

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
**Лободи Юрія Васильовича «Система керування статичними
компенсаторами реактивної потужності в несиметричних несинусоїдних
режимах розподільних мереж»,**
що подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

1. Актуальність теми

Збільшення частки нелінійних несиметричних навантажень в розподільних електричних мережах створює певні проблеми використання пристроїв компенсації реактивної потужності. Такі споживачі спричиняють погіршення одночасно симетрії та синусоїдності напруги. Тому застосування конденсаторних установок стає практично неможливим, оскільки поряд з компенсацією реактивної потужності необхідно вирішувати в комплексі проблему підвищення якості електроенергії з використанням статичних тиристорних або синхронних компенсаторів.

Незважаючи на велику кількість досліджень в області розробки та впровадження статичних тиристорних або синхронних компенсаторів реактивної потужності на даний час відсутні чіткі рекомендації їх застосування в розподільних мережах за умов несиметрії та несинусоїдності.

Тому дослідження по підвищенню точності й швидкодії систем керування установками динамічної компенсації реактивної потужності з можливістю симетрування навантажень та фільтрування вищих гармонік є актуальними.

Основний зміст роботи складають результати досліджень які проводились відповідно до наукового напрямку кафедри „Електротехнічні системи електроспоживання та енергетичний менеджмент” Вінницького національного технічного університету (ВНТУ). Дисертаційна робота виконувалася відповідно до „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”. Автор брав участь у виконанні науково-дослідної роботи як виконавець.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків, їх достовірність

Наукові положення, результати і висновки досліджень, що отримані в дисертаційній роботі, є науково обґрунтованими та достовірними.

В дисертаційній роботі для вирішення поставлених науково-практичних задач використовувались методи досліджень, які базувалися: на теорії електротехніки – під час моделювання СТАТКОМ в несинусоїдних несиметричних режимах в розподільних електричних мережах; теорії автоматичного керування – при розробці систем керування СТАТКОМ.

Отриманні результати не суперечать вищезгаданим теоріям та методам, що не викликає сумніву у достовірності отриманих результатів.

3. Важливість результатів, що отримані в роботі для науки та практичного використання

Наукові результати, отримані в дисертаційній роботі, є подальшим розвитком методів підвищення якості електричної енергії в розподільних електричних мережах, вдосконалення систем керування статичними компенсаторами реактивної потужності шляхом прямого формування миттєвих синусоїдних струмів зворотної та нульової послідовностей.

В роботі отримано такі наукові результати:

1. Вперше обґрунтовано метод прямого керування струмом статичного синхронного компенсатора з формуванням несинусоїдних сигналів, що дорівнюють різниці струмів навантаження фаз та їх основних гармонік, і синусоїдних несиметричних сигналів, відповідно, для компенсації вищих гармонік і симетрування струмів навантаження, що дозволяє забезпечити розділення контурів керування фільтруванням вищих гармонік та симетруванням нелінійних несиметричних навантажень.

2. Удосконалено метод керування статичними тиристорними компенсаторами з використанням умовних потужностей зворотної послідовності і відповідних струмів в системі dq -координат, що забезпечує підвищення їх точності та швидкодії за наявності несиметричних споживачів.

3. Дістав подальшого розвитку метод керування статичними синхронними компенсаторами з використанням миттєвих симетричних струмів зворотної та нульової послідовностей, що забезпечує зменшення динамічних помилок симетрування струмів навантаження.

Практичне значення отриманих результатів роботи полягає у розробці систем прямого керування струмом СТАТКОМ для покращення якості симетрування навантажень. Їх впровадження сприятиме покращенню якості електроенергії, зокрема зменшенню несинусоїдності та несиметрії напруги в розподільних мережах.

Одержані наукові результати а саме: 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.

4. Повнота висвітлення результатів в опублікованих працях, апробація роботи

Наукові положення та отримані результати достатньо повно представлені в опублікованих автором наукових працях та апробовані на науково-технічних конференціях.

Результати дисертації опубліковано в 15 наукових працях, в тому числі 7 статей в наукових фахових виданнях України, 1 – у виданні, що індексується у SCOPUS, 7 – у матеріалах конференцій та семінарів.

5. Оцінка змісту дисертації

Дисертаційна робота складається із вступу, 4 розділів, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 156 сторінок, з яких основний зміст викладений на 110 сторінках друкованого тексту, містить 72 рисунки, 9 таблиць. Список використаних джерел складається з 106 найменувань. Додатки містять акти впровадження результатів роботи, програми розрахунків, список публікацій за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та задачі, визначені предмет та об'єкт дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, визначений особистий внесок здобувача, наведені дані про апробацію результатів роботи та публікації за темою дослідження.

У першому розділі автором виконаний критичний аналіз літературних джерел, висвітлено результати попередніх досліджень, окреслено коло невирішених завдань, що потребують подальших наукових досліджень для їх практичного використання.

Проведений аналіз дозволив зробити висновки про те, що недоліком методів керування статичними компенсаторами, які основані на теорії миттєвої потужності, є те, що вміст вищих гармонік після компенсації є суттєвим. Необхідно розробити систему прямого керування струмом СТАТКОМ в розподільних електричних мережах з ізольованою та заземленою нейтраллю з відокремленням миттєвих струмів зворотної та нульової послідовностей; проаналізувати точність фільтрування вищих гармонік та симетрування струмів навантажень.

У другому розділі 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. Найбільш просто реалізувати вимірювання з використанням миттєвої теорії потужностей. Зі збільшенням несиметричності режиму мережі доцільно застосовувати реактивну потужність, що основана на класичній теорії потужностей.

Введено поняття ефективних активної, реактивної та повної потужностей на періоді напруги живлення, а також середньоквадратичних відхилень активної, реактивної та повної потужностей на періоді напруги живлення. Показано, що для визначення потужності пульсацій можна використовувати середньоквадратичні відхилення активної, реактивної та повної потужностей.

Проаналізовано умови симетрування навантажень, що представлені через ортогональні складники умовної потужності зворотної послідовності, і показано, що їх застосування в якості інформативних параметрів для керування компенсаційними симетрувальними пристроями забезпечує можливість істотного зменшення помилок симетрування.

Розроблено структурну схему пристрою динамічної компенсації реактивної потужності з симетруванням навантажень, що містить один контур регулювання. Показано, що керування установками динамічної компенсації реактивної потужності можна здійснювати шляхом об'єднання контурів

компенсації реактивної потужності та симетрування навантаження. Час запізнення пристрою динамічної компенсації реактивної потужності не перевищує 0,05...0,08 с.

Проаналізовано помилки симетрування швидкозмінних навантажень з використанням умовних потужностей зворотної послідовності. Показано, що застосування миттєвих умовних потужностей зворотної послідовності навантаження забезпечує допустиме значення помилок симетрування, що зумовлені несинусоїдністю.

У третьому розділі удосконалено систему dq -керування струмом СТАТКОМ з використанням прямого формування миттєвих струмів i_{d2} та i_{q2} , що забезпечує істотне зменшення перерегулювання у разі симетрування синусоїдних струмів навантаження

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.

Для отримання миттєвих струмів зворотної послідовності в системах прямого керування струмом СТАТКОМ використані лінійні перетворення миттєвих струмів фаз навантаження. Моделювання компенсатора підтвердило достатню високу точність симетрування та фільтрування вищих гармонік.

Динамічні помилки симетрування навантажень та фільтрування вищих гармонік за допомогою СТАТКОМ залежать від швидкості зміни навантаження. За великих швидкостей збільшення та зменшення навантажень помилки істотні. У разі фіксування активної та реактивної потужностей СТАТКОМ помилки відсутні, однак при цьому СТАТКОМ повинен споживати активну та реактивну потужності за малих навантажень і генерувати – за великих навантажень.

У четвертому розділі на основі моделювання систем керування у середовищі Simulink пакету прикладних програм Matlab показано, що точність симетрування навантажень та якість компенсації вищих гармонік СТАТКОМ, реалізованого на основі pq -теорії миттєвої потужності, недостатні. Значення коефіцієнта нелінійних спотворень струмів фаз мережі THD_I та рівень пульсацій струмів мережі порівняно великі. У разі застосування СТАТКОМ з керуванням в системі dq -координат точність симетрування навантажень та якість компенсації вищих гармонік істотно кращі.

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

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

У дисертаційній роботі відсутні порушення академічної доброчесності. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

6. Зауваження щодо змісту і результатів роботи

1. У розділі 2 введено поняття ефективних активної, реактивної та повної потужності на періоді напруги живлення, а також середньоквадратичних відхилень активної, реактивної та повної потужності. В чому полягає фізичний зміст цих понять з точки зору визначення реактивної потужності, та як ці величини можуть бути використані для вибору параметрів компенсуючих пристроїв?

2. Незважаючи на застосування теорії миттєвої потужності, в розділі 2, автор в кінцевому підсумку використовує поняття реактивної потужності як інтегральної характеристики. Однак слід зазначити, що реактивна потужність, як інтегральна характеристика, при несинусоїдних режимах не може в повній мірі охарактеризувати електромагнітні процеси в електричних мережах, тим більше застосовуватися для визначення параметрів компенсуючих пристроїв. Чим вище рівень несинусоїдності, тим більше буде похибка застосування інтегрального значення реактивної потужності.

3. Пристрій динамічної компенсації реактивної потужності трифазного несиметричного навантаження є джерелом вищих гармонік. Який рівень спотворень вносить в мережу живлення робота цього компенсатора? Чи буде це впливати на роботу системи управління компенсатором і чи не вплине на стійкість його роботи?

4. З якою метою автором розглядалося визначення реактивної потужності при несинусоїдних режимах, якщо в розділі 3 розглядається схема управління СТАТКОМ для компенсації вищих гармонік (рис. 3.9), в якій використовуються виключно миттєві струми навантаження, а не реактивна потужність?

5. Яка економічна доцільність застосування запропонованих схем і принципів управління компенсаторами в порівнянні з іншими методами і засобами компенсації реактивної потужності, несиметрії і несинусоїдності?

6. В дисертації відсутні прийняті допущення щодо галузі застосування, прийнятих параметрів і характеристик елементів електричної мережі, навантажень, джерел енергії. Який вплив може надати на роботу компенсатора і точність регулювання нелінійність амплітудно-частотної характеристики електричної мережі, нелінійність кривої намагнічування магнітопровода силових трансформаторів і трансформаторів напруги?

7. У тексті дисертації мають місце описки та неточності. Наприклад, на стор. 67 автор посилається на формулу (2.48), яка в тексті дисертації відсутня.

7. Висновки про відповідність дисертації встановленим вимогам

Дисертаційна робота за актуальністю, науковою новизною, практичним значенням, особистим внеском автора, обсягом і рівнем публікацій, достовірністю відповідає встановленим вимогам до дисертацій.

Результати роботи викладено чітко, послідовно та логічно, висновки за розділами та загальні висновки дисертації містять якісні і кількісні наукові та практичні результати.

За поставленою метою та вирішеними задачами, об'єктом та предметом досліджень, отриманими результатами робота Лободи Юрія Васильовича відповідає паспорту спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Основні результати дисертації мають практичне впровадження.

8. Висновки щодо дисертації в цілому

За результатами аналізу змісту дисертації вважаю, що дисертація Лободи Юрія Васильовича є завершеним науковим дослідженням, у якому вирішена важлива науково-технічна задача щодо підвищення ефективності компенсації реактивної потужності в розподільних електричних мережах з нелінійним несиметричним навантаженням, отримані нові науково обґрунтовані результати.

Враховуючи актуальність, наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, вважаю, що дисертаційна робота «Система керування статичними компенсаторами реактивної потужності в несиметричних несинусоїдних режимах розподільних мереж» цілком відповідає вимогам «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії» (Постанови Кабінету Міністрів України №167 від 06 березня 2019 року), а її автор Лобода Юрій Васильович заслуговує присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Офіційний опонент,
декан енергетичного факультету, професор
кафедри електроенергетичних комплексів і
систем ДВНЗ «Приазовський державний
технічний університет,
доктор технічних наук, професор

Ю.Л. Саєнко

«15» 09 2020 р.

Підпис Ю.Л. Саєнка засвідчую:

