

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора Голяки Романа Любомировича,
професора кафедри електронних засобів інформаційно-комп'ютерних технологій
Національного університету «Львівська політехніка» на дисертаційну роботу
Саміли Андрія Петровича на тему «Структурний та функціональний синтез
радіоелектронних засобів імпульсної спектроскопії матеріалів з квадрупольними
ядрами атомів», представленої на здобуття наукового ступеня доктора технічних
наук за спеціальністю 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій

Актуальність теми дисертації

Безпека громадян є одним з пріоритетів держави і володіє комплексним характером різного роду напрямків по її забезпеченню. Одним з них є технічне забезпечення. Сучасному суспільству притаманні великі переміщення людей та товарів. Проводити огляд окремої людини, пакунка, контейнера, тощо, є трудомісткою справою. Застосування сучасних методик та приладів для виявлення вогне- та вибухонебезпечних речовин принципово зменшить затримки людей та товарів.

Сучасні методи імпульсної Фур'є та релаксаційної спектроскопії ядерного квадрупольного резонансу (ЯКР) набувають актуальності при дистанційному виявленні резонансних сигналів ізотопу ^{14}N в твердих речовинах. Корисною такою методикою є також при дослідженні внутрішньомолекулярної структури речовин та їх фізико-хімічних властивостей. Як результат є розроблення ЯКР детекторів вибухівки і наркотичних речовин, ЯКР-томографія тощо.

Аналізуючи сучасні методи спектроскопії можна побачити, що розроблення експериментальних методів та апаратури спостереження ЯКР, розвиток апаратно-програмних засобів цифрового оброблення сигналів спінової індукції в реальному часі є актуальною задачею. Наявна сучасна радіокомпонентна база дає змогу розробки недорогих портативних спектрометрів з інтегрованим обчислювальним ядром, що базуються на нових алгоритмах інформаційних перетворень сигналу спаду вільної індукції в передавально-приймальному тракті та візуалізації спектрів ЯКР.

Враховуючи малий рівень сигналів ЯКР, значну проблему складає наявність шумів та завад різного характеру. Тому, не менш важливою задачею є приділення уваги підвищенню відношення сигнал/шум, що має забезпечуватися спектрометром, до необхідного рівня для безпомилкового детектування сигналу ЯКР у досліджуваних речовинах малого об'єму з масою від десятих долей до декількох грам.

Висока точність та інформативність методу ЯКР уможливило його ефективне впровадження в різних галузях науки і техніки – матеріалознавство; твердотільна електроніка; боротьба з тероризмом та національна безпека. Актуальною задачею є розроблення сенсорів на фоні зростання інтересу до робототехніки, автоматизації процесу контролю виробничих приміщень та технологічних процесів на виробництві, проведення хімічного аналізу, вимірювання фізичних величин, складу хімічних та біохімічних сполук.

Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням і присвячена розв'язанню актуальної наукової проблеми – покращенню сигнальних характеристик (чутливості, точності, ширини реєстрованого спектру) із одночасним збереженням енергетичних характеристик (інтенсивності радіочастотного випромінювання) радіоелектронних засобів імпульсної спектроскопії ЯКР шляхом синтезу їх структурних, конфігураційних та принципових електричних схем.

Актуальність теми дисертації підтверджується також зв'язком роботи з науковими програмами та темами, що виконувались на кафедрі радіотехніки та інформаційної безпеки Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича.

Обґрунтованість наукових положень, висновків, рекомендацій

Обґрунтованість і достовірність результатів дисертаційної роботи підтверджена узгодженням теоретичних висновків і експериментальних результатів, вибором загальновідомих і визнаних методів та основних положень теорії радіотехнічних систем, цифрових автоматів, параметричної комп'ютерної ідентифікації, синтаксису моделювання динамічних режимів логічних структур, числового моделювання, графічного об'єктно-орієнтованого програмування, радіоспектроскопії ядерного квадрупольного резонансу, експериментальних досліджень та статистичної обробки результатів, позитивними рецензіями на опубліковані статті у фахових наукових виданнях. Викладене дозволяє вважати, що всі основні положення дисертації є обґрунтованими, а отримані результати – достовірними.

Новизна наукових положень, повнота їх викладу в опублікованих працях

Наукове значення, структура і змістове наповнення дисертації, як науково-практичного дослідження визначається сукупністю математичних, структурно-функціональних, конфігураційних моделей, сформованих на підставі визначеного автором предмету дослідження – принципів, методів і структур радіоелектронних засобів імпульсної спектроскопії ядерного квадрупольного резонансу.

У дисертаційній роботі розв'язано низку поставлених автором завдань:

- синтезовано базову структуру портативного когерентного однокотушкового спектрометра ЯКР, що забезпечує виявлення імпульсним методом мікрвольтних сигналів спаду вільної індукції в діапазоні частот 1 – 50 МГц;

- розроблено імітаційну модель імпульсного методу спостереження ЯКР та проведено дослідження перетворень сигналу вільної індукції в радіочастотних трактах радіоспектрометра при синусоїдальному та шумовому збудженні резонансу, що дало змогу виявити шляхи оптимізації імпульсного методу для спостереження широкосмугових мультиплетних спектрів ЯКР;

- унаслідок рознесення опорної частоти синхронного детектора і частоти заповнення імпульсу збудження та використання синхронізації їх початкових фаз підвищено точність відтворення форми широкосмугових спектрів ЯКР та послаблено вплив на приймальний тракт спектрометра паразитної завади, частота якої дорівнює частоті імпульсу зондування;

- за рахунок надійного закривання приймального тракту в паузах між імпульсами зондування (до 100 дБ для частоти-носія) забезпечено ефективне загасання перехідного процесу в приймальній котушці коливального контуру та приймальному тракту радіоспектрометра для імпульсного спостереження ЯКР у досліджуваних зразках малого об'єму;

- оптимізовано масогабаритні та енергетичні параметри імпульсного радіоспектрометра ЯКР шляхом розрахунку режимів роботи вихідного підсилювального каскаду та розроблення високочастотного широкосмугового передавального тракту;

- розроблено синтезатор із числовим керуванням шляхом синтезу конфігураційної структури програмованої логікової інтегральної схеми (ПЛІС) та запропоновано принцип формування багатоімпульсних послідовностей на його основі, що дало змогу оптимізувати методи релаксаційної та імпульсно-резонансної спектроскопії структур на основі шаруватих напівпровідників для вимірювання динамічних характеристик і дефектів кристалічної ґратки;

- розроблено апаратно-програмну систему збору даних (СЗД) радіофізичних експериментів та синтезовано віртуальний інструмент для візуалізації і оброблення даних сигналів ядерної спінової індукції, що необхідно при розгортанні автоматизованої вимірювальної системи на базі ПК, ноутбука або планшетного ПК;

- проведено моделювання топології приймально-передавальної котушки спектрометра ЯКР, що уможливило обмеження зони сканування та забезпечує ефективну взаємодію високочастотного поля із досліджуваним зразком;

- розроблено метод експрес-ідентифікації спектрів ЯКР з виявленням окремих спектральних складових на заздалегідь невідомих частотах резонансу;

- проведено експериментальні випробування лабораторного макету портативного радіоспектрометра з покращеними сигнальними та енергетичними характеристиками шляхом дослідження якості напівпровідникових монокристалів шаруватої структури та вивчення їх сенсорних властивостей, унаслідок чого одержано що: сполуки GaSe та InSe можна застосувати при створенні високолінійних сенсорів температури в інтервалі 20 – 130 °С, що не потребують періодичного калібрування; застосування даних сполук для вимірювань одновісного тиску за допомогою ЯКР можливо при тисках до 50 – 100 кг/см²; розщеплення резонансних ліній в результаті ефекту Зеємана може бути використано для визначення напрямку дії та оцінки величини індукції прикладеного магнітного поля в інтервалі 0 – 10 Гс.

Основні наукові результати, висунуті на захист, полягають у тому, що:

Вперше:

- запропоновано метод підвищення точності відтворення форми широкосмугових спектрів ЯКР шляхом пригнічення до 100 дБ перехідного процесу в приймальній котушці вхідного пристрою спектрометра, який, на відміну від існуючих, забезпечує послаблення впливу на приймальний тракт паразитної завади з частотою імпульсів зондування, що уможливило синтез структури портативного когерентного радіоспектрометра ЯКР;

- запропоновано високочутливий метод реєстрації сигналів ЯКР, що відрізняється від існуючих рознесенням опорної частоти синхронного детектора і частоти заповнення імпульсу збудження із забезпеченням синхронізації їх початкових фаз, що забезпечило синтез конфігураційної структури програмованого кристалу для реалізації чутливого цифрового приймача сигналів ЯКР з шириною смуги до 1 МГц та амплітудами меншими 10 мкВ у діапазоні частот ЯКР 0,5 – 50 МГц;

- запропоновано метод формування когерентних із частотою-носієм синтезатора імпульсів збудження з довільними часовими інтервалами в діапазоні від 100 нс до 10 с за рахунок формування послідовностей кодів миттєвої лінійно-змінної фази сигналу 48-бітним акумулятором фази, який відрізняється від відомих мінімізацією часу затримки сигналу до 20 нс в структурі програмованого кристалу, що уможливило синтезування структури формувача імпульсних послідовностей для радіоспектроскопічних та релаксаційних методик в ЯКР;

- запропоновано метод керування імпульсним спектрометром ЯКР, що відрізняється від відомих перехідними та вихідними функціями синтезованої машини кінцевих станів цифрового апаратно-програмного ядра. Це надає змогу автоматизувати радіофізичні експерименти за рахунок формування та передавання інформаційних пакетів даних на пристрої виконання портативного імпульсного радіоспектрометра за допомогою зовнішнього інтерфейсу зі швидкістю до 10 Мбіт/с;

- запропоновано метод експрес ідентифікації спектрів ЯКР, який відрізняється від відомих застосуванням шумового збудження та проведенням статистичного кореляційного аналізу усереднених ітерацій крос-кореляційних функцій псевдовипадкових послідовностей і сигналів спаду вільної індукції за Пірсоном, що дало змогу покращити ймовірності безпомилкової реєстрації імпульсного відгуку ядерної системи.

Набули подальшого розвитку:

- модель однокотушкового когерентного Фур'є-радіоспектрометра в якій ЯКР-підсистема описується передавальною функцією, що є Фур'є-образом імпульсного відгуку мультирезонансної коливної системи. Це дало змогу вперше здійснити параметричну ідентифікацію перетворень сигналу вільної індукції в радіочастотному тракті імпульсного Фур'є-радіоспектрометра при синусоїдальному та шумовому збудженнях ЯКР у матеріалах з квадрупольними ядрами атомів;

- метод підвищення енергетичної ефективності високочастотного широкосмугового передавача радіоспектрометра за рахунок забезпечення режиму імпульсного зміщення активних елементів проміжного і вихідного каскадів, внаслідок чого потужності розсіювання для радіоімпульсів шпаруватістю $10 \leq S \leq 1000$ знизилися на 45,8 – 98,39 %;

- метод сканування ЯКР у видовжених зразках із застосуванням передавально-приймальної котушки сідлоподібної форми, який відрізняється від відомих обмеженням робочої зони сканування зразків до 28,12% від повного об'єму котушки. Це дало змогу зменшити об'єм сканування монокристалічних злитків до $12 \times 18 \times 10 \text{ мм}^3$.

Новизна практичних розробок захищена патентами України на корисні моделі. Результати дисертації використовуються під час підготовки спеціалістів зі спеціальності “Телекомунікації та радіотехніка” Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича; у Львівському Науково-виробничому підприємстві “Карат” для дослідження структури кристалів напівпровідникових матеріалів та епітаксійних структур при розробленні технологій отримання новітніх матеріалів; в Чернівецькому відділенні Інституту проблем матеріалознавства імені І.М. Францевича Національної академії наук України для визначення за допомогою спектрів ЯКР співвідношення політипів у кристалах InSe і GaSe при розробленні технологій модифікації напівпровідникових кристалів A^3B^6 . Результати впровадження підтверджено відповідними актами.

Практичне значення одержаних результатів

Дисертаційну роботу здобувача присвячено проблематиці структурного та функціонального синтезу радіоелектронних засобів імпульсної спектроскопії матеріалів з квадрупольними ядрами атомів. За рахунок результатів досліджень, отриманих у даній роботі набула подальшого розвитку імпульсна методика виявлення сигналів ЯКР із застосуванням швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) сигналів спінової індукції.

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень:

Запропоновано:

- апаратно-програмна реалізація компактної системи збору даних для імпульсного спектрометра ЯКР, яка використовується у вимірвальній системі на ПК з обмеженим числом USB портів;

- метод експрес-ідентифікації спектрів ЯКР, що може ефективно застосовуватись в імпульсних спектрометрах ЯКР з ШПФ на частотах, що не виходять за межі робочого діапазону частот приймача спектрометра.

Розроблено:

- принципова схема та конфігураційна структура прямого цифрового синтезатора частот, що уможливають виготовлення функціонально завершених генераторів гармонічних сигналів у діапазоні частот до 75 МГц з низьким рівнем спектральних складових вищих порядків для радіотехнічних та телекомунікаційних пристроїв і систем;

- алгоритм функціонування та структура формувача імпульсних послідовностей, які будуть використані при розробленні нових багатоімпульсних методик для систем реєстрації подвійних, багатовимірної ЯКР спектроскопії, а також ЯКР-томографії;

- лабораторний макет енергоефективного широкосмугового передавача з робочим діапазоном частот 1 – 50 МГц та середньою вихідною потужністю 400 – 500 Вт, який може бути використаним при розробленні ЯКР детекторів вибухових та наркотичних речовин;

- цифрова система керування імпульсним Фур'є радіоспектрометром ЯКР лабораторного типу з реалізацією її головних функціонально-алгоритмічних методів як універсальна апаратна база для розроблення інтерактивних меню та користувацьких інтерфейсів радіотехнічних пристроїв категорії «Смарт»;

- синтезовано віртуальний інструмент для візуалізації та оброблення даних сигналів ядерної спінової індукції на базі засобів графічного об'єктно орієнтованого програмування.

Результати дослідження будуть корисними для світової науки при розробленні багатофункціонального комплексу методів ЯКР, подвійних ЯКР-ЯМР і ЯКР-ЯКР резонансів, багатомірної ЯКР спектроскопії, ЯКР-томографії напівпровідникових приладів твердотільної електроніки – радіаційно стійких сенсорів температури, тиску та магнітних полів; джерел струму великої ємності і т. ін.

Новизну і значущість отриманих автором практичних результатів підтверджують 3 патенти України.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність

Обґрунтованість та вірогідність наукових результатів, висновків та рекомендацій, викладених у дисертаційній роботі, підтверджуються коректним використанням апробованого математичного апарату, методів моделювання, різними способами виконання розрахунків; результатами проведених автором імітаційних комп'ютерних експериментів, відповідністю результатів моделювання (розрахунку) експериментальним результатам, їх узгодженістю з існуючими результатами, отриманими із застосуванням класичних методів, а також порівняльним аналізом результатів дисертаційних досліджень із даними літературних джерел, результатами апробацій.

Повнота викладу результатів досліджень у опублікованих працях

Усі наукові положення повністю викладені в наукових працях, опублікованих у фахових виданнях України (15 статей) та зарубіжжя (8 статей) пройшли апробацію на науково-технічних конференціях та семінарах (опубліковано 19 тез доповідей). З них 5 наукових статей та 3 тезисні доповіді проіндексовано у міжнародній наукометричній базі WEB OF SCIENCE, 8 наукових статей та 3 тезисні доповіді проіндексовано у міжнародній наукометричній базі Scopus, 6 наукових статей проіндексовано у міжнародній наукометричній базі Index Copernicus. Аналіз публікацій засвідчує, що вони відображають зміст усіх розділів дисертації.

Недоліки та зауваження щодо роботи

1. Здобувач пише, що виявлення небезпечних речовин можна проводити тільки в неметалевих контейнерах (с.28). Чи не можна застосувати для проникнення в металеві контейнери явище геліконового резонансу?

2. Аналіз існуючих експериментальних методів спостереження ядерного квадрупольного резонансу здобувачем проведено в діапазоні частот від -2 до 1000 МГц, а в задачах досліджень (с.30, п.2) діапазон частот для базової структури портативного когерентного однокотушкового спектрометра ЯКР, що забезпечує виявлення імпульсним методом мікрвольтних сигналів спаду вільної індукції закладено 1–50МГц.

3. Вказано в огляді (на с.60) сказано "При проведенні розрахунків автори нехтували впливом сторонніх синфазних перешкод і шумів, оскільки в цьому випадку для отримання точних виразів необхідний глибший аналіз". В даному випадку не врахована нелінійність варикапів в автодинних спектрометрах непервної дії.

4. Не цілком зрозуміла структурна схема на рис.1.13. Напевно сигнал з генератора модулюючої напруги теж має подаватися на синхронний фільтр?

5. Не вказано (с.100) з яких міркувань вибиралась використана компонентна база, зокрема транзистори D16ННF1 та IRF510?

6. Не цілком зрозумілим є зв'язок між блоками структурної схеми на рис.3.11.

7. В пункті 4.1 (с.179) йдеться про застосування чверть хвильових відрізків кабелю і зустрічно ввімкнених паралельних пар діодів для забезпечення швидкої зміни добротності коливального контуру. Як вдається забезпечити дану вимогу, щодо довжини відрізків кабелю в широкому діапазоні частот (від 2 до 50 МГц)? І як реалізована вимога портативності пристрою в цьому випадку, якщо довжина цих відрізків сягатиме від 37,5 м до 1,5 м?

8. Зважаючи на обмежений розмір автореферату, найголовніші аспекти роботи представлені здебільшого у вигляді структурних, функціональних, конфігураційних та принципів електричних схем. Це призвело до того, що детальний опис запропонованих математичних та імітаційних моделей залишився лише у тексті дисертаційної роботи.

Наведені зауваження не стосуються суті дисертаційної роботи, та не применшують її високу позитивну оцінку.

Загальна оцінка дисертаційної роботи

Представлена до захисту дисертація Саміли Андрія Петровича "Структурний та функціональний синтез радіоелектронних засобів імпульсної спектроскопії матеріалів з квадрупольними ядрами атомів" на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук є завершеною науково-дослідною працею, яка виконана на високому науковому рівні. В роботі отримано нові науково-обґрунтовані результати, які у сукупності вирішують актуальну і важливу науково-прикладну задачу створення нових приладів спостереження ядерного квадрупольного резонансу.

В роботі ґрунтовно проведений аналіз методик дослідження ЯКР. Майстерно застосоване сучасне програмне забезпечення при моделюванні процесів в схемах та вимірювальній котушці, програмні засоби для приймання та оброблення в цифровому вигляді отриманих сигналів. Повно і детально описані конфігураційні блоки ПЛІС. Гарно проведене моделювання вимірювальної котушки.

Важливим практичним результатом є розроблений автором підсилювач потужності, новизною якого є імпульсний режим задання зміщення режиму транзисторів у вихідному підсилювачі потужності. Здобувач вдало використовує доступну сучасну радіоелементну базу, максимально використовуючи її функціональність. Працездатність розробленого приладу підтверджена експериментальними дослідженнями ЯКР спектрів відомих речовин.

Дисертаційна робота оформлена відповідно вимог до науково-технічних текстів, матеріал дисертації викладено логічно та послідовно, грамотно. Незначні окремі граматичні, стилістичні та пунктуаційні помилки, в цілому не псують загального позитивного враження про роботу.

Текст автореферату і висновки повністю відображають зміст та результати досліджень, наведені в дисертації. Основні результати роботи відображені в опублікованих наукових працях автора.

За актуальністю, науковою новизною, практичною значимістю, важливістю отриманих результатів, обсягом і рівнем публікацій дисертація відповідає вимогам чинного положення про «Порядок присудження наукових ступенів», встановленим Кабінетом Міністрів України, а її автор Саміла Андрій Петрович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій.

Офіційний опонент

професор кафедри електронних
засобів інформаційно-комп'ютерних
технологій Національного університету
«Львівська політехніка»,
доктор технічних наук, професор

Р. Л. Голяка

Підпис професора Голяки Р. Л. завідувач
Вчений секретар Національного університету
«Львівська політехніка»
кандидат технічних наук, доцент



Р. Б. Брилинський