

62.83.52:62.503.56

*СИНТЕЗ САР ПОЛОЖЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА
ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА С УЛУЧШЕННЫМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ*

Ю.П. ДОБРОБАБА, С.Г. МИРОНИЮК, Д.С. СПИЧАК, А.Л. ХОРЦЕВ

*Кубанский государственный технологический университет,
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2;
электронная почта: tolyahortsev@mail.ru*

В статье выполнен синтез системы автоматического регулирования (САР) положения исполнительного органа электропривода с идеальным валопроводом. Синтезированная САР обладает лучшими, по сравнению с САР с типовыми регуляторами, характеристиками.

Ключевые слова: система автоматического регулирования положения, САР, идеальный валопровод, электропривод.

В статье [1] выполнен параметрический синтез САР положения исполнительного органа электропривода с типовыми регуляторами и идеальным валопроводом. Эта САР положения исполнительного органа электропривода имеет следующие преимущества по сравнению с серийно выпускаемой САР положения исполнительного органа электропривода:

отсутствует статическая ошибка контура скорости;

отсутствует статическая ошибка контура положения.

Однако, синтезированная в статье [1] САР положения исполнительного органа электропривода с типовыми регуляторами и идеальным валопроводом имеет следующие недостатки:

низкое быстродействие контура скорости;

низкое быстродействие контура положения.

На рисунке 1 представлена САР положения исполнительного органа электропривода с улучшенными характеристиками при идеальном валопроводе, где приняты следующие обозначения:

- ФКП – фильтр контура положения;
- РП – регулятор положения;
- ФКС – фильтр контура скорости;
- 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_c – 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;
- 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;

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

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

$K_{оп}$ – коэффициент обратной связи по положению, $\frac{В}{рад}$;

$$W_{фкп}(p) = \frac{1}{\tau_{рп}p + 1};$$

$$W_{рп}(p) = K_{рп} \cdot \frac{\tau_{рп}p + 1}{\tau_{с}p + 1};$$

$$W_{фкс}(p) = \frac{\tau_{с}p + 1}{\tau_{рс}p + 1};$$

$$W_{рс}(p) = \beta_{рс} \cdot \frac{\tau_{рс}p + 1}{\tau_{рс}p} \cdot \frac{T_{рс}p + 1}{T_{с}p + 1};$$

$$W_{рт}(p) = \beta_{рт} \cdot \frac{\tau_{рт}p + 1}{\tau_{рт}p};$$

$$W_{ку}(p) = \frac{C_e}{\beta_{рт}} \cdot \frac{\tau_{рт}p}{\tau_{рт}p + 1} \cdot \frac{1}{K_{ип}};$$

$K_{рп}$ – коэффициент усиления РП;

$\tau_{рп}$ – постоянная времени РП, с;

τ_c – постоянная времени ФКС, с;

$\beta_{рс}$ – динамический коэффициент РС;

$\tau_{рс}; T_{рс}; T_c$ – постоянные времени РС, с;

$\beta_{рт}$ – динамический коэффициент РТ;

$\tau_{рт}$ – постоянная времени РТ, 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 уравнения баланса имеет вид

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

Если выбрать постоянную времени регулятора тока равную

$$\tau_{рт} = \frac{L_{я}}{R_{я}},$$

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

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

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 имеет вид

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

Если выбрать постоянную времени регулятора скорости равную

$$T_{\text{рс}} = T_{\mu},$$

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:

$$\frac{\omega(p)}{U_{\text{зс}}(p)} = \frac{1}{K_{\text{ос}}} \cdot \frac{\tau_c p + 1}{\frac{1}{\beta_{\text{рс}}} \cdot \frac{K_{\text{от}} J}{K_{\text{ос}} C_{\text{м}}} \cdot T_c \tau_{\text{рс}} p^3 + \frac{1}{\beta_{\text{рс}}} \cdot \frac{K_{\text{от}} J}{K_{\text{ос}} C_{\text{м}}} \cdot \tau_{\text{рс}} p^2 + \tau_{\text{рс}} p + 1};$$

$$\frac{\omega(p)}{M_c(p)} = -\frac{1}{\beta_{pc}} \cdot \frac{K_{от}}{K_{ос} C_M} \cdot \frac{\tau_{pc} p \cdot (T_c p + 1)}{\frac{1}{\beta_{pc}} \cdot \frac{K_{от} J}{K_{ос} C_M} \cdot T_c \tau_{pc} p^3 + \frac{1}{\beta_{pc}} \cdot \frac{K_{от} J}{K_{ос} C_M} \cdot \tau_{pc} p^2 + \tau_{pc} p + 1}$$

При выборе параметров регулятора скорости и фильтра контура скорости равными:

$$\beta_{pc} = 4 \cdot \frac{K_{от} J}{K_{ос} C_M T_\mu};$$

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

$$T_c = \frac{1}{8} \cdot T_\mu;$$

$$\tau_c = \frac{\sqrt{2}}{2} T_\mu.$$

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:

$$\frac{\omega(p)}{U_{zc}(p)} = \frac{1}{K_{ос}} \cdot \frac{\frac{\sqrt{2}}{2} T_\mu p + 1}{\frac{1}{32} T_\mu^3 p^3 + \frac{1}{4} T_\mu^2 p^2 + T_\mu p + 1};$$

$$\frac{\omega(p)}{M_c(p)} = -\frac{1}{4} \cdot \frac{T_\mu}{J} \cdot \frac{\frac{1}{8} T_\mu^2 p^2 + T_\mu p}{\frac{1}{32} T_\mu^3 p^3 + \frac{1}{4} T_\mu^2 p^2 + T_\mu p + 1}.$$

Передаточная функция контура скорости по каналу управления «задающее напряжение контура скорости – угловая скорость исполнительного органа электропривода» соответствует универсальной эталонной передаточной функции третьего порядка, имеющей в числителе полином первой степени, с постоянной времени T_μ .

Синтез контура положения

Для контура положения уравнения баланса имеет вид

$$\left. \begin{aligned} & \left[\frac{1}{\tau_{рп}p + 1} \cdot U_{зп} - K_{оп} \cdot \varphi \right] \cdot K_{рп} \cdot \frac{\tau_{рп}p + 1}{\tau_c p + 1} = U_{зс}; \\ & \left(\frac{\sqrt{2}}{2} T_{\mu} p + 1 \right) \cdot U_{зс} = \left(\frac{1}{32} T_{\mu}^3 p^3 + \frac{1}{4} T_{\mu}^2 p^2 + T_{\mu} p + 1 \right) \cdot K_{ос} \cdot \omega + \\ & \qquad \qquad \qquad + K_{ос} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{T_{\mu}}{J} \cdot \left(\frac{1}{8} T_{\mu}^2 p^2 + T_{\mu} p \right) \cdot M_c; \\ & \omega = p \cdot \varphi. \end{aligned} \right\}$$

Так как постоянная времени регулятора положения

$$\tau_c = \frac{\sqrt{2}}{2} T_{\mu},$$

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

$$\begin{aligned} \frac{\varphi(p)}{U_{зп}(p)} &= \frac{1}{K_{оп}} \cdot \frac{1}{\frac{1}{K_{рп}} \cdot \frac{K_{ос}}{K_{оп}} \cdot \frac{1}{32} T_{\mu}^3 p^4 + \frac{1}{K_{рп}} \cdot \frac{K_{ос}}{K_{оп}} \cdot \frac{1}{4} T_{\mu}^2 p^3 +} \rightarrow \\ & \rightarrow \frac{1}{\frac{1}{K_{рп}} \cdot \frac{K_{ос}}{K_{оп}} \cdot T_{\mu} p^2 + \frac{1}{K_{рп}} \cdot \frac{K_{ос}}{K_{оп}} \cdot p + \tau_{рп} p + 1}; \\ \frac{\varphi(p)}{M_c(p)} &= \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{K_{рп}} \cdot \frac{K_{ос}}{K_{оп}} \cdot \frac{T_{\mu}}{J} \cdot \frac{\frac{1}{8} T_{\mu}^2 p^2 + T_{\mu} p}{\frac{1}{K_{рп}} \cdot \frac{K_{ос}}{K_{оп}} \cdot \frac{1}{32} T_{\mu}^3 p^4 + \frac{1}{K_{рп}} \cdot \frac{K_{ос}}{K_{оп}} \cdot \frac{1}{4} T_{\mu}^2 p^3 +} \rightarrow \\ & \rightarrow \frac{1}{\frac{1}{K_{рп}} \cdot \frac{K_{ос}}{K_{оп}} \cdot T_{\mu} p^2 + \frac{1}{K_{рп}} \cdot \frac{K_{ос}}{K_{оп}} \cdot p + \tau_{рп} p + 1}. \end{aligned}$$

При выборе параметров регулятора положения и фильтра контура положения равными

$$K_{рп} = 2 \cdot \frac{K_{ос}}{K_{оп} T_{\mu}};$$

$$\tau_{рп} = \frac{1}{2} T_{\mu}$$

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:

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

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

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

Предлагаемая САР положения исполнительного органа электропривода постоянного тока с улучшенными характеристиками при идеальном валопроводе обладает следующими преимуществами по сравнению с САР положения исполнительного органа электропривода постоянного тока с типовыми регуляторами и идеальным валопроводом:

увеличено быстродействие контура скорости в четыре раза;

увеличено быстродействие контура положения в восемь раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю.П. Добробаба, Прохоренко Д.С. Двукратно-интегрирующая система автоматического регулирования положения электропривода. – Изв. вузов. Пищевая технология – 2007. – № 5-6. – с. 103-104.

REFERENCES

1 Dobrobaba Ju.P., Prohorenko D.S.. – Izv. vuzov. Pishhevaja tehnologija. – 2007. – №5-6. – s. 103-104.

SYNTHESIS OF POSITION AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR ELECTRIC DRIVE WITH SUPERIOR CHARACTERISTICS

Y.P. DOBROBABA, S.G. MIRONYUK, D.S. SPICHAK, A.L. KHORTSEV

*Kuban State Technological University,
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072;
e-mail: tolyahortsev@gmail.com, tre-86@mail.ru*

In this article was synthesized position automatic control system for electric drive with ideal shafting. This automatic control system has superior characteristics.

Keywords: automatic control system, ideal shafting, electric drive.

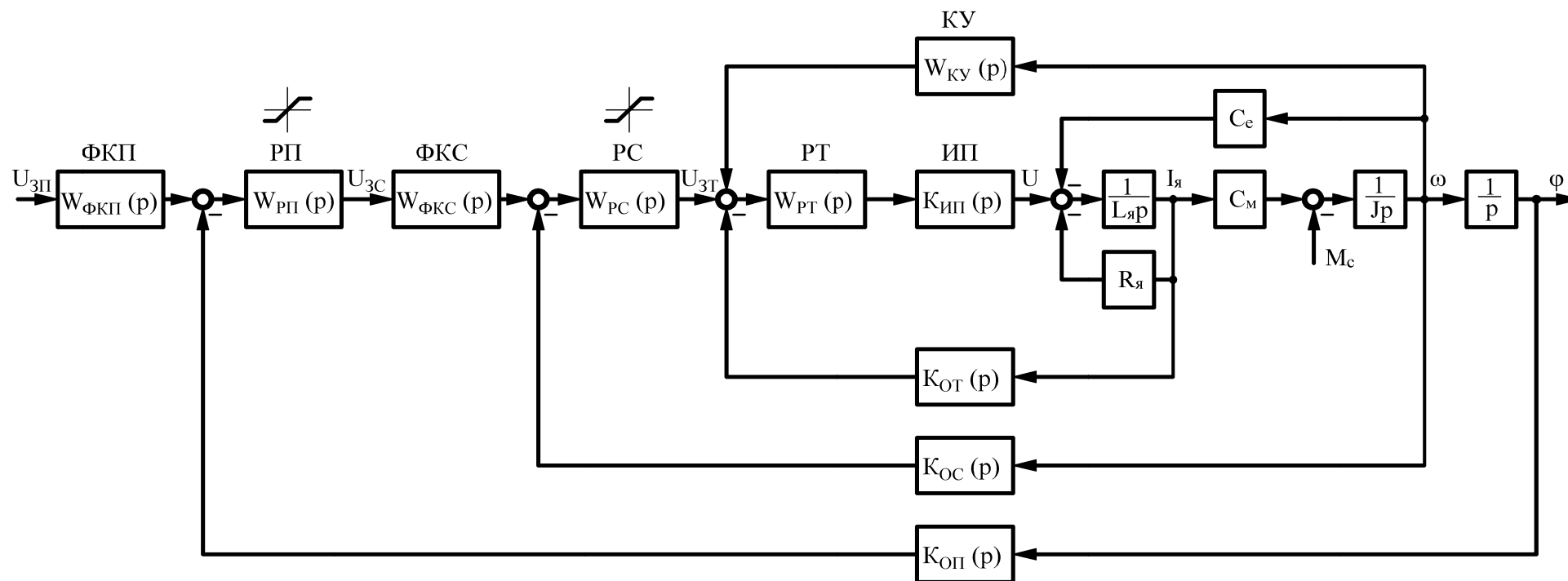


Рисунок 1 – Система автоматического регулирования положения исполнительного органа электропривода постоянного тока с улучшенными характеристиками