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. Меськин, 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 $\delta=360°/2^n$.

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, равным одному элементарному участку (кванту) шкалы, и также обеспечивают $\delta=360°/2^n$ [3]. Для РКШ $T_{\text{РКШ}} = 2^{n-1}$, где $n$ — разрядность шкалы и число СЭ.

ЦПУ, построенные по методу абсолютного отсчета, могут быть реализованы при различных физических принципах съема информации в широком диапазоне информационной емкости. Сравнив КШ по числу наносимых границ смены КМ [1], можно сделать вывод о том, что РКШ являются наиболее технологичными. Однако разместить СЭ вдоль КД такой шкалы в основном можно только с шагом в один квант, что ограничивает габариты РКШ при заданной разрешающей способности.

В настоящей работе предлагается выполнять единственную (как и в РКШ) информационную КД шкалы в соответствии с символами инверсно-сопряженной двоичной последовательности (ИСП), а сами шкалы называть инверсно-сопряженными кодовыми шкалами (ИСКШ). При таком подходе можно уменьшить трудоемкость изготовления КШ за счет меньшего значения $T$, а также размещения СЭ вдоль информационной КД с постоянным, отличным от единичного, угловым шагом $\delta$.

Инверсно-сопряженная двоичная последовательность имеет длину периода $N = 2^n$; имеет одинаковое число нулей и единиц, равное $2^{n-1}$; состоит из двух равных частей: вторая является абсолютной инверсией первой и сопряжена (неразрывно связана) с первой половиной, образуя совместно полную последовательность.

Авторами на основе комбинаторного алгоритма была разработана программа в математическом пакете MatLab, позволяющая генерировать ИСП с длиной периода 16, 32, 64 и 128 двоичных символов.

В табл. 1 приведены инверсно-сопряженные и нелинейные двоичные последовательности, равные по длине периода.

*Таблица 1*

| *N* | ИСП | НП |
|---|---|---|
| $2^{n=4} = 16$ | 0010000011011111 | 0000100110101111 |
| $2^{n=5} = 32$ | 00000110001000001111100111011111 | 00000100101100111110001101110101 |
| $2^{n=6} = 64$ | 00011000000000001110010000110000<br>11100111111111110001101111001111 | 00000010000110001010011110100011<br>10010010110111011001101010111111 |
| $2^{n=7} = 128$ | 00000000110001100010001101110100<br>11100110000000000001100000000000<br>11111111001110011101110010001011<br>00011001111111111110011111111111 | 00000001000001100001010001111001<br>00010110011101010011111010000111<br>00010010011011010110111101100011<br>01001011101110011001010101111111 |

С помощью табл. 1 сравним ИСКШ и РКШ по числу $T$ с использованием для построения информационной КД последовательностей (табл. 2, здесь $\Delta = \dfrac{(T_{\text{РКШ}} - T_{\text{ИСКШ}}) \cdot 100\,\%}{T_{\text{РКШ}}}$).

При этом значение $T$ будет равно суммарному числу переходов в последовательностях из 0 в 1 и наоборот.

*Таблица 2*

| *N* | $T_{\text{РКШ}}$ | $T_{\text{ИСКШ}}$ | $\Delta$, % |
|---|---|---|---|
| $2^{n=4} = 16$ | $2^{n-1} = 2^3 = 8$ | 6 | 25 |
| $2^{n=5} = 32$ | $2^{n-1} = 2^4 = 16$ | 10 | 37,5 |
| $2^{n=6} = 64$ | $2^{n-1} = 2^5 = 32$ | 18 | 43,75 |
| $2^{n=7} = 128$ | $2^{n-1} = 2^6 = 64$ | 38 | 40,625 |

Поясним принцип построения ИСКШ, для простоты ограничившись четырьмя разрядами преобразования (на рисунке приведена линейная развертка шкалы).

Информационная КД шкалы построена в соответствии с символами инверсно-сопряженной нелинейной двоичной последовательности 00100000**11011111** с длиной периода 16. Последовательность состоит из двух равных частей, вторая является абсолютной инверсией первой половины. Последовательность должна быть нанесена на шкалу в виде пассивных (нули последовательности — светлые участки шкалы) и активных (единицы последовательности — темные) участков (квантов) информационной КД, например, по ходу часовой стрелки. Последовательность с $N$=16 определяет число квантов информационной КД шкалы, которое в данном примере равно 16. Отсюда $\delta$=360°/16=22,5°. В примере размещение СЭ$_1$, СЭ$_2$, СЭ$_3$ и СЭ$_4$ вдоль информационной КД осуществляется с шагом, равным величине двух квантов $\delta$ по ходу часовой стрелки.

Фиксируя с помощью СЭ$_1$, СЭ$_2$, СЭ$_3$ и СЭ$_4$ последовательно кодовую комбинацию, при перемещении ИСКШ циклически на один квант ($\delta$=22,5°) информационной КД, например, против хода часовой стрелки, получаем 16 различных четырехразрядных кодовых комбинаций, которые соответствуют 16 угловым положениям шкалы (табл. 3).

*Таблица 3*

| № пол. ИСКШ | СЭ$_1$ | СЭ$_2$ | СЭ$_3$ | СЭ$_4$ | ОДК |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 9 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| 5 | 0 | 0 | 1 | 1 | 3 |
| 6 | 0 | 1 | 0 | 1 | 5 |
| 7 | 0 | 1 | 1 | 1 | 7 |
| 8 | 1 | 0 | 1 | 1 | 11 |
| 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 15 |
| 10 | 0 | 1 | 1 | 0 | 6 |
| 11 | 1 | 1 | 1 | 0 | 14 |
| 12 | 1 | 1 | 0 | 1 | 13 |
| 13 | 1 | 1 | 0 | 0 | 12 |
| 14 | 1 | 0 | 1 | 0 | 10 |
| 15 | 1 | 0 | 0 | 0 | 8 |

По принципу, рассмотренному выше, могут быть построены пяти-, шести- и семиразрядные ИСКШ, при шаге размещения СЭ соответственно в два, десять и шесть квантов шкалы $\delta$.

Снизить трудоемкость изготовления предложенных ИСКШ возможно при контактном, емкостном или электромагнитном методе съема информации.

Также отметим, что ИСКШ могут использоваться при разработке высокоразрядных псевдорегулярных кодовых шкал, принципы построения которых подробно рассмотрены в работах [4—9].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Домрачев В. Г., Мейко Б. С.* Цифровые преобразователи угла: принципы построения, теория точности, методы контроля. М.: Энергоатомиздат, 1984. 328 с.

2. *Ожиганов А. А.* Анализ кодовых шкал преобразователей угла // Изв. вузов. Приборостроение. 1996. Т. 39, № 4. С. 32—35.

3. *Азов А. К., Ожиганов А. А., Тарасюк М. В.* Рекурсивные кодовые шкалы // Информационные технологии. 1998. № 6. С. 39—43.

4. *Ожиганов А. А., Прибыткин П. А.* Кодовые шкалы на основе композиции нелинейных рекуррентных последовательностей // Тр. Нижегородского гос. тех. ун-та им. Р. Е. Алексеева. 2010. № 4(83). С. 309—316.

5. *Ожиганов А. А., Прибыткин П. А.* Псевдорегулярные кодовые шкалы для цифровых преобразователей угла // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2011. № 1(71). С. 67—72.

6. Пат. 2434323 РФ, МПК H03M 1/22, G06F 5/00. Рекурсивная кодовая шкала / *В. А. Шубарев, А. А. Ожиганов, П. А. Прибыткин, В. В. Павлов.* Заявл. 16.08.2010; опубл. 20.11.2011. Б.И. 32.

7. Пат. 2444126 РФ, МПК H03M 1/22. Рекурсивная кодовая шкала / *В. А. Шубарев, А. А. Ожиганов, П. А. Прибыткин, В. В. Павлов.* Заявл. 22.11.2010; опубл. 27.02.2012. Б.И. 6.

8. Пат. 2446557 РФ, МПК H03M 1/22. Рекурсивная кодовая шкала / *В. А. Шубарев, А. А. Ожиганов, П. А. Прибыткин, В. В. Павлов.* Заявл. 17.03.2011; опубл. 27.03.2012. Б.И. 9.

9. Пат. 2450437 РФ, МПК H03M 1/22. Рекурсивная кодовая шкала / *В. А. Шубарев, А. А. Ожиганов, П. А. Прибыткин, В. В. Павлов.* Заявл. 29.04.2011; опубл. 10.05.2012. Б.И. 13.

***Сведения об авторах***

***Кирилл Михайлович Ростовский*** — аспирант; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра безопасности технических систем; E-mail: kmrost@ya.ru

***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.