

ВІДГУК
ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу
Барила Григорія Івановича
“Структурно-параметрична модифікація мікроелектронних сигнальних
перетворювачів імпедансу для сенсорної техніки”,
поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.27.01 – твердотільна електроніка

Актуальність теми дисертації

Одним із основних рушіїв науково-технічного прогресу є здобутки отримані в результаті постійного розширення сфери наукових досліджень, ускладнення та вдосконалення технологічних процесів у всіх галузях промисловості. При цьому збільшується кількість величин, які потрібно виміряти для опису властивостей досліджуваних об'єктів, а також підвищуються вимоги до точності вимірювань. Важливе місце в колі таких задач належить дослідженню реакції фізичних об'єктів на проходження прикладеного змінного струму – вимірювання імпедансу. Враховуючи те, що імпеданс є пасивною величиною, його вимірювання здійснюється за допомогою сигнального перетворювача імпедансу (СПІ), який формує інформаційний сигнал (напруга чи струм) відповідно до значення імпедансу, під впливом активуючого сигналу (струм або напруга). Сигнальні перетворювачі імпедансу утворюють основу функціонування сенсорів температури, тиску, аналізаторів газів, біосенсорів, сенсорів для медицини, тощо. З розвитком сучасних технологій та на основі результатів наукових досліджень виникає необхідність розширити функціональні можливості сигнальних перетворювачів, які забезпечать підвищення чутливості та точності вимірювання. Для цього необхідно провести дослідження засобів та методів побудови сигнальних перетворювачів, вдосконалити засоби програмного моделювання і на їх основі провести структурно-параметричну модифікацію.

Тому проведення комплексних досліджень зі структурно-параметричної модифікації мікроелектронних СПІ на основі базових елементів твердотільної електроніки та створення нових схемотехнічних рішень для практичної реалізації СПІ є актуальною науково-прикладною проблемою електронної техніки.

Актуальність дисертації підтверджується також зв'язком із напрямком наукової діяльності кафедри «Електронні прилади» Національного

Університету «Львівська політехніка», під час виконання науково-дослідних тем: “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.

Поставлена в дисертації мета – структурно-параметрична модифікація мікроелектронних сигнальних перетворювачів імпедансу для створення нових сенсорних пристроїв на їх основі, досягнута в результаті застосування сучасних методів досліджень, зокрема, методів аналізу та синтезу електричних кіл, теоретичних основ імпедансної спектроскопії; математичного та імітаційного моделювання елементів сигнальних перетворювачів; методів цифрової обробки сигналів, методів статистичної обробки результатів вимірювань.

Найважливіші наукові результати дисертації та їх новизна

До найвагоміших наукових результатів автора дисертаційної роботи слід віднести наступні:

1. На основі встановлених нових закономірностей функції перетворення розроблено ряд нових сигнальних перетворювачів імпедансу з похибкою сигнального перетворення 0,1 % та використання 24-розрядних цифрових конверторів у пристроях сенсорної техніки.
2. Встановлено величину часової затримки, яка усуває вплив перехідного процесу під час активації об’єкта вимірювання гармонічними та імпульсними сигналами в гальваностатичному методі вимірювання.
3. Розроблено комплексний метод досліджень параметрів сигнальних перетворювачів на основі синхронного детектування вхідних та інтегрування результату детектування в часових інтервалах, які відповідають їхнім активним (ReZ) та реактивним (ImZ) складовим.
4. Встановлено закономірності виникнення похибок, спричинених впливом гармонік імпульсного сигналу під час активації досліджуваних структур негармонічними сигналами та запропоновано методики корегування значень імпедансу.

5. Розроблено методику модельних досліджень параметрів сигнальних перетворювачів імпедансу з використанням негармонічного активуючого сигналу прямокутної форми, яка використовує розроблені моделі функціональних джерел напруги та струму і дає змогу визначити вплив високочастотних гармонік кратних частоті активуючого сигналу на величину активної та реактивної складових вимірюваного імпедансу, що вдвічі підвищує точність перетворення.
6. Встановлено, що коефіцієнти підсилення сигналів у вхідних колах перетворювачів повинні бути мінімально можливими, причому частотні спотворення імпедансних характеристик інвертуючим підсилювачем у порівнянні з неінтегруючим підсилювачем (повторювачем напруги) є більшими; а відтак, у вхідних перетворювачах імпедансної спектроскопії пріоритет використання мають повторювачі напруги.
7. Показано, що розширення функціональності вимірювального перетворення імпедансу та підвищення точності вимірювання досягається шляхом чотиритактного інтегрування інформаційного сигналу, яке дає змогу реалізувати принцип надлишковості сигналів та проводити перевірку калібрування сигнальних трактів і компенсацію їхнього дрейфу нуля та здійснювати безпосереднє інтегрування інформативного струму через досліджуваний дво полюсник у перетворювачах потенціостатичного типу.
8. Розроблено сигнальні перетворювачі імпедансу для сенсорних пристроїв органічної електроніки, неінвазивної медицини та оптичних сенсорів вимірювання фізичних величин.

Загальна оцінка роботи

Дисертація Барила Григорія Івановича є завершеною науковою роботою, яка містить нові науково обґрунтовані результати комплексних досліджень. Дисертація складається зі вступу, 6 розділів, висновку та списку літератури. Вона містить 299 сторінок тексту, 220 рисунків, 13 таблиць та список 292 використаних джерел літератури.

У першому розділі дисертації «Використання сигнальних перетворювачів імпедансу в мікроелектронних сенсорах фізичних величин» 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 є використання SPICE моделювання. Встановлено необхідність створення нових математичних моделей, які забезпечують відтворення процесу сигнального перетворення з параметрами, які максимально наближаються до реальних. На основі аналізу сучасної мікроелектронної техніки, показано перспективні інтегральні компоненти для реалізації структурних елементів сигнальних перетворювачів імпедансного типу.

Другий розділ дисертації «Основні рішення та SPICE моделі сигнальних перетворювачів імпедансу» містить інформацію про методи досліджень та методики вимірювання параметрів сигнальних перетворювачів імпедансу. Визначено задачі SPICE моделювання схем імпедансної спектроскопії. Проведено дослідження впливу модуляції параметрів елементної бази в задачах SPICE моделювання. Показано особливості побудови моделей базових вузлів сигнальних перетворювачів імпедансу. Наведено методики досліджень сигнальних перетворювачів гальваностатичного та потенціостатичного типу.

У третьому розділі дисертації «Модельні дослідження та параметричний аналіз структурних елементів сигнальних перетворювачів імпедансу» наведено результати модельних досліджень та параметричного аналізу структурних елементів сигнальних перетворювачів. Представлено узагальнені структурні схеми та елементну базу для практичної реалізації перетворювачів імпедансу. Досліджено вплив елементів підсилювальних каскадів на функцію перетворення. За результатами дослідження входних кіл сигнальних перетворювачів встановлено закономірності впливу коефіцієнта підсилення на інформаційний сигнал для неінвертуючого та інвертуючого каскадів. Вперше запропоновано метод частотної корекції для квадратурного детектора, який забезпечує підвищення точності сигнального перетворення.

У четвертому розділі дисертації «Сигнальні перетворювачі імпедансу з розширеною функціональністю» представлено результати дослідження сигнальних перетворювачів з розширеними функціональними властивостями та встановлено шляхи їх практичної реалізації. Наведено результати параметричного аналізу сигнальних перетворювачів імпедансу з активуючими негармонічними сигналами. Встановлено залежності впливу тривалості фронтів та гармонік активуючих сигналів на результати вимірювань. Вперше розроблено методику корегування результатів модельних досліджень за тривалістю фронтів та негармонічністю активуючого сигналу. Наведено результати дослідження інтеграторів для квадратурних детекторів та встановлено вплив смуги пропускання

операційного підсилювача на величину вихідного сигналу. Показано ефективність використання сигнальних перетворювачів з чотиритактним інтегруванням для мікропроцесорної обробки інформації.

У п'ятому розділі дисертації «Використання цифрових методів обробки аналізу сигнальних перетворювачів імпедансу» проведено комплексне дослідження похибок вимірювання в процесі сигнального перетворення. Проведено розрахунок величини похибок методом цифрової апроксимації гармонічних сигналів. Встановлено вплив статистичних інструментальних похибок на точність формування активуючого та компенсаційного сигналів. Наведено, спричинені динамічними похибками, обмеження діапазону робочих частот сигнального перетворювача імпедансу.

У шостому розділі дисертації «Реалізація та апробація мікроелектронних пристроїв імпедансної спектроскопії» представлено результати практичної реалізації сигнальних перетворювачів для сенсорів фізичних величин та інформаційно-вимірювальних систем. Наведено практичні результати використання запропонованих сигнальних перетворювачів в оптичних сенсорах та вимірювальних системах. Представлено структурні схеми побудови розроблених оптичних сенсорів на основі сигнального перетворювача імпедансу для вимірювання параметрів біохімічного складу тканин. Розроблено функціональні схеми та здійснено практичну реалізацію оптичних блоків для засобів неінвазивної діагностики на основі сигнальних перетворювачів імпедансу. За допомогою розробленого апаратно - програмного комплексу проведено дослідження органічних напівпровідникових структур та наведено отримані імпедансні характеристики.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень і висновків дисертації

Основні результати дисертації опубліковані у провідних наукових закордонних періодичних виданнях та фахових виданнях України, вони широко обговорювалися за безпосередньої участі автора на профільних наукових конференціях, семінарах міжнародного рівня. Для проведення досліджень автор використав сучасні апробовані програмні засоби, які доповнені новими експериментальними методами. Опрацювання та аналіз одержаних результатів здійснено з використанням сучасних програмних засобів та теоретичних підходів. Все вищенаведене підтверджує **обґрунтованість та достовірність** одержаних результатів та сформульованих на їх основі висновків дисертації.

Апробація роботи проходила на авторитетних наукових конференціях. Публікації автора у наукових журналах та матеріалах наукових конференцій (48 наукових праць), відображають суть виконаних досліджень та представлених в дисертації результатів.

Автореферат дисертації повністю відповідає її змісту та адекватно передає основні наукові результати дисертанта.

Зауваження щодо дисертації

При загальному позитивному враженні від дисертації у ній зустрічаються окремі недоліки, до яких, на мою думку, можна віднести наступні:

1. В огляді літератури доцільно було б більше уваги звернути на оригінальні роботи, в яких відображаються принципи побудови сенсорів на основі сигнальних перетворювачів імпедансу.
2. Недостатньо уваги приділено обґрунтуванню вибору програмного забезпечення, а саме програми MicroCap, яка використовує SPICE моделі базових елементів твердотільної електроніки.
3. Доцільно було б розширити елементну базу, яка використовується для реалізації сигнальних перетворювачів імпедансу та навести порівняльні характеристики схем побудованих на різних типах операційних підсилювачів, аналогових комутаторів тощо.
4. В процесі SPICE моделювання функціональних вузлів сигнальних перетворювачів, у дисертації не вказано, яка конкретно модель операційного підсилювача використовувалась для реалізації того чи іншого вузла.
5. Доцільно було б більше уваги звернути на представлення критеріїв вибору типу операційних підсилювачів для певного частотного діапазону, відповідно до запропонованої методики.
6. В дисертації мало уваги приділено опису характеру впливу вищих гармонік імпульсного активуючого сигналу на результати сигнального перетворення активної та реактивної складових імпедансу.
7. В роботі зустрічаються подвійні назви одного і того ж сигналу, зокрема на ст. 31 зазначено «стимульні сигнали», а далі за текстом «активуючі сигнали». Зустрічаються окремі описки, зокрема на ст. 23, 25, 217, 260.

Однак вказані зауваження не торкаються основних положень роботи, не зменшують її актуальність і не піддають сумніву достовірність отриманих результатів.

Підводячи підсумок в цілому, слід зазначити, що дисертаційна робота Барила Григорія Івановича “Структурно-параметрична модифікація мікроелектронних сигнальних перетворювачів імпедансу для сенсорної техніки” є завершеною науково-дослідницькою роботою, яку виконано на високому науковому рівні із застосуванням сучасних експериментальних методів і яка повністю **відповідає вимогам МОН України**, а її автор Барило Григорій Іванович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.27.01 – твердотільна електроніка.

Офіційний опонент:

доктор фізико-математичних наук, професор,
завідувач кафедри фізичної та
біомедичної електроніки
Львівського національного університету
імені Івана Франка

Бордун О.М.

Підпис проф. О.М. Бордуна підтверджую:

Вчений секретар
Львівського національного університету
імені Івана Франка




доц. Грабовецька О.С.