

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора,

професора кафедри кібербезпеки та захисту інформації

Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Наконечного Володимира Сергійовича

на дисертаційну роботу Грицева Ярослава Васильовича

на тему «Метод підвищення ефективності функціонування НВЧ синтезатора частот для систем зв'язку з БПЛА»

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації»

за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

1. Актуальність теми дисертації

На сучасному етапі розвитку безпілотних технологій системи зв'язку з безпілотними літальними апаратами (БПЛА) вимагають безперервного вдосконалення апаратної бази. У практиці експлуатації сучасних безпілотних авіаційних комплексів надвисокочастотні (НВЧ) синтезатори частот функціонують як критично важливий елемент радіопередавальних трактів. Від характеристик синтезаторів частот безпосередньо залежать заводозахищеність, швидкість переналаштування каналів зв'язку, адаптивність до умов складного заводового середовища та загальна стійкість системи керування й передачі даних.

Особливої важливості це набуває в умовах динамічної зміни радіоелектронної обстановки, де затримки у перемиканні частот, високий рівень фазових шумів або недостатня спектральна чистота сигналу впливають на надійність каналів зв'язку та ефективність виконання польотних завдань. У таких умовах класичні підходи до проектування НВЧ синтезаторів вже не повною мірою відповідають потребам сучасного радіозв'язку.

Дисертаційна робота Грицева Ярослава Васильовича присвячена актуальному науково-прикладному завданню підвищення ефективності функціонування НВЧ синтезаторів частот для систем зв'язку з БПЛА на основі інтеграції наявних методів формування сигналів з метою зниження рівня фазових шумів та покращення спектральних характеристик.

Отже, тема дисертації є безумовно актуальною, відповідає сучасним тенденціям розвитку радіоелектронних систем, телекомунікаційних мереж та безпілотних комплексів, а також має вагомe теоретичне і практичне значення.

2. Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Наукові результати, представлені у дисертаційній роботі Грицева Ярослава Васильовича, є логічно структурованими, комплексно обґрунтованими та такими, що відповідають поставленій меті дослідження. Автором проведено послідовний аналіз сучасних методів побудови синтезаторів частоти, виявлено основні обмеження традиційних підходів, а також запропоновано комплексне рішення, орієнтоване на підвищення результативності функціонування синтезаторів частот НВЧ діапазону.

Достовірність отриманих результатів забезпечується використанням методів математичного моделювання, методів проєктування виробів та експериментальних вимірювань. Отримані результати підкріплено кількісними оцінками, що дозволяє вважати наведені висновки аргументованими та практично значущими.

Важливою рисою роботи є те, що автор розглядає проблему побудови НВЧ синтезаторів частот не тільки з теоретичної точки зору, але і переходить до практичної реалізації шляхом виготовлення та дослідження експериментального зразку, використовуючи розроблений у даній роботі інтегрований метод побудови. Саме такий підхід і підвищує прикладну цінність проведеного дослідження.

3. Наукова новизна одержаних результатів

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в одержанні результатів, що розвивають підходи до побудови та оптимізації сучасних НВЧ синтезаторів частот. Найбільш суттєвими з них є такі:

1. Уперше запропоновано метод побудови НВЧ синтезатора частоти для Х-діапазону на основі комбінованого використання системи фазового автопідстроювання частоти, прямого цифрового синтезу та генератора з діелектричним резонатором, що, на відміну від існуючих підходів, дозволяє одночасно забезпечити низький рівень фазового шуму, дрібну сітку перебудови частоти та широкосмуговість роботи.

2. Уперше розроблено структурну організацію синтезатора частоти з інтегрованим використанням PLL, DDS та DRO, у якій оптимізовано взаємодію між

окремими функціональними блоками, що забезпечує покращення спектральних характеристик вихідного сигналу та зниження впливу шумових складових.

3. Уперше запропоновано підхід до комплексного проектування системи формування та випромінювання сигналу, який включає розробку антенних рішень (параболічної, рупорної та мікросмужкової антен), узгоджених із характеристиками синтезатора частоти, що забезпечує підвищення ефективності функціонування радіоканалу в системах зв'язку з БПЛА.

4. Отримали подальший розвиток методи зниження фазового шуму в НВЧ синтезаторах частоти шляхом удосконалення підходів до вибору елементної бази та побудови структурних схем, що дозволяє підвищити стабільність частоти та покращити спектральну характеристику сигналу в умовах зміни зовнішніх факторів.

4. Мова та стиль викладення дисертації

Дисертаційна робота написана українською мовою з дотриманням вимог наукового стилю. Матеріал викладено послідовно, логічно та аргументовано. Автор демонструє належний рівень володіння сучасною фаховою термінологією у сфері радіотехніки, телекомунікацій, радіоелектроніки та безпілотних технологій.

Стиль викладення матеріалу роботи витримано в академічній тональності. Схеми, таблиці, та рисунки сприяють кращому розумінню основних положень роботи та результатів дослідження. Загалом мова дисертації є коректною, а форма подання матеріалу відповідає вимогам до дисертаційних досліджень.

5. Загальна структура та зміст дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Грицева Ярослава Васильовича має логічну та послідовну структуру, що забезпечує цілісне розкриття теми дослідження. Побудова роботи відповідає поставленій меті та завданням і дозволяє послідовно перейти від аналізу сучасних методів побудови НВЧ синтезаторів частот до розроблення власного підходу щодо підвищення ефективності їх функціонування шляхом зниження рівня фазового шуму та покращення спектральних характеристик сигналу.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, завдання, об'єкт, предмет і методи дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі проведено аналіз сучасних методів побудови синтезаторів частоти: методу фазового автопідстроювання частоти, методу прямого цифрового синтезу та методу генераторів з діелектричним резонатором. Особливу увагу було приділено їх перевагам та недолікам з точки зору ключових характеристик: рівня фазових шумів, ширини смуги частот, кроку сітки перенастроювання частоти та спектральна чистота вихідного сигналу.

Подальші розділи присвячено розробці методу побудови синтезатора частоти, в якому використано поєднання трьох основних методів побудови, що проаналізовані у першому розділі представленої наукової роботи. Згідно запропонованого методу було розроблено функціональну схему синтезатора частоти та обґрунтовано вибір елементів цієї схеми для забезпечення необхідних вимог до стабільного функціонування пристрою.

У третьому розділі наведено практичну реалізацію розробленого методу побудови НВЧ синтезатора частоти та результати досліджень експериментального зразку. Окрему увагу у четвертому розділі автор приділяє розробці та дослідженню антенних пристроїв, які можуть бути використані для роботи з розробленим НВЧ синтезатором частоти в системах зв'язку з БПЛА.

Загалом зміст дисертації свідчить про завершеність дослідження та належний рівень опрацювання поставленої задачі.

6. Практичне значення одержаних результатів

Практичне значення дисертаційної роботи полягає в тому, що запропонований у ній метод побудови НВЧ синтезатора частоти та розроблений пристрій може бути використані при розробці та проектуванні радіолокаційних систем та систем зв'язку з БПЛА, в яких критично важливо мати низькі рівні шумів для збільшення дальності зв'язку та точності отримання таких даних про ціль, як дальність, швидкість та кутові координати.

Загалом результати дисертації можуть бути використані для побудови прецизійного вимірювального стендового обладнання, у навчальних та дослідницьких лабораторіях для підготовки фахівців у галузі телекомунікацій та радіотехніки.

7. Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Основні результати дисертаційної роботи достатньою мірою апробовані в наукових публікаціях та доповідях на міжнародних науково-практичних

конференціях. За тематикою дисертації опубліковано праці, у яких відображено ключові результати, що стосуються підвищення ефективності функціонування НВЧ синтезаторів частот, та результати розробки і дослідження антенних пристроїв, які можуть бути використані для роботи з розробленим НВЧ синтезатором частоти в системах зв'язку з БПЛА. Це свідчить про належний рівень апробації та фахове представлення результатів дослідження. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 3 фахових наукових виданнях та 2 матеріалах міжнародних конференцій.

8. Зауваження по дисертаційній роботі

Позитивно оцінюючи дисертаційну роботу Грицева Ярослава Васильовича, доцільно висловити окремі зауваження та побажання:

1. У дисертаційному дослідженні доцільно було б більш детально розкрити методику вимірювань основних параметрів та характеристик роботи розробленого за запропонованим методом НВЧ синтезатора частот.

2. Запропонований метод побудови НВЧ синтезатора частот є змістовним і практично цінним, однак бажано було б у третьому розділі даної роботи провести порівняння основних, критично важливих характеристик розробленого синтезатора із синтезаторами, які побудовані за методами, що було розглянуто у першому розділі.

3. У другому розділі, де було наведено обґрунтування вибору елементів схеми синтезатора частот для забезпечення необхідних вимог до стабільного функціонування пристрою, доцільно було б навести зображення розроблених друкованих плат фільтрів низьких частот та смугового фільтру.

4. У третьому розділі роботи бажано було б додати результати кліматичних та вібраційних випробувань дослідного зразка НВЧ синтезатора частот, що покращило б розуміння надійності роботи запропонованого приладу.

5. Робота була б більш повна, якщо б четвертий розділ містив розрахунок або результати експериментального дослідження максимальної дальності дії системи зв'язку з БПЛА при поєднанні розробленого НВЧ синтезатора частот із розробленими антенними пристроями.

Проте, наведені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи, мають рекомендаційний характер і можуть бути враховані автором у подальших дослідженнях.

9. Висновок про дисертаційну роботу

Дисертаційна робота Грицева Ярослава Васильовича є завершеним, самостійно виконаним науковим дослідженням, у якому розв'язано актуальне науково-прикладне завдання підвищення ефективності функціонування НВЧ синтезаторів частот для систем зв'язку з БПЛА шляхом розробки комбінованого методу побудови для зменшення рівня фазового шуму і покращення спектральних характеристик вихідного сигналу. Отримані автором результати характеризуються науковою новизною, теоретичною значущістю та практичною цінністю. Робота виконана на належному науковому рівні, відповідає вимогам до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії,

Враховуючи актуальність, наукову новизну, важливість отриманих результатів, їх обґрунтованість і достовірність, а також практичну значущість сформульованих положень і висновків, можна стверджувати, що представлена дисертаційна робота повністю відповідає вимогам пунктів 6-9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 № 44 (зі змінами) та вимогам до оформлення дисертації, що затверджені наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 № 40.

Таким чином, вважаю, що здобувач Грицев Ярослав Васильович заслуговує на присудження ступеня доктор філософії в галузі знань 17 "Електроніка та телекомунікації" за спеціальністю 172 "Телекомунікації та радіотехніки".

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри
кібербезпеки та захисту інформації,
факультету інформаційних технологій,
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка

Володимир НАКОНЕЧНИЙ

Згідно з наказом В.С.
Засвідчено

ПРОРЕКТОР
НАУКОВОЇ РОБОТИ
ЖИЛІНСЬКА

