

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Вакарчук Анастасії Борисівни

**«Аналіз впливу динаміки числових методів на характеристики
електромеханічних систем з цифровим керуванням»,**

поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії

з галузі знань 14 «Електрична інженерія»

за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Актуальність теми дисертації.

Зростання обчислювальної потужності сучасних комп'ютерів сприяє розширенню кола розв'язуваних задач дослідження динаміки процесів в електротехніці, електроенергетиці та електромеханіці. Математична основа комп'ютерного моделювання таких систем базується на традиційних числових методах, які є апроксимацією обмеженого розкладу в ряд Тейлора, через що є придатними лише для розв'язків з гладкими неперервними функціями без розривів. Саме тому, існуючі традиційні методи дослідження динаміки сучасних електричних систем, зокрема, з імпульсними елементами, у багатьох випадках є погано пристосованими або й просто непридатними для практичного використання. Іншою проблемою є обчислення перехідних процесів у реальному часі, що потрібно для спостерігачів у сучасних системах керування, і у зв'язку з цим, виникає потреба створення нових ефективних методів для розробки швидкодіючих комп'ютерних моделей електричних систем. Саме тому дисертаційна робота Вакарчук А.Б. присвячена аналізу впливу характеристик числових методів на динаміку електромеханічних систем з цифровим керуванням, а також підвищенню ефективності моделювання динаміки таких систем інтегральними рівняннями та використанню інтегральних методів для знаходження перехідних процесів електромеханічних систем.

Мета роботи, предмет, об'єкт та завдання досліджень.

Метою дисертаційної роботи є дослідження та вивчення властивостей числових методів, їх відповідність для використання у комп'ютерному моделюванні та процесах дискретизації та впливу на систему, яка досліджується. Наступним завданням дисертаційної роботи є дослідження числових методів як цифрових фільтрів: способи реалізації, поведінка та вплив на досліджувану систему.

Об'єктом дослідження є електротехнічні, електромеханічні та електроенергетичні системи реального часу, зокрема, цифрові системи керування та комп'ютерні моделі реального часу.

Предмет дослідження є методи дискретизації неперервних систем.

Використані в роботі методи дослідження ґрунтуються на теорії динамічних аналогових та цифрових систем, числових методах аналізу перехідних процесів лінійних і нелінійних електричних кіл із зосередженими та розподіленими параметрами та z-перетвореннями.

Обґрунтування наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Наукові положення, висновки і рекомендації, викладені в дисертаційній роботі, є обґрунтованими теоретично, а їх наукова коректність підтверджується результатами експериментальних досліджень, отриманих як за допомогою математичного моделювання в пакеті MATLAB, так і за допомогою фізичного експерименту. Достовірність наукових і практичних результатів підтверджується адекватним математичним формулюванням задачі з застосуванням сучасних методів аналізу динамічних процесів лінійних і нелінійних електромеханічних систем, а також застосуванням методів теорії складних динамічних систем.

Новизна наукових положень і практичне значення отриманих результатів.

У дисертаційній роботі вирішено науково-технічну проблему розвитку методів та аналізу динамічних електромеханічних систем на основі використання числових методів, аналізу їх поведінки та впливу на характеристики електромеханічних систем.

1. Виконано аналіз та класифікацію числових методів і їхнього застосування для диференціальних рівнянь, якими описують динамічні системи. Встановлено доцільність і ефективність їхнього використання для моделювання чи аналізу в задачах електротехніки та електромеханіки.

2. Вперше теоретично обґрунтовано недоцільність використання числових інтеграторів високого порядку через втрату стійкості та накопичення похибок. Такий результат отримано для класичних числових методів та числових інтеграторів, які дискретизують аналоговий прототип.

3. З отриманих результатів аналізу під час комп'ютерного моделювання, встановлено, що числовий метод вносить зміни до результуючих частотних характеристик динамічної системи. Це встановлено і в рівняннях, і під час отримання графічного відображення розв'язку.

4. Для зменшення сумарних похибок в процесі переходу від аналогової до дискретної форми системи доцільно використовувати паралельну декомпозицію. Також, такий підхід дозволяє проводити паралельні обчислення параметрів моделі системи.

5. Виявлено, що використання рекурентних рівнянь методу відображення нулів/поліосів є ефективним методом для аналізу динаміки задач електротехніки. Такий підхід дозволяє виконувати аналіз динамічної системи із

будь-яким кроком дискретизації, при цьому система не втрачатиме стійкість, а результуюча форма частотних характеристик не зазнаватиме впливу. Водночас, доведено, що як і в числових інтеграторах для аналогових систем, для цифрових моделей реального часу також є неефективним використання числових методів високих порядків. Доведення є важливим та виконано вперше. Це дозволило використати рекурентні рівняння та дослідити їх на стійкість до різних кроків дискретизації.

6. На основі експериментального дослідження встановлено, що дискретизація із використанням передавальних функцій дозволяє отримати реакцію системи на вхідний сигнал без втрати стійкості із збільшенням кроку. Застосування передавальних функції фактично не впливає на форму частотних характеристик зі збільшенням кроку.

З погляду практичної значущості отриманих результатів, розроблена методика аналізу впливу числових методів розв'язування звичайних диференціальних рівнянь дозволить підвищити ефективність моделювання цифрових електромеханічних систем.

Структура і обсяг дисертації

Дисертаційна робота має обсяг 146 сторінки друкованого тексту, з основною частиною в 115 сторінок, і складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, та анотації і списку використаних джерел з 83 найменування і 4 додатки на 19 сторінках; містить 59 рисунків і 3 таблиці.

У вступі наявні усі обов'язкові елементи: обґрунтування актуальності теми дисертації, зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, формулювання мети та завдань наукових досліджень, визначення об'єкту та предмету досліджень, перелік використаних методів досліджень, наукова новизна та практичне значення одержаних результатів, описано особистий внесок здобувачки, інформація про апробацію результатів роботи, структура та обсяг дисертації.

У розділі 1 здійснено огляд літературних джерел за тематикою роботи. та розглянуто засади застосування числових методів.

У розділі 2 описано методи аналізу поведінки числових методів, підходи до їх вивчення та реалізації, а також показано їхні переваги та недоліки. Виконано дослідження в задачах дискретизації цифрових систем керування за допомогою числових методів. Для цього, їх розглянуто як цифрові фільтри, які є складовою частиною цифрової системи. Аналіз таких цифрових фільтрів реалізовано за допомогою z-перетворень.

У розділі 3 досліджено ефективність застосування z-перетворення, а саме – методу відображення нулів/поліусів, для створення моделей реального часу. Здійснено ретроспективний аналіз засад виникнення методу та описано основні принципи його реалізації і застосування. На прикладі моделювання динамічних

ланок першого та другого порядків наведено спосіб застосування методів, переваги та нюанси такого застосування.

У розділі 4 наведено розроблені здобувачкою комп'ютерні моделі електротехнічних систем, описано експериментальні дослідження та наведено результати експерименту з мікроконтролером.

Висновки по роботі чіткі та логічно впливають з наукових результатів, отриманих дисертанткою.

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

Основний зміст дисертації відображено у 10 друкованих працях, з них – одна колективна монографія, 3 статті - у наукових фахових виданнях України, в тому числі 1 статті у виданнях, що включені до наукометричної бази Scopus; 6 матеріалів конференцій, з яких 2 - у виданнях, що включені до наукометричної баз даних Scopus та Web of Science.

Представлені в дисертаційній роботі результати повною мірою висвітлені в опублікованих працях у наукових та фахових виданнях і достатньо апробовані на 5 міжнародних конференціях.

Відповідність змісту анотації основним положенням дисертаційної роботи.

Зміст анотації в повній мірі відображає основні положення, представлені в дисертаційній роботі, відповідає її змісту, містить основні результати виконаних досліджень і дає можливість в достатній мірі оцінити наукову новизну та практичну цінність. Стель викладення матеріалу дисертаційної роботи відповідає загальноприйнятим нормам та є достатнім для однозначного сприйняття наведених положень.

Дискусійні положення щодо змісту дисертації, зауваження та пропозиції.

1. У тексті роботи спостерігається неповнота теоретичних викладок під час подання аналітичних перетворень, виконаних авторкою, що утруднює сприйняття матеріалу дисертації;
2. Присутня надмірна категоричність окремих висновків та тверджень щодо застосування відомих методів числового інтегрування;
3. У четвертому розділі дисертаційної роботи було б доцільно навести детальніший опис кореляції висновків практичного дослідження з висновками, отриманими під час комп'ютерного та математичного моделювання щодо стійкості рекурентних рівнянь передавальних функцій числового інтегратора до кроку дискретизації та на основі експериментальної установки з відлагоджувальною платою STM Nucleo G474;

4. У роботі наявні окремі термінологічні, стилістичні та граматичні неточності.

Зазначені зауваження і побажання не впливають на загальну позитивну оцінку роботи, не зменшують її наукової новизни та практичної значимості і не є перешкодою для представлення роботи до офіційного захисту.

Зауваження можуть бути предметом подальших досліджень авторки.

Висновок про дисертаційну роботу в цілому та її відповідність чинним вимогам.

Дисертаційна робота Вакарчук А. Б. «Аналіз впливу динаміки числових методів на характеристики електромеханічних систем з цифровим керуванням» є завершеною науковою працею, яка відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 "Про затвердження вимог до оформлення дисертації (зі змінами, внесеними від 12.07.2019 р.)" та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року №44, зі змінами згідно із постановою Кабінету Міністрів від 21 березня 2022 р. № 9341, а її авторка, ВАКАРЧУК Анастасія Борисівна, заслуговує присвоєння наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Рецензент,
кандидат технічних наук, доцент кафедри
теоретичної та загальної електротехніки
Національного університету
"Львівська політехніка"

Орест ГАМОЛА

Підпис к.т.н., доцента Гамоли О. Є. засвідчую

Вчений секретар
Національного університету
"Львівська політехніка"



Роман БРИЛИНСЬКИЙ