

ЕЛЕКТРОНІКА, РАДІОТЕХНІКА ТА ЗАСОБИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

УДК 621.396.43

Т.М. Наритник

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПЕРЕДАЧІ СИГНАЛУ COFDM РАДІОРЕЛЕЙНОЮ ЛІНІЄЮ

We demonstrate the results of theoretical and experimental research at the transmission of the COFDM signal on a radio-relay line with the use of the “Evrka equipment” in the range of frequencies 12,75–13,25 GHz. We also study the influence of nonlinear distortions in a passing block on the spectrum of outgoing signal at the change of the entrance power level. We elaborate the chart of conducting the measuring of nonlinear channel distortions of transmission of the radio-relay station. We evaluate the threshold sensitiveness of receiving highway and calculate the communication distance of radio-relay line. The comparative analysis of communication distance and data radio-relay lines rate with the use of the QPSK and COFDM modulation is done. We show that due to higher power and spectral descriptions the radio-relay line with the use of COFDM at other identical terms has more than twice a higher data rate and in two or four times longer range of communication in comparison with a radio-relay line with the use of QPSK modulation.

Вступ

Технічною базою сучасного інформаційного суспільства є телекомунікації, які покликані забезпечувати надійну та якісну передачу і прийом різного виду інформації (голос, дані, текст, факсиміле, відео й мультимедіа) по радіо, проводовими або іншими електромагнітними системами. Серед цих систем значне місце займають радіорелейні системи передачі, що працюють у мікрохвильовому діапазоні частот (300 МГц–300 ГГц), які в багатьох відношеннях стали основою еволюційного прогресу у сфері телекомунікацій, де відбуваються корінні зміни в масштабах і видах застосування новітніх радіотехнологій. Нині продовжуються роботи з підвищення ефективності радіорелейних систем передачі, одним із перспективних напрямів яких є використання новітніх способів модуляції [1–3]. Види модуляцій для радіорелейних систем передачі відбираються за такими критеріями: стійкість до багатопробеневого розповсюдження, здатність боротися з навмисними перешкодами та міжсимвольною інтерференцією при забезпеченні необхідної дальності зв'язку і простоти реалізації, виконання вимог до лінійності підсилювачів потужності передавальних пристроїв тощо. Гідне місце серед сучасних модуляцій займає багатоканальна комбінована амплітудно-фазова модуляція COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing), яка вже добре себе зарекомендувала в системах наземного ефірного телемовлення DVB-T, DVB-T2 та широкосмугових безпроводових мережах, що працюють за стандартами IEEE 802.11 та IEEE 802.16 [4]. Її перевагою є, перш за все, висока стійкість до завмирань, що виникають унаслідок багатопробеневого загасання радіохвиль,

особливо дециметрової і довгохвильової частини сантиметрового діапазону.

У статті наведено результати досліджень, що стосуються можливості передачі сигналу COFDM радіорелейною лінією з використанням обладнання радіорелейної станції “Еврика” (РРС “Еврика”), яка добре зарекомендувала себе при експлуатації на радіорелейних лініях під час передачі програм телебачення і цифрових потоків даних із трафіком E1-E3 [1].

Постановка задачі

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

- розробити цифровий модулятор DVB-T та протестувати його;
- дослідити вплив нелінійних спотворень у передавальному блоці на спектр вихідного сигналу при зміні рівня вхідної потужності;
- розробити схему проведення вимірювання нелінійних спотворень каналу передавання радіорелейної станції;
- оцінити порогову чутливість приймального тракту та розрахувати дальність зв'язку радіорелейної лінії;
- зробити порівняльний аналіз дальності зв'язку та швидкості передачі даних радіорелейних ліній з використанням модуляції QPSK та COFDM.

Схеми вимірювань і результати досліджень приймально-передавальних каналів радіорелейної лінії

Як цифровий модулятор DVB-T для експерименту була використана плата модулятора DTA-115 на несучій частоті 70 МГц у режимі

роботи 8к із захисним інтервалом 1/32 і видом модуляції 64QAM при FEC 7/8: нерівномірність амплітудно-частотної характеристики в межах 0,5 дБ, MER > 36 дБ, NMAR = 17 дБ, SNR > 36 дБ, BER до декодера Вітербі $\leq 6 \cdot 10^{-6}$ і після декодера Вітербі $< 10^{-8}$. Вимірювання (тестування) модулятора проводилися за допомогою вимірювача моделі ST-2 "Rover" й аналізатора спектра С4-60.

Далі досліджували вплив нелінійних спотворень у передавальному блоці (режим роботи – цифровий, тобто при відсутності на вході тракту проміжної частоти (ПЧ) підсилювача-обмежувача) на спектр вихідного сигналу при зміні рівня вхідної потужності в режимах безперервної несучої і роботи з модулятором DVB-T. При цьому як генератор стандартних сигналів використовувався високочастотний генератор ГЧ-107. Встановлено, що прийнятна для передачі сигналу DVB-T величина вихідної потужності перебуває в межах від 38 до 63 мВт при коефіцієнті посилення передавального блока рівному $38 \pm 0,5$ дБ. Результати вимірювань вихідної потужності та коефіцієнта посилення передавального блока від рівня вихідної потужності в режимах роботи безперервної несучої і модуляції COFDM на частоті 70 МГц практично тотожні (в межах похибки вимірювань $\pm 0,5$ дБ).

З метою приведення одержаних даних до рівня інтермодуляційних спотворень 3-го порядку (ІМ3) було проведено експеримент із використанням методу двох генераторів (рис. 1).

Результати вимірювань подано на рис. 2.

Як видно з наведеної залежності рівня інтермодуляційних спотворень ІМ3 від рівня вхідної потужності, прийнятна величина інтермодуляційних спотворень ІМ3 ~ 37 дБ відповідає рівню вхідної потужності $P_{вх} \leq -19,5$ дБмВт ($\leq 11,2$ мкВт).

На завершальному етапі проводилися вимірювання нелінійності всього каналу передачі РРС "Еврика" згідно із наведеною на рис. 3 структурною схемою.

Сигнал з модулятора DVB-T з рівнем $-20,5$ дБмВт подавався на вхід передавального блока і з його виходу через атенюатор ДЗ-34 – на вхід малопотужного супутникового конвертора з коефіцієнтом посилення $\cong 55$ дБ, використовуваного як приймальний блок у модифікації РРС "Еврика-С". За допомогою атенюатора встановлювався рівень вхідного сигналу конвертора -65 – -60 дБмВт, відповідний його лінійному режиму роботи.

Встановлено, що супутниковий конвертор за параметром нелінійності спотворень задовольняє вимоги для передачі сигналу модуляції COFDM. Динамічний діапазон каналу передачі становить 25 дБ. При цьому мінімальний рівень сигналу на вході конвертора дорівнював -75 дБмВт (обмеження знизу зумовлене тепловими шумами конвертора), а максимальний рівень сигналу – -50 дБмВт (обмеження зверху пояснюється нелінійними шумами конвертора).

Для телекомунікаційних каналів фіксованого зв'язку завдовжки 2500 км, таких як ра-

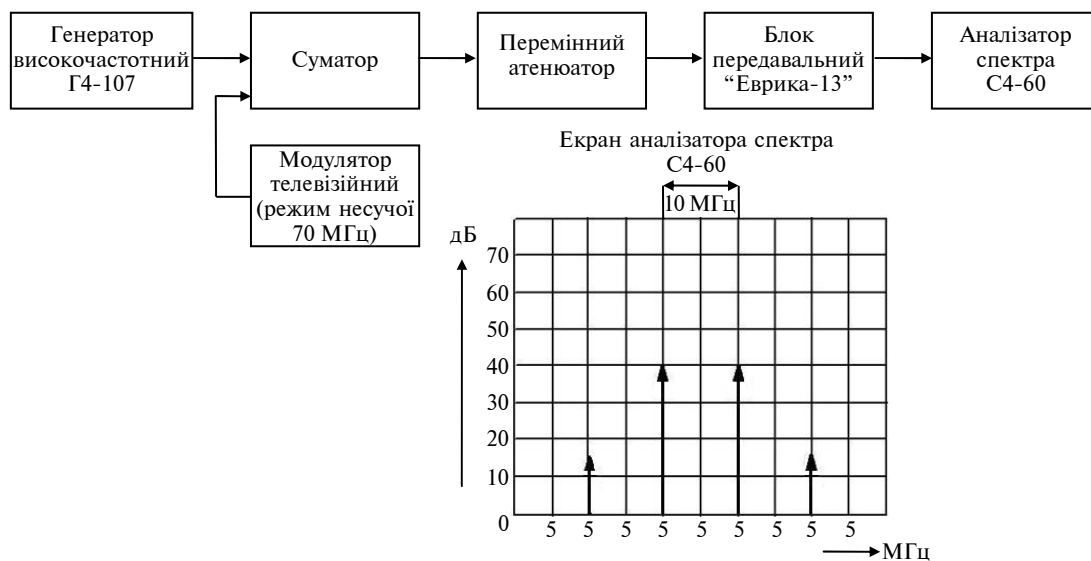


Рис. 1. Структурна схема вимірювань продуктів третього порядку передавального блока РРС "Еврика"

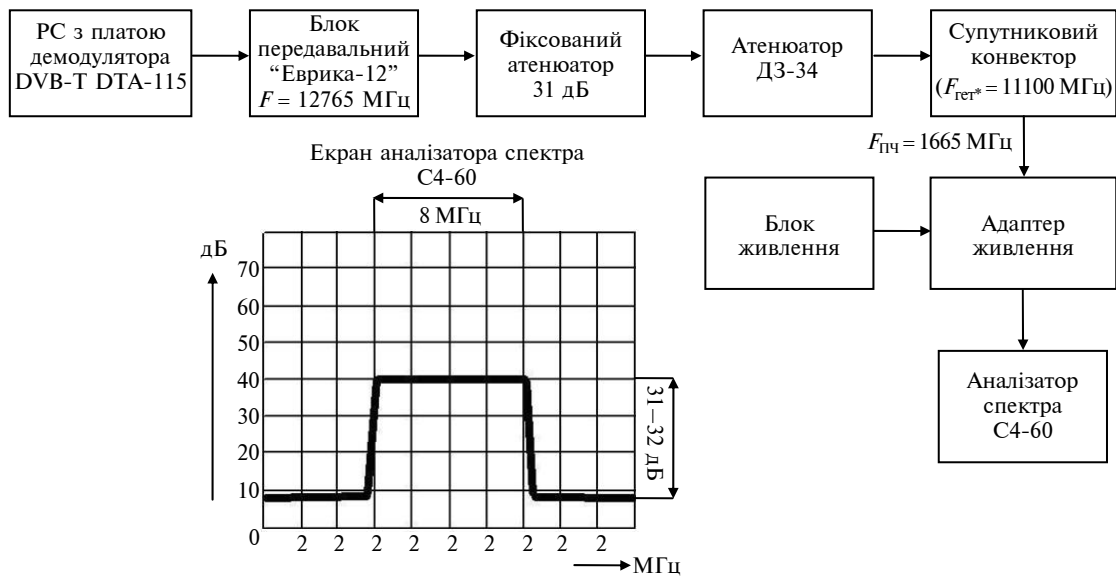


Рис. 2. Структурна схема вимірювань нелінійних спотворень каналу передачі РРС “Еврика”

* Частота гетеродина

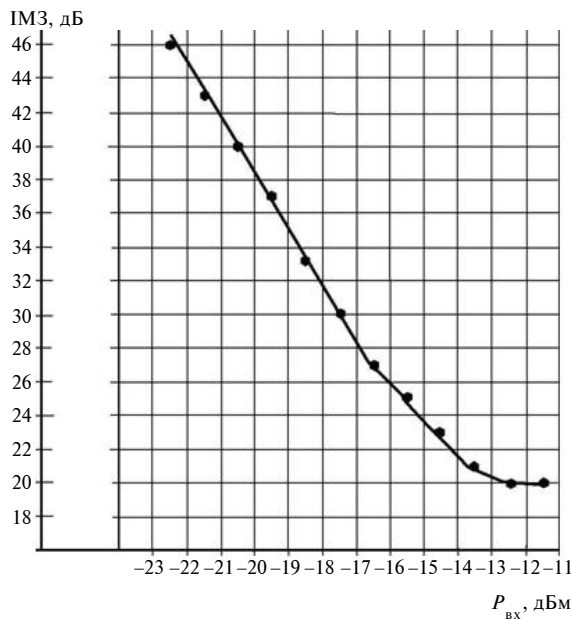


Рис. 3. Результати вимірювань ІМЗ передавального блока методом двох генераторів

діорелейні лінії (РПЛ) зв’язку, величина ймовірності бітових помилок BER не має перевищувати 10^{-6} – 10^{-7} протягом не менше 80 % часу будь-якого місяця. Для модуляції 64QAM із врахуванням корекції помилок FEC = 7/8 при рівні $BER \leq 10^{-6}$ для кожної піднесучої COFDM сигналу необхідно забезпечити відношення сигнал/шум на вході приймача рівним 25,4 дБ.

Пороговий рівень чутливості R_x приймача для системи COFDM для модуляції 64QAM 7/8 в умовах каналу Райса визначається як

$$R_x = P_{ш} + \left(\frac{c}{ш} \right)_{64QAM\ 7/8} + \Delta,$$

де $P_{ш} = k(K_{ш} - 1)T_0 \Delta F$ – вхідна ефективна шумова потужність; ΔF – ефективна ширина спектра групового COFDM сигналу; k – стала Больцмана; $T_0 = 293$ К – стандартна термодинамічна температура; $K_{ш}$ – стандартний коефіцієнт шуму; $\left(\frac{c}{ш} \right) = 27,9$ дБ – необхідний рівень шуму в умовах каналу Райса; Δ – втрати реалізації (енергетичні втрати, які враховують неідеальність каналу передачі).

Для величини $\Delta = 5$ дБ, $K_{ш} = 3$ дБ і ширини спектра $\Delta F = 28$ МГц одержимо $R_x = -94,4$ дБВт.

Для розрахунку дальності зв’язку використовуємо рівняння бюджету каналу зв’язку Link Budget (LB), яке зв’язує рівні потужності на вході приймача $P_{свх}$ з вихідною потужністю передавача $P_{вих}$, що перебувають на відстані R один від одного:

$$P_{свх} = P_{вих} + G_{ПРМ} + G_{ПРД} - L_0, \text{ дБт},$$

де $G_{ПРМ}$, $G_{ПРД} = 32$ дБ – коефіцієнти підсилення антен приймача та передавача відповідно;

$L_0 = 20 \lg \frac{4\pi R}{\lambda}$ – втрати у вільному просторі на шляху розповсюдження радіохвиль на відстані $R_{\text{км}}$, дБ.

У реальних системах внаслідок завмирання сигналу через багатопроменевість розповсюдження радіохвиль зазвичай ставлять вимогу, щоб рівень сигналу $P_{\text{свх}}$ підвищував його рівень чутливості на деяку величину, яку називають запасом на завмирання.

У РРЛ з модуляцією 64QAM 7/8 сигналу COFDM достатньо запасу рівного 1 дБ, на відміну від РРС із частотною модуляцією і QPSK-модуляцією, де величина запасу на завмирання може досягати 35–38 дБ. Звідси знаходимо, що втрати не мають перевищувати 146,4 дБ, тобто дальність зв'язку в діапазоні частот 12,75–13,25 ГГц знаходиться в межах 40 км.

Цікавим є порівняльний аналіз дальності–швидкості передачі цієї РРЛ з РРЛ без використання COFDM. Як відомо, системи з однією несучою для стійкої роботи вимагають дуже високого значення запасу на завмирання. Наприклад, для будь-яких РРЛ з модуляцією QPSK теоретично достатньо відношення сигнал/шум до 10 дБ. Разом з тим, із врахуванням запасу на завмирання (fade margin) 35–38 дБ, необхідне відношення сигнал/шум становить 45–48 дБ. У результаті РРЛ без використання COFDM мають менші значення LB на величину 10,1–13,1 дБ, що призводить до нижчих значень дальності (до 10–15 км). Фактично, там, де РРЛ 13 ГГц з використанням модуляції QPSK здатна працювати в каналі шириною 28 МГц з реальною швидкістю передачі даних

до 34 МБіт/с на максимальній довжині прольоту 15 км, при використанні модуляції 64QAM швидкість передачі даних становитиме до 100 МБіт/с. Більше за те, така РРЛ з COFDM зможе підтримувати цю швидкість на дальності до 40 км.

Висновки

Проведені дослідження підтвердили, що застосування COFDM модуляції в РРЛ дає можливість ефективно боротися з інтерференційними завмираннями та багатопроменевістю і забезпечити вищу спектральну й енергетичну ефективність порівняно із системами з однією несучою.

У цілому завдяки високій енергетичній та спектральній ефективності РРЛ з використанням COFDM за інших однакових умов має в два–чотири рази більшу дальність зв'язку і більш ніж удвічі вищу швидкість передачі даних порівняно зі звичними РРЛ, які використовують QPSK модуляцію.

Під час планування новітніх РРЛ, які стануть частиною майбутньої транспортної IP-мережі, зокрема, будуть використані для доставки мультимедіа до цифрових телевізійних передавачів ефірного наземного телемовлення стандартів DVB-T, DVB-T2, потрібно також використовувати адаптивні види модуляції, істотно покращуючи показник їх готовності.

Перспективи подальших досліджень пов'язані із проведенням експериментальних випробувань РРС із використанням модуляції в реальних умовах, де можуть проявлятися глибокі завмирання радіосигналу на різних ділянках радіотраси.

1. Нарытнік Т.М., Волков В.В., Уткін Ю.В. Радіорелейні та тропосферні системи передачі: Навч. посібник. – 2009. – 332 с.
2. Бутенко В.В. Цифровизация сети РРЛ прямой видимости // Вестник связи. – 2009. – № 8. – С. 25–21.
3. Плотников А.А. Система широкополосного ретранслятора для фиксированных сельских систем связи // Электросвязь. – 2004. – № 12. – С. 15–18.
4. Довгун О.О., Коломыцев М.А. Использование OFDM для борьбы с частотно-селективными замираниями в линиях радиорелейной связи // Матер. Междунар. Крым. конф. КрыМиКо'2009. – Севастополь: Вебер. – 2009. – С. 347–348.
5. Ильченко М.Е., Нарытнік Т.Н., Казимиренко В.Н. Исследование путей цифровизации аналоговых РРЛ // Матер. 21-й Междунар. Крым. конф. КрыМиКо'2011. – Севастополь: Вебер, 2011. – С. 406–407.