

62.83.52:62.503.56

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК САР УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ

ANALYSIS OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF ACS OF THE ANGULAR VELOCITY OF THE EXECUTIVE BODY OF THE DRIVE WHEN YOU CHANGE THE MOMENT OF INERTIA

Добробаба Юрий Петрович

кандидат технических наук,
доцент, профессор кафедры
электроснабжения промышленных предприятий,
Кубанский государственный
технологический университет

Кошкин Гордей Анатольевич

кандидат технических наук,
начальник цеха,
НКУ ООО «Прогресс»

Сташ Заур Юрьевич

Кубанский государственный
технологический университет

Аннотация. Для САР угловой скорости исполнительного органа электропривода получены зависимости переходных характеристик и амплитудно-частотных характеристик при различных значениях момента инерции электропривода. Показано как при изменении момента инерции электропривода изменяются коэффициенты зависимостей для динамических характеристик САР угловой скорости исполнительного органа электропривода.

Ключевые слова: система автоматического регулирования (САР), электропривод, угловая скорость исполнительного органа.

Dobrobaba Yury Petrovich

Candidate of technical sciences,
Associate professor,
Professor of department
of power supply industrial enterprises,
Kuban state technological university

Koshkin Gordey Anatolievich

Candidate of technical sciences,
Foreman,
NKU LLS Progress

Stash Zaur Yurievich

Kuban state technological university

Annotation. For the ACS of the angular velocity of the executive body of the drive obtained the dependences of the transient characteristics and amplitude-frequency characteristics at different values of the moment of inertia of the electric drive. It is shown how when the moment of inertia of the electric drive changes, the coefficients of dependencies for the dynamic characteristics of the ACS of the angular velocity of the executive body of the drive are changed.

Keywords: automatic control system (ACS), electric drive, angular velocity of the executive body.

В работе [1] произведен синтез различных САР угловой скорости исполнительного органа электроприводов постоянного тока по эталонным передаточным функциям.

На рисунке 1 представлена структурная схема одноконтурной САР угловой скорости исполнительного органа электропривода, где приняты следующие обозначения

ФКС – фильтр контура скорости;

РС – регулятор скорости;

ККС – корректор контура скорости;

РТ – регулятор тока;

ИП – импульсный преобразователь

КУ – компенсирующее устройство;

$U_{зс}$ – задающее напряжение контура скорости, В;

$U_{зт}$ – задающее напряжение контура тока, В;

U – напряжение, приложенное к якорной цепи электродвигателя, В;

$I_{я}$ – ток якорной цепи электродвигателя, А;

$M_{с0}$ – момент сопротивления электропривода, Н·м;

ω – угловая скорость исполнительного органа электропривода, $\frac{рад}{с}$;

φ – угол поворота исполнительного органа электропривода, рад;

$K_{ип}$ – коэффициент усиления ИП;

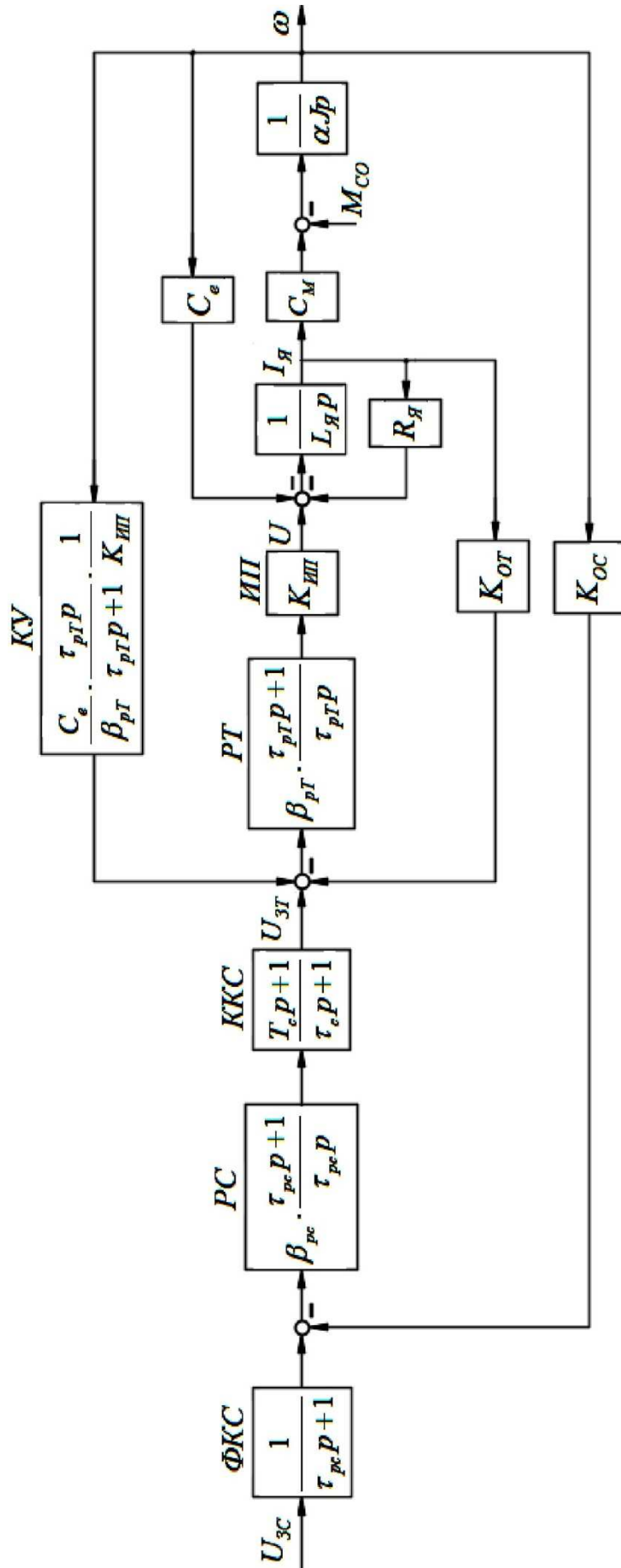


Рисунок 1 – Структурная схема одноконтурной САР угловой скорости исполнительного органа электропривода

C_e – коэффициент пропорциональности между угловой скоростью и ЭДС электродвигателя, $\frac{В \cdot с}{рад}$;

C_M – коэффициент пропорциональности между током и моментом электродвигателя, В·с;

$R_{Я}$ – сопротивление якорной цепи электродвигателя, Ом;

$L_{Я}$ – индуктивность якорной цепи электродвигателя, Гн;

J – момент инерции электропривода, кг · м².

K_{OT} – коэффициент обратной связи по току, Ом;

K_{OC} – коэффициент обратной связи по скорости, $\frac{В \cdot с}{рад}$;

β_{pc} – динамический коэффициент РС;

τ_{pc}, T_c, τ_c – постоянные времени РС и ККС, с;

β_{pT} – динамический коэффициент РТ;

τ_{pT} – постоянная времени РТ, с;

α – коэффициент, учитывающий изменение момента инерции исполнительного органа электропривода.

Синтез контура тока

В схеме предусмотрено устройство, компенсирующее влияние отрицательной внутренней обратной связи по ЭДС двигателя, с передаточной функцией:

$$W_{КУ}(p) = \frac{1}{\beta_{pT}} \cdot \frac{\tau_{pT} p}{\tau_{pT} p + 1} \cdot \frac{1}{K_{ИП}}$$

При этом для контура тока справедливо следующее выражение:

$$(U_{ЗТ} - K_{OT} I_{Я}) \cdot \beta_{pT} \cdot \frac{\tau_{pT} p + 1}{\tau_{pT} p} \cdot K_{ИП} = R_{Я} \cdot \left(\frac{L_{Я}}{R_{Я}} \cdot p + 1 \right) \cdot I_{Я}.$$

Если выбрать динамический коэффициент и постоянную времени регулятора тока в соответствии с формулами:

$$\beta_{pT} = \frac{L_{Я}}{K_{ИП} K_{OT} T_{\mu}};$$

$$\tau_{pT} = \frac{L_{Я}}{R_{Я}},$$

то передаточная функция контура тока по каналу «задающее напряжение контура тока – ток якорной цепи электродвигателя» принимает вид передаточной функции первого порядка с постоянной времени T_{μ} :

$$\frac{I_{Я}(p)}{U_{ЗТ}(p)} = \frac{1}{K_{OT}} \cdot \frac{1}{T_{\mu} p + 1},$$

где T_{μ} - некомпенсированная постоянная времени, с.

Синтез контура угловой скорости

Для контура скорости справедливы следующие выражения:

$$\begin{cases} \left(\frac{1}{\tau_{pc} p + 1} \cdot U_{ЗС} - K_{OC} \omega \right) \cdot \beta_{pc} \cdot \frac{\tau_{pc} p + 1}{\tau_{pc} p} \cdot \frac{T_c p + 1}{\tau_c p + 1} = U_{ЗТ}; \\ U_{ЗТ} = K_{OT} \cdot (T_{\mu} p + 1) \cdot I_{Я}; \\ C_M I_{Я} = M_{CO} + \alpha J p \omega. \end{cases}$$

Если выбрать динамический коэффициент регулятора скорости и постоянные времени регулятора скорости и корректора контура скорости в соответствии с формулами:

$$\beta_{pc} = 2 \cdot \frac{K_{OT} \cdot J}{K_{OC} \cdot C_M \cdot T_{\mu}};$$

$$\tau_{pc} = T_{\mu};$$

$$T_c = T_\mu;$$

$$\tau_c = \frac{1}{4} T_\mu,$$

то справедлива зависимость:

$$\left(\frac{\alpha}{8} T_\mu^3 p^3 + \frac{\alpha}{2} T_\mu^2 p^2 + T_\mu p + 1\right) \cdot \omega = \frac{U_{3c}}{K_{oc}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{T_\mu}{\alpha J} \cdot T_\mu p \cdot \left(\frac{1}{4} T_\mu p + 1\right) \cdot M_{co}.$$

Если $\alpha = 1$, то зависимость принимает вид:

$$\left(\frac{1}{8} T_\mu^3 p^3 + \frac{1}{2} T_\mu^2 p^2 + T_\mu p + 1\right) \cdot \omega = \frac{U_{3c}}{K_{oc}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{T_\mu}{J} \cdot T_\mu p \cdot \left(\frac{1}{4} T_\mu p + 1\right) \cdot M_{co}.$$

Так как переходные характеристики исследуются при единичном воздействии, то рассмотрим передаточную функцию:

$$W(p) = \frac{1}{\frac{\alpha}{8} T_\mu^3 p^3 + \frac{\alpha}{2} T_\mu^2 p^2 + T_\mu p + 1}.$$

Характеристическое уравнение системы: $\frac{\alpha}{8} T_\mu^3 p^3 + \frac{\alpha}{2} T_\mu^2 p^2 + T_\mu p + 1 = 0$ представимо в виде: $(T_1 p + 1) \cdot (T^2 p^2 + 2\xi T p + 1) = 0$.

После преобразования: $T^2 T_1 p^3 + (T^2 + 2\xi T T_1) \cdot p^2 + (2\xi T + T_1) \cdot p + 1 = 0$.

Таким образом, справедлива система уравнений:

$$\begin{cases} T^2 T_1 = \frac{\alpha}{8} T_\mu^3; \\ T^2 + 2\xi T T_1 = \frac{\alpha}{2} T_\mu^2; \\ 2\xi T + T_1 = T_\mu. \end{cases}$$

Корни характеристического уравнения: $p_1 = -\frac{1}{T_1}$; $p_{2;3} = -\frac{\xi}{T} \pm j \cdot \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T}$.

Переходная характеристика системы и её первая и вторая производные соответственно равны:

$$h(t) = K_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_2 \cdot e^{-\xi \frac{t}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t}{T}\right) + K_3 \cdot e^{-\xi \frac{t}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t}{T}\right) + K_4.$$

$$\begin{aligned} h^{(1)}(t) = & -\frac{K_1}{T_1} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \xi \cdot \frac{K_2}{T} \cdot e^{-\xi \frac{t}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t}{T}\right) + \\ & + \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{K_2}{T} \cdot e^{-\xi \frac{t}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t}{T}\right) - \\ & - \xi \cdot \frac{K_3}{T} \cdot e^{-\xi \frac{t}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t}{T}\right) - \\ & - \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{K_3}{T} \cdot e^{-\xi \frac{t}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t}{T}\right); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h^{(2)}(t) = & \frac{K_1}{T_1^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + (2\xi^2 - 1) \cdot \frac{K_2}{T^2} \cdot e^{-\xi \frac{t}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t}{T}\right) - \\ & - 2\xi \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{K_2}{T^2} \cdot e^{-\xi \frac{t}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t}{T}\right) + \\ & + (2\xi^2 - 1) \cdot \frac{K_3}{T^2} \cdot e^{-\xi \frac{t}{T}} \cdot \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t}{T}\right) + \\ & + 2\xi \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{K_3}{T^2} \cdot e^{-\xi \frac{t}{T}} \cdot \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \cdot \frac{t}{T}\right). \end{aligned}$$

Вариант 1

Если $\alpha = 1$, то $T = \frac{1}{2} T_\mu$; $T_1 = \frac{1}{2} T_\mu$ и $\xi = \frac{1}{2}$, то $\left(\frac{1}{2} T_\mu p + 1\right) \cdot \left(\frac{1}{4} T_\mu^2 p^2 + \frac{1}{2} T_\mu p + 1\right) = 0$.

Корни характеристического уравнения: $T_\mu p_1 = -2$; $T_\mu p_{2;3} = -1 \pm j \cdot \sqrt{3}$.

Переходная характеристика системы:

$$h_1(t) = K_1 \cdot e^{-2 \cdot \frac{t}{T_\mu}} + K_2 \cdot e^{-\frac{t}{T_\mu}} \cdot \sin\left(\sqrt{3} \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) + K_3 \cdot e^{-\frac{t}{T_\mu}} \cdot \cos\left(\sqrt{3} \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) + K_4.$$

где $K_1 = -1$; $K_2 = -\frac{2\sqrt{3}}{3}$; $K_3 = 0$; $K_4 = 1$.

Таким образом:

$$h_1(t) = -e^{-2 \cdot \frac{t}{T_\mu}} - \frac{2\sqrt{3}}{3} \cdot e^{-\frac{t}{T_\mu}} \cdot \sin\left(\sqrt{3} \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) + 1;$$

$$h_1^{(1)}(t) = \left[2 \cdot e^{-2 \cdot \frac{t}{T_\mu}} - \frac{2\sqrt{3}}{3} \cdot e^{-\frac{t}{T_\mu}} \cdot \sin\left(\sqrt{3} \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) - 2 \cdot e^{-\frac{t}{T_\mu}} \cdot \cos\left(\sqrt{3} \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) \right] \cdot \frac{1}{T_\mu};$$

$$h_1^{(2)}(t) = \left[-4 \cdot e^{-2 \cdot \frac{t}{T_\mu}} + \frac{4\sqrt{3}}{3} \cdot e^{-\frac{t}{T_\mu}} \cdot \sin\left(\sqrt{3} \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) + 4 \cdot e^{-\frac{t}{T_\mu}} \cdot \cos\left(\sqrt{3} \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) \right] \cdot \frac{1}{T_\mu^2}.$$

Переходная характеристика системы по каналу «момент сопротивления электропривода – угловая скорость исполнительного органа электропривода»:

$$h_{1*}(t) = e^{-2 \cdot \frac{t}{T_\mu}} + \sqrt{3} \cdot e^{-\frac{t}{T_\mu}} \cdot \sin\left(\sqrt{3} \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) - e^{-\frac{t}{T_\mu}} \cdot \cos\left(\sqrt{3} \cdot \frac{t}{T_\mu}\right).$$

Передаточные функции контура скорости по каналам «задающее напряжение контура скорости – угловая скорость исполнительного органа электропривода» и «момент сопротивления электропривода – угловая скорость исполнительного органа электропривода» без учета влияния внутренней обратной связи по ЭДС электродвигателя соответственно принимают вид:

$$\omega(t) = \left[1 - e^{-2 \cdot \frac{t}{T_\mu}} - \frac{2\sqrt{3}}{3} \cdot e^{-\frac{t}{T_\mu}} \cdot \sin\left(\sqrt{3} \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) \right] \cdot \frac{U_{3C}}{K_{OC}};$$

$$\omega(t) = - \left[e^{-2 \cdot \frac{t}{T_\mu}} + \sqrt{3} \cdot e^{-\frac{t}{T_\mu}} \cdot \sin\left(\sqrt{3} \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) - e^{-\frac{t}{T_\mu}} \cdot \cos\left(\sqrt{3} \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) \right] \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{T_\mu M_{CO}}{J}.$$

Вариант 2

Если $\alpha = 0,75$, то $T = 0,381635428T_\mu$; $T_1 = 0,643685766T_\mu$ и $\xi = 0,466825414$, то $(0,643685766T_\mu p + 1) \cdot (0,1456456T_\mu^2 p^2 + 0,356314234T_\mu p + 1) = 0$.

Корни характеристического уравнения: $T_\mu p_1 = -1,553553073$;

$T_\mu p_{2,3} = -1,223223476 \pm j2,317262579$.

Переходная характеристика системы:

$$h_2(t) = K_1 \cdot e^{-1,553553073 \cdot \frac{t}{T_\mu}} + K_2 \cdot e^{-1,223223476 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \sin\left(2,317262579 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) + K_3 \cdot e^{-1,223223476 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \cos\left(2,317262579 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) + K_4,$$

где $K_1 = -1,25318538$; $K_2 = -0,527874348$; $K_3 = 0,25318538$; $K_4 = 1$.

Таким образом:

$$h_2(t) = -1,25318538 \cdot e^{-1,553553073 \cdot \frac{t}{T_\mu}} - 0,527874348 \cdot e^{-1,223223476 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \sin\left(2,317262579 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) + 0,25318538 \cdot e^{-1,223223476 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \cos\left(2,317262579 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) + 1;$$

$$\begin{aligned}
 h_2^{(1)}(t) = & \left[1,946889998 \cdot e^{-1,553553073 \cdot \frac{t}{T_\mu}} + \right. \\
 & + 0,059011288 \cdot e^{-1,223223476 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \sin\left(2,317262579 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) - \\
 & \left. - 1,532925776 \cdot e^{-1,223223476 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \cos\left(2,317262579 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) \right] \cdot \frac{1}{T_\mu}; \\
 h_2^{(2)}(t) = & \left[-3,024596939 \cdot e^{-1,553553073 \cdot \frac{t}{T_\mu}} + \right. \\
 & + 3,480007545 \cdot e^{-1,223223476 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \sin\left(2,317262579 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) + \\
 & \left. + 2,011855445 \cdot e^{-1,223223476 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \cos\left(2,317262579 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) \right] \cdot \frac{1}{T_\mu^2}.
 \end{aligned}$$

Переходная характеристика системы по каналу «момент сопротивления электропривода – угловая скорость исполнительного органа электропривода»:

$$\begin{aligned}
 h_{2*}(t) = & 1,190740764 \cdot e^{-1,553553073 \cdot \frac{t}{T_\mu}} + \\
 & + 0,929013174 \cdot e^{-1,223223476 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \sin\left(2,317262579 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) - \\
 & - 1,029961915 e^{-1,223223476 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \cos\left(2,317262579 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right).
 \end{aligned}$$

Передаточные функции контура скорости по каналам «задающее напряжение контура скорости – угловая скорость исполнительного органа электропривода» и «момент сопротивления электропривода – угловая скорость исполнительного органа электропривода» без учета влияния внутренней обратной связи по ЭДС электродвигателя соответственно принимают вид:

$$\begin{aligned}
 \omega(t) = & \left[1 - 1,25318538 \cdot e^{-1,553553073 \cdot \frac{t}{T_\mu}} - \right. \\
 & - 0,527874348 \cdot e^{-1,223223476 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \sin\left(2,317262579 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) + \\
 & \left. + 0,25318538 \cdot e^{-1,223223476 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \cos\left(2,317262579 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) \right] \cdot \frac{U_{3C}}{K_{OC}}; \\
 \omega(t) = & - \left[1,190740764 \cdot e^{-1,553553073 \cdot \frac{t}{T_\mu}} + \right. \\
 & + 0,929013174 \cdot e^{-1,223223476 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \sin\left(2,317262579 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) - \\
 & \left. - 1,029961915 \cdot e^{-1,223223476 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \cos\left(2,317262579 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) \right] \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{T_\mu M_{CO}}{J}.
 \end{aligned}$$

Вариант 3

Если $\alpha = 0,5$, то $T = 0,282598858T_\mu$; $T_1 = 0,782598858T_\mu$ и $\xi = 0,384646179$, то $(0,782598858T_\mu p + 1) \cdot (0,079862114T_\mu^2 p^2 + 0,217401141T_\mu p + 1) = 0$.

Корни характеристического уравнения: $T_\mu p_1 = -1,27779384$;
 $T_\mu p_{2,3} = -1,361103095 \pm j3,266340499$.

Переходная характеристика системы:

$$h_3(t) = K_1 \cdot e^{-1,27779384 \frac{t}{T_\mu}} + K_2 \cdot e^{-1,361103095 \frac{t}{T_\mu}} \cdot \sin\left(3,266340499 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) + \\ + K_3 \cdot e^{-1,361103095 \frac{t}{T_\mu}} \cdot \cos\left(3,266340499 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) + K_4,$$

где $K_1 = -1,172880753$; $K_2 = -0,386791052$; $K_3 = 0,172880753$; $K_4 = 1$.

Таким образом:

$$h_3(t) = -1,172880753 \cdot e^{-1,27779384 \frac{t}{T_\mu}} - \\ - 0,386791052 \cdot e^{-1,361103095 \frac{t}{T_\mu}} \cdot \sin\left(3,266340499 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) + \\ + 0,172880753 \cdot e^{-1,361103095 \frac{t}{T_\mu}} \cdot \cos\left(3,266340499 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) + 1;$$

$$h_3^{(1)}(t) = \left[1,498699801 \cdot e^{-1,27779384 \frac{t}{T_\mu}} - \right. \\ \left. - 0,038224907 \cdot e^{-1,361103095 \frac{t}{T_\mu}} \cdot \sin\left(3,266340499 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) - \right. \\ \left. - 1,498699806 \cdot e^{-1,361103095 \frac{t}{T_\mu}} \cdot \cos\left(3,266340499 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) \right] \cdot \frac{1}{T_\mu};$$

$$h_3^{(2)}(t) = -1,915029374 \cdot e^{-1,27779384 \frac{t}{T_\mu}} + \\ + 4,947291911 \cdot e^{-1,361103095 \frac{t}{T_\mu}} \cdot \sin\left(3,266340499 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) + \\ + 1,915029383 \cdot e^{-1,361103095 \frac{t}{T_\mu}} \cdot \cos\left(3,266340499 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) \left] \cdot \frac{1}{T_\mu^2}.$$

Переходная характеристика системы по каналу «момент сопротивления электропривода – угловая скорость исполнительного органа электропривода»:

$$h_{3*}(t) = 1,019942418 \cdot e^{-1,27779384 \frac{t}{T_\mu}} + \\ + 1,198598071 \cdot e^{-1,361103095 \frac{t}{T_\mu}} \cdot \sin\left(3,266340499 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) - \\ - 1,019942461 \cdot e^{-1,361103095 \frac{t}{T_\mu}} \cdot \cos\left(3,266340499 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right).$$

Передаточные функции контура скорости по каналам «задающее напряжение контура скорости – угловая скорость исполнительного органа электропривода» и «момент сопротивления электропривода – угловая скорость исполнительного органа электропривода» без учета влияния внутренней обратной связи по ЭДС электродвигателя соответственно принимают вид:

$$\omega(t) = \left[1 - 1,172880753 \cdot e^{-1,27779384 \frac{t}{T_\mu}} - \right. \\ \left. - 0,386791052 \cdot e^{-1,361103095 \frac{t}{T_\mu}} \cdot \sin\left(3,266340499 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) + \right. \\ \left. + 0,172880753 \cdot e^{-1,361103095 \frac{t}{T_\mu}} \cdot \cos\left(3,266340499 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) \right] \cdot \frac{U_{3c}}{K_{oc}};$$

$$\omega(t) = - \left[1,019942418 \cdot e^{-1,27779384 \cdot \frac{t}{T_\mu}} + \right. \\ \left. + 1,198598071 \cdot e^{-1,361103095 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \sin \left(3,266340499 \cdot \frac{t}{T_\mu} \right) - \right. \\ \left. - 1,019942461 \cdot e^{-1,361103095 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \cos \left(3,266340499 \cdot \frac{t}{T_\mu} \right) \right] \cdot \frac{T_\mu M_{CO}}{J}.$$

Вариант 4

Если $\alpha = 0,25$, то $T = 0,186373312T_\mu$; $T_1 = 0,899668626T_\mu$ и $\xi = 0,26916776$, то $(0,899668626T_\mu p + 1) \cdot (0,034735011T_\mu^2 p^2 + 0,100331373T_\mu p + 1) = 0$.

Корни характеристического уравнения: $T_\mu p_1 = -1,111520366$;
 $T_\mu p_{2;3} = -1,444239834 \pm j5,167549485$.

Переходная характеристика системы:

$$h_4(t) = K_1 \cdot e^{-1,111520366 \cdot \frac{t}{T_\mu}} + K_2 \cdot e^{-1,444239834 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \sin \left(5,167549485 \cdot \frac{t}{T_\mu} \right) + \\ + K_3 \cdot e^{-1,444239834 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \cos \left(5,167549485 \cdot \frac{t}{T_\mu} \right) + K_4;$$

где $K_1 = -1,073659528$; $K_2 = -0,210353556$; $K_3 = 0,073659528$; $K_4 = 1$.

Таким образом:

$$h_4(t) = -1,073659528 \cdot e^{-1,111520366 \cdot \frac{t}{T_\mu}} - \\ - 0,210353556 \cdot e^{-1,444239834 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \sin \left(5,167549485 \cdot \frac{t}{T_\mu} \right) + \\ + 0,073659528 \cdot e^{-1,444239834 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \cos \left(5,167549485 \cdot \frac{t}{T_\mu} \right) + 1;$$

$$h_4^{(1)}(t) = \left[1,193394432 \cdot e^{-1,111520366 \cdot \frac{t}{T_\mu}} - \right. \\ \left. - 0,076838272 \cdot e^{-1,444239834 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \sin \left(5,167549485 \cdot \frac{t}{T_\mu} \right) - \right. \\ \left. - 1,193394434 \cdot e^{-1,444239834 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \cos \left(5,167549485 \cdot \frac{t}{T_\mu} \right) \right] \cdot \frac{1}{T_\mu};$$

$$h_4^{(2)}(t) = \left[-1,326482216 \cdot e^{-1,111520366 \cdot \frac{t}{T_\mu}} + \right. \\ \left. + 6,277897686 \cdot e^{-1,444239834 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \sin \left(5,167549485 \cdot \frac{t}{T_\mu} \right) + \right. \\ \left. + 1,326482207 \cdot e^{-1,444239834 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \cos \left(5,167549485 \cdot \frac{t}{T_\mu} \right) \right] \cdot \frac{1}{T_\mu^2}.$$

Переходная характеристика системы по каналу «момент сопротивления электропривода – угловая скорость исполнительного органа электропривода»:

$$h_{4*}(t) = 0,861773878 \cdot e^{-1,111520366 \cdot \frac{t}{T_\mu}} + \\ + 1,49263615 \cdot e^{-1,444239834 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \sin \left(5,167549485 \cdot \frac{t}{T_\mu} \right) - \\ - 0,861773883 \cdot e^{-1,444239834 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \cos \left(5,167549485 \cdot \frac{t}{T_\mu} \right).$$

Передаточные функции контура скорости по каналам «задающее напряжение контура скорости – угловая скорость исполнительного органа электропривода» и «момент сопротивления электропривода – угловая скорость исполнительного органа электропривода» без учета влияния внутренней обратной связи по ЭДС электродвигателя соответственно принимают вид:

$$\begin{aligned} \omega(t) = & \left[1 - 1,073659528 \cdot e^{-1,111520366 \cdot \frac{t}{T_\mu}} - \right. \\ & - 0,210353556 \cdot e^{-1,444239834 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \sin\left(5,167549485 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) + \\ & \left. + 0,073659528 \cdot e^{-1,444239834 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \cos\left(5,167549485 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) \right] \cdot \frac{U_{3C}}{K_{OC}}; \\ \omega(t) = & - \left[0,861773878 \cdot e^{-1,111520366 \cdot \frac{t}{T_\mu}} + \right. \\ & + 1,49263615 \cdot e^{-1,444239834 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \sin\left(5,167549485 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) - \\ & \left. - 0,861773883 \cdot e^{-1,444239834 \cdot \frac{t}{T_\mu}} \cdot \cos\left(5,167549485 \cdot \frac{t}{T_\mu}\right) \right] \cdot 2 \cdot \frac{T_\mu M_{CO}}{J}. \end{aligned}$$

Амплитудно-частотная характеристика системы имеет вид:

$$A(\Omega) = \frac{1}{\sqrt{\frac{\alpha^2}{64} \cdot T_\mu^6 \cdot \Omega^6 - \frac{\alpha}{4} \cdot (1 - \alpha) \cdot T_\mu^4 \cdot \Omega^4 + (1 - \alpha) \cdot T_\mu^2 \cdot \Omega^2 + 1}}$$

При $\alpha = 1$:

$$K_{OC} \cdot A(\Omega) = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{64} \cdot T_\mu^6 \cdot \Omega^6 + 1}}$$

При $\alpha = \frac{3}{4}$:

$$K_{OC} \cdot A(\Omega) = \frac{1}{\sqrt{\frac{9}{1024} \cdot T_\mu^6 \cdot \Omega^6 - \frac{3}{64} \cdot T_\mu^4 \cdot \Omega^4 + \frac{1}{4} \cdot T_\mu^2 \cdot \Omega^2 + 1}}$$

При $\alpha = \frac{1}{2}$:

$$K_{OC} \cdot A(\Omega) = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{256} \cdot T_\mu^6 \cdot \Omega^6 - \frac{1}{16} \cdot T_\mu^4 \cdot \Omega^4 + \frac{1}{2} \cdot T_\mu^2 \cdot \Omega^2 + 1}}$$

При $\alpha = \frac{1}{4}$:

$$K_{OC} \cdot A(\Omega) = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{1024} \cdot T_\mu^6 \cdot \Omega^6 - \frac{3}{64} \cdot T_\mu^4 \cdot \Omega^4 + \frac{3}{4} \cdot T_\mu^2 \cdot \Omega^2 + 1}}$$

Выводы

Определены аналитические зависимости для переходных характеристик САР угловой скорости исполнительного органа электропривода по каналам «задающее напряжение контура скорости – угловая скорость исполнительного органа электропривода» и «момент сопротивления электропривода – угловая скорость исполнительного органа электропривода» при различных значениях момента инерции электропривода.

Получены зависимости для амплитудно-частотных характеристик САР угловой скорости исполнительного органа электропривода.

Показано как изменяются коэффициенты полученных зависимостей при изменении значения момента инерции электропривода.

Литература:

1. Добробаба Ю.П., Чумак А.Ю. Синтез САР угловой скорости электроприводов постоянного тока по эталонным передаточным функциям. – Краснодар : Изд-во КубГТУ, 2000. – 96 с.

References:

1. Dobrobaba Yu.P., Chumak A.Yu. Synthesis of SAR of angular velocity of DC electric drives by reference transfer functions. – Krasnodar : pub. KubGTU, 2000. – 96 p.