ВІДГУК
офіційного опонента, кандидата технічних наук, доцента
Зачепи Юрія Володимировича
на дисертаційну роботу
Вишневського Дмитра Леонідовича
«ЦИФРОВІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НАПРУГОЮ СУДНОВОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 27 – Транспорт
за спеціальністю 271 – Морський та внутрішній водний транспорт

Актуальність теми дисертаційної роботи

Вдосконалення автономних енергетичних установок суден та інших транспортних об'єктів, покращення їх техніко-економічних показників є основною тенденцією розвитку суднобудування та автономної енергетики.

Вибір оптимального складу суднової електростанції з покращеними експлуатаційними якостями сприяє підвищенню ефективності енергетичної установки загалом.

На морських судах як джерела електроенергії поширені синхронні генератори (СГ), перевагою яких є наявність багатовиткової обмотки збудження на роторі генератора, що дозволяє керувати напругою СГ за допомогою відносно невеликих струмів. Проте в конструкції СГ є і суттєві недоліки – наявність контактних кілець, що обертаються на роторі, та велика індуктивність кола збудження, що значно знижує швидкодію системи стабілізації напруги. Сучасні безконтактні СГ з діодами, що обертаються, дозволили усунути контактні кільця, проте значно ускладнили їх конструкцію. Проблемним є включення та стійкість паралельної роботи СГ у складі суднової багатогенераторної електростанції.

Одним із шляхів модернізації електроенергетичної установки є застосування асинхронних генераторів (АГ) із конденсаторним збудженням. Управління напругою АГ здійснюється за статорним колом навантаження, тому інерційність каналів управління та збурення однакові, що дозволяє реалізувати практично інваріантну систему стабілізації напруги. Демпфуючі властивості короткозамкнутого ротора АГ роблять багатогенераторну установку стійкою, знижуються коливання та ударні моменти несинхронного включення. Додаткові конденсаторні блоки, необхідні для роботи АГ, одночасно компенсують реактивну потужність суднового навантаження, знижуючи на 20 % струми і встановлену потужність електрогенераторів. Використання АГ перспективне, так як технології виробництва

конденсаторів та силових напівпровідників значно знизили їх вартість та масогабаритні показники.

Тому наукові дослідження в галузі розробки АГ та їх систем управління, що дозволять спростити конструкцію суднового генератора змінного струму, покращити економічні, електротехнічні та динамічні показники при автономній та паралельній роботі, є важливою і актуальною задачею. Одним із шляхів вирішення цієї науково-прикладної задачі є розробка нового методу і мікропроцесорного засобу стабілізації напруги АГ з конденсаторним збудження, яким були б притаманні переваги швидкодіючих цифрових засобів управління.

Структура та зміст дисертації

Дисертаційна робота складається із вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел (108 найменувань) і трьох додатків. Основний зміст викладено на 131 сторінці друкованого тексту, містить 61 рисунок, 4 таблиці. Загальний обсяг роботи – 154 стор.

У *вступі* обґрунтовано актуальність обраної теми, вказані мета і основні задачі досліджень, наукова новизна та практична значимість отриманих результатів, наведено дані про зв’язок роботи з науковими програмами, апробацію та особистий внесок здобувача.

В *першому розділі* наведено загальний аналіз науково-технічної проблематики використання АГ у суднових енергетичних установках. Розглянуто технічні вимоги до характеристик, параметрів та процесів перетворення енергії у суднових електроагрегатах та наведено оцінку ефективності використання АГ з конденсаторним збудженням на судах.

В *другому розділі* розглянуто математичні моделі електроенергетичної установки та її елементів, зокрема, приводного двигуна електрогенераторного комплексу, АГ з конденсаторною системою збудження, типових споживачів електроенергії. Запропоновано узагальнену математичну модель суднової енергетичної установки, яка дає змогу досліджувати динамічні режими роботи та оцінювати доцільність модернізації електроенергетичної установки з АГ та ефективність його застосування.

В *третьому розділі* виконано аналітичний аналіз існуючих способів регулювання вихідної напруги АГ та розроблено власний спосіб дискретно-імпульсної стабілізації напруги генератора. Проведені дослідження запропонованих алгоритмів керування напруги АГ в навантажувальних режимах з різними рівнями дискретності (чутливості) регуляторів.

В *четвертому розділі* проведено дослідження, спрямоване на опис апаратно-програмних реалізацій цифрового датчика трифазної напруги,

розглянуто підходи до реалізації апаратно-програмних систем, що демонструють свою ефективність у виявленні та аналізі критичних динамічних явищ, що відбуваються під час перехідних процесів при стабілізації напруги АГ.

У *п'ятому розділі* представлено опис апаратно-програмної реалізації експериментальних зразків розроблених датчика трифазної напруги та регулятора напруги АГ, наведені результати експериментальних досліджень на лабораторному стенді.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

– Вперше запропонований та реалізований цифровий спосіб керування напругою АГ, що передбачає дискретну зміну ємнісного статорного струму генератора шляхом комутації N блоків конденсаторів за допомогою напівпровідникових ключів у моменти переходу напруги на ключах через нуль, де використовують N розрядне двійкове число, розряди якого управляють комутацією блоків конденсаторів, ємність яких пропорційна вазі розрядів керуючого числа, при цьому число змінюється один раз за період генеруємого струму на величину, пропорційну відхиленню напруги генератора за попередній період від заданого значення за винятком зони нечутливості, що більше відхилення напруги генератора, викликаного зміною керуючого числа на одиницю.

– Вперше досліджений та розроблений швидкодіючий датчик трифазної напруги, що виконує диференціювання, випрямлення та інтегрування фазних напруг генератора, який є інваріантним до частоти струму, що дозволяє вимірювати середнє значення трифазної напруги впродовж одного періоду генерованої напруги та використовувати його в системі керування генератором.

– Удосконалена математична модель енергетичної генераторної установки з конденсаторним збудженням, що враховує процеси комутації фазних конденсаторів кожного розряду цифрового регулятора та обраного закону керування напругою генератора.

– Вперше досліджені та оптимізовані за швидкодією цифрові принципи та закони керування напругою АГ: за відхиленням – інтегральний та диференційний, лінійний та з форсуванням збудження; за збуренням – по електричному навантаженню.

Практична цінність результатів роботи полягає в наступному:

1. Розроблений та запатентований спосіб дискретно-імпульсного керування напругою АГ з конденсаторним збудженням, що повністю відповідає вимогам Міжнародних Стандартів і Морського Регістру Судноплавства до параметрів перехідних процесів у судновій електростанції.

2. Удосконалено математичну модель асинхронного генераторного комплексу з комутованими блоками конденсаторів суднової електростанції з реалізацією розроблених алгоритмів керування.

3. Розроблено датчик трифазної напруги, що дозволяє реалізувати швидкодіючі системи керування напругою суднової електростанції.

Результати фізичного моделювання дискретно-імпульсного способу стабілізації напруги АГ підтверджують адекватність отриманих в роботі математичних моделей, алгоритмів керування, метрологічних моделей похибок квантування та дискретизації, аналітичних залежностей для оцінювання чутливості регуляторів до збурюючих впливів.

Оцінка обґрунтованості наукових положень дисертації, їх достовірність й новизна забезпечуються аргументованою постановкою мети і задач дослідження; використанням сучасних методів синтезу систем керування і коректних методів оцінки динамічних перехідних процесів в електротехнічних комплексах, які б забезпечували високу точність, малу інерційність, широкий діапазон регулювання; нового способу дискретно-імпульсного керування напругою АГ з конденсаторним збудженням, методів математичного моделювання, комплексного аналізу отриманих результатів дослідження та обґрунтованістю та якісним формулюванням отриманих висновків.

Поставленим задачам відповідають методи та засоби досліджень, які забезпечили ефективність їх розв’язання та досягнення мети дисертаційного дослідження.

Викладені в дисертаційній роботі результати дослідження отримали достатній рівень апробації.

Повнота викладу наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації

За темою дисертації з викладенням її основних результатів опубліковано в 7 наукових працях, з яких: 2 – публікації у фахових видання України, 2 – публікації у виданнях віднесених до МБД Scopus; 2 – публікації у закордонному фаховому виданні віднесеному до МБД Scopus і Web Of Science, 1 – патент України. Дисертація пройшла апробацію на 7 міжнародних науково-практичних конференціях, результати 4 з яких індексуються МБД Scopus.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

Результати перевірки роботи сервісами з перевірки на наявність/відсутність плагіату, аналізу публікацій здобувача, аналізу тексту

дисертаційної роботи та використаних автором джерел, свідчать про відсутність порушення академічної доброчесності здобувачем.

Оцінка оформлення дисертації

Відповідає встановленим вимогам, які пред'являються до дисертаційних робіт. Тема дисертаційної роботи розкрита за змістом і відповідає сутності вирішення поставлених завдань щодо пошуку ефективних принципів та розробка цифрових законів управління напругою асинхронних генераторів та розробки швидкодіючого датчика трифазної напруги, що дозволяє реалізувати швидкодіючі системи керування напругою суднової електростанції.

Дискусійні положення та зауваження щодо змісту та оформлення дисертації.

1. Автору необхідно було більш уважно наводити узагальнені результати, що дозволило б більш якісно проводити їх оцінку. Зокрема:

   – апроксимації кривих намагнічування електричних машин, що є одним із головних елементів при моделюванні процесів збудження та навантаження асинхронних генераторів – на рис. 2.4 саме характеристика останнього відсутня, хоча далі (стор. 59) подана кількісна оцінка похибки процедури апроксимації у порівнянні з експериментальними даними;

   – дослідження системи стабілізації напруги АГ з законом керування (3.1) та варіаціях насиченої/ненасиченої магнітної системи АГ з «м'якою»/«жорсткою» частотними характеристиками (рис. 3.4 і 3.5) – відсутність аналізу отриманих результатів не дозволяє оцінити роботу дискретно-імпульсної системи стабілізації напруги АГ, наприклад, з позиції необхідної кількості блоків конденсаторів для забезпечення відповідної точності тощо.
2. Автором проведено аналіз відомих методів вимірювання напруги, які базуються лише на основі відомих методів з використанням трансформаторів. Тому потребує додаткового пояснення чому автор не розглядає схеми з оптоелектронною гальванічною розв'язкою?
3. Наведені в 4-му і 5-му розділах результати моделювання (рис. 4.3, 4.4, 4.15, 5.12, 5.13 та інші) не дають можливості оцінити адекватність отриманих результатів, оскільки не зазначені розгортки за амплітудою відповідних сигналів.
4. Не зрозуміло чому на схемах швидкодіючого аналогового датчика трифазної напруги та безпосередньо регулятора трифазної напруги генератора (рис. 4.14, 4.16) відсутня гальванічна розв'язка?

5. В роботі не наведено порівняння результатів моделювання та експериментальних досліджень розробленого датчика напруги.
6. В роботі відсутні матеріали, що підтверджують узагальнений висновок 14 (стор. 131).
7. Вважаю за доцільне публікації 3, 5 і 6, які є матеріалами конференцій, з розділу «Основні наукові результати» перенести до розділу «Апробація, участь в конференціях».

Загальні висновки за дисертаційним дослідженням

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 «Цифрові системи керування напругою суднової електроенергетичної системи» є завершеною науковою працею, яка за актуальністю обраної теми, обсягом та рівнем виконаних досліджень, повнотою вирішення наукових та практичних задач, новизною і ступенем обґрунтованості отриманих результатів та практичних висновків, а також за змістом поданого в ній матеріалу, відповідає вимогам з присудження ступеня доктора філософії, а її автор Вишневський Дмитро Леонідович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 271 – Морський та внутрішній водний транспорт, галузі знань 27 – Транспорт.

Офіційний опонент,
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри систем автоматичного
управління та електропривода,
Кременчуцького національного університету
імені Михайла Остроградського Юрій ЗАЧЕПА