

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, завідувача кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника

КОГУТА Ігоря Тимофійовича

на дисертацію АДАМ'ЯКА Олега Андрійовича

«Сигнальні перетворювачі органічних напівпровідникових оптопар для пристроїв сенсорної електроніки»

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації» за спеціальністю 171 «Електроніка»

Актуальність теми дисертації.

Актуальність теми дисертаційної роботи Олега Андрійовича Адам'яка зумовлена стрімким розвитком сенсорної електроніки в умовах цифровізації промислових, медичних, екологічних і побутових систем, де особливе значення набуває використання гнучких, енергоефективних, високочутливих сенсорів нового покоління. Застосування органічних напівпровідникових оптопар у якості базових елементів сенсорних пристроїв відкриває нові можливості для реалізації концепцій "розумних сенсорів" (Smart Sensors), систем на кристалі (SoC) та неінвазивних діагностичних платформ у рамках технологій IoT, PoT та IoMT.

Проблематика створення сигнальних перетворювачів для таких сенсорів має важливе наукове й прикладне значення, оскільки передбачає вирішення задач, пов'язаних із підвищенням точності, стабільності та надійності перетворення інформації в умовах зовнішніх впливів, зокрема температурних та оптичних збурень. Особливо актуальними є питання вбудованого моніторингу параметрів сенсорних елементів (in-situ діагностики), що дозволяє забезпечити автономність і функціональну стійкість сенсорних систем в умовах тривалої експлуатації.

Дисертаційне дослідження спрямоване на вдосконалення схемотехнічних рішень та моделювання сигнальних перетворювачів із використанням органічних структур. Такий підхід відповідає сучасним науково-технічним тенденціям і світовим викликам, а також запиту на створення сенсорних систем з розширеною функціональністю в умовах мініатюризації, гнучкості та інтеграції в обчислювальні середовища.

Таким чином, тема дисертації є своєчасною, науково обґрунтованою та має високу практичну значущість, що повністю відповідає профілю спеціальності 171 «Електроніка» та вимогам до кваліфікаційних досліджень на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Повнота викладення матеріалу дисертації у наукових публікаціях

Основні наукові результати дисертації О.А. Адам'яка знайшли достатнє відображення у наукових публікаціях, що свідчить про належний рівень апробації

та наукової комунікації отриманих положень.

За темою дисертації опубліковано 18 наукових праць, з них:

- 7 статей - у фахових наукових виданнях України, що включені до переліку наукових фахових видань МОН України;
- 1 публікація - у виданні, що індексується міжнародними наукометричними базами (IEEE Xplore);
- 9 матеріалів конференцій - у збірниках тез міжнародних та всеукраїнських наукових конференцій.

У публікаціях послідовно й логічно висвітлено:

- результати розробки SPICE-моделей органічних оптопар та трансімпедансних підсилювачів;
- методи in-situ моніторингу параметрів фоточутливих структур;
- схемотехнічні рішення для реалізації сигнальних перетворювачів;
- результати параметричного та частотно-спектрального аналізу компонентів сенсорних систем.

Особистий внесок здобувача чітко зазначено в кожній публікації, що підтверджує його провідну роль у виконанні досліджень. Окремі положення апробовано на міжнародних конференціях у Франції, Естонії, Хорватії, Норвегії, Фінляндії, Україні, що свідчить про високий рівень наукової комунікації результатів дослідження у вітчизняному та міжнародному науковому середовищі.

Оцінка наукової новизни, теоретичної та практичної значущості результатів

Наукова новизна дисертації О.А. Адам'яка полягає у комплексному підході до моделювання, аналізу та реалізації сигнальних перетворювачів для сенсорної електроніки на основі органічних напівпровідникових оптопар з урахуванням ефектів самонагріву, флікер-шуму, оптичної модуляції та in-situ діагностики. Уперше запропоновано SPICE-макромодель оптоелектронної сенсорної структури (OCS), що поєднує функціональні модулі джерела випромінювання, фотоприймача, теплової компенсації та шумозахисту, а також відображає складні фізичні процеси в електричному поданні.

Оригінальними є підходи до синтезу структур аналогових трактів сигнального перетворення, які дозволяють здійснювати кількісний аналіз впливу внутрішніх і зовнішніх факторів на стабільність параметрів перетворювачів. Запропоновано новий метод формальної аналогії між електричними, тепловими та оптичними процесами, що дозволяє розширити можливості макромодельовання для аналізу органічних сенсорів.

Теоретичне значення полягає в удосконаленні методів SPICE-моделювання з урахуванням параметрів фотоперетворення та імпедансної спектроскопії, а також у розвитку підходів до параметричного аналізу на основі квадратурного

детектування.

Практична цінність результатів підтверджується створенням дослідних зразків сигнальних перетворювачів із функцією самодіагностики на базі платформи PSoC, що відкриває перспективи впровадження розробок у сучасні сенсорні системи для промислових, біомедичних та екологічних застосувань. Окремі компоненти дослідження вже інтегровані в навчальний процес на кафедрі електронної інженерії Національного університету «Львівська політехніка».

Таким чином, отримані результати мають як вагому теоретичну новизну, так і практичну придатність, що повною мірою відповідає вимогам до дисертаційних досліджень на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Структура та зміст дисертації.

Дисертаційна робота має логічно завершену структуру, яка повною мірою відповідає меті дослідження, визначеним завданням та вимогам до кваліфікаційних наукових праць на здобуття ступеня доктора філософії. Робота викладена на 187 сторінках друкованого тексту, містить 143 рисунки, 2 таблиці, список використаних джерел із 143 найменувань, а також два додатки. Зміст дисертації представлено у вступі, чотирьох розділах основної частини, загальних висновках, списку літератури та додатках.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет, наукову новизну, практичне значення, методи дослідження, зв'язок із науковими програмами, а також окреслено структуру роботи.

Перший розділ присвячено аналітичному огляду сучасного стану проблематики сенсорної електроніки на основі органічних матеріалів. Узагальнено технічні рішення у сфері сигнальних перетворювачів, розглянуто принципи побудови моделей компонентів, зокрема SPICE-моделей, та викладено основи імпедансного аналізу.

У **другому розділі** подано результати розробки та синтезу макромоделі сенсорної оптипари, сформованої з урахуванням складових джерела випромінювання, фотоприймача, теплових і шумових ефектів. Значну увагу приділено моделюванню електро-оптичних і теплових процесів із використанням методів формальної аналогії та параметричного аналізу.

Третій розділ зосереджено на методах in-situ моніторингу дрейфу параметрів сенсорної оптипари. Розроблено та досліджено схеми квадратурного детектування, проведено аналіз макромоделі фоточутливої структури та здійснено оптимізацію сигнальних перетворювачів з трансімпедансними підсилювачами.

Четвертий розділ містить опис практичної реалізації сигнальних перетворювачів на основі органічних оптипар. Представлено результати розробки детектора та сигнального тракту на основі програмованої системи на кристалі

PSoC, а також продемонстровано можливості інтеграції in-situ діагностики в режимі реального часу.

У загальних висновках стисло узагальнено основні результати дослідження, сформульовано висновки щодо виконання поставлених завдань і окреслено перспективи подальших досліджень у цій галузі.

Таким чином, структура дисертації є логічно послідовною, зміст розділів — повним і методично виваженим, а обсяг — достатнім для розкриття наукової проблеми. Виклад матеріалу є чітким, змістовним і добре ілюстрованим.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків, сформульованих у дисертації.

Наукові положення, висновки та результати, викладені у дисертаційній роботі О.А. Адам'яка, є обґрунтованими та достовірними, що підтверджується комплексом теоретичних, чисельних і експериментальних досліджень, виконаних у межах роботи.

У процесі дослідження використано сучасний інструментарій SPICE-моделювання з урахуванням специфіки органічних структур, що дозволило автору з високою точністю відтворити поведінку функціональних блоків сенсорних оптопар. Застосовані методи параметричного аналізу, моделювання шумових характеристик, імпедансної спектроскопії та теплових процесів відповідають сучасному рівню наукових досліджень у галузі сенсорної електроніки.

Достовірність висновків підтверджується також узгодженістю отриманих результатів чисельного моделювання з результатами експериментального тестування макетів сигнальних перетворювачів, зокрема реалізованих на основі програмованої системи PSoC. Обґрунтованість методичних підходів до побудови моделей та схем перевірена шляхом багатоетапного аналізу варіантів реалізації та контролю поведінки системи при різних зовнішніх впливах.

Результати досліджень неодноразово апробовано на міжнародних конференціях, а також опубліковано у рецензованих наукових виданнях, що підтверджує визнання отриманих висновків науковою спільнотою.

Таким чином, ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень і висновків, що містяться у дисертації, є достатнім і цілком відповідає критеріям, визначеним вимогами до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Дискусійні положення й зауваження щодо змісту та оформлення дисертації.

Дисертаційна робота О.А. Адам'яка виконана на високому науковому рівні, однак у процесі її опрацювання виникли окремі зауваження, які можуть бути предметом фахової дискусії та подальшого розвитку досліджень. Також

встановлено низку некритичних зауважень, які не знижують загального позитивного враження, але можуть бути враховані у подальшій науковій роботі автора.

1. У п. 1.2 розділу 1 доцільно було б доповнити класифікацію сигнальних перетворювачів прикладами їхньої реалізації у сучасних системах сенсорної електроніки та продемонструвати сучасні підходи до схемотехнічної реалізації функцій самодіагностики у порівнянні з традиційними рішеннями на неорганічних елементах.

2. У процесі побудови макромоделі (п. 2.2–2.4 розділ 2) не завжди чітко зазначено, які саме фізичні припущення або спрощення приймалися під час побудови математичних відповідників теплових або шумових процесів.

3. У п. 3.2 розділу 3 цікавою була б спроба порівняльного аналізу чутливості різних типів квадратурних схем до дрейфу параметрів — для уточнення доцільності вибраної реалізації.

4. У п. 3.4 цього ж розділу наведено результати параметричного аналізу, однак відсутня графічна інтерпретація деяких залежностей, зокрема температурної чутливості системи in-situ контролю, що могло б підвищити наочність подачі матеріалу.

5. В описі програмованої реалізації на базі PSoC 5LP (п. 4.3 розділ 4) недостатньо деталізовано наведено інформацію про специфіку використаних внутрішніх модулів мікросхеми (наприклад, ADC, TIA або CapSense), що частково обмежує розуміння архітектурної оптимізації пристрою.

6. У розділі 4 бажано було б ширше окреслити межі застосування розробленого пристрою - зокрема вказати, у яких класах сенсорних систем найбільш доцільне його використання (медичних, екологічних, технічних тощо).

Загальний висновок про відповідність роботи встановленим вимогам.

Дисертаційна робота Адам'яка Олега Андрійовича «Сигнальні перетворювачі органічних напівпровідникових оптопар для пристроїв сенсорної електроніки» є завершеним самостійним науковим дослідженням, присвяченим актуальній науково-технічній проблемі розроблення та вдосконалення сигнальних перетворювачів для сенсорних систем нового покоління на основі органічних матеріалів.

Робота повністю відповідає вимогам «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 року № 44 (зі змінами, внесеними постановою № 507 від 03.05.2024 р.), а також «Вимогам до оформлення дисертацій», затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40.

Враховуючи актуальність тематики, наукову новизну, повноту апробації, теоретичну та прикладну значущість отриманих результатів, вважаю, що **Адам'як Олег Андрійович** заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації» за спеціальністю 171 «Електроніка».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук,
завідувач кафедри комп'ютерної
інженерії та електроніки Прикарпатського
національного університету
імені Василя Стефаника, професор

Ігор КОГУТ