

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора фізико-математичних наук, професора, зав. кафедри прикладної електродинаміки Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Горобця М.М. на дисертацію **ВАСИЛЬЄВА Олександра Сергійовича «Особливості формування та обробки сигналів автодинного відгуку в задачах ближньої радіолокації»**, представлену на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 радіофізика

Актуальність теми дисертаційної роботи

У дисертаційній роботі Васильєва А.С. вирішуються важливі як для розвитку теорії автодинних генераторів, так і для їх практичного застосування в системах **ближньої радіолокації** завдання дослідження **особливостей формування та обробки сигналів автодинних радіолокаторів міліметрового діапазону з різними законами лінійної частотної модуляції**.

Відомо, що застосування лінійної частотної модуляції (ЛЧМ) в радіолокаторах дозволяє вимірювати дальність до нерухомих і рухомих об'єктів і швидкість їх переміщення. Однак застосування цих методів модуляції в автодинних системах наштовхується на ряд обмежень, пов'язаних зі складністю аналізу процесів, що виникають в автогенераторах при одночасному впливі на генератор власного відбитого об'єктом локації затриманого у часі випромінювання і зміні внутрішніх параметрів генератора, обумовлених процесом ЛЧМ. Це вимагає як теоретичного аналізу, так і проведення експериментальних досліджень таких процесів.

Таким чином, розробка математичної моделі для проведення досліджень автодинних ефектів в автогенераторах з частотною модуляцією (ЧМ), а також вирішення завдань, пов'язаних з формуванням і обробкою ЛЧМ сигналів в автодинних приймально-передавальних пристроях з електронним перестроюванням частоти є актуальним завданням, а результати таких досліджень безумовно затребувані для створення радіолокаційних датчиків і вимірників, які характеризуються поліпшеними параметрами і характеристиками.

Мета досліджень

Мета досліджень дисертації полягає у виконанні теоретичних і експериментальних досліджень особливостей формування сигналних і флюктуаційних характеристик керованих по частоті автодинних генераторів, та розробці вдосконалених методів формування і обробки сигналів автодинів, необхідних для створення перспективних систем ближньої радіолокації (СБРЛ) з ЛЧМ на напівпровідникових приладах мм-діапазону.

Наукова новизна отриманих результатів

За результатами проведеної роботи здобувачем отримані наступні результати, що мають наукову новизну:

По-перше, встановлено особливості формування сигнальних характеристик автодинного генератора з частотною модуляцією за пилкоподібним законом із симетричною формою, за гармонійним законом, а також при формуванні модулюючої функції за допомогою цифрового синтезатора для різних значень параметрів автодинної системи, з використанням розробленої математичної моделі та експериментальних досліджень.

По-друге, розроблено та апробовано математичну модель автодинного генератора мм-діапазону на основі діода Ганна з варакторним перестроюванням частоти. Також в роботі проведено моделювання та дослідження формування та обробки сигналів автодинного відгуку від стаціонарних та рухомих об'єктів з різними видами лінійної частотної модуляції.

По-третє, здобувачем вперше розроблена методика корекції нелінійності перестроювальної характеристики автодинного генератора на діоді Ганна за допомогою цифрового синтезу модулюючого сигналу. Такий метод дозволяє значно підвищити роздільну здатність автодинного радіолокатора.

По-четверте, вперше розроблено метод підвищення енергетичного потенціалу автодинного радіолокатора за рахунок ефективного придушення паразитної амплітудної модуляції за допомогою цифрової фільтрації сигналу автодинного відгуку (сигналу проміжної частоти).

По-п'яте встановлено, що для автодинних генераторів (АГ) з ЧМ за пилкоподібним несиметричним законом існує «зональний характер» поділу області зондування по дальності (від значень величини нормованого радіуса), при цьому показано, що для відбивачів, розташованих в межах кожної із зон, сигнальні характеристики автодина мають квазігармонійний вигляд.

Вважаю, що елементи наукової новизни сформульовані коректно, їх кількість і кваліфікаційні ознаки відповідають нормативним вимогам.

Обґрунтованість і достовірність отриманих у роботі результатів

Здобувачем при виконанні дисертації використані сучасні теоретичні та експериментальні методи радіофізичних досліджень. При моделюванні режимів роботи автодинного генератора, були використані методи еквівалентних електричних схем, теорії нелінійних коливань, аналітичного та чисельного рішення диференціальних рівнянь. Прикладні завдання вирішувалися з використанням методів теорії синтезу і обробки ЛЧМ сигналів в радіолокації.

Видання, включені в список використаної літератури, перш за все зарубіжної, свідчать про обґрунтованість опрацювання проблеми та високий рівень наукової підготовки автора, його наукову зрілість.

Оцінка змісту і завершеності дисертації

У вступі чітко обґрунтована актуальність задачі, науково коректно сформульовані мета, яка корелює з темою і завданнями досліджень, визначено об'єкт, предмет і методи досліджень, взаємозв'язок проведених досліджень з науковими

програмами, планами і темами, наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, а також особистий внесок здобувача, дані про апробацію та публікації результатів дисертаційної роботи.

У першому розділі дисертаційної роботи виконано огляд робіт, присвячених дослідженням і застосуванням автодинів у системах ближньої радіолокації. Проведено аналіз методів формування зондувальних сигналів в автодинах з імпульсною і частотною модуляцією для вирішення завдань виявлення відбиваючих об'єктів, а також вимірювання дальності і швидкості руху об'єктів. Визначено проблеми, що обмежують як технічні характеристики, так і функціональні можливості автодинних СБРЛ з ЧМ. Показано, що для успішного використання ЧМ в СБРЛ потрібно розробити більш ефективні методи зниження рівня паразитної амплітудної модуляції (ПАМ) і забезпечити необхідну лінійність закону ЧМ в широкій смузі перестроювання частоти. Показано, що в зв'язку з тим, що в автодинних системах цифрові методи формування та спектральної обробки ЧМ сигналів поки що не знайшли широкого застосування, потрібне подальше вдосконалення як самих методів формування і спектральної обробки сигналів, так і застосування сучасних цифрових пристроїв для їх реалізації. Проведена експериментальна перевірка запропонованих алгоритмів та методик.

У розділі 2 «Моделювання режимів роботи автодина з лінійно-частотною модуляцією» побудована фізико-математична модель автодинного генератора з варакторним перестроюванням частоти і проведено моделювання режимів роботи автодина з частотною модуляцією. Проведено чисельне моделювання сигналу автодинного відгуку при різних дальностях до об'єкта і при різних діапазонах перестроювання частоти генератора. При цьому враховувався нелінійний характер залежності частоти генератора від напруги на варакторі. В результаті проведеного дослідження з'ясовано, що вплив нелінійності на сигнал автодинного відгуку проявляється в розширенні його спектра. Також в результаті математичного моделювання встановлено, що залежність зміни ширини спектра від відстані до об'єкта носить лінійний характер.

У третьому розділі «Дослідження сигналу автодинного відгуку при різних видах ЧМ і особливості застосування автодинів у системах ближньої радіолокації» розглянуті особливості сигнальних характеристик автодина (СХА) в генераторах з ЧМ за пилкоподібним законом із симетричною формою, за гармонійним законом, а також при формуванні модулюючої функції за допомогою цифрового синтезатора. Вказана специфіка застосування автодинних генераторів для вирішення завдань ближньої радіолокації.

У розділі також проведено аналіз зв'язку енергетичного потенціалу РЛС з дальністю дії РЛС і відношенням потужності сигналу до потужності шумів в смузі частот ПЧ. Запропоновано спосіб підвищення енергетичного потенціалу автодинного генератора з ЛЧМ, а також спосіб приведення рівня корисного сигналу до динамічного діапазону АЦП.

У четвертому розділі «Структурні схеми, принцип роботи і випробування експериментальних зразків автодинних радіолокаторів з ЛЧМ міліметрового діапазону» описані експериментальний зразок автодинного радіолокаційного датчика безперервної дії з лінійною частотною модуляцією і оглядовий автодинний радіолокатор 8-мм діапазону. Радіолокаційний датчик, розроблений у дисертаційній роботі, дозволяє вимірювати дальність і швидкість руху спостережуваних об'єктів.

У розділі описана загальна структурна і функціональна схема розробленого експериментального зразка автодинного радіолокаційного датчика безперервної дії з лінійною частотною модуляцією. Обґрунтовано вибір системи детектування сигналу автодинного відгуку та описані технологічні аспекти виготовлення експериментального зразка датчика. Наведено результати випробувань датчика на об'єктах діючої залізничної інфраструктури в режимі контролю зайнятості ділянки і режимі контролю швидкості потягів. Показана можливість застосування радіолокаційного датчика у складі системи залізничної автоматики.

Завершується робота досить розгорнутими висновками, які впливають із змісту роботи, є логічними, і відображають основні результати дисертаційної роботи.

Виходячи з аналізу основної частини дисертації, можемо зробити висновок, що мета дисертаційної роботи в ході виконання дослідження була досягнута, а дисертація є завершеною науковою кваліфікаційною роботою.

Наукова і практична цінність отриманих результатів

Здобувачем розроблено та апробовано математичну модель напівпровідникового автодинного генератора з варакторним перестроюванням частоти мм-діапазону. Модель заснована на системі укорочених лінеаризованих диференціальних рівнянь з загаяним аргументом. Проведено моделювання сигнальних характеристик автодина і вивчені особливості формування основних і вищих гармонік сигналу автодинного відгуку для стаціонарних та рухомих об'єктів при наявності нелінійного характеру залежності частоти автодинного генератора від напруги на варакторі.

Здобувачем розроблено схему коригування напруги сигналу модуляції на варакторі і розроблена методика підвищення енергетичного потенціалу приймально-передавального пристрою (ППП) радіолокаційної системи шляхом цифрової обробки сигналу. Зазначені методики покращують характеристики напівпровідникових автодинних генераторів мм-діапазону.

Здобувачем у співавторстві розроблені експериментальні та лабораторні зразки радіолокаційного датчика і оглядового автодинного радіолокатора 8-мм діапазону з лінійною частотною модуляцією, функціональність і характеристики якого перевищують відомі аналоги.

Дисертаційну роботу можна визначити як закінчене наукове дослідження. Нові фізичні результати були отримані на основі математично обґрунтованих методів та алгоритмів. Аналіз і фізичне трактування цих результатів не викликає ніяких сумнівів в їх достовірності, науковій та практичній значущості.

Публікації та особистий внесок здобувача

Основні результати дисертації викладені здобувачем у 13 роботах, серед яких 9 статей у наукових виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз (Index Copernicus, Scopus, Google Scholar), 3 тези доповідей у збірниках матеріалів наукових конференцій і симпозіумів, і 1 стаття, що додатково відображає результати дисертації.

Кількість публікацій, обсяг, якість, повнота висвітлення результатів і розкриття змісту дисертації відповідає вимогам ДАК України і «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника». Зазначені публікації повною мірою висвітлюють основні наукові положення дисертації.

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації

Ознайомлення з текстом автореферату дисертації дає підставу стверджувати, що за структурою і змістом він відповідає вимогам, що пред'являються МОН України. У тексті автореферату відображені основні положення, зміст, результати та висновки проведеного О.С. Васильєвим дисертаційного дослідження. Вважаю, що зміст автореферату і основні положення дисертації ідентичні.

Загальний висновок

Тема дисертації, її зміст та отримані результати в повній мірі відповідають спеціальності 01.04.03 – радіофізика і профілю спеціалізованої вченої ради Д 64.157.01. Опонент позитивно оцінює дисертаційну роботу О.С. Васильєва і рекомендує її до захисту в спеціалізованій вченій раді Д 64.157.01 Інституту радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика.

Що стосується зауважень по роботі, хотів би зазначити наступне.

1. У формулі 2.6 на стор. 44 вказані диференціальні параметри активного елемента генератора. З тексту дисертації не зовсім зрозуміло, чи були ці параметри одержані експериментально або розраховані теоретично. Вважаю, що було б доречним описати в дисертації схему вимірювання або розрахунку даних параметрів.
2. У тексті дисертації згадується нелінійність перестроювальної характеристики. Характер нелінійності залежить від ряду факторів, зокрема від поточної температури автогенератора. Наявність даної температурної залежності і методи боротьби з нею не знайшли в дисертації достатнього відображення.
3. Не до кінця проведена експериментальна перевірка впливу виду перестроювальних характеристик (лінійна і нелінійна характеристики) на роздільну здатність радіолокаційного датчика. Необхідно уточнити вплив величини нелінійності на роздільну здатність.

4. Робота не позбавлена дрібних неточностей. Так, рис. 1.1-1.3, 2.11, 2.12, 3.1 - 3.5 містять дрібні, такі що погано читаються підрисункові надписи. На рис. 2.1 радіокомпоненти зображені не за стандартами.
5. Ускладнює читання дисертації зайва перевантаженість формулами. Зокрема, при моделюванні сигналу автодинного відгуку з урахуванням шумів джерела живлення і внутрішніх шумів генератора математичне виведення оцінки впливу шумів на спектральні характеристики сигналу відгуку (розділ 2.8 дисертації) з моєї точки зору, можна було оформити у вигляді додатку.
6. Читання дисертації дещо ускладнює велика кількість скорочень.

Вищенаведені зауваження ні в якому разі не знижують наукової та практичної цінності дисертаційної роботи. Дисертація відповідає вимогам п. 11 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 до кандидатських дисертацій. Зміст автореферату відповідає змісту дисертації, а її тема відповідає спеціальності 01.04.03 – радіофізика. Васильєв О.С. безумовно заслуговує присудження йому ступеня кандидата фізико-математичних наук.

Офіційний опонент:

Завідувач кафедри прикладної електродинаміки

Харківського національного університету
імені В. Н. Каразіна,

доктор фізико-математичних наук, професор  М.М. Горобець
«10» квітня 2018 г.

Підпис Миколи Миколайовича Горобця засвідчую

Учений секретар

Харківського національного університету
імені В.Н. Каразіна

кандидат політичних наук, доцент

«10» квітня 2018 г.



 Н.А. Вінникова