

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора Шавьолкіна Олександра Олексійовича на дисертаційну роботу Шевченка Віктора Олександровича на тему: «Система безпровідної передачі енергії на основі багаторівневих перетворювачів з покращеними масогабаритними параметрами», подану в раду Інституту електродинаміки НАН України для здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Актуальність теми досліджень

Відомо, що у розвинених країнах світу прийнята та активно підтримується довготривала стратегія, спрямована на зменшення викидів вуглекислого газу. Відповідно останнім часом у світі з'являється все більше споживачів, які потребують передачі електричної енергії безконтактним способом через котушки індуктивності, зокрема для підзарядки акумуляторів електромобілів, одночасної підзарядки акумуляторів портативних пристроїв військового застосування (дрони, радіостанції, тощо), живлення елементів промислових систем автоматизації та робототехніки. Також кількість електротранспорту різної потужності активно збільшується щороку. Зокрема розвивається малопотужний індивідуальний електротранспорт, як-от електровелосипеди, електросамокати, гіроборди тощо, через доступність та зручність користування. Ось чому актуалізується розроблення зарядних пристроїв для низьковольтних накопичувачів енергії в цих транспортних засобах.

Основними проблемами та перешкодами в поширенні пристроїв бездротової передачі енергії серед приватних користувачів є вартість та розміри бездротових зарядних пристроїв, які більші в 2-3 рази порівняно із дротовими аналогами.

Тому дисертаційна робота Шевченка В.О. присвячена вирішенню важливого та актуального наукового завдання, що полягає у покращенні масогабаритних параметрів системи безпровідної передачі енергії (БПЕ), а саме безпровідного зарядного пристрою (БЗП) для низьковольтних акумуляторних батарей індивідуальних електричних транспортних засобів шляхом огляду, аналізу, порівняння, розрахунків, обґрунтування вибору та впровадження комплексу науково-практичних технічних і програмних методів та засобів.

Актуальність виконання такої наукової роботи підтверджено дослідженнями, які проводились протягом 2017-2020 років у Національному університеті «Чернігівська політехніка» в рамках держбюджетної НДР «Високоєфективна система бездротової зарядки низьковольтних накопичувачів енергії легких електричних транспортних засобів» (№ 0117U007260), де автор був

відповідальним виконавцем.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, їх достовірність і новизна

Дослідження, що виконані в дисертаційній роботі, базуються на застосуванні фундаментальних законів електротехніки, теорії автоматичного керування, підтверджена коректністю зроблених припущень, збіжністю даних моделювання та експериментів. Для перевірки запропонованих рішень використовувалось математичне та комп'ютерне моделювання, аналітичні розрахунки процесів у безпровідному зарядному пристрої. Кінцеві дані стосовно ефективності запропонованих рішень визначалися лише на основі експериментальних досліджень, отриманими на створених лабораторних прототипах. Узгодження цих результатів підтверджує адекватність розроблених математичних моделей та результатів, які були одержані аналітичними методами.

Таким чином, методи дослідження відповідають поставленим задачам і забезпечують достатньо ефективно їх розв'язання та досягнення поставленої в роботі мети. Наведені аргументи дають змогу визнати достовірними наукові результати, основні положення та зроблені висновки досліджень.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в наступному.

1. Здобувачем запропоновано топологію на основі інвертора Т-типу з розділеними котушками індуктивності в передавальній частині, що дозволяє зменшити масогабаритні показники передавальної частини системи безпровідної зарядки.

2. Розроблено математичну модель пристрою безпровідної зарядки на основі інвертора Т-типу з розділеними котушками індуктивності, що дозволяє оцінювати ККД та розміри магнітних компонентів в залежності від номінальних параметрів компонентів.

3. В дисертаційній роботі виконано порівняльний аналіз використаних сучасних напівпровідників в запропонованому рішенні на основі інвертора Т-типу, що демонструє переваги та недоліки їх практичного застосування та дозволяє обрати краще рішення.

4. Запропоновано налаштування системи керування безпровідної зарядки, яка враховує суттєву затримку передачі даних між приймальною та передавальною частинами, що покращує функціональність та надійність пристрою.

Практичне значення та шляхи використання результатів досліджень

1. Здобувачем розроблено та експериментально перевірено безпровідний зарядний пристрій для низьковольтних накопичувачів електричної енергії номінальною потужністю 110 Вт та номінальною напругою батареї 48 В з ефективністю 90 % на базі інвертора Т-типу та розділеними передавальними котушками індуктивності із покращеними масогабаритними показниками, який рекомендовано для використання в розробках ТОВ «П'єзосенсор» .

2. Сформовано рекомендації щодо практичного застосування різних типів компенсаційних ланок в пристроях БПЕ залежно від різного призначення.

3. Спроековано та виготовлено розділені передавальні котушки і приймальну котушку індуктивності з подвійною намоткою для БПЕ у БЗП на базі інвертора Т-типу.

4. Розроблено та перевірено замкнуту систему керування покращеним безпровідним зарядним пристроєм на базі ПІ регулятора з алгоритмом виявлення вторинної котушки індуктивності та функцією автоматичної зупинки процесу зарядки і захистом від надмірного перевищення струму та напруги зарядки.

Обґрунтовані наукові результати дисертації коректно представлено у загальних висновках.

Оцінка об'єму та змісту дисертації

Дисертація складається зі вступу, 5-х розділів, висновків, списку використаної літератури з 111 позицій та 3 додатків. Загальний обсяг дисертації 136 сторінок, в тому числі 116 сторінок основного тексту, робота ілюстрована 43 рисунками та містить 13 таблиць.

У *вступі* представлена актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета, об'єкт, предмет, задачі та методи досліджень, визначені наукова новизна, практичне значення отриманих результатів та результати апробації роботи.

У *першому розділі* проведено огляд існуючих сучасних схемотехнічних рішень реалізації низьковольтних безпровідних зарядних пристроїв та аналіз багаторівневих перетворювачів для БПЕ. Здійснено теоретичні дослідження комплексу заходів для покращення масогабаритних параметрів БЗП та впливу кожного із заходів на масогабаритні параметри.

У *другому розділі* запропоновано топологію багаторівневого інвертора Т-типу в комплексі з двома розділеними передавальними котушками індуктивності та послідовно-паралельною компенсацією для застосування в системі БПЕ з метою зменшення масогабаритних параметрів. Запропоноване рішення було порівняно за масогабаритними параметрами із аналогічним на базі класичного

повномостового інвертора та однієї і двох розділених передавальних котушок індуктивності, чим підтверджено переваги запропонованого рішення. Запропоновано, розроблено та досліджено моделі котушок індуктивності круглої форми за допомогою методу скінчених елементів для системи БПЕ з покращеними масогабаритними параметрами.

Третій розділ дисертаційної роботи присвячено моделюванню та дослідженню системи БПЕ із розробленою модифікованою замкнутою системою керування на базі ПІ регуляторів для зарядки низьковольтних акумуляторних батарей на базі класичного повномостового інвертора. Зокрема запропоновано алгоритм виявлення вторинної котушки індуктивності; запропоновано математичну модель замкненої системи керування та проведено оцінку коефіцієнтів регулятора за допомогою перетворення Лапласа та математичного моделювання. Досліджено стабільність розробленої замкненої системи керування із врахуванням суттєвої затримки передачі даних між приймальною та передавальною частинами за допомогою моделювання та аналітичним методом, що збільшує точність моделі системи керування по відношенню до експериментального зразка.

У **четвертому розділі** розроблено та виконано комплексну аналітичну оцінку та порівняння математичної моделі втрат потужності в основних елементах системи БПЕ на базі інвертора Т-типу з покращеними масогабаритними параметрами при різних комбінаціях двох рівнів потужності навантаження, двох типах транзисторів, однією та двома розділеними передавальними котушками індуктивності. Показано, що запропоноване рішення має найменші втрати потужності за інші розраховані розглянуті варіанти.

П'ятий розділ дисертації присвячено експериментальним дослідженням, спрямованим на підтвердження отриманих теоретичних результатів. Проведено експериментальне дослідження макету запропонованого бездротового зарядного пристрою із багаторівневим інвертором Т-типу на базі SiC транзисторів, розділеними передавальними котушками індуктивності та із імплементацією замкненої системи керування. Підтверджено, що розроблений БЗП має кращі масогабаритні характеристики порівняно із іншими аналогами.

Загальні висновки висвітлюють одержані наукові результати.

У **додатках** до дисертації представлено акти впровадження результатів дисертаційної роботи в навчальний процес та в практику підприємства ТОВ «П'єзосенсор».

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

Повнота публікацій матеріалів досліджень

Результати дисертаційного дослідження відображені в 10 наукових працях, із них опубліковано 3 статті в закордонних періодичних наукових виданнях, що індексуються наукометричною базою Scopus, 3 публікації в тезах доповідей міжнародних наукових конференцій, які індексуються наукометричною базою Scopus.

Основні положення та наукові результати дисертаційної роботи розглядалися на міжнародних наукових конференціях: «IEEE II International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS 2018)» (Україна, Харків, 2018р), «IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON-2019)» (Україна, Львів, 2019р), «IEEE 4th International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS-2020)» (Туреччина, Стамбул, 2020р).

Це дає змогу зробити висновок про те, що у науково-технічних виданнях є повна інформація про результати досліджень.

Дискусійні положення і зауваження щодо змісту та оформлення дисертації

1. Назва другого розділу «НОВИЙ БАГАТОРІВНЕВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ДЛЯ БПЕ НА ОСНОВІ ІНВЕРТОРА Т-ТИПУ» не є інформативною і не розкриває його зміст. Незрозуміло, про що йде мова. Потрібно конкретніше: розробка, обґрунтування схемного рішення... Аналогічна ситуація з «2.1 Запропонована система БПЕ на основі інвертора Т-типу та розділеними індуктивностями на приймальній стороні».

2. Автор дещо зловживає словом «запропонована» в змісті роботи – на стор.13-14 воно використовується 5 разів. Наприклад, замість «3.1 Опис замкненої системи керування для запропонованого рішення» більш логічним виглядає: 3.1 Структура системи керування або синтез, обґрунтування

3. В предметі дослідження «електричні процеси» - потрібно електромагнітні.

4. Дещо незрозуміло формулювання на стор.50 «За результатами аналізу зроблено висновок, що для мінімізації масогабаритних параметрів магнітної частини системи БПЕ потрібно застосовувати неklasичну топологію інвертора».

5. Незрозуміла і некоректна термінологія «загальний діаметр первинної індуктивності» (стор.52). В різних місцях використовуються різні назви: «передавальні котушки індуктивності», «первинна котушка індуктивності», «подається на первинну котушку індуктивності, що, в свою чергу, зменшує значення первинної індуктивності...», «енергія передається на вторинну сторону через первинні котушки індуктивності з повітряним зазором», «значення

передавальної індуктивності в первинному контурі».

6. Дещо перебільшено використання поняття багаторівневий перетворювач, оскільки за суттю мова йде про збільшення кількості рівнів вхідної напруги до трьох і зменшення напруги в два рази. Не зрозуміло і твердження щодо покращення напруги та форми струму на виході інвертору, оскільки його напруга приймає значення 0 та ± 0.5 від вхідної напруги.

7. Недостатньо переконливі обґрунтування ключових моментів роботи щодо «використання двох розділених передавальних котушок індуктивності з підключенням в середній точці», які зводяться до фраз типу: «В комплексі із двома інверторами Т-типу це зменшує струм через перемикачі та підвищуючи ефективність системи [74]». Це ж стосується і масогабаритних показників: «Перш за все, застосування двох розділених передавальних котушок індуктивності на одному феритовому осердді (що зменшить в 2 рази кількість фериту порівняно із двома звичайними передавальними котушками) зменшує загальні габаритні розміри магнітних компонентів на первинній стороні». Отже є «розділені...» і «звичайні ..» котушки. Можна припустити, що «звичайні» мають окремі осердя? Так, а хіба в «аналогічному» рішенні БПЕ дві «передавальні котушки»? І знов обґрунтування «В результаті розмір.....» зводиться до посилання [74]. До того ж висновок 2 (стор.66) «Запропоновано ... дві розділені передавальні котушки індуктивності, підключені із середньою точкою,порівняно з однією...». А далі «Використання такого рішення на одній спільній феритовій пластині покращить масогабаритні параметри, зменшуючи на відміну від рішення із двома звичайними передавальними котушками індуктивності...».

8. Розглянуто замкнену систему керування з ПІ регулятором із широтно-імпульсною модуляцією. Варто б було відзначити, що мабуть це модуляція на частоті основної гармоніки.

9. В роботі зустрічаються орфографічні та стилістичні помилки та неточності. Наприклад, на рис.2.1 і рис.3.1 замість БПЕ вказано ППЕ.

Зазначені зауваження не є принциповими і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Шевченка В.О.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Шевченка Віктора Олександровича на тему «Система безпровідної передачі енергії на основі багаторівневих перетворювачів з покращеними масогабаритними параметрами» є завершеною, самостійно виконаною працею, в якій отримано нові теоретично та практично обґрунтовані результати, що служать основою для створення бездротового зарядного пристрою з покращеними масогабаритними параметрами.

За актуальністю обраної теми, обсягом та рівнем виконаних досліджень,

повнотою вирішення наукових і практичних задач, новизною і ступенем обґрунтованості отриманих результатів та практичних висновків дисертаційна робота відповідає вимогам п.10 та п.11 «Тимчасового порядку присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету міністрів України від 06.03.2019 р. № 167 із змінами, внесеними згідно з Постановою КМУ № 608 від 09.06.2021р, які ставляться до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а її автор Шевченко Віктор Олександрович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Професор кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки
Київського національного університету технологій та дизайну МОН України
д.т.н., проф.

Шавьолкін О.О.

