

УДК 621.3.052.63

РАДІОРЕЛЕЙНА ЛІНІЯ ЗВ'ЯЗКУ З ПОКРАЩЕНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

DOI 10.36994/2707-4110-2019-1-22-15

Семенко А. І., д.т.н., проф., Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна», Київ, Україна. setel@ukr.net

Бокла Н. І., к.т.н., Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна. nataloshka_77@ukr.net

Домрачева К. О., к.т.н., Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. katyscha@ukr.net

Шестопап Є. О., Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. ie.shestopal@gmail.com

Анотація. Розглядаються методи покращення енергетики, завадозахищеності та конфіденційної передачі інформації в лініях радіорелейного зв'язку. Підкреслюється, що найкращі характеристики мають радіорелейні лінії зв'язку з використанням 4-позиційного фазоманіпульованого сигналу ФМ-4. Показані переваги радіорелейних ліній з шумоподібним сигналом, створених при використанні псевдовипадкових послідовностей на основі хаосу.

Ключові слова: Радіорелейна лінія, рівняння радіолінії, фазоманіпульований сигнал, енергетичний вигравш, завадозахищеність, псевдовипадкова послідовність, конфіденційність

RADIO RELAY STATIONS WITH IMPROVED CHARACTERISTICS

Anatoly Semenko, Dr.habil., Prof., Open International University of Human Development «Ukraine», Kyiv, Ukraine. setel@ukr.net

Natalija Bokla, Ph.D., National University «of Lviv Polytechnic», Lviv, Ukraine. nataloshka_77@ukr.net

Catherina Domracheva, Ph.D., State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine. katyscha@ukr.net

Yevhen Shestopal, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine. ie.shestopal@gmail.com

Abstract. Despite the variety of modern means of communication, radio relay lines of information are not lost due to the possibility of their creation in hard-to-reach mountain regions and in conditions of dense development of large cities. One-way radio relay lines have been widely used to transmit information between the central office and branches of the enterprise in corporate networks, between base stations and switching center in mobile communication networks, between military structures for operational management, in emergency situations.

When creating radio relay links, the basic tasks are to use the minimum possible transmitter power sufficient to ensure the required quality of information transmission. At the same time minimum influence of electromagnetic radiation on health of people in the area of station operation, better electromagnetic compatibility of equipment with equipment of neighboring regions, duration of station operation at power supply from accumulator battery are achieved.

Long-range radio relay communication lines are used to transmit information over long distances, in which radio relay stations are used as repeaters, including intelligent SMART repeaters with MIMO.

In this paper are reviewed the methods to improve the energy, noise immunity and confidential microwave link using the 4-way signal of PM-4. The advantages of microwave links with noise-like signals generated using pseudorandom sequences based on chaos are shown here.

Keywords: *microwave links, radio relay equations, phase modulation, energy gain, noise immunity, pseudorandom sequence, confidentiality*

Вступ

Не дивлячись на розмаїття сучасних засобів зв'язку, не втрачають актуальності радіорелейні лінії передачі інформації завдяки можливості їх створення в важкодоступних гірських регіонах та в умовах щільної забудови великих міст [1–5]. Широке використання набули однопролітні радіорелейні лінії (рис. 1) для передачі інформації між центральним офісом та філіями підприємства в корпоративних мережах, між базовими станціями та центром комутації в мережах мобільного зв'язку, між військовими структурами для оперативного управління, при організації робіт в надзвичайних ситуаціях.

Для передачі інформації на великі відстані використовуються магістральні радіорелейні лінії зв'язку, в яких радіорелейні станції використовуються як ретранслятори, зокрема інтелектуальні SMART ретранслятори з MIMO.

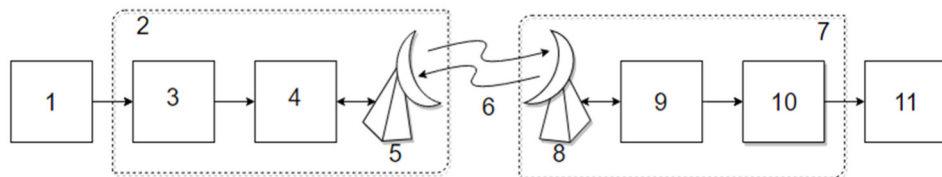


Рис. 1. Схема однопролітної радіорелейної лінії: 1 — вузол зв'язку; 2 — радіорелейна станція № 1; 6 — радіоканал; 7 — радіорелейна станція № 2; 3, 10 — пристрій формування та обробки сигналу; 4, 9 — приймально-передавальний пристрій; 11 — термінал абонента

Останнім часом все більше поширення набувають малогабаритні радіорелейні станції міліметрового діапазону аж до робочої частоти 94 ГГц, які мають широкую смугу радіоканалу, що забезпечує високу швидкість передачі інформації в тому числі з використання псевдошумового сигналу з відомими перевагами.

При створенні радіорелейних ліній зв'язку основним завданням є використання мінімально можливої потужності передавача, достатньої для забезпечення необхідної якості передачі інформації. При цьому досягається мінімальний вплив електромагнітного випромінювання на здоров'я людей в зоні роботи станції, краща електромагнітна сумісність обладнання з апаратурою сусідніх регіонів, довготривалість роботи станції при живленні від акумуляторної батареї.

Потужність передавача радіорелейної станції визначається формулою:

$$P_{\text{п}} = \frac{16\pi^2 R^2 k T \Delta f \gamma L}{\lambda^2 G \eta}, \quad (1)$$

де R — протяжність лінії зв'язку;

γ — відношення сигнал/шум на вході приймача;

L — загасання сигналу в лінії зв'язку;

λ — довжина хвилі;

T — приведена до опромінювача антени шумова температура приймальної системи, К (Кельвін);

k — стала Больцмана, $k = 1,38 \times 10^{-23}$ Вт/Гц * град;

Δf — смуга пропускання приймального тракту.

η — коефіцієнт енергетичного виграшу при кодуванні сигналу;

G — коефіцієнт підсилення антени (так як частоти приймача та передавача близькі в розрахунках використовують коефіцієнт підсилення антени на меншій частоті).

Шляхи зменшення необхідної потужності передавача

Як видно із формули (1), зменшити необхідну потужність передавача можна зменшенням параметрів T , Δf , γ . Також до зменшення потужності передавача може призвести збільшення коефіцієнта η при енергоефективному кодуванні сигналу.

Структурна схема вхідного ланцюга приймача, що визначає шумову температуру системи, наведена на рис. 2.

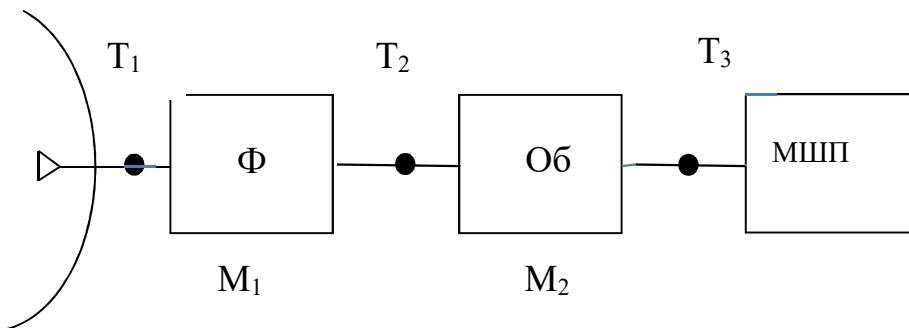


Рис. 2. Структурна схема вхідного ланцюга приймача:
Ф-фільтр; Об-обмежувач; МШП-малешумливий підсилювач

Виконаємо розрахунок приведеної до опромінювача антени шумової температури приймача:

$$T = T_{\text{ша}} + T_1 + T_2 \times M_1 + T_3 \times M_1 \times M_2, \quad (2)$$

де $T_{\text{ша}}$ — власна шумова температура антени;
 T_1, T_2, T_3 — шумова температура фільтра, обмежувача та МШП;
 M_1, M_2 — коефіцієнт втрат сигналу в фільтрі та обмежувачі;

$$T_1 = 290 (M_1 - 1), \quad (3)$$

$$T_2 = 290 (M_2 - 1), \quad (4)$$

$$T_3 = 290 (K_{\text{шз}} - 1), \quad (5)$$

де $K_{\text{шз}}$ — коефіцієнт шуму МШП.

При цьому коефіцієнт шуму приймача буде:

$$K_{\text{ш}} = (T_1 + T_2 \times M_1 + T_3 \times M_1 \times M_2) / 290 + 1. \quad (6)$$

Зменшення ефективної шумової температури приймача може бути досягнуто використанням на вході приймача фільтра та обмежувача з мінімальними втратами сигналу і особливо мал шумливого підсилювача з мінімальним коефіцієнтом шуму (табл. 1).

Для зменшення потужності енергоспоживання станції ефективно використовувати підсилювачі потужності на основі нітрид-галієвих транзисторів, які мають в 1.5–2 рази кращий коефіцієнт корисної дії в порівнянні з арсенід-галієвими транзисторами [6].

Як видно із формули (1), потужність передавача в значній мірі визначається шириною спектру сигналу та відношенням сигнал/шум для даного виду маніпуляції сигналу, які знаходяться у складній взаємній залежності.

Для аналізу залежності потужності передавача від ширини спектру маніпульованого сигналу Δf при даному виді маніпуляції сигналу та відношення сигнал/шум γ , необхідного для потрібної помилки приймання сигналу, доцільно використати інтегральний коефіцієнт енергетичної ефективності радіолінії [7]:

$$X = \Delta f \gamma. \quad (7)$$

На рис. 2 наведено гістограму залежності коефіцієнта ефективності від виду маніпуляції сигналу для ймовірності помилки приймання сигналу $P_{\text{пом}} = 10^{-7}$ [7]

Очевидна суттєва перевага використання 4-х позиційної фазової маніпуляції ФМ-4 в порівнянні з іншими видами маніпуляції.

Таблиця 1

Мал шумливі підсилювачі НВЧ

№ з/п	Фірма	Тип	Діап. част., ГГц	$K_{\text{ш}}$, дБ	$T_{\text{ш}}$, К	$K_{\text{у}}$, дБ
1	HEWLETT PACKARD	MSA-0500	0,02–2,8	1,06–1,2	20–60	12
2	Velocium	ALH 102	2–20	1,3–1,36	90– 110	10
3	TriQuint	TGA8399B	6–13	1,75	145	25
4	TriQuint	TGA2801	28	2,6	223	16
5	UMS	CHA2069	18–31	2,5	228	22
6	UMS	CHA2069	55–65	4	442	20
7	Velocium	ALH 497	86–100	5	633	15

Використавши формулу (8) із рівняння (1) одержимо:

В радіорелейних станціях зазвичай використовуються однодзеркальні параболічні антени з коефіцієнтом підсилення:

$$G = 6D^2/\lambda^2, \tag{8}$$

де D — діаметр розкриву антени.

Тоді одержимо:

$$P_{\Pi} = \frac{\pi^2 R^2 k T \Delta f \gamma L \lambda^2}{2,25 D^4 \eta}. \tag{9}$$

Очевидно, що необхідна потужність передавача суттєво зменшується із збільшенням робочої частоти сигналу і діаметру розкриву параболічної антени.

Для покращення характеристик системи широко використовується кодування сигналу, яке може забезпечити енергетичний виграв в системі η (табл. 2) [9,10].

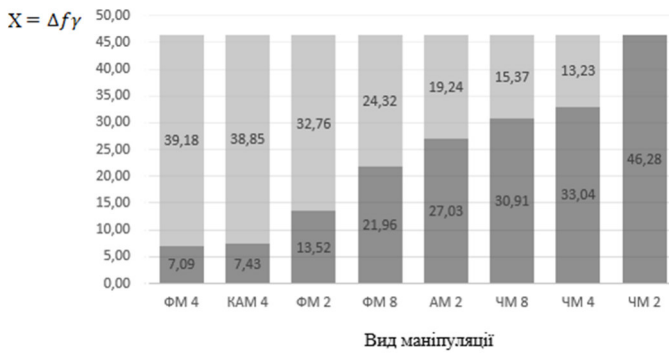


Рис. 3. Гістограма залежності коефіцієнта ефективності від виду маніпуляції сигналу для ймовірності помилки приймання сигналу $P_{\text{пом}} = 10^{-7}$: (сірий) виграв відносно ЧМ-2; (темносірий) фактичне значення

Суттєвий енергетичний виграв системи досягається при використанні завадостійкого кодування сигналу (табл.2) [9,10]

Таблиця 2

Енергетичний виграв кодування

№ з/п	Вид коду	η , дБ
1	Блоковий	2,43 — $P_{\text{пом}} = 10^{-6}$
2	Код Хеммінга	2,34 — $P_{\text{пом}} = 10^{-6}$
3	Згортковий, декодер Вітербі	6,9 — $P_{\text{пом}} = 10^{-6}$
4	Код Голея	5,6 — $P_{\text{пом}} = 10^{-6}$
5	Каскадний код: зовнішній Ріда-Соломона, внутрішній згортковий	8,3 — $P_{\text{пом}} = 10^{-6}$
6	Турбокод на основі 2-х згорткових кодів	9,8 — $P_{\text{пом}} = 10^{-6}$

Завадозахищеність системи з багатопозиційним фазоманіпульованим сигналом

Особливість використання багатопозиційного фазоманіпульованого сигналу полягає в погіршенні завадозахищеності системи при збільшенні кількості позицій сигналу (рис. 3) [5].

На рис. 4 наведена гістограма залежності завадозахищеності систем при різних видах модуляції при ймовірності помилки $P = 10^{-6}$ [8].

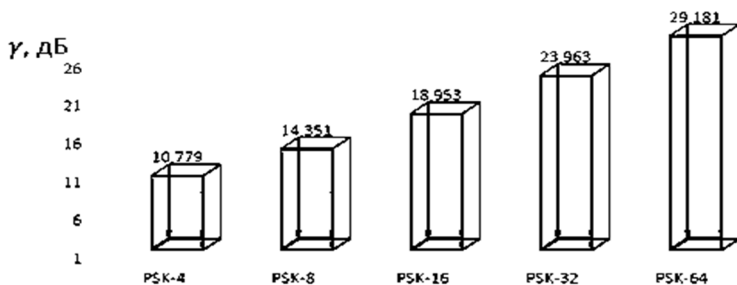


Рис. 4. Гістограма зменшення відношення сигнал/шум для багатопозиційного сигналу порівняно з BPSK для помилки 10^{-6}

Як показали дослідження, при визначенні завадостійкості системи не враховується зменшення шумів через звужування необхідної смуги пропускання каналу при збільшенні кількості позицій сигналу [11].

На вхід вирішуючого пристрою поступатимуть шуми, викликані власними шумами передавача, перешкодами, які діють на радіоканал, і власними шумами приймача. Розглянемо систему із смугою пропускання радіоканалу Δf , на яку діє широкосмугова перешкода з шириною спектру $\Delta f_3 > \Delta f$. Спектральну щільність власних шумів передавача визначимо, як:

$$N_1 = P_{ш1}/\Delta f_1, \quad (11)$$

де $P_{ш1}$ — потужність власних шумів передавача;

Δf_1 — смуга пропускання каналу передавача.

Спектральну щільність власних шумів приймача визначим, як:

$$N_2 = \text{кТ.} \quad (12)$$

При використанні багатопозиційного сигналу в передавачі сигнал з тривалістю імпульсу $\tau'_1 = n\tau_1$ зменшується необхідна смуга пропускання радіоканалу, яка складає:

$$\Delta f_k = \Delta f/n. \quad (13)$$

Очевидно, що зменшення необхідної смуги пропускання радіоканалу дозволяє зменшити в n разів потужність перешкоди на вході приймача, виходячи зі збереження спектральної щільності перешкоди:

$$P'_3 = P_3/n. \quad (14)$$

Така перешкода створить спектральну щільність :

$$N_3 = P_3/\Delta f. \quad (15)$$

При цьому на вході приймача діятиме сумарна потужність шумів :

$$P_{\Sigma} = P_{\text{ш}} + P'_n + P'_{\text{ш}1}, \quad (16)$$

де $P_{\text{ш}}$ — потужність власних шумів приймача;

$P'_{\text{ш}1}$ — потужність шумів передавача на вході приймача.

При інтенсивній перешкоді, яка діятиме в радіоканалі, потужність шуму перешкоди на вході приймача значно перевищуватиме потужність шумів передавача і власних шумів приймача, якими можна нехтувати. При цьому відношення сигнал/шум на вході вирішуючого пристрою буде:

$$\gamma = P_c / P'_3 = nP_c / P_3. \quad (17)$$

Зміну завадозахищеності системи в результаті зменшення впливу перешкоди внаслідок зменшення смуги пропускання каналу при збільшенні кількості позицій сигналу можна виразити коефіцієнтом :

$$Z = n/s, \quad (18)$$

де S — коефіцієнт погіршення завадостійкості системи в результаті використання багатопозиційних сигналів при збільшенні кількості позицій сигналу.

На рис. 5 наведена гістограма зміни завадозахищеності системи з багатопозиційним сигналом для бітової помилки $P_b = 10^{-6}$ [11].

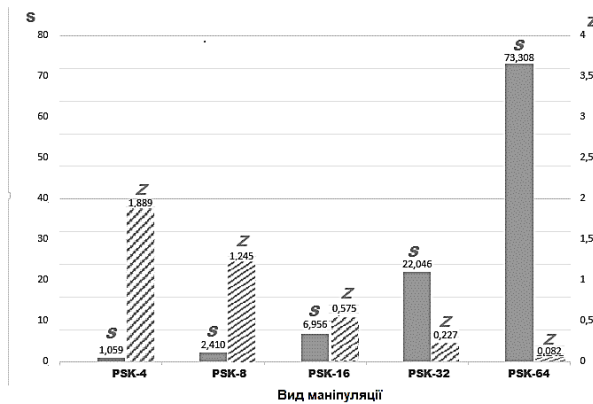


Рис. 5. Гістограма зміни завадозахищеності ТКС з багатопозиційним сигналом для бітової помилки $P_b = 10^{-6}$ в порівнянні з BPSK

Використання шумоподібного сигналу в радіорелейних лініях

Особливу перспективу мають радіорелейні лінії з шумоподібним сигналом, безперечною перевагою яких є підвищена завадостійкість як при вузькосмугових,

так і широкосмугових перешкодах, підвищені конфіденційність передачі інформації, а також електромагнітну сумісність з сусідніми радіоелектронними пристроями [12].

Шумоподібний сигнал формується методом прямого розширення спектра з використанням ряду відомих модулюючих псевдовипадкових послідовностей: m -послідовності, послідовності Касами, Голда та ін., а також коду Уолша. Головна вимога при виборі виду маніпулюючої послідовності — отримання мінімальних бічних пелюсток автокореляційної функції — для одноканальних систем, а також мінімальних пелюсток взаємнокореляційних функцій — для багатоканальних систем.

Перехоплювач може визначити структуру сигналу, тому такі системи не можна рахувати захищеними від несанкціонованого доступу.

Високою конфіденційністю володітиме система з модуляцією сигналу псевдовипадковою послідовністю, утвореною з хаотичного сигналу — хаосу. Будь-який аналіз цих послідовностей не дає можливості їх відтворити і сигнал не може бути перехоплений [13,14].

При проектуванні системи початковими параметрами є наявний частотний ресурс Δf , що визначає ширину смуги пропускання радіоканалу, а також швидкість передачі інформації (тривалість інформаційного сигналу T). При цьому база шумоподібного сигналу буде

$$B = \Delta f T = T/\tau, \quad (19)$$

де τ — тривалість елементарного імпульсу складного сигналу.

Важливо, щоб база сигналу була не менше 10дБ, що забезпечить характерні для широкосмугової системи переваги [5].

Далі визначається псевдовипадкова послідовність з хаосу завдовжки $N=B$. При цьому з використанням методу графічного інтерфейсу користувача вибирається найкраща реалізація, що має бічні пелюстки автокореляційної функції не більше 0,3 [15].

Враховуючи визначальне значення максимальної бази сигналу для забезпечення безумовних переваг ТКС з широкосмуговим шумоподібним сигналом доцільно вибрати її максимальною.

У системі практично відношення сигнал /шум на вході приймача має бути меншим межі Шенона, рівним — 1,6 дБ [5], коли прийом сигналу буде неможливим. Така система буде безпечною для електромагнітної сумісності з працюючими поруч електронними пристроями, навіть коли спектр сигналу системи займатиме частину смуги радіоканалу, в якому працюють ці пристрої.

Висновки

1. Радіорелейні лінії передачі інформації залишаються актуальними при організації зв'язку в важкодоступних регіонах, великих містах з щільною забудовою, організації робіт при надзвичайних ситуаціях.

2. При проектуванні радіорелейних станцій особливу увагу приділяють забезпеченню мінімально можливої потужності передавача для зменшення шкідливого впливу на здоров'я людей, покращенню електромагнітної сумісності

з сусідніми радіолелектронними засобами, підвищення довготривалості роботи з живленням від акумуляторної батареї.

3. Найменшу необхідну потужність передавача радіорелейної станції одержують з використанням 4-х позиційного фазоманіпульованого сигналу ФМ-4 з перевагою до 16 дБ в порівнянні з іншими видами маніпуляції.

4. Використання 4-х позиційного фазоманіпульованого сигналу ФМ-4 заб печує найкращу завадозахищеність радіорелейної лінії з перевагою до 13 дБ в порівнянні з 64 позиційним ФМ сигналомі.

5. Використання кодування сигналу в радіорелейній лінії дозволяє одержати додатковий енергетичний вииграш до 9дБ.

6. Особливу перевагу мають радіорелейні лінії з шумоподібним сигналом, зокрема підвищену конфіденційність передачі інформації при використанні псевдовипадкових послідовностей на основі хаосу.

7. Викладені в роботі результати доцільно використати при створенні спеціальних радіорелейних станцій з унікальними характеристиками, а також інших безпроводових телекомунікаційних систем.

Література

1. Каменский Н. Н. Справочник по радиорелейной связи / Н. Н. Каменский, А. М. Модель, под редакцией Бородича С. В., 1981.

2. Слюсар В. И. Современные тренды радиорелейной связи / В. И. Слюсар. // Технологии и средства связи. – 2014. – №4. – С. 32–36.

3. Henne I. Planning of line-of-sight radio relay systems / Ingvar Per Thorvaldsen Henne. – Nera: Second edition, 1999.

4. Семенко А. І. Особливості планування радіорелейних систем у мережах мобільного зв'язку / А. І. Семенко, А. А. Шокотько. // Вісник національного університету «Львівська політехніка» «Радіоелектроніка та телекомунікації». – 2014. – №796. – С. 113–118.

5. Sklar B. Digital communications. Fundamentals and Applications. Edition.2.; Translation from English. – М.: Publishing House Ltd «Williams», 2004. – 1104 p. (In Russian)

6. Семенко. А. И. Усилители мощности СВЧ на основе нитрид-галлиевых транзисторов / А. И. Семенко, В. Севергин, А. Шокотько, В. Заїка. // Зв'язок. – 2015. – №2 (114).-. – С. 50–52.

7. Семенко А.И. Анализ влияния видов манипуляции сигнала на энергетику радиолонии / А. И. Семенко, Н. Бокла. /К. Домрачева Є. Шестопал/ Зв'язок. – 2017. – №1 (114). – С. 40–43.

8. Домрачка К. Загальна порівняльна оцінка завадостійкості телекомунікаційних систем /К. Домрачка // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2016. – №3(43). – С. 83–89.

9. Бойко Ю. М. Дослідження ефективності алгоритмів каналного кодування в захищених телекомунікаційних системах передавання інформації / Ю. М. Бойко, Д. А. Макаришкін, О. І. Пасічник // Зв'язок– Київ, 2016. – № 5. – С. 56-67.

10. Бойко Ю. М. Застосування завадостійких сигнально-кодових конструкцій в

телекомунікаційних системах з частотною маніпуляцією / Ю. М. Бойко, О.І. Єрьоменко, А.О. Гайда // Телекомунікаційні та інформаційні технології/– Київ, 2017. – № 3 6. – С. 49-63.

11. Семенко А.И. Определение помехозащищенности телекоммуникационных систем с многопозиционным фазоманипулированным сигналом / Семенко А.И. Бокла Н.И., Домрачева Е.А/ Доклады АН высшей школы РФ Новосибирск. №2 (35), 2017 .С 97-104.

12. Ипатов В.П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов.М.:Техносфера.2007.488 с.

13. Semenکو A. Features of creating based on chaos pseudo-random sequences./ A. Semenکو , N. Kushnir, N. Bokla, G. Kosovan // Modern Problems of Radio Enginiring, Telecommunications, and Computer Sciens . Proceedings of the XIIth International Conference TCSET' 2018. Lviv-Slavsko, Ukraine. February 20-24 , 2018. Pp338-342.

14. Семенко А.И. Спосіб формування широкосмугового псевдошумового сигналу/ А. И. Семенко , М. Кушнір, Н. Бокла // Патент України на корисну модель UA 125337 від 10.05.2018. А.І. -Публікація відомостей 10.05.2018 .- Бюл.№9.

15. Бокла Н.І. Дослідження кореляційних властивостей ПВП за кодом Голда з використанням системи MATLAB/Бокла Н.І.//Вісник ДУІКТ-2011.-Том.9.- №4.-С.386-391.

References

1. Kamenskij N. N. Spravochnik po radiorelejnoj svyazi / N. N. Kamenskij, A. M. Model, pod redakciej Borodicha S. V., 1981.

2. Slyusar V. I. Sovremennye trendy radiorelejnoj svyazi / V. I. Slyusar. // Tehnologii i sredstva svyazi. – 2014. – №4. – С. 32–36.

3. Henne I. Planning of line-of-sight radio relay systems / Ingvar Per Thorvaldsen Henne. – Nera: Second edition, 1999.

4. Semenکو A. I. Osoblivosti planuvannya radiorelejnih sistem u merezhah mobilnogo zv'yazku / A. I. Semenکو, A. A. Shokotko. // Visnik nacionalnogo universitetu «Lvivska politehnika» «Radioelektronika ta telekomunikaciyi». – 2014. – №796. – С. 113–118.

5. Sklar B. Digital communications. Fundamentals and Applications. Edition.2.: Translation from English. – М.: Publishing House Ltd «Williams», 2004. – 1104 p. (In Russian)

6. Semenکو. A. I. Usliteli moshnosti SVCh na osnove nitrid-gallievyyh tranzistorov / A. I. Semenکو, B. Severgin, A. Shokotko, V. Zayika. // Zv'yazok. – 2015. – №2 (114).- . – С. 50–52.

7. Semenکو A.И. Analiz vliyaniya vidov manipulyacii signala na energetiku radiolinii / A. I. Semenکو, N. Bokla. /K. Domracheva Ye. Shestopal/ Zv'yazok. – 2017. – №1 (114). – С. 40–43.

8. Domrachkva K. Zagalna porivnyalna ocinka zavadostijkosti telekomunikacijnih sistem /K. Domrachkva // Naukovi zapiski Ukrayinskogo naukovogo-doslidnogo institutu zv'yazku. – 2016. – №3(43). – С. 83–89.

9.Bojko Yu. M. Doslidzhennya efektyvnosti algoritmiv kanalnogo koduvannya v zahishenih telekomunikacijnih sistemah peredavannya informaciyi / Yu. M. Bojko, D. A. Makarishkin, O. I. Pasichnik // Zv'yazok– Kiyiv, 2016. – № 5. – S. 56-67.

10. Bojko Yu. M. Zastosuvannya zavadostijkih signalno-kodovih konstrukcij v telekomunikacijnih sistemah z chastotnoyu manipulyciyeyu / Yu. M. Bojko, O.I. Yeromenko, A.O. Gajda // Telekomunikacijni ta informacijni tehnologiyi/– Kiyiv, 2017. – № 3 6. – S. 49-63.

11. Semenکو A.I. Opredelenie pomehozashishennosti telekommunikacionnyh sistem s mnogopozicionnym fazomanipulirovannym signalom / Semenکو A.I. Bokla N.I., Domracheva E.A/ Doklady AN vysshej shkoly RF Novosibirsk. №2 (35), 2017.S 97-104.

12. Ipatov V. P. Broadband systems and code channels division of the signals / Ipatov. – M.: Technospira, 2007. – 488 r. (In Russian).

13. Semenکو A. Features of creating based on chaos pseudo-random sequences./ A. Semenکو , N. Kushnir, N. Bokla, G. Kosovan // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Sciens . Proceedings of the XIth International Conference TCSET' 2018. Lviv-Slavsco, Ukraine. February 20-24 , 2018. Pp338-342.

14. Semenکو A.I. Sposib formuvannya shirokosmugovogo psevdoshumovogo signalu/ A. I. Semenکو , M. Kushnir, N. Bokla // Patent Ukrayini na korisnu model UA 125337vid 10.05.2018.A.I. -Publikaciya vidomostej 10.05.2018 .- Byul.№9.

15. Bokla N. Research of the PRS correlation properties based on gold code using Matlab by / N. Bokla. // Vistnuk DUKT. – 2011. – Vol.9. - №4.- rr. 386–391.