

ВІДГУК

офіційного опонента про дисертацію Бомбика Вадима Сергійовича «Система керування мережевим багаторівневим інвертором напруги», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 - електротехнічні комплекси та системи

Актуальність теми. В умовах критичної залежності України від імпорту первинних паливних ресурсів та високої енергоємності виробництва енергетична ефективність економіки є питанням національної безпеки України. Використання відновлюваних джерел електроенергії, зокрема сонячних електростанцій, є одним із шляхів підвищення останньої. Тому підвищення ефективності роботи системи керування мережевим багаторівневим інвертором напруги, який забезпечує формування синусоїдальних струмів та напруг на своєму виході для віддачі в мережу при роботі з сонячним модулем шляхом розробки нових законів керування, є актуальною і своєчасною науково-прикладною задачею.

Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами. Дисертаційні дослідження виконані згідно з держбюджетними темами «Розробка методів і засобів діагностування силового електрообладнання та керування режимами електричних мереж за реактивною потужністю і якістю електроенергії» (номер державної реєстрації № 0112U001369) та «Інтелектуалізація електроенергетичних систем з відновлювальними джерелами енергії на основі принципу Гамільтона-Остроградського» (номер державної реєстрації № 0115U001120).

Наукова новизна роботи полягає у:

- вдосконаленні математичної моделі системи керування мережевим багаторівневим інвертором напруги, яка дозволяє враховувати температуру, струм і напругу сонячного модуля, параметри мережі та струм намагнічування трансформатора;
- розробці закону керування багаторівневим мережевим інвертором сонячної електростанції, який забезпечує утримання режиму роботи сонячного модуля в точці відбору максимальної потужності, дозволяє збільшити продуктивність сонячного модуля, привести у відповідність баланс згенерованої сонячним модулем та спожитої електричної енергії;
- розробці закону керування поздовжньою складовою струму мережевого багаторівневого інвертора, який враховує напруги мережі та сонячного модуля, що дозволяє оптимізувати роботу інвертора як зі сторони сонячного модуля, так і з боку мережі;
- розробці закону керування поперечною складовою струму мережевого багаторівневого інвертора, який враховує задане значення активної потужності вузла мережі та задане значення поперечної складової струму, яка необхідна для роботи інвертора в області точки відбору максимальної потужності, що дозволяє оптимізувати роботу інвертора за частотою.

Практична цінність і ефективність дисертаційної роботи для сонячних електростанцій. Використання одержаних результатів дало можливість розробити та впровадити функціональні схеми систем керування мережевим багаторівневим інвертором напруги, які дозволяють реалізовувати розроблені закони керування, а також алгоритм роботи та структуру мікропроцесорного засобу для реалізації функції регуляторів системи керування мережевим багаторівневим інвертором напруги. Реалізація системи керування мережевим багаторівневим інвертором напруги в мікропроцесорному виконанні для реалізації функцій регуляторів поздовжньої та поперечної складових струму інвертора дозволяє підвищити гнучкість та спростити налагодження запропонованої системи.

Результати, отримані в дисертаційній роботі, впроваджено в ТОВ «Енергоінвест» (акт впровадження від 15.06.2017 р.) та в навчальний процес Вінницького національного технічного університету (акт впровадження від 27.06.2017 р.).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації, їх достовірність. Основні наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи базуються на результатах виконаного аналізу існуючих науково-практичних задач, тенденцій розвитку й областей застосування систем керування модулями сонячних електростанцій з мережевими багаторівневими інверторами напруги, які забезпечують ефективне перетворення і передачу енергії в електроенергетичну мережу.

Достовірність отриманих в дисертації наукових положень, висновків і рекомендацій не визиває сумнівів, оскільки вони достатньо обґрунтовані коректністю постановки та розв'язання задач досліджень, застосуванням широко апробованих методів теорії загальної електротехніки для опису процесів, які відбуваються в системі керування мережевим багаторівневим інвертором напруги, теорії автоматичного керування для розробки законів керування поздовжньою та поперечною складовими струму мережевого багаторівневого інвертора напруги, теорії схемотехніки та фотоелектроніки для створення електричних та структурних схем системи керування, комп'ютерного моделювання для дослідження перехідних процесів, які протікають в досліджуваній системі керування, та підтвердження адекватності розроблених математичних моделей, теорії ймовірностей для знаходження помилок першого і другого роду, комп'ютерної алгебри для здійснення розрахунків математичних моделей.

Повнота викладу результатів досліджень в опублікованих працях.

Результати досліджень за темою дисертації, наукові положення, результати і висновки дисертаційної роботи опубліковані в 9 друкованих працях, в тому числі 5 фахових статтях у наукових журналах, які входять до переліку ДАК України, з яких 1 стаття входить до бібліографічної і реферативної бази даних SCOPUS, а також 3 статтях в наукових періодичних журналах України та 1 тезах доповіді, 4 праці написано без співавторів.

Наведений перелік публікацій, їх зміст та обсяг відповідають темі дисертації, у повному обсязі відображають отримані положення, наукові результати та висновки, свідчать про їх новизну.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності. Дисертація акуратно оформлена і складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 122 найменувань і 7 додатків. Основний зміст викладений на 109 сторінках друкованого тексту, містить 54 рисунка, 4 таблиці. Загальний обсяг роботи – 153 сторінки. Матеріал дисертації викладено логічно і послідовно, стиль викладання доказовий.

У вступі наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми, визначено об'єкт та предмет дослідження, сформульовано мету і задачі дослідження, розкрито наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, подані відомості про апробацію дисертаційної роботи.

У першому розділі проведено аналіз систем керування мережевим багаторівневим інвертором напруги при роботі з сонячним модулем та мережею. Обґрунтовано необхідність пошуку нових рішень в цій області. Уточнено задачі наукового дослідження.

Показано, що існуючі системи керування багаторівневими інверторами напруги із застосуванням алгоритму визначення точки відбору максимальної потужності сонячним модулем потребують вдосконалення, оскільки вони не враховують температуру сонячного модуля та навколишнього середовища, значення струму намагнічування трансформатора.

У другому розділі розроблено закони керування мережевим багаторівневим інвертором напруги, які дозволяють оптимізувати роботу інвертора з сонячним модулем та мережею, враховуючи їх параметри, а також підтримувати роботу сонячного модуля в точці відбору максимальної потужності.

В системах векторного керування інверторами використовується приведення трифазної системи струмів інвертора до ортогональної d-q-системи координат. При цьому вихідна напруга інвертора встановлюється пропорційною до поздовжньої складової струму I_d , а вихідна потужність забезпечується значенням поперечної складової I_q . При узгодженні роботи багаторівневого інвертора з мережею для відслідковування точки квазіекстремуму вольт-амперної характеристики сонячного модуля поздовжня та поперечна складові струму багаторівневого інвертора забезпечують напругу та потужність, які зі сторони входу інвертора знімаються з сонячного модуля, а зі сторони виходу віддаються в мережу.

Для забезпечення режиму утримання сонячного модуля в точці максимальної потужності автоматичні регулятори напруги (поздовжньої складової струму інвертора I_d) та потужності (поперечної складової струму інвертора I_q) функціонують відповідно до ПД-закону керування.

Розроблено функціональну схему системи керування мережевим інвертором з внутрішніми контурами регулювання струмів I_d та I_q .

У третьому розділі розроблено комп'ютерні моделі системи керування мережевим багаторівневим інвертором напруги, досліджено роботу системи,

визначено оптимальні налаштування автоматичних регуляторів повздожньої та поперечної складових струму інвертора.

Шляхом математичного моделювання системи керування багаторівневим мережевим інвертором напруги з ПД регуляторами повздожньої та поперечної складовими струму при роботі з сонячним модулем та мережею отримано графіки перехідних процесів вихідної напруги інвертора струму та напруги на виході трансформатора, активної та реактивної потужностей для різних режимів роботи.

Показано, що різні налаштування регуляторів впливають на роботу системи керування мережевим багаторівневим інвертором напруги. Неправильне налаштування регуляторів призводить до того, що IGBT транзистори неправильно комутуються і напруга на виході інвертора виходить дворівнева, а також струми на виході інвертора несиметричні.

У четвертому розділі запропоновано мікропроцесорну реалізацію розробленої системи керування мережевим багаторівневим інвертором напруги, розроблено алгоритми функціонування, а також програмне забезпечення мікропроцесорної системи керування. Здійснено оцінку помилок першого і другого роду каналу вимірювання температури та знайдено значення мінімального ризику.

Визначено величини ризиків за критеріями мінімального ризику, методу мінімальної кількості помилкових рішень та за методом мінімакса. Приведено приклад розв'язання задачі за критеріями мінімального ризику, методу мінімальної кількості помилкових рішень та за методом мінімакса.

Матеріал дисертації викладено логічно та послідовно, стиль викладання доказовий, чіткий і лаконічний. Висновки до кожного розділу і дисертації в цілому тісно пов'язані з її змістом і відображають суть виконаних досліджень. Публікації автора повністю висвітлюють наукові положення і результати виконаних наукових досліджень.

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

Зміст автореферату відповідає змісту дисертації.

Зауваження щодо змісту та оформлення дисертації.

1. Метою дисертаційного дослідження визначено покращення якості електроенергії та підвищення енергоефективності мережевого багаторівневого інвертора напруги при роботі з сонячним модулем. Однак в роботі не приведено на які показники якості електроенергії та енергоефективності орієнтовані дослідження.

2. В роботі зустрічаються різні формулювання «рівень сонячного освітлення» та «рівень сонячної іррадіації».

3. Не зрозуміло, що являють собою датчики мережі ДМ та датчик ДСМ на функціональній схемі системи керування багаторівневим мережевим інвертором напруги, яка до того ж названа узагальненою структурною схемою (рисунок 2.1 дисертації).

4. Не зрозуміло, чому обрано ПД-закон керування напругою та потужністю для забезпечення режиму утримання сонячного модуля в точці максималь-

ної потужності. Чому автор віддав перевагу застосуванню лінійних алгоритмів керування струмами i_d, i_q для об'єкта з нелінійними характеристиками та нестационарними, погано прогнозованими змінами параметрів? Як вважає автор, чи не ефективнішим було б застосування нелінійних алгоритмів розривного керування, які при роботі релейних регуляторів в ковзних режимах дозволяють забезпечити низьку чутливість системи до параметричних і координатних збурень та високу швидкодію?

5. Не приведені результати комп'ютерного моделювання системи керування мережевим багаторівневим інвертором напруги з урахуванням обмеження струму намагнічування трансформатора.

6. За текстом дисертації (стор.4 та 20) : «...розроблено закон регулювання поперечної складової струму мережевого багаторівневого інвертора ... дозволяє оптимізувати роботу інвертора за частотою...». Невже частота інвертора не визначається частотою мережі ?

7. За текстом дисертації (стор.5): «...для перевірки адекватності роботи регуляторів поздовжньої та поперечної складових струму інвертора, які враховують поточну та задану напругу мережі ...». Яку напругу автор називає «заданою», а яку «поточною»?

8. Чому автор з великої кількості варіантів побудови систем керування інвертором вибрав для порівняння схему на рис.1.6, яка має відмінності, властиві лише системам векторного керування електроприводами. Це не дозволило при аналізі схем досконало обґрунтувати переваги запропонованого варіанта побудови системи керування багаторівневим інвертором.

9. Яким чином в запропонованій схемі трирівневого мережевого інвертора забезпечується поділ напруг між послідовно ввімкненими транзисторними ключами в статичних і динамічних режимах? Адже від цього залежить симетрія і якість передачі енергії в мережу.

10. На рисунках 1.16, 2.4, 2.12, 2.14 представлені варіанти функціональних схем систем керування трирівневими мережевими інверторами, які мають майже однакові структури. Який з приведених варіантів схем за результатами математичного моделювання автор вважає найбільш ефективним.

11. Не зрозуміло яким чином на практиці реалізовано датчик магнітного потоку трансформатора ДПМ та формується сигнал контролера скиду КС?

12. В тексті дисертації зустрічаються орфографічні та синтаксичні помилки.

Перелічені недоліки дещо погіршують загальне високе враження від дисертації, але не зачіпають суті виконаних досліджень.

Висновки. Дисертація Бомбика Вадима Сергійовича «Система керування мережевим багаторівневим інвертором напруги» є закінченою науковою роботою, виконаною автором на актуальну тему. В роботі отримані нові науково обґрунтовані теоретичні та практичні результати, які в сукупності вирішують наукову задачу підвищення ефективності керування передачею енергії, одержаної модулями сонячних електростанцій, до мережі навантаження за допомогою бага-

торівневих мережевих інверторів напруги, впровадження яких сприятиме підвищенню енергетичної безпеки України.

Матеріал дисертації викладено послідовно, стиль викладання доказовий, чіткий і лаконічний. Висновки до кожного розділу і дисертації в цілому тісно пов'язані з її змістом і відображають суть виконаних досліджень. Публікації автора повністю висвітлюють наукові положення і результати наукових досліджень.

За темою і змістом дисертація відповідає спеціальності 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи і оформлена згідно з вимогами до оформлення дисертацій, затвердженими наказом МОНУ від 12.01.2017 року №40. Текст автореферату відповідає змісту дисертації.

Таким чином дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 9,11,12 “Порядку присудження наукових ступенів”, а її автор Бомбик Вадим Сергійович заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук.

Офіційний опонент, доктор
технічних наук, професор
кафедри електротехніки та
електромеханіки
Дніпровського державного
технічного університету



О.В.Садовой

Підпис професора Садового О.В.
засвідчую,
перший проректор ДДТУ




В.М.Гуляєв