

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з навчальної роботи
Національного технічного
університету України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”



К.т.н., доц.
Тетяна ЖЕЛЯСКОВА

“ 23 ” 05 2025 р.

ВИТЯГ

з протоколу № 06/25 від 15 травня 2025 р. розширеного засідання
кафедри інформаційно-вимірювальних технологій
Національного технічного університету України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

БУЛИ ПРИСУТНІ:

- з кафедри інформаційно-вимірювальних технологій: завідувач кафедри д.т.н., доц. Єременко В.С.; професор кафедри д.т.н., проф. Туз Ю.М.; професор кафедри д.т.н., проф. Защепкіна Н.М.; професор кафедри д.т.н., проф. Здоренко В.Г.; професор кафедри д.т.н., доц. Шевченко К.Л.; доцент кафедри к.т.н., доц. Богомазов С.А.; доцент кафедри к.т.н. Божко К.М.; доцент кафедри к.т.н., доц. Маркін М.О.; доцент кафедри к.т.н., доц. Маркіна О.М.; доцент кафедри к.т.н., доц. Мокійчук В.М.; доцент кафедри к.т.н., доц. Самарцев Ю.М.; доцент кафедри к.т.н., доц. Синиця В.І.; старший викладач кафедри к.т.н. Годя О.Ю.; доцент кафедри PhD Дорожинська Г.В.; доцент кафедри к.т.н., доц Козир О.В.; доцент кафедри к.т.н Щербань А.П.; старший викладач кафедри к.т.н Морозова М.М., аспірант кафедри Довгаль А.В.
- з кафедри кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю: професор кафедри д.т.н., проф. Куц Ю.В., доцент кафедри к.т.н, доц. Баженов В.Г.

СЛУХАЛИ:

1. Доповідь аспіранта кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Довгалья А.В за матеріалами дисертаційної роботи “Удосконалення високовольтних широкосмугових каскадних вимірювальних підсилювачів для пристроїв відтворення одиниці напруги змінного струму радіочастотного діапазону”, поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань – 15 автоматизація та приладобудування

за спеціальністю – 152 метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка.

Освітньо-наукова програма – «метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

Тему дисертаційної роботи “Удосконалення високовольтних широкосмугових каскадних вимірювальних підсилювачів для пристроїв відтворення одиниці напруги змінного струму радіочастотного діапазону” затверджено на засіданні Вченої ради приладобудівного факультету (протокол № 10/19 від “25” листопада 2019 року) та перезатверджено на засіданні Вченої ради приладобудівного факультету (протокол №2/25 від “27” січня 2025 року).

Науковим керівником дисертаційної роботи затверджений д.т.н., проф. Туз Ю.М.

2. Запитання до здобувача.

Запитання по темі дисертації ставили: к.т.н., доц. Мокійчук В.М.; к.т.н. Божко К.М.; д.т.н., доц. Єременко В.С.; д.т.н., проф. Защепкіна Н.М.; д.т.н., проф. Здоренко В.Г.; к.т.н., доц. Синиця В.І.

3. Виступи за обговореною роботою.

В обговоренні дисертації взяли участь: к.т.н., доц. Мокійчук В.М.; к.т.н. Божко К.М.; д.т.н., доц. Єременко В.С.; д.т.н., проф. Защепкіна Н.М.; д.т.н., проф. Здоренко В.Г.; д.т.н., доц. Шевченко К.Л.; к.т.н., доц. Самарцев Ю.М.; к.т.н., доц. Синиця В.І.; к.т.н., доц. Козир О.В.

УХВАЛИЛИ:

ПРИЙНЯТИ такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційного дослідження:

1. Актуальність теми дослідження

Актуальність роботи полягає в удосконаленні існуючих блоків підсилення напруги з метою розширення їх частотного та динамічного діапазонів для використання у складі еталону одиниці напруги змінного струму.

Результати дослідження сприяють створенню більш широкосмугових підсилювачів високої напруги для застосування як в еталонах, так і лабораторних застосуваннях, де необхідна висока точність відтворення високої напруги в широкому діапазоні частот.

Розроблені в межах дисертації блоки підсилювачів впроваджено в практику. Зокрема, їх використано при модернізації комплексу вихідного еталону ВВЕТУ 08-07-01-09 на замовлення від Метрологічного центру військових еталонів (МЦВЕ) МО України. Інтеграція нових підсилювачів до складу цього еталонного обладнання дала змогу розширити робочий частотний діапазон калібрувального комплексу до 30 МГц для напруг від 0,1В до 30В та підвищити динамічний діапазон відтворюваної напруги до

1000 В для частотного діапазону від 1кГц до 100 кГц. При цьому забезпечено необхідну точність та довготривалу стабільність відтворення одиниці напруги змінного струму, що особливо важливо при атестації термоелектричних перетворювачів. Практичне впровадження результатів дослідження підтверджує їхню цінність для метрологічної галузі та готовність до використання в реальних вимірювальних системах.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дослідження, результати яких викладені в дисертації, проводились 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 «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямків наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2023 року».

Впровадження відбулось відповідно до договору № 153 від 09 березня 2024 року з Міністерством оборони України.

3. Наукова новизна отриманих результатів

В дисертації вперше отримано такі нові наукові результати:

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.

4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи, впровадження

1. Розроблено унікальну конструкцію високовольтного каскадного підсилювача, за рахунок встановлення його оптимальної конфігурації, що дало можливість забезпечити його стабільну роботу в широкому діапазоні частот та напруг з необхідним тепловідведенням.
2. Розроблено оригінальну схему високовольтних широкосмугових підсилювачів за рахунок використання індивідуальних, незалежних зворотних зв'язків та напругою живлення, яка слідує за вихідною напругою, що дало можливість розширити діапазон вихідних напруг підсилювача, який вдвічі перевищує допустиму напругу живлення.

3. Розроблено та обґрунтовано методику частотної корекції високовольтного багатокаскадного підсилювача, за рахунок використання виведеного рівняння похибки каскадних підсилювачів в аналітичному вигляді, що дало змогу відокремити та компенсувати похибки першого порядку малості, що загалом дало змогу підвищити точність відтворення вихідної напруги на рівні 10 ppm.
4. Розроблено та обґрунтовано методи побудови підсилювачів із використанням незалежного паралельного зворотного зв'язку, які дають змогу виконати корегування частотної характеристики на кожному з каналів окремо та покращити загальну стабільність і точність вихідної напруги за рахунок додаткових ланок.
5. Розроблено методику визначення метрологічних характеристик високовольтних підсилювачів напруги змінного струму для автоматизації процесу атестації підсилювачів.
6. Створено дослідний зразок запропонованого багатокаскадного високовольтного широкосмугового підсилювача на базі операційних підсилювачів з індивідуальними незалежними зворотними зв'язками з напругою живлення, що слідує за вихідною напругою, в діапазоні напруги від 0.1 В до 30 В у частотному діапазоні від 1 МГц до 30 МГц та в діапазоні напруги від 100 В до 1000 В у частотному діапазоні від 1 кГц до 100 кГц, що дозволило розширити динамічний та частотний діапазони формування напруги та підвищити часову стабільність відтворення одиниці напруги змінного струму.
7. Результати дисертаційної роботи впроваджено у вторинному військовому еталоні електричної напруги в діапазоні напруг від 0,001 В до 1000 В змінного струму в діапазоні частот від 10 Гц до 30 МГц (ВВЕТУ 08-07-01-09).

5. Апробація результатів дисертації

Основні положення та отримані наукові результати, що викладені в цій дисертації, пройшли апробацію в межах Міжнародної науково-технічної конференції «Датчики, прилади та системи – 2024» 30 травня 2024 року; [Конференція] VIIIth international samsonov conference “materials science of refractory compounds” (MSRC-2022). 25.05.2022, S2-OK1328.

Результати вимірювань, що були здійснені за допомогою модернізованих блоків підсилювачів, були розглянуті на засіданні науково-технічної ради МЦВЕ ЗС України (протокол №3 від 28.02.2025) та визнані такими, що підтверджують високу стабільність відтворення одиниці напруги змінного струму в діапазоні напруг від 0.1В до 30В в частотному діапазоні від 0 до 30МГц та в діапазоні напруг до 1000В в частотному діапазоні до 100кГц.

Результати досліджень доповідались та обговорювались на наукових семінарах кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".

6. Дотримання принципів академічної доброчесності

За результатами науково-технічної експертизи дисертація Довгаль А.В. визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача

За результатами досліджень опубліковано 10 наукових публікацій, у тому числі:

- 3 статті у наукових фахових виданнях України (на момент опублікування) за спеціальністю 152 Метрологія та інформаційно вимірювальна техніка;

- 3 статті у періодичних наукових фахових виданнях проіндексованих у базах Scopus та Web of Science Core Collection Q3 та Q4;

- 2 патентів України на корисну модель;

- 2 тез виступів на наукових конференціях;

1. Artem Dovhal, Ylian Tuz. High voltage formation using the amplifiers cascading method [Електронний ресурс] Measurements infrastructure No. 8 (2024) – Режим доступу [https://doi.org/10.33955/v8\(2024\)-060](https://doi.org/10.33955/v8(2024)-060) (*фахове видання*, ISSN 2786-4642)

Здобувачем проведено дослідження методів побудови високовольтних широкосмугових вимірювальних підсилювачів та отримано модель каскадних підсилювачів з ланками розширення динамічного діапазону по принципу слідкуючого живлення, що дасть змогу отримати високу вихідну напругу при широкій смузі частот.

2. Довгаль А.В. Використання нітрид-алюмінієвих керамічних плат для забезпечення температурної стабільності вимірювальних підсилювачів. [Електронний ресурс] Збірник наукових праць «Системні технології». Т. 6 № 155 (2024). – Режим доступу <https://doi.org/10.34185/1562-9945-6-155-2024-13> (*фахове видання*, ISSN 2707-7977)

3. Туз Ю.М., Довгаль А.В., Високовольтний широкосмуговий вимірювальний підсилювач для діапазону частот до 30 МГц і максимальної вихідної напруги до 30 В. [Електронний ресурс] Український метрологічний журнал, No. 5 (2025) – Режим доступу <https://doi.org/10.24027/2306-7039.1.2025.325869> (*Web of Science*, ISSN 2522-1345)

Здобувачем побудовано та досліджено електричну та аналітичну моделі каскадного широкосмугового підсилювача 30В 30МГц та модель похибок системи, що дозволить зменшити похибку вихідної напруги в залежності від похибок елементів системи.

4. Dovhal, A., & Tuz, Yu. (2024). Methods of high voltage generation by cascading amplifiers. [Електронний ресурс] Machinery & Energetics, 15(4), 106-117. – Режим доступу <https://doi.org/10.31548/machinery/4.2024.106> (*Scopus*, Q4, ISSN 2663-1342)
Здобувачем проведено огляд та аналіз методів побудови широкосмугових високовольтних підсилювачів та зроблено висновки з приводу можливості їх використання для розширення існуючих частотного та динамічного діапазонів.
5. Chasnyk, D.V., Dovhal, A.V., Fesenko, I.P. et al. Features of the Microstructure and Thermal Conductivity of Large-Size Parts from Pressureless Sintered AlN-Based Ceramic Composite [Електронний ресурс] J. Superhard Mater. 45, 235–237 (2023). – Режим доступу <https://doi.org/10.3103/S1063457623030139> (*Scopus*, Q3, ISSN 1934-9408)
Здобувачем проаналізовано температурні характеристики композитів з різними типами структури
6. I. P. Fesenko, L. O. Romanko, V. I. Chasnyk, L. M. Vovk, Yu. M. Tuz, A. V. Dovhal, T. B. Serbeniuk, O. M. Kaidash, O. O. Bochechka, V. P. Rukin. Electrophysical Characteristics of Pressureless Sintered Ceramic Composite AlN–TiN. March 2022. J. Superhard Mater. 44(1):70-72 –Режим доступу <https://link.springer.com/article/10.3103/S1063457622010038> (*Scopus*, Q3, ISSN 1934-9408)
Здобувачем проаналізовано температурні характеристики композитів з різними типами структури
7. Dovhal A.V., High-Voltage Non-Inverting Broadband Cascade Amplifier [Патент] - Режим доступу <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1718340/>
8. Fesenko I. P, Chasnyk D. V, Chasnyk V. I, Kaydash O. M, Kukharenko S. A., Tuz Yu. M., Dovhal A. V., Sverdun V. B. Method for processing the working surface of a microwave absorber made of an aluminum nitride composite. [Патент] - Режим доступу <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1840865/>
9. Довгаль, А. В. (30-31 травня 2024). Високовольтний вимірювальний підсилювач [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна. – Режим доступу <https://er.chdtu.edu.ua/handle/ChSTU/5031>
10. Dovhal A.V. , Tuz Y.M., Fesenko I.P., Chasnyk V.I., Kaidash O.M., Sverdun V.B., Sorochenko T. A., Kharchenko O.V. Large-size AlN base ceramic parts for amplifiers with virtual power supply. [Конференція] VIIIth international samsonov conference “materials science of refractory compounds” (MSRC-2022). 25.05.2022, S2-OK1328 – Режим доступу <https://umrs.org.ua/activities/conferences/msrc-2022/>

Якість та кількість публікацій відповідають “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”.

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Довгаля А.В “Удосконалення високовольтних широкосмугових каскадних вимірювальних підсилювачів для пристроїв відтворення одиниці напруги змінного струму радіочастотного діапазону”, що подана на здобуття ступеня доктора філософії

з галузі знань – 15 автоматизація та приладобудування,

за спеціальністю – 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

за своїм науковим рівнем, новизною отриманих результатів, теоретичною та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам, що пред’являють до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми КПІ ім. Ігоря Сікорського «метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

зі спеціальності – 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

РЕКОМЕНДУВАТИ:

1. Дисертаційну роботу “Удосконалення високовольтних широкосмугових каскадних вимірювальних підсилювачів для пристроїв відтворення одиниці напруги змінного струму радіочастотного діапазону”, подану Довгалем А.В на здобуття наукового ступеня доктора філософії, до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

2. Вченій раді КПІ ім. Ігоря Сікорського утворити разову спеціалізовану вчену раду у складі:

Голова:

доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри інформаційно-вимірювальних технологій приладобудівного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» **Єременко Володимир Станіславович;**

Члени:

Рецензенти:

1. доктор технічних наук, доцент, професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій приладобудівного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» **Шевченко Костянтин Леонідович;**

2. кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю приладобудівного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» **Баженов Віктор Григорович;**

Офіційні опоненти:

1. доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Відділу електричних і магнітних вимірювань № 5 Інституту електродинаміки НАН України **Тесик Юрій Федорович;**
2. доктор технічних наук, професор, заслужений метролог України, завідувач кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій Державного університету «Київський авіаційний інститут» **Квасніков Володимир Павлович**

Головуючий на засіданні
доктор технічних наук, доцент,
завідувач кафедри, професор кафедри
інформаційно-вимірювальних технологій

Володимир ЄРЕМЕНКО

Вчений секретар кафедри
інформаційно-вимірювальних
технологій, кандидат технічних наук

Анастасія ЩЕРБАНЬ