

Міністерство освіти та науки України
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

На правах рукопису

Козакевич Ігор Аркадійович

УДК 62-83:621.313.3

**БЕЗДАТЧИКОВЕ ВЕКТОРНЕ КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМИ
ДВИГУНАМИ ПРИ РОБОТІ НА НИЗЬКИХ КУТОВИХ ШВИДКОСТЯХ**

Спеціальність 05.09.03 – Електротехнічні комплекси та системи

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник
Осадчук Юрій Григорович
кандидат технічних наук, доцент

Кривий Ріг – 2015

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	Error! Bookmark not defined.
ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 БЕЗДАТЧИКОВЕ ВЕКТОРНЕ КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМИ ДВИГУНАМИ. ВИЗНАЧЕННЯ ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ	Error! Bookmark not defined.
defined.	
1.1 Поняття просторового вектору, математична модель асинхронного двигуна.....	Error! Bookmark not defined.
1.2 Системи частотного керування АД.....	Error! Bookmark not defined.
1.3 Аналіз стану проблеми, постановка задач дослідження	Error! Bookmark not defined.
not defined.	
1.4 Висновки по розділу 1	Error! Bookmark not defined.
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НЕЛІНІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АВТОНОМНОГО ІНВЕРТОРА НАПРУГИ ПРИ РОБОТІ ДВИГУНА НА НИЗЬКІЙ КУТОВІЙ ШВИДКОСТІ.....	Error! Bookmark not defined.
2.1 Основні нелінійні властивості дворівневого автономного інвертора напруги з широтно-імпульсною модуляцією	Error! Bookmark not defined.
2.2 «Мертвий» час автономного інвертора напруги	Error! Bookmark not defined.
defined.	
2.3 Аналіз методу компенсації впливу «мертвого» часу з використанням коригуючого вектору	Error! Bookmark not defined.
2.4 Ефект «залипання» струму при його переході через нуль	Error! Bookmark not defined.
not defined.	
2.5 Запропонований метод компенсації нелінійностей АІН	Error! Bookmark not defined.
not defined.	
2.6 Висновки по розділу 2	Error! Bookmark not defined.

РОЗДІЛ 3 БЕЗДАТЧИКОВЕ ОЦІНЮВАННЯ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ ТА ПОТОКОЗЧЕПЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ІДЕАЛІЗОВАНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ.....**Error! Bookmark not defined.**

3.1 Оцінка змінних стану приводу розімкненим ідентифікатором **Error! Bookmark not defined.**

3.2 Дослідження адаптивних систем з задаючою моделлю**Error! Bookmark not defined.**

3.3 Спостерігачі з ковзним режимом**Error! Bookmark not defined.**

3.4 Розробка методу оцінювання змінних стану з комбінованим використанням задаючої моделі та ковзного режиму**Error! Bookmark not defined.**

3.5 Висновки по розділу 3**Error! Bookmark not defined.**

РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ АНІЗОТРОПНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЛЯ БЕЗДАТЧИКОВОГО КЕРУВАННЯ**Error! Bookmark not defined.**

4.1 Анізотропії асинхронних двигунів.....**Error! Bookmark not defined.**

4.2 Використання високочастотної інжекції в бездатчикових електроприводах**Error! Bookmark not defined.**

4.3 Дослідження методів розділення сигналів декількох анізотропних властивостей АД**Error! Bookmark not defined.**

4.4 Методи бездатчикового оцінювання з використанням тестових векторів**Error! Bookmark not defined.**

4.5 Аналіз можливостей використання гармонік широтно-імпульсної модуляції для бездатчикового керування**Error! Bookmark not defined.**

4.6 Дослідження запропонованої системи бездачикового визначення положення ротора**Error! Bookmark not defined.**

4.7 Висновки по розділу 4**Error! Bookmark not defined.**

РОЗДІЛ 5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ БЕЗДАТЧИКОВОГО ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ НА НИЗЬКІЙ КУТОВІЙ ШВИДКОСТІ**Error! Bookmark not defined.**

5.1 Опис експериментальної установки.....**Error! Bookmark not defined.**

5.2 Визначення швидкості обертання ротора у широкому діапазоні за допомогою квадратурного енкодера.....**Error! Bookmark not defined.**

5.3 Експериментальне дослідження запропонованого методу компенсації нелінійних властивостей АІН.....**Error! Bookmark not defined.**

5.4 Експериментальне дослідження запропонованого методу визначення кутової швидкості з використанням анізотропних властивостей двигуна**Error! Bookmark not defined.**

5.5 Висновки по розділу 5**Error! Bookmark not defined.**

ВИСНОВКИ**Error! Bookmark not defined.**

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 12

ДОДАТОК А Характеристики цифрового сигнального процесора TMS320F28335**Error! Bookmark not defined.**

ДОДАТОК Б Довідки про впровадження результатів**Error! Bookmark not defined.**

ВСТУП

Актуальність теми. АД є найбільш поширеним типом двигунів, що використовуються у промисловості [1-3], що пояснюється простотою їх конструкції, надійністю, довговічністю, невеликими масогабаритними показниками. Найбільш розповсюдженим із сучасних способів керування кутовою швидкістю АД є частотний спосіб, який передбачає зміну частоти напруги, що живить двигун, за допомогою ПЧ [1-10]. В більшості промислових установках використовується ПЧ з ланкою постійного струму та АІН з ШІМ. Існує два методи керування частотним приводом: скалярний та векторний [1 - 4]. Скалярний метод забезпечує середні статичні та динамічні показники керування, векторне керування використовується в випадках, коли необхідні високі показники якості керування. Векторне керування дозволяє керувати величиною потокозчеплення машини та електромагнітним моментом роздільно, як у машині постійного струму з незалежним збудженням. Роздільне керування здійснюється виділенням зі статорного струму двох складових: намагнічуючої, за допомогою якої виконується керування потокозчепленням машини, та моментоутворюючої, за допомогою якої керують електромагнітним моментом. Для виділення цих складових необхідна інформація щодо вектору потокозчеплення (статора, ротора або у повітряному зазорі машини).

Для реалізації векторного керування необхідно з мінімальною похибкою знати інформацію про положення та величину вектору потокозчеплення. Наявність суттєвої помилки в визначенні вищеназваних змінних стану значно погіршує роботу приводу та може викликати втрату стійкості систем приводу в цілому. Між тим, окрім інформації про вектор потокозчеплення ротора, системі векторного керування необхідна інформація про поточну частоту обертання валу АД. Встановлення датчика кутової швидкості з цією метою у деяких випадках не є доцільним, оскільки підвищує вартість системи приводу (для приводів малої потужності вартість високоточного датчика швидкості є сумірною з вартістю іншого обладнання – перетворювача частоти, АД та ін.), знижує надійність. Крім того, в деяких випадках (робота в агресивних та

вибухонебезпечних середовищах) установка такого датчика взагалі неможлива. Оскільки прямий вимір кутової швидкості є ускладненим, оцінювати її необхідно, виходячи з величин, доступних для виміру – статорних струмів та напруг. При цьому, аналіз технічної документації частотних електроприводів, що серійно випускаються відомими світовими виробниками, дозволив визначити, що використання векторного керування в бездатчиковому варіанті, як правило, зменшує діапазон керування до 1:50. Це пояснюється тими проблемами, які є при такому способі керуванні на низьких кутових швидкостях, коли частота напруги наближується до нуля, а саме: теоретичні обмеження для моделі ідеального двигуна з синусоїдальним розподіленням поля в зазорі, значним зменшенням співвідношення сигнал/шум вимірюваних величин, збільшенням впливу неточності в визначенні параметрів схеми заміщення, нелінійними властивостями АІН (наявність «мертвого» часу, падіння напруги на відкритих силових ключах та ін.).

Останнім часом значний інтерес дослідників викликають методи ідентифікації невимірюваних величин АД при керуванні ним на низькій кутовій швидкості, що базуються на магнітній анізотропії машини. Магнітна анізотропія створюється за рахунок конструкції машини або насичення сталі машини. Знаходження положення вісі анізотропії машини дає можливість визначити положення вектору потокозчеплення та положення ротора. Магнітна анізотропія впливає на індуктивності статора машини, тому виявлення положення магнітної анізотропії, як правило, базується на визначенні зміни у часі величини статорної індуктивності. В більшості випадків для цього застосовують збудження сигналом змінного струму. Були розроблені методи бездатчикового керування АД на низькій кутовій швидкості, у яких вимір індуктивності статора відбувався шляхом інжекції синусоїдального або імпульсного сигналу високої частоти. Отже, вимагається постійне введення додаткових тестових сигналів. Ці інжектвані тестові сигнали накладаються на основні криві напруг та струмів та мають значну величину. Таким чином, це може викликати погіршення характеристик приводу через появу пульсацій в струмі та електромагнітному моменті машини та збільшення рівня

електромагнітних та акустичних шумів. Все це дозволяє зробити висновок, що застосування методів, що базуються на інжекції тестового сигналу, є небажаним у багатьох випадках.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження виконані відповідно до наукового напрямку кафедри автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті ДВНЗ «Криворізький національний університет» та пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки «Енергетика та енергоефективність» (закон України від 11.07.2001 №2623-III).

Мета і задачі дослідження. Мета роботи полягає в розробці теоретичних аспектів та практичних рішень покращення якості керування асинхронних електроприводів з векторним керуванням та бездатчиковим визначенням кутової швидкості та потокозчеплення.

Для досягнення поставленої мети розв'язані такі **основні задачі**:

- на основі аналітичного аналізу ідеалізованої математичної моделі асинхронного двигуна визначити обмеження можливостей застосування даного математичного апарату для бездатчикового визначення кутової швидкості та потокозчеплення машини при роботі на низьких частотах обертів;

- створення заходів компенсації нелінійних властивостей інвертора, що мають підвищену стійкість при роботі в умовах наявності шумів у каналах вимірювання електричних величин;

- аналіз існуючих структур адаптивних систем з задаючою моделлю для бездатчикового векторного керування з точки зору стійкості при роботі на низьких кутових частотах;

- визначення структури та параметрів системи бездатчикового векторного керування, що базується на використанні анізотропних властивостей асинхронного двигуна з введенням додаткових тестових сигналів у напругу, що живить двигун, та з використанням гармонік ШІМ;

- визначення способів розділення сигналів, що модулюються різними видами анізотропій асинхронного двигуна (насичення магнітної системи двигуна, ексцентриситет, роторні стержні).

Об'єктом дослідження є динамічні процеси у асинхронному електроприводі з векторним керуванням при роботі на низькій кутовій швидкості та процеси у автономному інверторі з широтно-імпульсною модуляцією, що живить його.

Предметом дослідження є способи непрямого бездатчикового визначення частоти обертання обертання ротора та потокозчеплення асинхронного двигуна.

Методи дослідження. Для аналізу та розв'язання поставлених задач використовувались наступні методи: операторний метод (для складання передаточних функцій математичної моделі асинхронного двигуна та системи керування ним); метод диференціального числення, методи чисельного інтегрування, методи планування експерименту та пошуку екстремуму – для ідентифікації швидкості та потокозчеплення на базі анізотропних властивостей двигуна при введенні тестових сигналів; метод кінцевих елементів – при складанні дискретно-польової моделі асинхронного двигуна.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що отримала подальший розвиток теорія побудови бездатчикових систем векторного керування, що мають істотно більший діапазон керування кутовою швидкістю у порівнянні з існуючими:

- запропоновано новий метод компенсації нелінійних властивостей інвертора напруги, що базується на струмі, який оцінюється адаптивною моделлю, та не вимагає завчасного визначення параметрів інвертора та системи керування на відміну від методів, які передбачають використання вимірних струмів та параметрів інвертора.

- вперше формалізовано структуру спостерігача стану асинхронного двигуна, що базується на використанні його анізотропних властивостей та дозволяє виконувати виділення сигналів корисних анізотропій, не використовує параметри схеми заміщення, на відміну від методів, які передбачають використання моделі ідеалізованого асинхронного двигуна.

- на основі аналізу існуючих структур адаптивних систем з задаючою моделлю показано доцільність застосування системи зі змінною структурою,

що дозволить суттєво підвищити стійкість приводу в зоні низьких кутових швидкостей.

Практична цінність роботи полягає у розробці алгоритмів роботи системи бездатчикового векторного керування, що придатні для застосування в системах, що мають підвищені вимоги до показників якості керування при роботі на низьких кутових швидкостях. Зокрема:

- розроблено засоби компенсації нелінійностей інвертора, що може бути використаний у сучасних перетворювачах частоти при отриманні якісного синусоїдального вихідного струму при роботі в зоні низьких вихідних напруг.

- розроблені алгоритми бездатчикової ідентифікації кутової швидкості та потокозчеплення асинхронного двигуна при вимірюванні лише напруги в ланці постійного струму перетворювача та його вихідних струмів, які можуть бути використані в сучасних перетворювачах частоти, що призначені для технологічних установок, які вимагають глибокого керування швидкістю двигуна.

- розроблено засоби розділення модуляційних ефектів, викликаних різними анізотропними властивостями двигуна з метою їх подальшого використання для бездатчикового визначення кутової швидкості.

Роботоздатність та ефективність запропонованих у роботі методів і алгоритмів підтверджено фізичними експериментами на реальних електромеханічних системах. Розроблена апаратна частина та програмне забезпечення експериментальної плати системи керування перетворювачем частоти «Вектор-АС» (виробник – ТзОВ «Семіол»), що дозволяє всебічно дослідити системи бездатчикового векторного керування при роботі в широкому діапазоні зміни кутової частоти (довідка про впровадження від 15.10.2013 р.). Їх впровадження дозволить підвищити показники якості керування при роботі на низьких кутових швидкостях, створюючи умови для суттєвого розширення діапазону керування таких систем.

Особистий внесок здобувача. Автор самостійно зробив огляд стану питання ідентифікації кутової швидкості та потокозчеплення ротора без використання механічних датчиків на валу двигуна, сформулював задачі

дослідження, наукові положення і результати, виконав теоретичну частину роботи, уклав план експериментальних випробувань та провів експерименти. Зміст дисертації викладено автором особисто. У публікаціях, що видані у співавторстві, автору належить: у [11] – метод бездатчикового визначення кутової швидкості двигуна при наявності декількох анізотропних властивостей; у [12] – аналітичне дослідження та математичне моделювання системи бездатчикового векторного керування асинхронним двигуном при використанні спостерігача Люенбергера для бездатчикового оцінювання невимірюваних змінних стану; у [13] – розробка математичної моделі інвертора та дослідження кривих струмів та напруг при роботі на низьких вихідних частотах; у [14] – вдосконалення методу бездатчикового визначення кутової швидкості та потокозчеплення ротора з використанням струму нульової послідовності для двигунів зі з'єднанням обмоток в трикутник; у [15] – розробка методу компенсації нелінійних властивостей інвертора напруги з використанням адаптивного спостерігача струму; у [16] – аналіз особливостей систем частотного керування з векторним керуванням з точки зору формування електромагнітного моменту двигуна; у [17] – дослідження існуючих структур адаптивних систем з задаючою моделлю з точки зору роботи на низькій кутовій частоті, аналіз їх стійкості; у [18] – вдосконалення методу компенсації нелінійних властивостей інвертора для багаторівневих схем; у [19] – розробка алгоритму векторного керування для систем з декількома двигунами, що живляться від одного інвертора; у [20] – розробка математичного апарату для експериментального визначення кривої намагнічення асинхронного двигуна; у [21] – алгоритм вирівнювання напруг на конденсаторному подільнику багаторівневого інвертора напруги; у [22] – розробка структури системи бездатчикового векторного керування з використанням адаптивної системи з задаючою моделлю та спостерігача з ковзним режимом; у [23] – аналіз способів побудови систем прямого керування моментом при живленні двигуна від інвертора напруги; у [24] – розробка математичної моделі багаторівневого інвертора напруги, що є частиною комбінованого перетворювача великої потужності.

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у 23 наукових працях, з яких: 11 – у наукових фахових виданнях (4 – у виданнях, що внесені до міжнародних наукометричних баз даних), 2 – у наукових виданнях, що не належать до переліку фахових за напрямком роботи, а також 10 тез доповіді у збірниках матеріалів міжнародних конференцій.

Апробація результатів дисертації була здійснена на міжнародних наукових конференціях: «Силова електроніка та енергоефективність» (Малий Маяк, ХП, 2010), «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика» (2011, Одеса, ОНПУ; 2012, смт Миколаївка; 2013, Малий Маяк; 2014, Одеса), «Сталий розвиток гірничо-металургійної промисловості» (Кривий Ріг, ДВНЗ «КНУ», 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012), «Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації» (Кременчук, КДПУ, 2012, 2014, 2015), «Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика» (Кременчук, 2014, 2015), семінарі кафедри автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті.

Структура й обсяг роботи Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел (172 найменувань) і двох додатків. Основний зміст викладений на 150 сторінках друкованого тексту, містить 105 рисунків, 4 таблиці. Загальний обсяг дисертації – 226 сторінки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Козярук А.Е. Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов / А.Е. Козярук, В.В. Рудаков; под общ. ред. А.Г. Народицкого. – СПб.: Санкт-Петербургская электротехническая компания. – 2004. – 127 с.
2. *Vas P. Sensorless Vector and Direct Torque Control.* – Oxford: Oxford University Press, 1998. – 730 p. – ISBN 978-0198564652.
3. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: Учебник / Г.Г. Соколовский. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 272 с. – ISBN 978-5-7695-4505-4.
4. *Ilas C., Bettini A., Ferraris L., Griva G., Profumo F. Comparison of different schemes without shaft sensors for field oriented control drives // IECON 94.* – 1994. – Vol. 3. – pp. 1579-1588.
5. *M. Elloumi, L. Ben-Brahim, M. A. Al-Hamadi Survey of speed sensorless controls for IM drives // Proc. of 24th Annual Conference of the IEEE Ind. Electr.* – 1998. – Vol. 2. – pp. 1018-1023.
6. Пересада С.М. Обобщенная теория косвенного векторного управления асинхронным электродвигателем. Ч. 1. Проблема векторного управления в асинхронном электроприводе: краткий обзор и формулировка проблемы / С.М. Пересада // Технічна електродинаміка. – 1999. – №3. – С. 27-32. – ISSN 1607-7970.
7. Пересада С.М. Обобщенная теория косвенного векторного управления асинхронным электродвигателем. Ч. II. Синтез алгоритма отработки модуля потока и угловой скорости / С.М. Пересада // Технічна електродинаміка. – 1999. – №4. – С. 26-32. – ISSN 1607-7970.
8. *C. Schauder Adaptive speed identification for vector control of induction motor without rotational transducers // IEEE Transactions Industry Applications.* – 1992. – Vol. 5. – pp. 1054-1061.
9. Садовой А.В. Релейные системы оптимального управления электроприводами / А.В. Садовой, Б.В. Сухинин, Ю.В. Сохина, А.Л. Дерез:

Под ред. А.В. Садового. – Днепродзержинск, 2011. – 337 с., 164 ил. – ISBN 978-966-175-050-9.

10. Пересада С.М. Теоретические и практические аспекты использования обобщенного алгоритма косвенного векторного управления АД / С.М. Пересада // Технічна електродинаміка. – 1999. – №6. – С. 27-32. – ISSN 1607-7970.

11. Синчук О.Н. Бездатчиковое векторное управление на основе анизотропных свойств машины / О.Н. Синчук, Ю.Г. Осадчук, И.А. Козакевич // Електротехнічні та комп'ютерні системи. Київ, «Техніка». – 2014. – № 15(91). – С. 45-47. – ISSN 2221-3805.

12. Сінолиций А.П. Дослідження спостерігача Люенбергера для бездатчикового векторного керування при роботі на низькій швидкості / А.П. Сінолиций, Ю.Г. Осадчук., І.А. Козакевич // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2011. – Вип. 3. – С. 38-39. – ISSN 2221-3805.

13. Осадчук Ю.Г. Исследование многоуровневого инвертора напряжения, построенного по модульному принципу, при работе на низких частотах / Ю.Г. Осадчук, И.А. Козакевич, О.А. Удовенко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2013. -- №36 (1009). – С. 322-325. – ISSN 2079-5459.

14. Сінчук О.М. Аналіз струму нульової послідовності асинхронних двигунів для бездатчикового керування / О.М. Сінчук, Ю.Г. Осадчук, І.А. Козакевич // Гірничий вісник. – 2014. – Вип. 98. – С. 23-27. – ISSN 2306-5435.

15. Сінолиций А.П. Підвищення якості компенсації «мертвого часу» автономного інвертора напруги для бездатчикового векторного керування на низькій швидкості / А.П. Сінолиций, Ю.Г. Осадчук, І.А. Козакевич // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика» науково-виробничого журналу. – 2012. – Кременчук, КрНУ, Вип. 3/2012 (19). – С. 142-144. – ISSN 2072-2052.

16. Сінолиций А.П. Порівняльний аналіз класичного векторного та J-M керування / А.П. Сінолиций, І.А. Козакевич // Вісник Криворізького національного університету. – 2012. – Вип. 30. – С. 128-131. – ISSN 2306-5451.

17. Козакевич І.А. Дослідження адаптивних систем з задаючою моделлю для бездатчикового векторного керування асинхронним двигуном при роботі на низькій швидкості / І.А. Козакевич, Д.О. Шкурко // Вісник Криворізького технічного університету. – 2011. – Вип. 29. – С. 204-208. – ISSN 2306-5451.

18. Осадчук Ю.Г. Алгоритм компенсації ефекту «мертвого часу» в трьохрівневих інверторах напруги / Ю.Г. Осадчук, І.А. Козакевич, І.О. Сінчук // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2010 – С. 38-41. – ISSN 2072-2052.

19. Осадчук Ю.Г. Синтез алгоритму векторного керування двома асинхронними двигунами, що живляться від одного інвертора / Ю.Г. Осадчук, І.А. Козакевич // Вісник Криворізького технічного університету. – 2011. – Вип. 28. – С. 150-154. – ISSN 2306-5451.

20. Осадчук Ю.Г. Экспериментальное определение кривой намагничивания асинхронного двигателя средствами частотного привода / Ю.Г. Осадчук, И.А. Козакевич // Вісник Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського. – 2009. – Вип. 4(57). – С. 95-97. – ISSN 1995-0519.

21. Осадчук Ю.Г. Дослідження топологій багаторівневих інверторів з використанням «плаваючих» конденсаторів / Ю.Г. Осадчук, І.А. Козакевич, Р.В. Сіяно // Качество минерального сырья. Сборник научных трудов. – Кривой Рог, 2014. – С. 420-428. – ISBN 978-617-7250-05-9.

22. Козакевич І.А. Аналіз способів покращення динамічних властивостей асинхронних електроприводів зі скалярним керуванням / О.М. Сінчук, І.А. Козакевич, Д.О. Швидкий // Качество минерального сырья. Сборник научных трудов. – Кривой Рог, 2014. – С. 428-432. – ISBN 978-617-7250-05-9.

23. Козакевич І.А. Система прямого керування моментом асинхронного двигуна, що живиться від багаторівневого інвертора напруги / І.А. Козакевич, Я.С. Гембарський // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. – 2012. – КрНУ. – С. 124-125. – ISSN 2221-5160.

24. Синчук О.Н. Модернизация инвертора, ведомого нагрузкой, для синхронных электроприводов большой мощности / О.Н. Синчук, И.А. Козакевич, В.П. Музыка // Роль науки в развитии общества: сборник статей Международной научно-практической конференции (28 февраля 2015 г., г. Уфа). – 2015. – Уфа: РИО МЦИИ ОМЕГА САЙНС. – С. 25-27. – ISBN 978-5-906781-21-5.

25. Циленков Д.В. Параметричний пристрій спостереження в електроприводі змінного струму / Д.В. Циленков // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Електроенергетичні та електромеханічні системи. – 2000. – №403. – С. 180-185. – ISSN 0321-0499.

26. *J. Holtz, J. Quan Drift- and parameter-compensated flux estimator for persistent zero-stator-frequency operation of sensorless-controlled induction motors // IEEE Transactions on Industry Applications. – 2003. – Vol. 39, iss. 4. – pp. 1052-1060.*

27. *M.E. Elbuluk, M.D. Kankam Speed sensorless induction motor drives for electrical actuators: schemes, trends and tradeoffs // National Aerospace and Electr. Conf., IEEE, Dayton, Ohio. – 1997. – pp. 1-8.*

28. *C. Lascu, I. Boldea, F. Blaabjerg Comparative study of adaptive and inherently sensorless observers for variable-speed induction-motor drives // IEEE Transactions of industrial electronics. – 2006. – Vol. 1. – pp. 57-65.*

29. Пересада С.М. Обобщенный алгоритм прямого векторного управления асинхронным двигателем / С.М. Пересада, С.Н. Ковбаса // Технічна електродинаміка. – 2002. – №4. – С. 17-22. – ISSN 1607-7970.

30. Литвиненко Д.Г. Математические модели асинхронного электропривода с векторным управлением для задач оптимизации полиномиальным методом с использованием диаграмм качества управления // Електротехніка і електромеханіка. – 2011. – №2. – С. 27-30. – ISSN 2074-272X.

31. Приймак Б.І. Процеси керування асинхронним електроприводом при врахуванні втрат у залізі // Праці Інституту електродинаміки НАН України. – 2006. – № 3. – С. 47-52. – ISSN 1727-9895.

32. *F.Z.Peng, T. Fukao Robust speed identification for speed-sensorless vector control of induction motors // IEEE Transactions on Industrial Applications. – 1994. – Vol. 5. – pp. 1234-1240.*

33. Приймак Б.І. Векторне керування асинхронним електроприводом з нейромережною оптимізацією енерговитрат // Праці Інституту електродинаміки НАН України. – 2008. – Вип. 21. – С. 61-71. – ISSN 1727-9895.

34. Клингер К. Трехфазный асинхронный электропривод с высокими динамическими свойствами / К. Клингер // Технічна електродинаміка. – 2000. – №1. – С. 55-58. – ISSN 1607-7970.

35. *Edelbaher G. Low-speed sensorless control of induction machine / G. Edelbaher, K. Jezernik, E. Urlep // IEEE Transactions on industrial electronics. – 2006. – Vol. 1. – pp. 120-129.*

36. *Jin S. One novel scalar control scheme for induction machine / S.Jin, Z. Wei, H. Zhenyi // The 30th Annual Conference of the IEEE Electronics Society. – 2004. – Vol. 1. – pp. 347-352.*

37. *M.S. Zaky, M. Khater, H. Yasin, S.S. Shokralla Wide-speed-range estimation with online parameter identification schemes of sensorless induction motor drives // IEEE Transactions on industrial electronics. – 2009. – Vol. 56, iss. 5. – pp. 1699-1707.*

38. *A. Consoli, G. Scarcella, A. Testa Speed- and current-sensorless field-oriented induction motor drive operating at low stator frequencies // IEEE Transactions on Industry Applications. – 2004. – Vol. 40, iss. 1. – pp. 186-193.*

39. *H. Tajima, G. Guidi, H. Umida Consideration about problems and solutions of speed estimation method and parameter tuning for speed-sensorless vector control of induction motor drives // IEEE Transactions on Industry Applications. – 2002. – Vol. 38, iss. 5. – pp. 1282-1289.*

40. *J. Holtz Sensorless control of induction motor drives // Proceedings of the IEEE. – 2002. – Vol. 90, iss. 8. – pp. 1359-1394.*

41. Калачев Ю.Н. Векторное регулирование (заметки практика) / М.: ЭФО, 2013. – 64 стр.
42. *Rajashekara K., Kawamura A., Matsuse K. Sensorless control of AC motors. New York: IEEE Press, 1996.*
43. *M.N. Marwali, A. Keyhani A comparative study of rotor flux based MRAS and back EMF based MRAS speed estimators for speed sensorless vector control of induction machines // Proc. of the IEEE-IAS Annual Meeting. – 1997. – pp. 160-166.*
44. *M. Rashed, A.F. Stronach A stable back-EMF MRAS-based sensorless low speed induction motor drive insensitive to stator resistance variation // IEEE Proc. Electr. Power Appl. – 2004. – Vol. 6. – pp. 685 – 693.*
45. *C.-W. Park, W.-H. Kwon Simple and robust speed sensorless vector control of induction motor using stator current based MRAC. Electric Power Systems Research, Elsevier, 71. – 2004. – pp. 257-266.*
46. *Yamamoto S., Hirahara H., Tanaka A., Ara T., Matsuse K. Universal sensorless vector control of induction and permanent magnet synchronous motors considering equivalent iron loss resistance // 2013 IEEE Industry applications society annual meeting. – 2013. – pp. 1-8.*
47. Пересада С.М. Семейство алгоритмов обработки момента-потока асинхронного двигателя при косвенной ориентации по вектору потокосцепления статора [Электронный ресурс] / С.М.Пересада, С.Н. Ковбаса, А.Ю. Онанко //Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2011. – № 3. – С. 25-27. - Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/etks_2011_3_8.pdf. – ISSN 2221-3805.
48. *Umamaheswari R., Vidhya S. High performance sensorless VSI fed induction motor drive using combined vector control // 2014 International conference on Green computing communication and electrical engineering. – 2014. – pp. 1-7.*
49. Пересада С. М. Метод синтеза инвариантных к вариациям активного сопротивления ротора алгоритмов прямого векторного управления асинхронным двигателем / С. М. Пересада, В. Н. Трандафилов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія:

проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика. – 2013. – №36 (1009). – С. 59 – 63. – ISSN 2079-5459.

50. *Dongfeng S. Sensorless speed estimation and diagnosis of induction motors based on purified space vectors // 2013 9th IEEE International symposium on Diagnostics for electric machines, power electronics and drives. – 2013. – pp. 365-370.*

51. *Qinghui W., Lin L. Yanwei P., Yang W. Research on speed sensorless vector control of induction motor based on torque current differential // 2013 25th Chinese control and decision conference. – 2013. – pp. 5180-5182.*

52. Король С.В. Векторне керування механічними координатами та реактивною потужністю в електромеханічних системах на основі машини подвійного живлення: Автореф. дис. канд. техн. наук / С.В. Король; Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін-т». – К., 2007. – 19 с.

53. *G.G. Soto, E. Mendes, A.Razek Reduced-order observers for rotor flux, rotor resistance and speed estimation for vector controlled induction motor drives using the extended Kalman filter technique. IEE Proc.-Electr. Power Applic., №3, 1999, сmp. 282-288.*

54. *J.K. Al-Tayie, P.P. Acarnley Estimation of speed, stator temperature and rotor temperature in cage induction motor drive using the extended Kalman filter algorithm. IEE Proc. Electr. Power Applic., №5, 1997, pp. 301-309.*

55. *Rokhforoz P., Poshtan J. Rotor speed and resistance estimation using robust extended Kalman filter for sensorless vector control of induction motor drives // 2015 6th Power electronics, drive systems and technologies conference. – 2015. – pp. 304-309.*

56. *Taherzadeh M., Joorabian M., Carriere S., Kianinezhad R., Betin F. Speed adaptive flux Luenberger observer used in sensorless vector control of an unbalanced six-phase induction machine // 2014 5th Power electronics, drive systems and technologies conference. – 2014. – pp. 1-6.*

57. *J. Maes, J.A. Melkebeek Speed-sensorless direct torque control of induction motors using an adaptive flux observer. IEEE Transactions of industrial applications. – 2000. – Vol. 3. – pp. 778-785.*

58. *M. Hinkkanen Analysis and design of full-order flux observers for sensorless induction motors // IEEE Transactions of industrial electronics. – 2004. – Vol. 5. – pp. 1033-1040.*

59. *H. Kubota, I. Sato, Y. Tamura, K. Matsuse, H. Ohta, Y. Hori Regenerating-mode low-speed operation of sensorless induction motor drive with adaptive observer // IEEE Trans. Ind. Applic. – 2002. – Vol. 4. – pp. 1081-1086.*

60. *S. Suwankawin, S. Sangwongwanich Design strategy of an adaptive full-order observer for speed-sensorless induction-motor drives – tracking performance and stabilization // IEEE Transactions of industrial electronics. – 2006. – Vol. 1. – pp. 96-119.*

61. *J. C. Lopez, L. Romeral, A. Arias, E. Aldabas Novel fuzzy adaptive sensorless induction motor drive // IEEE transactions on industrial electronics. – 2006. – Vol. 4. – pp. 1170-1178.*

62. Сметана І.В. Дослідження чутливості систем векторного керування на основі математичних моделей / І.В. Сметана, А.О. Лозинський // Вісн. Нац. ун-ту «Львів. політехніка». – 2005. – № 544. – С. 126-137. – ISSN 0321-0499.

63. Пересада С.М. Прямое векторное управление моментом асинхронных двигателей с максимизацией соотношения момент-ток [Електронний ресурс] / С. М. Пересада, С. С. Дымко // Електротехнічні та комп'ютерні системи. - 2011. - № 3. - С. 28-31. - Режим доступу:http://nbuv.gov.ua/j-pdf/etks_2011_3_9.pdf. – ISSN 2221-3805.

64. *Long Q., Chenchen W., Xiaojie Y. Study of speed-sensorless weighted vector control of parallel connected induction motors drive // Electronics and application conference and exposition. – 2014. – pp. 553-559.*

65. Пересада С.М. Алгоритм одновременной идентификации активных сопротивлений статора и ротора асинхронного двигателя [Електронний ресурс] / С. М. Пересада, М. А. Коноплинский // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2011. – № 3. – С.270-271. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/etks_2011_3_94.pdf. – ISSN 2221-3805.

66. Пересада С.М. Обґрунтування структури спостерігача, інваріантного до варіацій активного опору ротора. [Електронний ресурс] / С.М.Пересада, В.М. Трандафілов. // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2014. – Вип. 1. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/VNTUV_2014_1_7.pdf. – ISSN 2307-5376.

67. Пересада С.М., Ковбаса С.Н., Дымко С.С. Робастифицированное бездатчиковое векторное управление асинхронным двигателем на основе адаптивного наблюдателя пониженного порядка // Техническая электродинамика. – 2012. – №2. – С.81-82. – ISSN 1607-7970.

68. Гончаров А.С. Анализ современного состояния в области создания электроприводов с бездатчиковым управлением и методов построения САР в условиях ограниченной информации о векторе состояния [Електронний ресурс] / А.С. Гончаров, В.А. Поваляев, С.М. Миронов // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2008. – Вип. 1. – Режим доступу: <http://www.v-itc.ru/electrotech/2008/01/pdf/2008-01-04.pdf>. – ISSN 1990-5246.

69. Панкратов В.В. Задачи синтеза алгоритмов идентификации для бездатчиковых асинхронных электроприводов с векторным управлением и вариант их решения [Електронний ресурс] / В.В. Панкратов, М.О. Маслов // Силовая интеллектуальная электроника. – 2007. - № 1(6). – С. 1 – 13. – Режим доступу: http://erasib.ru/user_images/File/papers/synth.pdf

70. Пересада С.М. Нелінійне та адаптивне керування в електромеханічних системах з векторно-керуваними електродвигунами : Автореф. дис. д-ра техн. наук / С.М. Пересада; НАН України. Ін-т електродинаміки. – К., 2007. – 37 с.

71. Ковбаса С.М. Система векторного керування асинхронним двигуном з властивостями грубості до варіацій активного опору ротора: Автореф. дис. канд. техн. наук : 05.09.03 / С.М. Ковбаса; НАН України. Ін-т електродинаміки. – К., 2004. – 19 с.

72. Сметана І.В. Застосування штучних нейронних мереж для підвищення точності ідентифікації потокозчеплення в системах електроприводу з векторним керуванням / І.В. Сметана, А.О. Лозинський //

Електромашинобудування та електрообладнання – 2005. – Вип. 63. – С. 7-17. – ISSN 0132-392X.

73. *J. Campbell, M. Sumner Practical sensorless induction motor drives employing an artificial neural network for online parameter adaptation // IEE Proc. Electr. Power Applic. – 2000. – Vol. 4. – pp. 255-260.*

74. Балюта С.М. Частотнорегульовані електромеханічні системи з інтелектуальним керуванням в системах автоматизації технологічних процесів: Моногр. / С.М. Балюта. – К.: НУХТ, 2005. – 284 с. – ISBN 966-612-049-6.

75. *J.R. Heredia, F.P. Hidalgo, J.L. Duran Paz Sensorless control of induction motors by artificial neural networks // IEEE Transactions of industrial electronics. – 2001. – Vol. 5. – pp. 1038-1040.*

76. *S.-H. Kim, T.-S. Park, J.-Y. Yoo, G.-T. Park Speed-sensorless vector control of an induction motor using neural network speed estimation // IEEE Transactions on industrial electronics. – 2001. – Vol. 3. – pp. 609-614.*

77. *J. Li, L. Xu, Z. Zhang An adaptive sliding-mode observer for induction motor sensorless speed control // IEEE Transactions on industrial applications. – 2005. – Vol. 4. – pp. 1039-1046.*

78. *A. Derdiyok Speed-sensorless control of induction motor using a continuous control approach of sliding-mode and flux observer // IEEE Transactions on industrial electronics. – 2005. – Vol. 4. – pp. 1170-1176.*

79. *C. Lascu, G.-D. Andreescu Sliding-mode observer and improved integrator with DC-offset compensation for flux estimation in sensorless-controlled induction motors // IEEE Transactions on industrial electronics. – 2006. – Vol. 3. – pp. 785-794.*

80. Плахтина О.Г. Електромагнітні та електромеханічні процеси асинхронної машини з інвертором напруги в колі ротора при векторному керуванні / О.Г. Плахтина, А.С. Куцик, В.Д. Йовбак // Технічна електродинаміка. – 2004. – №5. – С. 30-36. – ISSN 1607-7970.

81. *M.M. Khater, M.S. Zaky, H. Yasin, S.S. Shokralla, A. El-Sabbe A comparative study of sliding mode and model reference adaptive speed observers for induction motor drives // MEPCON. – 2006. – pp. 434-440.*

82. *Vdovin V.V., Kotin D.A., Pankratov V.V. State observer for sensorless vector control of doubly fed induction motor // 2013 14th International Micro/nanotechnologies and electron devices. – 2013. – pp. 382-388.*

83. *Zhang X. Sensorless induction motor drive using indirect vector controller and sliding-mode observer for electric vehicles // IEEE Transactions on Vehicular technology. – 2013. – pp. 3010-3018.*

84. Пересада С. М. Метод синтеза и робастность наблюдателей потокосцепления асинхронного двигателя, работающих в скользящих режимах / С. М. Пересада, В. Н. Трандафилов // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Тематичний випуск науково-виробничого журналу «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика». – 2012. – № 3 (19). – С. 40 – 44. – ISSN 2072-2052.

85. Ключев О.В. Багатоканальна система розривного векторного керування асинхронним вентильним каскадом (синтез і дослідження): автореф. дис. канд. техн. наук : 05.09.03 / О.В. Ключев; Нац. гірн. ун-т. – Д., 2009. – 19 с.

86. Клименко Ю.М. Розробка і дослідження асинхронних електроприводів з векторним полеорієнтованим керуванням, багатомірними ковзними режимами та ідентифікацією координат : Автореф. дис. канд. техн. наук / Ю.М. Клименко; Одес. нац. політехн. ун-т. – О., 2006. – 21 с.

87. Морозов Д.І. Синтез релейних систем векторного керування асинхронним електроприводом молоткової дробарки : Автореф. дис. канд. техн. наук / Д.І. Морозов; Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». – Х., 2006. – 20 с.

88. Волянский Р.С., Садовой А.В. Определение условий существования скользящего режима в релейных системах с нелинейной гиперплоскостью переключения. Вестник Национального технического университета «ХПИ». Серия «Электротехника, электроника и электропривод». - Харьков: НТУ «ХПИ», 2008, вып. № 30. – С. 97-98. – ISSN 2079-5459.

89. Садовой А.В., Дерез А.Л. Анализ характера скользящего режима оптимальной по быстродействию позиционной релейной СУЭП. Збірник наукових праць ДДТУ (технічні науки): Наукове видання ДДТУ. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, випуск 8, 2007. – С. 140-144.

90. Садовой А.В., Дерез А.Л. Параметрический синтез релейной системы подчиненного регулирования скорости электропривода с упругой связью. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ.- Кременчук: КДПУ, вип.3/2008 (50). Частина 1, 2008. – С. 83-87. – ISSN 1995-0519.

91. C.S. Staines, G.M. Asher, M. Sumner *Rotor-position estimation for induction machines at zero and low frequency utilizing zero-sequence currents // IEEE Transactions on Industry Applications.* – 2006. – Vol. 42, iss.1. – pp. 105-112.

92. Holtz J. *Sensorless control of induction machines – with or without signal injection? // IEEE Transactions on industrial electronics.* – 2006. – Vol. 53, no. 1. – pp. 7-30.

93. Degner M.W. *Flux, position and velocity estimation in AC machines using carrier signal injection // University of Wisconsin-Madison, 1998.-*

94. Finch J.W., Giaouris D. *Controlled AC electrical drives // IEEE Transactions on industrial electronics.* – 2008. – vol 50, no. 2. – pp. 481-491.

95. Wolbank T.M., Metwally M.K. *Saliency tracking-based sensorless control of induction machines using artificial neural networks // 12th International middle-east Power system conference.* – 2008. – pp. 377-381.

96. Metwally M.K., Wolbank T.M. *Saliency based sensorless control of induction machines at frequency overlap of signal components // 2011 IEEE Energy Conversion congress and exposition.* – 2011. – pp. 646-651.

97. Wolbank T.M., Metwally M.K. *Comparison of inherent saliency tracking methods for zero speed sensorless control of standart induction machines // 2009 IEEE International electric machines and drives conference.* – 2009. – pp. 1258-1263.

98. Samonig M.A., Wolbank T.M. *Prediction of slotting saliency in induction machines with respect to high-frequency-excitation based sensorless control // 2014 40th Annual conference of the IEEE industrial electronics society.* – 2014. – pp. 794-799.

99. Teske N., Asher G.M., Sumner M., Bradley K.J. *Suppression of saturation effects for the sensorless position control of induction motor drives under*

loaded conditions // IEEE Transactions on industrial electronics. – 2000. – pp. 1142-1150.

100. *Wolbank T.M., Metwally M.K. Separation of saliency components for speed sensorless detection of flux and rotor position of induction machines // 2008 18th International Conference on electrical machines. – 2008. – pp. 1-6.*

101. *Wolbank T.M., Metwally M.K. Sensorless position control of skewed rotor induction machines based on multi saliency extraction // 2010 Twenty-fifth annual IEEE Applied power electronics conference and exposition. – 2010. – pp. 414-419.*

102. *Mingardi D., Bianchi N., Fornasiero E., Alberti L. Induction motor with an intentionally created saliency for sensorless applications // 2013 39th Annual conference of the IEEE Industrial electronics society. – 2013. – pp. 2929-2934.*

103. *Wolbank T.M., Haidvogel B. Evaluation of the influence of design and operation of standard induction motors on sensorless control schemes utilising saliencies in the transient electrical behaviour // 2000 IEEE 31st Annual Power electronics specialists conference. – 2000. – pp. 903-908.*

104. *Pucci M., Serporta C. Finite-element analysis of rotor slotting saliency in induction motors for sensorless control // IEEE Transactions on magnetics. – 2010. – pp. 650-653.*

105. *Mingardi D., Bianchi N., Alberti L., Zeni R. Analysis and test of the sensorless capability of induction motors with created saliency // 2014 International Conference on electrical machines. – 2014. – pp. 368-374.*

106. *Pucci M., Serporta C. Rotor slotting saliency analysis of induction motor for sensorless control // 2009 35th Annual conference of IEEE Industrial electronics. – 2009. – pp. 1264-1269.*

107. *Wolbank T.M., Metwally M.K. Tracking inherent saliencies of standard induction machines for zero speed sensorless control using different signal processing methods // 2008 IEEE Power electronics specialists conference. – 2008. – pp. 4249-4255.*

108. Wolbank T.M., Metwally M.K. *Zero speed sensorless control of induction machines using rotor saliencies // 2008 Industry applications society annual meeting.* – 2008. – pp. 1-6.

109. Wolbank T.M., Metwally M.K. *Speed sensorless flux and position control of induction machines based on pulse injection and multiple saliency extraction // 2008 34th Annual conference of IEEE Industrial Electronics.* – 2008. – pp. 1403-1408.

110. Zatocil H. *Physical understanding of multiple saliencies in induction motors and their impact on sensorless control // International symposium on power electronics, electrical drives, automation and motion.* – 2008. – pp. 1503-1508.

111. Wolbank T.M., Metwally M.K. *Separation of different saliencies modulations for zero speed sensorless control of induction machines using Discrete Fourier Transform and online window length adaptation // 12th International Middle-east power system conference.* – 2008. – pp. 234-238.

112. Wolbank T.M., Woehrschimmel R. *Investigation the dependence of induction machines transient reactances on stator teeth saturation reference to sensorless control // 2001 IEEE 32nd Annual power electronics specialists conference.* – 2001. – Vol. 2. – pp. 828-833.

113. Jung-Ik Ha, Ohto M., Jang J.-H., Seung-Ki S. *Design and selection of AC machines for saliency-based sensorless control // 37th IAS Annual meeting conference record of the industry applications conference.* – 2002. – pp. 1155-1162.

114. Wolbank T.M., Machl J.L., Jager Th. *Combination of signal injection and neural networks for sensorless control of inverter fed induction machines // 2004 35th Annual power electronics specialists conference.* – 2004. – Vol. 3. – pp. 2300-2305.

115. Wolbank T.M. *Evaluation of lamination materials in zero-speed sensorless controlled induction machine drive // Proceedings of IEEE Region 10 International conference on electrical and electronic Technology.* – 2001. – Vol. 2. – pp. 613-619.

116. Saleh K., Sumner M., Qiang G., Asher G. A novel technique for sensorless control of high power induction motors using multilevel converters // 2010 IEEE energy conversion congress and exposition. – 2010. – pp. 492-499.

117. Schroedl M. Sensorless control of AC machines at low speed and standstill based on the “INFORM” method // Proceedings IEEE IAS Annual Meeting, San Diego. – 1996. – pp. 6-10.

118. Holtz J. Sensorless position control of induction motors – an emerging technology // IEEE Transactions on industry electronics. – 1998. – Vol. 45, no. 6. – pp. 840-852.

119. Caruana C., Asher G.M., Clare J.C. Sensorless flux position estimation at low and zero frequency by measuring zero-sequence current in delta-connected cage induction machines // IEEE Transactions on Industry applications. – 2005. – Vol. 41, no. 2. – pp. 609-617.

120. Holtz J., Pan H. Elimination of saturation effects in sensorless position-controlled induction motors // IEEE Transactions on industry applications. – 2004. – Vol. 40, no. 2. – pp. 623-631.

121. Holtz J., Pan H. Acquisition of rotor anisotropy signals in sensorless position control systems // IEEE Transactions on industry applications. – 2004. – Vol. 40, no. 5. – pp. 1377-1387.

122. Holtz J., Juliet J. Sensorless acquisition of the rotor position angle of induction motors with arbitrary stator windings // IEEE Transactions on Industry applications. – 2005. – Vol. 41, no. 6. – pp. 1675-1682.

123. Клендій П.Б. Енергозберігаюча система пневмотранспортування продуктів розмолу на борошномельних підприємствах: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.09.16 / П.Б. Клендій; Нац. аграр. ун-т. – К., 2007. – 21 с.

124. Ільїна О.В. Енергозберігаючі напівпровідникові перетворювачі для комунальних мереж електропостачання: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.09.12 / О.В. Ільїна; Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». – Х., 2008. – 18 с.

125. Козакевич І. А. Адаптивний спосіб компенсації нелінійних властивостей інвертора напруги для бездатчикового векторного керування на

низьких частотах обертів / І. А. Козакевич // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. - 2014. - Вип. 1. - С. 19-25. – ISSN 2072-2052.

126. Козакевич І.А. Система бездатчикового векторного керування з використанням релейних регуляторів / І.А. Козакевич // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика. Наукове видання. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 1/2015 (3). – С. 80-82. – ISSN 2221-5160.

127. Козакевич И.А. Бездатчиковое векторное управление с использованием анизотропных свойств машины / И.А. Козакевич // Наука и образование в XXI веке: сб. науч. тр. по мат-лам Междунар. науч.-практ. конф. 31 октября 2014 г.: Часть 15. Тамбов, 2014. – С. 70-71. – ISBN 978-5-906766-48-9.

128. Козакевич І.А. Дослідження адаптивних систем для бездатчикового керування асинхронними двигунами при роботі на низьких частотах обертів / І.А. Козакевич // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика. – Кременчук. – 2014. – С. 29-31. – ISSN 2221-5160.

129. Козакевич І.А. До питання використання анізотропних властивостей асинхронних двигунів для бездатчикового керування / І.А. Козакевич // Актуальні питання сучасної науки. Матеріали науково-практичної конференції. – Херсон: Видавничий дім «Гельветика». – 2014. – С. 60-65. – ISBN 978-617-7041-99-2.

130. Козакевич І.А. Спосіб бездатчикового керування асинхронними двигунами з використанням струму нульової послідовності / І.А. Козакевич // Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих. Збірник наукових праць XIV науково-технічної конференції аспірантів та студентів в м. Донецьку 22-24 квітня 2014 р. – Донецьк, ДонНТУ, 2014.

131. Козакевич І.А. Дослідження системи бездатчикового керування асинхронними двигунами з використанням їх анізотропних властивостей / І.А. Козакевич // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць XII Міжнародної науково-

технічної конференції молодих учених і спеціалістів у місті Кременчук 10-11 квітня 2014 р. – Кременчук, КрНУ, 2014. – С. 83-85. – ISSN 2221-5160.

132. Козакевич И.А. Анализ работы автономного инвертора напряжения при низком выходном напряжении и способ улучшения его формы / И.А. Козакевич // Наука XXI века: теория, практика, перспективы: сборник статей Международной научно-практической конференции (3 ноября 2014 г., г. Уфа). – Уфа: РИО МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2014. – С. 19-21. – ISBN 978-5-9905931-5-2.

133. Козакевич И.А. Исследование адаптивного наблюдателя полного порядка для низких угловых скоростей двигателя / И.А. Козакевич // Перспективи розвитку сучасної науки. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Львів, 5-6 грудня 2014 року). – Херсон: Видавничий дім «Гельветика», 2014. – С. 65-67. – ISBN 978-617-7041-83-8.

134. Осадчук Ю.Г. Исследование энергетических характеристик частотно-регулируемых электроприводов / Ю.Г. Осадчук, И.А. Козакевич, А.Н. Зиненко// Вісник Криворізького технічного університету. – 2008. – Вип. 20. – С. 126-130. – ISSN 2306-5451.

135. Козакевич І.А. Улучшение динамических показателей приводов со скалярным управлением / І.А. Козакевич, Д.О. Швидкий// Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць XIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів у місті Кременчук 8-9 квітня 2015 р. – 2015. – Кременчук, КрНУ. – С. 134-135. – ISSN 2221-5160.

136. *J. Holtz, J. Quan Sensorless vector control of induction motors at very low speed using a nonlinear inverter model and parameter identification // IEEE Transactions on Industry Application. – 2002. – Vol. 38, iss. 4. – pp. 1087-1095.*

137. *Teske N., Asher G.M., Bradley K.J., Summer M. Analysis and suppression of inverter clamping saliency in sensorless position controlled induction machine drives // Thirty-sixth IAS annual meeting. Industry applications conference. – 2001. – pp. 2629-2636.*

138. Михальський В.М. Матричні перетворювачі для електропривода (керування, комутація струму) : Автореф. дис. канд. техн. наук : 05.09.12 / В.М. Михальський; НАН України. Ін-т електродинаміки. – К., 2003. – 19 с.

139. Шаповал І.А. Система генерування електричної енергії на основі машини подвійного живлення з матричним перетворювачем: Автореф. дис. канд. техн. наук : 05.09.03 / І.А. Шаповал; НАН України. Ін-т електродинаміки. – К., 2003. – 19 с.

140. Вержановська М.Р. Ідентифікація параметрів силової схеми та навантаження в перетворювачах частоти: Автореф. дис. канд. техн. наук : 05.09.12 / М.Р. Вержановська; Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». – Х., 2005. – 20 с.

141. *Wolbank T.M., Haidvogel B. Influence of different inverter control and test generation schemes on sensorless control of AC machines // Power electronics and variable speed drives. – 2000. – pp. 280-285.*

142. *Kumar R., Das. S., Syam P., Chattopadhyay A.K. Review on model reference adaptive system for sensorless vector control of induction motor drives // IET Electric power applications. – 2015. – Vol. 9, iss. 7. – pp. 496-511.*

143. Пересада С. М. Робастність алгоритмів косвенного векторного управління асинхронними двигателями к вариациям активного сопротивления ротора / С. М. Пересада, В. С. Бовкунович // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2011. – № 11 (186). – С. 296 – 300. – ISSN 2075-4272.

144. Йовбак В.Д. Асинхронний електропривод з векторним керуванням напругою фазного ротора: Автореф. дис. канд. техн. наук / В.Д. Йовбак; Нац. ун-т «Львів. політехніка». – Л., 2005. – 19 с.

145. Шевченко С.Б. Асинхронний частотнорегульований електропривод з покращеними енергетичними показниками: Автореф. дис. канд. техн. наук:05.09.03 / С.Б. Шевченко; Одес. нац. політехн. ун-т. – О., 2004. – 23 с.

146. *Gunabalan R., Subbiah V. Performance characteristics of speed-sensorless vector control of parallel connected induction motor drive // 2013*

International conference on Energy efficient technologies for sustainability. – 2013. – pp. 776-780.

147. Михайлюта С.Л. Вдосконалення обчислювального пристрою частотно-струмових та векторних систем керування об'єктів з асинхронними машинами : Автореф. дис. канд. техн. наук / С.Л. Михайлюта; Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси, 2006. – 20 с.

148. Потапенко Є.Є. Векторне керування асинхронними двигунами : Автореф. дис. канд. техн. наук : 05.13.03 / Є.Є. Потапенко; Харк. нац. ун-т радіоелектрон. – Х., 2005. – 20 с.

149. Джура О.В. Однофазний автономний асинхронний генератор з вентильно-ємнісним збудженням: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.09.01 / О.В. Джура; Ін-т електродинаміки НАН України. – К., 2008. – 19 с.

150. Ципленков Д.В. Пристрої спостереження у асинхронному електроприводі з векторним керуванням: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.09.03 / Д.В. Ципленков; Нац. гірн. акад. України. – Д., 2002. – 19 с.

151. Сергієнко С.А. Підвищення якісних показників систем підпорядкування регулювання електроприводів на основі модифікованого принципу симетрії: Автореф. дис. канд. техн. наук : 05.09.03 / С.А. Сергієнко; Нац. гірн. ун-т. – Д., 2004. – 19 с.

152. Скалько Ю.С. Підвищення точності та енергоефективності високовольтного частотно-регульованого асинхронного електропривода: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.09.03 / Ю.С. Скалько; ДВНЗ «Нац. гірн. ун-т». – Д., 2011. – 19 с.

153. Мазур Р.А. Поліпшення регульовальних та енергетичних характеристик багатомоторного асинхронного електропривода механізму пересування коксових машин : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.09.03 / Р.А. Мазур; Нац. гірн. ун-т. – Д., 2010. – 19 с.

154. Король С.В. Сравнительное исследование алгоритмов управления входным преобразователем / С.В. Король, О.В. Сергиенко // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2011. – Вип. 3. – С. 317-318. – ISSN 2221-3805.

155. Колб А.А. Теорія електроприводу: навч. посіб. / А.А. Колб, А.А. Колб; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид., переробл. і доповн. – Д., 2011. – 565 с. – ISBN 978-966-350-268-7.

156. Акимов Л.В. Улучшение динамики трехкратноинтегрирующего асинхронного электропривода с векторным управлением методом диаграмм качества управления / Л.В.

Акимов, Д.Г. Литвиненко // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2011. – Вип. 2. – С. 13-19. – ISSN 2221-3805.

157. Бурбело М.Й. Алгоритми вимірювання електричних параметрів асинхронних двигунів / М.Й. Бурбело, О.М. Кравець // Технічна електродинаміка. – 2009. – № 6. – С. 33-37. – ISSN 1607-7970.

158. Островерхов М.Я. Пряме векторне керування швидкістю лінійного асинхронного двигуна на основі концепції зворотних задач динаміки / М.Я. Островерхов, О.І. Яремов // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2011. – Вип. 3. – С. 26-30. – ISSN 2072-2052.

159. Кононов Б.Т. Система керування частотно-регульованим електроприводом на базі асинхронного електричного двигуна / Б.Т. Кононов, А.О. Нечаус, Н.М. Рябуха // Зб. наук. пр. Харк. ун-ту Повітр. сил. – 2014. – Вип. 3. – С. 136-140. – ISSN 1681-7710.

160. Фоменко А.М. Комплектні електроприводи : навч. посіб. для студ. ВНЗ: у 3 ч. Ч. 2. Цифрові комплектні електроприводи / А. М. Фоменко, Д. Ю. Шарейко. - Миколаїв, 2014. – 142 с. – ISBN 978-966-321-261-6.

161. Михальський В.М. Максимізація діапазону керування матричними перетворювачами / В. М. Михальський, В. М. Соколов, В. В. Чопик, І. А. Шаповал // Техн. електродинаміка. – 2015. – № 1. – С. 7-13. – ISSN 1607-7970.

162. Дорошенко А. Л. Режими роботи та алгоритми керування електромеханічними системами з машиною подвійного живлення та різними типами перетворювачів частоти / А. Л. Дорошенко // Вісн. Вінниц. політехн. ін-ту. – 2014. – № 2. – С. 57-59. – ISSN 1997-9266.

163. Островерхов М.О. Непряме векторне керування швидкістю лінійного асинхронного двигуна з урахуванням впливу кінцевих ефектів / М.О. Островерхов // Вісн. Вінниц. політехн. ін-ту. – 2012. – № 2. – С. 139-142. – ISSN 1997-9266.

164. Пересада С. М. Порівняльне дослідження алгоритмів керування моментом асинхронного електропривода тролейбуса / С. М. Пересада, С. С. Димко // Вісн. Вінниц. політехн. ін-ту. – 2011. – № 6. – С. 134-137. – ISSN 1997-9266.

165. Клименко Ю.М. Практическая реализация асинхронных электроприводов с векторным полеориентированным управлением / Ю.М. Клименко, А.В. Садовой, Ю.Ю. Клименко // Электромеханические системы и автоматизация. – 2007. – С. 85-89. – ISSN 2079-5106.

166. Холод О. І. Енергозберігаючі напівпровідникові перетворювачі для систем електропостачання транспорту: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.09.12 / О. І. Холод; МОНМС України, Нац. техн. ун-т "Харк. політехн. ін-т". – Х., 2013. – 19 с

167. Садовой А.В., Сухинин Б.В., Сохина Ю.В. Системы оптимального управления прецизионными электроприводами // Под ред. А.В. Садового. – К.: ИСИМО, 1998. – 298 с.

168. Білецький Ю. О. Енергоформуєче керування електромеханічними системами на базі синхронної машини з постійними магнітами : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.09.03 / Ю. О. Білецький; Нац. ун-т "Львів. політехніка". - Львів, 2014. – 20 с.

169. Мисак Т. В. Усунення паразитних циклів комутації при векторному керуванні вхідним струмом матричного перетворювача в реальному ковзному режимі / Т. В. Мисак, В. М. Михальський // Техн. електродинаміка. - 2014. – № 5. – С. 77-79. – ISSN 1607-7970.

170. Мірошник Д. М. Удосконалення системи керування для підвищення енергетичної ефективності тягового частотно-регульованого асинхронного електропривода з живленням від акумуляторної батареї: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.09.03 / Д. М. Мірошник; ДВНЗ "Донец. нац. техн. ун-т". - Донецьк, 2012. – 20 с.

171. Куланіна Є. В. Прості методи синтезу та аналізу векторного керування асинхронними електроприводами : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.09.03 / Є. В. Куланіна; Одес. нац. політехн. ун-т. - О., 2013. – 21 с.

172. TMS320F28335, TMS320F28334, TMS320F28332 TMS320F28235, TMS320F28234, TMS320F28232 Digital Signal Controllers (DSCs) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.ti.com/lit/ds/sprs439m/sprs439m.pdf