

**ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЄМНОСТІ НАЙКВІСТОВОГО ЕЛЕМЕНТА НА
ОСНОВІ ТАЙМЕРНИХ СИГНАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ**

На сьогоднішній день всі цифрові системи зв'язку використовують принципи позиційного кодування інформації. В роботі проведений аналіз щодо інформаційної ємності найквісового елемента в позиційних системах, що у випадку збільшення є величиною постійною і залежить від основи алфавіту, а в таймерних сигнальних конструкціях – змінною і залежить від ряду інформаційних параметрів. Сформульовані недоліки позиційних систем кодування та переваги таймерних сигнальних конструкцій над позиційним методом кодування. Описані методи підвищення інформаційної ємності найквісового елемента за допомогою таймерних сигнальних конструкцій. На відміну від позиційного кодування, за якого мінімальна енергетична відстань визначається енергією найквісового елемента, у запропонованих таймерних сигнальних конструкціях мінімальна енергетична відстань між дозволеними таймерними сигнальними конструкціями в декілька разів менша елемента найквіста.

Ключові слова: інформація, позиційне кодування, модель Гільберта, таймерна сигнальна конструкція, значущий момент модуляції, інформаційна ємність найквісового елемента, інтервал реалізації.

V.I. LUZHANSKY, L.V. KARPOVA, D.G. SHASHKOV
Khmelnitskyi National University

**INCREASING THE INFORMATION QUALITY OF THE LABOR
ELEMENT BASED ON TIMER SIGNAL CONSTRUCTIONS**

To date, all digital communication systems use the principles of positioning information coding. In this work an analysis was carried out on the information capacity of the quiver element in positional systems, which in the case of magnification is a constant value and depends on the basis of the alphabet, and in timer signal structures, it is a variable and depends on a number of information parameters. The flaws of positional coding systems and advantages of timer signal constructions over the positional coding method are formulated. Methods of increasing the information capacity of the quiver element using timer signal constructions are described. In contrast to positional coding, in which the minimum energy distance is determined by the energy of the Nyquist element, in the proposed timer signal constructions, the minimum energy distance between the allowed timer signal constructions is several times smaller than the nickname element. The analysis of positions correction codes and quality of signal transmission on the channels of the Hilbert model is carried out. Defined transmission quality parameters in the "good" and "bad" states of the channel. The Hilbert model assumes two states of a discrete channel. In the "good" state there are no errors, and in the "bad" probability of error takes some value more than 0. Change of states is described by the Markov chain. It is shown that the number of realizations during the synthesis of timer signal constructions is much more than the number of implementations of position codes. Information capacity with timer encoding is greater information capacity when position coded. With the use of timer signal constructions, with the increase of the implementation interval «m», the total capacity of the implemented ensembles increases.

Keywords: information, position coding, Hilbert model, timer signal design, significant modulation moment, information capacity of the quiver element, interval of realizations.

Вступ

Двійкові коригувальні блокові коди – це такі коди, в яких кодування і декодування здійснюється в межах блока, який складається з певного числа кодових символів. У літературі з завадостійкого кодування блоки кодових символів називають по-різному: кодовими комбінаціями, кодовими словами й кодовими векторами. При аналізі блокових кодів передбачається синхронний метод передачі, який характеризується постійними величинами довжини кодового слова та довжини елементарної посилки, яка дорівнює $t_0 = 1/2\Delta F$ ($t_0 = 1/\Delta F$). При синхронному методі передачі реалізується послідовна передача коефіцієнтів α_i полінома:

$$G(a) = \alpha_{n-1}a^{n-1} + \alpha_{n-2}a^{n-2} + \dots + \alpha_1a + \alpha_0, \quad (1)$$

де a – позиційність системи (число станів інформаційного параметру); α_i – коефіцієнти, число яких дорівнює a :

$$\alpha = a-1; a-2; \dots 0 \quad (\alpha_i \leq a-1).$$

При передачі по каналу з базою $B = t_0 \cdot \Delta F = 1$ ($t_0 = 1/\Delta F$) кожний із коефіцієнтів α_i передається відповідним сигналом тривалістю t_0 . Такий метод кодування називається позиційним (або розрядно-цифровим кодуванням РЦК).

Таймерні сигнальні конструкції (ТСК) були запропоновані у 80-і роки ХХ ст. для задачі підвищення швидкості передачі інформації в бінарному каналі. Завдяки таймерним сигналам вдалося збільшити швидкість передачі практично вдвічі на інтервалі «хорошого» стану нестационарних каналів за рахунок укрупнення сигналів словника. Також ТСК мають властивості завадостійкого коду, але надлишковість у вигляді додаткових перевірючих символів в них не використовується. Таким чином дослідження завадостійких методів передачі на основі ТСК є актуальною задачею.

Метою статті є збільшення інформаційної ємності найквісового елемента при незмінному числі різних значень інформаційного параметра сигналу і довжині кодового слова.

Результати дослідження. Принцип кодування позиційних систем полягає у наступному:

Число N , що складається з n розрядів та має основу a , може бути представлено у виді суми:

$$N = \sum_{i=1}^n \alpha_i a^i, \quad (2)$$

де α_i – значення розрядного коефіцієнта ($\alpha_i \leq a-1$), i – розряд. Для двійкової системи $a=2$, а коефіцієнти $\alpha_i \in 0;1$.

Якщо кількість сигналів інформаційного параметру сигналів в каналі «а» відповідає числу різних значень α_i , а мінімальна відстань між суміжними моментами модуляції в каналі, який обмежений по частоті смугою ΔF , не менше $t_0 = 1/2\Delta F$, то по каналу зв'язку в заданій послідовності можна передавати коефіцієнти α_i , які будуть містити інформацію щодо числа N . При цьому слід враховувати, що реальні канали зв'язку моделі Гільберта, наприклад канали міської телефонної мережі (МТМ), забезпечують достатньо велику середню імовірність помилкового прийому кодового слова $P_{\text{Кс}} \geq 10^{-3} \div 10^{-4}$ при якості приймання в «хорошому» стані каналу $10^{-7} \div 10^{-8}$ [1].

Розглянемо модель Гільберта і визначимо її основні параметри [2]. Дана модель передбачає наявність двох станів дискретного каналу. У «хорошому» стані, або Х-стані, помилок не виникає. У «поганому», або П-стані, можливе виникнення помилок із імовірністю $p_{\text{П}}$. Зміна станів описується ланцюгом Маркова. Поведінка системи може бути представлена графом (рис. 1).

Зміна станів моделі визначається матрицею перехідних імовірностей:

$$P = \begin{bmatrix} P_{\text{ХХ}} & P_{\text{ХП}} \\ P_{\text{ПХ}} & P_{\text{ПП}} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Дискретним кроком системи є одиничний елемент. Сенс перехідної

$$\text{ймовірності} - P_{\text{ХХ}} + P_{\text{ХП}} = 1, P_{\text{ПХ}} + P_{\text{ПП}} = 1. \quad (4)$$

Середня ймовірність помилкового прийому елемента:

$$\bar{p}_n = p_n \cdot P_{\text{П}} = p_n \cdot \frac{P_{\text{ХП}}}{P_{\text{ПХ}} + P_{\text{ХП}}}. \quad (5)$$

Середні довжини «поганого» і «хорошого» станів каналу визначаються як:

$$\bar{l}_{\text{Х}} = \frac{1}{P_{\text{ХП}}}; \bar{l}_{\text{П}} = \frac{1}{P_{\text{ПХ}}}. \quad (6)$$

Коефіцієнт групування помилок:

$$\alpha = 1 - P_{\text{ХП}} - P_{\text{ПХ}}. \quad (7)$$

Параметри моделі Гільберта визначають середні довжини пакетів помилок і відстані між ними, тобто середні довжини «хорошого» і «поганого» станів. Шукані параметри можна оцінювати використовуючи статистику довжин станів $\bar{l}_{\text{Х}}$, $\bar{l}_{\text{П}}$.

Оцінити параметри каналу можна по визначеним середнім довжинам станів:

$$P_{\text{ХП}} = \frac{1}{\bar{l}_{\text{Х}}}; P_{\text{ПХ}} = 1 - P_{\text{ХП}}; P_{\text{ПХ}} = \frac{1}{\bar{l}_{\text{П}}}; P_{\text{ХХ}} = 1 - P_{\text{ПХ}}. \quad (8)$$

Елементарне послання, яке дорівнює «елементу Найквіста», обмежує ефективність коду і мінімальну кодову відстань між кодограмами простого коду, що унеможливує при заданій елементарності коду (n) реалізувати більше сигнальних конструкцій ніж a^n (a – число станів інформаційного параметра).

Відомо, що для забезпечення високої якості передачі $P_{\text{зад}} < 10^{-6} \div 10^{-7}$ при позиційному блоковому кодуванні формуються коригуючі сигнальні конструкції, в яких інформаційні елементи як частина кодової конструкції (m) збільшується на « k » додаткових елементів, що дозволяє проводити синдромне виявлення та виправлення помилок.

Вимоги, які висуваються при передачі даних у мережах передавання встановлюють імовірність виникнення помилки не гірше $10^{-6} \dots 10^{-9}$. Але такі вимоги не відповідають реальним каналам зв'язку, у яких зазначена імовірність є не нижчою за $10^{-2} \dots 10^{-3}$. Тому виникає задача по збільшенню вірності передачі (зниженню ймовірності помилки). Цю задачу можна вирішити за допомогою коригуючих кодів, які виявляють та виправляють помилки.

Будь-який корегувальний код є надлишковим кодом, оскільки має зайві кодові комбінації (КК). В таких кодах загальне число елементів у кодовій комбінації « n » включає « m » інформаційних та « k »

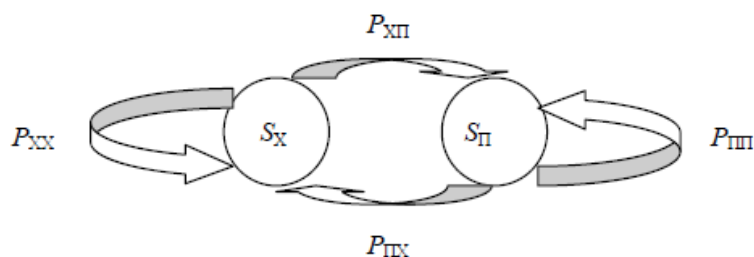


Рис. 1. Граф станів моделі Гільберта

перевірочних елементів.

$$n = m + k . \quad (9)$$

Число m визначається від числа різних об'єктів N , про які передається інформація:

$$m = E^+ \log_2 N , \quad (10)$$

де E^+ – символ найближчого великого цілого числа (значення логарифму).

Принцип виявлення помилок надлишковими кодами полягає у наступному.

Із загальної кількості $N_{\Sigma} - N^+$ кодових комбінацій n символів (a – основа коду) для передавання дискретних повідомлень використовуються не всі, а тільки та необхідна кількість кодових комбінацій N^+ , що дорівнює об'єму первинного алфавіту джерела $N_{дж}$. Решта $N = N_{\Sigma} - N^+$ кодових комбінацій (не використовуваних) є забороненими, тобто вони не можуть передаватися каналами зв'язку. Якщо в результаті помилок передана (дозволена) комбінація перетвориться на одну із заборонених, то це й сигналізуватиме про наявність помилок [1].

Сформулюємо основні ознаки та недоліки позиційного кодування:

- на інтервалі реалізації $T_p = mt_0$ може бути сформовано $N_p = 2^m$ кодових слів;
- мінімальна енергетична кодова відстань між КК визначається енергією найквістового елементу $t_0 = 1/2\Delta F$, що унеможливило забезпечити обмін якості передачі в «хорошому» стані каналу на швидкість передачі;
- мінімальна відстань між моментами модуляції зміни сигналу кратна інтервалу найквіста;
- кількість інформації, яка може бути передана одним інформаційним елементом може бути більше величини $l_0 \leq \log_2 a$ [1];
- синтезовані на базі позиційного кодування коригувальні коди мають найбільшу швидкість передачі в реальних каналах при рівності питомої ваги інформаційних (m) та додаткових (k) елементів (при цьому $m = 45 \div 50$, ефективна швидкість передачі $R_e \leq m/n \approx 0.5$);
- блокові конструкції коригуючих позиційних кодів, які використовують на практиці являють собою багатовекторні конструкції з числом координат $n \in 100 \div 1000$, що суттєво впливає на якість передачі.

Ентропія кодового слова (кодової конструкції) при позиційному кодуванні визначається кількістю реалізацій ($N_{рп}$) кодових конструкцій:

$$H = \log_2 N_{рп} , N_{рп} = a^n , \quad (11)$$

де a – основа коду (кількість різних значень інформаційного параметра); n – кількість елементів (посилок) у кодовому слові. Мінімальна тривалість кодового елемента (t_0) не може бути меншою від тривалості перехідного процесу:

$$t_0 = 1/\Delta F , \quad (12)$$

де ΔF – смуга пропускання каналу. Отже, при позиційному кодуванні відстань між моментами модуляції кратна найквістовому елементу тривалістю t_0 .

Враховуючи, що мінімальна енергетична відстань між кодовими конструкціями при позиційному кодуванні дорівнює енергії одного найквістового елемента тривалістю t_0 , збільшити кількість реалізацій на заданому інтервалі часу $T_{ск} = nt_0$ можна тільки зменшивши енергетичну відстань між кодовими конструкціями. Це завдання можна вирішити використовуючи таймерні сигнальні конструкції.

У таймерних сигнальних конструкціях на відміну від позиційного кодування інформація про кодове слово міститься не в “ n ” найквістових елементах (“+” або “-”), а в тривалостях окремих відрізків “ i ” сигналів (τ_{ci}), синтезованих на інтервалі $T_c = mt_0$, кожний з яких не менший від найквістового (t_0):

$$\tau_{ci} = t_0 + z\Delta , z \in (2; 3 \dots z_0) \text{ цілі числа}, \quad (13)$$

де Δ – частина елемента t_0 ($\Delta = t_0/s$), $s \in (2; 3 \dots s_0)$ – цілі числа, яка забезпечує розпізнавальну здатність тривалостей окремих відрізків (τ_{ci}) із заданою ймовірністю помилки на виході каналу за відомої завадової обстановки; m – кількість найквістових елементів, які беруть участь у формуванні цього ансамблю ТСК.

На рис. 1 представлено декілька таймерних кодових конструкцій з трьома значущими моментами модуляції (ЗММ) [1]:

- 1) кодове слово при позиційному кодуванні ($T_{ск} = 5t_0$);
- 2) таймерне кодове слово з трьома ЗММ з інтервалами кратними t_0 ;
- 3) таймерне кодове слово при $i = 3$ з інтервалами міжсуміжними ЗММ $\tau_{ci} = t_0 + k\Delta$; $k \in 1 \dots c$;
- 4) четверте кодове слово ТСК із зміщенням двох ЗММ на величину Δ .

Таким чином, в таймерних конструкціях мінімальна відстань τ_{cm} між суміжними значущими моментами модуляції реалізованої кодової конструкції (τ_{cm} – має нижню межу, що дорівнює найквістовому елементу):

$$\tau_{ci} \geq s\Delta + i\Delta; \quad i \in 0, 1, 2, \dots, z - \text{ціле число.} \quad (14)$$

Перший доданок виразу (14) відповідає мінімальному інтервалу, тобто найквістовому елементу ($t_0 = s\Delta$), а доданок $i\Delta$ показує наскільки τ_{ci} більше найквістового елемента в елементах Δ . При таких умовах потужність реалізованого ансамблю N_{PT} на інтервалі $T_{СК} = mt_0$ визначається наступним виразом:

$$N_{PT} = \frac{(ms - i(s-1))!}{i!(ms - is)!}, \quad (15)$$

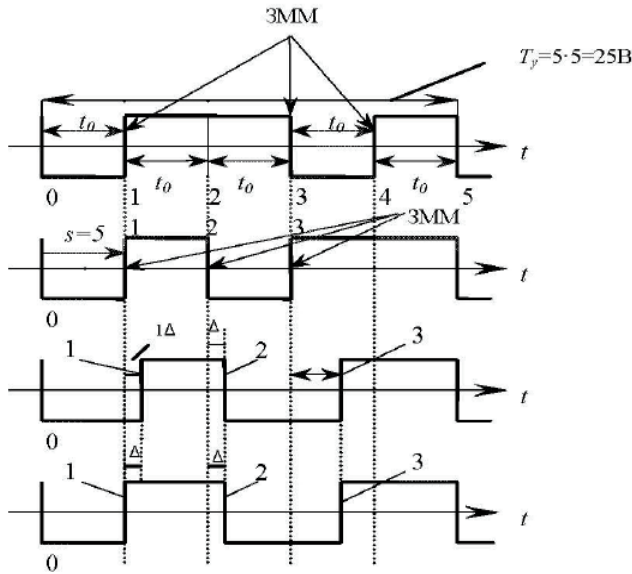
де i – число заданих відрізків сигналу на інтервалі кодового слова довжиною m найквістових елементів. Наприклад, для $m=10$ і $s=8$ при синтезі сигнальної конструкції з трьох інформаційних відрізків ($i=3$):

$$N_{PT} = \frac{59!}{3! \cdot 56!} = 32509,$$

що майже у 32 рази більше числа кодових слів позиційного коду при $m=10$ ($2^{10} = 1024$).

Із таблиці 1 і 2 випливає:

Рис. 2. Структура таймерних сигнальних конструкцій при $i=3, s=5$



- 1) число реалізацій ТСК N_{PT} зростає зі збільшенням параметрів m і s ;
- 2) при $i = m$ (в найквістових елементах) можлива тільки одна реалізація ($N_{PT} = 1$);
- 3) при $i < m$ число реалізацій $N_{PT} = 0$;
- 4) в тому самому інтервалі синтезу ТСК ($m = const$) кількість реалізацій можна істотно збільшити, використовуючи ансамблі, які містять конструкції з різною кількістю відрізків « i ».

Таблиця 1

Число реалізацій ТСК при $m \in 3 \div 12$ для $i = 1; 2; 3; s = 2; 4; 6; 8; 10$

| i | S | m | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-----|-----|----------|----|-----|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | | 2^m | 8 | 16 | 32 | 64 | 128 | 256 | 512 | 1024 | 2048 | 4096 |
| 1 | 2 | N_{PT} | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 | 21 | 23 |
| | 4 | N_{PT} | 9 | 13 | 17 | 21 | 25 | 29 | 33 | 37 | 41 | 45 |
| | 6 | N_{PT} | 13 | 19 | 25 | 31 | 37 | 43 | 49 | 55 | 61 | 67 |
| | 8 | N_{PT} | 17 | 25 | 33 | 41 | 49 | 57 | 65 | 73 | 81 | 89 |
| | 10 | N_{PT} | 21 | 31 | 41 | 51 | 61 | 71 | 81 | 91 | 101 | 111 |
| 2 | 2 | N_{PT} | 6 | 15 | 28 | 95 | 66 | 91 | 120 | 153 | 190 | 231 |
| | 4 | N_{PT} | 15 | 45 | 91 | 153 | 231 | 325 | 435 | 561 | 703 | 861 |
| | 6 | N_{PT} | 28 | 91 | 190 | 325 | 496 | 703 | 946 | 1225 | 1540 | 1891 |
| | 8 | N_{PT} | 45 | 153 | 325 | 561 | 861 | 1225 | 1653 | 2145 | 2701 | 3321 |
| | 10 | N_{PT} | 66 | 231 | 496 | 861 | 1326 | 1891 | 2556 | 3321 | 4186 | 5151 |
| 3 | 2 | N_{PT} | 1 | 10 | 35 | 84 | 165 | 286 | 455 | 680 | 969 | 1330 |
| | 4 | N_{PT} | 1 | 35 | 165 | 455 | 969 | 1771 | 2925 | 4495 | 6545 | 9139 |
| | 6 | N_{PT} | 1 | 84 | 455 | 1330 | 2925 | 5456 | 9139 | 1490 | 20825 | 29260 |
| | 8 | N_{PT} | 1 | 165 | 969 | 2925 | 6545 | 12341 | 20825 | 32509 | 47905 | 67525 |
| | 10 | N_{PT} | 1 | 286 | 1771 | 5456 | 12341 | 23426 | 39711 | 62196 | 91881 | 129766 |

У двійковому каналі ентропія (H) кодових слів може перевищувати тривалість кодового слова n . Такі умови можна створити за допомогою ансамблів сигнальних конструкцій з різною кількістю інформаційних відрізків (τ_{ci}) на інтервалі $T_{СК} = mt_0$, якщо $m = const$. Отже, у двійковому каналі на одному інтервалі Найквіста можна передавати більше від одного біта інформації.

Інформаційна ємність найквістового елемента визначається:

$$I_H = \frac{\log_2 N_{PT}}{m}. \quad (16)$$

У таблиці 3 наведені значення інформаційної ємності найквістового елемента I_H при значеннях $m \in (3 \div 11)$; $i \in (1 \div 3)$; $i \in (4 \div 5)$; $S \in 2; 4; 6; 8; 10$.

Таблиця 2

Число реалізацій для ТСК при $m \in 4 \div 12$ для $i = 4; 5; 6$; $s = 2; 4; 6; 8; 10$

| i | s | m | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-----|-----|----------|---|------|-------|-------|--------|---------|---------|----------|----------|
| 4 | 2 | N_{PT} | 1 | 15 | 70 | 210 | 495 | 1001 | 1820 | 3060 | 4845 |
| | 4 | N_{PT} | 1 | 70 | 495 | 1820 | 4845 | 10626 | 20475 | 35960 | 58905 |
| | 6 | N_{PT} | 1 | 210 | 1820 | 7315 | 20475 | 46376 | 91390 | 163185 | 270725 |
| | 8 | N_{PT} | 1 | 495 | 4845 | 20475 | 58905 | 135751 | 270725 | 487635 | 814385 |
| | 10 | N_{PT} | 1 | 1001 | 10626 | 46376 | 135751 | 316251 | 635376 | 1150626 | 1929501 |
| 5 | 2 | N_{PT} | 0 | 1 | 21 | 126 | 462 | 1287 | 3003 | 6188 | 11628 |
| | 4 | N_{PT} | 0 | 1 | 126 | 1287 | 6188 | 20349 | 53130 | 118755 | 237336 |
| | 6 | N_{PT} | 0 | 1 | 462 | 6188 | 33649 | 118755 | 324632 | 749398 | 1533939 |
| | 8 | N_{PT} | 0 | 1 | 1287 | 20349 | 118755 | 435897 | 1221759 | 2869685 | 5949147 |
| | 10 | N_{PT} | 0 | 1 | 3003 | 53130 | 324632 | 1221759 | 3478761 | 8259888 | 17259390 |
| 6 | 2 | N_{PT} | 0 | 0 | 1 | 28 | 210 | 924 | 3003 | 8008 | 18564 |
| | 4 | N_{PT} | 0 | 0 | 1 | 210 | 3003 | 18564 | 74613 | 230230 | 593775 |
| | 6 | N_{PT} | 0 | 0 | 1 | 924 | 18564 | 134596 | 593775 | 1947792 | 5245786 |
| | 8 | N_{PT} | 0 | 0 | 1 | 3003 | 74613 | 593775 | 2760681 | 9366819 | 25827165 |
| | 10 | N_{PT} | 0 | 0 | 1 | 8008 | 230230 | 1947792 | 9366819 | 32468436 | 90858768 |

Таблиця 3

Значення інформаційної ємності найквістового елемента

| i | S | m | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 2 | I_N | 0,774 | 0,702 | 0,634 | 0,577 | 0,529 | 0,488 | 0,454 | 0,425 | 0,399 |
| | 4 | I_N | 1,057 | 0,925 | 0,817 | 0,732 | 0,663 | 0,607 | 0,56 | 0,521 | 0,487 |
| | 6 | I_N | 1,233 | 1,062 | 0,929 | 0,826 | 0,744 | 0,678 | 0,624 | 0,578 | 0,506 |
| | 8 | I_N | 1,362 | 1,161 | 1,009 | 0,893 | 0,802 | 0,729 | 0,669 | 0,619 | 0,576 |
| | 10 | I_N | 1,464 | 1,239 | 1,072 | 0,945 | 0,847 | 0,769 | 0,704 | 0,651 | 0,605 |
| 2 | 2 | I_N | 0,862 | 0,977 | 0,961 | 0,915 | 0,863 | 0,813 | 0,767 | 0,726 | 0,688 |
| | 4 | I_N | 1,302 | 1,373 | 1,301 | 1,209 | 1,121 | 1,043 | 0,973 | 0,913 | 0,859 |
| | 6 | I_N | 1,602 | 1,626 | 1,514 | 1,39 | 1,279 | 1,182 | 1,098 | 1,025 | 0,962 |
| | 8 | I_N | 1,83 | 1,814 | 1,668 | 1,522 | 1,392 | 1,282 | 1,187 | 1,106 | 1,036 |
| | 10 | I_N | 2,015 | 1,963 | 1,791 | 1,625 | 1,482 | 1,361 | 1,258 | 1,17 | 1,094 |
| 3 | 2 | I_N | 0 | 0,83 | 1,026 | 1,065 | 1,052 | 1,02 | 0,981 | 0,941 | 0,902 |
| | 4 | I_N | 0 | 1,282 | 1,473 | 1,472 | 1,417 | 1,349 | 1,279 | 1,213 | 1,103 |
| | 6 | I_N | 0 | 1,598 | 1,766 | 1,73 | 1,645 | 1,552 | 1,462 | 1,379 | 1,304 |
| | 8 | I_N | 0 | 1,842 | 1,984 | 1,919 | 1,811 | 1,585 | 1,594 | 1,499 | 1,413 |
| | 10 | I_N | 0 | 2,04 | 2,158 | 2,069 | 1,942 | 1,814 | 1,697 | 1,592 | 1,499 |
| 4 | 2 | I_N | 0 | 0 | 0,781 | 1,022 | 1,102 | 1,119 | 1,107 | 1,083 | 1,053 |
| | 4 | I_N | 0 | 0 | 1,226 | 1,492 | 1,547 | 1,53 | 1,486 | 1,432 | 1,376 |
| | 6 | I_N | 0 | 0 | 1,543 | 1,805 | 1,834 | 1,79 | 1,722 | 1,648 | 1,574 |
| | 8 | I_N | 0 | 0 | 1,79 | 2,04 | 2,046 | 1,98 | 1,895 | 1,805 | 1,718 |
| | 10 | I_N | 0 | 0 | 1,993 | 2,229 | 2,214 | 2,131 | 2,03 | 1,928 | 1,83 |
| 5 | 2 | I_N | 0 | 0 | 0 | 0,732 | 0,997 | 1,106 | 1,148 | 1,155 | 1,145 |
| | 4 | I_N | 0 | 0 | 0 | 1,163 | 1,476 | 1,574 | 1,59 | 1,57 | 1,53 |
| | 6 | I_N | 0 | 0 | 0 | 1,475 | 1,799 | 1,88 | 1,873 | 1,831 | 1,774 |
| | 8 | I_N | 0 | 0 | 0 | 1,722 | 2,045 | 2,107 | 2,082 | 2,022 | 1,95 |
| | 10 | I_N | 0 | 0 | 0 | 1,925 | 2,242 | 2,289 | 2,247 | 2,173 | 2,089 |

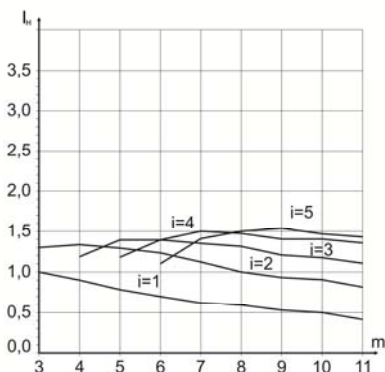


Рис. 3. Залежність інформаційної ємності найквістового елемента від довжини m ТСК при $s = 4$

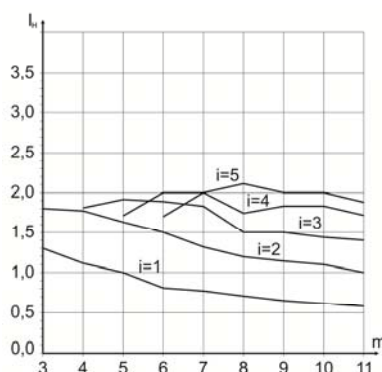


Рис. 4. Залежність інформаційної ємності найквістового елемента від довжини m ТСК при $s = 8$

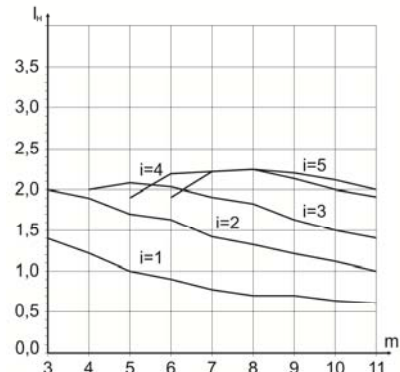


Рис. 5. Залежність інформаційної ємності найквістового елемента від довжини m ТСК при $s = 10$

На рисунках 3, 4, 5 представлені залежності ємності найквістового елемента від m та i з урахуванням виразу (16) та розраховані для $s = 4$, $s = 8$, $s = 10$.

Висновки

1. При зменшенні параметра S падає інформаційна ємність найквістового елемента. Наприклад, при $i = 4$, $m = 8$, $s = 8$ інформаційна ємність $I_H = 1,98$ біт на елемент, а при $s = 6$, $I_H = 1,79$ біт на елемент. В даному випадку інформаційна ємність зменшується на 40,4% при ймовірності бітової помилки не гірше $5 \cdot 10^{-5}$.

2. При збільшенні S з 8 до 10 збільшується інформаційна ємність і зростає число реалізацій N_{PT} з 58905 до 135751, що підвищує ймовірність бітової помилки ($P > 10^{-5}$) та призводить до зниження якості передачі цифрової інформації.

3. На інформаційну ємність найквістового елемента I_H впливає кількість переходів "і" в таймерних сигнальних конструкціях. Збільшення числа заданих відрізків сигналу на інтервалі кодового слова $i \in (1 \div 5)$ дає змогу підвищити показник інформаційної ємності I_H , але при $i \rightarrow m-1$ значення I_H падає. Максимальне значення інформаційної ємності досягається при $i = 5$. Якщо $i = 5$, $m = 8$ при $s = 10$, то $I_H = 2,289$ біт на елемент, але при цьому ймовірність помилкового прийому $P_{\text{пом}} > 10^{-5}$, що призводить до зниження якості передачі цифрової інформації. Рациональне значення інформаційної ємності можна отримати при $s = 8$, $m = 8$, $i = 5$ тоді, $I_H = 2,107$ біт на елемент, що дозволяє забезпечити високу якість передачі інформації ($P_{\text{пом}} < 10^{-5}$).

Література

1. Захарченко М. В. Порівняння синдромних методів для коригуючих блокових позиційних і таймерних кодів / М. В. Захарченко, М. М. Гаджиев, Б. К. Радзімовський, Ю. С. Горохов, Д. О. Шпак // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 2(9). – С. 4–8.
2. Захарченко М.В. Системи передавання даних. «Радіотехніка». Т. 1: Ефективність блокового кодування / [Захарченко М.В., Кільдішев В.Й., Мартинова О.М., Ільїн Д.Ю., Трінтіна Н.А.]. – Одеса : ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2014. – 488 с.
3. Захарченко Н. В. Увеличение информационно емкости найквістового елемента при передаче 2-х символьних ансамблей таймерними сигналами / Н. В. Захарченко, В. В. Гордейчук, Е. А. Севастев // Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence. – 2016. – № 2(26). – С. 21–25.
4. Захарченко Н.В. Эффективность двухсимвольных ансамблей в симпліксних системах на базе коректуючих таймерних сигнальних конструкцій / Н.В. Захарченко, В.Й. Кільдішев, Д.В. Голев, А.В. Толкачев // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : міжнародний науково-технічний журнал / Хмельницький національний університет. – 2017. – № 1. – С. 215–218.
5. Horiashchenko Kostyantyn. Spectral components definition of the signal with harmonic signal noninteger period components / К. Horiashchenko, О.І. Maydanets // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах": сб. наук. пр. – Одеса, 6-12 червня 2014 р. – С.71-72

References

1. Porivnjannja syndromnyh metodiv dlja korygujuchyh blokovyh pozycijnyh i tajmernih kodiv / M. V. Zaharchenko, M. M. Gadzhiev, B. K. Radzimov's'kyj, Ju. S. Gorohov, D. O. Shpak // Vostochno-Evropejs'kyj zhurnalпередovyh tehnologyj. - 2014. - № 2(9). - S. 4-8.
2. Zaharchenko M.V. Systemy peredavannja danyh. «Radiotekhnika». - T. 1: Efektyvnist' blokovogo koduvannja / [Zaharchenko M.V., Kil'dishev V.J., Martynova O.M., Il'in D.Ju., Trintina N.A.]. - Odessa: ONAZ im. O.S. Popova, 2014.-488 s.
3. Zaharchenko N. V. Uvelychenye ynformacyonno emkosty najkvystovogo elementa pry peredache 2-h symvol'nyh ansamblej tajmernymy sygnalamy / Zaharchenko N. V., Gordejchuk V.V., Sevastev E. A. // Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence. - 2016. - № 2(26). - S. 21-25.
4. Zaharchenko N.V. Efektyvnost' duvsymvol'nyh ansamblej v symplnksnyh systemah na baze korrektyrujushhyh tajmernih sygnal'nyh konstrukcyj / N.V. Zaharchenko, V.J. Kyl'dyshev, D.V Golev, A.V. Tolkachev // Vymirjuval'na ta obchysljuval'na tehnika v tehnologichnyh procesah: mizhnarodnyj naukovo-tehnichnyj zhurnal. Khmelnytskyi National University. – 2017. - № 1. – S. 215-218.
5. Horiashchenko K.L., Maydanets O.I.. Spectral components definition of the signal with harmonic signal noninteger period components. Khmelnytskyi. Measuring and Computing Devices in Technological Processes. Odess, 6-12 jun 2014. p.71-72

Рецензія/Peer review : 9.10.2018 р.

Надрукована/Printed :22.11.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. В.В. Мартинюк