

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Бурковського Ярослава Юрійовича

на тему «Високоєфективні імпульсні нітрид-галієві енергоперетворювачі
рухомих безпілотних радіосистем»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації
за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

Актуальність теми дисертації.

Стрімке поширення безпілотних літальних апаратів та безпілотних наземних автономних платформ, що широко застосовуються у військовій, промисловій, дослідницькій та цивільній сферах, постійно підвищує вимоги до ефективності, надійності та стабільності систем електроживлення таких систем. Високоєфективні та компактні енергоперетворювачі з можливістю стабільної роботи при зміні навантаження та частотних режимів набувають визначального значення для підвищення функціональності сучасних безпілотних систем. Неспроможність традиційних кремнієвих напівпровідникових елементів працювати з необхідною напругою, частотою, енергоефективністю та рівнем теплових втрат, створює потребу в використанні для побудови енергоперетворювачів напівпровідників з широкою забороненою зоною, зокрема GaN-транзисторів.

Тому розробка методів теоретичного аналізу, математичного та комп'ютерного моделювання, та підвищення ККД високочастотних імпульсних перетворювачів енергії у бортових радіосистемах рухомих безпілотних платформ із застосуванням широкозонних напівпровідників є актуальною задачею.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. На основі методики оцінки фізичних обмежень кремнієвих MOSFET та транзисторів на широкозонних напівпровідниках створено еквівалентну модель GaN транзистора, яка враховує статичні та динамічні складові паразитних параметрів транзистора (вхідні та вихідні ємності, струми витоку, опір каналу), їх температурну залежність та роботу при гранично допустимих режимах (частоти перемикавання, робочої температури, напруги затвору та струму стоку) при застосуванні у системі енергоперетворення.

2. Розроблено методику оцінки втрат та оптимізації параметрів понижуючого енергоперетворювача на основі широкозонних напівпровідників, що дозволило досягнути розрахункового значення ККД у 97,8% при повному навантаженні, що підтверджено експериментальними випробуваннями.

3. Вперше отримано та апроксимовано залежність ККД від вихідного навантаження та виявлено, що максимальне значення ККД досягається при 100% навантаженні, що пояснюється значним внеском динамічних втрат на цільовій робочій частоті перетворювача порівняно зі статичними втратами провідності.

Достовірність та обґрунтованість отриманих наукових результатів забезпечується використанням теорії чисельних методів вирішення трансцендентних рівнянь, результатами експериментальних досліджень, та комп'ютерним моделюванням, проведеним в середовищах Matlab Simulink та SPICE.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі прикладної радіоелектроніки КПІ ім. Ігоря Сікорського згідно з планами НДР (рішення Вченої ради радіотехнічного факультету (протокол № 11/2020 від «30» листопада 2020 року) та напрямку досліджень «Конструювання радіоелектронної апаратури нового покоління») під керівництвом професора кафедри прикладної радіоелектроніки, д.т.н, професора, академіка ПАН України Зінковського Юрія Францевича.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання з розробки та обґрунтування методів теоретичного аналізу, математичного та комп'ютерного моделювання, а також практичної оптимізації та підвищення ККД високочастотних імпульсних перетворювачів енергії бортових радіосистем рухомих безпілотних платформ 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 Бурковського Я.Ю. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Телекомунікації та радіотехніка.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям Телекомунікації та радіотехніка.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Бурковського Ярослава Юрійовича 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 з використанням загальноприйнятої сучасної наукової термінології. Зміст дисертації є добре структурованим та цілісним, робота відповідає темі досліджень.

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 162 сторінки.

У вступі проведено обґрунтування актуальності теми дисертаційної роботи, поставлено мету та задачі дослідження, наведено практичну та наукову новизну отриманих результатів. Також наведено основну інформацію про публікації та апробацію результатів дисертаційної роботи.

У першому розділі проведено аналіз джерел, що обґрунтовує важливість дослідження широкозонних напівпровідників і аналітично доведено переваги інтеграції GaN і SiC у системи перетворення енергії. Запропоновано аналітичну методику оцінки обмежень кремнієвих та широкозонних транзисторів, встановлено квадратичну залежність мінімального опору каналу від максимальної зворотної напруги та обернену кубічну залежність від критичної напруженості поля напівпровідника. Продемонстровано необхідність комплексного підходу, який включає аналіз динаміки комутації, вимог до драйверів затвора, швидкості наростання напруги та струму, а також топології друкованих плат.

У другому розділі описано переваги GaN-транзисторів у системах перетворення енергії, які дозволяють суттєво знизити статичні й динамічні втрати енергії та підвищити граничну частоту перемикавання, що є критично важливим для високочастотних застосувань. Запропоновано теоретичну методику оцінки втрат і оптимізації параметрів понижувального перетворювача на основі GaN-транзисторів, яка включає аналіз статичних і динамічних компонентів втрат. На основі цієї методики розроблено комп'ютерну еквівалентну модель GaN-транзистора, яка враховує статичні й динамічні паразитні параметри, температурні залежності, а також поведінку при граничних значеннях частоти перемикавання, напруги затвору, струму стоку та робочої температури.

У третьому розділі показано, що використання GaN-транзисторів підвищує ефективність і стабільність роботи імпульсного перетворювача в режимах безперервної, переривчастої та примусової провідності. Розроблено математично-комп'ютерну модель системи керування, яка враховує передатні функції компонентів (модуляторів, фільтрів, компенсаторів). Запропоновано цифрову модель системи керування з зворотним зв'язком по напрузі та

компенсатором на основі цифрового IIR фільтра, що забезпечує адаптивність до зовнішніх факторів, зокрема температурного дрейфу. Показано, що інтеграція математичного та SPICE-моделювання дозволяє компенсувати недоліки кожного методу.

У четвертому розділі створено та впроваджено експериментальний прототип перетворювача, проведено вимір його параметрів та порівняння з розрахованими та змодельованими значеннями. У процесі тестування було доведено працездатність перетворювача, а також підтверджено отримані теоретичні результати.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації висвітлені у 6 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 5 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 патент України на корисну модель.

Також результати дисертації були апробовані на 6 наукових фахових конференціях.

У наукових публікаціях здобувача якісно та на високому науковому рівні висвітлені результати його дисертаційного дослідження. Порушень правил академічної доброчесності та наявності запозичень в даних публікаціях не виявлено.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Здобувач часто використовує термін «оптимізація», проте процес оптимізації в роботі відсутній. Доцільніше було б говорити про максимізацію чи мінімізацію певних параметрів.

2. Декілька підрозділів дисертації закінчуються рисунками чи таблицями, що є недоречним. Після них має бути наведено текстовий висновок щодо представлених результатів.

3. Наведені некоректні підрисункові написи, наприклад рис. 2.5, 2.11, 2.12.

4. Рис. 2.5 повністю дублює рис. 2.12.

5. Некоректна назва підрозділу 2.3, адже методи аналізу втрат не розробляються. Описану методику аналізу втрат доцільніше було б навести у вигляді послідовності кроків або алгоритму.

6. У підрозділі 3.1 обрано критерій Найквіста для оцінки стійкості системи, проте не обгрунтовано цей вибір. Крім того, не наведено графік для цього критерію.

7. Не описано, яким чином враховуються нелінійності елементів схеми перетворювача при розрахунку стійкості.

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 Бурковського Ярослава Юрійовича на тему «Високоефективні імпульсні нітрид-галієві енергоперетворювачі рухомих безпілотних радіосистем» 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 17 Електроніка та телекомунікації. 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.

Здобувач Бурковський Ярослав Юрійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка.

Рецензент:

Доцент кафедри
електронних пристроїв та систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського,
к.т.н., доц.



«26» Травня 2025 року