

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Мартінова Дмитра В'ячеславовича
на тему «Двонаправлені напівпровідникові перетворювачі для систем
накопичення електроенергії з підвищеною якістю вихідної напруги»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 14 - Електрична інженерія
за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Актуальність теми дисертації.

Стрімкий розвиток технологій накопичення енергії, зростання частки поновлюваних джерел у світовій генерації та потреба в оптимізації процесів перетворення енергії створюють умови для розвитку топологій високоефективних перетворювачів електроенергії з двостороннім передаванням енергії, що задовольняють вимоги до якості напруги відповідно до стандартів, мають високу надійність і мінімальні втрати при перетворенні електроенергії.

Двонаправлені перетворювачі набули широкого поширення в системах накопичення електроенергії з відновлюваними джерелами енергії та у електротранспорті для забезпечення накопичення енергії під час гальмування.

При розробці двонаправлених перетворювачів постають важливі задачі зменшення енергетичних втрат при перетворенні параметрів електроенергії; зменшення масогабаритних характеристик перетворювачів; покращення якості параметрів напруги та струму. Тому тема представленої дисертації є актуальною.

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

Тема дисертаційної роботи відповідає науково дослідним роботам відділу транзисторних перетворювачів Інституту електродинаміки НАН України відповідно до державних галузевих програм науково-технічних досліджень: НДР: «Розвиток теорії та принципів побудови енергоефективних

високочастотних напівпровідникових перетворювачів модульної структури для потужних систем живлення електротехнологічного обладнання з нестационарним навантаженням» "Джерело-4", №ДР 0124U000393 (КПКВК 6541030.; НДР: «Розробити методи та засоби підвищення ефективності та надійності індукційних установок електротермічної обробки металевих розплавів і деталей складної форми» («Елінд П », №ДР 0122U000534.).

Наукова новизна винесених на захист результатів.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному: в удосконаленні побудови асиметричного інвертора з магнітозв'язаними дроселями шляхом додавання до його структури додаткового дроселя, що дозволило зменшити циркуляційні струми і пов'язані з ними втрати потужності. На основі запропонованої топології асиметричного інвертора проведений поглиблений аналіз, що полягав у наступному:

-розробці нових аналітичних моделей асиметричного інвертора з магнітозв'язаними дроселями для систем накопичення енергії, які, на відміну від існуючих, дозволяють розрахувати параметри інвертора на етапі проектування з урахуванням запобігання виникненню циркуляційних струмів.

- розробці моделі мережевого інвертора з ШІМ на основі представлення його, як нелінійної імпульсної системи з дискретним керуванням, в якій, на відміну від класичних підходів, застосовано частотний критерій стійкості (модифікований Найквіст) до імпульсного інвертора з LC-фільтром другого порядку, що дозволяє визначити граничні значення коефіцієнта підсилення та відносної частоти перемикавання, при яких забезпечується абсолютна стійкість, що суттєво підвищує точність проектування систем керування інверторів.

-розробці аналітичного співвідношення, що пов'язує глибину модуляції та відносну похибку від модуляційних спотворень із коефіцієнтом гармонік у вихідній напрузі інвертора з LC-фільтром і на відміну від існуючих підходів, які передбачають спектральний розклад ШІМ-сигналу в ряд Фур'є, за умови малих гармонік та ефективного фільтрування, коли відносна похибка практично дорівнює коефіцієнту гармонік, — дозволяє кількісно оцінити спектральні

спотворення на основі параметрів ШІМ без розкладу в ряд Фур'є і забезпечити аналітичне обґрунтування критеріїв при проектуванні фільтрів згідно з обмеженням допустимого коефіцієнта гармонічних спотворень.

Практична значимість отриманих результатів.

Практична значимість винесених на захист результатів полягає у наступному:

- розроблені математичні моделі та методики розрахунку статичних та динамічних характеристик та коефіцієнта гармонік у вихідній напрузі мережевого інвертора і структури асиметричного інвертора з магнітозв'язаними дроселями використано для створення ряду експериментальних систем електроживлення для систем накопичення енергії, які забезпечують потрібну швидкодію та задану якість вихідної напруги;

- розроблено аналітичні співвідношення та методики розрахунку параметрів перетворювача з використанням структури асиметричного інвертора з магнітозв'язаними дроселями, які забезпечують його здатність працювати в режимі переривчастої провідності, який сприяє зменшенню динамічних втрат в перетворювачі, що призводить до збільшення потужності асиметричного інвертора через скорочення втрат на перемикання;

- розроблено та експериментально перевірено двонаправлений прототип імпульсного асиметричного інвертора з магнітозв'язаними дроселями потужністю 6 кВт та ККД понад 97%, що здатен працювати в системах накопичення енергії постійного та змінного струму;

- результати дослідження експериментального зразка двонаправленого асиметричного інвертора з магнітозв'язаними дроселями для DC-DC та DC-AC мереж добре узгоджуються з отриманими теоретичними залежностями під час аналізу електромагнітних процесів в асиметричному перетворювачі з магнітопов'язаним дроселем.

Значимість практичних результатів підкреслюється їх практичним впровадженням в ТОВ «Електротехімпульс» при проектуванні двонаправленої зарядної станції для електромобілів С350Е.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій та їх достовірність.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі підтверджується чітко поставленою метою, ґрунтовним оглядом існуючих рішень двононаправлених перетворювачів електроенергії їх системний аналіз, виділення переваг і недоліків запропонованого асиметричного перетворювача у порівнянні з існуючими рішеннями.

Наукові положення, висновки та рекомендації, наведені в дисертації отримані внаслідок всебічного та послідовного аналізу режимів роботи перетворювача на основі теоретичного аналізу, математичного моделювання та перевірки отриманих положень на експериментальному зразку перетворювача на основі сучасних підходів і методів організації і проведення досліджень.

Матеріал дисертації викладено цілісно, послідовно, з використанням посилань на сучасні наукові джерела. Висновки та рекомендації, сформульовані в дисертаційній роботі, отримані на основі наукових результатів дисертаційного дослідження та відповідають меті дисертаційного дослідження.

Повнота викладення наукових положень в опублікованих працях.

За темою дисертації загалом опубліковано і представлено 6 наукових праць, з них 3 - з індексацією у міжнародній наукометричній базі Scopus, 3 фахових видання, одне з яких категорії А.

Результати дослідження пройшли апробацію на міжнародних конференціях 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), 2021 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), «Енергетика України відновлення та модернізація», XXII Міжнародної науково-технічної конференції «Силова електроніка та енергоефективність».

Матеріал дисертаційної роботи повністю відображено у публікаціях дисертанта. Отже, кількість і якість публікацій здобувача за темою дисертації відповідають необхідним вимогам.

Структура, зміст, рівень завершеності та оформлення.

Дисертаційна робота Мартинова Д.В. викладена на 147 сторінках машинописного тексту, складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 2 додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 129 сторінок друкованого тексту. Робота ілюстрована 3 таблицями, 55 рисунками. Список використаних джерел містить 126 найменувань, з них 34 кирилицею та 91 латиницею.

У першому розділі дисертаційної роботи представлено загальну характеристику систем накопичення електроенергії та визначено їхнє місце в сучасних енергетичних структурах із високою часткою генерації з відновлюваних джерел. Проведено аналіз структурних схем двонаправлених напівпровідникових перетворювачів DC-DC, DC-AC, наведено порівняльний аналіз за критеріями ефективності, складності керування, та якості вихідних параметрів. Проаналізовано умови виникнення циркуляційних струмів в двонаправлених перетворювачах, їх вплив на втрати потужності та стійкість роботи перетворювача.

У другому розділі розроблено та досліджено двонаправлений перетворювач з використанням топології асиметричного інвертора, здатного працювати як у режимі DC-DC, так і DC-AC перетворення. Побудовано аналітичну модель перетворювача з магнітозв'язаними дроселями, на основі якої запропоновано методику розрахунку параметрів для забезпечення ефективної роботи пристрою в системах накопичення енергії. Встановлено умови, за яких циркуляційні струми у схемі відсутні — зокрема, при співвідношенні напруги джерел живлення та оптимальному з'єднанні обмоток дроселів.

У третьому розділі проведено аналіз впливу параметрів керування та вихідного LC-фільтра на якість напруги, що формується двонаправленим перетворювачем DC-AC в режимі інвертора, зокрема на рівень гармонічних спотворень. Запропоновано аналітичну модель, яка дозволяє оцінювати коефіцієнт гармонік не через класичний спектральний аналіз, а на основі

модуляційної похибки керуючих сигналів. При цьому інвертор розглянуто як дискретну імпульсну нелінійну систему, для якої розроблено модифікований частотний критерій Найквіста, що дозволяє визначити умови абсолютної стійкості системи керування залежно від коефіцієнта підсилення та частоти перемикання. Установлено граничні значення цих параметрів, при яких зберігається стійкість навіть при динамічній зміні навантаження. Крім того, проведено порівняльний аналіз фільтрації в режимах неперервної та переривчастої провідності, що дозволило визначити вплив режиму роботи на спектральні спотворення та структуру модуляційних гармонік.

У четвертому розділі виконано експериментальну перевірку розроблених схемотехнічних і теоретичних рішень на макеті двонаправленого асиметричного інвертора потужністю 6 кВт. Наведено осцилограми струмів, які підтверджують зменшення втрат на перемикання, ефективне пригнічення циркуляційних струмів та відповідність спектру вихідної напруги теоретичним оцінкам.

У висновках наведено основні наукові результати, підкреслено їх наукову новизну і практичну значимість.

У додатках наведено список конференцій, на яких були апробовані наукові дослідження дисертації та акт впровадження результатів дисертації.

У цілому структура, обсяг та рівень оформлення дисертації відповідають чинним вимогам, які ставляться до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Відповідність дисертаційної роботи вимогам МОН України.

Структура і оформлення представленої дисертаційної роботи відповідають чинним вимогам МОН України, регламентованим Наказом МОН від 12.01.2017 № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій», зареєстрованим у Мін'юсті 03.02.2017 № 155/30023 (зі змінами, внесеними згідно з Наказом від 31.05.2019 № 759).

Академічна доброчесність.

Ознак порушення автором положень нормативних документів щодо академічної доброчесності, у тому числі випадків оприлюднення, частково або повністю, наукових результатів, отриманих іншими особами, як результатів власного дослідження та/або відтворення опублікованих текстів інших авторів без зазначення їх авторства, не виявлено.

Зауваження щодо результатів, змісту та оформлення дисертації.

1. В огляді двонаправлених перетворюючів не були розглянуті перетворювачі зі зменшеними динамічними втратами, робота яких базується на резонансних явищах, що не дозволило в повній мірі оцінити переваги та недоліки запропонованої топології асиметричного інвертора.

2. Одним з недоліків запропонованої асиметричної топології інвертора є порівняно великі втрати на діодах. Цей недолік можна усунути шляхом використання відомих схем синхронного випрямлення, що б додатково підвищило коефіцієнт корисної дії перетворювача.

3. У роботі підкреслюється, що дана модифікація асиметричного інвертора з додатковим дроселем дозволяє значно зменшити циркуляційні струми i , відповідно, втрати у перетворювачі. Разом з тим у роботі відсутній порівняльний кількісний аналіз, щоб дозволяв оцінити переваги запропонованої топології у порівнянні зі звичайним асиметричним інвертором.

4. На рис. 1.10 не з'єднані земля вхідної і вихідної ланки перетворювача.

5. У роботі зустрічаються орфографічні помилки, наприклад «чистота» (замість «частота»), «наведен», «вискою» і т.д.

Загальний висновок.

Проведений аналіз представленої дисертаційної роботи, а також опублікованих за темою роботи наукових праць надає підстави стверджувати, що робота здобувача ступеня доктора філософії Мартинова Дмитра В'ячеславовича на тему «Двонаправлені напівпровідникові перетворювачі для систем накопичення електроенергії з підвищеною якістю вихідної напруги»

виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності, є завершеним науковим дослідженням, наукова і практична складові якого дозволили вирішити актуальну задачу підвищення ефективності перетворення енергії та поліпшення якості вихідної напруги в системах накопичення енергії.

Вважаю, що дисертаційна робота відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 6 - 9 «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 від 12 січня 2022 р. № 44.

Таким чином, здобувач Мартинов Дмитро В'ячеславович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії у галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ

Завідувач кафедри
електронних пристроїв та систем
Національного технічного університету
України "Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського"
д.т.н., проф.

