

ВІДГУК

офіційного опонента, доцента кафедри електронних пристроїв та систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», кандидата технічних наук, доцента Бондаренка Олександра Федоровича, на дисертаційну роботу Фесенка Артема Петровича «Інвертор з широким діапазоном регулювання вхідної напруги та покращеними масогабаритними параметрами», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Обґрунтування вибору теми дисертаційної роботи

Кількість електроенергії, яка генерується сонячними панелями, продовжує невпинно зростати й вже займає суттєву частку у світовому балансі енергоспоживання. Прогнози світових аналітичних центрів до 2050 року підтверджують цей тренд. Відповідно розвиток складових, без яких неможливо забезпечити сталий розвиток галузі, серед яких і відповідні перетворювачі електроенергії, є дуже важливим. В Україні зазначений тренд було перервано внаслідок повномасштабного вторгнення російської федерації й бойових дій на територіях із великою кількістю сонячної генерації. Відновлення галузі й лідерство потребує докладання суттєвих зусиль, і в першу чергу це стосується передових інженерних рішень. Саме на пошук таких рішень спрямована дисертаційна робота, яку представлено до захисту.

Тема дисертаційної роботи відповідає пріоритетному напрямку розвитку науки й техніки України «Енергетика та енергоефективність». Її підготовлено в Національному університеті «Чернігівська політехніка» в рамках науково-дослідної роботи «Автономна високоефективна система електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів», номер державної реєстрації 0116U006960, 2016-2018 рр.

Зважаючи на викладене вище, тема дисертаційної роботи, безумовно, є актуальною, а її вибір обґрунтовано достатньою мірою.

Оцінка структури та змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Фесенка А.П. має такі основні структурні елементи: титульний аркуш; анотація; зміст; перелік умовних позначень; вступ; п'ять розділів; висновки; список використаних джерел; додатки. Загальний обсяг роботи складає 155 сторінок, у тому числі 118 сторінок основного тексту, 61 рисунок, 21 таблиця, список використаних джерел зі 149 найменувань і 3 додатки.

У вступі обґрунтовано вибір теми дисертаційної роботи, відзначено зв'язок роботи з науковими програмами та планами, сформульовано мету та задачі дослідження, викладено наукову новизну, практичне значення результатів

роботи, зазначено особистий внесок здобувача в друкованих працях, наведено відомості про апробацію отриманих результатів і публікації.

У першому розділі наведено результати аналізу актуального стану розвитку напівпровідникових перетворювачів у фотовольтаїчних системах живлення. Запропоновано систему критеріїв порівняння комерційних інверторів з метою виявлення особливостей та основних тенденцій розвитку. Розглянуто низку перспективних топологій перетворювача, за результатами порівняльного аналізу виявлено оптимальні для подальшого розгляду рішення. Виконано аналітичний огляд наявних накопичувачів електричної енергії для фотовольтаїчних систем живлення з метою вибору оптимального типу акумуляторної батареї.

У другому розділі виконано порівняльний аналіз перспективних топологій перетворювача на основі імітаційного та математичного моделювання. Порівняння виконано на базі чотирьох запропонованих критеріїв. Виконано дослідження впливу кола розгортки та паралельної структури з чергуванням фаз імпульсної ланки на ефективність роботи перетворювача, чим підтверджено перспективність застосування даних рішень. На основі порівняльного аналізу запропонованого рішення з топологіями що містять нульовий провід, переваг останніх не виявлено.

У третьому розділі розглянуто замкнену систему керування перетворювачем, що враховує застосування паралельних комірок імпульсної ланки та можливість роботи у двох режимах. Виконано необхідні розрахунки та моделювання. Запропоновано модифікований алгоритм пошуку точки максимуму потужності фотоелектричних панелейі досягнуто підвищення швидкості реакції системи в три рази.

У четвертому розділі виконано математичне моделювання втрат в напівпровідникових компонентах перетворювача. Розглянуто статичні та динамічні складові потужності втрат, а також вплив різної кількості паралельних комірок імпульсної ланки на розподіл втрат в активних компонентах та їх величину.

У п'ятому розділі наведено результати експериментальних досліджень макета перетворювача із максимальною потужністю 1 кВт і широким діапазоном зміни вхідної напруги в межах від 100 до 450 В. Експериментально підтверджено результати, яких було отримано за результатами математичного та імітаційного моделювання. Максимальне значення експериментально підтвердженого ККД перетворювача отримано на рівні 95%, а коефіцієнт нелінійних спотворень – 4%.

Висновки повною мірою висвітлюють отримані у роботі наукові та практичні результати.

У додатках наведено список публікацій здобувача за темою дисертації та акти про використання результатів дисертаційної роботи, а також акт про апробацію науково-технічної розробки.

Наукова новизна отриманих результатів

1. Вперше розроблено універсальну математичну модель імпульсного перетворювача з колом розгортки з паралельною структурою чергування фаз, що дозволяє якісно та кількісно оцінювати динамічні й статичні втрати в активних компонентах перетворювача за умови різної кількості паралельних модулів імпульсної частини;

2. Вперше запропоновано методика синтезу регулятора системи керування перетворювача на основі комбінації пропорційного резонансного і повторюваного регуляторів, застосування якої забезпечує стійку роботу перетворювача в широкому діапазоні вхідної напруги як в режимі підвищення, так і пониження напруги на виході перетворювача.

Оцінка обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

За результатами ознайомлення зі змістом дисертації можна зробити висновок, що розроблені автором наукові положення, висновки й рекомендації є обґрунтованими та достовірними. Дисертаційна робота має логічну структуру, її автор системно підійшов до постановки проблеми, формулювання задач, обравши релевантні методи дослідження.

Достовірність наукових результатів та обґрунтованість наведених автором висновків не викликає сумнівів і зумовлена коректним використанням методів теорії електричних кіл, фундаментальних положень теорії лінійних систем, а також теорії імпульсних систем, методу усереднення за допомогою простору станів, перетворення Лапласа, математичного моделювання, фізичного експерименту. Теоретичні дослідження виконано з використанням сучасного математичного апарату з урахуванням факторів та явищ, які мають місце в реальних перетворювачах систем фотовольтаїки.

Основні положення та висновки дисертації мають достатній рівень апробації, були представлені та одержали схвалення на міжнародних науково-практичних конференціях.

Практичне значення отриманих результатів

Розроблено, виготовлено та проведено експериментальні дослідження прототипу перетворювача з паралельною структурою чергування фаз імпульсної ланки та колом розгортки, що містить дві паралельні комірки імпульсної ланки, максимальна вихідна потужність якого склала 1 кВт, діапазон зміни вхідної напруги – 100...450 В, ККД > 95% та коефіцієнт нелінійних спотворень < 4%.

Запропоновано методика комплексної кількісної оцінки за такими параметрами, як: втрати потужності, енергія, що накопичена в пасивних

компонентах та максимальна сумарна напруга на напівпровідникових компонентах, яка дозволяє здійснювати порівняння запропонованого перетворювача із перетворювачами зі схожим функціоналом.

Розроблено алгоритм пошуку глобального максимуму потужності, який відрізняється від класичного тим, що скорочує час його визначення.

Результати дисертаційної роботи знайшли практичне застосування в навчальному процесі Національного університету «Чернігівська політехніка» для оновлення лекційних матеріалів і циклу лабораторних робіт курсу «Електроживлення радіоелектронних апаратів» (спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка», освітньо-кваліфікаційний рівень «бакалавр»).

Апробація результатів дисертації

Основні положення і результати роботи доповідалися й обговорювалися на Міжнародних науково-технічних конференціях: «Силова електроніка та енергоефективність», СЕЕ, Харків, 2018 р.; «IEEE Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering», UKRCON, Київ, 2017 р., Львів, 2019 р.; «IEEE 61st International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University», RTUCON, Рига, Латвія, 2020 р.; «IEEE International Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering», YSF, Львів, 2017 р.

Оцінка оформлення дисертації та повноти викладу наукових положень та результатів в опублікованих працях

Дисертаційна робота має внутрішню єдність та логіку. Мова і стиль дисертації в цілому задовільні та відповідають вимогам стандартів оформлення науково-дослідних робіт. Обсяг і структура дисертації відповідають вимогам та рекомендаціям атестаційного органу України.

Основний зміст дисертації викладено в 5 статтях у фахових виданнях та 1 патенті на корисну модель, з яких 3 статті проіндексовано в міжнародній наукометричній базі даних Scopus. Матеріали роботи доповідалися на 5 науково-технічних конференціях.

Дотримання норм академічної доброчесності

За результатами аналізу представлених матеріалів фактів порушення академічної доброчесності не встановлено.

Дисертант дотримувався норм та принципів академічної доброчесності, норм законодавства про авторське право, порушень яких, як і академічного плагіату, не виявлено. У дисертації наявні посилання на відповідні джерела, зазначені у списку використаних джерел, визначено особистий внесок автора в опублікованих у співавторстві працях.

Відповідність дисертаційної роботи спеціальності та зауваження до роботи

Дисертація за змістом повністю відповідає спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, за якою вона представлена до захисту.

До дисертаційної роботи виникли наступні зауваження, а також питання, що потребують обговорення та/або уточнення.

1. Формулювання об'єкта і предмета дослідження не відповідають наявним рекомендаціям, згідно з якими: «*Об'єкт дослідження* – це процес або явище, що породжує проблемну ситуацію й обране для дослідження. *Предмет дослідження* міститься в межах об'єкта. Об'єкт і предмет дослідження як категорії наукового процесу співвідносяться між собою як загальне і часткове. В об'єкті виділяється та його частина, яка є предметом дослідження. Саме на нього спрямована основна увага дисертанта, оскільки предмет дослідження визначає тему (назву) дисертаційної роботи» (Бюлетень ВАК України, № 9-10, 2011, Вимоги до оформлення дисертацій та авторефератів дисертацій).

2. Пункт 1 наукової новизни сформульовано таким чином, що він представляє практичний результат роботи. Власне в роботі відсутнє формальне визначення критерію оптимальності для пропонованої топології перетворювача.

3. У формулюванні пункту 3 наукової новизни не дотримано вимог до формулювання пунктів наукової новизни, тобто немає конструкції – що зроблено, яким чином це зроблено, і що це дозволило отримати.

4. Результат, який наведено в пункті 2 практичного значення отриманих результатів належить до категорії наукових результатів.

5. Серед опублікованих робіт здобувача наведено посилання на патент на корисну модель, але в оглядовій частині дисертаційної роботи й списку використаних джерел не представлено результати патентного пошуку, що обмежує оцінку поточного рівня розвитку області техніки, яка досліджується.

6. В додатку А не вказана частина конференцій, на яких здійснювалась апробація результатів дисертаційної роботи, саме Міжнародні науково-технічні конференції «IEEE Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering», UKRCON, Київ, 2017 р. та «IEEE International Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering», YSF, Львів, 2017 р. З чим пов'язано їх виключення зі списку?

7. В Розділі 1 представлено результати порівняльного аналізу для обмеженого кола топологій перетворювачів. Наприклад, залишено поза увагою структури на основі Cuk, SEPIC та їх модифікацій, а щодо перетворювачів на основі структур з "плаваючими" конденсаторами відзначено, що вони не можуть забезпечити режим підвищення напруги, що є некоректним.

8. В роботі запропоновано і розглянуто інвертор з імпульсною ланкою та колом розгортки на основі паралельної структури чергування фаз із двома фазами, проте відсутнє обґрунтування вибору зазначеної кількості фаз.

9. В тексті дисертації некоректно визначено обсяг основного тексту дисертації (129 сторінок друкованого тексту). З огляду на п. 7 розділу III. Вимоги до структурних елементів (Вимоги до оформлення дисертації, які затверджено наказом Міністерства освіти і науки України 12.01.2017 № 40, зі змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки № 759 від 31.05.2019), основна частина дисертації має обсяг 118 сторінок.

10. За текстом дисертації зустрічаються несуттєві орфографічні, синтаксичні та стилістичні помилки, використано некоректні терміни, наприклад: несуча частота, ланцюжок, замкнута, вираз ... опущено, металоємність тощо.

Треба відмітити, що наведені зауваження та недоліки не є принциповими й не впливають на загальну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок

За результатами розгляду дисертаційної роботи можна зробити такі висновки.

1. Дисертаційна робота в цілому є самостійно виконаним завершеним науковим дослідженням на актуальну тему. Вона містить нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності розв'язують важливу науково-практичну задачу розвитку принципів побудови інверторів для фотовольтаїчних систем з покращеними масогабаритними параметрами.

2. Дисертація відповідає спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Основні наукові положення дисертації досить повно та об'єктивно викладені у публікаціях здобувача.

3. За своїм змістом і науковим рівнем дисертаційна робота повністю відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року, зі змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 341 від 21.03.2022, що висуваються до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а її автор Фесенко Артем Петрович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка з галузі знань 14 – Електрична інженерія.

Офіційний опонент:

кандидат технічних наук, доцент, доцент
кафедри електронних пристроїв та систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського

