

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора, професора кафедри телекомунікацій,
медійних та інтелектуальних технологій Хмельницького національного
університету

Бойка Юлія Миколайовича на дисертаційну роботу

Грицева Ярослава Васильовича

на тему «Метод підвищення ефективності функціонування НВЧ синтезатора
частоти 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

В умовах сучасного швидкого розвитку систем радіозв'язку, радіолокаційних та навігаційних систем набуває все більшого значення застосування джерел сигналу з високою добротністю та стабільністю сигналу, які при цьому мають низький рівень фазового шуму. Критичність цього параметру спричинена забезпеченням якості визначення швидкості цілі, дальності до цілі та її кутових координат. Фазовий шум окремих складових системи може значно вплинути на завадостійкість всієї системи зв'язку через появу паразитних складових сигналу, що спричиняє появу небажаних бічних смуг.

Дисертаційне дослідження Грицева Я.В. спрямоване на розв'язання важливої науково-практичної проблеми – підвищення ефективності роботи НВЧ синтезаторів частот для комплексів зв'язку з БПЛА через комбінування сучасних методів генерації сигналів, що забезпечує мінімізацію фазових шумів та оптимізацію спектральних параметрів.

Таким чином, обраний напрям дослідження є безсумнівно своєчасним, повністю збігається з векторними орієнтирами розвитку радіоелектронної апаратури, телекомунікацій та безпілотного сектору, а також відзначається глибокою теоретичною і практичною цінністю.

2. Наукова новизна одержаних результатів

Наукова новизна дисертаційного дослідження відображена в отриманні нових положень, які розширюють наявні підходи до проектування та оптимізації сучасних НВЧ синтезаторів частот. Серед найбільш значущих результатів можна виділити такі:

1. Уперше розроблено метод побудови НВЧ синтезатора частоти, що базується на інтегрованому застосуванні кількох методів: фазового автопідстроювання, прямого цифрового синтезу та генератора з діелектричним резонатором, завдяки чому досягається поєднання низьких показників фазового шуму, високої роздільної здатності сітки частот і функціонування пристрою у широкому частотному діапазоні.

2. Уперше сформульовано концепцію комплексного проектування засобів генерації та випромінювання сигналів, яка поєднує запропонований метод побудови синтезатора частоти з антенними модулями, забезпечуючи зростання ефективності роботи радіоліній у комплексах зв'язку з БПЛА.

3. Удосконалено архітектуру синтезатора частоти зі комбінованим використанням трьох базових технологій – PLL, DDS та DRO, у якій вдосконалено алгоритми взаємодії функціональних вузлів задля підвищення спектральної чистоти вихідних коливань і мінімізації дії завадових чинників.

4. Удосконалено методики зменшення фазових шумів у надвисокочастотних синтезаторах частоти через оптимізацію критеріїв підбору компонентної бази та топології схемних рішень для окремих модулів, що підвищує

стабільність генерації та покращує параметри спектра сигналу під впливом коливань навколишнього середовища.

3. Мова та стиль викладення дисертації

Дисертаційне дослідження виконано українською мовою із чітким дотриманням норм наукового викладу. Науковий матеріал подано у логічній послідовності, взаємопов'язано та переконливо. Здобувач виявляє високу професійну компетентність у використанні сучасної спеціальної термінології в галузі радіоелектроніки, радіотехніки, безпілотних систем та телекомунікацій.

Текст дисертації загалом сприймається цілісно, а наведені таблиці та моделі сприяють кращому розумінню викладених положень. Стиль викладення відповідає вимогам до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

4. Загальна структура та зміст дисертаційної роботи

Архітектура дисертаційного дослідження відзначається логічною побудовою, що гарантує поетапне вирішення визначеної науково-практичної проблеми через її теоретичне обґрунтування, математичне моделювання та подальше впровадження результатів у практику.

У вступній частині подано вичерпний опис параметрів наукового пошуку: доведено своєчасність обраного напрямку, чітко окреслено мету й дослідницькі завдання, визначено об'єкт, предмет та методологічний апарат, а також висвітлено наукову новизну й практичну цінність дисертації.

Перший розділ присвячено детальному аналізу теоретичного підґрунтя проектування НВЧ синтезаторів частот, зокрема базовим принципам генерації ВЧ-сигналів та чинникам, які зумовлюють появу фазових шумів. Здобувач здійснює критичний аналіз сучасних підходів до побудови таких пристроїв, детально розглядаючи технологію фазового автоналаштування частоти, прямий цифровий

синтез та генератори на основі діелектричних резонаторів, із обов'язковим виокремленням їхніх позитивних і негативних сторін.

У другому розділі сформульовано чіткі критерії та вимоги до синтезатора частот щодо показників фазового шуму, кроку перебудови частотної сітки, параметрів спектра й меж робочого діапазону частот. Спираючись на ці технічні вимоги, автор створив алгоритм проектування пристрою, який базується на інтеграції трьох ключових підходів, детально розглянутих у попередньому розділі. Відповідно до запропонованої методики було сформовано структурно-функціональну схему синтезатору.

Третій розділ присвячено практичному втіленню розробленого методу створення НВЧ синтезатора частот та презентації результатів випробування його дослідного зразка. Дослідник спроектував повну принципову електричну схему обладнання на основі комбінованої архітектури, що поєднує систему фазового автоналаштування частоти, прямий цифровий синтез та генератор із діелектричним резонатором. Разом із цим було розроблено програму й методику експериментальної перевірки ключових характеристик вузла – рівня фазових шумів та динаміки перемикання частот у визначених межах. Отримані під час тестування практичні дані повністю довели дієвість запропонованого підходу.

Четвертий розділ зосереджений на проектуванні та аналізі антенних систем, адаптованих для спільної роботи зі створеним НВЧ синтезатором частот у складі комунікаційних комплексів БПЛА. Автор розробив конструктивні рішення для параболічної, рупорної та мікросмужкової антен із коловою поляризацією, а також виконав їхнє математичне моделювання та практичні випробування щодо ключових параметрів випромінювання й узгодження.

Зміст дисертаційної роботи відповідає її темі, а структура забезпечує повноту розгляду основних аспектів досліджуваної проблеми. У цілому робота справляє враження завершеного та самостійного наукового дослідження.

5. Практичне значення одержаних результатів

Практична цінність дисертаційного дослідження полягає в реальній можливості впровадження здобутих результатів для модернізації комунікаційних систем БПЛА та зростання надійності їхньої роботи під час експлуатації в реальних умовах.

Запропонований підхід до створення синтезаторів частот може знайти застосування при розробці та конструюванні радіолокаційної апаратури та засобів зв'язку, де мінімальні показники шумів є критично важливими для розширення радіусу дії та підвищення точності приймання інформації. Крім того, результати можуть використовуватися у складі прецизійних вимірювальних стендів, а також у межах навчально-дослідних лабораторій під час підготовки профільних спеціалістів у сферах радіотехніки й телекомунікацій.

Матеріали дисертації мають високий потенціал для використання як у практичній інженерній діяльності під час розробки й оновлення систем радіозв'язку, так і під час подальших теоретичних пошуків у галузі радіоелектронних та телекомунікаційних технологій.

6. Зауваження по дисертаційній роботі

Позитивно оцінюючи дисертаційну роботу Грицева Я.В., слід висловити такі зауваження та побажання:

1. В роботі не сформульовано вимог до показників надійності та безвідмовності розробленого зразка НВЧ синтезатора частоти. У підрозділі 2.1 наведено перелік електричних (робоча смуга, крок перестроювання, час перемикання, стабільність частоти) та експлуатаційних (споживана потужність, час готовності, масогабаритні показники) характеристик, проте поза увагою залишилися показники надійності та неперервності обслуговування, а саме напрацювання на

відмову, коефіцієнт готовності, допустимі діапазони робочих температур і вібростійкість. Для апаратури, що, за твердженням автора (підрозділ 3.1), може встановлюватися безпосередньо на борту БПЛА, ці вимоги є визначальними, і їх доцільно було б унормувати ще на етапі формування технічних вимог.

2. Етап оптимізації параметрів (формування петлі, фільтрація), винесений на схему алгоритму методу побудови синтезатора (рис. 2.1), не отримав належного розкриття в тексті. У підрозділі 2.2 цей етап описано лише констатацією факту застосування фільтрів нижніх частот та смугового фільтра. Водночас не наведено ані критеріїв оптимізації, ані методики розрахунку смути пропускання і порядку петльового фільтра ФАПЧ, ані обґрунтування компромісу між швидкістю петлі та рівнем фазового шуму. Оскільки саме цей етап є одним із визначальних для досягнення заявлених спектральних характеристик, його формалізований опис істотно підвищив би відтворюваність запропонованого методу.

3. Порівняння експериментального зразка з аналогами (підрозділ 3.3) виконано некоректно з методичної точки зору. Порівняння здійснюється не з конкретними зразками, а з узагальненим діапазоном “типових характеристик сучасних НВЧ синтезаторів” за джерелами [52–54], без зазначення їх типів, виробників, архітектури та умов вимірювання. Це унеможливило перевірку висновку про перевагу розробленого зразка. Крім того, наведені дані містять внутрішнє протиріччя: у підрозділі 3.3 для відстроювання 100 кГц зазначено діапазон аналогів $-105 \dots -115$ дБс/Гц, тоді як у загальних висновках (п. 5) фігурує аналог із рівнем $-84,75$ дБс/Гц, стосовно якого і обчислено покращення на 20,1 %. Доцільно було б навести порівняльну таблицю з переліком конкретних аналогів та їх паспортними даними, а покращення оцінювати в децибелах, оскільки відсоткове порівняння логарифмічних величин є некоректним.

4. Не показано кількісного зв'язку між розробленим синтезатором частоти та дослідженими антенними пристроями (розділ 4). Обидва результати подано автономно, тоді як наукова новизна (п. 4) декларує саме “комплексне проектування

системи формування та випромінювання сигналу”, узгодженої з характеристиками синтезатора. Бажано було б показати на рівні енергетичного розрахунку радіолінії, який виграш у дальності, завадостійкості чи ймовірності бітової помилки дає спільне застосування синтезатора зі зниженим рівнем фазового шуму та розроблених антен із коловою поляризацією. На користь цього зауваження свідчить і те, що робочий діапазон антенної системи заявлено як 4-10 ГГц (підрозділ 4.1), тоді як синтезатор розроблено для Х-діапазону, а експериментально досліджено в межах 8–9 ГГц, отже питання їх взаємного узгодження залишається нерозкритим.

Наведені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи, мають переважно рекомендаційний характер і можуть бути враховані автором у подальшій науковій роботі.

7. Висновок про дисертаційну роботу

Дисертаційна робота Грицева Ярослава Васильовича є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому розв’язано актуальне науково-прикладне завдання підвищення ефективності функціонування НВЧ синтезатора частоти із зниженим рівнем фазового шуму для систем зв’язку з БПЛА.

Одержані результати мають наукову новизну, теоретичне значення та практичну цінність, зокрема з позиції підвищення функціональної стійкості систем зв’язку з БПЛА. За актуальністю, обґрунтованістю, змістом і значенням отриманих результатів дисертаційна робота відповідає вимогам, що ставляться до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії, а її автор заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

Д.т.н., професор, професор кафедри
телекомунікацій, медійних та
інтелектуальних технологій

Хмельницького національного університету



Юлій БОЙКО