

УДК 681.325

П.В. ГУМЕННИЙ, Я.М. НИКОЛАЙЧУК

Тернопільський національний економічний університет

Б.Б. КРУЛІКОВСЬКИЙ

Національний університет водного господарства та природокористування

## ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ОРГАНІЗАЦІЇ КОМПОНЕНТІВ ЦИФРОВОГО ІНТЕРФЕЙСУ НА ОСНОВІ РЕКУРЕНТНИХ КОДОВИХ ШКАЛ У ТЕОРЕТИКО-ЧИСЛОВОМУ БАЗИСІ ГАЛУА

*Досліджено характеристики теоретико-числового базису Галуа для проектування кодових шкал. Представлено характеристики проектування КПП в базисах Грея та Галуа. Спроековано одно бітові, двох бітові і трьох бітові квазітрикові кодові шкали в базисі Галуа. Виконано порівняння характеристик кодових дисків в базисах Грея та Галуа. Викладені перспективи проектування цифрових перетворювачів як компонентів спеціалізованих процесорів на основі вертикально-інформаційної технології.*

*Ключові слова: вертикально-інформаційна технологія (ВИТ), теоретико-числовий базис (ТЧБ), кодові перетворювачі переміщення (КПП).*

P.V. HUMENNIY, YA.M. NICOLAYCHUK

Ternopil national economical university

B.B. KRULIKOVSKIY

National University of Water Management and Nature Resources Use

### THEORETICAL FOUNDATIONS COMPONENT WHICH BASED DIGITAL INTERFACE CODE RECURRENT SCALE IN THEORETICAL-DIGITAL BASIS GALOIS

*Abstract - In this paper we are research of the theoretical foundations of vertical information technology based on Galois theoretic-digital basis for the design of the digital components of code converters move. Research of modern scientific developments in the field of code converters move to base Gray codes and established their main functional limitations.*

*The characteristics of theoretical and numerical basis for designing Galois code scales. Submitted design characteristics checkpoint in bases Gray and Galois. A number of methods of exception races in Galois code scales by increasing the number reading elements, taking into account the direction of movement and rotation scale code, which increased the number of paths through the recurrent scale properties of Galois code sequences. This article is designed displacement transducer Structure of code in which the motor code Galois scale or reading items can simplify the hardware implementation of the converter by combining zero and unit code readers Galois, and using one element synchronization. Also developed a coding scale Galois, characterized by maximum reliability because it contains only one reading element that serves as bits of code Galois formation and also acts as a clock write data to a storage register, which is implemented as a shift register. Principle based on the proposed angular displacement transducer into a digital code. The scheme electronic module formation decoder control signals when reading data from the code scale Galois, eliminating the impact upheaval signals by using two readers shifted signal at a distance less than half the linear size of the code element. Designed by the same bit, bit two and three bit code kvazithreesome scale basis in Galois. Comparison of code disks in the bases Gray and Galois.*

*Prospects of digital converters outlined the some components of specialized processors based on vertical information technology.*

*Keywords: Vertical Information Technology (VIT), theoretical-digital basis (TDB), code converters movement (CCM).*

**Вступ.** У зв'язку з інтенсивним впровадженням обчислювальної техніки в усі сфери сучасного суспільства одним із пріоритетних завдань економічного та соціального розвитку є автоматизоване проектування нових мікропроцесорів та їх компонентів, у тому числі цифрових інтерфейсів аналого-цифрових перетворювачів (АЦП), одним із видів якого являються кодові перетворювачі переміщення (КПП).

**Постановка проблеми.** Основними вимогами до КПП є точність перетворення, швидкодія, надійність, стійкість до зовнішніх факторів та інші. Досить добре вивчені основні методи отримання високої точності і роздільної здатності, якщо немає обмежень в габаритах перетворювачів, але в ряді застосувань актуальною є задача збільшення точності та роздільної здатності при одночасному зменшенні габаритів. Досягнення цих технічних вимог багато в чому залежить від застосовуваної в КПП шкали, яка визначає число кодових доріжок (КД), а також число розміщення зчитуючих елементів (ЗЕ). Серед різних типів побудови кодових шкал (КШ) для КПП найбільшого поширення набули шкали виконані у циклічному коді Грея. Перспективними являються кодові шкали з застосуванням теоретико-числового базису (ТЧБ) Галуа, як основи вертикально-інформаційної технології (ВИТ) [2]. Названий ТЧБ характеризується формуванням рекурентних послідовностей, які формують рекурсивні кодові шкали з можливістю формування коректуючих кодів. Звідси актуальною є проблема створення перетворювачів переміщення на основі нового типу кодових шкал, які дозволили б на своїй основі створювати перетворювачі переміщення з покращеними масо-габаритними, і технологічними характеристиками.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням зниження трудомісткості синтезу кодових шкал, та зменшенням габаритів перетворювачів порівняно зі шкалами, що мають кодову маску, виконану в двійковому або в кодї Грея, досліджували: В.Г. Домрачев, Б.С. Мейк, Г. Е. Богославский, а також інші вітчизняні та зарубіжні вчені [3, 4].

Значний внесок в розвиток теорії кодування даних на теоретичній основі шумоподібних сигналів базису Галуа зробили: А.И. Алексеев, А.В. Балакрішнан, Л.Е. Варакін, Ю.Б. Окунев [5–8]. Значний внесок

у проектування цифрових перетворювачів на основі базису Галуа зробив професор Я.М. Николаичук [9].

**Постановка завдання.**

1. Дослідження вертикально-інформаційної технології.
2. Дослідження кодових шкал на основі ТЧБ Галуа, перспектива проектування однобітових, двобітових і трибітових квазітрійкових кодових шкал.
3. Порівняння характеристик кодових дисків Грея та Галуа.

**Дослідження вертикально-інформаційної технології.**

Теоретичною основою вертикально-інформаційної технології є теоретико-числовий базис Галуа [10]. Функції Галуа є кусково-постійними функціями з інтервалом завдання  $(0, 2^n)$ . Вони застосовуються при апроксимації неперервних функцій, при цьому інтервал визначення функцій Галуа нормується до  $(0, 1)$ , і в якості базисної системи вибирають множину функцій Галуа при  $n=1, 2, \dots$

$$N_j = f(C_{j-n+1}, \dots, C_{j-1}, C_j), \quad C_j = \sum_{i=0}^{n-1} C_{j-1} \cdot a \pmod{2}, \quad (1)$$

де  $C_j$  – найменші додатні залишки рекурсивної послідовності GR  $(2^n)$  по модулю mod 2;  $a$  – логічний вектор кодового ключа кільця GR  $(2^n)$ .

Головною особливістю представлення даних в базисі Галуа – рекурсивність. Суть рекурсивності полягає в максимальній упаковці біт-орієнтованої послідовності кодового ключа

$$X_{i+1} = \sum_{i=1}^n (X_i \oplus X_{i-j}), \quad (2)$$

де  $\oplus$  – символ додавання по mod2,  $n$  – число пар елементів кодового ключа. Коди поля Галуа [10] за загальною класифікацією відносяться до підкласу циклічних блокових кодів, які володіють всіма основними властивостями завадозахищених кодів. В блокових кодах послідовність елементарних повідомлень розбиваються на блоки символів  $(B_1, B_2, B_3, \dots, B_n)$  фіксованої довжини  $K$ , кожному з яких ставиться в відповідності певна комбінація символів кодового слова  $(b_1, b_2, b_3, \dots, b_n)$ . Циклічні коди Галуа відносяться до класу систематичних кодів.

Для останніх можна записати відповідний їм аналітичний вираз, у вигляді логічного співвідношення, яке визначається правилами створення цих кодів. Найбільш зручною формою представлення циклічних кодів – використання алгебраїчного виразу [9]

$$G(x) = a_{n-1} \times x^{n-1} + a_{n-2} \times x^{n-2} + \dots + a_1 \times x + a_0,$$

де  $a_0 - a_{n-1}$  – числа, що дорівнюють «0» чи «1», які визначають відповідні значення розрядів кодових комбінацій.

Таким чином дія над циклічними кодами зводиться до дії над відповідними математичними виразами. Коефіцієнти однакових степенів додаються за модулем 2.

Повна система залишків по модулю простого числа  $p$  утворює кінцеве поле порядку  $p$ , яке позначається через  $GF(p)$  і називається простим полем Галуа. Елементи поля  $GF(p) \in \{0, 1, 2, \dots, p-1\}$ , а операції “+”, “-”, “x”, “:” виконуються по модулю  $p$  [10].

Наприклад:  $GF(2)$  – двійкове поле,  $\{0, 1\}$ ,  $GF(3)$  – трійкове поле,  $\{0, 1, 2\}$ , в якому  $1 + 2 = 3 = 0 \pmod{3}$ ;  $2 \cdot 2 = 4 = 1 \pmod{3}$ ;  $1 - 2 = -1 = 2 \pmod{3}$ .

Кінцеві поля  $GF(p^r)$  порядку  $p^r$  утворюються з допомогою незвідних поліномів. При використанні примітивних незвідних поліномів  $\pi(x)$  просте поле  $GF(p)$  можна розширити до поля  $GF(p^r)$  за рахунок приєднання кореня  $a$  поліному  $\pi(x)$ , тобто з допомогою порівняння по двох модулях  $p$  і  $\pi(x)$ .

Наприклад, у полі Галуа  $G\left(\begin{smallmatrix} 4 \\ 2 \end{smallmatrix}\right)$  з ключем 1001 (4, 1, 0 - таблиця 1) на основі незвідного полінома

$x^4 + x + 1$  послідовність елементів  $a_1, a_2, \dots, a_{15}$  визначається рекурентним рівнянням:

$$G_{i+1} = G_i \oplus G_{i-n}; \quad n=4, \quad (3)$$

та має вигляд послідовності елементів 111101011001000, які кодують числа у діапазоні 0, 1, 2, ..., 14, 15. Кожний елемент цієї рекурентної послідовності можна описати у вигляді:

$$a_1, a_2, a_3, a_4, a_1 \oplus a_4, a_1 \oplus a_2 \oplus a_4, a_1 \oplus a_2 \oplus a_3 \oplus a_4, a_1 \oplus a_2 \oplus a_3, \\ a_2 \oplus a_3 \oplus a_4, a_1 \oplus a_3, a_2 \oplus a_4, a_1 \oplus a_3 \oplus a_4, a_1 \oplus a_2, a_2 \oplus a_3, a_3 \oplus a_4, \emptyset.$$

де  $\emptyset$  – нульовий елемент.

Поліноми для 32-розрядних кодів поля Галуа представлені у таблиці 1.

Ключі поліномів кодів поля Галуа

(1, 0)	(9, 4, 0)	(17, 3, 0)	(25, 3, 0)
(2, 1, 0)	(10, 3, 0)	(18, 7, 0)	(26, 6, 2, 1, 0)
(3, 1, 0)	(11, 2, 0)	(19, 5, 2, 1, 0)	(27, 5, 2, 1, 0)
(4, 1, 0)	(12, 6, 4, 1, 0)	(20, 3, 0)	(28, 3, 0)
(5, 2, 0)	(13, 4, 3, 1, 0)	(21, 2, 0)	(29, 2, 0)
(6, 1, 0)	(14, 5, 3, 1, 0)	(22, 1, 0)	(30, 6, 4, 1, 0)
(7, 3, 0)	(15, 1, 0)	(23, 5, 0)	(31, 3, 0)
(8, 4, 3, 2, 0)	(16, 5, 3, 2, 0)	(24, 4, 3, 1, 0)	(32, 7, 6, 2, 0)

**Дослідження кодових шкал на основі ТЧБ Галуа, перспектива проектування однобітових, двобітових і трибітових квазітрибітових кодових шкал.**

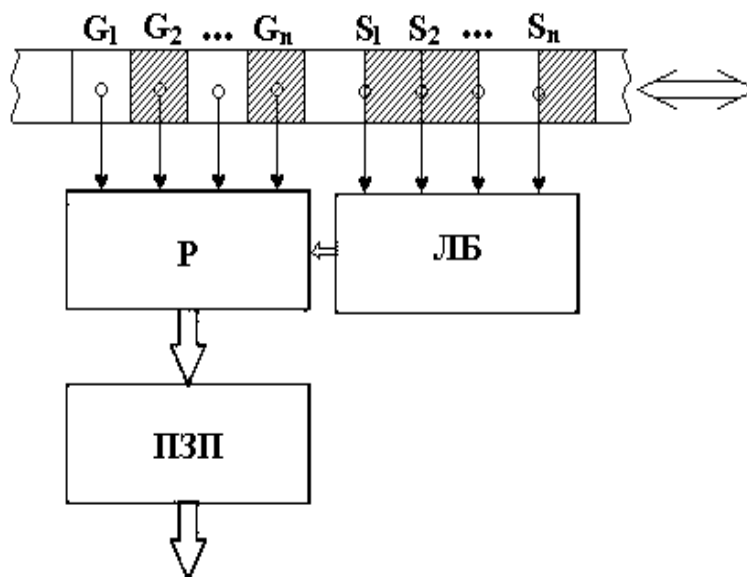
На основі аналізу функціональних характеристик ТЧБ Галуа можна проектувати однобітові, двобітові та квазітрибітові трибітові кодові шкали. При цьому запропоновано ряд методів виключення гонок в кодових шкалах Галуа шляхом[10]:

- збільшення числа зчитуючих елементів;
- врахування напрямку руху та обертання кодової шкали;
- збільшення числа доріжок шкали.

У першому випадку число зчитуючих елементів збільшується в два рази, при чому здійснюється зменшення половини з них на половину лінійного розміру елемента кодової шкали.

На рис.1 наведена структура перетворювача лінійних чи кутових переміщень. Дана шкала містить  $n$  зчитуючих елементів коду Галуа ( $G_1, G_2 \dots G_n$ ),  $n$  зчитуючих елементів синхронізації ( $S_1, S_2 \dots S_n$ ), блок запису даних  $P$ , логічний блок синхронізації запису та дешифратора перетворення Галуа-Радемахера на основі ПЗП. Логічний блок (ЛБ) містить формувачі коротких імпульсів, які формуються по фронту наростання або спаду сигналів елементів синхронізації. При чому імпульси запису сигналів інформаційних зчитувачів  $G_1, G_2 \dots G_n$  записуються в  $P$ , коли останні знаходяться у центрі кодових елементів шкали  $G_i$  [11].

Недоліком такого перетворювача є втрата інформації при відключенні живлення. Для відновлення інформації необхідно зміщення кодової шкали та її сканування на віддалі не менше половини розміру кодового елемента.



**P**– реєстр, **ЛБ** – логічний блок, **ПЗП**– постійний запам'ятовуючий пристрій  
**Рис. 1.** Кодова шкала Галуа з подвійним числом зчитуючих елементів

При відомому напрямі руху кодової шкали Галуа або зчитуючих елементів можливе спрощення апаратної реалізації перетворювача шляхом об'єднання нульових та одиничних зчитувачів коду Галуа, та використання одного елемента синхронізації рис.2.

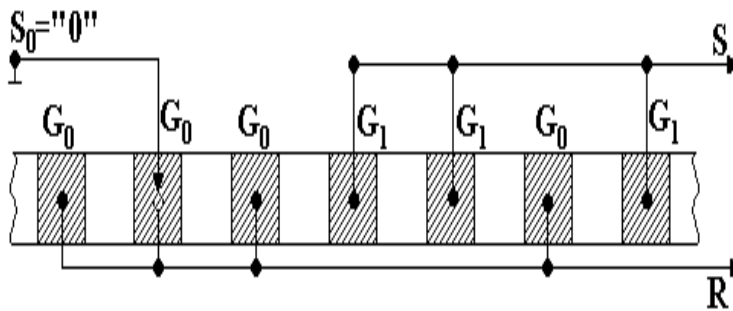


Рис. 2. Кодова шкала Галуа з одним зчитуючим елементом  $S_0$ , на який подається потенціал «-».

Дешифратор такої шкали Галуа має структуру, показану на рис.3.

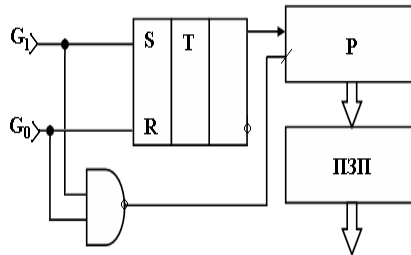


Рис. 3. Структура дешифратора кодової шкали Галуа з одним зчитуючим елементом

Описана кодова шкала Галуа характеризується максимальною надійністю оскільки містить тільки один зчитуючий елемент, який виконує функції формування бітів коду Галуа  $G_0$  та  $G_1$  і одночасно виконує функції синхронізатора запису даних в запам'ятовуючий регістр P, який реалізований, як регістр зсуву на D – тригерах. На основі цього принципу запропонований кутовий перетворювач переміщення у цифровий код. Робота перетворювача відбувається наступним чином. У процесі переміщення зчитуючого елемента  $S_0$  по кодовій шкалі у кожні з SR – шин у відповідності до КПГ виникають сигнали нульового потенціалу, під дією яких RS-тригер перекидається у стан, що відповідає ознаці коду Галуа  $G_1$  або  $G_0$  [12].

При цьому у кожному такті на виході логічного елемента «І-НЕ» виникає сигнал «+», по фронту наростання якого відбувається запис стану RS-тригер у регістр зсуву P.

Таким чином початкова ідентифікація коду шкали відбувається за n-тактів, а наступні коди Галуа формуються у кожному такті зчитуючого елемента  $S_0$ .

Головними функціональними обмеженнями такого перетворювача є однонаправленість зчитування і можливість виникнення хибних імпульсів зсуву на границях кодових елементів за рахунок дребезга сигналів на шинах SR.

Принципово вплив дребезгу сигналів SR можна ліквідувати застосуванням двох сигнальних зчитувачів зсунутих на віддаль менше половини лінійного розміру кодового елемента. На рис.4 показана схема безгоночного електронного модуля формування сигналів управління дешифратором.

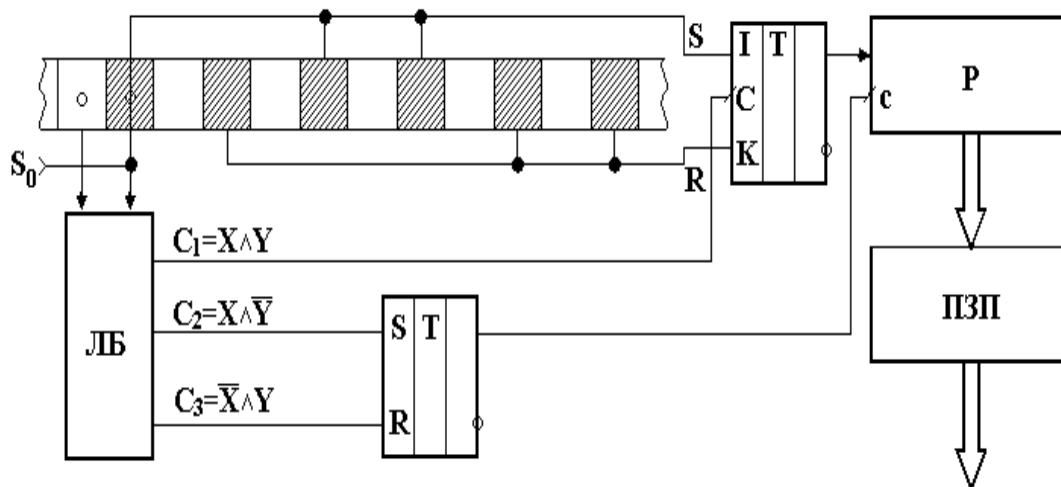


Рис. 4. Схема безгоночного зчитування даних кодової шкали Галуа

Двобітові кодові шкали Галуа характеризуються значними спрощеннями системи зчитування. Структура такої шкали Галуа з n-інформаційних ( $G_1, G_2 \dots G_n$ ) та одного синхронізуючого елемента  $S_0$

показана на рис.5.

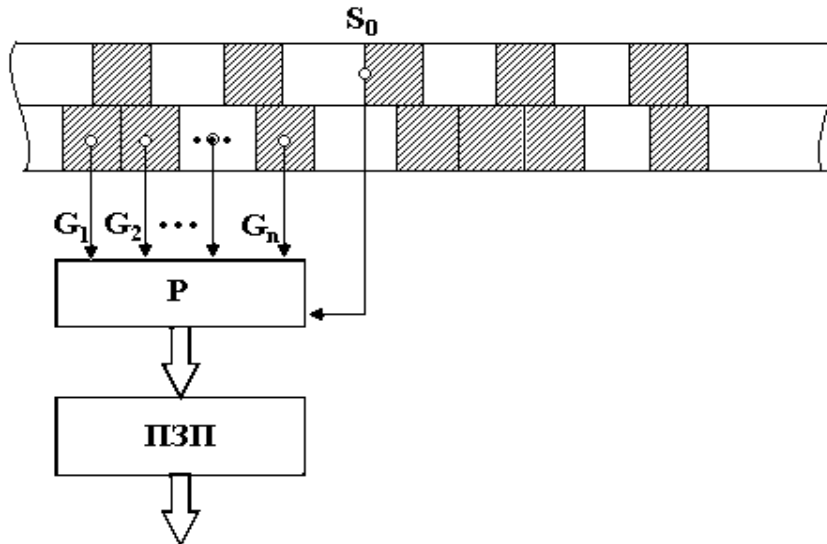


Рис. 5. Двобітова кодова шкала з паралельним зчитуванням коду Галуа

Трибітові квазітрийкові кодові шкали Галуа створюються на основі квазістаціонарного КПП з захисними інтервалами (рис.6). Кодова система Галуа з кодоном  $x^4 + x + 1$  представляє комбінацію кодонів Галуа 1111010110010000, які можна відобразити квазітрийковою шкалою. Квазітрийкова шкала кодується трьома значеннями “0”, “1”, і “S” рис. 6:

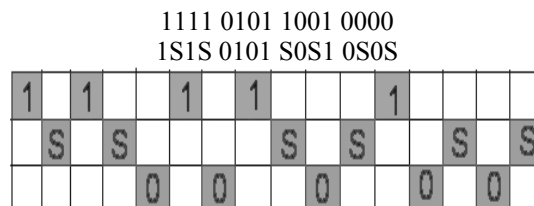
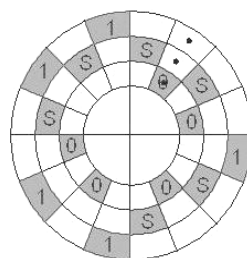


Рис. 6. Квазітрийкова кодова шкала Галуа

На основі рис. 6 формується квазітрийковий кодовий диск рис.7.



● – сенсор зчитування, ○ – сенсор синхронізації, S – біт повторення.

Рис. 7. Квазітрийковий кодовий диск

Схема запису квазітрийкових бітів в регістр R запису відображається схематично на (рис. 8).

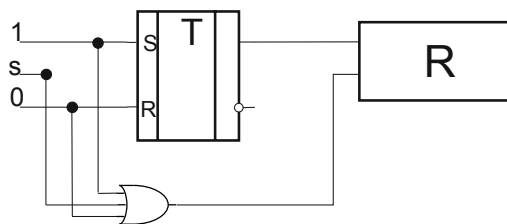


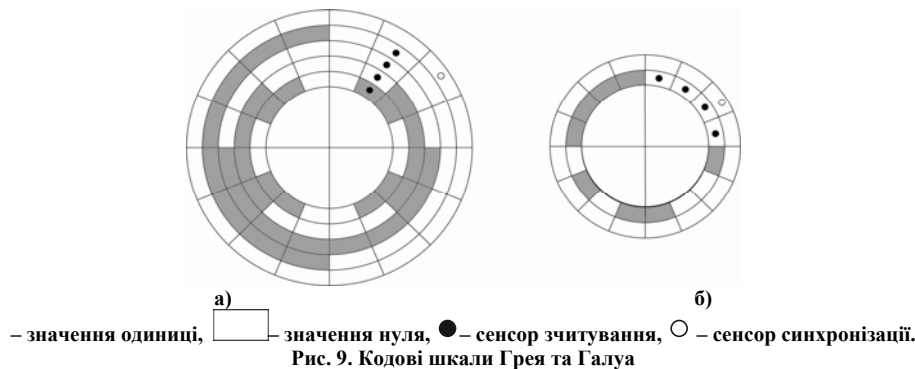
Рис. 8. Схема запису квазітрийкових бітів в регістр

**Порівняння характеристик кодових дисків Грея та Галуа.**

Кодові шкали на основі псевдовипадкових послідовностей Галуа для побудови кодових дисків у порівнянні з кодovими дисками Грея характеризуються підвищенням точності перетворювача при однаковому зчитуванні кодового елемента і зменшення діаметра при збереженні точності перетворення.

Головним обмеженням таких кодових шкал у полярних координатах є виникнення хибних показів на передніх значеннях кодових елементів, які відсутні в шкалах на основі кодів Грея, що потребує використання додаткової доріжки і одного сенсора для синхронізації зчитування кодових значень кута повороту.

Для порівняння вказаних типів кодових шкал опишемо їх параметри аналітично на основі рис.9, де а) відповідає чотирьох бітовому диску Грея, а б) – одно бітовому диску Галуа (11110110010000).



Отже діапазон кодування обох перетворювачів співпадає і рівний:

$$N = 2^n; n = 4; N = 16$$

де  $n$  – число доріжок кодової шкали Грея, яка відповідає числу зчитуваних доріжок (кодону)  $n_1=n_2$  однаковому для обох перетворювачів.

Число кодових елементів перетворювача Грея та Галуа відповідно дорівнює

$$M_1 = \frac{n \cdot N_1}{2}; \quad M_2 = \frac{N_1}{2}.$$

Діаметри кодових дисків при  $N_1 = N_2$  і однакої точності зчитування відповідно рівні

$$d_1 = d_{\min} + n\Delta d; \quad d_2 = d_{\min} + \Delta d,$$

де  $\Delta d$  – ширина доріжки кодового диска.

Мінімальний кут для розміщення кодового елемента повинна задовольняти умові:

$$\Delta\varphi_{\min} = \frac{\pi d_{\min}}{2^n}.$$

Мінімальна довжина дуги кодового елемента повинна задовольняти умові:

$$\Delta L \geq \Delta d = R_0 = 1 \tag{4}$$

для деякого уніфікованого диска з радіусом  $R_0 = 1$  (рис.9), при умові, що форма кодового елемента близька до квадратної.

Тоді умова виграшу в діапазоні квантування кутових величин для диска Галуа по відношенню до диска Грея можна визначити з умов:

$$N_1 = 2\pi K_1 R_0; \tag{5}$$

$$N'_1 = 2\pi(K_1 R_0 + nR_0), \tag{6}$$

де  $K_1 R_0 = d_1$  – діаметр першої внутрішньої доріжки диска;  $N'_1$  – діапазон квантування диска Галуа, реалізованого на  $n$ -й зовнішній доріжці диска Грея.

Підставляючи (4) і (5) в (6) отримаємо вираз (7)

$$N'_1 = \tilde{E}[N_1 + 2\pi n], \tag{7}$$

на основі якого побудована таблиця 1, з якої видно, що виграш у збільшенні діапазону квантування кутових величин  $\Delta n$  спостерігається при  $n \leq 0$ .

Наприклад порівняємо габаритні параметри 10-бітних кодових дисків Грея та Галуа. Нехай  $n = 8$ ;  $\Delta L = 2\text{мм}$ ;  $N_1 = 256$  тоді

$$\rho_0^n = \frac{256}{2\pi} = 81\text{мм}; \quad N_1 = 81 + 16 = 97\text{мм};$$

$N_i / N_1 = 1.19$ , а число кодових елементів замість  $N_1 = 4 \cdot 256 = 1024$  в дисках Грея буде рівне 128 у дисках Галуа.

### Висновок

Проведений аналіз існуючих перетворювачів кута повороту в цифровий код показує переваги і функціональні обмеження перетворювачів в кодах Радемахера та Грея. Викладені теоретичні засади кодування даних в кодах поля Галуа, приведена структура інтерфейсного компонента перетворювача кута повороту в кодах Галуа, та у квазітрійковому коді Галуа. Досліджені характеристики перетворювачів кута

повороту в базисі Грея та Галуа показали переваги застосування базису Галуа для перетворювачів даного класу, які полягають у зменшенні майже на порядок діаметру кодового перетворювача Галуа за однакових точностей перетворення.

### Література

1. Высокопроизводительные преобразователи формы информации / [Кондалев А.И. и др.]. – К. : Наук. думка, 1987. – 280 с.
2. Николайчук Я.М. Дослідження архітектури комп'ютерів: принципи побудови процесорів на основі вертикально-інформаційної технології / Николайчук Я. М., Гуменний П.В. // Поступ в науку : збірник наукових праць Буцацького інституту менеджменту і аудиту. – Бучач. – 2009. – № 5. – С. 69–73.
3. Домрачев В.Г. Цифровые преобразователи угла: принципы построения, теория точности, методы контроля / В. Г. Домрачев, Б. С. Мейк. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 328 с.
4. Богославский Г.Е. Некоторые возможности использования принципов оптоэлектроники для совершенствования средств измерительной техники / Г.Е. Богославский, П. Ф. Олексенко, С.В. Свечни'ков // Измерительная техника. — 1970. – №1. — С. 5—8.
5. Теория и применение псевдослучайных сигналов / [Алексеев А.И. и др.]. – М. : Наука, 1969. – 366 с.
6. Балакришнан А.В. Статистическая теория связи и ее приложения / Балакришнан А.В. – М. : Мир, 1967. – 250 с.
7. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Варакин Л.Е. – М. : Радио и связь, 1985. – 384 с.
8. Окунев Ю.Б. Широкополосные системы связи с составными сигналами / Ю.Б. Окунев, Л.А. Яковлев. – М. : Связь, 1968. – 232 с.
9. Николайчук Я.М. Теоретичні засади та принципи побудови арифметико-логічного пристрою на основі вертикально-інформаційної технології / Я. М. Николайчук, О. М. Заставний, П. В. Гуменний // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 2. – С. 190–196.
10. Николайчук Я.М. Теорія джерел інформації / Николайчук Я.М. – Тернопіль : ТНЕУ, 2008. – 536 с.
11. Николайчук Я.М. Коды поля Галуа / Я.М. Николайчук. – Тернопіль : ТзОВ «Тернограф», 2012. – 576 с.
12. Patent № 6,523,054 B1 (USA), IPC G06F 7/72. Galois field arithmetic processor / Shunsuke Kamijo – Fujitsu Limited, Kawasaki (Japan), Appl № 09/437, 473; filed 10.11.99; date of patent 18.02.2003.

### References

1. Kondalev A.I. High performance converters information form /A.I. Kondalev AI// - Kiev Sciences Dumka –1987 – 280p.
2. Nykolaichuk Y.M. Investigation of computer architecture: principles of processors based on vertical information technology / Y.M. Nykolaichuk, P.V. Humennyi // Progress in science. Collected Works Buchatsky Institute of Management and accounting.- Bucac. - 2009.- №5 p. 69-73.
3. Domracheev V.G. Digital converters angle: design principles, theory of precision control methods / V.G. Domrachev, B.S. MAKE // - М. : Energoatomizdat -1984 - 328 p.
4. Bogoslavskiy G.E. Some possibilities of using the principles of optoelectronics for improvements in measurement technology. / G.E. Bogoslavskiy, P.F. Oleksenko, S.V. Svechni'kov etc. // Measuring equipment. - 1970. №1. - P. 5-8.
5. Alekseev A.I. Theory and Application of Pseudorandom signals / A.I. Alekseev et al// - М. : Science, 1969 – 366p.
6. Balakrishnan A.V. Statistical theory of communication and its prilozheniya. / A.V. Balakrishnan // -M. : Mir -1967.- 250p.
7. Varakin L.E. Communication systems with noise-like signals / L.E. Varakin // - М. : Radio and Communications - 1985. -384 p.
8. Okunev Y.B. Broadband communication system components signalamy/ Y.B. Okunev, L.A.Yakovlev // . - М.: Communication - 1968.- 232p.
9. Nykolaychuk Y.M., Humennyi P.V. Theoretical foundations and principles of arithmetic logic unit based on information technology vertical, Bull. of the Khmel'nitsky National University, 2012, № 2, pp.190-196.
10. Nykolaychuk Y. M. Theory information sources./ Y. M. Nykolaychuk // Ternopil, Ternohraf- 2010. -534 p.
11. Nykolaychuk Y.M. Galois Field Codes. / Y. M. Nykolaychuk // Ternopil, Ternohraf -2012. -576 p.
12. Patent №6,523,054 B1 (USA), IPC G06F 7/72. Galois field arithmetic processor / Shunsuke Kamijo – Fujitsu Limited, Kawasaki (Japan), – Appl № 09/437, 473; filed 10.11.99; date of patent 18.02.2003.

Рецензія/Peer review : 12.11.2014 р.

Надрукована/Printed :29.11.2014 р.

Рецензент: д.т.н., професор О.М. Березький