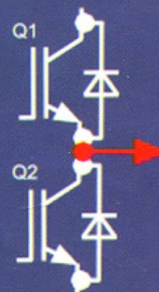
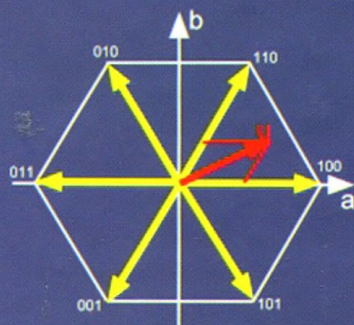
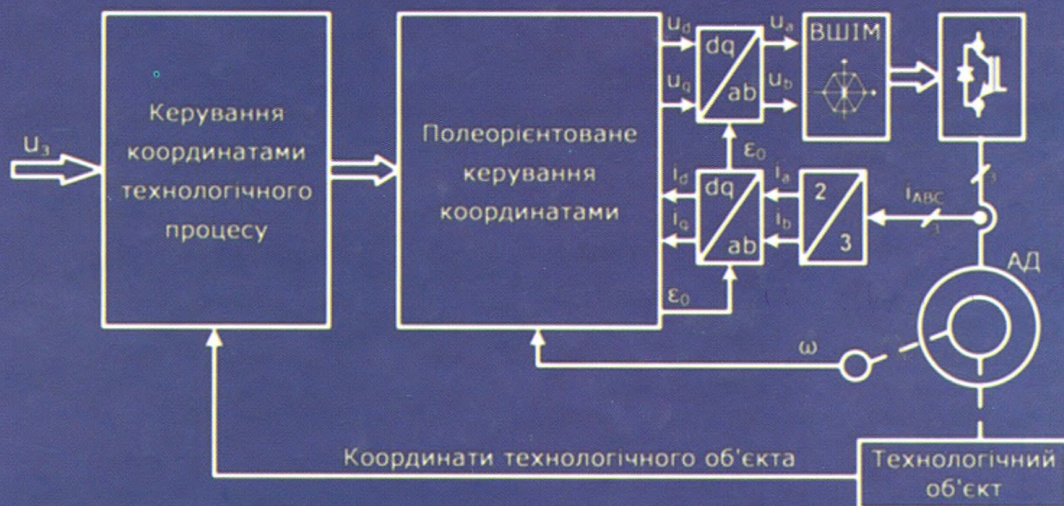


621.314
E62

М.В. ЗАГІРНЯК, В.Б. КЛЕПІКОВ, С.М. КОВБАСА
В.М. МИХАЛЬСЬКИЙ, С.М. ПЕРЕСАДА,
О.В. САДОВОЙ, І.А. ШАПОВАЛ

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ ШИРОКОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ

**М. В. Загірняк, В. Б. Клепіков, С. М. Ковбаса,
В. М. Михальський, С. М. Пересада,
О. В. Садовой, І. А. Шаповал**

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ
СИСТЕМИ ШИРОКОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО
ПРИЗНАЧЕННЯ**

Київ
2018

УДК 621.31

Друкується
за постановою
вченої ради Інституту електродинаміки НАН України
(Протокол №14 від 7 грудня 2017 року)

Р е ц е н з е н т и : О. В. Кириленко, академік НАН України
О.С. Бешта, член-кореспондент НАН України

Енергоефективні електромеханічні системи широкого технологічного призначення. Монографія / Загірняк М. В., Клепиков В. Б., Ковбаса С. М., Михальський В. М., Пересада С. М., Садовой О. В., Шаповал І. А. - Київ, Інститут електродинаміки НАН України, 2018. - 310 с.
ISBN 978-966-02-8403-6

У монографії представлено результати досліджень засобів підвищення енергоефективності електромеханічних систем різного технологічного призначення. На основі розвитку теорії векторного керування отримано теоретичне узагальнення та нове вирішення актуальної науково-практичної проблеми синтезу та аналізу електромеханічних систем з векторно-керованими електроприводами. Розроблено метод бездавачевого (без вимірювання механічних координат) векторного керування в електромеханічних системах з асинхронними двигунами. Визначено границі області існування сімейства функцій нульової послідовності для підмодуляції завдання вихідних напруг напівпровідникових перетворювачів для електропривода при застосуванні широтно-імпульсної модуляції. Обґрунтовано використання спектра сигналу споживаної трифазним двигуном потужності для діагностики його дефектів. Розглянуто методологію структурно-алгоритмічного синтезу систем оптимального керування технологічними об'єктами на основі модифікованого принципу симетрії. Розроблено теоретичні основи динаміки широкого класу електромеханічних систем з нелінійним тертям. Представлено результати експериментальних досліджень та впровадження енергоефективних електроприводів.

Для фахівців, які займаються розробкою і дослідженням електричних приводів, аспірантів і студентів відповідних спеціальностей.

В монографіи представлены результаты исследований средств повышения энергоэффективности электромеханических систем различного технологического назначения. На основе развития теории векторного управления получено теоретическое обобщение и новое решение актуальной научно-практической проблемы синтеза и анализа электромеханических систем с векторно-управляемыми электроприводами. Разработан метод бездатчикового (без измерения механических координат) векторного управления в электромеханических системах с асинхронными двигателями. Определены границы области существования семейства функций нулевой последовательности для подмодуляции задания выходных напряжений полупроводниковых преобразователей для электропривода при использовании широтно-импульсной модуляции. Обосновано использование спектра сигнала потребляемой трехфазным двигателем мощности для диагностики его дефектов. Рассмотрена методология структурно-алгоритмического синтеза систем оптимального управления технологическими объектами на основе модифицированного принципа симметрии. Разработаны теоретические основы динамики широкого класса электромеханических систем с нелинейным трением. Представлены результаты экспериментальных исследований и внедрения энергоэффективных электроприводов.

Для специалистов, занимающихся разработкой и исследованием электрических приводов, аспирантов и студентов соответствующих специальностей.

ISBN 978-966-02-8403-6

© Інститут електродинаміки НАН України, 2018

Перелік скорочень.....	3
Передмова.....	5
Розділ 1	
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ.....	11
1.1. Загальні визначення.....	11
1.2. Електромеханічне перетворення енергії в загальному енерго- споживанні.....	12
1.3. Стан проблеми використання енергетичних ресурсів в Україні. Аналіз ролі збереження електроенергії як засобу збереження енергоресурсів.....	13
1.4. Електромеханічні системи - основна база економії електроенергії.....	17
1.5. Синергетичний (множувальний) ефект енергозбереження при впровадженні електромеханічних систем.....	19
1.6. Систематизація електромеханічних систем за технологічним призначенням. Технології енергозбереження засобами електропривода...	20
Розділ 2	
ТЕОРІЯ ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ З ПІДВИЩЕНИМИ ДИНАМІЧНИМИ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ.....	28
2.1. Формалізація задач та концепція керування нелінійними електромеханічними об'єктами в ЕМС з векторно-керуваними електричними машинами.....	30
2.1.1. Класифікація та формалізація задач керування нелінійними електромеханічними об'єктами.....	30
2.1.2. Концепція керування в ЕМС з векторно-керуваними ЕМ.....	33
2.2. Узагальнений метод синтезу алгоритмів векторного керування.....	36
2.3. Векторне керування при повністю вимірюваному векторі стану.....	39
2.4. Векторне керування при частково вимірюваному векторі стану.....	41
2.5. Векторне керування при надлишковості керуючих дій.....	48
2.6. Метод синтезу алгоритмів керування кутовою швидкістю.....	51
2.7. Керування кутовим положенням.....	57

Зміст

2.8.	Робастне та інваріантне керування координатами асинхронних двигунів.....	58	
2.9.	Адаптивне керування в ЕМС.....	65	
2.10.	Ідентифікація електричних параметрів АД для самоналаштування системи векторного керування АД (функція “self commissioning”).....	68	
2.11.	Векторне керування моментом АД с максимізацією співвідношення момент-струм.....	70	
2.12.	Бездавачеве векторне керування кутовою швидкістю АД.....	74	
2.12.1.	Постановка задачі керування.....	74	
2.12.2.	Алгоритм бездавачевого керування.....	75	
2.12.3.	Експериментальне тестування.....	75	
Розділ 3			
ПРЯМЕ ВЕКТОРНЕ КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМИ ДВИГУ-			
НАМИ БЕЗ ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ КООРДИНАТ.....			78
3.1.	Постановка задачі бездавачевого керування кутовою швидкістю та модулем вектора потокозчеплення АД.....	82	
3.2.	Підсистема потокозчеплення при прямому полеорієнтуванні.....	84	
3.3.	Підсистема регулювання кутової швидкості.....	85	
3.4.	Формування контурів регулювання струмів.....	85	
3.5.	Спостерігач кутової швидкості.....	87	
3.6.	Дослідження стійкості.....	88	
3.7.	Результати дослідження динамічних та статичних характеристик методом математичного моделювання та на експериментальних установках.....	105	
Розділ 4			
КЕРУВАННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ			
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ.....			114
4.1.	Основні вимоги до напівпровідникових перетворювачів частоти і напруги в складі електромеханічних систем.....	116	
4.2.	Керування автономними інверторами напруги із забезпеченням максимального коефіцієнта модуляції.....	118	

Зміст

4.3.	Широтно-імпульсна модуляція при векторному керуванні автономними інверторами напруги.....	134
4.4.	Пульсації електромагнітного моменту асинхронних двигунів при керуванні від автономного інвертора напруги з широтно-імпульсною модуляцією.....	145
4.5.	Алгоритми широтно-імпульсної модуляції в матричних перетворювачах для електромеханічних систем.....	150
4.5.1.	Побудова циклів ШІМ в МП для здійснення безпечних комутацій змінного струму.....	154
Розділ 5		
ДІАГНОСТИКА СИЛОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ.....		159
5.1.	Актуальність.....	159
5.2.	Аналіз попередніх досліджень.....	161
5.3.	Діагностика елементів електромеханічних систем змінного струму на основі використання теорії миттєвої потужності.....	162
5.4.	Визначення енергоефективності роботи АД.....	168
5.5.	Визначення оптимального періоду експлуатації АД.....	172
5.6.	Економічне обґрунтування ефективності впровадження енергозберігаючих технологій.....	179
Розділ 6		
МЕТОДОЛОГІЯ СТРУКТУРНО-АЛГОРИТМІЧНОГО СИНТЕЗУ СИСТЕМ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНОГО ПРИНЦИПУ СИМЕТРІЇ.....		185
6.1.	Концепції зворотних задач динаміки. Властивість симетрії систем автоматичного керування.....	185
6.2.	Модифікація принципу симетрії і розв'язання задачі аналітичного конструювання регуляторів.....	189
6.3.	Функціонали якості та лінійні керування. Побудова функції Ляпунова для замкнених систем оптимального керування.....	195
6.4.	Функціонали якості та релейні керування.....	202
6.5.	Синтез системи релейно-векторного керування асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором.....	208

Зміст

6.6.	Синтез електромеханічної системи керування витратами загального повітря парового котлоагрегату.....	210	
Розділ 7			
КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ З НЕЛІНІЙНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ.....			214
7.1.	Принципи керування при нормальному й аномальному режимах проковзування.....	215	
7.2.	Синтез стійких електромеханічних систем з від'ємним в'язким тертям.....	218	
7.3.	Методика синтезу стійкої ЕМС з ВВТ із заданими динамічними показниками.....	225	
7.4.	Квазінейрорегулювання. Синтез електромеханічних систем із квазінейрорегулятором.....	229	
7.5.	Явище підсилення коливань нелінійністю тертя.....	236	
Розділ 8			
ОСНОВНІ СФЕРИ РЕАЛІЗАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ.....			244
8.1.	Уніфіковані векторно-керовані електроприводи змінного струму.....	244	
8.2.	Турбомеханізми.....	254	
8.3.	Парові котлоагрегати.....	264	
8.4.	Кульові барабанні млини.....	266	
8.5.	Пристрої виявлення та усунення буксування валків прокатного стану.....	270	
РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ.....			274
Список використаної літератури.....			279
Додаток А.....			291
Зміст.....			307