

ВІДГУК

офіційного опонента,
доктора технічних наук, професора,
завідувача кафедри процесів та апаратів харчової інженерії
Львівського національного університету
ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького

ЦІЖА Богдана Романовича

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

Дисертація присвячена удосконаленню методів і засобів сигнального перетворення (Signal Processing) органічних напівпровідникових оптопар, призначених для сенсорної електроніки. Отримані результати становлять суттєвий внесок у розвиток сучасних сенсорних систем, зокрема в межах концепцій Інтернету речей (IoT) та Індустріального Інтернету речей (IIoT).

Використання органічних оптопар у «розумних сенсорах» (Smart Sensors) та технологіях «лабораторія на кристалі» (Lab-on-Chip) відкриває шлях до створення гнучких, енергоефективних і високочутливих сенсорних рішень, здатних інтегруватися у різноманітні середовища й застосування.

Особливий інтерес становить імплементація таких пристроїв у сфері Інтернету медичних речей (IoMT). Це дає змогу розробляти неінвазивні системи моніторингу фізіологічних параметрів, інтелектуальні імпланти та біосенсорні платформи для безперервного контролю стану здоров'я пацієнтів у реальному часі. Інтеграція органічних оптопар у Lab-on-Chip сприяє подальшій мініатюризації та підвищенню ефективності діагностичних інструментів, забезпечуючи комплексний аналіз біологічних рідин і хімічних сполук на мікрорівні.

Застосування органічних оптопар також стимулює розвиток технологій злиття даних (Data Fusion), що уможливлює багаторівневу інтеграцію інформації з різних сенсорних каналів і підвищує точність та надійність прийняття рішень у реальному часі. Це критично важливо для систем штучного інтелекту, робототехніки та адаптивного керування, де необхідна високошвидкісна обробка великих обсягів даних.

Ключовою перевагою запропонованих сигнальних перетворювачів є їх

здатність до in-situ самодіагностики, що забезпечує автономний контроль працездатності сенсора без зовнішнього втручання. Така функціональність набуває особливого значення у критичних застосуваннях – імплантованих медичних пристроях, космічних апаратах і автономних системах екологічного моніторингу, де доступ до сенсорів обмежений або неможливий.

Наукова новизна одержаних результатів

В результаті проведення досліджень отримано наступні наукові результати:

- розроблено метод синтезу SPICE-макромоделей компонентів оптоелектроніки, що поєднує в собі структури світлодіода та фотоприймача, враховуючи вплив самонагріву, модуляцію оптичного середовища та часову нестабільність. Це сприяє підвищенню ефективності модельних досліджень сигнальних перетворювачів.

- удосконалено метод формальної аналогії, що об'єднує електро-оптичні та електро-теплові аналогії, сигнальне трансїмпедансне перетворення та імпедансну спектроскопію, що дозволяє створювати точні макромоделі сигнальних трактів.

- розвинуто метод параметричного аналізу, який базується на вимірювальних перетворювачах імпедансу із квадратурним детектуванням сигналу, що підвищує точність моніторингу часових і температурних змін параметрів оптопар.

- виявлено закономірності трансїмпедансного перетворення "фотострум–напруга", що розширює функціональні можливості схем сигнального перетворення та дозволяє визначати кількісні параметри фоторезистивних і фотодіодних механізмів перетворення.

Практичне значення отриманих результатів

Практична цінність результатів дисертаційної роботи полягає в розробці низки інженерних рішень та моделей, що можуть бути безпосередньо використані в процесі створення сенсорної електроніки нового покоління. Зокрема, у роботі:

- розроблено SPICE-макромодель оптоелектронної системи (OCS), яка враховує процеси світловипромінювання, фотоприйому, самонагріву та модуляції оптичного середовища з урахуванням часової нестабільності, що істотно розширює можливості схемотехнічного моделювання нових типів органічних оптопар;

- запропоновано метод синтезу SPICE-моделей фотоперетворювачів, який дозволяє здійснювати селективний аналіз фотодіодної та фоторезистивної складових напруги, визначати характер нестабільності оптоелементів і формувати сигнали in-situ самодіагностики сенсорних пристроїв;

– розроблено модель аналогового тракту сигнального перетворювача, що враховує явища теплової релаксації та стохастичних збурень, зокрема флікер-шуму та старіння, що дозволяє поглиблено аналізувати формування інформативних сигналів у сенсорних системах;

– створено алгоритм структурно-схемного синтезу та параметричного аналізу базових вузлів вимірювальних імпедансних перетворювачів із квадратурним детектуванням, реалізовано їх апаратну реалізацію з мікроконтролерним керуванням;

– розроблено та апробовано вбудовану систему OCS ES на базі PSoC 5LP, яка забезпечує гнучке програмне конфігурування аналогових і цифрових модулів, включаючи ТІА, компаратори, ADC/DAC, CapSense, UART, та дозволяє реалізовувати функції in-situ діагностики в режимі реального часу.

Отримані результати можуть бути впроваджені в розробку сучасних сенсорних систем для застосування у промисловій автоматизації, біомедичних пристроях, системах екологічного моніторингу та інших галузях, що потребують високочутливого та надійного вимірювання фізичних параметрів.

Структура та зміст дисертації, її завершеність та відповідність встановленим вимогам.

Дисертація Адам'яка Олега Андрійовича є кваліфікаційною науковою працею на правах рукопису і складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи складає 187 сторінок друкарського тексту, із них 8 сторінок вступу, 143 сторінок основного тексту та містить 143 рисунки, 2 таблиці, список використаних джерел із 143 найменування та 2 додатки.

У **вступі** подано загальну характеристику дисертаційної роботи, обґрунтовано актуальність обраної теми, сформульовано мету дослідження та визначено завдання для її досягнення. Також визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Представлено інформацію про впровадження результатів роботи, їх апробацію, публікації та особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** здійснено систематизований огляд актуальних напрямів розвитку сенсорної електроніки, зокрема щодо інтеграції органічних компонентів у функціональні структури. Проаналізовано переваги органічної електроніки в контексті створення високочутливих сенсорів. Розглянуто методологічні основи побудови SPICE-моделей для органічних елементів, а також принципи функціонування трансімпедансних підсилювачів, які є ключовими для реалізації сигнальних перетворювачів. Особливу увагу приділено застосуванню методів

імпедансного аналізу для визначення параметрів сенсорних каналів.

Другий розділ зосереджено на синтезі та дослідженні SPICE-макромоделей базових функціональних блоків сенсорної оптики: S_LED, S_HTQ, S_SEN, S_NOS та S_PHD. Проведено параметричне моделювання з урахуванням температурних і вологісних впливів, що дало змогу визначити критичні області стабільності та забезпечити високу точність чисельного аналізу. Розроблені моделі створюють основу для точного проектування сенсорних систем на органічній основі.

У **третьому розділі** розглянуто методичні підходи до реалізації in-situ діагностики зміни параметрів оптоелектронних компонентів. Запропоновано схеми квадратурного детектування для підвищення точності сигналової обробки, побудовано еквівалентну модель імпедансного вимірювального каналу. Охарактеризовано імпедансні властивості фоточутливих елементів, проведено аналіз стабільності та динамічних характеристик сигнальних перетворювачів із використанням трансімпедансного підсилення.

Четвертий розділ присвячено практичній реалізації сигнальних перетворювачів, орієнтованих на використання в сенсорних системах різного призначення. Здійснено комплексну розробку схемних рішень із використанням органічних оптик. Запропоновано архітектуру квадратурного детектора та реалізовано прототипи на базі програмованої системи на кристалі (PSoC). Обґрунтовано можливості інтеграції розроблених вузлів у багатоканальні сенсорні системи з урахуванням специфіки вимірювання різнорідних фізичних величин.

Дисертаційна робота поєднує теоретичні засади моделювання, схемотехнічну реалізацію та експериментальну перевірку прототипів, що забезпечує комплексний підхід до створення високоточних, енергоефективних та адаптивних сенсорних пристроїв на основі органічних оптик. Отримані результати мають прикладне значення для розроблення сенсорних систем нового покоління, здатних до автономного функціонування в умовах змін зовнішнього середовища.

У **висновках** сформульовано узагальнені результати дослідження, обґрунтовано рекомендації щодо використання запропонованих технічних рішень, наведено кількісні оцінки їх ефективності.

У **додатках** представлено документи, що підтверджують апробацію та впровадження результатів роботи, а також перелік публікацій автора за темою дисертації.

Відсутність порушень академічної доброчесності.

Дисертаційне дослідження є самостійною науковою працею автора. Висновки, рекомендації та пропозиції, що характеризують наукову новизну,

одержані здобувачкою особисто. Порухень академічної доброчесності не виявлено. Результати досліджень інших авторів використовуються з належним цитуванням їхніх праць.

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

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій сформульованих у дисертаційній роботі Адам'яка Олега Андрійовича підтверджується коректним використанням теоретичних та експериментальних методів досліджень, зокрема, методів математичного моделювання, методів SPICE моделювання, а також актами впровадження результатів дисертаційних досліджень.

Дискусійні положення й зауваження щодо змісту та оформлення дисертації.

Загалом, дисертаційна робота Адам'яка Олега Андрійовича справляє дуже добре враження, але до тексту рукопису можна зробити наступні зауваження:

1. У розділі 1 роботи недостатньо уваги приділено порівнянню розроблених макромоделей з відомими аналогами, зокрема, щодо показників точності, стабільності та чутливості. Це ускладнює об'єктивну оцінку переваг запропонованих рішень

2. У п.2.1 розділу 2 доцільним було б додати графічні діаграми або структурні блок-схеми взаємозв'язків між компонентами (S_LED, S_PHD, S_HTQ тощо), що полегшило б сприйняття логіки побудови моделі.

3. Незважаючи на розгляд питань стабільності роботи сигнальних перетворювачів (п.3.4. розділу 3) доцільним є подання прикладів реакції системи на короточасні зміни температури або освітленості з метою підтвердження її динамічної адаптивності до зовнішніх збурень.

4. У розділі 4 опис реалізації апаратної частини системи in-situ діагностики на базі PSoC подано фрагментарно. Варто було б надати блок-схеми, алгоритми керування, приклади програмного коду для підтвердження заявлених функцій.

5. В тексті дисертації зустрічаються певні неточності та друкарські помилки, зокрема, частина графічного матеріалу (зокрема у розділі 3) не містить позначень осей та одиниць вимірювання. Також відсутні підписи до деяких структурних схем, що ускладнює сприйняття інформації.

Однак відзначені недоліки не знижують актуальності, достовірності й оригінальності одержаних в дисертації результатів, їхнього практичного значення,

не ставлять під сумнів достовірність і обґрунтованість основних положень, які виносяться на захист.

Загальний висновок про відповідність роботи встановленим вимогам.

Дисертація «Сигнальні перетворювачі органічних напівпровідникових оптопар для пристроїв сенсорної електроніки» за актуальністю, науковою новизною, загальним переліком отриманих результатів, а також їх взаємозв'язком та повнотою викладу в наукових публікаціях та апробацією цілком 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 (з останніми змінами № 507 від 03.05.2024 року), а також «Вимогам до оформлення дисертацій», затверджених наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40, а її автор - **Адам'як Олег Андрійович** - заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації» за спеціальністю 171 «Електроніка».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук,
завідувач кафедри процесів та апаратів
харчової інженерії Львівського
національного університету
ветеринарної медицини та біотехнологій
імені С.З. Гжицького, професор



Богдан ЦІЖ

Підпис д.т.н., проф. Ціжа Б.Р. засвідчую:

Проректор з науки
Львівського національного університету
ветеринарної медицини та біотехнологій і
мені С.З. Гжицького, к.с.-г.н., доцент

Олег ФЕДЕЦЬ