

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ШЕСТОПАЛ ЄВГЕНІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ**

**УДК 621.396.43**

**МЕТОДИ ПОКРАЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА  
СКРИТНОСТІ ЦИФРОВИХ РАДІОРЕЛЕЙНИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ**

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Відкритому міжнародному університеті розвитку людини «Україна».

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор,  
**Семенко Анатолій Іларіонович,**  
Відкритий міжнародний Університет  
розвитку людини «Україна»,  
професор кафедри «Комп'ютерна інженерія»  
інституту комп'ютерних технологій, м.Київ.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор,  
**Почерняєв Віталій Миколайович,**  
Державний університет інтелектуальних  
технологій і зв'язку, професор кафедри  
«Телекомунікації» інституту інфокомунікацій та  
програмної інженерії, м.Одеса;

доктор технічних наук, професор,  
**Сайко Володимир Григорович,**  
Київський національний університет  
ім.Тараса Шевченка, професор кафедри  
прикладних інформаційних систем  
факультету інформаційних технологій, м.Київ.

Захист відбудеться 27 серпня 2021 року о 12 годині, в ауд. 6.205 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.062.19 у Національному авіаційному університеті за адресою: 03058, м. Київ, проспект Любомира Гузара, 1.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою: 03058, м. Київ, проспект Любомира Гузара, 1.

Автореферат розісланий 27 липня 2021 року.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д 26.062.19  
д.т.н., доцент

Р. С. Одарченко

## **ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

**Актуальність теми.** В даний час в експлуатації знаходиться велика кількість радіорелейних систем передачі, електромагнітне випромінювання передавачів яких в навколишнє середовище шкідливо впливає на здоров'я людей при рівні понад 10 мкВт/см<sup>2</sup>. При роботі радіорелейних станцій в умовах опадів має місце значне загасання сигналу тим більше, чим більші інтенсивність опадів і робоча частота.

В умовах бойових дій польова система зв'язку будується, в тому числі, на радіорелейних системах передачі, використання яких потребує виконання умов скритності передачі інформації.

Тому цифрові радіорелейні системи передачі (ЦРСП) потребують, як правило, підвищених енергоефективності та скритності роботи, електромагнітної сумісності з працюючими поряд радіоелектронними пристроями, а також підвищеної завадостійкості в умовах дії завад в радіоканалі.

В наукових працях відомих вчених Зюко А.Г., Кловського Д.Д., Ніколаєва Б.І., Цикіна І.А., Стеклова В.К., Захарченка М.В., Беркман Л.Н., Климаша М.М., Сукачева Е.О., Почерняєва В.М., Сайка В.Г., Прокіса Дж. наведений аналіз та синтез телекомунікаційних систем за критерієм енергетичної ефективності, спектральної ефективності, інформаційної ефективності. На даний час важливо мати наукову працю, в якій цілеспрямовано комплексно розглядаються методи підвищення енергоефективності систем та скритності передачі інформації, а також їх завадозахищеності. Дана робота має мету вирішити дані задачі, що підкреслює її актуальність.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Інформаційною базою досліджень є законодавчі та нормативно-правові акти Верховної Ради України, Кабінету Міністрів України, Міністерства інфраструктури України та Державної служби спеціального зв'язку і захисту інформації України.

Обрані напрямки дисертаційних досліджень безпосередньо пов'язані із науково-технічними задачами, сформульованими в постанові Кабінету Міністрів України № 942 від 7.09.2011 р. зі змінами, внесеними постановою № 556 від 23.08.2016 р. «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2020 року». Тема роботи пов'язана з виконанням науково-дослідної роботи «Реальна пропускна здатність безпроводових телекомунікаційних систем» - № держреєстрації 0114U002403, а також науково-дослідної роботи на тему «Дослідження енергетичної ефективності радіорелейних систем зв'язку» за планом наукових досліджень кафедри комп'ютерної інженерії відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна».

**Мета і задачі досліджень.** Метою роботи є підвищення енергетичної ефективності та скритності передачі інформації в ЦРСП з кодовим роз каналів та з застосуванням широкосмугових сигналів з використанням багатопозиційних фазоманіпульованих та амплітудно-маніпульованих сигналів, ПВП на основі хаосу та адаптивних систем автоматичного регулювання передавачів.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні науково-технічні задачі:

- проаналізувати стан використання ЦРСП;
- дослідити вплив видів модуляції сигналу на потужність передавача цифрової радіорелейної станції та обрати найкращий із них;
- розробити метод підвищення ефективності використання багатопозиційного амплітудно - маніпульованого сигналу;
- розробити метод визначення відношення сигнал/шум та окремо рівня сигналу помилки в телекомунікаційній системі;
- розробити алгоритми створення систем автоматичного регулювання потужності передавачів ЦРСП в умовах опадів;
- використати псевдовипадкові послідовності на основі хаосу для створення ЦРСП з шумоподібним сигналом з підвищеною скритністю передачі інформації;
- удосконалити ЦРСП з кодовим розділенням каналів та з широкосмуговими сигналами з застосуванням двох окремих антенних каналів шляхом використання модифікованої псевдовипадкової послідовності Голда, а також оптимальною обробкою сигналу в приймачі.

*Об'єкт дослідження* – процес створення ЦРСП з покращеними енергетичною ефективністю та скритністю.

*Предмет дослідження* – методи забезпечення мінімальної потужності передавачів, достатньої для одержання заданої ймовірності помилки приймання сигналів і покращення скритності передачі інформації.

**Методи дослідження.** Для розв'язання поставлених в дисертації задач використані загальна теорія електровз'язку, теорія інформації, теорія випадкових процесів, теорія ймовірності, теорія хаосу, теорія автоматичного регулювання, програмне забезпечення Matlab.

Підвищення енергетичної ефективності систем здійснюється зменшенням потужності передавачів з використанням сприятливих методів модуляції і автоматичного регулювання потужності та шляхом оптимальної обробки широкосмугового сигналу в приймачі з досягненням підвищеного відношення сигнал/шум, що еквівалентно зменшенню потужності передавача до величини, необхідної для досягнення допустимої ймовірності помилки приймання сигналу.

Покращення скритності передачі інформації забезпечується використанням сигналу з псевдовипадковими послідовностями на основі хаосу для створення широкосмугового шумоподібного сигналу, а також кодового розділення каналів.

**Наукова новизна одержаних результатів.** До основних нових наукових результатів, які одержані в дисертаційній роботі, слід віднести наступні:

1. Одержали подальшого розвитку методи підвищення енергетичної ефективності ЦРСП шляхом використання багатопозиційних фазоманіпульованого та амплітудно-маніпульованого сигналів, що надало змогу досягти мінімальної потужності передавачів радіорелейних станцій.

2. Одержав подальшого розвитку метод визначення відношення сигнал/шум та окремо сигналу помилки, які використані для створення адаптивних систем автоматичного регулювання потужності передавачів ЦРСП, що надало змогу при наявності опадів забезпечити мінімальну потужність передавачів радіорелейних станцій, необхідну для заданої ймовірності помилки приймання сигналу.

3. Одержав подальшого розвитку метод підвищення скритності передачі інформації в ЦРСП з широкосмуговим шумоподібним сигналом шляхом використання псевдовипадкових послідовностей на основі хаосу, що надало змогу підвищити конфіденційність передачі інформації без можливості несанкціонованого доступу до неї.

4. Удосконалено ЦРСП з кодовим розділенням сигналів в 2-х антенних каналах, в яких передається широкосмуговий шумоподібний сигнал, створений з використанням псевдовипадкової послідовності Голда, що дало змогу забезпечити збільшення в 4 рази відношення сигнал/шум на вході РАКЕ-приймачів в порівнянні із вхідним значенням і суттєво підвищити відношення сигнал/шум на виході системи.

#### **Практичне значення одержаних результатів.**

Одержані в дисертації результати доведені до можливості їх прикладного інженерного використання при розробці конкретних ЦРСП з заданими параметрами.

Виконані дослідження впливу видів маніпуляції сигналу на енергетику телекомунікаційних систем показали, що найкращі результати дає використання сигналу ФМ-4, який на 2,7дБ і більше забезпечує вииграш в порівнянні з іншими видами маніпуляції сигналу.

Розроблений метод покращення ефективності приймання багатопозиційного амплітудно-маніпульованого сигналу дозволяє чітко визначити рівні сигналу та збільшити кількість позицій сигналу при даній заваді.

Запропонований метод визначення відношення сигнал/шум та окремо рівня сигналу дозволяє шляхом використання цифрового обчислювального пристрою визначити рівень сигналу помилки для систем адаптивного автоматичного регулювання потужності передавачів радіорелейних станцій.

При розробці систем важливо використати запропоновані алгоритми модернізації радіорелейних станцій шляхом введення додаткових пристроїв для створення каналів зворотного зв'язку.

При проектуванні радіорелейних систем передачі з максимальною скритністю передачі сигналу пропонується створювати шумоподібний сигнал з використанням псевдовипадкових послідовностей, складених за модулем «2» із 2-х псевдовипадкових послідовностей на основі хаосу. Використання таких радіорелейних систем актуально для скритної передачі інформації в урядових службах, військових формуваннях, мережах мобільного зв'язку, сервісних службах енергетики та нафтогазу.

Використання запропонованої радіорелейної системи передачі з широкосмуговим шумоподібним сигналом, що передається в 2-х окремих антенних каналах та здійснюється кодове розділення каналів з використанням

модифікованої псевдовипадкової послідовності Голда, дозволяє здійснити оптимальну обробку сигналу в приймачі з одержанням підвищеного відношення сигнал/шум, що дозволяє використати мінімальну потужність передавача, достатню для допустимої ймовірності помилки приймання сигналу.

Нові теоретичні і практичні результати дисертації одержали використання в лекційних матеріалах для викладання студентам фахових дисциплін, при розробці методичних посібників практичних та лабораторних робіт, при виконанні курсових та дипломних робіт.

**Публікація результатів дисертації.** За результатами дисертаційної роботи здійснено 11 публікацій- 2-Scopus, 6–фахові видання України, в т.ч.1 Index Corepicus, 3-тези міжнародних науково-технічних конференцій, 1 стаття в зарубіжному періодичному виданні, одержано 1 патент України на корисну модель.

**Апробація результатів дисертації.** Основні наукові результати дисертаційної роботи доповідалися особисто автором на 3-х міжнародних науково-технічних конференціях з публікацією тез доповідей.

**Особистий внесок здобувача.** У роботах, написаних у співавторстві, автору належить: [1] – розробка методики обробки сигналу; [2,5] – розрахунок коефіцієнта ефективності системи; [3] – розробка методики автоматичного регулювання напруги; [4,6-8] – кореляційний аналіз сигналів; [9] – представлення параметрів моделі в комплексній формі; [10] – розробка методики вимірювання шуму та суми сигнал+шум; [11] – порівняльна оцінка методів модуляції.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, трьох додатків, списку використаних джерел із 64 найменувань і містить 128 сторінок, у тому числі 58 рисунків, 23 таблиці, 3 сторінки додатків.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

У вступі розкрито сутність і стан науково-технічної задачі, обґрунтовано актуальність теми, визначено мету та задачі досліджень, показано наукову новизну та практичну значимість отриманих результатів, наведені відомості щодо публікацій і апробації результатів роботи та про структуру дисертації.

У першому розділі - «Загальна характеристика цифрових радіорелейних систем передачі» здійснено детальний огляд сучасних ЦРСП. Наведені характеристики цифрових радіорелейних станцій.

У другому розділі - «Підвищення енергоефективності радіорелейної системи передачі при використанні багатопозиційного сигналу» проведені дослідження впливу видів фазової маніпуляції сигналу в радіорелейних станціях на енергетичні характеристики радіорелейних систем передачі.

В радіорелейних станціях широко використовується багатопозиційний фазоманіпульований сигнал, який дозволяє підвищити спектральну ефективність системи. Однак при цьому погіршується завадозахищеність системи при збільшенні кількості позицій сигналу (рис.1). Тому при використанні багатопозиційного сигналу особливо важливо підвищення

потужності сигналу до мінімального рівня, достатнього для одержання необхідної ймовірності помилки приймання інформації.

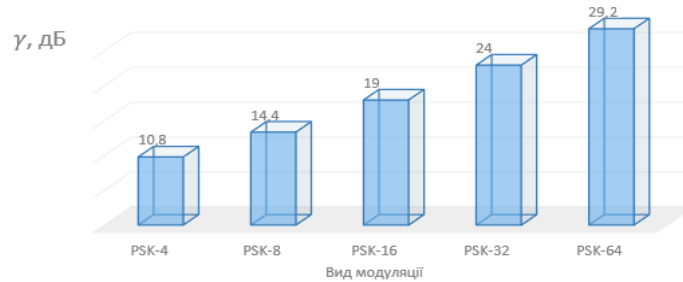


Рис.1. Гістограма збільшення відношення сигнал/шум для багатопозиційного фазоманіпульованого сигналу порівняно з BPSK для ймовірності помилки  $10^{-6}$ . Потужність передавача можна визначити як:

$$P_{\text{п}} = \frac{16\pi^2 D^2 k T X}{\lambda^2 G^2 \rho} \quad (1)$$

де  $D$  - протяжність лінії зв'язку;  $k$  - стала Больцмана ( $k = 1,38 \times 10^{-23} \frac{\text{Вт}}{\text{Гц}} \cdot \text{град}$ );  $T$  - приведена до опромінювача антени шумова температура приймальної системи (Кельвін);  $\lambda$  - довжина хвилі;  $G$  - коефіцієнт підсилення антени;  $\rho$  - коефіцієнт енергетичного виграшу внаслідок обробки сигналу в приймачі;  $X$  - коефіцієнт енергетичної ефективності:

$$X = \Delta f \gamma \quad (2)$$

де  $\gamma$  - відношення сигнал/шум на вході приймача;  $\Delta f$  - смуга пропускання приймального тракту.

Як видно із формули (1), потужність передавача в значній мірі залежить від коефіцієнта енергетичної ефективності, тобто від ширини спектру сигналу та відношенням сигнал/шум для даного виду модуляції сигналу, які знаходяться у складній взаємній залежності.

Визначено, що найкращі характеристики забезпечує використання 4-х позиційного фазоманіпульованого сигналу ФМ-4 (табл.1, рис.2).

При даній смузі пропускання радіоканалу досягти підвищену пропускну здатність системи можна тільки шляхом збільшення кількості позицій амплітудно-маніпульованого сигналу.

Розроблений метод покращення ефективності приймання багатопозиційного амплітудно-маніпульованого сигналу з автоматичним регулюванням вихідної напруги підсилювача відповідно до максимального рівня прийнятого сигналу дозволяє чітко визначити рівні сигналу та збільшити кількість позицій сигналу при даній заваді.

Реальне значення кількості рівнів амплітудно-маніпульованого сигналу можна визначити як:

$$M = U^2 / 2 \gamma P_{\text{ш}} \Sigma \quad (3)$$

де  $U$ -автоматично встановлена максимальна напруга на виході підсилювача;

$\gamma$ - необхідне значення сигнал/шум для мінімального кванта;.  $P_{\text{ш}\Sigma}$  –сумарна потужність шумів.

Таблиця 1. Коефіцієнти енергетичної ефективності системи при різних видах модуляції та помилках

| Вид мод.<br>Помилка | $X = \Delta f \gamma$ |               |               |               |               |               |               |
|---------------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                     | $10^{-1}$             | $10^{-2}$     | $10^{-3}$     | $10^{-4}$     | $10^{-5}$     | $10^{-6}$     | $10^{-7}$     |
| ФМ-2                | 0.821C*               | 2.706C        | 4.775C        | 6.916C        | 9.095C        | 11.3C         | 13.517C       |
| <b>ФМ-4</b>         | <b>0.676C</b>         | <b>1.659C</b> | <b>2.707C</b> | <b>3.784C</b> | <b>4.878C</b> | <b>5.982C</b> | <b>7.093C</b> |
| ФМ-8                | 2.094C                | 5.135C        | 8.379C        | 11.714C       | 15.1C         | 18.52C        | 21.958C       |
| АМ-2                | 1.642C                | 5.412C        | 9.55C         | 13.831C       | 18.189C       | 22.6C         | 27.033C       |
| ЧМ-2                | 4.828C                | 11.74C        | 18.644C       | 25.552C       | 32.459C       | 39.37C        | 46.275C       |
| ЧМ-4                | 4.847C                | 9.774C        | 14.513C       | 19.179C       | 23.812C       | 28.43C        | 33.042C       |
| ЧМ-8                | 5.424C                | 10.02C        | 14.33C        | 18.53C        | 22.678C       | 26.8C         | 30.91C        |

C\* -швидкість передачі сигналу

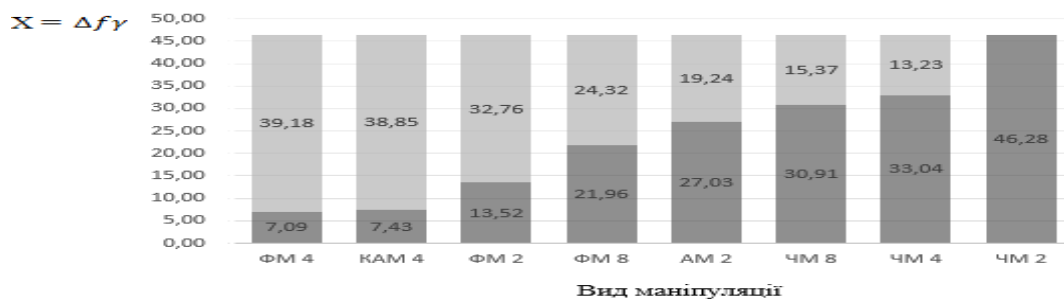


Рис.2. Гістограма залежності коефіцієнта X від виду модуляції:

- виграш відносно ЧМ-2;
- фактичне значення

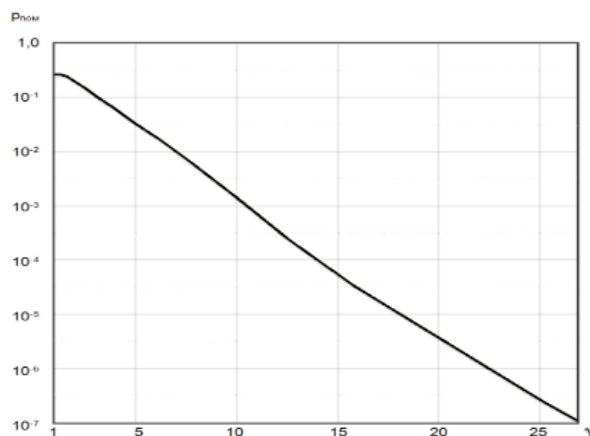




Рис.3. Графік залежності ймовірності помилки приймання бінарного амплітудно-маніпульованого сигналу від відношення сигнал/шум

Необхідне значення відношення сигнал/шум  $\gamma$  для даної ймовірності помилки приймання сигналу можна отримати з графіку залежності ймовірності помилки приймання сигналу від відношення сигнал/шум для бінарного амплітудно-маніпульованого сигналу (рис.3).

**В третьому розділі** - «Автоматичне регулювання потужності передавачів в цифровій радіорелейній системі передачі» розробляється метод адаптивного автоматичного регулювання потужності передавачів дуплексної та симплексної радіорелейної системи передачі в умовах опадів, які суттєво впливають на загасання сигналу.

В роботі запропонований спосіб одержання в приймачі значення відношення сигнал/шум та окремо рівня сигналу помилки.

В складі прийнятого уніполярного сигналу виділяються окремо інтервали часу, коли приймається тільки шум, тобто нульові біти  $\tau$ ,  $2\tau$  (рис.4). Також здійснюється вимірювання ефективного значення напруги суми сигналу та шуму.

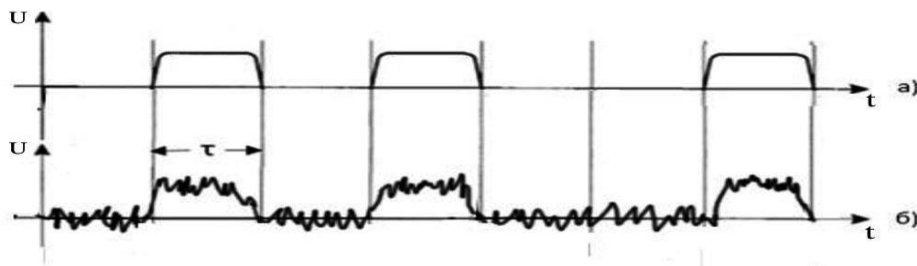


Рис.4. Структура прийнятого сигналу

Знайдені значення сигналів надходять до цифрового обчислювального пристрою, який автоматично виконує операції розрахунків та забезпечує одержання значення напруги шуму та сигналу, відношення сигнал/шум, а також сигналу помилки, який передається через канал зворотного зв'язку для корекції потужності передавача.

Для створення дуплексної радіорелейної системи передачі з автоматичним регулюванням потужності передавача доцільно використати систему за схемою рис.5.

Структурна схема системи автоматичного регулювання потужності передавача РРС1 в дуплексній радіорелейній системі передачі наведена на рис.6.

Статична помилка системи в замкнутому стані буде:

$$\Delta U_2 = \Delta U_{n2} / K_p \quad (4)$$

де  $\Delta U_{n2}$ - початкова помилка системи в розімкненому стані;  $K_p$  -статичний коефіцієнт передачі системи в розімкненому стані.

При використанні позначень коефіцієнтів передачі ланцюгів на схемі рис.6 одержимо:

$$K_p = k_{\lambda 1}, k_{\lambda 2} k_{n1}, k_{n2} k_{\phi}, k_{p1}, k_{\partial 1}, k_{\partial 2}, k_{o1}, k_{o2} \quad (5)$$

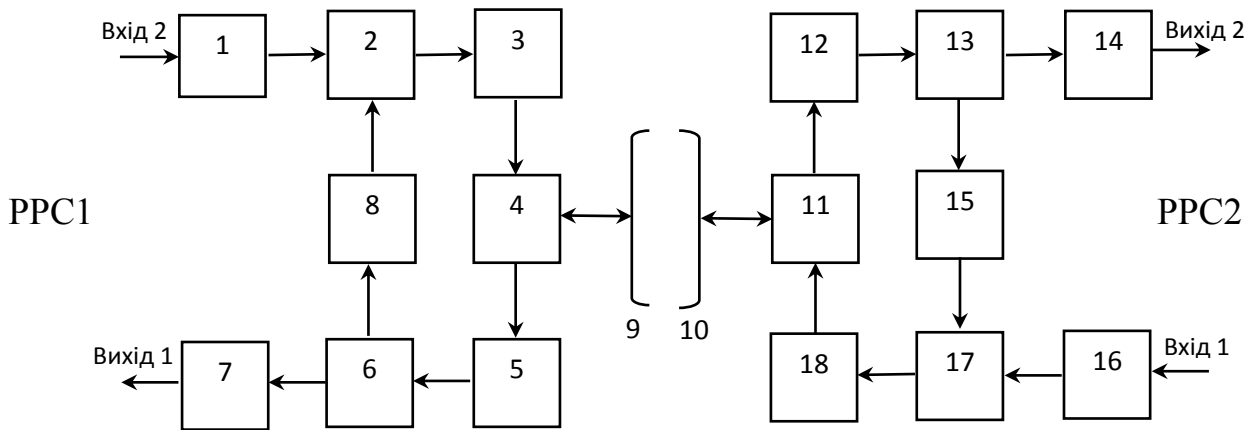


Рис.5. Схема дуплексної радіорелейної системи передачі з двома радіорелейними станціями PPC1 та PPC2, де здійснюється автоматичне регулювання потужності передавача PPC1: 1-пристрій формування інформаційного сигналу станції PPC1; 2-електрично керований пристрій попереднього підсилення потужності; 3-вихідний підсилювач потужності; 4-дуплексер PPC1; 5-приймач PPC1; 6-демультиплексор; 7-пристрій формування вихідного сигналу PPC1; 8-пристрій формування керуючого сигналу помилки; 9-антена PPC1; 10-антена PPC2; 11-дуплексер PPC2; 12-приймач PPC2; 13-демультиплексор; 14-пристрій формування вихідного сигналу PPC 2; 15-пристрій формування сигналу помилки; 16- пристрій формування вхідного сигналу PPC1; 17-мультиплексор; 18-передавач PPC2

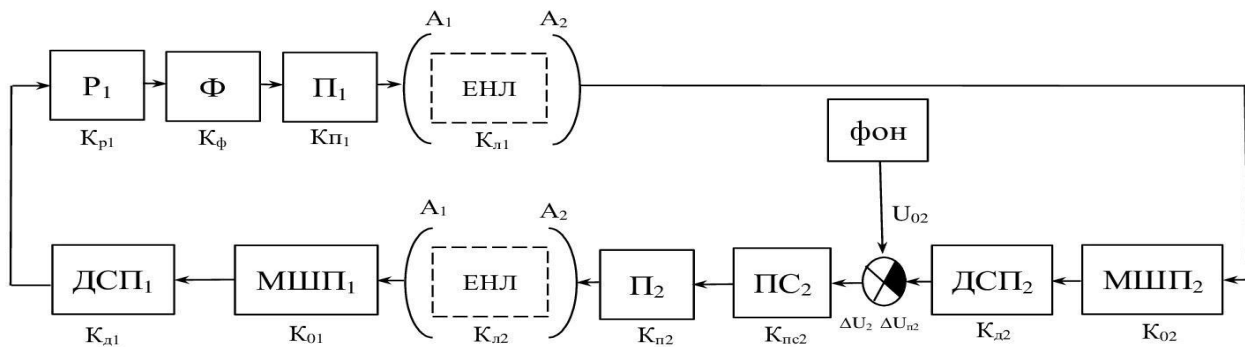


Рис.6. Структурна схема системи автоматичного регулювання потужності передавача PPC1 в дуплексній радіорелейній системі передачі: МШП<sub>1</sub>, МШП<sub>2</sub> – малозумливі підсилювачі; ДСП<sub>1</sub>, ДСП<sub>2</sub>-датчики сигналу помилки; ПС<sub>2</sub>- підсилювач сигналу помилки; P<sub>1</sub>-регулятор потужності; Ф-фільтр; П<sub>1</sub>, П<sub>2</sub>- передавачі; ЕНЛ-еквівалент

навантаження лінії; ФОН-формував опорної напруги;  $U_{02}$  – опорна напруга;  $\Delta U_{n2}$  – початкова помилка в розімкненій системі;  $\Delta U_2$  – залишкова помилка в замкнутій системі;  $k_{л1}$ ,  $k_{л2}$ ,  $k_{n1}$ ,  $k_{n2}$ ,  $k_{ф}$ ,  $k_{р1}$ ,  $k_{д1}$ ,  $k_{д2}$ ,  $k_{о1}$ ,  $k_{о2}$  – статичні коефіцієнти передачі пристроїв

**Четвертий розділ** - «Створення енергоефективної цифрової радіорелейної системи передачі з широкосмуговим шумоподібним сигналом» присвячений створенню ЦРСП з використанням актуального в даний час широкосмугового шумоподібного сигналу.

Як навмисну протидію роботі системи спеціальні служби використовують загороджувальну шумову заваду (рис.7). Тоді на виході корелятора відношення сигнал/завада буде:

$$\gamma_{вих} = \gamma_0 (1 - W_3 / W_c) \quad (6)$$

де  $\gamma_0$  - дійсне відношення сигнал / шум на виході корелятора при відсутності завади;  $W_c$ ,  $W_3$  - спектральна щільність сигналу та завади.

Доведено, що відношення сигнал/завада на виході корелятора поводиться так, якби потужність завад була рівномірно розподілена в смузі частот сигналу, додаючи до власного шуму додатковий шум зі спектральною щільністю  $P_3/W_c$ . ( $P_3$  - потужність завади).

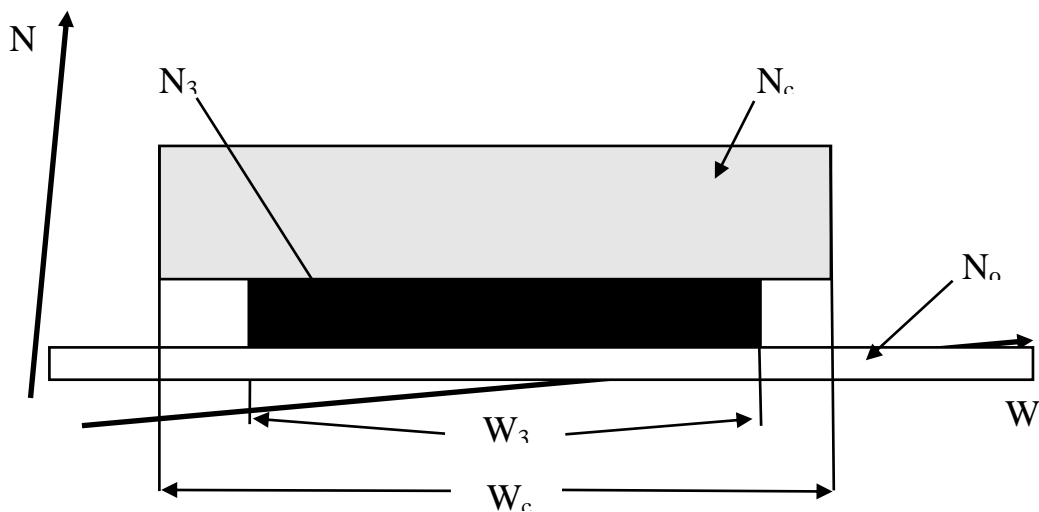


Рис. 7. Спектри сигналу та загороджувальної завади:  $N_c$ ,  $N_0$ ,  $N_3$  – спектральна щільність потужностей сигналу, власного шуму та завади

Широкосмуговий шумоподібний сигнал зазвичай формується з використанням ряду відомих модулюючих псевдовипадкових послідовностей (ПВП) методом прямого розширення спектру. Для цього використовуються різні ПВП:  $m$ -послідовність, послідовність Касамі, Голда і ін., а також код Уолша.

Такі системи не можна вважати захищеними від несанкціонованого доступу.

Використання явища динамічного хаосу забезпечує можливість створення нового класу ПВП, структуру яких практично неможливо відтворити, тому їх використання забезпечує підвищену скритність передачі інформації на відміну від вказаних вище відомих ПВП, структуру яких можна підібрати.

Генератори ПВП побудовані на основі одновимірних хаотичних відображень - логістичного, квадратичного та кубічного, що являють собою хаотичні системи. З метою з'ясування можливості використання хаосу для створення прийнятних ПВП одержані та досліджені імпульсні послідовності на основі хаосу з логістичним, квадратичним та кубічним відображеннями.

З використанням методу графічного інтерфейсу користувача в системі МАТЛАБ досліджені автокореляційні функції (АКФ) одержаних ПВП та визначені реалізації з мінімальним рівнем бічних пелюсток. Для цього використана програма в системі МАТЛАБ. Створені ПВП із хаосу мають 3 секретних ключі: параметр біфуркаційної діаграми  $r$ , початкове значення послідовності  $x_0$  та значення змінної  $n_k$ , з якої починається формування ПВП. Дослідження показали, що найкращі характеристики мають ПВП, одержані при використанні хаотичних сигналів за логістичним відображенням.

Були досліджені ПВП, одержані із хаотичного сигналу за логістичним відображенням за рівнянням:

$$X_{n+1} = f(X_n) = \lambda X_n (1 - X_n) \quad (7)$$

де  $X_n$  - змінна стану, яка знаходиться в інтервалі  $0 - 1$ ;  $n$  - номер ітерації,  $n = 0, 1, 2, 3, \dots, \infty$ ;  $\lambda$ -параметр хаотичного сигналу ( $\lambda=3,6-4$ ).

Результати дослідження АКФ 10 ПВП із кількістю імпульсів 10,20,30,40,50,100,150,200, одержаних із хаосу за логістичним відображенням відповідно до формули (8), показані в табл.2.

На рис.8. наведена АКФ ПВП, одержаної з хаосу за логістичним відображенням послідовності з кількістю імпульсів 200.

В табл.3 наведені АКФ відібраних ПВП, одержаних із хаотичних сигналів за логістичним відображенням.

При створенні запропонованої ПВП використовуються згенеровані ПВП із 2-х джерел хаотичних сигналів довжиною 15, наприклад  $f_1(x)$  (за логістичним відображенням) та  $f_2(x)$  (за квадратичним відображенням).

Далі здійснюється складання за модулем «2» цих сигналів і одержуються остаточні ПВП  $f_2(x)$ , із яких за допомогою методу графічного інтерфейсу користувача відбираються ПВП із прийнятними рівнями бокових пелюсток.

$$f_1(x) = 1 \ 1 \ 1-1 \ 1-1-1 \ 1 \ 1-1 \ 1-1-1 \ 1-1$$

$$f_2(x) = -1 \ 1-1-1 \ 1-1 \ 1 \ 1-1-1-1 \ 1-1-1 \ 1$$

$$f_2(x) = 1-1 \ 1-1-1-1 \ 1-1 \ 1 \ 1-1 \ 1-1 \ 1 \ 1$$

Одержана ПВП має вже 6 секретних ключів.

На рис.9 наведені АКФ ПВП  $f_1(x)$ ,  $f_2(x)$ ,  $f_2(x)$ .

На рис.10 наведена схема побудови симплексної радіорелейної системи передачі з широкосмуговим сигналом з використанням ПВП на основі хаосу,

використання якої може бути актуальним в урядових структурах, військових з'єднаннях та спеціальних службах.

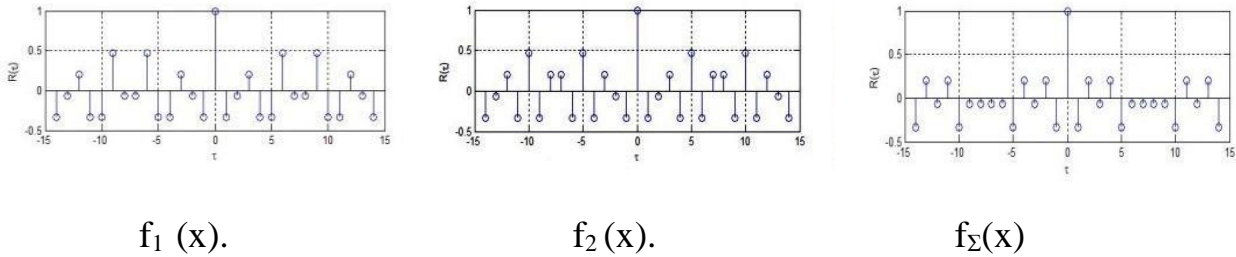


Рис.9. АКФ ПВП  $f_1(x)$ ,  $f_2(x)$ ,  $f_\Sigma(x)$

Таблиця 2. Рівні бічних пелюсток АКФ ПВП із хаосу за логістичним відображенням послідовності з кількістю імпульсів 200

| Кільк. імпульсів $\rightarrow$ | 10       | 20       | 30       | 40       | 50       | 100      | 150      | 200      |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| № ПВП $\downarrow(x_0)$        |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 1 (0,1)                        | 0,6;-0,6 | 0,4;-0,4 | 0,4;-0,4 | 0,5      | -0,4     | -0,3     | -0,3     | -0,3     |
| 2 (0,2)                        | 0,2;-0,2 | 0,5;-0,5 | -0,5     | 0,4;-0,4 | 0,3;-0,3 | 0,2;-0,2 | 0,2;-0,2 | 0,2;-0,2 |
| 3 (0,3)                        | 0,6      | 0,4      | 0,4      | 0,3      | 0,3      | 0,2;-0,2 | 0,2;-0,2 | 0,2;-0,2 |
| 4 (0,4)                        | 0,6      | 0,4;-0,4 | 0,4;-0,4 | 0,4      | -0,3     | -0,3     | 0,2;-0,2 | -0,3     |
| 5 (0,5)                        | -0,6     | 0,2;-0,2 | -0,4     | 0,4      | 0,3;-0,3 | 0,2      | 0,2;-0,2 | 0,2;-0,2 |
| 6 (0,6)                        | 0,6      | 0,4      | -0,3     | -0,3     | 0,3      | 0,2;-0,2 | 0,2;-0,2 | 0,2;-0,2 |
| 7 (0,7)                        | 0,6      | 0,4;-0,4 | 0,4;-0,4 | -0,3     | -0,3     | -0,4     | 0,2;-0,2 | -0,3     |
| 8 (0,8)                        | 0,6      | 0,4      | 0,4;-0,4 | 0,3      | 0,4      | 0,2;-0,2 | 0,2;-0,2 | 0,2;-0,2 |
| 9 (0,9)                        | 0,2;-0,2 | 0,4;-0,4 | -0,5     | 0,4;-0,4 | 0,4      | 0,2;-0,2 | 0,3      | 0,2;-0,2 |
| 10 (0,9)                       | 0,6;-0,6 | 0,4;-0,4 | 0,4;-0,4 | 0,4;-0,4 | -0,4     | -0,3     | -0,3     | -0,3     |

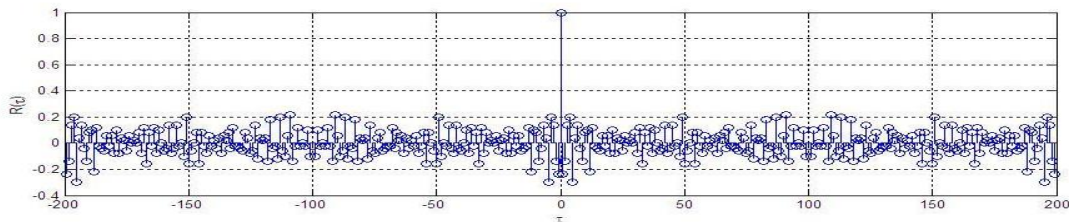


Рис. 8. АКФ ПВП, одержаної з хаосу за логістичним відображенням

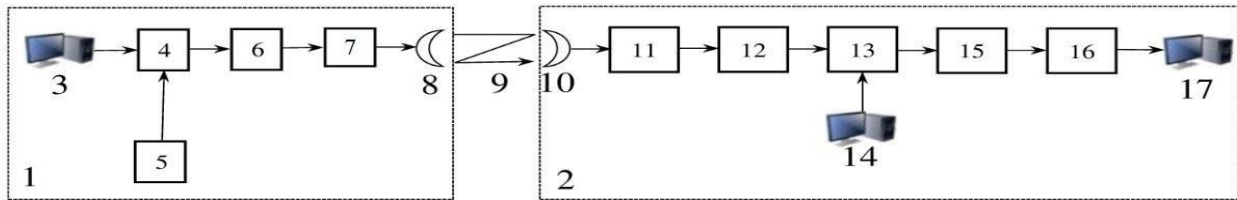


Рис.10. Схема побудови симплексної радіорелейної системи передачі з широкосмуговим сигналом з використанням ПВП на основі хаосу: 1- передавач; 2- приймач; 3 – персональний комп’ютер (ПК) для формування сигналу; 4 – модулятор; 5 – генератор високочастотного сигналу; 6- перетворювач частоти; 7 – підсилювач потужності; 8,10 – антени передавача і приймача; 9 – радіоканал; 11 – малошумливий підсилювач; 12 – перетворювач частоти; 13 –РАКЕ- приймач; 14 – ПК для формування опорного сигналу ПВП;; 15 – вирішуючий пристрій; 16 – демодулятор 17 – ПК для формування прийнятого сигналу.

Відібрана ПВП в модуляторі 4 використовується для фазової модуляції високочастотного гармонічного сигналу від генератора 5. Потім в перетворювачі частоти 6 сигнал переноситься на високу робочу частоту, підсилюється за потужністю в підсилювачі 7 і через антену 8 надходить до радіоканалу 9. Прийнятий антенною 10 сигнал в приймачі після підсилення малошумливим підсилювачем 11 переноситься на проміжну частоту за допомогою перетворювача частоти 12. Далі сигнал надходить до РАКЕ-приймача 13, де завдяки спеціальній обробці багатопроменевого сигналу в кореляторах з використанням опорного сигналу від джерела ПВП 14 одержується максимальне відношення сигнал/шум. Одержаний у вирішуючому пристрої 15 сигнал надходить до демодулятора 16, після чого в ПК 17 формується передане конфіденційне повідомлення.

В роботі запропонована широкосмугова радіорелейна система передачі з двома окремими антенними каналами, в якій здійснюється структурне (кодове) розділення сигналів в каналах (рис.11).

Передумовою розробки схеми телекомунікаційної системи (ТКС) є передача широкосмугового сигналу в радіоканалі з мінімальною смугою пропускання з огляду на дефіцит частотного ресурсу та зменшення потужності зовнішніх завад, що надходять до радіоканалу із навколишнього середовища.

Для цього з початку швидкість сигналу зменшена в 2 рази, тобто тривалість імпульсу інформаційного сигналу  $T_1$  збільшена в 2 рази, що забезпечує використання радіоканалу із зменшеною в 2 рази смугою пропускання.

Тоді при уявній модуляції високочастотного сигналу даним сигналом і збереженні потужності передавачів відношення сигнал/шум буде:

$$\gamma_1 = A^2 T_1 / N_0 = 2\gamma \quad (8)$$

де  $A$  – амплітуда імпульсу;  $T_1$  – тривалість імпульсу послідовності;

$N_0$ - спектральна щільність шумів в радіоканалі;  $\gamma$ - відношення сигнал шум при уявній модуляції первинним інформаційним сигналом високочастотного сигналу.

Шумоподібний сигнал зазвичай створюється методом прямого розширення спектру шляхом перетворення імпульсів інформаційного сигналу в послідовність коротких імпульсів тривалістю  $\tau$ , наприклад, за ПВП Голда. При модуляції таким сигналом високочастотного сигналу створюється складний шумоподібний радіосигнал ФМ-2 з базою  $B=2T_1/\tau$ . Тоді відношення сигнал/шум буде зменшене в  $B$  разів:

$$\gamma_2 = A^2 \tau / 2 N_0 = A^2 T_1 / N_0 B = 2 \gamma / B \quad (9)$$

Для подальшого зменшення смуги пропускання радіоканалу в 2 рази слід використати фазоманіпульований сигнал ФМ -4 з тривалістю імпульсу  $2\tau_i$ . Для створення ширококутового сигналу з ФМ-4 класична псевдовипадкова послідовність Голда не придатна, так як вона має непарну кількість бітів. Для створення системи з кодовим розділенням каналів із сигналом ФМ-4 доцільно використати модифіковану псевдовипадкову послідовність Голда з парною кількістю бітів шляхом додавання до класичної послідовності 1 біта, наприклад, на кінці послідовності. Як показали дослідження взаємкореляційна функція 2-х реалізацій модифікованої послідовності Голда з використанням програми в системі МАТЛАБ практично не погіршується в порівнянні з використанням класичного коду Голда.

Тоді відношення сигнал/шум в системі з ФМ-4 буде покращено ще в 2 рази:

$$\gamma_3 = A^2 2T / N_0 = 4\gamma / B \quad (10)$$

Створені в передавачі сигнали передаються до антен, з яких сигнали надходять до радіоканалу.

Слід зазначити, що при використанні радіорелейних систем передачі в умовах мегаполісу мають місце завади у вигляді відбитих від перешкод сигналів, які надходять через значні бокові пелюстки антен, що мають невеликий розмір: діаметр розкриву до 2 м. Тому актуально використання обробки сигналів за допомогою РАКЕ-приймачів.

В системі використовується кадрова синхронізація з формуванням в передавачі маркерного сигналу. В синхронізаторі створюються синхросигнали з використанням автокореляційного приймання сигналу проміжної частоти, які надходять до генераторів опорних сигналів кореляторів РАКЕ-приймачів.

Враховуючи, що при обробці сигналів в кореляторах РАКЕ- приймачів відношення сигнал/шум на виході корелятора буде збільшене в  $B$  разів, в системі буде відновлене відношення сигнал/шум, яке було погіршене в  $B$  разів при створенні шумоподібного сигналу.

Подача на вхід RAKE - приймачів збільшеного значення відношення сигнал/шум у порівнянні з вхідним значенням дозволяє одержати підвищене відношення сигнал/шум на виході системи. В даній системі на вході RAKE-приймачів забезпечується в 4 рази більше відношення сигнал/шум в порівнянні із значенням на вході.

При об'єднанні сигналів променів за принципом максимального відношення сигнал/шум зважуються їх відношення сигнал/шум і потім складаються. При цьому необхідно досягти синфазності сигналів. Складання з максимальним відношенням сигнал/шум дає середнє значення сигнал/шум на виході кожного RAKE- приймача, що дорівнює сумі окремих відношень сигнал/шум.

Доведено, що на виході кожного RAKE –приймача відношення сигнал/шум буде:

$$\gamma_{\Sigma} = (\gamma_0 + \psi \sum_{i=0}^3 \gamma_j) \quad (11)$$

де  $\gamma_0$  - відношення сигнал/шум сигналу основного напрямку;

$\gamma_i$  –відношення сигнал/шум і-ого променю ( $i_{\text{макс}}=3$ );

$\psi$ - відношення суми значень сигнал/шум променів до значення сигнал/шум від сигналу основного напрямку:

$$\psi = (\sum_{i=0}^3 \gamma_j) / \gamma_0 \quad . \quad (12)$$



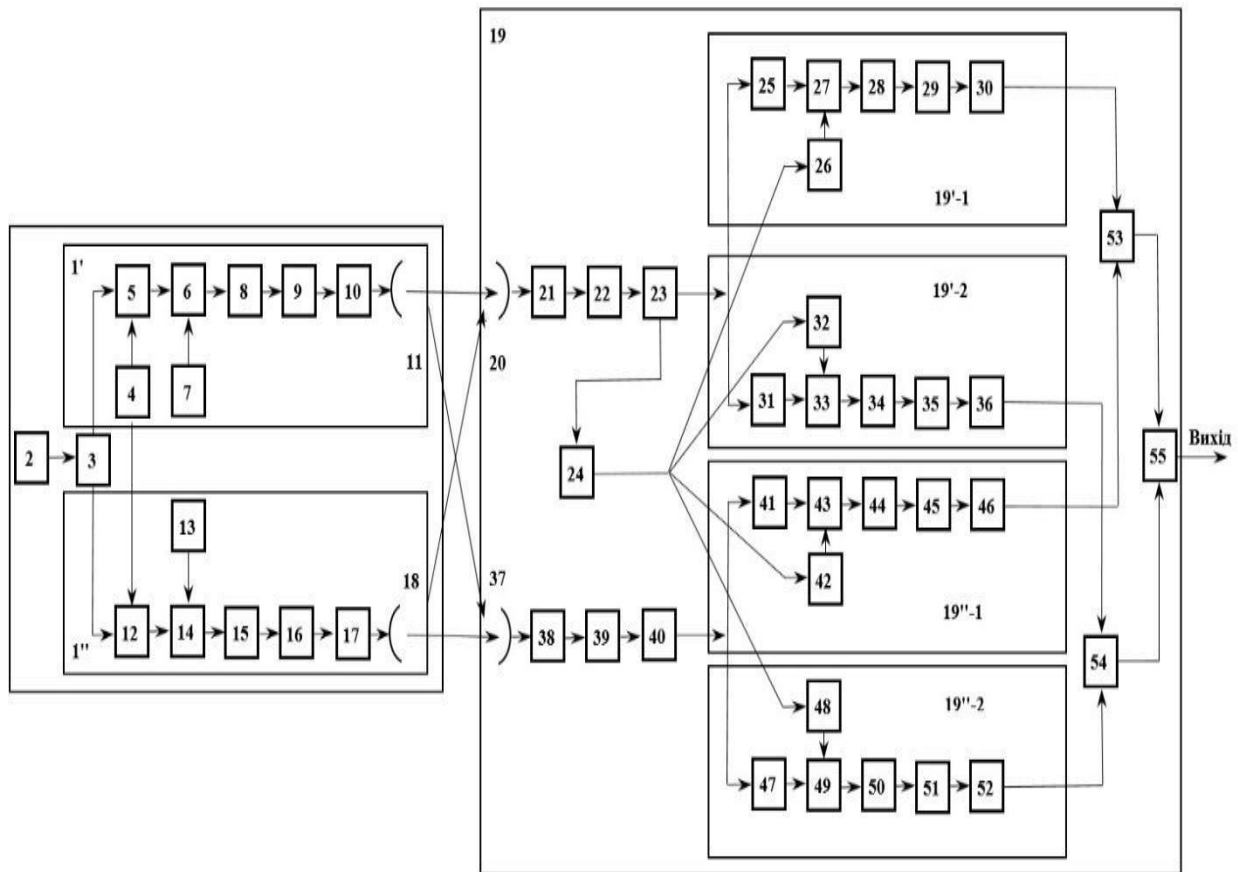


Рис.10. Схема запропонованої радіорелейної системи передачі з кодовим розділенням сигналів каналів: 1 - передавач; 2 - джерело інформаційного сигналу; 3 - дільник сигналу; 4 - генератор сигналу проміжної частоти; 5, 12 - модулятори; 6, 14 - пристрої створення шумоподібного сигналу ФМ 2; 7, 13 - генератори модифікованих ПВП Голда; 8, 15 - пристрої створення шумоподібного сигналу ФМ 4; 9, 16 - перетворювачі частоти; 10, 17 - підсилювачі потужності; 11, 18, 20, 37 - антени; 19 - приймач; 21, 38 - малошумливі підсилювачі; 22, 39 - перетворювачі частоти; 23, 40 - підсилювачі; 25, 31, 41, 47 - пристрої формування сигналу ФМ 2; 26, 32, 42, 48 - генератори опорних радіосигналів ПВП Голда ФМ 2; 24 - синхронізатор; 27, 33, 43, 49 - приймачі типу RAKE; 28, 34, 44, 50 - вирішуючі пристрої; 29, 35, 45, 51 - детектори; 30, 36, 46, 52 - формувачі відеосигналу; 53, 54, 55 - суматори; 1', 1'' - підсистеми передавача, 19'-1, 19'-2, 19''-1, 19''-2 - підсистеми приймача

Зазвичай  $\psi < 1$ . Слід зазначити, що в реальних випадках можуть бути відсутні окремі промені ( $i=0$ ), тоді буде здійснюватись обробка тільки сигналу від основного напрямку  $\gamma_0$  і буде  $\psi=0$ . В пристроях 14, 17, 27, 32 (див.рис.10) здійснюється відновлення сигналів тривалістю  $T_1$  та знаходяться за розробленим методом, захищеним патентом України та викладеним в розділі 2, значення окремо сума потужностей корисних сигналів від 4-х каналів:

$$P_c = P_{c1} + P_{c2} + P_{c3} + P_{c4} \quad (13)$$

де  $P_{c1}, P_{c2}, P_{c3}, P_{c4}$  - потужності сигналів від каналів  $19^1 1, 19^{11} 1, 19^1 2, 19^{11} 2$ , до складу яких входять сигнали основних каналів і променів, а також окремо сума потужностей шумів від 4-х каналів:

$$P_{ш} = P_{ш1} + P_{ш2} + P_{ш3} + P_{ш4} \quad (14)$$

де  $P_{ш1}, P_{ш2}, P_{ш3}, P_{ш4}$  - потужності шумів від каналів  $19^1-1, 19^{11}-1, 19^1-2, 19^{11}-2$ , до складу яких входять шуми основних каналів і променів.

Після складення потужностей сигналів та шумів в суматорах 53, 54, 55 на виході системи одержимо відношення сигнал/шум:

$$G = (P_{c1} + P_{c2} + P_{c3} + P_{c4}) / (P_{ш1} + P_{ш2} + P_{ш3} + P_{ш4}) \quad (15)$$

Слід підкреслити, що завдяки зменшенню швидкості передачі сигналу в 2 рази та використанню сигналу ФМ-4 відношення сигнал/шум на вході РАКЕ-приймачів буде в 4 рази більше від відношення сигнал/шум на вході системи. При цьому відношення сигнал/шум на виході системи буде суттєво збільшене.

За графіком рис.2 можна знайти величину ймовірності помилки приймання сигналу за отриманим значенням відношення сигнал/шум. Якщо ймовірність помилки приймання сигналу буде кращою за потрібну, можна зменшити відношення сигнал/шум, тобто зменшити потужність передавачів.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язана актуальна науково-технічна задача, яка полягає в комплексному підході до забезпечення мінімальної потужності передавачів ЦРСП, що забезпечує допустимий рівень електромагнітного випромінювання у навколишнє середовище за вимогами збереження здоров'я людей, електромагнітної сумісності систем, економію електроживлення при роботі від акумуляторної батареї. Крім того використання псевдовипадкової послідовності на основі хаосу та кодове розділення сигналу в окремих каналах забезпечує покращену скритність передачі інформації.

При виконанні роботи одержані наступні наукові результати:

1. Проведені дослідження впливу видів модуляції сигналу на потужність передавача, для чого введений коефіцієнт енергетичної ефективності. Показано, що найкращі результати надає використання сигналу ФМ-4 з енергетичним вирашем від 2,7 дБ до 4,7 дБ в порівнянні з іншими видами маніпуляції. При використанні сигналу ФМ-4 також забезпечується найкраща заводо захищеність системи.

2. Розроблений метод підвищення ефективності ТКС з амплітудно-маніпульованим сигналом та незмінною смугою пропускання радіоканалу шляхом автоматичного встановлення максимальної вихідної напруги підсилювача дозволяє чітко визначити рівні багатопозиційного амплітудно-маніпульованого сигналу та одержати їх максимальну величина і кількість.

3. Розроблений метод визначення відношення сигнал/шум та окремо рівня сигналу помилки дозволяє створювати адаптивні системи автоматичного регулювання потужності передавачів радіорелейних станцій в умовах опадів. Запропоновані рекомендації щодо розробки радіорелейних станцій з введенням пристроїв, що забезпечують автоматичне регулювання потужності передавачів радіорелейних станцій.

4. Показана доцільність використання ПВП на основі хаосу для створення ТКС з широкосмуговим шумоподібним сигналом, що дозволяє суттєво підвищити скритність передачі інформації в порівнянні з використанням відомих ПВП (m-последовності, кодів Гольда, Касамі).

5. Запропонована ЦРСП з шумоподібним сигналом та з кодовим розділенням сигналів каналів шляхом використання модифікованої псевдовипадкової послідовності Голда. Здійснена комплексна оптимізація енергетичних характеристик системи.

Науково-технічні рішення, аналогічні одержаним в розділах 2,3,4 результатам, у відомій літературі не наведені.

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Semenکو A. MIMO system (2x2) with channels code division implying a modified -random Gold's sequence/ A. Semenکو, N. Bokla, Y. Shestopal // Збірник матеріалів науково-технічної конференції 2016 IEEE міжнародна конференція з інформаційно-телекомунікаційних технологій та радіоелектроніки. УкрМіко'2016. Київ-2016.-С. 301-302.

2. Семенко А. И. Анализ влияния видов манипуляции сигнала на энергетику радиолинии/ А. И. Семенко, Н. И Бокла, Е. А. Домрачева, Е. А. Шестопап // Зв'язок, -2017.-№1 (114).-С.40-43.

3. Семенко А. І. Телекомунікаційна система з покращеним приймання амплітудно-маніпульованого сигналу / А. І. Семенко, Н.І. Бокла, К. О. Домрачева, Є. О. Шестопап // Вісник Хмельницького національного університету, - 2017.-№6.-С. 178-182.(Index Copernicus).

4. Semenکو Anatoly. Characteristics Improvement of the Wideband Telecommunication System applying Chaos Based Pseudorandom Sequence/ Anatoly Semenکو, Nikolay Kushnir, Natalia Bokla, Yevhenii Shestopal // Information and Telecommunication Sciences.- 2018.- Volume 10.- Number 2.-pp 12-16.

5. Семенко А. І. Радіорелейна лінія зв'язку з покращеними характеристиками. / А. І. Семенко, Н. І. Бокла, К. О. Домрачева, Є. О. Шестопап // Вісник університету «Україна». Серія:інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика.- 2019.-№1(22).- С.210-219.

6. Кушнір М. Я. Інформаційна безпека хаотичних систем зв'язку/ Кушнір М. Я., Семенко А. І., Косован Г. В., Бокла Н. І., Є. О. Шестопап // Вісник університету 2019 «Україна», серія «Інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика // №1(22). Київ,-С 175-180.

7. Семенко А. І. Кодове розділення каналів у широкосмуговій телекомунікаційній системі з МІМО (2x2) при використанні модифікованої псевдовипадкової послідовності Голда/ А. І. Семенко., Н. І. Бокла, Є. О.

Шестопап // Вісник університету «Україна», серія «Інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика. №2(23). Київ, 2019.-С 37-44.

8. Kushnir M., Semenko A., Kosovan G., Bokla N., Shestopal Y. (2019). Increasing the Cryptosecurity of Telecommunication Systems with Spread Spectrum by Using Pseudorandom Sequences Based on Two Ergodic Chaotic Signals./ 2019. 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT 2019 – Proceedings (pp. 455–458). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. (Scopus).

9. Semenko A. Mathematical model of telecommunication system with MIMO 3x3 /A. Semenko, Y. Shestopal, S. Kriviy, N. Bokla // 2019 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo 2019 - Proceedings, 2019, 9165373 (Scopus).

10. Семенко А. І. Спосіб визначення відношення сигнал/шум в радіорелейній системі зв'язку/ А.І. Семенко, Н. І. Бокла, Є. О. Шестопап // Патент України UA 142393, заявка 2019 06562 від 12.06.201, публікація відомостей 10.06.20, бюл. №11.

11. Pelishok V., Shestopal Ye., Semenko A. Selection of efficient digital phase modulation in telecommunication system. The International Scientific Periodical Journal "Modern Technology and Innovative Technologies", No. 15, 2021, pp.62-67.

#### АНОТАЦІЯ

**Шестопап Є.О. Методи покращення енергетичної ефективності та скритності цифрових радіорелейних систем передачі. - На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 «Телекомунікаційні системи та мережі». – Національний авіаційний університет Міністерства освіти і науки України, Київ, 2021.

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-технічна задача, яка полягає в новому комплексному підході до забезпечення мінімальної потужності передавача, достатньої для одержання заданої ймовірності помилки приймання сигналу, та покращеної скритності передачі інформації.

Проведені дослідження впливу виду модуляції сигналу на потужність передавача радіорелейної станції. Показано, що найкращі результати досягаються при використанні 4-х позиційного фазоманіпульованого сигналу ФМ-4.

При даній смузі пропускання радіоканалу пропонується використати амплітудно-маніпульований сигнал з підвищеним рівнем сигналів та їх кількості шляхом автоматичного встановлення максимального рівня вихідної напруги підсилувача.

Пропонується спосіб визначення відношення сигнал/шум та рівня сигналу помилки, що дозволяє створити системи автоматичного регулювання потужності передавачів радіорелейних станцій в дуплексній та симплексній системі радіорелейній зв'язку з використанням переданого через канал зворотного зв'язку сигналу помилки..

При розробці телекомунікаційних систем (ТКС) ефективно використання широкопозвогового шумоподібного сигналу з великою базою, що забезпечує

підвищену завадостійкість систем в умовах дії завад, покращені електромагнітну сумісність систем та скритність передачі інформації.

Широкопasmовий сигнал формується з використанням ряду відомих модулюючих псевдовипадкових послідовностей (ПВП) методом прямого розширення спектру, але такі системи не можна вважати захищеними від несанкціонованого доступу.

Суттєве підвищення скритності передачі інформації забезпечує створення та використання для створення шумоподібного сигналу ПВП на основі хаосу.

Як показали дослідження, слід вважати ефективним використання ПВП з шістьма секретними ключами на основі ПВП із 2-х хаотичних сигналів. Такі системи практично неможливо розкрити зловмисникам на відміну від ТКС з відомими ПВП (m-послідовності, ПВП Голда, Касамі та інш.).

При створенні системи з широкопasmовим сигналом з 2-а антенними каналами здійснюється кодове розділення сигналів в приймачі та оптимальна обробка сигналу шляхом використання РАКЕ- приймачів .

Підкреслюється можливість створення в системі каналу зворотного зв'язку для корегування потужності передавача в симплексній та дуплексній радіорелейній системі передачі.

Ключові слова: телекомунікаційна система, канал зв'язку, широкопasmовий сигнал, псевдовипадкова послідовність, обробка сигналу, маніпуляція сигналу, потужність передавача, відношення сигнал/шум, радіорелейна система, багатопромеєне розповсюдження.

## АННОТАЦІЯ

**Шестопає Е.А. Методи улущення енергетической еффективности и скритности цифровых радиорелейных систем передачи.** - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 «Телекоммуникационные системы и сети». - Национальный авиационный университет Министерства образования и науки Украины, Киев, 2021.

В диссертационной работе решена актуальная научно-техническая задача, заключающаяся в новом комплексном подходе к улущению энергетических характеристик цифровых радиорелейных системах передачи путем использования эффективных методов манипуляции сигнала, адаптивных методов приема с автоматической регулировкой мощности передатчика и обработкой сигнала в приемнике. Кроме того, использование псевдослучайной последовательности на основе хаоса и кодовое разделение сигнала в отдельных каналах обеспечивает улущенную скритность передачи информации

Проведены исследования влияния вида манипуляции сигнала на мощность передатчика радиорелейной станции. Показано, что наилучшие результаты достигаются при использовании 4-х позиционного фазоманипулированного сигнала ФМ-4. При этом энергоэффективность системы будет на 2,7 дБ выше, чем при использовании сигнала ФМ-2, а тем более других видов манипуляции. Важно, что в данном случае система имеет также лучшую помехоустойчивость.

При данной полосе пропускания радиоканала предлагается добиться повышения пропускной способности системы путем увеличения количества позиций амплитудно-манипулированного сигнала та их уровня, что достигается автоматическим регулированием максимального уровня выходного напряжения усилителя.

Предлагается способ определения отношения сигнал/шум и уровня сигнала, который позволяет создать системы автоматического регулирования мощности передатчиков радиорелейных станций в дуплексной и симплексной системе радиорелейной связи с использованием канала обратной связи. При этом осуществляется адаптивный прием сигнала в системе с автоматическим регулированием мощности передатчиков с использованием сигнала ошибки, переданного через канал обратной связи.

При разработке телекоммуникационных систем (ТКС) эффективно использование широкополосного сигнала с большой базой, что обеспечивает повышенную помехоустойчивость систем в условиях действия узкополосных и широкополосных помех, улучшенные электромагнитную совместимость систем с соседними электронными устройствами и скрытность передачи информации.

Широкополосный шумоподобный сигнал формируется с использованием ряда известных модулирующих псевдослучайных последовательностей (ПСП) методом прямого расширения спектра, но такие системы нельзя считать защищенными от несанкционированного доступа.

Существенное повышение скрытности передачи информации обеспечивает использование для создания шумоподобных сигналов ПСП на основе хаоса. Как показали исследования, следует считать эффективным использование ПСП с шестью секретными ключами на основе ПСП из 2-х хаотических сигналов с логистическим и квадратичными изображениями. Это в 2 раза повышает уровень криптозащиты систем, которые практически невозможно раскрыть злоумышленникам в отличие от ТКС с известными ПСП (m-последовательности, ПВП Голда, Касами и др.).

При создании систем с широкополосным сигналом двумя антенными каналами осуществляется кодовое разделение сигналов в приемнике и оптимальная обработка сигнала путем использования Rake-приемников. Подчеркивается возможность создания в системе канала обратной связи для передачи сигнала ошибки и создания системы автоматического регулирования мощности передатчика в симплексной и дуплексной радиорелейной системе передачи.

Ключевые слова: телекоммуникационная система, канал связи, широкополосный сигнал, псевдослучайная последовательность, обработка сигнала, манипуляция сигнала, мощность передатчика, отношение сигнал / шум, радиорелейная система, многолучевое распространение

#### ANNOTATION

**Shestopal Ye.O. Methods of improving of energy efficiency and secrecy of digital radio relay transmission systems. - On the rights of the manuscript.**

The thesis for a scientific degree “Candidate of technical sciences” for a specialty 05.12.02 "Telecommunication systems and networks". - National Aviation University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2021.

Actual scientific and technical problem is solved in the thesis, which consists in a new complex approach to provide the minimum transmitter power sufficient to obtain a given probability of signal reception error and improved secrecy of information.

Researches of influence of modulation types of a signal are carried out on power of radio relay station transmitter. It is shown that the best results are achieved when using a QPSK modulation type.

With the given bandwidth, it is proposed to use AM signal with an increased level of signals and their number by automatically setting the maximum amplifier output voltage.

A method is proposed to determine the signal / noise ratio and a level of signal error, enabling to develop a system of automatic power control of radio relay station transmitter for simplex and duplex types using transmitted signal error via a feedback channel.

Developing a telecommunication system (TCS), it is efficient to use a broadband signal with a wide base, which provides increased noise immunity for interference, improved electromagnetic compatibility of systems and secrecy of information transmission.

Broadband noise-like signal is generated using a number of known modulating pseudo-random sequences (PRS) by direct spread spectrum approach, but such systems cannot be considered protected from unauthorized access.

A significant increase of the secrecy of information transmission provides the use of a noise-like signal using PRS based on chaos.

Studies have shown that the use of PRS with six secret keys based on PRS with 2 chaotic signals should be considered an effective one. Such systems are significantly protected from unauthorized encoding, in contrast to TCS with known PRS (m-sequences, Gold's PRS, Kasami's PRS, etc.).

Creating a system with a broadband noise-like signal with 2 antenna channels are used code division of signals in the receiver and optimal signal processing by using Rake type receivers.

The possibility of creating a feedback channel in the system to adjust transmitter power of simplex and duplex radio relay system is emphasized.

Keywords: telecommunication system, communication channel, broadband signal, pseudo-random sequence, signal processing, signal modulation, transmitter power, signal-to-noise ratio, radio relay system, multi-beam propagation.

Підписано до друку \_\_\_\_\_ р.  
Формат \_\_\_\_\_. Обсяг \_\_\_\_ др. арк.  
Тираж \_\_\_\_ прим. Зам. № \_\_\_\_.  
Віддруковано у редакційно-видавничому відділі \_\_\_\_\_  
м. \_\_\_\_\_, вул. \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_  
тел. \_\_\_\_\_  
© КИЇВ, 2021