

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Горошка Василя Володимировича
«Оптимізація динамічних режимів електричних машин з використанням
дробово-інтегральних регуляторів»,
що подана здобуття наукового ступеня доктора філософії
зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Актуальність теми. Задача подальшого підвищення статичних та динамічних показників процесів керування електромеханічним обладнанням повстала водночас з появою перших електричних машин і не втрачає своєї важливості та актуальності до теперішнього часу.

Проблематика автоматичного керування сучасним електромеханічним обладнанням ускладнюється необхідністю урахування різноманітних нелінійних ефектів, властивих таким добре вивченим електромеханічним об'єктам, як двигуни постійного струму, зокрема з послідовним збудженням, та асинхронні двигуни, так і відносно новим електромеханічним об'єктам, наприклад вентильно-індукторним двигунам. У останньому випадку нелінійність об'єкта керування зумовлена принципом його дії і його характеристики не можуть бути лінеаризовані у достатньо широкому діапазоні експлуатаційних режимів. Нелінійність сучасних електромеханічних об'єктів керування утруднює використання апробованих методів теорії автоматичного керування, суттєво ускладнює структуру регуляторів та їх технічну реалізацію та налаштування.

Тому розвиток такого нового напрямку конструювання систем керування з використанням математичного апарату дробово-порядкового диференціального числення, розробка методів налаштування та технічної реалізації регуляторів дробового порядку є актуальною науковою задачею.

Наукова новизна. Наукова новизна отриманих автором результатів сформульована наступним чином:

1. Вперше виконана ідентифікація якірного ланцюга двигуна послідовного збудження передавальною функцією з дробовим порядком, що в порівнянні з моделями цілочисельного порядку забезпечує мінімальну похибку при розрахунку

перехідних процесів при струмі якоря вище номінального, що дозволило вибрати структуру регулятора з дробовим порядком астатизму 1.35 і отримати замкнену систему з найкращими динамічними і статичними показниками.

2. Отримав подальший розвиток метод ідентифікації контуру швидкості в вентильно-реактивному двигуні на базі дробово-аперіодичної функції при різних прикладених напругах з постійними кутами включення і виключення, що дозволило зменшити похибку ідентифікації, синтезувати регулятор з дробовим порядком, при якому отримано мінімальний час першого узгодження з перерегулювання не більше 2%.

3. Вперше синтезовано регулятор з дробовим порядком інтегрування в системі керування двома електромагнітними гальмами в стенді для налаштування паливної системи двигуна внутрішнього згоряння автомобілів, що дозволило забезпечити мінімальне перерегулювання з кращою динамічною та статичною точністю, внаслідок чого підвищується точність налаштування паливної системи та вимірювання максимальної потужності та моменту двигунів.

При формулюваннях наукової новизни я б рекомендував уточнити, які саме статичні показники регулювання вдалося покращити.

Оцінюючи дисертаційну роботу в цілому на предмет наукової новизни, вважаю, що є достатньо підстав визнати у роботі наявність наукової новизни, яка і становить предмет захисту.

З переліком наукових досягнень автора, які складають наукову новизну одержаних результатів, можна погодитись.

Практична цінність результатів роботи полягає в наступному:

- запропоновано методи ідентифікації параметрів якірного кола двигуна послідовного збудження та контуру швидкості вентильно-реактивного двигуна, а також налаштування регуляторів, які враховують нелінійність характеристик об'єкта керування;

- створено систему керування в стенді налаштування паливної системи двигуна внутрішнього згоряння, при яких перехідні процеси мали мінімум перерегулювання і більший порядок астатизму, що дозволяє відпрацьовувати

сигнал завдання з точністю $\pm 0.2\%$.

Результати дисертаційної роботи використано в сервісному автосалоні в системі керування стендом вимірювання потужності (моменту) спортивних автомобілів та у навчальному процесі при викладенні дисциплін «Програмування мікропроцесорів і промислових контролерів для керування ЕМС та ЕТК», «Мікропроцесорна техніка та її програмування», «Моделювання ЕМС та пристроїв» на кафедрі електромеханічної інженерії Одеського національного політехнічного університету.

Ступінь обґрунтованості наукових положень та достовірність результатів.

Отримані автором наукові результати у відповідності до поставлених задач досліджень є логічними, не суперечать фундаментальним фізичним і математичним закономірностям та підтверджуються достатньою апробацією основних положень і висновків на науково-технічних конференціях. Достовірність результатів, отриманих аналітичними методами, підтверджується результатами математичного, фізичного моделювання та експериментальними дослідженнями, а також впровадженням розробок в промисловість та навчальний процес.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності. Дисертаційна робота загальним обсягом 223 сторінки з основною частиною на 144 сторінках складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, анотації і списку використаних джерел зі 101 найменування, 2 додатків на 79 сторінках; містить 93 рисунка і 16 таблиць.

Дисертація написана у науковому стилі і оформлена відповідно до чинних вимог. У дисертації чітко сформульовану наукову задачу, мету роботи, наукову новизну та практичне значення наукових результатів.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, задачі досліджень, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, відзначено наукову новизну та практичну цінність отриманих в роботі результатів, а також наведено дані про особистий внесок здобувача, апробацію результатів досліджень і публікації щодо роботи.

У **першому розділі** надано теоретичні відомості про історію розвитку дробового диференціального числення, його область застосування (зокрема в

системах керування) та огляд різноманітних методів для апроксимаційного розрахунку дробового інтеграла та похідної. Все викладене обумовило наукові і практичні задачі, які вирішуються у дисертаційній роботі. Сформульовано мету дисертаційної роботи, об'єкт і предмет дослідження.

Другий розділ спрямовано на дослідження двигуна постійного струму з послідовним збудженням при врахуванні кривої намагнічування в динамічних процесах з подальшою апроксимацією контуру струму передавальною функцією з дробовим порядком та синтезом відповідних регуляторів з різним порядком астатизму. Показано, що такий підхід забезпечує більш високі динамічні характеристики замкненої системи керування у широкому діапазоні регулювання швидкості та моменту опору.

У третьому розділі досліджується модель вентильно-реактивного двигуна з врахуванням нелінійної залежності потокозчеплення та моменту з подальшою апроксимацією контуру швидкості та синтезом регуляторів з різним порядком астатизму. Використання ідентифікації дробово-порядковими передавальними функціями дозволяє забезпечити високу точність отриманої динамічної моделі нелінійного об'єкта керування у широкому діапазоні живлячої напруги та кутів перемикання напівпровідникового перетворювача. Наведено результати математичного моделювання, що підтверджують перевагу систем керування з дробово-порядковими регуляторами над системами керування, що містять регулятори цілих порядків.

У четвертому розділі досліджено систему керування електромагнітними гальмами. За принципом дії електромагнітне гальмо являє собою нелінійний об'єкт керування, що ускладнює синтез системи керування. Також, на відміну від двох інших об'єктів, електромагнітні гальма, вбудовані в стенд для налаштування паливної системи двигуна внутрішнього згоряння автомобілів, розглядалися не ізольовано, а як елемент електромеханічної системи. Виконано структурну та параметричну ідентифікацію такої системи в стенді для налаштування двигуна внутрішнього згоряння. Виконано математичне моделювання системи керування електромагнітними гальмами, отримані результати підтверджено експериментальними дослідженнями.

Повнота викладу в опублікованих працях. За результатами досліджень опубліковано 8 статей та навчальний посібник, з них 4 – у спеціалізованих виданнях, рекомендованих департаментом атестації кадрів вищої кваліфікації, і 3 – у виданнях, які індексуються в наукометричних базах SCOPUS і WEB OF SCIENCE. Без співавторів опубліковано 2 наукові роботи. Результати дослідження та положення дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на наукових конференціях.

Зауваження до дисертаційної роботи.

До матеріалів дисертаційної роботи необхідно зробити наступні зауваження:

1. Оскільки перший розділ дисертації не містить висновків, неясно, які саме визначення дробово-порядкових диференціальних форм з численних, наведених у першому розділі, було використано автором у подальших дослідженнях.
2. На стор. 70 - 71 наведено занадто детальний розрахунок параметрів двигуна постійного струму, що не відповідає рівню дисертаційної роботи на здобуття вченого ступеню доктора філософії.
3. При моделюванні двигуна постійного струму послідовного збудження не враховано вплив насичення по шляхам розсіювання якірного кола двигуна, що може суттєво впливати на характеристики ДПС при роботі у режимі глибокого насичення, зменшуючи електромагнітну сталу часу контуру струму.
4. З наведених матеріалів неясно, яким саме чином автор враховував у математичних моделях існування обмеження на величину форсування живлячої напруги при підвищенні швидкодії замкнених систем керування швидкістю.
5. З наведених матеріалів неясно, чи було визначено метрологічні характеристики вимірювальних комплексів при поданні результатів експериментальних досліджень.
6. У матеріалах дисертації недостатньо уваги приділено створенню математичної моделі електромагнітного гальма, не обґрунтовано нелінійний характер об'єкту керування, що зумовило б необхідність використання системи керування саме з дробово-порядковими регуляторами.
7. Текст дисертаційної роботи містить ряд стилістичних зауважень: недопустимо використовувати словосполучення «електричний ланцюг» - лише «електричне коло»; зустрічаються неузгоджені словосполучення та інше.

Однак, вважаю, що зазначені зауваження не стосуються основних положень та результатів дисертаційної роботи, не знижують її наукової та практичної цінності і не впливають на загальний позитивний висновок по роботі.

Висновок. Детальний аналіз матеріалу дисертаційної роботи, а також її автореферату та опублікованих наукових праць дає змогу стверджувати, що дисертаційна робота Горошка Василя Володимировича «Оптимізація динамічних режимів електричних машин з використанням дробовоінтегральних регуляторів» має всі ознаки завершеної наукової праці, в якій отримано нові науково обґрунтовані теоретичні результати, що дають змогу підвищити точність регулювання для розглянутих в роботі електромеханічних систем.

Матеріал дисертації викладено переважно послідовно, стиль викладання доказовий, чіткий і лаконічний. Висновки до кожного розділу і дисертації в цілому тісно пов'язані з її змістом і відображають суть виконаних досліджень. Публікації автора повністю висвітлюють наукові положення і результати наукових досліджень.

Враховуючи актуальність теми дисертаційної роботи, а також отримані достовірні наукові результати, що мають наукову і практичну значимість, та, враховуючи достатню повноту висвітлення основних положень дисертаційної роботи в опублікованих працях, вважаю, що представлена дисертаційна робота відповідає вимогам щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а її автор Горошко Василь Володимирович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Офіційний опонент,

доктор технічних наук, доцент,

професор кафедри електромеханіки

Криворізького національного університету



В. К. Титюк

*Підпис Титюка В.К.
завіряю.
Проректор КНУ з
наукової роботи*



В. С. Морух