

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №5 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-5>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/91TVN515.pdf>

DOI: 10.15862/91TVN515 (<http://dx.doi.org/10.15862/91TVN515>)

УДК 004.896; 004.942; 62-529

Карандеев Денис Юрьевич

ФГБОУ ВПО «Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова»

Россия, Абакан¹

Магистрант

E-mail: den_dr_house_1991@mail.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=806741

Энгель Екатерина Александровна

ФГБОУ ВПО «Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова»

Россия, Абакан

Доцент ВАК

Кандидат технических наук

E-mail: ekaterina.en@gmail.com

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=765435

Прямое управление моментом асинхронного двигателя с использованием адаптивного нейроконтроллера в условиях неопределенности

¹ 655017, Республика Хакасия, г. Абакан, ул. Ленина, д. 90

Аннотация. В данной статье рассматривается возможность повышения энергосбережения, качества и надежности прямого управления моментом асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором посредством использования адаптивного нейроконтроллера. Современные асинхронные двигатели, работая в условиях нагрузочных, случайных воздействий, являются нелинейными техническими объектами. Вследствие указанного факта управление ими классическими методами на основе ПИД-регуляторов в условиях неопределенности затруднено, в то время как интеллектуальные методы на основе адаптивных нейроконтроллеров обеспечивают эффективное энергосбережение при управлении асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором. Рассматриваются вопросы настройки и моделирования адаптивного нейроконтроллера в схемах с прямым управлением моментом асинхронного двигателя. В результате имитационного моделирования показано следующее преимущество применения адаптивного нейроконтроллера в схемах с прямым управлением моментом асинхронного двигателя в сравнении со стандартными схемами с гистерезисными регуляторами: снижение пульсации момента в установившемся и переходном режимах в три раза без снижения производительности асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Указанным снижением пульсации настроенный адаптивный нейроконтроллер обеспечивает повышение эффективности и энергосбережения электроприводов на промышленных предприятиях решая актуальную задачу современной электроэнергетики.

Ключевые слова: энергоэффективность; адаптивный нейроконтроллер; системы управления асинхронными двигателями; энергосбережение; прямое управление моментом; имитационное моделирование; условия неопределенности.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №14-41-04025 p_сибирь_a.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Карандеев Д.Ю., Энгель Е.А. Прямое управление моментом асинхронного двигателя с использованием адаптивного нейроконтроллера в условиях неопределенности // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №5 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/91TVN515.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/91TVN515

Введение. Осуществление проектов, позволяющих повысить энергоэффективность отдельных субъектов технической системы нашей страны, впоследствии может привести к переходу на новых технологический уклад и помочь сэкономить значительные денежные средства. Одним из способов повышения энергоэффективности субъектов технической системы является использование контроллеров на основе искусственных нейронных сетей, в данной статье рассматривается возможность использования данного нейроконтроллера в прямом управлении моментом асинхронного двигателя. Одним из возможных вариантов реализации концепции Smart Grid является оптимизация базовых объектов потребления электроэнергии [1]. На данный момент в мире электроприводы потребляют большую часть производимой электроэнергии, из этого следует потребность в совершенствовании механизмов управления данными электроприводами, а также в снижении потерь в этих приводах. Одним из наиболее перспективных вариантов автоматизированных электроприводов можно назвать частотно-регулируемый электропривод оснащенный асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором, это в первую очередь связано с оптимальным соотношением цена/качество, налаженным производством, малыми затратами на обслуживание, помимо этого данный двигатель имеет высокий коэффициент полезного действия и является достаточно надежным в эксплуатации. Стоит отметить, что конкретно в нашей стране асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором потребляют около 50% всей вырабатываемой электростанциями энергии и находят широкое применение в качестве электропривода подавляющего большинства механизмов. К тому же, в настоящее время рекомендуется проводить замену двигателей постоянного тока (ДПТ) на асинхронные двигатели, это связано в первую очередь с существенными преимуществами последних, а именно низкая стоимость и более простая конструкция, из-за отсутствия коллектора. Также стоит отметить, что такая техническая система, как короткозамкнутый асинхронный двигатель, постоянно пребывает в условиях неопределенности, это связано в первую очередь с тем, что на асинхронный двигатель в течение его работы оказывают влияние различные внешние факторы, при этом при моделировании учесть все их попросту невозможно, это и приводит к возникновению информационной неопределенности, с помощью же использования адаптивного нейроконтроллера авторы сводят данную неопределенность к минимуму.

Векторное управление асинхронных двигателей. Обеспечение требуемого качества управления технологическим процессом работы электропривода с асинхронным двигателем в первую очередь зависит от системы управления. Способов управления асинхронными двигателями на настоящий момент существует достаточно много, можно выделить такие как реостатный, импульсный, амплитудно-фазовый способы управления, однако наибольшую популярность, благодаря достижениям в области микропроцессорной техники, получил частотный метод. Данный метод делится на векторное и скалярное управления, при этом векторное управление обладает существенными преимуществами, такими как более высокий уровень точности при регулировании скорости вращения вала, быстрое реагирование на возможные изменения нагрузки и так далее [2]. Основная идея векторного управления двигателем заключается в создании условия работы двигателя непосредственно по закону силы Лоренца. Напряжение и частота для этого типа управления являются опосредованными координатами, поскольку крутящий момент создается в результате взаимодействия тока с магнитным полем. При этом векторное управление делится на управление с ориентацией по полю (англ. яз. field-oriented control (FOC)) и прямое управление моментом (англ. яз. direct torque control (DTC)). Управление с ориентацией по полю, также известное как трансвекторное управление, осуществляет управление вектором магнитного поля с помощью тока в направлении координаты d и квадратурной составляющей поля в ортогональном направлении q . Для реализации FOC-управления необходимо использовать данные об

угловом положении ротора, которое может быть получено с помощью датчика положения или с помощью, так называемого наблюдателя состояния при бессенсорном управлении. Главным недостатком классической векторной системы управления электроприводом является ее сложная структура вследствие необходимости выполнения операций преобразования систем координат из неподвижной во вращающуюся, ориентированную по полю ротора ($q-d$), и обратно.

Прямое управление моментом (DTC).

Метод прямого управления моментом (DTC) был предложен и реализован в середине 90-х годов фирмой АВВ [3]. Достоинством данного способа управления в сравнении с FOC является ее более простая структура. Основная идея данного управления заключается в том, что на каждом шаге расчета определяется оптимальное состояние инвертора напряжения, которое вызывает изменение как момента, так и потокосцепления статора в необходимом направлении. В результате достигается разделение каналов управления моментом и потоком асинхронного двигателя. Данный способ управления основан на управлении моментом через ток и магнитным полем в соответствии с напряжением. Одним из достоинств DTC является использование датчиков скорости лишь в моменты контроля скорости. Помимо этого данная система обладает рядом преимуществ: не требуется преобразование координат (в отличие от системы FOC); имеет простую схему управления; хорошую динамику; не требует датчика положения (бездатчиковое управление). Главным преимуществом DTC-управления по сравнению с управлением по закону $U/f=\text{const}$ (модульное управление) в наличие обратной связи, в модульном же управлении применяется разомкнутый принцип управления системы. Системы DTC позволяют обеспечить возможность астатического регулирования моментом на низких частотах вращения; без использования датчика скорости.

Работу системы прямого управления моментом описывает уравнение электромагнитного момента асинхронного двигателя:

$$m_e = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{k_1 \cdot k_2}{\sigma \cdot L_m} \cdot |\psi_s \times \psi_R| = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{k_1 \cdot k_2}{\sigma \cdot L_m} \cdot \psi_s \cdot \psi_R \cdot \sin \beta,$$

где k_1 - коэффициент электромагнитной связи статора; k_2 - коэффициент электромагнитной связи ротора; z_p - число пар полюсов; σ - коэффициент рассеяния; ψ_s , ψ_R - потокосцепления статора и ротора; β - пространственный угол между векторами потокосцеплений статора и ротора.

Принцип работы системы DTC: вначале определяется электромагнитный момент асинхронного двигателя и вектор потокосцепления статора, затем модуль вектора и момент сравниваются с заданными значениями, затем посредством регуляторов формируются логические сигналы ошибки. Зная эти сигналы и положение вектора потокосцепления статора можно выбрать оптимальную комбинацию состояний ключей инвертора, при которой сформированный вектор напряжения будет минимизировать отклонение от заданных значений. Высокая эффективность алгоритмов прямого управления моментом позволяет отнести такие системы к наиболее перспективным способам управления асинхронными двигателями. В связи с тем, что асинхронный двигатель является нелинейной системой, то трудно добиться высокого качества управления, используя гистерезисные регуляторы [4].

Основным же недостатком такого вида управления асинхронными двигателями является наличие гистерезисных регуляторов, что приводит к возрастанию коммутационных потерь в ПЧ и повышению пульсаций момента асинхронного двигателя. Использование адаптивного нейроконтроллера обеспечит сведение указанных недостатков к минимуму.

Адаптивный нейроконтроллер.

Существует достаточно много методов управления на основе DTC, таких как Deadbeat DTC, DTC-SVM, метод «сглаживания», Fuzzy based DTC, но у всех них есть существенные недостатки [5]. Современные асинхронные двигатели, работая в условиях нагрузочных, случайных воздействий, являются нелинейными техническими объектами. Вследствие указанного факта управление ими классическими методами на основе ПИД-регуляторов в условиях неопределенности затруднено, в то время как интеллектуальные методы на основе адаптивных нейроконтроллеров обеспечивают эффективное энергосбережение при управлении асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором. Наилучшими статическими и динамическими характеристиками среди всех этих методов обладает прямое управление моментом с использованием контроллеров на основе искусственных нейронных сетей (ANN DTC) [6-8]. По своей сути нейроконтроллеры представляет собой совокупность арифметических операций, это позволяет производить быструю обработку поступающей на вход информации и быстро реагировать на ее изменение [9]. Для того чтобы реализовать ANN DTC необходимо использовать известные значения векторов весов, которые вычисляются в процессе обучения нейросетей.

В данном исследовании в рамках концепции «умной энергетики» – Smart Grid настраивается и моделируется адаптивный нейроконтроллер [10] в схемах с прямым управлением моментом асинхронного двигателя. Главными достоинствами от использования адаптивного нейроконтроллера в схеме DTC возможность управления асинхронным двигателем даже при неточности идентификации переменных; быстрый отклик на изменение переменных; мягкая адаптация, обеспечивающая робастность системе управления при нестабильности параметров. Основным же недостатком данного метода является сложность организации обучения нейросети при адаптации к определенному асинхронному двигателю. Авторами было принято решение реализовать указанный метод с целью повышения качества управления асинхронным двигателем, при этом была реализована достаточно простая структура адаптивного нейроконтроллера: нейросеть с одним скрытым слоем, содержащим два нейрона.

Результаты эксперимента.

Для оценки эффективности использования адаптивного нейроконтроллера в системе прямого управления моментом асинхронного двигателя в среде MATLAB/Simulink было проведено имитационное моделирование прямого управления моментом с заменой гистерезисных регуляторов на адаптивный нейроконтроллер. Структурная схема DTC представлена на рисунке 1:

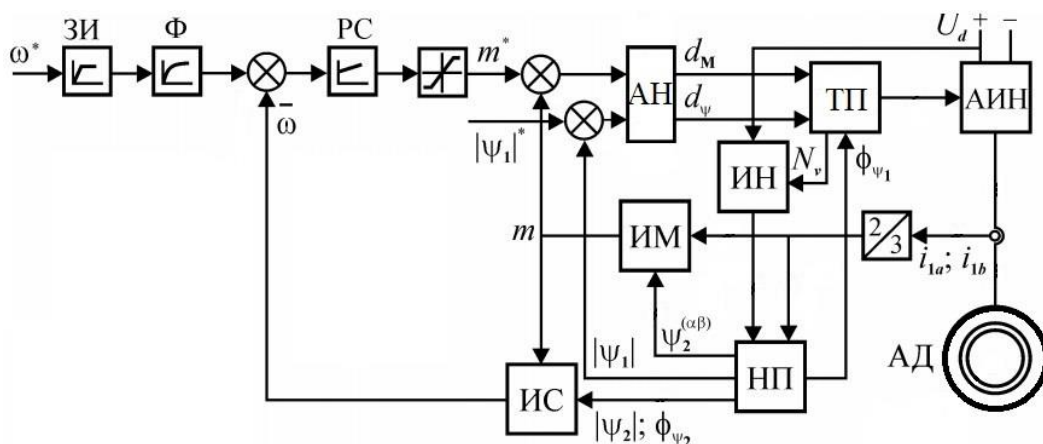


Рисунок 1. Структурная схема DTC с адаптивным нейроконтроллером

Как видно из рисунка 1, на вход адаптивного нейроконтроллера (АН) подаются значения ошибок электромагнитного момента и модуля вектора потокосцепления, выходными данными получают сигналы ошибок, затем эти сигналы и значение текущего угла потокосцепления статора поступают на вход таблицы переключений (ТП), которая осуществляет управление ключами автономного инвертора напряжений (АИН).

Результаты имитационного моделирования адаптивного нейроконтроллера в системе прямого управления моментом (DTC) асинхронного двигателя в среде MATLAB/Simulink, в сравнении с гистерезисными регуляторами выявили снижение пульсации момента, о чем свидетельствует график на рисунке 2.

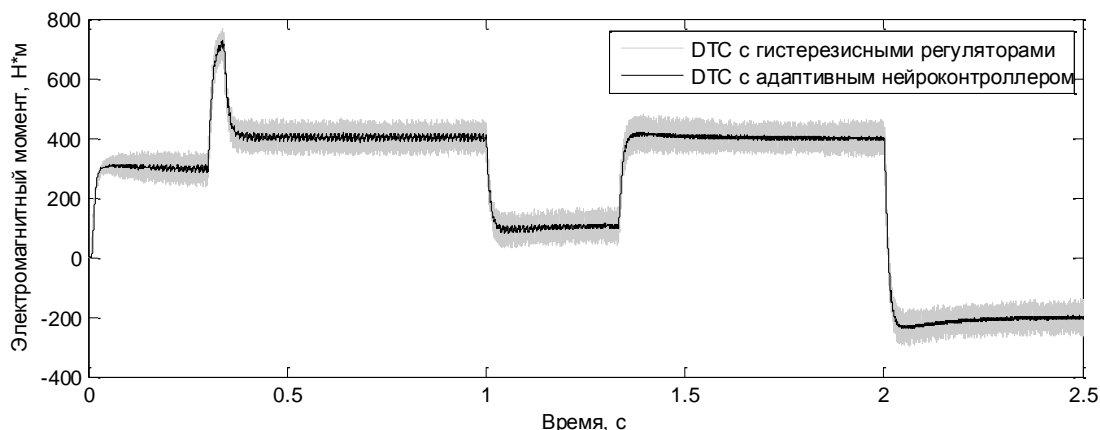


Рисунок 2. Электромагнитный момент асинхронного двигателя

В таблице 1 представлены численные изменения пульсации момента в процентах:

Таблица 1

	Пульсация момента, %
DTC с гистерезисными регуляторами	23,45
DTC с адаптивным нейроконтроллером	7,23

В свою очередь снижение пульсации момента обеспечивает: энергосбережение, увеличение общего срока службы асинхронного двигателя и, соответственно, существенно сокращает издержки промышленных предприятий. Представленные результаты позволяют сделать вывод о целесообразности замены гистерезисных регуляторов на адаптивные нейроконтроллеры в системах прямого управления моментом асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, так как это ведет к снижению пульсаций момента, обеспечивая вышеперечисленные преимущества.

Заключение. В настоящей работе обоснованы необходимость использования и эффективность адаптивного нейроконтроллера в схемах прямого управления моментом асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в рамках концепции «умной энергетики» – Smart Grid. В результате имитационного моделирования было установлено, что система прямого управления моментом асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором улучшает свои характеристики при использовании адаптивного нейроконтроллера, в сравнении с DTC с гистерезисными регуляторами, в том числе, пульсация момента уменьшилась в 3 раза. Преимуществом предложенного способа управления является обеспечение лучших выходных параметров при сохранении высоких динамических характеристик. В данном исследовании была реализована простая структура адаптивного нейроконтроллера, усложнение структуры адаптивного нейроконтроллера в перспективе может дать еще больший положительный эффект. В заключение стоит отметить, что

повышение качества процессов регулирования электроприводов посредством использования данного адаптивного нейроконтроллера может привести к повышению надежности работы электроприводов, что впоследствии приведет к экономии электроэнергии и ресурсов, реализуя аспекты энергосбережения концепции «умной энергетики» – Smart Grid.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. - М.: ИАЦ Энергия, 2010. - 208 с.
2. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». - Иваново, 2008. - 298 с.
3. P. Vas, "Sensorless Vector and Direct Torque Control" (London, U.K.: Oxford Science Publication, 1998).
4. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями/Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2006, – 94 с.
5. Zelechowski, M. Space vector modulated - direct torque controlled (DTC-SVM) inverter-fed induction motor drive: Ph. D. Thesis. - Warsaw. - 2005. - 169 p.
6. Takahashi, T. Noguchi. A new quick-response and high efficiency control strategy of an induction motor // IEEE Trans. Ind. Applications, Vol. 22. N.5. 1986. P. 820 - 827.
7. Toufouti, R. Direct torque control for induction motor using intelligent techniques / Toufouti, S. Mezi-ane, H. Benalla // Journal of theoretical and applied information technology. - 2007. - P. 35-44.
8. Vasudevan, M. High-performance adaptive intelligent direct torque control schemes for induction motor drives / M. Vasudevan, R. Arumugam // KMITL science technology Journal. - 2005. - Vol. 5. - No.3. - P. 559576.
9. Нейронные сети и нейроконтроллеры: учеб. пособие / М.В. Бураков. – СПб.: ГУАП, 2013. – 284 с.: ил.
10. Энгель Е.А. Энергосберегающая технология электротехнической системы на базе адаптивного нейроконтроллера // Научная сессия МИФИ – 2015. XVII Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2015»: Сборник научных трудов. В 3-х частях. Ч.1. М.: МИФИ, 2015.

Рецензент: Швец Сергей Викторович, зав. кафедрой «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем», кандидат технических наук, ФГБОУ ВПО «Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова».

Karandeev Denis Jurevich

Katanov Khakas State University
Russia, Abakan

E-mail: den_dr_house_1991@mail.ru

Engel Ekaterina Aleksandrovna

Katanov Khakas State University
Russia, Abakan

E-mail: ekaterina.en@gmail.com

Direct torque control of induction motor using adaptive neurocontroller under conditions of uncertainty

Abstract. In this article the possibility to improve the energy saving, quality and reliability of direct torque control of induction motor with squirrel cage rotor by usage of the adaptive neurocontroller is considered. Working in the conditions of load and random perturbations modern induction motors are nonlinear technical objects. Owing to the specified fact control of them is complicated by classical methods base on PID controller under uncertainty while intellectual methods base on adaptive neurocontroller provide effective control. Questions of control and modeling of the adaptive neurocontroller in scheme with direct torque control of induction motors are considered. The simulation result showing three times torque reduces by usage of the adaptive neurocontroller in direct torque control of induction motors in comparison with hysteresis regulators. The created adaptive neurocontroller demonstrates reduction in the steady-state and transient motor ripple torque. Owing to the specified fact adaptive neurocontroller increases efficiency and energy saving of induction motors at the industrial enterprise which is an actual problem of modern power industry.

Keywords: energy efficiency; adaptive neurocontroller; induction motor drive control system; energy saving; direct torque control; simulation; conditions of uncertainty.

REFERENCES

1. Kobets B.B., Volkova I.O. Innovatsionnoe razvitie elektroenergetiki na baze kontseptsii Smart Grid. - M.: IATs Energiya, 2010. - 208 s.
2. Vinogradov A.B. Vektornoe upravlenie elektroprivodami peremennogo toka / GOUVPO «Ivanovskiy gosudarstvennyy energeticheskiy universitet imeni V.I. Lenina». - Ivanovo, 2008. - 298 s.
3. P. Vas, "Sensorless Vector and Direct Torque Control" (London, U.K.: Oxford Science Publication, 1998).
4. Usol'tsev A.A. Chastotnoe upravlenie asinkhronnymi dvigatelyami/Uchebnoe posobie. SPb: SPbGU ITMO, 2006, – 94 s.
5. Zelechowski, M. Space vector modulated - direct torque controlled (DTC-SVM) inverter-fed induction motor drive: Ph. D. Thesis. - Warsaw. - 2005. - 169 p.
6. Takahashi, T. Noguchi. A new quick-response and high efficiency control strategy of an induction motor // IEEE Trans. Ind. Applications, Vol. 22. N.5. 1986. R. 820 - 827.
7. Toufouti, R. Direct torque control for induction motor using intelligent techniques / Toufouti, S. Mezi-ane, H. Benalla // Journal of theoretical and applied information technology. - 2007. - P. 35-44.
8. Vasudevan, M. High-performance adaptive intelligent direct torque control schemes for induction motor drives / M. Vasudevan, R. Arumugam // KMITL science technology Journal. - 2005. - Vol. 5. - No.3. - P. 559576.
9. Neyronnye seti i neyrokontrollery: ucheb. posobie / M.V. Burakov. – SPb.: GUAP, 2013. – 284 s.: il.
10. Engel' E.A. Energosberegayushchaya tekhnologiya elektrotekhnicheskoy sistemy na baze adaptivnogo neyrokontrollera // Nauchnaya sessiya MIFI – 2015. XVII Vserossiyskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Neyroinformatika-2015»: Sbornik nauchnykh trudov. V 3-kh chastyakh. Ch.1. M.: MIFI, 2015.