

67-72-93/3
19.09.2018 1

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Мухи Миколи Йосифовича

“Динамічна компенсація реактивної потужності в суднових автономних електроенергетичних системах”

подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи

1. Актуальність обраної теми

На сучасному етапі проблема комплексного підвищення показників елетротехнологічної ефективності потужних електрогенеруючих установок, зокрема автономних, є важливою та актуальною. До таких відносяться автономні суднові електроенергетичні установки. До показників їх роботи ставиться низка специфічних вимог, що диктуються умовами генерування та споживання електричної енергії, характеристикою і потужністю встановленого на судні електроустаткування, динамікою їх електроспоживання, паралельною роботою генераторів та іншими особливостями суднової електроенергетичної електромережі, вимогами до показників якості електроенергії, поточними режимами експлуатації судна (ходовий, виконання перевантажувальних операцій, маневрування судна, стоянка), вимогами щодо викиду в атмосферу вуглекислого газу, а також тим, що значна частка генерованої електроенергії споживається асинхронними двигунами зі співвимірною з генераторами потужністю. Суднові електроспоживачі мають переважно активно-індуктивний характер з широким амплітудним та частотним діапазоном зміни навантаження.

Аналіз режимів потужних суднових електрогенеруючих установок показує, що процес електроспоживання характеризується відносно невисоким коефіцієнтом потужності, у певних режимах роботи низка показників якості електроенергії на шинах генераторів виходить за межі гранично допустимих значень. Все це негативно впливає на показники енергоефективності як окремих споживачів (зокрема електроприводів), так і синхронних та асинхронних генераторів.

З огляду особливостей структур систем керування динамічними та стичними режимами генерування, розподілу, перетворення та використання електроенергії в суднових генераторах та багатокомпонентності електромережі, суднові електроенергетичні системи відносяться до класу складних систем. Для комплексного вирішення означених вище задач енергоефек-

тивності, електромагнітної та екологічної режимів сумісності суднової електроенергетичної установки необхідно опрацювати низку схемних, системних та алгоритмічних рішень, визначити керуючі впливи і моделі їх синтезу, дія яких скеровувалася би на успішне вирішування окреслених вище задач.

Контексті цього, у дисертаційному дослідженні для вирішення окресленої вище проблеми запропоновано в якості універсального підходу використовувати відповідні системні та алгоритмічні рішення на оперативне керування реактивною потужністю автономної суднової електроенергетичної установки як у динамічних, так і у статичних режимах її споживання та компенсації.

Для цього у роботі розроблено низку оригінальних підходів, схем, алгоритмічних та системних рішень для конденсаторних компенсаційних установок та виконано апаратну їх реалізацію. Тому вказаний комплексний напрям дисертаційного дослідження є актуальним та важливим для вирішування науково-практичної проблеми підвищення енергоефективності керування режимами генерування, розподілу, перетворення та споживання електроенергії в автономних суднових електричних мережах.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у відповідності напрямками, окресленими в Указі Президента України №463/2008 від 20 травня 2008р. про введення в дію рішення Ради національної безпеки і оборони “Про заходи щодо забезпечення розвитку України як морської держави” та у розпорядженні КМ України від 20 жовтня 2010 року за № 2174 “Про схвалення Транспортної стратегії на період до 2020 року”. Дисертаційна робота виконувалася також у рамках тематики науково-дослідних робіт кафедри суднової електромеханіки і електротехніки Національного університету “Одеська морська академія”, а саме “Розробка вискоефективних систем управління судновим допоміжним холодильним і компресорно-насосним електрообладнанням засобами автоматизованого електропривода” (держреєстрація № 0109U0011532), “Моніторинг, діагностика і управління процесами та обладнанням суднових енергетичних установок” (держреєстрація №0113U000637), “Підвищення ефективності роботи суднових електроенергетичних та електромеханічних систем” (держреєстрація № 0116U002392), у яких автор дисертаційної роботи був науковим керівником.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність і новизна

Наукові положення, технічні рішення, висновки та рекомендації, які

сформульовані в дисертації, достатньо обґрунтовані, їх достовірність підтверджена результатами комп'ютерного моделювання та числових розрахунків, а деякі також і експериментальними дослідженнями на діючому тренажері перевірки компетентності офіцерів машинної команди з питань технічної експлуатації і обслуговування суднового обладнання і засобів автоматизації керування режимами суднової електроенергетичної установки.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень та рекомендацій дисертації забезпечуються також коректністю прийнятих допущень під час створення математичного опису електричних та електромагнітних процесів в судновій електромережі та її компонентах, а також підтверджуються достатньо точним співпаданням результатів комп'ютерних та експериментальних (на тренажері) досліджень.

Положення дисертаційної роботи пройшли достатньо повну апробацію на багатьох міжнародних науково-технічних конференціях різних рівнів, наукових семінарах НАН України, а також на науково-методичних конференціях Національного університету "Одеська морська академія".

Основні наукові результати полягають у наступному:

1. Вперше запропоновано виконувати компенсацію реактивної потужності в суднових електроенергетичних системах у функції зміни реактивної провідності навантаження, що на відміну від відомого керування у функції реактивного струму чи реактивної потужності дало змогу у перехідних режимах, спричинених зміною навантаження, і перш за все потужного електродвигунного, підвищити швидкодію компенсації реактивної потужності.

2. Вперше опрацьовано закон оптимального керування процесом компенсації реактивної потужності в режимах пуску асинхронного електропривода від співвимірної за потужністю електромережі, що у порівнянні з прямим його пуском дає змогу за інших рівних умов зменшити у два рази величину струму автономного генератора та зменшити коливність координат асинхронного двигуна у вказаних динамічних режимах.

3. Вперше опрацьовано модель оперативного розрахунку реактивної провідності навантаження в автономних суднових електроенергетичних системах, що дало змогу у замкненій системі у функції цього параметра отримати вищу динамічну точність компенсації реактивної потужності, і, як результат, поліпшити стабільність напруги автономної суднової електромережі.

4. Розроблено модель щоперіодного синтезу сигналу керування процесом динамічної компенсації реактивної провідності навантаження автономної

суднової електроенергетичної системи у режимах швидкоплинної зміни статичного та електродвигунного навантаження, що у порівнянні з відомим усередненим законом синтезу цього керування дає змогу скоротити час відновлення напруги автономної мережі до 3-4 періодів напруги.

5. Одержали подальший розвиток математичні моделі розрахунку динамічних процесів, показників енергоефективності та електромагнітної сумісності автономних суднових електроенергетичних установок, що містять співвимірні за встановленою потужністю синхронні та асинхронні генератори, електроприводи, інші суднові навантаження та конденсаторну установку динамічної компенсації реактивної потужності.

Вказані наукові положення є обґрунтованими і мають наукову новизну.

Практичне значення та шляхи використання результатів досліджень, висновки та рекомендації роботи.

Виконані в роботі теоретичні дослідження дали низку практичних результатів, які впроваджено у навчальний процес та у науково-дослідні роботи Національного університету "Одеська морська академія" та у приватному вищому навчальному закладі "Інститут післядипломної освіти", а саме наступні результати:

- рішення для динамічної компенсації реактивної потужності, моделі регуляторів та технічні засоби керування реактивним струмом навантаження в пускових режимах електроприводів співвимірної потужності в суднових автономних електроенергетичних системах;
- розроблені засади проектування суднових електроенергетичних систем з компенсаторами реактивної потужності, закон компенсації реактивної потужності навантаження, рішення для підвищення швидкодії та підвищення стійкості суднової електроенергетичної установки;
- технічне рішення для вимірювання реактивної провідності, що реалізоване в тренажерному комплексі суднової автоматизованої електроенергетичної системи;
- отримані структури та співвідношення параметрів систем керування режимами генерування та споживання електричної енергії суднової електроенергетичної системи зі синхронними та асинхронними генераторами, що включають конденсаторний компенсатор реактивної потужності.

Практичну цінність вказаних вище рішень дисертаційної роботи підтверджено трьома Актами про їх впровадження та використання, які подано у **Додатку Б** дисертації.

Практичне використання вказаних рішень дисертаційної роботи з компенсації реактивної потужності дають змогу підвищити швидкодію компенсації реактивної потужності у режимах зміни навантаження і, як наслідок, поліпшити якість напруги на шинах електромережі судна, зокрема зменшити провал та відхилення напруги.

Оцінка структури, змісту та об'єму дисертації

Дисертація складається зі вступу семи розділів, висновків, списку посилань на використані літературні джерела та додатків загальним обсягом 404 стор., з яких текст викладено на 301 стор., з них на 21 стор. розміщено лише рисунки, перелік умовних позначень на 2 стор., списку використаних літературних джерел (226 найменувань на 23 сторінках), а також вісім Додатків на 71 сторінці.

У **вступі** подано загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність вибраного напрямку досліджень, охарактеризовано об'єкт та предмет дослідження, наведено наукову новизну та практичну значимість отриманих результатів дисертаційного дослідження, надано інформацію про їх апробацію на науково-технічних конференціях та семінарах, наведено зведену інформацію про публікації автора та описано структуру дисертації.

У **першому** розділі дисертації виконано аналіз та порівняльний відомих принципів та схемотехнічних рішень компенсації реактивної потужності суднових електроенергетичних установках, виокремлено проблеми та невирішені задачі і на основі цього обґрунтовано напрям дисертаційного дослідження, а саме доцільність використання у суднових електроенергетичних установках динамічної компенсації реактивної потужності.

У **другому** розділі описано особливості режимів, силового електрообладнання та навантаження суднових електроенергетичних установок та їх вплив на показники статичних та перехідних режимів. Наголошено на необхідності формування ефективних керуючих впливів на швидкоплинні електромагнітні перехідні процеси в силовому колі електромережі та на їх визначальний вплив на показники якості електроенергії на шинах електромережі судна у режимах комутації активно-індуктивного та електродвигунного навантаження, на формування керувань на усунення короткого замикання, на керування процесом включення генераторів на паралельну роботу різнотипних генераторів. Описано особливість моделювання режимів судової електрогенеруючої установки та наведено використані математичні моделі основного силового (генераторів та двигунів) електрообладнання.

Третій розділ дисертації присвячено розробленню швидкодійного давача реактивної провідності; описано його принцип роботи, наведено

функціональну схему, показано часові розрахункові залежності реакції його вихідного сигналу на одиничну зміну активно-індуктивного навантаження та описано математичну модель експлуатаційного контролю реактивної потужності при використанні його цифрової та аналогової реалізації.

У **четвертому** розділі дисертації досліджено режими та показники синхронної генераторної установки з компенсацією реактивної потужності навантаження. Обґрунтовано структуру такої системи з додатково уведеним зворотним зв'язком за напругою мережі на вхід підсистеми компенсації реактивної потужності і з використанням запропонованого давача реактивної провідності. Наведено функціонали для оцінки якості керування режимами генерування та компенсації у такій структурі та проведено дослідження режимів роботи такої системи при різних законах компенсації реактивної потужності. Отримано налаштувальні параметри ПІ-регуляторів напруги та реактивної потужності.

У **п'ятому** розділі дисертації подано результати з дослідження процесів регулювання напруги суднової електричної мережі з асинхронним генератором та компенсації реактивної потужності у режимах прямого пуску асинхронного двигуна співвимірної потужності та виконано дослідження показників динаміки у таких перехідних процесах. Досліджувалися режими пуску за використання П- та ПІ-регулятора реактивної потужності за аналогової та дискретної їх реалізації. Отримано, що максимальна величина пускового струму асинхронного двигуна при повній компенсації реактивної потужності знижується майже у два рази.

Шостий розділ присвячений дослідженням процесів регулювання напруги асинхронного генератора шляхом керування реактивною потужністю під'єднаної до його статора конденсаторної батареї та частотою обертання ротора. Наведено однофазну схему заміщення та отримано математичний опис асинхронного генератора, який покладено в основу досліджень його режимів. Досліджено умови стійкості та швидкодію і коливність для різних режимів навантаження з дискретною моделлю регулювання напруги з П-, І- та Д-регуляторами збудження. Отримано доцільний закон керування напругою асинхронного генератора.

У **сьомому** розділі дисертації проведено дослідження та порівняльний аналіз режимів роботи суднових генераторних установок з компенсатором реактивної потужності і використанням синхронного та асинхронного генераторів. Обґрунтовано критерії, на основі яких виконується порівняльний аналіз режимів та показників роботи суднових електроенергетичних установок. Отримано параметри дискретного регулятора напруги асинхрон-

ного регулятора. Показано, що динаміка (зокрема швидкодія) регулювання напруги краща в асинхронного генератора. На підвищення швидкодії процесу регулювання позитивно впливає також і використання установки динамічної компенсації реактивної потужності. Враховуючи це, а також кращі цінові, масогабаритні та енергетичні показники асинхронних генераторів, стверджується про доцільність використання у майбутньому таких генераторів в суднових електроенергетичних установках.

У **додатках** дисертації наведено узагальнений алгоритм силової суднової електроенергетичної установки, акти про використання результатів дисертаційного дослідження, патенти на отримані в дисертації рішення та загальний опис функціональних можливостей тренажера суднової електроенергетичної установки для підготовки морських офіцерів.

Загальні висновки з дисертаційної роботи відображають основні одержані результати, а також включають основні рекомендації стосовно їх практичного використання.

Результати наукових досліджень, за якими здобувач захистив кандидатську дисертацію, не використано його докторській дисертації.

Основні результати дисертаційної роботи достатньо повно висвітлені в наукових працях, з них 34 друкованих наукових працях (5 без співавторів), серед яких 3 монографії, 19 статей опубліковані у наукових фахових виданнях України (з них 8 індексуються у наукометричних базах даних), 3 у закордонних періодичних наукових виданнях (з них 1 індексуються у наукометричній базі даних Scopus), 2 статті – у працях міжнародних конференцій на англійській мові; 2 патенти України на винахід та 1 на корисну модель.

Кількість **публікацій у фахових** виданнях 19. У це число входять три і дві статті, які мають значну частину ідентичного тексту (їх номери за авторефератом 11, 13, 20,27 та 32 і 34 відповідно). З цього ж числа матеріали двох статей не використані в основних розділах дисертаційного дослідження (за авторефератом їх номери 18 і 24).

Результати дисертації пройшли належну апробацію на міжнародних науково-технічних конференціях різних рівнів і семінарах.

Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації.

Дисертація оформлена з дотриманням вимог, написана грамотно.

Зауваження до дисертації

1. В дисертації на стор.5 констатується, що “вперше запропоновано концептуальні засади проектування, модернізації та експлуатації суднових

електроенергетичних систем з установками динамічної компенсації реактивної потужності для підвищення енергоефективності експлуатації морських суден, зниження енергоспоживання, які спрямовані на поступове зниження викидів вуглекислотного газу в атмосферу об'єктами морського транспорту”, але в тексті дисертації жодних даних з факту підтвердження поліпшення цих показників на основі запропонованих дисертантом рішень не наведено.

2. Проведені у дисертаційній роботі модельні дослідження працездатності і швидкодії запропонованого давача реактивної провідності виконано на пофазно симетричних та синусоїдних режимах. Реально ж в суднових електричних мережах є однофазне і трифазне нелінійне активно-індуктивне, освітлювальне, нагрівальне, двигунне, напівпровідникове перетворювальне навантаження, за якого режими в тій чи іншій мірі будуть несиметричні, несинусоїдні і нестабільні в часі. Тому питання точності і швидкодії запропонованого давача реактивної провідності у реальних режимах експлуатації в судновій електроенергетичній установці залишається відкритим.

3. У дисертації досліджено багато структур систем керування, використаних у них типів регуляторів, принципів та моделей керування. Але структурні схеми варіантів цих рішень у роботі не приводяться, а натомість вони описані словесно. Їх комп'ютерні моделі не наводяться і теж не описані. Оцінки адекватності і точність використаних моделей не доведена. Це значно ускладнює аналіз достовірності, коректності та ефективності отриманих у роботі результатів модельних досліджень та сформульованих на їх основі висновків.

4. У роботі приведено багато числових результатів і часових залежностей модельних досліджень. Але вони не систематизовані, нема узагальнень запропонованих рішень для структур і параметрів систем керування силових електроенергетичних установок з метою отримання найкращих показників для певної суднової електроенергетичної установки. У висновках не вказано жодного числового значення показника (чи їх сукупності), що підтверджував би доцільність використання динамічної компенсації реактивної потужності у контексті поставленої у дисертації проблеми поліпшення енергоефективності, електромагнітної сумісності та екологічності режимів суднової електроенергетичної установки.

5. В дисертації в оглядовому першому розділі дисертації вказано, що альтернативою для конденсаторної компенсації реактивної потужності є використання статичних тиристорних компенсаторів реактивної потужності. Варто було б в дисертації дослідити і порівняти ці два підходи за швидкістю, динамічною та статичною точністю для коротких мереж

суднових електроенергетичних установок, що характеризуються співвимірною з двигунним навантаженням потужністю.

6. У дисертації вказується, що для виконання оптимізаційних процедур використовувався метод покоординатного спуску. Це метод ґрунтується на використанні оптимізаційного функціонала від n варіативних параметрів, який в дисертації не наводиться. Тому незрозуміло, як знаходилися оптимальні значення параметрів на онові цього методу.

7. За означенням, багатозв'язані (взаємозв'язані) системи, це системи з перехресними зв'язками між сепаратними (одномірними однозв'язаними) системами. Зважаючи на це, запропонована на рис.4.1 структура системи керування синхронним генератором, у якій використано зворотний зв'язок за напругою для комутації конденсаторів не відноситься до класу взаємозв'язаних. Тому цей термін в дисертації вжито некоректно.

8. На показаній на рис.4.1 дисертації функціональній схемі системи керування синхронним генератором з компенсацією реактивної потужності не показано задаючих, вхідних та збудуючи сигналів, що ускладнює аналіз її роботи, функціональних можливостей та показників.

9. В дисертації для структури системи регулювання напруги синхронних генераторів проведено дослідження ефективності використання класичних П-, І-, Д-регуляторів у різних комбінаціях. Відомо, що для регулювання збудження потужних синхронних генераторів (а до такої відносяться синхронні генератори суднових електроенергетичних установок) використовують спеціалізовані регулятори сильної дії. Чому у дисертації не досліджено ефективності використання для суднових електроенергетичних установок таких регуляторів?

10. Параграфи 6.1- – 6.4 перенасичені матеріалом з літературних джерел інших авторів.

11. У дисертаційній роботі вживаються не загальноприйняті технічні терміни, зокрема: **“математичні моделі називаються комп'ютерними”**, **“координати режимів названо параметрами”**, **“функціональна схема називається структурною”** **“середньо випрямлене значення підміняється діючим”**, використовується термін **“генеруюча мережа”** та ін..

Вказані зауваження дещо знижують загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок

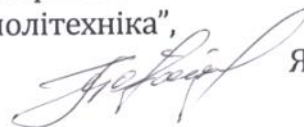
Виходячи з вищезазначеного, можна стверджувати, що дисертаційна робота Мухи Миколи Йосифовича **“Динамічна компенсація реактивної**

потужності в суднових автономних електроенергетичних системах" є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі виконаних автором модельних досліджень вирішено актуальну науково-прикладну проблему підвищення швидкодії процесу регулювання напруги суднових електроенергетичних установок на основі розроблених у дисертаційній роботі системних рішень з динамічної компенсації реактивної потужності.

Тема дисертації повністю відповідає паспорту спеціальності 05.09.03 – "Електротехнічні комплекси та системи".

Дисертаційна робота є актуальною, має наукову новизну і практичну цінність, відповідає нормативним документам, що ставляться до докторських дисертацій, у тому числі вимогам пп. 9, 10, 12 положення про "Порядок присудження наукових ступенів та присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника", а здобувач Муха Микола Йосифович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – "Електротехнічні комплекси та системи".

Професор кафедри "Електромехатроніка та комп'ютеризовані електромеханічні системи" Інституту енергетика та систем керування Національного університету "Львівська політехніка", доктор технічних наук, професор



Я.С.Паранчук

Підпис докт.техн.наук, професора Паранчука Я.С.

засвідчую:

Вчений секретар Національного університету "Львівська політехніка" канд.техн.наук, доцент




Р.Б. Брилинський