

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертацію **МАРТИНОВА Дмитра В'ячеславовича**

«Двонаправлені напівпровідникові перетворювачі для систем накопичення електроенергії з підвищеною якістю вихідної напруги», поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Актуальність роботи. Дисертаційну роботу Мартинова Д. В. присвячено вирішенню важливого наукового завдання – підвищення ефективності двонаправлених напівпровідникових перетворювачів для систем накопичення електроенергії за рахунок розробки нових схемотехнічних рішень та математичних моделей, що описують електромагнітні процеси в них.

Актуальність теми обумовлена стрімким розвитком технологій накопичення енергії, зростанням частки поновлюваних джерел у світовій генерації та потребою в оптимізації процесів перетворення енергії. Сучасні енергетичні системи потребують пристроїв, які забезпечують не лише ефективне двостороннє передавання енергії, але й задовольняють вимоги до якості напруги відповідно до стандартів, мають високу надійність і мінімальні втрати при перетворенні електроенергії. В роботі розглянуто питання розробки двонаправлених перетворювачів та вирішено важливі задачі як– зменшення енергетичних втрат при перетворенні, які можна вирішити завдяки усуненню наскрізних струмів в транзисторах при перемиканні; зменшення масогабаритних характеристик перетворювачів, рішення в підвищені частоти перемикання; покращення якості вхідних та вихідних характеристик напруги та струму, рішення в застосуванні якісно підібраних вихідних фільтрах та алгоритмах керування; швидкість та вартість впровадження нових пристроїв, рішення в використанні більш простих розрахункових та аналітичних моделей перетворювачів.

Актуальність дисертаційної роботи підтверджується зв'язком науково дослідних робіт 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.).

Отримані та обґрунтовані здобувачем нові та наукові та практичні результати, полягають в наступному:

– здобувачем створено ряд експериментальних систем електроживлення для систем накопичення енергії, які забезпечують потрібну швидкодію та задану якість вихідної напруги завдяки використанню розроблених ним математичних моделей та методик розрахунку статичних та динамічних характеристик перетворювачів з магнітозв'язаними дроселями.

– 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. Такі режими сприяють зменшенню динамічних втрат в перетворювачі, що призводить до збільшення потужності асиметричного інвертора через скорочення втрат на перемикання.

– здійснено розробку та експериментальну перевірку прототипу двонаправленого 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.

– розроблено метод кількісної оцінки спектрального спотворення вихідного сигналу мережевого інвертора з LC-фільтром на основі параметрів ШІМ-сигналу без застосування спектрального аналізу.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень, наведених в роботі, отримано особисто або за безпосередньою участю Мартинова Д. В.. Наукові роботи опубліковано у

співавторстві з О.М. Юрченко, В.В. Мартиновим, Ю.В. Руденко, В. О. Новський. Співавторами наукових праць є науковий керівник та дослідники, з якими спільно проводились відповідні дослідження. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, Мартинова Д. В. належить фактичний матеріал і основний творчий доробок.

Обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Мартинова Д. В., забезпечується аргументованою постановкою мети і задач дослідження, використанням сучасних методів дослідження, комплексного аналізу отриманих результатів та чітким формулюванням висновків. Методи та засоби досліджень Мартинова Д. В. відповідають поставленим задачам, що забезпечило ефективність їх розв'язання.

Оцінка структури та змісту роботи, її завершеності та оформлення. Дисертаційна робота Мартинова Д. В. є завершеною кваліфікаційною науковою працею. Робота складається із вступу, 4-х розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, розкрито сутність та стан наукової проблеми, що досліджується, наведено обґрунтування доцільності проведення досліджень, відображено зв'язок роботи з науковими програмами та планами НДР Інституту електродинаміки НАН України, сформульовано мету і завдання досліджень, наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, зазначено особистий внесок здобувача, наведено апробації роботи та публікації її результатів у фахових наукових виданнях.

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.

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. Показано 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. Запропоновано аналітичну модель, яка дозволяє оцінювати коефіцієнт гармонік не через класичний спектральний аналіз, а на основі модуляційної похибки керуючих сигналів. Установлено граничні значення цих параметрів, при яких зберігається стійкість навіть при динамічній зміні навантаження. Проведено порівняльний аналіз фільтрації в режимах неперервної та переривчастої провідності.

У *четвертому* розділі виконано експериментальну перевірку розроблених схемотехнічних і теоретичних рішень на макеті двонаправленого асиметричного інвертора потужністю 6 кВт.

Загалом дисертаційна робота оформлена належним чином у відповідності з Вимогами до оформлення дисертацій, затвердженими Наказом Міністерства освіти і науки України №759 від 31.05.2019 р.

Методи дослідження базуються на теорії електричних кіл і автоматичного керування, методи усереднення в просторі станів за теоремою Лагранжа, безперервного перетворення Лапласа, Z- і W- перетворень, математичне моделювання за допомогою комп'ютерних систем аналітично-математичного моделювання, розрахунок процесів, фізичні експерименти.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень дисертаційної роботи підтверджуються використанням загальноприйнятих методів досліджень, відсутністю протиріч між результатами розрахунків, кількістю та якістю досліджень та випробувань на експериментальних зразках.

Публікації та апробація результатів роботи здобувача. Основний зміст дисертаційної роботи Мартинова Д. В. достатньо повно представлено у 6 наукових працях у фахових виданнях, 2 тези доповідей міжнародних науково-технічних конференцій. Результати

теоретичних і експериментальних досліджень наведених у роботі отримані особисто або за безпосередньої участі здобувача.

Зауваження щодо результатів, змісту та оформлення дисертації.

- 1) В тексті дисертації використовуються два поняття двонаправлений та двонапрямлений.
- 2) В першому розділі здійснено огляд двонаправлених перетворювачів АС-DC типу але представлено тільки однофазні варіанти топологій. Трифазні ж взагалі не представлено.
- 3) В другому розділі використовується термінологія «передача реактивної енергії між мережею змінного струму та джерелам постійного струму». Натомість мова йде про формування перетворювачами реактивного струму мережі.
- 4) В тексті дисертації присутні орфографічні та стилістичні помилки та неточності.

Всі наведені недоліки ніяк не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи. А деякі зауваження можуть бути предметом подальших досліджень здобувача.

Висновок. На підставі аналізу дисертаційної роботи Мартинова Д. В. на тему «Двонаправлені напівпровідникові перетворювачі для систем накопичення електроенергії з підвищеною якістю вихідної напруги» можна зробити висновок, що представлена робота є завершеним науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання «підвищення ефективності двонаправлених напівпровідникових перетворювачів». Викладені в дисертаційній роботі наукові положення та висновки є переконливими та обґрунтованими як з наукової так і з технічної точок зору. Назва дисертації відповідає її змісту.

Дисертація Мартинова Д. В. виконана на високому рівні. В роботі продемонстровано сучасні рішення для підвищення енергоефективності напівпровідникових перетворювачів, завдяки зменшенню енергетичних втрат, підвищення їх питомої потужності при збереженні якісних показників електромагнітної сумісності з мережею.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Мартинова Дмитра В'ячеславовича на тему «Двонаправлені напівпровідникові перетворювачі для систем накопичення електроенергії з підвищеною якістю вихідної напруги» відповідає спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» та вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Кабінетом Міністрів України №44 від 12 січня 2022р., а її автор Мартинов Дмитро В'ячеславович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії.

Рецензент:
старший науковий співробітник
відділу перетворення та стабілізації
електромагнітних процесів
Інституту електродинаміки
Національної академії наук України
к.т.н., с.досл.,

Василь ЧОПИК

Підпис засвідчую
Вчений секретар
Інституту електродинаміки
Національної академії наук України,
к.т.н., с.досл.



Марина ГУТОРОВА