

# НАДШИРОКОСМУГОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЗАДАЧАХ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ

Серков О.А., Князев В.В., Лазуренко Б.О., Яковенко І.В., Чурюмов Г.І.,  
Токарев В.В.

Національний технічний університет «Харківський  
політехнічний інститут»  
Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.

E-mail: [aleksandr.serkov@hotmail.com](mailto:aleksandr.serkov@hotmail.com)

## Abstract

Improving channel noise immunity of the control channel of mobile objects in conditions of powerful electromagnetic interference is carried out by coding information using ultra short pulse signals and temporal position-pulse modulation. This is shown that for organizing independent channels in one lane frequency when managing a group of mobile objects it is appropriate to additionally apply a system of orthogonal codes. This allows for large volumes and speed of information transfer with high noise immunity control channel. In addition, it will protect the channel from being intercepted.

Рухомі об'єкти відносять до систем критичного призначення, у яких відмова в роботі обладнання чи невірно прийнята команда в системі керування можуть привести до катастрофи. Так для літаків найбільш небезпечними є аварійні випадки, що обумовлені спотворенням інформації в каналах керування, які викликані зовнішніми небезпечними факторами. Аналіз вимог, наведених в стандарті [1], показав, що особливо небезпечними є випадки, коли у якості зовнішнього джерела випромінювання є потужне електромагнітне поле, яке супроводжує розряд блискавки [2, 3]. Широкий частотний діапазон (0,3 – 30 МГц) у поєднанні з великою амплітудою імпульсного електромагнітного поля (15 - 100 кВ/м) є найбільш небезпечним фактором, що обумовлюють надійність роботи літаків. Таким чином, завадостійкість, надійність та достовірність отриманих даних грають першочергову роль в каналах управління рухомих об'єктів.

Завадостійкість каналу управління передбачає максимальний рівень електромагнітної завади, за якою він зберігає необхідну якість роботи. Підвищенню завадостійкості сприяє кодування інформації в мережах обміну інформації та каналах управління. Однак двійкові коди, які найчастіше застосовують, вимагають подвійної надмірності, що спричиняє зниження швидкості передачі інформації. У той же час необхідність підвищення швидкості передачі управляючих сигналів у безпроводових каналах зв'язку вимагає використання як мого більш широкого частотного діапазону. Таким чином, відомі методи кодування інформації в безпроводових каналах управління рухомими об'єктами не забезпечують достатнього рівня їх електромагнітної сумісності та завадостійкості, що вимагає розробки нових підходів до вирішення проблеми.

В безпроводових каналах управління та зв'язку середовище передачі є фізичним шляхом між передавачем та приймачем. Характеристики та якість передачі інформації визначається як характеристиками середовища, так і характеристиками сигналу. Причому, фактором, який накладає обмеження на передачу, є само середовище. Основним джерелом втрат в системах зв'язку, як і в будь-яких інших системах є загасання  $L$ , яке визначає співвідношення:

$$L = 10 \lg (4\pi d / \lambda)^2 \text{ дБ}, \quad (1)$$

де:  $d$  – відстань, м;

$\lambda$  – довжина хвилі, м.

Однак більш важливим фактором є не само середовище, а ширина полоси сигнала випромінювання. Найбільш розповсюдженим та оптимальним діапазоном для безпроводових систем управління

та зв'язку є діапазон від 1 до 10 ГГц. [4]. Це обумовлено тим, що на частотах менше, ніж 1 ГГц мають місце значні атмосферні завади і завади з боку будь-яких електронних пристроїв. У той же час на частотах вище 10 ГГц велике поглинання сигналу атмосферою та атмосферними опадами. Таким чином, діапазон частот від 1 до 10 ГГц є найбільш придатним для організації каналу управління рухомими об'єктами. У той же час потреба в організації високошвидкісних безпроводових каналів управління та зв'язку вимагають збільшення ширини частотного діапазону каналу управління. З іншого боку, існує фізична обмеженість частотного спектру. Тому актуальною є розробка технологій надширококутового зв'язку, яка вирішує це протиріччя.

Метою роботи є підвищення рівня завадостійкості та електромагнітної сумісності рухомих об'єктів в умовах дії природних та штучних завад.

Досягнення цієї мети стає можливим за рахунок використання надширококутових (НШС) сигналів, зокрема, надкоротких імпульсів з тривалістю порядку одиниць та часток наносекунди. Технологія НШС сигналів передбачає навмисне перетворення відносно вузькокутових інформаційних сигналів з ефективною шириною спектру  $\Delta f$  у ширококутовий сигнал шириною спектру  $\Delta F$  із збереженням загальної енергії  $E$  сигналу. При цьому спектральна щільність енергії каналного сигналу навмисно зменшують в  $\Delta F / \Delta f$  разів, що складає  $\Delta E / \Delta F$ , а база каналного сигналу зростає у  $\Delta F / \Delta f$  разів. Таким чином здійснюють передачу малопотужних кодованих імпульсів в дуже широкій смузі частот без несучої частоти. При цьому випромінюють не гармонічне коливання, а надкороткий імпульс тривалістю 0,2 – 2,0 нс., з періодом надходження імпульсів 10 – 100 нс. Зазвичай такі сигнали мають форму ідеалізованих гаусовських моноциклів, основна частина спектра випромінювання якого знаходиться в діапазоні частот від 1 до 10 ГГц [5]. Так використання моноциклу Гауса тривалістю  $\Delta t$  від 2,0 нс. до 0,1 нс. ширина спектра складає відповідно від 500 МГц до 10 ГГц. А спектр сигналу займає всю полосу частот від 0 до  $\Delta F \approx 1/\Delta t$ . При цьому інформація кодується за допомогою часової позиційно-імпульсної модуляції [5]. Так зсув імпульсу відносно опорного положення у послідовності вперед задає нульовий біт, а назад – одиничний. Тривалість зсуву не перевищує чверті тривалості імпульсу, причому, один інформаційний біт кодується послідовністю багатьох імпульсів на біт інформації. Для розподілення інформаційних каналів зв'язку положення кожного імпульсу зсувають на час, який пропорційний поточному значенню деякої псевдовипадкової послідовності. Причому час зсуву на один-два порядку вище, ніж зсув при часовій модуляції. Кожному з каналів зв'язку привласнюється своя розширююча кодова комбінація, елементи якої складають ортогональний базис та задають код каналу. А розкодування інформаційного повідомлення здійснюють тільки у випадку використання приймачем та передавачем одного й того ж коду каналу, що підвищує завадостійкість та рівень забезпечення вимог електромагнітної сумісності рухомих об'єктів.

Вилучення корисного сигналу на фоні шуму здійснюють шляхом кореляції прийнятого та опорного сигналів. Корелятор виконує згортку прийнятого сигналу з еталонним. Він є детектором для визначення часових зсувів прийнятих імпульсів відносно опорних. Так під час прийому одиниці кореляційна функція дорівнює +1, а при прийомі 0 вона приймає значення –1. В усіх інших випадках кореляційна функція дорівнює 0. І так як інформаційний біт представлено, наприклад, 200 надкороткими імпульсами, то при збіжності коду вони накопичуються в інтеграторі приймача і біт буде визначено правильно, даже навіть коли 99 імпульсів з 200 будуть спотвореними. Корисний сигнал вилучають з рівня шуму, значно перевищуючи його та співвідношення сигнал/шум. При цьому кодування інформаційного біта серією надкоротких імпульсів усуває проблему багатопробеневого розповсюдження сигналу тому, що під час надходження із зсувом у часі імпульсу за рахунок різного шляху проходження, він буде відкинутий, як завадовий. У той же час використання серії надкоротких імпульсів для кодування інформаційного біту дає можливість усунути міжсимвольну інтерференцію. Це обумовлено тим, що до появи наступного надкороткого імпульсу з кодувальною серією, енергія попереднього імпульсу встигає повністю розсіятися.

В зв'язку з тим, що кодовані імпульсні сигнали випромінюють в дуже широкій смузі частот без несучої частоти, вимоги щодо ширококутності приймально-передаючої антени є основними. За технічними характеристиками найбільш придатними є антенний елемент, являючий собою антену з розширюючою щілиною (Tapered Slot Antenna – TSA). Форма розімкнутої щілини визначає полосу час-

тот, причому енергетична діаграма спрямованості такої антени характеризується вузьким головним променем та практичною відсутністю бокових пелюсток. Антена має складну форму поверхні, тому для моделювання було використано пакет програм для тривимірного електродинамічного моделювання. Результати моделювання довели достатню широкосмужність антени, що показує доцільність використання в технологіях надширокосмугового зв'язку. Однак попереднє формування Гаусівського моноциклу, який подається до антенної системи, викликає складності під час узгодження сигналів в широкому діапазоні частот. Це проявляється у вигляді перевідбивання окремих складових НШС, які спотворюють форму Гаусівського моноциклу.

У запропонованому технічному рішенні інформаційний моноімпульсний сигнал поділяють навпіл. Одну частину сигналу послідовно інвертують та затримують на час, який дорівнює половині тривалості моноімпульсу. Потім обома моноімпульсними сигналами збуджують відповідно дві поряд розташовані на єдиній діелектричній основі TSA антени. Електромагнітні поля двох уніполярних імпульсів – основного та інвертованого інтерферують в еквівалентному загальному просторі розкриття антен, створюючи в ньому електромагнітне поле біполярного імпульсу, яке і є НШС імпульсним сигналом.

Використання технології НШС сигналів в каналах управління та зв'язку рухомих об'єктів дозволяє отримати ряд переваг, які неможливо досягти традиційними методами. Зокрема, це відноситься до підвищення показників якості каналів управління рухомих об'єктів. Розширення смуги каналу зв'язку дає можливість практично безмежного збільшення кількості каналів зв'язку. Попередньо розподілив між рухомими об'єктами коди модуляції, реалізується їх управління без перехвату управління та взаємних завад.

Найважливішим критерієм, який характеризує ефективність систем безпроводового зв'язку є висока потенційна щільність передачі даних. Вона визначається як величина досяжної загальної швидкості передачі даних на один квадратний метр робочої зони та має на сьогоднішній час значення цього показника порядку 1 Мбит/с/м<sup>2</sup>. Застосування коротких імпульсів запобігає міжсимвольній спотворення, так як енергія прийнятого імпульсу практично завжди встигає фактично повністю згаснути до моменту надходження наступного імпульсу. При цьому також зменшується рівень спотворень інформаційних сигналів, що викликано його багатопроменевим розповсюдженням.

Характерною особливістю, яка притаманна системам управління та зв'язку рухомих об'єктів на ґрунті технологій НШС, є низька ймовірність виявлення як самого факту тимчасового встановлення каналу зв'язку, так і неможливість перехоплення каналу управління рухомих об'єктом. Сумісна одночасна беззавадова робота в одному частотному діапазоні як традиційних вузькосмугових систем зв'язку так і НШС систем обумовлена тим, що рівень управляючого сигналу не перевищує рівня шуму в робочому діапазоні частот. У той же час зниження потужності та рівня випромінювання електромагнітних полів дозволяє гарантовано забезпечити виконання вимог електромагнітної сумісності на усіх етапах розробки і реалізації систем управління та зв'язку рухомих об'єктів.

## Література:

1. Qualifying Requirements QR-160D (2004). Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment, ARIAC. 2004.
2. International Standard IEC 62305-1 Edition 2.0 2010-12. (2010). Annex A. Parameters of lightning current. Annex B. Time functions of the lightning current for analysis purposes.
3. Churyumov G. (2018) Scenario of Interaction of the Mobile Technical Objects in the Process of Transmission of Data Streams in Conditions of Impacting the Powerful Electromagnetic Field / G. Churyumov, V. Tokarev, V. Tkachov, S. Partyka // 2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP). – 21-25 Aug. 2018. – Pp. 183-186.
4. Serkov A. (2018) Method of coding information distributed by wireless communication lines under conditions of interference / A. Serkov, V. Breslavets, M. Tolkachov, V. Kravets // Advanced Information Systems. - 2018. – Vol.2, No.2. pp. 145-148, available at: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.25>.
5. Serkov O.A. (2017). On the issue of solving the problem of electromagnetic compatibility of the wireless telecommunication systems / O.A. Serkov, G.I. Churyumov // Applied radio electronics – Sci. and Tech. Jour. 2017. Vol.16, No.3,4, Pp. 117-121.