

67-72-93/1
10.09.2018р.

**Відгук
офіційного опонента
на дисертацію Мухи Миколи Йосифовича**

«Динамічна компенсація реактивної потужності в суднових автономних електроенергетичних системах» представленої на здобування наукового ступеня доктора технічних наук по спеціальності 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи.

Судова електроенергетична система представляє собою складний автономний енергетичний комплекс, від якого залежить працездатність та надійність роботи судових механізмів і пристроїв.

Актуальність теми полягає у необхідності вирішення проблеми підвищення ефективної роботи електроенергетичного комплексу за рахунок зменшення його енергоємності при забезпеченні заданої функціональності судна, що є сучасною тенденцією.

Вона полягає у виконанні досліджень у двох напрямках:

- формування електроенергетичних систем за рахунок більш енергоефективних генеруючих установок та вдосконалення логістики функціонування її складових в частині зменшення втрат в системі та підвищення коефіцієнту використання встановленого обладнання;
- розробці алгоритмів керування потоками активної та реактивної електроенергії з метою зменшення втрат при генеруванні, розподілі та споживанні електроенергії.

Зменшення споживання електроенергії за рахунок підвищення коефіцієнту використання обладнання, втрат електроенергії при розподілі і споживанні сприяє зменшенню втрат палива і зменшення викидів в зовнішнє довкілля.

Особливість суднової автономної електроенергетичної системи полягає в тому, що ряд навантажень по своїй установленій потужності співвимірні з генеруючими установками, що призводить до значних втрат напруги у пускових режимах, які призводять до несанкціонованого відключення суміжних навантажень, що не припускається. Середній коефіцієнт потужності навантажень знаходиться на рівні 0,7.

Ці особливості призводять до завищення встановленої потужності, завищенню реактивної потужності, яка співвимірна з встановленою потужністю та завищенню втрат електроенергії в електричних колах.

Навантаження в суднових енергосистемах, в зв'язку зі значною кількістю механізмів динамічно змінюється в процесі роботи судна, що призводить до різкого коливання навантаження та напруги.

Вирішення цієї проблеми досягається динамічною компенсацією реактивної потужності та відповідною стабілізацією напруги, що сприяє зменшенню втрат потужності. Для існуючих судових установок ця проблема не вирішена в повному обсязі, що потребує додаткових системних досліджень.

З урахуванням сказаного тема дисертаційної роботи Мухи М.Й. актуальна.

Наукова новизна.

У зв'язку з поставленою метою роботи – розвиток теорії динамічної компенсації в автономній судновій електроенергетичній системі, за рахунок додаткової конденсаторної установки, аналізу і синтезу систем керування генераторними установками з заданими динамічними характеристиками процесів потрібно віднести наступні основні наукові результати:

1. Вперше запропоновано компенсацію реактивної потужності в судових електроенергетичних системах здійснювати у функції зміни реактивної провідності навантаження, що на відміну від відомого керування у функції реактивного струму чи реактивної потужності дало змогу у перехідних режимах комутації статичного та електродвигунного навантаження підвищити швидкодію та точність процесу компенсації реактивної потужності.
2. Вперше опрацьовано закон оптимального керування процесом компенсації реактивної потужності в режимах пуску асинхронного електропривода зі співвимірною з мережею потужністю, що у порівнянні з прямим його пуском дає змогу зменшити у два рази величину струму автономного генератора та зменшити коливальність на заключному етапі процесу пуску асинхронного двигуна.
3. Вперше опрацьовано модель оперативного вимірювання та розрахунку реактивної провідності навантаження в автономних судових електроенергетичних системах, що дало змогу на основі неперервного контролю цього параметра у замкненій системі регулювання підвищити динамічну і статичну точність компенсації реактивної потужності.
4. Вперше розроблено модель оптимального інтегрального імпульсного закону компенсації реактивної провідності навантаження у кожний період змінного струму автономної суднової електроенергетичної системи, що у порівнянні з відомим усередненим законом дає змогу скоротити час відновлення напруги автономної мережі до 3-4 періодів зміни напруги.
5. Вперше запропоновано у структуру системи компенсації реактивної потужності автономної суднової електроенергетичної системи ввести додатковий зворотний зв'язок за напругою генератора, що дало змогу підвищити швидкодію регулювання та динамічну точність стабілізації напруги генератора.
6. Одержали подальший розвиток математичні моделі та розрахунки динамічних процесів і показників енергоефективності в автономних судових електроенергетичних установках, що містять співвимірні за встановленою потужністю синхронні та асинхронні генераторні агрегати, електроприводи і навантаження та установки з додатковою конденсаторною установкою динамічної компенсації реактивної потужності.

Практичне значення отриманих результатів.

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень створений повномасштабний тренажерний комплекс суднової автоматизованої електроенергетичної системи (АЕЕС), що відповідає вимогам Міжнародної Конвенції про підготовку і дипломування моряків та несення вахти 1978р. з поправками (розділ А/1-12) та відповідає реальній конфігурації і компонуванню суднової автоматизованої електростанції з реальними споживачами і типовим навантаженням, який повною мірою використовується для практичної підготовки, а також перевірки компетентності майбутніх офіцерів машинної команди – механіків і електромеханіків. Крім цього зазначений тренажерний комплекс використовується для наукової і науково-технічної підготовки магістрів, аспірантів і докторантів, проведення фундаментальних і прикладних досліджень в галузі експлуатації та автоматизації морських транспортних засобів.

Алгоритми динамічної компенсації реактивної потужності в пускових і робочих режимах асинхронних двигунів суднових механізмів, методики конфігурування контролерів управління судною електростанцією та компенсатором реактивної потужності задля забезпечення необхідних динамічних характеристик, а також підвищення стійкості та надійності АЕЕС в типових експлуатаційних (включаючи і аварійні) режимах роботи використовуються в “Інституті післядипломної освіти” “Одеський морський тренажерний центр” у навчальному процесі для слухачів курсів підвищення кваліфікації у рамках розроблених дисертантом напрямків та програм підготовки і перевірки компетентності офіцерів машинної команди суден, які приводяться на обладнанні тренажерного комплексу суднової АЕЕС.

Наукові положення і висновки дисертації використані в навчальному процесі при підготовці магістрів та бакалаврів спеціальності 271 “Річковий та морський транспорт”, зі спеціалізації “Експлуатація суднового електрообладнання і засобів автоматики” та спеціалізації “Експлуатація суднових енергетичних установок” (“Управління судновими технічними системами та комплексами”) у дисциплінах, які передбачені навчальними планами: “Моделювання суднових електромеханічних та електроенергетичних процесів”, “Оптимізація робочих режимів суднових електроприводів”, “Управління експлуатацією і ремонтом суднових електромеханічних систем”.

Знайдені в результаті досліджень оптимальні структури та співвідношення параметрів систем керування дозволяють створити більш ефективну автономну електроенергетичну систему з синхронними або асинхронними генераторами, що включає конденсаторний компенсатор реактивної потужності. Швидкодія в такій установці буде суттєво вища, а встановлена потужність генераторів менша на 25-40%. На спосіб управління автономною електроенергетичною системою отримано 2 патенти України на винахід.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендації дисертації.

Основні наукові положення, висновки і рекомендації базуються на дослідженнях властивостей лінійних і не лінійних електричних кіл в електроенергетичних системах; замкнених систем автоматичного керування електротехнічними комплексами. Всі виконані в дисертації перетворення, виявлені співвідношення і закономірності обґрунтовані відповідними теоретичними основами теоретичної електротехніки, автоматичного керування підтверджені комп'ютерним моделюванням та експериментальними дослідженнями, тому достовірність отриманих результатів теоретичних положень і наукових результатів не визиває сумніву.

Повнота викладу результатів досліджень в опублікованих працях.

Основні результати досліджень опубліковані в 34 друкованих наукових працях (5 без співавторів), серед яких 3 монографії, 20 статей опубліковані у наукових фахових виданнях України (8 з них індексуються у наукометричних базах даних), 3 у закордонних періодичних наукових виданнях (з них 1 індексується у наукометричних базах даних, 1 – у Scopus), 2 статті – у працях міжнародних конференцій на англійській мові; 2 патенти України на винахід та 1 на корисну модель.

Наведений перелік публікації, їх зміст і обсяг відповідають темі дисертації та відображають отримані положення, наукові результати, висновки, практичне значення.

Оцінка змісту дисертації та її завершеності.

Дисертація складається із вступу, семи розділів, висновків до роботи, списку використаної літератури, переліку використаних позначень та додатків. Повний обсяг становить 403 сторінки. Робота містить: 151 ілюстрації до тексту, перелік умовних позначень на 2 сторінках; список використаних джерел із 226 найменувань на 23 сторінках; додатки на 71 сторінках. Обсяг основного тексту становить 285 сторінки.

У вступі дана загальна характеристика роботи, обґрунтована її актуальність, визначено об'єкт і предмет дослідження, представлена наукова новизна і практичне значення результатів, а також надані відомості про апробацію дисертаційної роботи.

У першому розділі проведено аналіз систем компенсації реактивної потужності та елементів генеруючої системи. Виявлені особливості компенсації реактивної потужності в автономних електроустановках. Дано аналіз існуючих систем і пристроїв статичної і динамічної компенсації реактивної потужності, проведено їх порівняльний аналіз, наведені експериментальні осцилограми, які свідчать про переліки систем динамічної компенсації.

Розглянуто способи керування динамічними характеристиками

системи стабілізації напруги синхронного генератора розроблені з участю автора, показана їх достатньо висока ефективність по швидкодії та залежність якості перехідного процесу від величини ємності і коефіцієнту передачі K .

Подана доцільність застосування асинхронних генераторів та використання конденсаторної компенсації з тиристорними комутаторами.

У другому розділі сформульовані необхідність вирішення науково-технічної проблеми динамічної компенсації реактивної потужності, наукові задачі по вибору елементів, методів дослідження, вимірювання змінних струму.

Наведені данні про експериментальну модель асинхронного дизель-генератора, створено унікальний повномасштабний тренажер, який дозволяє експериментально дослідити алгоритми керування всією електроенергетичною системою судна, та проводити на ньому підготовку спеціалістів.

Дано опис моделей найсуттєвіших складових елементів електроенергетичної системи та структура її математичної моделі.

Показано, що для таких складних електроенергетичних судових систем, найбільш доцільним прийнятні методи математичного моделювання, методи теорії автоматичного керування та дослідження процесів та режимів роботи системи на створених експериментальних установках та повномасштабному тренажері.

Третій розділ присвячений аналізу вимірюваних величин, що характеризують реактивну потужність в навантаженні. Методом математичного моделювання у відносних одиницях показано динаміку змін величин пов'язаних з виміром реактивної потужності. Показано, що керування реактивної потужності в функції регулювання реактивної провідності, яка пропорційна компенсуючій ємності, значно підвищує швидкодію та якість перехідних процесів. Розроблена методика вимірювання реактивної провідності та фільтрації сигналу регулювання від високочастотних складових. За участю автора розроблено на рівні винаходу давач реактивної провідності.

У четвертому розділі проведено дослідження закону керування генераторною установкою з синхронним генератором з компенсацією реактивної потужності. Доведено методом комп'ютерного моделювання оптимальні по сумарному інтегральному критерію є закон регулювання реактивної потужності за додатковим зворотнім зв'язком по відхиленню напруги, названі автором UI — закон керування.

Досліджені системи з імпульсним регулюванням компенсацією реактивною потужністю.

Показано, що при реалізації аналогового UI — регулятора при імпульсному регулюванні конденсаторною установкою кількість настроявальних параметрів зменшується до 2-х при практично однаковій якості і точності перехідних процесів. Показано, що найкращі властивості має система з мінімальним періодом дискретизації, який рівний періоду напруги мережі, та використанні в якості координати реактивної

потужності величини реактивної провідності навантаження.

У п'ятому розділі методом комп'ютерного моделювання проведено дослідження процесу прямого пуску асинхронного двигуна з компенсацією реактивної потужності. Показано, що при підтриманні коефіцієнту потужності рівному "1" пусковий струм зменшується у 2 рази.

Теоретично та комп'ютерним моделюванням досліджено аналогові і дискретні закони керування реактивною потужністю. Приведені рекомендації щодо вибору сталих часу, коефіцієнтів керування для пропорціональних та пропорційно-інтегральних регуляторів в залежності від потрібної швидкодії або якості процесу.

В шостому розділі автором досліджені процеси регулювання напруги асинхронного генератора шляхом керування реактивною потужністю збудження статорного кола. На базі отриманих передавальної функції та коефіцієнтів передачі асинхронного генератора синтезовані імпульсні системи керування реактивною потужністю.

Досліджені коливальні властивості та швидкодія регулювання напруги асинхронної генераторної установки, одержані умови стійкості.

Показано, що стійкість системи значною мірою визначається коефіцієнтом підсилення швидкодіючої ланки.

Дослідження якості перехідних процесів показало, що параметри перехідних процесів, регламентованих нормативними документами, досягаються в системі імпульсного керування з інтегральним регулятором і практично являються більш доцільним.

У сьомому розділі проведена оптимізація та порівняння режимів роботи суднових генераторних установок. Сформульована задача і критерії оптимізації. В якості критерію вибраний функціонал, величина якого пов'язана з мінімізацією площі під кривою відхилення напруги від номінальної протягом перехідного процесу.

Проведено порівняння систем стабілізації з оптимізованим по єдиному критерію регуляторів асинхронної та синхронної генераторних установок при однаковому навантаженні. Результати досліджень показують явну перевагу асинхронної генераторної установки як за швидкодією (практично на порядок), так і за якістю кривої напруги.

Порівняльний аналіз зроблено в режимі паралельної роботи двох систем, який підтверджує перевагу асинхронної установки по швидкодії встановлення сталої напруги після підключення. Вказана перевага має місце коли різниця в частоті обертання знаходиться в межах ковзання асинхронної генераторної установки.

Текст дисертації викладено грамотною технічною мовою, логічно і послідовно. Стиль викладення системний, доказовий.

В цілому дисертація є закінченою науковою роботою, що відповідає спеціальності 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи.

Зміст автореферату відповідає змісту дисертації.

В дисертації на здобуття наукового ступеня доктора наук не виносяться на захист положення та наукові результати, які були захищені здобувачем у кандидатській дисертації.

Недоліки та зауваження по роботі.

1. В п.2 новизни вказано на "опрацювання оптимального закону" бажано було би вказати, чим він відрізняється від відомих, які також сприяють зменшенню струму.

2. В п.3 новизни в даній редакції протирічить п.1 новизни оскільки результат впровадження один і той же.

Оскільки вимірювання величини не є самим вагомим внеском в швидкодію регулятора, но є важливим елементом структури. В даному разі слід було би сформулювати завершення редакції п.2 наступним чином «...що дало змогу на основі неперервного контролю цього параметра у замкненій системі керування реалізувати на базі положень п.1 та п.2 новизни систему з високою швидкодією та статичною точністю».

3. Автором прийнятий не зовсім відомий стиль викладення матеріалу: розділи 1 і 2, де аналіз існуючих досліджень перемежовується з особистими дослідженнями, які явно в тексті не виділені.

4. При аналізі існуючих систем компенсації реактивної потужності доречно було би вказати їх недоліки, які потребують їх подальшого удосконалення.

5. У порівняльному аналізі існуючих систем динамічної компенсації наведені експериментальні осцилограми, з яких видно недоліки системи компенсації, але відсутній їх аналіз.

6. В роботі наведена значна кількість осцилограм, де використовуються відносні величини поряд з абсолютними значеннями, але в тексті не вказані базові величини.

7. При аналітичних аналізах не вказано при яких допущеннях справедливі одержані співвідношення, або посилання на типові - прийняті при аналізі процесів у електричних машинах та електромеханічних системах.

8. Автор використовує при своїх дослідженнях метод фізичного моделювання. Наявність експериментальних досліджень на фізичних моделях значно підвищує цінність отриманих результатів. Для загальних висновків при фізичному моделюванні потрібно використовувати принципи подібності в електромеханічних комплексах, що значно посилює би результати досліджень. Для більш коректного використання результатів на фізичних моделях слід було би вказати діапазон потужностей при яких одержані результати, можливо використовувати сприйнятою точністю абсолютні та якісні показники.

9. Дисертант являється автором проекту створення унікального тренажера (названий в роботі повномасштабним) суднової електроенергетичної системи, який дозволяє провести певний об'єм досліджень. Створення тренажерів суднової енергосистеми є значною науково-технічною проблемою, яка може бути предметом об'ємних досліджень в тому числі і дисертацій, зважаючи на їх надзвичайну практичну цінність.

