

УПРАВЛЕНИЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕМ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

В работах [1,2] представлены результаты введения управления позиционированием электропривода с асинхронным электродвигателем. База получения результатов - *MatLab/Simulink*. Однако, использование компонентов базы *Simulink* обеспечивает получение, так называемых, идеальных результатов. Под идеальным результатом будем полагать не учет существующих в реальной практике искажений и временных задержек прохождения сигнала управления, а также практической формы питающего напряжения.

В данной статье в качестве исполнительного двигателя рассмотрен асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором из библиотеки *Simulink/SimPowerSystems /Machines*. Электрическая часть АД представлена пространственной моделью четвертого порядка, а механическая часть системой уравнений второго порядка. Исходные уравнения электрической части записаны в двухфазной вращающейся системе координат dq . На рис. 1 представлено диалоговое окно выбора параметров АД.

Для моделирования переходных процессов выбрана предустановленная конфигурация АД номинальной мощностью 15 кВт.

При этом входное напряжение в фазной системе координат (a,b,c) преобразуется в соответствующую ортогональную систему dq , а выходные токи, рассчитываемые в координатах dq , преобразуется в фазные координаты (a,b,c) .

В работах [1-3] рассмотрены условия обеспечения максимального быстродействия при переводе системы из начального положения в конечное. При этом заданную величину электромагнитного момента M формируют в соответствие со следующими правилами:

$$M = \begin{cases} M_z \text{ npu} \left[\omega - \text{sgn}(\gamma - \gamma_z) \sqrt{\frac{2\Delta M_{\max}}{J} |\gamma - \gamma_z|} \right] \geq 0, \\ -M_z \text{ npu} \left[\omega - \text{sgn}(\gamma - \gamma_z) \sqrt{\frac{2\Delta M_{\max}}{J} |\gamma - \gamma_z|} \right] < 0, \end{cases} \quad (1)$$

где: ΔM – динамический момент, Нм; ω – угловая частота вращения вала двигателя, c^{-1} ; γ – угловое положение вала двигателя, рад; $\text{sgn}(\gamma - \gamma_z)$ – функция учитывающая расположение фазовой координаты; $\text{sgn}(\gamma - \gamma_z) = -1$ при $(\gamma - \gamma_z) > 0$ и $\text{sgn}(\gamma - \gamma_z) = 1$ при $(\gamma - \gamma_z) \leq 0$.

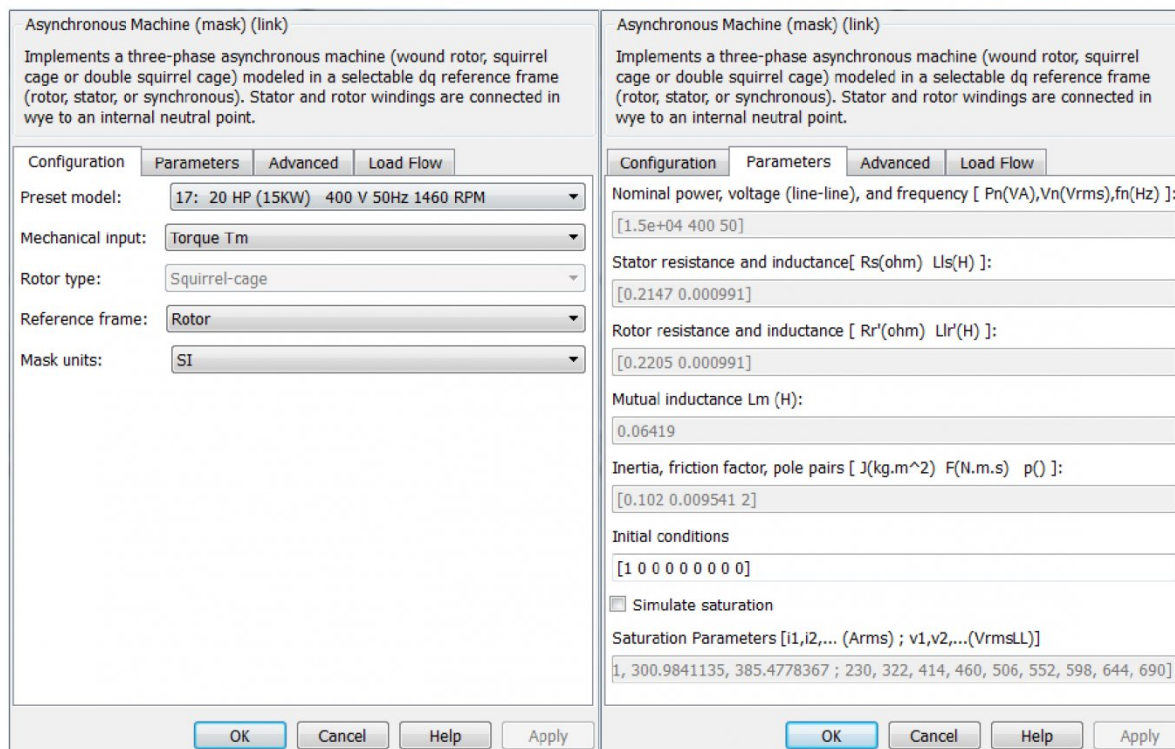


Рисунок 1 Диалоговое окно параметров АД

Правила формирования необходимых значений напряжений фаз АД для обеспечения условия $\Delta M = const$ при управлении со стороны статора в координатной системе a, b, c рассмотрены в [4]:

$$U_{sa} = \begin{cases} U_{a \max} & \text{при } (M_z - M)(\Psi_{sc} - \Psi_{sb}) > 0, \\ -U_{a \max} & \text{при } (M_z - M)(\Psi_{sc} - \Psi_{sb}) \leq 0, \end{cases}$$

$$U_{sb} = \begin{cases} U_{b \max} & \text{при } (M_z - M)(\Psi_{sa} - \Psi_{sc}) > 0, \\ -U_{b \max} & \text{при } (M_z - M)(\Psi_{sa} - \Psi_{sc}) \leq 0, \end{cases}$$

$$U_{sc} = \begin{cases} U_{c \max} & \text{при } (M_z - M)(\Psi_{sb} - \Psi_{sa}) > 0, \\ -U_{c \max} & \text{при } (M_z - M)(\Psi_{sb} - \Psi_{sa}) \leq 0. \end{cases} \quad (2)$$

Формирование необходимых значений фазных

напряжений осуществляется с помощью управляемого трехфазного инвертора напряжения, состоящего из трех полумостовых схем, подключенных параллельно к источнику постоянного напряжения (рис. 2). В качестве силовых ключей используются IGBT транзисторы, шунтированные обратными диодами. Для реализации алгоритма управления (2) разработана модель драйвера управления ключами инвертора.

Для расчета необходимых значений составляющих напряжений статора необходимы ненулевые исходные значения потокоцепления статора и электромагнитного момента. Для этого в начальный момент времени осуществляется неуправляемый запуск АД от генератора дискретных сигналов ШИМ. При этом на вход драйвера управления ключами S7 с помощью блока Step задают время включения управления $T_{ви}$.

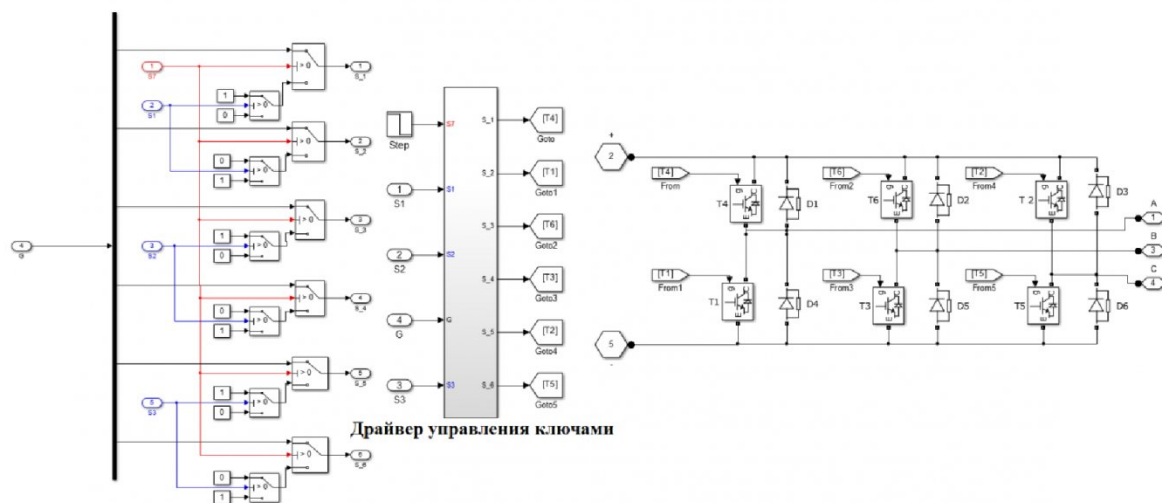


Рисунок 2 Подсистема драйвера управления ключами инвертора и подключение его к трехфазному инвертору напряжения

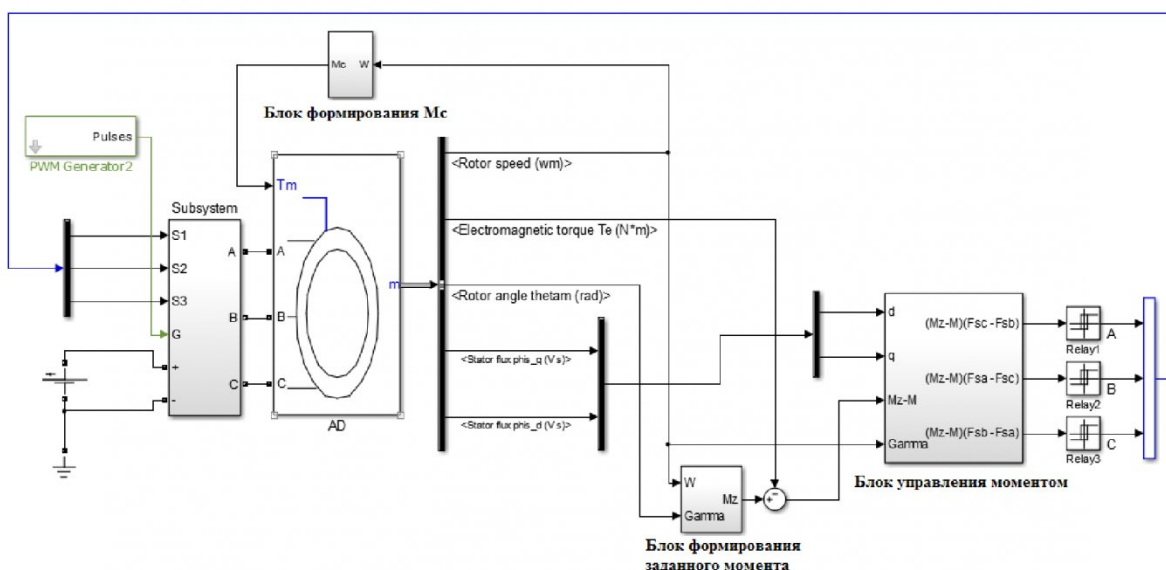


Рисунок 3 Модель позиционирования АД в среде Matlab Simulink

Таблица комбинаций состояний ключей инвертора

Необходимое значение напряжения	Транзистор в открытом состоянии	Транзистор в закрытом состоянии
$U_{sa} = U_{a\ max}$	T4	T1
$U_{sa} = -U_{a\ max}$	T1	T4
$U_{sb} = U_{b\ max}$	T6	T3
$U_{sb} = -U_{b\ max}$	T3	T6
$U_{sc} = U_{c\ max}$	T2	T5
$U_{sc} = -U_{c\ max}$	T5	T2

На отрезке времени $0 < t < T_{vu}$ на затворы IGBT транзисторов, через вход драйвера управления ключами G приходит сигнал с блока генератора дискретных сигналов ШИМ. Когда $t \geq T_{vu}$ на затворы транзисторов подается сигнал согласно алгоритму управления (2). Ниже приведена таблица комбинаций состояний ключей инвертора в зависимости от необходимых значений величин фазного напряжения представлены в таблице.

На рис. 3 представлена модель позициониро-

вания АД в среде *Matlab Simulink*. Для моделирования выбраны следующие параметры системы: заданная величина электромагнитного момента $M_z = 40\ Нм$; время включения алгоритма управления $T_{vu} = 0,01\ с$; заданное конечное угловое положение ротора АД $\gamma_z = 3,14\ рад$.

Ниже представлены результаты моделирования представленных алгоритмов управления (Рисунок 5).

Для более наглядного отображения получен-

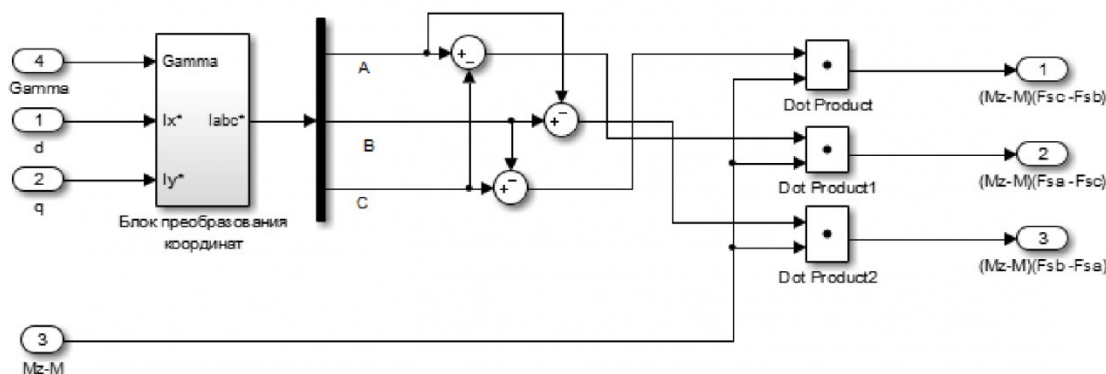


Рисунок 4 Блок управления электромагнитным моментом

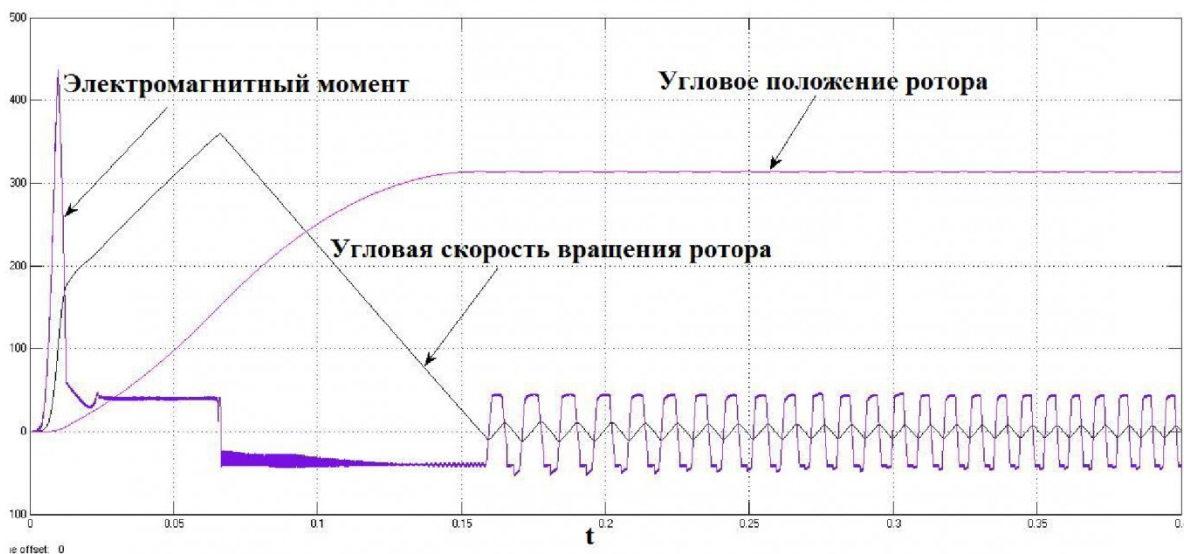


Рисунок 5 График изменения угловой скорости вращения, углового положения ротора АД и величины электромагнитного момента

ных результатов сигнал угловой скорости вращения и углового положения ротора пропущены через блок *Gain* с коэффициентом 10 и 100 соответственно.

Видно, что в момент времени равный 0.01 с. система управления «перехватывает» управление состоянием электропривода «на себя», обеспечивая полный контроль за величиной электромагнитного момента, который в этой задаче управления становится силовым управляющим воздействием.

При этом дополнительно возникает необходимость реализации задачи управления электромагнитным моментом асинхронного электродвигателя, которая может решаться на основе идеологии прямого управления моментом (DTC) [6] или с использованием подхода по [4].

Характер изменения скорости соответствует классическому варианту управления объектом второго порядка в задаче оптимального быстрого действия, подробно описанному, например, в [5], когда требуется перевести объект из начального состояния в конечное за минимум времени.

При формируемом положительном (постоянном) значении электромагнитного момента наблюдается линейный характер изменения ско-

рости электродвигателя до 350 рад/с.

Далее, при смене величины знака электромагнитного момента происходит также линейное уменьшение скорости до нулевого значения в момент времени 0.155 с. с последующим переводом электродвигателя в скользящий режим удержания ротора в заданном положении (при угле поворота равном π).

Разумеется, время перехода из начального положения в конечное определяется «физическими» возможностями используемого асинхронного электродвигателя в смысле формирования электромагнитного момента (40 Нм в этом примере).

Дискретный характер движения электродвигателя в окрестности конечной точки также объясняется «физическими» возможностями инвертора (рисунок 3) по формированию нужных значений напряжения питания в ШИМ варианте.

Таким образом, полученные результаты в работах [1,2] и в данной работе свидетельствуют о возможности практического применения предложенного алгоритма управления асинхронным электроприводом в задаче позиционирования в реальных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ещин Е.К.* Управление позиционированием электропривода с асинхронным электродвигателем // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*, 2012. №3. С.79-81.
2. *Абрахманов Е.И.* Позиционирование асинхронного электропривода [Электронный ресурс] // Сборник материалов VI Всероссийской, 59-й научно – практической конференции молодых ученых «Россия молодая», 2014. – Режим доступа <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2014/materials/> - [06.03.2015].
3. Способ позиционирования асинхронного двигателя: заявка на патент Российской Федерации / Абрахманов Е.И., Григорьев А.В. - № 2013153055; заявл. 28.11.2013.
4. Патент РФ № 2395157, МПК С2 Н02Р 27/00, Н02Р 27/05, Н20Р 25/02, Н20Р 23/00.Способ управления величиной электромагнитного момента электрической машины переменного тока / Ещин Е.К., Григорьев А.В., Соколов И.А., опубл. 20.07.2010 Бюлл. № 20
5. *Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф.* Математическая теория оптимальных процессов.- 4-е изд. –М.:Наука, 1983. -392 с.
6. Technical Guide No.1- Direct Torque Control - the world's most advanced AC drive technology. ABB Industry Drives, 1999.

Автор статьи:

Абрахманов Евгений Игоревич .
аспирант каф. прикладных информационных технологий КузГТУ,
e-mail: abrahaman4ik@bk.ru

Поступила в редакцию 16. 03.2015