

В. М. Почерняєв¹, М. С. Магомедова², Н. М. Сивкова¹

¹ Національна академія Служби безпеки України, Київ, Україна

² Київський фаховий коледж зв'язку, Київ, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ МОБІЛЬНИХ ЦИФРОВИХ КОМБІНОВАНИХ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ НВЧ ДІАПАЗОНУ

Анотація. У статті оцінюється завадостійкість спільної системи псевдовипадкової перебудови робочої частоти – широкосмугового сигналу по відношенню до використання тільки псевдовипадкової перебудови робочої частоти та окремо широкосмугового сигналу. Відомо, що у мобільних комбінованих радіотехнічних системах використовуються як фазоманіпульовані широкосмугові сигнали, так і псевдовипадкова перебудова робочої частоти. У мобільній цифровій комбінованій тропосферно–космічній системі також використовуються фазоманіпульовані широкосмугові сигнали та псевдовипадкова перебудова робочої частоти. Застосування спільної системи псевдовипадкової перебудови робочої частоти – широкосмугових сигналів обумовлена вимогою стійкого функціонування будь-якої радіотехнічної системи за умов складної перешкодової обстановки, створюваної станціями радіопридушення супротивника. У статті проведено аналіз відповідних літературних джерел. Наведено схеми передавача та приймача щодо формування та прийому спільної псевдовипадкової перебудови робочої частоти – широкосмугового сигналу. Особливістю даних схем є те, що передавальний та приймальний НВЧ тракти реалізуються на частково заповнених діелектриком прямокутних хвилеводах. В роботі досліджено вплив загороджувальної шумової перешкоди на стійкість до перешкод такого приймача. Показано можливість помилки на біт для QPSK модуляції в умовах впливу білого гаусівського шуму і загороджувальної перешкоди. Вираз для ймовірності помилки на біт записано через функцію Крампа. Ймовірність помилки на біт знайдена за умов, що спектр перешкоди перевищує спектр широкосмугового сигналу і за умови, що спектр перешкод більш вузький ніж спектр широкосмугового сигналу. У роботі розраховані залежності ймовірності помилки на біт від відношення потужності сигналу до сумарної потужності шуму і перешкоди при різних значеннях коефіцієнтів розширення спектрів для випадків застосування тільки псевдовипадкової перебудови робочої частоти, широкосмугового сигналу і спільної псевдовипадкової перебудови робочої частоти - широкосмугового сигналу. Зроблено висновки, що з урахуванням наявності пристрою захисту в приймачі широкосмугового сигналу в умовах впливу перешкоди в частині смуги перешкодостійкість спільної системи вища, ніж перешкодостійкість системи псевдовипадкової перебудови робочої частоти або системи застосування окремо широкосмугового сигналу.

Ключові слова: псевдовипадкова перебудова робочої частоти; фазоманіпульований сигнал; широкосмуговий сигнал; система із розширенням спектру.

Вступ

Мобільна цифрова комбінована тропосферно-радіорелейна система складається з тропосферної та радіорелейної компонент. Розроблено два варіанти таких мобільних комбінованих радіотехнічних систем [1, 2]. Ці наземні мобільні комбіновані радіотехнічні системи мають загальний тракт частото формування, що досягається за рахунок схематехнічних можливостей збудника-гетеродина та введення електронної комутації в передавальний НВЧ тракт. У цих системах використовуються як фазоманіпульовані (ФМ) широкосмугові сигнали (ШСС), так і псевдовипадкова перебудова робочої частоти (ППРЧ). У мобільній цифровій комбінованій тропосферно-космічній системі [3] також використовуються ФМ ШСС та ППРЧ.

У різних мобільних радіотехнічних системах використовуються системи з розширенням спектра, наприклад, як ППРЧ так і ШСС. З погляду завадостійкості застосування розширення спектра як методом ППРЧ, так і методом ШСС, явних переваг щодо одне одного немає. Спільну систему ППРЧ-ШСС можна розглядати як ШСС на кожному стрибку частоти, що еквівалентно ШСС з несучою, що періодично змінюється за псевдовипадковим законом. Бажаність застосування спільної системи ППРЧ – ШСС обумовлена вимогою стійкого функціонування будь-якої радіотехнічної системи в умовах складної завадової обстановки, створюваної станціями радіопо-

давлення супротивника. Спільна система ППРЧ – ШСС за рахунок стрибків частоти дозволяє частину часу не потрапляти в ту частину спектра, яка піддається дії перешкод. Але, якщо все ж таки стрибок частоти потрапив на перешкоду, то така перешкода може бути ослаблена шляхом розширення спектру з подальшим стисненням і фільтрацією у більш вузькій смузі, як це відбувається в системах зв'язку з ШСС. Однак, у цьому випадку смуговий фільтр, щоб пропустити ШСС, що залишився після зняття стрибків частоти, повинен мати більшу ширину смуги, ніж тільки для однієї ППРЧ.

Аналіз літературних джерел. Системи з розширенням спектру використовують у радіотехнічних системах різного призначення. Розширення спектру використовується для широкосмугового зв'язку між підводними човнами [4], в мережах безпілотних літальних апаратів [5,6], в радарній системі [7], в системах зв'язку з просторовим рознесенням сигналів [8], у розрахованих на багато користувачів системах зв'язку [9], у безпроводних сенсорних мережах [10]. Існують різні математичні моделі для систем із розширенням спектру [11, 12]. Ці системи успішно застосовуються для боротьби зі структурними та хаотичними перешкодами [13-16]. Зазначимо, що у роботах [17, 18] описані й інші різновиди систем із розширенням спектру.

Мета роботи – оцінити завадостійкість спільної системи ППРЧ – ШСС.

Основна частина

Структурна схема передавача спільної системи ППРЧ – ШСС показано на рис. 1. У передавачі використовується генератор псевдовипадкової послідовності (ПВП), як для генерування розширюючого спектру послідовності $c(t)$, так і для формування послі-

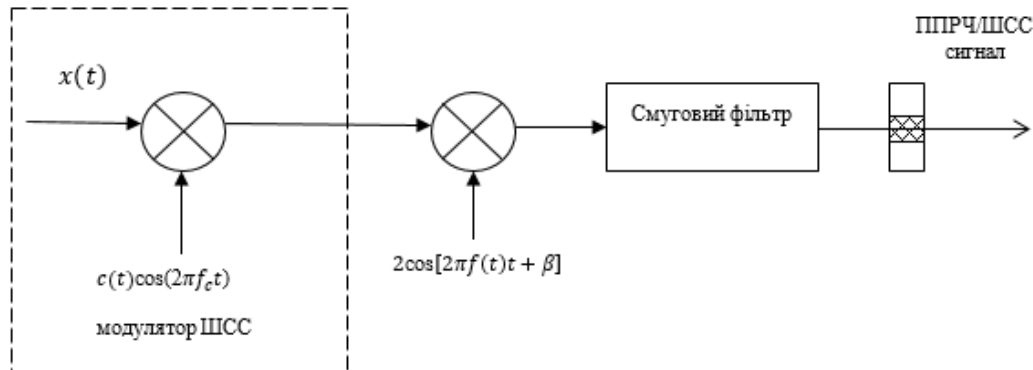


Рис. 1. Передавач спільного ППРЧ/ШСС сигналу

Наприклад, для квадратурної фазової модуляції QPSK сигнал на виході ШСС модулятора передавача можна записати наступним чином:

$$y_m(t) = \sqrt{2P}x(t)c(t)\cos(2\pi f_c t), \quad (1)$$

де P – середня потужність сигналу; $c(t)$ – функціональна залежність, що розширює спектр ПВП; $x(t)$ – вхідна послідовність даних; f_c – частота несучої. Зазначимо, що кожен біт даних модулюється K_c елементами ПВП: $K_c = \frac{T_b}{\tau_c}$, де T_b та τ_c – тривалості

довності частот ППРЧ $f(t)$. Стрибок частоти відбувається періодично після надходження фіксованого числа елементів ПВП. У приймачі після зняття стрибків частоти і послідовності, що розширює спектр, залишається несуча, модульована повідомленням. У спільних системах може використовуватися як когерентна, так і некогерентна модуляція.

інформаційних бітів та елементів ПВП відповідно. Після перетворення в змішувачі та проходження через смуговий фільтр випромінюваний спільний сигнал запишемо у вигляді:

$$y_c(t) = \sqrt{2P}x(t)c(t)\cos[2\pi(f_c + f(t))t + \varphi_0], \quad (2)$$

де φ_0 – початкова фаза опорного сигналу змішувача.

Структурна схема приймача спільної системи ППРЧ-ШСС показано на рис.2, де СФ – смуговий фільтр; ВП – вирішальний пристрій.

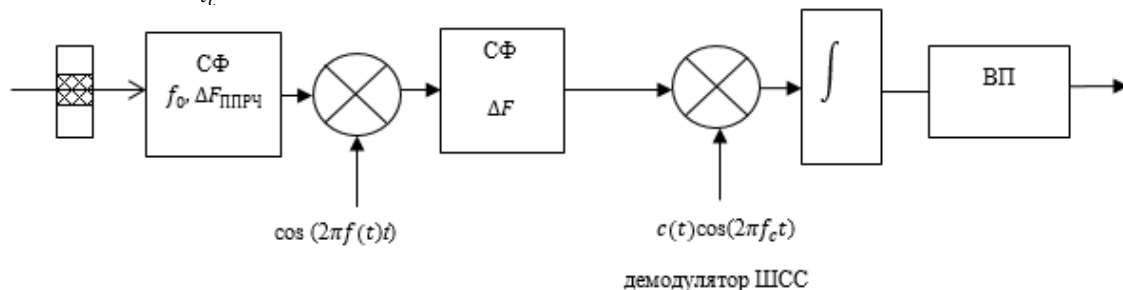


Рис. 2. Приймач спільного ППРЧ/ШСС сигналу

У приймачі відбувається зняття стрибків частоти та перехід на проміжну частоту. Смуговий фільтр зі смугою пропускання ΔF відфільтровує перешкоди і пропускає ШСС з такою самою смугою частот без перешкод. Пройшовши через смуговий фільтр сигнал множиться на ПВП і інтегрується, а вирішальний пристрій (ВП) визначає, який був переданий біт.

На рис.1 і рис.2 показано, що передавальний та приймальний НВЧ тракти реалізуються на частково заповнених діелектриком прямокутних хвилинках (ЧЗДПХ). Для мобільних цифрових комбінованих радіотехнічних систем розроблено набір пристроїв та елементів на ЧЗДПХ [19-30].

Розглянемо вплив загороджувальної шумової перешкоди на завадостійкість приймача на рис. 2.

У цьому випадку у всій області допустимих частот впливають адитивно білий гаусівський шум зі

спектральною щільністю потужності N_0 і загороджувальна перешкода із спектральною щільністю потужності N_3 . Ймовірність помилки на біт для QPSK модуляції в умовах впливу білого гаусівського шуму та загороджувальної перешкоди при зазначених умовах визначається за формулою:

$$P_{Eb} = \Phi\left(\sqrt{2E_b/N_E}\right), \quad (3)$$

де E_b – енергія біт; $\Phi(\alpha)$ – функція Крампа; $N_E = N_0 + N_3$. Функцію Крампа запишемо у вигляді:

$$(\alpha) = \sqrt{2/\pi} \int_0^\alpha e^{-t^2/2} dt, \quad (4)$$

Як відомо, можна використовувати інтеграл ймовірності або Q-функцію, які від функції Крампа будуть відрізнятися коефіцієнтом перед інтегралом.

Перетворюємо аргумент функції Крампа:

$$\frac{2E_b}{N_0 + N_3} = \frac{2P_c k_c}{P_T + P_3}, \quad (5)$$

де P_T і P_3 – потужності теплового шуму та загороджувальної перешкоди відповідно; $k_c = K_\Delta K_c$. Тоді формула (3) з урахуванням формули (5) набуває вигляду:

$$P_{Eb} = \Phi\left(\sqrt{2P_c k_c / (P_T + P_3)}\right). \quad (6)$$

З формули (6) випливає, що в умовах впливу загороджувальної шумової перешкоди у всій виділеній смузі частот стійкість до перешкод спільної системи ППРЧ-ШСС еквівалентна завадостійкості системи ШСС з коефіцієнтом розширення спектра, рівним добутку коефіцієнта розширення за рахунок ППРЧ і ШСС, або системи ППРЧ з коефіцієнтом розширення спектра, що дорівнює k_c .

Ймовірність помилки на біт може бути знайдена в такий спосіб за умови, що спектр перешкод перевищує спектр ШСС. Припускаємо, що: H_0 – біт не уражений завадою; H_{01} – біт уражений завадою частково; H_{02} – біт уражений завадою повністю. Ймовірність помилки на біт може бути знайдена за формулою повної ймовірності:

$$P_{Eb} = P(E/H_0)P(H_0) + P(E/H_{01})P(H_{01}) + P(E/H_{02})P(H_{02}), \quad (7)$$

де ці ймовірності визначаються як геометричні при рівномірному розподілі положення перешкоди в області допустимих частот.

Умовні можливості помилок визначаються з урахуванням формули (6). Для випадку, коли спектр

перешкод у частині смуги повністю перекриває спектр ШСС, маємо:

$$P(E/H_0) = \Phi\left(\sqrt{2P_c k_c / P_T}\right), \quad (8a)$$

$$P(E/H_{01}) = \Phi\left(\sqrt{\frac{2E_b \Delta F_{\text{ППРЧ}}}{(N_0 + h\tau_c P_3) \Delta F_{\text{ППРЧ}}}}\right), \quad (8b)$$

$$P(E/H_{02}) = \Phi\left(\sqrt{\frac{2E_b \Delta F_{\text{ППРЧ}}}{(N_0 + N_3) \Delta F_{\text{ППРЧ}}}}\right), \quad (8c)$$

де $\Delta F_{\text{ППРЧ}}$ – область частот, виділена для ППРЧ; h – параметр перешкоди. Після підстановки формул (8a) - (8c) у формулу (7) отримаємо вираз для ймовірності помилки на біт у випадку спільного ППРЧ/ШСС сигналу при впливі перешкоди в частині смуги частот, що перевищує спектр ШСС:

$$P_{Eb} = \Phi\left(\sqrt{2P_c K_c / (P_T + P_3)}\right), \quad (9)$$

Формула (9) враховує, що $\Delta F_3 > \Delta F_{\text{ШСС}}$, $\Delta F_{\text{ППРЧ}} \gg \Delta F$, $\Delta F = \Delta F_{\text{ШСС}}$.

На рис. 3, а наведено залежність ймовірності помилки на біт від відношення $P_c / (P_T + P_3)$ при $K_\Delta = 16$, $K_c = 16$, $k_c = 256$. На рис.3б показані аналогічні криві при значеннях $K_\Delta = 4$, $K_c = 64$, $k_c = 256$. Як випливає з рис. 3, а і рис. 3, б завадостійкість спільної системи ППРЧ – ШСС при $\Delta F_3 > \Delta F$ перевищує і стійкість до перешкод ППРЧ і перешкодостійкість ШСС при відповідних значеннях K_Δ та K_c .

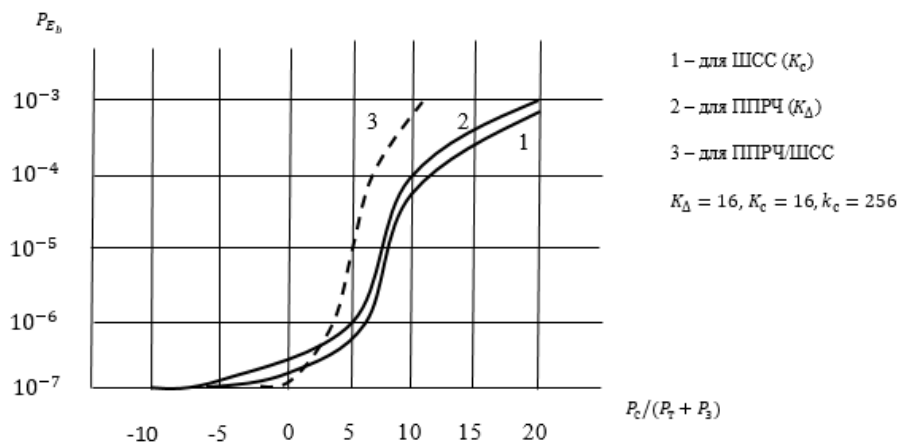


Рис. 3, а. Залежність ймовірності помилки на біт від відношення $P_c / (P_T + P_3)$ при $K_\Delta = 16$, $K_c = 16$, $k_c = 256$

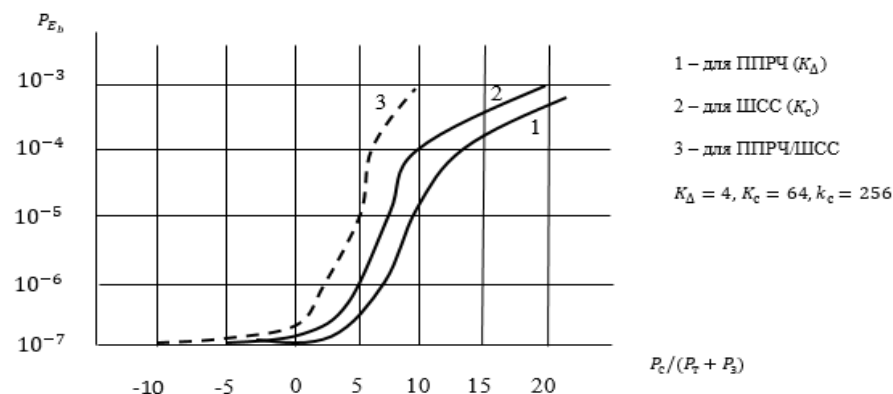


Рис. 3, б. Залежність ймовірності помилки на біт від відношення $P_c / (P_T + P_3)$ при $K_\Delta = 4$, $K_c = 64$, $k_c = 256$

Зазначимо, що стійкість до перешкод сигналу ППРЧ/ШСС збільшується з розширенням спектра за рахунок ШСС.

Коли спектр завади більш вузький ніж спектр ШСС, то в цій ситуації спектр перешкод або частково перекриває спектр сигналу, або взагалі не перекриває. Умовні ймовірності помилки визначаються з урахуванням формули (7), і середня ймовірність помилки набуває вигляду:

$$P_{E_b} = P(H_0) \Phi \left(\sqrt{2P_c K_\Delta K_c / P_T} \right) + P(H_1) \Phi \left(\sqrt{2P_c K_c / K_\Delta / (P_T + h P_3 K_\Delta)} \right). \quad (10)$$

При розширенні спектра за рахунок ШСС ймовірність ураження біта збільшується, і середня ймовірність помилки спільної системи ППРЧ – ШСС при потужній перешкоді може перевершити ймовірність помилки ППРЧ.

У цьому випадку вплив вузькосмугової перешкоди істотно може бути ослаблений шляхом загородження за допомогою загороджувального фільтру.

Висновки

Практично у всіх компонентах мобільних цифрових комбінованих радіотехнічних систем застосовується сигнал ППРЧ/ШСС. Розглянуто варіанти реалізації спільних ППРЧ – ШСС приймачів, коли на кожному стрибку частоти відбувається розширення спектра за допомогою ШСС. При дії загороджувальної шумової перешкоди у всій смузі частот перешкодостійкість спільної системи трохи вище ППРЧ або ШСС систем. При дії широко поширеної на практиці перешкоди в частині смуги з шириною спектра, що перевищує ширину спектра ШСС, перешкодостійкість спільної системи вище, ніж перешкодостійкість ППРЧ або ШСС з мультиплікативним коефіцієнтом розширення спектра. Таким чином, можна зробити висновок, що з урахуванням наявності пристрою захисту в приймачі ШСС в умовах впливу перешкоди в частині смуги стійкість до перешкод спільної системи вище, ніж перешкодостійкість системи ППРЧ або системи ШСС.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Патент №112217 Україна. С2. Мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція / Почерняєв В.М., Повхліб В.С.; заявл. 12.09.2014; опубл. 10.08.2016 // Бюл.№ 15. <https://iprop-ua.com/?qi=112217>
2. Патент №120288 Україна. Мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція / Почерняєв В.М., Повхліб В.С., Зайченко В.В.; заявл. 29.08.2017; опубл. 11.11.2019// Бюл.№21. <https://iprop-ua.com/?qi=120288>
3. Патент №126203 Україна. С2. Мобільна цифрова тропосферно-космічна станція/ Почерняєв В.М., Повхліб В.С.; заявл. 17.01.2020; опубл. 10.08.2020 <https://iprop-ua.com/?qi=126203>
4. Yaohui Hu, Shuping Han, Heng Zhao, Yubo Han, Jingfeng Xu, Gang Yang. Extension of the Covert Performance Evaluation System for Underwater Spread Spectrum Communication//2023 3rd International Conference on Electronic Information Engineering and Computer (EIECT), 17-19 November 2023, Shenzhen, China, <https://doi.org/10.1109/EIECT60552.2023.10442269>
5. Xiaopeng Tan, Shaojing Su, Xiaoyong Sun. Research on Narrowband Interference Suppression Technology of UAV Network Based on Spread Spectrum Communication//2020 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Information Systems (ICAIS), 20-22 March 2020, Dalian, China, <https://doi.org/10.1109/ICAIS49377.2020.9194891>
6. D. S. Chirov, O. G. Chertova, E. M. Lobov, M. V. Bazylev. Construction of a Communication Channel with UAVs Based on Direct Sequence Spread Spectrum Communication//2024 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, 16 April 2024, <https://doi.org/10.1109/IEEECONF60226.2024.10496771>
7. Adrian Tang, Yanghyo Kim, Gabriel Virbila, M.-C. Frank Chang. A 205 GHz Serial Direct-Sequence Spread Spectrum (DS/SS) Radar System-on-Chip in 28nm CMOS//2019 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS), 25 July 2019, Boston, MA, USA, <https://doi.org/10.1109/MWSYM.2019.8700823>
8. Tarak Arbi, Benoit Geller, Oudomsack Pierre Pasquero. Direct-Sequence Spread Spectrum with Signal Space Diversity for High Resistance to Jamming//MILCOM 2021 - 2021 IEEE Military Communications Conference (MILCOM), 30 December 2021, San Diego, CA, USA, <https://doi.org/10.1109/MILCOM52596.2021.9652967>
9. Kheriya. F. Alhaddar, Hager Bishi, Somya. H. Alshepene, Mohamed M. Elfituri. Direct Sequence Spread Spectrum Technique for Multi-User Communication System Application//2021 IEEE 1st International Maghreb Meeting of the Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering MI-STA, 29 June 2021, Tripoli, Libya, <https://doi.org/10.1109/MI-STA52233.2021.9464450>
10. Daniel Alexandru Visan, Mariana Jurian, Ioan Lita, Laurentiu Mihai Ionescu, Alin Gheorghita Mazare. Direct Sequence Spread Spectrum Communication Module for Efficient Wireless Sensor Networks//2019 11th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), 23 April 2020, Pitesti, Romania, <https://doi.org/10.1109/ECAI46879.2019.9041979>
11. Fengyuan Zhu, Juhong Tong. Simulation of Spread Spectrum Communication System Based on MATLAB//2024 4th International Conference on Neural Networks, Information and Communication Engineering (NNICE), 19-21 January 2024, Guangzhou, China, <https://doi.org/10.1109/NNICE61279.2024.10498676>
12. Olanrewaju Bola Wojuola. Mathematical Model for Bit-error-rate of a Spread-Spectrum System//2019 21st International Conference on Advanced Communication Technology (ICTACT), 02 May 2019, PyeongChang, Korea, <https://doi.org/10.23919/ICTACT.2019.8701934>
13. Wenzhun Huang, Shanwen Zhang, Robert Hao Yan. Novel Spread Spectrum Communication Theory and the Anti-jamming Applications//2021 6th International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT), 26 February 2021, Coimbatore, India, <https://doi.org/10.1109/ICICT50816.2021.9358748>
14. I. V. Malygin, A. S. Luchinin, V. A. Surgutskaya, Yu. V. Kozlov. One of the Ways to Protect a Spread Spectrum Communication System from such Structural Interference//2020 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO), 13 August 2020, <https://doi.org/10.1109/SYNCHROINFO49631.2020.9166090>

15. Guomin Tang, Lidong Zhu, Qi Wu, Qihui He, Le Yu. A Hybrid Spread Spectrum Communication Method Based on Chaotic Sequence//2021 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC), 25 November 2021, Dubai, United Arab Emirates, <https://doi.org/10.1109/ISNCC52172.2021.9615817>
16. Md Rakibur Rahman, Satheesh Bojja- Venkatakrishnan, Elias A. Alwan, John L. Volakis. Spread Spectrum Techniques for Interference Mitigation in Large Bandwidth//2019 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting, 31 October 2019, Atlanta, GA, USA, <https://doi.org/10.1109/APUSNCURSINRSM.2019.8888648>
17. Jingtian Xu, Zhixuan Zhang. FPGA Spread Spectrum Communication Method Based on M Sequence// 2021 3rd International Conference on Intelligent Control, Measurement and Signal Processing and Intelligent Oil Field (ICMSP), 20 August 2021, Xi'an, China, <https://doi.org/10.1109/ICMSP53480.2021.9513383>
18. Avinash Kumar, Ye Zhu. Extending Direct Sequence Spread-Spectrum for Secure Communication//2021 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC), 25 November 2021, Dubai, United Arab Emirates, <https://doi.org/10.1109/ISNCC52172.2021.9615783>
19. Почерняев В.Н. Устройства на частично заполненных диэлектриком волноводах. Киев: УКНИПСК, 2000. 224с.
20. Почерняев В.Н., Цибизов К.Н. Теория сложных волноводов. Науовий світ, 2003. 223с.
21. Pochernyaev V., Syvkova N. Broadband switch on partially filled by dielectric rectangular waveguide». The scientific heritage, 2021. № 60 (60). с. 49-52. <https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-60-1-49-52>
22. Почерняев В.М., Сивкова Н.М. Пристрій управління потужністю НВЧ на частково заповненому діелектриком прямокутному хвилеводі. Інфокомунікаційні та інформаційні технології, 2021. №1 (01). с.81-89. <https://visn-icct.uu.edu.ua/index.php/icct/article/view/28/7>
23. Почерняев В.М., Сивкова Н.М. Фільтр на хвилеводних трійниках, що частково заповнені діелектриком. The scientific heritage, 2021. № 75 (75). с. 42-47.
24. Почерняев В.М., Магомедова М.С. Сивкова Н.М. Пристрій регулювання потужністю НВЧ на частково заповнених діелектриком прямокутних хвилеводах. Інфокомунікаційні та інформаційні технології, 2021. №2 (02). с. 161-171. <https://visn-icct.uu.edu.ua/index.php/icct/article/view/49/36>
25. Почерняев В.М., Сивкова Н.М. Перемикач на хвилеводному трійнику, частково заповнений діелектриком. The scientific heritage, 2022. № 84 (84). с.53-57. DOI:10.24412/9215-0365-2022-84-1-53-57
26. Почерняев В.М., Магомедова М.С. Сивкова Н.М. Обмежувач потужності НВЧ на частково заповнених діелектриком прямокутних хвилеводах. Інфокомунікаційні та комп'ютерні технології, 2022. №1(03). С.90-101. <https://doi.org/10.36994/2788-5518-2022-01-03-06>
27. Pochernyaev V., Syvkova N., Mahomedova M. Switch-filter on a rectangular waveguide partially filled by dielectric. Informatyka, Automatyka, Pomiaru W Gospodarce I Ochronie Środowiska, 2022. №12(3). p.8-11. <https://ph.pollub.pl/index.php/iapgos/article/view/3052/2728>
28. Почерняев В.М., Магомедова М.С., Сивкова Н.М. Фазо-частотний пристрій на частково заповненому діелектриком прямокутному хвилеводі. Системи управління, навігації та зв'язку, 2022. №4 (70). С.158-161 <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2022.4.158>
29. Pochernyaev V., Mahomedova M., Syvkova N. Комутаційний фазообертач на частково заповненому діелектриком прямокутному хвилеводі. Системи управління, навігації та зв'язку. Полтава: ПНТУ, 2023. Т. 1 (71). С. 171-176. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.1.171>
30. V Pochernyaev, M Mahomedova, N Syvkova. Плоска фазована антенна решітка для мобільних цифрових станцій зв'язку «точка-багатоточка» НВЧ діапазону. Системи управління, навігації та зв'язку, 2024. №2, С.187-190. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2024.2.187>

Received (Надійшла) 27.12.2024

Accepted for publication (Прийнята до друку) 05.02.2025

Increasing the interference immunity of mobile digital combined microwave radio engineering systems

V. Pochernyaev, M. Mahomedova, N. Syvkova

Abstract. In the article evaluates the interference immunity of the joint system pseudo-random frequency hopping – wideband signals. It is known that mobile digital combined microwave radio engineering systems use phase-shift keyed wideband signals and pseudo-random frequency hopping. The mobile digital combined troposcatter-space system also uses phase-shift keyed wideband signals and pseudo-random frequency hopping. The use of a joint system of pseudo-random frequency hopping - wideband signals is due to the requirement for stable operation of any radio engineering system in the conditions of a complex interference environment created by enemy radio suppression stations. The article analyzes the relevant literature. The schemes of the transmitter and receiver for the formation and reception of a joint pseudo-random frequency hopping - a wideband signal are given. The peculiarity of these schemes is that the transmitting and receiving microwave paths are implemented on rectangular waveguides partially filled by a dielectric. The influence of barrage noise interference on the interference immunity of such a receiver is investigated in the article. The probability of error per bit for QPSK modulation under the influence of white Gaussian noise and barrage interference is shown. The expression for the probability of error per bit is written through the Crump function. The probability of error per bit is found under the conditions that the interference spectrum exceeds the spectrum of the wideband signal and under the condition that the interference spectrum is narrower than the spectrum of the wideband signal. The article calculates the dependences of the probability of error per bit on the ratio of the signal power to the total power of noise and interference for different values of the spectral expansion coefficients for the cases of using only pseudo-random frequency hopping, only a wideband signal and joint pseudo-random frequency hopping – wideband signal. It is concluded that taking into account the presence of a protection device in the receiver of a wideband signal, under conditions of interference in part of the band, the noise immunity of the joint system is higher than the interference immunity of a pseudo-random frequency hopping system or a system using a wideband signal.

Keywords: pseudo-random frequency hopping; phase-shift keyed signal; wideband signal; spread spectrum system.