

ВІДГУК

офіційного опонента – доктора технічних наук, професора, Когута Ігоря Тимофійовича, завідувача кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника», на дисертаційну роботу **Барили Григорія Івановича “Структурно-параметрична модифікація мікроелектронічних сигнальних перетворювачів імпедансу для сенсорної техніки”**, поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.27.01 – твердотільна електроніка.

На сьогодні зрозуміло, що сучасний розвиток науки, техніки, різноманітних технологій для побуту, промисловості, медицини, військової справи, космосу та інших галузей неможливий без використання і відповідно розвитку сенсорної електроніки і мікросистемної техніки. Галузь сенсорної електроніки, зокрема, на основі мікро- і наноелектронних сенсорних пристроїв займає таке ж чільне місце у сучасній електроніці, як і інтегральні схеми.

Дослідження і розробки нових типів сенсорів на основі мікро- і наноелектронних технологій, на основі нових матеріалів, включаючи органічні й неорганічні на даний час є актуальними. У створенні нових типів сенсорів можна виокремити наступні базові напрямки досліджень:

- створення нових напівпровідникових матеріалів, нових структур типу «кремній-на-ізоляторі», «арсенід галію-на-ізоляторі», їх тривимірних структур, дослідження електрофізичних властивостей неорганічних та органічних матеріалів, оптично активних середовищ та ін. як чутливих елементів для первинних перетворювачів фізичних величин. Параметри цих первинних чутливих елементів визначаються змінами фізичних властивостей матеріалів від впливу досліджуваного середовища, напр., зміною імпедансу, ємності, величиною діелектричної анізотропії, петлі гістерезису, константами пружності, орієнтаційними ефектами. І можливості сенсорів з цієї точки зору визначаються можливостями первинних складових сенсорів - первинних чутливих елементів, перетворювачів.

Інтеграція первинного чутливого елемента і сигнального перетворювача визначається умовами використання і працездатності в умовах досліджуваного середовища або досліджуваних параметрів. Не завжди, наприклад, для жорстких умов, чутливий елемент і СПП є однаково функційно працездатними. У цьому випадку вони повинні мати роздільне виконання.

- наступний напрям досліджень – розробка і дослідження багатofункційних сигнальних перетворювачів інформативних сигналів від первинних чутливих

елементів, які разом із первинним чутливим елементом формують власне інтелектуальний сенсорний елемент. І такий компонент сенсора, є складовою сенсора, як сигнальний перетворювач є не менш важливим ніж сам чутливий елемент, оскільки його характеристики визначають точність вимірювань, селективність корисного сигналу, стійкість до паразитного впливу завад і т. ін. Окрім цього, сигнальний перетворювач необхідний також для передачі інформації про вимірювальний параметр на зовнішній інтерфейс чи комп'ютеризований пристрій. Сигнальні перетворювачі на мікроелектронній елементній базі можуть бути реалізовані окремо, окремим пристроєм від чутливого елемента, і у цьому разі досліджуване середовище не впливає на характеристики і параметри сигнального перетворювача інформаційного сигналу.

- і третій напрям, в останні роки, достатньо активно розвивається ще один напрям, це напрям сенсорних мікросистем-на-кристалі, згідно з яким, на одному кристалі розміщуються окремі чутливі елементи, тобто первинні перетворювачі для аналізу одного типу впливу зміни середовища, або набори чутливих елементів різного типу, а також сигнальні перетворювачі інформативного сигналу, схеми аналогової та цифрової обробки, схеми зовнішнього інтерфейсу для зв'язку з комп'ютеризованим чи мобільним пристроєм. Проводяться дослідження із розробки програмованих сенсорних мікросистем-на-кристалі, як з внутрішнім програмуванням, тип БМК, технологічно програмовані матриці, так і зовнішнє програмування, типу ПЛІС.

Але в обох випадках, що в першому, що у третьому, а саме для створення окремих типів сенсорів чи сенсорних мікросистем-на-кристалі необхідно створювати спеціалізовані перетворювачі інформативних сигналів, які дозволяють отримати інформацію про вимірювальний параметр в потрібному вигляді.

Для багатьох типів первинних чутливих елементів первинним інформативним параметром є зміна значення його імпедансу під впливом середовища, це пасивна величина, і для її вимірювання необхідно здійснити сигнальне перетворення у вигляді зміни струму або напруги відповідно до зміни значення імпедансу ЧЕ під впливом вже активуючих сигналів – у вигляді струмів чи напруг. Значний обсяг інформації про вимірювану величину можна отримати за рахунок комплексного значення імпедансу.

Такі сигнальні перетворювачі є безперечно невід'ємною складовою сенсорів і визначають їх функціонування. Функціонування сигнальних перетворювачів залежить не тільки від зміни імпедансу ЧЕ, але й визначається як типом активуючих сигналів – чи це імпульсні, синусоїдальні, періодичні, неперіодичні та ін. види сигналів та відхилень параметрів компонентів (якщо мова буде йти про дискретне виконання СПП, або відхилення параметрів елементів СПП для їх інтегрального виконання, напр., для сенсорних мікросистем-на- кристалі, чи інтелектуальних сенсорів на одному кристалі).

У напрямку досліджень зі створення сенсорних пристроїв і їх серійного виробництва працюють численні провідні фірми світу, зокрема, AnalogDevices (США), Texas Instruments (США), STMicroelectronics (Швейцарія), Dynament (Англія), JUMOGmbH&CoKG (Німеччина), DALTechnology (Китай). Ці фірми спрямовують величезні кошти на розробку ефективних елементів і структур сенсорної техніки.

Дослідження у цьому напрямку є актуальними, і суть дисертації Барилі Г.І., що присвячена комплексним дослідженням зі структурно-параметричної модифікації мікроелектронних сигнальних перетворювачів імпедансу для сенсорної техніки є **актуальною науково-прикладною проблемою, а її вирішення буде основою для проектування нових типів сенсорів як в дискретному виконанні, так і з перспективними можливостями інтеграції в мікроелектронному виконанні у вигляді як окремих сенсорів, так і сенсорних мікросистем-на-кристалі.**

Актуальність роботи підтверджується зокрема й тим, що дисертація тісно пов'язана з науковими держбюджетними темами і планами науково-дослідних робіт і виконувалася відповідно до напрямку наукових досліджень НУ "Львівська політехніка": "Дослідження та розробка нових матеріалів та технології елементів електронної техніки" № ДР 0196U000169; "Розробка нових структур та сенсорів фізичних величин на основі рідкокристалічних та магнітних матеріалів" № ДР 0100U00486; "Розробка нових елементів та пристроїв електронної техніки на основі нанорозмірних органічних структур" № ДР 0113U003196; "Розроблення елементів та структурно-схемних рішень елементів та пристроїв органічної електроніки для реєстрації шкідливих газів" № ДР 0116U004141; "Оптоелектронний вузол пристрою для реєстрації клітинних об'єктів" № ДР 0113U001376.

В основу досліджень покладено SPICE – моделювання, в якому автор, використовуючи відкритий програмний код, вдосконалив засоби програмного моделювання, провів на їх основі структурно-параметричну оптимізацію СПП, розробив моделі електронних компонентів для СПП, функціональний аналіз схмотехнічних рішень, оптимізацію режимів їх роботи. Такий підхід можна вважати оптимальним з точки зору часу досліджень, матеріальних затрат і достовірності досліджень. Окрім цього натурне моделювання, є затратним, і не у кожному випадку можливим та достовірним. Тому підхід автора з використанням SPICE – моделювання в ППП MicroCap і отримані результати моделювань дозволять створити достовірні реальні схмотехнічні рішення.

Структура та зміст дисертації. Дисертація складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел інформації. Зміст дисертації належним чином відображає мету роботи, об'єкт і предмет дослідження, основні завдання, проведені теоретичні й експериментальні дослідження, результати модельних досліджень з використанням сучасних комп'ютерних технологій та отримані результати.

В дисертації, послідовно та логічно висвітлено:

У вступі подані загальна характеристика роботи та обґрунтування актуальності проведення досліджень з поставленої проблеми, визначено мету і задачі досліджень та дані про наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, відомості про їх апробацію.

У першому розділі проведено аналіз сучасних сенсорних пристроїв на основі перетворювачів імпедансу, показано основні сфери їх використання та особливості функціонування в процесі вимірювання. Наведено основні способи вимірювання імпедансу матеріалів та фактори, які впливають на отримані результати. Показано, що одним із перспективних підходів параметричної оптимізації СПП є використання комп'ютерного SPICE моделювання.

У другому розділі обґрунтовані вибрані методики досліджень та вимірювання параметрів СПП. Визначено напрямки SPICE моделювання схем імпедансної спектроскопії, проведено модельне імітаційне дослідження впливу модуляції параметрів елементної бази, показано особливості побудови SPICE - моделей базових вузлів СПП.

У третьому розділі подано результати модельних досліджень та параметричного аналізу структурних елементів СПП. На основі структурних елементів розроблено узагальнені структурно-функціональні схеми СПП, представлено узагальнені структурні схеми та елементну базу для практичної реалізації перетворювачів імпедансу. Досліджено вплив елементів підсилювальних каскадів на функцію перетворення. Вперше запропоновано метод частотної корекції для квадратурного детектора, який забезпечує підвищення точності сигнального перетворення.

У четвертому розділі досліджені СПП з розширеними функціональними властивостями, показано шляхи їх практичної реалізації. Наведено результати параметричного аналізу пристроїв імпедансної спектроскопії з активацією негармонічними сигналами. Вперше розроблено методику корекції результатів модельних досліджень від впливу тривалості фронтів та негармонічності активуючого сигналу, встановлено вплив смуги пропускання операційного підсилювача на величину вихідного сигналу.

П'ятий розділ присвячено комплексним дослідженням похибок вимірювання в процесі сигнального перетворення. Розраховано величини похибок методом цифрової апроксимації гармонічних сигналів. Встановлено вплив статистичних інструментальних похибок на точність формування активуючого та компенсаційного сигналів. Наведено обмеження спричинені динамічними похибками діапазону робочих частот сигнального перетворювача імпедансу.

У шостому розділі представлено результати практичної реалізації та використання СПП для сенсорів фізичних величин та інформаційно-вимірювальних систем, а також структурні схеми побудови оптичних сенсорів на основі СПП для вимірювання параметрів

біохімічного складу тканин та неінвазивної медицини, здійснено практичну реалізацію оптичних блоків для засобів неінвазивної діагностики на основі СПП.

Отже, в дисертації Барила Г.І. – логічно і послідовно наведені результати аналізу використання СПП, досліджень, моделювань використання активуючих сигналів, розробки і моделювань SPICE моделей компонентів СПП і створення нових методик вимірювань та експериментальних зразків сенсорів та інформаційно-вимірювальних систем на основі СПП (сигнальних перетворювачів імпедансу), а також пристроїв на цій основі для неінвазивної медицини.

Тому, отримані результати підтверджують високу ефективність використання і перспективність розроблених у дисертаційній роботі завадостійких СПП, відповідність параметрів реальних зразків із результатами досліджень на основі комп'ютерного моделювання в ППП MicroCap (SPICE).

Отже, в дисертації Барили Г.І. основну увагу зосереджено на вирішенні наукової проблеми проведення комплексних досліджень зі структурно-параметричної модифікації комп'ютерним SPICE моделюванням мікроелектронних СПП для сенсорної техніки і розробленням на цій основі експериментальної інформаційно-вимірювальної системи. До найвагоміших та достовірних результатів, які характеризують наукову новизну, прикладне значення дисертації та особистий внесок автора вважаю такі:

- узагальнено результати теоретичних та експериментальних досліджень та обґрунтовано напрямки досліджень;
- теоретично обґрунтовано методики структурно-параметричної модифікації мікроелектронних СПП;
- запропоновано і розроблено методи вимірювання фізичних величин на основі СПП;
- розроблено SPICE моделі квадратурного синхронного детектора, досліджено модуляцію параметрів електронних компонентів SPICE моделюванням, проведено структурно-параметричний аналіз СПП під час активації негармонічними сигналами з використанням комплексних значень – активної та реактивної складових імпедансу, що розширює можливості вимірювань фізичних величин;
- розроблено методики підвищення точності вимірювань СПП гальваностатичного та потенціометричного [7] типів;
- досліджено входні кола та пристрої комутації СПП, що може бути аналогом для інтегральних виконань;
- розроблено та експериментально досліджено експериментальні зразки СПП для пристроїв неінвазивної медицини, оптичних сенсорів фізичних величин, інформаційно-вимірювальних систем для досліджень в органічній електроніці.
- новизна практичних розробок захищена патентами України на корисні моделі.

- результати дисертації використовуються під час підготовки спеціалістів напрямку “Електроніка” НУ “Львівська політехніка” та виконанні НДР в НУ ЛП та підприємствах електронної промисловості, що підтверджено відповідними актами.

Можна відзначити ще й інші експериментально виявлені та підтверджені комп’ютерним моделюванням рішення, які є перспективними і можуть бути використані в проектуванні СПІ та інформаційно-вимірювальних систем на їх основі. Отримані автором науково-теоретичні та практичні результати повністю узгоджуються з метою та завданнями досліджень.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, достовірність і новизну висновків та рекомендацій, запропонованих рішень отриманих дисертантом підтверджується ґрунтовним аналізом науково-технічних джерел, інформаційних Інтернет ресурсів, методів аналізу електронних кіл, обробки сигналів, використання теоретичних основ імпедансної спектроскопії, методів комп’ютерного SPICE - моделювання та інших ППП, використанням методів статистичної обробки результатів вимірювань.

Експериментальні результати отримані на сучасному вимірювальному обладнанні з використанням комп’ютерного моделювання, володіють доброю відтворюваністю параметрів і співпадінням результатів вимірювань та комп’ютерних моделювань, апробовані на багатьох конференціях. Тому отримані результати можна вважати достовірними і перспективними як для подальших наукових досліджень, так і використання в НДР зі створення реальних інформаційно-вимірювальних систем на основі СПІ.

Однак, як і кожна наукова робота, розглянута дисертація та автореферат не позбавлені **певних недоліків, зауважень**. Серед них відзначу наступні:

1. На мою думку, перелік умовних скорочень в дисертації доцільно виділити окремим списком на початку дисертації. В авторефераті та дисертації мають місце окремі неточності щодо написання та оформлення схем електричних, наприклад, в авторефераті: - читаємо, «іивхвиль» стр.19, «АЧЧ»(незрозуміла аббревіатура) (Рис.9); «яка місить» (про схему) стр.15; «драйвер світло діода», стр.23. На цій ж стр.23 спочатку вказано мікроконтролер PSoC. У наступному реченні – вказується тип – PSoC CY8C24X94. Чому б необ’єднати одним реченням? Окремі схемні рисунки є важкими для сприйняття через малий масштаб. УГП резисторів на рис.5. подано за Європейськими стандартами «прямокутники»), інші – у вигляді “спіральок” - за американськими. Елпори сигналів на рис.5 на темному фоні є добрими для читання на моніторі комп’ютера, проте – незручними у друкованому вигляді (зображення неівертоване).

2. Не достатньо обґрунтовано критерії вибору функційно залежних джерел сигналів, які використовуються для активації досліджуваних об’єктів в процесі імітаційного вимірювання.

А також не показано їх можливої заміни функційно некерованими елементами, напр. замість керованого джерела струму використати резистивний елемент підключений до джерела живлення. Такі заміни є важливі при моделюванні елементів в інтегральному виконанні безпосередньо із топологій. І ці САПР не завжди містять функційно керовані джерела сигналів.

3. Не достатньо уваги приділено порівняльній характеристиці результатів отриманих в процесі комплексного АС та TRANSIENT аналізів із результатами, які отримані класичними методами (відомо, що класичні методи передбачають використання генераторів сигналів ідеальної форми).

4. Для схемотехнічного аналізу і схемних моделювань використовувалися SPICE моделювання в ПППІ MicroCap з використанням моделей компонентів – корпусних (дискретних) ІС ОП та ін. Проте в авторефераті та дисертації не вказано, чи проводилися порівняльні моделювання в інших ПППІ з використанням інтегральних елементів (з топологічними розмірами елементів) та особливостей впливу їх топологій, особливо їх узгодженості (напр., для ОП) на електричні на часові параметри та характеристики.

5. Розроблено завадостійкий (до впливу зовнішнього освітлення) сигнальний перетворювач для оптичних сенсорів неінвазивної медицини в ІЧ діапазоні 950 - 1500 нм. Незрозуміло, чому саме нижня межа становить 950 нм. Адже для розробок конкретних пристроїв неінвазивної медицини, зокрема, напр., для неінвазивного контролю рівня глюкози в крові людини оптимальним вважається максимумом 940 нм. Різниця для цих цілей всього 10 нм? То чому не розглянуто діапазон 900 – 1500 нм?

І що стосується використання вже згаданого мною PSoC CY8C24X94, то незрозуміло з дисертації, який ж все-таки принцип реалізації методу синхронного детектування при використанні цього мікроконтролера в розробленому оптичному сенсорі.

6. У дисертації, не в повній мірі обґрунтовано параметри сучасних мікроелектронних сигнальних перетворювачів імпедансу які використовуються в сенсорній техніці, лише зазначено наявність на ринку 12-розрядних конверторів фірми Analog Devices. Також, недостатньо наведено параметри оптичних сенсорів на основі розроблених сигнальних перетворювачів імпедансу, необхідність використання оптичних фільтрів.

7. Не наведено порівняльних характеристик вихідних інформаційних сигналів одержаних іншими методами детектування відмінними від синхронного методу.

8. В роботі розроблено і виготовлено експериментальну апаратну частину інформаційно-виміральної системи на основі СПІ, яка містить: ОП AD8544, дво напрямлені прецизійні ключі ADG736, мікропроцесорний блок на основі 24-х розрядного перетворювача ADuC834 (!!!все від фірми Analog Devices). Оскільки ці пристрої є мікропотужними, то б було доцільно запропонувати також не тільки схемотехнічні, а й конструктивно-технологічні рішення для її реалізації в інтегральному виконанні(в ідеальному випадку для укр. виробника і з українським позначенням).

Тому перспективними видаються дослідження СПІ на КМОН-транзисторах, особливо в інтегральному виконанні на кристалі, та в міні корпусному, фактично розміром кристалу, – із сучасними стовпчиковими (непланарними) виводами для поверхневого монтажу на друковані плати, (це як побажання), що може бути предметом подальших досліджень.

Однак вказані зауваження і недоліки суттєво не впливають на цінність дисертації в цілому. Результати досліджень Г.І.Барилі опубліковані в 48 наукових працях із яких, 1 монографія, 2 авторські свідоцтва на винаходи, 25 статей у наукових фахових виданнях України, з них – 16 статей у реферованих журналах, що входять до міжнародних наукометричних баз даних Web of Science та/або Scopus та 33 публікаціях у матеріалах міжнародних і всеукраїнських наукових конференцій. Ці дані підтверджують повноту висвітлення результатів дисертації у наукових працях та особистий внесок здобувача.

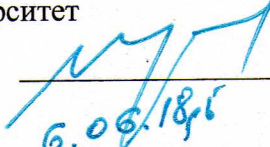
Автореферат та дисертація Барилі Г.І. “Структурно-параметрична модифікація мікроелектронних сигнальних перетворювачів імпедансу для сенсорної техніки” оформлені згідно з вимогами ДАК України. На всі друковані праці здобувача, подані в дисертації є посилання. В авторефераті та дисертації чітко виокремлено особистий внесок у роботах, які написані у співавторстві. Висновки дисертації зроблено на основі отриманих результатів автора.

Висновок. Вважаю, що дисертація Барилі Г.І. “Структурно-параметрична модифікація мікроелектронних сигнальних перетворювачів імпедансу для сенсорної техніки” є завершеною науково-дослідницькою роботою, в якій отримано нові, обґрунтовані науково-теоретичні результати та практично-прикладні рішення, що в сукупності комплексно спрямовані на створення завадостійких сигнальних перетворювачів імпедансу для сенсорних використань в мікроелектронному виконанні, з наступною перспективою інтегрального виконання. Робота має як теоретичне, так і прикладне значення в галузі створення інтелектуальних сенсорних пристроїв.

За актуальністю тематики досліджень, рівнем виконання, науковою новизною отриманих результатів і прикладним значенням вона відповідає паспорту спеціальності 05.27.01 – твердотільна електроніка і вимогам щодо «Порядку присудження наукових ступенів» (Постанова Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013 р., а її автор – Барило Григорій

Іванович заслугоує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за вказаною спеціальністю.

Офіційний опонент - доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки
ДВНЗ «Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника»


6.06.18гб I.T. Когут



ПІДПИС Когут І.Т. ЗАВІРЯЮ
Начальник відділу кадрів
Державного вищого навчального закладу
Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника
код 02125266
" 20 р.

