

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію

Лободи Юрія Васильовича

«Система керування статичними компенсаторами реактивної потужності в несиметричних несинусоїдних режимах розподільних мереж»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Актуальність обраної теми

Ріст кількості і потужності нелінійних та несиметричних споживачів у електричних мережах потребує розвитку і вдосконалення технічних засобів симетрування напруг, фільтрування вищих гармонік та стабілізації напруги.

Широке впровадження різкозмінних навантажень з нелійними характеристиками створює необхідність застосування спеціальних пристроїв для забезпечення нормативних значень параметрів якості електроенергетики, так як споживана з мережі реактивна потужність, коливання напруги (флікер), гармонічні спотворення, небаланс напруг та ін. спричиняють негативний вплив на мережу та надійність електропостачання споживачів.

З появою потужних високоякісних повністю керованих пристроїв типу IGCT та IGBT з'явилася можливість реалізації нового типу пристроїв, що називаються СТАТКОМ (статичний синхронний компенсатор).

Дане обладнання знайшло широке застосування у світовій енергетиці та має всі переваги традиційного обладнання, а також переважає його за багатьма характеристиками. Основними сферами його застосування є: підвищення коефіцієнта потужності, зменшення втрат при передаванні і розподілі електроенергії за рахунок швидкодіючої компенсації реактивної потужності, фільтрування вищих гармонік струмів, покращення стійкості при перехідних процесах і в аварійних режимах, збільшення пропускної здатності електрообладнання за рахунок компенсації реактивної потужності. СТАТКОМ фундаментально вирішує проблему якості електричної енергії в електричних системах і має безліч переваг порівняно з аналогами у своєму класі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота Лободи Ю.В. виконана згідно із планом науково-дослідних робіт кафедри „Електротехнічні системи електроспоживання та енергетичний менеджмент” Вінницького національного технічного університету, а також згідно „Програми наукових досліджень і розробок Міністерства освіти і науки України за пріоритетними напрямками розвитку науки та техніки” у рамках науково-дослідної роботи № 22 К1 „Теорія та практика оптимального керування режимами систем електропостачання за реактивною потужністю та якістю електроенергії”.

Дана робота відповідає вимогам «Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», яка передбачає свідоме та енергоефективне суспільство, а саме: впровадження на державному та муніципальному рівнях, а також на підприємствах, та постійне

вдосконалення системи енергетичного менеджменту, зокрема, відповідно до вимог стандартів та міжнародних угод; зниження втрат енергії при її передачі та розподілі.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, їх достовірність і новизна

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі, є достатньою й базується на детальному аналізі інформаційних джерел за даною проблемою, чіткій постановці мети і задач дисертації, використанні сучасних методів дослідження, зіставленні і порівнянні отриманих автором результатів з результатами інших дослідників, а також у якісному та аргументованому формулюванні висновків. Достовірність результатів дисертаційних досліджень забезпечується коректністю постановок математичних задач, адекватним використанням процедур і методів, що базуються на фундаментальних положеннях теоретичної електротехніки та математичного аналізу.

Отримані висновки в дисертації коректні і повністю відповідають зазначеним задачам дослідження. Наукові положення, розроблені дисертантом, базуються виключно на використанні адекватних методів досліджень.

Тому можна стверджувати, що приведені в дисертаційній роботі висновки і рекомендації щодо використання результатів досліджень достатньо обґрунтовані і відповідають дійсності.

Висновки, рекомендації та практичні рішення, наведені в роботі, заслуговують на увагу і можуть бути рекомендовані для використання під час розробки та вдосконалення схем керування статичними компенсаторами реактивної потужності.

Наукову новизну проблеми, що вивчається автором, можна оцінити відразу в методологічному, науковому та практичному аспектах.

Основні результати, отримані автором в дисертаційній роботі, які мають наукову новизну:

- Обґрунтовано метод прямого керування струмом СТАТКОМ, згідно з яким за фазними несинусоїдними струмами навантаження визначаються їх діючі значення і формуються синусоїдні одиничні сигнали з початковими фазами, які дорівнюють початковим фазам несинусоїдних струмів. Добуток цих величин забезпечує формування синусоїдних струмів, що дорівнюють основній гармоніці несинусоїдних струмів фаз навантаження. Різниця струмів навантаження і сформованих синусоїдних струмів компенсується СТАТКОМ і забезпечує фільтрування вищих гармонік.
- Удосконалено систему dq-керування струмом СТАТКОМ з формуванням i_{d2} та i_{q2} , що забезпечує істотне зменшення перерегулювання у разі симетрування синусоїдних струмів навантаження.
- Розвинуто метод керування статичними синхронними компенсаторами з використанням миттєвих симетричних струмів зворотної та нульової послідовностей, що забезпечує зменшення динамічних помилок симетрування струмів навантаження.

Повнота викладу результатів дисертаційної роботи у наукових виданнях та їхня апробація

Основні положення розділів дисертації достатньо повно висвітлені у 15 публікаціях, серед яких 7 у наукових фахових виданнях України, одна у виданні, яке індексується в міжнародній наукометричній базі Scopus, 7 – у матеріалах конференцій та семінарів.

Результати дисертаційної роботи доповідались на 2 міжнародних науково-технічних конференціях.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробленні систем прямого керування струмом СТАТКОМ для покращення якості симетрування навантажень та якості електроенергії в розрізі зменшення несинусоїдності та несиметрії напруги в розподільних мережах.

Метод прямого керування струмом статичного синхронного компенсатора впроваджено в ТОВ “Українські технологічні продукти”, що підтверджено актом про впровадження від 06.02.2020 р.

Результати роботи також використовуються у ВНТУ на кафедрі “Електротехнічні системи електроспоживання та енергетичний менеджмент” для підготовки фахівців за спеціальністю 141 – “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”, довідка про впровадження від 07.02.2020 р.

У дисертації відсутні порушення академічної доброчесності. Всі запозичені ідеї, наукові результати, цитати супроводжуються належними посиланнями на їх авторів та джерела опублікування. Здобувачем відзначено особистий внесок в роботах, опублікованих у співавторстві.

Структура і зміст роботи

Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел із 106 найменування та додатків, містить 72 рисунки, 9 таблиць. Загальний обсяг дисертації становить 156 сторінок.

У першому розділі проведено огляд сучасного стану засобів та пристроїв динамічної компенсації реактивної потужності та підвищення якості електричної енергії в розподільних мережах.

Показано, що суттєвим недоліком існуючих методів керування статичними компенсаторами, які основані на миттєвих струмах зворотної послідовності, є те, що вони не забезпечують високої швидкодії та характеризуються значним перерегулюванням при накидах навантажень. А недоліком методів, які ґрунтуються на теорії миттєвої потужності є те, що вміст вищих гармонік після компенсації є суттєвим.

Визначено мету і задачі досліджень.

Другий розділ дисертації присвячений вимірюванню реактивної та пульсуючої потужностей у несиметричних несинусоїдних режимах трифазних електричних мереж.

Проаналізовано можливості вимірювання реактивної потужності в несиметричних і несинусоїдних режимах електричних мереж із заземленою

нейтраллю з використанням класичної та миттєвої теорії потужностей. Показано, що за незначної несиметрії можна використовувати будь-яку з потужностей.

Вибрано інформативні параметри для керування компенсаційними симетрувальними пристроями.

Розроблено структурну схему пристрою динамічної компенсації реактивної потужності зі симетруванням навантажень, що містить один контур регулювання.

Проведено аналіз помилок симетрування швидкозмінних навантажень за умов несинусоїдності. Показано, що застосування миттєвих умовних потужностей зворотної послідовності навантаження забезпечує допустиме значення помилок симетрування, що зумовлені несинусоїдністю.

У **третьому розділі** основна увага приділена розробці системи прямого керування струмом статичних синхронних компенсаторів.

Запропоновано модель блоку керування СТАТКОМ з використанням i_{d2} та i_{q2} для симетрування синусоїдних струмів навантаження, а також алгоритм формування миттєвих струмів прямої, зворотної та нульової послідовностей.

Розроблено метод прямого керування струмом розподільних СТАТКОМ. Представлено реалізацію блоку керування СТАТКОМ на основі прямого керування струмом для фільтрації вищих гармонік та використання i_{d2} та i_{q2} для симетрування навантаження.

Запропоновано блок керування СТАТКОМ на основі спрощеної системи прямого керування струмом СТАТКОМ, яка рекомендується для практичного застосування.

Проведено аналіз динамічних помилок розподільних СТАТКОМ у випадку коливань навантаження. Показано, що динамічні помилки симетрування навантажень та фільтрування вищих гармонік за допомогою СТАТКОМ залежать від швидкості зміни навантаження.

Четвертий розділ присвячено порівняльному аналізу систем керування статичних компенсаторів реактивної потужності в мережах із заземленою нейтраллю.

Виконано моделювання системи керування СТАТКОМ на основі pq -теорії миттєвої потужності в середовищі MATLAB Simulink; моделювання системи керування СТАТКОМ в системі dq -координат; моделювання розподільних СТАТКОМ на основі прямого керування струмом, а також моделювання системи прямого керування струмом за істотного рівня несиметрії.

Показано, що найкращими з точки зору фільтрування вищих гармонік та симетрування струмів є система керування СТАТКОМ з прямим керуванням струмом у системі dq -координат. Пульсації струмів мережі i , відповідно, пульсуючих потужностей мережі в перехідних режимах на 30% менші, ніж у разі використання СТАТКОМ з керуванням у системі dq -координат.

Дискусійні положення та зауваження щодо змісту дисертації

1. В останні роки в науковій електротехнічній літературі вже усталилось поняття «потужності спотворення», яка спричинена несинусоїдністю навантажень. У представленій роботі ця величина не згадується, хоча її можна було б використати в алгоритмі керування СТАТКОМ, хоча б як інформаційний показник.
2. Складно перевірити відповідність приведених у роботі результатів, отриманих за допомогою моделювання схем електричних мереж у середовищі Simulink, оскільки, у роботі не наведено основні параметри блоків Simulink, які використовувалися для створення моделі та симуляції. Наприклад, приведена на рисунку 2.9 – «Схема дослідної моделі з несиметричним активно-індуктивним навантаженням» не містить опису характеристик основних блоків мережі, що унеможливорює створення аналогічної моделі та перевірки отриманих результатів, які зображені на рис. 2.10 – 2.13.
Доцільно було б вказати параметри усіх застосовуваних у системі блоків, а саме параметри: трифазного джерела живлення та активного опору, який приєднаний до нього; активного та реактивного опорів навантаження і т. д. , а також більш детально описати кожен блок, використаний у моделі, його функціональне призначення та принцип роботи системи в цілому.
3. Розділ 3.4 гучно називається «Удосконалення системи прямого керування струмом за істотного рівня несиметрії», хоча мова йде лише про обмеження окремих функцій СТАТКОМ.
4. На рис. 3.10, 3.13, 3.14 невірно вказані підписи осі часу.
5. Немає фізичної реалізації системи керування СТАТКОМ, тому не можна оцінити її ефективність на практиці.
6. У роботі є незначні описки та граматичні помилки. Для прикладу, на стор. 58 невірно вказана розмірність « $P_2 = 42$ квар» замість кВт. По тексту часто вживається слово «складники». Воно більше підходить до технічних конструкцій. У розрізі матеріалу роботи краще вживати термін «складові».

Вказані зауваження не є принциповими і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Загальний висновок

Дисертація Лободи Юрія Васильовича «Система керування статичними компенсаторами реактивної потужності в несиметричних несинусоїдних режимах розподільних мереж» є кваліфікаційною науковою працею, виконаною здобувачем особисто, містить наукові положення, нові науково обґрунтовані теоретичні результати проведених здобувачем досліджень, що мають істотне значення для галузі знань 14 - Електрична інженерія та підтверджуються документами, які засвідчують проведення таких досліджень, а також свідчить про особистий внесок здобувача в науку та характеризується єдністю змісту.

Виходячи з актуальності обраної теми, обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх новизни, повноти викладу в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації, відсутність порушення академічної доброчесності, вважаю, що дисертація цілком відповідає вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах) затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року № 261 (зі змінами і доповненнями від 03 квітня 2019 року № 283) та вимогам до рівня наукової кваліфікації здобувача, передбачених пунктом 10 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 06 березня 2019 р. № 167, а її автор - Лобода Юрій Васильович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Офіційний опонент, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки і електромеханіки Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, кандидат технічних наук, доцент

 О.В. Соломчак

16 вересня 2020 року

