

*ТРЕХКОНТУРНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА
ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА С ЗАВИСЯЩИМ ОТ СКОРОСТИ
МОМЕНТОМ СОПРОТИВЛЕНИЯ*

Ю.П. ДОБРОБАБА, Г.А. КОШКИН, В.А. МАХОВА

*Кубанский государственный технологический университет,
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2,
электронная почта: viktorya.mah@yandex.ru*

В статье выполнен синтез трехконтурной системы автоматического регулирования (САР) положения исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления. Синтезированная САР позволяет избавиться от систематической ошибки по перемещению исполнительного органа электропривода при отработке типовых оптимальных по быстродействию диаграмм перемещения.

Ключевые слова: система автоматического регулирования положения, САР, угловое ускорение, электропривод, постоянный ток.

В монографии [1] синтезирована система автоматического регулирования положения исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления, которая описывается системой дифференциальных уравнений четвертого порядка.

В настоящее время для управления электроприводом постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления используются типовые диаграммы, которые применяются для систем автоматического регулирования, описываемых системой дифференциальных уравнений третьего порядка: для малых (состоит из трех этапов); для средних (состоит из пяти этапов); для больших (состоит из семи этапов) перемещений исполнительного органа электропривода.

При отработке типовых оптимальных по быстродействию диаграмм перемещения исполнительного органа электропривода системой автоматического регулирования положения исполнительного органа электропривода постоянного тока с улучшенными характеристиками появляется систематическая ошибка по перемещению.

Для устранения систематической ошибки при обработке заданных диаграмм перемещения необходимо разработать: либо новые оптимальные по быстродействию диаграммы перемещения (для системы описываемой дифференциальными уравнениями четвертого порядка); либо синтезировать систему автоматического регулирования положения исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости сопротивлением, описываемую системой дифференциальных уравнений третьего порядка.

В данной работе разработана трехконтурная система автоматического регулирования положения исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления, структурная схема которой представлена на рисунке 1.

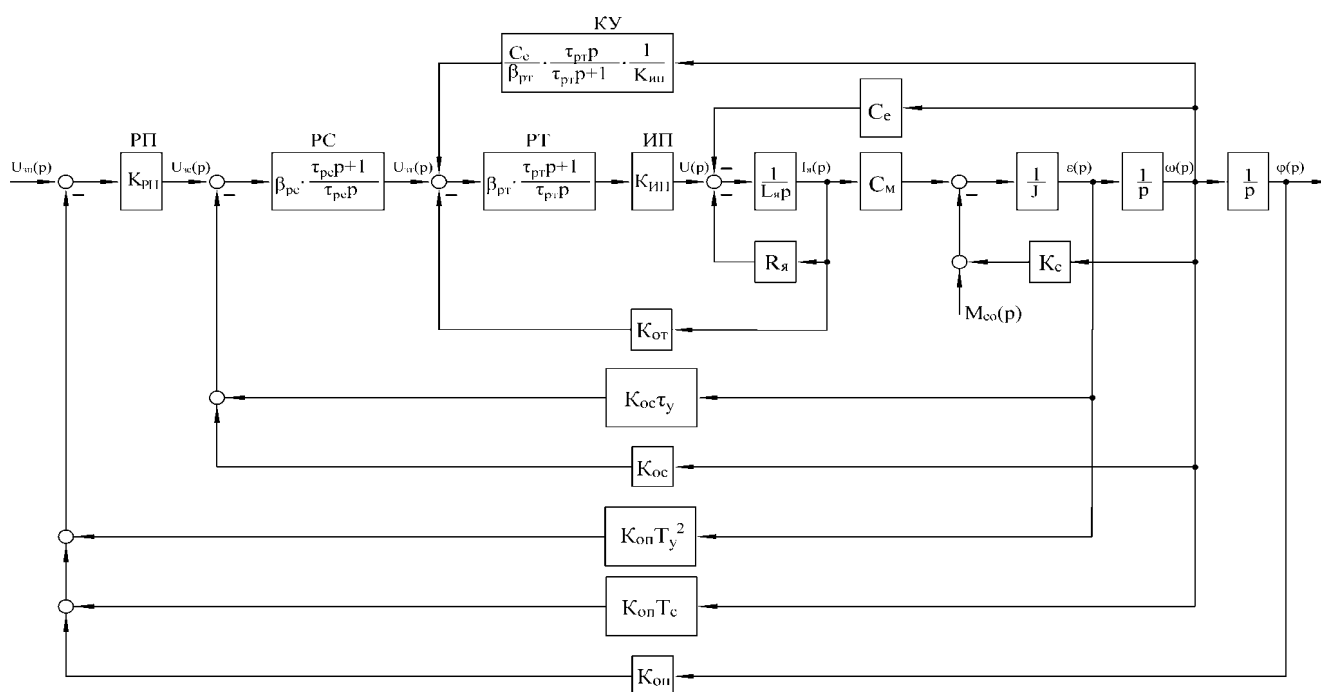


Рисунок 1 – Структурная схема трехконтурной системы автоматического регулирования положения исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления.

На рисунке приняты обозначения:

- РП – регулятор положения;
- РС – регулятор скорости;
- РТ – регулятор тока;
- ИП – импульсный преобразователь;
- КУ – компенсирующее устройство;
- $U_{зп}$ – задающее напряжение контура положения, В;
- $U_{зс}$ – задающее напряжение контура скорости, В;
- $U_{зт}$ – задающее напряжение контура тока, В;
- U – напряжения, приложенное к якорной цепи электродвигателя, В;
- $I_{я}$ – ток якорной цепи электродвигателя, А;
- $M_{со}$ – момент сопротивления электропривода, Н·м;
- ε – угловое ускорение исполнительного органа электропривода, $\frac{рад}{с^2}$;
- ω – угловая скорость исполнительного органа электропривода, $\frac{рад}{с}$;
- φ – угол поворота исполнительного органа электропривода, рад;
- $K_{ип}$ – коэффициент усиления ИП;
- C_e – коэффициент пропорциональности между 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;
- $K_{рп}$ – коэффициент усиления РП;
- $\beta_{рс}$ – динамический коэффициент РС;

- τ_{pc} – постоянная времени РС, с;
 β_{pt} – динамический коэффициент РТ;
 τ_{pt} – постоянная времени РТ, с;
 $K_{от}$ – коэффициент обратной связи по току, Ом;
 $K_{ос}$ – коэффициент обратной связи по скорости
 $K_{оп}$ – коэффициент обратной связи по положения, $\frac{B}{рад}$;
 τ_y – постоянная времени обратной связи по угловому ускорению на вход РС, с;
 T_y – постоянная времени обратной связи по угловому ускорению на вход РП, с;
 T_c – постоянная времени обратной связи по угловой скорости на вход РП, с;
 p – комплексный параметр преобразования Лапласа, $\frac{1}{с}$.

Синтез контура тока

Для компенсации влияния отрицательной внутренней обратной связи по ЭДС двигателя используется компенсирующее устройство с передаточной функцией $W_{ку}(p)$.

Для контура тока уравнение баланса имеет вид

$$\left[U_{зт}(p) - K_{от} \cdot I_{я}(p) \right] \cdot \beta_{pt} \cdot \frac{\tau_{pt} p + 1}{\tau_{pt} p} \cdot K_{ип} = R_{я} \cdot \left(\frac{L_{я}}{R_{я}} \cdot p + 1 \right) \cdot I_{я}(p).$$

Если выбрать постоянную времени регулятора тока равную

$$\tau_{pt} = \frac{L_{я}}{R_{я}},$$

то передаточная функция контура тока по каналу «задающее напряжение контура тока – ток якорной цепи электродвигателя» принимает вид

$$\frac{I_{я}(p)}{U_{зт}(p)} = \frac{1}{K_{от}} \frac{1}{\frac{1}{\beta_{pt}} \cdot \frac{L_{я}}{K_{ип} K_{от}} \cdot p + 1}.$$

При выборе динамического коэффициента регулятора тока, равным

$$\beta_{\text{рТ}} = \frac{L_{\text{я}}}{K_{\text{ип}} K_{\text{от}} T_{\mu}},$$

передаточная функция контура тока по каналу

«задающее напряжение контура тока – ток якорной цепи электродвигателя» имеет вид передаточной функции первого порядка с постоянной времени T_{μ}

$$\frac{I_{\text{я}}(p)}{U_{\text{зТ}}(p)} = \frac{1}{K_{\text{от}}} \cdot \frac{1}{T_{\mu} p + 1},$$

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

Синтез контура скорости

Для контура скорости уравнения баланса имеют вид

$$\left. \begin{aligned} & \left[U_{\text{зс}}(p) - K_{\text{ос}} \tau_{\text{у}} \cdot \varepsilon(p) - K_{\text{ос}} \cdot \omega(p) \right] \cdot \beta_{\text{рс}} \cdot \frac{\tau_{\text{рс}} p + 1}{\tau_{\text{рс}} p} = U_{\text{зТ}}(p); \\ & U_{\text{зТ}}(p) = (T_{\mu} p + 1) \cdot K_{\text{от}} \cdot I_{\text{я}}(p); \\ & C_{\text{м}} \cdot I_{\text{я}}(p) = M_{\text{со}}(p) + K_{\text{с}} \omega(p) + J \cdot \varepsilon(p); \\ & \varepsilon(p) = p \cdot \omega(p). \end{aligned} \right\}$$

Если выбрать постоянную времени регулятора скорости равной

$$\tau_{\text{рс}} = T_{\mu},$$

то передаточные функции контура скорости по каналам «задающее напряжение контура скорости – угловая скорость исполнительного органа электропривода» и «момент сопротивления электропривода – угловая скорость исполнительного органа электропривода» принимают вид:

$$\frac{\omega(p)}{U_{\text{зс}}(p)} = \frac{1}{K_{\text{ос}}} \cdot \frac{1}{\frac{1}{\beta_{\text{рс}}} \cdot \frac{K_{\text{от}} J}{K_{\text{ос}} C_{\text{м}}} \cdot T_{\mu} p^2 + \left(\frac{1}{\beta_{\text{рс}}} \cdot \frac{K_{\text{ос}} C_{\text{м}}}{K_{\text{от}} K_{\text{ос}}} \cdot T_{\mu} + \tau_{\text{у}} \right) \cdot p + 1};$$

$$\frac{\omega(p)}{M_{\text{со}}(p)} = - \frac{1}{\beta_{\text{рс}}} \cdot \frac{K_{\text{от}}}{K_{\text{ос}} C_{\text{м}}} \cdot \frac{T_{\mu} p}{\frac{1}{\beta_{\text{рс}}} \cdot \frac{K_{\text{от}} J}{K_{\text{ос}} C_{\text{м}}} \cdot T_{\mu} p^2 + \left(\frac{1}{\beta_{\text{рс}}} \cdot \frac{K_{\text{ос}} C_{\text{м}}}{K_{\text{от}} K_{\text{ос}}} \cdot T_{\mu} + \tau_{\text{у}} \right) \cdot p + 1}.$$

При выборе динамического коэффициента регулятора скорости и постоянной времени обратной связи по угловому ускорению равными:

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

$$\tau_y = \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{K_c T_\mu}{J} \right) T_\mu$$

передаточные функции контура скорости по каналам «задающее напряжение контура скорости – угловая скорость исполнительного органа электропривода» и «момент сопротивления электропривода – угловая скорость исполнительного органа электропривода» принимают вид:

$$\frac{\omega(p)}{U_{zc}(p)} = \frac{1}{K_{ос}} \cdot \frac{1}{\frac{1}{2} T_\mu^2 p^2 + T_\mu p + 1};$$

$$\frac{\omega(p)}{M_{со}(p)} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{T_\mu}{J} \cdot \frac{T_\mu p}{\frac{1}{2} T_\mu^2 p^2 + T_\mu p + 1}.$$

Передаточная функция контура скорости по каналу управления «задающее напряжение контура скорости – угловая скорость исполнительного органа электропривода» соответствует эталонной передаточной функции второго порядка с постоянной времени T_μ .

Синтез контура положения

Для контура положения уравнения баланса имеют вид

$$\left. \begin{aligned} & \left[U_{зп}(p) - K_{оп} T_y^2 \cdot \varepsilon(p) - K_{оп} T_c \cdot \omega(p) - K_{оп} \cdot \varphi(p) \right] \cdot K_{рп} = U_{zc}(p); \\ & U_{zc}(p) = \left(\frac{1}{2} T_\mu^2 p^2 + T_\mu p + 1 \right) \cdot K_{ос} \cdot \omega(p) + K_{ос} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{T_\mu}{J} \cdot T_\mu p \cdot M_{со}(p); \\ & \varepsilon(p) = p \cdot \omega(p); \\ & \omega(p) = p \cdot \varphi(p). \end{aligned} \right\}$$

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

$$\frac{\varphi(p)}{U_{зп}(p)} = \frac{1}{K_{оп}} \cdot \frac{1}{\frac{1}{K_{рп}} \cdot \frac{K_{ос}}{K_{оп}} \cdot \frac{1}{2} T_{\mu}^2 p^3 + \left(\frac{1}{K_{рп}} \cdot \frac{K_{ос}}{K_{оп}} \cdot T_{\mu} + \right.}$$

$$\left. + T_y^2 \right) \cdot p^2 + \left(\frac{1}{K_{рп}} \cdot \frac{K_{ос}}{K_{оп}} + T_c \right) \cdot p + 1} \rightarrow$$

$$\frac{\varphi(p)}{M_{со}(p)} = -\frac{1}{K_{рп}} \cdot \frac{K_{ос}}{K_{оп}} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{T_{\mu}}{J} \cdot \frac{T_{\mu} p}{\frac{1}{K_{рп}} \cdot \frac{K_{ос}}{K_{оп}} \cdot \frac{1}{2} T_{\mu}^2 p^3 +}$$

$$\left. + \left(\frac{1}{K_{рп}} \cdot \frac{K_{ос}}{K_{оп}} \cdot T_{\mu} + T_y^2 \right) \cdot p^2 + \left(\frac{1}{K_{рп}} \cdot \frac{K_{ос}}{K_{оп}} + T_c \right) \cdot p + 1} \right\}$$

При выборе параметров регулятора положения, постоянных времени обратных связей по угловому ускорению и угловой скорости, равными:

$$K_{рп} = 4 \cdot \frac{K_{ос}}{K_{оп} T_{\mu}};$$

$$T_y^2 = \frac{1}{4} T_{\mu}^2;$$

$$T_c = \frac{3}{4} T_{\mu}$$

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

$$\frac{\varphi(p)}{U_{зп}(p)} = \frac{1}{K_{оп}} \cdot \frac{1}{\frac{1}{8} T_{\mu}^3 p^3 + \frac{1}{2} T_{\mu}^2 p^2 + T_{\mu} p + 1};$$

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

Передаточная функция контура положения по каналу управления «задающее напряжение контура положения – угол поворота исполнительного органа электропривода» соответствует эталонной передаточной функции третьего порядка с постоянной времени T_{μ} .

Предлагаемая трехконтурная САР положения исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления отработывает типовые оптимальные по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа электропривода без систематической ошибки по перемещению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Добробаба Ю.П., Луценко Ю.П. Управление энергосберегающими позиционными электроприводами с зависящим от скорости моментом сопротивления. – Монография. Краснодар, изд-во КубГТУ – 2015. 108с.

REFERENCES

1. Dobrobaba YU.P., Lutsenko YU.P., Upravlenie energosberegayushchimi pozitsionnymi elektroprivodami s zavisyashchim ot skorosti momentom soprotivleniya. – Monografiya. Krasnodar, izd-vo KubGTU – 2015. 108s.

THREE-LOOP AUTOMATIC CONTROL SYSTEM PROVISIONS OF THE EXECUTIVE BODY ELECTRIC DC SPEED-DEPENDENT RESISTANCE TORQUE

YU.P. DOBROBABA, G.A. KOSHKIN, V.A. MAKHOVA

*Kuban State Technological University,
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072,
e-mail: viktorya.mah@yandex.ru*

In the article the synthesis of single-loop automatic control system (ACS), the provisions of the executive body of the electric DC depending on the rate of resistance. Synthesized ACS eliminates systematic error on the movement of the executive body of the electric model when developing chart-optimal move.

Key words: automatic position adjustment, ACS, angular acceleration, power, direct current.