

## КОДОВАЯ ШКАЛА НА ОСНОВЕ ЦИКЛИЧЕСКИ ПЕРЕГРУППИРОВАННОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ДЕ БРЕЙНА

А. А. ОЖИГАНОВ

*Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: ojiganov@mail.ifmo.ru*

Предложена кодовая шкала разрядности  $n=4, 6, 10, 12$ , единственная информационная дорожка которой выполнена в соответствии с символами перегруппированной последовательности де Брейна с длиной периода  $l=2^n$ . Перегруппировка выполняется путем циклической выборки символов последовательности де Брейна с шагом  $m$ , где  $m=(2^n-1)/(n+1)$ . Считывающие элементы, числом  $n$ , размещаются вдоль кодовой дорожки шкалы также с шагом  $m$ . При равенстве разрешающей способности такой одноканальной шкалы и  $n$ -разрядной кодовой шкалы предложенная кодовая шкала более технологична в изготовлении и имеет меньшие размеры.

**Ключевые слова:** кодовая шкала, кодовая дорожка, считывающие элементы, цифровой преобразователь угла, последовательность де Брейна

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) принимают аналоговые сигналы и преобразуют их в цифровой код, который далее используется в системах обработки, вычисления, передачи данных и управления информацией [1]. Важный класс АЦП — цифровые преобразователи угла (ЦПУ), построенные по методу считывания [2—5]. Разрешающая способность (квант) таких ЦПУ  $\delta=360^\circ/2^n$ , где  $n$  — разрядность преобразователя. Основным элементом ЦПУ является кодовая шкала (КШ), число кодовых дорожек (КД) которой, в классическом исполнении, равно  $n$ . Таким образом, число КД шкалы в основном определяет массогабаритные характеристики преобразователя в целом.

В работе [6] представлена нелинейная КШ (НКШ), имеющая единственную КД, выполненную на основе двоичной последовательности де Брейна с длиной периода  $l=2^n$  и  $n$  считывающими элементами (СЭ). Разрешающая способность такой шкалы, как и в классических ЦПУ,  $\delta=360^\circ/2^n$ . Однако СЭ размещаются вдоль КД шкалы строго с шагом в один квант. На рис. 1 приведен пример линейной развертки 4-разрядной ( $n=4$ ) угловой НКШ, кодовая дорожка которой выполнена в соответствии с символами последовательности де Брейна 0000100111101011. Четыре СЭ (СЭ<sub>1</sub>—СЭ<sub>4</sub>) размещены вдоль КД с угловым шагом, равным кванту шкалы  $\delta=360^\circ/2^{n-4}=360^\circ/16=22,5^\circ$ .

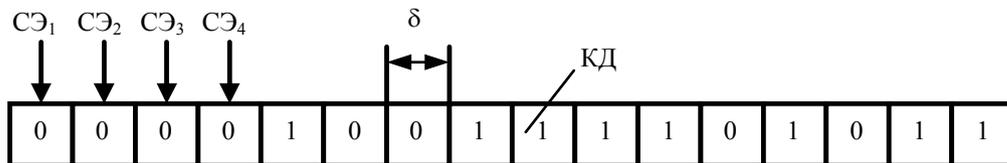


Рис. 1

Фиксируя считывающими элементами СЭ<sub>1</sub>—СЭ<sub>4</sub> последовательно кодовую комбинацию, при перемещении КШ циклически на один квант, например против хода часовой стрелки, получаем 16 различных 4-разрядных кодовых комбинаций (0000, 0001, 0010, 0100, 1001, 0011, 0111, 1111, 1110, 1101, 1010, 0101, 1011, 0110, 1100, 1000), которые соответствуют 16 угловым положениям шкалы в диапазоне от 0 до 360°.

Очевидно, что на основе нелинейной КШ можно построить ЦПУ гораздо меньших размеров по сравнению с преобразователями, имеющими  $n$ -дорожечные КШ. Однако единственный вариант размещения СЭ на шкале с шагом в один квант ограничивает применение НКШ в ЦПУ только малой разрядности. Это объясняется конечными размерами СЭ.

Для снятия данного ограничения в настоящей статье предлагается метод, позволяющий размещать СЭ вдоль КД шкалы с постоянным шагом, отличным от единичного. Метод включает в себя следующие этапы.

1. Выбирается разрядность  $n$  и число СЭ шкалы.
2. Осуществляется построение двоичной последовательности де Брейна с длиной периода  $l=2^n$  [7—9].
3. Из полученной последовательности де Брейна путем циклической выборки ее символов с шагом  $m$ , где  $m=(2^n-1)/(n+1)$ , при  $n=4, 6, 10, 12$ , формируется перегруппированная последовательность с той же длиной периода.
4. КД шкалы выполняется в соответствии с символами полученной последовательности.
5. СЭ, числом  $n$ , размещаются вдоль КД шкалы с шагом  $m$ .

Поясним изложенный метод на примере построения КШ для  $n=4$ . Сначала формируется последовательность де Брейна с длиной периода  $l=2^{n-4}=16$ , например 0000100111101011. Далее, путем циклической выборки ее символов с шагом  $m=(2^n-1)/(n+1)=15/5=3$  формируется перегруппированная последовательность 0000110010111110 (рис. 2).

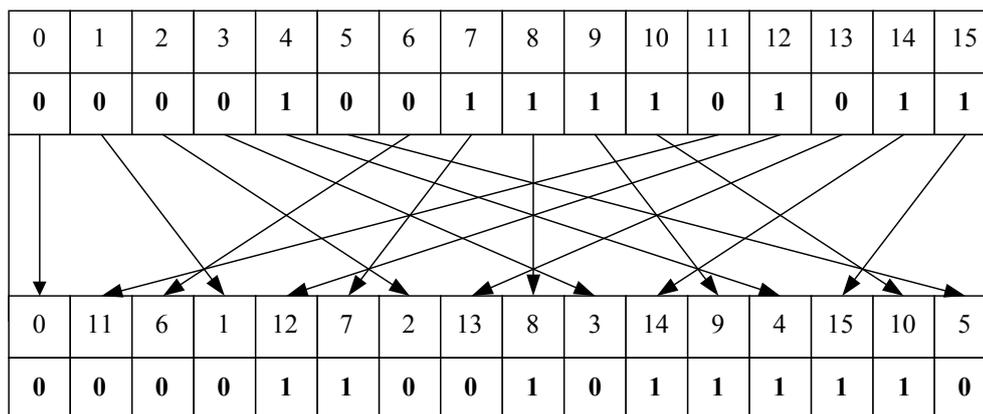


Рис. 2

Наконец, КД шкалы выполняется в соответствии с символами перегруппированной последовательности, а четыре СЭ размещаются вдоль дорожки с постоянным шагом в три кванта (рис. 3)

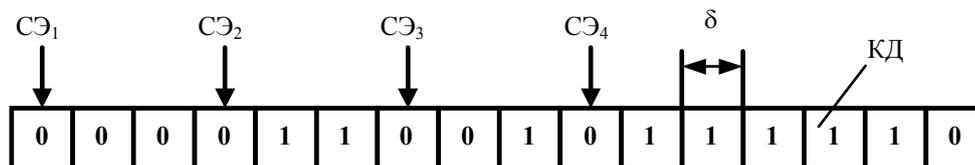


Рис. 3

Фиксируя считывающими элементами СЭ<sub>1</sub>—СЭ<sub>4</sub> последовательно кодовую комбинацию, при перемещении КШ циклически на один квант, например против хода часовой стрелки, получаем 16 различных 4-разрядных кодовых комбинаций (0000, 0101, 0111, 0001, 1011, 1111, 0010, 0110, 1110, 0100, 1100, 1001, 1000, 1010, 0011), которые соответствуют 16 угловым положениям шкалы в диапазоне от 0 до 360°.

Таким образом, предложенный метод позволяет размещать СЭ вдоль КД шкалы с постоянным, отличным от единичного шагом. Это, в свою очередь, дает возможность строить ЦПУ на основе разработанной шкалы с более широким спектром разрешающей способности.

Необходимо также отметить, что при равенстве разрешающей способности такой однокорректной шкалы и  $n$ -разрядной кодовой шкалы предложенная кодовая шкала более технологична в изготовлении и имеет меньшие размеры.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Топильский В. Б.* Схемотехника аналого-цифровых преобразователей: Учеб. издание. М.: Техносфера, 2014. 288 с.
2. Фотоэлектрические преобразователи информации / *Л. Н. Преснухин, С. А. Майоров, И. В. Меськин, В. Ф. Шаньгин*; Под ред. *Л. Н. Преснухина*. М.: Машиностроение, 1974. 375 с.
3. *Домрачев В. Г., Мейко Б. С.* Цифровые преобразователи угла: принципы построения, теория точности, методы контроля. М.: Энергоатомиздат, 1984. 328 с.
4. *Ожиганов А. А.* Аналитический обзор кодовых шкал преобразователей перемещения // *Вопр. радиоэлектроники*. 2012. Т. 1, № 1. С. 142—153.
5. *Коротаев В. В., Прокофьев А. В., Тимофеев А. Н.* Оптико-электронные преобразователи линейных и угловых перемещений. Ч. 1. Оптико-электронные преобразователи линейных перемещений: Учеб. пособие. СПб: НИУ ИТМО, 2012. 114 с.
6. *Азов А. К., Ожиганов А. А., Тарасюк М. В.* Рекурсивные кодовые шкалы // *Информационные технологии*. 1998. № 6. С. 39.
7. *Агульник А. Р., Мусаелян С. С.* Построение нелинейных двоичных последовательностей // *Радиоэлектроника*. 1983. № 4. С. 19—28.
8. *Хачатрян Л. Г.* Методы построения последовательностей де Брейна // *Дискретная математика*. 1991. Т. 3, № 4. С. 62—78.
9. *Ожиганов А. А., Захаров И. Д.* Применение последовательностей де Брейна для построения псевдорегулярных кодовых шкал // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2012. № 2(78). С. 69—74.

#### *Сведения об авторе*

**Александр Аркадьевич Ожиганов** — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники;  
E-mail: ojiganov@mail.ifmo.ru

Поступила в редакцию  
31.01.19 г.

**Ссылка для цитирования:** *Ожиганов А. А.* Кодовая шкала на основе циклически перегруппированной последовательности де Брейна // *Изв. вузов. Приборостроение*. 2019. Т. 62, № 5. С. 458—461.

#### CODE SCALE BASED ON CYCLICALLY REARRANGED DE BRUIJN SEQUENCE

A. A. Ozhiganov

ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia  
E-mail: ojiganov@mail.ifmo.ru

A code scale of the bit width  $n=4,6,10,12$  with the only information track made in accordance with the symbols of regrouped de Bruijn sequence with the period  $l=2n$ , is proposed. The rearrangement is performed by cyclic sampling of de Bruijn sequence symbols with step  $m$ , where  $m=(2^n-1)/(n+1)$ . Reading elements in the number of  $n$  are placed along the code track of the scale also in increments of  $m$ . With equal resolution of such a single-track scale and  $n$ -bit code scale, the proposed code scale is easier to manufacture and has smaller dimensions.

**Keywords:** code scale, code track, sensing elements, digital converter of angle, de Bruijn sequence

## REFERENCES

1. Topil'skiy V.B. *Skhemotekhnika analogo-tsifrovyykh preobrazovateley* (Circuitry of Analog-to-Digital Converters), Moscow, 2014, 288 p. (in Russ.)
2. Presnukhin L.N., Mayorov S.A., Mes'kin I.V., Shan'gin V.F. *Fotoelektricheskie preobrazovateli informatsii* (Photo-Electric Converters of Information), Moscow, 1974, 375 p. (in Russ.)
3. Domrachev V.G., Meyko B.S. *Tsifrovye preobrazovateli ugla: printsipy postroeniya, teoriya tochnosti, metody kontrolya* (Digital Angle Converters: Principles of Construction, Theory of Precision, Control Methods), Moscow, 1984, 328 p. (in Russ.)
4. Ozhiganov A.A. *Electronics. Radiotechnics*, 2012, no. 1(1), pp. 142–153. (in Russ.)
5. Korotayev V.V., Prokofyev A.V., Timofeyev A.N. *Optiko-elektronnyye preobrazovateli lineynykh i uglovykh peremeshcheniy. Chast' 1. Optiko-elektronnyye preobrazovateli lineynykh peremeshcheniy* (Optical-Electronic Converters of Linear and Angular Displacements. Part 1. Optoelectronic Linear Displacement Transducers), St. Petersburg, 2012, 114 p. (in Russ.)
6. Azov A.K., Ozhiganov A.A., Tarasyuk M.V. *Information technologies* (Informacionnye Tehnologii), 1998, no. 6, pp. 39–43. (in Russ.)
7. Agul'nik A.R., Musaelyan S.S. *Radioelectronics and Communications Systems*, 1983, no. 4, pp. 19–28. (in Russ.)
8. Khachatryan L.G. *Discrete Mathematics and Applications*, 1991, no. 4(3), pp. 62–78. (in Russ.)
9. Ozhiganov A.A., Zakharov I.D. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2012, no. 2(78), pp. 69–74. (in Russ.)

**Data on author**

**Aleksander A. Ozhiganov** — Dr. Sci., Professor; ITMO University, Faculty of Software Engineering and Computer Systems; E-mail: ojiganov@mail.ifmo.ru

**For citation:** Ozhiganov A. A. Code scale based on cyclically rearranged de Bruijn sequence. *Journal of Instrument Engineering*. 2019. Vol. 62, N 5. P. 458–461 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-5-458-461