

Методика синтеза алгоритма управления стабилизированным по крену модулем коррекции

О.В. Горячев, А.Г. Ефромеев

Аннотация

В статье представлена квазиоптимальная система управления скоростью вращения ротора двигателя с независимо вращающимся статором. В качестве исполнительного элемента системы управления использован бесконтактный электрический двигатель постоянного тока.

Ключевые слова

квазиоптимальное управление; бесконтактный двигатель постоянного тока; стабилизированный по крену

В ряде системах стабилизации, в которых в качестве исполнительного элемента используется бесконтактный электродвигатель, его статор вращается за счет действия момента внешних сил, а положением ротора необходимо управлять. В качестве одного из вариантов системы управления для такого привода предлагается квазиоптимальное управление.

Для получения уравнения линии переключения воспользуемся исходной моделью двухфазного бесконтактного двигателя постоянного тока, учитывающую, что статор двигателя вращается с частотой ω_{cm} , следующего вида:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di_A}{dt} = \frac{1}{L}(u_A - r \cdot i_A + c_e \cdot \varpi \cdot \sin(Z_p \cdot \varpi \cdot t)), \\ \frac{di_B}{dt} = \frac{1}{L}(u_B - r \cdot i_B - c_e \cdot \varpi \cdot \cos(Z_p \cdot \varpi \cdot t)), \\ M = c_M \cdot (\cos(Z_p \cdot \varpi \cdot t) \cdot i_B - \sin(Z_p \cdot \varpi \cdot t) \cdot i_A), \\ J \cdot \frac{d\omega}{dt} = M - M_H, \\ \varpi = -\omega_{cm} + \omega. \end{array} \right. \quad (1)$$

где i_A, i_B – токи в обмотках двигателя, L, r – индуктивность и сопротивление обмотки двигателя, c_e – коэффициент противо-ЭДС, c_M – коэффициент момента, Z_p – число пар полюсов, J – приведённый момент инерции вала двигателя, M_H – момент нагрузки.

Перейдём к модели эквивалентного двигателя постоянного тока вида (2):

$$\begin{cases} \frac{d\varphi}{dt} = \omega, \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} \left(\frac{c_M}{r} U - \frac{c_e c_M}{r} \varpi - M_H \right), \\ \varpi = -\omega_{cm} + \omega. \end{cases} \quad (2)$$

Введём переменные состояния $x_1 = \varphi$ и $x_2 = \omega$ и преобразуем систему (2) к следующему виду:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = x_2, \\ \frac{dx_2}{dt} = -\frac{c_e c_M}{J \cdot r} x_2 + \left(\frac{c_M}{J \cdot r} U + \frac{c_e c_M}{J \cdot r} \omega_{cm} - \frac{M_H}{J} \right). \end{cases} \quad (3)$$

Для нахождения фазовой траектории разделим второе уравнение системы (3) на первое:

$$\begin{aligned} \frac{dx_2}{dx_1} &= \frac{-\lambda_1 x_2 + \Delta}{x_2} \\ dx_1 &= \frac{x_2}{-\lambda_1 x_2 + \Delta} \cdot dx_2 \end{aligned} \quad (4)$$

где $\lambda_1 = \frac{c_e c_M}{J \cdot r}$; $\Delta = \frac{c_M}{J \cdot r} U + \frac{c_e c_M}{J \cdot r} \omega_{cm} - \frac{M_H}{J}$.

Проинтегрировав выражение (4) получим уравнение фазовых траекторий:

$$x_1 - x_{10} = \frac{1}{\lambda_1} \left\{ (x_{20} - x_2) - \frac{\Delta}{\lambda_1} \ln \left| \frac{-\lambda_1 x_2 + \Delta}{-\lambda_1 x_{20} + \Delta} \right| \right\},$$

где x_{10}, x_{20} – начальные значения переменных x_1, x_2 .

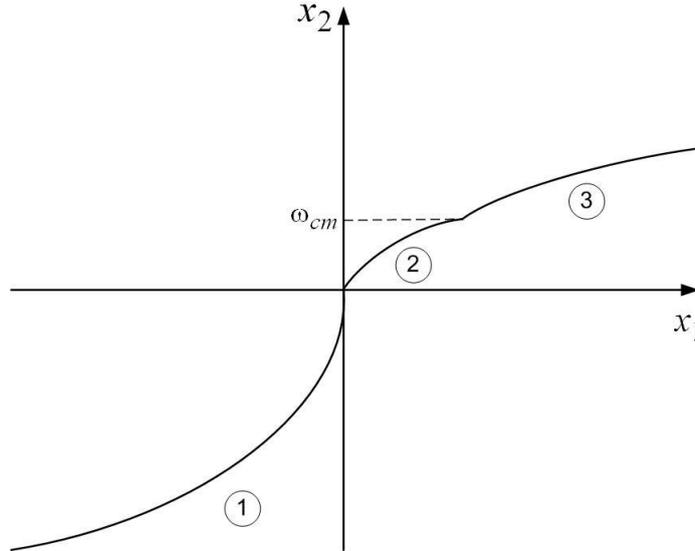


Рис. 1. Общий вид линии переключения.

Общий вид линии переключения показан на рис.1. Она состоит из трёх непрерывных участков, рассмотрим каждый из них в отдельности.

Участок 1. $x_2 < 0$, скорость вращения статора направлена навстречу скорости вращения, следовательно: M_{mp} – тормозящий момент; противоЭДС двигателя увеличивается на величину $c_e \omega_{cm}$.

$$\Delta_1 = \frac{c_M}{J \cdot r} u_{\max} + \frac{c_e c_M}{J \cdot r} \omega_{cm} - \frac{M_n}{J}$$

Уравнение для линии переключения на 1-ом участке:

$$-x_{10} = \frac{1}{\lambda_1} \left\{ x_{20} + \frac{\Delta_1}{\lambda_1} \ln \frac{-\lambda_1 x_{20} + \Delta_1}{\Delta_1} \right\}$$

Переходя к координатам (x_1, x_2) :

$$x_1 = \frac{1}{\lambda_1} \left\{ x_2 + \frac{\Delta_1}{\lambda_1} \ln \frac{-\lambda_1 x_2 + \Delta_1}{\Delta_1} \right\} \quad (5)$$

Участок 2. $\omega_{cm} > x_2 > 0$, M_{mp} – движущий момент. ПротивоЭДС от вращения статора стремится разогнать двигатель.

$$\Delta_2 = \frac{c_M}{J \cdot r} (-u_{\max}) + \frac{c_e c_M}{J \cdot r} \omega_{cm} + \frac{M_n}{J}$$

$$x_1 = \frac{1}{\lambda_1} \left\{ x_2 + \frac{\Delta_2}{\lambda_1} \cdot \ln \frac{-\lambda_1 x_{20} + \Delta_2}{\Delta_2} \right\} \quad (6)$$

Участок 3. $x_2 > \omega_{cm}$, M_{mp} – тормозящий момент

$$\Delta_3 = \frac{C_M}{J \cdot r} (-u_{\max}) + \frac{C_e C_M}{J \cdot r} \omega_{cm} - \frac{M_H}{J}$$

Для расчёта линии переключения на третьем участке необходимо предварительно найти точку излома:

$$\begin{cases} x_2 = \omega_{cm} = x_{2K}, \\ x_1 = \frac{1}{\lambda_1} \left\{ \omega_{cm} + \frac{\Delta_2}{\lambda_1} \cdot \ln \frac{-\lambda_1 \omega_{cm} + \Delta_2}{\Delta_2} \right\} = x_{1K}. \end{cases}$$

Уравнения линии переключения на 3-ем участке:

$$x_{1K} - x_{10} = \frac{1}{\lambda_1} \left\{ (x_{2K} - x_{20}) + \frac{\Delta_3}{\lambda_1} \cdot \ln \frac{-\lambda_1 x_{20} + \Delta_3}{-\lambda_1 x_{2K} + \Delta_3} \right\}$$

$$x_1 = -x_{1K} + \frac{1}{\lambda_1} \left\{ (x_{2K} - x_2) + \frac{\Delta_3}{\lambda_1} \cdot \ln \frac{-\lambda_1 x_2 + \Delta_3}{-\lambda_1 x_{2K} + \Delta_3} \right\} \quad (7)$$

Таким образом, система уравнений (5), (6) и (7) образует уравнение искомой линии переключения.

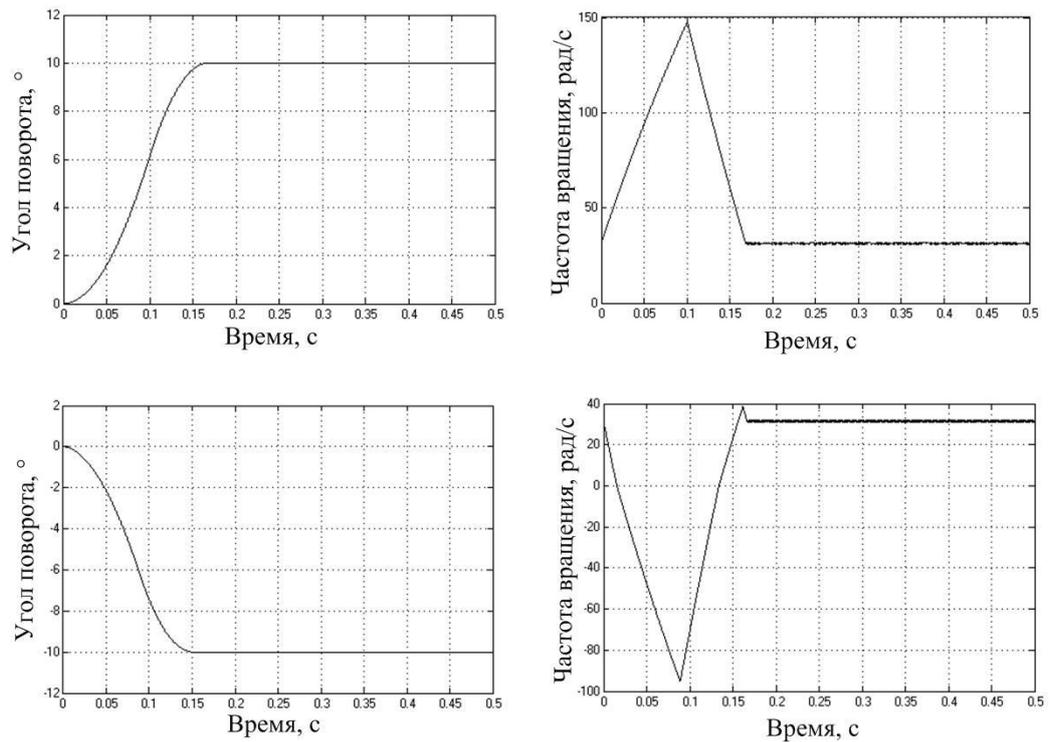


Рис.2. Переходные процессы при частоте вращения статора 5 об/сек.

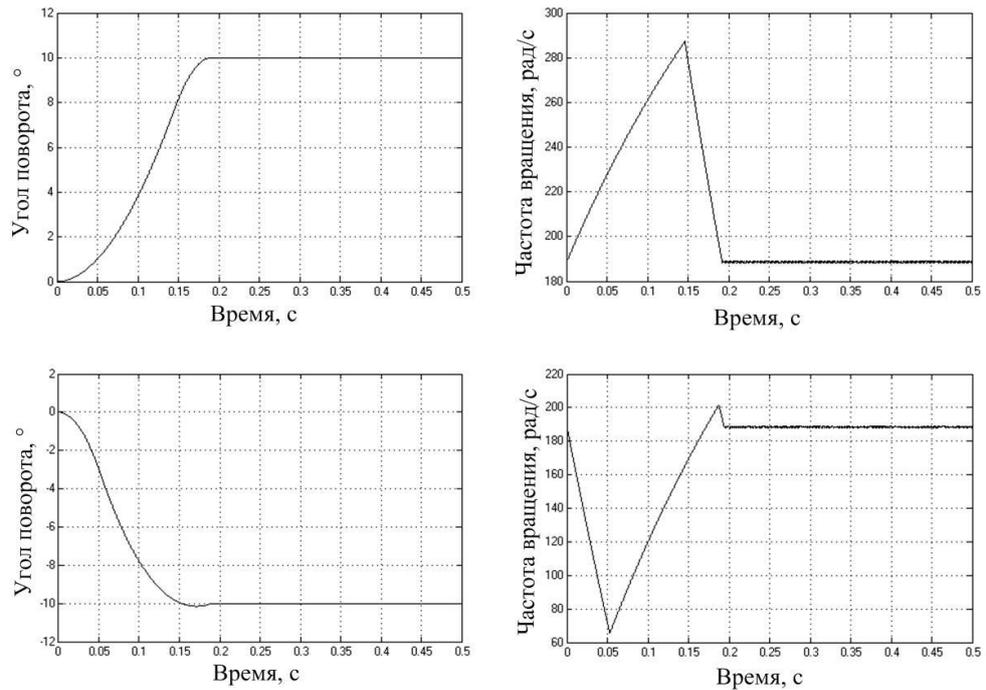


Рис.3. Переходные процессы при частоте вращения статора 30 об/сек.

На рисунках 2 и 3 представлены результаты моделирования системы управления с разработанным квазиоптимальным регулятором. Показаны переходные процессы по углу поворота объекта управления и по частоте вращения статора относительно ротора при ступенчатых входных воздействиях 10 и -10 градусов и постоянных скоростях вращения статора.

Разработана методика синтеза квазиоптимальной по быстродействию системы управления скоростью вращения ротора бесконтактного двигателя постоянного тока с независимо вращающимся статором. Т.к. в реальной системе скорость вращения статора может изменяться, целесообразно использовать семейство линий переключения, построенных для различных частот вращения статора.

Библиографический список

1. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-ти тт.; 2-е изд., перераб. и доп. Т.4: Теория оптимизации систем автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.

Сведения об авторах

Горячев Олег Владимирович, заведующий кафедрой Тульского государственного университета, профессор, д.т.н.

ТулГУ, пр. Ленина, 95, г. Тула, 300012;
тел.: (4872)35-38-35; e-mail: info@sau.tsu.tula.ru

Ефромеев Андрей Геннадьевич, аспирант Тульского государственного университета.
ТулГУ, пр. Ленина, 95, г. Тула, 300012;
тел.: (4872)35-38-35; e-mail: age47@mail.ru