

УДК 621.391;519.722

М.В. Захарченко<sup>1</sup>, С.М. Горохов<sup>1</sup>, О.В. Кочетков<sup>1</sup>, В.В. Гордейчук<sup>2</sup>, Е.Б. Шамшидін<sup>1</sup><sup>1</sup> Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, Одеса<sup>2</sup> Інститут Військово-Морських Сил Національного університету "Одеська морська академія", Одеса

## ПОРІВНЯННЯ АНСАМБЛІВ КОДОВИХ МНОЖИН, СИНТЕЗОВАНИХ НА ОСНОВІ ДЕКІЛЬКОХ МОДУЛІВ З АНСАМБЛЯМИ, РЕАЛІЗОВАНИМИ НА ОСНОВІ ТАЙМЕРНИХ СИГНАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Проведено порівняння ансамблів простих таймерних кодових конструкцій синтезованих на основі декількох ( $i$ ) простих взаємно незалежних модулів і кодових слів, таймерних сигнальних конструкцій (ТСК), реалізованих на основі « $i$ » відрізків, що відповідають умовам передачі:  $t_0 \leq \tau_{ci} = t_0 + z\Delta$  ( $z \in 0 \div K$  – цілі числа).

**Ключові слова:** таймерні сигнали, кодове слово, таймерні сигнальні конструкції, інтервал найквістшого елемента, системи передачі даних, кодові методи виявлення помилок.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Сучасний етап розвитку суспільства характеризується інтенсивним впровадженням засобів обчислювальної техніки й автоматизованих систем керування, методів і засобів формування, збереження, передавання й оброблення даних. Значне зростання парку персональних комп'ютерів і створення різних баз даних визначають лавиноподібне збільшення обсягів інформації що передається. При цьому безупинно підвищуються вимоги до оперативності обміну й достовірності прийнятої інформації.

Особливої актуальності за останні роки набули проблеми глобального поширення можливостей телефонних мереж загального користування, включаючи питання персонального зв'язку й підключення абонентів до різних телекомунікаційних мереж, а також задоволення інформаційно-розважальних потреб суспільства. В зв'язку з цим проблема синтезу потужних ансамблів сигналів на заданих інтервалах часу є актуальною.

**Огляд останніх досліджень.** Сучасні успіхи в розвитку телекомунікацій визначаються трьома фундаментальними роботами ХХ століття:

1) сформульованим у 70-ті роки законом Мура, згідно з яким продуктивність інтегральних схем за кожні 18 місяців подвоювалася при зменшенні їхньої вартості вдвічі;

2) доведеною у 30-ті роки теоремою В.А. Котельникова, що дозволяє забезпечити цифровізацію систем і мереж;

3) застосуванням волоконо-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ), які забезпечили лавиноподібне зростання пропускної здатності каналів і мереж.

Аналіз залежностей трафіка даних, зростання кількості абонентів Інтернету розвіюють міф про те, що впровадження «оптоволока» вирішує всі проблеми мережних ресурсів. На сьогодні проблема ефективності використання смуги пропускання як у транспортних мережах, так і в мережах доступу знову постає з великою гостротою.

Метою проведених досліджень є пошук нових методів алгоритмів підвищення ефективності використання каналів як існуючих мереж, так і споруджуваних.

Питанням підвищення ефективності використання каналів зв'язку присвячена значна кількість робіт, в яких розглянуті такі основні питання:

- оптимізація алгоритмів приймання сигналів;
- дослідження первинних і вторинних статистичних характеристик каналів зв'язку;
- дослідження й розробка ефективних пристроїв захисту від помилок.

Теорія статистичних рішень, що розвинена в роботах К. Шеннона, Дж. Голяя, Р. Хемінга, А.А. Харкевича, Є.Б. Блока, Г. Соломона, М.І. Мазуркова, Д.Д. Кловського, Л.Є.Варакіна, В.В. Зяблова, В.Б. Петрикова, Б.Р. Левіна та ін. дозволила одержати оптимальні алгоритми кодування та декодування інформації, оптимізації алгоритмів обробки сигналів з базою  $V = \Delta F \cdot t_0 = 1$ . У цьому відношенні слід відзначити роботи В.К. Стеклова, Е.О. Сукачова, А.Г. Зюко [1], В.А. Киселя. Результати розробок зазначених авторів дозволили створити досить ефективні алгоритми систем передачі даних з кодовими методами виявлення помилок.

**Завдання досліджень роботи.** Метою дослідження даної статті є проведення порівнянь двох ансамблів (двох видів) таймерних сигналів:

1) реалізованих на основі 3-х взаємно-простих модулів;

2) синтезованих на базі 3-х відтінків сигналів, задовольняючих умові:  $t_0 \leq \tau_{ci} = t_0 + z\Delta$  ( $z \in 0 \div K$  – цілі числа).

### Виклад основного матеріалу

#### 1. Принципи формування таймерних сигнальних конструкцій на основі залишків різноманітних модулів.

Відомо, що в таймерних сигнальних конструкціях інформація про символ, що передається, на відміну від позиційного кодування міститься не в параметрах інформаційного сигналу (амплітуда, частота, або фаза) на кожному інтервалі найквістового елементу, а в тривалостях декількох «і» відрізків сигналу  $\tau_{ci}$  на інтервалі сигнальної конструкції ( $T_{ck} = n \cdot t_0$ ), які задовольняють умовам:

$$\left. \begin{aligned} t_0 \leq \tau_{ci} = t_0 + z_i \Delta; \\ \tau_{c1} + \tau_{c2} + \tau_{c(K+1)} < n \cdot t_0. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

З першого рівняння слідує: мінімальна тривалість відрізка  $\tau_{ci} = t_0$  (при  $z = 0$ ) що забезпечує встановлення перехідного процесу на виході каналу ( $t_0 = 1/\Delta F$ , де  $\Delta F$  – смуга сигналу). Виходячи з останнього видно, що база сигналу (Б) рівна 1.

$$\left. \begin{aligned} B = t_0 \cdot \Delta F = 1; \\ t_0 = 1/\Delta F. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

1. Доданок  $z_i \Delta$  виразу (1) забезпечує реалізацію великої кількості сигнальних конструкцій, при цьому величина  $\Delta$  визначається розпізнавальною здібністю вимірювати тривалості відрізків сигналу на прийомі при заданому відношенні  $h = U_c/U_{ш}$  у каналі, який використовується:

$$\Delta = t_0/S, \quad (S \in 1 \div S_3 - \text{цілі задані числа}), \quad (3)$$

де  $U_c$  – амплітуда сигналу,  $U_{ш}$  – амплітуда шуму.

2. Сума тривалостей відрізків  $\tau_{ci}$  не повинна перевищувати  $T_{ck}$ :

$$\sum_{i=1}^n \tau_{ci} = (\tau_{c1} + \tau_{c2} + \dots + \tau_{cn}) < T_{ck} = n \cdot t_0. \quad (4)$$

Слід зауважити що, при умові рівності  $i=n$  можлива тільки одна реалізація, яка представляє знакозмінний сигнал через інтервал  $\tau_{ci} = t_0$ .

В якості доданку  $z_i \Delta$  виразу (1) візьмемо залишки від ділення десятинного номеру об'єкту, що передається на деякий модуль (число) P.

Оскільки в кодових конструкціях міститься «і» відрізків, то для визначення кожного з них будемо брати залишки за різними модулями  $P_1; P_2; P_3$ .

Припустимо, що в якості об'єкту, що передається використовуються символи російської мови в кількості  $N = 30$  (символи «е» та «ё», а також «ь» та «ъ» об'єднані).

Згідно теорії синтезу корегуючих кодів в системі залишкових класів [2], загальне число  $N_p$  різних векторів синтезованих на базі простих (взаємно простих) модулів дорівнює [3]:

$$N_p = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 = 30. \quad (5)$$

Оберемо наступні значення модулів:  $P_1=2; P_2=3; P_3=5$  (їх добуток дорівнює  $N_p=2 \cdot 3 \cdot 5=30$ ).

#### 2. Синтез ансамблю кодових слів (АКС) при трьох модулях.

В табл. 1 представлені залишки за трьома модулями для десяткових чисел  $1 \div 31$  (як бачимо «31»-й залишок рівний першому).

Таблиця 1

Представлення десяткових чисел ( $N_d$ ) в АКС з трьома модулями 2, 3, 5

Модулі	2	3	5	Модулі	2	3	5
1	1	1	1	17	1	2	2
2	0	2	2	18	0	0	3
3	1	0	3	19	1	1	4
4	0	1	4	20	0	2	0
5	1	2	0	21	1	0	1
6	0	0	1	22	0	1	2
7	1	1	2	23	0	2	2
8	0	2	3	24	1	0	3
9	1	0	4	25	0	1	4
10	0	1	0	26	1	2	0
11	1	2	1	27	0	0	1
12	0	0	2	28	1	1	2
13	1	1	3	29	0	2	3
14	0	2	4	30	1	0	4
15	1	0	0	31	1	1	1
16	0	1	1	-	-	-	-

Отримані в табл. 1 цифри представляють значення  $z_i$  виразу (1) для номеру відповідного символу. Так як значення  $\Delta$  відповідно (3) менше найквістового елементу, то передавати його можна в каналі з обмеженим спектром сигналу  $\tau_{ci} \geq t_0$ ; ( $\tau_{ci} = t_0 + z_i$ ;  $z \in 0 \div z_0$ ; - цілі числа), відповідно часове представлення сигналу буде мати структуру:

$$\left. \begin{aligned} \tau_{c1} &= t_0 + z_1 \Delta, & z_1 &\in 0 \div 1; \\ \tau_{c2} &= t_0 + z_2 \Delta, & z_2 &\in 0 \div 2; \\ \tau_{c3} &= t_0 + z_3 \Delta, & z_3 &\in 0 \div 4; \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

За умови, що нове кодове слово завжди буде починатися переходом  $0 \rightarrow 1$  (рис. 1), максимальна довжина кодового слова  $T_{kc}$  буде дорівнювати:

$$T_{kc} = (t_0 + \Delta) + (t_0 + 2\Delta) + (t_0 + 4\Delta) + t_0 = 4 t_0 + 7\Delta. \quad (7)$$

Доданки в дужках виразу (5) представляють тривалості окремих відрізків  $\tau_{ci}$ , а доданок  $t_0$  пред-

ставляє сигнал, який забезпечує встановлення переходного процесу після зміни виду сигналу (відрізку  $\tau_{c3}$ ). Якщо значення  $\Delta$  визначати при  $S = 5$ ,  $\Delta = t_0/5$ , що можливо використовувати на каналах міської телефонної мережі [4], то

$$T_{CK} = 5 \cdot t_0. \quad (8)$$

На рис. 1 представлено декілька кодових слів, реалізованих при  $S = 5$  на інтервалі  $T_{CK} = 27\Delta$ .

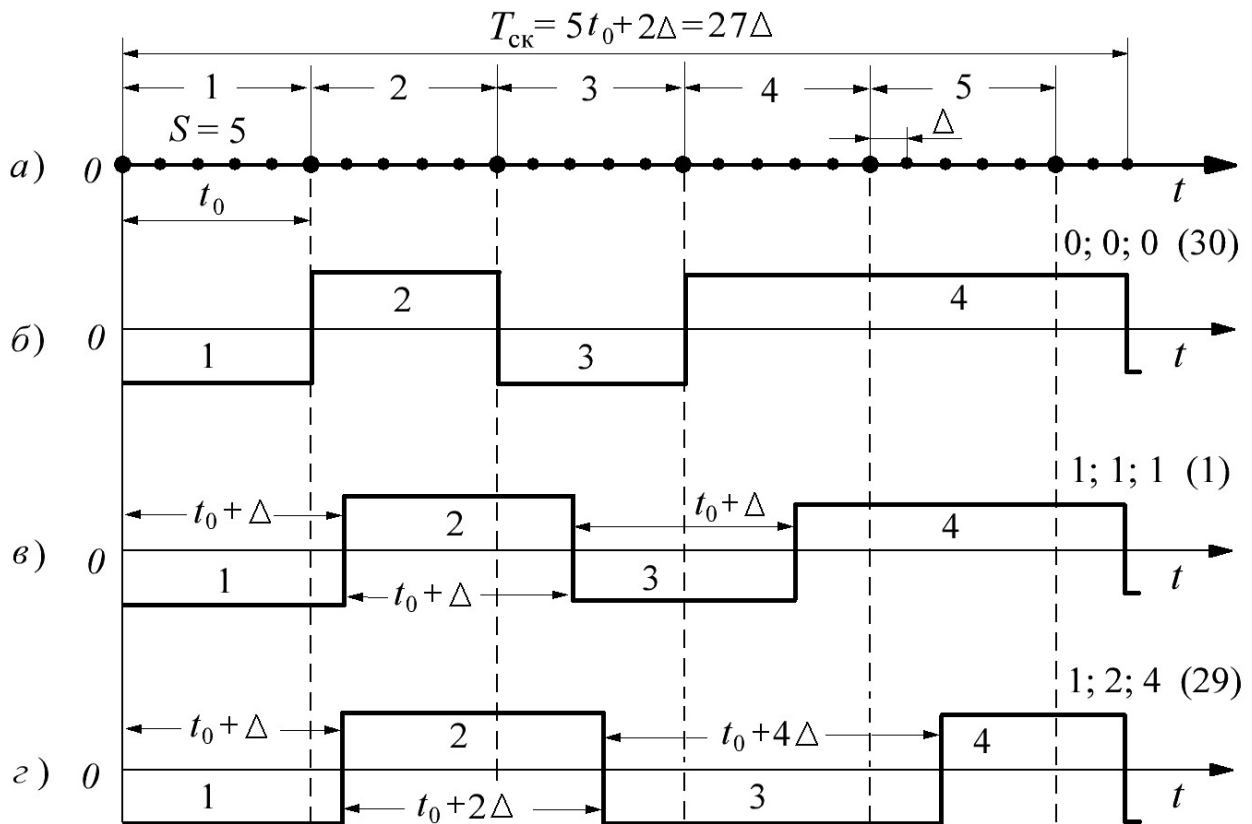


Рис. 1. Часове представлення кодових слів, реалізованих при  $S = 5$  на інтервалі  $T_{CK} = 27\Delta$

Відповідно до виразу (5) загальна тривалість  $T_{CK}$  буде рівною:

$$T_{CK} = 4 \cdot t_0 + 7\Delta = 5 \cdot t_0 + 2\Delta, \quad t_0 = 5\Delta \text{ (при } S = 5 \text{)}. \quad (9)$$

На рис. 1, б представлено кодове слово N30, (табл. 1), з тривалостями залишків (0; 0; 0), на рис. 1, в кодове слово N1 з тривалостями залишків (1; 1; 1), а на рис. 1, г кодове слово з максимальними тривалостями кожного з відрізків N29, відповідно до виразу (4).

Аналізуючи табл. 1, необхідно відмітити, що синтезуємі кодові слова можуть відрізнятися не тільки кількістю залишку, а й їх величинами.

Наприклад, залишки слова N30 відрізняється від залишків кодового слова N1 усіма трьома залишками, кожний з яких кратний величині  $\Delta$ :

N1	1	1	1;
N30	0	0	0;
N29	1	2	4.

В той же час кодове слово N29 відрізняється від N30 також трьома залишками, але на величини:

$$\Delta\tau_{c1} \rightarrow 1\Delta;$$

$$\Delta\tau_{c2} \rightarrow 2\Delta;$$

$$\Delta\tau_{c3} \rightarrow 3\Delta.$$

Зрозуміло, що вірогідність зміни тривалості одного і того ж відтинку на величину  $\Delta\tau_{ci} = z\Delta$  збільшується із зменшенням  $z$ .

### Висновки

1. Потужність надлишкового таймерного коду, синтезованого на основі залишків за декількома простими модулями  $P_i$ , дорівнює добутку модулів  $N_p = P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_3$ .

2. Синтезовані кодові слова на основі залишків різних модулів відрізняються не тільки кількістю залишків, а й їх величинами, що необхідно враховувати при розрахунку вірогідності прийому другого кодового слова замість переданого.

3. Потужність ансамблів, реалізованих на основі трьох відрізків величиною  $\tau_{ci} \geq (t_0 + z\Delta)$ , на-

багато більше ансамблю, реалізованого на основі взаємно простих модулів.

### Список літератури

1. Зюко А.Г. Теория передачи сигналов / А.Г. Зюко, Д.Д. Кловский, М.В. Назаров, Л.М. Финк. – Москва: Радио и связь, 1986. – 304 с.
2. Торгашев В. А. Система остаточных классов и надежность ЦВМ / В.А. Торгашев. – Москва: Сов. радио, 1973. – 120 с.
3. Захарченко М.В. Системы передавання даних. – Т.1: Завадостійке кодування: підручник [для студентів вищих технічних навчальних закладів] / М.В. Захарченко. – Одеса: Фенікс, 2009. – 448 с.

4. Гаджиев М.М. Минимизация межканальной помехи при работе многоканального модема / М.М. Гаджиев, М.А. Мамедов, Е.Н. Мартынова // Научные известия Серия естественных и технических наук. Сумгаит: Сумгаитский государственный университет, 2007.– № 1. – С. 101-105.

Надійшла до редколегії 6.01.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Є.В. Васіліу, директор навчально-наукового інституту Радіо, телебачення та інформаційної безпеки ОНАЗ ім. О.С. Попова, Одеса.

### СРАВНЕНИЕ АНСАМБЛЯ КОДОВЫХ МНОЖЕСТВ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ НА ОСНОВЕ НЕСКОЛЬКИХ МОДУЛЕЙ С АНСАМБЛЯМИ, РЕАЛИЗОВАННЫМИ НА ОСНОВЕ ТАЙМЕРНЫХ СИГНАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Н.В. Захарченко, С.М. Горохов, А.В. Кочетков, В.В. Гордейчук, Е.Б. Шамшидин

Проведено сравнение ансамблей простых таймерных кодовых конструкций, синтезированных на основе нескольких (i) простых взаимно независимых модулей и кодовых слов, таймерных сигнальных конструкций (ТСК), реализованных на основе «i» отрезков, соответствующих условиям передачи:  $t_0 \leq \tau_{ci} = t_0 + z\Delta$  ( $z \in 0 \div K$  – целые числа).

**Ключевые слова:** таймерные сигналы, кодовое слово, таймерные сигнальные конструкции, интервал найквистового элемента, системы передачи данных, кодовые методы обнаружения ошибок.

### COMPARING ENSEMBLE CODE SET SYNTHESIZED BASED ON SEVERAL MODULES OF THE ENSEMBLE IMPLEMENTED ON THE BASIS TIMER SIGNAL CONSTRUCTIONS

N.V. Zakharchenko, S.M. Horokhov, A.V. Kochetkov, V.V. Gordeychuk, E.B. Shamshidin

A comparison of simple ensembles timer code constructions synthesized on the basis of several (i) simple mutually independent modules, and code words, timer signal constructions (TSC), implemented on the basis of «i» segments corresponding to transmission conditions:  $t_0 \leq \tau_{ci} = t_0 + z\Delta$  ( $z \in 0 \div K$  – integer).

**Keywords:** timed signal, code word, timer signal construction, interval of naykvist element, data transmission system, error detection code methods.