

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Савенко Ольги Сергіївни

«Удосконалення пристроїв компенсації реактивної потужності та методів управління ними», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – Електротехнічні комплекси та системи

1. Актуальність теми дисертаційного дослідження.

Сучасні електричні мережі характеризуються постійним збільшенням кількості та потужності неоднорідних навантажень, що призводить до зростання споживаної/генерованої реактивної потужності (РП) та викликає збільшення реактивних струмів. Наявність їх перетоків, що циркулюють між електромережею та споживачами, негативно впливає на якість електроенергії й стабільність режимів роботи електричних мереж. Застосування традиційних засобів компенсації РП має ряд суттєвих недоліків, а саме: неможливість плавного керування величиною та знаком її вектора, чутливість до форми прикладеної напруги, генерація струмів вищих гармонік в мережу, а використання сучасних активних пристроїв компенсації не завжди є економічно доцільним. Актуальним рішенням проблеми компенсації реактивної потужності є використання гібридних систем, які поєднують переваги пасивних та активних компенсуючи пристроїв, при цьому їх вартість суттєво нижче у порівнянні з активними пристроями компенсації РП.

Підвищення ефективності та зниження собівартості таких гібридних систем компенсації реактивної потужності є актуальною та своєчасною науково-прикладною задачею.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана на основі програм держбюджетних науково-дослідних робіт ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» за темою «Розробка імпульсних перетворювачів з функціями підвищення енергоефективності розподільчих електричних мереж» (номер державної реєстрації 0117U003995, 2017-2020 рр.).

3. Обґрунтованість наукових положень, викладених у дисертаційній роботі, ступінь їх новизни.

Основні наукові положення, що визначають **наукову новизну** роботи, полягають у наступному:

1. Набув подальшого розвитку метод забезпечення плавного регулювання реактивної потужності за допомогою гібридного компенсатора, який складається з послідовно з'єднаних активної та пасивної частин, що полягає у

встановленні значень 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 РП.

3. Удосконалено спосіб підключення та керування гібридного компенсатора реактивної потужності, який полягає у тому, що активна частина підключається до мережі через один трифазний або три однофазні вольтододавальні трансформатори, а керування відбувається з урахуванням запізнювання у трансформаторі. Це дозволяє використати у такому гібридному компенсаторі реактивної потужності стандартні 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 інjektуються 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 інjektувати вищі гармоніки струму навантаження з від'ємним знаком у точці підключення компенсатора, що дає змогу компенсатору обмежено виконувати функції паралельного активного фільтру вищих гармонік.

4. Повнота висновків, сформульованих у дисертації.

Висновки, що сформульовані автором дисертаційного дослідження, є науково обґрунтованими та базуються на детальному вивченні об'єкта дослідження, його особливостей, ретельному аналізі літературних джерел, досвіді фахівців стосовно сучасних методів та засобів компенсації реактивної потужності, результатів експериментальних досліджень самого автора.

5. Практичне значення результатів роботи

Результати дисертаційної роботи Савенко О.С. пройшли промислове випробування в умовах ТОВ «Магма» та ПрАТ «МК «Азовсталь»; розрахований очікуваний економічний ефект, отриманий за рахунок зниження сплати за перетоки реактивної потужності, підвищення якості електричної енергії та

зменшення втрат потужності, що зумовлено зниженням неактивних складових в споживаному струмі. Результати дисертаційних досліджень впроваджені у навчальний процес на кафедрі систем автоматизації та електроприводу ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет».

6. Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому.

У вступі переконливо обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи; детально сформульована мета та задачі роботи. Визначена практична та наукова цінність роботи, а також представлені відомості про апробацію матеріалів дисертації у фахових журналах та на наукових конференціях.

У **першому** розділі розглянуто сучасний стан проблеми компенсації реактивної потужності, обґрунтовано використання визначення складових потужності згідно стандарту *IEEE 1459:2010*. Наведено основні наслідки наявності реактивних струмів у електричних мережах, проведений аналіз споживання реактивної потужності найбільш поширеними видами навантажень. Розглянуто електротехнічні комплекси зі встановленими пристроями компенсації РП та існуючі підходи до компенсації РП у розподільних мережах 0,4 кВ. Вказано на особливості роботи батарей конденсаторів в умовах несинусоїдності напруги мережі. Обґрунтована доцільність застосування гібридних компенсаторів реактивної потужності з послідовним з'єднанням активної частини та пасивної частини ємнісного типу.

У **другому** розділі дисертації розглянуто роботу гібридного компенсатора реактивної потужності (ГКРП), що представляє собою послідовно з'єднані пасивну частину ємнісного типу та активну частину, що виконана на базі автономного інвертора напруги (АІН). Авторкою розроблено власні методики вибору параметрів пасивної частини гібридного компенсатора, використання яких забезпечує мінімізацію встановленої потужності автономного інвертора напруги активної частини та зменшення кількості ступенів батареї конденсаторів у пасивній частини. Оригінальність методик підтверджена отриманим патентом України на винахід. Наведено математичний опис роботи гібридного компенсатора, який включає в себе процеси, що протікають у електричній мережі, нелінійному навантаженні та у гібридному компенсаторі з системою керування. Перевірена можливість роботи запропонованої системи у режимі компенсації реактивної потужності та режимі додаткової компенсації неактивних складових струму мережі. Наведені структури систем автоматичного керування у трифазному та однофазному виконанні для чотирипровідного та трипровідного підключення, які дозволяють формувати вихідний струм компенсатора заданої форми. Розроблений спосіб стабілізації напруги ланки постійного струму, який дозволяє зменшити час перехідного процесу, що виникає при різкій зміні навантаження, до двох періодів напруги мережі та мінімізувати ємність конденсаторів у ланці постійного струму автономного інвертора напруги. Запропоновано адаптивну систему керування регулятором

струму завдання, яка перераховує величину індуктивності інтерфейсного фільтру у режимі реального часу та забезпечує постійну середню частоту перемикання ключів інвертора.

У **третьому** розділі розроблено та досліджено імітаційні моделі для перевірки роботи запропонованої системи в умовах несиметричної напруги мережі. Розглянуто варіант трансформаторного підключення запропонованого пристрою до мережі, що дозволяє використовувати стандартні трифазні батареї конденсаторів з внутрішньою схемою з'єднання «трикутник». Розглянуто два варіанта з'єднання активної та пасивної частин компенсатора: за допомогою одного трифазного трансформатора (або трьох однофазних) або двох однофазних трансформаторів у двох фазах. Для кожного варіанта підключення розроблені окремі системи керування. Виконано імітаційне моделювання роботи запропонованого пристрою з розробленими системами керування з використанням програми *Simulink* пакету *Matlab* для режимів компенсації реактивної потужності та додаткової компенсації неактивних складових струму мережі в умовах симетричної та несиметричної напруг живлення при трансформаторному та безпосередньому підключенні до мережі.

У **четвертому** розділі містяться технічні рішення описаних теоретичних алгоритмів. Представлений експериментальний зразок компенсатора, що складається з активної та пасивної частин компенсатора. Силова частина автономного інвертора представлена трифазною мостовою схемою на базі *IGBT* із діодами, що включені зустрічно-паралельно. Для керування інвертором використаний 32-бітний однокристальний мікроконтролер з ядром *Cortex-M3 STM32F103C8T6B*. Пасивна частина компенсатора складається з батарей конденсаторів з симісторним їх переключенням при паралельному з'єднанні симісторів. Наведено основні характеристики та принципові електричні схеми модулів. Проведено експериментальні дослідження в лабораторних умовах, для яких у якості навантаження використане навантаження, що складалося з паралельно включених асинхронного двигуна та перетворювача частоти. Результати експериментів підтвердили коректність теоретичних положень, викладених у роботі, і показали відповідність параметрів роботи гібридного компенсатора реактивної потужності розрахунковим.

У **висновках** дисертаційної роботи, що складаються з семи пунктів, викладено основні результати проведених досліджень у відповідності з поставленими завданнями для вирішення мети роботи.

7. Ідентичність змісту автореферату та дисертаційної роботи.

Автореферат ідентично розкриває основні положення дисертації, її наукові результати, які отримані особисто здобувачем.

8. Відповідність дисертації встановленим вимогам.

Дисертаційна робота Савенко О.С. є завершеною науковою працею, загальний її обсяг складає 217 сторінок ті містить анотації українською та англійською мовами, вступ, чотири розділи, висновки, списки використаних джерел із 130 найменувань, 2 додатки, 143 рисунки та 7 таблиць. Отже, структура дисертаційної роботи Савенко О.С. відповідає основним вимогам та містить необхідні розділи.

Основні положення роботи надруковані у 23 працях, з яких 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, 15 тез наукових доповідей.

9. Зауваження та побажання до дисертаційної роботи.

1. Критичний огляд сучасного стану відомих розробок в області побудови статичних компенсаторів реактивної потужності є дещо перевантаженим схемними рішеннями засобів компенсації реактивної потужності. Не всі розглянуті схемні рішення компенсаторів можуть бути використані у мережах напругою 0,4 кВ, тому їх опис можна було не приводити.

2. За основу для визначення складових повної потужності в роботі був прийнятий стандарт *IEEE Standard 1459: 2010*, але у тексті дисертації є деякі неузгодженості з оригінальною термінологією цього стандарту.

3. У підрозділі 2.1 доцільно було б навести схему заміщення, для якої складаються представлені рівняння.

4. У розділі 2 не сформульовані допущення, які приймалися при складанні математичного опису роботи компенсатора. Також не розкрито як враховувалися комплексні опори мережі, а також не зазначено трифазні чи однофазні батареї конденсаторів використовувались при таких розрахунках.

5. У підрозділі 2.2 недостатньо аргументований вибір типу регуляторів з точки зору теорії автоматичного керування. Роботу блоку дискретного фазового автопідлаштування частоти «*DPLL*» слід описати за допомогою математичних виразів.

6. Розділ 3 перевантажений результатами імітаційного моделювання . Було б доцільно їх представити у додатку.

7. У розділі 4 не зазначено як саме виконується розрахунок потужності та вибір трансформатора при трансформаторному підключенні запропонованого пристрою. Крім того, за результатами імітаційного моделювання для цього підключення можна зробити висновок, що використана методика розрахунку параметрів інтерфейсного фільтру вимагає доопрацювання.

8. В дисертації використовується слово «гармоні~~ї~~ні..», а треба «гармоні~~ч~~ні..». Крім того, замість «перетворення Кларка» треба писати «перетворення Кларке», оскільки Едіт Кларке (*Edith Clarke*) є відомою жінкою – електротехником.

Наведені зауваження не знижують наукової цінності дисертації та не впливають на її загальну позитивну оцінку

Висновок

Дисертаційна робота **Савенко О.С.** «Удосконалення пристроїв компенсації реактивної потужності та методів управління ними» є завершеною науковою працею, у якій вирішено науково-практичну задачу підвищення ефективності пристроїв компенсації реактивної потужності за рахунок розроблення нових методів керування та удосконалення силової частини компенсатора, що дозволяє забезпечити достатньо високу швидкодію, плавність регулювання реактивної потужності та покращити техніко-економічні показники компенсатора

Дисертаційна робота Савенко О.С. є актуальною, логічною, науково обґрунтованою та самостійно виконаною. Робота повністю відповідає вимогам пп. 9 і 11 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р., № 567 (зі змінами) до кандидатських дисертацій, а її автор **Савенко Ольга Сергіївна** заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 - «електротехнічні комплекси та системи».

Офіційний опонент:

головний науковий співробітник
відділу стабілізації параметрів
електромагнітної енергії
Інституту електродинаміки
Національної академії наук України,
доктор технічних наук,
старший науковий співробітник




В.О. Новський