

МЕТОДИ УТВОРЕННЯ СИГНАЛУ З РОЗШИРЕННЯМ СПЕКТРУ ШЛЯХОМ ПСЕВДОВИПАДКОВОЇ ПЕРЕБУДОВИ РОБОЧОЇ ЧАСТОТИ

Цибульников Д.І.

Харківський національний університет радіоелектроніки,
кафедра інфокомунікаційної інженерії ім. В.В. Поповського,
Україна.

E-mail: dmytro.tsybulnykov@nure.ua

Abstract

Frequency-hopping spread spectrum is one of the most commonly used methods for increasing jamming immunity of radiosystems, especially military ones. Taking into account, that many of modern radiosystems based on software define radio (SDR) technology, the main purpose of this paper is to study mathematical methods of creating frequency-hopped spread spectrum signals on SDR platform, find their strong points.

Псевдовипадкова перебудова робочої частоти є одним з найпопулярніших методів підвищення завадозахищеності як від навмисних так і від ненавмисних завад. Особливу популярність цей метод має у військових системах зв'язку. Цей метод полягає у послідовній та швидкій зміні робочої частоти радіостанцій (як передавача так і приймача). Основна ціль використання ППРЧ – ускладнити виявлення сигналу, що передається та налаштування передавача радіоелектронних завад на поточну частоту, де йде передача інформації. ППРЧ. Популярність цього методу показує його широке застосування у системах зв'язку. Прикладами цього може бути сучасні радіостанції тактичного рівня керування (Harris falcon III, Aselsan 9661).

Методи утворення сигналу з розширенням спектру шляхом ППРЧ ґрунтуються на помноженні сигналу корисної інформації на сигнал з розширенням спектру. Цю операцію можливо було провести з використанням цифрових синтезаторів, контрольованих напругою частотних генераторів (VSO). Останнім часом до цього списку додалась технологія SDR – software define radio.

Зі своєю появою технологія програмно-визначеного радіо (SDR) почала впроваджуватись у сфері телекомунікацій. SDR використовується у приймально-передавальних радіочастотних частинах як окремих радіостанцій, так і в приймально-передавальних частинах мережевого обладнання, тощо. Засоби військового зв'язку також все активніше переводять на застосування технології SDR. Можливість у SDR утворювати необхідні сигнали без необхідності у фізичній наявності фізичних компонентів (синтезатори різних частот для кожної несучої частоти) дозволяє швидко та ефективно проводити розробку нових телекомунікаційних систем. Використання SDR також значно пришвидшує та спрощує процес цієї розробки. Розглянені вище радіостанції у якості основного методу підвищення завадозахищеності використовують метод псевдовипадкової перебудови робочої частоти. Відповідно, створення сигналу з розширеним сектором також відбувається з використанням SDR. Виходячи з цього, мета цього дослідження є порівняти різні методи формування радіосигналу з ППРЧ, та надати рекомендації щодо вибору математичної моделі утворення ППРЧ, при якому спектр утвореного найменше насичений артефактами, що спотворюють сигнал.

Загалом, виконання розширення спектру шляхом використання псевдовипадкової перебудови робочої частоти виконується двома послідовними операціями:

- це проведення модуляції інформаційного сигналу.

- безпосередньо модуляція отриманого промодельованого інформаційного сигналу частотою, у відповідності з алгоритмом перебудови робочих частот ППРЧ.

Математично це можливо представити наступним чином (для випадку частотної маніпуляції):

$$S(t) = (A_n * \sin(2 * \pi i * f_m + \varphi_m)) * (A_{fhss} * \sin(2 * \pi i * f_{fhss} + \varphi_i)),$$

де:

A_n та A_{fhss} – рівні амплітуди інформаційного сигналу та сигналу розширення спектру (ППРЧ);

f_m – частота модуляції, що відповідає логічному 0 чи 1;

f_{fhss} – частота і-го стрибка ППРЧ;

φ_n та φ_{fhss} – поточні фази інформаційного сигналу та сигналу розширення спектру.

Іншим варіантом утворення сигналу з ППРЧ є проведення одночасної модуляції інформаційного сигналу з використанням частоти і-го стрибка ППРЧ. При його використанні до частоти частотного елементу модуляції додається частота і-го стрибка ППРЧ

$$S(t) = (A_n * \sin(2 * \pi i * (f_m + f_{fhss}) + \varphi_m)).$$

У якості основного засобу математичного моделювання і дослідження складних систем використовується середовище імітаційного моделювання MATLAB Simulink. Саме на цій платформі будуть перевірятись описані методи утворення радіосигналу з розширенням спектру шляхом використання ППРЧ. Моделювання проводилось для сигналу 2-х позиційної частотної маніпуляції з частотами логічного нуля – 800 Гц. та логічної одиниці – 1200 Гц. відповідно. Для псевдовипадкової перебудови використовуються 4 частоти, починаючи з 10 кГц з кроком 10 кГц. 10, 20, 30 та 40 кГц відповідно.

Початковий інформаційний сигнал з частотною маніпуляцією має вид:

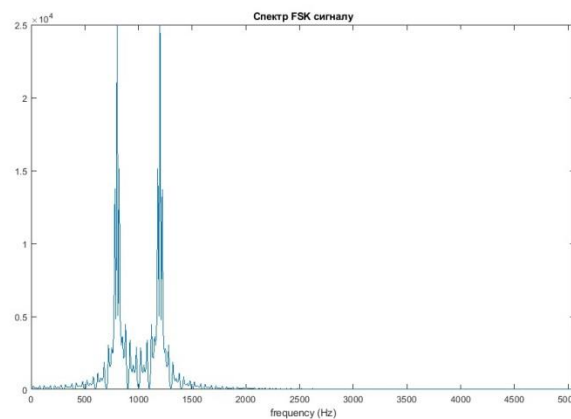


Рис.1. Спектр інформаційного сигналу з ЧМ

Спектр, утвореного безпосередньою модуляцією сигналу з ППРЧ наведено нижче має наступний вид:

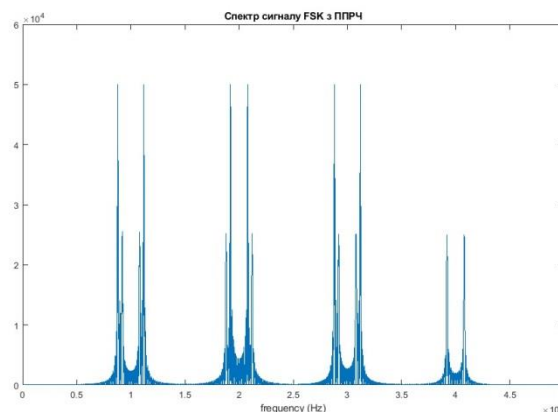


Рис. 2. Спектр сигналу ППРЧ, утвореного по методу 1

На спектрограмі чітко видно, що утворений сигнал підвергся перемодуляції, центральна частота кожного хопу дорівнює його заданій частоті (10...40 кГц). Піки, що відповідають частотам логічних нуля та одиниці відхилені від центральної частоти на 800 та 1200 Гц відповідно.

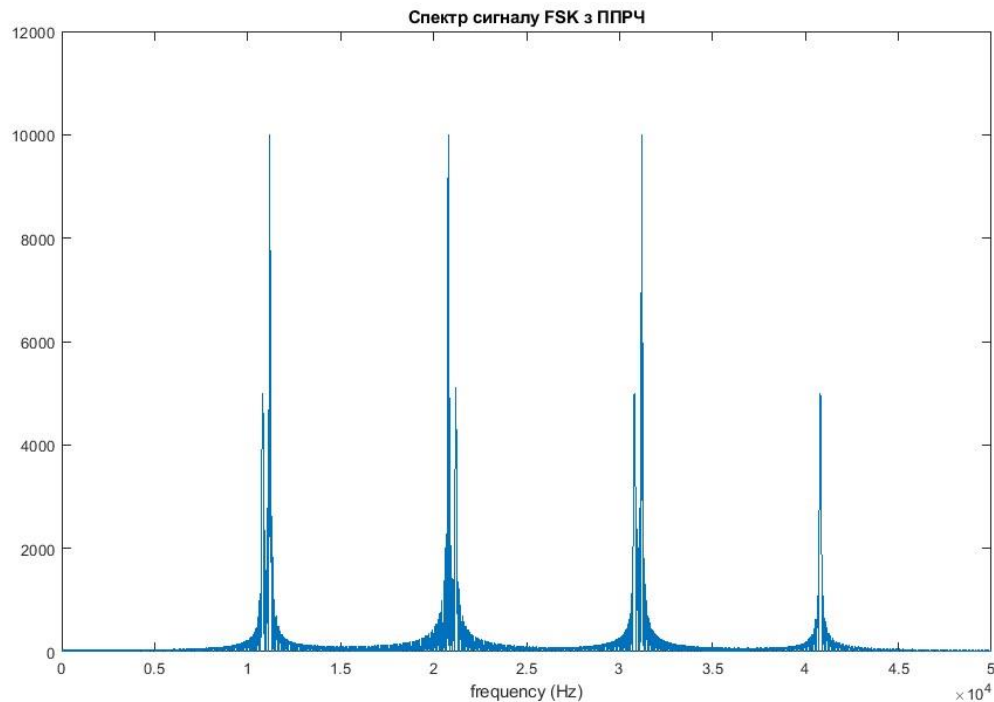


Рис. 3. Спектр сигналу ППРЧ, утвореного по методу 2

Спектр утвореного сигналу більш чіткий, на ньому можливо виділити окремо сигнали, що відповідають передачі логічного нуля та одиниці, перемодуляція не відбувається.

Отже, отримані графіки спектрів сигналу показують, що утворений по 2 методу сигнал є набагато більш виразнішим, логічні 0 та 1 частотної маніпуляції чітко вині в спектрі. Спектр, що займає 1 хоп дорівнює спектру сигналу частотної маніпуляції, що знамо менше, ніж у 1 методі. Відповідно, даний метод утворення сигналу з ППРЧ призводить до набагато меншого спотворення вихідного інформаційного сигналу, що особливо критично при використанні складних видів модуляції корисного сигналу

Література

1. Don Torrieri, Frequency-Hopping Communication Systems, Adelphi MD 20783-1197 Army Research Laboratory 2003
2. Bezruk V., Rapin V. Osnovy kompyuternogo modelyvanna ta proectuvanna zasoby telekomunikaciju ta radiotechniki [Basics of computer modeling and design of telecommunications and radio equipment], Kharkiv National University of Radioelectronics, 2024. DOI: <https://doi.org/10.30837/978-966-659-361-3>
3. Mr. Ravi Badiger, Dr. M. Nagaraja, Dr. M. Z Kurian, Prof. Imran Rasheed. Analysis, Design and Testing of Frequency Hopping Spread Spectrum Transceiver Model Using MATLAB – Simulin. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering (An ISO 3297: 2007 Certified Organization) Vol. 3, Issue 2, February 2014.
4. Ravi Badiger, M Nagaraja, M Z Kurian. Design and Development of Frequency Hopping Spread Spectrum Transmitter. International Journal of Electrical, Electronics and Computer Systems (IJECS)