

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
Администрация Правительства Кузбасса
Администрация г. Новокузнецка
Институт проблем управления им. Трапезникова РАН
Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН
АНО «Научно-образовательный центр «Кузбасс»**

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
(в образовании, науке и производстве)
AS' 2022**

**ТРУДЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО–ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ
(с международным участием)**

15-16 декабря 2022 г.

**Новокузнецк
2022**

УДК 658.011.56
С 409

Редакционная коллегия:

д.т.н., проф. В.В. Зимин (ответственный редактор),
д.т.н., проф. С.М. Кулаков, д.т.н., проф. В.Ю. Островляничик,
д.т.н., проф. Л.Д. Павлова, д.т.н., доц. И.А. Рыбенко,
к.т.н., доц. В.И. Кожемяченко (технический редактор).

С 409 Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве) AS'2022: труды Всероссийской научно–практической конференции (с международным участием), 15-16 декабря 2022 г. / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет ; под общ. ред. В.В. Зимина. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2022. – 632 с.

ISBN 978-5-7806-0583-6

Труды конференции посвящены научным и практическим вопросам в области современных систем автоматизации и информатизации учебных, исследовательских и производственных процессов. Представлены результаты исследования, разработки и внедрения методического, математического, программного, технического и организационного обеспечения систем автоматизации и информационно-управляющих систем в различных сферах деятельности.

Сборник трудов ориентирован на широкий круг исследователей, научных работников, инженерно-технический персонал предприятий и научно-исследовательских лабораторий, преподавателей вузов, аспирантов и обучающихся по программам бакалавриата и магистратуры.

УДК 658.011.56

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2022

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОУПРАВЛЕНИЯ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ ДЛЯ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ СИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ КЛАССИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ

Островляничик В.Ю., Кубарев В.А., Зайцев Н.С., Кузнецова Е.С.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»
г. Новокузнецк, Россия, kva2003@list.ru

Аннотация. В работе предлагается построение и имитационное моделирование системы автоматического управления частотно-регулируемым синхронным электроприводом с переменной структурой, в которой закон управления полем машины выбирается исходя из величины нагрузки на ее валу. В качестве способа построения указанной системы предлагается новый подход, основанный на измерении угла между пространственными векторами потокоцепления, пронизывающего фазную обмотку статора, и тока, протекающего в ней.

Ключевые слова: векторное управление, синхронный электропривод, система автоматического управления (САУ) с переменной структурой, управление полем машины, потокоцепление статора, потокоцепление в воздушном зазоре (рассеяния), имитационное моделирование, пространственный вектор, электромагнитный момент.

Abstract. The paper proposes the construction and simulation of an automatic control system of a frequency-controlled synchronous electric drive with a variable structure. In the automatic control system the field control law of the machine is selected based on the value of the load on its shaft. As a method of constructing this system, a new approach is proposed based on measuring the angle between the spatial vectors of flux linkage of the stator phase winding and its current.

Keywords: vector control (field-oriented control (FOC)), synchronous electric drive, automatic control system (ACS) with a variable structure, control of machine's field, stator flux linkage, air gap flux linkage, simulation modeling, spatial vector, electromagnetic torque.

Введение. Частотно-регулируемые электродвигатели переменного тока в начале XXI века нашли широкое применение в электроприводах (ЭП) отечественной и зарубежной промышленности и по сей день активно вытесняют электромеханические системы, основу которых составляют двигатели постоянного тока (ДПТ). [1, 2].

До недавнего времени в приводах большой мощности (единицы и десятки МВт) преимущественно использовался ДПТ, получающий питание от полууправляемого тиристорного преобразователя, что объяснялось легкостью регулирования его координат, обеспечением точности обрабатываемых законов и достаточно хорошими энергетическими и экономическими показателями [3]. В настоящее время с появлением доступных мощных двухзвенных преобразователей частоты (ДПЧ) появилась возможность применения в подобного рода ЭП синхронных двигателей (СД) с классической конструкцией ротора. Данные машины по сравнению с ДПТ имеют большие перспективы, ввиду отсутствия щеточно-коллекторного узла, меньшего момента инерции на валу и возможности использования высокого напряжения на якоре. Так в отечественной промышленном секторе в начале XXI века регулируемый СД активно внедряется в ответственные установки, горнодобывающей, металлургической, цементной и нефтяной отрасли, а также судоходного транспорта [4-6]. При этом производительность вновь внедряемых в промышленность синхронных ЭП, помимо прочего, напрямую зависит от эффективности работы их систем автоматического управления. Резюмируя все вышесказанное, можно сделать вывод об актуальности вопроса совершенствования САУ синхронного ЭП с целью дальнейшего раскрытия потенциала последнего.

Теоретические основания работы. На практике для СД с обмоткой возбуждения (ОВ) на роторе применяются два классических закона регулирования – векторное управления и прямое управление моментом. Настоящая статья посвящена изучению проблем систем с векторным управлением синхронной машиной. Идея такого управления СД (как и любой другой машиной переменного тока) основывается на принципах управления

ДПТ, при соблюдении которых удастся реализовать раздельное регулирование переменными тока якоря и основного магнитного поля, которое при работе в первой зоне остается неизменным, при поддержании ортогональности векторов данных величин [5]. При выполнении данных условий обеспечивается прямо пропорциональная связь между электромагнитным моментом машины и током, протекающим в обмотке якоря.

В дальнейшем условимся все переменные двигателя и его различные конструктивные параметры за исключением постоянных времени выражать в относительных единицах (о.е.), нормируя относительно базовых величин. Нормирование относительно таких величин представлено в работах [7, 8]. Величины, выраженные в абсолютных единицах, записываются обычным образом, выраженные в о.е. – с чертой сверху, при этом для записи пространственных векторов используется знак тильда «~».

Рассмотрим два уравнения электромагнитного момента $\bar{M}$ синхронной машины, выраженные через потокосцепление статора и рассеяния соответственно:

$$\bar{M} = [\tilde{\Psi}_s \times \tilde{I}_s] = \bar{\psi}_{sd}\bar{I}_{sq} - \bar{\psi}_{sq}\bar{I}_{sd} = \bar{\Psi}_s\bar{I}_s \sin \alpha, \quad (1)$$

$$\bar{M} = [\tilde{\Psi}_\delta \times \tilde{I}_s] = \bar{\psi}_{\delta d}\bar{I}_{sq} - \bar{\psi}_{\delta q}\bar{I}_{sd} = \bar{\Psi}_\delta\bar{I}_s \sin \beta. \quad (2)$$

- где $\tilde{\Psi}_s$ – пространственный вектор потокосцепления, пронизывающего фазную обмотку статора;
 $\tilde{I}_s$ – пространственный вектор тока, протекающего в фазной обмотке статора;
 $\bar{\psi}_{sd}$ и $\bar{\psi}_{sq}$ – проекции потокосцепления статора на продольную и поперечную ось роторной системы координат (d-q) соответственно, о.е.;
 $\bar{I}_{sq}$ и $\bar{I}_{sd}$ – проекции пространственного вектора тока статора на оси q и d соответственно, о.е.;
 α – угол между пространственными векторами потокосцепления статора и тока, протекающего в его фазной обмотке;
 $\tilde{\Psi}_\delta$ – пространственный вектор потокосцепления в воздушном зазоре (рассеяния);
 $\bar{\psi}_{\delta d}$ и $\bar{\psi}_{\delta q}$ – проекции пространственного вектора потокосцепления рассеяния на оси d и q соответственно, о.е.;
 β – угол между пространственными векторами потокосцепления рассеяния и тока, протекающего в фазной обмотке статора.

Уравнения (1) и (2) позволяют реализовать векторное управление синхронной машиной двумя различными способами: за счет поддержания потокосцепления статора на неизменном уровне при $\alpha = \frac{\pi}{2}$ и путем обеспечения постоянства потокосцепления рассеяния при $\beta = \frac{\pi}{2}$, что математически описывается условиями:

$$\begin{cases} \bar{M} = \bar{\Psi}_s\bar{I}_s = \bar{I}_s = \bar{\Psi}_\delta\bar{I}_s \sin \beta, \text{ при } \Psi_s = \Psi_\delta = const \text{ и } \alpha = \frac{\pi}{2}; \\ \bar{M} = \bar{\Psi}_\delta\bar{I}_s = \bar{I}_s = \bar{\Psi}_s\bar{I}_s \sin \alpha, \text{ при } \Psi_s = \Psi_\delta = const \text{ и } \beta = \frac{\pi}{2}, \end{cases} \quad (3)$$

- где Ψ_δ – базовое потокосцепление СД: $\Psi_\delta = \frac{U_{s6}}{\omega_{эл.б}} = \frac{I_{s6}Z_{s6}}{\omega_{эл.б}} = I_{s6}L_{s6}$, Вб;
 U_{s6} – базовое напряжение фазы статора, В;
 $\omega_{эл.б}$ – скорость вращения двигателя в электрическом пространстве, $\frac{\text{рад}}{с}$;
 I_{s6} – базовый ток фазы статора, А;
 Z_{s6} – базовый импеданс фазы статора, Ом;
 L_{s6} – базовая индуктивность фазной обмотки, Гн.

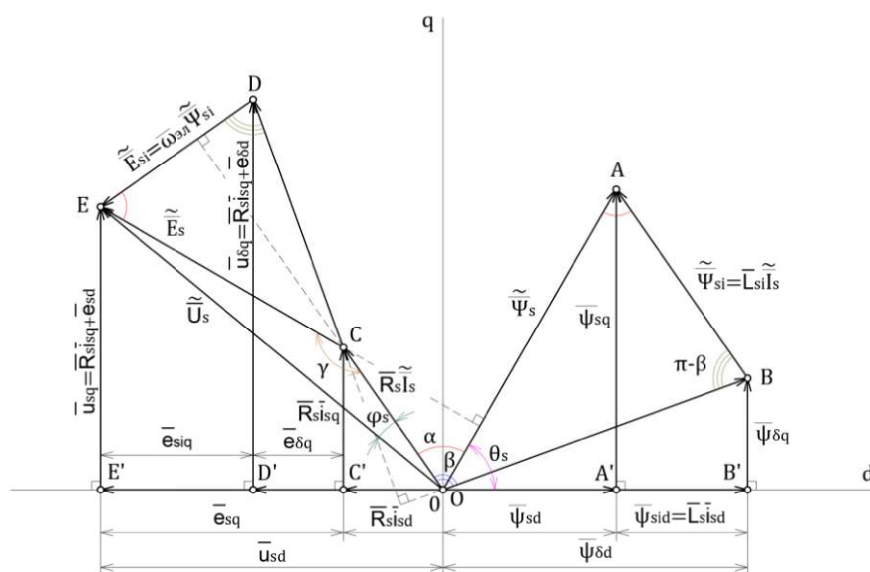
Первый способ управления обеспечивает оптимальный энергетический режим машины с единичным коэффициентом мощности, позволяет наилучшим образом задействовать габаритную мощность ДПЧ и самой машины и обладает наиболее простым программным расчетом, но при этом имеет ограниченную, как правило, низкую перегрузочную способность, ввиду насыщения магнитной цепи машины при увеличении нагрузки. Второй способ управления обладает диаметрально противоположными достоинствами и недостатками и не находит применения в чистом виде. Наилучших показателей качества САУ и самого ЭП можно добиться, чередуя оба способа управления в зависимости от нагрузки на валу [7, 9]. Пример реализации такой системы представлен в работе [9]. В рамках данной статьи рассматривается более простой способ создания САУ с переменной структурой за счет косвенного измерения и дальнейшего использования угла α между пространственными векторами потокосцепления статора и его тока.

Математическое моделирование. Создадим математическую модель САУ, на основе которой будет осуществлено имитационное моделирование. Данная модель получается за счет преобразования уравнений Парка-Горева [7-9] в о.е. к виду:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{i}_{sd} = \frac{1/\bar{R}_s}{1+pT'_{sd}} \cdot \left[\bar{u}_{sd} - \frac{1}{T_f \omega_{эл.6}} (\bar{U}_f - \bar{I}_f) + \bar{\omega}_{эл} \bar{\psi}_{sq} \right]; \\ \bar{i}_{sq} = \frac{1/\bar{R}_s}{1+pT_{sq}} \cdot (\bar{u}_{sq} - \bar{\omega}_{эл} \bar{\psi}_{sd}); \\ \bar{I}_f = \bar{\Psi}_f - \mu \bar{L}_{sd} \bar{i}_{sd}; \\ \bar{\psi}_{sd} = \bar{\Psi}_f + \bar{L}'_{sd} \bar{i}_{sd}; \\ \bar{\psi}_{sq} = \bar{L}_{sq} \bar{i}_{sq}; \\ \bar{\Psi}_f = \frac{1}{1+pT_f} (\bar{U}_f + \mu \bar{L}_{sd} \bar{i}_{sd}); \\ \bar{M} = \bar{\psi}_{sd} \bar{i}_{sq} - \bar{\psi}_{sq} \bar{i}_{sd}; \\ \bar{M} - \bar{M}_c = pT_m \bar{\omega}; \\ \bar{\omega}_{эл} = \bar{\omega}, \end{array} \right. , \quad (4)$$

- где $\bar{R}_s$ – активное сопротивление фазы статора, о.е.;
 p – оператор Лапласа;
 T'_{sd} , T_{sq} , и T_f – электромагнитные постоянные времени обмотки статора на оси d и q в переходном режиме и обмотки возбуждения соответственно, с;
 $\bar{u}_{sd}$, $\bar{u}_{sq}$ и $\bar{U}_f$ – проекции пространственного вектора напряжения статора на ось d и q соответственно и напряжение на ОБ, о.е.;
 $\bar{I}_f$ – ток, протекающий в ОБ, о.е.;
 $\bar{\omega}_{эл}$ – скорость вращения ротора в электрическом пространстве, о.е.;
 $\bar{\Psi}_f$ – потокосцепление ОБ, о.е.;
 μ – коэффициент магнитной связи между обмоткой статора на оси d и обмоткой возбуждения: $\mu = \frac{3}{2} \frac{M_{df}}{L_{sd} L_f}$;
 M_{df} – коэффициент взаимной индуктивности между обмоткой статора на оси d и ОБ, Гн;
 L_{sd} и L_f – индуктивности статорной обмотки на ось d и ОБ соответственно, Гн;
 $\bar{L}_{sd}$ и $\bar{L}_{sq}$ – индуктивности обмоток статора, расположенных на продольной и поперечной оси ротора соответственно, о.е.;
 $\bar{L}'_{sd}$ – индуктивность обмотки статора, расположенной на оси d в переходном режиме, о.е.;

- На основе математической модели, представленной системой уравнений (5), определим основные элементы системы автоуправления. САУ будет состоять из пяти контуров – трех внутренних (проекций тока статора и потокоцепления обмотки возбуждения) нерегулируемого контура момента и внешнего регулируемого контура скорости. Нерегулируемый контур момента является наиболее сложным и в то же время важным звеном системы автоматического регулирования (САР), поскольку за счет него осуществляется разделение на три независимых внутренних контура и задание закона управления магнитным полем машины. Из-за указанного разделения данный контур называют многомерным контуром момента (МКМ), который представлен тремя статическими нелинейностями $\bar{i}_{sd} = f(\bar{M})$, $\bar{i}_{sq} = f(\bar{M})$ и $\bar{\Psi}_f = f(\bar{M})$. Обычно данные зависимости выводятся для определенного закона управления полем, на который настраивается имеющаяся САУ. В рассматриваемом случае более целесообразно задать данные зависимости в общем виде для машины, работающей с произвольным законом управления полем или вообще без него. Векторная диаграмма такого режима работы машины, служащая для вывода нелинейных зависимостей, представлена на рисунке 1.



Помимо указанных элементов система автоматического управления также должна содержать блок компенсации внутренних перекрестных обратных связей (ВПОС) по проекциям ЭДС вращения (конечные одночлены уравнений 1 и 2 системы (5)), блок задания базового потокоцепления машины, служащий для реализации двухзонного регулирования скорости и блок формирования угла между пространственными векторами потокоцепления статора и тока, протекающего в его обмотке.

589

Ниже приведена полученная на основе векторной диаграммы (рисунок 1) совокупность уравнений, характеризующих основные вновь вводимые элементы САР – статические нелинейности и блок формирования угла α :

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{I}_{sq}(\bar{M}) = \frac{\bar{M}}{\bar{\Psi}_s \sqrt{1 - 2 \frac{\bar{L}_{sq}}{\bar{\Psi}_s} \frac{\bar{M}}{\bar{\Psi}_s} \operatorname{ctg} \alpha + \frac{\bar{L}_{sq}^2}{\bar{\Psi}_s^2} \frac{\bar{M}^2}{\bar{\Psi}_s^2} (1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha)}}; \\ \bar{I}_{sd}(\bar{M}) = \frac{\bar{M} \operatorname{ctg} \alpha - \bar{L}_{sq} \frac{\bar{M}^2}{\bar{\Psi}_s^2} (1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha)}{\bar{\Psi}_s \sqrt{1 - 2 \frac{\bar{L}_{sq}}{\bar{\Psi}_s} \frac{\bar{M}}{\bar{\Psi}_s} \operatorname{ctg} \alpha + \frac{\bar{L}_{sq}^2}{\bar{\Psi}_s^2} \frac{\bar{M}^2}{\bar{\Psi}_s^2} (1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha)}}; \\ \bar{\Psi}_f(\bar{M}) = \frac{\bar{\Psi}_s^2 - (\bar{L}_{sq} + \bar{L}'_{sd}) \bar{M} \operatorname{ctg} \alpha + \bar{L}_{sq} \bar{L}'_{sd} \frac{\bar{M}^2}{\bar{\Psi}_s^2} (1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha)}{\bar{\Psi}_s \sqrt{1 - 2 \frac{\bar{L}_{sq}}{\bar{\Psi}_s} \frac{\bar{M}}{\bar{\Psi}_s} \operatorname{ctg} \alpha + \frac{\bar{L}_{sq}^2}{\bar{\Psi}_s^2} \frac{\bar{M}^2}{\bar{\Psi}_s^2} (1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha)}} \end{array} \right. , \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{при } 0 \leq \bar{M} \leq 2, \bar{\Psi}_s = \operatorname{const} = 1; \alpha = \frac{\pi}{2}; \\ \text{при } \bar{M} > 2, \bar{\Psi}_s = \operatorname{const} = 1; \alpha = \arcsin \sqrt{1 - \frac{\bar{L}_{si}^2 \bar{I}_s^2}{\bar{\Psi}_s^2}}, \end{array} \right.$$

где $\bar{L}_{si}$ – индуктивность рассеяния фазной обмотки, о.е.

Имитационное моделирование. Моделирование САР в данной работе осуществляется с помощью программы символьной математики MATLAB и среды блочного моделирования MATLAB Simulink. Виртуальная модель, основанная на системах уравнений 4 и 5, представлена на рисунке 2.

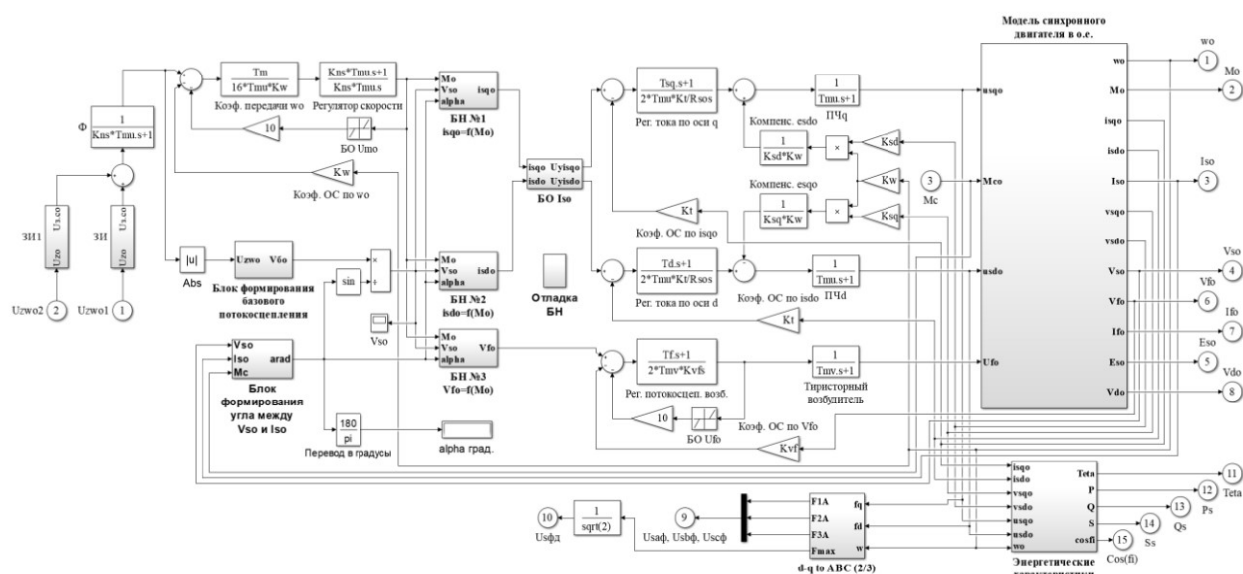


Рисунок 2 – Имитационная модель системы автоматического управления с переменной структурой

С помощью модели, представленной на рисунке 2, осуществим имитацию работы синхронного ЭП в трех различных режимах: работа с повышенной скоростью при постоянстве номинальной мощности, работа с номинальной нагрузкой и работа с нагрузкой выше двукратной с переключением закона управления полем машины. Результат данной имитации представлен на рисунке 3.

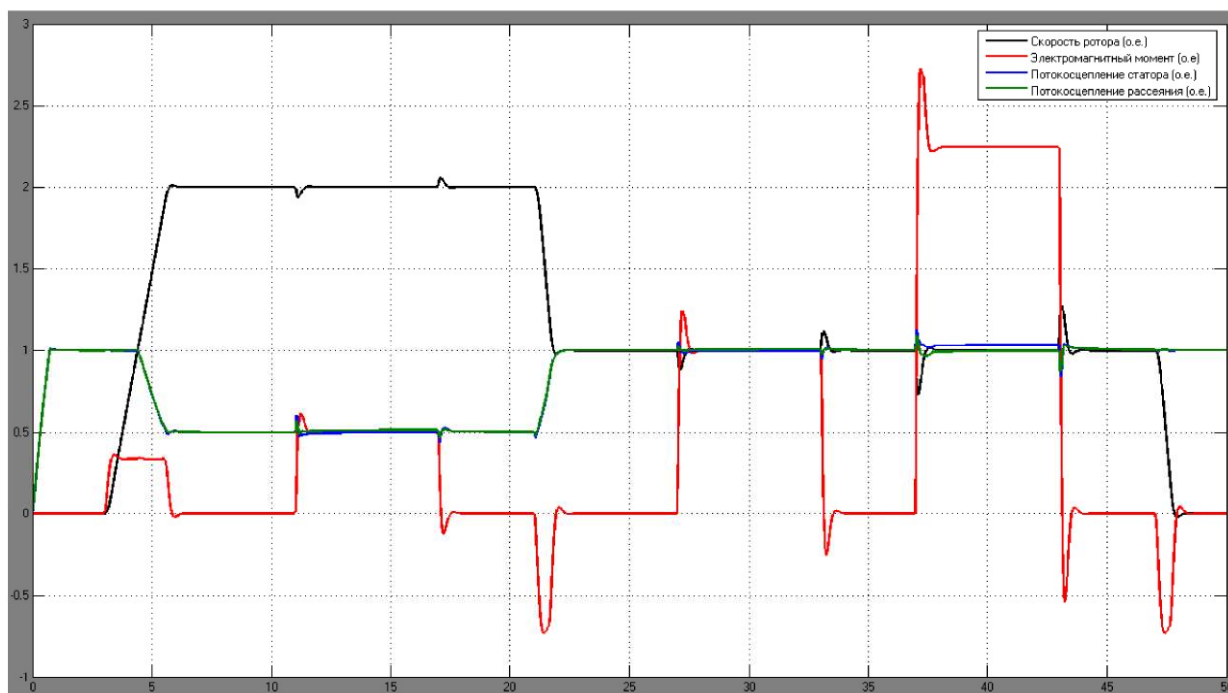


Рисунок 3 – Переходные процессы по скорости вращения ротора, электромагнитному моменту, потокоцеплениям статора и рассеяния в различных режимах работы

Закключение. В рамках статьи произведено построение имитационной модели САУ с переменной структурой, предназначенной для векторного управления синхронным двигателем. При анализе рисунка 3 можно сделать вывод об адекватности предлагаемой модели: наблюдается четкое переключение между законами управления полем машины при повышении нагрузки на валу двигателя; обеспечиваются типовые кривые переходных процессов и показатели качества регулирования в различных режимах работы ЭП.

Из рисунка 2 видно, что предлагаемый в работе способ изменения закона управления полем за счет косвенного измерения и последующего задания угла между пространственными векторами потокоцепления статора и его тока позволяет задействовать минимальное количество добавляемых элементов в САУ. Подтверждением данного утверждения может служить сравнение структуры системы с САУ, предлагаемой в работе [10], где осуществляется векторное управление с поддержанием постоянства потокоцепления статора.

В дальнейшем для более наглядной демонстрации возможностей разработанной модели системы автоуправления авторским коллективом предлагается введение в нее реальной кривой намагничивания машины.

Библиографический список

1. Чернышев, А. Ю. Электропривод переменного тока : учебное пособие / А. Ю. Чернышев, Ю. Н. Дементьев, И. А. Чернышев. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 213 с.
2. Вейнгер, А. М. Перспективы мощных регулируемых электроприводов переменного тока / А. М. Вейнгер // IV Международная (XV Всероссийская) конференция по автоматизированному электроприводу «Автоматизированный электропривод в XXI веке: пути развития», 14-17 сентября 2004 г. – Магнитогорск : изд-во МГТУ им. Г.И. Носова, 2004. – С. 32-37.
3. Островляничик, О. В. Автоматический электропривод постоянного тока горно-металлургического производства : учебное пособие / О. В. Островляничик. – Новокузнецк : изд-во СибГИУ, 2004. – 383 с.

4. Шабанов, В. А. О законах частотного регулирования синхронных двигателей на нефтеперекачивающих станциях / В. А. Шабанов, О. В. Кабаргина // Электронный научный журнал нефтегазовое дело. – 2010. – № 2. – 5 с.
5. Finch, J. W. Controlled AC electrical drives / J.W. Finch, D. Giaouris // IEEE Transactions on Industrial Electronics, March 2008. – Vol. 55, No. 2. – P. 481-491.
6. Электропривод современных шахтных подъемных машин / Л. Х. Дацковский, В. И. Роговой, И. С. Кузнецов [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2010. – № 3-2. – С. 157-165.
7. Вейнгер, А. М. Регулируемый синхронный электропривод / А. М. Вейнгер. – Москва : Энергоатомиздат, 1985. – 224 с. : ил.
8. Соколовский, Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием : учебник / Г. Г. Соколовский. – Москва : Академия, 2006. – с. 265.
9. Слежановский, О. В. Системы подчиненного регулирования электроприводов переменного тока с вентильными преобразователями / О. В. Слежановский, Л. Х. Дацковский, И. С. Кузнецов. – Москва : Энергоатомиздат, 1983. – 256 с. : ил.
10. Кузнецов, В. А. Имитационное моделирование системы автоматического управления главным электроприводом прокатного толстолистного стана по системе «частотный преобразователь – синхронный двигатель» / В. А. Кузнецов, Н. С. Зайцев, Е. С. Кузнецова // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника : сборник статей IX Всероссийской научно-практической конференции, 25-26 ноября 2020. – Новокузнецк : изд-во СибГИУ, 2020 г. – С. 32 – 40.

УДК 621.313.333.1

СИНТЕЗ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ МАГНИТНЫМ ПОТОКОМ ВОЗБУЖДЕНИЯ СТАТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

Островляничик В.Ю., Маршев Д.А., Кубарев В.А., Поползин И.Ю.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»

ООО «НИИ АЭМ СибГИУ»

г. Новокузнецк, Россия, niiaep@kuz.ru

Аннотация. В статье рассматривается вопрос синтеза адаптивного управления магнитным потоком статора асинхронного двигателя. Необходимость в таком управлении возникает при использовании асинхронных двигателей для привода механизмов, нуждающихся в большом диапазоне регулирования скорости (в частности, шахтных и рудничных подъемных установок). На основании рассмотрения структурной схемы цепи статора машины произведен синтез адаптивного регулятора магнитного потока и разработано его математическое описание.

Ключевые слова: асинхронный двигатель с фазным ротором, магнитный поток, адаптивный регулятор, разделение зон управления, частотное управление.

Abstract. The article deals with the issue of synthesis of adaptive control of the magnetic flux of the stator of an induction motor. The need for such control arises when using asynchronous motors to drive mechanisms that need a wide range of speed control (in particular, mine and mine hoists). Based on the consideration of the block diagram of the stator circuit of the machine, an adaptive magnetic flux controller was synthesized and its mathematical description was developed.

Keywords: wound-rotor induction motor, magnetic flux, adaptive controller, separation of control zones, frequency control.

Все изложенное в [1] верно для асинхронного двигателя с постоянным магнитным потоком. Однако, магнитное поле ротора при вращении уменьшает результирующий магнитный поток. Кроме того, при реализации управления, при котором происходит изменение частоты статора со значительным изменением реактивных сопротивлений, не учитываются зависимость тока намагничивания, а, следовательно, и потока возбуждения элект-

Тарасенко А.А.

Применение стемминга для информационного поиска среди медицинского кластера документов 547

Рыбка А.Д., Пестунов А.И., Белов В.М.

Сессии в ASP.NET или как создать собственный сервис для работы с ними 551

СЕКЦИЯ 4. Современный автоматизированный электропривод и промышленная электроника

Стищенко К.П., Кипервассер М.В.

Причины и влияние искажений питающего напряжения на функционирование устройств микропроцессорной электрической централизации железнодорожного транспорта 555

Федоров В.В.

Управление электроприводом постоянного тока с применением регулятора на нечеткой логике 559

Клевцов С.А., Модзелевский Д.Е.

Исследование системы векторного управления асинхронного многодвигательного электропривода кантования угольного вагоноопрокидывателя «ВРС-93-110М» 564

Бедарев М.А., Коновалов О.В., Кипервассер М.В.

Проблемы применения силовых трансформаторов с группой соединения обмоток Y/Yn-0 в распределительных сетях 0,4 кв. 571

Мезенцева А.В.

Вопросы выбора и применения технических средств регулируемого электропривода буровых установок..... 575

Филина О.А., Прокопенко С.С.

Линейные модели систем в пространстве состояний 578

Островляничик В.Ю., Кубарев В.А., Зайцев Н.С., Кузнецова Е.С.

Имитационное моделирование системы автоуправления с переменной структурой для векторного управления синхронным электродвигателем классической конструкции 586

Островляничик В.Ю., Маршев Д.А., Кубарев В.А., Поползин И.Ю.

Синтез адаптивного управления магнитным потоком возбуждения статора асинхронного двигателя с фазным ротором..... 592

Сарсембин А.О., Кубарев В.А., Асмаатбеков А.К.

Моделирование электропривода переменного тока с вентиляторной нагрузкой 599

Бабушкин С.В., Кубарев В.А.

Внедрение системы предиктивной аналитики на агрегатах цеха химического улавливания и производства коксохимической продукции АО «ЕВРАЗ ЗСМК» 605

Колчагов П.О., Борщинский М.Ю.

Разработка регулятора мощности с помощью системы автоматизированного проектирования Proteus..... 608

Рогожников И.П.

Технология подготовки печатных плат к производству..... 612

Научное издание

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
(в образовании, науке и производстве)
AS' 2022**

**ТРУДЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО–ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ**
(с международным участием)

15-16 декабря 2022 г.

Под общей редакцией д.т.н., доц. В.В. Зимина

Техническое редактирование и компьютерная верстка В.И. Кожемяченко

Подписано в печать 05.12.2022 г.

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага писчая. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 37.13. Уч.-изд. л. 40.40. Тираж ____ экз. Заказ ____.

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, ул. Кирова, зд. 42.
Издательский центр СибГИУ