

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Савенко Ольги Сергіївни
«Удосконалення пристроїв компенсації реактивної потужності
та методів управління ними»,

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.09.03 – Електротехнічні комплекси та системи

Актуальність теми дисертаційного дослідження.

Підвищення ефективності передачі, розподілу та споживання електричної енергії за рахунок удосконалення існуючих пристроїв компенсації реактивної потужності є важливим науковим завданням. В даний час електроенергетика України характеризується високим рівнем втрат електроенергії при передачі (до 20%), що значно перевищує показники європейських країн. Це пов'язано, зокрема, і з низьким рівнем компенсації реактивної потужності. Крім того наявність реактивних перетікань, окрім збільшення втрат у мережі, призводить до необхідності використання електрообладнання збільшеної потужності, кабельних та повітряних ліній зі збільшеним перетином, тощо.

Традиційна компенсація реактивної потужності не завжди є ефективною при наявності навантажень, які мають змінний графік споживаної реактивної потужності, напівпровідникові пасивні пристрої при роботі можуть погіршувати спектральний склад струму, а багатофункціональні активні пристрої компенсації, використання яких має багато переваг, відзначаються своєю великою вартістю.

В дисертації розглядається робота гібридних пристроїв компенсації, що складаються з пасивної та активної частин, а саме дослідження присвячене розробці підходів до керування компенсаторами, які забезпечують ефективний перерозподіл потужностей між пасивною та активною частинами, та алгоритмів вибору параметрів пасивної частини, що дозволяє суттєво зменшити потужність активної частини.

Актуальність теми роботи підтверджується і тим, що вона пов'язана з

виконанням науково-дослідної роботи ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» «Розробка імпульсних перетворювачів з функціями підвищення енергоефективності розподільчих електричних мереж» (номер державної реєстрації 0117U003995, 2017-2020 рр.), де автор брав участь у якості виконавця.

Оцінка обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків та рекомендацій.

Ступінь обґрунтованості отриманих у дисертації наукових положень і висновків є достатнім та підтверджується проведенням досліджень із застосуванням відомих теоретичних аналітичних та чисельних методів, збігом теоретичних результатів з результатами імітаційного та математичного моделювання. Проведений аналіз змісту дисертаційної роботи Савенко О.С. дозволяє відзначити, що внаслідок проведених теоретичних та експериментальних досліджень здобувачем виконано усі поставлені завдання дослідження та отримані наступні основні **наукові результати**:

1. Набув подальшого розвитку метод забезпечення плавного регулювання реактивної потужності гібридного компенсатора, який складається з послідовно з'єднаних активної та пасивної частин, що полягає у встановленні ємності ступенів пасивної частини компенсатора у відповідності до отриманих закономірностей, та дозволяє мінімізувати питому потужність активної частини компенсатора.

2. Удосконалено систему керування активною частиною гібридного компенсатора реактивної потужності, яка забезпечує формування синусоїдного струму у конденсаторах пасивної частини компенсатора, що дозволяє усунути перенапругу на них та покращити надійність компенсатора.

3. Удосконалено спосіб підключення та керування гібридного компенсатора реактивної потужності, який полягає у тому, що активна частина підключається до мережі через трифазний (або три однофазні) вольтододавальний трансформатор, а керування відбувається з урахуванням

запізнювання у трансформаторі. Це дозволяє використати у такому гібридному компенсаторі реактивної потужності стандартні трививідні батареї конденсаторів з внутрішньою схемою з'єднання «трикутник».

4. Вперше запропоновано спосіб керування гібридним компенсатором реактивної потужності з трансформаторним підключенням до мережі, який полягає у формуванні активних струмів компенсації, що інжектуються у дві фази компенсатора за схемою відкритого трикутника. Це дозволяє покращити техніко-економічні показники гібридного компенсатора реактивної потужності за рахунок зменшення кількості однофазних вольтододавальних трансформаторів.

5. Удосконалено спосіб керування гібридним компенсатором реактивної потужності, який дозволяє забезпечити плавність регулювання реактивної потужності та інжектувати вищі гармоніки струму навантаження з від'ємним знаком у точці підключення компенсатора, що дає змогу компенсатору обмежено виконувати функції паралельного активного фільтру вищих гармонік.

Аналіз змісту дисертаційної роботи.

У вступі обґрунтовано доцільність та актуальність дисертаційної роботи, відзначено зв'язок роботи з науковими програмами та планами, сформульовано мету та задачі дослідження, викладено наукову новизну, практичне значення результатів роботи, а також подані відомості про апробацію дисертаційної роботи.

У першому розділі наведено основні відомості про проблему компенсації реактивної потужності, виконано огляд досліджень за тематикою роботи. Був виконаний аналіз наслідків генерації реактивної потужності з боку енергосистеми. Розглянуті особливості розрахунку реактивної потужності при несинусоїдних режимах. Наведене обґрунтування необхідності впровадження компенсації реактивної потужності на промислових підприємствах. Розглянуті основні методи та пристрої компенсації реактивної потужності та складена порівняльна таблиця, у якій підсумовані недоліки та переваги кожного з них. За

результатами проведено аналізу літературних джерел сформульовано задачі дослідження.

Другий розділ дисертації присвячений вдосконаленню схемних рішень та систем керування гібридним компенсатором реактивної потужності, який складається з батареї конденсаторів та активного компенсатора на базі інвертора напруги, що з'єднані послідовно. Наведені оригінальні методики розрахунку ємностей ступенів батареї конденсаторів, використання яких дозволяє використовувати активну частину потужністю до 20% від потужності всього компенсатора. Наведений порівняльний аналіз регулювальних характеристик, побудованих для традиційних та розроблених методик розрахунку. Складений математичний опис роботи гібридного компенсатора, у якому перевірена працездатність запропонованих підходів до встановлення ємностей ступенів у режимі компенсації реактивної потужності з забезпеченням синусоїдності струму компенсатора та у режимі додаткової обмеженої фільтрації вищих гармонік. Дослідження проводилися для трипровідного та чотирипровідного підключення до мережі.

Представлені структурні схеми систем керування роботою гібридного компенсатора для двох стратегій керування у однофазному та трифазному виконанні. Розроблений спосіб стабілізації напруги у ланці постійного струму, який дозволяє зменшити час перехідного процесу при зміні величини навантаження до 0,02 с. Запропоновано систему керування регулятором струму завдання, яка «адаптується» під зміну величини індуктивності інтерфейсного фільтру під час роботи та забезпечує постійну середню частоту перемикання ключів інвертора.

Третій розділ роботи присвячений дослідженню роботи гібридного компенсатора реактивної потужності за умови несиметрії напруг живлення. Проведене імітаційне моделювання в графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink пакета Matlab. Розроблені імітаційні моделі для безпосереднього та трансформаторного підключення пристрою до мережі. Другий варіант дозволяє використовувати у якості пасивної частини

компенсатора стандартні трифазні батареї конденсаторів з трьома виводами. Розроблені системи керування роботою компенсатора з двофазним та трафазним з'єднанням активної та пасивної частин. Виконане моделювання для режимів компенсації реактивної потужності та додаткової компенсації вищих гармонік в умовах симетричної та несиметричної напруги живлення при трансформаторному та безпосередньому підключенні до мережі.

У четвертому розділі дисертації представлені експериментальні дослідження гібридного компенсатора реактивної потужності. Наведений опис розробленого експериментального зразка компенсатора, основні характеристики та принципові електричні схеми модулів. Описані умови проведення лабораторних досліджень та наведені їх результати, які підтвердили коректність теоретичних положень, викладених у роботі.

У висновках дисертаційної роботи, що складаються з семи пунктів, проведено узагальнення отриманих теоретичних та практичних результатів відповідно до мети та задач дисертаційної роботи.

Ідентичність змісту автореферату та дисертаційної роботи. Зміст автореферату відображає основні положення дисертаційної роботи.

Практична цінність роботи.

Результати дисертаційної роботи мають важливе значення для розвитку теорії і практики фізичного та математичного моделювання системи керування гібридним компенсатором реактивної потужності, що складається з батареї конденсаторів з тиристорним перемиканням та інвертора, яка дозволяє забезпечити плавність регулювання реактивної потужності та зменшити питому потужність інвертора на рівні 20 % від загальної потужності компенсатора.

Отримана система керування гібридним компенсатором реактивної потужності дозволяє забезпечити синусоїдний струм через батареї конденсаторів пасивної частини компенсатора при наявності несинусоїдності напруги мережі.

Імітаційні моделі гібридних компенсаторів реактивної потужності та

складений математичний опис їх роботи дозволяють проводити аналіз роботи гібридного компенсатора при чотири- або трипровідному підключенні до мережі, за наявності або відсутності несинусоїдності та несиметрії.

Розроблений гібридний компенсатор реактивної потужності дозволяє в якості батареї конденсаторів з тиристорним перемиканням використовувати стандартну трививідну батарею.

Промислове випробування розробок пройшло в умовах ТОВ «Магма» та ПрАТ «МК «Азовсталь» та підтвердило ефективність розробок для промислового використання.

Повнота висновків, сформульованих у дисертації.

Висновки, що сформульовані автором дисертаційного дослідження, є науково обґрунтованими, достатньо повними, логічними та відображають її сутність. Вони базуються на загальновідомих фундаментальних положеннях теорії електротехніки, методів математичного та імітаційного моделювання, результатах експериментальних досліджень здобувача.

Відповідність дисертації встановленим вимогам.

За структурою, характером викладення матеріалів дисертації та автореферату (який висвітлює основні положення, новизну, практичну значимість та висновки дисертації) та апробацією результатів дисертаційна робота «Удосконалення пристроїв компенсації реактивної потужності та методів управління ними» відповідає вимогам пунктів 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету міністрів України від 24.07.2013 р. № 567 зі змінами від 19.08.2015 р. № 656.

Повнота викладу в опублікованих працях.

Основні положення і результати дисертації опубліковано у 23 наукових працях, з них: 6 статей у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, 1 стаття у науковому виданні іншої

держави, 1 патент України на винахід. Основні положення роботи доповідалися на багатьох наукових міжнародних конференціях.

Зауваження та побажання до дисертаційної роботи:

- результати проведеного порівняльного аналізу основних показників роботи пристроїв компенсації реактивної потужності, що наведені у таблиці 1.1, недоцільно наводити у вербальних категоріях «низька», «велика», «середня».

- у розділі 3 недостатньо описана робота структурних схем керування, наведених на рис. 3.36, 3.46, нерозкритий фізичний зміст та підхід до розрахунку масштабуючих коефіцієнтів G_{REF} і B_{REF} ;

- у тексті дисертації не зазначено як саме будуть відпрацьовувати розроблені системи керування у випадку аварійних режимів роботи;

- було б доцільно провести експериментальні дослідження з перевіркою обох стратегій керування, у роботі представлені результати перевірки тільки однієї стратегії, у той же час імітаційне моделювання проводилося для двох варіантів;

- у розділі 4 не наведена внутрішня електрична схема та характеристики плати керування симісторами. Можливо використано готове рішення, але у тексті роботи це не зазначено;

- в дисертації при оформленні тексту присутні неточності в термінології, наприклад, управління замість керування, ланцюг замість кола, синусоїдальність замість синусоїдність та інші.

Перелічені недоліки не зачіпають суті виконаних досліджень.

Оцінка дисертаційної роботи в цілому.

Дисертаційна робота Савенко Ольги Сергіївни «Удосконалення пристроїв компенсації реактивної потужності та методів управління ними» відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 щодо кандидатських дисертацій, які встановлює «Порядок присудження наукових ступенів», затверджених Постановою Кабінету

Міністрів України від 24.07.2013 р., № 567 (зі змінами). Вона є завершеною науковою працею, в якій отримані нові науково-обґрунтовані результати, що мають важливе значення для підвищення ефективності передачі, розподілу та споживання електричної енергії.

Зауваження по роботі не вносять будь-яких сумнівів в наведені вище висновки про обґрунтованість, достовірність та новизну її наукових положень та рекомендацій – вони скоріше носять характер побажань до майбутньої наукової діяльності автора.

Враховуючи актуальність теми дисертаційної роботи, отримані достовірні результати, що мають наукову новизну та практичну значимість, та достатню повноту висвітлення основних положень дисертаційної роботи в опублікованих працях, вважаю, що Савенко Ольга Сергіївна заслуговує на присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 «Електротехнічні комплекси та системи».

Офіційний опонент:

доцент кафедри електропостачання
імені професора В.М. Синькова
Національного університету біоресурсів
і природокористування України,
кандидат технічних наук, доцент

А.О. Омельчук

Підпис доц.Омельчука А.О. засвідчую

