

## РЕЦЕНЗІЯ

к.т.н., доцента кафедри електричної інженерії  
та інформаційно-вимірювальних технологій  
Національного університету «Чернігівська політехніка»  
**Бодунова Вадима Миколайовича**

на дисертаційну роботу  
**Фесенка 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*

Бурхливий розвиток СЕС на основі фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) є загальносвітовою тенденцією. Впровадження таких електростанцій широко стимулюється державами за допомогою пільгових тарифів, таких як «зелений тариф» в Україні, Feed-in tariffs (FITs) в країнах Європи та ін.

Лише у приватних домогосподарствах України налічується більше 50 тис СЕС із сумарною встановленою потужністю понад 1300 МВт. Разом із цим ФЕП – одна з небагатьох технологій, яка дозволяє отримувати генеруючі потужності як в промислових масштабах (одиниці-десятки МВт), так і невеликої потужності (сотні Вт –одиниці-десятки кВт). При малих потужностях СЕС вартість напівпровідникового перетворювача може перевищувати вартість самих ФЕП. Тож, одним з можливих методів підвищення доступності подібних систем є оптимізація параметрів напівпровідникового перетворювача.

Таким чином, тематика дисертаційної роботи Фесенка А. П. є актуальною та важливою в умовах сьогодення.

### *Зв'язок дисертації з науковими програмами, планами, темами*

Результати досліджень є складовою частиною науково-практичних розробок в рамках пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки в Україні «Енергетика та енергоефективність». Робота виконувалася відповідно до тематичного плану науково-дослідних робіт Національного університету «Чернігівська політехніка» в рамках держбюджетної наукової теми «Автономна високоефективна система електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів» (номер державної реєстрації 0116U006960).

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

Ознайомлення зі змістом дисертації дає підстави зробити висновок, що сформовані автором наукові положення, висновки і рекомендації є достовірними та обґрунтованими. Дисертаційна робота логічно побудована, її автор системно підійшов до постановки наукового завдання, 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 положень фундаментальної теорії електричних кіл, теорії лінійних та нелінійних імпульсних систем, теорії математичного моделювання, методу усереднення за допомогою простору станів, перетворенні Лапласа, фізичному експерименті.

Обґрунтованість наукових пропозицій автора, висновків та представлених рекомендацій підтверджується їх апробацією на міжнародних науково-технічних конференціях, науковими публікаціями.

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

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

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, п'яти розділів, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 156 сторінок, з них основний текст – 119 сторінок. Список використаних джерел налічує 149 найменувань.

У вступі обґрунтовано актуальність теми; сформульовано наукове завдання; відзначено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; сформульовано мету та завдання дослідження; визначено об'єкт, предмет і методи дослідження; представлено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, особистий внесок здобувача, апробацію результатів дисертації.

Перший розділ дисертації присвячений дослідженню існуючого стану розвитку перетворювальної техніки для систем відновлюваної енергетики на основі ФЕП. Розглянуто наявні на ринку комерційні зразки, їх функціональні та структурні особливості, запропоновано систему критеріїв порівняння. Виконано порівняльний аналіз перспективних топологій перетворювача, визначено найкращі варіанти для подальшого дослідження. Виконано аналітичний огляд наявних накопичувачів електричної енергії для систем на основі ФЕП з метою вибору оптимального типу акумуляторної батареї.

В другому розділі дисертації було виконано порівняльний аналіз перспективних топологій перетворювача за результатами імітаційного моделювання. Запропоновано систему з чотирьох параметрів оптимізації, які характеризують вплив пасивних та активних компонентів. Окремо досліджено вплив ланцюжка розгортки та паралельної структури з чергуванням фаз імпульсної ланки на ефективність роботи перетворювача, чим підтверджено перспективність застосування даних рішень. Виконано порівняльний аналіз запропонованої топології з такими, що містять нульовий провід. Переваг топологій з нульовим проводом відносно запропонованого рішення з ланцюжком розгортки за обраними критеріями не виявлено.

У третьому розділі дисертації запропоновано замкнену систему керування перетворювачем що враховує його особливості, виконано необхідні розрахунки та моделювання. Модифікація алгоритму пошуку точки максимальної потужності ФЕП дозволила підвищити швидкість реакції системи на зміну освітленості на 30%.

Четвертий розділ дисертації присвячений математичному моделюванню статичних та динамічних втрат в напівпровідникових компонентах перетворювача в залежності від кількості паралельних комірок імпульсної ланки. За результатами моделювання обрана найкраща топологія.

У п'ятому розділі наведені результати проведення експериментальних досліджень з використанням макету перетворювача потужністю до 1кВт зі зміною вхідної напруги в межах від 100 до 450 В. Експериментально підтверджено результати, отримані в ході математичного та імітаційного моделювання. Досягнуто ККД макету перетворювача понад 95% та коефіцієнт нелінійних спотворень у вихідному струмі 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 елементи.

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

Отримані здобувачем результати мають наукову новизну. Вона полягає в тому, що науково обґрунтовано структуру та параметри перетворювачів електричної енергії з широким діапазоном регулювання вхідної напруги на основі розробленої системи критеріїв ефективності.

Поставлені в роботі задачі вирішені повністю.

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

Вперше 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;

Вперше 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.

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

Теоретичні положення дисертаційної роботи мають практичну цінність. Вони можуть використовуватися при проектуванні конкурентоспроможних напівпровідникових перетворювачів з живленням від ФЕП. Запропоновані теоретичні положення спрямовані на підвищення ефективності напівпровідникових перетворювачів в режимах підвищення і зниження напруги за рахунок особливостей запропонованої системи керування напівпровідниковими ключами а також за рахунок зменшення масогабаритних параметрів котушок індуктивності.

Розроблений прототип імпульсного інвертора з паралельною структурою чергування фаз та ланцюжком розгортки може бути використаний за основу при проектуванні серійного пристрою.

Розроблений комплекс критеріїв для порівняння напівпровідникових перетворювачів може бути використаний як в задачах проектування самих перетворювачів, так і при формуванні складу системи живлення з ФЕП з використанням вже існуючих перетворювачів.

Розроблений модифікований алгоритм пошуку точки максимальної потужності ФЕП за певного корегування може бути використаний в інверторних підстанціях промислових СЕС.

Отримані результати дослідження впроваджено на ТОВ «П'єзосенсор» при модернізації технологічного обладнання з гідравлічними приводами вузлів та систем.

Отримані в дисертаційній роботі результати досліджень використовуються в навчальному процесі Національного університету «Чернігівська політехніка» при навчанні здобувачів освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» та освітньо-наукового рівня «доктор філософії» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

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

За результатами дослідження опубліковано 9 наукових праць, з них: три статті у періодичному науковому виданні, проіндексованому у міжнародній наукометричній базі даних Web of Science, дві статті у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України, 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 загальний високий рівень дисертаційного дослідження, слід зазначити наступні зауваження та дискусійні положення:

1. Викликає сумніву використання критерію «TVS - сумарна постійна напруга на напівпровідникових компонентах» по причині різної структури з'єднання компонентів в порівнюваних схемах. Більш доцільно було розглянути показник «сумарна втрата напруги в напівпровідникових компонентах» по контуру, що з'єднує джерело із навантаженням;

2. Потребує пояснень вибір числових значень коефіцієнтів пульсації  $K_c < 10\%$   $K_L < 20\%$  (стор. 66);

3. В формулах (2.2) та (2.3) на стор. 57 не пояснено призначення коефіцієнту  $\gamma$ , який в наступних формулах не зустрічається;

4. Некоректним є порівняння різних типів акумуляторів за питомою ємністю вартістю  $A$ ,  $\frac{g_{PH}}{A \cdot g_{OD}}$  у зв'язку із різними номінальними напругами (с. 49). Коректніше було використати критерій  $\frac{g_{PH}}{B_m \cdot g_{OD}}$ .

5. У загальних висновках по роботі доцільно було вказати, наскільки вплине зменшення масогабаритних параметрів котушок індуктивності на покращення масогабаритних параметрів інвертора в цілому.

6. В тексті роботи присутнє неоднозначне тлумачення ряду термінів, що ускладнює розуміння тексту, наприклад:

– «TVS – сумарне падіння напруги на транзисторах» (стор. 12, 60), « $T_w$  – сумарне падіння напруги на напівпровідникових елементах» (стор. 40), «сумарна постійна напруга на напівпровідникових компонентах TVS» (стор. 69),

– показники, які характеризують об'єм конденсатора та осердя котушки позначені  $Vol_c$   $Vol_L$  (підрозділ 2.2),  $W_c$  та  $W_L$  (підрозділ 2.3);

7. По тексту наявні стилістичні та пунктуаційні помилки, опечатки, наприклад «перевантаження» замість «завантаження» (стор.16 абз.3); «T.S.V.» замість TVS (стор. 79); у формулі 2.3 (стор. 57) замість  $V_{in}$  потрібно  $V_{in}^2$ ; у формулі 2.23 (стор. 66) в чисельнику замість  $V_{in}^2$  потрібно  $V_{in}$ ; на рисунку 3.4 (стор. 84) некоректно підписані осі та ін.

Зазначені зауваження не мають принципового характеру та не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

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

Дисертаційна робота на тему «Інвертор з широким діапазоном регулювання вхідної напруги та покращеними масогабаритними 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.

**Рецензент:**

к.т.н., доцент кафедри електричної інженерії  
та інформаційно-вимірювальних технологій  
Національного університету  
«Чернігівська політехніка»  
МОН України

В.М. Бодунов

Підпис Бодунова В.М. підтверджую,  
Проректор з наукової роботи  
Національного університету  
«Чернігівська політехніка»



В.Г. Маргасова