

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Васечка Євгена Вікторовича

на тему «Двоступеневі DC/AC перетворювачі підвищеної ефективності»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації,

за спеціальністю 171 Електроніка

### **Актуальність теми дисертації.**

На сьогоднішній день проблема енергозбереження гостро стоїть не тільки в Україні, але й у цілому світі. Це обумовлено скороченням світових запасів викопного палива та поступовим їх подорожчанням. Для зменшення від їх залежності, останній час активно використовується енергія з відновлювальних джерел енергії, таких як вітроелектростанції, сонячні панелі. Для перетворення енергії, яка вироблена з цих джерел, до необхідної форми, напруги, частоти, виникає необхідність використання DC/AC перетворювачів напруги. А на фоні боротьби виробників сонячних панелей за підвищення їх ККД за кожен відсоток, актуальним питанням стає і підвищення ККД перетворювачів напруги.

Найпоширеним видом DC/AC перетворювачів напруги є двоступенева структура, яка складається з двох окремих перетворювачів DC-DC та DC-AC. Задачею DC-DC ступеня перетворення є трансформація вхідної постійної напруги низького рівня, яка може змінюватися у досить широкому діапазоні, до стабільної постійної високої напруги. Існує достатньо велика кількість схемотехнічних рішень для реалізації цієї задачі. Але питання порівняння потужності втрат у активних елементах схем (MOSFET транзистори, випрямні діоди) між собою, з урахуванням того факту, що у різних схемотехнічних рішеннях може використовуватися принципово різна кількість ключових елементів, які працюють при різних робочих напругах, потребує додаткового вивчення.

Одним з напрямків зменшення потужності втрат у DC-AC ступені перетворення є використання не синусоїдальних форм напруги у напівмостових перетворювачах у складі мостових інверторів, які дозволяють знизити потужність динамічних втрат в елементах комутації. Але сучасні запропоновані форми фронтів напруги у напівмостових перетворювачах не дозволяють отримати малі значення коефіцієнта спотворення синусоїдальності вихідної напруги при малих значеннях тривалості формування фронтів. Тому видається актуальним дослідження нових несинусоїдальних форм напруги та алгоритмів керування, при одночасному зменшенні коефіцієнта спотворення синусоїдальності вихідної напруги.

Тому тема дисертації, що спрямована на створення двоступеневих DC/AC перетворювачів напруги з покращеними енергетичними характеристиками шляхом удосконалення схемотехнічних рішень і алгоритмів керування у DC-DC ступені перетворення і використання у DC-AC ступені спеціальних не синусоїдальних форм напруги є безсумнівно актуальною.

**Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

- вперше запропоновано метод еквівалентного елемента для порівняння потужності статичних втрат у активних елементах DC-DC перетворювачів із принципово різною їх кількістю та робочими напругами у топологіях, що дозволяє забезпечити рівнозначність порівнювальних топологій;

- вперше проведено порівняльний аналіз потужності статичних втрат в активних елементах ізольованих DC-DC перетворювачів різних топологій, у тому числі з різним числом фаз комутації, в умовах діапазонної зміни вхідної напруги і з використанням метода еквівалентного елемента;

- вперше запропоновано та досліджено компенсаційний метод зниження низькочастотних пульсацій вхідного струму в одноконтурній системі стабілізації

напруги у DC-DC перетворювачі у складі двоступеневої топології, який дозволяє алгоритмічним шляхом збільшити у перетворювачі вихідний опір на змінному струмі і цим зменшити низькочастотні пульсації вхідного струму та втрати потужності у DC-DC ступені перетворення;

- отримані залежності рівня вищих гармонік у спектрі вихідної напруги мостового інвертора від тривалості інтервалів комутації трапецеїдальної напруги у напівмостових перетворювачах з лінійною та синусоїдальною формою фронтів, які дозволяють обрати оптимальну тривалість інтервалів комутації для отримання мінімального значення коефіцієнта гармонік вихідної напруги при одночасному зменшенні потужності динамічних втрат у IGBT ключах;

- запропоновано нову аналітичну функцію спеціальної форми фронтів трапецеїдальної напруги, при застосуванні якої досягається повне придушення вищих гармонік і формується синусоїдальна напруга при одночасному зниженні потужності динамічних втрат;

- вперше запропоновано використання у однофазному мостовому DC-AC перетворювачі комплементарних форм з не синусоїдальними напругами у напівмостових перетворювачах при комбінованій модуляції, що дозволяє зменшити масогабаритні показники дроселя у вихідному фільтрі.

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 Васечка Євгена Вікторовича повністю відповідає стандарту вищої освіти зі спеціальності 171 Електроніка та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми 171 Електроніка.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, що складає 3,84%, можна зробити висновок, що дисертаційна робота 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 відповідне джерело.

### **Мова та стиль викладення результатів**

Дисертаційна робота написана українською мовою. Зміст дисертації викладений грамотною інженерною мовою, послідовно та логічно. Усі сформульовані висновки і наукові положення базуються на результатах власних досліджень.

Дисертаційна робота складається з анотації двома мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та двох додатків. Загальний обсяг дисертації становить 177 сторінок машинописного тексту. Дисертація містить 102 рисунка по тексту, 21 рисунок на 8 сторінках; 16 таблиць по тексту, 1 таблиця на окремій сторінці; список використаних джерел інформації з 124 найменувань на 14 сторінках; 2 додатки на 4 сторінках. Обсяг основного тексту дисертації складається із 150 сторінок.

У *вступі* розкрито актуальність теми дисертаційної роботи, сформовано мету і задачі роботи. Наведено наукову новизну та практичні результати, що були представлені науковій спільноті на Українських і міжнародних конференціях та опубліковані у фахових виданнях з особистим внеском здобувача, про що свідчить наведений у Додатку Б перелік публікацій.

В *першому розділі* Проведено аналіз властивостей та особливостей використання Voltage fed та Current fed топологій у ізольованих DC-DC перетворювачах. Показані переваги збільшення числа фаз комутації у Current fed топологіях. Визначено напрямки для зменшення маси та габаритів магнітних елементів при збереженні позитивних властивостей Current fed перетворювачів. Проаналізовано причини появи НЧ складової пульсацій вхідного струму у двоступеневих DC/AC перетворювачах напруги. Проведено порівняльний аналіз алгоритмів комутації напівмостових перетворювачів DC-AC ступеня

перетворення, який показує переваги використання несинусоїдальних форм при формуванні вихідної напруги інвертора.

В *другому розділі* проведено дослідження потужності статичних втрат в активних елементах Push-Pull, Half-Bridge, Full Bridge ізольованих Boost DC-DC перетворювачів з числом фаз комутації від двох до п'яти в умовах діапазонної зміни напруги живлення. Дослідження проведено з використанням метода еквівалентного елемента, що дозволяє проводити порівняння статичних втрат у топологіях із принципово різною кількістю активних елементів. Запропоновано нове схемотехнічне рішення багатофазного перетворювача, яке дозволяє зменшити кількість силових магнітних елементів за рахунок об'єднання в одному конструктивному елементі накопичувального дроселя і силового трансформатора. Запропоновано просту модель DC-DC перетворювача, яка описує процес виникнення НЧ пульсацій струму. На її основі запропоновано компенсаційний метод зниження НЧ пульсацій вхідного струму.

В *третьому розділі* запропоновано спосіб формування квазисинусоїдальної вихідної напруги у мостовому одно та трифазному інверторі з трапецеїдальною формою напруг з лінійними та синусоїдальними фронтами у напівмостових перетворювачах. Досліджена можливість зниження рівня вищих гармонік у спектрі та покращення форми вихідної квазисинусоїдальної напруги шляхом деформації функції форми фронтів трапецеїдальної напруги напівмостових перетворювачів. Запропоновано спосіб формування синусоїдальної напруги в однофазному мостовому інверторі з комплементарними формами несинусоїдальної напівмостової напруги при комбінованому вигляді модуляції. Проведено оцінку зниження відносної ПДВ в елементах комутації у запропонованих способах формування вихідної напруги.

У *четвертому розділі* проведені експериментальні перевірки теоретичних досліджень, проведених у другому та третьому розділах. У DC-DC ступені перетворення перевірка проводилась на запропонованій топології 3-х фазного DC-DC перетворювача з суміщеними магнітними елементами на прикладі

перетворювача з вихідною потужністю 5кВт та вхідною напругою у діапазоні 80...160В з використанням компенсаційного методу зниження низькочастотних пульсацій вхідного струму. Експериментальна перевірка DC-AC ступеня перетворення проведена на макеті однофазного мостового перетворювача з вихідною потужністю 3кВт.

У загальних висновках здобувачем наведено основні теоретичні та практичні результати дослідження, які відповідають поставленим задачам дисертаційного дослідження.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки № 759 від 31.05.2019).

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи**

Наукові результати дисертації висвітлені у 10 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 3 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 5 у матеріалах апробаційного характеру, що входять до наукометричної бази даних Scopus, 2 патента України на корисну модель.

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

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. Для досягнення мети підвищення якості вихідної напруги і зменшення втрат потужності було б доцільно провести дослідження трирівневих інверторів напруги з трапецевидною модуляцією.

2. За текстом та в деяких формулах зустрічаються деякі не точності та помилки. Наприклад назва розділу 2.4 в якому вказано dc/dc перетворювачі, хоча мова йде про ac/dc перетворювачі. Ще один приклад вираз 2.36 в якому в

виразі пропущено множник  $\sqrt{2}$ , оскільки має бути враховано не діюче, а амплітудне значення потужності.

3. За текстом дисертації представлено не всі визначення змінних в формулах, наприклад  $I_{\text{comp.A.avr}}$ ,  $I_{\text{comp.B.avr}}$ ,  $I_{\text{sin.avr}}$  та інші.

4. В дисертації було б доцільно більш точно оціни повні втрати потужності, а саме додати дослідження динамічних втрат потужності для dc/dc складової та дослідження статичних втрат потужності для ac/dc.

5. В тексті дисертації присутні граматичні, орфографічні та стилістичні помилки, деякі формулювання є нечіткими та не завершеними.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Висновок про дисертаційну роботу**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Васечка Євгена Вікторовича на тему «Двоступеневі DC/AC перетворювачі підвищеної ефективності» 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 17 Електроніка. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю 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 (із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 341 від 21.03.2022 та № 502 від 19.05.2023).

Здобувач Васечко Євген Вікторович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 17 Електроніка за спеціальністю 171 Електроніка.

**Офіційний опонент:**

кандидат технічних наук, доцент  
кафедри електроенергетики,  
електротехніки та  
електромеханіки Українського  
державного університету  
залізничного транспорту



*[Handwritten signature]*  
/ Олександр ПЛАХТІЙ

М.П.

«24» травня 2024 року

Особистий підпис  
засвідчую 24.05.2024 р.  
Завідуючий канцелярією  
УкрДУЗТ

*[Handwritten signature]*