

А. А. ОЖИГАНОВ, П. А. ПРИБЫТКИН

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ДВУХДороЖЕЧНЫХ КОДОВЫХ ШКАЛ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Рассматриваются методы построения двухдорожечных кодовых шкал для преобразователей угловых перемещений, базирующиеся на использовании нелинейных двоичных последовательностей. Приводятся примеры построения шкал.

**Ключевые слова:** нелинейная последовательность, кодовая шкала, считывающие элементы.

Кодовые шкалы (КШ) для преобразователей угловых перемещений, построенные на основе нелинейных двоичных последовательностей, рассмотрены в работе [1]. Такие шкалы получили название нелинейных кодовых шкал (НКШ).

НКШ любой разрядности имеют всего одну информационную кодовую дорожку (КД) и  $n$  считывающих элементов (СЭ). НКШ являются основой построения преобразователей, работающих по методу непосредственного считывания, и обеспечивают разрешающую способность, равную классическим КШ, маска которых выполнена в обыкновенном двоичном коде или в коде Грея, т.е.  $\delta = 2\pi / 2^n$ .

В настоящей статье рассматриваются методы построения двухдорожечных нереверсивных НКШ с двумя СЭ, а также реверсивных НКШ с четырьмя СЭ, которые обладают разрешающей способностью, равной разрешающей способности классических КШ.

Особенность преобразователей угловых перемещений на основе НКШ с двумя (информационной и служебной) КД заключается в том, что в них для получения достоверной информации о положении кодируемого объекта первые  $n-1$  участков (квантов) перемещения шкалы в одном направлении являются подготовительными, после чего эти устройства работают как классические преобразователи, построенные по методу считывания.

Области применения таких преобразователей ограничены системами, в которых кратковременная потеря значения кода (например, после аварийного выключения источника питания, прохождения помехи или превышения допустимой скорости вращения вала, ограничивающей правильное считывание кода) не является критической.

Основой для формирования рисунка информационной дорожки НКШ, как и в работе [1], служит нелинейная двоичная последовательность.

Нелинейная последовательность — это последовательность  $\mathbf{a}$  двоичных символов длиной  $B=2^n$ , удовлетворяющих рекурсивному соотношению [2]

$$a_{n+j} = \bigoplus_{i=0}^{n-1} a_{i+j} h_i \oplus \prod_{i=1}^{n-1} \bar{a}_{i+j}, \quad j = 0, 1, \dots, B - n - 1, \quad (1)$$

где знак  $\oplus$  — суммирование по модулю два, а индексы при символах последовательности берутся по модулю  $B$ ; начальные значения символов  $a_0, a_1, \dots, a_{n-1}$  выбираются произвольно;  $h_i$  — коэффициенты, зависящие от вида примитивного полинома степени  $n$  с коэффициентами поля Галуа GF(2) [3], т. е.

$$h(x) = \sum_{i=0}^{n-1} h_i x^i, \quad (2)$$

где  $h_0 = h_{n-1} = 1$ , а  $h_i = 0, 1$  при  $0 < i < n$ ;

$$\prod_{i=1}^{n-1} \bar{a}_{i+j} = \begin{cases} 1, & \text{если все } \bar{a}_{i+j} = 1, \\ 0 & \text{— в других случаях.} \end{cases} \quad (3)$$

В выражении (1) первое слагаемое определяет правило образования М-последовательности, которая линейна по отношению к оператору суммирования по модулю 2, а второе слагаемое указывает на операцию умножения значений  $n-1$  кодовых символов. Это приводит к тому, что полученная последовательность символов становится нелинейной и в ней появляется комбинация, содержащая  $n$  последовательных нулей.

Определим правило получения символов последовательности  $\mathbf{b}$ , используемых для формирования рисунка служебной дорожки НКШ нереверсивного преобразователя, следующим образом:

$$b_{j+1} = \begin{cases} \bar{b}_j & \text{при } a_j = a_{j+1}; \\ b_j & \text{при } a_j \neq a_{j+1}, \end{cases} \quad (4)$$

где  $a_j$  — символы нелинейной последовательности.

Определим начальные значения символов для правила (4) как  $a_0 = a_1 = b_0 = 0$ .

Рассмотрим метод построения  $n$ -разрядной круговой двухдорожечной НКШ для нереверсивного преобразователя.

1. В зависимости от требуемой разрядности  $n$  шкалы выбирается полином  $h(x)$  степени  $n$  [3].
2. На основе рекурсивного соотношения (1) генерируется последовательность  $\mathbf{a}$ .
3. На основе правила (4) генерируется последовательность  $\mathbf{b}$ .
4. Элементарные участки  $\delta$  информационной дорожки шкалы формируются в соответствии с символами последовательности  $\mathbf{a}$ , участки  $\delta$  служебной дорожки — в соответствии с символами последовательности  $\mathbf{b}$ , где символам „1“ последовательностей соответствуют активные участки дорожек, а символам „0“ — пассивные. Для определенности символы последовательностей отображаются на соответствующих кодовых дорожках по направлению движения часовой стрелки в последовательности  $(a_0 b_0), (a_1 b_1), \dots, (a_{B-1} b_{B-1})$ .

5. Оба считывающих элемента (информационный и служебный) располагаются на одной линии считывания и взаимодействуют соответственно с квантами информационной и служебной дорожек шкалы.

Использование в преобразователях перемещения двухдорожечных НКШ с двумя СЭ ограничивает их применение в устройствах, где направление вращения кодируемого вала не изменяется.

Нереверсивные преобразователи с НКШ не являются устройствами, построенными по методу непосредственного считывания, а занимают промежуточное положение между названными устройствами и устройствами кодирования перемещения, построенными по методу последовательного счета.

В таких преобразователях информация об угловом положении кодируемого вала последовательно снимается с информационной дорожки шкалы посредством информационного СЭ и поступает на вход  $n$ -разрядного сдвигающего регистра. Тактовые импульсы, необходимые для функционирования сдвигающего регистра, вырабатываются логической схемой, на вход которой поступают сигналы с информационного и служебного СЭ.

В нереверсивных преобразователях первые  $n-1$  квантов перемещения являются подготовительными, а начиная с  $n$ -го кванта в сдвигающем регистре будет содержаться достоверная информация об угловом положении кодируемого вала. При полном обороте шкалы (начиная с  $n$ -го кванта перемещения) в  $n$ -разрядном сдвигающем регистре произойдет смена  $V=2^n$  различных  $n$ -разрядных кодовых комбинаций, соответствующих  $V$  различным угловым положениям шкалы, включая нулевую, что обеспечивает разрешающую способность преобразователей на основе таких шкал  $\delta = 2\pi/2^n$ .

Рассмотрим построение круговой двухдорожечной НКШ для нереверсивного преобразователя перемещений на конкретном примере, для простоты ограничившись тремя разрядами преобразования (рис. 1).

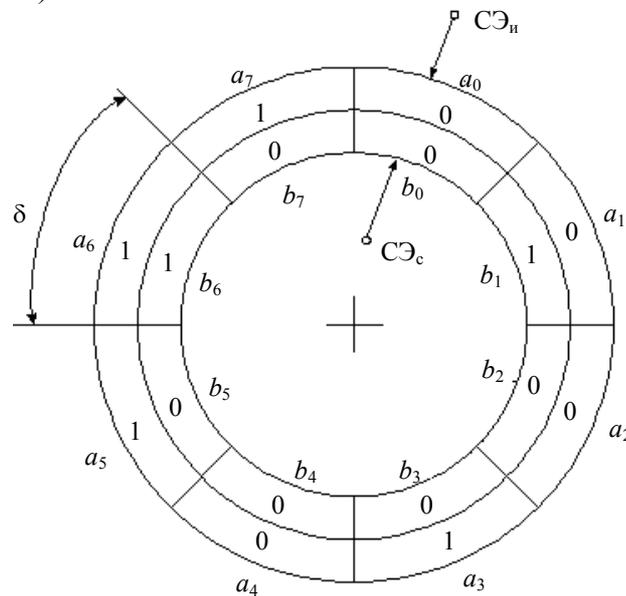


Рис. 1

Информационная дорожка шкалы выполнена в соответствии с символами последовательности  $\mathbf{a} = a_0a_1a_2a_3a_4a_5a_6a_7 = 00010111$  длиной  $V=2^n=2^3=8$ , для построения которой использован примитивный полином  $h(x)=x^3+x+1$ , а символы  $a_{3+j}$  последовательности  $\mathbf{a}$  при начальных значениях  $a_0=a_1=a_2=0$  удовлетворяют рекурсивному соотношению  $a_{3+j} = a_{1+j} \oplus a_j \oplus a_{1+j} a_{2+j}, j=0, 1, \dots, 4$ .

Служебная дорожка шкалы выполнена в соответствии с символами последовательности  $\mathbf{b} = b_0b_1b_2b_3b_4b_5b_6b_7 = 01000010$ , полученными на основе правила (4) при начальных значениях  $a_0 = a_1 = b_0 = 0$ .

Информационный (СЭ<sub>и</sub>) и служебный (СЭ<sub>с</sub>) считывающие элементы расположены на одной линии считывания.

В таблице приведена последовательность кодовых комбинаций 3-разрядного сдвигающего регистра, соответствующая восьми различным положениям круговой НКШ при вращении ее относительно СЭ против направления движения часовой стрелки.

Номер углового положения НКШ	Разряд регистра			Десятичный эквивалент кода
	первый	второй	третий	
0	0	0	0	0
1	0	0	1	1
2	0	1	0	2
3	1	0	1	5
4	0	1	1	3
5	1	1	1	7
6	1	1	0	6
7	1	0	0	4

Определим правило получения символов последовательности  $\mathbf{b} = 101010\dots 1010$  длиной  $2B$ , которые используются для формирования рисунка служебной дорожки НКШ для реверсивного преобразователя, следующим образом:

$$10 \Leftrightarrow a_j, \quad (5)$$

где  $\Leftrightarrow$  — знак соответствия.

Рассмотрим метод построения  $n$ -разрядной круговой НКШ для реверсивного преобразователя.

1. В зависимости от требуемой разрядности  $n$  шкалы выбирается полином  $h(x)$  степени  $n$  [3].

2. На основе рекурсивного соотношения (1) генерируется последовательность  $\mathbf{a}$ .

3. На основе правила (5) генерируется последовательность  $\mathbf{b}$ .

4. Элементарные участки  $\delta$  информационной дорожки шкалы формируются в соответствии с символами последовательности  $\mathbf{a}$ , элементарные участки служебной дорожки, равные половине кванта информационной дорожки, — в соответствии с символами последовательности  $\mathbf{b}$ , где символам „1“ последовательностей соответствуют активные участки дорожек, а символам „0“ — пассивные. Для определенности символы последовательностей отображаются на соответствующих кодовых дорожках по направлению движения часовой стрелки в последовательности  $(a_0, 10)$ ,  $(a_1, 10)$ , ...,  $(a_{B-1}, 10)$ .

5. Первые информационный и служебный СЭ располагаются на одной линии считывания. Второй информационный СЭ смещается вдоль информационной дорожки шкалы против направления движения часовой стрелки относительно первого на  $n$  элементарных участков информационной дорожки. Второй служебный СЭ смещается вдоль служебной дорожки шкалы против направления движения часовой стрелки относительно первого на  $k = (2m + 1)/2$ ,  $m = 0, 1, 2, \dots$ , элементарных участков. Число  $k$  выбирается из конструктивных соображений. Информационные и служебные СЭ взаимодействуют соответственно с элементарными участками информационной и служебной дорожек шкалы.

Реверсивные преобразователи с НКШ, так же как и нереверсивные устройства, не являются преобразователями, построенными по методу непосредственного считывания, а занимают промежуточное положение между названными и устройствами, построенными по методу последовательного счета.

В таких преобразователях информация об угловом положении кодируемого вала последовательно снимается с информационной дорожки шкалы посредством первого и второго информационных СЭ и, в зависимости от направления перемещения шкалы, поступает на прямой или инверсный вход  $n$ -разрядного реверсивного сдвигающего регистра. Тактовые импульсы, необходимые для функционирования реверсивного сдвигающего регистра, вырабатываются логической схемой, на вход которой поступает информация с первого и второго служебных СЭ.

В реверсивных преобразователях с НКШ первые  $n-1$  квантов перемещения являются подготовительными, а начиная с  $n$ -го кванта в  $n$ -разрядном реверсивном сдвигающем регистре, независимо от направления вращения шкалы, будет содержаться достоверная информация об угловом положении кодируемого вала. При полном обороте шкалы в любом направлении (начиная с  $n$ -го кванта перемещения) в  $n$ -разрядном реверсивном сдвигающем регистре произойдет смена  $B=2^n$  различных  $n$ -разрядных кодовых комбинаций, соответствующих  $B$  различным угловым положениям НКШ, включая нулевую, что обеспечивает разрешающую способность преобразователей на основе таких шкал  $\delta = 2\pi / 2^n$ .

Рассмотрим построение круговой НКШ для реверсивного преобразователя перемещений на конкретном примере, для простоты ограничившись тремя разрядами преобразования (рис. 2).

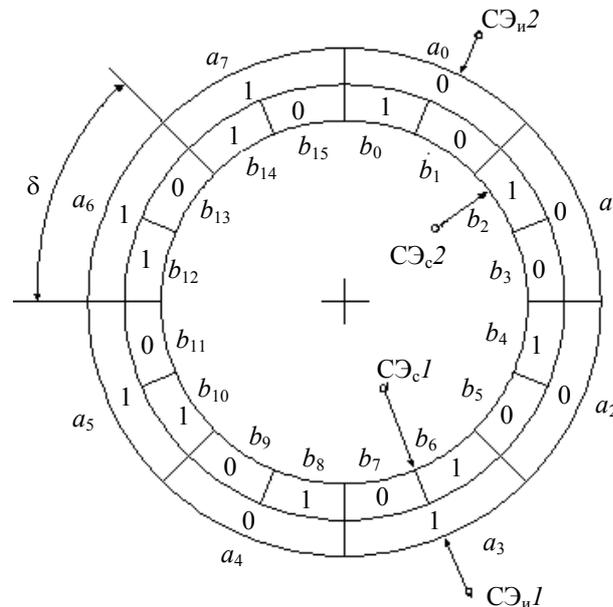


Рис. 2

Информационная дорожка шкалы выполнена такой же, как на рис. 1. Служебная дорожка шкалы выполнена в соответствии с символами последовательности  $\mathbf{b} = b_0 b_1 \dots b_{14} b_{15} = 1010 \dots 1010$ , полученными по правилу (5).

Первые информационный (СЭ<sub>n1</sub>) и служебный (СЭ<sub>c1</sub>) считывающие элементы расположены на одной линии считывания. Второй информационный СЭ<sub>n2</sub> смещен относительно первого на 3 кванта вдоль информационной дорожки шкалы против направления движения часовой стрелки, второй служебный СЭ<sub>c2</sub> смещен относительно первого на  $k=4,5$  элементарных участка вдоль служебной дорожки шкалы против направления движения часовой стрелки.

При вращении НКШ против направления движения часовой стрелки информация с дорожки снимается посредством первого информационного СЭ<sub>n1</sub> и поступает на прямой вход 3-разрядного реверсивного сдвигающего регистра, в котором после трех квантов перемещения шкалы будет записана кодовая комбинация 011, затем 111, 110 и т.д. (см. таблицу).

При изменении направления вращения шкалы информация с дорожки будет сниматься посредством второго информационного СЭ<sub>и2</sub> и поступать на инверсный вход сдвигающего регистра. Например, если на момент изменения направления вращения шкалы в регистре была зафиксирована кодовая комбинация 000, то следующей будет 100, затем 110 и т.д. (см. таблицу).

Информация со служебных СЭ используется для выработки управляющих и тактовых импульсов, необходимых для функционирования реверсивного сдвигающего регистра.

Рассмотренные в настоящей статье методы построения двухдорожечных кодовых шкал, базирующиеся на использовании нелинейных двоичных последовательностей, могут быть положены в основу построения неревверсивных и реверсивных преобразователей угловых перемещений соответственно с двумя и четырьмя считывающими элементами.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азов А. К., Ожиганов А. А., Тарасюк М. В. Рекурсивные кодовые шкалы // Информационные технологии. 1998. № 6.
2. Агульник А. Р., Мусаелян С. С. Построение нелинейных двоичных последовательностей // Радиоэлектроника. 1983. № 4. С. 19—28.
3. Макульямс Ф. Д., Слоан Н. Д. Псевдослучайные последовательности и таблицы // ТИИЭР. 1976. Т. 64, № 12. С. 80—95.

#### *Сведения об авторах*

- Александр Аркадьевич Ожиганов** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра вычислительной техники; E-mail: ojiganov@mail.ifmo.ru
- Павел Александрович Прибыткин** — ОАО „Авангард“, Санкт-Петербург; нач. науч.-исслед. сектора; E-mail: pavel.pribitkin@gmail.com

Рекомендована кафедрой  
вычислительной техники СПбГУ ИТМО

Поступила в редакцию  
11.03.10 г.