

ОЦІНКА ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ЗАСОБІВ РАДІОЗВ'ЯЗКУ З ППРЧ ПРИ ВПЛИВІ НАВМИСНИХ ШУМОВИХ ЗАВАД

Здійснено оцінку завадостійкості засобів радіозв'язку з псевдовипадковим перестроюванням робочої частоти при передачі сигналів методом відносної фазової маніпуляції в умовах впливу шумової завади в частині смуги. Розглянуто шляхи підвищення завадостійкості за рахунок зміни параметрів сигналу.

Проведена оценка помехоустойчивости средств радиосвязи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты при передаче сигналов методом относительной фазовой манипуляции в условиях воздействия шумовой помехи в части полосы. Рассмотрены пути повышения помехоустойчивости за счет изменения параметров сигнала.

The estimation of pseudorandom frequency hopping radio equipment noise immunity during signals transmission using differential phase keying method in the conditions of influence of noise interference in part of frequency band is conducted. The ways of noise immunity increase at the expense of the signal parameters change are considered.

Ключові слова: засіб радіозв'язку, псевдовипадкове перестроювання робочої частоти, шумова завада в частині смуги.

Одним з ефективних методів підвищення завадозахищеності засобів радіозв'язку при впливі навмисних завад є застосування псевдовипадкового перестроювання робочої частоти (ППРЧ) [1–4]. У системах з ППРЧ розширення спектра в межах заданої смуги частот здійснюється за допомогою стрибкоподібної зміни частоти сигналу за псевдовипадковим законом, який невідомий постановнику завад. При цьому сигнал займає смугу частот Δf_c значно ширшу в порівнянні зі смугою ΔF_c , яка мінімально необхідна для передачі інформації.

До засобів радіозв'язку, які функціонують в умовах апіорної невизначеності щодо умов ведення зв'язку, сигнальної і завадової обстановки, пред'являються високі вимоги по завадозахищеності та пропускну здатності. Постійне вдосконалення засобів радіорозвідки та радіозавад, впровадження автоматизованих комплексів радіоелектронного подавлення (РЕП) призвело за останні роки до істотного підвищення можливостей по радіоподавленню засобів радіозв'язку [5, 6].

В умовах радіоелектронного подавлення (РЕП) найбільш універсальною і стійкою до різних способів обробки сигналів є шумова загороджувальна завада зі спектральною щільністю потужності

$$G_3 = P_3 / \Delta f_c,$$

де P_3 – потужність шумової завади.

Потужність шумової завади може бути використана більш ефективно за рахунок зосередження її в обмеженій смузі частот, значно меншій, ніж діапазон частот системи передачі з ППРЧ. Таку заваду називають шумовою завадою в частині смуги [1, 7, 8] (рис. 1). На рис. 1 коефіцієнт γ характеризує частину смуги пропускання засобу радіозв'язку, яка займається завадою ($0 \leq \gamma \leq 1$). З метою підвищення ефективності системи РЕП спектр шумової завади в частині смуги стрибкоподібно за випадковим законом переміщають по всьому діапазону частот, який займає система передачі з ППРЧ.

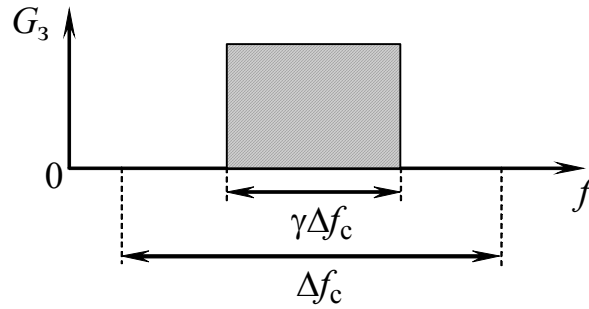


Рис. 1. Спектр шумової завади в частині смуги

Метою роботи є оцінка завадостійкості засобу радіозв'язку з ППРЧ при передачі сигналів методом відносної фазової маніпуляції (ВФМ) в умовах впливу шумової завади в частині смуги.

Для оцінки завадостійкості системи передачі дискретних повідомлень в умовах впливу навмисних завад кращим показником кількісної міри оцінки завадостійкості є середня імовірність помилки на біт інформації P_6 [1, 4, 9–11].

Середня імовірність помилки на біт при впливі шумової завади в частині смуги в загальному вигляді може бути подана у вигляді [1]

$$P_6 = \gamma P_1 + (1 - \gamma) P_2, \quad (1)$$

де P_1 – середня імовірність помилки на біт при впливі шумової завади; P_2 – середня імовірність помилки на біт при відсутності завад на вході демодулятора.

Значення P_1 визначається тільки власними шумами приймального пристрою і при некогерентному прийманні сигналів з ВФМ дорівнює

$$P_2 = \frac{1}{2} e^{-Q^2}, \quad (2)$$

де $Q^2 = E_c / G_0$ – відношення енергії сигналу до спектральної щільності потужності власних шумів приймача.

При впливі навмисної шумової завади в частині смуги вираз (2) можна переписати у вигляді

$$P_1 = \frac{1}{2} e^{-\frac{E_c}{G_0 + G_3/\gamma}}. \quad (3)$$

Підставивши вирази (2) і (3) у формулу (1) і виконавши необхідні перетворення, одержимо

$$P_6 = \frac{1}{2} \gamma e^{-\left(\frac{G_0 + \frac{P_3}{\gamma K_c P_c}}{E_c}\right)^{-1}} + \frac{1}{2} (1 - \gamma) e^{-Q^2}, \quad (4)$$

де $K_c = \Delta f_c / \Delta F_c$ – коефіцієнт розширення спектра сигналу; $\Delta F_c = 1/\tau_i$ – ширина спектра первинного інформаційного сигналу; τ_i – тривалість імпульсу двійкового сигналу; $P_c = E_s/\tau_i$ – потужність сигналу.

Відповідно до виразу (4) на рис. 2 наведені графіки залежності $P_6(\gamma)$ при $Q^2 = 10,34$ дБ (що відповідає значенню імовірності помилки $P_6 = 10^{-5}$ при відсутності завад) для різних значень $Q_{\text{екв}}^2 = \frac{K_c P_c}{P_3}$.

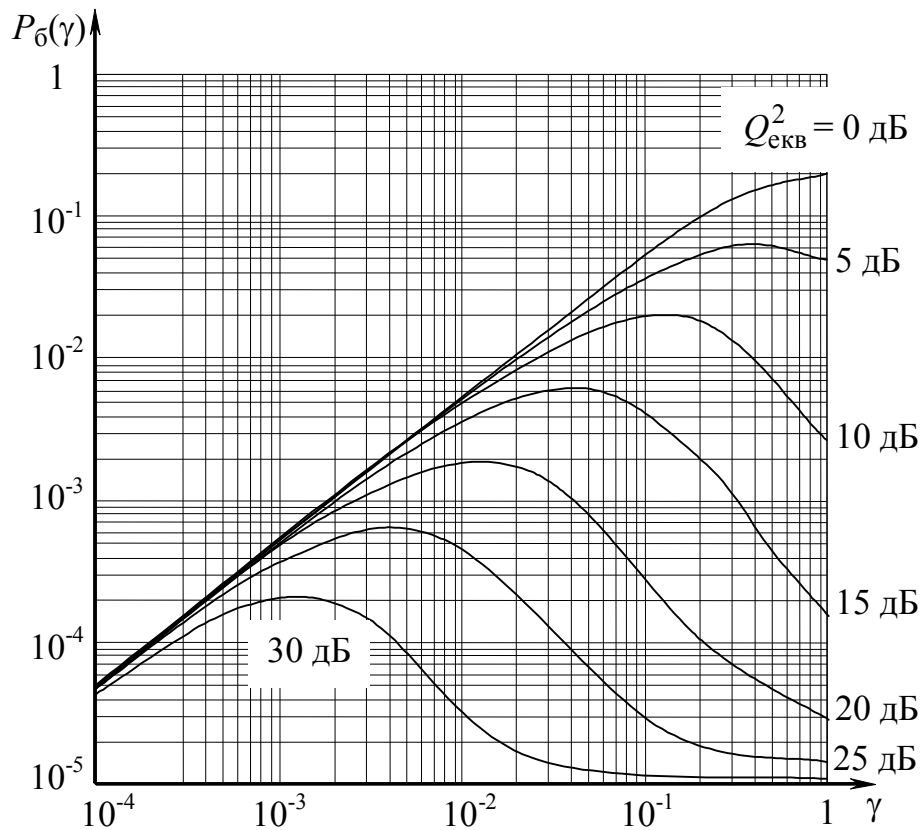


Рис. 2. Завадостійкість приймання сигналів ППРЧ при різних значеннях $Q_{\text{екв}}^2$

Ефективність завад у частині смуги стає очевидною, якщо судити по різниці між максимальним значенням середньої імовірності помилки на біт і значенням середньої імовірності помилки на біт при $\gamma = 1$ для кожного графіка.

При умові, що $G_3 \gg G_0$, $E_c \gg G_0$ і вирішуючи рівняння $\frac{dP_6}{d\gamma} = 0$ стосовно до виразу (4), одержимо оптимальне значення γ :

$$\gamma_{\text{опт}} \approx \frac{P_3}{K_c P_c}, \quad \frac{P_3}{K_c P_c} \leq 1.$$

Тоді максимальне значення середньої імовірності помилки на біт при ВФМ дорівнює

$$P_{\text{б max}} \approx \frac{P_3 e^{-1}}{2K_c P_c}, \quad \gamma = \gamma_{\text{опт}}. \quad (5)$$

На рис. 3 подані графіки залежностей $P_6(Q_{\text{екв}}^2)$ для різних значень γ . Штриховою лінією показана максимальна середня імовірність помилки на біт при $\gamma = \gamma_{\text{опт}}$. З рис. 3 видно, що середня імовірності помилки на біт при заданому відношенні E_c/G_0 при збільшенні відношення $Q_{\text{екв}}^2$ наближається до величини $P_6 = 10^{-5}$.

На рис. 4 зображені графіки залежностей $P_6(\gamma)$ при $Q^2 = 10,34$ дБ для значень $K_c = 512$ і $K_c = 1024$, $P_3/P_c = 0; 5; 10$ дБ. З графіків чітко видно залежність значення середньої імовірності помилки на біт від зміни коефіцієнта розширення спектра сигналу.

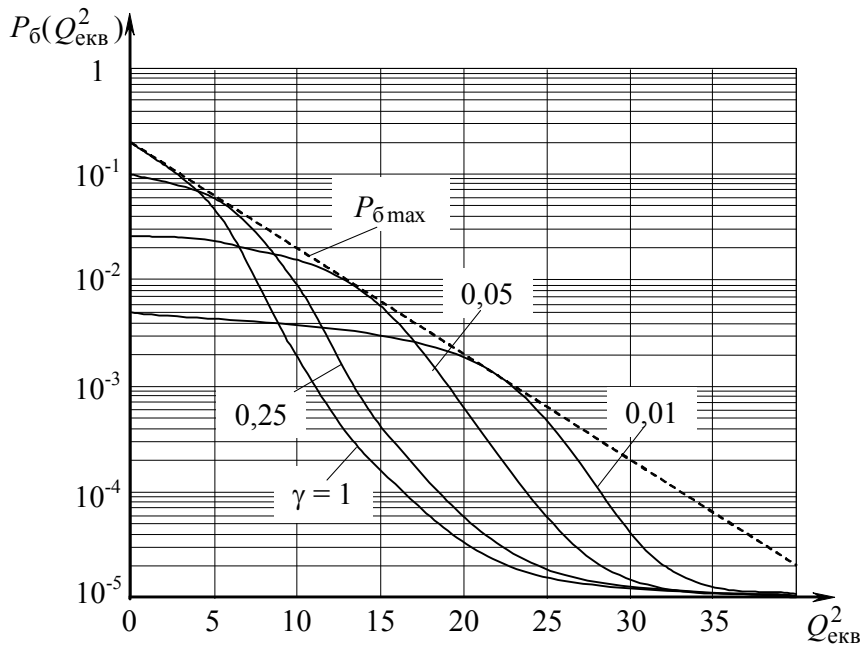


Рис. 3. Завадостійкість приймання сигналів ППРЧ при різних значеннях γ

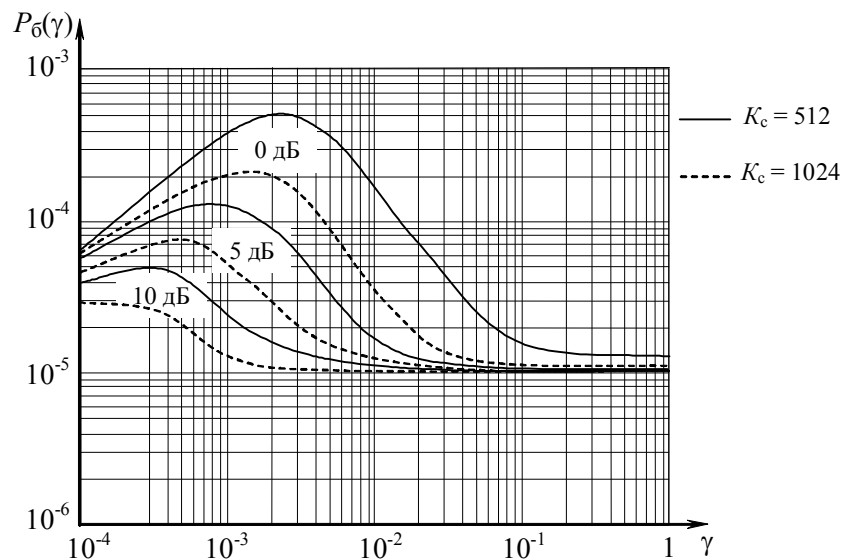


Рис. 4. Завадостійкість приймання сигналів ППРЧ при різних значеннях коефіцієнта розширення спектра сигналу

Таким чином, при впливі шумової завади в частині смуги для будь-якого відношення сигнал/завада існує оптимальне значення частини смуги пропускання $\gamma_{\text{опт}}$, при якій завадостійкість системи передачі з ППРЧ буде мінімальною (див. рис. 2). При $\gamma = \gamma_{\text{опт}}$ експоненціальний характер залежності середньої імовірності помилки на біт змінюється на лінійний (див. рис. 3), що призводить до значного зменшення завадостійкості засобу радіозв'язку з ППРЧ у порівнянні з подавленням такого ж засобу радіозв'язку у всьому діапазоні частот (при $\gamma = 1$). Завада з такими параметрами є найгіршою для системи передачі. Однак з метою оптимізації поточної ширини спектра завади в частині смуги і потужності завади в складі системи РЕП необхідно мати станцію радіотехнічної розвідки для вимірювання параметрів сигналів засобу радіозв'язку, який подавлюється.

Таким чином, проведений аналіз показує, що завадостійкість засобів радіозв'язку з ППРЧ може бути підвищена за рахунок збільшення відношення сигнал/завада $Q_{\text{екв}}^2$ (див. рис. 2, 3) і збільшення величини коефіцієнта розширення спектра сигналу (див. рис. 4). Перспективним напрямком вирішення задачі підвищення завадостійкості приймання сигналів в каналах зв'язку з навмисними завадами є розробка адаптивних алгоритмів формування та обробки сигналів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Борисов В. И. и др. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты. – М.: Радио и связь, 2000. – 384 с.
2. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 364 с.
3. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – М.: Вильямс, 2003. – 1104 с.
4. Кувшинов О. В., Ливенцев С. П., Лежнюк О. П., Міночкін А. І., Могилевич Д. І. Теорія електричного зв'язку. Ч. 2: Основи теорії завадостійкості, кодування та інформації: Підручник. – К.: ВІПІ НТУУ „КПІ”, 2008. – 286 с.
5. Агафонов А. А. и др. Современная радиоэлектронная борьба. Вопросы методологии / под ред. В. Г. Радзиевского. – М.: „Радиотехника”, 2006. – 424 с.
6. Палий А. И. Радиоэлектронная борьба / А. И. Палий. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Воениздат, 1989. – 350 с.
7. Кувшинов О. В., Гурський Т. Г., Радзівілов Г. Д. Забезпечення завадостійкості радіолінії з використанням технології OFDM за умов впливу організованих завад // Зв'язок. – 2009. – №. 1. – С. 66-69.
8. Uhm M. Adaptivity in Action for SDR and Cognitive Radio [Electronic resource] // COTS Journal. – 2006. – Vol. 8. – Mode of access: <http://www.cotsjournalonline.com/home/20062.php>. – Title from the screen.
9. Финк Л. М. Теория передачи дискретных сообщений. – М.: Советское радио, 1970. – 728 с.
10. Волков Л.Н., Немировский М.С., Шинаков Ю.С. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики: Учебное пособие. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 392 с.
11. Григорьев В. А., Лагутенко О. И., Раснаев Ю. А. Сети и системы радиодоступа. – М.: Око-Трендз, 2005. – 384 с.