МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Н.Э. БАУМАНА

Учебное пособие

Курс семинаров

«Основы автоматики и системы автоматического управления»

МГТУ имени Н.Э. Баумана

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Н.Э. БАУМАНА

Курс семинаров

«Основы автоматики и системы автоматического управления»

Москва
МГТУ имени Н.Э. Баумана

2012

УДК 681.3.06(075.8)
ББК 32.973-018
И201

Курс лекций «Основы автоматики и системы автоматического управления» / Под ред. А.Ф. Шариповой М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 18 с.: ил.

В курсе семинаров рассмотрены основные этапы курса «Основы автоматики и системы автоматического управления».

Ил. 39. Табл. 5. Библиогр. 7 назв.

УДК 681.3.06(075.8)

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012

АННОТАЦИЯ

В курсе семинаров рассмотрены основные темы курса «Основы автоматики и системы автоматического управления» такие как: Обратная связь в нестабильном процессе, на примере лазерного дискового привода. В процессе расчетов задействован математический аппарат, позволяющий точно рассчитать управляющее воздействие, которое необходимо сообщить системе, для ее стабильной работы.

ANNOTATION

The course of seminars addressed the main themes of the course "Fundamentals of automation and automatic control systems," such as: Feedback in an unstable process, an example of the laser disk drive. In the course of the calculations involved mathematical formalism that allows to accurately calculate the control action which is necessary to tell the system to its stable operation.

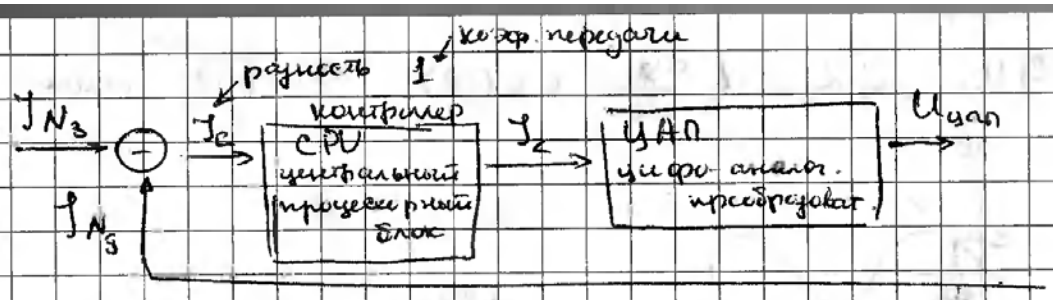
СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……..……..……..…...……..6
1 ЛЕКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО КУРСУ …….……..……..….7
1.1 Семинар 1..……..……7
1.2 Семинар 2..……..…….…..14
1.3 Семинар 3..……..……..19
1.4 Семинар 4..……..……..23
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ…..…….…....……....25

ВВЕДЕНИЕ

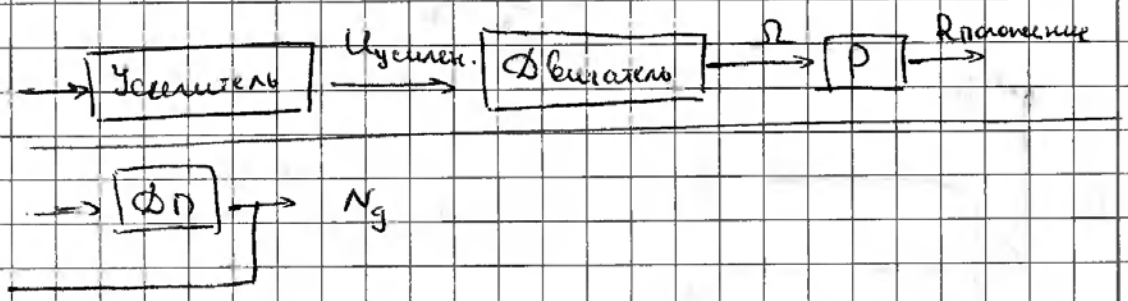
Данный конспект лекций составлен на основе курса семинаров, читаемого в МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре ИУ4 преподавателем Деменковым Н.П. Курс лекций рекомендован к выполнению текущих аттестационных мероприятий и подготовки к экзамену по предмету «Основы автоматики и системы автоматического управления».

1 09 09

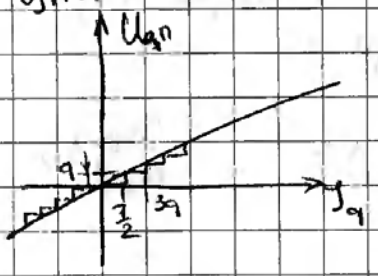


$N_з$ – $N_{задание}$

N_g – действительное



ЦАП



1) Коэф. ошибки: $J_e = N_з - N_g$ – элемент сравнен.

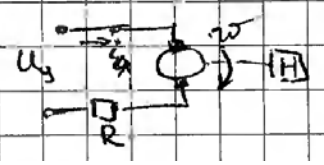
2) $U_{цап} = K_{цап} J_e (t-\tau)$, – ЦАП.

τ – время запаздывания

3) $U_{у\ управл} = K_у \cdot U_{цап}$

коэф. упр.

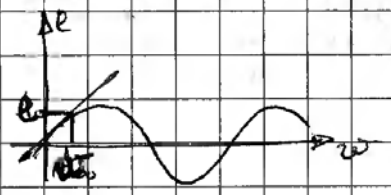
4) Двиг. const тока



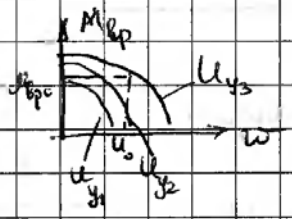
механ. часть

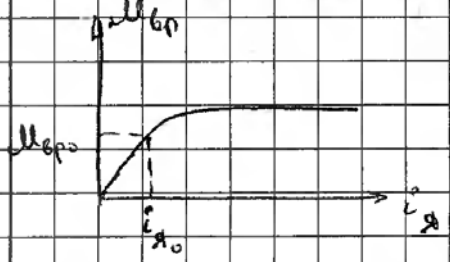
$$J \frac{d\Omega}{dt} = M_{вр} - M_н$$

2) $U_y = i_я R_я + L_я \frac{di_я}{dt} + e(\Omega)$ Электрич. описание



$M_{вр} = f(\omega, i_я)$





выбрали опорный режим (U_0, и i_0)
и теперь линеаризуем ур-е:

4) $J \frac{d(\omega_0 + \Delta\omega)}{dt} = M_{вр_0} + \left(\frac{\partial M_{вр}}{\partial \omega}\right)_0 \Delta\omega + \left(\frac{\partial M_{вр}}{\partial i_я}\right)_0 \Delta i_я -$

$- M_{н0} - \left(\frac{\partial M_н}{\partial \omega}\right) \Delta\omega$

$U_{y_0} + \Delta U_y = (i_{я0} + \Delta i_я) R_я + L_я \frac{d(i_{я0} + \Delta i_я)}{dt} + e_0 +$

$+ \left(\frac{\partial e}{\partial \omega}\right)_0 \Delta\omega.$

$J \frac{d\Delta\omega}{dt} = \left(\frac{\partial M_{вр}}{\partial i_я}\right) \Delta i_я = C_м \Delta i_я$

$\Delta U_y = R_я \Delta i_я + L_я \frac{d\Delta i_я}{dt} + \overbrace{\left(\frac{\partial e}{\partial \omega}\right)_0}^{C_e} \Delta\omega$

5) $i = \frac{\omega_{трейка}}{\omega_{двиг}}$ (колеса) передаточное отношение

Редуктор

6) $R_{положе.} = \int V_{колеса}\, dt = \int \omega_к R_к\, dt$

Положение головки.

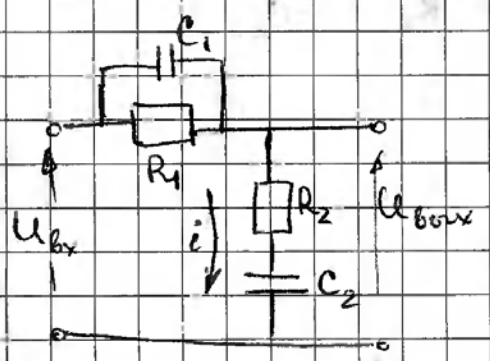
$$R_п = \omega_к R_к$$

7) $N_д = k_{\substack{датчик \\ положе}} \cdot R_{положе.}$

Описывается сис-ма ур-ем 3-его порядка (данная сис-ма).

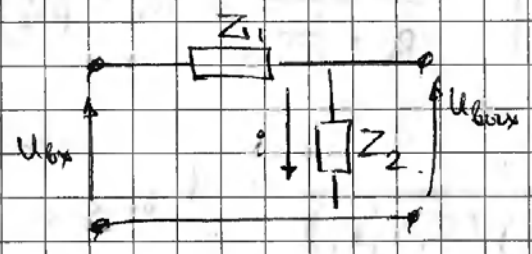
Моделирование: задача Коши или представление д/ аналоговых устройств.

Найти мат. описание:



i – (связной параметр) единый параметр. Для входного и выходного параметра.

$U_{вх} + R_1 i +$



$$Z_1 = \frac{R_1 \cdot \frac{1}{j\omega C_1}}{R_1 + \frac{1}{j\omega C_1}}$$

$$Z_2 = R_2 + \frac{1}{j\omega C_2}$$

$$U_{вх} + i \cdot Z_1 + i Z_2 = 0$$

$$U_{вых} + i Z_2 = 0.$$

$$\begin{cases} U_{вх} + i \left[\dfrac{R_1 \cdot \frac{1}{j\omega C_1}}{R_1 + \frac{1}{j\omega C}} + R_2 + \dfrac{1}{j\omega C_2} \right] = 0. \\ U_{вых} + i \left(R_2 + \dfrac{1}{j\omega C_2} \right) = 0. \end{cases}$$

$$U_{вх} = - i \left[\frac{R_1 \cdot \frac{1}{j\omega C_1}}{R_1 + \frac{1}{j\omega C_1}} + R_2 + \frac{1}{j\omega C_2} \right]$$

$$U_{вых} = - i \left(R_2 + \frac{1}{j\omega C_2} \right)$$

$$Z_1 = \frac{R_1 \cdot \frac{1}{pC_1}}{R_1 + \frac{1}{pC_1}}; \quad Z_2 = R_2 + \frac{1}{pC_2}.$$

$$i = - \frac{U_{вых}}{R_2 + \frac{1}{pC_2}}$$

$$U_{вх} = \frac{U_{вых}}{R_2 + \frac{1}{pC_2}} \left[\frac{R_1 \cdot \frac{1}{pC_1}}{R_1 + \frac{1}{pC_1}} + R_2 + \frac{1}{pC_2} \right] =$$

$$= U_{вых} \cdot \frac{R_1 \cdot \frac{1}{pC_1}}{\left(R_2 + \frac{1}{pC_2}\right)\left(R_1 + \frac{1}{pC_1}\right)} + U_{вых}.$$

$$q \longleftrightarrow \frac{dU_{вх}}{dt}$$

$$\boxed{\frac{R_1 \cancel{pC_1}}{\cancel{pC_1}(R_1 pC_1 + 1)}}$$

R_2

$U_{вых} =$

$$U_{вых} = \frac{U_{вх}}{R_1 \cdot \frac{\frac{1}{pC_1}}{R_1 + \frac{1}{pC_1}} + R_2 + \frac{1}{pC_2}} \cdot \left(R_2 + \frac{1}{pC_2}\right)$$

$$U_{вых} = \frac{U_{вх} \cdot}{\frac{R_1 \cdot \frac{1}{pC_1}}{\left(R_1 + \frac{1}{pC_1}\right)\left(R_2 + \frac{1}{pC_2}\right)} + 1} =$$

$$= \frac{U_{вх}\left(R_1 + \frac{1}{pC_1}\right)\left(R_2 + \frac{1}{pC_2}\right)}{R_1 \cdot \frac{1}{pC_1} + R_1 R_2 + R_1 \frac{1}{pC_2} + R_2 \frac{1}{pC_1} + \frac{1}{pC_1 \cdot pC_2}} =$$

$$= \frac{U_{вх}\left(R_1 pC_1 + 1\right)\left(R_2 pC_2 + 1\right)}{R_1 pC_2 + R_1 R_2 pC_1 pC_2 + R_1 pC_1 + R_2 pC_2 + 1}$$

Нужно получить:

$$U_{вх} \longrightarrow \boxed{\frac{A(p)}{B(p)}} \longrightarrow U_{вых}$$

$$U_{вх} \cdot \frac{A(p)}{B(p)} = U_{вых} \Rightarrow$$

$$U_{вх} \cdot A(p) = U_{вых} \cdot B(p).$$

$$U_{вых}\left(R_1 \cdot \frac{dU_{вх}}{dt} C_2 + R_1 R_2 \cdot \left(\frac{dU_{вх}}{dt}\right)^2 C_1 C_2 + R_1 \cdot \frac{dU_{вх}}{dt} C_1 + R_2 \frac{dU_{вх}}{dt} C_2 + 1\right) = U_{вх}\left(R_1 \frac{dU_{вх}}{dt} C_1 + 1\right)\left(R_2 \frac{dU_{вх}}{dt} C_2 + 1\right)$$

$$\underbrace{R_1R_2C_1C_2}_{a_2}p^2(U_{вых}) + \underbrace{(R_1C_2 + R_2C_2 + R_1C_1)}_{a_1}p(U_{вых}) +$$

$$+ \underset{a_0}{1}U_{вых} = \underset{b_0}{1}U_{вх} + \underbrace{(R_2C_2 + R_1C_1)}_{b_1}p(U_{вх}) + \underbrace{R_1R_2C_1C_2}_{b_2}p^2(U_{вх})$$

$$a_2p^2(U_{вых}) + a_1p(U_{вых}) + a_0U_{вых} =$$

$$= b_2p^2(U_{вх}) + b_1p(U_{вх}) + b_0U_{вх}$$

$$a_2\frac{d^2U_{вых}}{dt^2} + a_1\frac{dU_{вых}}{dt} + a_0U_{вых} =$$

$$= b_2\frac{d^2U_{вх}}{dt^2} + b_1\frac{dU_{вх}}{dt} + b_0U_{вх}$$

Задача наоборот → записать ур-е в операт. форме

$$4\dddot{x} + 3\ddot{x} + 2\dot{x} + x = 2\dot{g} + g$$

$$p = \frac{d}{dt}; \quad p^2 = \frac{d^2}{dt^2}; \quad p^3 = \frac{d^3}{dt^3}$$

$$4\frac{d^3x}{dt^3} + 3\frac{d^2x}{dt^2} + 2\frac{dx}{dt} + x = 2\frac{dg}{dt} + g$$

$$4p^3(x) + 3p^2(x) + 2p(x) + x = 2p(g) + g$$

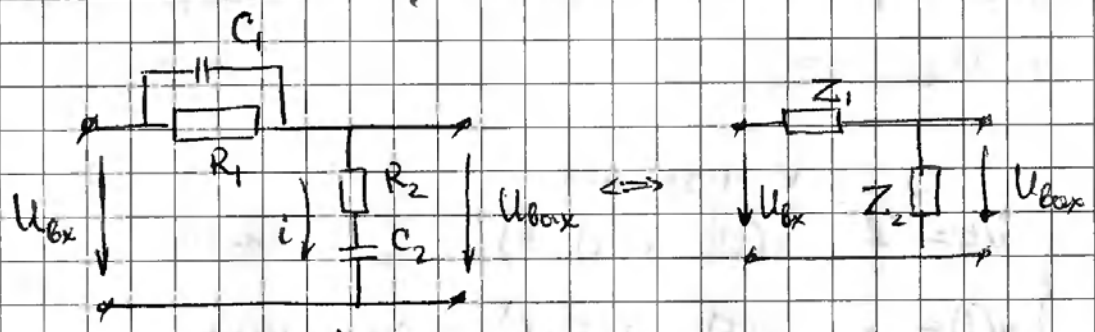
$$(4p^3 + 3p^2 + 2p + 1)x = (2p + 1)g$$

$$\xrightarrow{g} \boxed{\frac{2p+1}{4p^3+3p^2+2p+1}} \xrightarrow{x}$$

(Связь в левой форме).

Д/з. делать (мат. опис. 10).
— и 16

Мат. описание: ?



$$Z_1 = \frac{R_1 \cdot \frac{1}{pC_1}}{R_1 + \frac{1}{pC_1}} \; ; \quad Z_2 = R_2 + \frac{1}{pC_2}$$

$$\left.\begin{aligned} U_{вх} &= i\,(Z_1 + Z_2) \\ U_{вых} &= i\,Z_2 \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad i = \frac{U_{вх}}{Z_1 + Z_2}$$

$$U_{вых} = \frac{U_{вх}}{Z_1 + Z_2} \cdot Z_2$$

$$U_{вых}\, Z_2 = \frac{1}{Z_1 + Z_2}\, U_{вх}.$$

$$Z_1 + Z_2 = \frac{R_1 \cdot \frac{1}{pC_1}}{R_1 + \frac{1}{pC_1}} + R_2 + \frac{1}{pC_2} =$$

$$= \frac{R_1}{R_1 pC_1 + 1} + \frac{R_2 pC_2 + 1}{pC_2} =$$

$$= \frac{R_1 pC_2 + R_1 R_2 C_1 C_2 p^2 + R_1 C_1 p + R_2 pC_2 + \cancel{R_2 pC_2}^{\,1}}{p^2 C_1 C_2 R_1 + pC_2} =$$

$$= \frac{R_1 R_2 C_1 C_2 p^2 + (R_1 C_2 + R_1 C_1 + R_2 C_2)p + 1}{C_1 C_2 R_1 p^2 + C_2 p}$$

$$U_{вых}\left(\frac{R_2C_2p+1}{C_2p}\right)=\frac{(C_1C_2p^2+C_2p)\,U_{вх}}{R_1R_2C_1C_2p^2+(R_1C_2+R_1C_1+R_2C_2)p+1}$$

$$R_1R_2C_1C_2p^2(U_{вых})+(R_1C_2+R_1C_1+R_2C_2)p(U_{вых})+$$
$$+U_{вых}=$$

15.09.09.

$$\begin{cases}\dot{x}(t)=f(x(t),u(t),t) & \text{— „уравнение"}\\ y(t)=g(x(t),u(t),t) & \text{— измерения}\end{cases}\qquad(1)$$

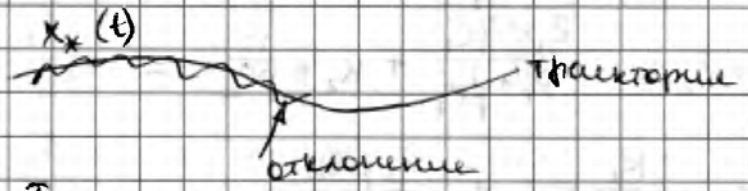
$\forall$ функция

линейное пр-во состояний:

$$\begin{cases}\dot{x}(t)=A(t)x(t)+B(t)u(t)\\ y(t)=C(t)x(t)+D(t)u(t).\end{cases}\qquad(2)$$

Переходят от (1) к (2), решительное первое ур-е в (1) в ряд. Тейлора.

$x_*(t)$; $u_*(t)$ — опорные траектории. (точки)



Ряд Тейлора:

$$\underbrace{\dot{x}_*(t)}_{\text{из сис-мы (1)}}+\Delta\dot{x}(t)=f^*(x_*,u_*,t)+\left.\frac{\partial f}{\partial x}\right|_{x_*}\Delta x+$$
$$+\left.\frac{\partial f}{\partial u}\right|_{u_*}\Delta u+O^2$$

пренебрежимо малые отклонения.

$$y_*(t) + \Delta y(t) = g^*(x_*, u_*, t) + \frac{\partial g}{\partial x}\Big|_{x_*} \Delta x +$$

по сис-ме (1)

$$+ \frac{\partial g}{\partial u}\Big|_{u_*} \cdot \Delta u + o^2$$

$\Downarrow$ Ур-е в отклонениях:

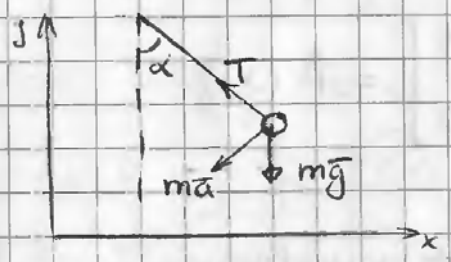
$$\begin{cases} \Delta \dot{x}(t) = \frac{\partial f}{\partial x}\Big|_{x_*} \cdot \Delta x + \frac{\partial f}{\partial u}\Big|_{u_*} \Delta u \\ \Delta y(t) = \frac{\partial g}{\partial x}\Big|_{x_*} \Delta x + \frac{\partial g}{\partial u}\Big|_{u_*} \cdot \Delta u \end{cases} \quad (3)$$

$$A(t) = \frac{\partial f}{\partial x}\Big|_{x_*}; \qquad B(t) = \frac{\partial f}{\partial u}\Big|_{u_*}$$

$$C(t) = \frac{\partial g}{\partial x}\Big|_{x_*}; \qquad D(t) = \frac{\partial g}{\partial u}\Big|_{u_*}$$

f, g, x, u – векторы.

Составить ур-е в отклонениях $\int$ маятника и линеаризовать его.



$y)$ $mg + ma\sin\alpha = T\cdot\cos\alpha$

$x)$ $ma\cdot\cos\alpha + T\sin\alpha = 0.$

$$\frac{mg + ma\cdot\sin\alpha}{\cos\alpha}\cdot\sin\alpha + ma\cos\alpha = 0$$

$$g \cdot tg\alpha + \frac{a \cdot \sin^2\alpha}{\cos\alpha} + a\cos\alpha = 0$$

$$g \cdot \sin\alpha + a \cdot \sin^2\alpha + a\cos^2\alpha = 0.$$

$$g \cdot \sin\alpha + a = 0.$$

$$a = l \cdot \ddot{\alpha}$$

$$l\ddot{\alpha} + g\sin\alpha = 0;$$

$$\alpha = x_1,$$
$$\dot{\alpha} = \dot{x}_1 = x_2,$$
$$\ddot{\alpha} = \dot{x}_2$$

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -\frac{g}{l}\sin x_1 \end{cases}$$

$$f = \begin{bmatrix} x_2 \\ -\frac{g}{l}\sin x_1 \end{bmatrix}$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_1 \partial x_2} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x_1} & \frac{\partial f}{\partial x_2} \end{bmatrix} = \frac{\partial f}{\partial x}$$

$$f = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{g}{l}\cos x_1 & 0 \end{bmatrix} = A$$

в т. $(0;0)$:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{g}{l} & 0 \end{bmatrix}$$ ← матрица, входящая в форму Коши

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) = Cx(t) + Du(t) \end{cases} \Rightarrow \begin{array}{l} \mathcal{L}\{x(t)\} \triangleq X \\ \mathcal{L}\{y(t)\} \triangleq Y \\ \mathcal{L}\{z(t)\} \triangleq U \end{array}$$

$$\begin{cases} pX = AX + BU \\ Y = CX + DX \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} X = (pI_n - A)^{-1} BU \\ Y = CX + DU \end{cases}$$

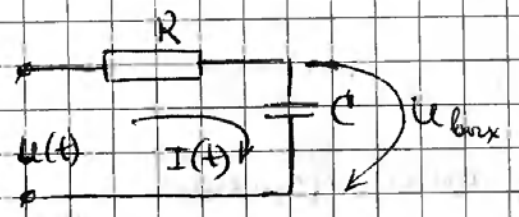
$$\Leftrightarrow \begin{cases} Y = C(pI_n - A)^{-1} BU + DU \\ X = (pI_n - A)^{-1} BU \end{cases}$$

$$\Downarrow \qquad \mathcal{L}\{\dot{x}(t)\} = pX,$$

$$\frac{Y}{U} = C(pI_n - A)^{-1} B + D$$

$$W(\lambda) \triangleq C(\lambda I_n - A)^{-1} B + D$$

передаточная функция. $\lambda \equiv p$.



$$i(t)R + \frac{1}{C}\int i(t)\,dt = u(t)$$

$$\begin{cases} I(p)R + \frac{1}{pC} I(p) = U(p) \\ \frac{1}{pC} I(p) = U_{вых}(p) \end{cases}$$

$$U_R + U_C = U(t)$$

$$iR + U_C = U(t)$$

$$C\frac{du_c}{dt} = i$$

$$CR\frac{du_c}{dt} + u_c = u(t)$$

$$CR\,p u_c + u_c = u.$$

$$\frac{u_c}{u} = \frac{1}{CRp+1}.$$

$$u_R + \frac{1}{C}\int i(t)\,dt = u_c(t)$$

$$u_R = iR \Rightarrow i = \frac{u_R}{R}$$

$$u_R + \frac{1}{RC}\int u_R\,dt = u(t)$$

$$u_R + \frac{1}{RC}\frac{1}{p}u_R = u(p)$$

$$\frac{u_R}{u} = \frac{1}{\frac{1}{RCp}+1} = \frac{RCp}{1+RCp}$$

$$p \equiv s$$

Перейти от передаточной функции.

$$u(t) = \bar{u}\cdot e^{s_0 t}; \quad x(t) = \bar{x}\cdot e^{s_0 t};$$

$$\bar{u} \in R^m \quad \bar{x} \in R^n,$$

входной сигнал.

ур-е состояния (описывает параметр сис-мы)

$$\dot{x}(t) = Ax + Bu$$

$$s_0\bar{x}e^{s_0 t} = A\bar{x}e^{s_0 t} + B\bar{u}e^{s_0 t}$$

$$s_0\bar{x} = A\bar{x} + B\bar{u}$$

$$\bar{x} = \underbrace{(S_0 I_n - A)^{-1} B}_{W(S_0)} \bar{u}$$

$D \geq 0 \rightarrow$ функция жесткости.

если $u(t) = U_m \sin \omega t = U_m \frac{1}{2}[e^{-j\omega} + e^{j\omega}]$

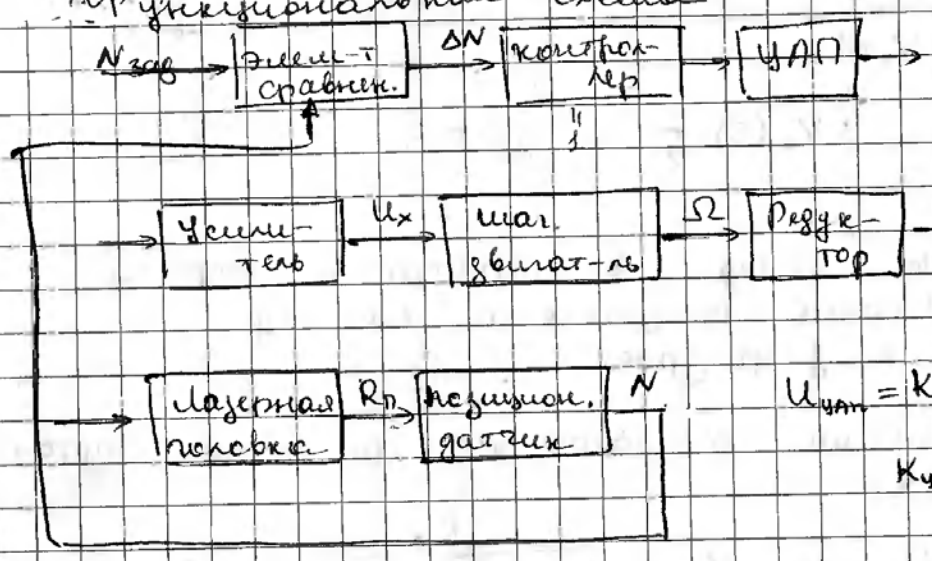
$$x = \frac{1}{2} U_m [\underbrace{W}_{АМХ.}(j\omega) + W(-j\omega)],$$

29.09.09.

Д/З.

сделать к пункта

Функциональная схема



$U_{уап} = K_{уап} I_{N_0}(t-\tau)$

$\tau = 0.$

$K_{уап} = 0.2$

Структурная схема

ур-е двигателя: $T_м T_э \frac{d^2 \Omega_э}{dt^2} + (T_м + T_э) \frac{d \Omega_э}{dt} +$

$+ \Omega_д = K_д \cdot U_у.$

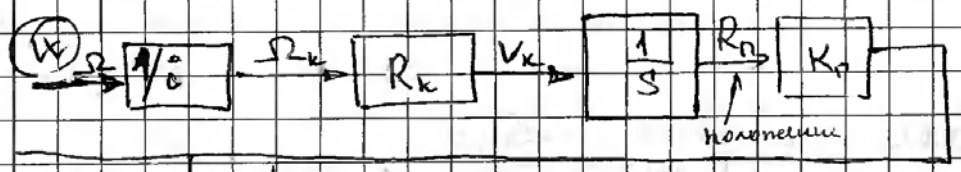
Преобразование Лапласа:

$\cancel{T_м T_э S^2 + (T_м + T_э) S + \Omega_д = K_д U_у}$

$T_м T_э S^2 \Omega_д(S) + (T_м + T_э) S \Omega_д(S) + \Omega_д(S) =$

$= K_д \cdot U_у(S).$

$$\frac{U_у(S)}{\Omega_д(S)} = \frac{K_д}{T_м T_э S^2 + (T_м + T_э) S + 1}.$$



$R_п = \int V_к dt$

$R_к(S) = \frac{1}{S} V_к(S)$; $\frac{V_к}{R_к} = S.$

Получить связь в операторной форме. Записываем передаточную сис-му переход к диф. ур-ю.

5 Записываем передаточную ф. разомкнутой системы.

$$W(S) = K_{изм} \cdot K_у \cdot \frac{K_д}{T_м T_э S^2 + (T_м + T_э) S + 1} \cdot$$

$$\cdot \frac{1}{i} \cdot R_к \cdot \frac{1}{S} \cdot K_р$$

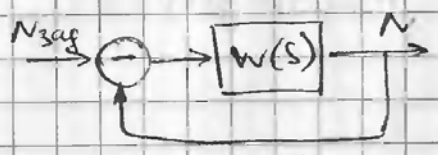
45
+20
64
126
100

Объединяем все коэф-ты в один ⇒

$R_к \cdot K_{изм} \cdot K_у \cdot K_д \cdot K_р \cdot \frac{1}{i} = K \Rightarrow$

$$W(S) = \frac{K}{T_м T_э S^3 + (T_м + T_э) S^2 + S}.$$

Найдём передаточную ф. заданной системы — звено с обратной связью



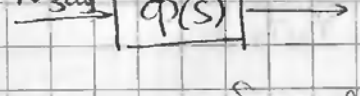
$$\Phi(S) = \frac{W(S)}{1 + W(S)} =$$

$$= \frac{K}{(T_м T_э S^2 + (T_м + T_э) S + 1) S \cdot \left(1 + \frac{K}{\dots}\right)} =$$

$$= \frac{K}{(T_м T_э S^2 + (T_м + T_э) S + 1) S + K}.$$

Перейдём к диф. ур-ю.

$$\Phi(S) = \frac{N}{N_{зад}}.$$



Обратное преобразование Лапласа:

$$N = \Phi(S) N_{зад}$$

$$N = \frac{K N_{зад}}{K + T_м T_э S^3 + (T_м + T_э) S^2 + S} \Rightarrow$$

$$\cancel{= \frac{K \cdot N_{зад}}{KN + T_м T_э \frac{d^3 N}{dt^3} + (T_м + T_э) \frac{d^2 N}{dt^2} + \frac{dN}{dt}}}$$

$$KN + T_м T_э \frac{d^3 N}{dt^3} + (T_м + T_э) \frac{d^2 N}{dt^2} + \frac{dN}{dt} = K N_{зад}.$$

Получаем систему.
($N \sim x$; $N_{зад} \sim g$).

$x_1(t) = N(t)$

$N_{зад}(t) = g(t)$.

$x_2(t) = \dot{N}(t) = \dot{x}_1(t)$

$x_3(t) = \dot{x}_2(t) = \ddot{N}(t)$

в силу

$\dot{x}_3(t) = \dddot{N}(t)$

общий вид.

$$\dot{x}_3 = \frac{1}{a_3}\left(b_0 g - \sum_{i=1}^{3} a_{i-1} x_i\right)$$

$$\dot{x}_3 = \frac{1}{T_м T_э}\left(k \cdot g - (T_м + T_э)x_3 - x_2 - k x_1\right) \Rightarrow$$

$$\dot{x}_3 = -\frac{T_м + T_э}{T_м T_э} x_3 - \frac{1}{T_м T_э} x_2 - \frac{k}{T_м T_э} x_1 + \frac{k}{T_м T_э} \overset{N_{зад}}{g}.$$

$$\dot{\bar{x}} = A\bar{x} + B\bar{u}$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -\frac{k}{T_м T_э} & -\frac{1}{T_м T_э} & -\frac{T_м + T_э}{T_м T_э} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{k}{T_м T_э} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = [A]\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + [B][g]$$

Найдём корни.

$$|\lambda I - A| = 0.$$

$$|\lambda I - A| = \begin{bmatrix} \lambda & -1 & 0 \\ 0 & \lambda & -1 \\ \frac{k}{T_м T_э} & \frac{1}{T_м T_э} & \lambda + \frac{T_м + T_э}{T_м T_э} \end{bmatrix} =$$

$$= \lambda^2\left(\lambda + \frac{T_м + T_э}{T_м T_э}\right) + \frac{k}{T_м T_э} + \frac{\lambda}{T_м T_э} = 0$$

$$T_м T_э \lambda^3 + (T_м + T_э)\lambda^2 + \lambda + k = 0$$

Дома: 3, 4 пункт.

Найти матрицу перехода по методу Кели-Га-мильтона: 13.10.09.

$K(t)$ - матрица перехода.

$\underset{n\times n}{K(t)} \to x(t)$

v

$$K(t) \triangleq a_0 I + a_1 A + a_2 A^2 + \ldots + a_n A^n \qquad (*)$$

$$\begin{cases} e^{\lambda_i t} = a_0 + a_1 \lambda_i + \ldots + a_n (\lambda_i)^n \\ i = \overline{1, n} \end{cases}$$

$\Downarrow$

a_i

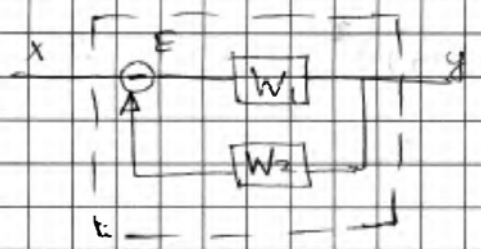
λ_i - собственные числа $(\lambda I - A) = 0.$

подставить в λ → система из 3х уравнений ⇒ выразить a_1, a_2, a_3 через a_0 (например).

Подставим a_i в (*) ⇒
$K(t)$ = матрица 3x3.

$$x(t) = \underbrace{K(t_0)\cdot x(t_0)}_{=0} + \int_{t_0=0}^{t} K(t-\lambda)\, B(\lambda)\, \underset{N_{зад}}{U(\lambda)}\, d\lambda$$

$(\dot{x} = Ax + BU)$.



Замкнутая:

$$\Phi = \frac{W_1 W_2}{1 + W_1 W_2}$$

по ошибке:

$$W_E = \frac{E}{x} = \frac{1}{1 + W_1 W_2}$$

обратная связь $W_2 \triangleq 1$.

Ступенчатое воздействие

$$Z^{-1}\left\{ \Phi \cdot \frac{1}{s} \right\} = h(t)\Big|_{V = N_3}$$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Первозванский А. А. Курс теории автоматического управления. –М.: Энергоиздат, 1982. …– 320 с.
2. Бесекерский В. В., Сорокин В. С. Теория систем автоматического регулирования. –М.: …Высшая школа, 1986. –367 с
3. Кунцевич П. В., Хохлов А. Ф. Импульсные самонастраивающиеся и экстремальные системы автоматического управления. –М.: Высшая школа, 2000. –
494 с