

Б. И. БЛАЖКЕВИЧ,  
 В. Ю. ВОРОБКЕВИЧ, Э. И. ПАВЛЮК, В. А. ПОГРИБНОЙ  
 (Львов)

### СЛЕДЯЩИЙ АНАЛОГО-КОДОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НА МАГНИТНЫХ МОДУЛЯТОРАХ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ

Аналого-кодовые преобразователи (АКП) могут быть построены с нуль-органом (НО) в каждом разряде [1]. Свойства схем таких АКП во многом зависят от стабильности нуля, простоты и надежности схемы НО. Весьма удобным оказалось построение НО на магнитных элементах, которые позволяют сравнивать между собой различные величины в виде ампервитков. Существующие АКП на магнитных элементах, как правило, обладают циклическим действием [2—4]. Однако во многих случаях требуется наличие следящего действия.

Рассматриваемый в настоящей работе аналого-кодовый преобразователь принадлежит к комбинированным преобразователям следящего действия [5]. Его НО построен на магнитном модуляторе второй гармоники (ММ2Г).

На рис. 1 представлена блок-схема АКП. Он состоит из одинаковых ячеек Яч  $k$ , где  $k=1, 2, \dots, n$ , в количестве  $n$ , соответствующем числу

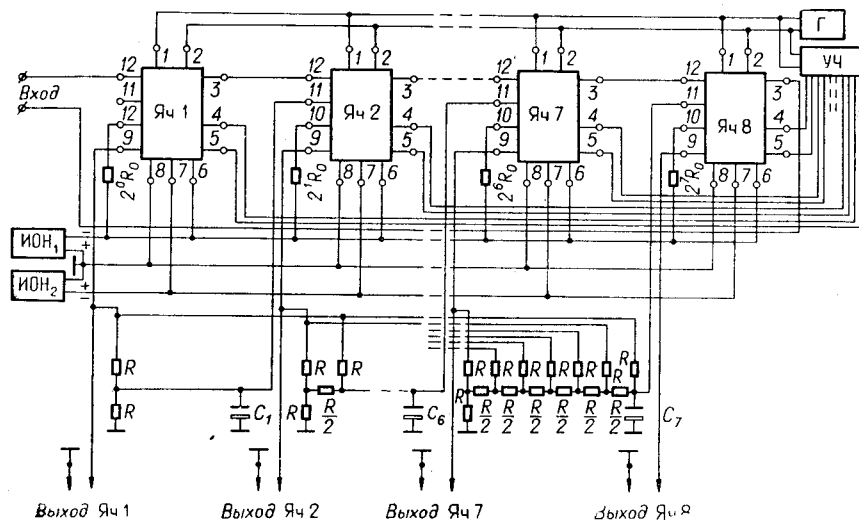


Рис. 1.

двоичных разрядов. Ячейки расположены в порядке убывания соответствующих им двоичных разрядов. Кроме ячеек, АКП содержит: генератор Г для возбуждения модуляторов; удвоитель частоты УЧ для питания фазовых детекторов; весовые сопротивления величиной  $2^{k-1} R_0$ , где  $k=1, 2, \dots, n$ ; делители тока, образованные сопротивлениями двух номиналов  $R$  и  $R/2$ . Источник ИОН<sub>1</sub> служит для образования образцовых величин отдельных разрядов, а ИОН<sub>2</sub> — для воспроизведения образцовых величин сработавших старших разрядов.

Каждая ячейка АКП (рис. 2) включает в себя магнитный модулятор второй гармоники, который собран по дифференциальной схеме и содержит обмотки возбуждения  $W'_B$  и  $W''_B$ , управления  $W_Y$ , выходную  $W_{\Sigma}$ , образцовую  $W_0$ , суммарную  $W_{\Sigma}$  и обмотку положительной обратной связи  $W_{\Pi}$ . Сигнал модулятора усиливается избирательным усилителем (ИУ) с трансформаторным выходом, собранным на транзисторе  $T_1$ , а затем выпрямляется фазочувствительным демодулятором (ФД), соб-

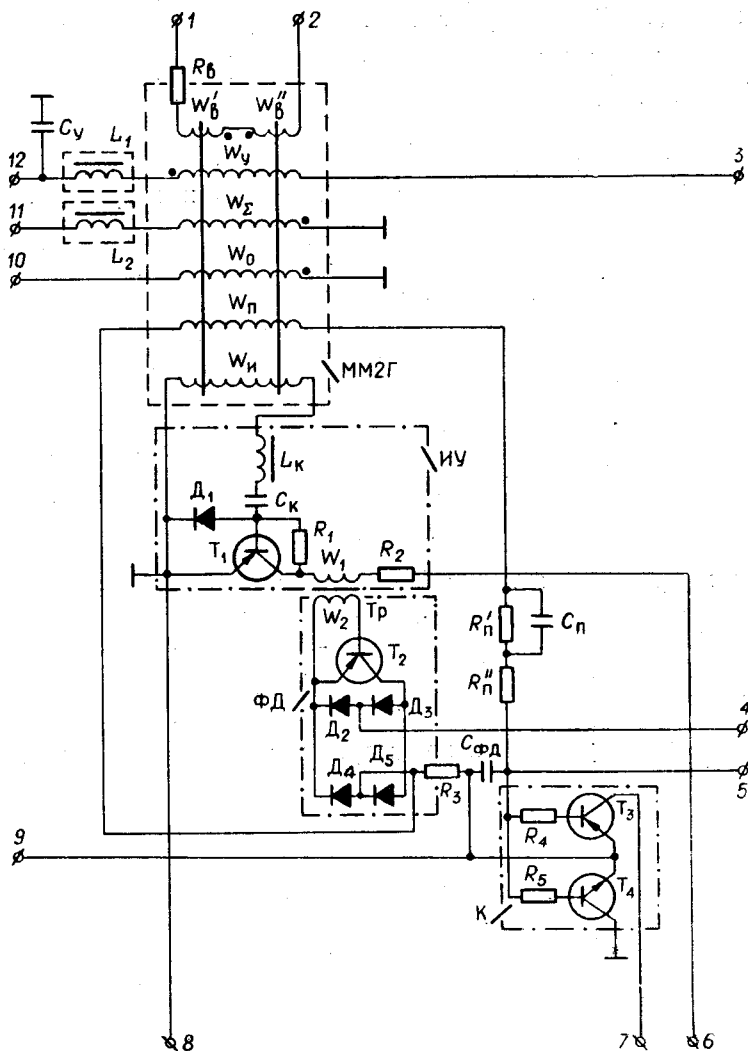


Рис. 2.

ранным на транзисторе  $T_2$  и четырех диодах  $D_2—D_5$ . Сигнал демодулятора управляет перекидным ключом с усилением (К), собранным на транзисторах  $T_3$  и  $T_4$ .

Одной из отличительных особенностей работы ячеек является то, что в них с выхода демодулятора в отдельную обмотку  $W_n$  модулятора через сопротивления  $R_n$  и  $R_n'$  заведена знакопеременная положительная обратная связь для обеспечения релейной характеристики ячейки, благодаря чему в схеме АКП достигается следящее преобразование. Величина ампервитков знакопеременной положительной обратной связи выбрана одинаковой для всех ячеек, не превышает половины образцовых ампервитков младшего разряда и определяет порог срабатывания ячейки. Положительная обратная связь в ячейке обеспечивает также четкую работу перекидного ключа.

Измеряемый сигнал (постоянный ток) поступает в соединенные последовательно управляющие обмотки  $W_y$  (точки 12,3) магнитных модуляторов всех двоичных разрядов (см. рис. 2). Через образцовые обмотки  $W_o$  (точка 10, корпус) протекает образцовый ток от ИОН<sub>1</sub>. Величина этого тока в  $k$ -м разряде определяется весовым сопротивлением  $2^{k-1} R_o$ . Так как обмотки  $W_o$  всех модуляторов имеют одинаковое количество витков, то образцовые ампервитки соседних разрядов будут отличаться между собой в 2 раза. Вторая гармоника выходного напряжения магнитного модулятора определяется направлением и величиной результирующих ампервитков обмоток  $W_y$  и встречно направленных по отношению к ним ампервитков обмоток  $W_o$  и  $W_z$ .

В отсутствие сигнала в обмотке  $W_y$  на выходе ФД, т. е. на зажимах конденсатора  $C_{фд}$ , появляется, благодаря наличию тока в образцовой обмотке, постоянная составляющая такой полярности, при которой перекидной ключ К присоединяет выходной зажим 9 к корпусу, вследствие чего выходное напряжение ячейки равно 0, а ток от этой ячейки в суммарные обмотки последующих разрядов не поступает.

При наличии сигнала в обмотке  $W_y$  создаются ампервитки, противоположно направленные образцовым и суммарным. В случае, когда ампервитки сигнала превышают образцовые, фаза второй гармоники напряжения на выходе магнитного модулятора меняется на противоположную, что вызывает на выходе ФД постоянную составляющую обратной полярности, благодаря чему ключ К присоединяет выходной зажим 9 к минусовому зажиму ИОН<sub>2</sub>, и на выходе ячейки появится напряжение ИОН<sub>2</sub> («единица»). Одновременно через соответствующие делители тока в суммарные обмотки  $W_z$  (точка 11, корпус) всех последующих ячеек поступит постоянный ток, создавая в них ампервитки, равные образцовым ампервиткам сработавшей ячейки. В следующем разряде ампервитки сигнала будут сравниваться с суммой образцовых ампервитков этого разряда и предыдущих сработавших и т. д.

Если входной сигнал изменит свое значение, состояние схемы АКП автоматически изменится: ячейки, в которых знак разности между ампервитками сигнала и суммой образцовых и суммарных ампервитков поменяется, изменят свое состояние на противоположное в том случае, когда величина этой разности меняет свой знак и по модулю превышает порог срабатывания ячейки. Ячейки, в которых знак разности остался прежним, своего состояния не изменят. Благодаря наличию в ячейках положительной обратной связи порог срабатывания всех ячеек одинаков и не превышает половины образцовых ампервитков последнего разряда. Таким образом, изменение величины сигнала в любую сторону, равное по абсолютной величине половине образцовой величины младшего разряда или превышающее ее, будет отработано АКП. Значение

цифрового эквивалента АКП будет непрерывно соответствовать величине преобразуемого сигнала. Если входной сигнал изменяется во времени, то при этом будет происходить непрерывная отработка выходных величин всех разрядов вне зависимости от состояния последующих разрядов без каких-либо устройств управления, т. е. будет иметь место следующее преобразование входной аналоговой величины в двоичный код. При исчезновении (выключении) сигнала все ячейки АКП перейдут в нулевое состояние через интервал времени, равный времени срабатывания.

Описанный АКП рассчитан на преобразование стандартного сигнала 0—5 ма. В рассматриваемом АКП при пороге срабатывания ячейки 10 мка (половина младшего разряда) и омическом сопротивлении обмотки  $W_y$  и дросселя 200 ом стабильность нулевого уровня должна быть не хуже  $2 \cdot 10^{-8}$  вт, что предъявляет несложные требования к магнитному модулятору и, следовательно, к блокам, обслуживающим его. Коэффициент усиления магнитного модулятора составляет 5—10. В связи с тем, что магнитные модуляторы в процессе преобразования подвергаются перегрузкам (до 500 раз), фазовая характеристика их отличается от идеальной. Удовлетворительная работа ячейки при изменении сигнала в широком диапазоне 0—5 ма объясняется тем, что фаза выходного напряжения модулятора изменяется в пределах  $\pm 30^\circ$  при результирующих ампервитках модулятора  $(Wi)_o > 0$  и  $180 \pm 30^\circ$  — при  $(Wi)_p < 0$ ; при этом напряжение на выходе ФД не становится меньше, чем 2 в, что необходимо для нормальной работы ключа К. Сердечники модулятора — тороидальной формы, каждый набран из 8 пластин пермаллоя 79НМ с размерами  $28 \times 25 \times 0,1$  мм. Количество витков обмоток модулятора:  $W_y = W_z = 1500$  вит,  $W_b = 2 \times 250$  вит,  $W_o = W_n = 100$  вит,  $W_n = 200$  вит,  $\varnothing 0,3$ . Для предотвращения замыкания напряжения второй гармоники, наводимой в обмотках  $W_y$  и  $W_z$ , последовательно с ними включены дроссели  $L = 2$  гн, намотанные на альсиферовых кольцах марки ТЧК-55. Так как обмотки  $W_n$  и  $W_o$  имеют небольшое число витков, на них наводится незначительное напряжение второй гармоники. Поэтому последовательно с ними дроссели не включаются. Для ограничения тока в цепи возбуждения модуляторов в периоды насыщения сердечников в эту цепь включены сопротивления  $R_b = 160$  ом. На возбуждение каждого модулятора расходуется не более 0,7 вт при прямоугольном напряжении возбуждения частоты 5 кГц с амплитудой 10 в и содержанием второй гармоники не более 0,5%.

Блок генератора состоит из задающего генератора и усилителя мощности. Задающий генератор собран по схеме, описанной в [6]. Выходное прямоугольное напряжение блока генератора 10 в, 5 кГц, мощность 7 вт.

Удвоитель частоты состоит из магнитного удвоителя частоты и усилителя мощности, который обеспечивает на каждой из восьми выходных обмоток трансформатора напряжение 7 в, 10 кГц, общей мощностью 8 вт.

ИОН<sub>1</sub> собран по схеме [7] и имеет следующие параметры: выходное напряжение 10 в, выходное сопротивление не более 0,03 ом, изменение выходного напряжения сети  $\pm 15\%$  — не более  $\pm 1$  мв.

Токи в обмотках  $W_z$  задаются с помощью ИОН<sub>2</sub> и делителей без схемной погрешности [8]. Имея в виду, что сопротивления медных обмоток  $W_z$  и дросселей с изменением температуры изменяются, в ИОН<sub>2</sub> предусмотрена температурная компенсация, благодаря чему номинальное напряжение ИОН<sub>2</sub>, равное 11 в, изменяется с температурой таким образом, что величина тока, протекающего при этом по суммарным обмоткам, от температуры не зависит.

Делители тока собраны из соответствующего количества сопротивлений двух номиналов — 4 и 2 *ком.* Величина весового сопротивления  $2^{\circ}R_0$  составляет 266,6 *ом.*

Для обеспечения устойчивости работы АКП в схему каждой ячейки введена корректирующая цепочка  $R_n C_n$ . Для этой же цели служат емкости  $C_1—C_7$ . Емкости  $C_y$  улучшают помехозащищенность схемы.

В целом схема следящего АКП содержит 50 транзисторов. Время установления показаний АКП не более 100 *мсек.*

Рассматриваемый АКП является преобразователем постоянного тока, но с предвключенным измерительным преобразователем напряжение — ток может работать как следящий цифровой милливольтметр. Он конструктивно проще существующих следящих АКП, так как не имеет управляющего устройства, содержит меньше активных элементов и, следовательно, является более надежным.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Э. П. Гитис. Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств. М., Госэнергоиздат, 1961.
2. С. Н. Sie. Analog to digital converters. Official Gazette, 1965, v. 814, № 4, p. 1478. Пат. США № 3185977.
3. R. K. Golden. Magnetic core analog to digital converter. Official Gazette, 1964, v. 800, № 1, p. 315. Пат. США № 3123817.
4. А. М. Хазен. Вопросы построения систем коммутации и преобразования в цифровой эквивалент сигналов постоянного тока низкого уровня мощности.— Автоматизация, 1966, № 4.
5. Э. И. Павлюк, В. А. Погрибной. К вопросу классификации аналого-кодовых преобразователей.— В сб. «Вопросы теории электрических цепей для преобразования измерительной информации». Киев, «Наукова думка», 1967.
6. В. Ю. Воробкевич. О стабилизации частоты релаксационного генератора с помощью резонансного LC-контура.— Радиотехника, 1964, № 6.
7. С. Д. Додик. Компенсационные полупроводниковые стабилизаторы как мощные источники образцового напряжения.— Измерительная техника, 1959, № 12.
8. К. А. Нетребенко. Цифровые автоматические компенсаторы. М., Госэнергоиздат, 1961.

Поступила в редакцию  
9 октября 1967 г.,  
окончательный вариант —  
7 декабря 1967 г.