В.П.Марценюк, А.Д.Азаров

НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЗИЦИОННЫХ КОДОВ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ТЕХНИКЕ АЦ И ЦА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

В технике АЦ и ЦА преобразования наиболее широкое распространение получил классический двоичный код. При общепринятом подходе [I] любое положительное число в двоичном коде может быть представлено в виде

$$N=\sum_{i=0}^{n} a_i 2^i ,$$

где $a_i \in (0,1)$ - разрядный коэффициент.

Кодирование отрицательных чисел может быть осуществлено в виде прямого кода со знаком, обратного и дополнительного кодов. Однако для организации функционирования АЦП и ЦАП может быть использовано еще и так называемое модифицированное представление, где

$$N=\sum_{i=0}^{n} a_i 2^i \qquad \text{при } a_i \in (+1; 0; -1).$$

Представление чисел в модифицированном двоичном коде позволяет избежать многих трудностей, возникающих при реализации биполярных АЦП, таких как дополнительное смещение нуля, неоднозначность определения нулевой точки в прямом и обратном коде, необходимость введения знакового разряда [2] и т.д. Все эти недостатки автоматически устраняются в случае применения модифицированного кода вследствие того, что вес любого разряда сетки АЦП или ЦАП может быть физически представлен как со знаком плюс, так и со знаком минус. Например, число 5 в четырехразрядном модифицированном двоичном коде можно представить кодовыми комбинациями, приведенными в табл. I.

Таблица I

I	2	4	8
I	0	I	0
-I	I	I	0
-I	-I	0	I
-I	I	-I	I
I	0	-I	I

Представление любого числа, кроме чисел, равных весам разрядов, не единственно, т.е. существует определенная многозначность, вследствие которой модифицированный двоичный код является избыточным. Естественная избыточность кода данного вида обеспечивает целый ряд очень важных преимуществ при построении структур АЦП. К основным из них следует отнести: а) возможность отказа от использования знакового разряда при биполярном входном сигнале; б) получение быстродействующего алгоритма поразрядного кодирования за счет существенного уменьшения влияния глитч-эффекта, поскольку уравновешивание входной аналоговой величины можно производить только включением разрядов с коэффициентом a =I или a =-I; в) возможность организации оперативного контроля линейности цифро-аналогового преобразователя и контроля функционирования АЦП.

Модифицированная форма может быть использована и в других кодах, таких как троичный код [3] , код "золотой" пропорции, классический код Фибоначчи [4] и т.д. Например, любое число в троичном коде с весами ряда I,3,9,27... может быть представлено в виде

$$N=\sum_{i=0}^{n} a_i 3^i,$$

где $a_i \in (+1; 0; -1)$.

При этом с помощью трех разрядов модифицированного троичного кода могут быть получены числа от I до I3 (см.табл.2), тогда как в двоичном нам понадобилось бы четыре разряда. А десятиразрядный АЦП по разрешающей способнос и эквивалентен шестнадцатиразрядному двоичному преобразователю.

Таблица 2

	I	3	9
I	I	0	0
2	-I	I	0
3	0	I	0
4	I	I	0
5	-I	-I	I
6	0	-I	I
7	I	-I	I
8	-I	0	I
9	0	0	I
I0	I	0	I
II	-I	I	I
I2	0	I	I
I3	I	I	I

Отсутствие избыточности шкалы при использовании троичного кода позволяет довольно значительно (в I,4 - I,6 раза) уменьшить затраты оборудования, по сравнению с использованием двоичного кода, при одновременном снижении потребляемой мощности и увеличении быстродействия.

В модифицированном коде "золотой" пропорции любое число может быть представлено в виде

$$N=\sum_{i=0}^{n} a_i \alpha^i,$$

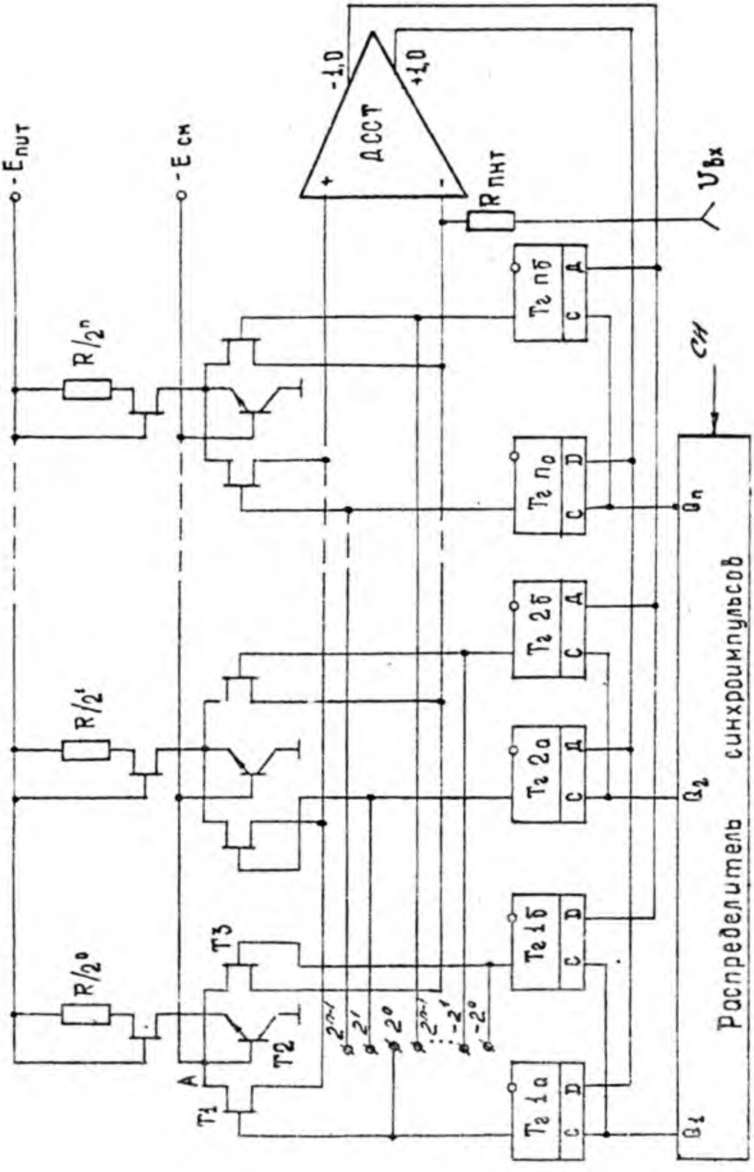
где $a_i \in (+1; 0; -1)$.

α - основание кода "золотой"пропорции (при параметре кода $p=1$ [4] $\alpha \approx 1{,}618$).

Код "золотой" пропорции [4] обладает большой естественной избыточностью, которая увеличивается приблизительно вдвое при использовании модифицированного варианта, хотя и проявляется в неявном виде, поскольку дополнительные затраты аналогового оборудования являются незначительными. Такой же избыточностью обладает и код Фибоначчи. Применение таких кодов в АЦП позволяет добиться всех вышеперечисленных достоинств. Появляется также возможность обеспечить некоторые новые качества, недостижимые в двоичном коде. Например, существует путь уменьшения затрат аналогового оборудования и повышения надежности, который обеспечивается за счет значительной избыточности кода. При этом кодирование входного сигнала любой величины может быть проведено только частью разрядов, причем в различных их сочетаниях. Модифицированные варианты кодов "золотой" пропорции и Фибоначчи позволяют также выполнять цифровую коррекцию погрешностей смещения нуля, ухода масштаба и линейности. Такая коррекция возможна и в обычных кодах Фибоначчи и "золотой" пропорции, однако модифицированные варианты позволяют отказаться от использования в структуре АЦП блока вспомогательных аналоговых величин и знакового разряда [5], что приблизительно в 1,5 раза снижает общие затраты аналогового оборудования ЦАП, реализация которого в прецизионных преобразователях встречает известные затруднения.

Однако преимущества использования модифицированных кодов в АЦП и ЦАП реализуются только при наличии определенной структурной организации и схемотехники, которая должна включать дифференциальные схемы сравнения токов и трехпозиционные ключевые элементы. Рассмотрим структурно-принципиальную схему АЦП поразрядного уравновешивания (см.рисунок), функционирующую в модифицированном двоичном коде. Устройство обеспечивает устранение глитч-эффекта и некоторое повышение быстродействия за счет алгоритма "только включение", а также производит кодирование биполярных входных сигналов без знакового разряда. Цифро-аналоговый преобразователь строится по принципу суммирования двоично-взвешенных токов. Разрядные источники эталонных токов выполнены на полевых транзисторах и подключаются к прямой или обратной шинам суммирования с помощью трехпозиционных токовых ключевых элементов. Упрощенная схема ключа содержит два полевых транзистора, управляемых логикой с открытым коллектором, а также транзистор подключения выхода источника тока на нулевую шину. Если открыт один из полевых транзисторов $T1$ или $T3$, транзистор $T2$ находится в закрытом состоянии, поскольку разность потенциалов $U_4 - E_{см}$ достаточна для запирания перехода база-эмиттер $T2$.

Работу преобразователя можно показать на примере уравновешивания входной аналоговой величины $A_{вх}$ =10 в четырех-


-Е пит
-Е см
R/2⁰
R/2¹
R/2ⁿ
ДССТ
-1,0
+1,0
R пнт
Uвх
СИ
Т1
Т2
Т3
А
Тг 1а
Тг 1б
Тг 2а
Тг 2б
Тг nа
Тг nб
Q1
Q2
Qn
Распределитель синхроимпульсов

разрядный модифицированный двоичный код. На первом такте производится определение знака входной величины путем сравнения входного сигнала с нулевым уровнем. При этом все разрядные токи $Y_{эт\,i}$ подключаются через ключевые элементы к нулевой шине. Управление ключевыми элементами осуществляется триггерами регистра ЦАП $Тг1-Тгn$. Далее производится опрос дифференциальной схемы сравнения токов (ДССТ), выходной сигнал Y которой подчиняется соотношению

$$Y = \begin{cases} 00, & \text{если } \Delta Y = 0 \\ 10, & \text{если } \Delta Y < 0 \\ 01, & \text{если } \Delta Y > 0 \end{cases}$$

где $\Delta Y = \frac{U_{вх}}{R_{лин}} \pm \sum_{i=0}^{n} Y_{эт\,i}$.

В нашем случае $Y=01$, что свидетельствует о положительной полярности входного сигнала. На втором такте источник эталонного тока старшего n -20 разряда подключается к "+" шине суммирования, после чего производится опрос ДССТ. Ответ сравнения будет 0,I и следующий n-I-й разряд также подключается к "+" шине суммирования. Дальнейшая последовательность действия аналогична. По окончании преобразования получим код, представленный в виде табл.3.

Таблица 3

	8	4	2	I
a =I	I	I	0	0
a =-I	0	0	I	0

Перевод кода данного вида в обычный двоичный осуществляется путем вычитания из кода с коэффициентом a=I (т.е. II00) кода с коэффициентом a =-I (00I0). В результате получим код I 0 I 0, т.е. N =I0. Знак входной величины однозначно определяется знаком единицы в старшем разряде.

Литература

I. Гитис Э.И. Преобразователи информации для электронных вычислительных устройств. - М.: Энергия, 1975.

2. Школин В.П. Логические коды, используемые в АЦП.- Измерительная техника, 1978, № 7, с.4I-44.

3. Хауцен В. Метод взвешенного счета, обеспечивающий большее быстродействие, чем двоичный. - Электроника, 1975, № 24, с.63-65.

4. Стахов А.П. Цифровая метрология в кодах Фибоначчи и кодах "золотой" пропорции. - В ст.: Современные проблемы метрологии. - М.: ВЗМИ, 1978, т.I, с.5I-65.

5. Азаров А.Д. Исследование принципов построения и разработка преобразователей информации на основе кодов с иррациональными основаниями : Дис.на соиск. уч. степ. канд.техн. наук. -Винница: ВПИ, 1980.