

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

И Ф В Э 79-184

ОЭА

А.Д.Азаров, Е.В. Крюгченко, В.И. Моисеев, В.С. Федотов

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ИНФОРМАЦИИ В КОДАХ
С ИРРАЦИОНАЛЬНЫМ ОСНОВАНИЕМ

Серпухов 1979

Аннотация

Азаров А.Д., Крютченко Е.В., Моисеев В.И., Федотов В.С.
Преобразователи информации в кодах с иррациональным основанием. Серпухов, 1979.
13 стр. с рис. (ИФВЭ ОЭА 79-184).
Библиогр. 11.

В работе рассмотрена возможность реализации метрологического контроля линейности выходных характеристик преобразователей информации. Показано, что процедура контроля достаточно просто реализуется при использовании кодов с иррациональным основанием. Кратко описаны свойства этих кодов. Предложен алгоритм метрологического контроля линейности выходной характеристики ЦАП. Показано, что использование кодов с иррациональным основанием в преобразователях информации, увеличивает их надежность.

Abstract

Azarov A.D., Kryutchenko E.V., Moiseev V.I., Fedotov V.S.
Information Converters in Codes with Irrational Base. Serpukhov, 1979.
p. 13. (INEP 79-184).
Refs. 11.

A possibility of metrological control of output characteristic linearity for information converters is considered in the paper. It is shown, that the control is easy enough realized when code use with irrational base. The properties of these codes are briefly described. An algorithm of metrological control of output DAC characteristic linearity is proposed. It is shown, that code use with irrational base in information converters increases their reliability.

1. ВВЕДЕНИЕ

В экспериментальной физике для обработки результатов экспериментов, заснятых на фотопленку, широко используются автоматизированные средства обработки пленочной информации. К классу наиболее производительных относятся сканирующие автоматы, выполненные на основе ЭЛТ. Эти устройства можно рассматривать как сложные АЦП неэлектрических величин^{/1/}, содержащие в обратной связи по нескольку ЦАП (не менее двух). ЦАП предназначены для формирования эталонных величин тока, преобразуемых в отклонение, т.е. длину, с которой сравнивается измеряемая неэлектрическая величина, например, координаты края трека элементарной частицы или ширина пузырька.

Координаты точек, расположенных на треке, должны измеряться с высокой точностью. Погрешность измерений должна находиться в пределах 0,004 - 0,008%^{/1, 2/}. Точность измерения зависит от точности формирования эталонных величин их температурной и временной стабильности.

Такие АЦП должны обеспечивать сохранение метрологических и эксплуатационных характеристик преобразования неэлектрических аналоговых величин в цифровые в условиях изменения температуры, влажности, давления, а также в течение длительных промежутков времени. Естественно, что такие устройства требуют метрологического контроля. Важную роль при этом играет возможность автоматизации этой процедуры.

2. СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ПОГРЕШНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Независимо от конкретного типа преобразователей их выходную характеристику можно представить некоторой функцией, являющейся математической моделью характеристики реального прибора

$$y = a(x, t, T) \times f(t, T),$$

где $a(x, t, T)$ - крутизна функции; $f(t, T)$ - величина, зависящая от времени t и температуры T .

Математическая модель отличается от характеристики реального прибора, например ЦАП, тем, что входная решетчатая функция заменена непрерывной x , которой принадлежат все точки решетчатой функции. Выходная величина y при этом - также непрерывная функция, на которую при выполнении математических операций не накладывается никаких ограничений.

Задаваемые для преобразования приращения входной величины или ее спонтанные неуправляемые приращения при одновременном естественном дрейфе температуры приводят к изменению результата выходной величины y . Незначительные временные изменения функции в данном случае не учитываются:

$$dy(x, T) = a(x, T) + x \left[\frac{\partial a(x, T)}{\partial a} dx + \frac{\partial a(x, T)}{\partial T} dT \right] + \frac{\partial f(T)}{\partial T} dT.$$

Первый член правой части этого выражения отражает линейное преобразование величины y . Второе слагаемое в общем случае характеризует нелинейное изменение y . Величина dy зависит от значения входной величины x , ее приращения и изменения температуры. Наличие второго слагаемого говорит об изменении масштаба преобразования и появлении нелинейности выходной характеристики. Значение третьего члена выражения не зависит от входной величины и характеризует дрейф нуля. Зависимость крутизны a от x , t и T неизвестна и определить величину второго слагаемого невозможно. Поэтому целесообразно считать, что происходит линейное преобразование с погрешностью, заключающейся в изменении масштаба и линейности с одновременным смещением результата преобразования на величину приращения температурного дрейфа нуля.

Таким образом, погрешность преобразования содержит по крайней мере три вида систематических составляющих погрешности: смещение нуля, изменение масштабного коэффициента, отклонение выходной величины от линейного закона.

3. ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОДОВ С ИРРАЦИОНАЛЬНЫМ ОСНОВАНИЕМ ДЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ЛИНЕЙНОСТИ

В прецизионных преобразователях принимаются специальные меры для уменьшения температурной составляющей погрешности^{/3, 4/}. Ее величина очень мала. Поэтому наиболее важную роль играет возможность автоматизации контроля линейности выходных характеристик преобразователей. У преобразователей, выполненных для работы в классической двоичной системе счисления, метрологический контроль линейности выходной характеристики чрезвычайно сложен и приводит к значительным, а иногда неразрешимым техническим трудностям^{/5, 6/}.

В самоконтролирующихся преобразователях информации, существующих в настоящее время, используется либо искусственная кодовая избыточность^{/7/}, либо структурно-кодовая избыточность^{/5/}. Такие методы метрологического контроля линейности выходной характеристики, за исключением описанных в^{/8/}, позволяют обнаружить только неисправность либо расстройку преобразователя в целом.

Применение в преобразователях информации кодов с иррациональным основанием, обладающих естественной избыточностью, которая не требует деления кодовой комбинации на информационные и контрольные разряды, т.е. не изменяет информационной структуры кода, позволяет осуществлять эффективный метрологический контроль линейности выходной характеристики.

К кодам с иррациональным основанием относятся, например, p -коды Фибоначчи^{/8/}, в которых любое натуральное число представляется в виде

$$\begin{aligned} \phi_p(l) &= 0 && \text{при } l < 0, \\ \phi_p(l) &= 1 && \text{при } l = 0, \\ \phi_p(l) &= \phi_p(l-1) + \phi_p(l-p-1) && \text{при } l > 0. \end{aligned}$$

Для p -кодов существует единственная минимальная форма представления чисел, в которой после каждой единицы следует не менее p нулей. Имеется также множество неминимальных представлений одного и того же числа, в которых не выполняется указанное условие. Коэффициент кодовой избыточности двоичной p -системы счисления по сравнению с классическим двоичным способом представления чисел равен ^{/8/}

$$R = 1 - \frac{\log_2 \phi_p(n)}{n}, \quad \begin{array}{l} p = 0, \quad R = 0, \\ p = 1, \quad R = 0,352, \\ p = 2, \quad R = 0,519. \end{array}$$

При $p = 0$, p -код соответствует классическому двоичному коду, обладающему нулевой избыточностью и не имеющему контролирующих свойств.


Самоконтролируемые преобразователи информации с использованием двоичного кода требуют введения искусственной кодовой избыточности в виде контрольных разрядов, например, по методу, предложенному в ^{/9/}, где контроль осуществляется на основании одного контрольного соотношения.


Метрологический контроль линейности выходной характеристики преобразователей информации на основе кодов с иррациональным основанием, например, $p = 1$ - кода Фибоначчи, имеет семейство математических соотношений

$$x_l = x_{l-1} + x_{l-2}, \quad (1)$$

$$x_l = x_{l-1} + x_{l-3} + x_{l-4}, \quad (2)$$

$$x_l = \sum_{i=0}^{l-2} x_i + 1. \quad (3)$$

На основании соотношений (1) - (3) над разрядами кода аналого-цифрового преобразователя, либо цифро-аналогового преобразователя, проводятся операции развертки и свертки кода, соответственно первого, второго и третьего типа. Операция развертки заключается в замене единицы l -го разряда, соответствующей левым частям равенств (1) - (3), кодовой комбинацией соответствующей правым частям этих равенств и обозначается . Операция свертки является обратной операции развертки и обозначает-

ся . Характерной особенностью обеих операций является то, что они не изменяют величины изображаемого кодом числа, а изменяют лишь форму представления кода.

4. АЛГОРИТМ ДЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ЛИНЕЙНОСТИ ВЫХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ

Рассмотрим процесс метрологического контроля линейности выходной характеристики АЦП поразрядного уравнивания (рис. 1), состоящего из БВР - блока выделения разности, сигнализирующего о невыполнении контрольных соотношений 1, 2, 3; БСРК - блока свертки и развертки кода, осуществляющего выполнение операций развертки кода 1-, 2- или 3-го типа; **RGPP** - регистра, фиксирующего номера расстроенных или неисправных разрядов; ЦАП - цифро-аналогового преобразователя на n разрядов; СС - схемы сравнения и БУ - блока управления, осуществляющего управление работой преобразователя в двух режимах: режиме непосредственного преобразования и режиме метрологического контроля; БПК - блока, выполняющего операцию приведения кода к минимальной форме.

Метрологический контроль линейности выходной характеристики АЦП с обратной связью сводится к метрологическому контролю линейности ЦАП, входящего в состав АЦП. Алгоритм метрологического контроля линейности выходной характеристики ЦАП, входящего в АЦП, веса разрядов которого пропорциональны числам Фибоначчи или $p = 1$ -коду "золотой" пропорции, изображен на рис. 2.

Метрологический контроль начинается с занесения из БУ в БСРК кода, содержащего значащую цифру только в n -ом старшем разряде. С выхода БСРК код поступает на вход ЦАП, который осуществляет его преобразование. С выхода ЦАП аналоговый эквивалент кода поступает на вход схемы сравнения и БВР. После проведения в БСРК операции развертки первого типа, при условии, что веса n -, $(n-1)$ - и $(n-2)$ -го разрядов не имеют погрешности, аналоговый эквивалент на входе БВР не изменится и сигнала с выхода БВР не поступит. В этом случае в БСРК производится раз-

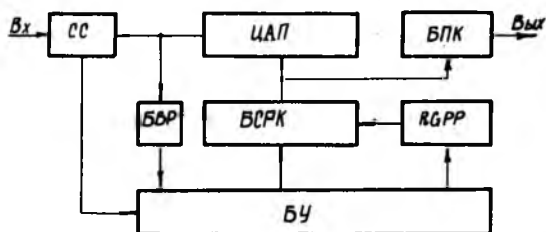


Рис. 1. АПП поразрядного уравновешивания.

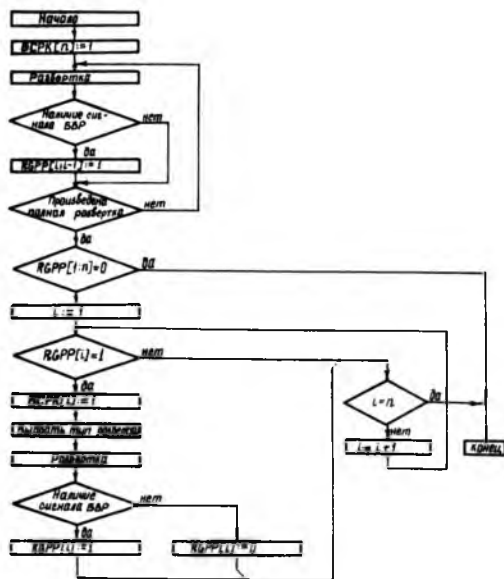


Рис. 2. Алгоритм метрологического контроля линейности выходной характеристики ЦАП.

вертка первого типа над $(n-2)$ -разрядом, при отсутствии сигнала с БВР производится последующая развертка кода, т.е. разворачивается $(n-4)$ -й разряд и т.д. до младшего разряда.

Если после проведения операции развертки в БСРК n -го разряда БВР выработал сигнал, т.е. аналоговый эквивалент кода изменился и соотношение 1 не выполняется, то в n - и $(n-1)$ -й разряды **RGPP** записываются "единицы". Это говорит о том, что веса n - и $(n-1)$ -го разрядов ЦАП могут иметь погрешность. Следующая операция развертки производится над $(n-2)$ -м разрядом БСРК и т.д. до младшего разряда. После того как проведена полная развертка кода и **RGPP** не содержит значащих цифр, метрологический контроль линейности выходной характеристики ЦАП оканчивается и он является соответствующим своим метрологическим характеристикам. При наличии в **RGPP** значащих цифр младшая из них заносится в предварительно очищенный БСРК, производится операция развертки этого разряда. Если после операции развертки БВР выработал сигнал, то значит вес разворачиваемого разряда не соответствует необходимому значению, в

данный разряд **RGPP** записывается "единица" и этот разряд в операциях развертки, проводимых в дальнейшем, не участвует. Исключение этого разряда достигается применением развертки 2- и 3-го типа. Результатом метрологического контроля является состояние **RGPP**, в котором "единицами" зафиксированы номера "расстроенных" или неисправных разрядов.

Контроль ЦАП проводится с "точностью" до одного разряда, если перед группой из m ($1 \leq m < p$) подряд идущих расстроенных или неисправных разрядов имеется не менее $m+1$ старших настроенных разрядов, причем, если старший разряд из группы расстроенных или неисправных разрядов является старшим разрядом ЦАП, этого условия не требуется. В других случаях контроль производится с точностью до двух и трех разрядов.

5. НАДЕЖНОСТЬ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ

Наличие хотя бы одного расстроенного или неисправного разряда в ЦАП, реализованном в классической двоичной системе, приводит либо к отказу устройства в целом, либо к ухудшению метрологических характеристик. Возможность представления в p -кодах одной аналоговой величины множеством кодовых комбинаций позволяет существенно повысить надежность как ЦАП так и АЦП, в котором используется данный ЦАП. ЦАП осуществляет правильное преобразование цифровой величины в аналоговый эквивалент, если после каждой группы из m ($1 < m < p$) подряд расположенных неисправных (типа "невключения") или расстроенных разрядов следует не менее $(m + 1)$ младших настроенных разрядов или имеется не более одной группы из p расстроенных или неисправных разрядов.

В общем случае должно выполняться условие

$$S_n - S_p^* > S_p, \quad (4)$$

где S_n - сумма весов всех разрядов ЦАП; S_n^* - максимальное число, которое можно представить разрядами в минимальной форме; S_p - сумма весов всех расстроенных или неисправных разрядов; n - номер старшего из расстроенных или неисправных разрядов.

Пример преобразования $p = 2$ -кода Фибоначчи с расстроенными 12-, 9-, 6- и 3-м разрядами в аналоговый эквивалент приведен в табл. 1.

Таблица 1

номера разрядов	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	аналоговый эквивалент
веса разрядов	41	28	19	13	9	6	4	3	2	1	1	1	
	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	59
Развертка кода													
	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	59
Свертка кода													
	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	59
	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	59
	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	59

Исходная кодовая комбинация, содержащая единицы в расстроенных или неисправных разрядах, преобразуется путем выполнения операций развертки и свертки кода в эквивалентную ей комбинацию, в которой единицы в расстроенных или неисправных разрядах отсутствуют. В процессе свертки кода, свертка в расстроенные или неисправные разряды запрещается. Для контроля выполнения соотношения (4) достаточно проводить контроль состояния расстроенных и неисправных разрядов в БСРК после выполнения операции свертки. Практически данный контроль можно осуществить с помощью схемы, приведенной на рис. 3.

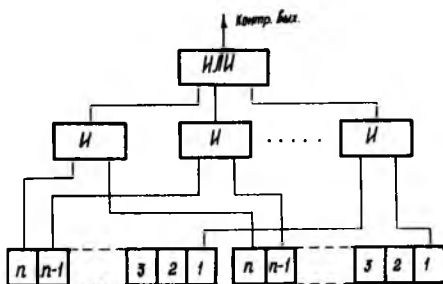


Рис. 3. Устройство для метрологического контроля ЦАП.

Отсутствие сигнала на выходе схемы контроля является условием, при котором ЦАП будет правильно производить преобразование.

В АЦП для правильного преобразования аналоговой величины в цифровой код, расстроенные или неисправные разряды в процессе кодирования не включаются и в этом случае выходной код представлен в неминимальной форме. Приведение к минимальной форме осуществляется путем последовательного выполнения операций свертки и развертки кода, при $p=1$ достаточно произвести только операции свертки.

Сохранение работоспособности преобразователей информации на основе кодов с иррациональными основаниями, при расстройке или неисправности типа "невключения" разрядов преобразователя, удовлетворяющей условию (4), является повышением надежности по деградационным отказам и частичным повышением надежности по внезапным отказам.

С учетом вышеизложенного преобразователи информации на основе кодов с иррациональным основанием можно отнести к структурам типа k из n [11]. Частный случай этих структур $k=n$ соответствует надежностной модели нерезервированных преобразователей информации на основе классической двоичной системы счисления. При $k=1$ получаем надежностную модель для преобразователей информации в кодах с иррациональным основанием при $p = \infty$.

В случае, когда все элементы имеют одинаковую надежность и отказы являются независимыми, надежность структуры k из n равна

$$h(t, k, n) = \sum_{i=k}^n (i^n) P^i (1-P)^{n-i} .$$

Сравнительная числовая оценка надежности ЦАП при $P = 0,9$ дана в табл. 2.

Таблица 2

Параметр кода	Число разрядов	Число разрядов, необходимых для работоспособности	Надежность структуры
0	10	10	0,348677
1	16	15	0,514730
2	20	18	0,676910
-"-	-"-	17	0,867030
-"-	-"-	16	0,956800
-"-	-"-	15	0,988730

Приведенные числовые примеры показывают, что преобразователи в кодах с иррациональным основанием позволяют существенно повысить надежность устройства за счет своеобразного скользящего резервирования расстроенных или неисправных разрядов.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация преобразователей информации на основе кодов с иррациональным основанием позволяет существенно упростить выполнение метрологического контроля линейности их выходной характеристики.

Избыточность в кодах с иррациональным основанием, зависящая от его параметра, дает возможность создавать "живучие" АЦП и ЦАП, поскольку деградационные отказы определенного количества разрядов не вызывают отказа устройства.

Упрощение метрологического контроля и повышение "живучести" позволяют существенно повысить надежность преобразователей информации в целом.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Стрэнд (Richard C.Strand). Распознавание образов при помощи цифровых вычислительных машин, ред. Л.Хармон, М., "Мир", 1974, стр. 15.
2. Е.В.Крютченко, В.С.Федотов. Препринт ИФВЭ 79-116, Серпухов, 1979.
3. В.С.Федотов. "Метрология" № 10, 13 (1977).
4. Е.В.Крютченко, В.С.Федотов. "Автометрия" № 6, 27 (1978).
5. Э.И.Гитис. Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств. Изд. 3-е, перераб. М., "Энергия", 1975.
6. Э.М.Бромберг, К.Л.Куликовский. Тестовые методы повышения точности измерений, М., "Энергия", 1978.
7. Полупроводниковые кодирующие и декодирующие преобразователи напряжения. Под редакцией В.Б.Смолова и Н.А.Смирнова, Л., "Энергия", 1967.
8. А.П.Стахов. Введение в алгоритмическую теорию измерения. М., "Сов. радио", 1977.
9. А.А.Харкевич. Борьба с помехами. М., Физматгиз, 1963.
10. Микроэлектронные АЦ и ЦА преобразователи информации. Под ред. В.Б.Смолова. Л., "Энергия", 1976.
11. Надежность автоматизированных систем управления. Под ред. Я.А.Хетагурова. М., Высш. школа, 1979.

Рукопись поступила в издательскую группу
20 ноября 1979 года.