

5 разів (рис.8б) і отримаємо діаграму невизначеності, властиву довгому тональному сигналу. Тобто твердження Ріхачека [7] про те, що вказані діаграми належать тільки до класу простих сигналів є невірним, оскільки при відповідному виборі параметрів ПШС можна отримати аналогічні діаграми, в класі складних сигналів. Крім того, використання ПШС з високими роздільними здатностями за дальністю призводить до підвищення точності оцінки за дальністю та завадостійкості на тлі місцевих перешкод [8].

### **Висновки**

З отриманих результатів видно, що застосування ФМн сигналів, фазоманіпульованих *M*-послідовністю, дає значні переваги в порівнянні із застосуванням простих зондуючих сигналів. Але використання таких ФМн сигналів в якості зондуючих радіолокаційних сигналів вимагає ретельного вивчення їх потенційних можливостей розробниками РЛС.

### **Література**

1. Лезин Ю.С. Введение в теорию и технику радиотехнических систем. М., Радио и связь, 1986.
2. Теоретические основы радиолокации. Под ред. Я.Д.Ширмана. Сов. радио», 1970.
3. Петрович Н.Т., Розмахин М.К.. Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: Сов. радио, 1970.
4. Варакин Л.Е. Теория сложных сигналов. Москва, «Советское радио», 1970.
5. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. Радио и связь, 1985.
6. Яценков В.С. Основы спутниковой навигации. М., Горячая линия, 2005.
7. Рихачек. Упрощенный способ выбора радиолокационных сигналов, Зарубежная радиоэлектроника, №2, 1973.
8. Уестерфильд, Прегер. Выигрыш в отношении сигнал/пассивная помеха при использовании согласованных фильтров, Зарубежная радиоэлектроника, №3, 1961.

Бычков В.Е., Мрачковский О.Д., Ольшевский И.	Vychkov V.E., Mrachkovsky O.D., Olshevsky I.V.
<b>Исследование потенциальных характеристик псевдошумового радиолокационного сигнала</b>	<b>Research of the potential characteristics of an image noise radar-tracking signal</b>
Исследован сложный псевдошумовой радиолокационный сигнал фазоманипулированный бинарной <i>M</i> -последовательностью. Приведены результаты расчетов потенциальных характеристик сигнала, корреляционных и взаимокорреляционных функций	Complex image noise radar-tracking signal, which has of phase modulation by a binary <i>M</i> -sequence Is investigated. The results of accounts of the potential characteristics of a signal, correlation and inter correlation function are given

УДК 621.396.669

## **ПІДВИЩЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ ТА ЗАВАДОСТІЙКОСТІ СИСТЕМ ЦИФРОВОГО ЗВ'ЯЗКУ**

*Тертичний Г. М., Макаренко О. С.*

*Розглянуто засіб підвищення чутливості і завадостійкості систем цифрового зв'язку та пристрій для його реалізації. Наведені результати моделювання та експерименту.*

### **Вступ. Постановка задачі**

Чутливість та завадостійкість систем цифрового зв'язку визначаються

видом смугової модуляції та кодування, які використовуються у системі [1]. Для оцінки ефективності завадостійкого кодування порівнюють відношення  $E_b/N_0$  енергії, що приходить на один біт, до спектральної густини потужності шуму в системі з кодуванням та в базовій системі без кодування та визначають різницю у значеннях  $E_b/N_0$  при заданій ймовірності бітової помилки. Ця різниця - енергетичний вигравш коду (ЕВК) вимірюється в децибелах та використовується для порівняння різних кодів. ЕВК різних кодів та їх комбінацій, що використовуються на практиці, коливається в межах 1,5...7,5 дБ при ймовірності бітової помилки  $10^{-5}$  [2]. Ефективними є турбокоди, котрі ще на 1,5...2,5 дБ наблизились до теоретичного порогу та забезпечують декодування при розрахункових значеннях  $E_b/N_0$  0,3...0,7 дБ над порогом. Однак, будь-яке канальне кодування (окрім решітчастого), потребує розширення смуги робочих частот системи.

**Теоретичні основи методу**

Суттєво підвищити чутливість та завадостійкість системи цифрового зв'язку можна, використовуючи спосіб накопичення. Для цього проводять стробування кожного біту послідовністю коротких імпульсів, затримують ці імпульси таким чином, щоб усі імпульси, вражені шумом, додавались в одному інтервалі часу, подають сумарний імпульс на пороговий пристрій (двобічний підсилювач-обмежувач з нульовим пороговим рівнем) і після цього імпульсами, які не містять шуму, запускають тригери, що відтворюють біти з відповідними полярностями та тривалістю рівній тривалості біта. На рис. 1 показана структурна схема пристрою, який реалізує спосіб накопичення.

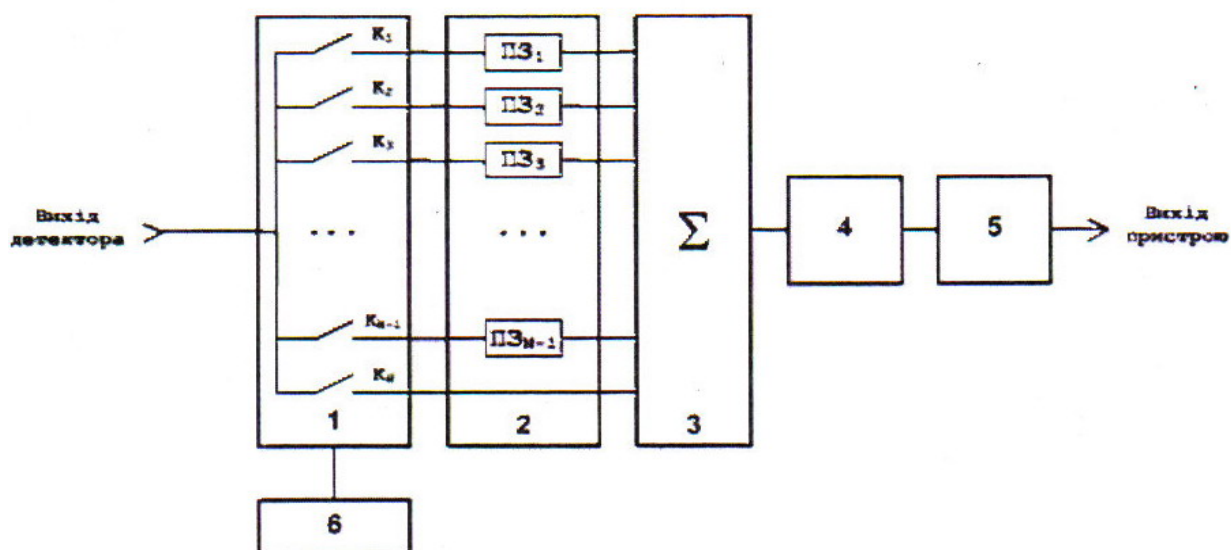


Рис. 1. Структурна схема пристрою

Пристрій складається з  $N$  ключів (показані цифрою 1),  $N-1$  пристроїв затримки 2, суматора 3, порогового пристрою 4, тригерів 5 та схеми фор-

мування керуючих імпульсних послідовностей 6. При цьому входи ключів  $K_1 \dots K_N$  підключені до виходу детектора (синхронного, частотного чи фазового), керуючі входи ключів - до схеми формування керуючих імпульсних послідовностей, виходи ключів (окрім останнього) - до входів пристроїв затримки  $ПЗ_1 \dots ПЗ_{N-1}$ , виходи яких разом із виходом останнього ключа - до входів суматора. Вихід суматора підключений до входу порогового пристрою, вихід порогового пристрою - до входів тригерів, виходи яких є виходом пристрою.

За допомогою ключів  $K_1 \dots K_N$  кожен біт кодової імпульсної послідовності, враженої шумом, з тривалістю  $T_C$  (рис. 2) стробується послідовністю імпульсів тривалістю  $\tau_i$  та квазіперіодом повторень  $T$  (рис. 3). Шум має бути некорельованим, тобто має виконуватися умова  $\tau_k < T - \tau_i$ , де  $\tau_k$  - час кореляції вхідного шуму. Керуючі імпульсні послідовності, які надходять зі схеми формування, прямують з періодом  $T_C$  і зміщені одна відносно одної на  $T, 2T, 3T, \dots, (N-1)T$ . Таким чином, ключі  $K_1 \dots K_N$  по черзі підключають сигнал з шумом до входів елементів затримки  $ПЗ_1 \dots ПЗ_{N-1}$ , які затримують всі імпульси (за виключенням останнього) на час  $T_C - \tau_i, T_C - \tau_i - T, \dots, T_C - \tau_i - (N-1)T$ . В результаті на інтервалі часу  $T_C - \tau_i \dots T_C$  всі імпульси сигналу додаються за напругою, тобто сигнал на виході суматора збільшується в  $N$  разів, потужність сигналу зростає в  $N^2$  разів, а шуми додаються некогерентно (за потужністю), тому потужність шуму зростає в  $N$  разів і відношення сигнал/шум за потужністю зростає в  $N$  разів. Коливання з виходу суматора тривалістю  $\tau_i$  поступає на пороговий пристрій. Миттєве значення напруги шуму не повинно перевищувати пороговий рівень, в даному випадку 0, з заданою ймовірністю. Теплові шуми, що діють в цифрових системах передачі, мають нормальне (гауссівське) розподілення, тому ймовірність перевищення припустимого значення напруги шуму буде визначатись інтегралом ймовірності. Як показано в [1], ймовірність бітової помилки не повинна перевищувати  $10^{-5}$ .

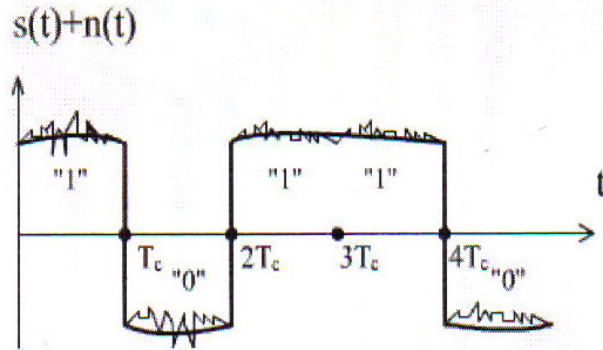


Рис. 2. Сигнал та шум на вході пристрою

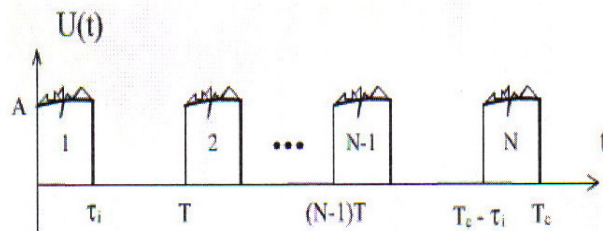


Рис. 3. Сигнал та шум на входах елементів затримки

Таким чином,  $P = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-x^2/2} dx \leq 0,5 \cdot 10^{-5}$ , де  $z = \frac{U_{C_{вих}}}{U_{Ш_{вих}}}$ ,  $x = \frac{U}{U_{Ш_{вих}}}$ ;

$U$  – миттєве значення напруги шуму (випадкова змінна),  $U_{Ш_{вих}}$  – ефективне значення напруги шуму. Згідно [3]  $z = 4,42$  для  $P = 0,5 \cdot 10^{-5}$ . Відповідно  $U_{C_{вих}} = NU_{C_{ех}} \geq 4,42U_{Ш_{вих}}$  або  $NU_{C_{ех}} \geq 4,42\sqrt{N}U_{Ш_{ех}}$ , звідки необхідна кількість стробуючих імпульсів:

$$N \geq \frac{20}{(P_C/P_{Ш})_{ех}}, \text{ де } P_C \text{ і } P_{Ш} - \text{ потужності}$$

сті сигналу і шуму на вході пристрою відповідно. Із врахуванням наявного округлення імпульсів реальним каналом зв'язку необхідно брати  $N_{розр} = N + 2$ . Після підсилювача-обмежувача (рис. 4) короткі імпульси, вільні від шуму, запускають тригери, які виробляють сигнали відповідної полярності з тривалістю, що дорівнює тривалості біта  $T_C$ .

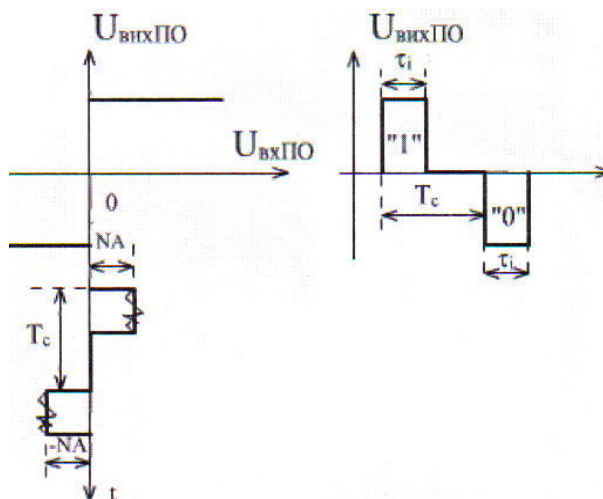


Рис. 2. Діаграма роботи підсилювача-обмежувача

### Висновки

Запатентовано та експериментально досліджено "Спосіб підвищення чутливості та завадостійкості систем цифрового зв'язку та пристрій для його реалізації", який забезпечує вииграш у відношенні  $E_\sigma/N_0$  енергії, що приходить на один біт, до спектральної густини потужності шуму на вході, що дорівнює 8 дБ при ймовірності бітової помилки  $10^{-5}$ . В спрощеному варіанті експерименту, вииграш у відношенні сигнал/шум дорівнював 4 дБ. Пристрій сумісний із існуючими системами цифрового зв'язку, оскільки розташовується після детектора і виконує в тому числі і роль схеми прийняття рішення; може бути використаний як у системах із каналним кодуванням, так і у системах без каналного кодування; є досить ефективним для систем цифрового зв'язку із обмеженим рівнем потужності; забезпечує роботу в більш вузькій смузі частот в порівнянні із системами, що використовують каналне кодування (окрім решітчастого); призводить до спрощення та зменшення загальної вартості апаратури (не потрібні кодери та декодери); має підвищену завадостійкість і по відношенню до зовнішніх завад; може бути реалізований практично для багатьох відомих систем цифрового зв'язку, оскільки складається із вузлів, що широко використовуються в сучасних системах цифрового оброблення інформації. Поєднання запропонованого пристрою з каналним кодуванням призведе до створення систем цифрового зв'язку з малим відношенням  $E_\sigma/N_0$ .

**Література**

1. Б. Скляр Цифровая связь. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2004.
2. Б. А. Локшин Цифровое вещание: от студии к телезрителю. М.: "Сайрус системс", 2001.
3. Горяинов В. Т., Журавлев А. Г., Тихонов В. И. Статистическая радиотехника: Примеры и задачи. – М.: Сов. радио. 1980. 544с.

Тертычний Г.Н., Макаренко А.С. <b>Повышение чувствительности и помехоустойчивости систем цифровой связи</b> Рассмотрены способ повышения чувствительности и помехоустойчивости систем цифровой связи, а также устройство для его реализации. Приведены описание, результаты моделирования и эксперимента.	Tertychny G.M., Makarenko A.S. <b>Enhancement of sensitivity and noise immunity of digital communication systems</b> Enhancement of sensitivity and noise immunity of digital communication systems with achievement device are considered. Description, modeling and experiment results are reduced.
---	---