

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ХАОТИЧНОЇ ЧАСТОТНОЇ МОДУЛЯЦІЇ У СПІЛЬНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

У роботі розглянуто застосування хаотичної частотної модуляції в інтегрованих радіолокаційно-комунікаційних системах. Актуальність дослідження зумовлена зростаючим дефіцитом радіочастотного ресурсу та потребою у формуванні сигналів, які одночасно виконують функції радіолокаційного зондування й передачі даних. Показано, що сигнали з детермінованою хаотичною динамікою забезпечують широкую смугу, низький рівень бічних пелюсток автокореляційної функції та підвищену прихованість на тлі шумів. На основі аналізу літератури обґрунтовано доцільність побудови генераторів хаотичної частотної модуляції з використанням реактивних властивостей транзисторних структур та цифрової реалізації на FPGA як перспективного напрямку подальших досліджень.

Ключові слова: хаотична частотна модуляція; радіолокаційно-комунікаційні системи; широкосмугові сигнали; хаотичні генератори; прихованість сигналу.

Abstract

The paper considers the application of chaotic frequency modulation in integrated radar-communication systems. The relevance of the study stems from the growing scarcity of the radio frequency resource and the need to form signals that simultaneously perform the functions of radar sensing and data transmission. It is shown that signals with deterministic chaotic dynamics provide a wide bandwidth, low autocorrelation sidelobe level and increased covertness against background noise. Based on the literature analysis, the feasibility of constructing chaotic frequency modulation generators using the reactive properties of transistor structures and digital FPGA implementation is substantiated as a promising direction for further research.

Keywords: chaotic frequency modulation; radar-communication systems; wideband signals; chaotic generators; signal concealment.

Вступ

Зростання щільності бездротових пристроїв і розширення задач електромагнітного забезпечення призвели до загострення конкуренції за радіочастотний ресурс. Радіолокаційні та комунікаційні системи історично займали суміжні діапазони, а спроби їхнього спільного функціонування неминуче супроводжуються виникненням взаємних завад [1]. Це стимулює пошук рішень, у яких один сигнал водночас виконує функції зондування простору та перенесення інформації. Такі системи отримали назву спільних радіолокаційно-комунікаційних систем (англ. Radar-Communication, RadComm) і є предметом активних досліджень останнього десятиліття [2].

Класичні зондувальні сигнали, зокрема з лінійною частотною модуляцією (англ. Linear Frequency Modulation, LFM), забезпечують прийнятну роздільну здатність у радіолокації, однак мають низку обмежень при роботі в інтегрованих системах. Періодична структура LFM призводить до високих рівнів бічних пелюсток автокореляційної функції, а низька питома ентропія сигналу спрощує його ідентифікацію та постановку завад. З цих причин дедалі більший інтерес викликають сигнали з аперіодичною, шумоподібною структурою, до яких належать і сигнали з хаотичною частотною модуляцією [3].

Основна частина

Хаотичні коливання генеруються нелінійними динамічними системами і характеризуються детермінованою, проте надзвичайно складною часовою еволюцією. Їхній спектр близький за формою до спектра білого шуму, що ускладнює виявлення та класифікацію сигналу сторонніми приймачами. Водночас, на відміну від справді випадкових процесів, хаотичні сигнали залишаються відтворюваними за умови ідентичності параметрів генератора, що принципово важливо для побудови когерентних приймальних трактів [3].

При використанні хаотичної динаміки для модуляції миттєвої частоти несного коливання виникає аперіодична частотно-часова структура, для якої характерні низький рівень піків взаємкореляції та слабка передбачуваність. Це забезпечує одночасно високу роздільну здатність за дальністю та швидкістю, природну стійкість до вузькосмугових завад і підвищену прихованість сигналу для несанкціонованого спостерігача.

Практична реалізація генераторів хаотичних коливань може ґрунтуватися, як на аналогових схемах із використанням реактивних властивостей біполярних і польових транзисторних структур, так і на цифрових засобах на базі програмованих логічних інтегральних схем (FPGA). Дослідження транзисторних генераторів хаосу свідчать про можливість отримання стійких хаотичних режимів за відносно простих топологій [4]. Цифрова реалізація, своєю чергою, дозволяє точно відтворювати задану хаотичну траєкторію, оперативно змінювати параметри генератора та інтегрувати модулятор зі схемами кодування інформації.

Отже, перспективним напрямом є поєднання обох підходів - використання транзисторного блоку як джерела первинної хаотичної динаміки та FPGA-тракту для формування й керування результируючим сигналом. Така архітектура дозволяє об'єднати схемотехнічну простоту аналогових генераторів із гнучкістю цифрового керування і створює підґрунтя для побудови пристроїв формування сигналів нового покоління для спільних моностаціонарних і бістаціонарних RadComm-систем.

Висновки

Проведений аналіз підтверджує доцільність застосування хаотичної частотної модуляції у спільних радіолокаційно-комунікаційних системах. Сигнали з детермінованою хаотичною динамікою забезпечують широку смугу, низький рівень бічних пелюсток автокореляційної функції, природну стійкість до завад і підвищену прихованість, що в сукупності відповідає вимогам до сучасних інтегрованих систем зондування та зв'язку. Подальші дослідження будуть зосереджені на розробці математичних моделей генераторів хаосу з використанням реактивних властивостей транзисторних структур та їхній експериментальній перевірці на FPGA-платформі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Griffiths H., Cohen L., Watts S., Mokole E., Baker C., Wicks M., Blunt S. Radar spectrum engineering and management: Technical and regulatory issue // Proc. IEEE. – 2015. – Vol. 103, No. 1. – P. 85–102.
2. Liu F., Petropulu A., Griffiths H., Hanzo L. Joint radar and communication design: Applications, state-of-the-art, and the road ahead // IEEE Trans. Commun. – 2020. – Vol. 68, No. 6. – P. 3834–3862.
3. Stavroulakis P. Chaos Applications in Telecommunications. – Boca Raton : CRC Press, 2006. – 412 p.
4. Minati L., Frasca M., Oświęcimka P., Faes L., Drożdż S. Atypical transistor-based chaotic oscillators: Design, realization, and diversity // Chaos. – 2017. – Vol. 27, No. 7. – Art. 073113.

Якименко Олександр Анатолійович — аспірант кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: yakimenkoleksander228@gmail.com.

Науковий керівник: **Осадчук Ярослав Олександрович** — д-р техн. наук, доцент кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: osadchuk.i93@gmail.com

Yakymenko Oleksandr A. — PhD student, Department information radio electronic, technologies and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: yakimenkoleksander228@gmail.com.

Supervisor: **Osadchuk Yaroslav O.** — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department information radioelectric, technologies and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: osadchuk.i93@gmail.com