện chung. Ngược lại nếu chọn công suất động cơ quá nhỏ so với yêu cầu của phụ tải thì

động cơ sẽ luôn luôn làm việc quá tải, các bộ phận ở bên trong của động cơ, nhất là các cuộn dây sẽ phát nóng quá mức, cách điện chóng già, tuổi thọ của máy giảm.

Để tính chọn được công suất của động cơ truyền động ta dựa vào đồ thị phụ tải đã qui đổi về trục động cơ: $M_c, P_c = f(t)$ tính cho một chu kỳ làm việc. Kết hợp với các yêu cầu của truyền động là có điều chỉnh tốc độ hoặc không điều chỉnh tốc độ. Đối với những truyền động điều chỉnh thì phạm vi điều chỉnh tốc độ D là bao nhiêu, trị số tốc độ cực đại và cực tiểu, trong giải điều chỉnh yêu cầu giữ công suất không đổi hay mômen không đổi, điều chỉnh tốc độ thực hiện bằng cách thay đổi thông số gì của nguồn hoặc của động cơ v.v..

§ 5-2. QUÁ TRÌNH PHÁT NÓNG VÀ NGUỘI LẠNH CỦA MÁY ĐIỆN

1. Khái niệm.

Trong quá trình biến đổi điện năng thành cơ năng hoặc ngược lại, một phần năng lượng sẽ bị tiêu tán ngay ở bên trong máy điện. Phần năng lượng đó được biểu thị ở dạng công suất tổn thất toàn phần ΔP . Công suất tổn thất toàn phần này sẽ biến thành nhiệt năng đốt nóng máy điện. Trong quá trình bị đốt nóng nhiệt độ của máy điện sẽ tăng dần lên, và theo lý thuyết, nếu máy điện không tỏa nhiệt ra môi trường xung quanh thì nhiệt độ của nó sẽ tăng đến vô cùng. Nhưng thực tế trong quá trình bị đốt nóng máy điện tỏa nhiệt ra môi trường xung quanh qua mặt ngoài của nó. Nhiệt lượng tỏa ra môi trường tỷ lệ với nhiệt độ của máy điện nên hạn chế được sự phát nóng của máy điện. Sau một thời gian xác định, nhiệt độ bên trong máy điện sẽ đạt tới trị số ổn định. Ở trạng thái ổn định nhiệt, nhiệt lượng tỏa ra môi trường xung quanh bằng nhiệt lượng sinh ra trong máy điện. Muốn đạt tới nhiệt độ ổn định máy điện phải có tải dài hạn.

Nếu xét tới tất cả các hiện tượng xảy ra trong quá trình phát nhiệt thì việc nghiên cứu sẽ gặp nhiều khó khăn. Bởi vì máy điện được cấu thành bởi nhiều vật liệu khác nhau như: thép kỹ thuật điện, đồng, chất cách điện v.v... Các bộ phận lại có những điều kiện làm việc khác nhau, có bộ phận tĩnh, có bộ phận quay. Quá trình trao đổi nhiệt giữa các bộ phận cũng rất khác nhau và rất phức tạp. Vì vậy muốn nghiên cứu quá trình phát nóng của máy điện được dễ dàng, ta phải giả thiết máy điện là một hệ gồm nhiều vật thể đồng nhất có trao đổi nhiệt với nhau. Ví dụ, đối với động cơ không đồng bộ ta có thể xem nó là một hệ gồm: Đồng stato, và rôto, thép stato và rôto, chúng được ngăn cách bởi những vật cách điện, còn môi trường làm mát là ở trong nhà. Với những giả thiết như vậy và nếu xem tổn thất không biến đổi thì quá trình phát nhiệt của động cơ cũng phải biểu diễn bởi hệ phương trình vi phân phức tạp. Khi phụ tải biến đổi thì việc giải hệ phương trình vi phân đó rất khó khăn và thực tế không giải được.

Để đơn giản hóa quá trình nhiệt đốt nóng stato và rôto ta có thể coi rằng quá trình đó không phụ thuộc vào những điều kiện khác nhau. Đôi khi ta có thể qui về việc phân tích quá trình đốt nóng của hai vật thể khác nhau.

Chẳng hạn quá trình đốt nóng rôlô và stato có thể xem là quá trình trao đổi nhiệt giữa đồng và thép dưới tác dụng của các tổn thất tương ứng. Tuy nhiên việc làm đó cũng đã đòi hỏi phải biết khá nhiều số liệu về cấu trúc của máy điện và các tham số khác như: sự trao đổi nhiệt giữa các phần tử bất kỳ của cuộn dây stato; trao đổi nhiệt giữa đồng và thép stato qua rãnh, qua cách điện và một loạt phần tử khác. Những tham số đó không cho trong các sổ tay hoặc lý lịch của máy. Vì thế phương pháp này cũng không được sử dụng.

Thực tế người ta thường dùng các phương pháp đơn giản để tính toán sơ bộ quá trình phát nóng của máy điện. Một trong những phương pháp đó là phương pháp tính toán dựa trên các giả thiết: xem máy điện là một vật thể đồng nhất có hệ số dẫn nhiệt vô cùng lớn và nhiệt độ ở mọi điểm là như nhau; nhiệt dung và độ tỏa nhiệt của vật thể không đổi; Độ tỏa nhiệt tỷ lệ bậc nhất với hiệu số nhiệt độ giữa máy điện và môi trường; Nhiệt độ môi trường không thay đổi và không phụ thuộc vào nhiệt độ của máy điện. Những giả thiết đó đòi hỏi không những máy điện là lý tưởng mà môi trường cũng phải là lý tưởng. Sau đây ta dùng phương pháp này để nghiên cứu quá trình phát nóng và nguội lạnh của máy điện.

2. Phương trình cân bằng nhiệt và các đường cong phát nóng nguội lạnh của máy điện.

Máy điện làm việc với phụ tải có công suất là P thì tổn thất công suất là:

$$\Delta P = P \frac{1-\eta}{\eta} \quad (5-1)$$

Nhiệt lượng sinh ra ở bên trong máy điện trong thời gian dt là:

$$\Delta P \cdot dt \cdot [J]$$

Nhiệt lượng này chia thành hai phần: một phần đốt nóng máy điện làm cho nhiệt độ của máy điện tăng lên. Phần còn lại tỏa ra môi trường xung quanh, phần này xem như tỷ lệ với hiệu số nhiệt độ giữa máy điện và môi trường.

Phương trình cân bằng nhiệt của máy điện là:

$$\Delta P \cdot dt = c \, d\tau + A \tau dt \quad (5-2)$$

trong đó:

$$\tau = t_{md}^o - t_{mt}^o \text{ — Nhiệt sai giữa máy điện và môi trường.}$$

C — nhiệt dung của máy điện, là nhiệt lượng cần thiết để nâng nhiệt độ của máy điện lên 1°C (J/độ).

A — Hệ số tỏa nhiệt, là nhiệt lượng tỏa ra mặt ngoài của máy điện trong thời gian 1 giây khi nhiệt độ của nó lớn hơn nhiệt độ môi trường xung quanh là 1°C (W/độ).

Giải phương trình vi phân (5-2) với điều kiện khi $t = 0$, $\tau = \tau_{bd}$ ta được nghiệm:

$$\tau = \tau_{\partial d} (1 - e^{-t/\theta}) + \tau_{bd} e^{-t/\theta} \quad (5-3)$$

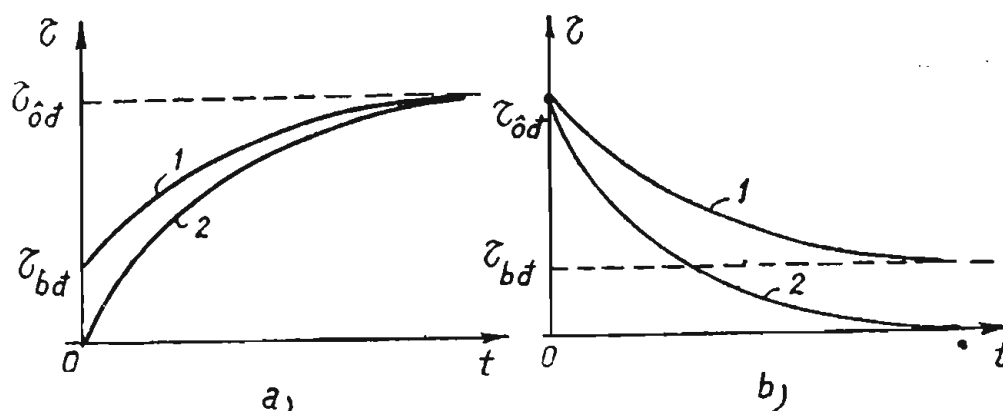
trong đó:

$$\theta = \frac{C}{A} - \text{hằng số thời gian phát nóng (s).}$$

$$\tau_{\text{od}} = \frac{\Delta P}{A} - \text{Nhiệt sai ổn định}$$

$$\tau_{\text{bd}} - \text{Nhiệt sai ban đầu}$$

Từ (5-3) ta vẽ được dạng đường cong phát nóng của máy điện như hình 5-1a. Đường 1 trên hình ứng với $\tau_{\text{bd}} \neq 0$ còn đường 2 ứng với $\tau_{\text{bd}} = 0$.



Hình 5-1. Các đường cong phát nóng (a) và nguội lạnh (b) của máy điện.

từ (5-3) ta tính được:

$$t = \theta \ln \frac{\tau_{\text{od}} - \tau_{\text{bd}}}{\tau_{\text{od}} - \tau} \quad (5.4)$$

Như vậy về lý thuyết, thời gian cần thiết để nhiệt độ máy điện tăng đến trị số ổn định ($\tau = \tau_{\text{od}}$) là vô cùng, thực tế máy điện đạt tới nhiệt độ ổn định sau khoảng thời gian $t = (3 \div 5) \theta$.

Biểu thức $\tau_{\text{od}} = \frac{\Delta P}{A}$ cho ta biết cách sử dụng máy điện thế nào là hợp lý nhất. Thật vậy nếu máy điện được chọn đúng thì khi có tải định mức nhiệt độ của nó sẽ đạt tới trị số nhiệt độ cho phép lớn nhất của cách điện là:

$$\tau_{\text{od.đm}} = \frac{\Delta P_{\text{đm}}}{A}.$$

từ:

$$\Delta P_{\text{đm}} = P_{\text{đm}} \frac{1 - \eta_{\text{đm}}}{\eta_{\text{đm}}}$$

ta có:

$$P_{\text{đm}} = \Delta P_{\text{đm}} \frac{\eta_{\text{đm}}}{1 - \eta_{\text{đm}}} = A \tau_{\text{od.đm}} \frac{\eta_{\text{đm}}}{1 - \eta_{\text{đm}}} \quad (5-5)$$

Từ (5-5) ta thấy hiệu suất định mức $\eta_{\text{đm}}$ càng lớn thì $P_{\text{đm}}$ càng lớn. Mặt khác càng tăng bề mặt làm nguội của máy điện (tăng A) thì $P_{\text{đm}}$ càng lớn. Như vậy tăng $\eta_{\text{đm}}$ và A sẽ tăng được khả năng chịu tải của máy điện. Thực tế để

tăng A người ta dùng quạt gió để làm nguội máy điện; đối với các máy điện xoay chiều vỏ ngoài được chế tạo thành những cánh khía để tăng diện tích làm mát. Ngoài ra còn có biện pháp khác để tăng công suất định mức của động cơ là dùng cách điện có nhiệt độ cho phép lớn.

Đang làm việc nếu cắt máy điện khỏi nguồn điện thì nhiệt độ của nó sẽ giảm từ trị số ổn định nào đó đến trị số ban đầu. Đây là quá trình nguội lạnh của máy điện. Với giả thiết điều kiện làm mát không đổi và $\tau_{bd} = 0$ thì đường cong nguội lạnh được biểu thị bởi biểu thức:

$$\tau = \tau_{\text{od}} e^{-t/\theta}, \quad (5-6)$$

và dạng của nó biểu diễn trên hình 5-1b.

Ở điều kiện làm mát không thay đổi, hằng số thời gian phát nóng θ có thể xác định theo đường cong phát nóng. Từ phương trình (5-3), với giả thiết $\tau_{bd} = 0$ ta có:

$$\tau = \tau_{\text{od}}(1 - e^{-t/\theta}) = \frac{\Delta P}{A}(1 - e^{-t/\theta}),$$

với một trị số t nào đó theo đường cong phát nóng ta xác định được τ , biết ΔP , A ta sẽ xác định được θ .

Ý nghĩa của hằng số thời gian phát nóng: giả sử máy điện không trao đổi nhiệt với môi trường xung quanh, nghĩa là $A = 0$ thì từ phương trình cân bằng nhiệt.

$$\Delta P dt = C d\tau + A\tau dt$$

ta có:

$$\Delta P dt = C d\tau \quad (5-7)$$

Giải (5-7) ta được:

$$\tau = \frac{\Delta P}{C} t. \quad (5-8)$$

Từ (5-8) ta thấy, khi không có sự trao đổi nhiệt với môi trường xung quanh thì quá trình phát nóng của máy điện biến đổi theo quy luật tuyến tính.

Khi $\tau = \tau_{\text{od}} = \frac{\Delta P}{A}$ thì:

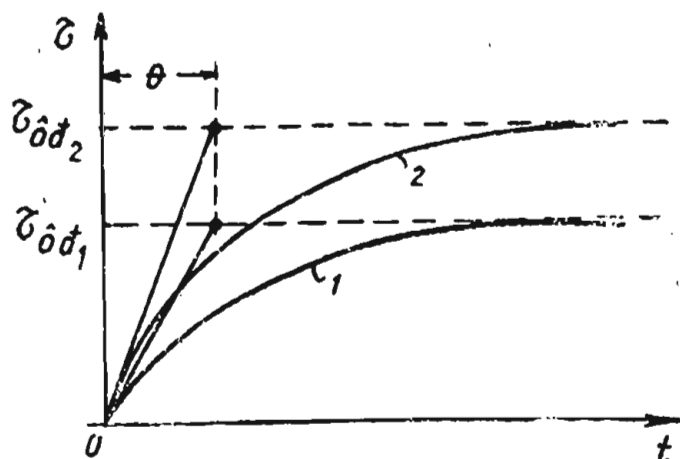
$$t = \tau_{\text{od}} \frac{C}{\Delta P} = \frac{\Delta P}{A} \frac{C}{\Delta P} = \frac{C}{A} = \theta. \quad (5-9)$$

Như vậy hằng số thời gian phát nóng θ là thời gian cần thiết để đưa nhiệt độ của máy điện từ trị số ban đầu tới trị số ổn định, khi không có sự trao đổi nhiệt với môi trường xung quanh.

Thường hằng số thời gian phát nóng của máy điện được xác định bởi hằng số thời gian phát nóng của bộ phận quan trọng nhất biểu thị cho nhiệt độ chung của máy. Ở các máy điện một chiều người ta xác định θ của phần ứng. Ở các máy điện không đồng bộ và đồng bộ người ta lấy θ của stato.

Xác định θ bằng giải tích mất nhiều thời gian và cũng chỉ được kết quả gần đúng. Vì vậy muốn được θ chính xác ta phải xác định bằng thực nghiệm.

Bằng thực nghiệm ta vẽ đường cong $\tau = f(t)$ rồi xác định θ bằng cách vẽ tiếp tuyến với đường cong tại một điểm bất kỳ như hình 5-2. Khi phụ tải thay đổi $\tau_{\text{đđ}}$ của máy điện thay đổi, nhưng θ không thay đổi. Chẳng hạn trên hình 5-2,



Hình 5-2. Cách xác định hằng số thời gian phát nóng.

khi phụ tải bé ta có $\tau_{\text{đđ1}}$, khi phụ tải lớn ta có $\tau_{\text{đđ2}}$ còn θ không đổi. Như vậy hằng số thời gian phát nóng không phụ thuộc vào nhiệt độ ổn định mà chỉ phụ thuộc vào cỡ máy và điều kiện làm mát. Đối với cùng một kiểu, máy điện có kích thước càng lớn (nhiệt dung C càng lớn) thì θ càng lớn. Điều kiện làm mát càng xấu (hệ số tỏa nhiệt A càng bé) thì θ càng lớn. Đối với các máy điện tự làm mát, điều kiện làm mát bị xấu đi khi khởi động, hãm, giảm tốc hoặc ngừng quay nên hằng số thời gian phát nóng, nguội lạnh thay đổi và có giá trị lớn.

Ví dụ: Đối với các máy điện một chiều tự quạt gió khi phần ứng không quay θ tăng gấp $2 \div 2,5$ lần so với khi quay. Còn đối với các máy điện không đồng bộ thì tăng gấp $4 \div 4,5$ lần.

Các máy điện do Liên Xô chế tạo thường có hằng số thời gian phát nóng θ như sau:

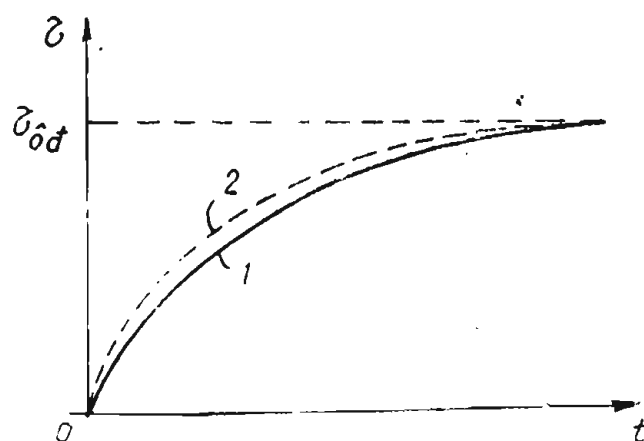
Đối với phần ứng của các máy điện một chiều kiểu hở có đường kính từ $160 - 600\text{mm}$ thì $\theta = 25 \div 90$ phút.

Đối với phần ứng của các máy điện một chiều kiểu kín dùng trong cầu trục МП đường kính từ $100 \div 400\text{mm}$ có $\theta = 65 \div 70$ phút. Đối với động cơ không đồng bộ lồng sóc tự quạt gió đường kính rôto từ $105 \div 140\text{mm}$ có $\theta = 11 \div 22$ phút.

Đối với các động cơ không đồng bộ rôto quấn dây kiểu hở có θ của rôto gần như θ của phần ứng máy điện một chiều.

Cần chú ý rằng nhiệt độ của máy điện biến thiên theo quy luật hàm mũ như đã nêu chỉ đúng khi coi máy điện là một vật thể đồng nhất. Thực tế quá trình phát nóng của máy điện phức tạp hơn nhiều. Khi làm việc máy điện bị đốt nóng chủ yếu là do các tổn thất trong đồng và thép. Các cuộn dây đồng trong máy điện có khối lượng nhỏ, độ dẫn nhiệt cao, tổn thất lớn nên sẽ phát nóng nhanh hơn. Còn lõi thép stato có bề mặt làm mát lớn, tổn thất lại nhỏ hơn, nên phát nóng chậm hơn. Vì vậy trong máy điện sẽ có sự trao đổi nhiệt giữa đồng và thép. Ở giai đoạn đầu nhiệt độ của các cuộn dây sẽ tăng nhanh hơn, do đó đường cong phát nóng thực nghiệm của máy điện sẽ dốc hơn đường hàm mũ. Mặt khác các cuộn dây phát nóng nhanh hơn sẽ truyền nhiệt sang lõi thép nên nhiệt độ của đồng tăng thì nhiệt độ của thép cũng tăng làm cho quá

trình trao đổi nhiệt chậm lại. Kết quả ở cuối quá trình đường cong phát nóng thực nghiệm gần trùng với đường hàm mũ (xem hình 5-3).

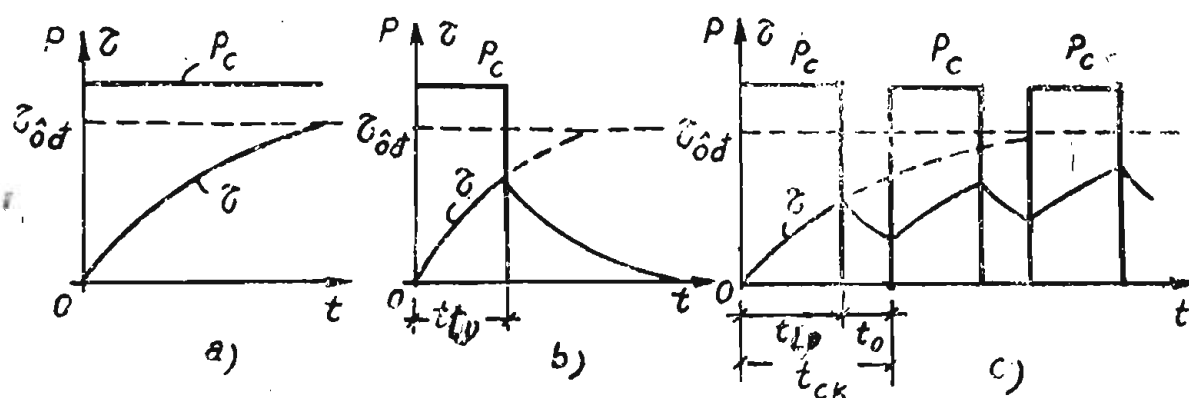


Hình 5-3. Dạng đường cong phát nóng theo lý thuyết (1) và thực nghiệm (2).

§5-3. PHÂN LOẠI CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC CỦA TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

Căn cứ vào đặc điểm và thời hạn làm việc, người ta chia chế độ làm việc của truyền động điện thành 3 loại: Dài hạn, ngắn hạn và ngắn hạn lặp lại.

1. Chế độ dài hạn: Chế độ làm việc của truyền động điện được gọi là dài hạn nếu phụ tải được duy trì trong thời gian dài. Trong thời gian đó nhiệt độ của động cơ đủ đạt tới trị số ổn định. Phụ tải dài hạn không đổi và đường cong phát nóng của động cơ có dạng biểu diễn trên hình 5-4a. Ví dụ các máy bơm, nén khí, quạt gió v.v... làm việc ở chế độ dài hạn.



Hình 5-4. Phân loại các chế độ làm việc của truyền động điện.
a) dài hạn; b) ngắn hạn; c) ngắn hạn lặp lại.

2. Chế độ ngắn hạn: chế độ làm việc của truyền động điện được gọi là ngắn hạn, nếu phụ tải chỉ duy trì trong thời gian ngắn còn thời gian nghỉ dài. Trong thời gian làm việc nhiệt độ của động cơ chưa đạt tới trị số ổn định thì động cơ đã mất tải. Thời gian nghỉ dài nên nhiệt độ của động cơ đủ giảm tới trị số ban đầu. Phụ tải ngắn hạn không đổi và đường cong phát nóng nguội lạnh của động cơ có dạng biểu diễn trên hình 5-4b. Đặc trưng cho chế độ làm việc ngắn hạn là thời gian làm việc t_{lv} , thường $t_{lv} \leq 90$ phút.

Ví dụ các động cơ đóng mở cánh cửa đập nước; Động cơ nâng, hạ xà, xiết xà trong các máy cắt kim loại v.v... làm việc ở chế độ này.

3. Chế độ ngắn hạn lặp lại: chế độ làm việc của truyền động điện được gọi là ngắn hạn lặp lại khi thời gian có tải và nghỉ xen kẽ nhau, tiếp diễn nhiều lần. Trong thời gian làm việc nhiệt độ của động cơ chưa đạt tới trị số ổn định thì động cơ mất tải. Trong thời gian nghỉ nhiệt độ của động cơ chưa giảm tới trị số ban đầu thì động cơ lại có tải. Phụ tải ngắn hạn lặp lại không đòi hỏi đường cong phát nóng, nguội lạnh của động cơ có dạng biểu diễn trên hình 5-5c, Đặc trưng cho chế độ làm việc ngắn hạn lặp lại là thời gian đóng điện tương đối hoặc $\epsilon\%$:

$$\epsilon = \frac{t_{lv}}{t_{lv} + t_o} = \frac{t_{lv}}{t_{ck}}$$

hoặc

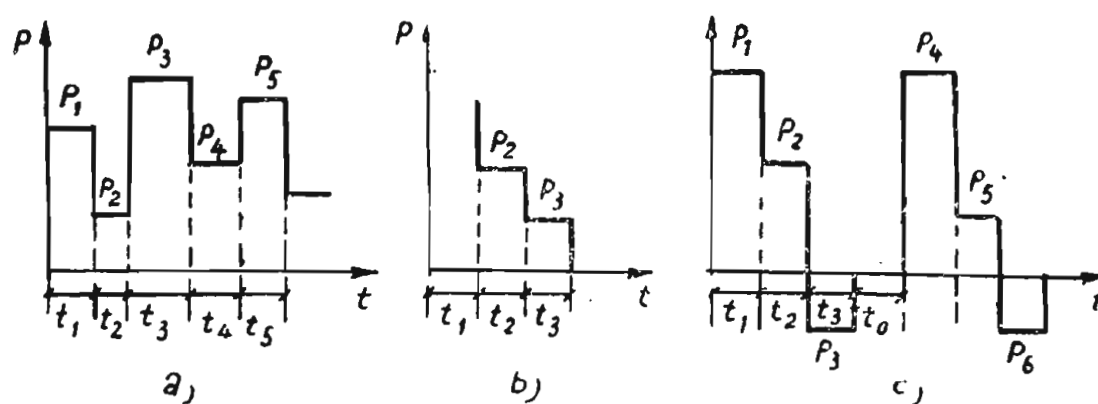
$$\epsilon\% = \frac{t_{lv}}{t_{ck}} 100\%,$$

trong đó; t_{lv} — thời gian làm việc (có tải); t_o — thời gian nghỉ; t_{ck} — thời gian của một chu kỳ;

Thường quy định $t_{ck} \leq 10$ phút.

Ví dụ các truyền động nâng, hạ tải của cầu trục, tời v.v... thuộc chế độ làm việc ngắn hạn lặp lại.

Trong thực tế phụ tải dài hạn, ngắn hạn lặp lại có thể biến đổi theo thời gian như dạng biểu diễn trên hình 5-5.



Hình 5-5. Đồ thị phụ tải biến thiên theo thời gian của các chế độ
a) dài hạn; b) ngắn hạn; c) ngắn hạn lặp lại

§ 5-4. ĐỒ THỊ PHỤ TẢI CỦA TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

Xây dựng đồ thị phụ tải của hệ thống truyền động điện là nhiệm vụ quan trọng trong tính toán, thiết kế truyền động điện. Đồ thị phụ tải là cơ sở để tính toán xác định công suất và chọn máy điện truyền động.

Đồ thị phụ tải của truyền động điện được chia thành hai loại: đồ thị phụ tải của máy sản xuất và đồ thị phụ tải của động cơ. Các đồ thị phụ tải này có thể ở dạng tĩnh khi chưa tính đến các giai đoạn quá độ, hoặc ở dạng động khi đã tính cả các giai đoạn quá độ.

Đồ thị phụ tải của máy sản xuất là quan hệ giữa mômen hoặc công suất cản tĩnh với thời gian: $M_c, P_c = f(t)$. M_c hoặc P_c do đặc tính làm việc, yêu cầu công nghệ của từng máy quyết định, xác định chúng thường đơn giản. Ví dụ, công suất của các máy bơm phụ thuộc vào khối lượng và tốc độ chuyển động của chất lỏng cần bơm; công suất của các cơ cấu nâng hạ tải được xác định bởi tải trọng và tốc độ nâng hạ; công suất truyền động trực chỉnh của các máy cắt kim loại được xác định theo lực cắt và tốc độ cắt v.v... Dạng đặc tính phụ tải của các máy sản xuất đã được nêu ở chương 1, trong tập 1 của tài liệu này. Sau khi đã quyết định được phương án truyền động, xác định được phần cơ của nó, ta quy đổi đồ thị phụ tải tĩnh về trục động cơ. Đồ thị này là cơ sở để tính toán xác định công suất và chọn sơ bộ động cơ.

Đồ thị phụ tải của động cơ là quan hệ giữa mô men hoặc công suất của động cơ với thời gian:

$$M_d, P_d = f(t)$$

Nếu đồ thị phụ tải được xây dựng trên cơ sở đã tiến hành tính toán các quá độ như khởi động, hãm, điều chỉnh tốc độ v.v... thì gọi là đồ thị phụ tải động của động cơ. Đồ thị phụ tải động thường được sử dụng để tính toán kiểm tra lại động cơ đã chọn sơ bộ ban đầu, theo điều kiện quá tải, khởi động, phát nóng; tính chọn và kiểm tra các thiết bị điều khiển v.v...

Quan hệ giữa mômen của động cơ theo thời gian ở trạng thái động được xác định từ phương trình chuyển động của hệ thống truyền động điện là:

$$M_d = M_c + J \frac{d\omega}{dt} \quad (5-10)$$

trong đó: M_c — mômen cản đã quy đổi về trục động cơ;

J — mômen quán tính của toàn hệ thống đã quy đổi về trục động cơ.

ω — tốc độ quay của động cơ.

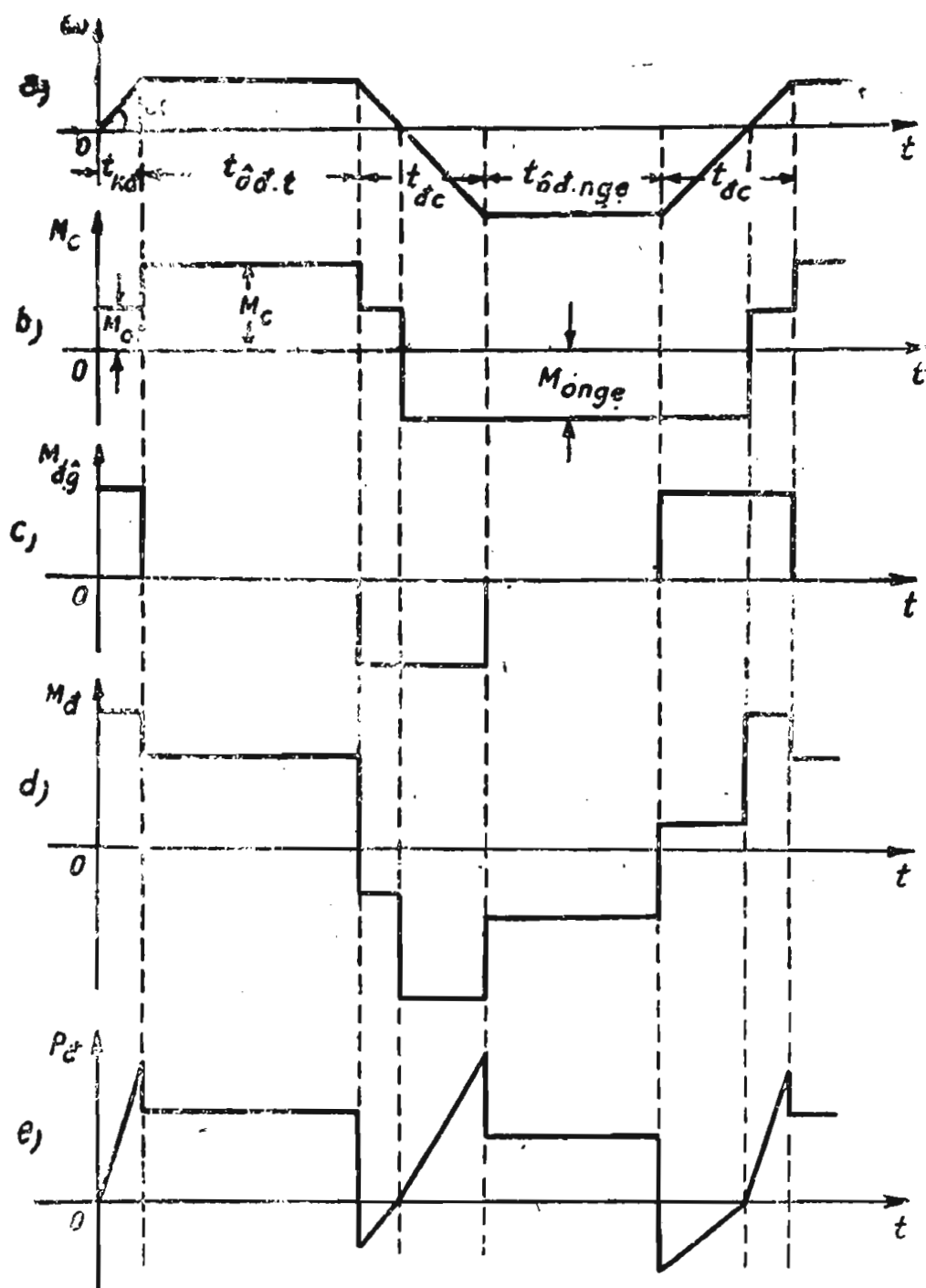
Trong một số trường hợp người ta có thể xây dựng đồ thị phụ tải động của động cơ theo những phương pháp tính toán gần đúng. Một trong những phương pháp đó, là thay các đường cong biến thiên liên tục theo thời gian của mômen hoặc dòng điện động cơ bằng đường bậc thang. Nghĩa là giả thiết mômen hoặc dòng điện của động cơ trong từng khoảng thời gian xác định là không đổi và bằng trị số trung bình của nó. Nếu mômen cản không đổi thì với giả thiết trên, gia tốc của hệ trong các quá trình quá độ sẽ không thay đổi $\left(\frac{d\omega}{dt} = \text{const} \right)$, còn tốc độ của động cơ sẽ biến thiên theo quy luật tuyến tính.

Đối với những truyền động có thể bỏ qua các giai đoạn quá độ thì đồ thị phụ tải của động cơ trùng với đồ thị phụ tải tĩnh của máy sản xuất đã quy đổi về trục động cơ:

$$M_d(t) = M_c(t); P_d(t) = P_c(t).$$

Để minh họa cho phương pháp xây dựng đồ thị phụ tải động bằng cách tính toán gần đúng ta lấy ví dụ sau đây:

Đồ thị tốc độ và mômen cản tĩnh đã quy đổi về trục động cơ của truyền động bàn máy bào giường có dạng biểu diễn trên hình 5-6a, b.



Hình 5-6. Đồ thị phụ tải động của máy bào giường xây dựng theo phương pháp gần đúng.

Trong đó:

t_{kd} — thời gian khởi động.

$t_{ổđ.t}$ — thời gian làm việc ổn định ở hành trình thuận (hành trình cắt gọt).

t_{dc} — thời gian đảo chiều từ hành trình thuận sang hành trình ngược và ngược lại.

$t_{ổđ.ngc}$ — thời gian làm việc ổn định ở hành trình ngược.

Nếu bỏ qua các giai đoạn vào dao, ra dao thì đồ thị mômen và công suất của động cơ theo thời gian được xây dựng trình tự theo các hình 5-7c, d, e.

Trong đó:

$$M_{dg} = J \frac{d\omega}{dt} = Jtg\alpha,$$

α — góc tạo bởi đặc tính $\omega = f(t)$ với trục hoành ở các giai đoạn quá độ (hình 5-6a);

$$M_d = M_c + M_{dg};$$

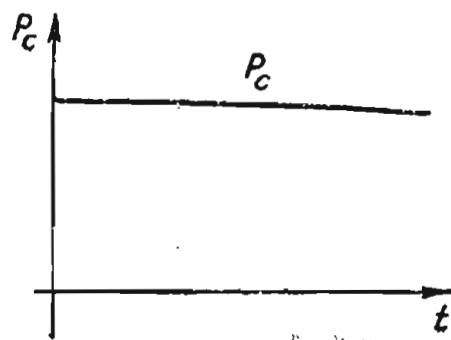
$$P_d = M_d \cdot \omega.$$

§5-5. TÍNH CHỌN CÔNG SUẤT ĐỘNG CƠ LÀM VIỆC DÀI HẠN CHO NHỮNG TRUYỀN ĐỘNG KHÔNG ĐIỀU CHỈNH

Ở chế độ làm việc dài hạn chọn đúng công suất động cơ là phải đảm bảo trong phạm vi phụ tải cho phép, dù làm việc dài hạn đến đâu thì nhiệt độ của động cơ cũng không được vượt quá trị số giới hạn cho phép. Vì vậy một trong những nhiệm vụ quan trọng trong việc tính chọn động cơ cho truyền động điện là phải kiểm tra lại công suất động cơ theo điều kiện phát nóng (sẽ nêu ở phần sau). Trong tiết này chỉ nêu các phương pháp tính toán xác định công suất yêu cầu của động cơ cần chọn từ đồ thị phụ tải đã cho.

1. Tính chọn công suất động cơ khi phụ tải dài hạn không đổi.

Những máy sản xuất có phụ tải trên trục không đổi hoặc biến đổi ít như: các bơm nước, quạt gió, nén khí kiểu ly tâm, các máy nâng bốc vận chuyển v.v... Đặc tính phụ tải có dạng biểu diễn trên hình 5-7, ở chế độ này do thời gian làm việc dài nên các giai đoạn quá độ không ảnh hưởng nhiều đến quá trình phát nóng của động cơ. Vì vậy để tính toán công suất yêu cầu đối với động cơ cần chọn ta sử dụng đồ thị phụ tải tĩnh của máy sản xuất đã quy đổi về trục động cơ ở dạng M_c , $P_c = f(t)$.



Hình 5-7. Đồ thị phụ tải dài hạn không đổi.

Động cơ cần chọn phải có công suất định mức:

$$P_{dm} \geq P_c$$

thường chọn $P_{dm} = (1 \div 1,3) P_c$.

Để sáng tỏ hơn ta lấy một vài ví dụ cụ thể:

Ví dụ 1: công suất trên trục của động cơ quạt gió được xác định theo biểu thức:

$$P_d = \frac{Q \cdot H}{1000 \eta_q \cdot \eta_{tr}}, [kW] \quad (5-11)$$

trong đó:

Q — lưu lượng gió (còn gọi là năng suất của quạt); (m^3/s); H — Tổng áp lực (N/m^2); η_q — hiệu suất của quạt; η_{tr} — hiệu suất của khâu truyền lực giữa động cơ và quạt.

Ví dụ 2: công suất trên trục động cơ bơm được xác định theo biểu thức:

$$P_d = \frac{\gamma Q (H + \Delta H)}{1000 \eta_b \eta_{tr}} \quad (5-12)$$

trong đó:

γ — tỷ trọng chất lỏng cần bơm (N/m^3);

Q — lưu lượng chất lỏng (năng suất của bơm) (m^3/s);

H – chiều cao cần bơm, bằng tổng chiều cao hút và chiều cao đẩy (m);

ΔH – độ giảm cột nước trong ống dẫn chính (m);

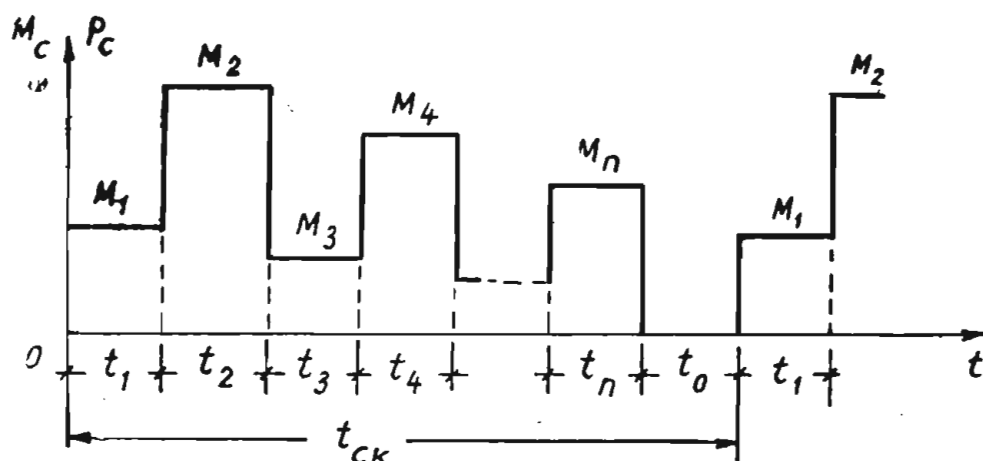
η_b – hiệu suất của bơm;

η_u – hiệu suất của khâu truyền lực giữa động cơ và bơm.

2) Tính chọn công suất động cơ khi phụ tải dài hạn biến đổi.

Khi phụ tải dài hạn biến đổi thì nhiệt độ của động cơ sẽ thay đổi theo mức độ thay đổi của tải. Để tính chọn được công suất động cơ ta phải dựa vào đồ thị phụ tải đã quy đổi về trục động cơ trong một hoặc nhiều chu kỳ làm việc.

Ví dụ đồ thị phụ tải dài hạn biến đổi có dạng như hình 5-8. Đồ thị này ở mỗi chu kỳ bao gồm n cấp phụ tải tương ứng với các thời gian $t_1, t_2, \dots, t_n$ và một đoạn không tải M_0, t_0 . Khi $t_0 \neq 0, M_0 = 0$ ta được chu kỳ phụ tải biến đổi có thời gian nghỉ.



Hình 5-8. Đồ thị phụ tải dài hạn

Khi $t_0 \neq 0, M_0 \neq 0$ ta được chu kỳ phụ tải biến đổi có đoạn không tải. Khi $t_0 = 0, M_0 = 0$ ta được chu kỳ phụ tải biến đổi không có thời gian nghỉ và không tải.

Để chọn được động cơ từ đồ thị phụ tải ta tính ra

trị số trung bình của mômen hoặc công suất theo biểu thức:

$$M_{tb} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (5.13)$$

$$P_{tb} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (5.14)$$

Động cơ chọn phải có:

$$M_{dm} = (1,1 \div 1,3) M_{tb}$$

hoặc

$$P_{dm} = (1,1 \div 1,3) P_{tb}$$

Cũng có thể chọn động cơ theo mômen định mức được xác định bởi biểu thức:

$$\left. \begin{aligned} M_{dm} &= \frac{M_{tb} + M_{qr}}{2} \\ \text{hoặc} \quad M_{dm} &= \sqrt{M_{tb} \cdot M_{qr}} \end{aligned} \right\} \quad (5-15)$$

trong đó: M_{tb} xác định theo (5-13),

M_{qr} — trị số quân phương của mômen tải xác định từ đồ thị phụ tải là

$$M_{qr} = \sqrt{\frac{\sum_0^n M_x^2 t_x}{\sum_0^n t_x}} \quad (5-16)$$

§ 5-6. TÍNH CHỌN CÔNG SUẤT ĐỘNG CƠ LÀM VIỆC NGẮN HẠN CHO NHỮNG TRUYỀN ĐỘNG KHÔNG ĐIỀU CHỈNH

Ở chế độ này vấn đề quan trọng là phải xác định được công suất phụ tải trong thời gian làm việc. Người ta thường chia phụ tải ngắn hạn thành 2 loại: không đổi và biến đổi trong thời gian làm việc.

1. Tính chọn công suất động cơ khi phụ tải ngắn hạn không đổi.

Đồ thị phụ tải ngắn hạn không đổi đã quy đổi về trục động cơ, có dạng biểu diễn trên hình 5-9.

Để truyền động cho phụ tải loại này, ta có thể tính chọn công suất động cơ dài hạn hoặc ngắn hạn.

a) *Tính chọn công suất động cơ dài hạn phục vụ cho phụ tải ngắn hạn không đổi.* Động cơ dài hạn được chế tạo để khi làm việc với phụ tải định mức trong thời gian dài thì nhiệt độ của nó đạt tới trị số ổn định. Vì vậy khi truyền động cho phụ tải ngắn hạn nếu ta chọn động cơ có công suất định mức bằng công suất yêu cầu của phụ tải: $P_{dm} = P_{nh}$, thì sau thời gian làm việc ngắn nhiệt độ của động cơ chỉ đạt tới trị số τ_x nào đó nhỏ hơn τ_{od} như đường 1 trên hình 10-5. Để tận dụng hết công suất và khả năng chịu nhiệt của động cơ, ta cho nó làm việc quá tải. Nghĩa là có thể chọn động cơ dài hạn có:

$$P_{dm} < P_{nh},$$

sao cho ở cuối thời gian làm việc nhiệt độ của động cơ đạt tới trị số ổn định cho phép của cách điện như đường 2 trên hình 5-10.

Công suất định mức của động cơ dài hạn cần chọn, được xác định qua hệ số quá tải về nhiệt δ :

$$\delta = \frac{\Delta P_{nh}}{\Delta P_{dm}} = \frac{\tau'_{od}}{\tau_{od}} \quad (5-17)$$

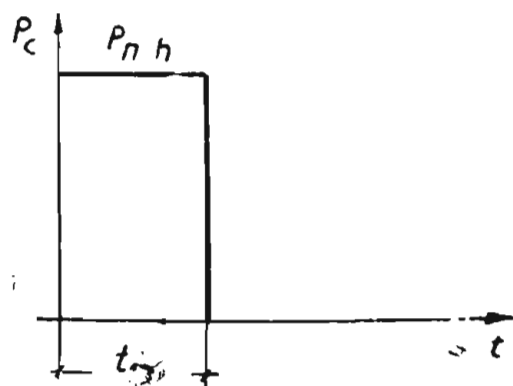
trong đó:

ΔP_{nh} – tổn thất công suất của phụ tải ngắn hạn;

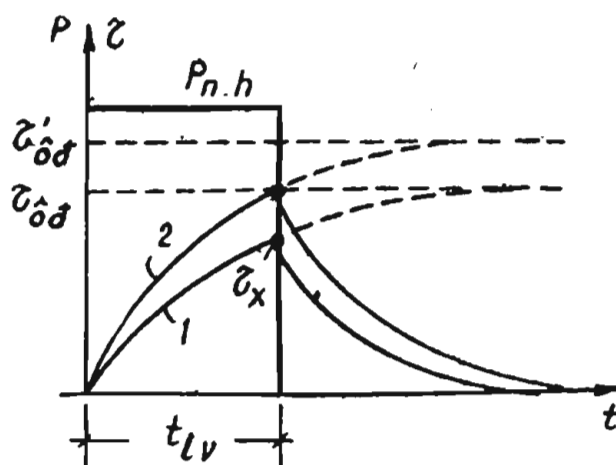
ΔP_{dm} – tổn thất công suất định mức của động cơ dài hạn;

τ'_{od} – nhiệt sai ổn định mà động cơ dài hạn sẽ đạt tới nếu làm việc với phụ tải ngắn hạn trong thời gian dài.

τ_{od} – nhiệt sai ổn định cho phép của cách điện đã sử dụng trong động cơ dài hạn.



Hình 5-9. Đồ thị phụ tải ngắn hạn không đổi.



Hình 5-10. Đồ thị phụ và các đường cong phát nóng nguội lạnh của động cơ ở chế độ ngắn hạn.

Để xác định hệ số quá tải nhiệt δ ta tiến hành như sau:

Trong chế độ dài hạn khi làm việc với phụ tải định mức thì nhiệt độ của động cơ sẽ đạt tới trị số cho phép của cách điện, tương ứng ta có nhiệt sai

$$\tau_{ef} = \tau_{od} = \frac{\Delta P_{dm}}{A} \quad (5-18)$$

Khi làm việc với phụ tải ngắn hạn, nhiệt độ của động cơ sẽ đạt tới trị số ổn định cho phép sau thời gian làm việc, nghĩa là:

$$\begin{aligned} \tau_{od} &= \frac{\Delta P_{nh}}{A} (1 - e^{-t_{lv}/\theta}) \\ &= \tau'_{od} (1 - e^{-t_{lv}/\theta}) \end{aligned} \quad (5-19)$$

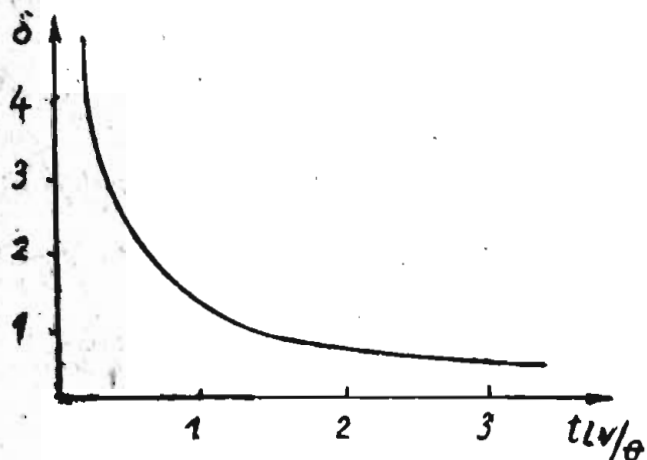
từ (5-19) ta xác định được hệ số quá tải về nhiệt:

$$\delta = \frac{\tau'_{od}}{\tau_{od}} = \frac{1}{1 - e^{-t_{lv}/\theta}} \quad (5-20)$$

Dựa vào (5-20) nếu biết t_{lv} , θ ta sẽ xác định được δ , ngược lại biết δ và θ ta xác định được thời gian làm việc của động cơ là:

$$t_{lv} = \theta \ln \frac{\delta}{\delta - 1}. \quad (5-21)$$

Quan hệ giữa hệ số quá tải về nhiệt δ với tỷ số t_{lv}/θ có dạng biểu diễn trên hình 5-11.



Hình 5-11. Quan hệ giữa hệ số quá tải nhiệt δ với tỷ số t_{lv}/θ ở chế độ ngắn hạn.

Công suất định mức của động cơ dài hạn cũng có thể xác định được khi đã biết hệ số quá tải về cơ ξ :

$$\xi = \frac{P_{nh}}{P_{dm}}$$

ξ được xác định qua biểu thức:

$$\delta = \frac{\Delta P_{nh}}{\Delta P_{dm}} = \frac{K + \xi^2 V_{dm}}{K + V_{dm}} = \frac{\gamma + \xi^2}{\gamma + 1} \quad (5-22)$$

Từ (5-22) ta có:

$$\xi = \sqrt{\delta(\gamma + 1) - \gamma} \quad (5-23)$$

Thay giá trị của δ (5-20) vào (5-23) ta được:

$$\xi = \sqrt{\frac{1 + \gamma e^{-t_{lv}/\theta}}{1 - e^{-t_{lv}/\theta}}} \quad (5-24)$$

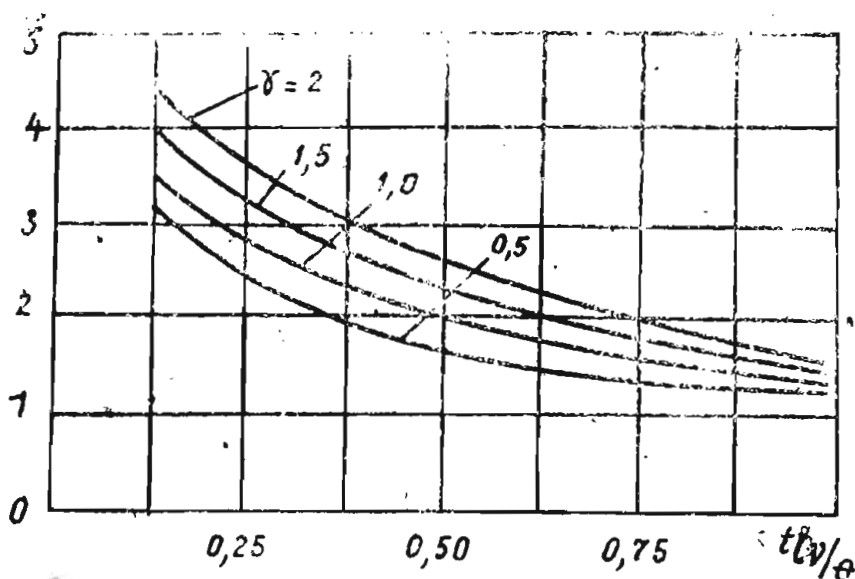
trong đó: K – tổn thất không đổi; V_{dm} – tổn thất biến đổi định mức;

$$\gamma = \frac{K}{V_{dm}} \text{ – hệ số tổn thất công suất định mức.}$$

Đối với các động cơ bình thường, trị số γ phụ thuộc vào tốc độ quay định mức, phương pháp kích từ và thường biến đổi trong giới hạn $\gamma = 0,5 \div 2$. Quan hệ giữa hệ số quá tải cơ ξ với tỷ số t_{lv}/θ ứng với các giá trị γ khác nhau có dạng biểu diễn trên hình 5-12.

Tóm lại để xác định công suất định mức của động cơ dài hạn, phục vụ cho phụ tải ngắn hạn ta tiến hành như sau:

Từ đồ thị phụ tải của máy sản xuất đã quy đổi về trục động cơ ta xác định công suất ngắn hạn P_{nh} và thời gian làm việc t_{lv} kết hợp với các điều kiện kỹ thuật khác để sơ bộ chọn kiểu và phạm vi công suất của động cơ dài hạn, từ đó xác định được γ và θ . Dựa vào các biểu thức (5-20); (5-24) hoặc đồ thị như hình 5-10; 5-11 xác định δ hoặc ξ . Từ δ hoặc ξ xác định công suất định mức của động cơ cần chọn.



Hình 5-12. Quan hệ giữa hệ số quá tải cơ ξ với tỷ số t_{lv}/θ ứng với các trị số γ khác nhau.

Khi chọn động cơ dài hạn cho phụ tải ngắn hạn, ngoài khả năng quá tải về nhiệt và cơ ta cần chú ý tới khả năng quá tải về mômen và dòng điện của nó. Các hệ số quá tải này được quyết định bởi cấu tạo của máy và không phụ thuộc vào chế độ nhiệt. Hệ số quá tải về dòng điện của động cơ dài hạn khi làm việc với phụ tải ngắn hạn nhỏ hơn khi nó làm việc với phụ tải dài hạn định mức. Điều đó được chứng minh như sau:

Khi làm việc với phụ tải ngắn hạn hệ số quá về dòng điện của động cơ là:

$$\lambda_{I_{nh}} = \frac{I_{max}}{I_{nh}}.$$

Khi làm việc với phụ tải dài hạn định mức, hệ số quá tải về dòng điện của động cơ là:

$$\lambda_{I_{dm}} = \frac{I_{max}}{I_{dm}}.$$

Trong đó: I_{max} — trị số dòng điện lớn nhất mà động cơ có thể chịu được.

Vì $P_{nh} > P_{dm}$ và $I_{nh} > I_{dm}$

nên $\lambda_{I_{nh}} < \lambda_{I_{dm}}$.

Ngoài ra sử dụng động cơ dài hạn cho phụ tải ngắn hạn ta chưa tận dụng hết khả năng chịu nhiệt của nó. Ở cuối thời gian làm việc ngắn hạn các bộ phận của động cơ sẽ đạt tới những trị số nhiệt độ khác nhau. Ví dụ đối với động cơ một chiều thì ở cuối thời gian làm việc ngắn hạn nhiệt độ của cuộn kích từ đạt cao nhất, ở vành góp trung bình, còn của phần ứng là thấp nhất.

b) Tính chọn công suất động cơ ngắn hạn phục vụ cho phụ tải ngắn hạn không đổi.

Để tận dụng hết khả năng chịu nhiệt và khả năng quá tải của động cơ, người ta chế tạo loại động cơ ngắn hạn chuyên phục vụ cho phụ tải ngắn hạn. Những động cơ này thường được chế tạo với thời gian làm việc tiêu chuẩn là 15, 30, 60 và 90 phút.

Dựa vào đồ thị phụ tải ta chọn động cơ ngắn hạn có:

$$P_{dm} = (1 \div 1,3) P_c,$$

và có thời gian làm việc tiêu chuẩn bằng hoặc gần bằng thời gian làm việc của đồ thị phụ tải (hình 5-9).

2. Tính chọn công suất động cơ cho phụ tải ngắn hạn biến đổi.

Dạng đồ thị phụ tải ngắn hạn biến đổi được biểu diễn trên hình 5-13.

Để truyền động cho phụ tải ngắn hạn loại này, ta có thể chọn công suất động cơ dài hạn hoặc ngắn hạn. Các bước tính chọn hoàn toàn giống như ở trường hợp phụ tải ngắn hạn không đổi, nhưng phải tính công suất phụ tải đẳng trị trong toàn bộ thời gian làm việc.

Ví dụ đối với phụ tải ngắn hạn hình 5-13 ta có;

$$P_{dt} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3}}.$$

còn thời gian làm việc được tính là:

$$t_{lv} = t_1 + t_2 + t_3$$

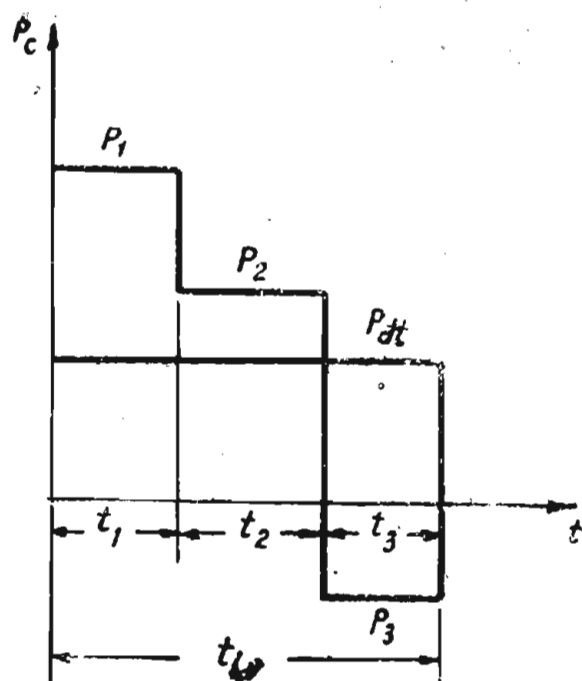
Ngoài ra, trong một số trường hợp ta có thể chọn động cơ ngắn hạn lắp lại cho phụ tải ngắn hạn. Động cơ ngắn hạn lắp lại được chọn phải đảm bảo:

$$P_{dm} \geq P_{nh}$$

còn thời gian đóng điện tương đối phải tương ứng với thời gian làm việc của của phụ tải ngắn hạn như bảng 5-1.

Bảng 5-1

t_{lv}	30'	60'	90'
$\varepsilon\%$	15%	25%	40%



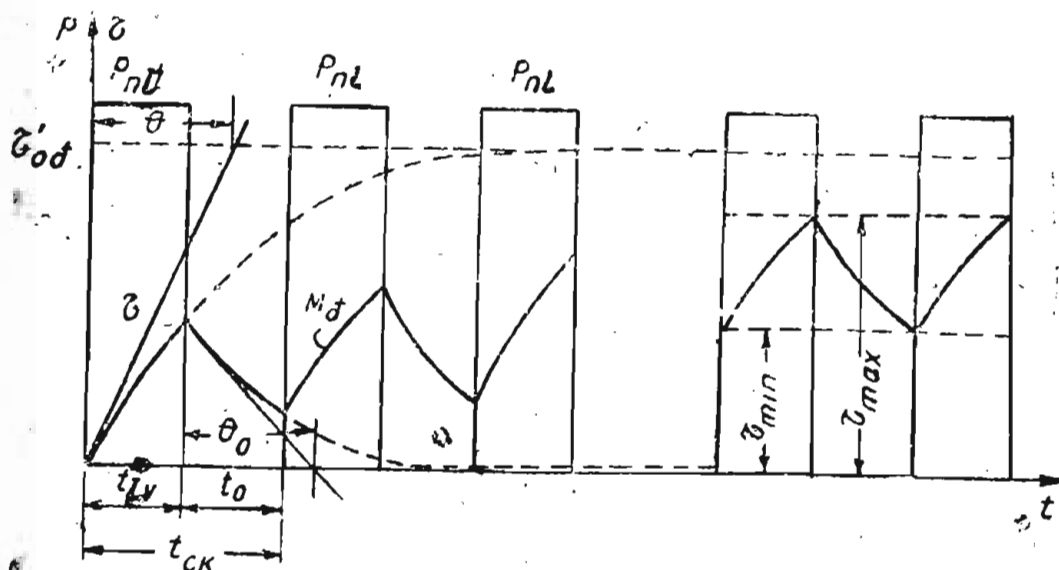
Hình 5-13. Đồ thị phụ tải ngắn hạn biến đổi.

§ 5-7. TÍNH CHỌN CÔNG SUẤT ĐỘNG CƠ CHO PHỤ TẢI NGẮN HẠN LẮP LẠI KHÔNG ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ.

Phụ tải ngắn hạn lắp lại cũng có thể không đổi hoặc biến đổi.

1. Tính chọn công suất động cơ khi phụ tải ngắn hạn lắp lại không đổi.

Đồ thị phụ tải ngắn hạn lắp lại không đổi đã quy đổi về trục động cơ có dạng biểu diễn trên hình 5-14. Trên hình còn vẽ cả đường cong phát nóng và nguội lạnh của động cơ. Qua n chu kỳ, khi $n.t_{ck} > 4\theta$ thì nhiệt độ của động cơ đạt tới trạng thái tựa xác lập (trị số trung bình của nhiệt độ không thay đổi).



Hình 5-14. Đồ thị phụ tải ngắn hạn lắp lại không đổi và các đường cong phát nóng nguội lạnh của động cơ.

Để truyền động cho phụ tải loại này ta có thể tính chọn công suất động cơ dài hạn hoặc ngắn hạn lặp lại.

a) Tính chọn công suất động cơ dài hạn cho phụ tải ngắn hạn lặp lại không đổi. Nếu chọn động cơ dài hạn có:

$P_{dm} \geq P_{nl}$, thì động cơ luôn luôn làm việc non tải, nhiệt độ của nó không bao giờ đạt tới trị số ổn định cho phép.

Để tận dụng hết khả năng chịu nhiệt của động cơ, ta chọn động cơ dài hạn có:

$$P_{dm} < P_{nl}$$

Nghĩa là cho động cơ làm việc quá tải.

Công suất định mức của động cơ dài hạn được xác định từ hệ số quá tải về nhiệt δ :

$$\delta = \frac{\Delta P_{nl}}{\Delta P_{dm}} = \frac{\tau'_{od}}{\tau_{max}} \quad (5-25)$$

trong đó: ΔP_{nl} — tổn thất công suất của phụ tải ngắn hạn lặp lại đã quy đổi về trục động cơ.

ΔP_{dm} — tổn thất công suất định mức của động cơ dài hạn.

τ'_{od} — Nhiệt sai độ ổn định mà động cơ sẽ đạt tới nếu làm việc dài hạn với phụ tải ngắn hạn lặp lại.

τ_{max} — Nhiệt sai lớn nhất cho phép của cách điện.

$$\tau'_{od} = \frac{\Delta P_{nl}}{A} \quad \text{còn} \quad \tau_{max} = \frac{\Delta P_{dm}}{A}$$

Từ đồ thị Hình 5-14, ở cuối thời gian làm việc:

$$\tau_{max} = \tau_{min} e^{-t_{lv}/\theta} + \tau'_{od} (1 - e^{-t_{lv}/\theta}) \quad (5-26)$$

ở cuối thời gian nghỉ:

$$\tau_{min} = \tau_{max} e^{-t_o/\theta_o} \quad (5-27)$$

Thay (5-27) vào (5-26) ta được:

$$\begin{aligned} \tau_{max} &= \tau_{max} e^{-(t_{lv}/\theta + t_o/\theta_o)} + \tau'_{od} (1 - e^{-t_{lv}/\theta}) \\ \tau_{max} &= \tau'_{od} \frac{1 - e^{-t_{lv}/\theta}}{1 - e^{-(t_{lv}/\theta + t_o/\theta_o)}} \end{aligned} \quad (5-28)$$

từ (5-28) ta có:

$$\delta = \frac{\tau'_{od}}{\tau_{max}} = \frac{1 - e^{-(t_{lv}/\theta + t_o/\theta_o)}}{1 - e^{-t_{lv}/\theta}} \quad (5-29)$$

Để thuận tiện cho việc tính toán, thực tế ta biến đổi số mũ ở tử số của (5-29) như sau:

$$\begin{aligned} \frac{t_{lv}}{\theta} + \frac{t_o}{\theta_o} &= \frac{1}{\theta} \left(t_{lv} + t_o \frac{\theta}{\theta_o} \right) \\ &= \frac{t_{lv}}{\theta} \frac{t_{lv} + \beta t_o}{t_{lv}} = \frac{t_{lv}}{\varepsilon' \theta} \end{aligned} \quad (5-30)$$

trong đó:

$\varepsilon' = \frac{t_{lv}}{t_{lv} + \beta t_o}$ — thời gian đóng điện tương đối có xét đến điều kiện làm mát bị xấu đi khi nghỉ;

$\beta = \frac{\theta}{\theta_o}$ — hệ số xét đến điều kiện làm mát bị xấu đi khi nghỉ.
 θ_o — hằng số thời gian nguội lạnh.

Đối với các máy điện một chiều $\beta = 0,5$, đối với các máy điện không đồng bộ $\beta = 0,25$.

Cuối cùng ta được biểu thức xác định hệ số quá tải về nhiệt là:

$$\delta = \frac{1 - e^{-t_{lv}/\varepsilon' \theta}}{1 - e^{-t_{lv}/\theta}} \quad (5-31)$$

Quan hệ giữa δ với ε' ứng với các giá trị khác nhau của tỷ số t_{lv}/θ có dạng biểu diễn trên hình 5-15.

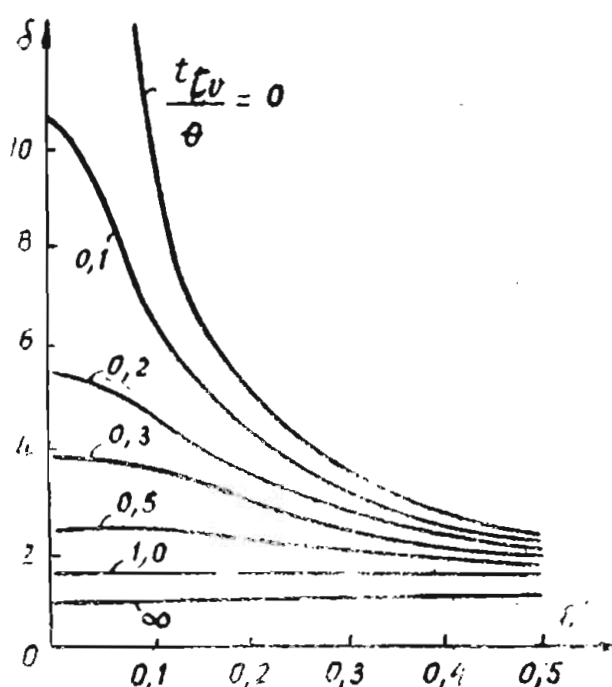
Tóm lại để tính chọn công suất động cơ dài hạn truyền động cho phụ tải ngắn hạn lặp lại ta tiến hành như sau:

Dựa vào đồ thị phụ tải đã quy đổi về trục động cơ (hình 5-14) xác định P_{nl} , t_{lv} , t_o . Từ P_{nl} kết hợp với những yêu cầu khác ta sơ bộ chọn loại, phạm vi công suất định mức của động cơ dài hạn để biết được θ và θ_o . Tính t_{lv}/θ ; $\beta = \frac{\theta}{\theta_o}$;

$\varepsilon' = \frac{t_{lv}}{t_{lv} + \beta t_o}$ rồi thay vào (5-31), hoặc dựa vào đồ thị có dạng như hình 5-15 để xác định hệ số quá tải về nhiệt δ . Từ δ xác định ΔP_{dm} theo (3-25) và suy ra công suất định mức của động cơ dài hạn cần chọn.

b) Tính chọn công suất động cơ ngắn hạn lặp lại cho phụ tải ngắn hạn lặp lại không đổi. Để tận dụng hết khả năng chịu nhiệt của động cơ, người ta chế tạo ra loại động cơ ngắn hạn lặp lại, chuyên dùng cho phụ tải ngắn hạn lặp lại. Những động cơ này có đặc điểm: Độ bền cơ khí cao, quán tính cơ học nhỏ vì phải khởi động và hãm luôn; khả năng quá tải lớn, đối với các động cơ không đồng bộ hệ số quá tải về mômen có giá trị trong khoảng:

$$\lambda_M = 2,3 - 3,6 ;$$



Hình 5-15. Quan hệ giữa δ với ε' ứng với các giá trị khác nhau của tỷ số t_{lv}/θ của phụ tải ngắn hạn lặp lại.

có hệ số đóng điện tương đối tiêu chuẩn :

$$\epsilon \% = 15\% ; 25\% ; 40\% ; 60\%.$$

Với phụ tải ngắn hạn lặp lại không đổi (hình 5-14) thì động cơ ngắn hạn lặp lại cần chọn phải có :

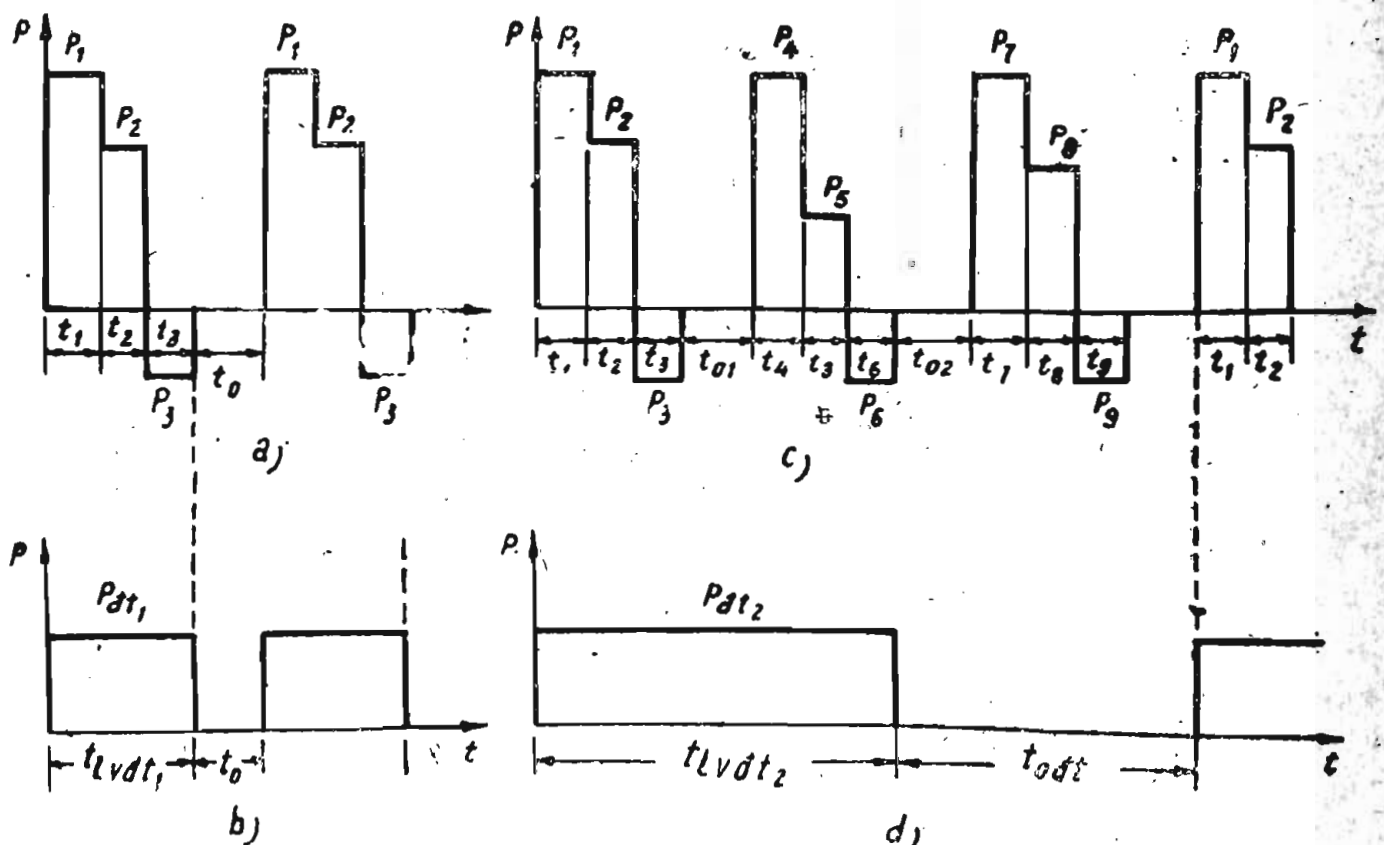
$$P_{dm} = (1 \div 1,3) P_{nl},$$

và hệ số đóng điện tương đối tiêu chuẩn phù hợp với hệ số đóng điện tương đối của phụ tải :

$$\epsilon_{rt} \% = \frac{t_{lv}}{t_{lv} + t_0} 100\%.$$

2. Tính chọn công suất động cơ khi phụ tải ngắn hạn gặp lại biến đổi.

Phụ tải ngắn hạn lặp lại biến đổi có dạng như hình 5-16a hoặc 5-16c.



Hình 5-16. Đồ thị phụ tải ngắn hạn lặp lại biến đổi :

Biến đổi lặp lại đều (a), đẳng trị (b); Biến đổi lặp lại không đều (c), đẳng trị (d).

Trong trường hợp này, việc tính chọn công suất động cơ dài hạn hoặc ngắn hạn lặp lại, tiến hành tương tự như đã nêu ở trường hợp phụ tải ngắn hạn lặp lại không đổi, nhưng phải tính công suất và thời gian đóng điện tương đối đẳng trị cho một hoặc nhiều chu kỳ. Chẳng hạn đối với đồ thị phụ tải hình 5-16a ta có :

$$\left. \begin{aligned} P_{dt} &= \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3}} \\ \epsilon \% &= \frac{t_1 + t_2 + t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_0} 100\% \end{aligned} \right\} \quad (5-32),$$

Còn đối với đồ thị hình 5-16c ta có :

$$\left. \begin{aligned} P_{dt} &= \sqrt{\frac{\sum_1^9 P_x^2 t_x}{\sum_1^9 t_x}} \\ \epsilon_{dt} \% &= \frac{\sum_1^9 t_x}{\sum_1^9 t_x + \sum_1^9 t_{ox}} 100 \% \end{aligned} \right\} \quad (5-33)$$

Các biểu thức (5-32), (5-33) có nghĩa là, thay phụ tải ngắn hạn lặp lại biến đổi bằng trị số đẳng trị không đổi như hình 5-16b, d rồi dựa vào đó tính chọn công suất của động cơ.

Trong thực tế tính toán, thường gặp trường hợp hệ số đóng điện tương đối tính toán từ đồ thị phụ tải, không trùng với một trong các hệ số đóng điện tương đối tiêu chuẩn của các động cơ ngắn hạn lặp lại đã chế tạo. Hoặc đã có sẵn loại động cơ ngắn hạn lặp lại với $\epsilon\%$ khác với trị số yêu cầu của phụ tải. Trong những trường hợp này ta cần phải xác định lại công suất động cơ có $\epsilon\%$ thực tế theo một trong hai phương pháp sau :

Phương pháp giải tích : cơ sở của phương pháp giải tích là dựa vào điều kiện đảm bảo cho động cơ không được phát nóng quá nhiệt độ cho phép. Nghĩa là đảm bảo công suất đẳng trị của động cơ trong một chu kỳ làm việc không thay đổi.

Giả sử từ đồ thị phụ tải ta xác định được công suất yêu cầu P_1 , thời gian làm việc t_1 , thời gian nghỉ t_{o1} . Cần chọn động cơ có thời gian làm việc t_2 thời gian nghỉ t_{o2} thì công suất định mức P_2 của nó theo điều kiện trên được xác định như sau :

$$\sqrt{\frac{P_2^2 t_2}{t_1 + t_{o2}}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1}{t_1 + t_{o1}}}$$

$$P_2 \sqrt{\epsilon_2} = P_1 \sqrt{\epsilon_1}$$

suy ra :

$$P_2 = P_1 \sqrt{\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}} \quad (5-34a)$$

hoặc

$$P_2 = P_1 \sqrt{\frac{\epsilon_1 \%}{\epsilon_2 \%}} \quad (5-34b)$$

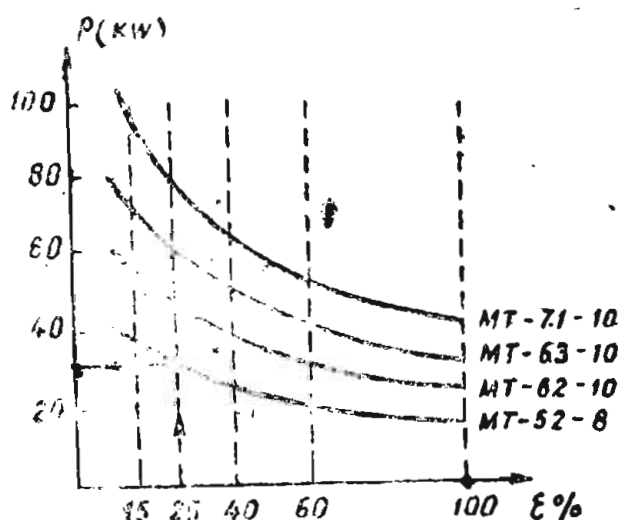
Một cách tổng quát : từ đồ thị phụ tải ngắn hạn lặp lại ta xác định được công suất yêu cầu P_x , thời gian đóng điện tương đối ϵ_x . Nếu chọn động cơ ngắn hạn lặp lại có thời gian đóng điện tương đối tiêu chuẩn là 15%, 25%, 40% hoặc 60% thì công suất định mức của nó xác định theo biểu thức sau :

$$\left. \begin{aligned} P_{0,15} &= P_x \sqrt{\frac{\epsilon_x}{0,15}} = P_x \sqrt{\frac{\epsilon_x \%}{15}} \\ P_{0,25} &= P_x \sqrt{\frac{\epsilon_x}{0,25}} \end{aligned} \right\} \quad (5-35a)$$

$$\left. \begin{aligned} P_{0,40} &= P_x \sqrt{\frac{\epsilon_x}{0,40}} \\ P_{0,60} &= P_x \sqrt{\frac{\epsilon_x}{0,60}} \end{aligned} \right\} \quad (5-35b)$$

Từ các biểu thức (5-35) ta rút ra kết luận: Khi động cơ ngắn hạn lặp lại có hệ số đóng điện tương đối nhỏ hơn trị số yêu cầu thì công suất định mức của nó cần phải lớn hơn công suất yêu cầu. Nghĩa là phải cho động cơ làm việc non tải. Ngược lại nếu động cơ có hệ số đóng điện tương đối lớn hơn trị số yêu cầu thì công suất định mức của nó chỉ cần nhỏ hơn công suất yêu cầu. Nghĩa là động cơ được phép làm việc quá tải, để tận dụng hết khả năng chịu nhiệt của động cơ.

• Phương pháp đồ thị: Đối với từng loại động cơ ngắn hạn lặp lại nếu nhà chế tạo đã cho sẵn họ đường cong $P_{dm} = f(\epsilon \%)$. Ta có thể dựa vào họ đường cong đó để xác định công suất định mức của động cơ tương ứng với hệ số đóng điện tương đối yêu cầu.



Hình 5-17. Quan hệ giữa công suất và hệ số đóng điện tương đối của các động cơ kiểu MT do Liên Xô chế tạo.

Ví dụ hình 5-17 cho họ đường cong $P_{dm} = f(\epsilon \%)$ của các động cơ không đồng bộ rôto quấn dây làm việc ở chế độ ngắn hạn lặp lại chuyên dùng cho cần trục và máy cán luyện kim kiểu MT do Liên Xô sản xuất.

Từ họ đường cong ấy ta tiến hành xác định công suất định mức của động cơ cần chọn như sau: Dựa vào công suất yêu cầu để xác định được từ đồ thị phụ tải, ta chọn loại động cơ có công suất xấp xỉ.

Đặt hệ số đóng điện tương đối đã xác định được từ đồ thị phụ tải, hoặc đặt quy về trị số tiêu chuẩn lên trục hoành và xác định công suất định mức của động cơ theo đường có mũi tên trên hình 5-17.

§5-8. TÍNH CHỌN CÔNG SUẤT ĐỘNG CƠ KHI PHỤ TẢI ĐỘT BIẾN CHU KỲ

Trong thực tế sản xuất có một số máy thường phải làm việc với phụ tải đột biến. Ở những máy này trong đoạn làm việc, mômen phụ tải đột nhiên tăng lên đến trị số cực đại theo một quy luật nào đó, sau đó lại giảm xuống

bằng mômen không tải. Sự biến thiên của mômen cân tĩnh loại này thường xảy ra có tính chất chu kỳ. Ví dụ phụ tải của máy cán không đảo chiều, máy búa, máy ép, máy nén khí v.v...

Đồ thị phụ tải tĩnh đột biến chu kỳ có dạng đơn giản nhất biểu diễn trên hình 5-18.

Do hệ thống truyền động điện có quán tính nên khi mômen phụ tải đột biến thì mômen và tốc độ của động cơ sẽ biến thiên theo quy luật hàm mũ.

Trên một đặc tính cơ xác định, ở đoạn có tải mômen của động cơ biến thiên theo quy luật hàm mũ được xác định bởi phương trình:

$$M_1 = M_c(1 - e^{-t/T_c}) + M_{bd}e^{-t/T_c}; \quad (5-36)$$

Còn ở đoạn không tải:

$$M_2 = M_o(1 - e^{-t/T_c}) + M_{kt}e^{-t/T_c}, \quad (5-37)$$

trong các phương trình trên:

$T_c = J_{ht} \frac{\omega_o S_{dm}}{M_{dm}}$ — hằng số thời gian cơ học của hệ thống;

M_{bd} , M_{kt} — mômen ban đầu và kết thúc của động cơ ở đoạn có tải.

Thay t trong các phương trình (5-36) và (5-37) bởi t_{lv} hoặc t_o tương ứng ta có:

$$M_{kt} = M_c(1 - e^{-t_{lv}/T_c}) + M_{bd}e^{-t_{lv}/T_c} \quad (5-38)$$

$$M_{bd} = M_o(1 - e^{-t_o/T_c}) + M_{kt}e^{-t_o/T_c}. \quad (5-39)$$

Biến đổi (5-38) và (5-39) ta được:

$$M_{bd} = \frac{M_o(1 - e^{-t_o/T_c}) + M_ce^{-t_o/T_c}(1 - e^{-t_{lv}/T_c})}{1 - e^{-t_{ck}/T_c}} \quad (5-40)$$

$$M_{kt} = \frac{M_c(1 - e^{-t_{lv}/T_c}) + M_o e^{-t_{lv}/T_c}(1 - e^{-t_o/T_c})}{1 - e^{-t_{ck}/T_c}} \quad (5-42)$$

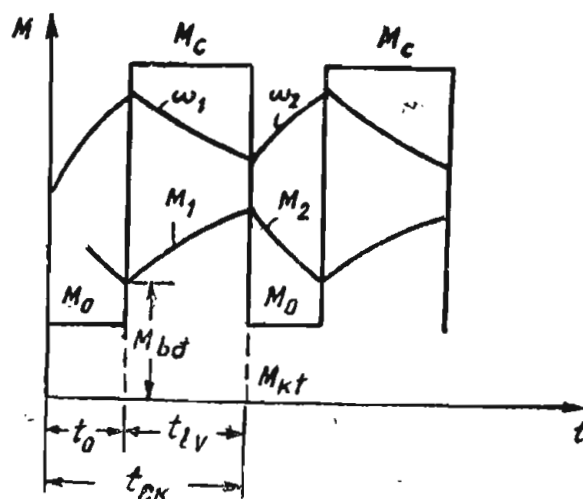
trong đó:

$t_{ck} = t_{lv} + t_o$ — thời gian của một chu kỳ.

Thay (5-40) (5-41) vào (5-36) và (5-37) rồi biến đổi ta sẽ được:

$$M_1 = M_c - \frac{(M_c - M_o)(1 - e^{-t_o/T_c})}{1 - e^{-t_{ck}/T_c}} e^{-t/T_c} \quad (5-42)$$

$$M_2 = M_o + \frac{(M_c - M_o)(1 - e^{-t_o/T_c})}{1 - e^{-t_{ck}/T_c}} e^{-t/T_c} \quad (5-43)$$



Hình 5-18. Đồ thị phụ tải đột biến chu kỳ các đường cong biến thiên tốc độ và mômen của động cơ.

Momen đẳng trị của động cơ trong một chu kỳ làm việc được xác định theo biểu thức:

$$M_{dt} = \sqrt{\frac{\int_0^{t_{lv}} M_1^2 dt + \int_0^{t_o} M_o^2 dt}{t_{lv} + t_o}} \quad (5-44)$$

Thay giá trị của M_1 (5-42) và M_2 (5-43) vào (5-44) và tính tiếp ta được:

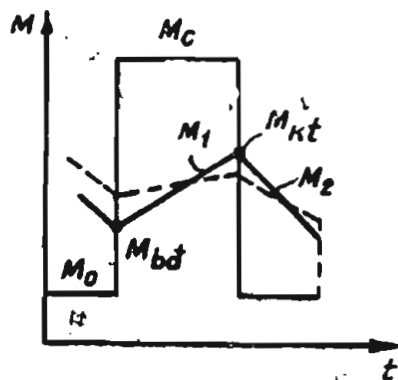
$$M_{dt} = \sqrt{\frac{M_c^2 t_{lv} + M_o^2 t_o}{t_{ck}} - (M_c - M_o)^2 \frac{T_c(1 - e^{-t_{lv}/T_c})(1 - e^{-t_o/T_c})}{t_{ck}(1 - e^{-t_{ck}/T_c})}} \quad (5-45)$$

Trong trường hợp lý tưởng nếu xem hệ là không có quán tính cơ học, nghĩa là $T_c = 0$ thì (5-45) trở thành:

$$M_{dt} = \sqrt{\frac{M_c^2 t_{lv} + M_o^2 t_o}{t_{ck}}} \quad (5-46)$$

Đó chính là giá trị quân phương trung bình của mômen cản trong một chu kỳ làm việc.

Từ các biểu thức (5-40), (5-41) ta thấy rằng, khi tăng hằng số thời gian cơ học T_c của hệ thống thì M_{bd} tăng còn M_{kt} giảm như đường nét đứt trên hình 5-19. Để tiện so sánh trên hình vẽ cả đường cong của mômen động cơ khi chưa tăng T_c (đường nét liền).



Hình 5-19. Đường cong biến thiên mômen của động cơ làm việc với phụ tải đột biến chu kỳ khi tăng hằng số thời gian cơ học T_c .

Như vậy càng tăng T_c thì sự dao động của mômen động cơ càng giảm đi, và đường cong biểu diễn nó sẽ tiến dần tới đường thẳng có tung độ là mômen trung bình xác định bởi biểu thức:

$$M_{tb} = \frac{M_c t_{lv} + M_o t_o}{t_{lv} + t_o} \quad (5-47)$$

Để tăng hằng số thời gian cơ học của hệ thống, trong những truyền động làm việc với phụ tải đột biến người ta thường lắp thêm bánh xe đà trên trục động cơ. Bánh xe đà có nhiệm vụ san bằng phụ tải cho động cơ khi mômen cản đột ngột tăng lên hay giảm xuống. Khi phụ tải tăng lên, tốc độ động cơ giảm xuống, phần động năng bánh đà đã tích lũy được sẽ chuyển đến trục của động cơ, giúp động cơ khắc phục phụ tải. Nếu tốc độ hệ thống giảm từ trị số không tải ω_{co} đến trị số có tải ω_c thì phần động năng phóng ra của hệ là:

$$W = J_{ht} \frac{\omega_{co}^2 - \omega_c^2}{2}$$

Khi phụ tải giảm, tốc độ của hệ thống tăng lên, động năng dự trữ của bánh đà được tăng lên làm cho mômen trên trục của hệ thống tăng lên. Động

cơ sẽ mang một phụ tải có trị số lớn hơn mômen không tải M_0 . Như vậy nhờ có bánh đà mà mômen và tốc độ của động cơ sẽ bị dao động ít, khi phụ tải đột biến.

Đối với những hệ truyền động này việc tính chọn sơ bộ động cơ và bánh đà tiến hành như sau:

Từ đồ thị phụ tải đã quy đổi về trục động cơ, xác định mômen đẳng trị M_{dt} theo biểu thức (5-46). Từ M_{dt} , tốc độ yêu cầu và các điều kiện kỹ thuật khác ta sơ bộ chọn động cơ có:

$$M_{dm} = (1 \div 1,3) M_{dt}.$$

Để chọn sơ bộ bánh đà ta cần xác định mômen quán tính yêu cầu đối với nó. Từ đồ thị hình 5-17 nếu coi rằng khi động cơ đạt tới trị số mômen kết thúc M_{kt} thì cũng là lúc nó làm việc ứng với mômen quá tải cực đại. Nếu xem $M_{bd} = M_0$ ta có:

$$M_{kt} = \lambda_M \cdot M_{dm} = M_c (1 - e^{-t_{lv}/T_c}) + M_0 e^{-t_{lv}/T_c}, \quad (5-48)$$

trong đó: λ_M và M_{dm} — hệ số quá tải về mômen và mômen định mức của động cơ đã chọn sơ bộ.

Từ (5-48) ta có:

$$T_c = \frac{t_{lv}}{\ln \frac{M_c - M_0}{M_c - \lambda_M \cdot M_{dm}}}, \quad (5-49)$$

hay

$$J_{ht} \frac{\omega_0 s_{dm}}{M_{dm}} = \frac{t_{lv}}{\ln \frac{M_c - M_0}{M_c - \lambda_M M_{dm}}}$$

vậy:

$$J_{ht} = \frac{dm t_{lv}}{\omega_0 s_{dm} \ln \frac{M_c - M_0}{M_c - \lambda_M M_{dm}}}. \quad (5-50)$$

Mômen quán tính của bánh đà là:

$$J_{da} = J_{ht} - J_{ld}.$$

trong đó J_{ld} — mômen quán tính của hệ truyền động còn lại.

J_{ht} — mômen quán tính của toàn hệ thống.

Sau khi đã tính chọn được bánh đà ta xây dựng đường cong mômen của động cơ phụ thuộc vào thời gian theo các biểu thức (5-42) và (5-43). Dạng của nó như đã biểu diễn trên hình 5-18. Dựa vào các đường cong này ta kiểm tra lại động cơ và bánh đà theo điều kiện phát nóng (phương pháp kiểm tra sẽ nêu ở phần sau), điều kiện san bằng mômen và tốc độ:

$$M_{bd} = M_{kt}; \quad \omega_{bd} = \omega_{kt}.$$

Cũng có thể giảm bớt mômen quán tính của bánh đà (chọn bánh đà nhỏ hơn) bằng cách chọn động cơ có độ trượt định mức lớn:

$$s_{dm} = 0,1 \div 0,12; \quad s_l = 0,15 \div 0,20.$$

Tuy nhiên việc chọn động cơ có s_{dm} lớn không phải ưu việt lắm vì động cơ sẽ làm việc ở tốc độ xác lập thấp ảnh hưởng đến năng suất của máy. Cũng có thể tăng s_{dm} bằng những biện pháp kỹ thuật khác để khỏi ảnh hưởng đến năng suất của máy. Ví dụ dùng các biện pháp để tăng điện trở phụ trong mạch rôto (phần ứng) của động cơ khi phụ tải đột biến xuất hiện. Ở giai đoạn không tải điện trở này được loại trừ để động cơ làm việc với tốc độ cao, độ trượt bé, bánh đà sẽ được tích động năng ở tốc độ cao.

§5-9. TÍNH CHỌN CÔNG SUẤT ĐỘNG CƠ CHO TRUYỀN ĐỘNG ĐIỀU CHỈNH

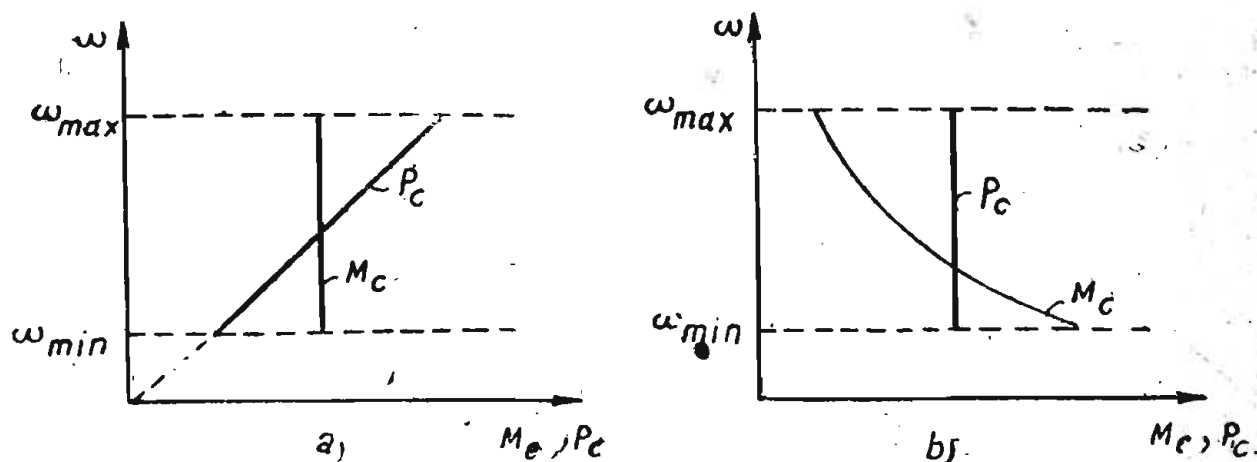
1. Khái niệm:

Đối với các truyền động điều chỉnh, việc tính chọn động cơ thường xuất phát từ yêu cầu đảm bảo cho động cơ có kích thước nhỏ nhất. Kích thước của động cơ xác định chủ yếu bởi mômen định mức của nó.

Để tính chọn được công suất động cơ cho truyền động điều chỉnh ta phải biết được trị số phụ tải trên mỗi đặc tính điều chỉnh. Trong nhiều trường hợp các phụ tải này có trị số rất khác nhau. Trong thực tế tính toán người ta chia phụ tải thành hai nhóm cơ bản sau:

Nhóm thứ nhất ở mọi tốc độ điều chỉnh mômen cản không đổi ($M_c = \text{const}$), còn công suất P_c tỷ lệ bậc nhất với tốc độ như hình 5-20a.

Nhóm thứ hai ở mọi tốc độ điều chỉnh công suất không đổi ($P_c = \text{const}$), còn mômen M_c tỷ lệ nghịch với tốc độ như hình 5-20b.

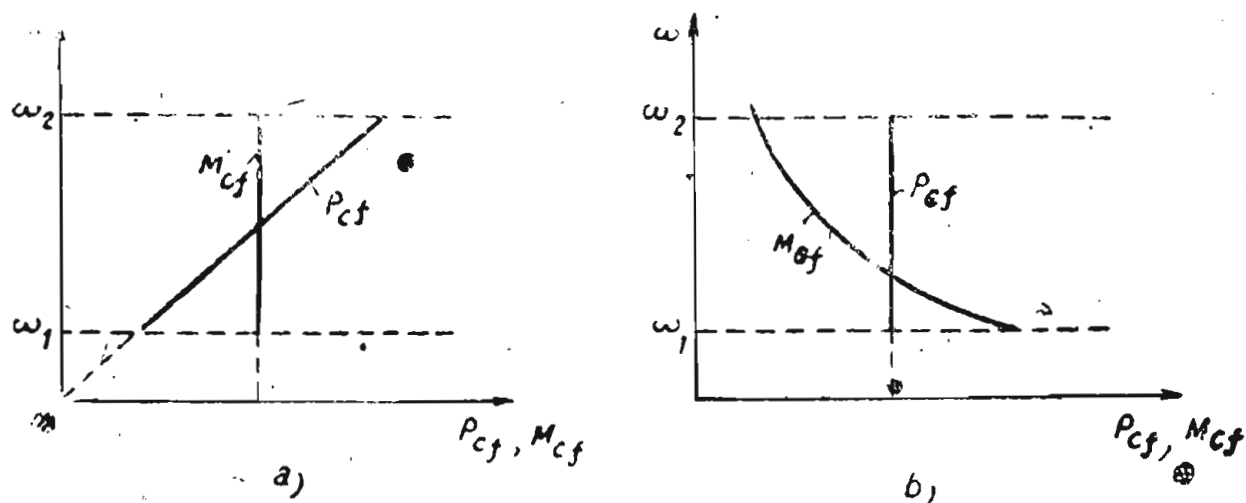


Hình 5-20. Đồ thị công suất và mômen cản tĩnh của các truyền động điện điều chỉnh với $M_c = \text{const}$ (a), và $P_c = \text{const}$ (b)

Trong tiết này ta nghiên cứu các phương pháp tính chọn công suất động cơ với giả thiết tại mọi tốc độ, động cơ đều có thể làm việc dài hạn và đảm bảo nhiệt độ động cơ đạt tới trị số ổn định cho phép. Như vậy tính chọn công suất động cơ phải đảm bảo ở một tốc độ bất kỳ phụ tải không được vượt quá trị số cho phép về phương diện phát nóng.

Đối với động cơ điện các phương pháp điều chỉnh tốc độ theo phụ tải cho phép được chia thành hai nhóm:

Nhóm thứ nhất, điều chỉnh tốc độ với mômen cho phép của động cơ không thay đổi ở mọi tốc độ. Thường gọi là phương pháp điều chỉnh có mômen cho phép không đổi: $M_{cf} = \text{const}$, còn công suất cho phép $P_{cf} = M_{cf} \cdot \omega$ tỷ lệ bậc nhất với tốc độ như hình 5-21a. Các phương pháp này thường được thực hiện bằng cách thay đổi điện áp hoặc điện trở phụ mạch phần ứng của động cơ điện một chiều kích từ độc lập; thay đổi điện trở phụ trong mạch rôto hoặc thay đổi số đôi cực ở một số trường hợp của động cơ không đồng bộ v.v...



Hình 5-21. Đồ thị công suất và mômen cho phép của động cơ ở các phương pháp điều chỉnh tốc độ có $M_{cf} = \text{const}$ (a), và $P_{cf} = \text{const}$ (b).

Nhóm thứ hai, điều chỉnh tốc độ với công suất cho phép không đổi ở mọi tốc độ. Thường gọi là phương pháp điều chỉnh có công suất cho phép không đổi: $P_{cf} = \text{const}$, còn mômen cho phép: $M_{cf} = \frac{P_{cf}}{\omega}$ tỷ lệ nghịch với tốc độ như hình 5-21b. Các phương pháp này thường được thực hiện bằng cách giảm từ thông của động cơ một chiều kích từ độc lập; thay đổi số đôi cực ở một số trường hợp của động cơ không đồng bộ v.v...

Ta sẽ lần lượt nghiên cứu các phương pháp tính chọn công suất động cơ cho các nhóm phụ tải đã nêu ở trên.

2. Tính chọn công suất động cơ cho những truyền động điều chỉnh có $M_c = \text{const}$ (hình 5-20a).

Trường hợp này ta có thể tính chọn công suất động cơ theo phương pháp điều chỉnh tốc độ có $M_{cf} = \text{const}$ hoặc $P_{cf} = \text{const}$.

a) Với các phương pháp điều chỉnh có $M_{cf} = \text{const}$ thì động cơ chọn phải có:

$$M_{dm} = M_c.$$

vì các phương pháp điều chỉnh có $M_{cf} = \text{const}$ thường chỉ thực hiện ở những độ thấp hơn tốc độ cơ bản, nên động cơ chọn phải có tốc độ định mức bằng tốc độ lớn nhất của giải điều chỉnh:

$$\omega_{dm} = \omega_{\max}$$

Như vậy công suất định mức của động cơ phải là:

$$P_{dm} = M_{dm} \cdot \omega_{dm} = M_c \cdot \omega_{max} = P_{cmax},$$

trong đó

P_{cmax} — công suất cực đại của phụ tải,

b) Với các phương pháp điều chỉnh có $P_{cf} = \text{const}$ thì động cơ chọn phải có:

$$P_{dm} = P_{cmax} = M_c \cdot \omega_{max}$$

Vì các phương pháp điều chỉnh tốc độ có $P_{cf} = \text{const}$ thường chỉ thực hiện ở những tốc độ cao hơn tốc độ cơ bản nên động cơ chọn phải có tốc độ định mức bằng tốc độ nhỏ nhất của giải điều chỉnh:

$$\omega_{dm} = \omega_{min}.$$

Như vậy mômen định mức của động cơ phải là:

$$M_{dm} = \frac{P_{dm}}{\omega_{dm}} = \frac{P_{cmax}}{\omega_{min}} = M_c \frac{\omega_{max}}{\omega_{min}} = M_c \cdot D,$$

trong đó:

$$D = \frac{\omega_{max}}{\omega_{min}} - \text{giải điều chỉnh tốc độ.}$$

Kết quả trên cho ta thấy: với những truyền động điều chỉnh yêu cầu $M_c = \text{const}$ nếu chọn động cơ theo phương pháp điều chỉnh tốc độ có $P_{cf} = \text{const}$ (không phù hợp với yêu cầu của phụ tải) thì sẽ làm cho mômen định mức của động cơ tăng D lần so với M_c , dẫn tới tăng kích thước và giá thành của động cơ. Còn nếu muốn giảm mômen định mức của động cơ để giảm kích thước của nó thì giữa trục động cơ và trục máy sản xuất phải đặt một bộ biến tốc có tỷ số truyền bằng D và phải chọn động cơ có tốc độ cao, kích thước sẽ nhỏ hơn.

3. Tính chọn công suất động cơ cho những truyền động điều chỉnh có $P_c = \text{const}$ (Hình 5-20b).

Trường hợp này ta cũng có thể tính chọn công suất động cơ theo phương pháp điều chỉnh tốc độ có $P_{cf} = \text{const}$ hoặc $M_{cf} = \text{const}$:

a) Với những phương pháp điều chỉnh đó $P_{cf} = \text{const}$ (phù hợp với yêu cầu phụ tải) thì động cơ chọn phải có công suất định mức bằng công suất của phụ tải:

$$P_{dm} = P_c$$

Mômen định mức của động cơ được xác định theo tốc độ định mức là:

$$M_{dm} = \frac{P_{dm}}{\omega_{dm}}.$$

Trong trường hợp sử dụng động cơ một chiều kích từ độc lập, vì phương pháp điều chỉnh có $P_{cf} = \text{const}$ chỉ thực hiện ở những tốc độ cao hơn tốc độ cơ bản bằng cách giảm từ thông của động cơ, nên động cơ chọn phải có tốc độ định mức bằng tốc độ nhỏ nhất của giải điều chỉnh:

$$\omega_{dm} = \omega_{min}.$$

Khi đó mômen định mức của động cơ là:

$$M_{dm} = \frac{P_c}{\omega_{min}} = M_{c.max}$$

b) Với các phương pháp điều chỉnh có $M_{ef} = const$ (không phù hợp với yêu cầu của phụ tải) thì động cơ chọn phải có mômen định mức bằng mômen lớn nhất của phụ tải:

$$M_{dm} = M_{c.max.}$$

với

$$M_{c.max} = \frac{P_c}{\omega_{min}}$$

dẫn tới tăng kích thước của động cơ.

Vì các phương pháp điều chỉnh tốc độ có $M_{ef} = const$ thường chỉ thực hiện ở những tốc độ thấp hơn tốc độ cơ bản, nên động cơ chọn phải có tốc độ định mức bằng tốc độ lớn nhất của dải điều chỉnh tốc độ:

$$\omega_{dm} = \omega_{max}$$

còn công suất định mức của động cơ phải là:

$$P_{dm} = M_{dm} \cdot \omega_{dm} = P_c \frac{\omega_{max}}{\omega_{min}} = P_c \cdot D.$$

Như vậy công suất định mức của động cơ lớn gấp D lần công suất của phụ tải yêu cầu. Ở mọi tốc độ điều chỉnh động cơ sẽ làm việc non tải cả về mômen lẫn công suất. Mức độ non tải của động cơ sẽ càng lớn khi dải điều chỉnh tốc độ yêu cầu càng rộng. Hiệu suất của động cơ luôn luôn nhỏ hơn trị số định mức, hiệu suất càng thấp khi D càng rộng.

Với phụ tải loại này nếu sử dụng động cơ một chiều kích từ độc lập theo hệ máy phát — động cơ (F—Đ), việc điều chỉnh tốc độ động cơ có thể thực hiện bằng hai cách:

Ở những tốc độ thấp hơn tốc độ cơ bản ta thay đổi điện áp đặt vào phần ứng động cơ, sẽ được dải điều chỉnh tốc độ là D_u . Ở những tốc độ cao hơn tốc độ cơ bản ta giảm từ thông của động cơ, sẽ được dải điều chỉnh tốc độ là D_Φ , thì động cơ chọn phải có tốc độ định mức là:

$$\omega_{dm} = \omega_{min} \cdot D_u$$

hoặc

$$\omega_{dm} = \frac{\omega_{max}}{D_\Phi}$$

Công suất định mức của động cơ phải là:

$$P_{dm} = P_c \cdot D_u.$$

Cần chú ý rằng: trong tất cả các trường hợp tính chọn đã nêu trên khi sử dụng động cơ tự làm mát, thì ở vùng tốc độ thấp vì điều kiện làm mát bị xấu đi nên để đảm bảo điều kiện phát nóng ta phải giảm phụ tải hoặc phải chọn động cơ có mômen định mức lớn hơn mômen phụ tải cực đại:

$$M_{dm} > M_{c.max}$$

Kết quả cũng đòi hỏi tăng công suất định mức của động cơ. Động cơ sẽ luôn luôn làm việc non tải cả về mômen lẫn công suất.

Chương VI

KIỂM NGHIỆM VÀ CHỌN ĐỘNG CƠ

A – CÁC PHƯƠNG PHÁP KIỂM NGHIỆM CÔNG SUẤT ĐỘNG CƠ

Ở trên đã trình bày các phương pháp tính toán công suất và chọn động cơ điện, xong đây mới chỉ là các bước tính chọn sơ bộ động cơ. Bước quan trọng cuối cùng của công việc tính chọn máy điện cho truyền động điện là phải kiểm tra lại động cơ đã chọn sơ bộ theo điều kiện phát nóng, quá tải, khởi động và các yêu cầu đặc biệt khác.

§6-1. KIỂM NGHIỆM ĐỘNG CƠ THEO ĐIỀU KIỆN PHÁT NÓNG

Theo điều kiện phát nóng động cơ chọn phải đảm bảo khi làm việc với phụ tải cho phép, nhiệt độ ở bên trong động cơ không được vượt quá nhiệt độ cho phép của cách điện. Để kiểm tra động cơ theo điều kiện này ta có thể sử dụng một trong các phương pháp: Nhiệt sai cực đại $\tau_{\max}$; tổn thất trung bình $\Delta P_{\text{đb}}$; các đại lượng đẳng trị như: Dòng điện đẳng trị $I_{\text{đt}}$, mômen đẳng trị $M_{\text{đt}}$, công suất đẳng trị $P_{\text{đt}}$.

1. Kiểm nghiệm động cơ theo nhiệt sai cực đại.

Động cơ chọn phải luôn luôn luôn đảm bảo điều kiện:

$$\tau_{\max} \leq \tau_{\text{cf}} \quad (6-1)$$

trong đó:

$\tau_{\max}$ — Nhiệt sai lớn nhất mà động cơ đạt tới trong quá trình làm việc với phụ tải thay đổi trong phạm vi cho phép;

τ_{cf} — Nhiệt sai cho phép của động cơ, nó phụ thuộc vào cấp cách điện đã sử dụng cho động cơ.

Để xác định được $\tau_{\max}$ ta dựa vào đồ thị phụ tải chính xác đã xây dựng cho một hoặc nhiều chu kỳ làm việc.

Ở đoạn phụ tải thứ i nào đó độ chênh lệch nhiệt độ (nhiệt sai) của động cơ được xác định theo biểu thức:

$$\left. \begin{aligned} \tau_i &= \tau_{\text{đt}i} (1 - e^{-t/\theta}) + \tau_{\text{bđt}i} e^{-t/\theta} \\ &= \frac{\Delta P_i}{\Lambda} (1 - e^{-t/\theta}) + \tau_{\text{bđt}i} e^{-t/\theta} \end{aligned} \right\} \quad (6-2)$$

ΔP_i — tổn thất công suất ở đoạn thứ i của đồ thị phụ tải chính xác;

$\tau_{\text{đt}i}$ — nhiệt sai ổn định ứng với tổn thất công suất ΔP_i ;

$\tau_{\text{bđt}i}$ — nhiệt sai ban đầu ở đoạn thứ i của đồ thị phụ tải.

Như vậy nếu đồ thị phụ tải đã biết có dạng đường cong liên tục thì ta phải biến nó thành đường bậc thang như hình 6-1. Điều kiện thay thế là diện tích của đường bậc thang bao phải bằng diện tích của đường cong liên tục bao đối với trục hoành.

Từ biểu thức (6-2) và hình 6-1 ta thấy rằng đường cong phát nóng của tất cả các phụ tải sẽ vẽ được nếu biết được nhiệt sai ban đầu ở đoạn bất kỳ nào đó. Bởi vì nhiệt sai cuối của đoạn trước là nhiệt sai đầu của đoạn sau.

Để tìm được trị số $\tau_{\max}$ chính xác ta phải vẽ đường cong biến thiên của nhiệt sai theo thời gian ứng với nhiều chu kỳ phụ tải cho đến khi có trạng thái xác lập về nhiệt độ, nghĩa là nhiệt sai ở đầu và cuối của một chu kỳ có trị số bằng nhau (xem hình 6-1):

Nếu ta biến đồ thị phụ tải thành những đoạn bậc thang có chiều rộng bằng nhau, nghĩa là $\Delta t = \text{const}$ và kết hợp với trạng thái xác lập về nhiệt độ thì nhiệt sai ban đầu của đoạn phụ tải thứ nhất sẽ là:

$$\tau_{bd1} = \frac{(1 - e^{-\Delta t/\theta}) \sum_{i=1}^m \tau_{\text{đđ}i} e^{-\frac{t_{ck} - \Delta ti}{\theta}}}{1 - e^{-t_{ck}/\theta}}, \quad (6-3)$$

trong đó m — số đoạn phụ tải.

Dựa vào đường cong $\tau = f(t)$ đã vẽ được xác định $\tau_{\max}$ và đem so sánh với τ_{cf} nếu:

$\tau_{\max} \leq \tau_{cf}$ thì động cơ chọn sơ bộ ban đầu là đúng. Nếu $\tau_{\max} > \tau_{cf}$ thì phải chọn lại động cơ có công suất lớn hơn một cấp.

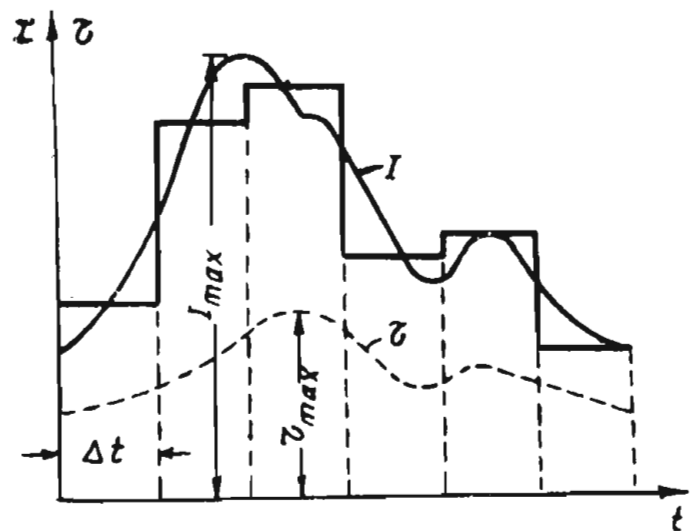
Phương pháp kiểm tra động cơ theo nhiệt sai cực đại đòi hỏi phải tính toán nhiều, mất thời gian vì vậy nó ít được sử dụng trong thực tế.

2. Kiểm nghiệm động cơ theo phương pháp tổn thất trung bình ΔP_{tb} .

Xuất phát từ phương pháp nhiệt sai cực đại, khi có trạng thái ổn định về nhiệt (6-3) có dạng:

$$\tau_{bd}(1 - e^{-t_{ck}/\theta}) = \tau_{\text{đđ}1}(1 - e^{-t_1/\theta}) e^{-\frac{t_{ck} - t_1}{\theta}} + \tau_{\text{đđ}2}(1 - e^{-t_2/\theta}) e^{-\frac{t_{ck} - (t_1 + t_2)}{\theta}} + \dots + \tau_{\text{đđ}m}(1 - e^{-t_m/\theta}), \quad (6-4)$$

trong đó: τ_{bd} — nhiệt sai ban đầu, cũng bằng nhiệt sai cuối cùng của chu kỳ xét;
 m — số đoạn phụ tải có trong chu kỳ xét.



Hình 6-1. Đồ thị phụ tải và đường cong phát nóng của động cơ để xác định $\tau_{\max}$.

Nếu giả thiết τ_{bd} là do tổn thất trung bình ΔP_{tb} sinh ra và thay $\tau_{odm} = \frac{\Delta P_m}{A}$, vào (6-4) ta có:

$$\frac{\Delta P_{tb}}{A} (1 - e^{-t_{ck}/\theta}) = \frac{\Delta P_1}{A} (1 - e^{-t_1/\theta}) e^{-\frac{t_{ck}-t_1}{\theta}} + \frac{\Delta P_2}{A} (1 - e^{-t_2/\theta}) e^{-\frac{t_{ck}-(t_1+t_2)}{\theta}} + \dots + \frac{\Delta P_m}{A} (1 - e^{-t_m/\theta}). \quad (6-5)$$

Như vậy quá trình làm việc của động cơ với phụ tải biến đổi, có thể thay đẳng trị bằng quá trình làm việc với phụ tải không đổi sao cho điều kiện phát nóng là như nhau.

Để có được biểu thức tính ΔP_{tb} ta phải khai triển hàm mũ ở (6-5).

Nếu khai triển hàm mũ e^{-x} thành chuỗi Macloranh:

$e^{-x} = 1 - \frac{x}{1!} + \frac{x^2}{2!} - \frac{x^3}{3!} \dots$ và chỉ lấy 2 số hạng đầu thì (6-5) trở thành:

$$\frac{\Delta P_{tb}}{A} \cdot \frac{t_{ck}}{\theta} = \frac{\Delta P_1}{A} \cdot \frac{t_1}{\theta} + \frac{\Delta P_2}{A} \cdot \frac{t_2}{\theta} + \dots + \frac{\Delta P_m}{A} \cdot \frac{t_m}{\theta} \quad (6-6)$$

Giả thiết $A, \theta = \text{const}$ từ (6-6) ta có:

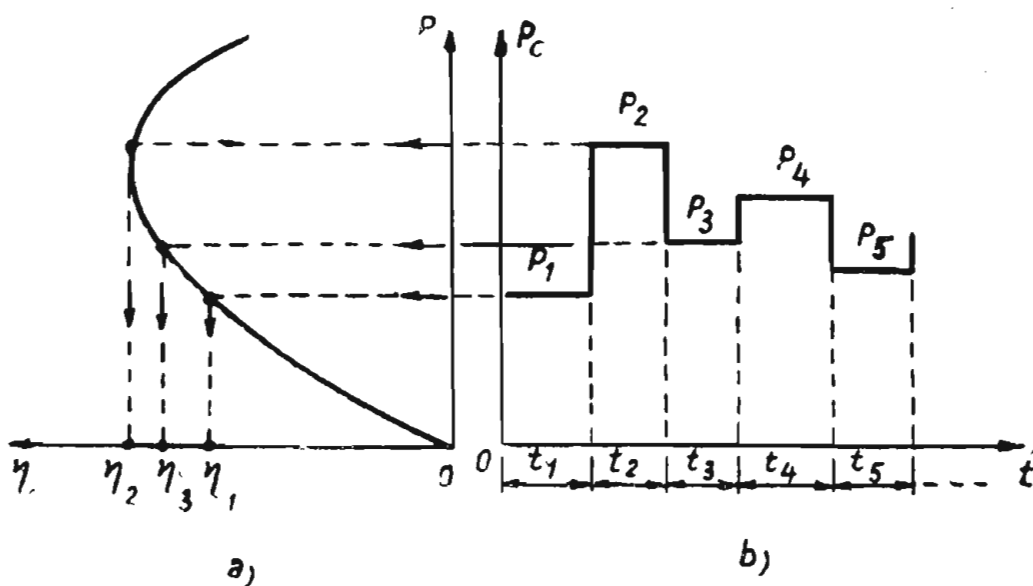
$$\Delta P_{tb} = \frac{\Delta P_1 t_1 + \Delta P_2 t_2 + \dots + \Delta P_m t_m}{t_1 + t_2 + \dots + t_m} \quad (6-7)$$

Từ ΔP_{tb} ta so sánh nếu:

$\Delta P_{tb} < \Delta P_{dm}$ thì động cơ chọn sơ bộ ban đầu là đúng.

Để xác định ΔP_{tb} theo (6-7) ta tiến hành như sau: Dựa vào đồ thị phụ tải $P = f(t)$ và đường cong hiệu suất của động cơ đã chọn sơ bộ $\eta = f(P)$ như hình 6-2 ta xác định các giá trị P_m, η_m, t_m và tính được:

$$\Delta P_m = P_m \frac{1 - \eta_m}{\eta_m}$$



Hình 6-2. Đường cong hiệu suất của động cơ (a), đồ thị phụ tải (b) và cách xác định η_m .

Tồn thất công suất định mức của động cơ được xác định theo biểu thức:

$$\Delta P_{dm} = P_{dm} \frac{1 - \eta_{dm}}{\eta_{dm}}$$

Phương pháp tồn thất trung bình cho kết quả khá chính xác và có thể sử dụng cho bất cứ động cơ nào. Tuy nhiên trong những trường hợp động cơ tự quạt mát thì trong biểu thức tính ΔP_{tb} (6-7) cần phải thêm vào những hệ số xét đến điều kiện làm mát bị xấu đi khi động cơ thay đổi tốc độ hoặc đứng im.

Ví dụ: Động cơ tự làm mát có đồ thị tồn thất công suất ΔP và đồ thị tốc độ ω biến thiên theo thời gian như hình 6-3, thì tồn thất trung bình tính cho một chu kỳ làm việc sẽ là:

$$\Delta P_{tb} = \frac{\Delta P_1 t_1 + \Delta P_2 t_2 + \Delta P_3 t_3}{\alpha(t_1 + t_3) + t_2 + \beta t_4} \quad (6-8)$$

trong đó: α — hệ số xét tới điều kiện làm mát bị xấu đi khi khởi động và hãm;

Với các động cơ một chiều thường $\alpha = 0,75$, còn với các động cơ xoay chiều $\alpha = 0,5$.

β — Hệ số xét tới điều kiện làm mát bị xấu đi khi động cơ ngừng quay: với các động cơ một chiều $\beta = 0,5$, với các động cơ xoay chiều $\beta = 0,25$.

3. Kiểm nghiệm động cơ theo phương pháp các đại lượng đẳng trị.

Để kiểm nghiệm động cơ đã chọn sơ bộ về phương diện phát nóng ta có thể sử dụng một trong 3 phương pháp các đại lượng đẳng trị là: dòng điện đẳng trị I_{dt} ; mômen đẳng trị M_{dt} và công suất đẳng trị P_{dt} .

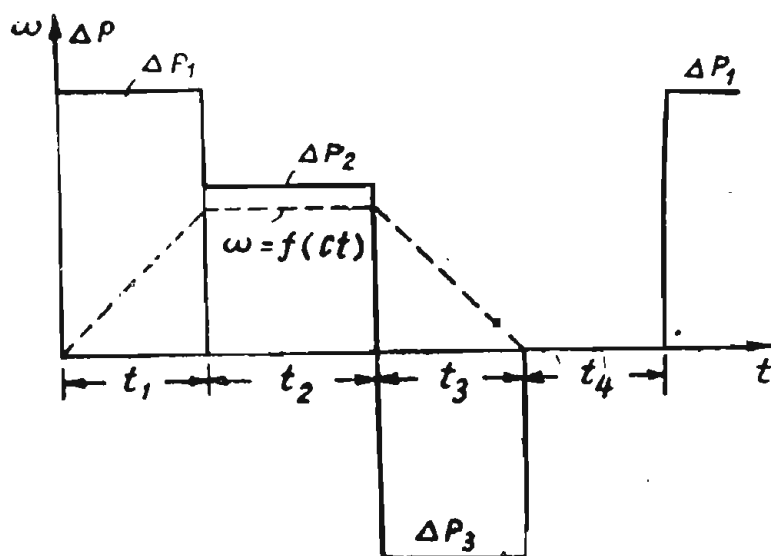
a) Phương pháp dòng điện đẳng trị I_{dt} .

Phương pháp dòng điện đẳng trị được suy ra từ phương pháp tồn thất trung bình.

Công suất tồn thất toàn phần ΔP bao gồm hai phần: tồn thất không biến đổi K và tồn thất biến đổi V . Nghĩa là:

$$\Delta P = K + V$$

Công suất tồn thất không biến đổi K bao gồm tồn thất trong lõi thép, tồn thất do ma sát cơ khí giữa các ổ trục, ma sát giữa phần quay và không khí, tồn thất do tự quạt mát v.v.. các tồn thất này hầu như không phụ thuộc vào dòng điện phụ tải, nó biến đổi rất ít theo tốc độ, điện áp, tần số v.v., vì vậy người ta xem K không biến đổi và luôn luôn bằng trị số định mức.



Hình 6-3. Đồ thị tồn thất công suất ΔP và tốc độ ω biến thiên theo thời gian trong một chu kỳ làm việc của động cơ.

Công suất tổn thất biến đổi V phụ thuộc vào dòng điện phụ tải, chủ yếu là tổn thất trong các dây quấn của động cơ khi có dòng điện phụ tải chạy qua, thường gọi là tổn thất đồng:

$$V = bI^2,$$

trong đó b — hệ số tính đến điện trở của các cuộn dây trong động cơ.

Ta có thể xem tổn thất trung bình ΔP_{tb} là do một dòng điện đẳng trị I_{dt} sinh ra. Còn tổn thất biến đổi ứng với một dòng điện phụ tải nào đó là:

$$P_x = K + bI_x^2 \quad (6-8a)$$

Biểu thức tính ΔP_{tb} (6-7) được viết thành:

$$K + bI_{dt}^2 = K + \frac{b(I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_m^2 t_m)}{t_1 + t_2 + \dots + t_m}$$

Với giả thiết $K, b = \text{const}$ ta có:

$$I_{dt} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_m^2 t_m}{t_1 + t_2 + \dots + t_m}} \quad (6-9)$$

hoặc

$$I_{dt} = \sqrt{\frac{\sum_1^m I_x^2 t_x}{\sum_1^m t_x}} = \sqrt{\frac{\int_0^{t_{ck}} I_x^2 dt}{\sum_1^m t_x}} \quad (6-10)$$

với t_{ck} — thời gian của 1 chu kỳ.

Sau khi tính được I_{dt} ta so sánh nếu:

$I_{dt} \leq I_{dm}$ thì động cơ chọn sơ bộ ban đầu là đúng.

Khi sử dụng phương pháp dòng điện đẳng trị để kiểm nghiệm động cơ theo điều kiện phát nóng ta cần chú ý thêm các điểm sau:

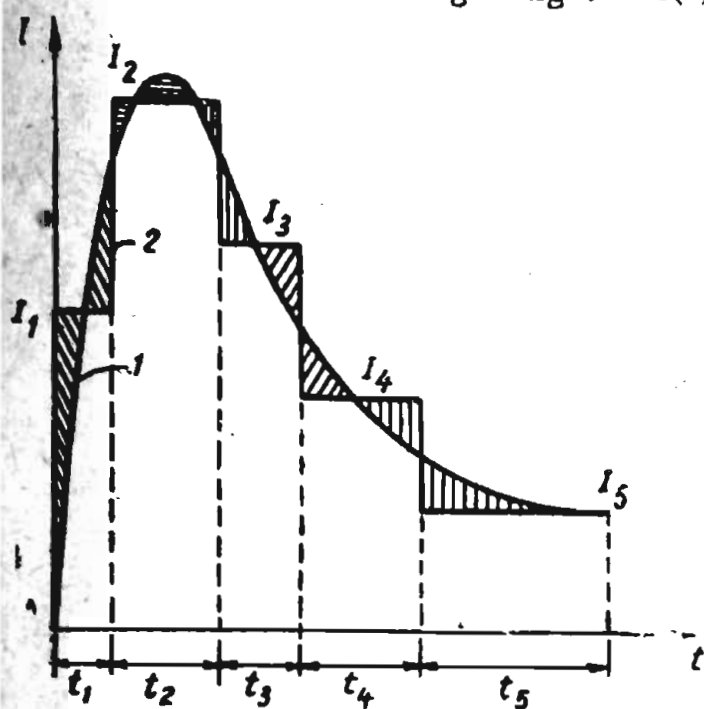
— Biểu thức (6-9) sử dụng cho những động cơ có điều kiện làm mát không đổi. Đối với các động cơ tự làm mát biểu thức (6-9) cần phải tính thêm các hệ số xét đến điều kiện làm mát bị xấu đi khi tốc độ động cơ thay đổi hoặc đứng im là α và β như ở phương pháp tổn thất trung bình.

Giả sử có đồ thị biến thiên theo thời gian của dòng điện và tốc độ trong một chu kỳ làm việc của động cơ tự làm mát có dạng giống như hình 6-3, thì biểu thức tính dòng điện đẳng trị trong một chu kỳ làm việc sẽ là:

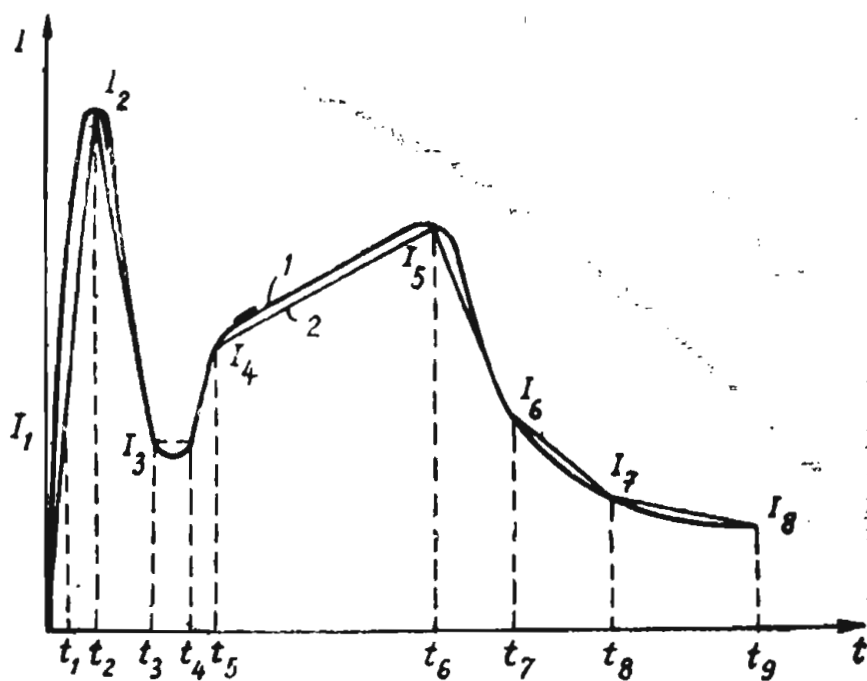
$$I_{dt} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + I_3^2 t_3}{\alpha(t_1 + t_3) + t_2 + \beta t_4}} \quad (6-11)$$

— Đồ thị $I = f(t)$ nếu là đường cong liên tục như hình 6-4 thì ta phải biến nó thành đường bậc thang (đường 2 trên hình 6-4). Nếu $I = f(t)$ là đường

cong có dạng bất kỳ như hình 6-5 (đường 1) thì ta phải biến nó thành đường gãy khúc (đường 2 trên hình 6-5). Đường gãy khúc này bao gồm những đoạn tiệm cận với đường cong $I = f(t)$.



Hình 6-4. Đồ thị $I = f(t)$ có dạng đường cong liên tục (1), và dạng bậc thang (2)



Hình 6-5. Đồ thị $I = f(t)$ có dạng đường cong bất kỳ (1), và dạng gãy khúc (2)

Sau khi đã có đường gãy khúc, ta tính dòng điện đẳng trị cho từng đoạn cuối cùng tính dòng điện đẳng trị cho toàn chu kỳ làm việc.

Dòng điện đẳng trị của đoạn gãy khúc thứ i nào đó được xác định theo biểu thức :

$$I_{dti} = \sqrt{\frac{S_o^{ti} I^2 dt}{t_i}} \quad (6-12)$$

Để tìm được biểu thức cụ thể tính I_{dti} ta biến đổi (6-12) như sau :

Ở mỗi đoạn gãy khúc, dòng điện biến thiên theo quy luật tuyến tính như hình 6-6 và được biểu diễn bởi phương trình :

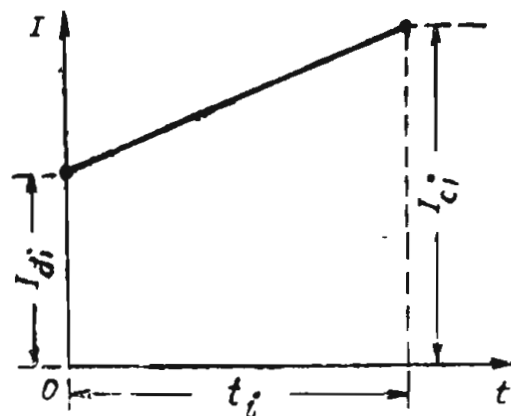
$$I = I_{di} + \frac{I_{ci} - I_{di}}{t_i} t \quad (6-13)$$

trong đó : I_{di} và I_{ci} — trị số dòng điện ở đầu và cuối của đoạn gãy khúc thứ i ;

t_i — thời gian ứng với đoạn gãy khúc thứ i .

Lấy vi phân (6-13) ta có :

$$dI = \frac{I_{ci} - I_{di}}{t_i} dt$$



Hình 6-6. Đoạn gãy khúc thứ i của đồ thị dòng điện biến thiên theo thời gian

suy ra :

$$dt = \frac{t_i}{I_{ci} - I_{di}} dI. \quad (6-14)$$

Thay (6-14) vào (6-12) ta được :

$$I_{dti} = \sqrt{\frac{1}{t_i} \int_{I_{di}}^{I_{ci}} I^2 \frac{t_i}{I_{ci} - I_{di}} dt} \quad (6-15)$$

Giải tích phân trong căn của (6-15) sẽ được

$$I_{dti} = \sqrt{\frac{I_{ci}^3 - I_{di}^3}{3(I_{ci} - I_{di})}} = \sqrt{\frac{I_{di}^2 + I_{di}I_{ci} + I_{ci}^2}{3}}$$

Thay $I_{ci} = I_{di} + \Delta I$ vào và biến đổi ta có :

$$I_{dti} = \sqrt{I_{di}^2 + I_{di}\Delta I + \frac{(\Delta I)^2}{3}} = \sqrt{I_{di}(I_{di} + \Delta I) + \frac{(\Delta I)^2}{3}}$$

$$I_{dti} = \sqrt{I_{di}I_{ci} + \frac{\Delta I^2}{3}} \quad (6-16)$$

với $\Delta I = I_{ci} - I_{di}$.

Trường hợp $\Delta I \leq 0,25 I_{di}$ thì trong biểu thức (6-16) ta có bỏ qua số hạng $\Delta I^2/3$ nghĩa là :

$$I_{dti} \approx \sqrt{I_{di} \cdot I_{ci}} \quad (6-17)$$

— Phương pháp I_{dt} sử dụng chính xác đối với những động cơ mà trong quá trình làm việc điện trở của các cuộn dây không thay đổi hoặc thay đổi không đáng kể. Đối với những động cơ không đồng bộ rôto rãnh sâu hoặc rôto lồng sóc kép trong quá trình khởi động điện trở của mạch rôto thay đổi nhiều. Nếu khi động cơ phải khởi động và hãm nhiều trong quá trình làm việc thì phương pháp dòng điện đẳng trị sẽ cho kết quả kém chính xác.

b) Phương pháp mômen đẳng trị M_{dt} .

Phương pháp mômen đẳng trị được suy ra từ phương pháp dòng điện đẳng trị. Nếu trong quá trình làm việc mômen của động cơ tỷ lệ với dòng điện nghĩa là $M = CI$ (C — hệ số tỷ lệ) thì từ (6-9) sau khi nhân cả hai vế với C ta được :

$$M_{dt} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_m^2 t_m}{t_1 + t_2 + \dots + t_m}} \quad (6-18)$$

hoặc

$$M_{dt} = \sqrt{\frac{1}{t_{ck}} \sum_1^m M_x^2 t_x} \quad (6-19)$$

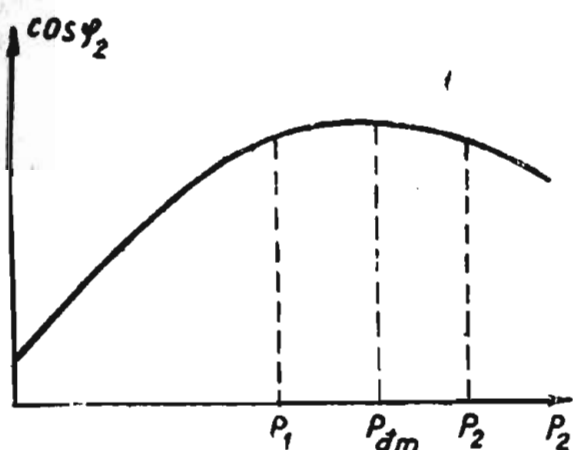
Sau khi xác định được M_{dt} theo (6-18) cho một chu kỳ làm việc, ta so sánh nếu :

$M_{dt} < M_{dm}$ thì động cơ đã chọn sơ bộ là đúng. Nếu không thỏa mãn điều kiện trên thì phải chọn lại động cơ với công suất định mức tăng lên một cấp.

Phương pháp mômen đẳng trị sử dụng chính xác đối với những máy điện một chiều kích từ độc lập khi làm việc với $\Phi = \text{const}$ vì nó đảm bảo điều kiện $M = K\Phi I$. Đối với các động cơ không đồng bộ mômen của động cơ được xác định theo biểu thức:

$$M = K_M I_2 \Phi \cos \varphi_2$$

nghĩa là mômen của động cơ ngoài từ thông Φ nó còn phụ thuộc vào $\cos \varphi_2$.



Hình 6-7. Quan hệ giữa hệ số công suất $\cos \varphi_2$ với công suất trên trục của động cơ không đồng bộ.

Hệ số công suất $\cos \varphi_2$ phụ thuộc vào công suất trên trục của động cơ là P_2 dạng như hình 6-7. Như vậy để sử dụng phương pháp M_{dt} ngoài điều kiện $\Phi = \text{const}$ còn phải có $\cos \varphi_2 = \text{const}$. Từ đồ thị hình 6-7 ta thấy rằng trong một phạm vi công suất nào đó ($P_1 - P_2$) có thể xem $\cos \varphi_2 = \text{const}$ và $M = C I_2$, phạm vi $P_1 - P_2$ thường dao động xung quanh công suất định mức P_{dm} .

c) Phương pháp công suất đẳng trị P_{dt} .

Đối với những truyền động trong quá trình làm việc tốc độ ít biến đổi, nghĩa là $\omega \approx \text{const}$, công suất sẽ tỉ lệ với

mômen $P = M \cdot \omega = C \cdot M$. Từ biểu thức tính M_{dt} (6-18) ta có:

$$P_{dt} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_m^2 t_m}{t_1 + t_2 + \dots + t_m}} \quad (6-20)$$

hoặc
$$P_{dt} = \sqrt{\frac{1}{t_{ck}} \sum_{x=1}^m P_x^2 t_x} \quad (6-21)$$

Động cơ chọn đúng là phải đảm bảo điều kiện:

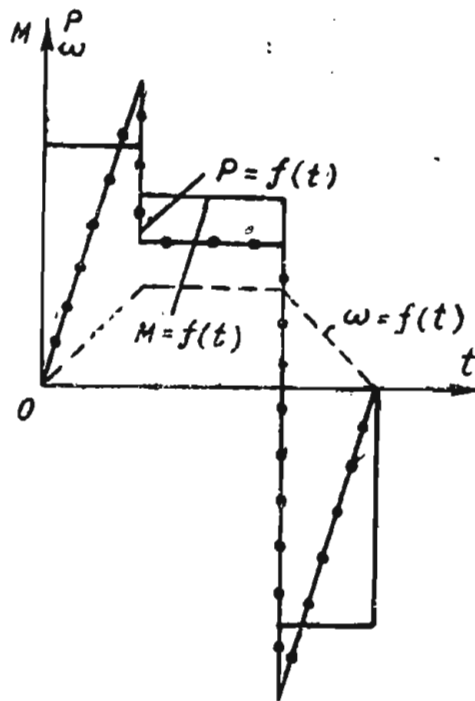
$$P_{dt} \leq P_{dm}$$

Đối với những trường hợp động cơ làm việc với tốc độ thay đổi, Chẳng hạn xét đến các giai đoạn khởi động và hãm máy thì đồ thị $P=f(t)$ sẽ được suy ra từ đồ thị $M=f(t)$ và $\omega=f(t)$ theo công thức:

$P=M\omega$. Sau khi có $P=f(t)$ ta phải tính công suất đẳng trị trong các đoạn có $P=\text{Var}$, sau đó tính công suất đẳng trị cho cả chu kỳ làm việc rồi đem so sánh với P_{dm} .

Biểu thức tính công suất đẳng trị cho từng đoạn tương tự như biểu thức tính I_{dt} (6-16).

Hình 6-8 biểu diễn đồ thị $P=f(t)$ được suy ra từ đồ thị $M=f(t)$ và $\omega=f(t)$ cho một chu kỳ làm việc.



Hình 6-8. Đồ thị $M=f(t)$, $\omega=f(t)$ và $P=f(t)$ [trong một chu kỳ làm việc].

§6-2. KIỂM NGHIỆM ĐỘNG CƠ THEO ĐIỀU KIỆN QUÁ TẢI VÀ KHỞI ĐỘNG

Khả năng quá tải của động cơ về mômen được đặc trưng bởi hệ số quá tải λ_M :

$$\lambda_M = \frac{M_{\max}}{M_{dm}}$$

với: $M_{\max}$ — mômen lớn nhất mà động cơ có thể làm việc được.

Khả năng quá tải của động cơ về dòng điện được đặc trưng bởi hệ số quá tải λ_I :

$$\lambda_I = \frac{I_{\max}}{I_{dm}}$$

với $I_{\max}$ — dòng điện cực đại mà động cơ có thể chịu đựng được.

Các hệ số λ_M , λ_I cho trong lý lịch của máy hoặc trong các sổ tay.

Động cơ chọn sơ bộ phải đảm bảo điều kiện quá tải sau:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_M \cdot M_{dm} &\geq M_{c\max}; \\ \lambda_I \cdot I_{dm} &\geq I_{c\max}, \end{aligned} \right\} \quad (6-22)$$

trong đó $M_{c\max}$ và $I_{c\max}$ — mômen và dòng điện lớn nhất của phụ tải đã quy đổi về trục động cơ.

Đối với các động cơ không đồng bộ lồng sóc, người ta thường cho hệ số khởi động về mômen:

$$\lambda_{kd \cdot M} = \frac{M_{kd}}{M_{dm}}$$

và hệ số khởi động về dòng điện:

$$\lambda_{kd \cdot I} = \frac{I_{kd}}{I_{dm}}$$

trong đó: M_{kd} và I_{kd} — mômen và dòng điện khởi động của động cơ. Đó là giá trị của mômen và dòng điện ứng với $\omega = 0$ trên đặc tính khởi động.

Những truyền động điện yêu cầu khởi động có tải thì điều kiện để đảm bảo cho động cơ khởi động được đến tốc độ xác lập là:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_{kd \cdot M} \cdot M_{dm} &> M_c \\ \lambda_{kd \cdot I} \cdot I_{dm} &> I_c \end{aligned} \right\} \quad (6-23)$$

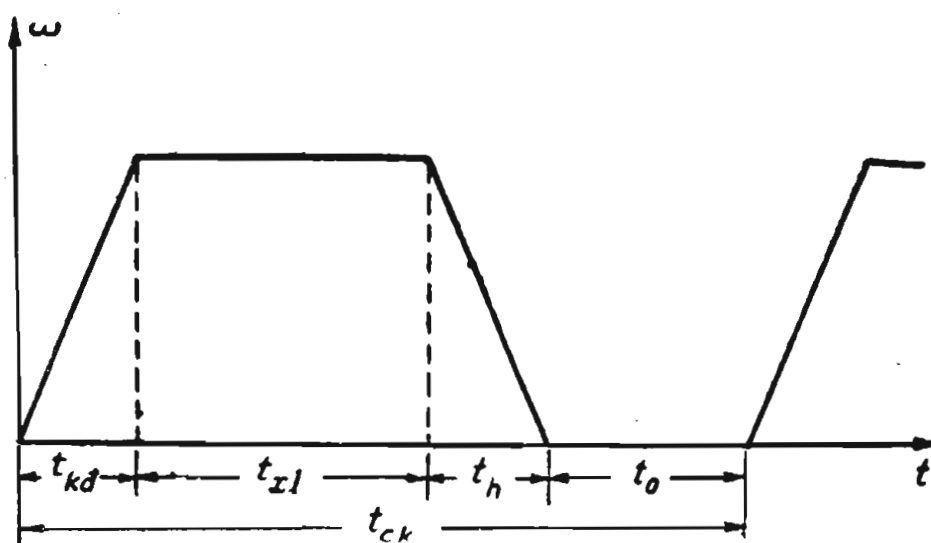
với M_c , I_c — mômen và dòng điện của phụ tải đã quy đổi về trục ở trong giai đoạn khởi động.

§6-3 XÁC ĐỊNH TẦN SỐ ĐÓNG ĐIỆN CHO PHÉP CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ LỒNG SÓC

Động cơ không đồng bộ lồng sóc được sử dụng khá rộng rãi cho truyền động có chế độ làm việc ngắn hạn lặp lại. Những truyền động này thường yêu cầu động cơ làm việc với điện áp định mức và tần số đóng điện (số lần

đóng cắt trong 1 giờ) khoảng từ 1000 – 2000. Quá trình phát nóng của động cơ khi khởi động và hãm rất phức tạp. Ở các giai đoạn khởi động, hãm và xác lập động cơ làm việc với các trị số công suất khác nhau và khác với trị số định mức P_{dm} . Các phương pháp kiểm nghiệm động cơ theo các đại lượng đẳng trị không đảm bảo được độ chính xác cần thiết cho những truyền động này. Vì vậy người ta thường sử dụng phương pháp cân bằng nhiệt lượng và tính toán so sánh số lần đóng điện cho phép trong 1 giờ với tần số đóng điện thực tế để kiểm nghiệm động cơ theo điều kiện phát nóng. Nói cách khác cân xác định tần số đóng điện cho phép để nhiệt độ động cơ không vượt quá giới hạn qui định.

Xét trường hợp đơn giản, đồ thị biến thiên của tốc độ theo thời gian trong một chu kỳ làm việc của động cơ có dạng như hình 6-9



Hình 6-9. Đồ thị $\omega = f(t)$ trong một chu kỳ làm việc của động cơ không đồng bộ lồng sóc

Số lần đóng điện trong 1 giờ được xác định từ trạng thái cân bằng nhiệt: Nhiệt lượng sinh ra của động cơ cân bằng với nhiệt lượng đốt nóng động cơ và nhiệt lượng tỏa ra môi trường xung quanh.

Trong một chu kỳ làm việc nhiệt sai trung bình của động cơ là τ_{tb} . Khi τ_{tb} bằng nhiệt sai cho phép của cách điện τ_{cl} thì động cơ được sử dụng hoàn toàn về phương diện nhiệt. Ở tốc độ làm việc xác lập bằng hoặc gần bằng tốc độ định mức thì nhiệt lượng tỏa ra môi trường xung quanh trong thời gian xác lập t_{xl} là: $\Delta P_{dm} \cdot t_{xl}$.

Trong thời gian nghỉ (không quay) t_o , nhiệt lượng tỏa ra môi trường xung quanh là:

$$\beta \cdot \Delta P_{dm} \cdot t_o.$$

Trong giai đoạn khởi động và hãm là:

$$\frac{\beta + 1}{2} \cdot \Delta P_{dm}(t_{kd} + t_h).$$

Năng lượng tổn thất của động cơ trong một chu kỳ làm việc:

$$\Delta A_{ck} = \Delta A_{kd} + \Delta A_h + \Delta P_{xl} t_{xl} \quad (6-24)$$

với ΔP_{x1} — tổn thất công suất ở tốc độ quay xác lập;

t_{x1} — thời gian làm việc xác lập;

A_{kd} — năng lượng tổn thất khi khởi động;

A_h — năng lượng tổn thất khi hãm.

Theo điều kiện cân bằng nhiệt lượng ta có:

$$\Delta A_{kd} + \Delta A_h + \Delta P_{x1} t_{x1} = \frac{\beta + 1}{2} \cdot \Delta P_{dm} (t_{kd} + t_h) + \Delta P_{dm} t_{x1} + \beta \cdot \Delta P_{dm} \cdot t_o \quad (6-25)$$

Giả thiết động cơ làm việc với z chu kỳ trong 1 giờ thì thời gian của 1 chu kỳ là:

$$t_{ck} = t_{kd} + t_{x1} + t_h + t_o = \frac{3600}{z}$$

Thời gian đóng điện trong 1 chu kỳ (thời gian làm việc) là:

$$t_{lv} = \frac{3600}{z} \epsilon,$$

với ϵ — thời gian đóng điện tương đối.

Thời gian động cơ làm việc với tốc độ xác lập trong một chu kỳ là:

$$t_{x1} = \frac{3600}{z} \epsilon - (t_{kd} + t_h). \quad (6-26)$$

Thời gian nghỉ trong một chu kỳ là:

$$t_o = \frac{3600}{z} (1 - \epsilon). \quad (6-27)$$

Thay t_{x1} (6-26) t_o (6-27) vào (6-25) ta có;

$$\begin{aligned} \Delta A_{kd} + \Delta A_h + \Delta P_{x1} \left[\frac{3600}{z} \epsilon - (t_{kd} + t_h) \right] &= \frac{\beta + 1}{2} \Delta P_{dm} (t_{kd} + t_h) + \\ &+ \Delta P_{dm} \left[\frac{3600}{z} \epsilon - (t_{kd} + t_h) \right] + \beta \cdot \Delta P_{dm} \frac{3600}{z} (1 - \epsilon). \end{aligned} \quad (6-28)$$

giải (6-28) ta được:

$$z = 3600 \frac{(\Delta P_{dm} - \Delta P_{x1}) \epsilon + \Delta P_{dm} \cdot \beta (1 - \epsilon)}{\Delta A_{kd} + \Delta A_h - (t_{kd} + t_h) (\Delta P_{x1} + \frac{\beta - 1}{2} \cdot \Delta P_{dm})}. \quad (6-29)$$

Nếu lấy $\beta = 0,25$ và $\Delta P_{x1} = \Delta P_{dm}$ thì:

$$\Delta P_{x1} + \frac{\beta - 1}{2} \Delta P_{dm} \approx 0,625 \Delta P_{dm}.$$

Vì các động cơ không đồng bộ lồng sóc thường có thời gian khởi động và hãm bé nên số hạng:

$$(t_{kd} + t_h) (\Delta P_{x1} + \frac{\beta - 1}{2} \Delta P_{dm}) \leq (2 \div 4) \% (\Delta A_{kd} + \Delta A_h)$$

Nếu lấy 3% thì mẫu số của (6-29) sẽ là:

$$0,97 (\Delta A_{kd} + \Delta A_h),$$

và

$$Z = 3600 \frac{(\Delta P_{dm} - \Delta P_{vl})\epsilon + \Delta P_{dm}\beta(1 - \epsilon)}{0,97 (\Delta A_{kd} + \Delta A_h)} \quad (6-30)$$

Phân tích (6-30) ta thấy rằng để nâng cao số lần đóng điện cho phép trong 1 giờ (Z) của động cơ cần phải giảm năng lượng tổn thất trong quá trình khởi động, hãm, và tăng nhiệt lượng tỏa ra môi trường xung quanh trong giai đoạn nghỉ (tăng $\beta\Delta P_{dm}$).

B- CHỌN MÁY ĐIỆN THEO CÁC YÊU CẦU KỸ THUẬT

Ở chương trước mới chỉ giới thiệu các phương pháp tính toán xác định công suất yêu cầu mà động cơ phải có. Để tiến hành chọn được một động cơ cụ thể ta còn phải căn cứ vào các điều kiện kinh tế, kỹ thuật khác như: loại máy điện xoay chiều hoặc một chiều; cấp điện áp; tốc độ định mức; phạm vi tốc độ có thể điều chỉnh được; khả năng quá tải, khởi động; kiểu cấu trúc v.v...

§ 6-4. CHỌN MÁY ĐIỆN THEO LOẠI DÒNG ĐIỆN VÀ CẤP ĐIỆN ÁP

Theo tính chất của dòng điện người ta chế tạo máy điện thành hai loại: một chiều và xoay chiều.

Đối với những truyền động yêu cầu phạm vi điều chỉnh tốc độ rộng, quá trình điều chỉnh trơn (vô cấp), làm việc thường bị quá tải lớn, khởi động có tải, thường xuyên phải khởi động và dừng máy v.v.. người ta thường dùng máy điện một chiều. Tùy theo tính chất của phụ tải, yêu cầu của quá trình công nghệ, mà sử dụng máy điện một chiều kích từ độc lập, kích từ nối tiếp hoặc kích từ hỗn hợp. Đặc điểm của từng loại máy điện này đã nêu một phần ở chương đặc tính cơ của truyền động điện.

Để cung cấp cho các máy điện một chiều ở xí nghiệp phải có nguồn một chiều, hoặc phải có các bộ biến đổi từ điện xoay chiều thành một chiều nhờ các máy điện quay hoặc các van tĩnh.

Đối với những truyền động yêu cầu phạm vi điều chỉnh tốc độ không lớn lắm, điều chỉnh có cấp, tần số đóng cắt không cần cao lắm, người ta thường sử dụng các máy điện xoay chiều. Các động cơ không đồng bộ lồng sóc có cấu tạo đơn giản nhất, vận hành bảo quản dễ dàng, làm việc chắc chắn, kích thước nhỏ, khối lượng nhỏ, giá thành hạ. Các máy điện xoay chiều còn có ưu việt là có thể đấu trực tiếp vào lưới điện xoay chiều ba pha mà không cần qua các thiết bị biến đổi.

Đối với những truyền động yêu cầu phạm vi điều chỉnh tốc độ tương đối rộng, mômen khởi động cần lớn còn dòng điện khởi động cần nhỏ, các đặc tính quá độ yêu cầu tốt v.v.. Người ta thường sử dụng động cơ không đồng bộ rôto quấn dây.

Đối với những truyền động có công suất trung bình và lớn, không yêu cầu điều chỉnh tốc độ thì hợp lý nhất là dùng máy điện đồng bộ. Loại máy điện này còn có ưu việt là có thể bù công suất phản kháng cho lưới điện.

Tất nhiên để đi đến quyết định chọn loại máy điện nào cho truyền động điện, ta phải tiến hành so sánh các chỉ tiêu kinh tế, kỹ thuật để phù hợp với thực tế của cơ sở sản xuất.

Để chọn được cấp điện áp định mức của máy điện, ta căn cứ vào cấp điện áp của nguồn điện. Các cấp điện áp quy chuẩn thường sử dụng trong công nghiệp được ghi ở bảng 6-1.

Bảng 6-1

Loại dòng điện	cấp điện áp (V)								
	12	36	127	220	380	500	3 000	6 000	10 000
Xoay chiều									
Một chiều	12	24	110	220	440	800			

Các máy điện một chiều thường được chế tạo với các cấp điện áp định mức: 110, 220, 400 và 800V. Các máy điện một chiều có công suất nhỏ thường được chế tạo ở cấp điện áp định mức 110 hoặc 220 V. Các máy điện một chiều công suất trung bình và lớn thì điện áp định mức thường là 440, 800 V và lớn hơn.

Các máy điện không đồng bộ ba pha có công suất nhỏ và trung bình thường được chế tạo có cấp điện áp xoay chiều định mức là 220 V/127 V hoặc 380 V/220 V, tương ứng với cách đấu dây của stato là Y/Δ.

Các máy điện không đồng bộ và đồng bộ có công suất trung bình và lớn, thường được chế tạo với cấp điện áp xoay chiều định mức là 3000V, 6000V hoặc 10.000V.

Điện áp định mức của động cơ được chọn phải phù hợp với điện áp định mức của lưới điện sẵn có ở nhà máy. Trong trường hợp muốn sử dụng nhiều máy điện với các cấp điện áp khác nhau thì phải so sánh các chỉ tiêu kinh tế, kỹ thuật về những phương án cung cấp điện cho chúng.

§ 6-5. CHỌN MÁY ĐIỆN THEO CẤU TRÚC

Thực tế các máy sản xuất có thể phải làm việc trong những điều kiện môi trường khác nhau như: khô ráo sạch sẽ; bụi bặm ẩm ướt; nhiệt độ cao; có khí ăn mòn; có khí nổ v.v..

Để đảm bảo cho động cơ có tuổi thọ cao vận hành an toàn, tin cậy, giá thành hợp lý khi làm việc trong các môi trường ấy, người ta chế tạo các máy điện theo 3 kiểu phổ biến: hở, bảo vệ, kín.

Các máy điện kiểu hở không có các bộ phận ngăn chặn sự tiếp xúc của các phần tử bên ngoài với phần quay của nó, không bảo vệ được máy điện khi có các vật bên ngoài rơi vào bên trong nó. Loại này thường được sử dụng ở những nơi khô ráo, sạch sẽ, không có khí ăn mòn, khí đốt v.v...

Các máy điện kiểu bảo vệ là loại có vỏ bao, chắn, ngăn chặn không cho các vật ở môi trường làm việc rơi vào bên trong máy điện, không cho các giọt nước rơi từ trên xuống hoặc rơi xiên vào bên trong máy điện, không để người va phải bộ phận quay của nó.

Các máy điện kiểu kín có cấu tạo phức tạp nhất, chúng thường được chế tạo theo 3 loại:

Loại kín được thông gió bằng ống dẫn khí sạch từ ngoài vào. Loại này thường được sử dụng ở môi trường nhiều bụi, ẩm ướt hoặc có hơi ăn mòn v.v...

Loại kín có bộ phận chống cháy, chống nổ. Vỏ bọc của nó được chế tạo đặc biệt để không bị hỏng khi bên trong máy điện xảy ra cháy, nổ, đồng thời nó cũng ngăn chặn không để các ngọn lửa phát sinh từ bên trong máy điện lan ra môi trường làm việc. Loại này thường được sử dụng ở những nơi có nhiệt độ cao, có khí nổ, hầm mỏ v.v...

Loại kín có bộ phận chống mưa, chống nước ngấm vào bên trong máy điện. Loại này có vỏ rất kín, nhờ các tấm đệm cao su, các đầu ra của trục thì được chui qua những vòng chắn đặc biệt. Các máy điện này có thể làm việc sâu ở trong nước hoặc để ở ngoài trời.

Ở những vùng nhiệt đới có nhiệt độ cao, độ ẩm cao dễ phát sinh nấm mốc người ta chế tạo loại máy điện đã được nhiệt đới hóa.

Ngoài ra theo hình thức làm mát các máy điện cũng có các cấu trúc khác nhau. Những máy điện có cấu tạo thông gió tự nhiên thì không dùng một thiết bị riêng nào để làm mát. Loại máy điện tự làm mát có hệ thống cánh quạt gắn trên đầu trục của nó. Cường độ làm mát của hai loại này phụ thuộc vào tốc độ quay của rôto, khi tốc độ thay đổi thì điều kiện làm mát thay đổi. Tốc độ càng thấp thì sự làm mát càng kém, khi không quay điều kiện làm mát là xấu nhất. Những máy điện có làm mát độc lập thì luôn luôn được quạt mát bởi một hệ thống bên ngoài hoàn toàn riêng biệt. Chẳng hạn hệ thống quạt do một động cơ khác kéo. Điều kiện làm mát của những máy này luôn luôn được giữ không đổi, vì vậy khả năng quá tải cho phép lớn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Cơ sở truyền động điện, tập 2, PHẠM DUY NHI, NGUYỄN DU XÙNG, BÙI ĐÌNH TIỂU soạn; Đại học Bách khoa Hà nội; 1973.
2. Cơ sở truyền động điện tự động; TSILIKIN M.G,...; BÙI ĐÌNH TIỂU, LÊ TÔNG, NGUYỄN BÌNH dịch; Khoa học và Kỹ thuật; Hà nội; 1977.
3. Các đặc tính của động cơ trong truyền động điện; VESHENEVSKI S.N., BÙI ĐÌNH TIỂU, LÊ TÔNG dịch; Khoa học và Kỹ thuật; Hà nội; 1979.
4. АНДРЕЕВ В.П., САБИНИН Ю.А.; Основы Электропривода; госэнергоиздат; Ленинград—Москва; 1963.
5. АНХИМЮК В.Л., ИЛЬИН О.П.; Проектирование систем Автоматического управления Электроприводами; высшая школа; Минск; 1971.
6. АРХАНГЕЛЬСКИЙ В.И. Системы реверсивных электропривода, Техника; Киев; 1972.
7. БАШАРИН А.В.,..., Примеры расчетов атоматизированного электропривода; энергия; Москва—Ленинград; 1964.
8. ГЕЙЛЕР Л.Б.; Основы эдектропривода высшая школа; Минск; 1972.
9. ЧИЛИКИН М.Г.,..., Теория автоматизированного электропривода; энергия; Москва; 1979.

MỤC LỤC

Lời giới thiệu

3

Phần I

QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ TRONG TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

Chương I

ĐỘNG HỌC CỦA TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

§ 1-1. Ý nghĩa của quá trình quá độ và mục đích khảo sát	5
§ 1-2. Phương pháp nghiên cứu quá trình quá độ	7
§ 1-3. Quá trình quá độ cơ học và quá trình quá độ điện cơ	13
§ 1-4. Độ ổn định của truyền động điện	19
§ 1-5. Đặc tính cơ động	22

Chương II

QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ CƠ HỌC

§ 2-1. Phạm vi ứng dụng	24
A. Các quá trình quá độ khi áp nguồn không đổi và đặc tính $M_{dg}()$ là đường thẳng	26
§ 2-2. Quá trình quá độ cơ học khi mômen động phụ thuộc tốc độ theo đường thẳng	26
§ 2-3. Quá trình quá độ khởi động bằng biến trở	28
§ 2-4. Quá trình quá độ hãm dừng truyền động điện	31
§ 2-5. Đặc điểm làm việc của truyền động điện khi tải thay đổi kiểu đột biến chu kỳ	35
B. Các quá trình quá độ khi áp nguồn không đổi và đặc tính $M_{dg}()$ là đường cong	40
§ 2-6. Các quá trình quá độ trong truyền động không đồng bộ tương ứng với phần đường cong của đặc tính cơ	40
§ 2-7. Quá trình quá độ do mômen cản biến thiên theo hàm của góc quay hoặc hành trình	45
C. Các quá trình quá độ cơ học khi thông số của nguồn biến thiên theo thời gian	51
§ 2-8. Quá trình quá độ trong hệ bộ biến đổi — động cơ một chiều	51
§ 2-9. Quá trình quá độ trong hệ biến tần — động cơ không đồng bộ	55
D. Các quá trình quá độ cơ học đặc biệt	56
§ 2-10. Quá trình quá độ trong hệ có mômen quán tính biến đổi	56
§ 2-11. Quá trình quá độ cơ học trong hệ lưỡng khối	59
E. Tỷ số truyền tối ưu và quan hệ năng lượng trong quá trình quá độ	65
§ 2-12. Tỷ số truyền tối ưu	65
§ 2-13. Năng lượng làm việc và năng lượng tổn thất trong quá trình quá độ cơ học	67
§ 2-14. Các phương pháp giảm tổn thất năng lượng trong quá trình quá độ cơ học	73

Chương III

QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ ĐIỆN CƠ TRONG HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

§ 3-1. Khái niệm chung	75
§ 3-2. Quá trình quá độ điện cơ trong truyền động điện một chiều khi điều khiển mạch phản ứng	78
§ 3-3. Quá trình quá độ điện cơ trong truyền động điện một chiều khi điều khiển từ thông	85
§ 3-4. Quá trình quá độ trong hệ máy phát - động cơ	89
§ 3-5. Nghiên cứu đặc tính động của truyền động điện dùng động cơ không đồng bộ	101

Chương IV

CÁC PHƯƠNG PHÁP KHẢO SÁT QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ TRONG HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN TỰ ĐỘNG VÒNG KÍN

§ 4-1. Hàm truyền của hệ thống	119
§ 4-2. Dạng đặc tính quá độ bằng phương pháp lần số	122
§ 4-3. Khảo sát quá trình quá độ bằng phương pháp mô hình hóa	126

Phần II

CHỌN MÁY ĐIỆN CHO TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

Chương V

TÍNH CHỌN CÔNG SUẤT ĐỘNG CƠ TRUYỀN ĐỘNG

§ 5-1. Khái niệm chung	131
§ 5-2. Quá trình phát nóng và nguội lạnh của máy điện	132
§ 5-3. Phân loại các chế độ làm việc của truyền động điện	137
§ 5-4. Đồ thị phụ tải của truyền động điện	138
§ 5-5. Tính chọn công suất động cơ làm việc dài hạn cho những truyền động không điều chỉnh	141
§ 5-6. Tính chọn công suất động cơ làm việc ngắn hạn cho những truyền động không điều chỉnh	143
§ 5-7. Tính chọn công suất động cơ cho phụ tải ngắn hạn lặp lại không điều chỉnh tốc độ	147
§ 5-8. Tính chọn công suất động cơ khi phụ tải đột biến chu kỳ	152
§ 5-9. Tính chọn công suất động cơ cho truyền động điều chỉnh	156

Chương VI

KIỂM NGHIỆM VÀ CHỌN ĐỘNG CƠ

A. Các phương pháp kiểm nghiệm công suất động cơ	160
§ 6-1. Kiểm nghiệm động cơ theo điều kiện phát nóng	160
§ 6-2. Kiểm nghiệm động cơ theo điều kiện quá tải và khởi động	168
§ 6-3. Xác định tần số đóng điện cho phép của động cơ không đồng bộ lồng sóc	168
B. Chọn máy điện theo các yêu cầu kỹ thuật	171
§ 6-4. Chọn máy điện theo loại dòng điện và cấp điện áp	171
§ 6-5. Chọn máy điện theo cấu trúc của nó	172
Tài liệu tham khảo	174

CƠ SỞ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN TỰ ĐỘNG

TẬP II

In 6.000 bản, khổ 19 × 27, tại Nhà máy in Diên Hồng 15, Hai Bà Trưng - Hà Nội
Số in: 80/T3. Số X.B.: 17-ĐH. In xong và nộp lưu chiểu tháng 12 năm 1983.

T DH
6
000