

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Довгаля Артема Володимировича

**на тему «Удосконалення високовольтних широкосмугових каскадних
вимірювальних підсилювачів для пристроїв відтворення одиниці напруги
змінного струму радіочастотного діапазону»,**

представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування
за спеціальністю 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

Актуальність теми дисертації.

В умовах розвитку радіоелектроніки, телекомунікацій, метрології та високоточної вимірювальної техніки зростають вимоги до точності, швидкодії та надійності засобів вимірювання електричних величин у широкому частотному діапазоні, зокрема в області радіочастот. Особливе значення мають пристрої відтворення одиниць вимірювання напруги змінного струму в радіочастотному діапазоні, що використовуються в державних первинних та вторинних еталонах, калібрувальних установках, а також у наукових дослідженнях і промислових застосуваннях.

Ключовим елементом таких пристроїв є високовольтні широкосмугові каскадні вимірювальні підсилювачі, від характеристик яких безпосередньо залежить точність, лінійність, фазова стабільність і динамічний діапазон усієї вимірювальної системи. Підвищення вимог до вимірювальної точності та стабільності сигналу обумовлює необхідність удосконалення підсилювачів з орієнтацією на розширення частотного діапазону, зниження рівня шумів і спотворень, а також збільшення вихідної напруги.

Таким чином, актуальність теми дисертаційної роботи полягає у удосконаленні високовольтних широкосмугових вимірювальних підсилювачів еталону одиниці напруги змінного струму радіочастотного діапазону за рахунок

розширення їх частотного та динамічного діапазонів із забезпеченням часової стабільності напруги змінного струму в діапазоні від 0.1 В до 30 В частотного діапазону від до 30 МГц, та діапазону напруг від 100 В до 1000 В частотного діапазону до 100 кГц. .

Оцінка новизни наукових результатів дисертації, їх обґрунтованості та достовірності.

Наукове дослідження відрізняється науковою новизною, яка полягає в наступному:

1. Створено математичну модель багатокаскадного високовольтного широкосмугового підсилювача на базі операційних підсилювачів з індивідуальними, незалежними негативними зворотними зв'язками та напругою живлення, що слідує за вихідною напругою.
2. Виявлена закономірність розташування і значень коефіцієнтів підсилення окремих каскадів високовольтного широкосмугового вимірювального підсилювача для мінімізації загальної кількості каскадів.
3. Вперше знайдено схемотехнічне рішення застосування резисторів зворотного зв'язку одного типу та номіналу багатокаскадного підсилювача.
4. Вперше отримано аналітичний вираз сумарного коефіцієнта підсилення через комплексні коефіцієнти підсилення послідовних каскадів операційних підсилювачів, що дало змогу визначення частотної похибки багатокаскадного підсилювача.

Запропоновано оригінальну схемотехнічну реалізацію багатокаскадного підсилювача та технічне рішення розширення динамічного діапазону підсилювача, яке полягає в застосуванні додаткових транзисторних каскадів керування живленням, що значно розширює можливості відтворення одиниці напруги змінного струму (впроваджено відповідно до договору № 153 від 09.0.2024 р. з Міністерством оборони України).

Знайдений здобувачем спосіб подвоєння вихідної напруги операційних підсилювачів шляхом формування їх ланок живлення за принципом сліdkуючої напруги дозволив оптимізувати результуючу конструкцію та вартість пристрою

за рахунок застосування меншої кількості каскадів підсилювачів. За цей винахід Довгаль А.В. отримав одноосібний патент (№ 152343 від 11.01.23 р.).

Наукові положення, висновки та практичні рекомендації, сформульовані у дисертаційній роботі, характеризуються високим ступенем теоретичної обґрунтованості, яка базується на аналізі сучасного стану досліджуваної проблематики, критичному переосмисленні наукового доробку вітчизняних і зарубіжних учених, а також на використанні комплексу апробованих методів дослідження, які забезпечили всебічний аналіз та ефективне розв'язання поставлених завдань.

Достовірність сформульованих у дисертації наукових положень, висновків і практичних рекомендацій підтверджується опрацюванням широкої інформаційної бази.

Наукові дослідження виконані здобувачем на кафедрі інформаційно-вимірювальних технологій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 942 від 07.09.2011 р. «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямків наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2023 року» під керівництвом доктора технічних наук, професора Туза Юліана Михайловича.

Практичне значення результатів дисертаційного дослідження Довгала Артема Володимировича полягає у розробленні підсилювальних блоків і впровадженні їх на практиці під час модернізації вихідного еталонного комплексу ВВЕТУ 08-07-01-09 на замовлення Метрологічного центру військових еталонів МО України. Інтеграція нових рішень дозволила розширити робочий частотний діапазон калібрувального комплексу до 30 МГц (для напруг 0,1–30 В) і підвищити динамічний діапазон відтворюваної напруги до 1000 В у діапазоні 0кГц–100 кГц. Забезпечено необхідну точність і стабільність, що є критично важливим для атестації термоелектричних перетворювачів. Практичне впровадження результатів підтверджує їхню прикладну значущість і придатність до використання в метрологічних системах.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

Зміст дисертаційного дослідження здобувача Довгала Артема Володимировича повністю узгоджується з вимогами Стандарту вищої освіти за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» та відповідає науковим напрямкам, передбаченим відповідною освітньо-науковою програмою.

Представлена дисертація є завершеним науковим дослідженням, що демонструє особистий внесок автора в розвиток наукових підходів і технічних рішень у сфері метрології та вимірювальних інформаційних технологій.

Аналіз результатів перевірки дисертації на наявність текстових збігів дозволяє зробити висновок, що дослідження виконане самостійно, без ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації чи механічного копіювання тексту. Використані в роботі ідеї, наукові результати та фрагменти текстів інших авторів оформлені коректно, є посилання на відповідні джерела.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційне дослідження виконано українською мовою. Виклад матеріалу здійснено у науковому стилі, що відзначається логічністю, послідовністю та чіткістю подання. У роботі коректно використано фахову термінологію, яка відповідає загальноприйнятим нормам у сфері метрології та інформаційно-вимірювальної техніки.

Усі розділи містять обґрунтовані висновки, що охоплюють як кількісні, так і якісні показники отриманих результатів, з акцентом на їх наукову новизну та практичну цінність. Загальні висновки дисертації відображають основні наукові досягнення дослідження.

Структура та зміст основних положень дисертаційної роботи.

Структурно дисертаційна робота включає вступ, чотири розділи основної частини, висновки, список використаних джерел (за розділами) та додатки. Загальний обсяг дисертації становить 147 сторінок.

У вступі здобувач обґрунтував актуальність обраної теми, визначив мету, основні завдання, предмет, об'єкт та методи дослідження, окреслив наукову

новизну і прикладне значення отриманих результатів. Також у вступі наведено особистий внесок автора у проведене дослідження, подано інформацію щодо практичної апробації результатів.

У першому розділі розглянуто методи побудови еталонів змінної напруги в радіочастотному діапазоні та проаналізовано існуючі рішення щодо високовольтних підсилювачів. Охарактеризовано типові конструкції, зокрема інтегральні операційні та комбіновані підсилювачі, їхні переваги й обмеження. На основі аналізу сформульовано завдання дослідження щодо вдосконалення широкосмугових високовольтних підсилювачів для еталонних систем.

У другому розділі представлено технічні рішення щодо розробки високовольтних широкосмугових каскадних підсилювачів, розглянуто типові каскадні структури, сучасну елементну базу для підсилювачів з параметрами 1000 В/100 кГц та способи розширення вихідної напруги за допомогою додаткових підсилювальних елементів. Особливу наукову і практичну цінність становлять запропоновані підходи до зниження втрат потужності, побудови ефективних імпульсних перетворювачів і оптимізації компонування друкованих плат, а також рішення для тепловідведення з використанням керамічних композитів і методи частотної корекції підсилювачів.

У третьому розділі виконано моделювання та аналіз каскадних підсилювачів з різними параметрами: 100 кГц / 1000 В і 30 МГц / 30 В. Проведено розрахунки моделей, оцінено їх частотні та амплітудні характеристики. На основі результатів обґрунтовано та запропоновано технічні рішення для удосконалення високовольтних широкосмугових вимірювальних підсилювачів, що застосовуються в пристроях відтворення одиниці напруги змінного струму в радіочастотному діапазоні.

У четвертому розділі проведено дослідження та оцінку метрологічних характеристик розроблених підсилювачів. Визначено частотні властивості термоелектричних перетворювачів, здійснено корекцію частотної характеристики підсилювача з параметрами 1000 В/100 кГц. Проведено метрологічну атестацію обох варіантів підсилювачів — для низькочастотного

(100 кГц / 1000 В) та радіочастотного (30 МГц / 30 В) діапазонів, що підтвердило їх придатність для використання в еталонних вимірювальних системах.

Висновки та рекомендації відзначаються науковою обґрунтованістю, внутрішньою логічною узгодженістю та системним підходом до розв'язання поставленого завдання дослідження проблем проектування високовольтних широкосмугових вимірювальних підсилювачів та знаходження нових рішень, пов'язаних із забезпеченням максимально можливої вихідної напруги і стабільності відтворення сигналу в широкій смузі частот, а також застосування конструктивних рішень, пов'язаних із забезпеченням коректного та безпечного теплового режиму функціонування.

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

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові публікації автора відповідають обраній науковій тематиці. Наукові результати дисертації висвітлені в 10 наукових публікаціях, серед яких: 2 статті у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України; 4 статті у наукових виданнях, внесених до міжнародних наукометричних баз Scopus (Q 4) та Web of Science. Додатково результати дисертації відображають 2 публікації.

Результати дисертації апробовані на 2 наукових фахових конференціях.

Науковий рівень публікацій є достатнім, що підтверджується наявністю статей у виданнях, індексованих в базі Scopus та Web of Science. У публікаціях дотримується академічна доброчесність, а особистий внесок автора в спільних роботах чітко окреслений.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

Оцінюючи представлену дисертаційну роботу в цілому позитивно, слід відмітити дискусійні положення та висловити такі зауваження:

1. У дисертації йдеться про важливість конструкції ізольованих джерел живлення, однак, на мою думку, недостатньо експериментальних даних і емпіричних результатів, що підтверджують вплив ізоляційної ємності джерел живлення на частотні характеристики підсилювача.

2. Дискусійним є питання щодо універсальності каскадного підходу для побудови високовольтних підсилювачів у широкому діапазоні частот і напруг. Зокрема, викликає інтерес, наскільки ефективно цей метод може бути застосований при розширенні частотного діапазону вище 30 МГц або підвищенні вихідної напруги понад 1 кВ без суттєвого зростання похибок.

3. Вважаю, що хоча застосування нітриду алюмінію як матеріалу для тепловідведення є технічно обґрунтованим, але доцільно було б розглянути й інші альтернативні матеріали і навести порівняльну їх ефективність у подібних умовах.

4. Додаткового дослідження вимагає питання довготривалої стабільності розширеного динамічного діапазону підсилювача, особливо за умов експлуатації в режимі змінного навантаження або за підвищеної температури. Чи зберігається точність при тривалому використанні в граничних режимах?

5. На мою думку, корекція амплітудно-частотної характеристики за допомогою RC-ланок хоча й знижує відхилення, але додає складність у схемі та може впливати на загальну надійність.

Висловлені зауваження не знижують загальну наукову і практичну цінність результатів дисертаційної роботи, а вказують на напрями подальшого поглиблення тематики у межах майбутніх наукових досліджень.

Висновок про дисертаційну роботу.

Дисертаційна робота Довгаля Артема Володимировича на тему «Удосконалення високовольтних широкосмугових каскадних вимірювальних підсилювачів для пристроїв відтворення одиниці напруги змінного струму радіочастотного діапазону» 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 важливе значення для Метрології та інформаційно-вимірювальної техніки.

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 Довгаль Артем Володимирович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка.

Рецензент:

доцент кафедри автоматизації та систем
неруйнівного контролю Національного
технічного університету України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
МОН України, кандидат технічних наук, доцент

 Віктор Баженов



_____ 2025 р.