

А. М. ЭЛЬБИРТ
(Баку)

БЕСКОНТАКТНЫЙ ТРАНСФОРМАТОРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ КОД — АНАЛОГ

Применение в схеме трансформаторного преобразователя кода в синусно-косинусные напряжения переменного тока [1, 2] бесконтактных коммутационных устройств позволит значительно увеличить срок службы преобразователя.

В качестве коммутационных элементов могут быть использованы транзисторные ключи. Схема транзисторного ключа переменного тока представлена на рис. 1. При подаче на вход ключа напряжений $-6,3$ — -7 в транзисторы T_3 и T_4 входят в насыщение, обеспечивая включение тока в коммутируемой цепи. Составной транзистор T_1 и T_2 является усилителем тока. Равномерное распределение базового тока обеспечивается сопротивлениями R_4 и R_6 . В случае отсутствия сигнала на входе ключа на базы транзисторов T_3 и T_4 подается запирающее положительное напряжение с делителя, образованного сопротивлениями R_2 , R_3 . При этом ток в коммутируемой цепи равен току утечки коллектора транзисторов. В результате лабораторных испытаний ключа получены следующие данные: температурный диапазон работы 0 — $+40^\circ\text{C}$, входной ток менее 1 ма, коммутируемый ток до 150 ма, коммутируемое напряжение до 30 в переменного тока, ток закрытого ключа менее $0,15$ ма, омическое сопротивление открытого ключа $2,20$ ом (в среднем).

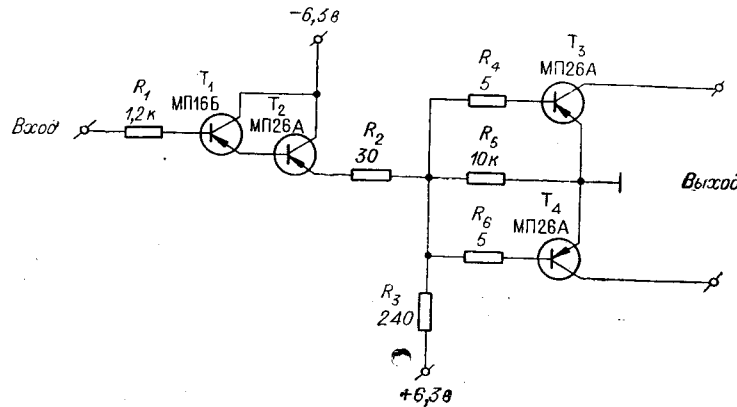


Рис. 1.

Транзисторный ключ имеет гальваническую связь между управляющей и коммутируемой цепями. Управление ключами преобразователя, как правило, производится от регистра или счетчика, имеющих общее питание для всех разрядов. Поэтому во избежание шунтирования отводов трансформаторов между собой необходимо гальванически развязать цепь управления от цепей коммутации.

Одним из методов развязки является применение управляемых блокинг-генераторов между триггерами регистра и транзисторными ключами [3]. Этот метод вызывает необходимость включения в схему 12-разрядного преобразователя не менее 24 блокинг-генераторов. В настоящей статье описан метод развязки цепей с помощью разделения разрядных обмоток в трансформаторах преобразователя.

Схема бесконтактного 12-разрядного преобразователя представлена на рис. 2. Трансформатор Tr_1 и выключатели B_1 — B_6 предназначены для переключения квадратов в соответствии с кодом, содержащимся в 11-м и 12-м разрядах. Переключения производятся в соответствии с таблицей*.

Схему рассмотрим при коде 00 в 11-м и 12-м разрядах. При этом сетевое напряжение подается на трансформатор Tr_3 , первичная обмотка трансформатора Tr_2 закорочена, и он обеспечивает вторичное симметрирование. Трансформаторы Tr_2 и Tr_3 служат для преобразования кода 10-го разряда (45°).

* «+» — выключатель включен, «-» — выключен.

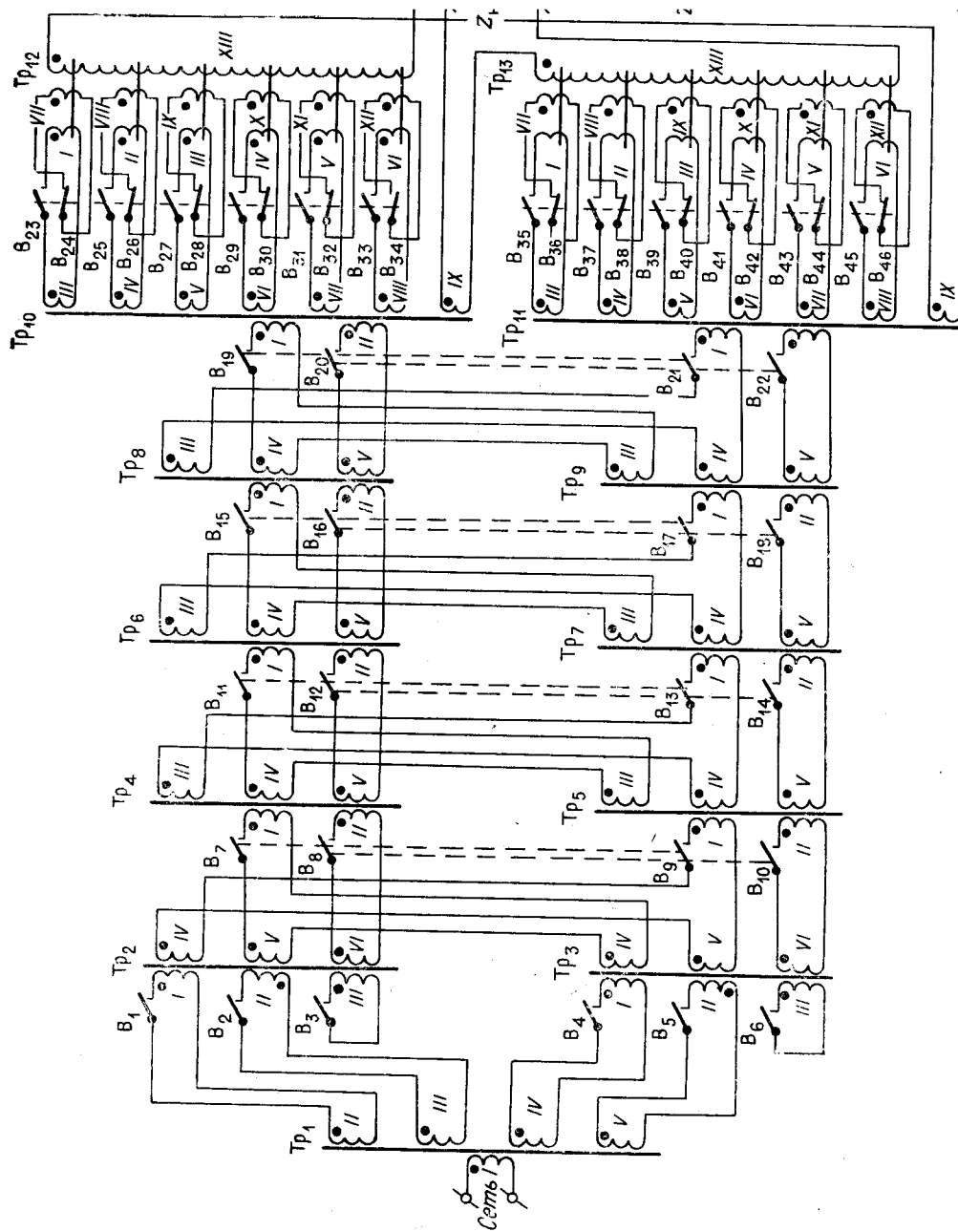


Рис. 2.

Коэффициент трансформации обмоток IV и V Tr_2 и Tr_3 равен $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ$, а коэффициент обмотки VI равен единице. При «1» в 10-м разряде включены выключатели B_7, B_9 и на обмотки I трансформаторов Tr_4, Tr_5 подаются напряжения $U_c \sin 45^\circ, U_c \cos 45^\circ$. При «0» в 10-м разряде включены выключатели B_8, B_{10} и на обмотку I Tr_4 подается $U_c \sin 0 = 0$, а на обмотку I Tr_5 подается $U_c \cos 0 = U_c$. Трансформаторы Tr_4, Tr_5 служат для преобразования кода 9-го разряда ($22^\circ 30'$). Коэффициент трансформации обмоток III равен $\sin 22^\circ 30'$, обмоток IV — $\cos 22^\circ 30'$, обмоток V — $\cos 0$. Коммутация обмоток выключателями $B_{11} - B_{14}$ производится таким образом, что на трансформаторы Tr_6, Tr_7 подаются соответственно напряжения:

$$U_6 = U_c \sin (A \cdot 45^\circ + B \cdot 22^\circ 30'); \quad U_7 = U_c \cos (A \cdot 45^\circ + B \cdot 22^\circ 30'),$$

где A — двоичное значение 10-го разряда; B — двоичное значение 9-го разряда.

Трансформаторы Tr_6, Tr_7 аналогичным образом преобразуют код 8-го разряда (11°15'), а трансформаторы Tr_8, Tr_9 — код 7-го разряда (5°37', 5').

Номер квадранта	Код		Положение выключателей					
	12 p	11 p	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6
I	0	0	—	—	+	+	—	—
II	0	1	+	—	—	—	—	+
III	1	0	—	—	+	—	+	—
IV	1	1	—	+	—	—	—	+

Трансформаторы $\text{Tr}_{10}, \text{Tr}_{11}$ предназначены для преобразования 1—6-го разрядов при линейной аппроксимации синуса [1]. Гальваническая развязка разрядных обмоток $\text{Tr}_{10}, \text{Tr}_{11}$ обеспечивается суммирующими трансформаторами $\text{Tr}_{12}, \text{Tr}_{13}$. Каждый суммирующий трансформатор состоит из шести тороидальных сердечников с первичными обмотками. Вторичная обмотка имеет число витков, равное числу витков

каждой из первичных, и охватывает все шесть сердечников. Если пренебречь потоками рассеяния, то

$$\Phi_{\text{вых}} = \sum_1^6 \Phi_i,$$

где $\Phi_{\text{вых}}$ — магнитный поток, сцепленный со вторичной обмоткой; Φ_i — магнитные потоки, сцепленные с первичными обмотками. Отсюда

$$E_{\text{вых}} = \sum_1^6 E_i,$$

где E_i — э. д. с. соответствующих обмоток. Для выключения сердечников при $E_i = 0$ предназначены специальные обмотки, закорачивающиеся ключами с четными номерами от B_{24} до B_{46} .

Поскольку в каждом каскаде происходит суммирование аргумента синусных и косинусных функций, то выходные напряжения схемы преобразователя пропорциональны синусу и косинусу всего 12-разрядного кода. Выключатели $B_1 - B_{46}$ гальванически развязаны между собой и могут быть заменены транзисторными ключами.

Транзисторные ключи не являются идеальными и вносят дополнительные погрешности в работу преобразователя. Допустим, что открытые ключи представляют собой активное сопротивление, а ток утечки закрытого ключа не зависит от напряжения. Тогда дополнительная погрешность одного каскада преобразователя из-за наличия ключей может быть выражена формулой

$$d \theta_k = \frac{1}{2} \sin 2(\beta + \gamma) U_c \frac{R_{01} - R_{02}}{Z_n} + [\sin(\beta + \gamma) + \cos(\beta + \gamma)] i_3 (R_0 + R_{\text{вх}}), \quad (1)$$

где $\theta_k = \arctg \frac{\sin(\beta + \gamma)}{\cos(\beta + \gamma)}$; β — код, преобразованный предыдущими каскадами;

γ — код, преобразованный рассматриваемым каскадом; R_{01}, R_{02} — сопротивление открытых ключей; Z_n — нагрузка преобразователя; i_3 — ток утечки закрытого ключа; $R_{\text{вх}}$ — сумма сопротивлений обмоток последовательно включенных трансформаторов предыдущих и рассматриваемого каскадов; R_0 — среднее сопротивление открытых ключей.

При подстановке в формулу (1) следующих данных преобразователя: $\beta + \gamma = 45^\circ$, $R_{01} - R_{02} = 0,5 \text{ ом}$, $Z_n = 1000 \text{ ом}$, $i_3 = 0,15 \text{ ма}$, $U_c = 30 \text{ в}$, $R_{\text{вх}} + R_0 = 20 \text{ ом}$ (в среднем) — погрешность составляет $d \theta_k = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ рад} = 1', 4$.

Погрешности отдельных каскадов не зависят друг от друга и могут быть про- суммированы как случайные величины. Отсюда погрешность преобразователя, состоя- щего из шести каскадов, составляет

$$d\theta = \sqrt{6} d\theta_k = 3',5. \quad (2)$$

Для экспериментальной проверки был изготовлен макет со следующими данны- ми: количество разрядов 10, диапазон преобразования от 0 до 90°, вес младшего раз- ряда 5', сетевое напряжение 30 в 400 гц. Точность была проверена путем отработки выходных данных преобразователя следящей системой, состоящей из синусно-косинус- ного вращающегося трансформатора типа ВТ-5 класса А, усилителя УР-16А и двига- теля АДП-1. Угол отработки определялся оптической делительной головкой ОДГ-60 с точностью 20". Погрешность макета с контактной коммутацией (тумблерами) не превышает 5', погрешность макета с транзисторными ключами не превышает 7'.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Эльбирт. Трансформаторный преобразователь код — аналог. — Автомет- рия, 1967, № 1.
2. H. Finden, V. Horglock. The Inductosyn and its Applications.— The Journal of British Institution of Radio Engineers, 1957, № 17, p. 369.
3. К. А. Брусилковский, С. Ю. Элькин и др. Бесконтактное реле на полупроводни- ковых триодах.— Автоматика и телемеханика, 1963, № 5.

Поступило в редакцию
10 мая 1968 г.

УДК 621.3

В. В. КУРОЧКИН
(Новосибирск)

ПРЕЦИЗИОННЫЙ НИЗКОВОЛЬТНЫЙ СТАБИЛИЗАТОР НАПЯЖЕНИЯ

Как показано в [1, 2], построение прецизионного источника напряжения с по- грешностью 0,002% для питания измерительных цепей весьма сложно. Это объясня- ется в основном тем, что временная и температурная нестабильности стабилизаторов напряжения оказываются значительными и превышают допустимые значения этих по- грешностей для источника напряжения с заданной точностью. Особые трудности воз- никают при создании стабилизаторов, когда опорное напряжение больше выходного.

В этой работе рассматривается один из возможных способов построения преци- зионного низковольтного стабилизатора напряжения, разработанного для цифрового вольтметра постоянного тока.

Известно, что построение прецизионных стабилизаторов в случае переменной нагрузки возможно лишь по компенсационной схеме.

Обычная блок-схема источника стабильного напряжения содержит схему сравне- ния (СС) выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ стабилизатора с некоторым опорным напря- жением $U_{\text{оп}}$, разность которых после усиления усилителем постоянного тока (УПТ) управляет регулирующим элементом [1]. В таких стабилизаторах погрешность напря- жения $U_{\text{вых}}$ определяется в основном нестабильностью напряжения $U_{\text{оп}}$ и дрей- фом СС, величины которых в данном случае должны быть менее 0,001%.

СС с высоким температурным коэффициентом (ТК) может быть выполнена на основе дифференциального усилителя постоянного тока [1]. При этом получение аб- солютной температурной нестабильности такого усилителя, приведенной ко входу, по- рядка 300 мкв в диапазоне температур 20—50°С требует специальной схемы термо- компенсации [3]. Такая величина температурного дрейфа СС вызовет изменение напря- жения $U_{\text{вых}}$ на 0,03%, что не позволяет построить стабилизатор напряжения с задан- ной погрешностью.

Наиболее целесообразно применение в качестве СС для прецизионных стабили- заторов интегральных дифференциальных усилителей постоянного тока (см. рисунок). Основными усиливающими элементами являются транзисторы T_1 и T_2 . Транзис- тор T_3 осуществляет стабилизацию суммы эмиттерных токов T_1 и T_2 , термокомпенсация