

А. А. ОЖИГАНОВ

КВАЗИАБСОЛЮТНЫЙ ЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ УГЛА НА ОСНОВЕ ДВУХДОРОЖЕЧНОЙ РЕКУРСИВНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ КОДОВОЙ ШКАЛЫ

Предложена структура квазиабсолютного реверсивного цифрового преобразователя угла на основе двухдорожечной рекурсивной нелинейной кодовой шкалы.

Ключевые слова: нелинейная двоичная последовательность, рекурсивная кодовая шкала, считывающие элементы, цифровой преобразователь угла.

Цифровые преобразователи угла (ЦПУ), построенные по методу параллельного считывания, используются в устройствах вычислительной техники и системах управления. Их основной элемент — кодовая шкала (КШ). При построении ЦПУ используются КШ с числом информационных кодовых дорожек (КД) и считывающих элементов (СЭ), как правило, равным разрядности преобразователей.

В работе [1] предложены рекурсивные нелинейные кодовые шкалы (РНКШ) всего с двумя (информационной и служебной) КД и четырьмя СЭ. Именно на таких шкалах построены ЦПУ, рассматриваемые в настоящей статье. Разрешающая способность δ преобразователей на основе РНКШ равна разрешающей способности преобразователей с классическими КШ, маска которых выполнена в обыкновенном двоичном коде или коде Грея, т.е. $\delta=360^\circ/2^n$, где n — разрядность преобразователей. В таких ЦПУ для получения достоверной информации о положении кодируемого объекта первые $n-1$ сдвигов на один квант по шкале в одном направлении, являются подготовительными, далее устройства работают как классические преобразователи, построенные по методу считывания.

Для пояснения предлагаемого технического решения остановимся на принципах построения РНКШ. При синтезе кодирующей маски информационной дорожки РНКШ используется нелинейная последовательность двоичных символов a длиной $B=2^n$, удовлетворяющих рекуррентному соотношению

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

где знак \oplus означает 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 $GF(2)$, т. е.

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

где $h_0=h_n=1$, а $h_i=0,1$ при $0 < i < n$,

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

Первое слагаемое в (1) определяет правило получения М-последовательности, которая линейна по отношению к оператору \oplus . Второе слагаемое указывает на операцию умножения

значений $n-1$ кодовых символов, соответственно полученная последовательность символов нелинейная и содержит комбинацию из n последовательных нулей.

Правило получения символов последовательности $\mathbf{b}=101010\dots1010$ длиной $2B$, используемых для получения кодирующей маски служебной дорожки РНКШ для квазиабсолютного ЦПУ, определяется следующим образом:

$$10 \Leftrightarrow a_j, \quad (4)$$

где a_j — символы нелинейной последовательности, \Leftrightarrow — знак соответствия.

Первые информационный и служебный СЭ располагаются на одной линии считывания. Второй информационный СЭ смещается вдоль информационной дорожки шкалы против хода часовой стрелки относительно первого на n элементарных участков (квантов, δ) информационной дорожки. Вторым служебный СЭ смещается вдоль служебной дорожки шкалы против хода часовой стрелки относительно первого на $k = (2m + 1) / 2, m = 0, 1, 2, \dots$ элементарных участков ($\delta/2$) служебной дорожки. Информационные и служебные СЭ взаимодействуют соответственно с элементарными участками информационной и служебной дорожек шкалы.

Элементарные участки КД шкалы представляются одним символом двоичных последовательностей, причем единичным символам последовательностей соответствуют активные участки, а нулевым — пассивные.

На рис. 1 приведен пример трехразрядной двухдорожечной РНКШ.

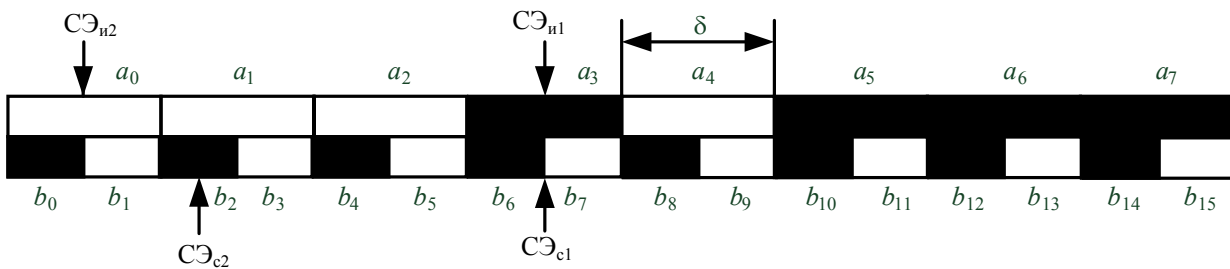


Рис. 1

Информационная дорожка шкалы выполнена в соответствии с нелинейной последовательностью $\mathbf{a} = a_0 a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 a_6 a_7 = 00010111$ длиной $B=2^n=2^3=8$, 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 рекуррентному соотношению $a_{3+j}=a_{1+j} \oplus a_j \oplus \bar{a}_{1+j} \bar{a}_{2+j}$, $j=0, 1, \dots, 4$.

Служебная дорожка шкалы выполнена в соответствии с последовательностью $\mathbf{b} = b_0 b_1 \dots b_{14} b_{15} = 1010\dots1010$, полученной по правилу (4).

Первые информационный (СЭ_{и1}) и служебный (СЭ_{с1}) элементы расположены на одной линии считывания. Вторым информационный СЭ_{и2} смещен вдоль информационной дорожки шкалы против хода часовой стрелки относительно первого на 3 кванта, вторым служебный СЭ_{с2} смещен вдоль служебной дорожки шкалы против хода часовой стрелки относительно первого на $k=4,5$ элементарных участка служебной дорожки.

При вращении РНКШ против часовой стрелки информация с дорожки снимается посредством СЭ_{и1} и поступает на прямой вход трехразрядного реверсивного сдвигающего регистра, в котором после трех квантов перемещения шкалы будет записана кодовая комбинация 011, затем 111, 110 и т.д. (см. таблицу).

Последовательность кодовых комбинаций трехразрядного сдвигающего регистра

№ углового положения РНКШ	1-й разряд	2-й разряд	3-й разряд	Десятичный эквивалент кода
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

При изменении направления вращения шкалы информация с дорожки будет сниматься СЭ_{и2} 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.

На рис. 2 приведена функциональная электрическая схема *n*-разрядного квазиабсолютного ЦПУ на основе двухдорожечной рекурсивной нелинейной кодовой шкалы [2]. Здесь РНКШ, а также размещенные на ней СЭ выполнены в соответствии с принципами построения, рассмотренными выше. Схема включает в себя следующие элементы: пороговые элементы ПЭ₁,...,ПЭ₄, одновибраторы ОВ₁ и ОВ₂, два логических элемента „И“, четыре „ИЛИ“, два двоичных счетчика по модулю *n* (Сч₁ и Сч₂), два триггера (Т₁ и Т₂), *n*-разрядный реверсивный сдвигающий регистр (Рг), преобразователь кодов (ПК) и схема обнуления (Сх).

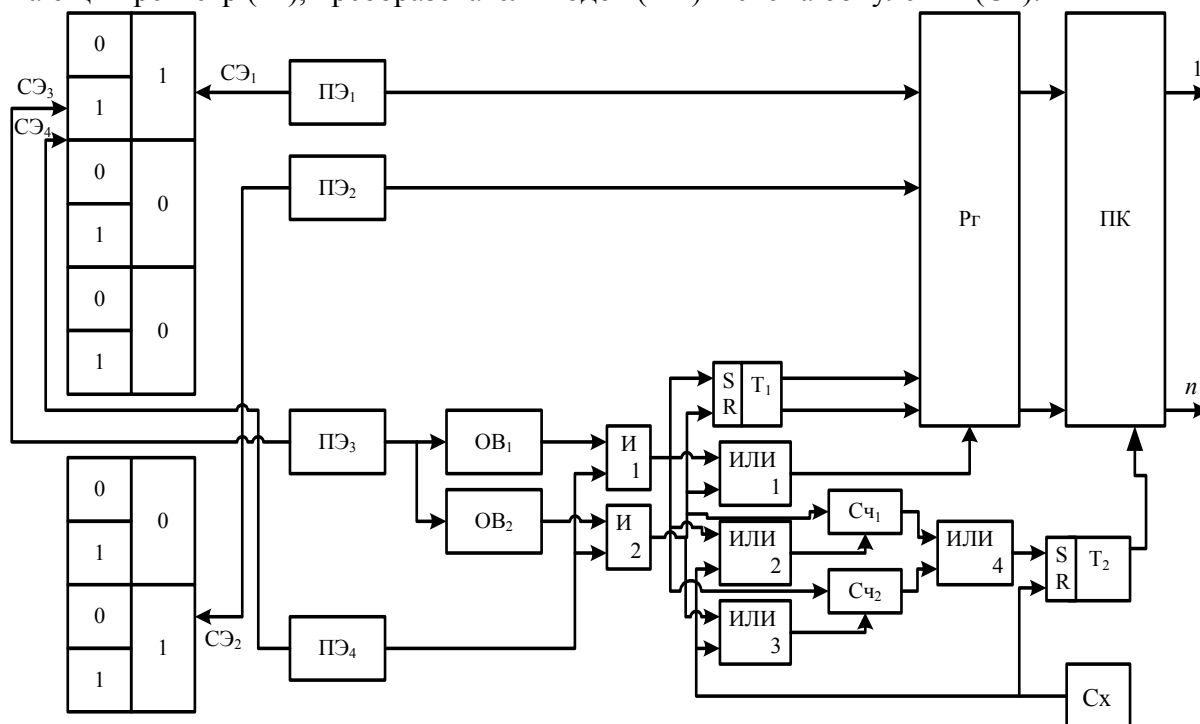


Рис. 2

Рассмотрим сначала работу тракта, используемого для выработки сигналов, определяющих направление перемещения шкалы. Тракт включает в себя служебную дорожку шкалы, СЭ₃ и СЭ₄, ПЭ₃ и ПЭ₄, ОВ₁ и ОВ₂ и логические элементы И₁ и И₂. Эпюры напряжений, снимаемые с элементов тракта, приведены на рис. 3.

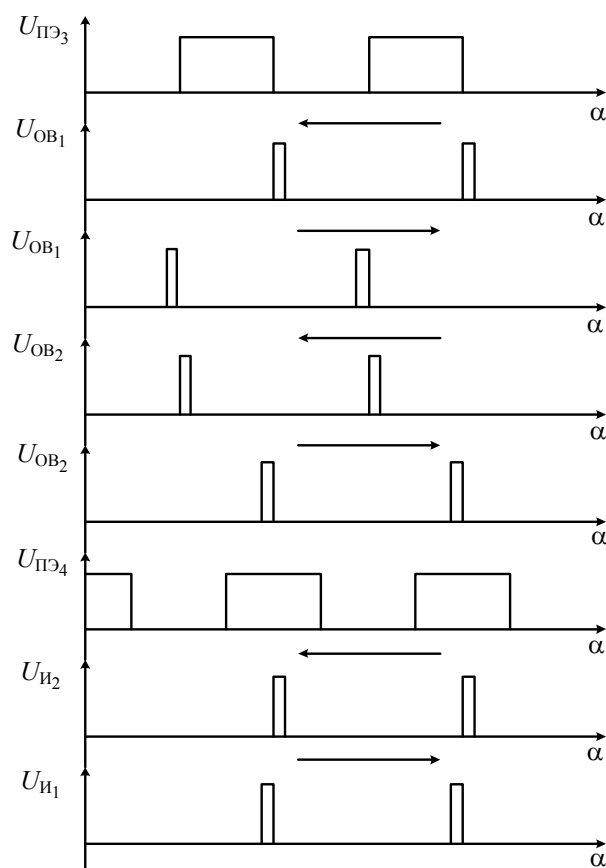


Рис. 3

При перемещении шкалы СЭ₃ и СЭ₄ могут взаимодействовать как с активными, так и с пассивными участками служебной дорожки. При взаимодействии СЭ с активными участками дорожки с ПЭ₃ и ПЭ₄ снимается сигнал, соответствующий уровню логической единицы U_1 , а при взаимодействии с пассивными — логического нуля U_0 (рис. 3, $U_{ПЭ3}$ и $U_{ПЭ4}$). В этом случае ОВ₁ и ОВ₂ вырабатывают короткие прямоугольные импульсы в моменты прихода с ПЭ₃ заднего и переднего фронтов сигнала соответственно. Импульсы с ОВ₁ и ОВ₂ соответствуют перемещению шкалы как по ходу, так и против хода часовой стрелки.

При перемещении шкалы против хода часовой стрелки сигнал U_1 с $U_{ПЭ4}$ „разрешает“ прохождение импульсов с ОВ₁ через И₁ ($U_{И1}$), а при перемещении по ходу стрелки с ОВ₂ через И₂ ($U_{И2}$).

Таким образом, импульсы с выходов И₁ и И₂ снимаются в момент прохождения СЭ₃ центров квантов информационной дорожки.

Рассмотрим работу преобразователя в целом. При включении напряжения питания импульсом с выхода схемы обнуления устанавливаются в нулевое состояние триггер разрешения (T_2) считывания информации и через элементы ИЛИ₂ и ИЛИ₃ — счетчики по модулю n Сч₁ и Сч₂.

При перемещении шкалы против хода часовой стрелки импульсы с выхода И₁ начинают поступать на счетный вход Сч₂, через ИЛИ₂ — на вход установки в нулевое состояние Сч₁, через ИЛИ₁ — на тактовый вход Рг и на установочный вход триггера управления (T_1).

Первым импульсом с выхода И₁ триггер управления устанавливается в единичное состояние, и сигнал с единичного выхода T_1 поступает на первый управляющий вход сдвигающего регистра, на второй управляющий вход которого поступает сигнал U_0 с нулевого выхода триггера. Одновременно сигналы U_1 и U_0 , снимаемые СЭ₁ с информационной дорожки, через ПЭ₁ поступают на прямой вход Рг. По импульсам, которые подаются на тактовый вход Рг, информационные сигналы последовательно справа налево заполняют ячейки его памяти.

После поступления n -го импульса с выхода I_1 на счетный вход $Sч_2$ на выходе $Sч_2$ формируется импульс, который через ИЛИ₄ установит T_2 в единичное состояние, и сигнал U_1 с единичного выхода будет подан на управляющий вход ПК. После этого с преобразователя может быть снята информация о положении кодируемого объекта.

После поступления n -го импульса на тактовый вход $Pг$ будет сформирован соответствующий код, причем шкала переместится на n квантов.

При дальнейшем перемещении шкалы в том же направлении каждый поступающий импульс сдвигает код на один разряд влево, при этом на прямой вход регистра поступают информационные сигналы.

При поступлении на тактовый вход регистра $B=2^n$ импульсов, начиная с n -го, в $Pг$ будет последовательно зафиксировано B различных состояний, что соответствует полному обороту шкалы. ПК после поступления на его управляющий вход разрешающего сигнала U_1 преобразует B различных n -разрядных кодовых комбинаций $Pг$ в выходной n -разрядный двоичный код.

При вращении шкалы по часовой стрелке импульсы с выхода I_2 поступают на счетный вход $Sч_1$, через ИЛИ₃ — на вход установки в нулевое состояние $Sч_2$, через ИЛИ₁ на тактовый вход $Pг$ и обнуляющий вход T_1 .

Первым импульсом с выхода I_2 триггер управления устанавливается в нулевое состояние, и сигнал U_1 с нулевого выхода T_1 поступает на второй управляющий вход $Pг$, на первый вход которого поступает сигнал U_0 с единичного выхода T_1 .

Одновременно при перемещении шкалы в том же направлении сигналы, снимаемые $SЭ_2$ с информационной дорожки через ПЭ₂, поступают на реверсивный вход $Pг$.

По импульсам, которые подаются на тактовый вход $Pг$, информационные сигналы слева направо заполняют ячейки памяти. После поступления n -го импульса на счетный вход $Sч_1$ на его выходе формируется импульс, который через ИЛИ₄ устанавливает T_2 в единичное состояние, и сигнал U_1 с единичного выхода поступает на управляющий вход ПК. После этого с ПК может быть осуществлен съем информации о положении кодируемого объекта.

После поступления n -го импульса на тактовый вход $Pг$ в нем будет зафиксирован соответствующий код, причем шкала переместится при этом на n квантов.

При дальнейшем перемещении шкалы по ходу часовой стрелки каждый поступающий импульс сдвигает код на один разряд вправо, на реверсивный вход регистра поступают информационные сигналы.

Рассмотрим реверсивный режим работы преобразователя. При сдвиге шкалы более чем на n квантов по ходу или против хода часовой стрелки T_2 устанавливается в единичное состояние, и сигнал U_1 с его единичного выхода поступает на управляющий вход ПК, а в регистр поступает достоверная информация о положении кодируемого объекта.

При изменении направления перемещения шкалы первым импульсом с выхода I_2 или I_1 происходит переключение T_1 . Сигналом U_1 с единичного или нулевого выхода T_1 элементы $SЭ_1$ или $SЭ_2$ подключаются соответственно к прямому или реверсивному входу $Pг$. Другими словами, сигналы с выходов T_1 используются для выбора режима работы $Pг$ при изменении направления перемещения шкалы.

Два дополнительных младших разряда ЦПУ могут быть получены со служебной КД шкалы посредством первого и второго служебных СЭ. Причем разряд $n+1$ снимается непосредственно с первого (после порогового элемента), а разряд $n+2$ (самый младший) с выхода дополнительного двухвходового сумматора по модулю два (на рис. 2 не показан), на вход которого (после пороговых элементов) поступают сигналы с первого и второго служебных СЭ.

Необходимо отметить, что квазиабсолютные ЦПУ с РНКШ не являются преобразователями, построенными по методу непосредственного считывания, а занимают промежуточное положение между ними и устройствами, построенными по методу последовательного счета.

Отметим также, что рассмотренные принципы построения квазиабсолютных ЦПУ могут быть использованы при проектировании цифровых преобразователей линейных перемещений.

Область применения таких преобразователей ограничена системами, в которых кратковременная потеря значения кода, например, после аварийного выключения источника питания, прохождения помехи или превышения допустимой скорости вращения вала, не является критической.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ожиганов А. А., Прибыткин П. А. Использование нелинейных последовательностей при построении двухдорожечных кодовых шкал для преобразователей угловых перемещений // Изв. вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53, № 7. С. 39—41.
2. А.С. № 1619398 (СССР). Преобразователь угол-код / И. В. Месъкин, Л. Н. Мальцев, Ю. А. Сторожук, А. А. Ожиганов // Б.И. 1991. № 1.

Сведения об авторе

Александр Аркадьевич Ожиганов — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра вычислительной техники;
E-mail: ojiganov@mail.ifmo.ru

Рекомендована кафедрой
вычислительной техники

Поступила в редакцию
23.12.13 г.

УДК 621.3.085

К. М. РОСТОВСКИЙ, А. А. ОЖИГАНОВ

КОДОВЫЕ ШКАЛЫ НА ОСНОВЕ ИНВЕРСНО-СОПРЯЖЕННЫХ ДВОИЧНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

Предложен новый тип кодовых шкал на основе инверсно-сопряженных двоичных последовательностей.

Ключевые слова: цифровой преобразователь угла, кодовая шкала, считывающие элементы, инверсно-сопряженная двоичная последовательность.

В работе [1] рассмотрены классические кодовые шкалы (КШ) цифровых преобразователей угла (ЦПУ), кодовая маска (КМ) которых выполнена в обыкновенном двоичном коде или коде Грея. Трудоемкость изготовления таких КШ зависит в основном от сложности их КМ, которая, в свою очередь, определяется числом наносимых границ смены кодового рисунка T и с увеличением разрядности шкал возрастает.

Для шкал, КМ которых выполнена в обыкновенном двоичном коде (ОДК), число границ определяется как $T_{\text{ОДК}} = 2^{n+1} - 2$, а для шкал, КМ которых выполнена в коде Грея — как $T_{\text{Гр}} = 2^n$, где n — разрядность шкалы, число кодовых дорожек (КД) и считывающих элементов (СЭ) [2]. Разрешающая способность таких шкал $\delta = 360^\circ / 2^n$.

С помощью большинства методов считывания информации могут быть реализованы рекурсивные кодовые шкалы (РКШ) на основе нелинейных двоичных последовательностей (НП), которые имеют одну информационную КД с расположенными вдоль нее n СЭ с шагом,