

## **ВІДГУК**

### **офіційного опонента**

к.т.н., с.н.с., відділу перетворення та стабілізації електромагнітних процесів  
Інституту електродинаміки Національної академії  
наук України

**Чопика Василя Васильовича**

на дисертаційну роботу

**Фесенко Артема Петровича** на тему:

**«Інвертор з широким діапазоном регулювання вхідної напруги та покращеними масогабартними параметрами»,**

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

### ***Актуальність обраної теми дисертаційного дослідження***

Електроенергетика є невід'ємною складовою сучасного суспільства, і надійна робота електромереж та підстанцій має вирішальне значення для забезпечення життєво важливих сфер та функціонування економіки. Зростання використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні та вітрові установки, є необхідним кроком для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та забезпечення сталого розвитку. Однак це також призводить до збільшення варіабельності систем перетворення електроенергії та необхідності узгодження різних типів та різної кількості фотоелектричних панелей для стандартних побутових та промислових мереж змінного струму. В дисертаційній роботі здобувач розвинув методи досліджень, спрямованих на удосконалення параметрів систем перетворення електроенергії, отриманої від фото-електричних панелей шляхом поліпшення масогабаритних показників та удосконалення перетворювачів з широким діапазоном вхідних напруг. Застосовано комплексний підхід до зменшення масогабаритних показників та запропоновано алгоритми підвищення ефективності відбору потужності з фотоелектричних панелей. Виконано комплексну оцінку таких перетворювачів за різними показниками з поєднанням ефективності, енергетичних параметрів, лінійних розмірів та вартості. Головною особливістю роботи є експериментальна перевірка запропонованих підходів на діючих дослідних зразках в реальних умовах роботи, що дозволило підтвердити основні положення теоретичної частини роботи.

Отже, тематика дисертаційної роботи Фесенка А. П. є актуальною в умовах сьогодення.

Дисертаційна робота виконана відповідно до тематичного плану науково-дослідних робіт Національного університету «Чернігівська політехніка», за пріоритетним напрямком розвитку науки і техніки України «Енергетика та енергоефективність» в рамках науково-дослідної теми «Автономна високоефективна система електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів» номер державної реєстрації 0116U006960.



## ***Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій***

За результатами ознайомлення зі змістом дисертації можна зробити висновок, що розроблені автором наукові положення, висновки і рекомендації є обґрунтованими та достовірними. Дисертаційна робота має логічну структуру, її автор підійшов системно до постановки проблеми, формулювання задач, обравши вірні методи та прийоми дослідження.

Достовірність наукових результатів та обґрунтованість наведених автором висновків зумовлена правильно сформованими методологічними положеннями дослідження, які ґрунтуються на використанні таких методів як теорія електричних кіл, положення фундаментальної теорії лінійних та нелінійних імпульсних систем, метод усереднення за допомогою простору станів, перетворення Лапласа, математичне моделювання, фізичний експеримент.

Основні положення та висновки дисертації мають достатній рівень апробації, були представлені та одержали схвалення на міжнародних науково-практичних конференціях.

### ***Структура і зміст дисертаційної роботи.***

#### ***Відповідність дисертаційної роботи встановленим вимогам***

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів і висновків. Загальний обсяг роботи становить 156 сторінки, з них основний текст – 129 сторінок. У дисертації розглянуто методику оптимізації масогабаритних параметрів напівпровідникових перетворювачів електричної енергії в складі систем на основі ФЕП за допомогою застосування паралельної структури з чергуванням фаз імпульсної ланки перетворювача та ланцюжка розгортки.

У першому розділі дисертації наведено результати аналізу актуального стану розвитку напівпровідникових перетворювачів в системах живлення на основі ФЕП. Запропоновано систему критеріїв порівняння комерційних інверторів з метою виявлення особливостей та основних тенденцій розвитку. Розглянуто низку перспективних топологій перетворювача, за результатами порівняльного аналізу виявлено оптимальні для подальшого розгляду рішення. Виконано аналітичний огляд наявних накопичувачів електричної енергії для систем на основі ФЕП з метою вибору оптимального типу акумуляторної батареї.

Другий розділ дисертації присвячено порівняльному аналізу перспективних топологій перетворювача на основі імітаційного та математичного моделювання. Порівняння виконано на основі чотирьох запропонованих критеріїв. Виконано дослідження впливу ланцюжка розгортки та паралельної структури з чергуванням фаз імпульсної ланки на ефективність роботи перетворювача, чим підтверджено перспективність застосування даних рішень. На основі порівняльного аналізу запропонованого рішення з топологіями що містять нульовий провід, переваг останніх не виявлено.

У третьому розділі дисертації розглянуто замкнену систему керування перетворювачем що враховує застосування паралельних комірок імпульсної



ланки та можливість роботи у двох режимах, виконано необхідні розрахунки та моделювання. Запропоновано модифікований алгоритм пошуку точки максимуму потужності ФЕП, досягнуто підвищення швидкості реакції системи в тричі.

Четвертий розділ дисертації присвячений математичній моделі втрат в напівпровідникових компонентах перетворювача. Розглянуто статичні та динамічні втрати в активних компонентах у зв'язку з кількістю паралельних модулів імпульсної ланки.

У п'ятому розділі наведені результати проведення експериментальних досліджень макету перетворювача потужністю до 1кВт в широкому діапазоні зміни вхідної напруги в межах від 100 до 450 В. Експериментально підтверджено результати отримані в ході математичного та імітаційного моделювання, досягнуто ККД перетворювача понад 95% та КНС менше 4%.

Дисертаційна робота є логічною, послідовною та завершеною працею, що виконана автором самостійно. Наукове дослідження оформлене відповідно встановлених вимог та містить усі необхідні структурні компоненти.

### ***Наукова новизна одержаних результатів***

Серед наукових здобутків Фесенка А. П. на особливу увагу заслуговують такі:

- *Уперше* запропоновано методику оптимізації масогабаритних параметрів котушок індуктивності напівпровідникового перетворювача за допомогою паралельної структури з чергуванням фаз та ланцюжком розгортки, що дозволяє додатково зменшити масогабаритні параметри котушок індуктивності та радіатора за допомогою зменшення втрат провідності;

- *Уперше* розроблено універсальну математичну модель імпульсного перетворювача з ланцюжком розгортки з паралельною структурою чергування фаз, що дозволяє кількісно та якісно оцінювати динамічні та статичні втрати в активних компонентах перетворювача за умови різної кількості паралельних модулів імпульсної частини;

- *Уперше* розроблено та експериментально перевірено замкнуту систему керування з модифікованим алгоритмом ГСТМП, що дозволяє швидше знаходити максимум потужності.

### ***Практичне значення результатів дослідження***

До практичних результатів дисертаційного дослідження можна віднести

- розробку, виготовлення та експериментальні дослідження прототипу перетворювача з паралельною структурою чергування фаз імпульсної ланки та ланцюжком розгортки що містить дві паралельні комірочки імпульсної ланки. Вихідна потужність перетворювача склала до 1 кВт, діапазон зміни вхідної напруги від 100 до 450 В, ККД понад 95% та коефіцієнт нелінійних спотворень менше 4%;

- розроблену математичну модель, що дозволяє оцінювати ефективність застосування підходу з паралельним чергуванням фаз імпульсної ланки перетворювача, може бути застосована в якості інструмента для оцінки втрат



потужності перетворювача та вибору оптимальних компонентів;

- вперше проведено комплексний порівняльний аналіз запропонованого перетворювача з іншими перетворювачами, що дозволяє якісно оцінити переваги та недоліки запропонованого рішення в таких кількісних параметрах як втрати потужності, енергія накопичена в пасивних компонентах, та максимальна сумарна напруга на напівпровідникових компонентах;

- результати досліджень, які отримані в ході виконання використовуються в навчальному процесі для вдосконалення лекційних курсів та оновлення циклів лабораторних робіт з дисциплін «Електроживлення радіоелектронних апаратів» (спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка», освітньо-кваліфікаційний рівень «бакалавр»).

### ***Повнота викладення наукових результатів дисертації в опублікованих працях***

За результатами дослідження опубліковано 9 наукових праць, з них: три статті у виданні, індексованому у міжнародній наукометричній базі даних Web of Science, дві статті у наукових фахових виданнях, чотири праці апробаційного характеру. Загальний обсяг публікацій – 8,04 д.а., з яких автору належить 6,03 д.а.

Наукові публікації відповідають вимогам п. 8, 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.

### ***Дотримання норм академічної доброчесності***

За результатами аналізу представлених матеріалів фактів порушення академічної доброчесності не встановлено.

Дисертант дотримувався норм та принципів академічної доброчесності, норм законодавства про авторське право, порушень яких, як і академічного плагіату, не виявлено. У дисертації наявні посилання на відповідні джерела, зазначені у списку використаних джерел, визначено особистий внесок автора в опублікованих у співавторстві працях.

### ***Висновки та пропозиції, що викликають певні сумніви, зауваження на окремі суперечності та можуть слугувати підґрунтям дискусії під час захисту дисертації***

Зауважуючи високий рівень дисертаційного дослідження слід зазначити наступні зауваження та дискусійні положення.

1. В роботі розглядаються акумуляторна батарея, як складова системи електричного живлення на основі ФЕП, але ця частина роботи не відображена в основних положеннях роботи та у загальних висновках.

2. В роботі обґрунтовано недоцільність використання АКБ в системах з ФЕП, але незважаючи на наведені недоліки існують і широко впроваджуються комбіновані системи живлення які дозволяють отримати енергетичні переваги у розподілених мережах по відношенню до систем без АКБ. Було б доцільно



отримати точку зору дисертанта.

3. В роботі запропоновано паралельні структури з чергуванням фаз, але не надано обмежень на максимальну кількість таких паралельних кіл, як і не дано оцінку можливості збільшення таких паралельних кіл більше ніж три.

4. В роботі не надано оцінки якісних показників вихідних параметрів перетворювачів. Також не надано обмеження параметрів елементів схеми для забезпечення необхідної якості. Очевидно, що для досягнення необхідних рівнів якості, визначених стандартами, допустимо поступатись ціною та розмірами перетворювачів, а також збільшенням кількості паралельних ланок.

5. В тексті роботи присутні деякі неточності та дрібні помилки, наприклад посилання на «рисунок 1» в розділі 1.4, другий абзац.

Зазначені зауваження не є принциповими і такими, що піддають сумніву вагомим результати досліджень. Вони не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Фесенко А. П.

### **Загальні висновки та оцінка дисертації**

Дисертаційна робота на тему «Інвертор з широким діапазоном регулювання вхідної напруги та покращеними масогабартними параметрами» є самостійною та завершеною працею, має наукову новизну та практичне значення.

Дисертаційне дослідження відповідає спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

За змістом, структурою, обсягом та оформленням дисертаційна робота відповідає вимогам наказу МОН України №40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (зі змінами) та «Про затвердження 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 №44 від 12 січня 2022.

Зазначене дозволяє зробити висновок що Фесенко Артем Петрович, автор дисертації на тему «Інвертор з широким діапазоном регулювання вхідної напруги та покращеними масогабартними параметрами» заслуговує на присудження ступеня доктор філософії за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

### **Офіційний опонент:**

к.т.н., с.н.с, відділу перетворення та стабілізації  
електромагнітних процесів  
Інститут електродинаміки  
Національної академії  
наук України



Василь Чопик

