

# PHẦN III

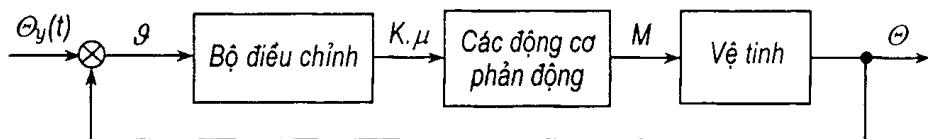
## CÁC HỆ TỐI ƯU, SỐ, TỰ HIỆU CHỈNH VÀ MÔ HÌNH HOÁ

### *Chương 17*

#### TỔNG HỢP CÁC HỆ ĐIỀU CHỈNH TỐI ƯU

##### 17.1. TỔNG HỢP CÁC HỆ TỐI ƯU VỚI SỰ SỬ DỤNG NGUYÊN LÝ CỰC ĐẠI

436. Hãy thực hiện tổng hợp các bộ điều chỉnh đảm bảo điều khiển tối ưu chuyển động vệ tinh xung quanh tâm khối theo (tác dụng nhanh) một trong số các trực. Sơ đồ hàm của hệ điều khiển được thể hiện trên hình 307.



*Hình 307. Sơ đồ hàm của hệ điều khiển vị trí góc của vệ tinh.*

Mômen quán tính của vệ tinh  $J = 200 \text{ kG.m.s}^2$ . Các cơ cấu thừa hành của hệ điều khiển là các động cơ phản lực khí có sức kéo được điều chỉnh tạo ra mômen cực đại  $M_m = 4 \text{ kG.m}$ . Khi điều chỉnh tối ưu hãy tìm thời gian cần thiết để đưa vệ tinh về trạng thái không xác định nếu ở thời điểm ban đầu độ lệch của nó là  $1^{\circ}46'$ , còn vận tốc góc  $28,65 \text{ độ/s}$ . Không có nhiễu. Hãy giải bài toán, nếu sử dụng nguyên lý cực đại L. C. Pontriaxin.

*Bài giải.* Các phương trình chuyển động của vệ tinh khi tồn tại nhiễu có dạng

$$\left. \begin{aligned} J \frac{d^2\theta}{dt^2} &= M \\ M &= M(\theta) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Theo điều kiện bài toán mômen  $M$  cần biểu diễn sao cho vệ tinh chuyển từ vị trí lệch này tới vị trí có xu hướng tiêu chuẩn sau thời gian tối thiểu.

Bởi vì sức kéo của các động cơ phản lực thừa hành có giới hạn, thì mômen điều khiển  $M$  được giới hạn:

$$M \leq M_{\max} = M_m$$

Để giải bài toán ta lập phương trình (1). Vì vậy, ta ký hiệu  $x_1 = \vartheta$ ,  $x_2 = \frac{d\vartheta}{dt} = \dot{\vartheta}$ ,  $k = \frac{M_m}{J}$ . Khi đó phương trình (1) được viết ở dạng:

$$\frac{dx_1}{dt} = x_2 \quad \frac{dx_2}{dt} = k\mu \quad (2)$$

ở đây  $\mu$  - hàm điều khiển tiêu chuẩn, mà môđun của nó  $|\mu| \leq 1$ . Ta biểu diễn hàm:

$$H = \sum_{i=1}^2 \psi_i f_i(x_1, x_2, \mu) \quad (3)$$

Đối với hệ (2)

$$H = \psi_1 x_2 + \psi_2 k\mu \quad (4)$$

Cực trị của hàm này có kể đến giới hạn (2) cho tín hiệu điều khiển  $\mu$  và đảm bảo tính tối ưu của hệ theo tác dụng nhanh. Rõ ràng rằng ở các giới hạn đã đưa ra tồn tại cực đại  $H$  nếu tín hiệu điều khiển  $\mu$  theo quy luật được biểu diễn:

$$\mu = \sin \psi_2 \quad (5)$$

Do đó, điều khiển tối ưu theo tác dụng nhanh sẽ tồn tại trong trường hợp, nếu bộ điều chỉnh chuyển mạch, thiết bị thừa hành theo quy luật  $\mu = \sin \psi_2$ . Để tìm  $\psi_2$ , ta viết:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\psi_1}{dt} &= -\frac{\partial H}{\partial x_1} = 0 \\ \frac{d\psi_2}{dt} &= -\frac{\partial H}{\partial x_2} = -\psi_1 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Nếu tích phân các phương trình này, ta có:

$$\psi_1 = c_1, \quad \psi_2 = c_2 + c_1 t$$

ở đây,  $c_1, c_2$  - các hằng số tích phân.

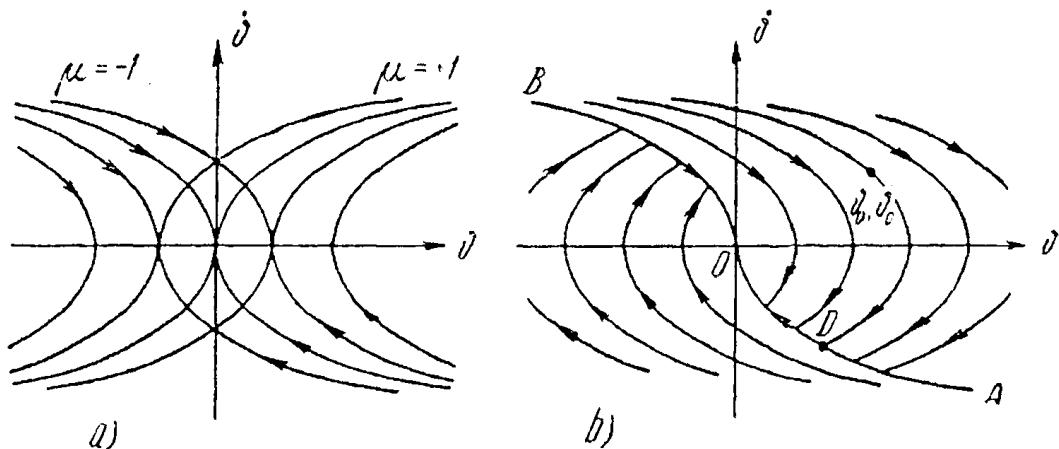
Để thấy rõ chuyển mạch như thế nào ta biểu diễn quá trình chuyển động trên mặt phẳng pha.

Từ phương trình (2) ta loại  $dt$ . Khi đó đổi với  $\mu = \pm 1$  ta có:

$$\left. \begin{aligned} x_2 dx_2 &= \pm k d x_1 \\ \frac{x_2^2}{2} &= \pm k x_1 + c \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Các phương trình (7) tương ứng các parabol đối xứng đối với trục  $x_1$  (hình 308a). Về tính chuyển động và sẽ dừng lại ở vị trí ban đầu, nếu điểm biểu diễn trên mặt phẳng pha rơi vào gốc các toạ độ  $(x_1 = \vartheta \equiv 0, x_2 = \frac{d\vartheta}{dt} \equiv 0)$ . Vì vậy ở độ lệch ban đầu bất kỳ  $\vartheta_0, \dot{\vartheta}_0$  điểm biểu diễn ban đầu cần chuyển tới điểm D (hình 308b), sau đó đã theo đường chuyển mạch

AO - tới điểm đầu. Dịch chuyển tới quỹ đạo AO đạt được bằng sự thay đổi dấu của hàm điều khiển  $\mu$  từ "-1" tới "+1".



**Hình 308.** Các đồ thị pha chuyển động góc của véc sinh ở  $\mu \pm 1$  (a) và ở điều khiển tối ưu (b).

Do đó, tín hiệu điều khiển  $\mu$  cần thay đổi dấu ở đâu ra của điểm biểu diễn tới đường chuyển mạch. Tương ứng với hình 308b.

$$\mu(\vartheta) = \begin{cases} +1 & \text{ở } \frac{d\vartheta}{dt} < \left(\frac{d\vartheta}{dt}\right)_n \text{ và } \dot{\vartheta} = \left(\frac{d\vartheta}{dt}\right)_n < 0 \\ -1 & \text{ở } \frac{d\vartheta}{dt} > \left(\frac{d\vartheta}{dt}\right)_n \text{ và } \dot{\vartheta} = \left(\frac{d\vartheta}{dt}\right)_n > 0 \end{cases} \quad (8)$$

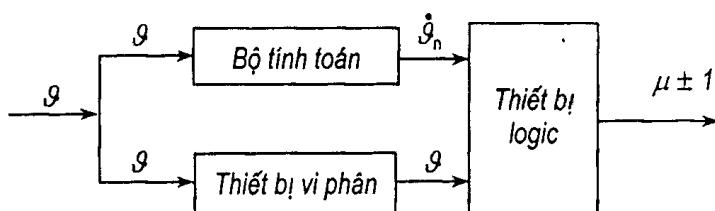
Phương trình đường chuyển mạch được tìm từ biểu thức (7) và hình 308b:

$$\dot{\vartheta}_n = \left(\frac{d\vartheta}{dt}\right)_n = -\sqrt{2k\vartheta} \sin g n \vartheta \quad (9)$$

Nếu thế các giá trị số, ta có:

$$\dot{\vartheta}_n = \left(\frac{d\vartheta}{dt}\right)_n = -0,2\sqrt{\vartheta} \sin g n \vartheta \quad (10)$$

Do đó, ở bộ điều khiển cần có thiết bị vi phân sai số  $\vartheta$  theo thời gian và tính tốc độ  $\left(\frac{d\vartheta}{dt}\right)$  trên đường chuyển mạch theo công thức (10) cũng như thiết bị logic thực hiện chuyển mạch các động cơ phản lực tới toàn bộ sức kéo quy luật được biểu diễn bằng các công thức (8). Sơ đồ hàm của bộ điều chỉnh được biểu diễn trên hình 309.



**Hình 309.** Sơ đồ hàm của bộ điều khiển tối ưu.

Thời gian tối ưu chuyển vệ tinh từ vị trí đã cho về không có thể được xác định như sau. Từ phương trình (2) có thể viết:

$$\frac{dx_2}{dt} = \frac{d\dot{\theta}}{dt} = k\mu$$

Vì vậy  $d\dot{\theta} = k\mu dt$ . Ở kết quả tích phân ta có:

$$\dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_1 = k\mu(t_2 - t_1) \quad (11)$$

Bởi vì chuyển dịch được thực hiện theo hai giai đoạn và các giá trị  $\dot{\theta}$  ở ban đầu ( $\dot{\theta} = \dot{\theta}_0 = 28,65$  độ/s) và ở đâu cuối ( $\dot{\theta}_2 = 0$ ) đã cho, thì để tính toán thời gian ở mỗi giai đoạn theo biểu thức (11) cần thiết tìm  $\dot{\theta} = \dot{\theta}_1$  ở điểm D. Điểm này nằm trên giao điểm các đường cong được mô tả bằng các phương trình

$$\dot{\theta} = -\frac{1}{k} \cdot \frac{(\theta)^2}{2} + c_0 \quad \text{và} \quad \theta = \frac{1}{k} \cdot \frac{\dot{\theta}^2}{2} \quad (12)$$

Vì vậy

$$\dot{\theta}_1 = \pm \sqrt{c_0 k} \quad (13)$$

$c_0$  được xác định từ các điều kiện ban đầu. Vì vậy sơ bộ ta biến đổi  $\theta$  và  $\dot{\theta}_0$  về độ theo radial  $\theta_0 = 1^0 46' = 0,02$  rad,  $\dot{\theta}_0 = 28,65$  độ/s =  $0,5$  s<sup>-1</sup>.

Khi đó đối với các điều kiện ban đầu ta có

$$c_0 = (0,02)^2 + \frac{(0,5)^2}{2} = 0,129 \text{ rad}$$

Thay  $c_0$  và  $k$  vào (13) cho

$$\dot{\theta}_1 = \sqrt{0,129} = 0,345 \text{ s}^{-1}$$

Để tính toán cần lấy dấu (-) bởi vì sự chuyển mạch xảy ra ở vùng các giá trị âm  $\dot{\theta}$ . Nếu thay  $\dot{\theta}_1$  vào (11), ta tìm thời gian chuyển động ở đoạn thứ nhất ( $\Delta t_1 = t_1 - t_0$ ) và đoạn thứ hai ( $\Delta t_2 = t_2 - t_1$ ):

$$\Delta t_1 = t_1 - t_0 = \frac{\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2}{k} = \frac{0,845}{0,02} = 42,3 \text{ s}$$

$$\Delta t_2 = t_2 - t_1 = \frac{\dot{\theta}_2 - \dot{\theta}}{k} = \frac{0,345}{0,02} = 17,3 \text{ s}$$

Thời gian tổng  $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 = 59,6$  s.

437. Vệ tinh được nghiên cứu ở bài 436 được treo trên giá treo xoắn ở buồng thử nghiệm chân không. Độ cứng xoắn bằng 2 kG.m/rad. Các lực cản tỷ lệ tốc độ quay  $\dot{\theta}$ . Không có vệ tinh được cân bằng và vì vậy các mômen tự lực cứng nhỏ có thể bỏ qua. Hãy

tìm quy luật điều khiển tối ưu theo tác dụng nhanh, phương trình các quỹ đạo pha của đường chuyển mạch và phương trình để tính toán thời gian chuyển động trên các đoạn giữa các chuyển mạch.

**Đáp số:** Phương trình quy luật chuyển mạch:

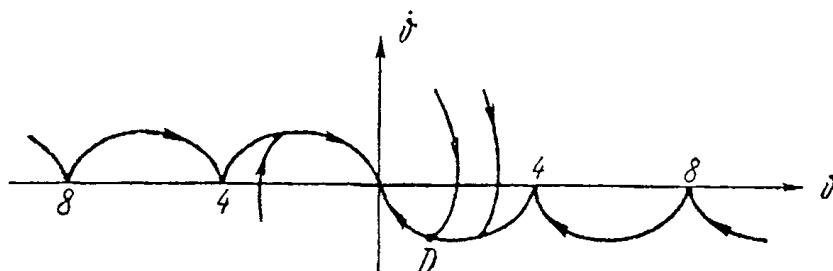
$$\mu = \text{sign} \psi_2 = \text{sign} [c_1 \sin(0,1t + c_2)]$$

$c_1$  và  $c_2$  được xác định theo các điều kiện ban đầu.

Các quỹ đạo pha là các elip được mô tả bằng các phương trình:

$$100 \dot{\vartheta}^2 + (\dot{\vartheta} \pm 2)^2 = c$$

$c$  được xác định theo các điều kiện ban đầu.



**Hình 310.** Đồ thị pha chuyển động tối ưu của véc tinh khi tồn tại mômen tỷ lệ với góc lệch.

Đường chuyển mạch bao gồm các bán elip nối tới trục  $\dot{\vartheta}$  (hình 310). Phương trình đường chuyển mạch đối với bán elip thứ  $n$ :

$$\dot{\vartheta}_{\pi n} = -\sqrt{(\dot{\vartheta} - 4n)^2 + 4(\dot{\vartheta} - 4n)\text{sign} \dot{\vartheta}} \quad (n = 0, 1, \dots)$$

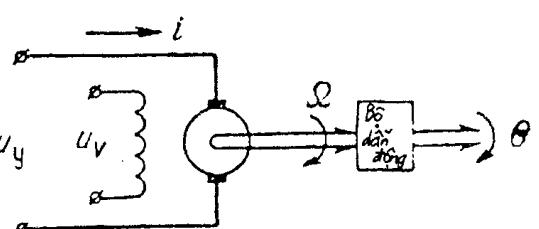
Phương trình để tính toán thời gian chuyển động của điểm biểu diễn từ thời điểm  $t_1$  tới thời điểm chuyển mạch gần nhất  $t_2$  bằng:

$$\dot{\vartheta}_2 - \dot{\vartheta}_1 = 0,1c_1 [\cos(0,1t_2 + c_2) - \cos(0,1t_1 + c_2)] \pm 0,02(t_2 - t_1)$$

$c_1$  và  $c_2$  - các hằng số đối với quỹ đạo đã cho được tính theo các giá trị đã biết  $\dot{\vartheta}$  và  $\dot{\vartheta}$  ở các thời điểm  $t_1$ .

Thiết bị logic cần thực hiện các tín hiệu điều khiển tương ứng với các công thức (8) của bài 436.

**438.** Hãy tìm quy luật điều khiển dân động điện với động cơ điện có kích độc lập (hình 311) tối ưu theo tác dụng nhanh, các phương trình quỹ đạo pha và phương trình đường chuyển mạch. Mômen quán tính tổng tới trục động cơ  $J = 50$  G.cm.s<sup>2</sup>. Thời điểm khởi động do động cơ phát động ở  $u_y = u_{ym} = 30$  V,  $M_\pi = 0,785$  kG.m. Ở điện



**Hình 311.** Dân động điện với động cơ điện có kích độc lập.

áp này tốc độ chạy không tải  $\Omega_{x,x} = 3000 \text{ v}/\text{ph}$ . Đại lượng đầu ra là góc  $\theta$  quay trục ở đầu ra của bộ dẫn động có hệ số dẫn động  $K_p = 10^{-4}$ . Bỏ qua độ cản ứng của mạch phản ứng. Tính độ giới hạn  $u_y \leq u_{ym} = 30 \text{ V}$ .

**Đáp số:** Quy luật điều khiển:

$$\mu = \text{sign } \psi_2 = \text{sign} \left[ c_1 + c_2 \left( 1 - e^{\frac{t}{T}} \right) \right]$$

Phương trình các quỹ đạo pha:

$$\dot{\theta} = \theta_0 + 0,2(\theta_0 - \theta) - 6,28 \cdot 10^{-3} \mu \ln \frac{\mu - 32\theta}{\mu - 32\theta_0}$$

Phương trình đường chuyển mạch:

$$\theta_\pi = - \left[ 0,2|\theta| + 6,28 \cdot 10^{-3} \ln(1+32)|\theta| \right] \text{sign } \theta$$

$\theta_0$  và  $\dot{\theta}_0$  - Các giá trị ban đầu của góc và các tốc độ thay đổi của nó trên đoạn nghiên cứu của quá trình tối ưu.

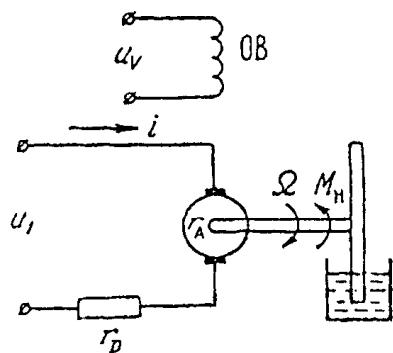
## 17.2. TỔNG HỢP CÁC HỆ TỐI ƯU BẰNG PHƯƠNG PHÁP LẬP TRÌNH ĐỘNG LỰC HỌC VÀ TÍNH TOÁN THAY ĐỔI CỔ ĐIỂN

439. Dẫn động điện với động cơ có dòng điện không đổi có kích độc lập (hình 312) chịu tải bởi mômen ma sát nhớt  $M_H = k_1 \Omega$  có giá trị lớn và làm việc ở chế độ, mà ở đó sự sụt điện áp  $u_1 = i(r_D + r_A)$  trên trở điện  $r = r_D + r_A$  lớn hơn nhiều sức điện động ngược  $e = c_e \Omega$ . Hãy xác định quy luật điều khiển động cơ điện, mà ở đó năng lượng tổn thất tổng tiêu hao cho khắc phục mômen ma sát nhớt và cho làm nóng sẽ tối thiểu. Bỏ qua sự ảnh hưởng độ cản ứng trong mạch phản ứng mômen quán tính phản ứng với đối tượng  $J = 0,2 \text{ G.cm.s}^2$ , các hệ số tỷ lệ của động cơ theo sức điện động  $c_e = 0,096 \text{ V.s}$  và theo mômen  $c_M = 30 \text{ G.cm/a}$ ,  $k_1 = 10 \text{ g.cm.s}$ ,  $r_D + r_A = 5 \Omega$ .

**Bài giải.** Phương trình các mômen của động cơ có dạng:

$$J \frac{d\Omega}{dt} + k_1 \Omega = c_M i \quad (1)$$

Theo các điều kiện bài toán độ cản ứng của mạch phản ứng nhỏ. Vì vậy, tương ứng với định luật Kiếckhöp



Hình 312. Dẫn động điện với động cơ điện có dòng không đổi có kích từ độc lập.

$$ir + c_e \Omega = u_y$$

từ đó suy ra:

$$i = \frac{u_y}{r} - \frac{c_e}{r} \Omega$$

Nếu thế biểu thức này vào (1) ta tìm được:

$$J \frac{d\Omega}{dt} = \frac{u_y}{r} c_M \left( \frac{c_e c_M}{r} + k_1 \right) \Omega$$

Bởi vì  $\frac{c_e c_M}{r} = \frac{0,096 \cdot 30}{5} = 0,52 \ll k_1 = 10$ , ta bỏ qua số hạng đầu trong ngoặc. Vì

vậy phương trình động lực học gần đúng có dạng:

$$J \frac{d\Omega}{dt} = -k_1 \Omega + \frac{c_M}{r} u_y$$

Nếu thế các giá trị số và đơn giản, ta có:

$$\frac{d\Omega}{dt} = b\Omega + mu_y \quad (3)$$

ở đây  $b = -50 \text{ s}^{-1}$ ,  $m = 30 \text{ V}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ .

Chúng ta cần xác định  $u_y$  như hàm  $\Omega$ .

Theo các điều kiện bài toán động cơ làm việc ở chế độ, mà ở nó  $c_e \Omega \ll ir$ . Do đó, gần đúng:

$$i \approx \frac{u_y}{r} \quad (4)$$

Công suất các tổn thất điện được tính theo công thức:

$$P_E = iu_y = \frac{u_y^2}{r} \quad (5)$$

Công suất tổn thất cho ma sát nhớt, nếu mômen  $M_H$  được tính bằng G.cm, bằng giá trị:

$$P_M = 9,81 \cdot 10^{-5} M_H \cdot \Omega = 9,81 \cdot 10^{-5} k_1 \Omega^2$$

Do đó, phiếm hàm tối thiểu hoá biểu diễn năng lượng tổn thất tổng có dạng:

$$I = \int_0^\infty \left( 9,81 \cdot 10^{-5} k_1 \Omega^2 + \frac{1}{r} u_y^2 \right) dt$$

Có tính đến các giá trị số ta có:

$$I = \int_0^\infty (a_1 \Omega^2 + a_0 u_y^2) dt \quad (6)$$

ở đây:

$$a_1 = 0,981 \cdot 10^{-3} \text{ J.s} \quad a_0 = 0,2 \cdot \frac{\text{J}}{\text{s.V}^2}$$

Bài toán tìm điều khiển tối ưu đảm bảo cực tiểu của tích phân (6) sẽ giải bằng phương pháp lập trình động lực học. Khi đó đối với hệ phương trình lập trình động lực học được viết:

$$\left. \begin{aligned} a_1\Omega^2 + a_0u_y^2 + (b\Omega + mu_y)\frac{\partial\psi}{\partial\Omega} = 0, \\ 2a_0u_y + m\frac{\partial\psi}{\partial\Omega} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

ở đây  $\psi$  - các hàm số bổ sung được xác định bằng phương trình:

$$\frac{d\psi}{dt} = -V$$

$V$  - hàm dưới dấu tích phân của phiếm hàm được tối thiểu hoá.

Nếu theo phương trình thứ hai của hệ (7), ta có:

$$\frac{\partial\psi}{\partial\Omega} = -\frac{2a_0}{m}u_y \quad (8)$$

Thế giá trị này  $\frac{\partial\psi}{\partial\Omega}$  vào phương trình thứ nhất (7) cho

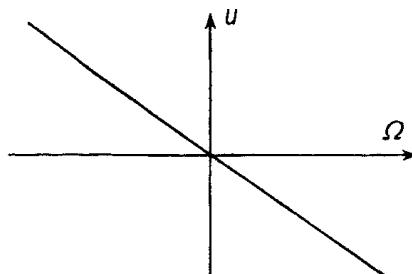
$$ma_0u_y^2 + 2a_0b\Omega u_y - a_1m\Omega^2 = 0$$

Ở kết quả giải ta có:

$$u_y = -k\Omega \quad (9)$$

Ở đây:

$$k = \frac{b}{m} + \sqrt{\left(\frac{b}{m}\right)^2 + \frac{a_1}{a_0}}$$



Hình 313. Hàm điều khiển tối ưu.

Nếu sử dụng các giá trị số, ta có:

$$k = -\frac{50}{30} + \sqrt{\left(\frac{50}{30}\right)^2 + \frac{0,981 \cdot 10^{-3}}{0,2}} \approx 0,87 \cdot 10^{-3} \text{ V.s}$$

Do đó, quy luật điều khiển tìm tối ưu theo nghĩa cực tiểu các tổn thất là tuyến tính (hình 313).

Cân thấy rằng do giả thiết trước đây  $c_e\Omega \ll ir$  thu được quy luật đúng trong vùng các giá trị nhỏ  $\Omega \ll \frac{u_y}{c_e}$ .

**440.** Hãy giải bài 439 đối với hai trường hợp sau: a)  $k_1 = 0,1 \text{ G.cm.s}$ ; b)  $r_A + r_D = 100 \Omega$ , ở các số liệu ban đầu còn lại không đổi.

**Đáp số:**

a)  $k = 0,088 \text{ V.s}$ ;

b)  $k = 0,442 \cdot 10^{-4} \text{ V.s}$ .

**441.** Hãy giải bài 439 nếu sử dụng các phương pháp thay đổi cỗ diễn .

Bài giải. Phương trình động lực học của hệ có dạng:

$$\frac{d\Omega}{dt} = b\Omega + mu_y$$

Cần thiết tìm quy luật thay đổi  $u_y = u_y(\Omega)$ , tích phân các tổn thất tối thiểu:

$$I = \int_0^{\infty} (a_1 \Omega^2 + a_0 u_y^2) dt$$

Để giải bài toán đặt ra cần thiết thành lập hàm số:

$$H = V + \sum_{i=1}^n \lambda_i z_i \quad (1)$$

ở đây:

$$V = \sum_{k=1}^n a_k x_k^2 + a_0 u_y^2$$

- hàm số dưới tích phân của phiếm hàm được tuyến tính hoá:

$$z_i = \frac{dx_i}{dt} - (b_{i1}x_1 + \dots + b_{ni}x_n + m_i u_y) = 0$$

- hàm biểu dien phương trình bậc đầu theo biến thứ i;  $\lambda_i$  - số nhân bất kỳ.

Nếu vi phân hàm H, ta có:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dH}{dx_i} &= \lambda_i, \quad \frac{dH}{dx_i} = 2a_i x_i - \sum_{j=1}^n \lambda_j b_{ji}, \\ \frac{dH}{du} &= 0, \quad \frac{dH}{du} = 2a_0 u_y - \sum_{j=1}^n m_j \lambda_j \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Từ đó các phương trình của bài toán thay đổi có dạng:

$$\frac{d\lambda_j}{dt} = - \sum_{i=1}^n b_{ji} \lambda_j + 2a_i x_i, \quad 0 = 2a_0 u_y - \sum_{j=1}^n m_j \lambda_j \quad (3)$$

ở trường hợp được nghiên cứu

$$z = \frac{d\Omega}{dt} - (b\Omega + mu_y) = 0 \quad (4)$$

$$V = (a_1 \Omega^2 + a_0 u_y^2) \quad (5)$$

Trên cơ sở (2) và (3), ta có:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\lambda_1}{dt} &= -b\lambda_1 + 2a_1 \Omega \\ 0 &= 2a_0 u_y - m\lambda_1 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Nếu giải hệ này cùng với phương trình (6) đối với các biến  $\lambda_1$  và  $\Omega$ , sau khi loại hàm thời gian từ các nghiệm thu được và các biến đổi đại số, ta có:

$$u_y = -k\Omega$$
$$k = \frac{b}{m} + \sqrt{\left(\frac{b}{m}\right)^2 + \frac{a_1}{a_0}}$$

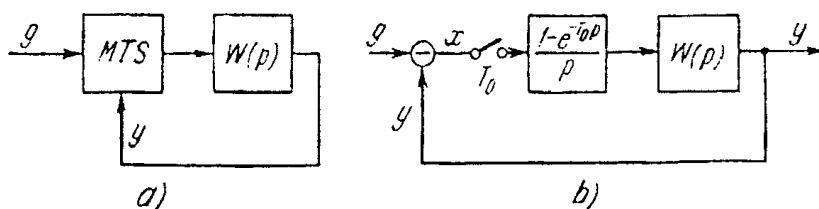
Sau khi thế các giá trị số ta có:

$$k = 0,87 \cdot 10^{-3} \text{ V.s}$$

*Chương 18*  
**CÁC HỆ CÓ MÁY TÍNH SỐ (MTS)**

**18.1. CÁC HÀM TRUYỀN CỦA HỆ VỚI (MTS) KHI TÍNH TOÁN LƯỢNG TỪ THEO THỜI GIAN**

442. Hệ điều chỉnh có ở trong mạch của mình máy tính số (MTS). Sơ đồ cấu tạo của hệ được chỉ ra trên hình 314. Hãy tìm  $z$  - các hàm truyền của hệ hở ở giả thiết rằng độ trễ trong MTS không có và có thể bỏ qua ảnh hưởng lượng tử thu mức, có nghĩa có thể nghiên cứu bài toán tuyến tính.



Hình 314. a) sơ đồ khối của hệ MTS; b) sơ đồ cấu trúc tương đương.

Hàm truyền phân liên tục:

$$W(p) = \frac{K}{p(1 + T_1 p)} \quad (1)$$

Các giá trị số của các hệ số: Hệ số khuếch đại tổng  $K = 10 \text{ s}^{-1}$ , hằng số thời gian  $T_1 = 0,05 \text{ s}$  và chu kỳ phân tán MTS  $T_0 = 0,1 \text{ s}$ .

*Bài giải.* Hàm truyền  $W(z)$  của hệ hở có thể tìm được theo:

$$W(z) = \frac{z-1}{z} \sum_{n=0}^{\infty} h(nT_0) z^{-n} = \frac{z-1}{z} F(z) \quad (2)$$

ở đây  $h(nT_0)$  - hàm chuyển tiếp phân liên tục tại các thời điểm phân tán ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ), còn  $F(z)$  là biến đổi  $z$  của hàm số này.

Hàm chuyển tiếp đối với (1) có dạng:

$$h(t) = K \left[ t - T_1 \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_1}} \right) \right] \quad (3)$$

Theo bảng biến đổi  $z$  ta có:

$$F(z) = K \left[ \frac{T_0 z}{(z-1)^2} - T_1 \frac{(1-d)z}{(z-1)(z-d)} \right] \quad (4)$$

ở đây  $d = e^{-\frac{T_0}{T_1}} = e^{-2} = 0,135$

Tiếp theo từ (2) ta tìm được hàm truyền của hệ hở:

$$w(z) = K \left[ \frac{T_0}{z-1} - \frac{T_1(1-d)}{z-d} \right] = \frac{KT_0 \left[ z-d - \frac{T_1}{T_0} (1-d)(z-1) \right]}{(z-1)(z-d)} \quad (5)$$

Bởi vì hàm truyền  $h(t)$  là biến đổi Laplace từ hàm truyền phân liên tục  $W(p)$  chia cho  $p$ , có nghĩa:

$$h(t) = L^{-1} \left\{ \frac{W(p)}{p} \right\} \quad (6)$$

Khi đó hàm truyền phân tán có thể xác định theo trình tự sau:

$$W(z) = \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{K}{p^2(1+T_1p)} \right\} = K \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{-T}{p} + \frac{1}{p^2} + \frac{T}{p+\frac{1}{T}} \right\} \quad (7)$$

Biến đổi  $z$  của mỗi số hạng ở phần bên phải (7) dễ dàng xác định, nếu sử dụng bảng biến đổi  $z$  (phụ lục 2):

$$\begin{aligned} W(z) &= K \frac{z-1}{z} \left[ \frac{-T_1 z}{z-1} + \frac{T_0 z}{(z-1)^2} + \frac{z T_1}{z-d} \right] = K \left[ -T_1 + \frac{T_0}{z-1} + \frac{T_1(z-1)}{z-d} \right] = \\ &= \frac{KT_0 \left[ z-d - \frac{T_1}{T_0} (1-d)(z-1) \right]}{(z-1)(z-d)} \end{aligned} \quad (8)$$

Biểu thức cuối cùng (8), tất nhiên, trùng với (5).

Thể các giá trị số cho:

$$W(z) = \frac{0,568z + 0,297}{(z-1)(z-d)}$$

Hàm truyền của hệ kín:

$$\Omega(z) = \frac{W(z)}{1+W(z)} = \frac{0,568z + 0,297}{z^2 - 0,567z + 0,432}$$

**443.** Hãy giải bài toán trước, nếu hàm truyền phân liên tục:

$$W(p) = \frac{K}{p(1+T_1p)(1+T_2p)}$$

**Đáp số:**

$$W(z) = K \left[ \frac{T_0}{z-1} + \frac{T_1^2}{T_1 - T_2} \cdot \frac{z-1}{z-d_1} + \frac{T_2^2}{T_2 - T_1} \cdot \frac{z-1}{z-d_2} - (T_1 + T_2) \right]$$

ở đây:  $d_1 = e^{-\frac{T_0}{T_1}}$  và  $d_2 = e^{-\frac{T_0}{T_2}}$ .

**444.** Đối với hệ có MTS (xem hình 314) hãy xác định các hàm truyền phân tán, nếu sử dụng biến đổi z.

Hàm truyền của phần liên tục:

$$W(p) = \frac{K}{p}$$

*Bài giải.*

$$W(z, \sigma) = \frac{z-1}{z} Z_\sigma \left\{ \frac{W(p)}{p} \right\} = \frac{z-1}{z} Z_\sigma \left\{ \frac{K}{p^2} \right\} \quad (1)$$

ở đây ký hiệu  $Z_\sigma$  có nghĩa biến đổi z,  $\sigma$  - thời gian tương đối (không thứ nguyên)  $0 \leq \sigma < 1$ , có nghĩa rằng, điều đó được nghiên cứu hàm mạng biến đổi đối với các thời điểm  $t = nT_0 + \sigma T_0$ .

Nếu sử dụng bảng biến đổi z, ta có:

$$W(z, \sigma) = KT_0 \frac{\sigma z + 1 - \sigma}{z - 1} \quad (2)$$

$$\Phi(z, \sigma) = \frac{W(z, \sigma)}{1 + W(z)} \quad (3)$$

ở đây  $W(z)$  - hàm truyền phân tán của hệ hở của hệ ở  $\sigma = 0$ .

Cuối cùng ta có:

$$\Phi(z, \sigma) = \frac{KT_0(\sigma z + 1 - \sigma)}{z - 1 + KT_0}$$

**445.** Hãy giải bài toán trước, nếu hàm truyền của phần liên tục:

$$W(p) = \frac{K}{1 + Tp}$$

*Đáp số:*

$$W(z, \sigma) = K \frac{(1 - d^\sigma)z + d^\sigma - d}{z - d} \quad \text{ở đây } d = e^{-\frac{T_0}{T}}$$

$$\Phi(z, \sigma) = \frac{K[(1 - d^\sigma)z + d^\sigma - d]}{z - d + K - Kd}$$

**446.** Đối với hệ có MTS (xem hình 314) hãy xác định các hàm truyền phân tán của hệ hở, nếu sử dụng biến đổi z và biến đổi  $\omega$ .

Hàm truyền của phần liên tục:

$$W(p) = \frac{K}{p(1 + T_l^2 p^2)}$$

*Bài giải:*

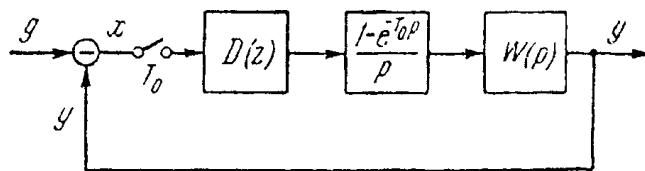
$$W(z) = \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{K}{p^2(1 + T_l^2 p^2)} \right\} = \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{K}{p^2} - \frac{KT_l^2}{1 + T_l^2 p^2} \right\}$$

$$W(z) = \frac{KT_0}{z-1} \cdot \frac{T_1(z-1)\sin \frac{T_0}{T_1}}{z^2 - 2z\cos \frac{T_0}{T_1} + 1}$$

Để chuyển từ biến đổi  $\omega$  ta thế  $z = \frac{1+\omega}{1-\omega}$ , suy ra:

$$W(\omega) = \frac{K \frac{T_0}{2} (1-\omega) \left[ 1 + \frac{\left( 1 - 2 \frac{T_1}{T_0} \operatorname{tg} \frac{T_0}{T_1} \right) \omega^2}{\operatorname{tg}^2 \frac{T_0}{2T_1}} \right]}{\omega \left( 1 + \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \frac{T_0}{2T_1}} \omega^2 \right)}$$

**447.** Đối với hệ điều chỉnh khi tính toán độ trễ thời gian  $\tau$  có ở MTS (hình 315), hãy xác định các hàm truyền phân tán của hệ hở và hệ kín:



**Hình 315.** Sơ đồ cấu tạo của hệ có MTS khi tính độ trễ thời gian.

Hàm truyền của phần liên tục:

$$W(p) = \frac{K}{p} e^{-\tau p}$$

ở đây  $\tau = \varepsilon T_0$  - độ trễ thời gian,  $0 < \varepsilon \leq 1$ ,  $D(z) = 1$ .

**Bài giải.** Hàm truyền phân tán của hệ hở khi tồn tại độ trễ đơn thuần được xác định như:

$$W(z) = \frac{z-1}{z} Z_\sigma \left\{ \frac{W(p)}{p} e^{-\tau p} \right\} \quad (1)$$

hay:

$$W(z) = z^{-1} W(z, \sigma) |_{\sigma=1-\varepsilon} \quad (2)$$

Do đó, nếu tính toán kết quả giải bài toán 445, ta có:

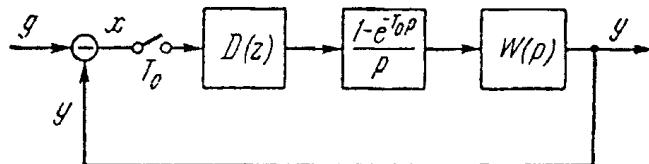
$$W_T(z) = z^{-1} K T_0 \left. \frac{\sigma z + 1 - \sigma}{z-1} \right|_{\sigma=1-\varepsilon}$$

hay:

$$W(z) = \frac{KT_0[(1-\varepsilon)z + \varepsilon]}{z(z-1)} \quad (3)$$

$$\Phi(z) = \frac{W(z)}{1+W(z)} = KT_0 \frac{(1-\varepsilon)z + \varepsilon}{z^2 + [KT_0(1-\varepsilon)-1]z + KT_0\varepsilon} \quad (4)$$

**448.** Đối với hệ điều khiển tự động (hình 316) mà ở đó MTS thực hiện hiệu chỉnh phân tán, hãy xác định các hàm truyền của các hệ hở và hệ kín:



**Hình 316.** Sơ đồ cấu tạo của hệ số hóa có hiệu chỉnh phân tán.

Hàm truyền phân liên tục:

$$W(p) = \frac{K}{p^2} \quad (1)$$

Quy luật điều khiển do MTS thực hiện được mô tả bằng phương trình hiệu có dạng (xem phụ lục 23):

$$u(nT_0 = a_0x(nT_0) - a_1x[(n-1)T_0]) \quad (2)$$

*Bài giải.* Hàm truyền phân tán của hệ hiệu chỉnh hở:

$$W_{ck}(z) = D(z) W(z) \quad (3)$$

ở đây:

$$W(z) = \frac{z-1}{z} Z\left\{\frac{W(p)}{p}\right\} = \frac{z-1}{z} Z\left\{\frac{W(p)}{p^3}\right\} = \frac{KT_0^2(z+1)}{2(z-1)^2}$$

- hàm truyền phân tán tương ứng phân liên tục quy đổi của hệ;

D(z) - hàm truyền của MTS thực hiện vai trò thiết bị hiệu chỉnh phân tán.

Để xác định D(z) ta biểu diễn biến đổi z của cả hai phần của đẳng thức (2):

$$U(z) = (a_0 - a_1 z^{-1}) X(z) \quad (4)$$

Suy ra:

$$D(z) = \frac{U(z)}{X(z)} = a_0 - a_1 z^{-1} = \frac{a_0 z - a_1}{z} \quad (5)$$

Do đó, cuối cùng ta có:

$$W_{ck}(z) = \frac{KT_0^2 a_1 (z+1) \left( \frac{a_0}{a_1} z - 1 \right)}{2z(z-1)^2}$$

$$\Phi_{ck}(z) = \frac{W_{ck}(z)}{1 + W_{ck}(z)} = \frac{KT_0^2 a_1(z+1) \left( \frac{a_0}{a_1} z - 1 \right)}{2z(z-1)^2 + KT_0^2 a_1(z+1) \left( \frac{a_0}{a_1} z - 1 \right)}$$

## 18.2. ĐỘ ỔN ĐỊNH VÀ ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG

449. Hàm truyền của hệ điều chỉnh hở có MTS có dạng:

$$W(z) = \frac{KT_0}{z-1}$$

Hãy tìm điều kiện ổn định của hệ hở và hãy xây dựng quá trình chuyển tiếp khi cấp cho đầu vào của hệ hàm số duy nhất một tầng  $g(t) = 1(t)$  đối với  $KT_0 = 1$ ,  $KT_0 = 0,5$  và  $KT_0 = 1,5$ .

*Bài giải.* Hàm truyền của hệ kín:

$$\Phi(z) = \frac{KT_0}{z-1+KT_0}$$

Để xác định điều kiện ổn định ta sử dụng tiêu chuẩn đại số ổn định. Ta nghiên cứu phương trình đặc trưng của hệ kín:

$$z - 1 + KT_0 = 0$$

Điều kiện ổn định:

$$KT_0 < 2 \quad (1)$$

Ta xây dựng lại các quá trình chuyển tiếp bằng cách phân tích biểu thức đại lượng đầu vào thành chuỗi Loran.

Ta nghiên cứu trường hợp  $KT_0 = 1$ . Khi đó hàm truyền của hệ kín sẽ bằng:

$$\Phi(z) = \frac{KT_0}{z-1+KT_0} = \frac{1}{z} \quad (2)$$

Biểu diễn đại lượng đầu vào (xem phụ lục 13)

$$Z\{1(t)\} = G(z) = \frac{z}{z-1} \quad (3)$$

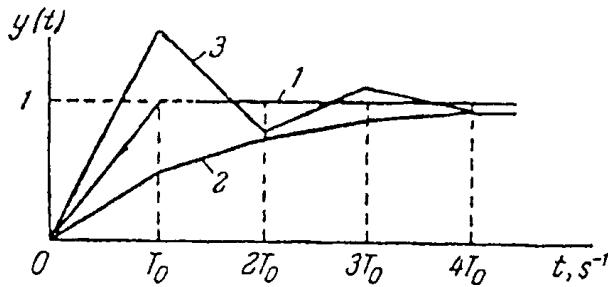
Biểu diễn đại lượng đầu ra:

$$Y(z) = \Phi(z) G(z) = \frac{1}{z} \cdot \frac{z}{z-1} = \frac{1}{z-1} \quad (4)$$

Ta phân tích biểu thức cuối cùng thành chuỗi Loran bằng cách chia tử số cho mẫu số:

$$\frac{1}{z-1} = \frac{1}{z} + \frac{1}{z^2} + \frac{1}{z^3} + \frac{1}{z^4} + \dots \quad (5)$$

Điều đó cho các giá trị sau của hàm số  $y$  ở đầu ra ở các thời điểm phân tán: ở  $t = 0$ ,  $y = 0$ ; ở  $t = T_0$ ,  $y = 1$ ; ở  $t = 2T_0$ ,  $y = 1$ ; ở  $t = 3T_0$ ,  $y = 1$  và tiếp theo  $y = 1$  ở tất cả các giá trị  $t = nT_0$ . Đồ thị hàm số này được biểu diễn trên hình 317 (đường 1).



Hình 317. Các quá trình chuyển tiếp cho bài 449.

Giữa các giá trị phân tán của hàm thời gian ở đầu ra ta vạch các đường thẳng, bởi vì hàm truyền (1) tương ứng khai tích phân lý tưởng mà hàm truyền của nó là đường thẳng.

Bằng phương pháp tương tự ta thu được chuỗi Loran đối với  $KT_0 = 0,5$ :

$$Y(z) = 0,5 \frac{1}{z} + 0,75 \frac{1}{z^2} + 0,875 \frac{1}{z^3} + 0,9375 \frac{1}{z^4} + \dots$$

Đồ thị hàm chuyển tiếp được biểu diễn trên hình 317 (đường cong 2).

Đối với trường hợp  $KT_0 = 1,5$  ta có:

$$Y(z) = 1,5 \frac{1}{z} + 0,75 \frac{1}{z^2} + 1,125 \frac{1}{z^3} + 0,8375 \frac{1}{z^4} + \dots$$

Đồ thị hàm chuyển tiếp đối với trường hợp này được biểu diễn trên hình 317 (đường cong 3).

**450.** Hãy xác định hệ điều chỉnh, mà sơ đồ cấu trúc của nó tương ứng hình 314 có ổn định hay không?

Hàm truyền của phần liên tục:

$$W(p) = \frac{K}{p(1+T_1p)(1+T_2p)}$$

ở đây  $K = 2s^{-1}$ ,  $T_1 = 0,1s$ ,  $T_2 = 0,05s$ . Chu kỳ phân tán  $T_0 = 0,2s$ .

**Đáp số:** Hệ ổn định.

**451.** Hàm truyền phần liên tục của hệ có MTS có dạng:

$$W(p) = \frac{K}{p} \quad (1)$$

ở đây  $K = 50 s^{-1}$  - hệ số khuếch đại tổng. Hãy xác định giá trị cho phép của chu kỳ phân tán  $T_0$  đối với MTS, mà ở nó chỉ số dao động của hệ kín sẽ không vượt  $M = 1,5$ . Độ trễ ở MTS bằng 0 và có thể bỏ qua ảnh hưởng lượng tử theo mức.

**Bài giải.** Hàm truyền của hệ hở có MTS có thể được tìm theo:

$$W(z) = \frac{z-1}{z} Z\left\{ \frac{W(p)}{p} \right\} = \frac{z-1}{z} \cdot \frac{KT_0 z}{(z-1)^2} \quad (2)$$

$$W(z) = \frac{KT_0}{z-1} \quad (3)$$

Ta xây dựng đặc trưng biên độ - pha của hệ hở theo biểu thức (3). Ta thực hiện thế:

$$z = e^{j\omega T_0} = \cos \omega T_0 + j \sin \omega T_0$$

Ở kết quả ta thu được hàm truyền tần số:

$$W(e^{j\omega T_0}) = \frac{KT_0}{\cos \omega T_0 - 1 + j \sin \omega T_0} = -\frac{KT_0}{2} - j \frac{KT_0}{2} \operatorname{ctg} \frac{\omega T_0}{2}$$

Để thấy rằng đặc tính biên độ - pha là đường thẳng song song với trục ảo và cách nó một khoảng  $\frac{KT_0}{2}$  (hình 318).

Để chỉ số dao động không vượt quá giá trị đã cho, đặc tính biên độ - pha không cần chuyển thành vòng tròn là vùng cấm. Nó được biểu diễn trên hình 318 bằng đường đứt nét.

Từ đó ta thu được điều kiện:

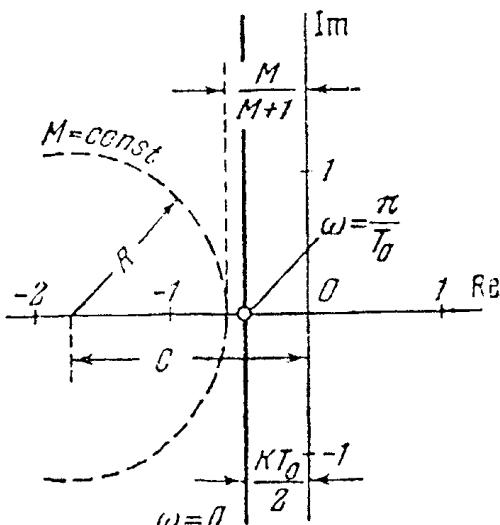
$$\frac{KT_0}{2} \leq \frac{M}{M+1} \quad (4)$$

Chu kỳ cho phép của độ phân tán:

$$T_0 \leq \frac{2}{K} \cdot \frac{M}{M+1}$$

Đối với các giá trị số đã cho:

$$T_0 \leq \frac{2}{50} \cdot \frac{1,5}{1,5+1} = 0,024 \text{ s}$$



Hình 318. D.B.P cho bài 451.

**452.** Đối với hệ điều chỉnh được nghiên cứu ở bài 447, hãy xác định các điều kiện ổn định và xây dựng vùng ổn định trong mặt phẳng hai thông số,  $KT_0$  và  $\varepsilon = \tau/T_0$ .

*Bài giải.* Ta sử dụng kết quả (4) thu được ở bài 447. Khi đó phương trình đặc trưng của hệ kín có thể viết ở dạng:

$$z^2 + [KT_0(1 - \varepsilon) - 1]z + KT_0\varepsilon = 0$$

hay:

$$z^2 + Az + B = 0 \quad (1)$$

ở đây:

$$A = KT_0(1 - \varepsilon) - 1$$

$$B = KT_0\varepsilon \quad (2)$$

Các điều kiện ổn định đối với các phương trình bậc hai có dạng:

$$\left. \begin{array}{l} 1 + A + B > 0 \\ 1 - A + B > 0 \\ B < 1 \end{array} \right\} \quad (3)$$

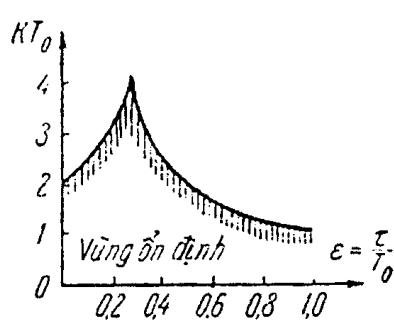
Nếu sử dụng (2) ta thu được các điều kiện ổn định sau:

$$\left. \begin{array}{l} KT_0 > 0 \\ KT_0(1 - 2\epsilon) < 2 \\ KT_0\epsilon < 1 \end{array} \right\} \quad (4)$$

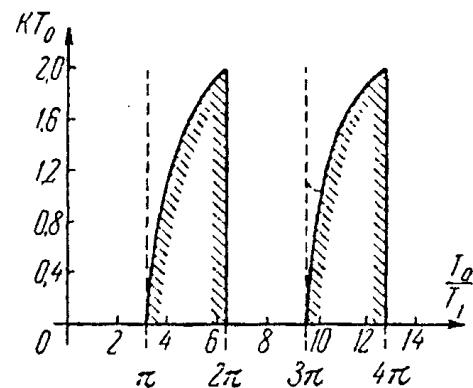
Điều kiện đầu (4) thực hiện đồng thời. Nghiên cứu đồng thời hai bất đẳng thức cuối cùng (4) cho khả năng viết điều kiện ổn định của hệ ở dạng cuối cùng như sau:

$$KT_0 = \begin{cases} \frac{2}{1 - 2\epsilon} & \text{nếu } 0 \leq \epsilon \leq \frac{1}{4} \\ \frac{1}{\epsilon} & \text{nếu } \frac{1}{4} \leq \epsilon \leq 1 \end{cases} \quad (5)$$

Vùng ổn định trong mặt phẳng có các thông số  $KT_0$ ,  $\epsilon$  được xây dựng theo phương trình (5), chỉ ra trên hình 319.



Hình 319. Vùng ổn định cho bài 452.



Hình 320. Vùng ổn định cho bài 453.

**453.** Đối với hệ điều chỉnh được nghiên cứu ở bài 446, hãy xây dựng vùng ổn định trong mặt phẳng các thông số  $KT_0$ ,  $\frac{T_0}{T_1}$ .

**Đáp số:** Vùng ổn định trong mặt phẳng các thông số chỉ ra trên hình 320.

### 18.3. TỔNG HỢP CÁC HỆ VỚI MTS

**454.** Hàm truyền phân liên tục của hệ điều chỉnh có MTS có dạng:

$$W(p) = \frac{K(1 + \tau p)}{p^2} \quad (1)$$

Ở đây  $K = 100 \text{ s}^{-2}$  - hệ số khuếch đại tổng của mạch điều chỉnh hồi, còn hằng số thời gian thiết bị hiệu chỉnh. Hãy xác định giá trị cho phép của chu kỳ phân tích  $T_0$  của MTS và giá trị yêu cầu của hằng số thời gian của thiết bị hiệu chỉnh để chỉ số dao động không gian qua các giá trị  $M = 1, 3$ , nếu độ hở ở MTS bằng 0 mà có thể bỏ qua ảnh hưởng lượng tử theo mức.

*Bài giải.* Ta xác định hàm truyền của hệ hở cùng với MTS:

$$W(z) = \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{W(p)}{p} \right\} = \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{K}{p^3} + \frac{K\tau}{p^2} \right\} \quad (2)$$

Tương ứng với phụ lục 13:

$$Z \frac{K}{p^3} + \frac{K\tau}{p^2} = \frac{KT_0^2 z(z+1)}{2(z-1)^3} + \frac{KT_0 \tau z}{(z-1)^2} \quad (3)$$

Tiếp theo từ (2) ta tìm được:

$$W(z) = \frac{KT_0^2 z(z+1)}{2(z-1)^2} + \frac{KT_0 \tau z}{(z-1)} \quad (4)$$

Ta thực hiện biến đổi v.  $\omega$  nếu thế:

$$Z = \frac{1+\omega}{1-\omega}. \quad (5)$$

Ở kết quả ta có:

$$W(\omega) = \frac{KT_0^2}{4} \cdot \frac{(1+2\frac{\tau}{T_0})(1-\omega)}{\omega^2} \quad (6)$$

Bây giờ ta thu được hàm truyền tần số bằng cách thế:

$$\omega = j \frac{T_0}{2} \lambda \quad (7)$$

Ở đây  $\lambda$  là giả tần số tuyệt đối. Nếu sử dụng thế (7) từ (6) ta có:

$$W(j\lambda) = \frac{K(1+j\lambda\tau)(1-j\lambda\frac{T_0}{2})}{(j\lambda)} \quad (8)$$

Môđun hàm số truyền tần số hệ hở bằng:

$$|W(j\lambda)| = \frac{K \sqrt{1+\tau^2 \lambda^2} \sqrt{1+\frac{T_0^2}{4} \lambda^2}}{\lambda^2}, \quad (9)$$

Còn pha:  $\psi(\lambda) = -180^\circ + \arctg \tau \lambda - \arctg \frac{T_0 \lambda}{2} \quad (10)$

Theo biểu thức (9) trên hình 321 ta xây dựng Đ.B.L. Theo dạng đặc tính pha (10) trường hợp này dẫn tới Đ.B.L loại 2 – 1 – 2 (xem phụ lục 24). Ở kết quả ta thu được các công thức sau để tính toán giả tần số cơ sở của Đ.B.L bằng:

$$\lambda_0 = \sqrt{K} = 10 \text{ s}^{-1},$$

Giá trị yêu cầu của hằng số thời gian của thiết bị hiệu chỉnh:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{M}{M-1}} = \frac{1}{10} \sqrt{\frac{1,3}{1,3-1}} = 0,21 \text{ s};$$

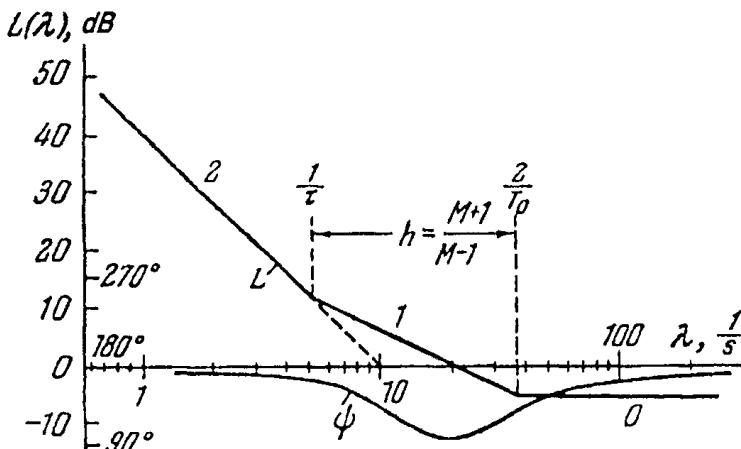
Độ choán yêu cầu của đoạn Đ.B.L có góc nghiêng 20 dB/dam:

$$h = \frac{M+1}{M-1} = \frac{1,3+1}{1,3-1} = 7,7;$$

Giá trị cho phép của chu kỳ phân tán:

$$\frac{T_0}{2} \leq \frac{\tau}{h} = \frac{0,21}{7,7} = 0,027 \text{ s.}$$

Suy ra  $T_0 \leq 0,054 \text{ s.}$



Hình 321. Đặc tính biên độ lôgarit cho bài 454.

**455.** Hãy tính toán hệ theo dõi có tính vô hướng bậc một trong mạch của mình có M.T.S các số liệu ban đầu. Tốc độ đầu vào cực đại  $\Omega_{\max} = 20 \text{ độ/s}$ , gia tốc đầu vào cực đại  $\varepsilon_{\max} = 10 \text{ độ/s}^2$ , sai số cho phép cực đại  $\vartheta_{\max} = 4'$ ; phần liên tục chứa các hàng số thời gian  $T_1 = 0,01 \text{ s}$ ,  $T_2 = 0,002 \text{ s}$  và  $T_3 = 0,001 \text{ s}$ , chỉ số dao động cho phép  $M = 1,5$ ; độ hở trong MTS bằng 0. Yêu cầu xác định các thông số của khâu hiệu chỉnh tuần tự được măc vào phần liên tục, chu kỳ lặp cho phép  $T_0$  đối với MTS và xây dựng quá trình chuyển tiếp ở tác dụng đầu vào loại hàm tầng duy nhất có thể bỏ qua ảnh hưởng lượng tử cho phép.

*Bài giải.* Bên trái tần số cắt Đ.B.L của hệ có MTS trùng với Đ.B.L phần liên tục, còn giả tần số tuyệt đối  $\lambda = 2\omega/jT_0$  (xem bài 454), trùng với tần số thực. Vì vậy biểu diễn Đ.B.L bên trái tần số cắt có thể thực hiện bởi các giải pháp bình thường.

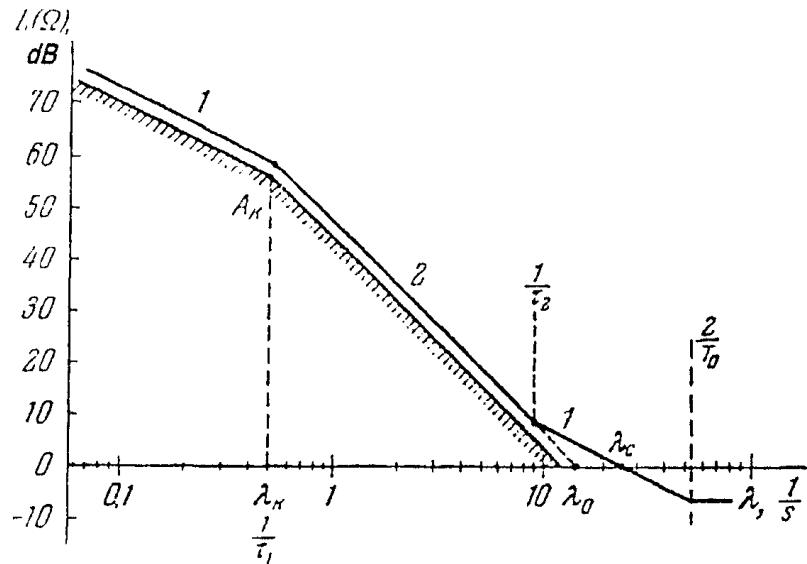
Ta xây dựng vùng cấm đối với Đ.B.L từ các điều kiện độ chính xác (hình 322). Tần số kiểm tra:

$$\lambda_K = \frac{\varepsilon_{\max}}{\Omega_{\max}} = \frac{10}{20} = 0,5 \text{ s}^{-1}.$$

Môđun hàm truyền của hệ hở khi  $\lambda = \lambda_K$  bằng:

$$|W(j\lambda)| = \frac{\Omega_{\max}^2}{\varepsilon_{\max} \vartheta_{\max}} = \frac{20^2 \cdot 60}{10 \cdot 4} = 600 = 55,6 \text{ dB}$$

Theo các số liệu này trên hình (322) ta xây dựng điểm kiểm tra  $A_K$  và vùng cấm được định dạng từ các đường thẳng có độ nghiêng  $20 \text{ dB/dam}$  và  $40 \text{ dB/dam}$  (các độ nghiêng 1 và 2).



Hình 322. D.B.L cho bài 455.

Đ.B.L mong muốn ở vùng tần số thấp được định dạng sao cho nó được vạch trên điểm  $A_K$  tới 3 dB điều đó tương ứng với sự tăng của hệ số khuếch đại tới  $\sqrt{2}$  lần. Nó bao gồm các đoạn thẳng có các độ nghiêng  $-2 - 1$ . Ở vùng tần số thấp hàm truyền tần số của hệ hở sẽ có dạng:

$$W(j\lambda) = \frac{K(1 + j\lambda\tau_2)}{j\lambda(1 + j\lambda\tau_1)}.$$

Ta xác định các thông số Đ.B.L mong muốn hàm truyền của hệ hở ở phần tần số thấp, tần số gốc Đ.B.L bằng:

$$\lambda_0 \sqrt{\sqrt{2} \frac{\varepsilon_{\max}}{\theta_{\max}}} = 1,19 \sqrt{\frac{1060}{4}} = 14,5 \text{ s}^{-1}$$

Hằng số thời gian của khâu hiệu chỉnh tạo ra điểm gấp đầu của Đ.B.L bằng:

$$\tau_1 = \frac{1}{\lambda_K} = \frac{1}{0,5} = 2 \text{ s}$$

Để thu được chỉ số dao động đã cho cần thực hiện bất đẳng thức:

$$\frac{1}{\tau_2} - \frac{1}{\tau_1} \leq \lambda_0 \sqrt{\frac{M-1}{M}}.$$

Từ đó ta thu được giá trị tối thiểu hằng số thời gian thứ hai của khâu hiệu chỉnh:

$$\tau_0 = \frac{1}{\lambda_0 \sqrt{\frac{M-1}{M} + \frac{1}{\tau_1}}} = \frac{1}{14,5 \sqrt{\frac{1,5-1}{1,5} + \frac{1}{2}}} = 0,112 \text{ s}$$

Hàm truyền của khâu hiệu chỉnh tuân tự bằng:

$$W_{KZ}(p) = \frac{1 + \tau_2 p}{1 + \tau_1 p} \quad (\tau_1 > \tau_2).$$

Và tương ứng khâu thu động loại tích phân.

Tiếp theo ta xác định giá trị cần thiết của hệ số khuếch đại:

$$K = \sqrt{2} \cdot \frac{\Omega_{\max}}{\theta_{\max}} = 1,41 \cdot \frac{20 \times 60}{4} = 420 \text{ s}^{-1}.$$

Và tần số cắt của Đ.B.L:

$$\lambda_c = \frac{K\tau_2}{\tau_1} = \frac{420 \times 0,112}{2} = 23,5 \text{ s}^{-1}$$

Tương ứng với các yêu cầu cho Đ.B.L ở vùng tần số cao ta có:

$$\frac{T_0}{2} + T_1 + T_2 + T_3 \leq \frac{1}{\lambda_c} \cdot \frac{M}{M+1}$$

Từ đó ta thu được giá trị cho phép chu kỳ phân tán của MTS:

$$\begin{aligned} T_0 &\leq 2 \left[ \frac{1}{\lambda_c} \cdot \frac{M}{M+1} - T_1 - T_2 - T_3 \right] = \\ &= \left[ \frac{1}{23,5} \cdot \frac{1,5}{1,5+1} - 0,01 - 0,002 - 0,001 \right] = 0,012 \text{ s} \end{aligned}$$

Quá trình chuyển tiếp ở tác dụng tăng duy nhất được biểu diễn trên hình 323.

**456.** Hãy tính toán hệ có MTS theo các số liệu ban đầu được đưa ra ở bài toán trước sau khi loại  $T_1 = 0,05 \text{ s}$ ,  $T_2 = 0,003 \text{ s}$ ,  $T_3 = 0,001 \text{ s}$ . Ngoài ra, khác với bài toán trước cho chu kỳ phân tán  $T_0 = 0,02 \text{ s}$ .

Yêu cầu xác định dạng và các thông số thiết bị hiệu chỉnh tuần tự, nó cần đưa vào phần liên tục của hệ, cũng như giá trị cần thiết của hệ số khuếch đại tổng K.

**Đáp số:** Hệ số khuếch đại tổng  $K = 420 \text{ s}^{-1}$  ở phần liên tục của hệ cần có khâu tích phân - vi phân thu động có hàm truyền.

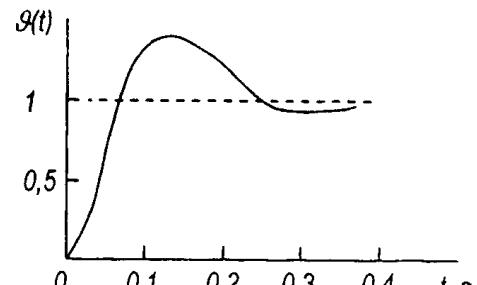
$$W_{K_3}(p) = \frac{(1 + T_{2K} p)(1 + T_{3K} p)}{(1 + T_{1K} p)(1 + T_{4K} p)},$$

Ở đây  $T_{1K} = 2 \text{ s}$ ,  $T_{2K} = 0,12 \text{ s}$ ,  $T_{3K} = 0,05 \text{ s}$ ,  $T_{4K} = 0,01 \text{ s}$ .

**457.** Hàm truyền phân liên tục của hệ có MTS:

$$W(p) = \frac{K}{p^2}.$$

Hệ số khuếch đại tổng của mạch điều chỉnh hở  $K = 1 \text{ s}^{-2}$ , chu kỳ phân tán  $T_0 = 1 \text{ s}$ . Hãy xác định quy luật điều khiển được thực hiện nhờ MTS (xem hình 316), nó đảm bảo điều chỉnh tối ưu theo nghĩa cực tiểu thời gian xảy ra các quá trình khi thực hiện các tác dụng tăng, có nghĩa đảm bảo thời gian cuối cho hệ điều chỉnh.



**Hình 323.** Quá trình chuyển tiếp cho bài 455.

*Bài giải.* Hàm truyền phân tán phân liên tục của hệ:

$$W(z) = 0,5 \times \frac{z+1}{z^2 - 2z + 1} = 0,5 \times \frac{z^{-1} + z^{-2}}{1 - 2z^{-1} + z^{-2}}$$

Hàm truyền mong muốn của hệ kín ở dạng:

$$\Phi(z) = 0,5z^{-1} + 0,5z^{-2}.$$

Khi đó các quá trình chuyển tiếp trong hệ sẽ kết thúc sau hai chu kỳ phân tán:

$$Y(z) = \Phi(z) \cdot \frac{z}{z-1} = \frac{0,5z^2 + 0,5z}{z^3 - z^2} = 0,5z^{-1} + z^{-2} + z^{-3} + \dots$$

Hàm truyền phân tán của MTS bằng:

$$D(z) = \frac{\Phi(z)}{1-\Phi(z)} \cdot \frac{1}{W(z)} = \frac{z^2 - 2z + 1}{z^2 - 0,5z - 0,5} = \frac{1 - z^{-1} + z^{-2}}{1 - 0,5z^{-1} - 0,5z^{-2}}$$

Từ đó quy luật điều khiển do MTS thực hiện cuối cùng có thể viết ở dạng biểu thức tính toán:

$$U(nT_0) = x(nT_0) - 2x[(n-1)T_0] + x[(n-2)T_0] + \\ + 0,5u[(n-1)T_0] + 0,5u[(n-2)T_0].$$

**458.** Hãy tính toán hệ có MTS mà phân liên tục của nó có số liệu như ở bài toán trước. Hãy tính thiết bị hiệu chỉnh tuân tự phân tán D(z) và chu kỳ phân tán T<sub>0</sub> do đó để đảm bảo độ dự trữ ổn định được đánh giá bằng chỉ số dao động không nhỏ hơn M ≤ 1,5.

*Bài giải.* Ta tính toán bằng phương pháp đặc tính tần số lôgarit.

Hàm số truyền tần số phân tán của hệ không hiệu chỉnh ban đầu bằng:

$$W(j\lambda) = \frac{K(1-j\lambda \frac{T_0}{2})}{(j\lambda)^2}. \quad (1)$$

Hàm truyền phân tán mong muốn lấy ở dạng:

$$W_{ck}(j\lambda) = \frac{K(1+j\lambda\tau)(1-j\lambda \frac{T_0}{2})}{(j\lambda)^2(1+j\lambda \frac{T_0}{2})}, \quad (2)$$

Ở đây:  $\tau \geq \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{M}{M-1}} = 1,73 \text{ s}$

$$\lambda_0 = \sqrt{K} = 1 \text{ s}^{-1}$$

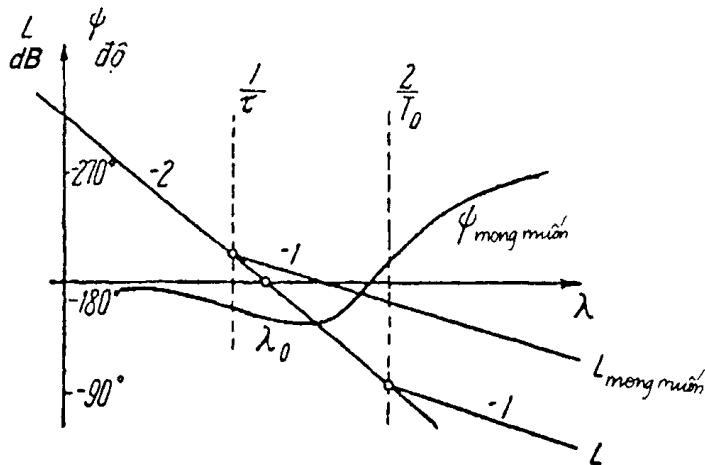
$$T_0 \leq \frac{1}{\lambda_0} \sqrt{\frac{M(M-1)}{M+1}} = 0,5 \text{ s},$$

$$\frac{T_0}{2} = 0,25 \text{ s}.$$

Hàm truyền của thiết bị hiệu chỉnh có dạng:

$$D(j\lambda) = \frac{W_{CK}(j\lambda)}{W(j\lambda)} = \frac{1 + j\lambda\pi}{1 + j\lambda \frac{T_0}{2}} \quad (3)$$

Các đặc tính tần số lôgarit tương ứng được xây dựng trên hình 324.



**Hình 324.** Các đặc tính tần số lôgarit cho bài 458.

Ta thực hiện biến đổi Z, nếu thế:

$$\frac{U(z)}{X(z)} = D(z) = \frac{\left(1 + \frac{2\tau}{T_0}\right)z + 1 - \frac{2\tau}{T_0}}{2z} = b_0 + b_1 z^{-1}, \quad (4)$$

Ở đây:

$$b_0 = \frac{1 + \frac{2\tau}{T_0}}{2} = 3,96; \quad b_1 = \frac{1 - \frac{2\tau}{T_0}}{2} = -2,96$$

Suy ra quy luật điều khiển được thực hiện nhờ MTS có dạng:

$$U(nT_0) = b_0 x(nT_0) + b_1 x[(n-1)T_0]. \quad (5)$$

Có nghĩa ta sử dụng điều khiển theo độ nghiêng và hiệu ban đầu (xem phụ lục 23).

**459.** Hãy tính toán thiết bị hiệu chỉnh tuần tự phân tán  $D(z)$  và chu kỳ phân tán  $T_0$  từ điều kiện thu được độ dự trữ ổn định cân thiết của hệ. Hệ với MTS có hàm truyền phân liên tục ở dạng:

$$W(p) = \frac{K}{T^2 p^2 - 1}$$

Ở đây  $K = 90$ ;  $T^2 = 10 \text{ s}^2$ . Chỉ số dao động yêu cầu  $M \leq 1,5$ .

**Đáp số:**  $D(z) = b_0 + b_1 z^{-1}$ ; ở đây  $b_0 = 4$ ,  $b_1 = -3$ ,  $T_0 = 0,166 \text{ s}$ .

## Chương 19

### CÁC HỆ CỤC ĐẠI VÀ TỰ HIỆU CHỈNH

#### 19.1. LẬP CÁC SƠ ĐỒ CẤU TRÚC CỦA CÁC HỆ CỤC ĐẠI VÀ TỰ HIỆU CHỈNH VÀ NGHIÊN CỨU ĐỘ ỔN ĐỊNH CỦA CHÚNG

460. Hãy tìm hàm truyền và lập sơ đồ cấu tạo của hệ hiệu chỉnh tự động tần số được biểu diễn trên hình 325. Hệ cần hiệu chỉnh mạch dao động bao gồm độ cảm ứng  $L$  và điện dung tổng  $c = c_1 + c_{20}$ , cộng hưởng với tín hiệu đầu vào  $u_y(t) = u_{0m} \sin 2\pi f_0 t$ . Hiệu chỉnh mạch tới cộng hưởng thực hiện bởi sự thay đổi giá trị điện dung thay đổi  $c_1$ ,  $c$  nhờ động cơ có bảo đàm tách tín hiệu đầu vào đồng bộ nhờ bộ tách đồng bộ CD và tụ điện thay đổi  $c_2$  có điện dung nhỏ mà giá trị của nó được thay đổi theo quy luật  $c_2 = c_{20} + c_{2m} \sin \omega_1 t$  bằng quay các thanh của nó bởi động cơ  $D_2$  với tốc độ góc không đổi  $\omega_1$  cho bộ tách đồng bộ được cấp từ máy phát  $90H$  cho động cơ  $D_2$  dẫn động quay  $D_2$ .

Từ mạch cộng hưởng tín hiệu được cấp cho bộ khuếch đại không quán tính có hệ số khuếch đại  $k_y$ , mà ở đầu ra của nó có bộ nắn dòng và bộ lọc  $\Phi_1$ , điều chỉnh theo tần số tín hiệu  $\omega_1$ , có với hệ số khuếch đại  $k_{\Phi_1}$  và dải đi qua  $\Delta f_1 = 1000$  Hz, sau bộ tách đồng bộ CD cũng có bộ lọc  $\Phi_2$  có hệ số khuếch đại  $k_{\Phi_2}$  và dải đi qua  $\Delta f_2 = 20$  Hz các bộ lọc  $\Phi_1$  và  $\Phi_2$  là các khâu không bậc thứ nhất.

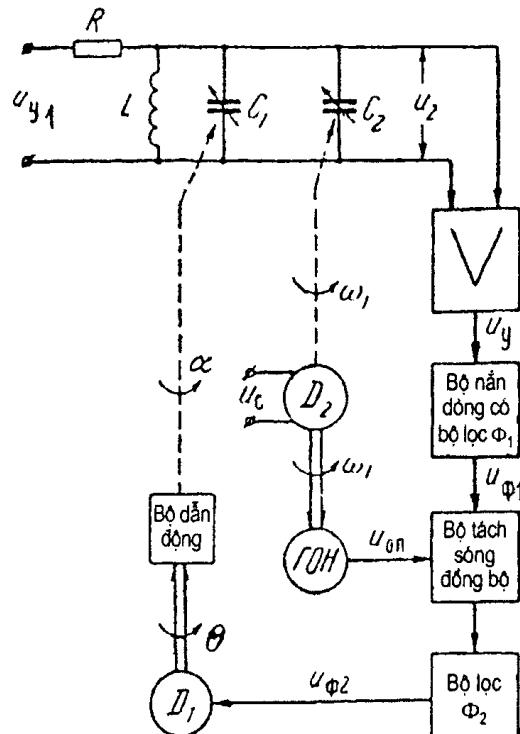
Sự tìm cực đại được thực hiện như sau khi điều chỉnh mạch cộng hưởng ở đầu ra của bộ tách đồng bộ xuất hiện tín hiệu tỷ lệ với đạo hàm  $\frac{du_{2m}}{d\omega_0}$ .

sau sự làm bằng bởi bộ lọc  $\Phi_2$  nó đi tới động cơ do đó điện dung  $c_1$  thay đổi tới khi đạo hàm  $\frac{du_{2m}}{d\omega_0}$  sẽ

không bằng 0. Vị trí này sẽ tương ứng với cộng hưởng.

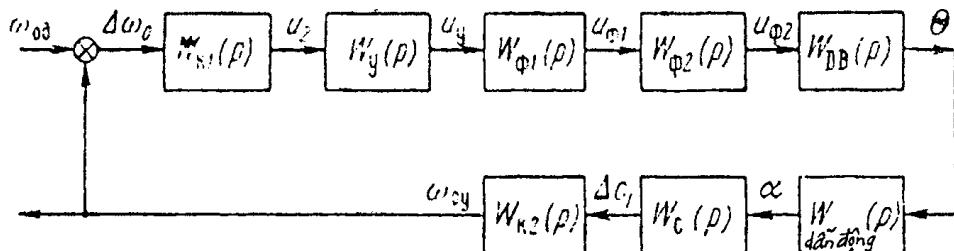
Các số liệu ban đầu để tính toán các hàm truyền:  $R = 10^3 \Omega$ ,  $c_{10} = 400 \text{ nF}$ ,  $L = 0,5 \text{ H}$ ,  $f_0 = 10^4$  Hz,  $c_2 = 100 + 50 \sin \omega_1 t \text{ nF}$ , các bộ lọc  $k_{\Phi_2} = 0,8$ , giá trị hiệu dùng của điện áp đầu vào  $U_1 = \frac{u_{0m}}{\sqrt{2}} = 100$

V, động cơ  $D_1$  tạo ra 3000 vg/ph ở điện áp 30 V. Bộ dẫn động có hệ số truyền  $k_{tr} = 10^{-3}$ . Điện dung của tụ  $c_1$  thay đổi tới nF khi quay thanh của nó tới 1 rad. Trở điện đầu vào của bộ khuếch đại coi bằng vô cùng.



Hình 325. Sơ đồ cấu tạo của hệ hiệu chỉnh tự động tần số.

*Bài giải.* Sơ đồ cấu tạo và hàm truyền của hệ đã cho có thể được biểu diễn ở hai phương án phụ thuộc vào chọn các đại lượng điều chỉnh. Các đại lượng này có thể là tần số tín hiệu đầu vào  $f_0$  hay điện dung mạch cộng hưởng  $C = C_1 + C_{20}$ . Ta nghiên cứu cả hai phương án. Nếu đại lượng điều chỉnh là tần số  $\omega_0 = 2\pi f_0$  thì sơ đồ cấu tạo của hệ sẽ có dạng biểu diễn trên hình 326. Các hàm truyền của các phân tử vào hệ được xác định như sau:



Hình 326. Sơ đồ cấu tạo của hệ điều chỉnh tần số tự động với giá trị điều chỉnh  $\omega_0$ .

1.  $W_{K1}(p) = \frac{\Delta U_2(p)}{\Delta \Omega_0(p)}$  - hàm truyền đặc trưng thay đổi điện áp hiệu dụng như thế nào ở

đầu ra mạch cộng hưởng  $U_2$  khi thay đổi tần số tín hiệu  $f_0$ . Ta sẽ tìm nó ở giả thiết chính mạch là khâu không quan tính bởi vì hoạt động xảy ra gần tần số cộng hưởng. Phản ứng tần số mạng  $f_0$  không đóng vai trò lớn do tồn tại bộ nắn dòng, có tính đến các giả thiết này từ sơ đồ mắc mạch (xem hình 325), suy ra:

$$U_2 = \frac{U_1 |z_K(\omega)|}{|R + z_K(\omega)|}, \quad (1)$$

Ở đây  $z_K(\omega) = \frac{\omega_0 L}{\omega_0^2 CL - 1}$  - trở điện của mạch cộng hưởng.

Nếu kể đến nó thì ta có:

$$U_2 = U_1 \frac{\omega_0}{\sqrt{R^2 (\omega_0^2 CL - 1)^2 + \omega_0^2 L^2}} \quad (2)$$

Suy ra:  $\frac{\partial U_2}{\partial \omega_0} = \frac{U_1 R^2 L (1 - \omega_0^4 C^2 L^2)}{R^2 (\omega_0^2 CL - 1)^2 + \omega_0^2 L^2}^{3/2}$

Khi cộng hưởng  $\omega_0^2 CL = 1$  đạo hàm này bằng 0 ở các độ lệch tần số với cộng hưởng sự phụ thuộc  $\frac{\partial U_2}{\partial \omega_0}$  vào  $\omega$  ở trường hợp chung là phi tuyến. Vì vậy hàm truyền  $W_{K1}(p)$  ở

trường hợp tổng quát có thể biểu diễn ở dạng:

$$W_{K1}(p) = k_{K1}(\omega) \quad (4)$$

Nếu tần số tín hiệu đầu vào lệch tối  $\pm 10\%$  từ  $f_0 = 10^{-4}$  Hz, thì:

$$k_{K1}(\omega) = \begin{cases} 5,7 \cdot 10^7 \text{ V.s} & \text{khi } f = f_0 + 0,1f_0 \\ 0 & \text{khi } f_0, \\ 7,5 \cdot 10^7 \text{ V.s} & \text{khi } f = f_0 - 0,1f_0. \end{cases}$$

2.  $W_y(p) = k_y$  - hàm truyền của bộ khuếch đại.

3.  $W_{\Phi 1}(p) = \frac{k_{\Phi 1}}{T_1 p + 1}$  - hàm truyền của bộ lọc thứ nhất. Hằng số thời gian.

$$T_1 = \frac{1}{\pi \Delta f_1} = \frac{1}{3,14 \times 1000} = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

4.  $W_{\Phi 2}(p) = \frac{k_{\Phi 2}}{T_2 p + 1}$  - hàm truyền của bộ lọc thứ hai ở đây.

$$T_2 = \frac{1}{\pi \Delta f_1} = \frac{1}{3,14 \times 20} - \text{hàm truyền của động cơ ở đây.}$$

$$k_{dc} = \frac{\theta_{x.x.}}{U_{x.x.}} = \frac{n_{x.x.} \cdot \pi}{60 \cdot U_{x.x.}} = \frac{3000 \cdot 3,14}{60 \cdot 30} = 10,5 \text{ v}^{-1}, \text{ s}^{-1}$$

$$T_{dc} = 0,04 \text{ s.}$$

5.  $W_{tr}(p) = k_{tr}$  - hàm truyền của bộ dẫn động  $k_{tr} = 10^{-3}$ .

7.  $W_c(p) = \frac{\Delta C_1(p)}{\Delta \alpha(p)}$  - hàm truyền đặc trưng sự thay đổi điện dung  $C_1$  khi quay trục của

nó. Tương ứng với bài, đặc tính này là tuyến tính. Độ hô dẫn của đặc trưng:

$$k_C = 80 \text{ nF/rad} = 8 \cdot 10^{-11} \text{ F.}$$

8.  $W_{K2}(p) = \frac{\Delta \omega_0(p)}{\Delta C_1(p)}$  - hàm truyền đặc trưng sự thay đổi tần số cộng hưởng khi thay

đổi điện dung  $C_1$ . Để xác định nó ở giả thiết trong mục “1” ta vi phân biểu thức (2) theo  $C$  ở kết quả ta có:

$$\frac{\partial U_2}{\partial C_1} = U_1 \frac{R^2 L^2 \omega_0^3 (1 - \omega_0^2 CL)}{[R^2 (1 - \omega_0^2 LC)^2 + \omega_0^2 L^2]^{3/2}} \cdot \frac{B}{\phi} \quad (5)$$

Nếu chia (5) cho (3) ta tìm được:

$$\frac{\partial \omega_0}{\partial C_1} = \frac{L \omega_0^3}{1 + \omega_0^2 LC} \text{ f}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \quad (9)$$

Do đó, nếu coi mạch không quán tính, ta có:

$$W_{K2}(p) = k_{K2}(\omega).$$

Nếu tần số đã cho  $f_0 = 10^4 \text{ Hz}$ , thì:

$$k_{K2}(\omega) = (6,3 \begin{array}{l} +1,15 \\ -1,1 \end{array}) \cdot 10^{-13} \text{ f}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Do đó, hàm truyền của hệ ở trạng thái hở có dạng:

$$W_\omega(p) = \frac{k_{K1}(\omega) k_y k_{\Phi 1} k_{\Phi 2} k_{dc} k_{tr} k_C k_{K2}(\omega)}{p(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_{dc} p + 1)} \quad (7)$$

Nếu thế các giá trị số đối với các tần số  $f_0$ ,  $f_0 + 0,1 f_0$  và  $f_0 - 0,1 f_0$ , ta có:

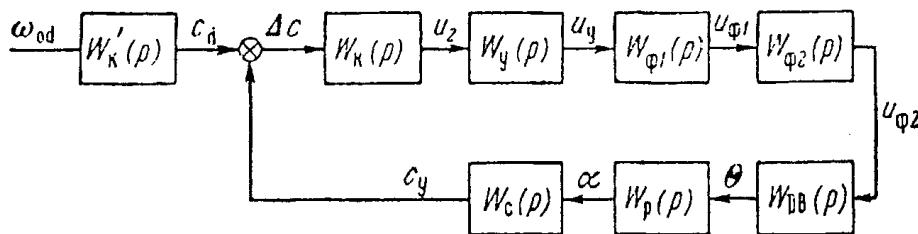
$$f = f_0, W_\omega(p) = 0, \quad (8)$$

$$f = f_0 + 0,1 f_0 \quad W_\omega(p) = \frac{2,28 \cdot 10^{-6} k_y}{p(3,2 \cdot 10^{-4} p+1)(0,016p+1)(0,04p+1)}, \quad (9)$$

$$f = f_0 - 0,1 f_0 \quad W_\omega(p) = \frac{2,28 \cdot 10^{-6} k_y}{p(3,2 \cdot 10^{-4} p+1)(0,016p+1)(0,04p+1)}, \quad (10)$$

Bây giờ ta tìm hàm truyền nếu đại lượng điều chỉnh là điện dung  $C_1$ .

Sơ đồ cấu tạo của hệ này có dạng được biểu diễn trên hình 327. Các hàm truyền có ở hệ này  $W_y(p)$ ,  $W_{\Phi 1}(p)$ ,  $W_{dc}(p)$ ,  $W_{tr}(p)$  và  $W_C(p)$  cũng chính xác như ở trường hợp trước.



Hình 327. Sơ đồ cấu tạo hệ điều chỉnh tự động tần số có đại lượng điều chỉnh  $C_1$ .

Hàm truyền  $W_K(p) = \frac{\Delta U_2(p)}{\Delta C(p)}$ , đặc trưng sự tăng của điện áp  $U_2$  ở đầu ra mạch cộng hưởng khi thay đổi điện dung  $C$ . Ở các kết luận nói trên về đặc tính chỉnh lưu tín hiệu ở đầu ra của bộ khuếch đại có thể cho rằng:

$$W_K(p) = k_K(\omega) \quad (11)$$

Ở đây  $k_K(\omega)$  - hệ số được tính theo công thức (5).

Trong trường hợp điều chỉnh mạch tới cộng hưởng  $k_K(\omega) = 0$

$$\text{Khi } f = f_0 + 0,1 f_0 \quad k_K(\omega) = -4,2 \cdot 10^7 \text{ V/F}$$

$$\text{Khi } f = f_0 - 0,1 f_0 \quad k_K(\omega) = +3,6 \cdot 10^7 \text{ V/F.}$$

Do đó, hàm truyền của hệ hở được bao bằng liên hệ ngược có các giá trị sau:

$$\text{Khi } f = f_0 \quad W_C(p) = 0, \quad (12)$$

$$\text{Khi } f = f_0 + 0,1 f_0 \quad W_C(p) = \frac{-2,28 \cdot 10^{-6} k_y}{(3,2 \cdot 10^{-4} p+1)(0,016p+1)(0,04p+1)} \quad (13)$$

$$\text{Khi } f = f_0 - 0,1 f_0 \quad W_C(p) = \frac{-2,28 \cdot k_y}{(3,2 \cdot 10^{-4} p+1)(0,016p+1)(0,04p+1)} \quad (14)$$

Như thấy rõ từ các biểu thức (9), (10), (13) và (14) các hàm truyền không phụ thuộc vào chọn đại lượng điều chỉnh. Điều này về mặt hình thức suy ra từ:

$$K_{K1}(\omega) \cdot K_{K2}(\omega) = \frac{\partial U_2}{\partial \omega_0} = \frac{\partial \omega_0}{\partial C_1} = k_K(\omega) = \frac{\partial U_2}{\partial C_1} \text{ V/F}$$

Trước mạch kín của hệ cần măc phản tử đặc trưng sự thay đổi giá trị điện dung khi cộng hưởng từ tần số  $f_0$  của tín hiệu đầu vào. Nó có thể được biểu diễn bởi khâu không quan tính có hệ số truyền:

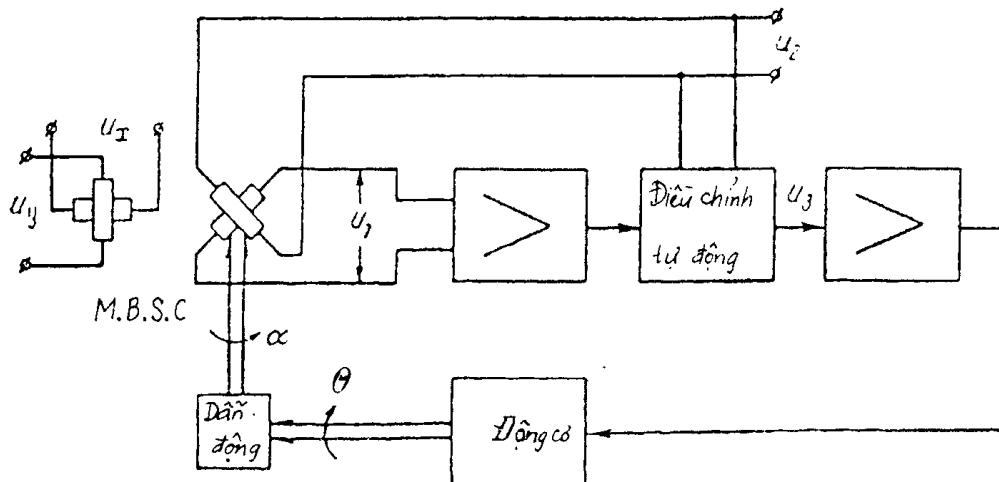
$$k_k(\omega) = \frac{\partial C}{\partial \omega} = \frac{1 + \omega^2 LC}{L \omega^3} F.s$$

Ở  $f_0$  và  $f_0 \pm 10\%$  đại lượng:

$$k_k^{-1}(\omega) = \begin{cases} 1,34 \cdot 10^{-14} F.s & \text{khi } f = f_0 + 0,1 f_0, \\ 1,62 \cdot 10^{-14} F.s & \text{khi } f = f_0, \\ 1,92 \cdot 10^{-14} F.s & \text{khi } f = f_0 - 0,1 f_0. \end{cases}$$

**461.** Hãy lập sơ đồ cấu tạo và xác định hàm truyền hệ từ hiệu chỉnh.

Xây dựng vectơ theo hai thành phần (hình 328). Các thành phần vectơ cho ở dạng các điện áp thay đổi  $U_x$  và  $U_y$  cho các cuộn dây stato.



Hình 328. Hệ tự điều chỉnh tự động xây dựng vectơ theo hai thành phần.

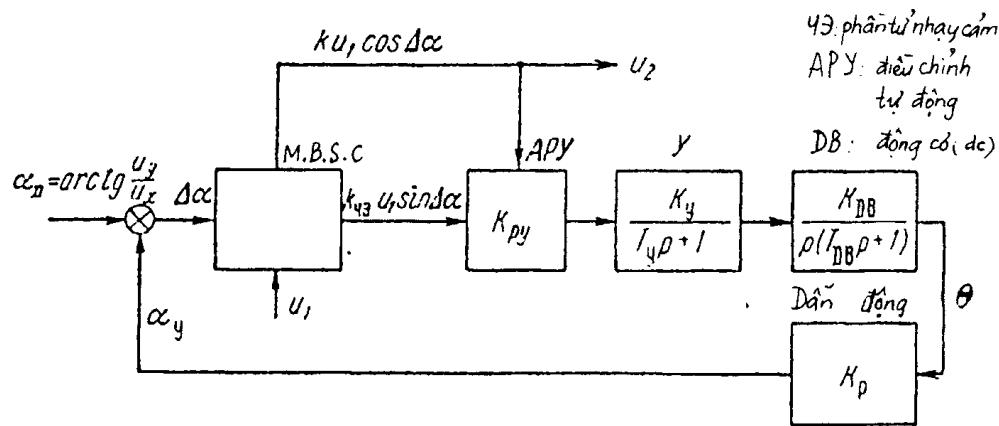
Máy biến áp sin - cosin (M.B.S.C) môđun vectơ xây dựng được biểu diễn bằng các điện áp:

$$U_2 = \frac{\omega_2}{\omega_1} \sqrt{U_x^2 + U_y^2} = k_{ba} \sqrt{U_x^2 + U_y^2}$$

Ở đây  $k_{ba} = \frac{\omega_2}{\omega_1}$  - hệ số biến áp (M.B.S.C) góc quay của rôto xác định vị trí vectơ

$U_2$  trong hệ các toạ độ X, Y. Sự quay của rôto tới góc được thực hiện bởi hệ theo dõi bao gồm bộ khuếch đại có điều chỉnh khuếch đại tự động, động cơ và bộ truyền động.

Sự tự hiệu chỉnh là ở chỗ duy trì điểm áp không đổi  $U_3$  ở đầu vào bộ khuếch đại ở cùng độ không ăn khớp  $\Delta\alpha$ . B ở khuếch đại là khâu không tuần hoàn, động cơ được biểu diễn ở dạng tích các khâu tích phân và không tuần hoàn.



**Hình 329.** Sơ đồ cấu tạo của hệ xây dựng vectơ  
tự hiệu chỉnh tự động theo hai thành phần.

**Đáp số:** Sơ đồ cấu tạo được biểu diễn trên hình 329 không có điều chỉnh khuếch đại tự động hàm truyền của hệ có dạng:

$$W(p) = \frac{kU_1}{p(T_y p + 1)(T_{dc} p + 1)}$$

Ở đây  $k = k_{ba} k_{py} k_y k_{dc}$  áp  $U_2$  cho bộ điều chỉnh khuếch đại tự động thì hệ số truyền của nó  $k_{py}$  bằng  $\frac{k_{py}}{U_1}$ , thì ta có:

$$W(p) = \frac{k}{p(T_y p + 1)(T_{dc} p + 1)}$$

Ở đây  $k = k_{ba} k_{py} k_y k_{dc} k_p$  được nghiên cứu ở bài 460, hãy xác định hệ số khuếch đại  $k_y$  của bộ khuếch đại đảm bảo độ ổn định điều khiển trong các giới hạn độ lệch tần số  $f_0$  tới  $\pm 20\%$ .

**Đáp số:**  $K_y < 1,71 \cdot 10^7$ .

**463.** Ở hệ được nghiên cứu ở bài 461 hãy tìm giá trị hệ số  $k'_{py}$  đảm bảo độ hoạt động ổn định của hệ ở các số liệu ban đầu sau:

$$k_{tr} = 0,5, k_y = 10^4, k_{dc} = 12 V^{-1} \cdot s^{-1}, k_p = 1,3 \cdot 10^{-3}, T_y = 0,025 \text{ s}, T_{dc} = 0,045 \text{ s}.$$

**Đáp số:**  $k_{py} < 0,8$ .

**464.** Hãy tìm hàm truyền  $\Phi(p)$  của hệ tự hiệu chỉnh kín có bộ lọc gốc  $\Phi_0(p)$  mà sơ đồ cấu tạo của nó được biểu diễn trên hình 330. Hãy xác định hệ số ổn định hay không ở các giá trị số có trong hàm truyền như sau:  $k_\Phi = k_2 = k_1 = 1, k_3 = 100 \text{ s}^{-1}, T_\Phi = 0,04 \text{ s}, T_1 = 0,001 \text{ s}, T_2 = 0,2 \text{ s}$ .

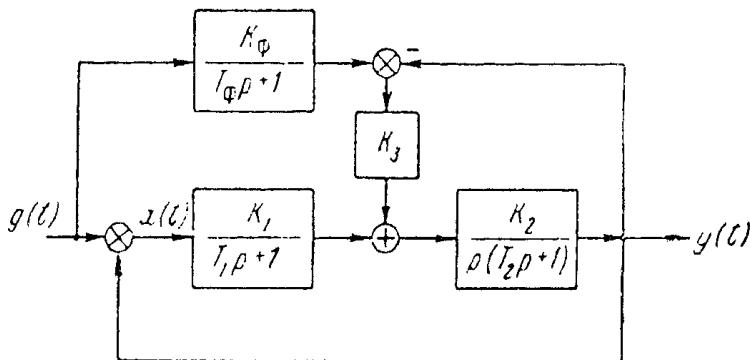
**Đáp số:**

$$\Phi(p) = \frac{k_2 k_1 (T_\Phi p) + k_\Phi k_3 k_2 (T_1 p + 1)}{(T_\Phi + 1)[p(T_1 p + 1) + k_3 k_2 (T_1 p + 1) k_1 k_2]}$$

Nếu cho rằng  $k_3$  lớn hơn nhiều các số hạng khác, thì có thể viết:

$$\Phi(p) \approx \frac{k_\Phi}{T_\Phi p + 1} = \Phi_0(p)$$

Ở các giá trị đại lượng đã cho hệ ổn định.



Hình 330. Sơ đồ cấu trúc của hệ tự điều chỉnh có bộ lọc gốc.

465. Hệ được nghiên cứu ở bài toán trước được dùng để đảm bảo chất lượng điều chỉnh khi thay đổi hàm truyền của phần tử đầu khi thay đổi hàm truyền của phần tử đầu ra  $W(p) = \frac{k_2}{p(T_2 p + 1)}$  và các giá trị đại lượng đi tới nó. Hãy xác định ở giá trị giới hạn nào  $k_2$  hệ sẽ ổn định. Để so sánh hãy cùng tìm hệ số giới hạn  $k_2$ , trong trường hợp không có mạch tự điều chỉnh ( $k_3 = k_\Phi = 0$ ).

**Đáp số:**  $K_2 < 2140 \text{ s}^{-1}$ ,  $k_2 < 1005 \text{ s}^{-1}$ .

## 19.2. CHẤT LƯỢNG CÁC HỆ ĐIỀU CHỈNH CỰC ĐẠI

466. Trong hệ điều chỉnh tự động tần số, mà sơ đồ cấu trúc của nó được biểu diễn trên hình 327. Hãy tìm quá trình chuyển tiếp nếu bỏ qua các hằng số thời gian của các bộ lọc  $T_1$  và  $T_2$ . Khi tính toán lấy các giá trị sau của đại lượng đầu vào  $T_{dc} = 0,04 \text{ s}$ ,  $k_{dc} = 10,5 \text{ V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $k_{\Phi 2} = 0,8$ ,  $k_y = 10^7$ ,  $k_{tr} = 10^{-3}$ ,  $k_c = 8 \cdot 10^{11} \text{ F}$ . Hệ số  $k_K(\omega)$  được tính theo công thức:

$$K_K(\omega) = \frac{\partial U_2}{\partial C} = U_1 \frac{R^2 L^2 \omega_0^3 (1 - \omega_0^2 CL)}{[R^2 (1 - \omega_0^2 CL)^2 + \omega_0^2 L^2]^{3/2}} \text{ V/F}$$

Ở đây  $R = 100 \Omega$ ,  $U_1 = 100 \text{ V}$ ,  $C = 500 \text{ nF}$ ,  $L = 0,5 \text{ H}_2$ ,  $\omega_0 = 2\pi f_0 = 6,28 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}$ .

Độ lệch ban đầu vào tần số cộng hưởng bằng  $0,2\omega_0$  ở tần số  $\omega_0$  bằng tần số cộng hưởng các nhiễu bên ngoài không có tốc độ ban đầu của sự thay đổi tần số bằng 0.

**Bài giải.** Sơ đồ cấu trúc của hệ ở các giả thiết trước có dạng được biểu diễn trên hình 331.

Ở đây:

$$k = k_{\Phi 1} k_{\Phi 2} k_y k_c k_{dc} k_{tr} = 5,35 \cdot 10^{-6} \text{ F/V}.$$

Phương trình vi phân của hệ có dạng:

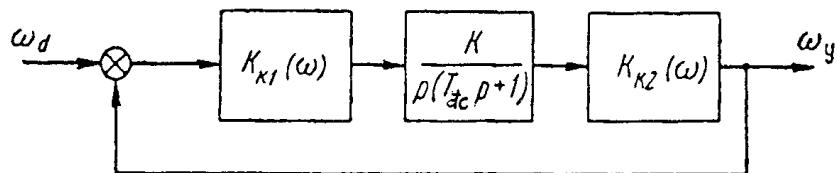
$$p(T_{dc} p + 1) C_y = k U_2,$$

$$U_2 = k_K(\omega) (C_D - C_y).$$

Nếu giải hệ này, ta có:

$$T_{dc} \frac{d^2 C_y}{dt^2} + \frac{dC_y}{dt} = kk_K(\omega) (C_D - C_y) \quad (1)$$

Bởi vì ở các giá trị số đã cho gần cộng hưởng số hạng đầu tiên của tử số theo đạo hàm  $\frac{\delta U_2}{\delta C}$ .



**Hình 331.** Sơ đồ cấu tạo của hệ điều chỉnh tần số tự động đơn giản.

Nhỏ hơn nhiều số hạng thứ hai, thì có thể viết:

$$K_K(\omega) \approx \frac{U_1 R^2}{L} (1 - \omega_0^2 CL) \quad (2)$$

Ở công thức (1) là điện dung tổng  $C_y = C_0 + C_2$ . Để nghiên cứu chính độ ổn định cần biết độ lệch của nó với giá trị cộng hưởng  $C_0 = \frac{1}{\omega_0^2 L}$ . Vì vậy có thể viết:

$$k_K(\omega) = \frac{U_1 R^2}{L} [1 - \omega_0^2 (C_0 + C_2)L] = U_1 R^2 \omega_0^2 C_2$$

Nếu thế nó vào phương trình (1) ta có:

$$T_{dc} \frac{d^2 C_2}{dt^2} + \frac{dC_2}{dt} + k U_1 R^2 \omega_0^2 C_C C_D$$

Độ lệch nhỏ của  $C_2$  với cộng hưởng cho phép tuyến tính hóa phương trình này theo  $C_2$ :

$$T_{dc} \frac{d^2 C_2}{dt^2} + \frac{dC_2}{dt} + k U_1 \omega_0^2 C_0 C_2 = k U_1 R^2 \omega_0^2 C_0 C_D$$

Nếu thế các giá trị số, ta có:

$$0,04 \frac{d^2 C_2}{dt^2} + \frac{dC_2}{dt} + 2,13 C_2 = 2,13 C_D$$

Các nghiệm của phương trình đặc trưng:

$$p_{1,2} = 12,5 \pm j \sqrt{28,2} = -12,5 \pm j5,3.$$

Do đó nghiệm tổng quát:

$$C_2 = D_1 e^{(-12,5 + j5,3)t} + D_2 e^{(12,5 - j5,3)t}.$$

Để xác định các hằng số tích phân ta tìm điện dung  $C$  thay đổi thế nào khi thay đổi tần số  $\omega$  tới 20%  $\omega_0$ .

Vì vậy ta sử dụng biểu thức (2) nếu cho rằng sự thay đổi tần số  $\omega$  cần bù sự thay đổi điện dung. Tương ứng với điều đó có thể viết.

$$\frac{U_1 R^2}{L} [1 - (\omega_0 + \Delta\omega)^2 C_0 L] = \frac{U_1 R^2}{L} [1 - \omega_0^2 (C_0 + \Delta C)L]$$

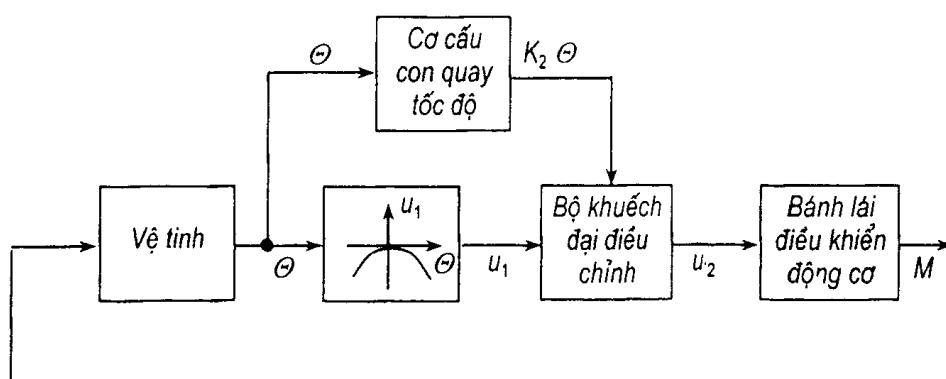
Từ đó suy ra:

$$\Delta\omega = 0,2\omega_0 \text{ thì } \Delta C = 0,4C_0 = 200 \text{ nF}$$

Nếu thay cho điều kiện ban đầu  $C_{20} = 200 \text{ nF}$ ,  $C_{20} = 0$  vào (3) ta có:

$$C_2 = 200 [1 - e^{-12,5t} (\cos 5,3t + 2,36 \sin 5,3t)].$$

- 467. Hãy tìm quá trình chuyển tiếp trong hệ cực trị ổn định vị trí góc của vệ tinh mà sơ đồ khối của nó được biểu diễn trên hình 332.



**Hình 332.** Sơ đồ khối của hệ cực trị ổn định của vệ tinh.

Các phương trình mô tả động lực hợp đồng của hệ như sau:

1. Phương trình vệ tinh:

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} = M$$

2. Phương trình động cơ ổn định có bánh lái:

$$M = k_M U_2$$

3. Phương trình khâu lôgic:

$$U_2 = k_2 U_1 \operatorname{sign} \frac{d\theta}{dt}$$

4. Phương trình đặc tính cực trị:

$$U_1 = -k_1 \theta^2$$

Các số liệu ban đầu để tính toán:  $J = 100 \text{ kG.m.s}^2$ ,  $k_1 = 60 \text{ V/rad}^2$ ,  $k_2 = 100$ ,  $k_M = 0,1 \text{ kG.m.V}^{-1}$ , các độ lệch ban đầu  $\theta_0 = 10^\circ$ ,  $\dot{\theta}_0 = 15 \text{ độ/s}$ .

**Chỉ dẫn:** Phương trình tổng tuyến tính ở điểm  $\theta = 15^\circ$

**Đáp số:**  $\theta = 29^\circ \sin(0,5t + 2\theta^\circ 30')$

**468.** Hãy tìm quá trình chuyển tiếp và xây dựng hình ảnh pha của nó trong hệ được nghiên cứu ở bài 467, nếu phương trình khâu lôgic có dạng:

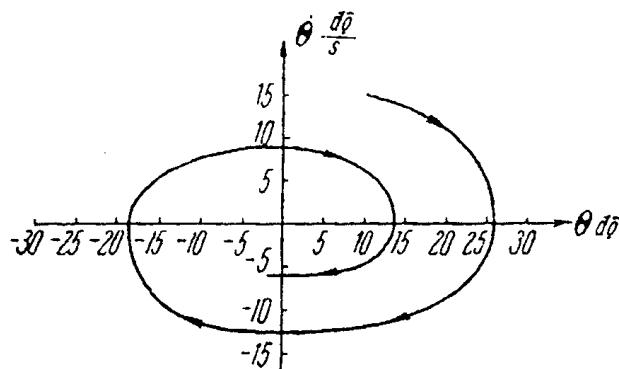
$$U_2 = k_2 U_1 \operatorname{sign} \theta = k_3 \theta,$$

$$K_3 = 4,3 \cdot 10^3 \text{ v.s.}$$

Các số liệu ban đầu còn lại và các giả thiết được lấy như ở bài 467.

$$\text{Đáp số: } \theta = 29^\circ e^{-0.056t} \sin(0.558t + 20^\circ 30')$$

Hình ảnh pha được biểu diễn trên hình 333.



**Hình 333.** Bức tranh pha của quá trình chuyển tiếp ổn định vị trí góc của vật tĩnh.

**469.** Hãy xác định các tổn thất do sự tìm kiếm trong hệ điều chỉnh tần số tự động được nghiên cứu ở bài 460. Cơ sở nghiên cứu là sơ đồ cấu tạo được biểu diễn trên hình 326, các số liệu ban đầu cho tính toán là:

$$k_y = 10^7, k_{\Phi_1} = k_{\Phi_1} = 0,8, k_{tr} = 10^{-3}, K_C = 8 \cdot 10^{-14} \frac{\phi}{\text{A}}, k_{dc} = 10,5 \frac{\text{V}}{\text{s}}, T_{dc} = 0,04 \text{ s}, T_{\Phi_2} = 0,016 \text{ s}, T_{\Phi_1} = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ s}, R = 1000 \Omega, C_1 = 400 \text{ pF}, C_2 = C_{20} + C_{2m} \sin \omega_1 t = 100 + 50 \sin 40t \text{ pF}, L = 0,5 \text{ H}, \omega_0 = 6,28 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}.$$

**Bài giải.** Các tổn thất cho tìm kiếm là sai số trung bình  $\bar{x}(t)$ , xuất hiện trong hệ cực đại ở chế độ được thiết lập ở kết quả chuyển động tìm kiếm. Nếu  $F(y)$  là phụ thuộc hàm đặc trưng các tính chất cực đại của phân tử nào đó khi thay đổi đại lượng điều chỉnh  $y$ , thì các tổn thất cho tìm kiếm:

$$\overline{F - F_E} = \frac{1}{2} \cdot \frac{d^2 F}{dy^2} \overline{x_2(t)},$$

Ở đây  $F_E$  - giá trị cực đại.

Khi tìm hình sin có biên độ  $A_1$ :

$$\overline{x^2} = \frac{A_1^2}{2}.$$

Chúng ta nghiên cứu các tổn thất cho tìm kiếm, nếu đại lượng điều chỉnh là điện dung  $C_D = C_{20} + C_1$ . Vì vậy các tổn thất cho tìm kiếm:

$$\overline{C_D - C_D} = \frac{1}{2} k \cdot \frac{\delta^2 U}{\delta C^2} (\Delta C)^2 \quad (1)$$

Ở đây  $k = k_y k_{\Phi_1} k_{\Phi_1} k_{dc} k_p K_C = 5,35 \cdot 10^{-6}$  - hệ số truyền tổng không có mạch cộng hưởng với hàm số truyền  $W_{K2}(p) = \frac{\delta U_2}{\delta C} = k_{K2}(\omega_0)$ .

Đạo hàm thứ hai  $\frac{\delta^2 U}{\delta C^2}$  ta tìm được vi phân biểu thức  $\frac{\delta U}{\delta C}$ , được đưa ra trong bài 460:

$$\begin{aligned} \frac{\delta^2 U}{\delta C^2} &= \\ &= \frac{U_1 R^2 L^3 \omega^5 \{ -[R^2(1-\omega^2 CL) + \omega^2 L^2]^{3/2} + 3R^2(1-\omega^2 CL)^2 [R^2(1-\omega^2 L^2) + \omega^2 L^2]^{1/2} \}}{[R^2(1-\omega^2 CL)^2 + \omega^2 L^2]^3} = \\ &= \frac{U \cdot R^2 L^2 \omega^5 \{ -[R^2(1-\omega^2 CL)^2 + \omega^2 L^2] + 3R^2(1-\omega^2 CL)^2 \}}{[R^2(1-\omega^2 CL)^2 + \omega^2 L^2]^{5/2}} \end{aligned}$$

Tính toán theo công thức này cho:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial C^2} = 4 \cdot 10^5 \text{ V/F}^2. \quad (2)$$

Biên độ sai số  $\Delta C$  có thể tìm theo công thức:

$$\Delta C_{1m} = |\Phi_x(j\omega)|_{\omega=\omega_1} \cdot C_{2m} = \left| \frac{1}{1 + W(j\omega)} \right|_{\omega=\omega_1} \cdot C_{2m} \quad (3)$$

Ở đây:

$$W(j\omega) = \frac{k k_{K2}(\omega_0)}{p(T_{LB}p+1)(T_{\Phi_1}p+1)(T_{\Phi_2}p+1)} \quad \text{ở } p = j\omega_1.$$

Do đó:

$$\begin{aligned} \Phi_x(j\omega) &= \\ &= \left| \omega = \omega_1 = \omega_1 [(T^2 \omega_1^2 + 1)(T_{\Phi_1}^2 \omega_1^2 + 1)(T_{\Phi_2}^2 \omega_1^2 + 1)]^{1/2} \times \right. \\ &\quad \times \left. \left\{ k k_{K2}(\omega_0) + T_{dc} T_{\Phi_1} T_{\Phi_2} \omega_1^4 - (T_{dc} + T_{\Phi_1} + T_{\Phi_2}) \omega_1^2 \right\}^{\frac{p}{2}} + \right. \\ &\quad \left. + \omega_1^2 \left[ 1 - \omega_1^2 (T_{dc} T_{\Phi_1} + T_{dc} T_{\Phi_2} + T_{\Phi_1} T_{\Phi_2}) \right]^2 \right\}^{-1/2} \end{aligned}$$

Nếu thế các giá trị số với sự tuyến tính hóa số hạng  $k_{K2}(\omega_0)$  ở điểm tương ứng với độ lệch điện dung  $C$  tới 25 pF với cộng hưởng (bằng nửa biên độ  $C_{2m}$ ), ta có:

$$|\Phi_x(j\omega)|_{\omega=\omega_1} = 0,98$$

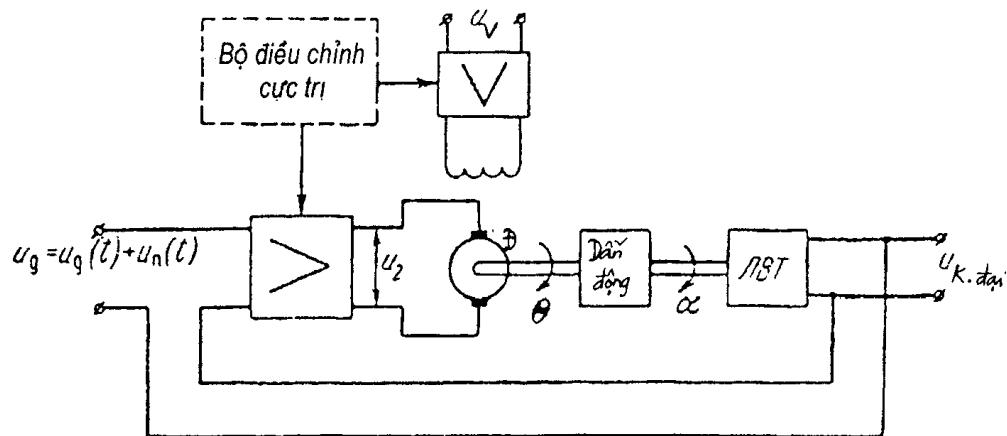
Nếu thế biểu thức này vào (3) ta có:

$$\Delta C_{1m} = 0,98 C_{2m} = 0,98 \cdot 50 = 49 \text{ pF} = 4,9 \cdot 10^{-11} \text{ F}$$

Do đó các tổn thất cho tìm kiếm theo điện dung bằng:

$$C_D - C_{D0} = \frac{1}{2} k \frac{\partial^2 U}{\partial C^2} \cdot \frac{(\Delta C_{1m})^2}{2} = \\ = \frac{1}{4} 5,35 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^5 \cdot (4,9)^2 \cdot 10^{-22} = 1,28 \cdot 10^{-21} F.$$

**470.** Ở đầu vào hệ theo dõi được biểu diễn trên hình 334 có tín hiệu điều khiển  $u_g(t)$  và nhiễu ngẫu nhiên  $u_n(t)$  là <<tiếng ồn trắng>> với mật độ phổ  $S_n(\omega) = N = \text{const}$ . Hệ mô tả điều chỉnh tác dụng tới các hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại trong mạch phản ứng  $k_{y1}$  và ở mạch kích ( $k_{y2}$ ) của động cơ Đ đảm bảo cực tiêu sai số bình phương tổng ở đầu ra. Cần thiết xác định các phụ thuộc hàm số của các hệ số khuếch đại  $k_{y1}$  và  $k_{y2}$  vào tốc độ thay đổi tín hiệu đầu vào ở chế độ làm việc xác lập và biểu diễn sơ đồ cấu tạo với tự điều chỉnh. Hệ số cuộn cảm của hệ  $\xi$  cần bằng 0,5.



Hình 334. Hệ theo dõi tự hiệu chỉnh cho cực tiêu của sai số bình phương.

Hệ các phương trình mô tả động lực học làm việc của hệ không tự điều chỉnh có dạng.

$$U_2 = k_{y1} (u_g - u_y), L_A \frac{di}{dt} + i_A r = u_2 - c_e \frac{d\theta}{dt}$$

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} = M_{dc}, M_{dc} = c_M i_A$$

$$\alpha = k_{tr} \theta, u_y = k_{L,B,T} \alpha, c_e = u_B k_{y2}$$

Các giá trị số để tính toán:  $J = 0,2 \text{ G.cm.s}^2$ ,  $C_M = 70 \text{ G.cm/A}$ ,  $r = 2\Omega$ ,  $U_B = 30 \text{ V}$ ,  $k_p = 10^{-4}$ ,  $k_L = 0,5 \text{ V/độ}$ ,  $N = 0,01 \text{ V}^2$ .

$$W(p) = \frac{k}{(Tp + 1)p}, \quad (1)$$

Ở đây:

$$T = \frac{Jr}{C_M u_B k_{y2}} = \frac{0,4}{210k_{y2}} \text{ s}^{-1}$$

$$K = \frac{k_{y1} k_p k_L}{k_{y2} u_B} = 9,6 \cdot 10^{-5} \frac{k_{y1}}{k_{y2}} \text{ s}^{-1}$$

Hàm truyền của hệ hở đối với sai số bằng:

$$\Phi_x(p) = \frac{p(Tp+1)}{p(Tp+1)+k} \quad (2)$$

$$\Phi(p) = \frac{1}{\frac{T}{k} p^2 + \frac{1}{k} p + 1} \quad (3)$$

Bởi vì hệ số cuộn cản đã cho, thì

$$\frac{1}{k} = 2\xi \sqrt{\frac{T}{k}} \quad (4)$$

Tín hiệu điều khiển  $u_g = ut$  và nhiễu  $u_\Pi(t)$  không tương quan. Vì vậy sai số bình phương  $\epsilon_u^2 = \epsilon_g^2 + \epsilon_\Pi^2$  ở đây  $\epsilon_D^2$  - D bình phương sai số theo tín hiệu điều khiển  $u_g(t)$  và  $\epsilon_D^2$  - phương sai ở đâu ra từ nhiễu.

Nhờ các hệ số sai số ở các chế độ điển hình ta tìm được:

$$\epsilon_g^2 = \frac{u^2}{k^2}$$

Phương sai từ nhiễu:

$$\epsilon_\Pi^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \left| \frac{N}{\frac{T}{k}(j\omega)^2 + \frac{1}{k}(j\omega) + 1} \right|^2 d\omega = \frac{Nk}{2}$$

Do đó:

$$\epsilon_u^2 = \frac{u^2}{k^2} + \frac{Nk}{2} = \frac{u^2 k_{y2}^2}{(9,6 \cdot 10^{-5})^2 k_{y1}^2} + \frac{Nk_{y1} \cdot 9,6 \cdot 10^{-5}}{2k_{y2}}$$

Vì phân biểu thức này theo  $k_{y1}$  và  $k_{y2}$  ta có điều kiện cực tiểu của sai số bình phương

$$\left[ \frac{2u^2 k_{y2}}{(9,6 \cdot 10^{-5})^2 k_{y1}^3} - \frac{N \cdot 9,6 \cdot 10^{-5}}{5k_{y2}^2} \right] (k_{y1} - k_{y2}) = 0 \quad (5)$$

Phương trình thứ hai để xác định  $k_{y1}$  và  $k_{y2}$  thu được từ (4) ở kết quả thế giá trị k và thực hiện bình phương:

$$9,6 \cdot 10^{-5} \frac{k_{y1}}{k_{y2}} = \frac{1}{4\xi^2 T} = \frac{c_M u_B k_{y2}}{4\xi^2 J_r}$$

Sau khi thế các giá trị số ta có:

$$9,6 \cdot 10^{-5} \frac{k_{y1}}{k_{y2}} = 5250 k_{y2} \quad (6)$$

Ở kết quả giải đồng thời các phương trình (5) và (6) ta tìm các phụ theo hàm đã cho các giá trị tối ưu của các hệ số  $k_{y1}^{tu}$   $k_{y2}^{tu}$  vào:



$$k_{y2}^u = 1,4 \cdot 10^{-3} u^{2/3} s \quad (7)$$

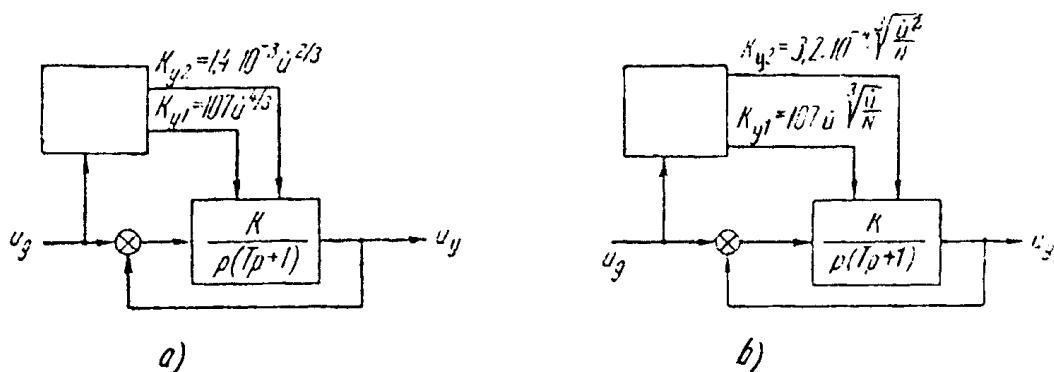
$$k_{y1}^u = 107 u^{4/3} \quad (8)$$

Do đó, để điều chỉnh tối ưu với cực tiểu của sai số bình phương  $\varepsilon_u^2$  ở mật độ phổ đã cho N nhiều ở dạng <<tiếng ôn trăng>> và tốc độ thay đổi u của tín hiệu đầu vào hệ cần duy trì thiết bị đo u và các bộ điều khiển khuếch đại tự động ở các hệ khuếch đại  $y_1$  và  $y_2$  thực hiện các phụ thuộc (7) và (8). Sơ đồ cấu tạo của hệ này được biểu diễn trên hình 335a. Nếu ta đo cả mật độ phổ N của các tiếng ôn, thì các hệ số tối ưu  $k_{y1}^u$  và  $k_{y2}^u$  cần điều chỉnh tương ứng với các biểu thức:

$$k_{y1}^u = 3,02 \cdot 10^{-4} \sqrt[3]{\frac{u^2}{N}}$$

$$k_{y2}^u = 23,2 \cdot u \cdot \sqrt[3]{\frac{u^2}{N}}$$

Sơ đồ cấu tạo của hệ được biểu diễn trên hình 335 b.



**Hình 335. Các sơ đồ cấu tạo của hệ tự điều chỉnh:**

- a) Thiết bị đo tín hiệu vào; b) với thiết bị đo tốc độ tín hiệu vào và mật độ phổ của các độ ôn.

## Chương 20

### THÀNH LẬP CÁC SƠ ĐỒ ĐỂ MÔ HÌNH HOÁ CÁC HỆ ĐIỀU KHIỂN Ở CÁC MÁY TÍNH LIÊN TỤC

#### 20.1. THÀNH LẬP CÁC SƠ ĐỒ ĐỂ MÔ HÌNH HOÁ CÁC PHẦN TỬ CỦA HỆ TỰ ĐỘNG Ở CÁC MÁY TÍNH ĐIỆN TỬ

471. Hãy lập sơ đồ mô hình động cơ có dòng điện không đổi có kích từ độc lập, nếu các thông số của phần cảm độ cảm ứng  $L_A = 0,1 \text{ H}$ , trở điện  $R_A = 10 \Omega$ , tốc độ không tải ở  $u_{BX} = 24 \text{ V}$ ,  $n_{x,x} = 3600 \text{ vg/ph}$  mômen khởi động  $M_\Pi = 2 \text{ kG.cm}$ , mômen quán tính  $J = 1,06 \cdot 10^{-3} \text{ kG.cm.s}^2$  và điện áp tín hiệu đầu vào  $u_{BX} \leq 24V$ . B đại lượng đầu ra của động cơ là tốc độ góc  $\Omega$ . Bỏ qua lực ma sát khô, không tính độ cảm ứng và trở điện trong của tầng mút của bộ khuếch đại cấp điện cho động cơ.

*Bài giải.* Ta sử dụng phương trình động cơ:

$$(T_A T_M p^2 + T_M p + 1) \Omega(t) = k_D u_{BX}(t), \quad (1)$$

Thu được ở bài 15. Ta tìm các hằng số thời gian  $T_A$ ,  $T_M$  và hệ số truyền  $k_D$ ,  $T_A = L_A R^{-1} = 0,1 \cdot 10^{-1} = 0,01 \text{ s}$ .

$$\Omega_{x,x} = \pi n_{x,x} 30^{-1} = 3,14 \cdot 3600 \cdot 30^{-1} = 377 \text{ s}^{-1};$$

$$T_M = J \Omega_{x,x} M_\Pi^{-1} = 1,06 \cdot 10^{-3} \cdot 377 \cdot 2^{-1} = 0,2;$$

$$k_L = \Omega_{x,x}^0 (u_{BX}^0)^{-1} = 377 \cdot 24^{-1} = 15,7 \text{ v}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

Nếu thế các thông số tìm được vào (1) ta thu được phương trình chuyển động của động cơ:

$$(0,002p^2 + 0,2p + 1) \Omega(t) = 15,7 u_{BX}(t). \quad (2)$$

Phương trình vi phân (2) cho khâu không chu kỳ bậc hai mà sơ đồ mẫu của nó được đưa vào phụ lục 33.

Để chuyển thành biến của mô hình ta sử dụng các phương trình biến đổi các biến:

$$\left. \begin{array}{l} \Omega(t) = m_\Omega u_2, \\ u_{BX}(t) = m_u u_1, \\ t = m_t t_M, \end{array} \right\} \quad (3)$$

Ở đây  $m_\Omega$  - tỷ lệ biểu diễn vận tốc góc của động cơ ở mô hình dưới dạng điện áp  $u_2$ ,  $m_u$  - hệ số tỷ lệ biểu diễn đại lượng đầu vào của động cơ  $u_{BX}$  ở dạng đại lượng đầu vào mô hình  $u_1$ ,  $m_t$  - tỷ lệ thời gian,  $t_M$  - biến độc lập của mô hình hay thời gian máy và  $t$  - thời gian thực.

Ta lấy tỷ lệ thời gian thực, có nghĩa  $m_t = 1$ . Đối với đại bộ phận các bộ khuếch đại

thao tác của máy tính liên tục dài thay đổi các điện áp, tuyển tính bằng  $\pm 100$  V. Vì vậy khi giải bài toán các điện áp đầu ra của bộ khuếch đại thao tác không cần vượt quá 100 V. Tuy nhiên sai số nhỏ của kết quả được đảm bảo, khi đó sự mô hình hoá thực hiện ở mức điện áp cho phép lớn nhất, điều đó cũng cần thiết tính toán khi chọn các hệ số tỷ lệ của mô hình. Nếu từ đó ta chọn các hệ số tỷ lệ của mô hình, nếu từ đó ta chọn:

$$m_{\Omega} = \frac{\Omega_{x,x}}{100} = \frac{377}{100} = 3,77 \text{ V}^{-1} \cdot \text{rad.s}^{-1},$$

$$m_u = \frac{u_{B,x \max}}{100} = \frac{24}{100} = 0,24.$$

Để chuyển tới biến của máy ta thế (3) vào (1) mà ở kết quả của nó ta thu được phương trình mẫu ở dạng tổng quát:

$$(T_A T_M p^2 + T_M p + 1) u_2(t) = k_D \frac{m_u}{m_{\Omega}} u_1 \quad (5)$$

Hay:  $(0,002p^2 + 0,2p + 1) u_2(t) = u_1(t).$  (6)

Để xác định các giá trị số của các trở điện vào các điện dương, các điện trở và tụ điện của mẫu ta sử dụng các công thức của phụ lục 33, từ đó suy ra:

$$k = \frac{R_4 R_3}{R_1 R_6} = 1$$

$$T_2^2 = \frac{R_4 R_2 R_3 C_1 C_2}{R_6} = 0,005 \text{ s}^2$$

$$T_1 = \frac{R_4 R_2 R_3 C_1}{R_5 R_6} = 0,2 \text{ s}$$

Khi chọn  $R_1 = R_3 = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 20 \text{ k}\Omega$ ,  $R_4 = R_6 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_5 = 10 \text{ k}\Omega$  và  $C_1 = C_2 = 1 \mu\text{F}$ , sơ đồ của mô hình (mục 5 phụ lục 33) sẽ tương ứng với động cơ có dòng điện không đổi có kích độc lập với các thông số cho ở điều kiện bài toán.

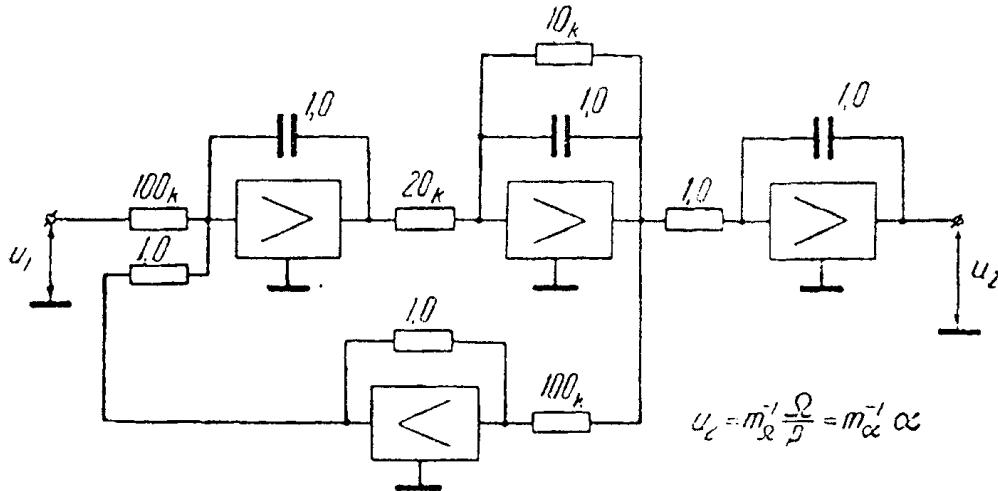
**472.** Hãy lập sơ đồ mô hình động cơ có dòng điện không đổi có kích từ độc lập và các thông số cho ở điều kiện bài toán trước, nhưng đại lượng đầu ra không là tốc độ  $\Omega$  còn góc quay của trục động cơ  $\alpha$ . Bỏ qua ảnh hưởng ma sát khô.

**Đáp số:** Xem hình 336. Ở đây  $m_{\alpha} = k^{-1}$ ,  $m_{\Omega} = 3,77 \text{ V}^{-1} \cdot \text{rad}$  - hệ số tỷ lệ của hệ số theo góc  $\alpha$ . Ở đây  $k = 1 \text{ s}^{-1}$  - hệ số truyền của bộ tích phân.

**473.** Hãy lập sơ đồ mô hình động cơ có kích từ độc lập theo các điều kiện bài 471, nhưng có tính đến ảnh hưởng của mômen phụ tải vào lực ma sát khô  $M_H = M_H^0 \text{ sign } \Omega$  (hình 337b) ngoài ra  $M_H^0 = 0,4 \text{ kG.cm}$ .

**Bài giải:** Ta lập phương trình cân bằng điện áp mạch cảm ứng:

$$u_{BX} = R_A i_A + L_A \frac{di_A}{dt} + c_e \Omega \quad (1)$$



Hình 336. Sơ đồ mẫu của động cơ.

Và phương trình cân bằng các mômen tối trực của động cơ:

$$J \frac{d\Omega}{dt} = M - M_H = c_M i_A - M_H^0 \sin \Omega \quad (2)$$

Nếu giải chúng đồng thời đối với vận tốc góc  $\Omega$ , ta thu được phương trình chuyển động của động cơ có tính đến mômen phụ tải  $M_H$ :

$$(T_A T_M p^2 + T_M p + 1)\Omega = k_D u_{Bx} k_M M_H^0 \operatorname{sign} \Omega, \quad (3)$$

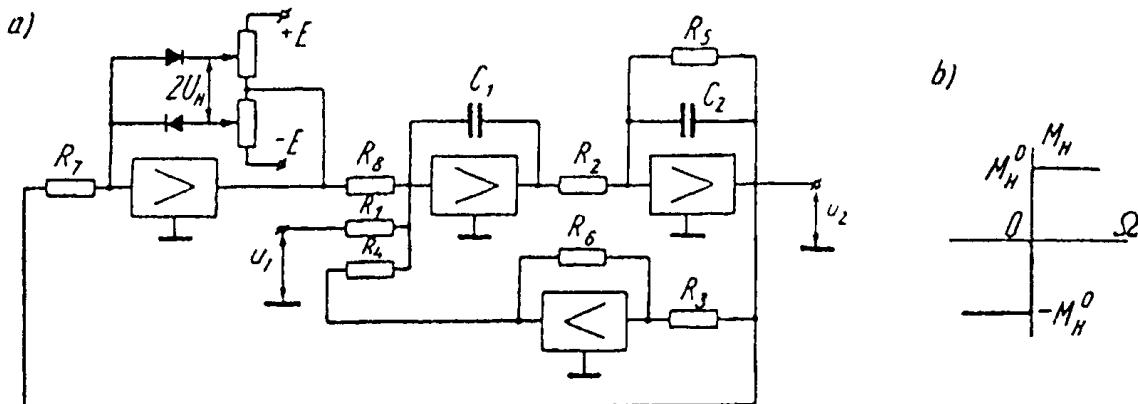
Ở đây  $k_D = \frac{1}{c_e} = \frac{\Omega_{x,x}^0}{U_{Bx}^0}$ ,  $k_M = \frac{R_B}{c_e c_M} = \frac{\Omega_{x,x}}{M_H} = \beta$  - các hệ số truyền của động cơ theo

điện áp ( $k_A$ ) và theo mômen phụ tải ( $k_M$ ). Các hệ số  $c_M$ ,  $c_A$ ,  $\beta$ ,  $T_A$ ,  $T_M$  được xác định ở bài 15.

Mô hình hoá đặc tính tĩnh của ma sát khô (hình 337b) được thực hiện theo sơ đồ mục 2 của phụ lục 34. Khi đó đại lượng điện áp  $U_3 = U_4 = U_H$ .

Được chọn sao cho các diốt tin cậy được đóng ta chọn  $U_H = 20$  V. Khi đó hệ số tỷ lệ:

$$M_M = \frac{M_H^0}{U_H} = \frac{0,4}{20} = 0,02 \text{ kG.cm.V}^{-1} \quad (4)$$



Hình 337. Sơ đồ mẫu cho bài 473.

Để chuyển tới biến của máy ta sử dụng các hệ số tỷ lệ thu được ở bài 471,  $m\Omega$ ,  $m_u$  ( $m_t = 1$ ) và hệ số  $m_M$  (4). Sau khi thay các biến phương trình (3) có dạng:

$$(T_A T_M p^2 + T_M p + 1) u_2(t) = k u_1(t) - k_1 U_H \operatorname{sign} u_2, \quad (5)$$

$$\text{Ở đây } k = k_D \frac{m_u}{m_\Omega} = 15,7 \cdot \frac{0,24}{3,77} \cdot \frac{0,02}{3,77} = 1.$$

Nếu thế các giá trị số vào (5) ta thu được phương trình mô hình:

$$(0,002p^2 + 0,2p + 1) u_2(t) - 20 \operatorname{sign} u_2 \quad (6)$$

Phương trình (6) khác biệt với phương trình (6) của bài 471 bởi số hạng phi tuyến bổ sung  $20\operatorname{sign} u_2$  thực hiện nhờ sơ đồ được biểu diễn ở mục 1, 2 của phụ lục 34 ở  $R_0 = \infty$ . Khi đó từ các phương trình (3) và (6) rõ ràng rằng sự tác dụng của mômen từ lực ma sát khô cân bằng tác dụng của mối liên hệ ngược phi tuyến. Vì vậy sơ đồ mô hình biểu diễn phương trình vi phân chuyển động của động cơ có kích từ độc lập với tính đến mômen từ lực ma sát khô có dạng được biểu diễn trên hình 337a.

Phương trình mô hình được biểu diễn nhờ các thông số của sơ đồ hình 337a có dạng:

$$\begin{aligned} \left( \frac{R_2 R_3 R_4}{R_6} C_1 C_2 p^2 + \frac{R_2 R_3 R_4}{R_5 R_6} C_1 p + 1 \right) u_u(t) &= \\ &= \frac{R_3 R_4}{R_1 R_6} u_1(t) - \frac{R_3 R_4}{R_6 R_3} U_H \operatorname{sign} u_2(t), \end{aligned} \quad (7)$$

Ở đây  $R_8 = 100 \text{ k}\Omega$ , còn giá trị của trở điện và điện dung các điện trở  $R_1 - R_6$  và các tụ điện  $C_1, C_2$  ta thu được ở bài 471. Trở điện của các điện trở  $R_7$  (hình 337a), không có trong phương trình (7) có thể có vài bậc giá trị cuối cùng vượt qua các trở lực trực tiếp của các diốt và các trở điện kế được đưa vào (xem mục 2 phụ lục 34) có ở mối liên hệ ngược của hệ khuếch đại chức năng.

**474.** Ở dạng tổng ta lập sơ đồ mô hình động cơ có kích từ độc lập với tính đến mômen phụ tải từ lực ma sát khô  $M_H = M_H^0 \operatorname{sign} \Omega$  còn đầu vào là điện áp  $u_{Bx}$  cấp cho cuộn dây phần cảm. Tất cả các biến và các thông số của động cơ có kích từ độc lập được xác định ở các bài toán trước.

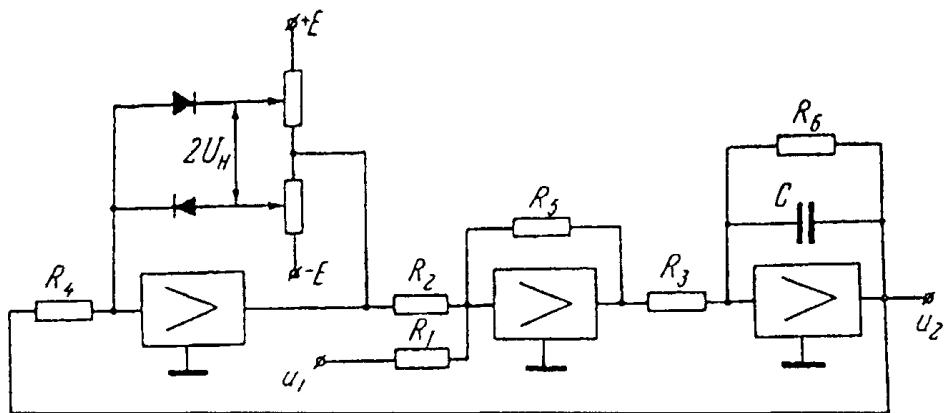
*Bài giải.* Phương trình chuyển động của động cơ ở các biến của máy (xem bài toán trước) ở  $T_A = 0$  có dạng:

$$(T_M p + 1) u_2(t) k_D \frac{m_u}{m_\Omega} u_1(t) - k_M \frac{m_M}{m_\Omega} U_H \operatorname{sign} u_2(t).$$

Sơ đồ mô hình động cơ theo phương trình thu được đưa ra trên hình 338. Các thông số mô hình (các trở điện của các điện trở  $R_1 - R_6$  và điện dung của tụ điện  $C$ ) được xác định trên cơ sở các công thức sau:

$$CR_6 = T_M \frac{R_5 R_6}{R_1 R_3} = k_D \frac{m_u}{m_\Omega}; \quad \frac{R_5 R_6}{R_1 R_3} = k_M \frac{m_M}{m_\Omega}.$$

Tất cả các hệ số tỷ lệ được xác định khi giải các bài toán trước.



Hình 338. Sơ đồ mẫu của động cơ cho bài 474.

**475.** Hãy tìm phương trình mô hình mà sơ đồ của nó được biểu diễn trên hình 339, ở đây áp liên hệ ngược  $u_3$  là phân điện áp đầu ra  $u_2$  và được xác định nhờ điện thế kế (khối bộ chia điện áp)  $R_3$ ;  $z_0(p)$ ,  $z_1(p)$  - trở điện chức năng.

*Bài giải.* Tỷ số trở điện biến đổi  $R_\omega$ , mà từ đó xác định điện áp  $u_3$ , cho điện trở  $R_3$ ,  $\frac{R_\omega}{R_3} = \alpha$  là các hệ của bộ chia điện áp khi đó:

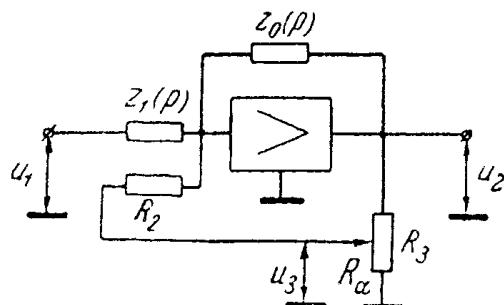
$$u_3 = \alpha u_2. \quad (1)$$

Phương trình mô hình:

$$U_2 = -z_0(p) \left[ \frac{1}{z_1(p)} u_1 + \frac{1}{R_2 u_3} \right] \quad (2)$$

Sau khi thế (1) vào (2) và biến đổi ta thu được  
phương trình cần tìm:

$$\left[ \frac{R_2}{\alpha z_0(p)} + 1 \right] u_2(t) = -\frac{R_2}{\alpha z_1(p)} u_1(t)$$



Hình 339. Sơ đồ mẫu  
cho bài 475.

**476.** Hãy lập sơ đồ mô hình thiết bị thực hành thủy lực (hình 2a) mà phương trình vi phân và hàm truyền của nó thu được ở bài 2, thông số của thiết bị thực hành thủy lực như sau:  $k_1 = 50 \text{ s}^{-1}$ ,  $\alpha = 14 \text{ cm}$ ,  $b = 7 \text{ cm}$ ,  $c_1 = 0,5 \text{ kG.cm}^{-1}.s$ ,  $c_2 = 0,5 \text{ kG.cm}^{-1}$ ,  $c_3 = 2 \text{ kG.cm}^{-1}.s^{-1}$

*Bài giải.* Ta tìm các hằng số thời gian và các hệ số truyền (xem bài 2):

$$k_2 = \frac{a}{a+b} = \frac{14}{14+7} = 0,667$$

$$k_3 = \frac{b}{a} = \frac{7}{14} = 0,5$$

$$k_4 = \frac{c_3}{c_2} = \frac{2}{0,5} = 4 \text{ s}$$

$$k = \frac{k_1 k_2}{1 + k_1 k_3 k_4} = \frac{50 \cdot 0,667}{1 + 50 \cdot 0,5 \cdot 4} = 0,33 \text{ s}^{-1}$$

$$T_{oc} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{0,05}{0,5} = 0,1 \text{ s}$$

$$T = \frac{T_{oc}}{1 + k_1 k_3 k_4} = \frac{0,1}{1 + 50 \times 0,5 \times 4} \approx 0,001 \text{ s}$$

Biểu diễn hàm truyền của thiết bị thừa hành thuỷ lực:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{k(T_{oc}p + 1)}{p(T_p + 1)} \quad (1)$$

Ở đây  $Y(p)$  biểu diễn đại lượng đầu ra - sự dịch chuyển của ván trượt  $y$ ,  $X(p)$  - biểu diễn đại lượng đầu vào - sự dịch chuyển của ngăn kéo  $x$ .

Ta biểu diễn hàm truyền (1) ở dạng tích:

$$W(p) = W_1(p)W_2(p) \quad (2)$$

$$W_1(p) = \frac{pY(p)}{X(p)} = \frac{k(T_{oc}p + 1)}{T_p + 1}, \quad W_2 = \frac{Y(p)}{pY(p)} = \frac{1}{p} \quad (3)$$

Trên cơ sở hàm truyền  $W_1(p)$  ta viết phương trình vi phân:

$$(Tp + 1) y(t) = k(T_{oc}p + 1) x(t) \quad (4)$$

Ở đây  $y(t) = py = \frac{dy}{dt}$ . Ta nhân cả hai phần của phương trình (4) với  $T_{oc}$  và phần bên trái thêm  $Ty - Ty$ .

$$\begin{aligned} Ty - Ty + (TT_{oc} + T_{oc})y &= k(T_{oc}p + 1)T_{oc}x \\ (T_{oc} - T)y + (T_{oc}p + 1)T_y &= k(T_{oc}p + 1)T_{oc}x \\ y &= k \frac{T_{oc}}{T} x - \frac{\frac{T_{oc}}{T} - 1}{T_{oc}p + 1} y \end{aligned}$$

Nhưng  $k \frac{T_{oc}}{T} = k_1 k_2, \frac{T_{oc}}{T} - 1 = k_1 k_3 k_4$ . Khi đó:

$$y = k_1 k_2 x - \frac{k_1 k_3 k_4}{T_{oc}p + 1} y \quad (5)$$

Để chuyển tới các biến của máy ( $u_1, u_2$ ) ta sử dụng các hệ số tỷ lệ (xem bài 471).

$$y = m_y u_2, x = m_x u_1, t = m_t t_M, m_t = 1 \quad (6)$$

Nếu thế (6) vào (5) ta có:

$$u_2 = \frac{m_x}{m_y} k_1 k_2 u_1 - \frac{k_1 k_3 k_4}{T_{oc}p + 1} u_2 \quad (7)$$

Trên cơ sở phương trình vi phân (7) ta lập sơ đồ mô hình (hình 340), mà phương trình của nó có dạng:

$$u_2 = \frac{R_4}{R_1} u_1 - \frac{R_4 R_5}{R_2 R_3 (C R_5 p + 1)} u_2 \quad (8)$$

Từ so sánh các phương trình (7) và (8) ta có:

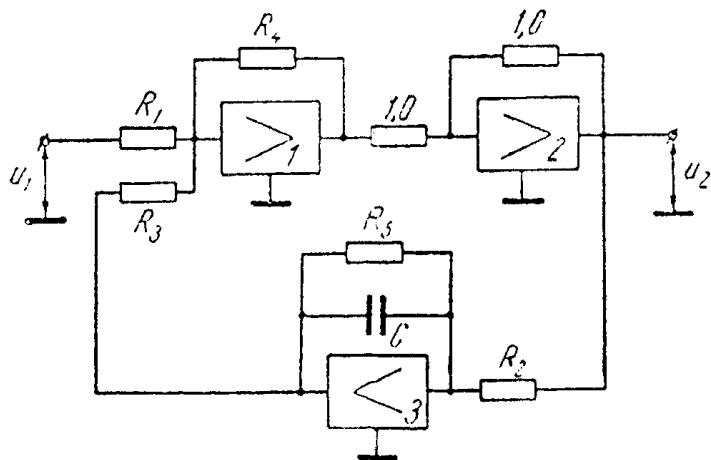
$$\left. \begin{aligned} \frac{R_4}{R_1} &= \frac{m_x}{m_y} k_1 k_2 = \frac{m_x}{m_y} 50 \times 0,667, \\ \frac{R_4 R_5}{R_2 R_3} &= k_1 k_3 k_4 = 50 \times 0,5 \times 4 = 100 \\ CR_5 &= T_{oc} = 0,1 \text{ s} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Nếu chọn các hệ số tỷ lệ  $m_y = 66,7 \text{ cmV}^{-1}\text{s}^{-1}$ ,  $m_x = 10 \text{ cmV}^{-1}$ . ta có:

$$\begin{aligned} \frac{R_4}{R_1} &= \frac{m_x}{m_y} 50 \times 0,667 = \\ &= \frac{10}{66,7} 50 \times 0,667 = 5 \quad (10) \end{aligned}$$

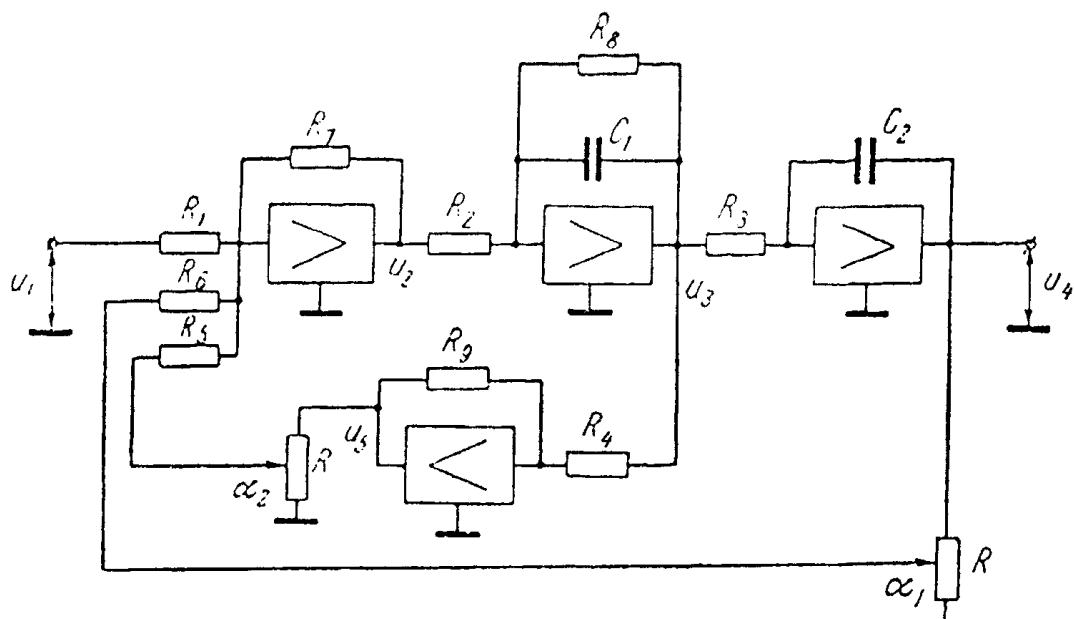
Trên cơ sở các biểu thức (9) và (10) ta chọn  $R_1 = 20 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = R_3 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_4 = R_5 = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $C = 1 \mu\text{F}$ .

Nếu nối với đầu ra của sơ đồ mô hình được biểu diễn trên hình 340, bộ tích phân (mục 8, phụ lục 33) với hệ số truyền  $k_5 = 1 \text{ s}^{-1}$  ta thu được sơ đồ cần tìm của mô hình thiết bị thừa hành thuỷ lực.



Hình 340. Sơ đồ mô hình cho bài 476.

477. Hãy lập phương trình vi phân của mô hình mà sơ đồ của nó được biểu diễn trên hình 341, ở đây R - các cái chiết áp là các khối một loại của các bộ chia điện áp có các hệ số  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  (xem bài 475). Đại lượng đầu ra là điện áp  $u_4$ , còn đầu vào là  $u_1$ .



Hình 341. Sơ đồ mô hình cho bài 477.

*Bài giải.* Ta ký hiệu các điện áp đầu ra của mỗi bộ khuếch đại chức năng ( $u_1 - u_5$ ) ta lập hệ các phương trình:

$$u_2 = -R \left( \frac{u_1}{R_1} + \frac{\alpha_1 u_4}{R_6} + \frac{\alpha_2 u_5}{R_5} \right) \quad (1)$$

$$u_3 = -\frac{1}{C_1 p} \left( \frac{u_u}{R_2} + \frac{u_3}{R_8} \right) \quad (2)$$

$$u_4 = -\frac{1}{C_2 p} \cdot \frac{u_3}{R_3} \quad (3)$$

$$u_5 = -R_9 \frac{u_3}{R_4}. \quad (4)$$

Nếu ta loại các biến  $u_2, u_3, u_5$ . Vì vậy ta biểu diễn qua  $u_4$  từ phương trình (3) và thế vào các phương trình (2) và (4) ở kết quả ta có:

$$u_2 = C_1 C_2 R_2 R_3 p^2 u_4 + C_2 \frac{R_2 R_3}{R_8},$$

$$u_3 = C_2 \frac{R_3 R_9}{R_4} pu_4.$$

Nếu thế các biểu thức thu được đổi với  $u_2$  và  $u_5$  vào phương trình (1) và biến đổi ta thu được phương trình vi phân cần tìm của mô hình:

$$(a_0 p^2 + a_1 p + a_2) u_4(t) = -b_0 u_1(t),$$

$$\text{Ở đây } \alpha_0 = C_1 C_2 R_2 R_3; \alpha_1 = C_2 \left( \frac{R_2 R_3}{R_8} + \frac{\alpha_2 R_3 R_7 R_9}{R_4 R_5} \right); \alpha_2 = \frac{\alpha_1 R_7}{R_6}; b_0 = \frac{R_7}{R_1}$$

478. Hãy tìm giá trị thiết lập của đại lượng đầu ra  $u_4(t)$  của mô hình mà sơ đồ của nó được biểu diễn trên hình 341 còn phương trình vi phân thu được ở bài toán trước, nếu đại lượng đầu vào  $u_1(t) = 10,1(t)$ ,  $R_1 = 1 \text{ M}\Omega$ ,  $R_6 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $\alpha = 0,425$ .

*Đáp số:*  $U_2(\infty) = -2,36$  V.

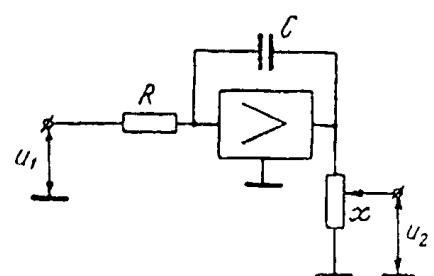
479. Hãy lập sơ đồ mô hình của khâu tích phân lý tưởng có hàm truyền  $W(p) = k/p$ ,  $k = 14 \text{ s}^{-1}$ .

*Bài giải:* Khâu này chọn theo sơ đồ hình 342 được lập (xem lời giải bài 477):

$$u_2 = -\frac{\alpha}{RC_p} u_1,$$

Suy ra:  $K = -\frac{\alpha}{RC}$

Giả sử  $C = 1 \mu\text{F}$  và  $R = 0,02 \text{ M}\Omega$ , khi đó



**Hình 342.** Sơ đồ mô hình của khâu tích phân lý tưởng.

**480.** Hãy lập sơ đồ mô hình của khâu không chu kỳ bậc thứ nhất có hàm truyền  $W(p) = \frac{k}{Tp + 1}$ ,  $k = 29$ ,  $T = 0,24$  s.

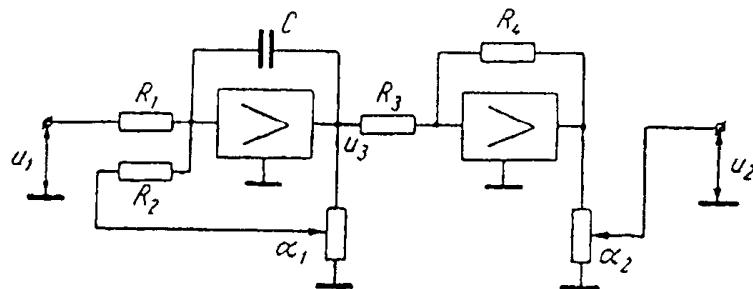
*Bài giải.* Sơ đồ mô hình được biểu diễn trên hình 343. Phương trình mô hình được lập (xem lời giải bài 477 có dạng:

$$\left( \frac{R_2 C}{\alpha_1} p + 1 \right) u_2 = \frac{R_2 R_4 \alpha_2}{R_1 R_3 \alpha_1} u_1,$$

Suy ra:

$$T = \frac{R_2 C}{\alpha_1}, k = \frac{R_2 R_4 \alpha_2}{R_1 R_3 \alpha_1}. \quad (1)$$

Các biểu thức (1) cho phép chọn các thông số của sơ đồ trên hình 343:  $R_1 = R_2 = 0,1 M\Omega$ ,  $R_3 = 0,02 M\Omega$ ,  $R_4 = 1 M\Omega$ ,  $C = 1 \mu F$ ,  $\alpha_1 = 0,417$ ,  $\alpha_2 = 0,242$ .



**Hình 343.** Sơ đồ mô hình của khâu không chu kỳ bậc thứ nhất.

**481.** Hãy lập sơ đồ mô hình khâu không chu kỳ bậc thứ nhất có hàm truyền  $W(p) = \frac{k}{Tp + 1}$ ,  $k = 0,83$ ,  $T = 9$  s.

*Đáp số:* Sơ đồ mô hình được biểu diễn trên hình 343,  $R_1 = R_2 = R_3 = 1 M\Omega$ ,  $R_4 = 0,1 M\Omega$ ,  $C = 1 \mu F$ ,  $\alpha_1 = 0,111$ ,  $\alpha_2 = 0,92$  (xem bài 480).

**482.** Hãy lập sơ đồ mô hình khâu bảo toàn có hàm số truyền  $W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 1} = 7$ ;

$$T = 0,34 \text{ s.}$$

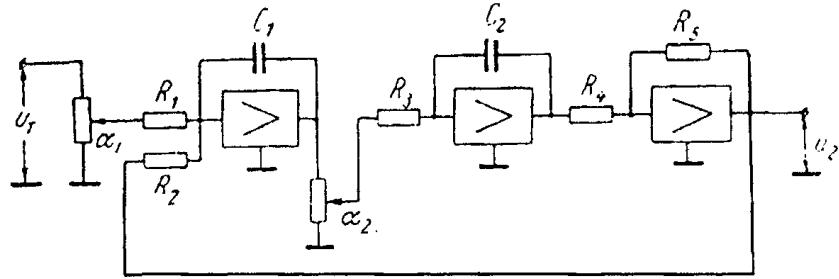
*Bài giải.* Sơ đồ mô hình được biểu diễn trên hình 344. Phương trình của mô hình được lập (xem lời giải bài 477).

Có dạng:

$$\left( \frac{R_2 R_3 R_4 C_1 C_2}{R_5 \alpha_2} p^2 + 1 \right) u_2(t) = - \frac{R_2 \alpha_1}{R_1} u_1(t), \quad (1)$$

$$T = \sqrt{\frac{R_2 R_3 R_4 C_1 C_2}{R_5 \alpha_2}}, k = - \frac{R_2 \alpha_1}{R_1} \quad (2)$$

Các biểu thức (2) cho phép chọn các thông số của sơ đồ trên hình 344,  $R_1 = R_2 = 0,1 \mu\Omega$ ,  $R_3 = R_4 = R_5 = 1 \mu\Omega$ ,  $C_2 = C_1 = 1 \mu F$ ,  $\alpha_1 = 0,700$ ,  $\alpha_2 = 0,863$ .



Hình 344. Sơ đồ mô hình khâu bảo toàn.

483. Hãy lập sơ đồ mô hình khâu bảo toàn có hàm truyền  $W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 1}$ ,  $k = 1$ ,

$$T = 0,007 \text{ s}.$$

*Bài giải.* Sơ đồ mô hình được biểu diễn trên hình 344 (xem bài 482). Bởi vì tần số góc của các dao động tự do  $p = 1/T = 1/0,007 = 143 \text{ s}^{-1}$  lớn hơn, thì mức độ giải bài toán cần chậm có nghĩa chọn tỷ lệ thời gian  $m_t < 1$ . Để chuyển từ thời gian thực tới thời gian máy  $t_M$  và ngược lại là biểu thức:

$$T = m_t t_M.$$

Khi đó ở phương trình mẫu (1) của bài toán trước thay thời gian thực  $t$  sẽ là thời gian máy  $t_M$  cần thay biểu tượng đạo hàm  $p = \frac{d}{dt}$  - là biểu tượng đạo hàm:

$$P_M = \frac{d}{dt}.$$

Khi đó, nếu thế vào phương trình mô hình (1) của bài toán trước:

$$P_M = m_t \frac{d}{dt} - m_t p,$$

Ta có:

$$\left( \frac{R_2 R_3 R_4 C_1 C_2}{R_5 \alpha_2} m_t^2 p^2 + 1 \right) u_2(t_M) = - \frac{R_2 \alpha_1}{R_1} u_1(t_M),$$

Suy ra:

$$T = m_t \sqrt{\frac{R_2 R_3 R_4 C_1 C_2}{R_5 \alpha_2}}, k = - \frac{R_2 \alpha_1}{R_1} \quad (1)$$

Bởi vì  $k = 1$  thì ta chọn  $R_1 = R_2 = 1 \text{ M}\Omega$ ,  $\alpha_1 = 1$ , có nghĩa sở sơ đồ hình 344 có thể bỏ bộ đo điện áp  $\alpha_1$ . Để chọn tỷ lệ thời gian từ biểu thức thứ nhất (1) ta có:

$$\alpha_2 = \left( \frac{m_t}{T} \right) \frac{R_2 R_3 R_4 C_1 C_2}{R_5}. \quad (2)$$

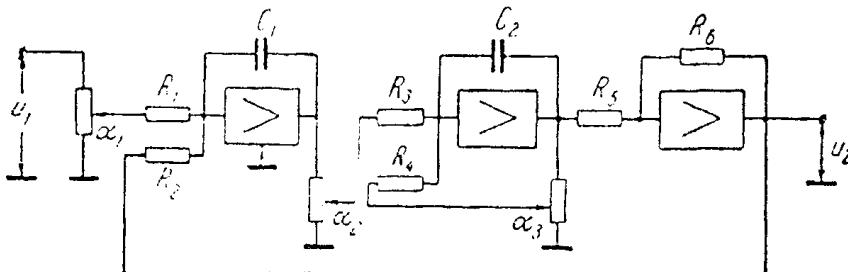
Bởi vì hệ số  $\alpha_2$  cần nhỏ hơn 1 đơn vị, thì khi  $R_5 = R_2 = 1 \text{ M}\Omega$  và  $C_1 = C_2 = 1 \mu\text{F}$  biểu thức (2) cho phép chọn:

$m_t = 0,1$ ,  $R_3 = 0,1 \text{ M}\Omega$ ,  $R_4 = 0,02 \text{ M}\Omega$ ,  $\alpha_2 = 0,408$  hay chính  $m_t = 0,01$ ,  $T_3 = 0,1 \text{ M}\Omega$ ,  $R_4 = 1 \text{ M}\Omega$ ,  $\alpha_2 = 0,204$ .

**484.** Hãy lập sơ đồ mô hình khâu dao động có hàm truyền  $W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1}$ ,

$k = 8$ ,  $T = 0,167s$ ,  $\xi = 0,56$ .

*Bài giải.* Sơ đồ mô hình được biểu diễn trên hình 345.



**Hình 345.** Sơ đồ mẫu của khâu dao động hay khâu không chu kỳ bậc hai.

Phương trình mô hình được lập (xem lời giải bài 477) có dạng:

$$\left( \frac{R_2 R_3 R_5 C_1 C_2}{\alpha_2 R_6} p^2 - \frac{\alpha_3 R_2 R_3 R_5 C_1}{\alpha_2 R_4 R_6} p + 1 \right) u_2 = - \frac{\alpha_1 R_2}{R_1} u_1,$$

Từ đó ta tìm được:

$$T = \sqrt{\frac{R_2 R_3 R_5 C_1 C_2}{\alpha_2 R_6}}, \quad \xi = \frac{\alpha_3 T}{2 R_2 C_2}, \quad k = - \frac{\alpha_1 R_2}{R_1} \quad (1)$$

Các biểu thức (1) cho phép chọn các thông số của sơ đồ trên hình 345,  $R_1 = R_3 = R_4 = R_5 = 0,1 M\Omega$ ,  $R_2 = R_6 = 1 M\Omega$ ,  $C_1 = C_2 = 1 \mu F$ ,  $\alpha_2 = 0,371$ ,  $\alpha_3 = 0,670$ .

**485.** Hãy lập sơ đồ mô hình khâu không chu kỳ thứ hai có hàm truyền:

$$W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1}, \quad \xi = 2,14, \quad k = 4,3, \quad T = 1,2 s.$$

*Đáp số:* Sơ đồ mô hình được biểu diễn trên hình 345,  $R_1 = R_4 = 0,1 M\Omega$ ,  $R_2 = R_3 = R_5 = R_6 = M\Omega$ ,  $C_1 = C_2 = 1 \mu F$ ,  $\alpha_1 = 0,214$ ,  $\alpha_2 = 0,695$ ,  $\alpha_3 = 0,357$  (xem bài trước).

## 20.2. LẬP SƠ ĐỒ ĐỂ MÔ HÌNH HOÁ CÁC PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN VÀ CÁC HỆ TỰ ĐỘNG TRÊN CÁC MÁY TÍNH ĐIỆN TỬ

**486.** Hãy lập sơ đồ mô hình để giải phương trình vi phân tuyến tính:

$$(\alpha_0 p^5 + \alpha_1 p^4 + \alpha_2 p^2 + \alpha_3 p^2 + \alpha_4 p + \alpha_5) y(t) = b_0 g(t).$$

Ở tỷ lệ thực của thời gian và ở các điều kiện không ban đầu.

*Bài giải.* Ta biểu diễn các biến  $y(t)$  và  $g(t)$  của phương trình ban đầu thành các biến tương ứng nhờ công thức:

$$\left. \begin{array}{l} y = m_y u_5 \\ g = m_g u \end{array} \right\} \quad (1)$$

Nếu thế (1) vào phương trình đầu, ta có:

$$(\alpha_0 p^5 + \alpha_1 p^4 + \alpha_2 p^3 + \alpha_3 p^2 + \alpha_4 p + \alpha_5) u_5(t) = \frac{m_g}{m_y} b_0 g(t) \quad (2)$$

Ta giải phương trình (2) đối với đạo hàm cũ:

$$\begin{aligned} P^5 u_5(t) &= \frac{\alpha_1}{\alpha_2} p^4 u_5 - \frac{\alpha_2}{\alpha_0} p^3 u_5 - \frac{\alpha_3}{\alpha_0} p^2 u_5 - \frac{\alpha_4}{\alpha_0} p u_5 = \\ &= \frac{\alpha_5}{\alpha_0} u_5 + \frac{m_g}{m_y} \frac{b_0}{\alpha_0} u(t) \end{aligned} \quad (3)$$

Theo phương trình (3) ta lập sơ đồ mô hình (hình 346). Sơ đồ mô hình được lập trên cơ sở sau:

Theo phương trình (3) đạo hàm cao (năm) của biến  $u_5$  bằng tổng các số hạng tỷ lệ đạo hàm thấp và chính biến  $u_5$  lấy các dấu ngược và đại lượng đầu vào  $u$ . Ta giả thiết rằng ở điểm B hay ở điểm tổng tất cả các biến có đạo hàm cao ( $p^5 u_5$ ). Khi đó, nếu mắc tuần tự các bộ tích phân 1 - 5 ở các đầu ra của chúng sẽ thu được các điện áp tỷ lệ với đạo hàm thấp tương ứng và chính biến. Nếu cho rằng các bộ khuếch đại chức năng thay đổi dấu tín hiệu đầu vào thì cần thiết mắc vào bộ tổng 6 đối với sự thay đổi dấu các điện áp tỷ lệ với các đạo hàm dương  $p^3 u_5$  và  $p u_5$ , lấy từ các bộ tích phân chẵn (2 và 4) bộ tích phân 1 đồng thời thực hiện cả chức năng hàm tổng.

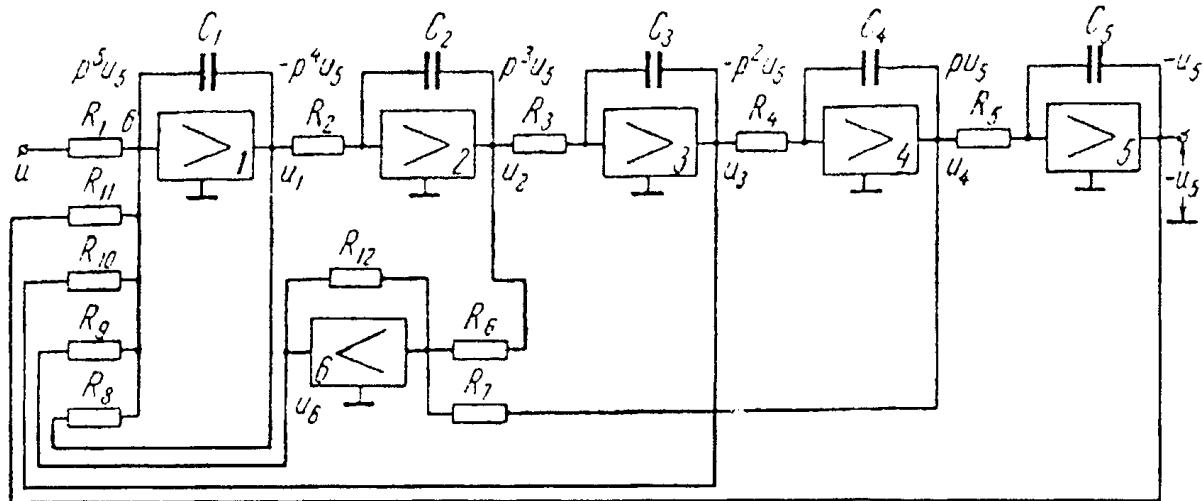
Để xác định các thông số của mô hình (các trở điện của các điện trở  $R_1 - R_{12}$  và các điện dung tụ điện  $C_1 - C_5$ ) ta tìm phương trình mô hình. Do đó ta lập hệ các phương trình:

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= -\frac{1}{C_1 p} \left( \frac{u}{R_1} + \frac{u_5}{R_{11}} + \frac{u_3}{R_{10}} + \frac{u_6}{R_9} + \frac{u_1}{R_8} \right), \\ u_2 &= -\frac{1}{C_2 p} \frac{u_1}{R_2}, \\ u_3 &= -\frac{1}{C_3 p} \frac{u}{R_3}, \\ u_4 &= -\frac{1}{C_4 p} \frac{u_3}{R_4}, \\ u_5 &= -\frac{1}{C_5 p} \frac{u_4}{R_5}, \\ u_6 &= -R_{12} \left( \frac{u_2}{R_6} + \frac{u_4}{R_7} \right). \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Nếu giải hệ phương trình (4) đối với biến cần tìm  $u_5$  ta thu được phương trình mô hình ở dạng:

$$\begin{aligned} &C_1 C_2 C_3 C_4 C_5 R_8 R_2 R_3 R_4 R_5 p^5 + C_2 C_3 C_4 C_5 R_2 R_3 R_4 R_5 p^4 + \\ &+ \frac{R_8}{R_9} \cdot \frac{R_{12}}{R_6} C_3 C_4 C_5 R_3 R_4 R_5 p^5 + \frac{R_8}{R_{10}} C_4 C_5 R_4 R_5 p^2 + \\ &+ \frac{R_8}{R_9} \cdot \frac{R_{12}}{R_7} C_5 R_5 p + \frac{R_8}{R_{11}} u_5(t) = -\frac{R_8}{R_1} u(t) \end{aligned} \quad (5)$$

Dấu trừ ở phần bên phải phương trình (5) xuất hiện do khi mô hình hoá ta sử dụng số liệu các bộ khuếch đại chức năng (năm) được mắc vào mạch trực tiếp. Để phương trình (5) hoàn toàn tương ứng phương trình ban đầu đại lượng đầu vào là điện áp  $u$  - cần tới đầu vào của mô hình qua thiết bị đảo mạch, mà sơ đồ của nó có ở phụ lục 33.



Hình 346. Sơ đồ mô hình cho bài 486.

Nếu so sánh các hệ số ở các biến và các đạo hàm của phương trình (5) với các hệ số tương ứng của phương trình (2) ta có:

$$\left. \begin{aligned} & C_1 C_2 C_3 C_4 C_5 R_8 R_2 R_3 R_4 R_5 = \alpha_0, \\ & C_2 C_3 C_4 C_5 R_2 R_3 R_4 R_5 = \alpha_1, \\ & \frac{R_8}{R_9} \frac{R_{12}}{R_6} C_3 C_4 C_5 R_3 R_4 R_5 = \alpha_2, \\ & \frac{R_8}{R_{10}} C_4 C_5 R_4 R_5 = \alpha_3, \\ & \frac{R_8}{R_9} \frac{R_{12}}{R_7} C_5 R_5 = \alpha_4, \\ & \frac{R_8}{R_{11}} = \alpha_5, \\ & \frac{R_8}{R_1} = \frac{m_x}{m_y} b_0. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Sau khi chọn các hệ số tỷ lệ, các phương trình (6) cho phép tuỳ ý chọn các thông số của mô hình ở các giá trị các hệ số đã biết của phương trình ban đầu.

**487.** Các thông số của mô hình trên hình 346, thay đổi thế nào, nếu phương trình vi phân từ điều kiện bài toán trước giải ở mức độ chậm hay nhanh?

*Bài giải.* Để chuyển từ thời gian thực  $t$  tới thời gian máy  $t_M$  và lấy ngược lại phương trình:

$$t = m_t t_M, \quad (1)$$

Ở đây  $m_t$  - tỷ lệ thời gian khi  $m_t > 1$  mức độ giải của bài toán nhanh còn khi  $m_t < 1$  - chậm hơn.

Khi chọn  $m_t \neq 1$  mức độ xảy ra các quá trình được biểu diễn bởi phương trình vi phân ban đầu, có nghĩa ở phương trình mô hình (5) của bài toán trước thay thời gian thực  $t$  sẽ là thời gian máy  $t_M$ , còn thay biểu tượng đạo hàm  $p = \frac{d}{dt}$  - bằng biểu tượng đạo hàm  $p_M = \frac{d}{dt_M}$ .

Khi đó, nếu thế vào phương trình (5) của bài toán trước:

$$P_M = m_t \frac{d}{dt} = m_t p,$$

Ta có:

$$\begin{aligned} & (C_1 C_2 C_3 C_4 C_5 + R_8 R_3 R_4 R_5 m_t p^5 + C_2 C_3 C_4 C_5 R_2 R_3 R_4 R_5 m_t^4 p^4 + \\ & + \frac{R_8}{R_9} \frac{R_{12}}{R_6} C_3 C_4 C_5 R_3 R_4 R_5 m_t^3 p^3 + \frac{R_8}{R_{10}} C_4 C_5 R_4 R_5 m_t^2 p^2 + \\ & + \frac{R_8}{R_9} \frac{R_{12}}{R_7} C_5 R_5 m_t p + \frac{R_8}{R_{11}}) u_5^{TM} = - \frac{R_8}{R_1} u(t_M). \end{aligned}$$

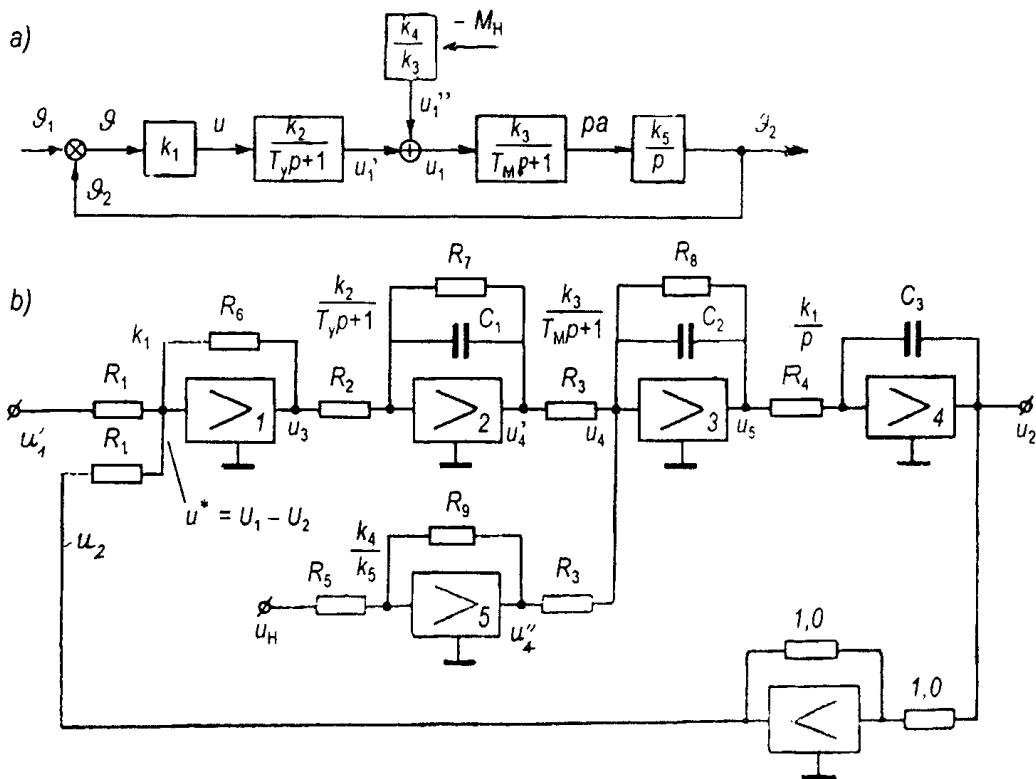
Từ so sánh các hệ số ở các biến và các đạo hàm của chúng của phương trình thu được với các hệ số tương ứng của phương trình (2) của bài toán trước có dạng:

$$\left. \begin{aligned} & C_1 C_2 + C_3 C_4 C_5 R_1 R_2 R_3 R_4 R_5 = \alpha_0 m_t^{-5}, \\ & C_2 C_3 C_4 C_5 R_2 R_3 R_4 R_5 = \alpha_1 m_t^{-4}, \\ & \frac{R_8}{R_9} \frac{R_{12}}{R_6} C_3 C_4 C_5 R_3 R_4 R_5 = \alpha_2 m_t^{-3}, \\ & \frac{R_8}{R_{10}} C_4 C_5 R_4 R_5 = \alpha_3 m_t^{-2}, \\ & \frac{R_8}{R_9} \frac{R_{12}}{R_7} C_5 R_5 = \alpha_4 m_t^{-1}, \\ & \frac{R_8}{R_{11}} = \alpha_0. \\ & \frac{R_8}{R_1} = - \frac{m_p}{m_y} b_0. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Từ các biểu thức thu được rõ ràng rằng khi giải bài toán ở mức độ chậm ( $m_t < 1$ ) các giá trị các tụ điện  $C_1 - C_5$  của mẫu trên hình 346 cần thiết tăng, còn ở mức độ tăng tốc ( $m_t > 1$ ) thì  $C_1 - C_5$  giảm.

**488.** Ở dạng tổng quát hãy lập sơ đồ mô hình của hệ theo dõi, mà sơ đồ nguyên lý và sơ đồ cấu tạo của nó được biểu diễn trên hình 22, còn các thông số và các phương trình của các khâu riêng biệt cho ở điều kiện bài 38.

Ta biến đổi sơ đồ cấu tạo của hệ theo dõi (hình 22b). Ta chuyển bộ tổng 1 tới đầu vào của khâu trước và ta biến đổi hai khâu cuối cùng của mạch trực tiếp ở kết quả ta thu được sơ đồ cấu tạo đưa ra trên hình 347a.



Hình 347. Sơ đồ cấu tạo (a) và sơ đồ mô hình (b) của hệ theo dõi.

Ở hệ theo dõi này ta chia ra ba đại lượng vật lý: góc quay, mômen tải và điện áp. Các tỷ lệ đối với thời gian  $m_g$  và đối với điện áp  $m_u$  ta cho bằng 1 đơn vị các tỷ lệ theo góc và mômen sẽ chọn từ các biểu thức:

$$\left. \begin{aligned} M_H &= m_M u_H \\ \vartheta &= m_g u \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Để chuyển từ sơ đồ cấu trúc của hệ theo dõi (hình 347a) tới sơ đồ mô hình ta sử dụng các mô hình các phân tử các sơ đồ cấu tạo của các hệ tự động (phụ lục 33). Ở kết quả thay các phân tử của sơ đồ cấu trúc (hình 347a) bằng các phân tử tương ứng của mô hình (phụ lục 33) ta thu được sơ đồ mô hình hệ theo dõi (hình 347b). Trên cơ sở các tỷ lệ lấy trên sơ đồ ta ký hiệu các mô hình tương ứng sơ đồ cấu tạo của hệ theo dõi của các giá trị điện áp:

$$\begin{aligned} u_1'' &= \frac{1}{m_g} \vartheta_1; \quad u_2'' = \frac{1}{m_g} \vartheta_2; \quad u^* = u_1 - u_2; \quad u_H = \frac{1}{m_M} M_H; \\ u_3 &= u, \quad u_4' = u_R; \quad u_4'' = u_1'; \quad u_4 = u_1; \quad u_5 = \frac{1}{m_g} pa \end{aligned} \quad (2)$$

Theo các công thức của phụ lục 33 ta xác định:

$$\left. \begin{aligned} \frac{R_6}{R} &= k_1 & \frac{R_1}{R_2} &= k_2 & C_1 R_7 &= T_y & \frac{R_8}{R_3} &= k_3, \\ C_2 R_8 &= T_M, & \frac{1}{C_3 R_4} &= k_5 & \frac{R_9}{R_5} &= \frac{m_M}{m_g} \cdot \frac{k_4}{k_3} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

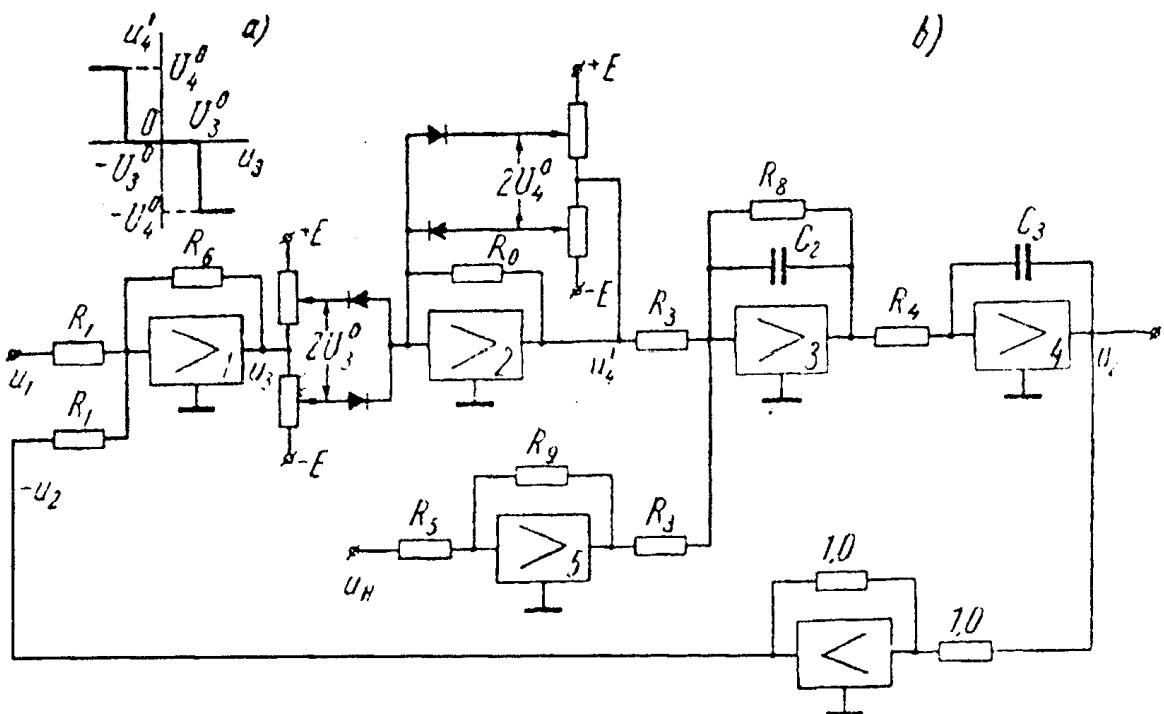
Ở các giá trị số các thông số đã biết của hệ theo dõi và khi chọn các hệ số tỷ lệ của công thức (3) cho phép chọn các thông số mô hình (các trở điện của các điện trở  $R_1 - R_9$  và các điện dung tụ điện  $C_1 - C_3$ ), khi đó bằng cách thay đổi giá trị các hệ số tỷ lệ ở các giới hạn cho phép ta làm dễ bài toán chọn các thông số mô hình.

**489.** Hãy lập phương trình mô hình được biểu diễn trên hình 347b đối với giá trị đầu ra  $u_2$  theo các đại lượng đầu vào  $u_1^*$  và  $u_H$  có tính đến các hệ số tỷ lệ được lấy khi giải bài toán trước.

**Đáp số:**

$$\begin{aligned} & \left[ (C_1 R_7 p + 1)(C_2 R_8 p + 1)p + \frac{R_6 R_7 R_8}{R_1 R_2 R_3 C_3 R_4} \right] u_2(t) = \\ & = \frac{R_6 R_7 R_8}{R_1 R_2 R_3 C_3 R_4} u_1^*(t) - \frac{m_M R_8 R_9}{m_9 R_5 R_3 C_3 R_4} (C_1 R_7 p + 1) u_H(t) \end{aligned}$$

**490.** Ở dạng tổng quát hãy lập sơ đồ theo dõi rеле latching với hệ theo dõi, mà sơ đồ của nó được biểu diễn trên hình 22 thay bộ khuếch đại tuyến tính bằng bộ khuếch đại rеле có đặc tính và các phương trình của tất cả các khâu tuyến tính còn lại ở điều kiện bài toán 38.

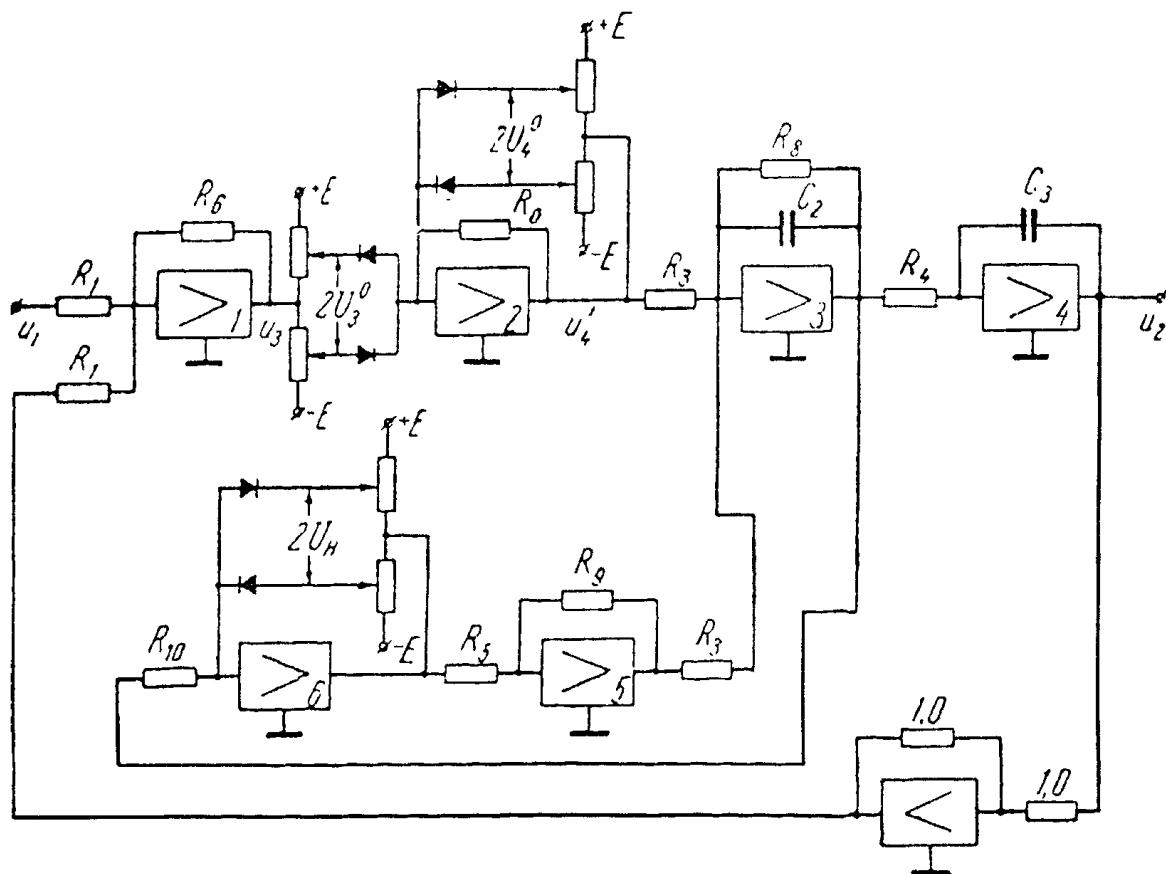


Hình 348. Đặc tính tĩnh (a) và sơ đồ mô hình (b) cho bài 490.

**Đáp số:** Sơ đồ mô hình của hệ theo dõi rеле được biểu diễn trên hình 348b. Sơ đồ mô hình của bộ khuếch đại rеле lấy từ phụ lục 34. Khi đó ta lấy  $U_3 = U_4 = U^0_3$ ,  $U_5 = U_6 = U^0_4$ . Chọn các hệ số tỷ lệ và các thông số của các phân tử tuyến tính của mô hình được đưa ra trong lời giải bài toán trước.

**491.** Ở dạng tổng quát hãy lập sơ đồ mô hình của hệ theo dõi phi tuyến khác với hệ theo dõi mà sơ đồ của nó được biểu diễn trên hình 22 bằng cách thay thế bộ khuếch đại tuyến tính bằng bộ khuếch đại role có đặc tính tĩnh được biểu diễn trên hình 348a. Ngoài ra, cần thiết tính mômen phụ tải  $M_H$  từ lực ma sát khô  $M_H = M^0_H \operatorname{sign}\Omega$  (xem hình 337b). Các thông số và các phương trình các khâu tuyến tính cho ở điều kiện bài 38.

**Đáp số:** Sơ đồ mô hình của hệ theo dõi phi tuyến có bộ khuếch đại role và có tính đến ảnh hưởng của mômen tải từ lực ma sát khô được biểu diễn trên hình 349, xem bài 474 và 490.



**Hình 349.** Sơ đồ mô hình cho bài 491.

## PHỤ LỤC

### 1. Biểu diễn các hàm thời gian theo Laplace và Carson - Hevisaid

*Bảng P.1*

TT	Nguyên gốc	Biểu diễn Laplace	Biểu diễn Karson-Hevisaid
1	$1(t)$	$\frac{1}{p}$	1
2	$t^n$	$\frac{n!}{p^{n+1}}$	$\frac{n!}{p^n}$
3	$e^{-\alpha t}$	$\frac{1}{p + \alpha}$	$\frac{p}{p + \alpha}$
4	$\frac{1}{\alpha} (1 - e^{-\alpha t})$	$\frac{1}{p(p + \alpha)}$	$\frac{1}{p + \alpha}$
5	$\frac{e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}}{\beta - \alpha}$	$\frac{1}{(p + \alpha)(p + \beta)}$	$\frac{p}{(p + \alpha)(p + \beta)}$
6	$\frac{(\delta - \alpha)e^{-\alpha t} - (\delta - \beta)e^{-\beta t}}{\beta - \alpha}$	$\frac{p + \delta}{(p + \alpha)(p + \beta)}$	$\frac{p(p + \delta)}{(p + \alpha)(p + \beta)}$
7	$\frac{1}{\alpha\beta} + \frac{\beta e^{-\alpha t} - \alpha e^{-\beta t}}{\alpha\beta(\beta - \alpha)}$	$\frac{1}{p(p + \alpha)(p + \beta)}$	$\frac{1}{(p + \alpha)(p + \beta)}$
8	$\frac{\delta}{\alpha\beta} + \frac{\delta - \alpha}{\alpha(\alpha - \beta)} \cdot e^{-\alpha t} + \frac{\delta - \beta}{\beta(\beta - \alpha)} \cdot e^{-\beta t}$	$\frac{p + \delta}{p(p + \alpha)(p + \beta)}$	$\frac{p + \delta}{(p + \alpha)(p + \beta)}$
9	$\frac{1}{\lambda} \sin \lambda t$	$\frac{1}{p^2 + \lambda^2}$	$\frac{p}{p^2 + \lambda^2}$
10	$\frac{\sqrt{\delta^2 + \lambda^2}}{\lambda} \sin(\lambda t + \varphi)$ $\varphi = \arctg \frac{\lambda}{\delta}$	$\frac{p + \delta}{p^2 + \lambda^2}$	$\frac{p(p + \delta)}{p^2 + \lambda^2}$

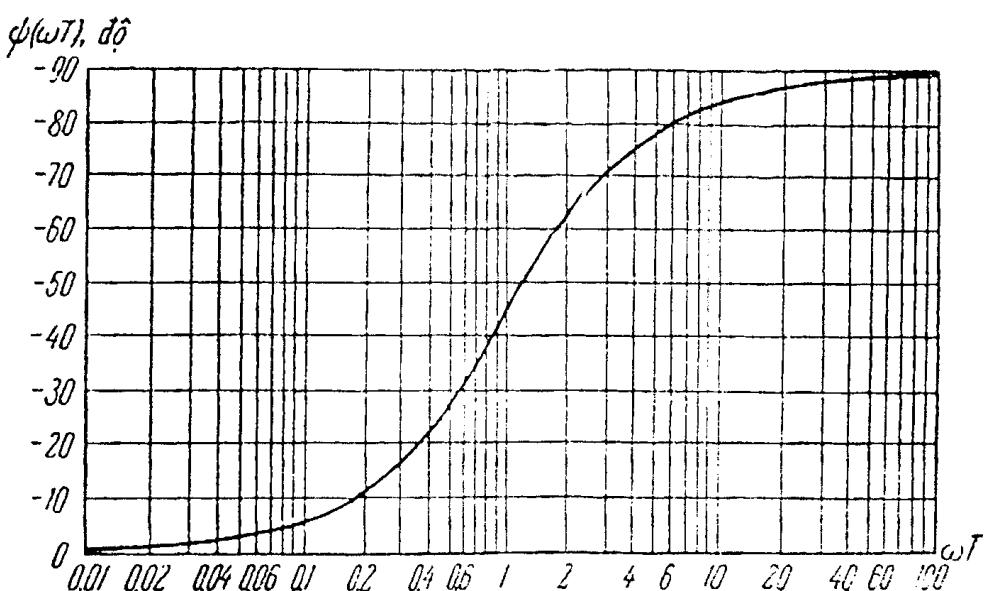
Bảng P.I (tiếp theo)

TT	Nguyên gốc	Biểu diễn Laplace	Biểu diễn Karson-Hevisaid
11	$\frac{1}{\lambda} e^{-\gamma t} \sin \lambda t$	$\frac{1}{(p + \gamma)^2 + \lambda^2}$	$\frac{p}{(p + \gamma)^2 + \lambda^2}$
12	$\frac{1}{\lambda} \sqrt{(\delta - \gamma)^2 + \lambda^2} \cdot e^{-\gamma t} \sin(\lambda t + \varphi)$ $\varphi = \arctg \frac{\lambda}{\delta - \gamma}$	$\frac{p + \delta}{(p + \gamma)^2 + \lambda^2}$	$\frac{p}{(p + \gamma)^2 + \lambda^2}$
13	$\frac{1}{\gamma^2 + \lambda^2} + \frac{1}{\lambda \sqrt{\gamma^2 + \lambda^2}} \cdot e^{-\gamma t} \sin(\lambda t - \varphi)$ $\varphi = \arctg \frac{1}{-\lambda}$	$\frac{1}{p[(p + \gamma)^2 + \lambda^2]}$	$\frac{1}{(p + \gamma)^2 + \lambda^2}$
14	$\frac{\delta}{\gamma^2 + \lambda^2} + \frac{1}{\lambda \sqrt{\gamma^2 + \lambda^2}} \times$ $\times \sqrt{(\delta - \gamma)^2 + \lambda^2} e^{-\gamma t} \sin(\lambda t + \varphi)$ $\varphi = \arctg \frac{\lambda}{\delta - \lambda} - \arctg \frac{\lambda}{\gamma}$	$\frac{p + \delta}{p [(p + \gamma)^2 + \lambda^2]}$	$\frac{p + \delta}{(p + \gamma)^2 + \lambda^2}$

Biến đổi Z của hàm thời gian

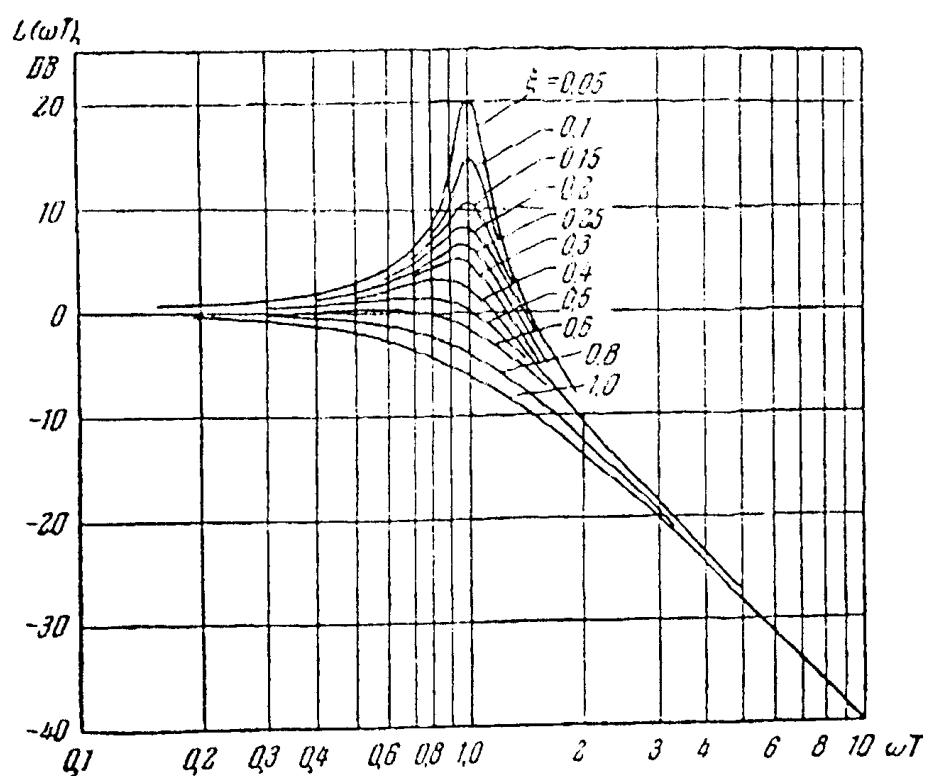
Nº	Nguyên gốc	Biến đổi Laplace (F <sub>L</sub> , (p))	Biến đổi Z F(z)	Biến đổi Z làm biến tính F(z,
1	1 (t)	$\frac{1}{p}$	$\frac{z}{z - 1}$	$\frac{z}{z - 1}$
2	t	$\frac{1}{p^2}$	$\frac{T_0 z}{(z - 1)^2}$	$\frac{T_0^2 z}{(z - 1)^2} + \frac{\sigma T_0 z}{z - 1}$
3	$\frac{1}{2} t^2$	$\frac{1}{p^3}$	$\frac{T_0^2 z (z + 1)}{2(z - 1)^2}$	$\frac{T_0^2 z}{(z - 1)^3} + \frac{(1 + 2\sigma)T_0^2 z}{2(z - 1)^2} + \frac{(\sigma T_0)}{2(z - 1)}$
4	$e^{-at}$	$\frac{1}{p + \alpha}$	$\frac{z}{z - d}, d = e^{\alpha T_0}$	$\frac{z - d^\sigma}{z - d}$
5	$1 - e^{-at}$	$\frac{1}{p(p + \alpha)}$	$\frac{(1 - d) z}{(z - 1)(z - d)}, d = e^{\alpha T_0}$	$\frac{z}{z - 1} - \frac{z - d^\sigma}{z - d}$
6	$\sin \beta t$	$\frac{\beta}{p^2 + \beta^2}$	$\frac{z \sin \beta T_0}{z^2 - 2z \cos \beta T_0 + 1}$	$\frac{z^2 \sin \sigma \beta T_0 + z \sin \delta \beta T_0}{z^2 - 2z \cos \beta T_0 + 1}, \delta =$
7	$\cos \beta t$	$\frac{p}{(p^2 + \beta^2)}$	$\frac{z^2 - z \cos \beta T_0}{z^2 - 2z \cos \beta T_0 + 1}$	$\frac{z^2 \cos \sigma \beta T_0 + z \sin \delta T_0}{z^2 - 2z \cos \beta T_0 + 1}$
8	$e^{-at} \sin \beta t$	$\frac{\beta}{(p + \alpha)^2 + \beta^2}$	$\frac{x d \sin \beta T_0}{z^2 - 2z d \cos \beta T_0 + d^2}$	$zd^\sigma \left\{ \frac{z \sin \sigma \beta T_0 + d \sin \delta \beta T_0}{z^2 - 2zd \cos \beta T_0 + d^2} \right\}$
9	$e^{-at} \cos \beta t$	$\frac{p + \alpha}{(p + \alpha)^2 + \beta^2}$	$\frac{z^2 - z d \cos \beta T_0}{z^2 - 2z d \cos \beta T_0 + d^2}$	$zd^\sigma \left\{ \frac{z \sin \sigma \beta T_0 - d \cos \delta \beta T_0}{z^2 - 2zd \cos \beta T_0 + d^2} \right\}$

3. Đặc tính tần số pha lôgarit tiêu chuẩn của khâu không chu kỳ bậc thứ nhất  
(hình 350)

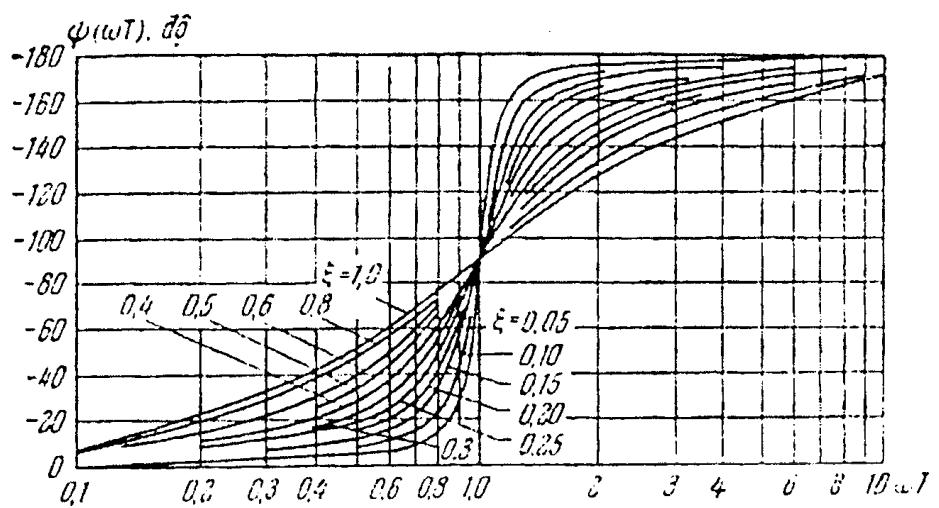


Hình 350

4. Các đặc tính biên độ - pha lôgarit tiêu chuẩn của khâu dao động (hình 351a và hình 351b).

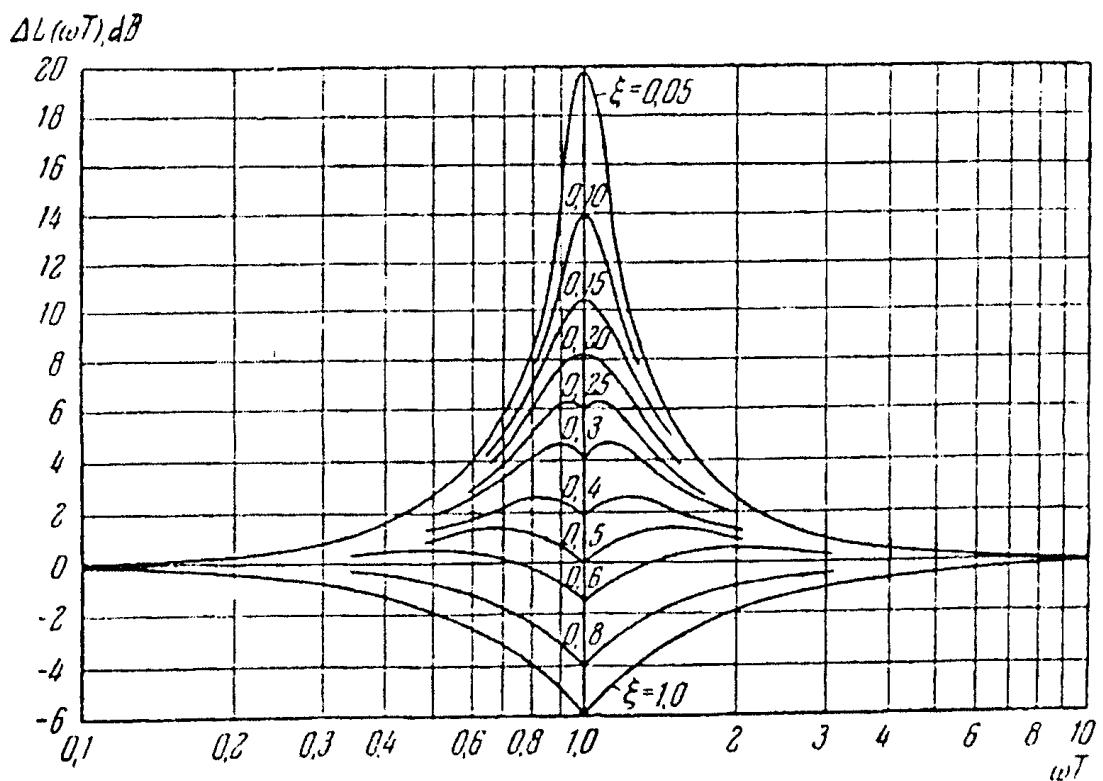


Hình 351a



Hình 351b

### 5. Độ lệch D.B.P tiệm cận của khâu dao động với điểm (hình 352)



Hình 352

### 6. Tiêu chuẩn ổn định Gurvixa

Hệ điều khiển tự động tuyến tính HDT đặc trưng đa thức bằng:

$$D(p) = \alpha_0 p^n + \alpha_1 p^{n-1} + \alpha_2 p^{n-2} + \dots + \alpha_{n-1} p^2 + \alpha_{n-2} p + \alpha_n$$

Và  $\alpha_0 > 0$  ổn định nếu ngoài các điều kiện chính mà trên dương:

$$\Delta_1 = |a_1| > 0,$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} \alpha_1 & \alpha_3 \\ \alpha_0 & \alpha_2 \end{vmatrix} > 0,$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} \alpha_1 & \alpha_3 & \alpha_5 \\ 0 & \alpha_1 & \alpha_3 \end{vmatrix} > 0,$$

$$\Delta_{n-1} = \begin{vmatrix} \alpha_1 & \alpha_3 & \alpha_5 & \dots & 0 \\ \alpha_0 & \alpha_2 & \alpha_4 & \dots & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & \dots & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_{n-1} \end{vmatrix}$$

$$\Delta_n = \alpha_n \cdot \Delta_{n-1} > 0$$

Biểu thức cuối cùng dẫn tới bất đẳng thức  $a_n > 0$  bởi vì định thức trước  $\Delta_{n-1} > 0$ .

Các trường hợp riêng của tiêu chuẩn ổn định Gurvixa.

$$1) D(p) = \alpha_0 p + \alpha_1$$

Các điều kiện ổn định  $\alpha_0 > 0, \alpha_1 > 0$ .

$$3) D(p) = \alpha_0 p^3 + \alpha_1 p^2 + \alpha_2 p + \alpha_3$$

$$\alpha_0 > 0, \alpha_1 > 0, \alpha_2 > 0, \alpha_3 > 0, \alpha_1 \alpha_2 - \alpha_0 \alpha_3 > 0.$$

$$4) D(p) = \alpha_0 p^4 + \alpha_1 p^3 + \alpha_2 p^2 + \alpha_3 p + \alpha_4$$

Các điều kiện ổn định:

$$\alpha_0 > 0, \alpha_1 > 0, \alpha_2 > 0, \alpha_3 > 0, \alpha_4 > 0,$$

$$\alpha_3 (\alpha_1 \alpha_2 - \alpha_0 \alpha_3) - \alpha_4 \alpha_1^2 > 0.$$

$$5) D(p) = \alpha_0 p^5 + \alpha_1 p^4 + \alpha_2 p^3 + \alpha_3 p^2 + \alpha_4 p + \alpha_5$$

Các điều kiện ổn định:

$$\alpha_0 > 0, \alpha_1 > 0, \alpha_2 > 0, \alpha_3 > 0, \alpha_4 > 0, \alpha_5 > 0,$$

$$\alpha_1 \alpha_2 - \alpha_0 \alpha_3 > 0,$$

$$(\alpha_1 \alpha_2 - \alpha_0 \alpha_3) (\alpha_3 \alpha_4 - \alpha_2 \alpha_5) - (\alpha_1 \alpha_4 - \alpha_0 \alpha_5)^2 > 0.$$

$$6) D(p) = \alpha_0 p^6 + \alpha_1 p^5 + \alpha_2 p^4 + \alpha_3 p^3 + \alpha_4 p^2 + \alpha_5 p + \alpha_6$$

Các điều kiện ổn định:

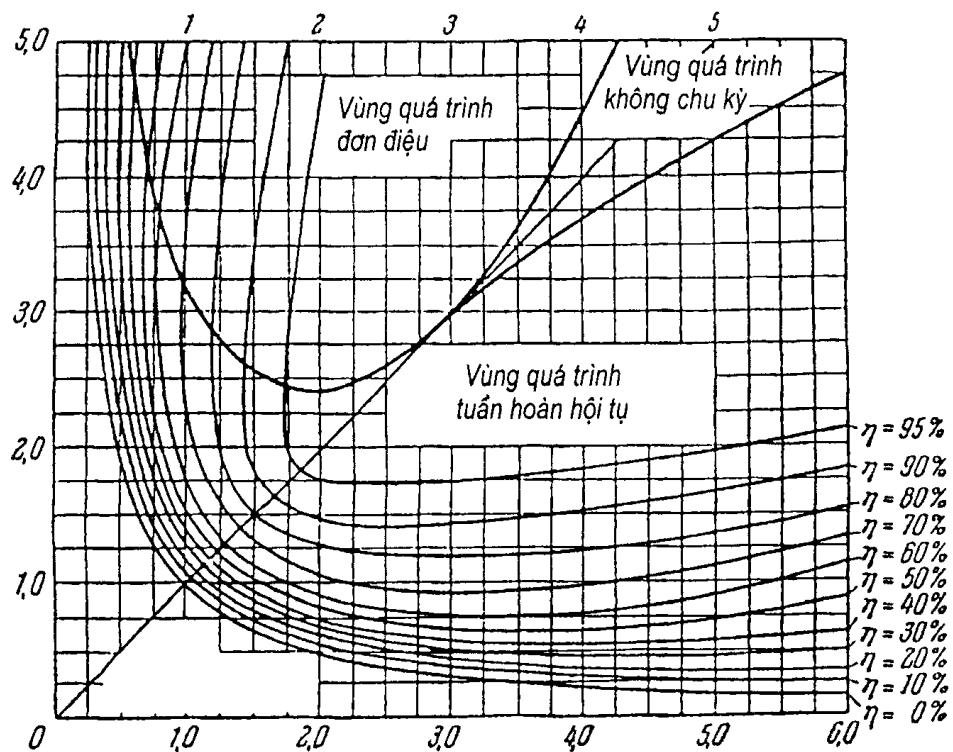
$$\alpha_0 > 0, \alpha_1 > 0, \alpha_2 > 0, \alpha_3 > 0, \alpha_4 > 0, \alpha_5 > 0, \alpha_6 > 0,$$

$$\alpha_3 (\alpha_1 \alpha_2 - \alpha_0 \alpha_3) - \alpha_1 (\alpha_1 \alpha_4 - \alpha_0 \alpha_5) > 0,$$

$$(\alpha_1 \alpha_2 - \alpha_0 \alpha_3) [\alpha_5 (\alpha_4 \alpha_2 - \alpha_2 \alpha_5) + \alpha_6 (2\alpha_1 \alpha_5 - \alpha_3^2)] +$$

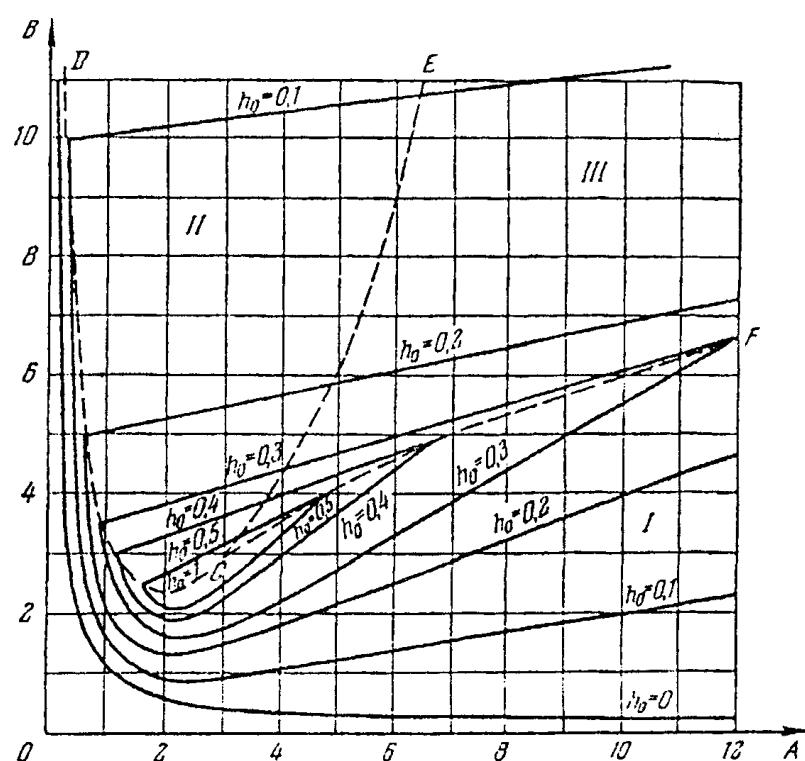
$$+ (\alpha_1 \alpha_4 - \alpha_0 \alpha_5) [\alpha_1 \alpha_3 \alpha_6 - \alpha_5 (\alpha_1 \alpha_4 - \alpha_0 \alpha_5)] - \alpha_1^3 \alpha_6^2 > 0.$$

**7. Đồ thị Vusnhegratki với các đường dao động tắt dần bằng nhau theo phần trăm sau 1 chu kỳ**



Hình 353

**8. Đồ thị Vusnhegratki có các đường bậc ổn định tiêu chuẩn bằng nhau  $h_0 = h \sqrt[3]{\frac{\alpha_0}{\alpha_3}}$**



Hình 354

## 9. Các điều kiện ban đầu tương đương ở hệ điều chỉnh sau tác dụng hàm bậc duy nhất tới nó. Phương trình vi phân của hệ:

$$(\alpha_0 p^n + \alpha_1 p^{n-1} + \dots + \alpha_n) y(t) = (b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m) g(t).$$

Ở đây  $y(t)$  - đại lượng đầu ra,  $g(t)$  tác dụng đầu vào  $y_{-0}, y_{+0}, \dots, y_{-0}^{(n-1)}$  - các điều kiện ban đầu có vị trí trực tiếp trước phụ lục hàm tần số duy nhất;  $y_{+0}, y'_{+0}, \dots, y_{+0}^{(n-1)}$  - các điều kiện ban đầu có vị trí trực tiếp sau phụ lục hàm tần số 1 đơn vị:

$$y_{+0} = y_{-0}, \quad y'_{+0} = y'_{-0} \dots, y_{+0}^{(n-m-1)} = y_{-0}^{(n-m-1)}$$

$$y_{+0}^{(n-m)} = y_{-0}^{(n-m)} + \frac{b_0}{a_0} \cdot 1;$$

$$y_{+0}^{(n-m+1)} = y_{-0}^{(n-m+1)} + \frac{b_1}{a_0} \cdot 1 - \frac{a_1}{a_0} [y_{+0}^{(n-m)} - y_{-0}^{(n-m)}]$$

.....

$$y_{+0}^{(n-m+1)} = y_{-0}^{(n-1)} + \frac{b_{m-1}}{a_0} \cdot 1 - \frac{a_{m-1}}{a_0} [y_{+0}^{(n-m)} - y_{-0}^{(n-m)}] - \dots - \frac{a_1}{a_0} [y_{+0}^{(n-2)} - y_{-0}^{(n-2)}]$$

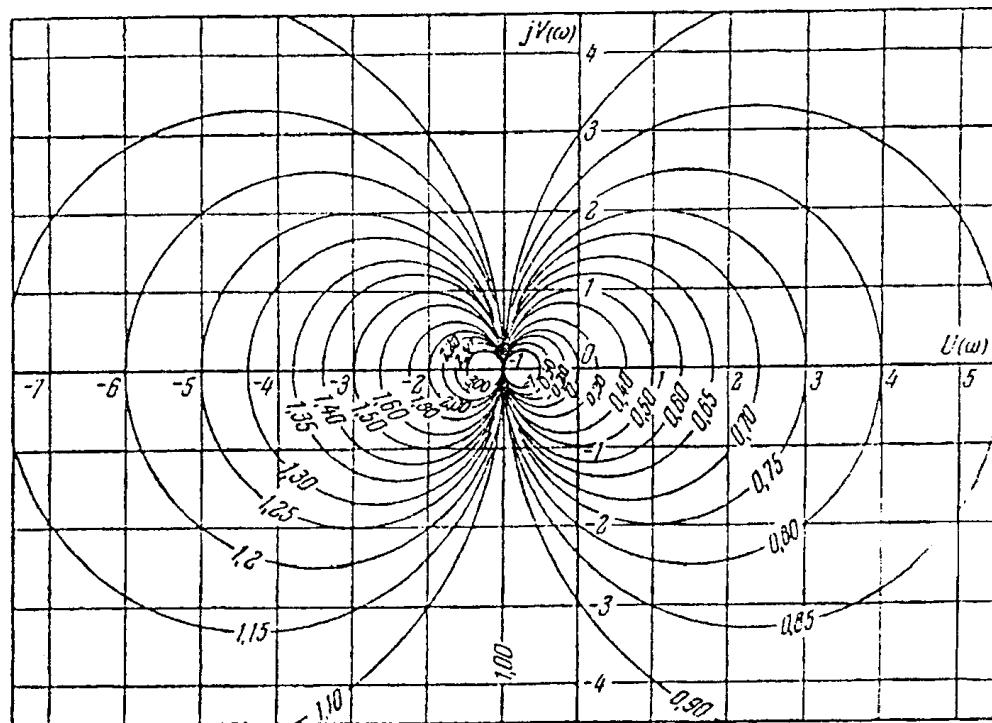
## 10. Các nghiệm của các phương trình vi phân cùng loại bậc nhất thứ hai và thứ ba

Bảng P3

Bậc các phương trình	Các nghiệm thực	Các nghiệm gốc
1	$x = x_{oe} - \alpha_1 t$	-
2	$x = A_1 e^{\alpha_1 t} + A_2 e^{-\alpha_2 t}$ $A_1 = \frac{\alpha_2 x_0}{\alpha_2 - \alpha_1}; \quad A_2 = \frac{\alpha_1 x_0 + v_0}{\alpha_1 - \alpha_2}$	$X = (B \cos \lambda t + C \sin \lambda t) e^{-\lambda t}$ $B = x_0$ $C = \frac{\lambda x_0 + v_0}{\lambda}$
3	$x = A_1 e^{-\alpha_1 t} + A_2 e^{-\alpha_2 t} + A_3 e^{-\alpha_3 t}$ $A_1 = \frac{\alpha_2 \alpha_3 x_0 + (\alpha_1 + \alpha_3) v_0 + \varepsilon_0}{(\alpha_2 - \alpha_1)(\alpha_3 - \alpha_1)}$ $A_2 = \frac{\alpha_1 \alpha_3 x_0 + (\alpha_1 + \alpha_3) v_0 + \varepsilon_0}{(\alpha_1 - \alpha_2)(\alpha_3 - \alpha_2)}$ $A_3 = \frac{\alpha_1 \alpha_2 x_0 + (\alpha_1 + \alpha_2) v_0 + \varepsilon_0}{(\alpha_1 - \alpha_3)(\alpha_2 - \alpha_3)}$	$x = A e^{-\alpha_1 t} + (B \cos \lambda t + C \sin \lambda t) e^{-\lambda t}$ $A = \frac{(\gamma^2 + \lambda^2)x_0 + 2\gamma v_0 + \varepsilon_0}{(\gamma - \alpha_1)^2 + \lambda^2}$ $B = \frac{\alpha_1(\alpha_1 - 2\gamma)x_0 + 2\gamma v_0 - \varepsilon}{(\gamma - \alpha_1)^2 + \lambda^2}$ $C = \frac{\alpha_1(\lambda^2 - \gamma^2 + \gamma \alpha_1)x_0 + (\alpha_1^2 - \gamma^2 + \lambda^2)v_0}{\lambda[(\gamma - \alpha_1)^2 + \lambda^2]}$ $+ \frac{(\alpha_1 - \gamma)v_0}{\lambda[(\gamma - \alpha_1)^2 + \lambda^2]}$

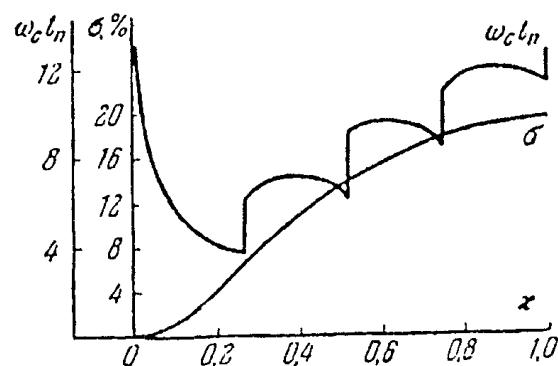
*Chú thích:* Ở đây  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  - các giá trị tuyệt đối của các nghiệm thực không chia chẵn  $\gamma$  và  $\lambda$  - các giá trị tuyệt đối của phần thực và phần ảo của các nghiệm phức;  $x_0$  - giá trị ban đầu của hàm nghiên cứu;  $v_0 = x'(0)$  và  $\varepsilon_0 x''(0)$  - các giá trị ban đầu của tốc độ và gia tốc hàm nghiên cứu.

### 11. Đồ thị để xây dựng đặc tính tần số thực của hệ kín theo đặc tính biên độ pha của hệ hở (đồ thị tròn thực)



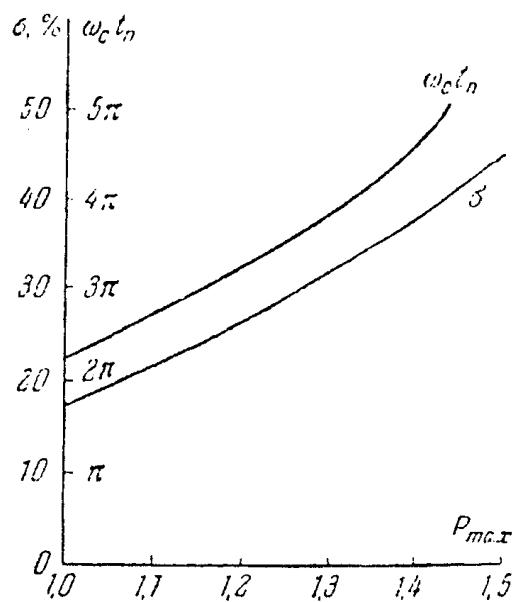
Hình 355

### 12. Các đường cong để xác định thời gian của quá trình chuyển tiếp và điều chỉnh lại theo hệ số góc của đặc tính tần số thực hình thang (hình 356)



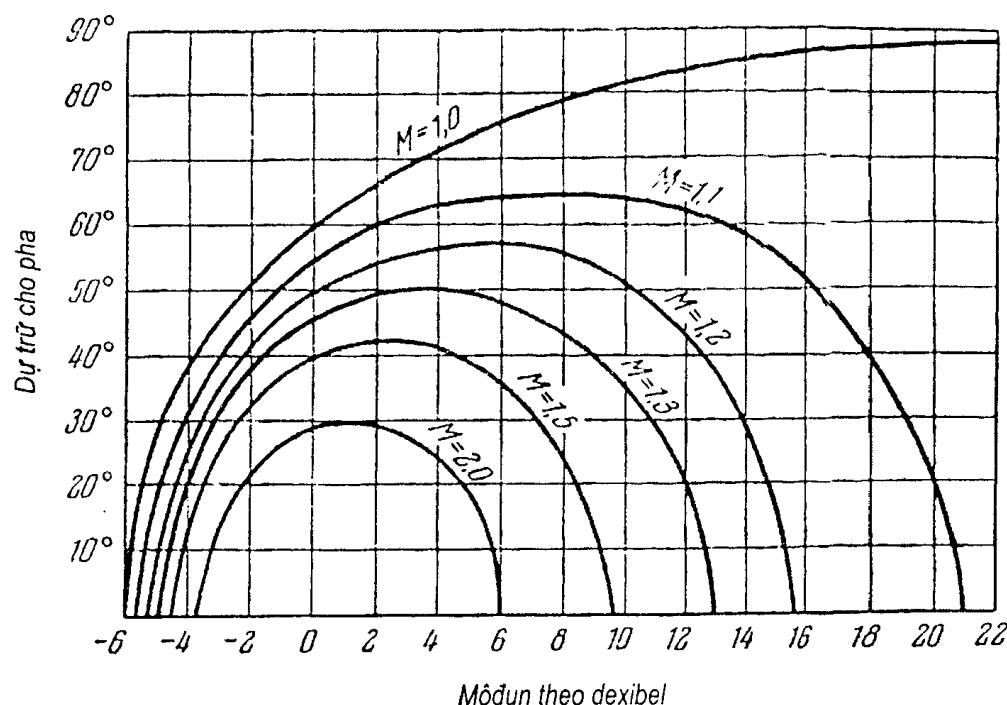
Hình 356

**13. Các đường cong để xác định thời gian quá trình chuyển tiếp và điều chỉnh lại đối với đặc tính tần số thực có giá trị cực đại**



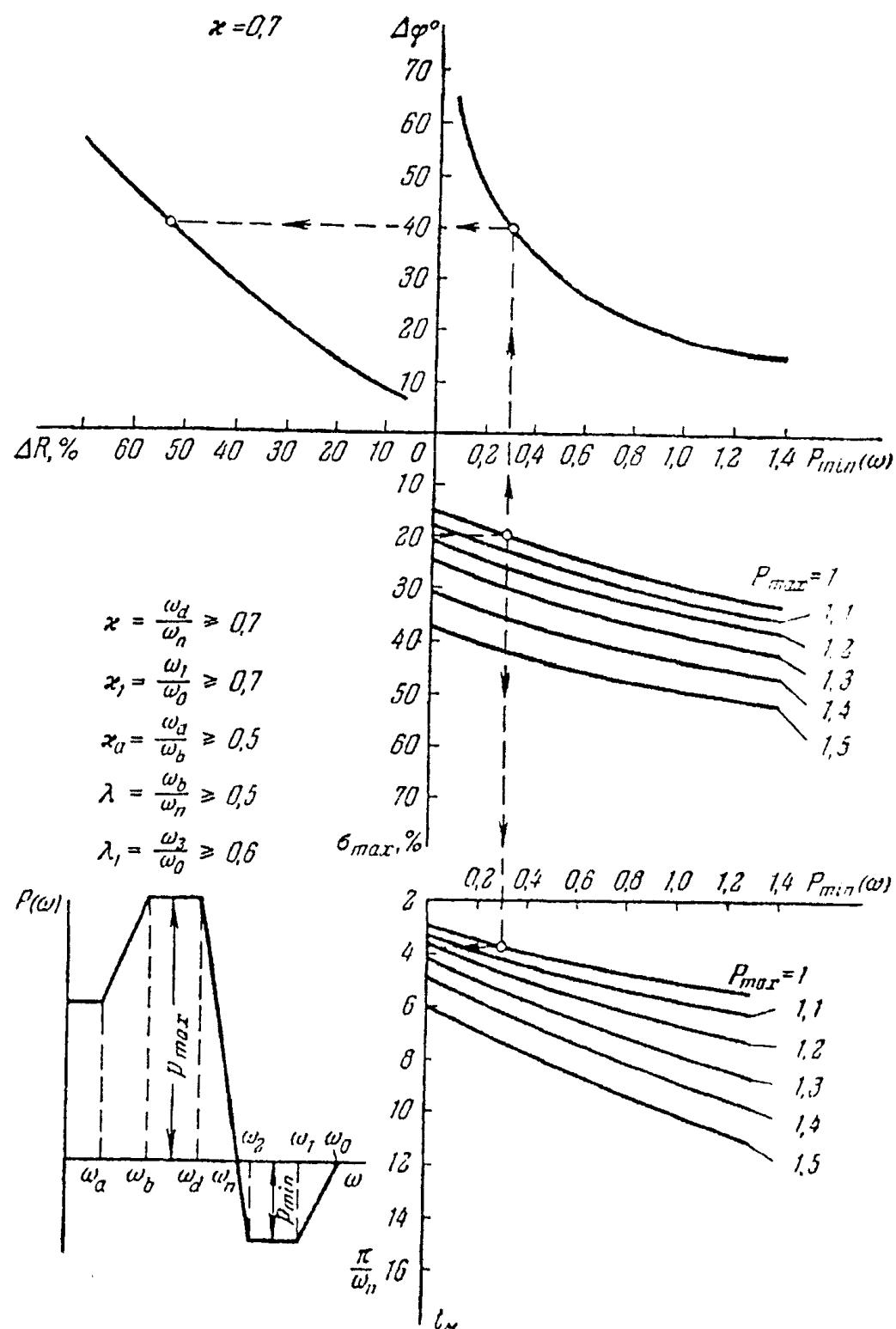
Hình 357

**14. Phụ thuộc độ dự trữ yêu cầu theo pha vào môđun bằng dexiben ở các chỉ số dao động khác nhau**



Hình 358

15. Đồ thị để xây dựng đặc tính tần số thuỷ theo các chỉ số chất lượng đã cho



Hình 359

## 16. Tìm đánh giá tích phân bình phương

$$I = \int_0^\infty x^2 dt$$

ở đây  $x = y_\infty - \text{độ lệch} \Delta$  là величина,  $y_\infty$  là giá trị xác lập.

Biểu diễn đại lượng điều chỉnh theo Laplace được biểu diễn ở dạng:

$$Y(p) = \frac{b_0 + b_1 p + \dots + b_m p^m}{a_0 + a_1 p + \dots + a_n p^n} \frac{1}{p} \quad (n > m)$$

Khi đó đánh giá tích phân có thể tính từ biểu thức:

$$I = \frac{1}{2a_0^2 \Delta} (B_0 \Delta_0 + B_1 \Delta_1 + \dots + B_m \Delta_m - 2b_0 b_1 \Delta)$$

Định thức  $\Delta$  được tính như sau:

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_0 & -a_2 & a_4 & -a_6 & \dots & 0 \\ 0 & a_1 & -a_3 & a_5 & \dots & 0 \\ 0 & -a_0 & a_2 & -a_4 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & -a_1 & a_3 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & a_{n-1} \end{vmatrix}$$

Thứ  $\Delta_v$  ( $v = 0, 1, \dots, m$ ) - định thức thu được từ  $\Delta$  cột thay thế ( $v + 1$ ) bằng cốt.

$$a_1, a_0, \dots, 0$$

Các hệ số  $B_1, \dots, B_m$  được tính như sau

$$B_0 = b_0^2$$

$$B_1 = b_1^2 - 2b_0 b_2$$

.....

$$B_k = b_k^2 - 2b_{k-1}b_{k+1} + \dots + 2(-1)^k b_0 b_{2k}$$

.....

$$B_m = b_m^2$$

## 17. Các công thức để tính mật độ phô

Tích phân cần tìm được biểu diễn ở dạng:

$$I_n = \frac{1}{2\pi} \int \frac{G(j\omega)}{A(j\omega) - A(-j\omega)} d\omega$$

ở đây  $A(j\omega) = a_0(j\omega)^n + a_1(j\omega)^{n-1} + \dots + a_n$

$$G(j\omega) = b_0(j\omega)^{2n-2} + b_1(j\omega)^{2n-4} + \dots + b_{n-1}$$

Đa thức  $G(j\omega)$  chỉ có số mũ chẵn  $j\omega$ . Đa thức  $A(j\omega)$  cần có nghiệm ở nửa mặt phẳng bên trên, điều đó tương ứng với hệ ổn định. Đối với  $n = 1$ :

$$I_1 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{b_0 d\omega}{|a_0(j\omega)^2 + a_1|} = \frac{b_0}{2a_0 a_1}$$

Đối với  $n = 2$ :

$$I_2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|b_0(j\omega)^2 + b_1| d\omega}{|a_0(j\omega)^2 + a_1 j\omega + a_2|^2} = \frac{-b_0 + \frac{a_0 b_1}{a_2}}{2a_0 a_1}$$

Đối với n = 3:

$$I_3 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|b_0(j\omega)^4 + b_1(j\omega)^2 + b_2| d\omega}{|a_0(j\omega)^3 + a_1(j\omega)^2 + a_2 j\omega + a_3|^2}$$

Đối với n = 4

$$I_4 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|b_0(j\omega)^6 + b_1(j\omega)^4 + b_2(j\omega)^2 + b_3| d\omega}{|a_0(j\omega)^4 + a_1(j\omega)^3 + a_2(j\omega)^2 + a_3 j\omega + a_4|^2} =$$

$$= \frac{b_0(-a_1 a_4 + a_2 a_3) - a_0 a_3 b_1 + a_0 a_1 b_2 + \frac{a_0 b_3}{a_4} (a_0 a_3 - a_1 a_2)}{2a_0(a_0 a_3^2 + a_1^2 a_4 - a_1 a_2 a_3)}$$

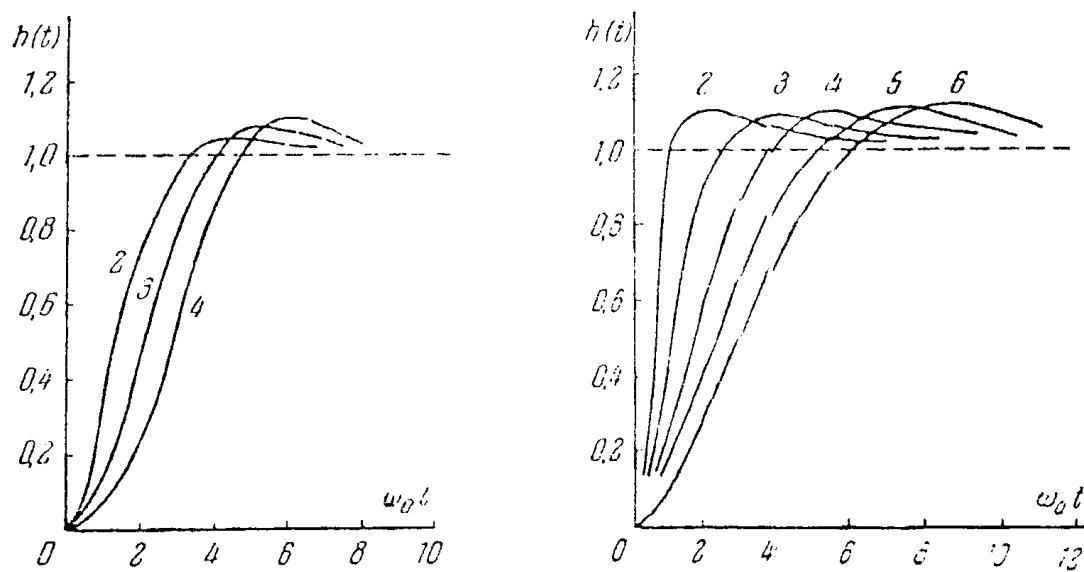
### 18. Các hàm truyền tiêu chuẩn của hệ hở

Các hàm truyền đối với các số mũ n khác nhau của phương trình vi phân được đưa ra ở bảng P4.

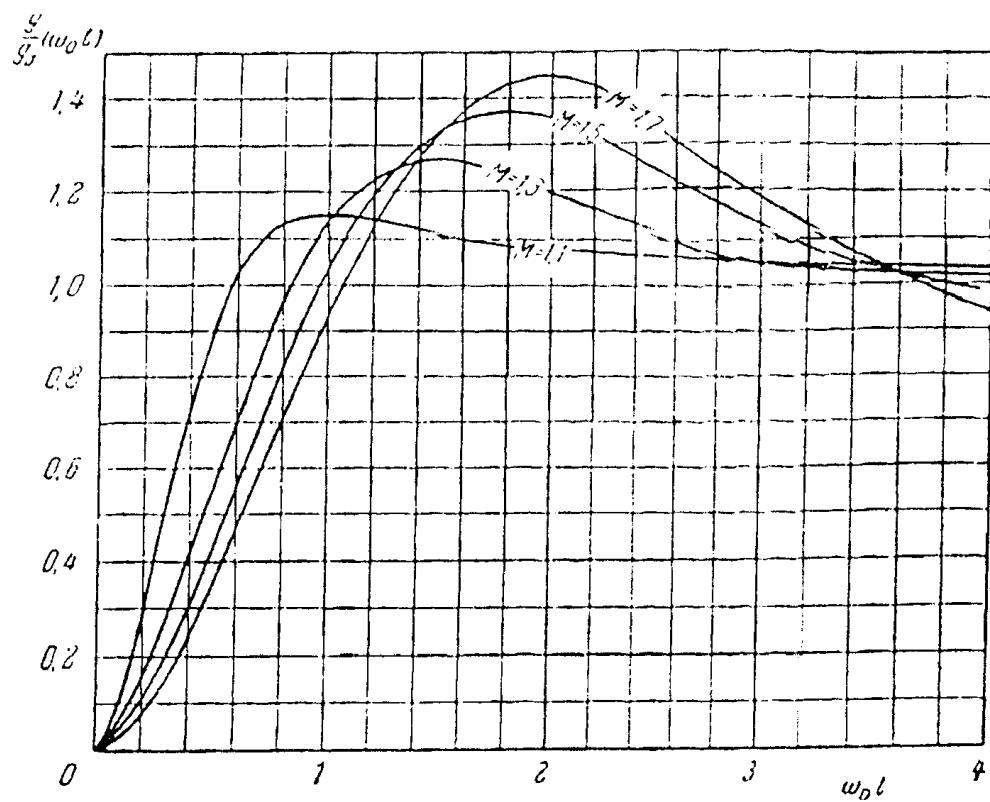
Bảng P4

Mức độ vô hướng	n	$\sigma, \%$	K	$W(p)$
	2	5	$\frac{\omega_0}{1,4}$	$\frac{\omega_0^2}{p^2 + 1,4\omega_0 p}$
	3	8	$\frac{\omega_0}{2}$	$\frac{\omega_0^3}{p^3 + 2\omega_0 p^2 + 2\omega_0^2 p}$
	4	10	$\frac{\omega_0}{2,6}$	$\frac{\omega_0^4}{p^4 + 2,6\omega_0 p^3 + 3,4\omega_0^2 p^2 + 2,6\omega_0^3 p}$
	2	10	$\omega_0^2$	$\frac{2,5\omega_0 p + \omega_0^2}{p^2}$
	3	10	$\frac{\omega_0^2}{5,1}$	$\frac{6,3\omega_0^2 p + \omega_0^2}{p^3 + 5,1\omega_0 p^2}$
	4	10	$\frac{\omega_0^2}{16}$	$\frac{12\omega_0^3 p + \omega_0^4}{p^4 + 7,2\omega_0 p^3 + 16\omega_0^2 p^2}$
	5	10	$\frac{\omega_0^2}{38}$	$\frac{18\omega_0^4 p + \omega_0^5}{p^5 + 9\omega_0 p^4 + 29\omega_0^2 p^3 + 38\omega_0^3 p^2}$
	6	10	$\frac{\omega_0^2}{73}$	$\frac{25\omega_0^5 p + \omega_0^6}{p^6 + 11\omega_0 p^5 + 43\omega_0^2 p^4 + 83\omega_0^3 p^3 + 73\omega_0^4 p^2}$

Ở chúng có thông số  $\omega_0$  xác định tác dụng nhanh của hệ các đặc tính chuyển tiếp tương ứng với hàm truyền này được đưa ra trên hình 360. Độ điều chỉnh lại  $\sigma\%$  được đưa ra ở dạng bảng.



*Hình 360. Các đặc tính chuyển tiếp tương ứng với các hàm truyền tiêu chuẩn.*



*Hình 361. Các hàm chuyển tiếp đối với D.B.L. của dạng đối xứng.*

## L. điển hình tương ứng độ dự trữ ổn định đã cho đặc tính biên độ lôga đối xứng điển hình

B

Hàm truyền của hệ hở	Dạng Đ.B.L	Loại Đ.B.L	Tần số cơ sở	Tần số cắt	Các hằng số thời gian ở v trung tâm và cao tần	
					Mối liên hệ với tần số cơ sở	Mối liê tần s
$\frac{K(1 + T_2 p)}{(1 + T_0 p)(1 + T_1 p) \prod_{i=3}^n (1 + T_i p)}$		0-1-2-1-2-3...	$\sqrt{\frac{K}{T_0 T_1}}$	$\frac{KT_2}{T_0 T_1}$		
$\frac{K(1 + T_2 p)}{p(1 + T_1 p) \prod_{i=3}^n (1 + T_i p)}$		1-2-1-2-3...	$\sqrt{\frac{K}{T_1}}$	$\frac{KT_2}{T_1}$		
$\frac{K(1 + T_2 p)}{p^2 \prod_{i=3}^n (1 + T_i p)}$		2-1-2-3...	$\sqrt{K}$	$KT_2$	$\sum T_i \leq \frac{1}{\omega_0} \frac{\sqrt{M(m-1)}}{M+1}$	$\sum T_1 \leq \dots$

M - chỉ số dao động. Đối với Đ.B.L đối xứng điển hình, nó bằng  $M = \frac{m+1}{m-1}$  ở đây  $m = T_2 / \sum_{i=3}^n T_i$

D.B.L. không

Hàm truyền của hệ hở	Dạng D.B.L	Dạng B.D.L	Tần số cơ sở $\omega_0$	Các hằng số thời gian ở trung tần và cao tần
$\frac{K}{(1 + T_0 p) \prod_{i=1}^n (1 + T_i p)}$		0-1-2-3...	$\frac{K}{T_0}$	$\sum_{i=1}^n T_i \leq \frac{1}{\omega_0} \frac{M^2 + M\sqrt{M^2 - 1}}{2}$
$\frac{K}{p \prod_{i=1}^n (1 + T_i p)}$		1-2-3...	K	

Đức đưa ra ở đây đối với  $\sum_{i=1}^n T_i$  là gần đúng, nó cho cả độ chính xác ở  $M \leq 1,3$ . Hàm này là chính xác ở  $M = 1$  và  $n = 1$  và  $M$  bất kỳ.

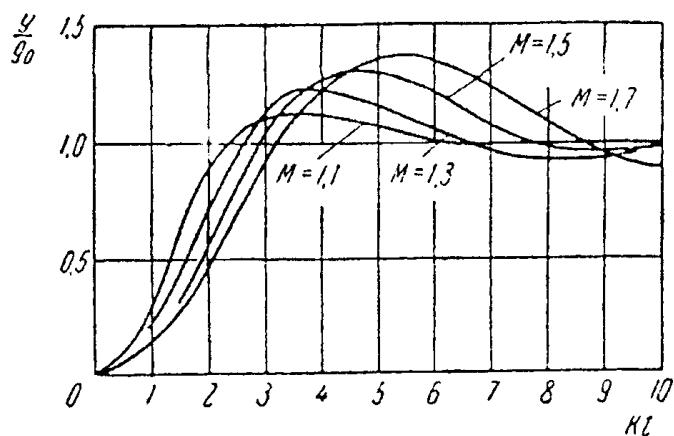
## 20. Các đường cong tiêu chuẩn của các quá trình chuyển tiếp đối với Đ.B.L điển hình.

A. Các đường cong của các quá trình chuyển tiếp ở tác dụng đầu vào ở dạng hàm tần số  $g(t) = g_0 \cdot l(t)$ .

1. Trường hợp Đ.B.L đối xứng (phụ lục 19 bảng P5) hình 361.

Các đường cong được tính đối với Đ.B.L loại 2 – 1 – 2 nhưng với độ chính xác cao biểu diễn các quá trình chuyển tiếp ở trường hợp tất cả các dạng D.B.L được đưa ra ở bảng P5.

2. Trường hợp Đ.B.L không đối xứng (phụ lục 19, bảng P.6) hình 36.



*Hình 362. Các quá trình chuyển tiếp đối với Đ.B.L điển hình của dạng không xứng.*

Các đường cong được tính đối với Đ.B.L loại 1 – 2 nhưng thực tế phù hợp cả đối với Đ.B.L các loại còn lại được đưa ra ở bảng P6.

B. Các đường cong sai số tạo lại tác động tuyêt tính đã cho  $g(t) = at \cdot l(t)$ .

1. Trường hợp Đ.B.L đối xứng (phụ lục 19, bảng P.5).

Các đường cong được tính toán cho Đ.B.L loại 2 – 1 – 2, nhưng thực tế cho cả Đ.B.L loại còn lại được đưa vào bảng P5.

2. Trường hợp Đ.B.L không đối xứng (phụ lục 19, bảng P.5).

Các đường cong được tính cho Đ.B.L loại 1 – 2, nhưng thực tế cho cả Đ.B.L loại còn lại được đưa vào bảng P6.

## Khâu hiệu chỉnh các dòng điện không đổi

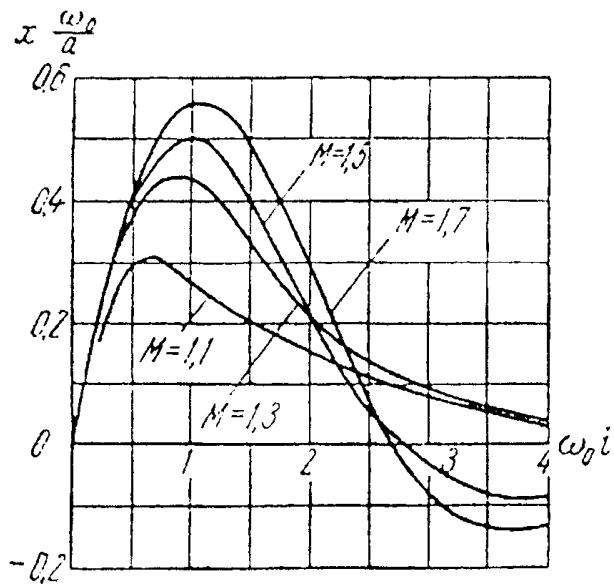
Số đô khâu hiệu chỉnh	Hàm truyền của khâu hiệu chỉnh	$T_1$	$T_2$	$G_0$	Đ.B.I tiệm cát
	$G_0 \frac{1 + T_1 p}{1 + T_2 p}$	$R_1 C_1$	$\frac{T_1}{1 + \frac{R_0}{R_1}}$	$\frac{1}{1 + \frac{R_0}{R_1}}$	
	$G_0 \frac{1 + T_1 p}{1 + T_2 p}$	$R_1 C_1$	$\frac{R_0 + R_i}{R_0 + R_1 + R_i} T_1$	$\frac{R_0}{R_0 + R_1 + R_i}$	
	$\frac{1 + T_2 p}{1 + T_1 p}$	$\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) T_2$	$R_2 C_2$	1	

Bảng P.7

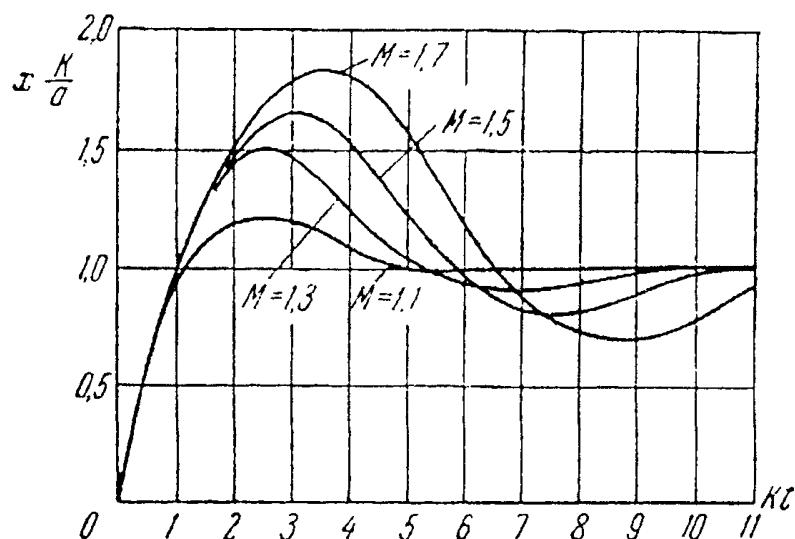
Đồ khâu hiệu chỉnh	Hàm truyền của khâu hiệu chỉnh	$T_1$	$T_2$	$G_0$	Đ.B.L tiệm cận
	$G_0 \frac{1 + T_2 p}{1 + T_1 p}$	$(R_0 R_i + R_2 R_0 + R_2 R_i + R_0 R_1 + R_1 R_2) C_1 \times (R_i + R_0 + R_1)^{-1}$	$R_2 C_2$	$\frac{R_0}{R_0 + R_1 + R_i}$	
	$\frac{(1 + T_1 p)(1 + T_2 p)}{1 + \left[ T_1 \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + T_2 \right] p + T_1 T_2 p^2}$	$R_1 C_1$	$R_2 C_2$	1	
	$G_0 \frac{(1 + T_1 p)(1 + T_2 p)}{(1 + Ap + Bp^2)}$	$R_1 C_1$	$R_2 C_2$	$\frac{R_0}{R_0 + R_1 + R_1}$	
	$A = \frac{(R_i + R_0)(R_1 C_1 + R_2 C_2)}{R_0 + R_1 + R_i} + \frac{(R_i C_0 + R_0 C_1 + R_1 C_2)C_2}{R_0 + R_1 + R_i}$		$B = \frac{R_1 C_1 R_2 C_2 (R_0 + R_i)}{R_0 + R_1 + R_i} + \frac{R_0 R_i R_1 C_1 C_2}{R_0 + R_1 + R_i}$		

### Khâu hiệu chỉnh có dòng điện biến đổi (khâu dạng T kép)

Sơ đồ	Các hàm truyền của khâu	Mối liên hệ giữa các hằng thời gian thông số và hằng số thời gian theo đường bao	Các điều kiện tồn tại kh
Sơ đồ <p> <math>T_1 = R_1 C_1</math>  <math>T_2 = R_2 C_2</math>  <math>T_3 = R_3 C_3</math>  <math>S_1 = R_1 C_1</math>  <math>S_2 = R_2 C_2</math>  <math>S_3 = R_3 C_3</math> </p>	<p>Thông số</p> $\frac{U_2}{U_1} = \frac{A(p)}{B(p)}$ <p>ở đây</p> $A(p) = T_1 T_2 T_3 p^3 + T_1 (S_2 + T_3) p^2 + (T_1 + S_1) p + 1$ $B(p) = T_1 T_2 T_3 p^3 + T_1 (S_2 + T_3) p^2 + T_2 (T_1 + S_1 + T_3) p^2 + (T_1 + S_1 + T_3) p + 1$ <p>Theo đường bao</p> $\frac{U_2(j\Omega)}{U_1(j\Omega)} = G_0 \frac{1 + T_D j\Omega}{1 + \tau j\Omega}$	$T_1 = G_0 \frac{\omega_H T_D x + 2x + \omega_H T_D}{2\omega_H(1 - G_0)}$ $T_2 = \frac{x^2}{T_1 \omega_H}, T_3 = \frac{1}{x \omega_H}$ $S_1 = -\frac{2}{\omega_H^2 T_D} + \frac{x}{\omega_H} - T_1$ $S_2 = -\frac{2}{\omega_H^2 \tau} - \frac{2}{\omega_H^2 T_D} - \frac{1}{\omega_H x} - T_2$ $G_0 = \frac{\tau}{T_D}$	$\frac{1}{\tau \omega_H} - \frac{2}{T_D \omega_H} - \frac{1}{\tau \omega_H} \sqrt{1 - \tau^2 \omega_H^2} < x < \frac{1}{\tau \omega_H} - \frac{2}{T_D \omega_H} + \frac{1}{\tau \omega_H} \sqrt{1 - \tau^2 \omega_H^2}$ $\frac{2\tau \omega_H - \omega_H T_D \left(1 + \sqrt{1 - \tau^2 \omega_H^2}\right)}{4 - \frac{4\tau}{T_D} - \tau T_D \omega_H^2} < \frac{2\tau \omega_H - \omega_H T_D \left(1 - \sqrt{1 - \tau^2 \omega_H^2}\right)}{4 - \frac{4\tau}{T_D} - \tau T_D \omega_H^2}$ $\tau \leq \frac{1}{\omega_H}, G_0 \leq \frac{1}{T_D \omega_H}, \omega_H \neq 0$



**Hình 363.** Sai số tái tạo lại quy luật tuyến tính  
đối với Đ.B.L có dạng đối xứng.



**Hình 364.** Sai số tái tạo lại quy luật tuyến tính  
đối với Đ.B.L của dạng không đối xứng.

**Bảng P.9.** Chọn các thông số của khâu

	2,5	5,0	7,5	10	15	20	30	40	50	60	$\infty$
Bề rộng dải tần số, Hz	$\pm \frac{f_H}{2,5}$	$\pm \frac{f_H}{5,0}$	$\pm \frac{f_H}{7,5}$	$\pm \frac{f_H}{10}$	$\pm \frac{f_H}{15}$	$\pm \frac{f_H}{20}$	$\pm \frac{f_H}{30}$	$\pm \frac{f_H}{40}$	$\pm \frac{f_H}{50}$	$\pm \frac{f_H}{60}$	Công hưởng
$\alpha$	0,758	0,553	0,486	0,453	0,420	0,403	0,386	0,378	0,374	0,370	0,353
$G_0$	0,226	0,110	0,077	0,052	0,034	0,025	0,016	0,012	0,009	0,008	0

Khi lập bảng này, cho rằng  $C_1 = C_2 = C_3 = C$ . Hệ số truyền ở tần số mạng  $G_0$  các điện trở được tính theo các công thức:

$$R_1 = \frac{\alpha}{\omega_H C},$$

$$R_2 = \frac{1}{2\omega_H \alpha C},$$

$$R_3 = \frac{1}{\omega_H C \sqrt{2}}$$

Tần số mạng  $\omega_H = 2\pi f_H$ .

### 23. Chuyển các phương trình vi phân dạng biểu mẫu.

A. Đối với các phương trình của hệ phi tuyến bậc n được cho ở công thức tiêu chuẩn:

$$\left. \begin{array}{l} \eta_1 = \alpha_{11}\eta_1 + \alpha_{12}\eta_2 + \dots + \alpha_{1,n-1}\eta_{n-1} + b_1\xi, \\ \eta_2 = \alpha_{21}\eta_1 + \alpha_{22}\eta_2 + \dots + \alpha_{2,n-1}\eta_{n-1} + b_2\xi, \\ \dots \\ \eta_{n-1} = \alpha_{n-1,1}\eta_1 + \alpha_{n-2,2}\eta_2 + \dots + \alpha_{n-1,n-1}\eta_{n-1} + b_{n-1}\xi, \\ \sigma = c_1\eta_1 + c_2\eta_2 + \dots + c_{n-1}\eta_{n-1} - r\xi, \\ \xi = f(\sigma), \end{array} \right\} \quad (P.1)$$

Công thức biểu mẫu có dạng sau:

$$\left. \begin{array}{l} x_1 = \lambda_1 x_1 + f(\sigma), \\ x_2 = \lambda_2 x_2 + f(\sigma), \\ \dots \\ X_{n-1} = \lambda_{n-1} x_n + f(\sigma), \\ \sigma = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_{n-1} x_{n-1} - r.f(\sigma), \quad (x_n = \sigma), \end{array} \right\} \quad (P.1)$$

Ở đây  $x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, \sigma = x_n$  – các biểu mẫu.

Để chuyển tới các phương trình kiểu mẫu (P.2) cần thiết.

a) Tính định thuỷ

$$D(\lambda) = \begin{vmatrix} a_{11} - \lambda, & a_{12}, & \dots, & a_{1,n-1} \\ a_{21}, & a_{22} - \lambda, & \dots, & a_{2,n-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n-1,1}, & a_{n-1,2}, & \dots, & a_{n-1,n-1} - \lambda \end{vmatrix} \quad (P.3)$$

b) Tính các nghiệm của phương trình đặc trưng  $D(\lambda) = 0, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{n-1}$ ;

c) Hãy tính các hệ các hệ số  $\beta_i$  theo các công thức:

$$\beta_i = \frac{c_1 N_1(\lambda_i) + c_2 N_2(\lambda_i) + \dots + c_{n-1} N_{n-1}(\lambda_i)}{D'(\lambda_i)} \quad (P4)$$

Các biểu thức  $N_k(\lambda)$  thu được từ định thức  $D(\lambda)$  (P3) bằng thay cột thứ k cho cột:

$$\begin{aligned} & b_1 \\ & b_2 \\ & \vdots \\ & b_{n-1} \end{aligned} \quad (P5)$$

Biểu thức  $D'(\lambda)$  là đạo hàm từ  $D(\lambda)$  theo  $\lambda$ .

d) Đối với các phương trình hệ phi tuyến bậc thứ  $n$  cho ở dạng tính chuẩn:

$$\left. \begin{aligned} \eta_1 &= \alpha_{11}\eta_1 + \alpha_{12}\eta_2 + \dots + \alpha_{1,n-1}\eta_{n-1} + b_1f(\sigma), \\ \eta_2 &= \alpha_{21}\eta_1 + \alpha_{22}\eta_2 + \dots + \alpha_{2,n-1}\eta_{n-1} + b_2f(\sigma), \\ &\dots \\ \eta_n &= \alpha_{nn}\eta_1 + \alpha_{n2}\eta_2 + \dots + \alpha_{nn}\eta_n + b_nf(\sigma) \\ \sigma &= c_1\eta_1 + c_2\eta_2 + \dots + c_n\eta_n \end{aligned} \right\} \quad (P6)$$

Các phương trình kiểu mẫu đối với các biến  $x_1, x_2, \dots, x_n$  có dạng:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \lambda_1 x_1 + f(\sigma) \\ x_2 &= \lambda_2 x_2 + f(\sigma) \\ x_n &= \lambda_n x_n + f(\sigma) \end{aligned} \right\} \quad (P7)$$

Ở đây  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  – các nghiệm của đa thức đặc trưng  $D(\lambda)$ :

$$D(\lambda) = \begin{vmatrix} \alpha_{11} - \lambda, & \alpha_{12}, & \dots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21}, & \alpha_{22} - \lambda, & \dots & \alpha_{2n} \\ \dots & & & \\ \alpha_{n1}, & \alpha_{n2}, & \dots, & \alpha_{nn} - \lambda \end{vmatrix}$$

Nếu ở phương trình  $D(\lambda) = 0$  có nghiệm không, ví dụ  $\lambda_n = 0$ , thì các phương trình kiểu mẫu đối với hệ các phương trình được biểu diễn ở dạng trùng với (P2):

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \lambda_1 x_1 + f(\sigma) \\ x_2 &= \lambda_2 x_2 + f(\sigma) \\ x_{n-1} &= \lambda_{n-1} x_{n-1} + f(\sigma) \\ \sigma &= \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n - r.f(\sigma), (\sigma = x_n) \end{aligned} \right\} \quad (P7)$$

Nhưng ở đây

$$R = -(c_1 b_1 + c_2 b_2 + \dots + c_n b_n) \quad (P8)$$

$$\text{Ở đây } \beta_k = -\lambda_k \gamma_k \beta = -\lambda_k \sum_{i=1}^n c_i \frac{N_i(\lambda_k)}{D'(\lambda_k)} \quad (k=1, 2, \dots, n) \quad (P9)$$

Ở công thức (P9):

$$N_k(\lambda) = \sum_{i=1}^n b_i D_{ik}(\lambda). \quad (P10)$$

Ở đây  $D_{ik}(\lambda)$  ký hiệu bổ sung đại số dòng thứ  $i$  và cột  $k$  của định thức  $D(\lambda)$ .

e) Đối với các phương trình của hệ phi tuyến bậc  $n$  cho ở dạng:

$$\left. \begin{array}{l} \eta^{(n-1)} + \alpha_1 \eta^{(n-2)} + \dots + \alpha_{n-1} \eta = -d\xi, \\ \sigma = c_0 \eta + c_1 \eta + c_2 \eta + \dots + c_{n-2} \eta^{(n-2)} - r\xi, \\ \xi = f(\sigma), \end{array} \right\} \quad (P11)$$

Các phương trình kiểu mẫu được viết ở dạng

$$\left. \begin{array}{l} x_1 = \lambda_1 x_1 + f(\sigma) \\ x_2 = \lambda_2 x_2 + f(\sigma) \\ \dots \\ x_{n-1} = \lambda_{n-1} x_{n-1} + f(\sigma) \\ \sigma = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_{n-1} x_{n-1} - r.f(\sigma), \end{array} \right\} \quad (P12)$$

Ở đây  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{n-1}$  – các nghiệm của đa thức:

$$D(\lambda) = \lambda^{n-1} + \alpha_1 \lambda^{n-2} + \alpha_2 \lambda^{n-3} + \dots + \alpha_{n-1}. \quad (P13)$$

$$\beta_k = -d \frac{\Delta(\lambda_k)}{D'(\lambda_k)} \quad (k = 1, 2, \dots, n-1) \quad (P14)$$

Ở công thức (P14)

$$\left. \begin{array}{l} \Delta(\lambda) = c_0 + c_1 \lambda + c_2 \lambda^2 + \dots + c_{n-2} \lambda^{n-2}, \\ D'(\lambda) = \frac{d}{d\lambda} D(\lambda). \end{array} \right\} \quad (P15)$$

Nếu ở đa thức (P.14) có một nghiệm không, ví dụ,  $\lambda_{n-1} = 0$ , thì ở biểu thức (P.13):

$$\left. \begin{array}{l} \beta_k = -d \frac{\Delta(\lambda_k)}{\lambda_k D_1(\lambda_k)} \quad (k = 1, 2, \dots, n-2), \\ \beta_{n-1} = -d \frac{c_0}{a_{n-2}}, \end{array} \right\} \quad (P16)$$

ở đây

$$D_1(\lambda) = \lambda^{12-2} + a_1 \lambda^{11-1} + \dots + a_n \quad (P17)$$

## 24. Các điều kiện ổn định đủ các hệ phi tuyến có bậc hai, ba và bốn

Cho rằng hệ phi tuyến có một khâu phi tuyến, mà đặc tính tĩnh của nó có dạng bất kỳ, nhưng nó nhất thiết đơn trị, lẻ và đối xứng đối với trục tọa độ.

Đạo hàm theo hàm Liapuno có dấu xác định đối với các hệ bậc ba mà các phương trình của nó đưa về dạng chuẩn tắc (P2), (P8) hay (P12).

Đối với các hệ bậc bốn, mà các hệ phương trình của chúng được đưa về chính công thức (P2) hay (P12) nhưng khi tồn tại một nghiệm không ở phương trình  $D(\lambda) = 0$ ;

Đối với hệ bậc bốn có các phương trình loại (P2), (P8) hay (P12) không có nghiệm không, nhưng ở điều kiện một trong số các nghiệm thực của phương trình  $D(\lambda) = 0$  tương ứng hằng số âm  $\beta$ ;

Khi thực hiện các điều kiện:

$$G > 0 \text{ và } \vartheta > -\frac{r}{4} \quad (\text{P18})$$

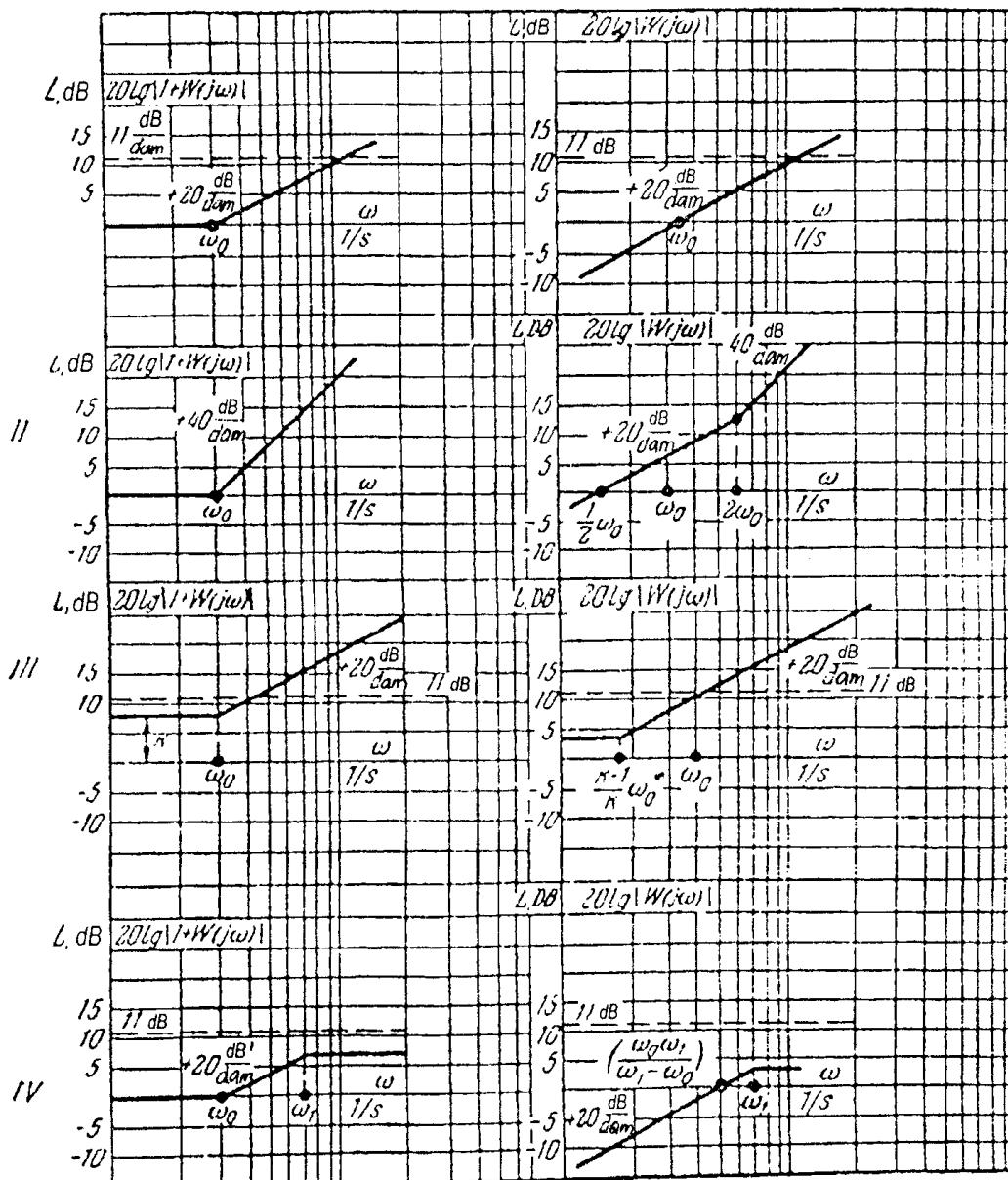
$$G > 2\sqrt{-\vartheta} - \sqrt{2} \text{ và } \vartheta < -\frac{r}{4} \quad (\text{P19})$$

ở đây  $G^2 = \frac{\beta_1}{\lambda_1} + \frac{\beta_2}{\lambda_2} + r$  (P20)

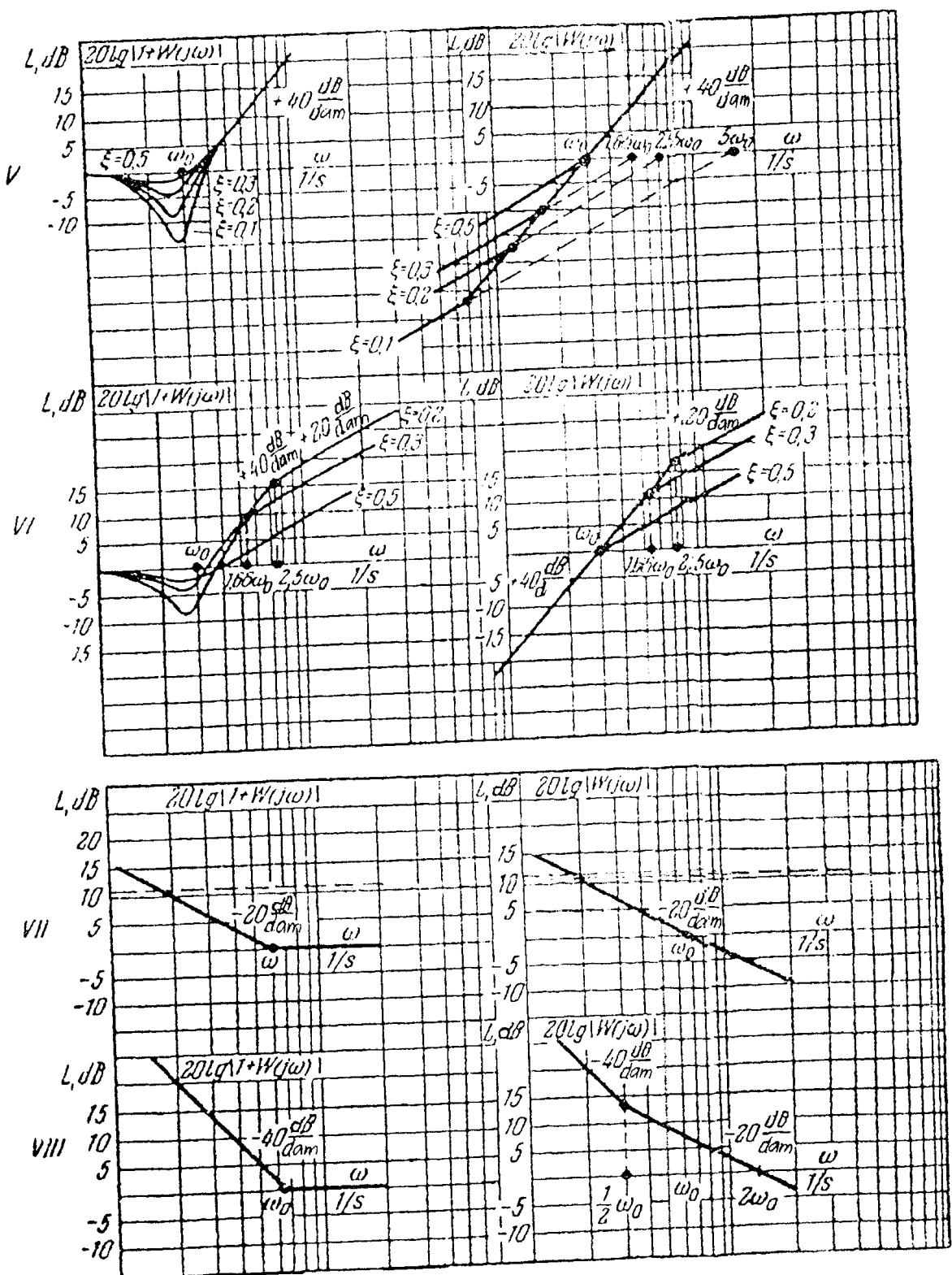
$$\vartheta = \frac{r(\lambda_1 - \lambda_2)^2 + (\beta_1 - \beta_2)(\lambda_1 - \lambda_2)}{4\lambda_1\lambda_2} \quad (\text{P21})$$

Đối với hệ bậc hai, các phương trình của chúng được đưa về dạng (P7) thỏa mãn các điều kiện (P18) và (P19) ở  $r = 0$ , nếu trong các công thức (P20) và (P21) thay  $\beta_1$  và  $\beta_2$  cho  $\gamma_1$  và  $\gamma_2$ .

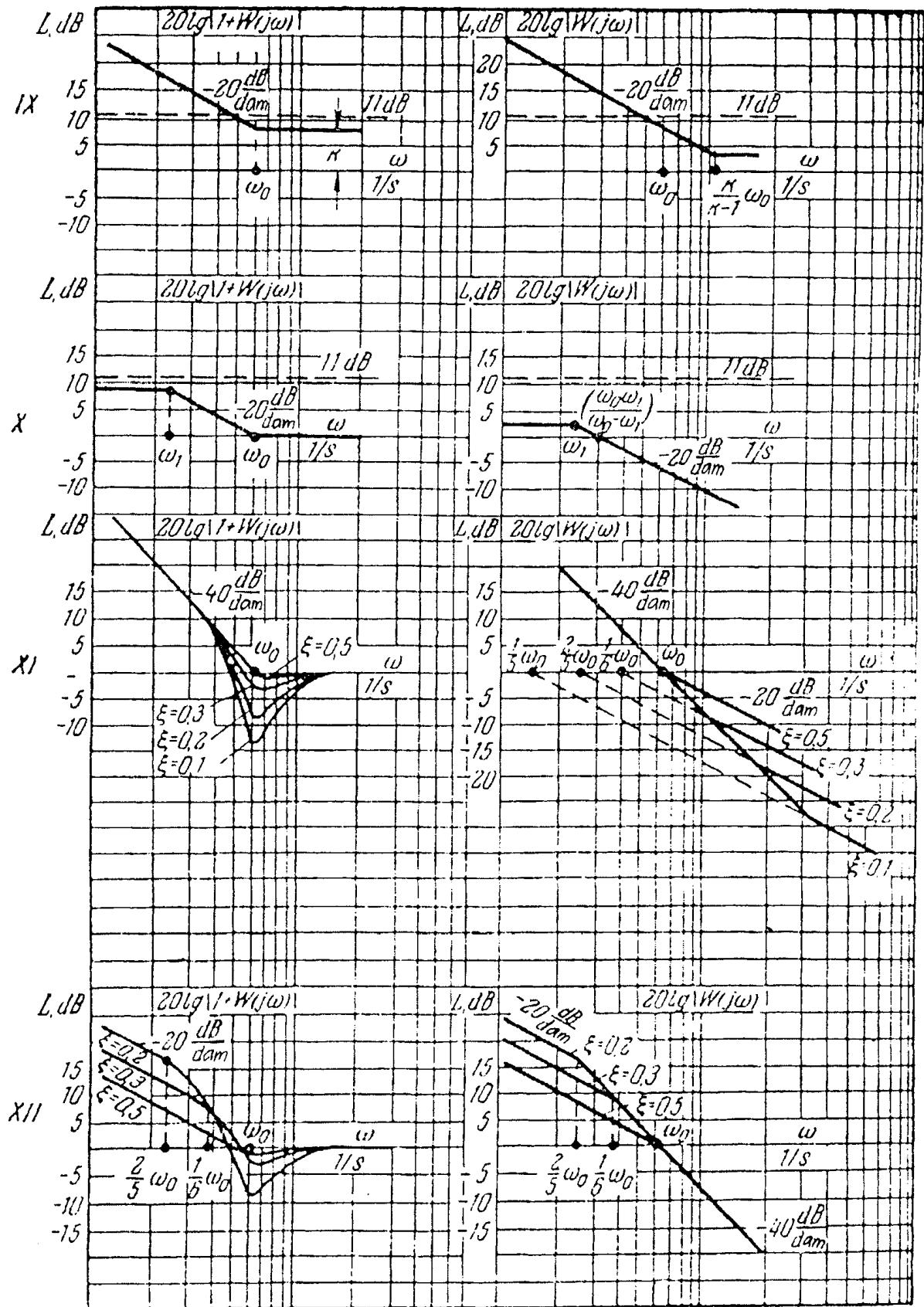
## 25. Chuyển từ Đ.B.L dạng $20\lg|1 + W(j\omega)|$ tới Đ.B.L dạng $20\lg|W(j\omega)|$ (hình 365, 366, 367)



Hình 365



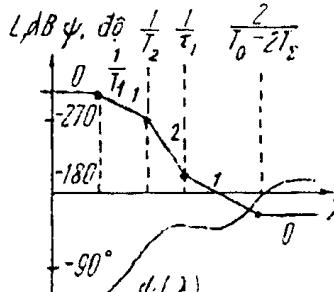
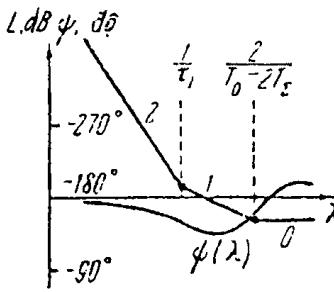
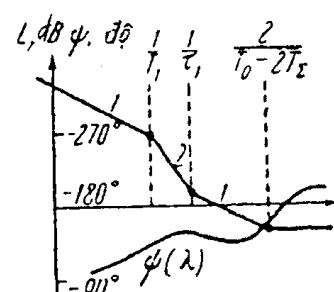
Hình 366



Hình 367

## 26. Đ.B.L điển hình của các hệ có MTS

Bảng P.10

Mức độ vô hướng	Đ.B.L điển hình	Hàm truyền tần số phân tán của hệ hở
0		$\frac{K(1 + j\lambda\tau_1 \left[ 1 - j\lambda \frac{T_0}{2} \right]) \left[ 1 + j\lambda \left( \frac{T_0}{2} - T_e \right) \right]}{(1 + j\lambda T_1)(1 + j\lambda T_2) \left( 1 + j\lambda \frac{T_0}{2} \right)}$
1		$\frac{K_\Omega(1 + j\lambda\tau_1 \left[ 1 - j\lambda \frac{T_0}{2} \right]) \left[ 1 + j\lambda \left( \frac{T_0}{2} - T_e \right) \right]}{j\lambda(1 + j\lambda T_1) \left( 1 + j\lambda \frac{T_0}{2} \right)}$
2		$\frac{K_\epsilon(1 + j\lambda\tau_1) \left[ 1 - j\lambda \frac{T_0}{2} \right] \left[ 1 + j\lambda \left( \frac{T_0}{2} - T_e \right) \right]}{\left( j\lambda^2 \left( 1 + j\lambda \frac{T_0}{2} \right) \right)}$

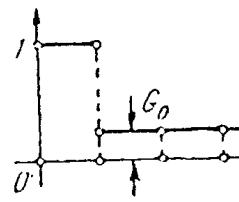
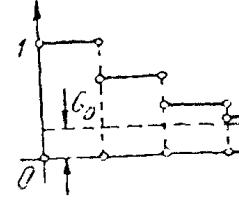
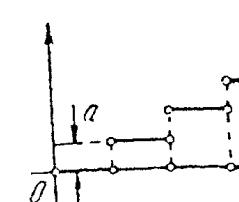
Bảng P.10 (tiếp theo)

Đ.B.L phân liên tục của hệ	Hàm truyền phân liên tục của hệ	Các biểu thức tính toán
	$\frac{K(1 + \tau_1 p)}{(1 + T_2 p)(1 + T_3 p) \dots (1 + T_n p)}$	$T_e = \sum_{i=3}^n T_i = T_3 + T_2 + \dots + T_n$ $\tau_1 \geq \frac{1}{\lambda_e} \sqrt{\frac{M}{M-1}}$ <p>hay <math>\tau_1 \geq \frac{1}{\lambda_e} \cdot \frac{M}{M-1}</math></p>
	$\frac{K_\Omega(1 + \tau_1 p)}{p(1 + T_2 p)(1 + T_3 p) \dots (1 + T_n p)}$	$\frac{T_0}{2} + \sum_{i=3}^n T_i \leq \frac{1}{\lambda_e} \cdot \frac{\sqrt{M(M-1)}}{M+1}$ <p>hay <math>\frac{T_0}{2} + \sum_{i=3}^n T_i \leq \frac{1}{\lambda_c} \cdot \frac{M}{M+1}</math></p>
	$\frac{K_e(1 + \tau_1 p)}{p^2(1 + T_2 p)(1 + T_3 p) \dots (1 + T_n p)}$	$\lambda = \frac{2}{T_0} \operatorname{tg} \frac{\omega T_0}{2}$

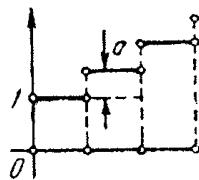
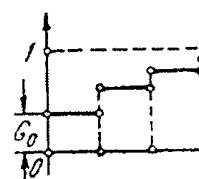
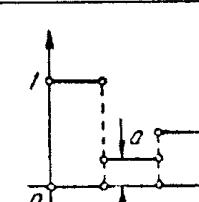
Chọn  $\lambda_e$  hay  $\lambda_c$  thực hiện tương ứng với các yêu cầu đáp ứng và tính lượng tử theo thời gian với độ chính xác hay tác dụng nhanh của hệ có MTS.

## khâu hiệu chỉnh phân tán tuần tự diễn hình

Bài

Tên của khâu	Hàm truyền của khâu tương tự liên tục $W(p)$	Hàm truyền phân tán $D(z)$	Hàm truyền tần số	Đặc tính chuyển
Vị phân	$1 + T_p$	$\frac{z-a}{z}$ $0 < a \leq 1$	$G_0 \frac{1 + j\tau\lambda}{1 + j\frac{T_0}{2}\lambda}$ $G_0 = (1 - a), \tau = \frac{1+a}{1-a} \cdot \frac{T_0}{2}$	
Tương tự vị phân thụ động	$G_0 \frac{1 + T_1 p}{1 + T_2 p}$ $G_0 = \frac{T_2}{T_1}$ $T_1 > T_2$	$\frac{z-a}{z-b}$ $0 < a < 1$ $0 < b < 1, a < b$	$G_0 \frac{1 + j\tau_1\lambda}{1 + j\tau_2\lambda},$ $G_0 = \frac{1-a}{1-b}$ $\tau_1 = \frac{1+a}{1-a} \cdot \frac{T_0}{2},$ $\tau_2 = \frac{1+b}{1-b} \cdot \frac{T_0}{2}$	
Tích phân	$\frac{k}{p} = \frac{1}{T_p}$	$\frac{a}{z-1}$	$\frac{a}{T_0} \cdot \frac{1 - j\frac{T_0}{2}\lambda}{j\lambda}$	

Bảng P.11

Tên của khâu	Hàm truyền của khâu tương tự liên tục $W(p)$	Hàm truyền phân tán $D(z)$	Hàm truyền tần số	Đặc tính chuyen tiếp
Quân bằng	$1 + \frac{1}{Tp} = \frac{1 + Tp}{Tp}$	$1 + \frac{a}{z-1}$	$\frac{a}{T_0} \cdot \frac{1 + j\tau\lambda}{j\lambda}$ $\tau = \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2}\right)T_0$	
Tương tự tích phân thu động	$\frac{1 + T_2 p}{1 + T_1 p}$ $T_1 > T_2$	$\frac{1}{Tp} + \tau_p \frac{(1+a)z + 1-a}{(1+b)z + 1-b}$ $a > 1; b > 1$ $a < b$	$\frac{1 + j\tau_2\lambda}{1 + j\tau_1\lambda}, G_0 = \frac{T_0 + 2\tau_2}{T_0 + 2\tau_1}$ $\tau_1 = \frac{\beta T_0}{2}, \tau_2 = \frac{a T_0}{2}$	
Tích phân vi phân	$1 + \frac{1}{Tp} + \tau_p$	$\frac{az}{z-1} + \frac{z-1}{z}$ $a < 1$	$\frac{a + jaT_0\lambda + \left(1 + \frac{a}{4}\right)T_0^2(j\lambda)^2}{jT_0\lambda \left(1 + j\frac{T_0}{2}\lambda\right)}$	

Trong bảng ta chọn giả tần số  $\lambda = \frac{2}{T_0} \operatorname{tg} \frac{\omega T_0}{2} = -j \frac{2\omega}{T_0} = -j \frac{2}{T_0} \cdot \frac{z-1}{z+1}$ .

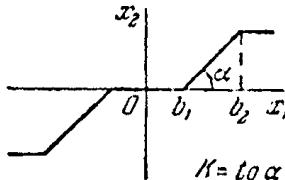
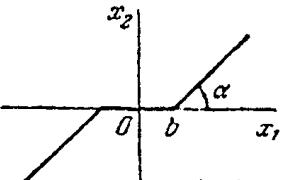
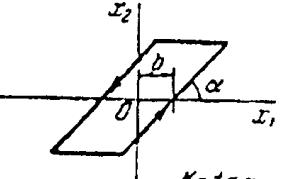
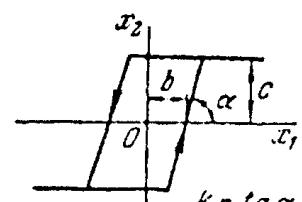
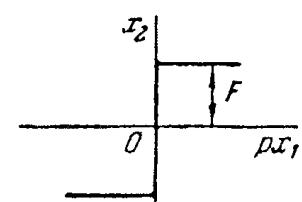
Các đặc tính chuyển tiếp được xây dựng đối với bộ lọc phân tán có nhớ theo chu kỳ lặp.

28. Các hệ số tuyến tính hóa dao động điều hoà của các đặc tính phi tuyến tính

Bảng P.12

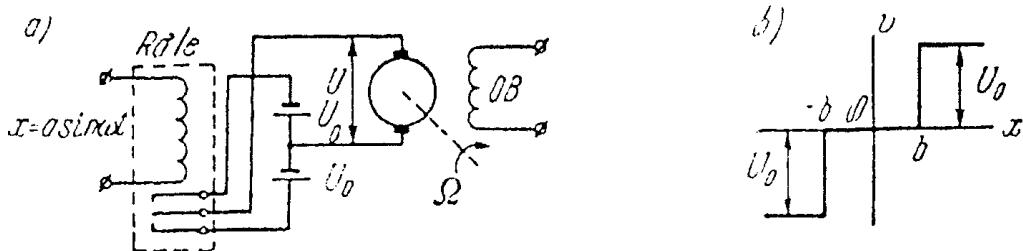
TT	Các đặc tính tinh của các khâu phi tuyến	$q(a)$	$q'(a)$
1	Rơ le lý tưởng	$\frac{4c}{\pi a}$	0
2	Rơle có vùng không nhạy cảm	$\frac{4c}{\pi a} \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$ ở $a \geq b$	0
3	Rơle có nhánh trên	$\frac{4c}{\pi a} \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$ khi $a \geq b$	$-\frac{4cb}{\pi^2 a}$ khi $a \geq b$
4	Rơle dạng tổng quát	$\frac{2c}{\pi a} \left( \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}} + \sqrt{1 - \frac{m^2 b^2}{a^2}} \right)$ khi $a \geq b$	$-\frac{2cb}{\pi a^2} (1 - m)$ khi $a \geq b$
5	Có bão hòa	$\frac{2k}{\pi} \left( \arcsin \frac{b}{a} + \frac{b}{a} \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}} \right)$ khi $a \geq b$	0

Bảng P.12 (tiếp theo)

TT	Các đặc tính tĩnh của các khâu phi tuyến	$q(a)$	$q'(a)$
6	Có vùng không nhạy cảm và bão hòa  $K = \tan \alpha$	$\frac{2k}{\pi} \left( \arcsin \frac{b_2}{a} - \arcsin \frac{b_1}{a} + \right. \\ \left. + \frac{b_2}{a} \sqrt{1 - \frac{b_2^2}{a^2}} - \frac{b_1}{a} \sqrt{1 - \frac{b_1^2}{a^2}} \right)$ khi $a \geq b_2$	0
7	Có vùng không nhạy cảm và không bão hòa  $K = \tan \alpha$	$k - \frac{2k}{\pi} \left( \arcsin \frac{b}{a} + \frac{b}{a} \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}} \right)$ khi $a \geq b$	0
8	Loại có lỗ hay khe hở  $K = \tan \alpha$	$\frac{k}{\pi} \left[ \frac{\pi}{2} + \arcsin \left( 1 - \frac{2b}{a} \right) + \right. \\ \left. + 2 \left( 1 - \frac{2b}{a} \right) \sqrt{\frac{b}{a} \left( 1 - \frac{b}{a} \right)} \right]$ khi $a \geq b$	$-\frac{4k}{\pi a} \left( 1 - \frac{b}{a} \right)$ khi $a \geq b$
9	Có bão hòa và nhánh trẽ  $K = \tan \alpha$	$\frac{k}{\pi} \left[ \arcsin \frac{c+kb}{ka} + \arcsin \frac{c-kb}{ka} + \right. \\ \left. + \frac{c+kb}{ka} \sqrt{1 - \frac{(c+kb)^2}{k^2 a^2}} + \right. \\ \left. + \frac{c-kb}{ka} \sqrt{1 - \frac{(c-kb)^2}{k^2 a^2}} \right]$ khi $a \geq \frac{c+kb}{k}$	$-\frac{bc}{\pi a^2}$ khi $a \geq \frac{c+kb}{k}$
10	Ma sát khô  $\mu x_1$	$\frac{4F}{\pi v}$ $v$ - biên độ tốc độ	0

## 29. Các đặc tính tần số biên độ – pha tiêu chuẩn của các cơ cấu thửa hành role

Cơ cấu thửa hành role bao gồm role và động cơ có dòng điện không đổi với kích từ độc lập (hình 368a) được nghiên cứu như một khâu phi tuyến của hệ tự động.



Hình 368. Cơ cấu thửa hành role.

Đặc tính tĩnh của role được biểu diễn trên hình 368b. Hàm truyền định mức được tuyến tính hóa dao động điều hòa của cơ cấu thửa hành role:

$$W_0(d, jz) = q_0(d, z) + jq'_0(d, z)$$

ở đây  $d = \frac{a}{b}$  - biên độ tương đối;  $z = \omega T_m$  - tần số tương đối;  $T_m$  - hằng số điện cơ của thời gian động cơ.

Các đặc tính biên độ - pha tiêu chuẩn được xây dựng trên hình 369 và 370 đối với các giá trị khác nhau của hệ số  $\gamma$  tính đến ảnh hưởng mômen phụ tải tĩnh  $M_H$ :

$$\gamma = 1 - \frac{M_H}{M_0}$$

ở đây,  $M_0$  - thời điểm khởi động của động cơ.

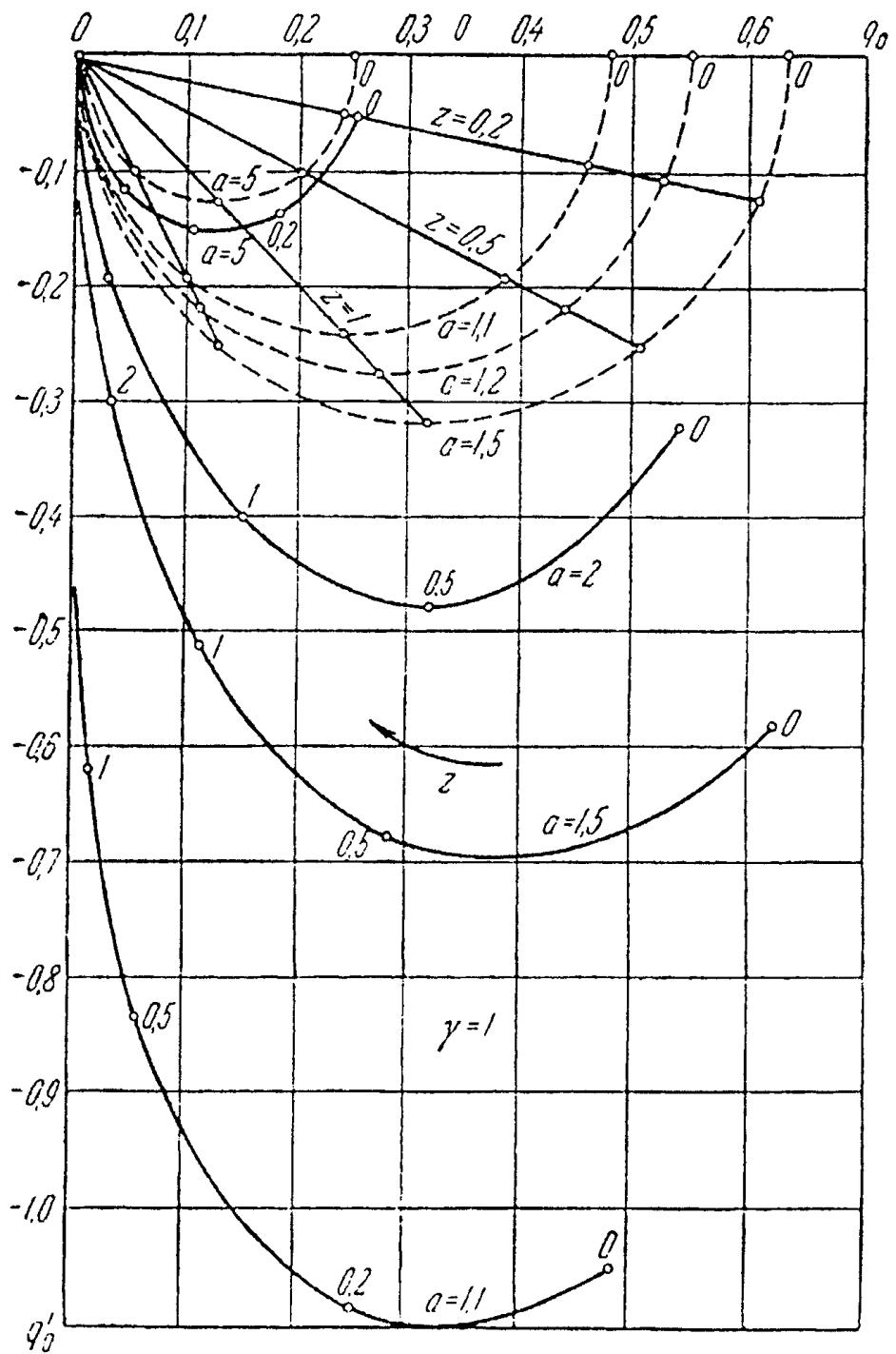
Trên hình 370 bằng đường nét ta chỉ ra các đặc tính biên độ pha thu được ở kết quả phép nhân liên tiếp hàm truyền tuyến tính hóa dao động điều hòa định mức của role (xem phụ lục 28):

$$W_H(d, jz) = \frac{4}{\pi} \sqrt{1 - \frac{1}{d^2}}$$

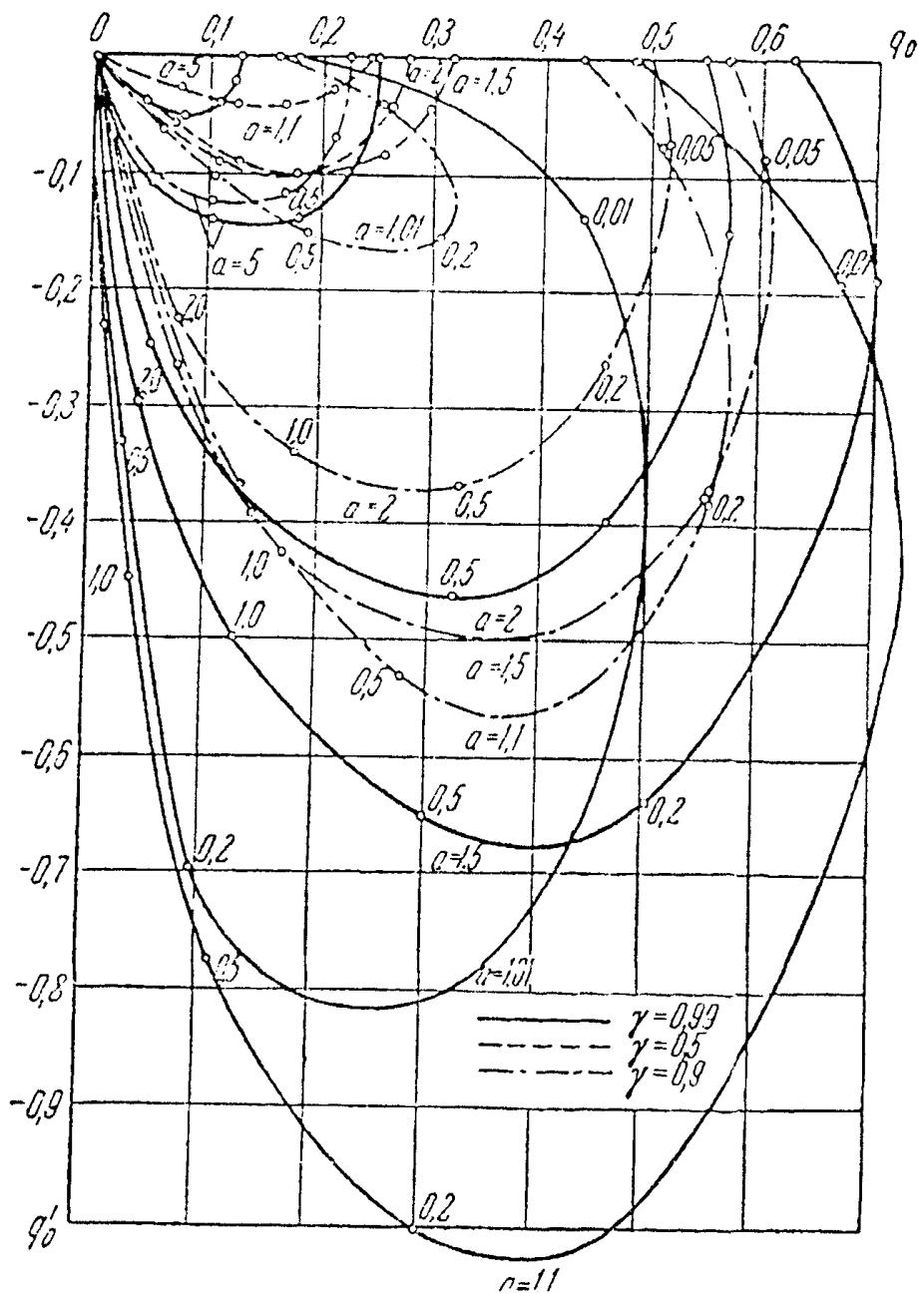
và đặc tính biên độ pha tiêu chuẩn của động cơ có dòng điện không đổi với kích từ độc lập:

$$W_D(jz) = \frac{1}{1 + jz}$$

So sánh các đặc tính này chỉ ra rằng ở các giá trị nhỏ biên độ tương đối ( $\alpha < 10$ ) nghiên cứu riêng biệt role và động cơ là không cho phép.



Hình 369. Đ.T.B đối với trường hợp  $M_H = 0$ .



Hình 370. D.T.B định mức đối với trường hợp  $M_H \neq 0$ .

### 30. Các hệ số tuyến tính hoá tĩnh của một vài đặc tính phi tuyến tính điển hình

Nếu ở đâu vào khâu phi tuyến có đặc tính tĩnh  $y = F(x)$  có tín hiệu là quá trình ngẫu nhiên:

$$x(t) = m_x(t) + x^0(t)$$

Ở đây  $m_x(t)$  - kỳ vọng toán học của nó,  $x^0(t)$  - thành phần hướng tâm ngẫu nhiên, thì quá trình ở đâu ra khâu phi tuyến có thể được biểu diễn gần đúng ở dạng:

$$y(t) \approx k_0 m_x(t) + k_\sigma x^0(t)$$

Ở mật độ một chiều đã cho của xác suất  $\omega(x)$  các hệ số của các độ tuyến tính tĩnh  $k_0$  và  $k_\sigma$  được tính toán theo cấp công thức:

$$k_0 = \frac{m_y}{m_x} = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} F(m_x + x^0) \omega(x) dx + F(m_x)}{\int_{-\infty}^{+\infty} x \omega(x) dx}$$

$$k_1 = \frac{\sigma_y}{\sigma_x} = \left[ \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} F^2(m_x + x^0) \omega(x) dx - m_y^2}{\int_{-\infty}^{+\infty} x^2 \omega(x) dx} \right]^{-\frac{1}{2}}$$

$$k_2 = \frac{R_{xy}(0)}{R_x(0)} = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} F(m_x + x^0) x \omega(x) dx}{\int_{-\infty}^{+\infty} x^2 \omega(x) dx}$$

$$k_\sigma = \frac{1}{2}(k_1 + k_2)$$

Dưới đây ta đưa ra các giá trị của các hệ số này và các đồ thị của nó đối với một vài độ phi tuyến tính khi tác dụng tín hiệu đầu vào phân bố theo tiêu chuẩn có mật độ xác suất tiêu chuẩn:

$$\omega(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$$

và tích phân xác suất:

$$\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^u e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

$$\left( z = \frac{x}{\sigma_x} \right)$$

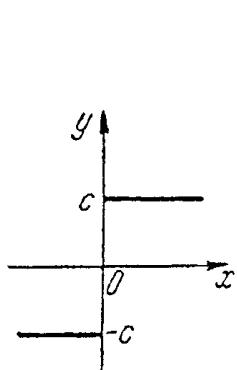
I) *Đặc tính role lý tưởng* (hình 371a):

$$k_0 = \frac{c}{m_x} 2\Phi\left(\frac{m_x}{\sigma_x}\right) \quad (\text{P22})$$

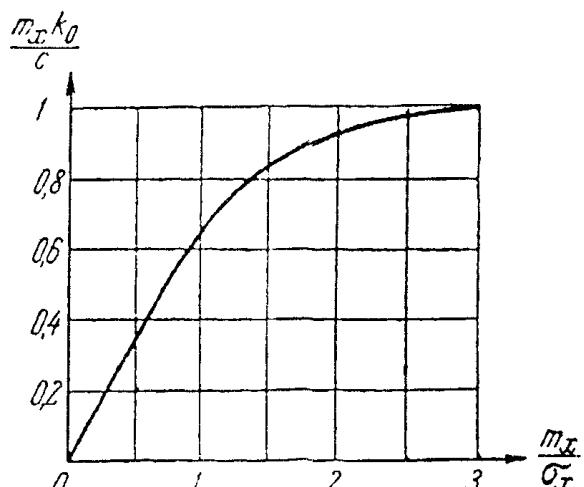
$$k_1 = \frac{c}{\sigma_x} \left[ 1 - 4\Phi^2\left(\frac{m_x}{\sigma_x}\right) \right]^{1/2} \quad (\text{P23})$$

$$k_2 = \frac{c}{\sigma_x} \cdot \frac{2}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{m_x}{\sigma_x}\right)^2} \quad (\text{P24})$$

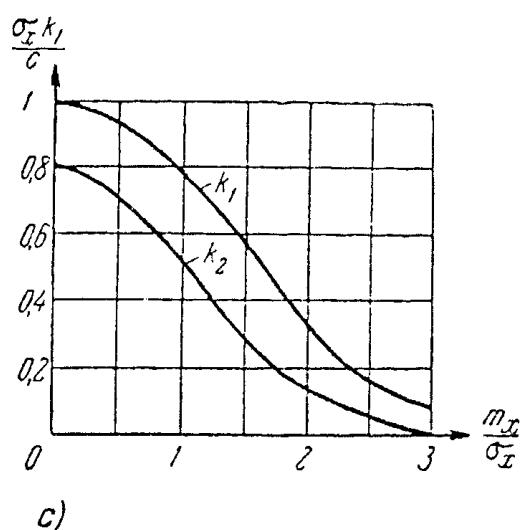
Các đồ thị các hệ số đưa ra trên hình 371b, c.



a)



b)



c)

Hình 371. Các đồ thị cho đặc tính role lý tưởng.

2) Đặc tính role đơn trị có vùng không nhạy cảm (hình 372a):

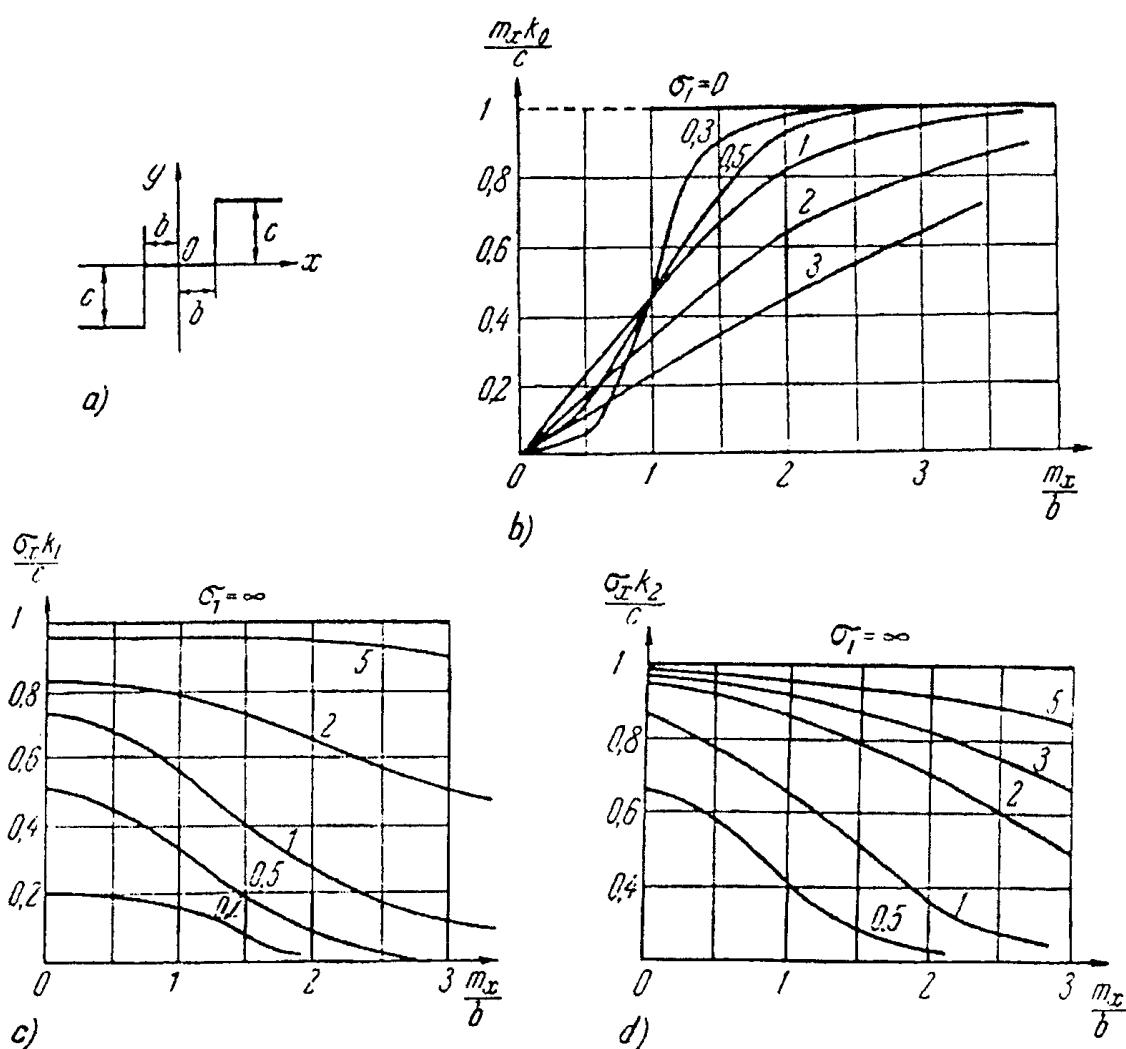
$$k_0 = \frac{c}{m_x} \left[ \Phi\left(\frac{1+m_1}{\sigma_1}\right) - \Phi\left(\frac{1-m_1}{\sigma_1}\right) \right] \quad (P25)$$

$$k_1 = \frac{c}{\sigma_x} \left\{ 1 - \frac{k_0^2 m_x^2}{c^2} - \Phi\left(\frac{1+m_1}{\sigma_1}\right) - \Phi\left(\frac{1-m_1}{\sigma_1}\right) \right\}^{1/2} \quad (P26)$$

$$k_2 = \frac{c}{\sigma_x} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left[ e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{1+m_1}{\sigma_1}\right)^2} + e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{1-m_1}{\sigma_1}\right)^2} \right] \quad (P27)$$

$$m_1 = \frac{m_x}{b}, \quad \sigma_1 = \frac{\sigma_x}{b} \quad (P28)$$

Các đồ thị các hệ số được đưa ra trên hình 372b, c, d.

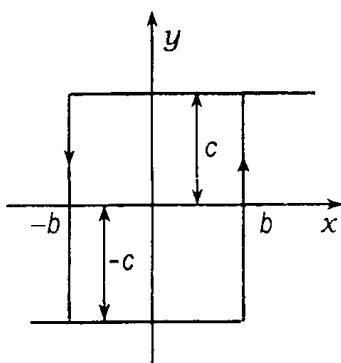


Hình 372. Các đồ thị đối với đặc tính role đơn trị có vùng không nhạy cảm.

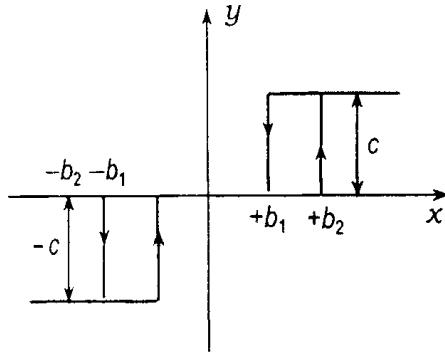
3) *Đặc tính role có trễ* (hình 373)

Các hệ số  $k_0$  và  $k_2$  được xác định tương ứng bởi các công thức (P25) và (P27):

$$k_1 = \frac{c}{\sigma_x} \left[ 1 - \frac{k_0^2 m_x^2}{c^2} \right]^{1/2} \quad (P29)$$



Hình 373



Hình 374

4) *Đặc tính role không đơn trị có vùng không nhạy cảm* (hình 374):

$$k_0 = \frac{c}{2m_x} \left[ \Phi\left(\frac{1+m_1}{\sigma_1}\right) - \Phi\left(\frac{1-m_1}{\sigma_1}\right) + \Phi\left(\frac{v+m_1}{\sigma_1}\right) - \Phi\left(\frac{v-m_1}{\sigma_1}\right) \right] \quad (P30)$$

$$\begin{aligned} k_1 = \frac{c}{\sigma_x} & \left\{ 1 - \frac{k_0^2 m_x^2}{c^2} - \frac{1}{2} \left[ \Phi\left(\frac{1+m_1}{\sigma_1}\right) + \Phi\left(\frac{1-m_1}{\sigma_1}\right) + \right. \right. \\ & \left. \left. + \Phi\left(\frac{v+m_1}{\sigma_1}\right) + \Phi\left(\frac{v-m_1}{\sigma_1}\right) \right] \right\}^{1/2} \end{aligned} \quad (P31)$$

$$k_2 = \frac{c}{\sigma_x} \cdot \frac{1}{2\sqrt{2\pi}} \cdot \left[ e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{1+m_1}{\sigma_1}\right)^2} + e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{1-m_1}{\sigma_1}\right)^2} + e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{v+m_1}{\sigma_1}\right)^2} + e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{v-m_1}{\sigma_1}\right)^2} \right] \quad (P32)$$

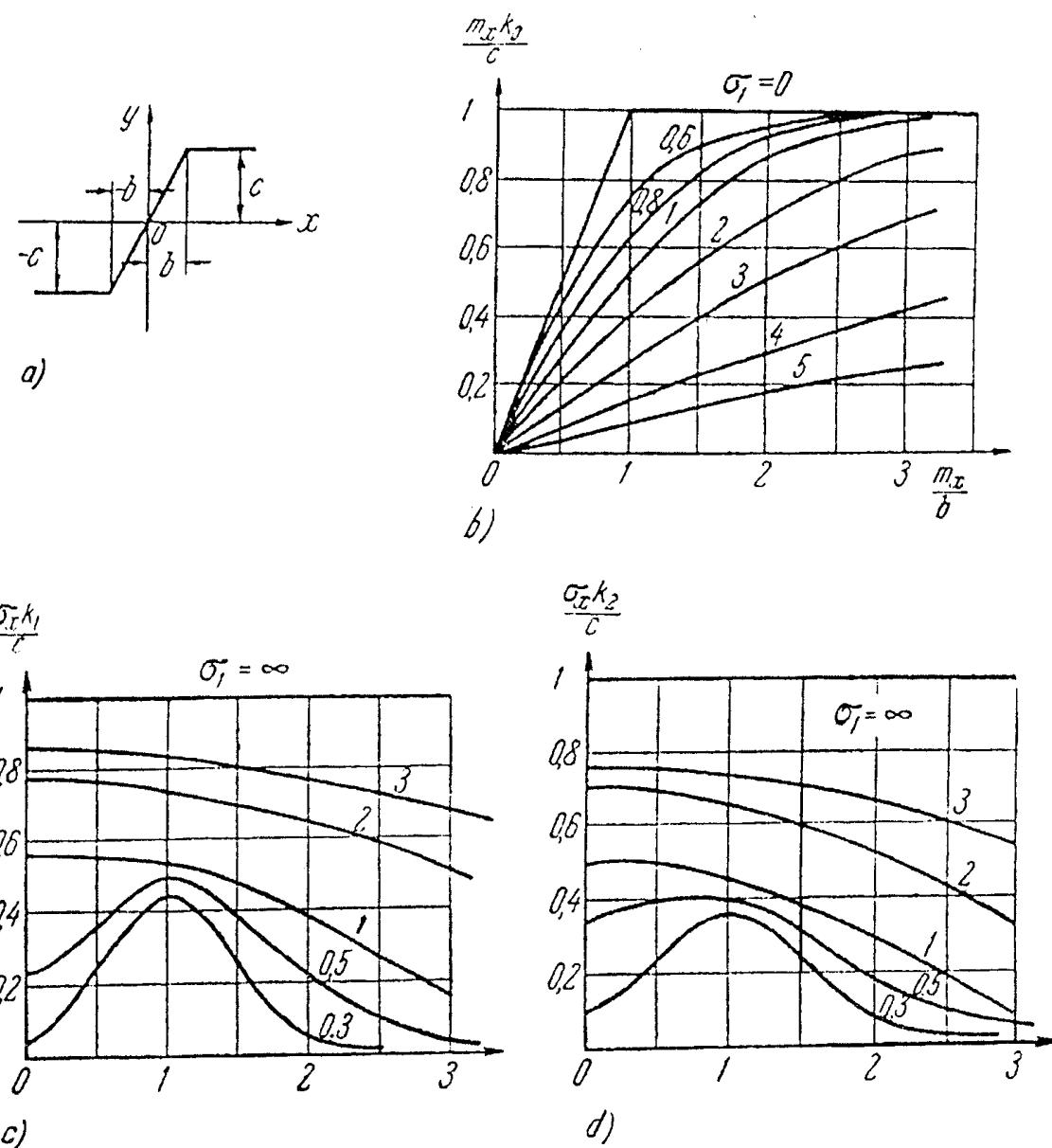
5) *Đặc tính tuyến tính có bão hòa* (hình 375a):

$$\begin{aligned} k_0 = \frac{c}{m_x} & \left\{ (1+m_1)\Phi\left(\frac{1+m_1}{\sigma_1}\right) - (1-m_1)\Phi\left(\frac{1-m_1}{\sigma_1}\right) + \right. \\ & \left. + \frac{\sigma_1}{\sqrt{2\pi}} \left[ e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{1+m_1}{\sigma_1}\right)^2} - e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{1-m_1}{\sigma_1}\right)^2} \right] \right\} \end{aligned} \quad (P33)$$

$$k_1 = \frac{c}{\sigma_x} \left\{ 1 - \frac{k_0^2 m_x^2}{c^2} + \left( m_1^2 + \sigma_1^2 - 1 \right) \left[ \Phi\left(\frac{1+m_1}{\sigma_1}\right) + \Phi\left(\frac{1-m_1}{\sigma_1}\right) \right] - \frac{\sigma_1(1-m_1)}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{1+m_1}{\sigma_1}\right)^2} - \frac{\sigma_1(1+m_1)}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{1-m_1}{\sigma_1}\right)^2} \right\}^{1/2} \quad (P34)$$

$$k_2 = \frac{c}{\sigma_1} \left[ \Phi\left(\frac{1+m_1}{\sigma_1}\right) + \Phi\left(\frac{1-m_1}{\sigma_1}\right) \right] \quad (P35)$$

Các đồ thị các hệ số được biểu diễn trên hình 375b, c, d.



Hình 375. Các đồ thị đối với đặc tính tuyến tính có bão hòa.

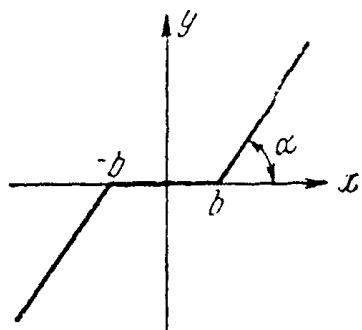
6) Đặc tính tuyến tính có vùng không cảm ứng (hình 376)

$$k_0 = l \left\{ 1 - \frac{1}{m_1} \left[ (1 + m_1) \Phi \left( \frac{1 + m_1}{\sigma_1} \right) - (1 - m_1) \Phi \left( \frac{1 - m_1}{\sigma_1} \right) \right] + \right. \\ \left. + \frac{\sigma_1}{m_1 \sqrt{2\pi}} \left[ e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{1+m_1}{\sigma_1} \right)^2} - e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{1-m_1}{\sigma_1} \right)^2} \right] \right\} \quad (P36)$$

$$k_1 = l \left\{ 1 + \frac{m_1^2 + 1}{\sigma_1^2} - \frac{k_0^2 m_x^2}{l^2} - \left[ 1 + \left( \frac{1 + m_1}{\sigma_1} \right)^2 \right] \Phi \left( \frac{1 + m_1}{\sigma_1} \right) - \right. \\ \left. - \left[ \left( 1 + \frac{1 - m_1}{\sigma_1} \right)^2 \right] \Phi \left( \frac{1 - m_1}{\sigma_1} \right) - \frac{1 + m_1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{1+m_1}{\sigma_1} \right)^2} - \right. \\ \left. - \frac{1 - m_1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{1-m_1}{\sigma_1} \right)^2} \right\}^{1/2} \quad (P37)$$

$$k_2 = l \left[ 1 - \Phi \left( \frac{1 + m_1}{\sigma_1} \right) - \Phi \left( \frac{1 - m_1}{\sigma_1} \right) \right] \quad (P38)$$

$$l = \tan \alpha$$



Hình 376

**31. Tích phân định mức mật độ xác suất của quy luật phân bố tiêu chuẩn**

$$\text{Các giá trị của hàm } \Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^u e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

Bảng P.13

u	$\Phi(u)$	u	$\Phi(u)$	u	$\Phi(u)$	u	$\Phi(u)$
0,00	0,000	0,66	0,245	1,32	0,407	1,98	0,476
0,02	0,008	0,68	0,252	1,34	0,410	2,00	0,477
0,04	0,016	0,70	0,258	1,36	0,413	2,04	0,479
0,06	0,024	0,72	0,264	1,38	0,416	2,08	0,481
0,08	0,032	0,74	0,270	1,40	0,419	2,12	0,483
0,10	0,040	0,76	0,276	1,42	0,422	2,16	0,485
0,12	0,048	0,78	0,282	1,44	0,425	2,20	0,486
0,14	0,056	0,80	0,288	1,46	0,428	2,24	0,488
0,16	0,064	0,82	0,294	1,48	0,431	2,28	0,489
0,18	0,071	0,84	0,300	1,50	0,433	2,32	0,490
0,20	0,079	0,86	0,305	1,52	0,436	2,36	0,491
0,22	0,087	0,88	0,311	1,54	0,438	2,40	0,492
0,24	0,095	0,90	0,316	1,56	0,441	2,44	0,493
0,26	0,103	0,92	0,321	1,58	0,443	2,48	0,493
0,28	0,110	0,94	0,326	1,60	0,445	2,52	0,494
0,30	0,118	0,96	0,332	1,62	0,447	2,56	0,495
0,32	0,126	0,98	0,337	1,64	0,450	2,60	0,495
0,34	0,133	1,00	0,341	1,66	0,452	2,64	0,496
0,36	0,141	1,02	0,346	1,68	0,454	2,68	0,496
0,38	0,148	1,04	0,351	1,70	0,455	2,72	0,497
0,40	0,155	1,06	0,355	1,72	0,457	2,76	0,497
0,42	0,163	1,08	0,360	1,74	0,459	2,80	0,497
0,44	0,170	1,10	0,364	1,76	0,461	2,84	0,498
0,46	0,177	1,12	0,369	1,78	0,463	2,88	0,498
0,48	0,184	1,14	0,373	1,80	0,464	2,92	0,498
0,50	0,192	1,16	0,377	1,82	0,466	2,96	0,499
0,52	0,199	1,18	0,381	1,84	0,467	3,00	0,499
0,54	0,205	1,20	0,385	1,86	0,469	3,20	0,4993
0,56	0,212	1,22	0,389	1,88	0,470	3,40	0,4997
0,58	0,219	1,24	0,393	1,90	0,471	3,60	0,49984
0,60	0,226	1,26	0,396	1,92	0,473	3,80	0,49993
0,62	0,232	1,28	0,400	1,94	0,474	4,00	0,49997
0,64	0,239	1,30	0,403	1,96	0,475	4,50	0,4999997
						5,00	0,49999997

### 32. Mật độ tiêu chuẩn của xác suất có quy luật phân bố theo tiêu chuẩn

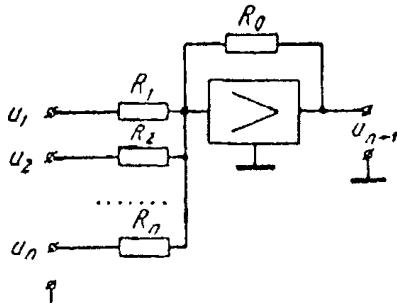
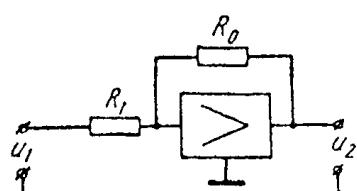
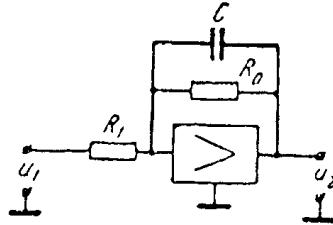
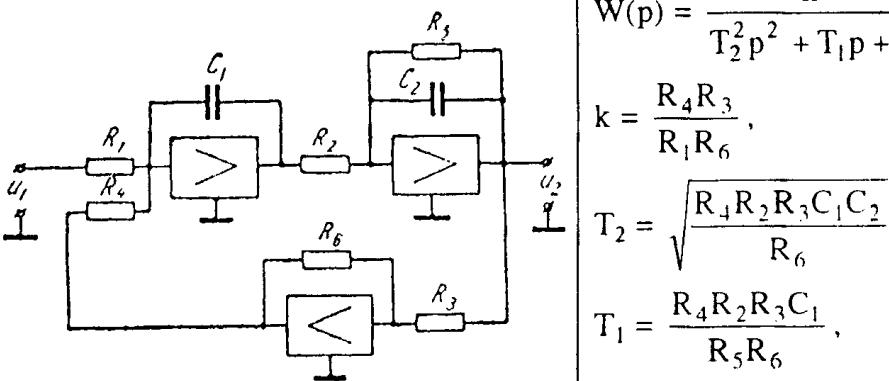
Các giá trị của hàm  $\omega(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$ .

Bảng P.14

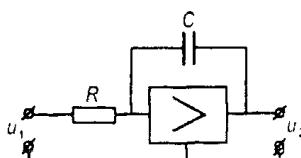
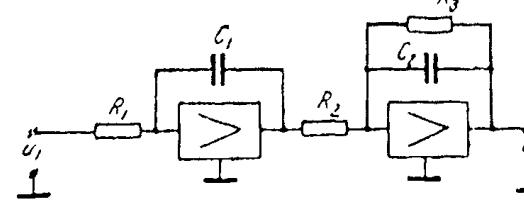
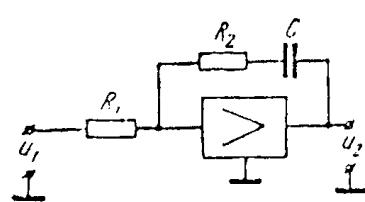
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,399	399	399	399	399	398	398	398	398	397
0,2	391	390	389	389	388	387	386	385	384	383
0,4	368	367	365	364	362	360	359	357	356	354
0,6	333	331	329	327	325	323	321	319	317	314
0,8	290	287	285	283	280	278	276	273	271	269
1,0	0,242	240	237	235	232	230	228	225	223	220
1,2	194	192	189	187	185	183	180	178	176	174
1,4	150	148	146	144	142	139	137	135	133	132
1,6	111	109	107	106	104	102	101	099	097	096
1,8	079	078	076	075	073	072	071	069	068	067
2,0	0,054	053	052	051	050	049	048	047	046	045
2,2	036	035	034	033	033	032	031	030	030	029
2,4	022	022	021	021	020	020	019	019	018	018
2,6	014	013	013	013	012	012	012	011	011	011
2,8	008	008	008	007	007	007	007	007	006	006
3,0	004	004	004	004	004	004	004	004	004	003

**33. Mô hình hóa các phần tử các sơ đồ cấu trúc của các hệ tiêu chuẩn ở các bộ khuếch đại chức năng**

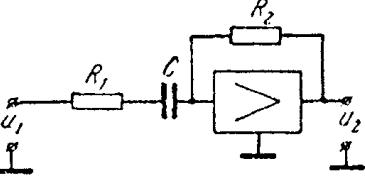
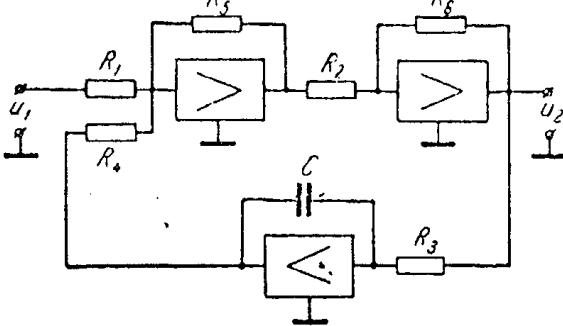
Bảng P.15

TT	Tên phần tử	Mẫu phần tử	Hàm truyền và phương trình phần tử
1	Bộ tổng		$u_{n+1} = -R_0 \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} u_i$
2	Bộ đảo		$u_2 = -\frac{R_0}{R_1} u_1 = -u_1$ $R_0 = R_1$
3	Khâu không quán tính		$u_2 = -ku_1, k = \frac{R_0}{R_1}$
4	Khâu không chu kỳ bậc nhất		$k = -\frac{R_0}{R_1}$ $W(p) = \frac{k}{Tp + 1}$ $T = R_0 C$
5	Khâu không chu kỳ bậc hai		$W(p) = \frac{k}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}$ $k = \frac{R_4 R_3}{R_1 R_6},$ $T_2 = \sqrt{\frac{R_4 R_2 R_3 C_1 C_2}{R_6}}$ $T_1 = \frac{R_4 R_2 R_3 C_1}{R_5 R_6},$ $T_1 > 2T_2$

Bảng P.15 (tiếp theo)

TT	Tên phần tử	Mẫu phần tử	Hàm truyền và phương trình phần tử
6	Khâu dao động	Sơ đồ trùng với sơ đồ chọn khâu không chu kỳ bậc thứ hai (vị trí 5). Cũng xem hình 344, 345.	$W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1}$ $k = \frac{R_4 R_3}{R_1 R_6},$ $T = \sqrt{\frac{R_4 R_2 R_3 C_1 C_2}{R_6}}$ $\xi = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{R_4 R_2 R_3 C_1}{R_5^2 R_6 C_2}},$ $\xi < 1.$
7	Khâu bảo quản		$W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 1}$ $k = \frac{R_4 R_3}{R_1 R_6},$ $T = \sqrt{\frac{R_4 R_2 R_3 C_1 C_2}{R_6}}$ $R_5 = \infty (\text{ngắt}), \xi = 0$
8	Khâu tích phân lý tưởng (bộ tích phân)		$W(p) = \frac{k}{p}, k = -\frac{1}{RC}$
9	Bộ tích phân quán tính		$W(p) = \frac{k}{p(Tp + 1)}$ $= \frac{k(1 + Tp)}{p}$ $k = \frac{R_3}{C_1 R_1 R_2}, T = R_3 C_2$
10	Khâu quân bằng		$W(p) = \frac{k}{p} + k_1$ $k_1 = -\frac{R_2}{R_1}, k = -\frac{1}{R_1 C},$ $T = R_2 C$

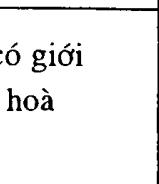
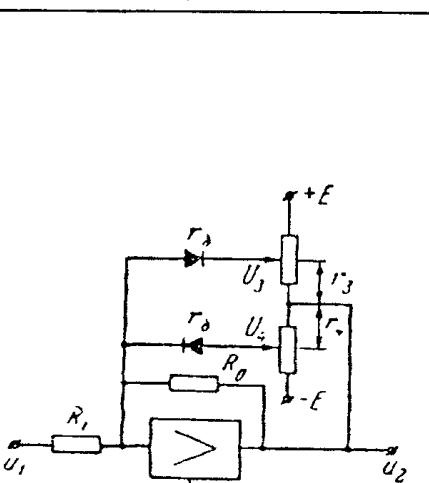
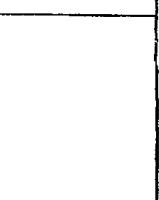
Bảng P.15 (tiếp theo)

TT	Tên phần tử	Mẫu phân tử	Hàm truyền và phương trình phân tử
11	Khâu vi phân quán tính	 	$k = R_2 C$ $T = (R_1 + R_2)C$  $k = \frac{R_4 R_3 C}{R_1}$ , $W(p) = \frac{kp}{Tp + 1}$ $T = \frac{R_4 R_2 R_3 C}{R_5 R_6}$

*Chú thích:* Khâu không chu kỳ bậc hai có thể thu được nhờ hai mô hình nối tiếp khâu không chu kỳ bậc nhất.

**hình hoá các đặc tính tinh phi tuyến ở các bộ khuếch đại chức năng**

B6

Đặc tính tĩnh	Sơ đồ mô hình hóa đặc tính tĩnh	Phương trình hay biểu diễn bằng giải tích đặc tính tĩnh
Tuyến tính có giới hạn hay bão hòa	 	$u_2 = \begin{cases} -ku_1, & 0 \leq \frac{U_3}{k} \\ -U_3 \text{ khi } u_1 \geq \frac{U_3}{k} \\ ku_1, & -\frac{U_4}{k} \leq u_1 \leq 0, \\ U_4 \text{ khi } u_1 \leq -\frac{U_4}{k} \end{cases}$ $k = \frac{R_0}{R_1} \text{ khi } r_{DOBp} = \infty,$ $r_{Dnp}, r_3 \text{ và } r_4 \ll R_1$
		$u_2 = \begin{cases} = U_3 \text{ khi } u_1 \geq 0 \\ U_4 \text{ khi } u_1 < 0 \end{cases}$ $R_0 = \infty, r_{DOBp} = \infty; r_{Dnp}, r_3 \text{ và } r_4 \ll R_1$

Bảng P.16

Đặc tính tĩnh	Sơ đồ mô hình hóa đặc tính tĩnh	Phương trình hay biểu diễn bằng giải tích đặc tính tĩnh
Tuyến tính có vùng không nhạy cảm	<p>Đồ thị đặc tính:</p> <p>Sơ đồ mô hình hóa:</p>	$u_2 = \begin{cases} -k(u_1 - U_4) & \text{khi } u_1 \geq U_4, \\ k(u_1 + U_3) & \text{khi } u_1 \leq -U_3, \\ 0, & -U_3 < u_1 < U_4 \end{cases}$ $k = \frac{R_0}{R_1} \text{ khi } r_{DOBp} = \infty;$ $r_{Dnp}, r_3 \text{ và } r_4 \ll R_1$
Rõle có vùng không nhạy cảm	<p>Đồ thị đặc tính:</p> <p>Sơ đồ mô hình hóa:</p>	$u_2 = \begin{cases} -U_5 & \text{khi } u_1 \geq U_4 \\ U_6 & \text{khi } u_1 \leq -U_3, \\ 0, & -U_3 < u_1 < U_4 \end{cases}$ $r_{DOBp} = \infty; r_{Dnp} \approx 0,$ $r_3, r_4, r_5 \text{ và } r_6 \ll R_0$

Bảng

TT	Đặc tính tĩnh	Sơ đồ mô hình hoá đặc tính tĩnh	Phương trình hay biểu bằng giải tích đặc tính
5	Rơle có nhánh trễ		$u_2 = \begin{cases} -U_3 & \text{khi } u_1 - U_3 < 0, \\ U_4 & \text{khi } u_1 - U_3 > 0, \\ U_4 & \text{khi } u_1 + U_4 > 0, \\ -U_3 & \text{khi } u_1 + U_4 < 0, \end{cases}$
6	Có lỗ hay khe hở		$u_2 = \begin{cases} k(u_1 - U_4) & \text{khi } \frac{du_1}{dt} > 0 \\ k(u_1 + U_3) & \text{khi } \frac{du_1}{dt} < 0 \\ \text{const} & \text{khi } -U_4 \leq \frac{u_2}{k} - u_1 \end{cases}$ $k = \frac{c_1 R_0}{c_0 R_1}$

Điều kiện hàm số  $h(t_0)$

B

$t_0$	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
58	0,165	0,176	0,184	0,192	0,199	0,207	0,215	0,223	0,231	0,240	0,248	0,255	0,259	0,267	0,275	0,282	0,290	0,297	0,304
10	0,326	0,340	0,356	0,371	0,386	0,401	0,417	0,432	0,447	0,461	0,476	0,490	0,505	0,519	0,534	0,547	0,562	0,575	0,589
49	0,469	0,494	0,516	0,538	0,560	0,580	0,603	0,617	0,646	0,665	0,685	0,706	0,722	0,740	0,758	0,776	0,794	0,813	0,832
72	0,597	0,628	0,655	0,683	0,709	0,733	0,761	0,786	0,810	0,833	0,856	0,878	0,899	0,919	0,938	0,956	0,974	0,986	1,000
74	0,705	0,739	0,771	0,802	0,833	0,861	0,891	0,916	0,943	0,967	0,985	1,010	1,031	1,042	1,060	1,078	1,098	1,113	1,127
55	0,790	0,828	0,863	0,896	0,928	0,958	0,987	1,013	1,038	1,061	1,082	1,100	1,117	1,130	1,142	1,154	1,164	1,172	1,180
14	0,853	0,892	0,928	0,963	0,994	1,024	1,050	1,074	1,095	1,115	1,132	1,145	1,158	1,161	1,166	1,171	1,174	1,175	1,180
57	0,896	0,938	0,974	1,008	1,039	1,060	1,090	1,107	1,124	1,142	1,152	1,158	1,159	1,160	1,161	1,156	1,149	1,141	1,135
33	0,923	0,960	0,997	1,029	1,057	1,080	1,100	1,115	1,129	1,138	1,134	1,134	1,138	1,132	1,127	1,111	1,099	1,085	1,070
96	0,936	0,978	1,012	1,042	1,067	1,087	1,103	1,112	1,117	1,118	1,115	1,107	1,098	1,084	1,069	1,053	1,037	1,019	1,000
00	0,940	0,986	1,019	1,046	1,067	1,083	1,093	1,095	1,097	1,092	1,083	1,070	1,050	1,032	1,016	0,994	0,979	0,962	0,945
04	0,943	0,982	1,013	1,037	1,054	1,065	1,070	1,068	1,062	1,051	1,037	1,021	1,003	0,984	0,966	0,949	0,934	0,922	0,905
04	0,942	0,980	1,009	1,030	1,043	1,050	1,049	1,043	1,033	1,018	1,001	0,982	0,965	0,948	0,936	0,920	0,910	0,903	0,890
04	0,944	0,979	1,006	1,024	1,035	1,037	1,033	1,023	1,009	0,993	0,975	0,957	0,941	0,927	0,917	0,911	0,908	0,909	0,900
07	0,945	0,980	1,006	1,019	1,025	1,025	1,017	1,005	0,989	0,974	0,958	0,944	0,926	0,922	0,911	0,920	0,927	0,934	0,940
10	0,951	0,985	1,008	1,020	1,024	1,021	1,012	0,995	0,981	0,966	0,951	0,941	0,935	0,932	0,936	0,944	0,955	0,970	0,980
18	0,956	0,989	1,010	1,021	1,022	1,018	1,007	0,992	0,977	0,966	0,949	0,944	0,948	0,951	0,958	0,974	0,990	1,006	1,020
24	0,965	0,997	1,016	1,025	1,025	1,018	1,006	0,992	0,978	0,970	0,960	0,961	0,966	0,976	0,990	1,006	1,023	1,039	1,050
32	0,972	1,004	1,022	1,029	1,027	1,019	1,006	0,993	0,982	0,975	0,972	0,980	0,987	1,000	1,015	1,033	1,048	1,059	1,070
39	0,978	1,009	1,025	1,031	1,027	1,019	1,006	0,993	0,987	0,982	0,985	0,993	1,006	1,020	1,036	1,049	1,059	1,063	1,068
46	0,985	1,013	1,028	1,033	1,028	1,017	1,005	0,993	0,991	0,987	0,996	1,007	1,017	1,033	1,046	1,054	1,058	1,065	1,070
47	0,988	1,015	1,029	1,031	1,025	1,014	1,002	0,993	0,991	0,993	1,002	1,014	1,027	1,039	1,047	1,048	1,044	1,034	1,025
49	0,988	1,016	1,027	1,028	1,021	1,010	0,999	0,991	0,989	0,997	1,006	1,017	1,029	1,037	1,043	1,034	1,024	1,010	0,995
50	0,988	1,015	1,025	1,024	1,015	1,004	0,994	0,988	0,987	0,997	1,006	1,019	1,026	1,027	1,025	1,015	1,000	0,984	0,965
50	0,989	1,013	1,022	1,019	1,010	0,999	0,990	0,986	0,986	0,997	1,006	1,018	1,019	1,017	1,010	0,995	0,979	0,965	0,945

Bảng P.17

0,0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
0,950	0,989	1,012	1,019	1,015	1,005	0,994	0,986	0,985	0,987	0,997	1,006	1,014	1,012	1,005	0,993	0,980	0,964	0,955	0,955
0,950	0,990	1,011	1,017	1,011	1,000	0,990	0,983	0,984	0,988	0,998	1,006	1,010	1,005	0,995	0,982	0,968	0,958	0,954	0,954
0,952	0,989	1,001	1,016	1,000	0,997	0,988	0,983	0,985	0,991	1,000	1,006	1,008	0,999	0,987	0,974	0,965	0,961	0,965	0,965
0,954	0,990	1,012	1,015	1,008	0,996	0,987	0,985	0,988	0,996	1,002	1,006	1,005	0,994	0,983	0,970	0,969	0,971	0,981	0,981
0,956	0,993	1,012	1,014	1,007	0,995	0,988	0,987	0,991	1,000	1,005	1,007	1,002	0,993	0,983	0,976	0,978	0,987	1,001	1,001
0,959	0,995	1,014	1,014	1,006	0,995	0,989	0,988	0,996	1,004	1,007	1,007	1,001	0,993	0,985	0,984	0,991	1,003	1,019	1,019
0,961	0,997	1,015	1,014	1,006	0,995	0,991	0,992	0,998	1,007	1,011	1,008	1,001	0,994	0,990	0,993	1,003	1,018	1,031	1,031
0,964	0,999	1,016	1,014	1,005	0,995	0,993	0,995	1,002	1,009	1,011	1,008	1,001	0,996	0,995	1,001	1,014	1,027	1,036	1,036
0,965	1,001	1,016	1,013	1,005	0,995	0,994	0,997	1,005	1,010	1,012	1,007	0,999	0,997	0,999	1,008	1,020	1,030	1,032	1,032
0,966	1,002	1,015	1,012	1,003	0,995	0,994	0,998	1,006	1,010	1,009	1,005	0,997	0,998	1,002	1,012	1,023	1,027	1,023	1,023
0,967	1,002	1,015	1,011	1,002	0,995	0,995	1,001	1,008	1,010	1,008	1,002	0,997	0,998	1,004	1,014	1,020	1,018	1,008	0,999
0,967	1,001	1,015	1,009	1,001	0,994	0,995	1,001	1,007	1,009	1,006	0,999	0,995	0,998	1,003	1,012	1,014	1,007	0,993	0,993
0,967	1,000	1,015	1,008	0,998	0,992	0,995	1,001	1,006	1,006	1,001	0,995	0,993	0,997	1,004	1,009	1,006	0,995	0,981	0,981
0,967	1,000	1,014	1,006	0,996	0,991	0,995	1,001	1,005	1,004	0,998	0,992	0,992	0,996	1,003	1,005	0,998	0,985	0,973	0,973
0,967	1,000	1,013	1,005	0,995	0,991	0,995	0,001	1,005	1,002	0,996	0,991	0,992	0,995	1,003	1,001	0,991	0,979	0,972	0,972
0,968	1,002	1,012	1,004	0,994	0,991	0,996	1,002	1,004	1,001	0,995	0,991	0,994	0,996	1,001	0,996	0,986	0,976	0,974	0,974
0,968	1,002	1,011	1,003	0,994	0,992	0,997	1,003	1,004	1,001	0,995	0,993	0,997	0,996	0,999	0,993	0,983	0,975	0,981	0,981
0,969	1,002	1,011	1,003	0,995	0,992	0,999	1,004	1,004	1,001	0,996	0,995	1,000	0,995	0,998	0,992	0,986	0,988	0,997	0,997
0,971	1,002	1,011	1,002	0,995	0,993	1,000	1,005	1,004	1,000	0,996	0,996	1,000	0,994	0,997	0,991	0,991	0,997	1,012	1,012
0,973	1,002	1,011	1,002	0,996	0,995	1,002	1,006	1,004	0,999	0,997	1,000	1,004	1,000	0,996	0,992	0,998	1,008	1,022	1,022
0,974	1,005	1,011	1,002	0,996	0,997	1,004	1,007	1,003	0,999	0,998	1,001	1,006	1,001	0,997	0,994	1,002	1,015	1,025	1,025
0,975	1,005	1,010	1,002	0,996	0,998	1,004	1,008	1,003	0,998	0,999	1,002	1,007	1,002	0,998	0,997	1,007	1,017	1,023	1,023
0,975	1,005	1,010	1,001	0,996	0,999	1,005	1,007	1,002	0,997	1,000	1,002	1,008	1,003	0,999	1,000	1,008	1,017	1,015	1,015
0,975	1,005	1,009	1,000	0,996	0,999	1,005	1,006	1,001	0,997	1,000	1,002	1,006	1,003	1,000	1,002	1,008	1,014	1,005	0,999
0,975	1,005	1,008	1,000	0,995	0,999	1,005	1,004	1,000	0,996	1,000	1,002	1,004	1,003	1,001	1,003	1,005	1,008	0,991	0,991
0,975	1,005	1,008	0,999	0,995	0,999	1,004	1,003	0,998	0,996	1,000	1,002	1,002	1,002	1,000	1,004	1,004	1,001	0,986	0,986
0,975	1,005	1,007	0,999	0,995	0,999	1,004	1,002	0,997	0,996	1,000	1,002	1,000	1,001	1,002	1,004	1,002	0,987	0,984	0,984

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Đình Trí, Tạ Văn Đĩnh, Nguyễn Hồ Quỳnh. Toán học cao cấp (ba tập). Nhà xuất bản Giáo dục, 2004.
2. P. E. Dankó, A. C. Popov. Bài tập toán học cao cấp. Nhà xuất bản "Mir" Maxccva., 1983.
3. Đặng Văn Đào, Lê Văn Doanh. Kỹ thuật điện. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật Hà Nội, 2007.
4. Nguyễn Bình Thành, Nguyễn Trần Quân, Phạm Khắc Chương. Cơ sở lý thuyết mạch. Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp, Hà Nội, 1971.
5. Nguyễn Văn Mạnh. Lý thuyết điều chỉnh tự động quá trình nhiệt. Nhà in tại chức Bách khoa Hà Nội, 1993.
6. B. A. Bexenxki. Tuyển tập các bài toán điều khiển tự động. Nhà xuất bản "Khoa học", Maxcova, 1979 (bằng tiếng Nga).
7. B. A. Bexenxki. Lý thuyết điều chỉnh tự động. Nhà xuất bản "Khoa học", Maxccva, 1963 (bằng tiếng Nga).
8. B. I. Anhiximov. Tuyển tập các bài toán điều khiển tự động. Nhà xuất bản Năng lượng;, 1973 (bằng tiếng Nga).
9. Nguyễn Doãn Phước. Lý thuyết điều chỉnh tuyến tính. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật Hà Nội, 2002.
10. Nguyễn Thương Ngộ. Lý thuyết điều khiển tự động thông thường và hiện đại. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật Hà Nội, 2003.

# MỤC LỤC

Lời nói đầu

3

## PHẦN I CÁC HỆ PHƯƠNG TRÌNH TUYẾN TÍNH CỦA ĐIỀU CHỈNH TỰ ĐỘNG

### *Chương 1*

#### CÁC PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN VÀ CÁC HÀM TRUYỀN CỦA CÁC KHÂU VÀ CÁC HỆ TỰ ĐỘNG

1.1. Các phương trình vi phân và các hàm truyền của các khâu	5
1.2. Các khâu động lực điển hình	20
1.3. Các phương trình vi phân và các hàm truyền của các hệ tự động	23
1.4. Các sơ đồ cấu tạo và biến đổi của chúng	29

### *Chương 2*

#### CÁC ĐẶC TÍNH TẦN SỐ CỦA CÁC KHÂU ĐỘNG LỰC VÀ CÁC HỆ ĐIỀU CHỈNH TỰ ĐỘNG

2.1. Các đặc tính của các khâu động lực học	34
2.2. Các đặc tính biên độ - pha của hệ điều khiển tự động hở	43
2.3. Các đặc tính tần số thực của các hệ điều chỉnh tự động kín	50
2.4. Các đặc tính lôgarit của hệ điều chỉnh tự động	54

### *Chương 3*

#### ĐỘ ỔN ĐỊNH CỦA CÁC HỆ TUYẾN TÍNH

3.1. Các tiêu chuẩn ổn định đại số	62
3.2. Các tiêu chuẩn độ ổn định Mikhailov	71
3.3. Tiêu chuẩn ổn định Naikvista	77
3.4. Xác định độ ổn định theo các đặc tính tần số lôgarit của hệ hở	84
3.5. Xây dựng các vùng ổn định	88

### *Chương 4*

#### XÂY DỰNG CÁC QUÁ TRÌNH CHUYỂN TIẾP TRONG CÁC HỆ ĐIỀU CHỈNH TỰ ĐỘNG

4.1. Phương pháp cổ điển giải các phương trình vi phân	92
4.2. Sử dụng biểu diễn Laplace và Karson - Hevinsaid	100

4.3. Các phương pháp gần đúng tính toán các quá trình chuyển tiếp	113
A. Sử dụng các đặc tính tần số	113
B. Sử dụng các đường cong tiêu chuẩn đối với hệ pha tối thiểu có Đ.B.L điển hình	120

*Chương 5*  
**ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG ĐIỀU CHỈNH**

5.1. Xác định chính xác khi tồn tại dạng đã cho	127
5.2. Xác định độ chính xác khi có tác dụng nhiễu	138
5.3. Các phương pháp gốc đánh giá các tính chất động lực học	140
5.4. Đánh giá theo đường cong của quá trình chuyển tiếp	143
5.5. Các đánh giá tích phân	146
5.6. Các đánh giá các tính chất động lực theo tần số	150

*Chương 6*  
**TỔNG HỢP CÁC HỆ TUYẾN TÍNH**

6.1. Chọn các thông số CAP theo độ chính xác yêu cầu	154
6.2. Các phương pháp đại số chọn các thông số CAP	163
6.3. Các phương pháp tần số chọn các thông số CAP tính toán các thiết bị hiệu chỉnh biên tiếp	168
6.4. Tính toán các mối liên hệ ngược bổ sung và các mối liên hệ hiệu chỉnh song song thẳng	181
6.5. Tính toán các hệ điều khiển tổ hợp	192
6.6. Tính toán các mạch hiệu chỉnh nối tiếp làm việc ở tần số mạng	197

*Chương 7*  
**CÁC QUÁ TRÌNH NGẪU NHIÊN TRONG CÁC HỆ TUYẾN TÍNH**

7.1. Tính toán các hàm hiệu chỉnh và các mật độ phổ	200
7.2. Sự đi qua của tín hiệu ngẫu nhiên tĩnh qua hệ tuyến tính	209

*Chương 8*  
**CÁC HỆ CÓ CÁC THÔNG SỐ BIẾN ĐỔI**

8.1. Xây dựng các quá trình chuyển tiếp	222
8.2. Đánh giá độ ổn định và chất lượng điều chỉnh	227

*Chương 9*  
**CÁC HỆ CÓ TRỄ VÀ VỚI CÁC THÔNG SỐ PHÂN BỐ**

9.1. Các hệ có độ trễ tức thời	232
9.2. Các hệ có các thông số phân bố	237

*Chương 10*

**CÁC HỆ XUNG** 239

10.1. Các hàm phân tán và các phương trình của hệ xung	239
10.2. Độ ổn định và chất lượng các hệ xung	249

**PHẦN II**

**CÁC HỆ KHÔNG TUYẾN TÍNH  
CỦA HỆ ĐIỀU CHỈNH TỰ ĐỘNG**

*Chương 11*

**LẬP CÁC PHƯƠNG TRÌNH CỦA CÁC HỆ KHÔNG TUYẾN TÍNH** 255

11.1. Các phương trình của các hệ theo dõi không tuyến tính	255
11.2. Các phương trình của hệ ổn định không tuyến tính	260

*Chương 12*

**CÁC PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU CHÍNH XÁC  
ĐỘ ỔN ĐỊNH VÀ TỰ DAO ĐỘNG**

12.1. Phương pháp các quỹ đạo pha	265
12.2. Phương pháp A. M. Liapunov - A. I. Lurie	275
12.3. Phương pháp tần số B. M. Popov	279
12.4. Phương pháp rập lại	282

*Chương 13*

**CÁC PHƯƠNG PHÁP GẦN ĐÚNG NGHIÊN CỨU  
ĐỘ ỔN ĐỊNH VÀ SỰ TỰ DAO ĐỘNG**

13.1. Các phương pháp đại số xác định độ ổn định và sự tự dao động	286
13.2. Phương pháp tần số xác định tự dao động	292

*Chương 14*

**ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG CÁC HỆ PHI TUYẾN**

14.1. Nghiên cứu các quá trình dao động chuyển tiếp bằng các phương pháp giải tích	300
14.2. Nghiên cứu các quá trình dao động chuyển động bằng các phương pháp tần số	307

*Chương 15*

**CÁC DAO ĐỘNG CUỐNG BỨC TRONG CÁC HỆ PHI TUYẾN**

15.1. Xác định các dao động cuồng bức đơn tần bằng phương pháp đồ thị	311
15.2. Tìm các dao động cuồng bức đơn tần đối xứng bằng phương pháp tần số	315

*Chương 16*  
**DIỄN BIẾN CỦA CÁC QUÁ TRÌNH NGẦU NHIÊN  
QUA CÁC HỆ PHI TUYẾN**

16.1. Xác định các hàm và các mômen phân bố quá trình ngẫu nhiên ở đầu ra hệ phi tuyến	321
16.2. Tính toán các hệ phi tuyến nhờ tuyến tính hóa tĩnh	326

**PHẦN III  
CÁC HỆ TỐI ƯU, SỐ, TỰ HIỆU CHỈNH  
VÀ MÔ HÌNH HOÁ**

*Chương 17*  
**TỔNG HỢP CÁC HỆ ĐIỀU CHỈNH TỐI ƯU**

17.1. Tổng hợp các hệ tối ưu với sự sử dụng nguyên lý cực đại	334
17.2. Tổng hợp các hệ tối ưu bằng phương pháp lập trình động lực học và tính toán thay đổi cổ điển	339

*Chương 18*  
**CÁC HỆ CÓ MÁY TÍNH SỐ (MTS)**

18.1. Các hàm truyền của hệ với (MTS) khi tính toán lượng tử theo thời gian	344
18.2. Độ ổn định và đánh giá chất lượng	349
18.3. Tổng hợp các hệ với MTS	352

*Chương 19*  
**CÁC HỆ CỰC ĐẠI VÀ TỰ HIỆU CHỈNH**

19.1. Lập các sơ đồ cấu trúc của các hệ cực đại và tự hiệu chỉnh và nghiên cứu độ ổn định của chúng	359
19.2. Chất lượng các hệ điều chỉnh cực đại	365

*Chương 20*  
**THÀNH LẬP CÁC SƠ ĐỒ ĐỂ MÔ HÌNH HOÁ  
CÁC HỆ ĐIỀU KHIỂN Ở CÁC MÁY TÍNH LIÊN TỤC**

20.1. Thành lập các sơ đồ để mô hình hoá các phần tử của hệ tự động ở các máy tính điện tử	373
20.2. Lập sơ đồ để mô hình hoá các phương trình vi phân và các hệ tự động trên các máy tính điện tử	383

**PHỤ LỤC**

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

442