

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Шеремета Олексія Івановича

на тему «СИНТЕЗ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ НА БАЗІ ДИСКРЕТНОГО ЧАСОВОГО ЕКВАЛАЙЗЕРА», що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи

Актуальність обраної теми. Для синтезу систем регулювання електро-механічних об'єктів переважно застосовуються методи, визначені в теорії автоматичного керування. Протягом тривалого часу в більшості випадків при визначенні параметрів регуляторів використовується модульний критерій, який базується на розгляді передавальної функції замкненого контуру регулювання у загальному, у тому числі дискретному вигляді, що відповідає реалізації результатів з урахуванням властивостей силових перетворювачів електроенергії та мікропроцесорних контролерів. Такий метод має поширення і на системи з регуляторами стану, які задовольняють вимоги більш складних об'єктів. Між тим, переважно використовуються методи, що базуються на стандартних характеристичних поліномах у неперервному вигляді, що потребує додаткової модифікації отриманих результатів з орієнтуванням на сучасні цифрові керуючі пристрої. Безумовно є доцільною розробка нових підходів до керування об'єктами на основі сучасних досягнень науки і техніки.

Розвиток сучасної мікропроцесорної техніки та її широке впровадження у промисловість дозволяє реалізовувати складні алгоритми та зводити роботу інженера-проектувальника до функцій користувача програмного забезпечення з ергономічним інтерфейсом та ознаками штучного інтелекту. При такому підході більшість функцій при здійсненні розробки систем керування виконується за допомогою комп'ютерної техніки, а користувачеві необхідно лише враховувати вимоги до технологічного процесу та можливості певного обладнання.

У дисертаційній роботі враховані зазначені аспекти сучасного науково-технічного рівня у сфері керування об'єктами, що визначило спрямованість роботи на розвиток нових підходів до розробки законів керування електро-механічними системами, виходячи з умов забезпечення бажаних динамічних властивостей процесів регулювання вихідної координати. Отже, роботу присвячено вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми.

Актуальність та перспективність дисертаційної роботи підтверджується проведенням досліджень у рамках держбюджетних науково-дослідних робіт:

«Розробка та дослідження методик аналізу та синтезу автоматизованих електро-механічних систем та електротехнічних комплексів» (ДР № 0114U003944), «Розробка інформаційних технологій для вирішення завдань інтелектуального аналізу даних у машинобудуванні на основі методів інженерії знань» (ДР № 0115U003126), «Розробка наукових основ метода структурно-алгоритмічного синтезу електротехнічних та електромеханічних систем, заданих інтервально» (ДР № 0116U005951) та за участі здобувача у міжнародному проекті TEMPUS-project 544091-TEMPUS-1-2013-1-BE-TEMPUS-JPCR «Розробка курсів з вбудованих систем з використанням інноваційних віртуальних підходів для інтеграції науки, освіти та промисловості в Україні, Грузії, Вірменії» (DESIRE).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації, їх достовірність. Ступінь обґрунтованості отриманих у дисертації наукових положень і висновків є достатнім та підтверджується проведенням комплексних досліджень із застосуванням відомих теоретичних та експериментальних методів, збігом результатів теоретичних розробок і комп'ютерного моделювання, їх підтвердженням лабораторними випробуваннями. Основні наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи виконано з використанням фундаментальних положень аналізу та синтезу дискретних систем автоматичного керування, а також методів математичного аналізу. Висновки та рекомендації достатньо обґрунтовані коректністю постановки та розв'язання задач досліджень, застосуванням загальновідомих положень і фундаментальних законів електротехніки, загальної теорії електроприводу, теорії автоматичного керування, методів прикладної математики та концепції зворотних задач динаміки.

Достовірність результатів дисертаційної роботи підтверджується збігом даних, які отримані шляхом експериментальних досліджень розроблених методів та алгоритмів на математичних моделях і лабораторно-дослідному стенді.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і складається із вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків.

Дисертація виконана у 2-х томах: том 1 складається з анотації двома мовами, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел із 405 найменувань; том 2 містить 18 додатків. Загальний обсяг тому 1 становить 476 сторінок, у тому числі 428 сторінок основної частини, включаючи: 85 рисунків по тексту, 216 рисунків на 109 окремих сторінках, 11 таблиць по тексту, 11 таблиць на 11 окремих сторінках. Загальний обсяг тому 2 (додатків) становить 130 сторінок. Додатки містять 92 рисунка, 18 таблиць, 10 лістингів програм, 2 показові вибірки з даними, список публікацій здобувача.

У першому розділі виконується огляд існуючих методів синтезу систем автоматичного регулювання. Приділяється увага як класичним методам синтезу, що мають багаторічну історію застосування у інженерній практиці, так і сучасним методам синтезу, які розроблені вітчизняними та зарубіжними вченими впродовж останніх кількох десятиріч. Виконується критичний аналіз традиційних та сучасних методів синтезу автоматизованих електромеханічних систем, а також наводиться їх умовна класифікація за призначенням.

Робиться висновок, що в більшості випадків для розв'язання загальних задач керування електроприводами використовують універсальні методи синтезу, які ґрунтуються на стандартних формах характеристичних поліномів. Стверджується, що при такому підході не можна у повній мірі врахувати динамічні особливості реальних систем автоматичного керування.

Пропонується задавати бажані перехідні функції, виходячи виключно з технологічних вимог до електромеханічної системи та можливостей технічної реалізації на обраному виді обладнання. З урахуванням специфіки функціонування програмних засобів визначено доцільність бажану перехідну функцію представляти у дискретній часовій формі.

Другий розділ присвячено розробці нового методу синтезу систем керування електромеханічними об'єктами. Метод виходить з умов одержання бажаних перехідних функцій у вигляді числових значень, дискретних у часі. Послідовність цих значень може задаватися різноманітними способами в залежності від вимог об'єкта керування.

Запропонований підхід має реалізовувати регулятор, який здійснює керуючий вплив та детерміновано забезпечує задані значення перехідної функції на кожному часовому інтервалі дискретності. Специфіку роботи такого регулятора підкреслено введенням терміном «дискретний часовий еквайзер», що знайшло відображення в назві запропонованого методу синтезу закону керування.

Третій розділ присвячено розгляду варіантів застосування дискретних часових еквайзерів у системах керування електроприводами постійного струму як на локальному рівні – при керуванні однією технологічною координатою, так і на більш високих рівнях, коли технологічний процес забезпечується багатодвигунними електроприводами, робота яких пов'язана через оброблюваний матеріал або деяку цільову функцію. Також у даному розділі розробляється система двозонного регулювання швидкості електроприводу постійного струму на базі дискретного часового еквайзера, яка дозволяє виконувати регулювання як зміненням напруги на якорі, так і зміненням магнітного поля двигуна.

Четвертий розділ присвячено керуванню автоматизованими електроприводами змінного струму на базі синтезу дискретного часового еквайзера. Всі

математичні перетворення та чисельні розрахунки виконуються із застосуванням математичних моделей асинхронного двигуна в обертовій двофазній ортогональній системі координат. Крім того, використовується система відносних одиниць з рівними взаємними індуктивностями між статорними і роторними обмотками, а також між фазними обмотками ротора.

Визначення обернених моделей виконується із застосуванням декомпозиції та лінеаризації математичних моделей асинхронного двигуна. При цьому об'єкти керування, відносно яких знаходяться обернені моделі, розглядаються окремо для контуру реактивної та контуру активної потужностей. Знаходяться передатні функції об'єктів керування та їх обернених моделей для двох випадків орієнтації системи координат: за вектором потокозчеплення ротора та за вектором потокозчеплення статора.

Синтез системи векторного керування електроприводом змінного струму на базі дискретного часового еквалайзера у відносних одиницях виконується із застосуванням двох складових частин: системи стабілізації потокозчеплення та системи керування швидкістю.

П'ятий розділ використовує результати, отримані у другому та третьому розділах та відображає результати виконання експериментальних досліджень системи автоматичного керування швидкістю двигуна постійного струму, синтезованої на базі дискретного часового еквалайзера.

Для виконання наведених у п'ятому розділі експериментальних досліджень створено лабораторно-дослідний стенд. Основу стенда складає двигун постійного струму незалежного збудження, механічне навантаження якого здійснюються електромашиною постійного струму зі збудженням від постійних магнітів. Живлення якірного кола приводного двигуна забезпечує транзисторний перетворювач, який функціонує за принципом широтно-імпульсної модуляції з частотою 10 кГц.

Всі елементи керування: дискретний часовий еквалайзер, обернена модель об'єкта керування, блок модифікації зворотного перетворення реалізовані програмним шляхом за допомогою сигнального мікроконтролера сімейства C2000 фірми Texas Instruments. Для цього застосовано інтегрований пакет Code Composer Studio та мову програмування C/C++.

Надано інформацію щодо впровадження результатів наукових досліджень у виробництво для електромеханічної системи погойдування сортового прокату у методичній печі. У результаті підвищено якість сортового прокату завдяки забезпеченню рівномірного прогріву заготовки.

У шостому розділі вирішується задача ідентифікації допустимості квантованих бажаних перехідних функцій за допомогою метода опорних векторів,

пропонується алгоритм ідентифікації допустимості квантованих бажаних перехідних функцій. За допомогою мови програмування Python та бібліотеки scikit-learn створюється програмне забезпечення для навчання та перевірки коректності функціонування моделей, що базуються на методі опорних векторів.

У висновках на підставі проведених теоретичних та експериментальних досліджень здобувачем визначено відповідність отриманих результатів поставленим задачам.

Наукова новизна визначається у таких результатах, викладених у дисертації:

- здійснено аналіз застосування розкладання Гевісайда для синтезу регуляторів, на основі чого визначені обмеження, які полягають у відображенні динамічного процесу у вигляді відношення двох раціональних поліномів, які мають тільки прості (некратні) корені;

- розроблено метод синтезу передавальної функції цифрового регулятора, визначеного як дискретний часовий еквайзер, з використанням модифікованого принципу симетрії структурних схем, який забезпечує реалізацію перехідної функції системи регулювання, заданої у вигляді часової послідовності дискретних величин, з урахуванням динамічних особливостей об'єкта керування та вимог технологічного процесу;

- запропоновано структуру системи керування з двома дискретними часовими еквайзерами, яка дозволяє забезпечити підвищення динамічної точності та зниження чутливості систем автоматичного керування до параметричних та координатних збурень;

- розроблено метод ідентифікації допустимості квантованих бажаних перехідних функцій, який базується на методі опорних векторів і дозволяє здійснити перевірку реалізованості синтезованої системи керування.

Практичну значимість дисертаційної роботи мають:

- отримані математичні моделі низки об'єктів керування, результати синтезу відповідних дискретних часових еквайзерів і моделювання електромеханічних систем як постійного, так і змінного струму;

- методика завдання базисних величин та бажаної перехідної функції у відносних координатах, що дозволяє користувачеві вводити дані у відповідності до заздалегідь визначеного шаблону, який є зручним для виконання подальшої перевірки на можливість фізичної реалізації;

- програмне забезпечення, розроблене в інтегрованому середовищі проектування Code Composer Studio на мові програмування C/C++;

- методика виконання експериментальних досліджень;

- програмне забезпечення навчання та перевірки коректності

функціонування SVM-моделей.

Практична цінність роботи підтверджена актами про впровадження результатів дисертаційної роботи на НВО «Дніпрофмаш» та у навчальний процес в Донбаській державній машинобудівній академії.

Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях та апробація роботи.

Основний зміст дисертаційної роботи викладено в 33 наукових працях, з них 1 монографія, 24 статті у наукових фахових виданнях України (5 – у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз), 1 – у закордонному періодичному фаховому виданні, 4 – у тезах доповідей міжнародних конференцій (2 – у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз), 1 стаття у матеріалах закордонного міжнародного симпозіуму.

Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на Міжнародних науково-технічних конференціях: «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика» (Крим, смт. Миколаївка, 2007 р.; м. Харків, 2013, 2017 рр.), «Електромеханічні системи, методи моделювання та оптимізації» (м. Кременчук, 2009 р.), «Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації» (м. Кременчук, 2016 р.); Міжнародній науковій конференції «Modern electrical and energy systems» (м. Кременчук, 2017 р.); Міжнародних науково-практичних конференціях: «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій» (м. Запоріжжя, 2016 р.), «Проблеми інфокомунікацій. Наука і технології» (м. Харків, 2016, 2017 рр.); Міжнародних симпозіумах: «Development of Embedded System Courses with implementation of Innovative Virtual approaches for integration of Research, Education and Production in UA, GE, AM» (Бельгія, Сінт-Кателейне-Вавер, 2015 р.), «Embedded systems and trends in teaching engineering» (Словаччина, Нітра, 2016 р.).

Зауваження до дисертації:

1. Невдало сформульовані положення наукової новизни та практичного значення дисертації.

2. Не приділено уваги аналізу властивостей регуляторів, які функціонують дискретно у часі, але синтез яких здійснюється без використання стандартних характеристикних поліномів на основі модульного критерію або з умов дискретних часових процесів кінцевої тривалості.

3. Наявність багатократного диференціювання в процесі реалізації регулювання сприятиме підсиленню високочастотних перешкод, що негативно вплине на працездатність електромеханічної системи.

4. Система з двома дискретними часовими еквалайзерами не є системою з комбінованим керуванням, оскільки обидва еквалайзера функціонують в залежності від похибки регулювання.

5. Немає експериментального підтвердження, що система з двома дискретними часовими еквалайзерами характеризується меншою чутливістю до параметричних і координатних збурень.

6. У запропонованому підході до здійснення регулювання відсутня складова, яка забезпечить обмеження сили струму в об'єкті, що може мати наслідком або аварійні відключення, або навіть вихід з ладу електротехнічного обладнання.

7. Синтез систем керування виконувався без врахування часових дискретних властивостей силових перетворювачів, які є визначальними при реалізації оберненої моделі об'єкта регулювання. При синтезі систем керування, які функціонують дискретно у часі, є некоректним представлення силових перетворювачів неперервною ланкою з фіктивною сталою часу.

8. Не зрозуміло, яким може бути перехідний процес окрім визначених дисертантом як монотонний, аперіодичний та коливальний. У роботі не надано прикладу процесу, який не відповідає зазначеним процесам.

9. Недостатньо уваги приділено дослідженням впливу параметричних та координатних збурень на функціонування систем.

10. Невдало відображено низка результатів моделювання процесів регулювання в системі з асинхронним двигуном, наданих у розділі 4, на яких до 80 % часу становить сталий режим.

11. Розділи роботи перенасичені другорядною інформацією, зокрема деталізацією моделей в пакеті Matlab, що знижує рівень роботи.

12. Перевірку функціонування розглянутих систем з дискретним часовим еквалайзером не було виконано з використанням блоків силових перетворювачів бібліотеки SimPowerSystems пакету MATLAB, що дало б можливість оцінити вплив дискретного функціонування перетворювачів.

13. У авторефераті дисертації відсутні графіки перехідних процесів регулювання на основі дискретного часового еквалайзера.

Висновок. Дисертаційна робота Шеремета Олексія Івановича на тему «Синтез електромеханічних систем на базі дискретного часового еквалайзера» є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу науково-прикладну проблему розробки нових методів синтезу систем керування електромеханічними об'єктами, виходячи з умови забезпечення бажаних динамічних властивостей за вихідною координатою у вигляді перехідної функції, заданої часовою послідовністю дискретних величин.

За актуальністю обраної теми, обсягом та рівнем виконаних досліджень, повнотою вирішення наукових та практичних задач, новизною та ступенем обґрунтованості отриманих результатів та практичних висновків дисертаційна робота відповідає вимогам, які ставляться до докторських дисертацій, а за змістом поданого в ній матеріалу – паспорту спеціальності 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи. Оформлення роботи відповідає вимогам, які пред'являються до докторських дисертацій, а автореферат повністю відображає основні положення дисертації.

З аналізу роботи видно, що дисертант володіє сучасними методами теоретичних та експериментальних досліджень, має гарну математичну підготовку, суттєвий досвід роботи з електронною і мікропроцесорною технікою та сучасним програмним забезпеченням.

Зроблені зауваження принципово не знижують високого наукового і практичного рівня дисертаційної роботи, яка в повній мірі відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. щодо здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, а її автор Шеремет Олексій Іванович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи.

Офіційний опонент, завідувач кафедри
автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Кременчуцького національного університету імені
Михайла Остроградського,
доктор технічних наук, доцент

 С.С. Старостін

