

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Копчака Богдана Любомировича «Аналіз і синтез електромеханічних систем, які описуються дробовими інтегрально-диференційними ланками», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи

Актуальність теми. На сьогоднішній день проблема забезпечення ефективності керування виробничими процесами залишається актуальною. Підвищуються вимоги до показників якості керування, а це вимагає відповідного розвитку теорії. Останніми роками застосування дробового числення в теорії керування, при аналізі і синтезі ЕМС, та застосування П^λД^μ-регуляторів дробового порядку дозволило покращити якість перехідних процесів, при цьому підвищити запас стійкості порівняно з аналогічними системами, у яких використовуються класичні (цілого порядку) регулятори. Проте на сьогоднішній день проблема синтезу та апаратної реалізації регуляторів дробового порядку, як аналогових, так і цифрових, а також дослідження їх можливостей в автоматизованих ЕМС є актуальною і потребує вирішення.

Дисертаційна робота Копчака Богдана Любомировича присвячена розв'язку саме такої науково-практичної проблеми.

Наукова новизна. Наукова новизна полягає у розвитку теорії керування електромеханічними системами, які описуються математичними моделями з інтегро-диференціюванням дробового порядку для забезпечення заданих динамічних характеристик процесів, а також підвищення їх стійкості та робастності. На відміну від відомих, автором розвинуті методи апроксимації дробовими передавальними функціями ЕМС високого порядку, що забезпечує розширення спектру їх динамічних характеристик; розвинуті методи синтезу характеристичних поліномів дробового порядку для структурно-параметричного синтезу ЕМС та синтезу дробових регуляторів системи.

Практична цінність результатів роботи полягає у розробці практичних методів синтезу ЕМС із заданими показниками якості перехідних процесів за рахунок запропонованих методик, алгоритмів, програмного забезпечення та

апаратних рішень які дозволяють забезпечити синтез ЕМС на основі передавальних функцій дробового порядку, для покращення їх стійкості та робастності; розроблення алгоритмів функціонування дробових регуляторів та їх апаратної реалізації.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації, їх достовірність. Ступінь обґрунтованості отриманих у дисертації наукових положень і висновків є достатнім та підтверджується проведенням досліджень із застосуванням відомих теоретичних аналітичних та чисельних методів, співпаданням теоретичних розробок з результатами комп'ютерного моделювання. Основні наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи базуються на загальновідомих фундаментальних положеннях теорії автоматичного керування, інтелектуальних методів аналізу і синтезу ЕМС, методів апроксимації дробових інтегральної і диференціальної ланок ланками цілого порядку.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності. Дисертаційна робота є завершеною працею. Повний обсяг дисертації складає 418 сторінок друкованого тексту та містить вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел з 171 найменувань і п'яти додатків. Основний зміст викладений на 310 сторінках друкованого тексту.

У **вступі** наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми, визначено об'єкт та предмет дослідження, сформульовано мету і задачі дослідження, розкрито наукову та практичну цінність отриманих результатів, а також подані відомості про апробацію дисертаційної роботи.

У **першому розділі** «Математичні моделі дробового порядку і їх застосування для аналізу і синтезу електромеханічних систем» розглянуто основні напрямки досліджень, розкритий потенціал дробового числення для підвищення ефективності розв'язання задач аналізу і синтезу. Встановлено, що фрактальні властивості елементів ЕМС зумовлюють необхідність створення моделей таких елементів і систем у цілому, які базуються на іншому підході в

математиці – диференціальних і інтегральних рівняннях дробового порядку, щоби забезпечити високу ступінь адекватності опису процесів у таких системах до реальних.

У другому розділі «Теоретичні основи математичного опису об'єктів та контурів керування ЕМС на основі передавальних функцій дробового порядку» наведені нові підходи до математичного опису ланок об'єктів керування і регуляторів ЕМС за допомогою ПФ дробового порядку. Зокрема, запропоновано застосувати еволюційні методи, зокрема МРЧ і генетичного алгоритму (ГА), для опису ЕМС за допомогою дробових ланок.

У третьому розділі «Методи синтезу регуляторів дробового порядку для електромеханічних систем» розглянуті різні варіанти синтезу дробових регуляторів для ЕМС за використання бажаних дробових варіантів форм характеристичних поліномів, як еталонних при оптимізації контурів САК. За результатом синтезу різноманітних систем, що описуються ПФ дробового порядку, отримані відповідні регулятори дробового порядку.

У четвертому розділі «Робастне керування в ЕМС з регуляторами дробового порядку» проведено пошук інформативного параметра для аналізу (оцінки ступеня) стійкості ЕМС дробового порядку і розроблено підхід до її забезпечення шляхом створення «обмежувальної зони» в процесі вибору параметрів дробового регулятора при його робастному синтезі за бажаною якістю перехідного процесу.

У п'ятому розділі «Розроблення і реалізація систем автоматичного керування електромеханічних об'єктів з елементами або регуляторами дробового порядку» розроблено цифровий інтегрально-диференціальний регулятор дробового порядку, в тому числі у вигляді опції в ПЛК перетворювача частоти для керування координатами електропривода, або технологічними характеристиками.

Повнота викладу в опублікованих працях. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 35 наукових працях, серед яких 26 статей у наукових фахових виданнях, в тому числі 6 статей у виданнях

занесених до міжнародних наукометричних баз даних, 1 стаття у закордонному виданні, 2 матеріалів міжнародних конференцій у виданнях, що включені до наукометричної бази даних Scopus. Публікації за тематикою дисертації підтверджують оприлюднення всіх отриманих результатів.

Автореферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації і достатньо повно відображає основні її наукові результати, що отримані здобувачем.

Важливість одержаних в дисертаційній роботі результатів для науки і промисловості полягає у вирішенні актуальної науково-прикладної проблеми синтезу та аналізу електромеханічних систем, до математичного опису яких входять інтегро-диференційні ланки дробового порядку, для покращення їх стійкості та робастності.

Недоліками дисертаційної роботи вважаю наступне.

1. При апроксимації стандартних біноміальних форм та форм Баттерворта дробовими моделями автор пропонує представити їх передавальними функціями з дробовими степенями з точністю до четвертого знака після коми. Чи потрібна така точність? Враховуючи, що далі по тексту (наприклад, при визначенні еталонних форм) зміна степеня ведеться з кроком 0,1, чи оцінювалася точність апроксимації при округлені степенів до сотих, десятих?
2. На визначення коефіцієнтів апроксимуючої ПФ методом рою частинок впливають ваговий коефіцієнт ω та коефіцієнти c_1 та c_2 алгоритму. Це питання досліджувалося в роботі, проте рекомендації щодо їх вибору відсутні.
3. При аналізі способів моделювання регуляторів дробового порядку автор зазначає, що пакет NINTEGER для MATLAB/Simulink має певні недоліки, а саме «... невідома точність представлення дробових ланок та ПП^λД^μ – регуляторів дробового порядку...». Проте при дослідженні можливості застосування метода Оусталоупа перехідні процеси, отримані за допомогою NINTEGER, беруться у якості еталону. На скільки це

коректно? Також вказаний пакет застосовується в п. 3.4, 4.2 та інш., і для дослідження синтезованих систем.

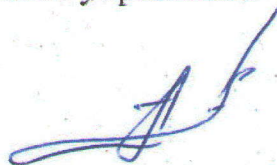
4. При аналізі методів моделювання (розрахунку) інтегровально-диференційних ланок дробового порядку автор зазначає, що найбільшу точність мають методи Рімана та Рімана-Ліувілля, найбільшу швидкодію – метод Грюнвальда-Летнікова. Притаманні їм недоліки, наприклад, залежність від кроку інтегрування, завантаженість контролера тощо, будуть характерні і для метода Оусталоупа, тому аргументація щодо вибору саме такого метода не є повною.
5. Що автор розуміє під режимом online (стор. 125, 126) при параметричному синтезі систем дробового порядку – розрахунок в режимі реального часу? Тоді коректніше використовувати термін real-time.
6. При визначені бажаної форми №1 зазначено, що показник степеня q може змінюватися в діапазоні $q=0,1\div 1,9$. Проте на графіках (рис. 3.1–3.3) та в таблиці 3.1 q змінюється в набагато вужчому діапазоні $q=0,9\div 1,7$. Разом з тим у п. 3.3 запропоновано змінювати q у діапазоні $q=0,9\div 1,3$. Доцільно було б навести граничні варіанти вказаного діапазону, або вказати умови чи причини аналізу саме таких показників.
7. Використання на рис. 3.8 – 3.12 різних часових шкал для базової і скорегованої системи ускладнює порівняльний аналіз характеристик.
8. В п. 3.3, 3.4 розглядається узагальнений об'єкт керування з дробовими степенями. Доцільно було б показати приклад синтезу дробового регулятора для реального об'єкта (наприклад, електропривода). Крім того, при моделюванні не враховувалися нелінійності, притаманні реальним ЕМС (наприклад, обмеження на максимальний керуючий сигнал), що може суттєво вплинути на якісні показники системи.
9. Чи можна застосовувати запропонований метод синтезу до високоточних систем автоматичного керування (системи з необмеженим коефіцієнтом

підсилення, релейні системи у ковзному режимі тощо), чи він буде потребувати певного вдосконалення?

Висновок. Аналізуючи виконані в дисертаційній роботі дослідження та отримані в ній висновки і результати з урахуванням повноти публікацій, можна відзначити, що наведені вище зауваження не знижують цінності роботи.

Дисертаційна робота «Аналіз синтез електромеханічних систем, які описуються дробовими інтегрально -диференційними ланками» є завершеною науковою працею, яка за актуальністю обраної теми, обсягом та рівнем виконаних досліджень, повнотою вирішення наукових та практичних задач, новизною і ступінню обґрунтованості отриманих результатів та практичних висновків та змістом поданого в ній матеріалу, відповідає паспорту спеціальності 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи та вимогам «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого КМУ від 24.07.2013р №567 щодо докторських дисертацій, а її автор Копчак Богдан Любомирович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук.

Директор Інституту електромеханіки,
енергозбереження і систем управління
Кременчуцького національного університету
імені Михайла Остроградського,
професор кафедри систем автоматичного управління
та електропривода,
професор, доктор технічних наук



О.П. Чорний

Підпис О.П. Чорного засвідчую

Проректор КрНУ



С.А. Сергієнко