

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ ДВУХЗОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Зеленов А.Б., Шевченко Н.И.

Донбасский горно-металлургический институт

info@dgti.al.lg.ua

There is a consideration of synthesis of optimum relay control of the valve high-capacity electrodrive by two-zone regulation of velocity of direct current engine. The results of analytic constructing the regulators synthesized by Bellman's method of dynamic programming according to the criterion of integral quadratic mistake minimum were tested.

Объектом управления (ОУ) являются цепи якоря и возбуждения двигателя постоянного тока (ДПТ). Структурная схема ОУ представлена на рисунках 1 и 2 (обведена пунктиром). Поскольку магнитная система ДПТ явно нелинейна и возможны параметрические (температурные) и внешние возмущения, то наиболее предпочтительной из всех является система оптимального релейного управления.

Формирование оптимальных управлений для линеаризованного объекта (в области номинального потока) произведено методом аналитического конструирования регуляторов (АКР) с использованием динамического программирования Беллмана по критерию минимума интегральной квадратичной ошибки [1].

Возмущенное движение электропривода описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} p\eta_1 &= b_{12} \cdot \eta_2; \\ p\eta_2 &= b_{21} \cdot \eta_1 + b_{22} \cdot \eta_2 + b_{23} \cdot \eta_3; \\ p\eta_3 &= b_{33} \cdot \eta_3 + b_{34} \cdot \eta_4; \\ p\eta_4 &= b_{44} \cdot \eta_4 + m_4 \cdot U; \\ p\eta_5 &= b_{55} \cdot \eta_5 + b_{56} \cdot \eta_6; \\ p\eta_6 &= b_{66} \cdot \eta_6 + b_{67} \cdot \eta_7; \\ p\eta_7 &= b_{77} \cdot \eta_7 + m_7 \cdot U_b, \end{aligned} \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned} b_{12} &= \frac{R_3}{C\Phi_n \cdot T_m} \cdot \frac{i_m}{\omega_m}; b_{21} = -\frac{C\Phi_n}{T_3 \cdot R_3} \cdot \frac{\omega_m}{i_m}; b_{22} = -\frac{1}{T_3}; b_{23} = \frac{1}{T_3 \cdot R_3} \cdot \frac{E_{mnm}}{i_m}; b_{33} = -\frac{1}{T_\mu}; b_{34} = \frac{K_{mn}}{T_\mu} \cdot \frac{U_{\phi 1m}}{E_{mnm}}; \\ b_{44} &= -\frac{1}{T_{\phi 1}}; m_4 = \frac{1}{T_{\phi 1}} \cdot \frac{U_{ym}}{U_{\phi 1m}}; b_{55} = -\frac{1}{T_u}; b_{56} = C^2 \Phi_n K_\phi I_m \cdot \frac{i_{em}}{E_m}; b_{66} = -\frac{1}{T_6}; b_{67} = \frac{K_{mne}}{R_6 \cdot T_6} \cdot \frac{U_{\phi 2m}}{i_{em}}; \\ b_{77} &= -\frac{1}{T_{\phi 2}}; m_7 = \frac{1}{T_{\phi 2}} \cdot \frac{U_{ym}}{U_{\phi 2m}}, \end{aligned}$$

$\eta_1 - \eta_7$ - фазовые координаты возмущенного движения (см. рисунки 1 и 2).

Синтез регуляторов производится наиболее важных координат, а именно, тока якоря, скорости, тока возбуждения и ЭДС ДПТ.

Оптимальные управления, синтезированные по указанной методике [1] после необходимых преобразований могут быть представлены:

$$\begin{aligned} U_{pm}(\omega, i, E_{mn}, U_{\phi 1}) &= U_{ym} \text{sign}(K_{2pm}^* i^* - K_{2pm} i - K_{1pm} \omega - K_{3pm} E_{mn} - K_{4pm} U_{\phi 1}); \\ U_{pc}(\omega, i, E_{mn}, U_{\phi 1}) &= U_{ym} \text{sign}(K_{1pc}^* \omega^* - K_{1pc} \omega - K_{2pc} i - K_{3pc} E_{mn} - K_{4pc} U_{\phi 1}); \\ U_{pms}(i_s, U_{\phi 2}) &= U_{ym} \text{sign}(K_{6pms}^* i_s^* - K_{6pms} i_s - K_{7pms} U_{\phi 2}); \\ U_{ps}(E, i_s, U_{\phi 2}) &= U_{ym} \text{sign}(K_{5ps}^* E^* - K_{5ps} E - K_{6ps} i_s - K_{7ps} U_{\phi 2}), \end{aligned} \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} K_{1pm} &= -\frac{C\Phi_n(T_{\phi 1} + T_\mu)}{R_3 T_3}; K_{2pm} = I; K_{2pm}^* = 1 + \frac{T_{\phi 1} + T_\mu}{T_3}; K_{3pm} = \frac{T_\mu}{R_3 T_3}; K_{4pm} = \frac{K_{mn} T_{\phi 1}}{R_3 T_3}; \\ K_{1pc} &= I; K_{1pc}^* = 1 + \frac{T_{\phi 1} + T_\mu}{T_m}; K_{2pc} = \frac{R_3 T_3}{C\Phi_n T_m}; K_{3pc} = \frac{T_\mu}{C\Phi_n T_m}; K_{4pc} = \frac{K_{mn} T_{\phi 1}}{C\Phi_n T_m}; \\ K_{6pms} &= I; K_{6pms}^* = 1 + \frac{T_{\phi 2}}{T_6}; K_{7pms} = \frac{K_{mne} T_{\phi 2}}{R_6 T_6}; \\ K_{5ps} &= I; K_{5ps}^* = 1 + \frac{T_{\phi 2} + T_6}{T_u}; K_{6ps} = \frac{C^2 \Phi_n K_\phi I_m T_6}{J}; K_{7ps} = \frac{C^2 \Phi_n K_\phi I_m K_{mne}}{J R_6} T_{\phi 2}. \end{aligned}$$

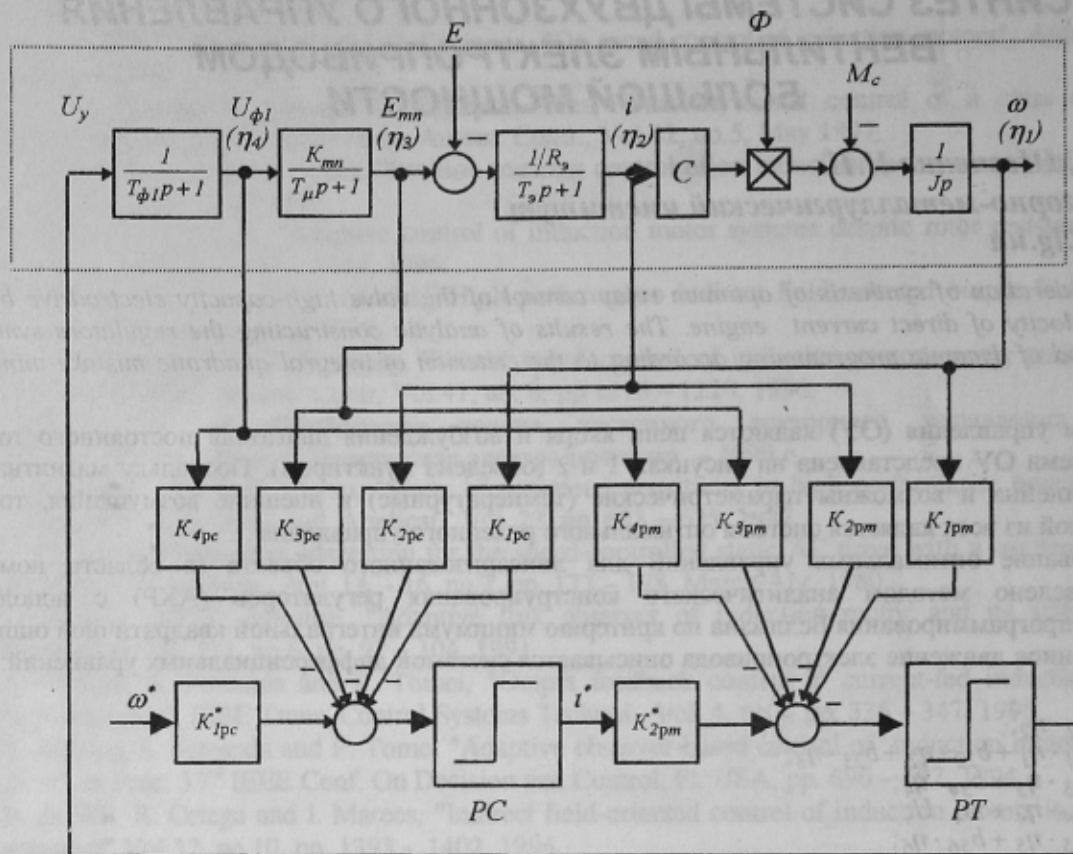


Рисунок 1 - Структурная схема ОУ и релейной системы управления при работе в первой зоне.

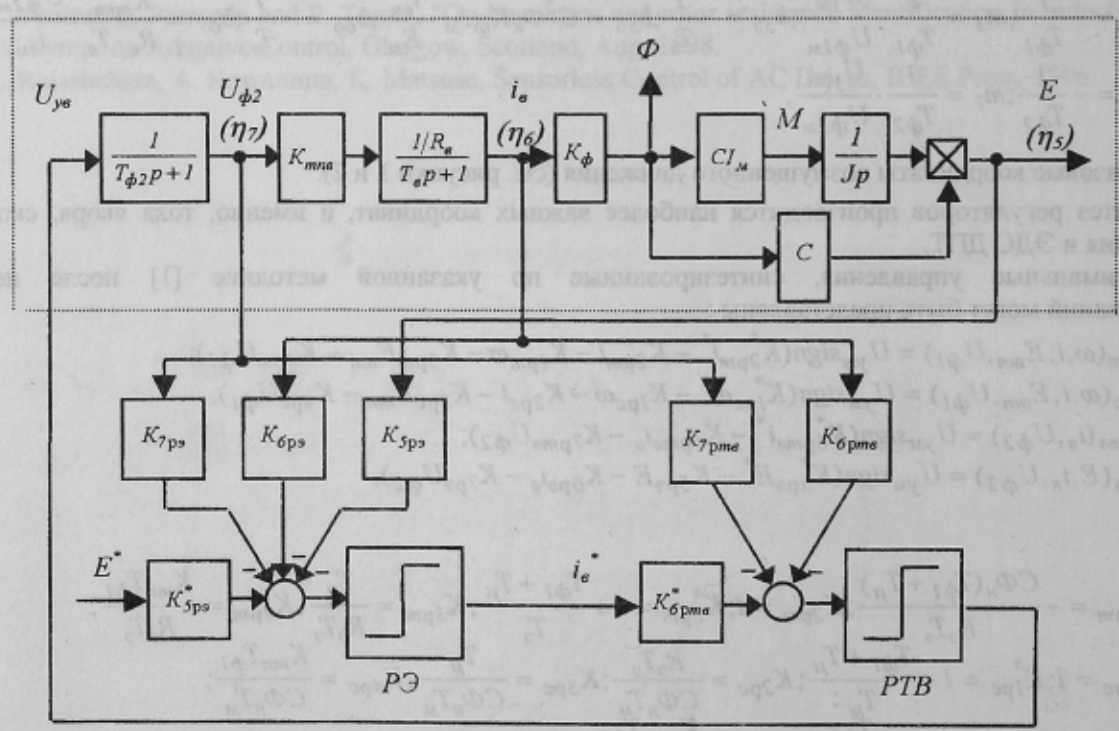


Рисунок 2 - Структурная схема системы релейного управления возбуждением ДПТ.

Следует заметить, что синтез регуляторов для первой зоны управления скоростью ДПТ произведен независимо от координат, относящихся ко второй зоне ($U_{\phi 2}, i_{\phi}, \Phi$), поскольку последние в это время остаются постоянными. Поэтому, в оптимальные управления U_{pm}, U_{pc} входят как параметры (для $\Phi = \Phi_n$).

Для регулирования ДПТ во второй зоне (при $\Phi(\Phi_n)$) при синтезе регуляторов тока возбуждения (РТВ) и ЭДС (РЭ) учитывается влияние скорости и тока якоря двигателя. Если скорость участвует в управлениях как координата (через ЭДС), то ток якорной цепи — как параметр ($i = I_M$). Поскольку ток якоря во время работы РТВ и РЭ с помощью РТ поддерживается на уровне максимального значения I_M , то в управлении U_{pe} (при расчете весовых коэффициентов) он используется в виде коэффициента I_M .

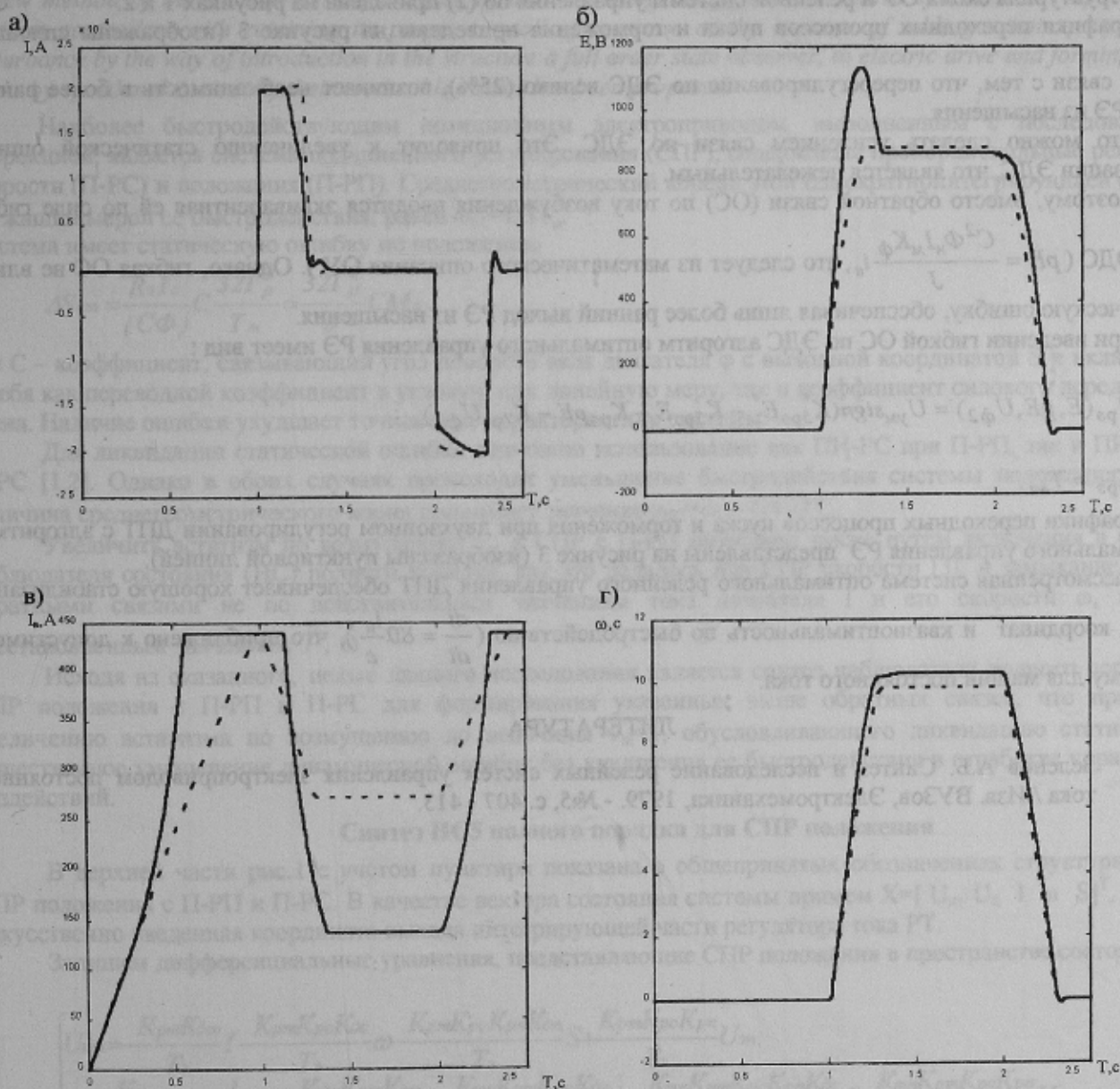


Рисунок 3 - Графики переходных процессов пуска и торможения вентиляционного ЭП с релейной системой управления.

Начало работы РЭ, РТВ соответствует насыщенному состоянию магнитной системы ДПТ, т.е. нахождению ее в точке $\Phi = \Phi_n$ ($i_{\phi} = i_{\phi n}$). Поэтому, при синтезе названных регуляторов величина электромагнитной постоянной времени T_{ϕ} цепи возбуждения принимается равной

$$T_{\phi 0} = \frac{2P}{R_{\phi}} \cdot \frac{W_{\phi}^2}{a_{\phi}^2} \left[\left(\frac{\Delta\Phi_n}{\Delta F_n} \right)_0 + \Phi_{0n} \right] + T_{em}, \quad (3)$$

где

p - число пар главных полюсов ДПТ,

R_g - величина активного сопротивления цепи возбуждения,

W_{σ}, a_{σ} - число витков и параллельных ветвей обмотки возбуждения на полюсе,

$(\frac{\Delta\Phi_n}{\Delta F_n})_o$ - крутизна кривой намагничивания магнитной системы в области номинального потока Φ_n (0-точка линеаризации),

$\Phi_{\sigma n}$ - величина потока рассеяния при номинальном токе возбуждения ДПТ,

$T_{\sigma m}$ - величина электромагнитной постоянной времени от вихревых токов в станине.

Структурная схема ОУ и релейной системы управления по (2) приведена на рисунках 1 и 2.

Графики переходных процессов пуска и торможения приведены на рисунке 3 (изображены сплошной линией).

В связи с тем, что перерегулирование по ЭДС велико (25%), возникает необходимость в более раннем выводе РЭ из насыщения.

Это можно сделать усилением связи по ЭДС. Это приводит к увеличению статической ошибки стабилизации ЭДС, что является нежелательным.

Поэтому, вместо обратной связи (ОС) по току возбуждения вводится эквивалентная ей по силе гибкая

ОС по ЭДС ($pE = \frac{C^2 \Phi_n I_m K_{\phi}}{J} i_g$, что следует из математического описания ОУ). Однако, гибкая ОС не влияет на статическую ошибку, обеспечивая лишь более ранний выход РЭ из насыщения.

При введении гибкой ОС по ЭДС алгоритм оптимального управления РЭ имеет вид:

$$U_{p3}(E, pE, U_{\phi 2}) = U_{ум} \text{sign}(K_{5p3}^* E^* - K_{5p3} E - K_{p3} pE - K_{7p3} U_{\phi 2}), \quad (4)$$

где

$$K_{p3} = T_{\sigma o}.$$

Графики переходных процессов пуска и торможения при двухзонном регулировании ДПТ с алгоритмом (4) оптимального управления РЭ представлены на рисунке 3 (изображены пунктирной линией).

Рассмотренная система оптимального релейного управления ДПТ обеспечивает хорошую стабилизацию фазовых координат и квазиоптимальность по быстрдействию ($\frac{di}{dt} = 80 \frac{I_m}{c}$), что приближено к допустимому максимуму для машин постоянного тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зеленев А.Б. Синтез и исследование релейных систем управления электроприводом постоянного тока //Изв. ВУЗов, Электромеханика, 1979. - №5, с. 407 - 413.