

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Мартінова Дмитра В'ячеславовича

«Двонаправлені напівпровідникові перетворювачі для систем накопичення електроенергії з підвищеною якістю вихідної напруги»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Актуальність теми дисертації.

Дисертаційна робота Д.В. Мартінова присвячена вирішенню важливої науково-технічної задачі підвищення ефективності двонаправлених напівпровідникових перетворювачів для систем накопичення електроенергії, що функціонують у мережах постійного та змінного струму. Актуальність теми обумовлена зростанням частки відновлюваних джерел енергії, розвитком електротранспорту, а також поширенням концепцій Smart Grid та Vehicle-to-Grid, які вимагають вискоелективних та надійних пристроїв з можливістю швидкого двостороннього енергетичного обміну та високою якістю вихідної напруги.

Проблематика зменшення енергетичних втрат, обмеження циркуляційних струмів, зменшення масогабаритних параметрів та забезпечення відповідності стандартам якості напруги є ключовою для підвищення енергоефективності систем накопичення. Тому результати, отримані автором, мають суттєве значення для подальшого розвитку сучасної енергетики та силової електроніки.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Основні положення дисертації, висновки і рекомендації досить обґрунтовані. У дисертаційній роботі Д.В. Мартінова отримано низку результатів, що характеризуються помітною науковою новизною.

1. На основі дослідження структур двонаправлених перетворювачів, та структури асиметричного інвертора з магнітозв'язаними дроселями в роботі було запропоноване рішення використання додаткового дроселя в структурі асиметричного

двонаправленого перетворювача, що ефективно знижує рівень циркуляційних струмів і, відповідно, зменшує енергетичні втрати, що особливо важливо для двонаправлених перетворювачів, які працюють у режимах високої динаміки.

2. Вперше проведено комплексний аналітичний аналіз стійкості мережевого інвертора з LC-фільтром другого порядку, представивши його як нелінійну імпульсну систему з дискретним керуванням. На відміну від традиційних безперервних моделей, використання модифікованого частотного критерію Найквіста для імпульсної системи дозволило визначити точні граничні значення коефіцієнта підсилення та відносної частоти комутації, за яких зберігається абсолютна стійкість інвертора. Запропонований підхід підвищує точність проектування систем керування та забезпечує коректний вибір параметрів LC-фільтра і алгоритмів ШІМ з урахуванням дискретної природи процесів у силовій електроніці.
3. Запропоновано новий підхід до оцінки гармонічних спотворень вихідної напруги інвертора з LC-фільтром, що базується на аналітичному зв'язку між параметрами ШІМ (глибиною модуляції та відносною похибкою) і коефіцієнтом гармонік. На відміну від класичних методів, що передбачають повний спектральний розклад сигналу в ряд Фур'є, запропонований метод дозволяє кількісно оцінювати спектральні спотворення без трудомісткого спектрального аналізу, використовуючи інформацію про модуляційні похибки. Це значно спрощує вибір параметрів LC-фільтра ще на етапі проектування та забезпечує відповідність вихідної напруги вимогам стандартів з якості електроенергії навіть у режимах неперервної та переривчастої провідності, розглянутих у роботі.

Практичне значення отриманих результатів полягає у створених аналітичних моделях та методиках розрахунку, які дають змогу ще на етапі проектування двонаправлених перетворювачів оптимально визначати параметри інвертора та LC-фільтра без необхідності повномасштабного моделювання, що скорочує час і вартість розробки. Запропоновані рішення можуть бути впроваджені у високоефективні двонаправлені перетворювачі для систем накопичення енергії постійного та змінного струму, електротранспорту та відновлюваної енергетики. Реалізовані схемотехнічні підходи забезпечують підвищення ККД, зменшення втрат на перемикання та поліпшення якості вихідної напруги відповідно до вимог стандартів.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Д.В. Мартинова повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 141- Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Електрична інженерія».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Д.В. Мартинова є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою, з дотриманням логічної послідовності викладу матеріалу. Результати досліджень подано чітко та структуровано, основні положення належно аргументовані. Текст витримано в науковому стилі із переважним використанням загальноприйнятої термінології у галузі енергетики, енергоефективності та електричної інженерії. Водночас у деяких випадках застосовано перекладені іншомовні терміни, що не мають усталених відповідників у фаховій літературі.

Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури та 2 додатків. Загальний обсяг дисертації 147 сторінок.

У *вступі* обґрунтована актуальність дослідження, вказано мету та завдання дослідження, наукову новизну, науковий доробок здобувача, наведено структуру дисертації.

У *першому розділі* виконано аналіз структур двонаправлених напівпровідникових перетворювачів та їх порівняння за ефективністю, складністю керування й якістю вихідних параметрів. Показано потребу у рішеннях, не обмежених по частоті перемикання через відсутність наскрізних струмів, що дозволяє розширити діапазон регулювання без пауз між перемиканнями.

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. Особливістю запропонованої схеми є використання лише двох силових ключів без послідовного з'єднання транзисторів у фазних плечах, що повністю усуває наскрізні струми, циркулюючи струми та знижує втрати на зворотне відновлення завдяки застосуванню зовнішніх швидкодіючих діодів. 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. Досліджено вплив додаткового дроселя на обмеження циркуляційних струмів, втрати та виведено залежність між напругою й індуктивністю. Також доведено, що перетворювач може працювати в режимі переривчастої провідності незалежно від рівня магнітного зв'язку, що зменшує динамічні втрати й підвищує ефективність на високих частотах.

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 для оцінки коефіцієнта гармонік на основі модуляційної похибки, що спрощує розрахунок фільтра ще на етапі проектування. Інвертор розглянуто як дискретну імпульсну нелінійну систему, для якої розроблено модифікований критерій Найквіста, що дозволяє визначити умови абсолютної стійкості системи керування залежно від коефіцієнта підсилення та частоти перемикання. Встановлено їх граничні значення для збереження стійкості при зміні навантаження. Проведено порівняльний аналіз фільтрації в режимах неперервної та переривчастої провідності для оцінки впливу на спектр спотворень та структуру модуляційних гармонік.

У *четвертому розділі* виконано експериментальну перевірку розроблених схемотехнічних і теоретичних рішень на макеті двонаправленого перетворювача з топологією асиметричного інвертора.

Детальні *висновки* наведені після кожного розділу, а загальні *висновки* – після *четвертого розділу*.

У додатках наведено список публікацій здобувача та акт впровадження.

Дисертаційна робота чітко висвітлює методи досліджень та отримані результати, і оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Основні результати дисертаційної роботи відображені у 6 наукових публікаціях, серед яких 3 статті у фахових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у періодичному науковому виданню, проіндексованому у базі даних Scopus. Також, результати дисертації були апробовані на 3 наукових фахових конференціях. Результати впроваджені в експериментальний зразок, що підтверджує їх практичну цінність.

Публікації здобувача оформлені на достатньому науковому рівні, фактів порушення принципів академічної доброчесності не виявлено.

Таким чином, наукові результати, описані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1) В анотації в підрозділі «Практична цінність» недостатньо практичних результатів для інженерів та розробників імпульсних перетворювачів.

2) У вступі на сторінці 18 наводиться скорочення ПВтч. Це скорочення є не розкритим в списку скорочень. Оформлення цих скорочень відрізняється у тексті.

3) У вступі на сторінці 21 використовується два терміни: «зменшення» і «зниження». Доречніше використовувати єдиний термін в роботі – «зменшення».

4) В другому розділі деякі рисунки, (наприклад 2.3, 2.4, 2.5 та інші.) нарисовані з дуже поганою контрастністю всіх складових рисунка, що зменшує якість читабельності наукової роботи.

5) В розділі 2 доцільно було б розглянути можливість включення паралельно з силовими транзисторами, не тільки зовнішніх діодів, а також транзисторів з малими статичними та динамічними втратами. Можливо це підвищило б енергоефективність цього перетворювача.

6) Із тексту роботи, було би доречніше використовувати термін «квантуваніє за часом» замість «Квантовація за часом»(розділ 3, сторінка 92).

7) У розділі 4, в таблиці 4.1 на сторінці 119 не зрозуміло чому коефіцієнт гармонік який =5% більше ніж сумарний коефіцієнт гармонік який дорівнює 3%.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними, мають переважно рекомендаційний характер, не применшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів і лишають позитивною загальну оцінку дисертаційної роботи.

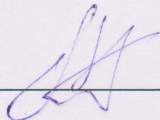
Висновки про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Д.В. Мартинова на тему «Двонаправлені напівпровідникові перетворювачі для систем накопичення електроенергії з підвищеною якістю вихідної напруги» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 14 – Електрична інженерія.

Дисертаційна робота за актуальністю обраної теми, обсягом та рівнем виконаних досліджень, практичною цінністю та науковою новизною відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в пп. 6-9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії 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, а її автор, Мартинов Дмитро В'ячеславович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 – Електрична інженерія, за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Офіційний опонент:

кандидат технічних наук,
доцент кафедри «Електроніки, автоматики,
робототехніки та мехатроніки»
Національного університету «Чернігівська
політехніка».


Олексій ГОРОДНІЙ

М.П.

« 13 » _____ 2025 року



Городнього О.
Олександровича
М. Яноушко
2025р.