

УДК 621.313.62-83.681-5

Е.К.Ещин

**УПРАВЛЕНИЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА  
С АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ**

Перевод электрической машины из одного состояния в другое – классическая задача управления [1,2]. При этом минимально необходимые уравнения движения электропривода можно записать с естественными ограничениями в виде:

$$\begin{cases} \frac{d\gamma}{dt} = \omega, \\ \frac{d\omega}{dt} = J^{-1}\Delta M, \end{cases}$$

$$\Delta M_{min} \leq \Delta M \leq \Delta M_{max}$$

где  $\gamma$  - угол поворота вала ротора электродвигателя (ЭД), в обозначениях на рисунках -  $\Gamma$ ,  $\omega$  – частота вращения ротора АД,  $\Delta M = M - M_c$  – динамический момент (в обозначениях на рисунках -  $\Delta M$ ),  $M$  – электромагнитный момент ЭД,  $M_c$  – момент сопротивления на валу ЭД,  $J$  – момент инерции.

Формулировка задачи в постановке, например, о переводе объекта из произвольного начального состояния в начало координат ( $\gamma=0, \omega=0$ ) физически означает возврат к нулевому значению угла поворота ротора и остановку вращения ЭД. Этот вариант управления можно представить себе в машинах, у которых по условиям выполнения технологического процесса исполнительный орган должен вернуться в исходное положение.

Существует также задача об обеспечении электроприводу конечных условий, когда  $\gamma=\gamma_z, \omega=0$ , где  $\gamma_z$  – задаваемое значение угла поворота ротора ЭД - задача позиционирования. Подобные рода задачи возникают, например, при управлении электроприводами запорной арматуры, а также во многих других задачах финитного управления.

Рассмотрим решение задачи позиционирования по условию обеспечения максимального быстродействия при переходе системы электропривода из одного состояния в другое и изменяющейся нагрузке на валу электродвигателя. Управляющее воздействие при позиционировании – динамический момент ( $\Delta M$ ). В качестве исполнительного двигателя примем асинхронный электродвигатель (АД) с его математической моделью по [3].

Запишем для исходной системы в соответствии с принципом максимума Л.С.Понтрягина [4] вспомогательную функцию Н:

$$H = \Psi_1 \omega + \Psi_2 J^{-1} \Delta M.$$

В силу условий обеспечения максимума для  $H$  будем иметь:

$$\Delta M(t) = \Delta M_{max}, \text{ if } \Psi_2(t) > 0;$$

$$\Delta M(t) = \Delta M_{min}, \text{ if } \Psi_2(t) < 0.$$

Отсюда следует, что оптимальное управление является функцией, принимающей значения  $\Delta M_{max}, \Delta M_{min}$  и имеющей не более двух интервалов постоянства [4].

По отношению к электромагнитному моменту ( $M$ ) АД его необходимое (задаваемое) значение определится как  $M_z = \Delta M + M_c$ , и при постоянстве динамического момента будет определяться только величиной момента сопротивления.

Таким образом, возникает задача перевода электропривода из одного состояния в другое за минимум времени при изменяющейся нагрузке, что эквивалентно обеспечению классических фазовых траекторий перемещения по [4].

Из исходной системы уравнений движения

можно записать  $\frac{d\gamma}{dt} = \frac{J}{\Delta M} \omega$  и при условии, что

$$\Delta M = const - \gamma = \frac{J}{2\Delta M} \omega^2 + \gamma_z,$$

уравнение поверхности (линии) переключения [7-9] будет выглядеть так:

$$\omega - k \sqrt{\frac{2\Delta M}{J}(\gamma - \gamma_z)} = 0.$$

Возможность обеспечить условие:  $\Delta M = const$  имеется. Например, при реализации управления величиной электромагнитного момента АД по [6].

При этом правила формирования необходимых значений управляющих воздействий (напряжений фаз АД) для обеспечения минимума разности  $|M_z - M|$  или экстремума функционала

$$J = \inf \int_0^t (M_z - M)^2 dt,$$

при управлении со стороны статора в координатной системе  $\alpha, \beta$  таковы:

$$U_{s\alpha} = \begin{cases} -U_{\alpha max} & \text{при } (M_z - M)\Psi_{s\beta} > 0, \\ U_{\alpha max} & \text{при } (M_z - M)\Psi_{s\beta} \leq 0, \end{cases}$$

$$U_{s\beta} = \begin{cases} U_{\beta max} & \text{при } (M_z - M)\Psi_{s\alpha} > 0, \\ -U_{\beta max} & \text{при } (M_z - M)\Psi_{s\alpha} \leq 0. \end{cases}$$

Результаты решения задачи в среде MatLab SimuLink (рис.1) в виде траекторий изменения координат приведены на рис.2.

Формирование величин момента сопротивления (активного) для модели в Matlab Simulink проводилось совокупностью блоков.

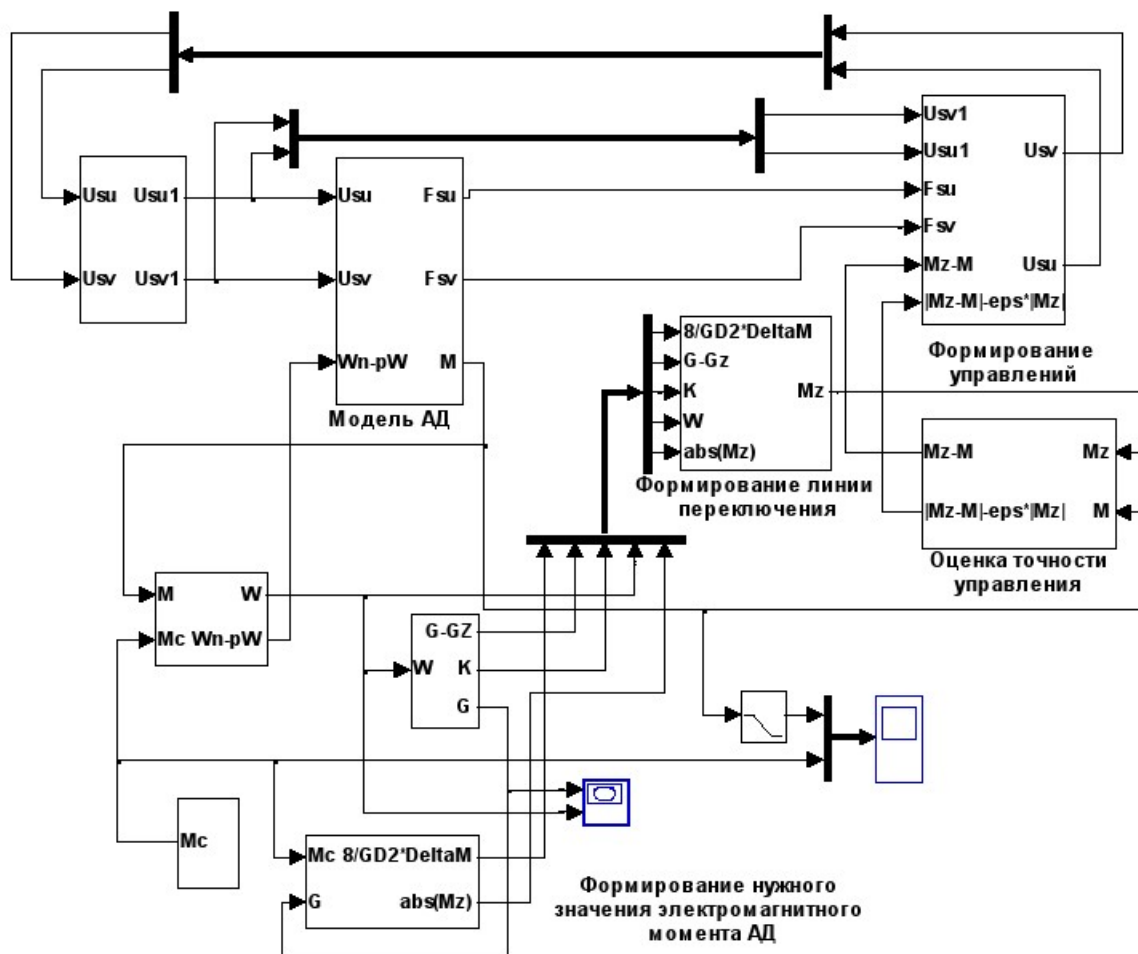
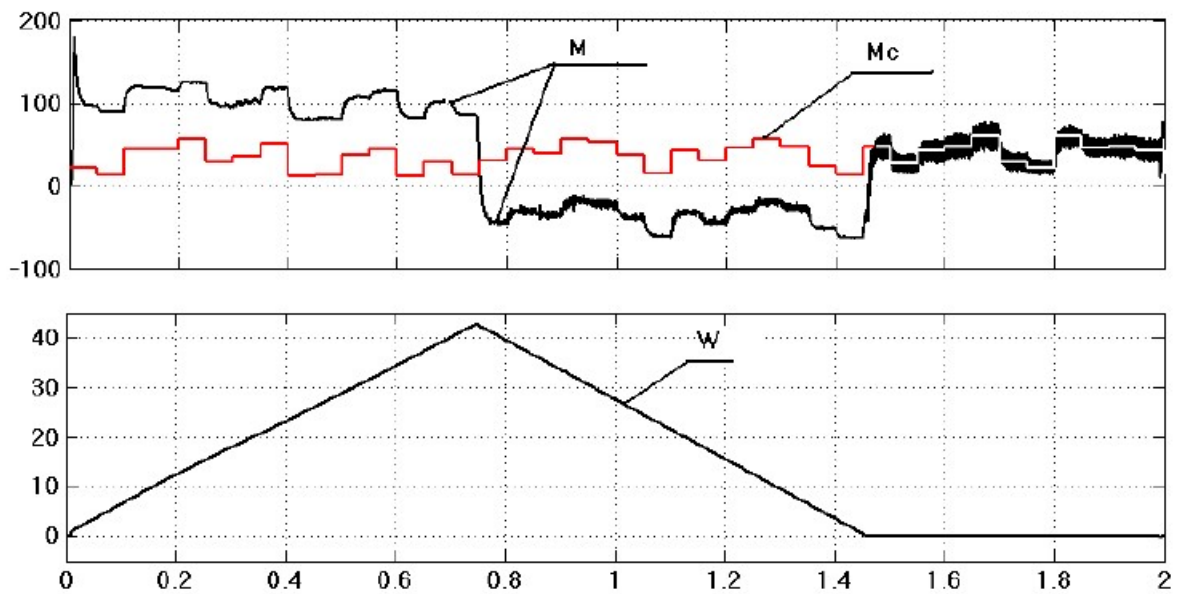
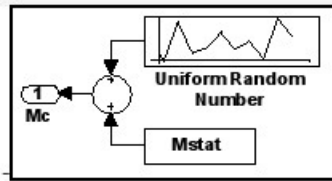


Рис. 1 Модель электропривода на базе АД для изучения процессов управления углом поворота вала ротора при изменяющейся нагрузке



Time offset: 0

Рис. 2 Характер изменения момента сопротивления, электромагнитного момента АД и скорости вращения ротора (нижний график) при обеспечении постоянства динамического момента при повороте ротора АД на угол  $4\pi$  (моделирование в среде Matlab Simulink)



Формирование  $M_c$  (реактивного) для модели в среде Delphi-

$$M_c = 0.64 \arctg(B\omega) \left[ M_{stat} + \sum_{i=1}^N A_i \sin(2\pi f_i t) \right]$$

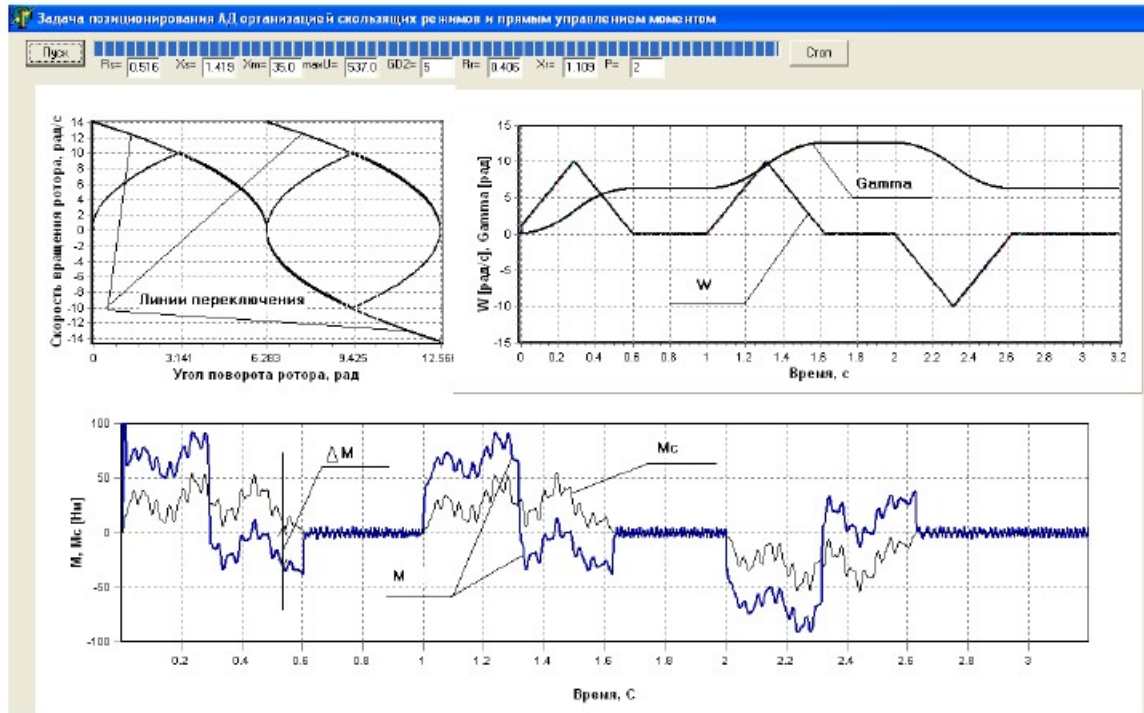


Рис. 3 Процесс последовательного, с паузами, поворота ротора АД на угол  $2\pi$ ,  $4\pi$  и возврат его в положение с углом поворота-  $2\pi$  при изменении момента сопротивления и обеспечении постоянства динамического момента (моделирование в среде Delphi)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ещин Е.К. Общая задача управления асинхронным электродвигателем/ Ещин Е.К., Григорьев А.В. // ИВУЗ, Электромеханика, 2010. №1. С.39-43
2. Ещин Е.К. Общая задача оптимизации частотного управления асинхронным электродвигателем/ Ещин Е.К., Гаврилов П.Д. // ИВУЗ "Электромеханика". 1979. №6. С.541-545.
3. Ковач К.П., Рац И. Переходные процессы в машинах переменного тока. М.-Л. Госэнергоиздат, 1963. 744 с.
4. Понтрягин Л.С., В.Г.Болтянский, Р.В.Гамкрелидзе, Е.Ф.Мищенко. Математическая теория оптимальных процессов. М.: Наука, 1983. 392 с.
5. YOON-SEOK HAN. The position control of induction motors using a binary disturbance observer / YOON-SEOK HAN, YOUNG-SEOK KIM, SHIGERU OKUMA // Advanced Robotics, Vol.14, No 2, pp. 119-134 (2000)
6. Ещин Е.К., Григорьев А.В., Соколов И.А. Способ управления величиной электромагнитного момента электрической машины переменного тока (варианты). Пат. №2395157 Заявл. 31.03.2008; Опубл.20.07.2010. Бюл. № 20.
7. Utkin V.I., Guldner J., Shi J. Sliding mode control in electromechanical systems. Taylor & Francis, 1999. – 325 с.
8. Park Min-Ho. Chattering reduction in the position control of induction motor using the sliding mode / Park Min-Ho, Kim Young-Real // [Электронный ресурс]. - Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. - Режим доступа: [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?arnumber=85898](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=85898) (Дата обращения: 11.04.2012)
9. Do Thi Hong Tham, Duong Hoai Nghia. Sliding mode control of induction motor // International Symposium on Electrical & Electronic Engineering 2001 – Oct 24, 25 2007.

□ Автор статьи

Ещин  
Евгений Константинович,  
докт. техн. наук, проф. каф. прикладных  
информационных технологий КузГТУ.  
Email: eke@kuzstu.ru