

62.83.52:62.503.56

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ ОДНОКОНТУРНАЯ САР ПОЛОЖЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ИДЕАЛЬНЫМ ВАЛОПРОВОДОМ

ADVANCED SINGLE-CIRCUIT ACS OF THE POSITION OF THE EXECUTIVE BODY OF THE ELECTRIC DRIVE WITH IDEAL SHAFTING

Добробаба Юрий Петрович

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

Кошкин Гордей Анатольевич

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

Хамхоев Абдулрашид Акрамбиевич

Кубанский государственный
технологический университет

Аннотация. Разработана усовершенствованная одноконтурная САР положения исполнительного органа электропривода с идеальным валопроводом. Предложены два алгоритма определения параметров фильтра, регулятора, корректора, компенсирующего устройства и дополнительной обратной связи по положению исполнительного органа электропривода с идеальным валопроводом. Синтез усовершенствованной одноконтурной САР положения исполнительного органа электропривода с идеальным валопроводом выполнен по методу, при котором коэффициенты эталонной передаточной функции принимают заранее заданные значения.

Ключевые слова: система автоматического регулирования (САР), электропривод, положение исполнительного органа, идеальный валопровод.

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

Khamkoev Abdurashid Akrambievich

Kuban state technological university

Annotation. Developed an improved single-circuit ACS of the position of the executive body of the electric drive with the ideal shafting. Proposed two algorithms for determining the parameters of the filter, regulator, corrector, compensating device and additional feedback of the position of the executive body of the electric drive with the ideal shafting. The synthesis of the improved single-circuit ACS of the position of the executive body of the electric drive with ideal shafting is performed by the method in which the coefficients of the reference transfer function take pre-set values.

Keywords: automatic control system (ACS), electric drive, position of the executive body, ideal shafting.

Монография [1] посвящена разработке:

- астатических первого порядка САР положения исполнительного органа электропривода постоянного тока с типовыми регуляторами;
- модернизированной САР положения исполнительного органа электропривода постоянного тока;
- астатической первого порядка САР положения исполнительного органа электропривода постоянного тока с улучшенными характеристиками.

Все эти системы являются трехконтурными. Они содержат контура: тока, скорости и положения.

В данной статье синтезируется усовершенствованная одноконтурная САР положения исполнительного органа электропривода с идеальным валопроводом.

Усовершенствованная одноконтурная САР положения исполнительного органа электропривода с идеальным валопроводом приведена на рисунке 1. На рисунке приняты обозначения:

- Ф – фильтр;
- Р – регулятор;
- К – корректор;

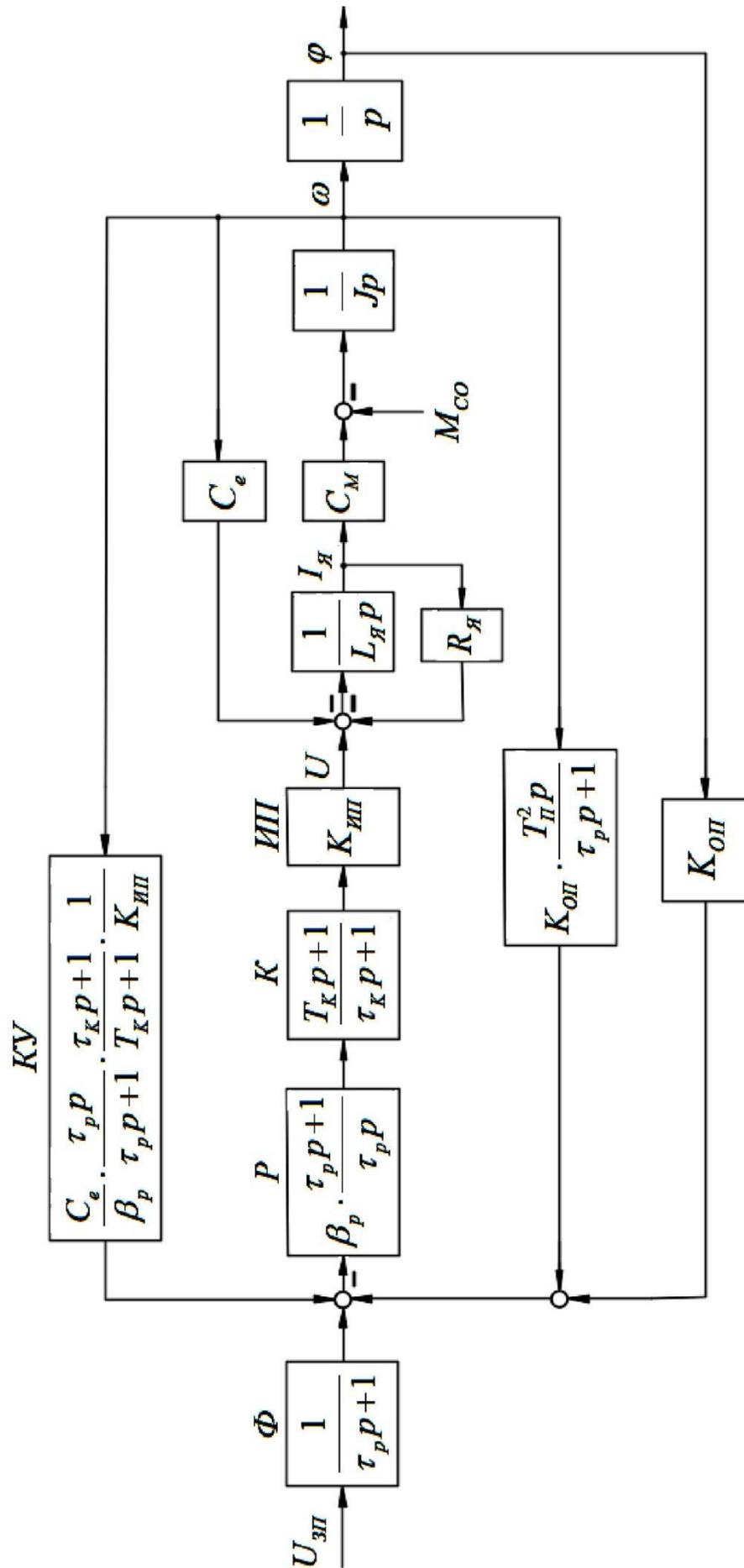


Рисунок 1 – Структурная схема усовершенствованной одноконтурной САР положения исполнительного органа электропривода с идеальным валопроводом

ИП – импульсный преобразователь;
 КУ – компенсирующее устройство;
 $U_{зп}$ – задающее напряжение контура положения, В;
 U – напряжение, приложенное к якорной цепи электродвигателя, В;
 $I_я$ – ток якорной цепи электродвигателя, А;
 ω – угловая скорость исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$;
 φ – угол поворота исполнительного органа электропривода, рад;
 M_{CO} – момент сопротивления электропривода, Н·м;
 β_p – динамический коэффициент регулятора;
 τ_p – постоянная времени регулятора, с;
 T_K, τ_K – постоянные времени корректора, с;
 $K_{ИП}$ – коэффициент усиления ИП;
 $L_я$ – индуктивность якорной цепи электродвигателя, Гн;
 $R_я$ – сопротивление якорной цепи электродвигателя, Ом;
 C_e – коэффициент пропорциональности между угловой скоростью и ЭДС электродвигателя, $\frac{\text{В}\cdot\text{с}}{\text{рад}}$;
 C_M – коэффициент пропорциональности между током и моментом электродвигателя, В·с;
 J – момент инерции исполнительного органа электропривода, кг · м²;
 T_{Π}^2 – постоянная времени дополнительной обратной связи по положению, с²;
 $K_{ОП}$ – коэффициент обратной связи по положению, $\frac{\text{В}\cdot\text{с}}{\text{рад}}$.

В предлагаемой системе для компенсации влияния внутренней отрицательной обратной связи по ЭДС электродвигателя предусмотрено компенсирующее устройство с передаточной функцией:

$$W_{КУ}(p) = \frac{C_e}{\beta_p} \cdot \frac{\tau_p p}{\tau_p p + 1} \cdot \frac{\tau_K p + 1}{T_K p + 1} \cdot \frac{1}{K_{ИП}}$$

Для усовершенствованной одноконтурной САР положения исполнительного органа электропривода с идеальным валопроводом справедлива система из трех уравнений:

$$\begin{cases} \left[\frac{1}{\tau_p p + 1} \cdot U_{зп} - K_{ОП} \cdot \varphi - K_{ОП} \cdot \frac{T_{\Pi}^2 p}{\tau_p p + 1} \cdot \omega \right] \cdot \beta_p \cdot \frac{\tau_p p + 1}{\tau_p p} \cdot \frac{T_K p + 1}{T_K p + 1} \cdot K_{ИП} = \\ = R_я \cdot \left(\frac{L_я}{R_я} + 1 \right) \cdot I_я; \\ C_M I_я = M_{CO} + J p \omega; \\ \omega = p \varphi. \end{cases}$$

Если постоянную времени корректора выбрать равную:

$$T_K = \frac{L_я}{R_я},$$

то после преобразований система из трех уравнений принимает вид:

$$\begin{aligned} & \left[\frac{1}{\beta_p} \cdot \frac{R_я J}{K_{ИП} K_{ОП} C_M} \cdot \tau_K \tau_p p^4 + \frac{1}{\beta_p} \cdot \frac{R_я J}{K_{ИП} K_{ОП} C_M} \cdot \tau_p p^3 + T_{\Pi}^2 p^2 + \tau_p p + 1 \right] \cdot \varphi = \\ & = \frac{U_{зп}}{K_{ОП}} - \frac{1}{\beta_p} \cdot \frac{R_я}{K_{ИП} K_{ОП} C_M} \cdot \tau_p p \cdot (\tau_K p + 1) \cdot M_{CO}. \end{aligned}$$

В настоящее время для синтеза систем находит широкое применение метод, при котором предлагается такой выбор параметров элементов системы с заданной структурой и при котором коэффициенты эталонной передаточной функции принимают заранее заданные значения. При этом используются два вида эталонных передаточных функций.

Вариант 1

Если выбрать параметры усовершенствованной одноконтурной САР положения исполнительного органа электропривода с идеальным валопроводом равными:

$$\beta_p = 8 \cdot \frac{R_{Я}J}{K_{ИП}K_{ОП}C_M T_{\mu}^2};$$

$$\tau_p = T_{\mu};$$

$$\tau_K = \frac{1}{8} T_{\mu};$$

$$T_{\Pi}^2 = \frac{1}{2} T_{\mu}^2,$$

то передаточные функции по каналам «задающее напряжение контура положения – угол поворота исполнительного органа электропривода» и «момент сопротивления электропривода – угол поворота исполнительного органа электропривода» принимают вид:

$$\frac{\varphi(p)}{U_{ЗП}(p)} = \frac{1}{K_{ОП}} \cdot \frac{1}{\frac{1}{64} T_{\mu}^4 p^4 + \frac{1}{8} T_{\mu}^3 p^3 + \frac{1}{2} T_{\mu}^2 p^2 + T_{\mu} p + 1};$$

$$\frac{\varphi(p)}{M_{CO}(p)} = -\frac{1}{8} \cdot \frac{T_{\mu}^2}{J} \cdot \frac{\frac{1}{8} T_{\mu}^2 p^2 + T_{\mu} p}{\frac{1}{64} T_{\mu}^4 p^4 + \frac{1}{8} T_{\mu}^3 p^3 + \frac{1}{2} T_{\mu}^2 p^2 + T_{\mu} p + 1}.$$

При нанесении ступенчатых внешних воздействий по задающему напряжению $U_{ЗП}$ или моменту сопротивления M_{CO} и нулевых начальных условиях зависимости угла положения исполнительного органа электропривода от времени определяются следующими зависимостями:

$$\varphi(t) = \left[1 - 2 \cdot e^{-2 \cdot \frac{t}{T_{\mu}}} \cdot \sin\left(2 \cdot \frac{t}{T_{\mu}}\right) - e^{-2 \cdot \frac{t}{T_{\mu}}} \cdot \cos\left(2 \cdot \frac{t}{T_{\mu}}\right) - 2 \cdot \frac{t}{T_{\mu}} \cdot e^{-2 \cdot \frac{t}{T_{\mu}}} \cdot \sin\left(2 \cdot \frac{t}{T_{\mu}}\right) + 2 \cdot \frac{t}{T_{\mu}} \cdot e^{-2 \cdot \frac{t}{T_{\mu}}} \cdot \cos\left(2 \cdot \frac{t}{T_{\mu}}\right) \right] \cdot \frac{U_{ЗП}}{K_{ОП}};$$

$$\varphi(t) = - \left[3 \cdot e^{-2 \cdot \frac{t}{T_{\mu}}} \cdot \sin\left(2 \cdot \frac{t}{T_{\mu}}\right) - 6 \cdot \frac{t}{T_{\mu}} \cdot e^{-2 \cdot \frac{t}{T_{\mu}}} \cdot \sin\left(2 \cdot \frac{t}{T_{\mu}}\right) + 2 \cdot \frac{t}{T_{\mu}} \cdot e^{-2 \cdot \frac{t}{T_{\mu}}} \cdot \cos\left(2 \cdot \frac{t}{T_{\mu}}\right) \right] \cdot \frac{1}{8} \cdot \frac{T_{\mu}^2 M_{CO}}{J}.$$

Усовершенствованная одноконтурная САР положения исполнительного органа электропривода с идеальным валопроводом обрабатывает по каналу управления «задающее напряжение контура положения – угол поворота исполнительного органа электропривода» ступенчатое воздействие с максимально возможным быстродействием с перерегулированием около 5%.

Вариант 2

Если выбрать параметры усовершенствованной одноконтурной САР положения исполнительного органа электропривода с идеальным валопроводом равными:

$$\beta_p = 16 \cdot \frac{R_{Я}J}{K_{ИП}K_{ОП}C_M T_{\mu}^2};$$

$$\tau_p = T_{\mu};$$

$$\tau_K = \frac{1}{16} T_{\mu};$$

$$T_{\Pi}^2 = \frac{3}{8} T_{\mu}^2,$$

то передаточные функции по каналам «задающее напряжение контура положения – угол поворота исполнительного органа электропривода» и «момент сопротивления электропривода – угол поворота исполнительного органа электропривода» принимают вид:

$$\frac{\varphi(p)}{U_{3П}(p)} = \frac{1}{K_{ОП}} \cdot \frac{1}{\frac{1}{256} T_{\mu}^4 p^4 + \frac{1}{16} T_{\mu}^3 p^3 + \frac{3}{8} T_{\mu}^2 p^2 + T_{\mu} p + 1};$$

$$\frac{\varphi(p)}{M_{CO}(p)} = -\frac{1}{16} \cdot \frac{T_{\mu}^2}{J} \cdot \frac{\frac{1}{16} T_{\mu}^2 p^2 + T_{\mu} p}{\frac{1}{256} T_{\mu}^4 p^4 + \frac{1}{16} T_{\mu}^3 p^3 + \frac{3}{8} T_{\mu}^2 p^2 + T_{\mu} p + 1}.$$

При нанесении ступенчатых внешних воздействий по задающему напряжению $U_{3П}$ или моменту сопротивления M_{CO} и нулевых начальных условиях зависимости угла положения исполнительного органа электропривода от времени определяются следующими зависимостями:

$$\varphi(t) = \left[1 - e^{-4 \frac{t}{T_{\mu}}} - 4 \cdot \frac{t}{T_{\mu}} \cdot e^{-4 \frac{t}{T_{\mu}}} - 8 \cdot \frac{t^2}{T_{\mu}^2} \cdot e^{-4 \frac{t}{T_{\mu}}} - \frac{32}{3} \cdot \frac{t^3}{T_{\mu}^3} \cdot e^{-4 \frac{t}{T_{\mu}}} \right] \cdot \frac{U_{3П}}{K_{ОП}};$$

$$\varphi(t) = - \left[8 \cdot \frac{t^2}{T_{\mu}^2} \cdot e^{-4 \frac{t}{T_{\mu}}} + 32 \cdot \frac{t^3}{T_{\mu}^3} \cdot e^{-4 \frac{t}{T_{\mu}}} \right] \cdot \frac{1}{16} \cdot \frac{T_{\mu}^2 M_{CO}}{J}.$$

Усовершенствованная одноконтурная САР положения исполнительного органа электропривода с идеальным валопроводом обрабатывает по каналу управления «задающее напряжение контура положения – угол поворота исполнительного органа электропривода» ступенчатое воздействие с хорошим быстродействием при отсутствии перерегулирования.

Выводы

Синтезированы два варианта усовершенствованной одноконтурной САР положения исполнительного органа электропривода с идеальным валопроводом.

При первом варианте усовершенствованная одноконтурная САР положения исполнительного органа электропривода с идеальным валопроводом обеспечивает обработку по каналу управления «задающее напряжение контура положения – угол поворота исполнительного органа электропривода» ступенчатое воздействие с максимальным быстродействием с перерегулированием 5% («технический оптимум»); при втором варианте – хорошее быстродействие при отсутствии перерегулирования.

Литература:

1. Добробаба Ю.П., Кошкин Г.А., Прохоренко Н.Я. Разработка оптимальных по быстродействию диаграмм для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления : монография. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2018. – 125 с.

References:

1. Dobrobaba Yu.P., Koshkin G.A. Prokhorenko N.Ya. Development of optimal performance diagrams for small movements of the executive body of the DC drive with speed-dependent torque resistance : monography. – Krasnodar : Prod. FGBOU VO «KubGTU», 2018 – 125p.