

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ НА ОСНОВЕ МЕТОДИКИ МОДУЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Олеярник А. В., Задорожня И. Н.

Проанализированы возможности создания систем управления на основе концепции модульного программирования в среде Code Composer Studio v4. Обоснованы достоинства цифровых систем управления и модульного программирования, как такового, среды разработки Code Composer Studio и сигнальных контроллеров. Изучены принципы функционирования учебного стенда TMDSHVMTRPFCKIT фирмы Texas Instruments, алгоритм выполнения программы векторного управления с шестью этапами отладки путем наращивания программных модулей. Разработана математическая модель стенда, позволяющая изучить возможность демпфирования колебаний на основе принципа электромеханической совместимости.

Проаналізовано можливості створення систем управління на основі концепції модульного програмування в середовищі Code Composer Studio v4. Обґрунтовано переваги цифрових систем управління і модульного програмування, як такого, середовища розробки Code Composer Studio і сигнальних контролерів. Запропоновано принципи функціонування навчального стенду TMDSHVMTRPFCKIT фірми Texas Instruments, алгоритм виконання програми векторного управління з шістьма етапами налагодження шляхом нарощування програмних модулів. Розроблено математичну модель стенда, що дозволяє вивчити можливість демпфірування коливань на основі принципу електромеханічної сумісності.

Theories of the control systems based on the concept of modular programming in the Code Composer Studio v4 feild. A digital control systems merits and modular programming, IDE Code Composer Studio and signal controllers has been analyzed. The TMDSHVMTRPFCKIT educational stand of Texas Instruments firm has been considered. The algorithm of the program vector control asynchronous motor and the main modules tables of the program were considered. The principles of functioning educational stand, algorithm implementation of vector control programs with six stages of debugging by building software modules has been considered. A mathematical model of the stand, has explored the possibility of damping on the basis of the compatibility principle electromechanical oscillations.

Олеярник А. В.

канд. пед. наук, ст. преп. каф. ЭСА ДГМА

Задорожня И. Н.

канд. техн. наук, доц. каф. ЭСА ДГМА
ket@dgma.donetsk.ua

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УДК 62-83-523:621.771.22

Олеярник А. В., Задорожня И. Н.

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ НА ОСНОВЕ МЕТОДИКИ МОДУЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Системы регулируемого современного электропривода выступают основным структурным элементом автоматизации и определяют перспективы дальнейшего развития значительной части отраслей производственной деятельности человечества.

В течение последних десятилетий произошли существенные качественные изменения в структуре современного электропривода, который интегрировал в себе множество достижений электромашиностроения, преобразовательной техники, электроники, систем управления, в частности, был осуществлен переход на новую элементную базу построения силового канала (IGBT-транзисторы, интеллектуальные силовые модули IPM) и новую элементную базу канала управления – высокопроизводительные микроконтроллерные системы прямого цифрового управления оборудованием. В данном случае, стоит отметить, что осуществляется не только прямое управление ключами силовых преобразователей, но и прямое сопряжение с широкой номенклатурой датчиков обратных связей (положения, скорости, ускорения), а также с элементами дискретной автоматики (релейно-контакторной аппаратурой, дискретными датчиками и дискретными исполнительными устройствами). Область управления двигателями и силовыми преобразователями стала ярким примером.

В последнее время в условиях быстрой адаптации процессорной техники к задачам управления частотно-регулируемый электропривод переменного тока, в первую очередь, асинхронный двигатель, стал главным типом регулируемого промышленного электропривода серийно выпускаемого ведущими отечественными и зарубежными электротехническими фирмами. Основным силовым преобразователем энергии такого электропривода являются полупроводниковые преобразователи частоты на полностью управляемых коммутируемых элементах типа силовых транзисторов (IGBT) и запираемых тиристоров (IGCT), то есть прослеживается тенденция к объединению интеллектуальных и технических возможностей мировых лидеров в производстве преобразовательной техники. Хотя большую конкуренцию системам управления на базе преобразователей частоты составляет вентильно-индукторный электропривод.

Частотно-регулируемые электроприводы переменного тока не уступают электроприводам постоянного тока практически по всем основным технико-экономическим показателям. Такое положение стало возможным благодаря успехам, достигнутым в последние десятилетия в области создания мощных запираемых силовых полупроводниковых приборов с высокими динамическими параметрами и быстродействующих микропроцессорных средств управления.

Непосредственное цифровое управление в современных электроприводах реализуется посредством использования специализированных периферийных устройств, интегрированных непосредственно на кристалл микроконтроллера без дополнительных развитых средств сопряжения, а также за счет высокопроизводительной архитектуры и системы команд центрального процессора, позволяющей решать типовые задачи управления двигателями программным способом (регуляторы, наблюдатели, преобразователи координат).

Целью работы является анализ действующих методов и поиск оптимального метода проектирования системы автоматического управления с возможностью векторного управления асинхронным двигателем на основе современных микропроцессорных компонентов.

Высокие динамические и эксплуатационные характеристики электроприводов обеспечиваются за счет разработки и использования новых алгоритмов управления с реализацией на современной микроэлектронной базе – сигнальных процессорах (DSP), специализированных для математических операций манипулирования цифровыми данными, вырабатываемыми сигнальными преобразователями, основной задачей которых является проведение технологических операций обработки данных в режиме реального времени.

Мировым лидером в производстве цифровых сигнальных микропроцессоров и микроконтроллеров является фирма Texas Instruments, которая предлагает наиболее полную номенклатуру сигнальных микроконтроллеров для управления двигателями. Контроллеры данного производителя ориентированы на использование в приводах бытовой техники, в приводах общепромышленного назначения, в том числе в преобразователях частоты, а также в ответственных прецизионных приводах роботов, манипуляторов и станков с числовым программным управлением.

Для исследования возможностей управления электродвигателем на основе современных микропроцессорных компонентов на кафедре «Электромеханические системы автоматизации» был разработан стенд (рис. 1), включающий асинхронный электродвигатель серии АИР 71А4УЗ, двигатель постоянного тока серии 2ПН90МУХЛ4 (используемый в качестве нагрузки).



Рис. 1. Внешний вид стенда

К кожуху асинхронного двигателя присоединен импульсный датчик скорости – энкодер типа G40B-6-400-2-24, со следующими основными характеристиками:

- напряжение питания 5–24 В;
- количество импульсов на оборот датчика 400;
- два канала данных со смещением;
- максимальная измеряемая частота вращения 1000 об/мин.

Энкодер присоединенный к валу двигателя гибкой резиновой трубкой. Сигнал с датчика подается на вход преобразователя J10 в цепь обратной связи для вычисления текущей скорости вращения ротора двигателя.

Обмотка возбуждения двигателя постоянного тока получает питание от внешнего источника постоянного тока, который состоит из автотрансформатора ТН39-127/220-50 и диодного моста. Первичная обмотка трансформатора подключается непосредственно в бытовую сеть 220 В, а его вторичная обмотка подключена к диодному мосту.

Выпрямленное напряжение с диодного моста питает непосредственно обмотку возбуждения. Сам же двигатель постоянного тока работает в режиме динамического торможения для создания тормозного момента, поэтому к его обмотке якоря подключен реостат, с помощью которого производится изменение момента. Схема электрическая принципиальная рассматриваемого стенда представлена на рис. 2.

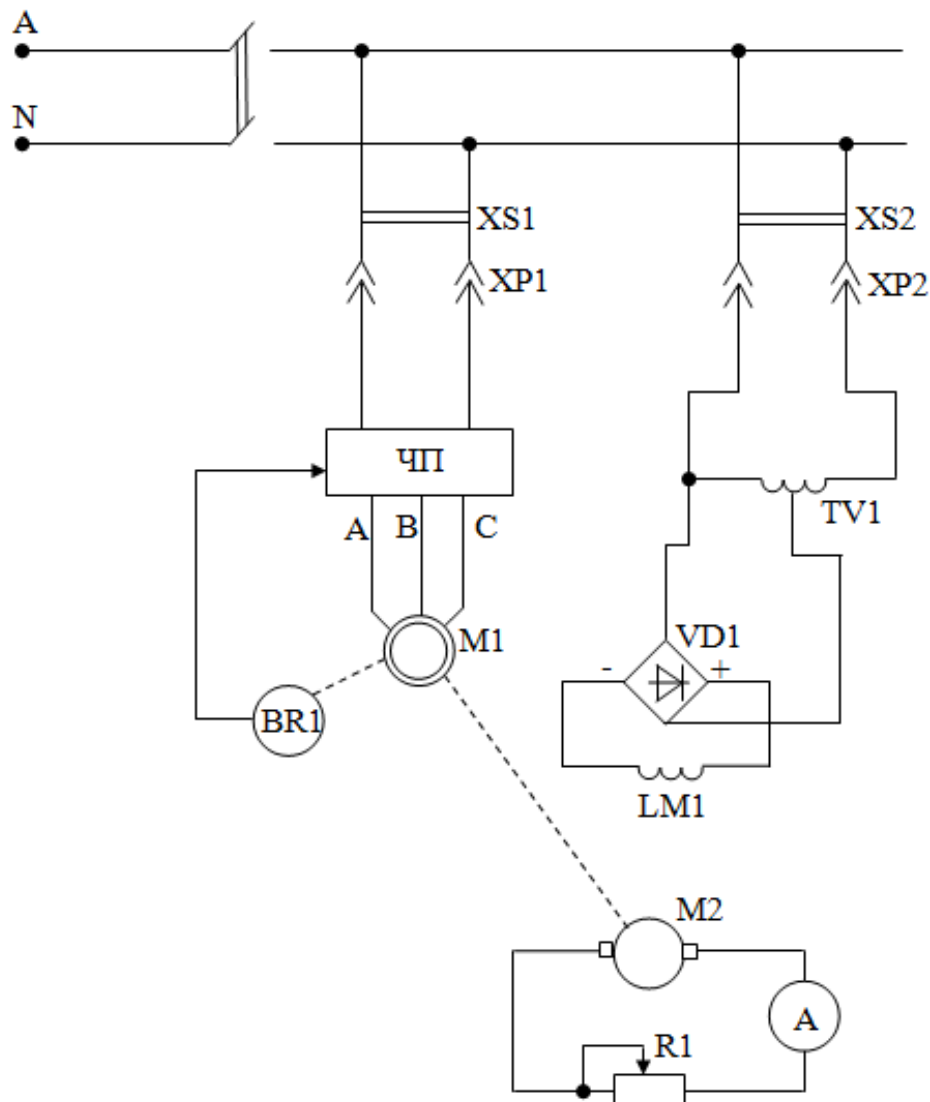


Рис. 2. Схема электрическая принципиальная учебного стенда

Для реализации концепции модульного управления электроприводом необходимы сигнальный процессор, программное обеспечение, периферийные устройства, позволяющие реализовать требуемые алгоритмы управления, что объединяет в себе преобразователь TMDSHVMTRPFCKIT фирмы Texas Instruments на базе контроллера серии C2000 F28335 [1–2].

Стенд TMDSHVMTRPFCKIT позволяет исследовать работу микроконтроллеров Piccolo или Delfino и их аналоги в условиях высокого напряжения. Микроконтроллер позво-

ляет управлять двигателем с коррекцией его коэффициента мощности (PFC) [3]. При коррекции коэффициента мощности допустимое входное напряжение составляет от 110 до 240 В, мощность – до 750 Вт, с замкнутой системой управления. Двигателем можно управлять и без коррекции коэффициента мощности, при этом входное напряжение может достигать 400 В, выходная мощность – до 1,5 кВт. С помощью данного набора можно управлять наиболее распространенными типами двигателей: асинхронным двигателем, бесщеточным двигателем постоянного тока и синхронным двигателем с постоянным магнитом. Микроконтроллер управляет каждым типом двигателя, используя различные методы управления с замкнутым контуром (трапецевидная, U/f , или FOC) с помощью датчика и без датчиков. Также в набор входит полное обеспечение исходным кодом на языке программирования C.

Процессоры семейства F28x (C2Sx) являются представителями платформы TMS320C2000 [4, 5], которая изначально создавалась для приложений управления электродвигателями и электроприводами. В процессе развития они приобрели более развитую периферию и мощное 32-разрядное ядро сигнального процессора, обладающее производительностью до 150 MIPS, за счет чего область их применения значительно расширилась. Используются они как в мощных устройствах управления промышленными автоматами, волоконно-оптическими сетями и в приложениях, где традиционно применялись дешевые микроконтроллеры, что позволило значительно расширить возможности создаваемых приложений.

Контроллеры серии F28x совместимы по коду с предыдущим семейством F24/240x, что позволяет использовать предыдущие наработки в новых проектах. В то же время, F2Sx имеет ядро, эффективно работающее под управлением алгоритмов, написанных на языках высокого уровня C/C++, что делает их пригодными не только для написания управляющей части, но и математической, предъявляющей высокие требования к производительности процессора. Архитектура F28x позволяет его использовать как встраиваемый контроллер, так и за счет его высоких вычислительных мощностей (32x32 MAC, 64-разрядные операции) – как центральный вычислительный модуль.

Характеристики контроллера TMS320F2833x:

- высокопроизводительный 32-битный DSP;
- 32x32 бита или два 16x16 бита MAC;
- IEEE модуль с плавающей запятой;
- атомарные инструкции чтения-модификации-записи;
- 8-уровневый полностью защищенный конвейер;
- менеджер прерываний;
- 256 К слов Flash памяти на кристалле;
- модуль защиты кода (CSM);
- два менеджера событий;
- 12-битный модуль АЦП;
- прямой доступ в память;
- сторожевой таймер;
- коммуникационные устройства.

На рис. 3 показана блок-схема контроллера TMS320F2833x, включающая следующие функциональные устройства:

- внутренняя и внешняя шинная система;
- центральный процессор (ЦП);
- секции оперативной памяти;
- периферийные устройства;
- коммуникационные каналы;
- контроллер ПДП (прямой доступ к памяти);
- менеджер прерываний и ядро модулей таймеров;

– отладочный интерфейс.

Для программирования DSP TMS320F28335 использовано программное обеспечение Code Composer Studio [6].

На начальном этапе исследований следует выделить основные направления развития встроенной периферии для управления электродвигателями и электроприводами:

– переход от обычных счетчиков к наборам универсальных счетчиков/таймеров со встроенными каналами сравнения/захвата и далее к многоканальным процессорам событий;

– создание специализированных периферийных устройств для обработки сигналов наиболее распространенных датчиков обратных связей;

– создание унифицированных многоканальных ШИМ-генераторов со встроенными возможностями прямого цифрового управления ключами инверторов, активных выпрямителей и преобразователей постоянного напряжения в постоянное в режимах фронтальной, центрированной и векторной ШИМ-модуляции для прямого управления силовыми ключами;

– интеграция процессора событий и многоканального ШИМ-генератора в одном универсальном устройстве – менеджере событий;

– создание микроконтроллеров со сдвоенными менеджерами событий для прямого цифрового управления приводами по системе: «Активный выпрямитель – Инвертор – Двигатель» и «Преобразователь постоянного напряжения в постоянное – Инвертор – Двигатель», а также для управления двухдвигательными приводами.



Рис. 3. Блок-схема контроллера TMS320F2833x

Переход к цифровым системам управления приводами на базе специализированных микроконтроллеров позволит обеспечить недостижимый в аналоговых системах уровень показателей качества.

Code Composer Studio – интегрированная среда разработки для создания кода для DSP и/или ARM процессоров семейства TMS320, и других процессоров, таких как MSP430, выпускаемых Texas Instruments. Code Composer Studio включает операционную систему реального времени DSP/BIOS, позднее получившую название SYS/BIOS. Также в состав продукта входят симуляторы и поддержка JTAG-ориентированной отладки.

С помощью Code Composer Studio создана программа векторного управления АД, прилагаемая к стенду TMDSHVMTRPFCKIT Texas Instruments, которая включает блоки, являющиеся составными частями структурной схемы векторного управления асинхронным двигателем с доступностью для отладки шести уровней проекта, в каждом из которых проверяются новые блоки [6].

Для возможности оценки характеристик электромеханической системы стенда была разработана математическая модель в среде пакета Matlab Simulink (рис. 4), позволяющая в дальнейшем анализировать различные режимы функционирования стенда и оценивать их как реально, так и виртуально.

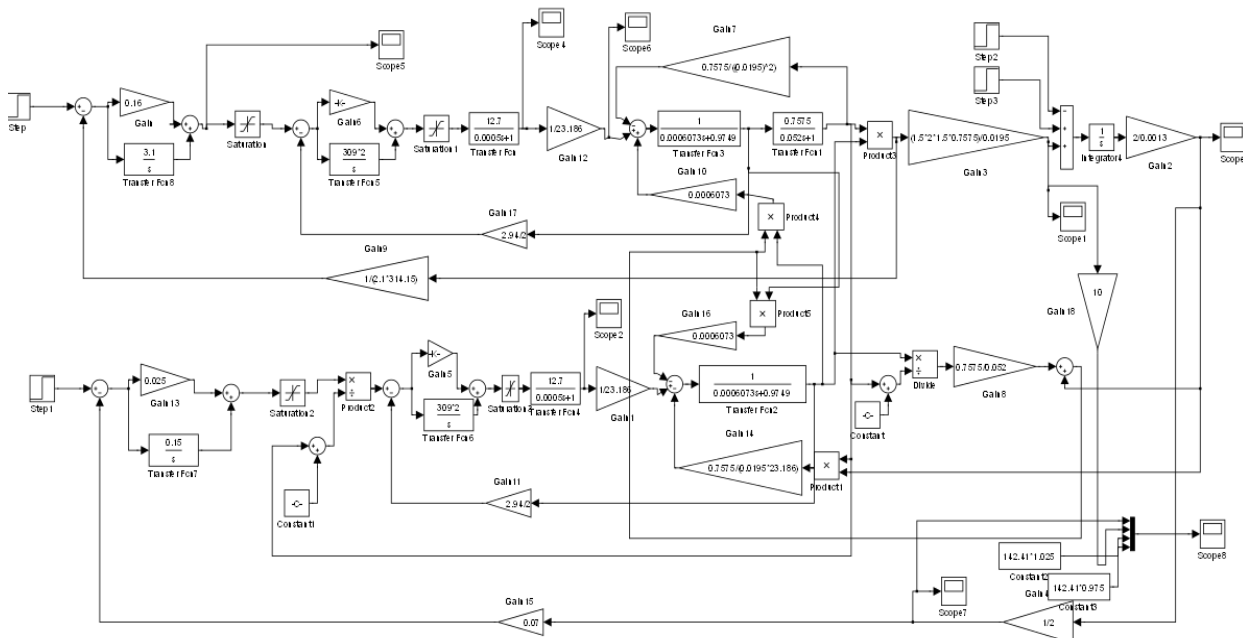


Рис. 4. Математическая модель электромеханической системы привода с векторным управлением

В процессе настройки оборудования стенда были рассмотрены различные уровни построения программы векторного управления двигателем [5]. На первом уровне двигатель отключен и на данном этапе описываются действия для «минимальной» системной проверки, которые включают работу системы прерываний, периферийного и системно-независимого блока обратного преобразования Парка и генератора пространственного вектора модулей и периферийно зависимого модуля инициализации и обновления ШИМ. На втором уровне проверяется аналогово-цифровой преобразователь, подключаются блоки преобразования Кларка и Парка, а также производится расчет фазного напряжения. На данном этапе двигатель подключается к преобразователю. На третьем уровне осуществляется тестирование регуляторов тока в осях dq и проверяется работа модуля измерения скорости. Для разрешения регулирования тока, выходы этих двух ПИД-регуляторов обязательно должны быть настроены для соответствующей работы. На четвертом уровне проверяется правильность вычисле-

ния магнитного потока и скорости с разомкнутым контуром. Настройка пропорционального и интегрального коэффициентов усиления внутри вычислителя магнитного потока может быть критична к режиму работы с очень низкой скоростью. На пятом и шестом уровнях осуществляется проверка регулятора скорости, при этом используется замкнутый контур с обратной связью по скорости.

Для исследовательских режимов студентам может быть предложена задача проверки адекватности математической модели и электромеханической системы реального стенда.

Анализ основных режимов работы стенда позволяет заключить, что использование современной элементной базы систем управления и концепции модульного программирования обеспечивают следующие достоинства:

- существенное уменьшение габаритов и веса управляющей электроники;
- значительное повышение надежности;
- интерактивный дружественный интерфейс с человеком-оператором на языке страны использования привода;
- конфигурирование структуры системы управления пользователем в процессе запуска привода в эксплуатацию для адаптации к конкретной технологии или специфике применения привода;
- встроенное управление средствами привода сопутствующей дискретной автоматикой без использования дополнительных промышленных программируемых контроллеров и управляющих ЭВМ;
- унификация встроенных средств управления приводами (контроллеров, модулей ввода-вывода, пультов оперативного управления);
- простая система наращивания мощности комплектного электропривода за счет использования секционированных исполнительных двигателей с возможностью управления от отдельного типового преобразователя с объединением систем управления всеми преобразователями в локальную промышленную сеть;
- возможность использования самых современных структур и алгоритмов управления приводами, которые трудно, а порой и невозможно реализовать на аналоговой элементной базе.
- интеграция привода в систему комплексной автоматизации производства с помощью унифицированных интерфейсов сопряжения с системами управления более высокого уровня и соответствующих средств программной поддержки.

Таким образом, в процессе создания векторной системы управления был выбран метод модульной отладки программного кода, позволяющий на каждом этапе создания программы исследовать работу отдельных блоков структурной схемы и получить в конечном результате работоспособную систему управления асинхронным двигателем. Значительным достоинством модульной концепции управления электроприводом является то, что при обнаружении ошибок в программе, при поэтапной отладке, можно легко выявить блок, в котором она находится, а также, программа, разбитая на модули, облегчает преобразование бесдатчиковой системы векторного управления в систему с использованием обратной связи по скорости и положению.

Следует отметить, что часто процесс отработки возмущающих и управляющих воздействий системой управления сопровождается возбуждением в электромеханической системе привода упругих механических колебаний. Колебания координат электропривода приводят к отклонению переходных процессов от предписанных технологией и способствуют росту дополнительных динамических нагрузок на электрическое и механическое оборудование. Одной из задач, рассматриваемых на стенде, является использование возможностей собственно электропривода снижать уровень динамических нагрузок [7].

В электроприводах с упругими звеньями не всегда возможно добиться оптимальных переходных процессов посредством настройки регуляторов [8], так как они не учитывают дополнительных составляющих переходных процессов движения в электромеханической системе при возбуждении упругих колебаний, потому повышение точности и быстродействия в электроприводе можно обеспечить в случае оптимизации параметров системы автоматического управления за счет усиления электромеханического взаимодействия [9], что практически можно реализовать на стенде.

ВЫВОДЫ

Анализируя достижения современной вычислительной техники, можно сделать вывод, что доступность современной, высокопроизводительной элементной базы – специализированных контроллеров для управления двигателями, позволяет создавать системы управления, удовлетворяющие возросшим требованиям по точности, быстродействию, диапазонам регулирования переменных привода, унифицировать аппаратную часть системы управления независимо от типа исполнительного двигателя и структуры силовой части, обеспечивать оперативную программную адаптацию систем управления к типу исполнительного двигателя, типам датчиков обратной связи, структуре силовой части и структуре системы управления, реализовывать самые перспективные алгоритмы управления, снижать амплитуду колебательных составляющих моментов двигателя и упругой передачи механизма, сокращать время действия пиковых динамических нагрузок, разрабатывать новые типы высоконадежных приводов с увеличенным сроком службы оборудования и сниженными энергозатратами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Практический курс разработки и отладки программного обеспечения сигнальных микроконтроллеров TMS320x28xxx в интегрированной среде Code Composer Studio: учеб. пособие / А.С. Анучин, Д.И. Алямкин, А.В. Дроздов [и др.]; под общ. ред. В.Ф. Козаченко. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 270 с.*
2. *High Voltage Digital Motor Control Kit Quick Start Guide.*
3. *Применение DSP- микроконтроллеров фирмы «Texas Instruments» в преобразователях частоты «Универсал» с системой векторного управления / В. Ф. Козаченко, Н. А. Обухов, С. А. Трофимов, П. В. Чуев // Электронные компоненты. – №4. – 2002. – С. 61–64.*
4. *Микропроцессорные системы управления: методические указания к лабораторным работам для студентов всех форм обучения / сост.: А. М. Наливайко, А. В. Чебаненко. – Краматорск: ДГМА, 2013. – 150 с.*
5. *Sensorless Field Oriented Control of 3-Phase Induction Motors.*
6. *Наливайко О. М. Методика модульного програмування системи векторного керування асинхронним двигуном в середовищі розробки CCSv4 на базі навчального стенду TMDSHVMTRPFCKIT / О. М. Наливайко, О. В. Чебаненко, М. А. Катрушенко // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : збірник наукових праць. – Краматорськ ДДМА, 2015. – № 3 (36). – С. 161–170.*
7. *Ключев В. И. Теория электропривода : учебник / В. И. Ключев. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.*
8. *Задорожний, Н. А. Анализ демпфирующего действия электропривода с упругими механическими связями при астатическом регулировании / Н. А. Задорожний, А. Н. Беш, И. Н. Задорожня // Електротехнічні та комп'ютерні системи. Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика» – Київ: Техніка. – 2011. – Вип. 03(79). – С. 101–104.*
9. *Задорожний Н. А. Анализ и синтез электромеханических систем управления приводом машин с упругими механическими связями: учебное пособие по дисциплине «Теория электропривода» для студентов специальности «ЭСА» / Н. А. Задорожний, И. Н. Задорожня. – Краматорск : ДГМА, 2010. – 192 с.*