

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Національного університету «Львівська політехніка»
доктору технічних наук, професору
Климашу М.М.

РЕЦЕНЗІЯ

доцента кафедри телекомунікацій Навчально-наукового Інституту телекомунікацій радіоелектроніки та електронної техніки Національного університету «Львівська політехніка» д.т.н., доц. Бешля Миколи Івановича на дисертаційну роботу Хільчука Миколи Олександровича на тему "Функціональне інтегрування в сигнальних перетворювачах фотовольтаїчних сенсорних пристроїв з оптичною телекомунікацією", яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації» та спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

1. Актуальність теми дисертації

Функціональне інтегрування в сигнальних перетворювачах фотовольтаїчних сенсорних пристроїв вказує на процес об'єднання різних функціональних блоків або компонентів в одному пристрої з метою покращення ефективності та функціональності. У контексті фотовольтаїчних сенсорних пристроїв, таке інтегрування може охоплювати різні аспекти, зокрема: фотосенсоріку для сприймання світла, фотовольтаїчне джерело живлення для перетворення сонячної енергії та оптичну телекомунікацію для обміну інформацією через світлові сигнали.

Актуальність роботи полягає у важливості розвитку та оптимізації функціонального інтегрування в сигнальних перетворювачах фотовольтаїчних сенсорних пристроїв з оптичною телекомунікацією. Зростання вимог до продуктивності, низької споживаної енергії та високої точності вимірювань у галузі сучасної сенсорної електроніки та Інтернету речей (IoT) створює потребу у нових технологічних рішеннях. Дослідження функціонального інтегрування в даному контексті відкриває перспективи для створення компактних, ефективних та високопродуктивних сенсорних пристроїв, що можуть відповідати викликам сучасної технологічної парадигми. Розгляд аспектів оптичної телекомунікації у контексті фотовольтаїчних сенсорів сприятиме розвитку інноваційних методів обробки даних, підвищенню продуктивності та розширенню функціональності сучасних сенсорних систем.

У своїй дисертаційній роботі Хільчук Микола Олександрович розв'язав актуальне науково-практичне завдання розширення функціональності та підвищення ефективності функціонування фотоелектронних сенсорних пристроїв з оптичною телекомунікацією, що передбачає структурно-схемний синтез та параметричний аналіз базових вузлів фронт-енду змішаного сигнального перетворення (Mixed Signal Fron-end).

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності

Робота складається з переліку умовних скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і 3 додатків. Загальний обсяг роботи складає 202 сторінки друкарського тексту, із них 7 сторінок вступу, 139 сторінок основного тексту. Робота відповідає вимогам до оформлення дисертаційних робіт.

У **вступі** дисертаційної роботи висвітлено загальну характеристику дослідження, обґрунтована актуальність обраної теми, сформульовано мету дослідження та визначено завдання для досягнення поставленої мети. Також відзначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. У розділі про впровадження результатів роботи подана інформація про їхню апробацію, публікації та особистий внесок здобувача.

В **першому розділі** розглянуто розвиток методів сигнального перетворення у фотоелектронних сенсорних пристроях в межах концепції Інтернету Речей. Використано терміни "сенсорні вузли" та "Smart Sensors" із безпроводною оптичною комунікацією. Зазначено завдання удосконалення параметрів сигнальних перетворювачів фотовольтаїчних сенсорів з оптичною телекомунікацією через невідповідність вимогам до фотоперетворювачів та оптичних перетворювачів.

Розглянуто проблеми та тенденції у розвитку фотоелектронних сенсорів, представлено приклади сучасних рішень на основі інтегрованих вузлів та проаналізовано тематику у контексті концепції злиття даних. Визначено основний недолік у сигнальному перетворенні - паразитний вплив оптичного випромінювання та електромагнітних завад, що виникає через інтенсивність зовнішніх джерел.

У **другому розділі** представлений принцип функціонального інтегрування у фотоелектронних сенсорах, що включає оптимізацію режимів фотовольтаїчного живлення та режимів живлення сигнальних перетворювачів. Додатково, розроблені SPICE-моделі для ефективності перетворення енергії фотовольтаїчного джерела живлення, первинного перетворювача фотодіодного типу та компонентів сигнального тракту.

В межах цього дослідження висунуто і розроблено принцип функціонального інтегрування LCPS (Light Communication & Powering & Sensing), який об'єднує сигнальні перетворювачі фотосенсорики, фотовольтаїчне

живлення та оптичний зв'язок. Подано розвиток методу трекінгу точки максимальної енергії та проведено аналіз втрат перетворення потужності фотовольтаїчного джерела живлення на робочу точку оптимального відбору енергії. Вказано, що проведений аналіз дає можливість підвищити ефективність фотовольтаїчного живлення з урахуванням втрат в DC-DC конвертерах понижувального чи підвищувального типів.

У **третьому розділі** розв'язано ряд завдань, пов'язаних з адаптацією сигнального перетворення у фотоелектронних сенсорних пристроях з оптичною телекомунікацією. Проведено параметричний аналіз перетворювачів, зокрема трансїмпедансних підсилювачів та гіраторів. Також надано порівняльний аналіз перехідних процесів в схемах підсилення та інтеграції сигналу. Розроблено алгоритмічно-схемне рішення селектора керуючих імпульсів в колі фотовольтаїчного живлення.

Запропоновано подальший розвиток сигнальних перетворювачів фотоелектронних сенсорних пристроїв, що включає поєднання функцій трансїмпедансного підсилення та програмно-керованого сигнального інтегрування. Це нове рішення має на меті вирішити завдання підвищення швидкодії та точності процесу вимірювання. Поданий підхід відповідає концепції злиття даних і базується на формуванні масиву результатів вимірювального перетворення при перемиканні режимів роботи РТІС з інверсією напруги на інтегруючому конденсаторі.

У **четвертому розділі** проведено верифікацію запропонованих рішень та апробацію результатів. Створено макет реконфігурованої та програмно керованої платформи прототипування сигнальних перетворювачів LCPS. Розроблено та протестовано сигнальний перетворювач «РІТ», який синтезує програмовані вузькосмуговий та широкосмуговий сигнальні тракти трансїмпедансного типу. Вузькосмугові тракти забезпечують частотну селективність інформативного сигналу та високу завадостійкість, а широкосмугові тракти забезпечують лінійність перетворення в широкій смузі частот, вирішуючи завдання дослідження спектральних характеристик речовин, калібрування сенсорів та інтеграції інтелектуальних функцій самодіагностики.

Також розроблено та випробувано фронт-енд змішаного сигнального перетворення РТІС (Programmable Trans-Impedance Converter), що об'єднує функції трансїмпедансного підсилення та програмно керованого інтегрування. Відповідно до концепції злиття даних (Data Fusion), забезпечується формування масиву результатів вимірювального перетворення при перемиканні режимів роботи РТІС з інверсією напруги на інтегруючому конденсаторі.

Висновки до дисертації включають узагальнені результати дослідження та рекомендації щодо їх практичного застосування. В додатку до роботи подано акт впровадження її результатів.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, наданих в дисертації, їхня достовірність

Наукова обґрунтованість та достовірність висновків та рекомендацій, представлених у дисертаційній роботі Хільчука Миколи Олександровича, підтверджується використанням коректних теоретичних та експериментальних методів досліджень. Зокрема, застосуванням методів математичного моделювання та SPICE моделювання. Це дозволяє надати науковим положенням необхідну наукову базу. Окрім того, акт впровадження результатів досліджень свідчить про практичну реалізацію отриманих висновків у реальному середовищі. Такий підхід забезпечує цілісність та автентичність дисертаційної роботи, підсилюючи значущість її внеску в науковий дискурс. Робота достатнім чином опублікована та апробована, обговорювались на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях

4. Достовірність і новизна наукових положень, висновків і рекомендацій

У ході розв'язання поставленої наукової задачі здобувачем отримані наступні основні наукові результати:

1. Удосконалено структурно-функціональну модель фотоелектронної сенсорики, яка поєднує функції вимірювального сигнального перетворення, фотовольтаїчного живлення та оптичної телекомунікації. Це відкриває можливості для створення нового покоління фотовольтаїчних сенсорних пристроїв для технологій VLC та Li-Fi.
2. Розроблено метод трекінгу точки максимальної енергії MPPT, який враховує втрати перетворення потужності в DC-DC конвертерах напруги, сприяючи підвищенню коефіцієнта корисної дії фотовольтаїчного джерела живлення.
3. Набув подальшого розвитку метод сигнального перетворення, який об'єднує функції широкосмугового та вузькосмугового трансїмпедансного перетворення, розширюючи функціональність та підвищуючи точність фронт-енду змішаного сигнального перетворення фотовольтаїчних сенсорних пристроїв з оптичною телекомунікацією.
4. Вперше розроблено метод сигнального перетворення у відповідності з концепцією злиття даних (Data Fusion), який поєднує функції трансїмпедансного підсилення та програмно керованого інтегрування з модуляцією вихідної напруги у всьому діапазоні напруг джерела живлення, забезпечуючи підвищення роздільної здатності та точності вимірювального перетворення.

5. Практична значимість результатів роботи

Отримані в дисертаційній роботі практичні результати пройшли апробацію, та підтвердили наукову цінність, результати виявляють практичну цінність та можливість їх використання для модернізації фотовольтаїчних сенсорних пристроїв.

Зокрема :

1. Розроблено математичні моделі для оптимізації функціональності фотовольтаїчних сенсорів через аналіз сигнального перетворення.
2. Створено алгоритми для оптимізації базових вузлів фронт-енду фотоелектронних сенсорів, забезпечуючи відповідність технічним вимогам.
3. Розроблено платформу прототипування для сигнальних перетворювачів фотовольтаїчних сенсорів, що покращує їхню функціональність.
4. Створено сигнальний перетворювач РІТ (Programmable Impedance Transducer) для програмованого використання вузько- та широкосмугового трансїмпедансного типу.
5. Розроблено фронт-енд змішаного сигнального перетворення РТІС (Programmable Trans-Impedance Converter) з підвищеною точністю аналого-цифрового перетворення для покращення якості сигналу та адаптації до конкретних умов використання. За допомогою цього пристрою реалізовано масив результатів вимірювань, використовуючи перемикання режимів РТІС зі зміною напрямку напруги на інтеграційному конденсаторі. З використанням отриманого масиву даних та відповідних алгоритмів для корекції відхилень від ідеальних значень, вдалося відокремити корисну і паразитну складові сигналу.

6. Повнота викладу наукових положень, висновків, рекомендацій в опублікованих працях

За результатами досліджень, у 10 наукових публікаціях повністю відображені основні результати дисертації, з них 5 статей у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у науковому періодичному виданні інших держав, що входять до наукометричних баз Scopus/Web of Science, 2 у збірниках матеріалів доповідей всеукраїнських конференцій, 2 у збірниках матеріалів і тез доповідей міжнародних та всеукраїнських конференцій індексованих у наукометричній базі Scopus та Web of Science.

7. Відповідність теми дисертації профілю спеціальності

Дисертація Хільчука М.О. повністю відповідає стандарту спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

8. Відсутність порушення академічної доброчесності

Під час детального аналізу дисертаційної роботи не виявлено підстав для сумнівів у науковій доброчесності здобувача. Згідність тексту дисертації із науковими працями дисертанта свідчить про відсутність ознак фальсифікації. Проведений аналіз основних ідей та методів, які стосуються тематики інших робіт, містить відповідні посилання.

9. Зауваження до дисертаційної роботи

1. В дисертації розглядаються системи сенсорних пристроїв лише на світлодіодах та фотодіодами. При цьому жодних результатів не наводиться щодо використання в таких пристроях інших компонентів, зокрема, лазерів, фоторезисторів, фототранзисторів тощо. Це обмежує універсальність отриманих результатів.

2. Визначення терміну "функціональне інтегрування" не є очевидним, зокрема в контексті вислову "Основною відмінністю сигнальних перетворювачів, розглянутих у дисертації, є функціональне інтегрування кіл фотоперетворювачів згідно з концепцією злиття даних (Data Fusion)" (стор. 37). Можливо, краще використовувати термін "поєднання функцій".

3. В процесі аналізу та розвитку методу МРРТ (Maximum Power Point Tracking) автор приймає допущення (стор. 71), що коефіцієнти втрат є лінійними, а саме вказано, що «ввівши параметри втрат, що в першому наближенні можуть бути представленими відповідними лінійними залежностями від струму I_{PHD} (коефіцієнт K_I), різниці напруг $\Delta V = |V_{OUT} - V_{INP}|$ (коефіцієнт K_V) та «фоновими» (незалежними від режимів роботи) втратами (коефіцієнт K_0)». Проте, ці коефіцієнти в значній мірі залежать від режимів роботи конвертерів, а їх лінійність не є очевидною.

4. В четвертому розділі (рис. 4.22. Часові інтервали інтегрування) сигнал представляється імпульсами з періодичним затуханням. Не є зрозумілим чому така форма сигналу має місце у сигнальних перетворювачах даного типу.

5. Ряд отриманих автором результатів є недостатньо проаналізованими. Зокрема, осцилограми сигналів досліджуваної схеми, що представлені на рис. 4.17, наводяться без жодних коментарів. Це не дозволяє однозначно сформулювати висновок про значимість таких результатів.

6. Фраза «Отриманий в процесі такого сигнального перетворення масив даних та відповідні алгоритми корекції паразитних дрейфів схеми інтегрування, відділяють корисну та паразитну складові сигналу» (стор. 163) не має логічності чи є некоректно сформульованою.

Проте, висловлені зауваження і побажання не знижують загальної високої оцінки проведеного дослідження.

10. Відповідність дисертації встановленим вимогам

Анотація дисертації повністю розгортає зміст дослідження, яке відповідає всім вимогам для отримання наукового ступеня доктора філософії. Робота є завершеною, високоякісно виконаною та оформленою. Стиль подання матеріалів досліджень, наукових тверджень, висновків і рекомендацій спрямований на максимальну доступність для якісного сприйняття.

11. Загальні висновки

1. На підставі розгляду змісту дисертації, праць здобувача, акту впровадження, аналізу ступеня новизни наукових положень та практичної значимості отриманих у роботі результатів, висновків та рекомендацій можна зробити висновок, що дисертаційна робота Хільчука Миколи Олександровича «Функціональне інтегрування в сигнальних перетворювачах фотовольтаїчних сенсорних пристроїв з оптичною телекомунікацією» є завершеною науковою працею, в якій отримані нові наукові результати, які забезпечили розв'язання поставленого в дисертації актуального наукового завдання в галузі телекомунікацій та радіотехніки.

2. Дисертаційна робота за змістом та оформленням відповідає встановленим вимогам. Результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані у фахових наукових виданнях та апробовані на конференціях.

3. Дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022р. № 44), а її автор заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

Рецензент

доктор технічних наук, доцент,
доцент кафедри телекомунікацій
Навчально-наукового Інституту
телекомунікацій радіоелектроніки та
електронної техніки
Національного університету
«Львівська політехніка»



Микола БЕШЛЕЙ

Підпис д.т.н., доцента Бешлей М.І. засвідчую

Вчений секретар
Національного університету
«Львівська політехніка»

к.т.н., доцент



Роман БРИЛИНСЬКИЙ