

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОРОГОВОЙ РАЗНОСТИ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ КОМПАРАТОРОВ

А. П. Стахов

Харьков

Компараторы, или устройства для определения знака разности двух напряжений, в последнее время широко применяются в системах автоматического контроля, технике непрерывно-дискретного преобразования и т. д. По принципу выделения знака разности входных напряжений компараторы делятся на две большие группы: устройства без обратной связи и устройства с обратной связью.

В компараторах первого типа разность входных напряжений выделяется на устройстве типа дифференциального усилителя и с учетом знака подается на усилитель с большим коэффициентом усиления. Чувствительность таких схем пропорциональна количеству активных элементов в усилителе. Большое количество активных элементов является существенным недостатком компараторов без обратной связи.

В компараторах второго типа, называемых регенеративными, разность входных напряжений управляет дифференциальным сопротивлением нелинейного элемента, стоящего в цепи положительной обратной связи релаксационного генератора. Упрощенная принципиальная схема так называемого балансного компаратора с трансформаторной обратной связью изображена на рис. 1.

Разность входных напряжений, приводящую к формированию выходного импульса компаратора, будем называть пороговой $\Delta U_{\text{пор}} = |U_1| - |U_0|$. Условие настройки компаратора на нулевую разность входных напряжений записывается в виде

$$\Delta U_{\text{пор}} = 0.$$

Настройка компаратора, изображенного на рис. 1, производится по следующей методике [1]:

1. Выставляются $U_0 = U_{\text{о настр}}$ и $U_1 \approx 0$.
2. При $R_n = 0$ напряжение U_1 плавно повышается до момента возникновения генерации на экране осциллографа. Замеренная разность входных напряжений является пороговой.
3. Если $\Delta U_{\text{пор}} < 0$, диоды D_1 , D_2 меняются местами, после чего $\Delta U_{\text{пор}} > 0$.
4. Путем увеличения R_n производится ряд последовательных измерений $\Delta U_{\text{пор}}$, пока разность $\Delta U_{\text{пор}}$ не станет равной нулю с заданной погрешностью.

Основной операцией настройки компаратора является измерение разности входных напряжений в момент его срабатывания. При неавтоматическом способе настройки трудность представляет фиксация момента срабатывания компаратора. Обычно этот момент определяется по получению устойчивой генерации компаратора на экране осциллографа. Условие устойчивой генерации может быть записано в виде

$$\Delta U > \Delta U_{\text{пор}}.$$

При приложении к компаратору разности $\Delta U = \Delta U_{\text{пор}}$ компаратор находится на границе устойчивости. При этом на экране осциллографа проскакивают одиночные импульсы. Из приведенных рассуждений можно сделать вывод, что фактически при настройке определяется некоторая разность $\Delta U_{\text{изм}} > \Delta U_{\text{пор}}$, причем степень отличия $\Delta U_{\text{изм}}$ от $\Delta U_{\text{пор}}$ зависит от квалификации настройщика, его состояния и т. д. Поэтому в инструкциях для настройки с целью уменьшения субъективной ошибки измерения обычно предусматривается многократный замер и статистическое усреднение $\Delta U_{\text{пор}}$.

Так как положительная обратная связь замыкается через входную цепь, то при возникновении устойчивой генерации на входной емкости C_1 компаратора возникает постоянная составляющая напряжения, которая приводит к скачкообразному изменению показания измерительного прибора в момент возникновения генерации. Это обстоятельство еще более усложняет работу настройщика, который должен фиксировать величину и знак $\Delta U_{\text{пор}}$ с учетом резкого изменения показаний прибора после возникновения генерации.

По этой причине в массовом производстве настроенный компаратор при проверке зачастую показывает значительное отклонение пороговой разности от нулевого значения. Неточный способ измерения $\Delta U_{\text{пор}}$ вынуждает проектировщиков значительно расширять диапазон допустимых пороговых разностей и, следовательно, резко снижать гарантированную точность сравнения напряжений.

В лаборатории автоматики Харьковского института горного машиностроения, автоматики и вычислительной техники разработан автоматический прибор для измерения разности входных напряжений в момент срабатывания компаратора. Использование прибора в условиях массового производства позволит исключить возможность субъективной ошибки при настройке и контроле компараторов и значительно повысить их качество настройки. Настройка с помощью прибора не требует высокой квалификации.

Блок-схема разработанного прибора представлена на рис. 2. Принцип действия прибора основан на цифровом измерении пороговой разности входных напряжений. Основным узлом преобразователя является двоично-десятичный преобразователь «код — напряжение», состоящий из триггеров $T_1 \div T_9$, переключателей $\Pi_1 \div \Pi_9$, и матрицы суммирующих сопротивлений. Матрица суммирующих сопротивлений представляет собой так называемый точный параллельный дешифратор типа $\Sigma g - 3$ [2], состоящий из четырех декад. При построении декады в основу взят самополняющийся двоично-десятичный код типа 4, 2, 2, 1. Сопротивления $4R, 2R, 2R, R$ двух младших декад связаны с электронными переключателями $\Pi_1 \div \Pi_8$. Третья декада, в которой только одно сопротивление $4R$ связано с переключателем Π_9 , а параллельное соединение остальных сопротивлений ($2R, 2R, R$) заменено сопротивлением $0,5R$ является вырожденной. Сопротивления

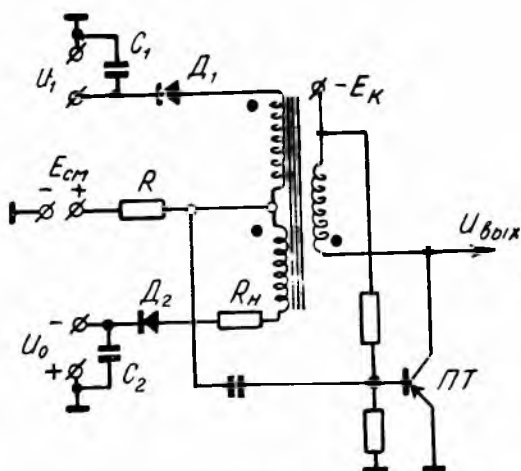


Рис. 1. Схема балансного компаратора с трансформаторной обратной связью.

~~соответствующие~~ декады (4R, 2R, 2R, R) соответственно соединены с переключателями тумблеров $B_4 \div B_7$.

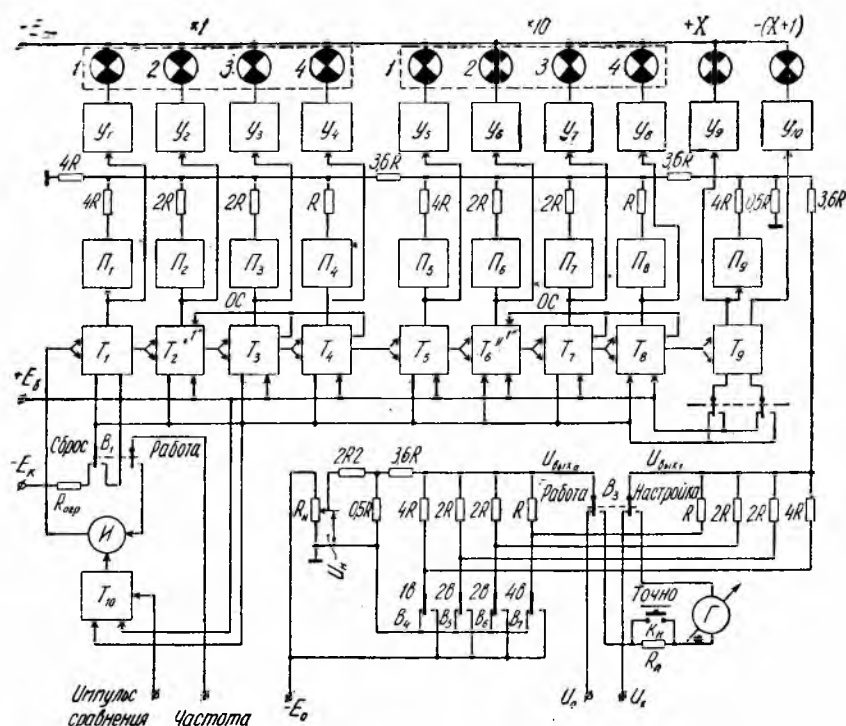


Рис. 2. Блок-схема автоматического прибора для измерения пороговой разности регенеративных компараторов.

В триггерных регистрах декад ($T_1 \div T_4$ и $T_5 \div T_8$) для ликвидации шести избыточных состояний четырехразрядного счетчика введены обратные связи с выходов 2 (рис. 3) триггеров старших разрядов декад (T_3 , T_4 и T_7 , T_8) на входы 1 триггеров T_2 и T_6 .

При поступлении на вход декадного счетчика последовательности импульсов счетчик проходит десять состояний, указанных в таблице.

Таблица

№ импульса \ № разряда	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
2	0	0	1	1	1 ←	1 ←	1 ←	1	1 ←	1
3	0	0	0	0	1 —	1	0	0	1 —	1
4	0	0	0	0	0	0 —	1 —	1	1	1

Стрелками показано действие обратной связи.

Выходное напряжение матричного дешифратора без вырожденных декад зависит от состояния переключателей напряжения.

$$U_{\text{вых}_1} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^4 E_0 a_k X_{ki} 10^{-(n-i+1)},$$

где i — номер декады, начиная с младшей;

n — число декад;

k — номер триггера декады, начиная с младшего;

E_0 — эталонное напряжение;

X_{ki} — двоичная цифра в разряде кода;

a_k — весовой коэффициент.

Для кода 4, 2, 2, 1 весовые коэффициенты разрядов равны

$$a_1 = 1; a_2 = a_3 = 2; a_4 = 4.$$

Дискретность дешифратора равна $l = \frac{E_0}{10^n}$.

При $E_0 = 10$ в и $n = 4$ $l = 1$ мв.

Выходное сопротивление дешифратора постоянно и равно $R_{\text{вых}} = 0,4R$.

При $R = 2,7$ ком $R_{\text{вых}} = 1,08$ ком.

Учитывая вырожденность третьей декады ($X_{23} = X_{33} = X_{43} = 0$), для четырехдекадного дешифратора выражение $U_{\text{вых}_1}$ может быть записано следующим образом:

$$U_{\text{вых}_1} = \frac{E_0}{10^4} \sum_{k=1}^4 a_k X_{k1} + \frac{E_0}{10^3} \sum_{k=1}^4 a_k X_{k2} + \frac{E_0}{10^2} X_{13} + \frac{E_0}{10} \sum_{k=1}^4 a_k X_{k4}.$$

Если при поступлении импульсов на вход декадных счетчиков их состояние изменяется согласно таблице, то из последнего выражения для $U_{\text{вых}_1}$ можно записать выражение для $U_{\text{вых}_1}$ как функции количества импульсов N , поступивших на вход счетчика:

$$U_{\text{вых}_1} = \frac{E_0}{10} \sum_{k=1}^4 a_k X_{k4} + lN,$$

где N изменяется от $N = 0$ до $N_{\text{макс}} = 199$.

Обозначим через N_0 количество импульсов, при поступлении которых происходит перенос единицы в триггер T_9 . Очевидно, что $N_0 = 100$.

Учитывая, что $lN_0 = \frac{E_0}{10^2}$, перепишем выражение для $U_{\text{вых}_1}$ в виде

$$U_{\text{вых}_1} = \left(\frac{E_0}{10} \sum_{k=1}^4 a_k X_{k4} + \frac{E_0}{10^2} \right) + l(N - N_0).$$

Обозначим выражение в скобках через $U_{\text{вых}_0}$. Переноса $U_{\text{вых}_0}$ в левую сторону, получим

$$\Delta U = U_{\text{вых}_1} - U_{\text{вых}_0} = l(N - N_0) = l\Delta N.$$

Последнее равенство положено в основу принципа измерения пороговой разности.

В качестве источника опорного напряжения U_0 используется параллельный дешифратор, состоящий из одной полной и одной вырожденной декады. Сопротивления $4R$, $2R$, $2R$, R полной декады соединены с перекидными контактами тумблеров $B_4 \div B_7$.

Сопротивление $2R$ вырожденной декады соединено со средней точкой настроечного потенциометра $R_n = 100 \text{ ом}$. Выражение для выходного напряжения дешифратора имеет вид:

$$U_{\text{вых}_0} = \frac{E_0}{10} \sum_{k=1}^4 a_k X_{k4} + \frac{2U_n}{10^2},$$

где U_n изменяется от 0 до E_0 .

Автоматический прибор для измерения пороговой разности работает следующим образом. В исходном состоянии тумблер B_1 находится в положении «Сброс». При этом через ограничивающее сопротивление $R_{огр}$ на входы «Сброс» триггеров поступает отрицательный потенциал, перебрасывающий триггеры $T_1 \div T_8$, T_{10} в нулевое состояние. При этом на потенциальный вход логической схемы $И$ поступает разрешающий потенциал. На импульсный вход схемы N через разомкнутый контакт тумблера B_1 импульсы не поступают. Переключением тумблеров $B_4 \div B_7$ из десяти дискретных значений выбирается заданное значение U_0 , после чего происходит согласование уровней $U_{\text{вых}_0}$ и $U_{\text{вых}_1}$. Для этого тумблер B_2 ставится в положение 1, а тумблер B_3 в положение «Настройка», в результате чего сравниваемые напряжения поступают на гальванометр G .

При переброске тумблера B_2 в положение 1 в триггер T_9 записывается единица. Выходное напряжение реального дешифратора при этом имеет вид

$$U_{\text{вых}_1}(1) = \frac{E_0}{10} \sum_{k=1}^4 a_k X_{k4} + \frac{E_0}{10^2} + \delta U,$$

где δU — погрешность реального дешифратора, обусловленная неидеальностью электронных переключателей и неточностью изготовления сопротивлений дешифратора.

Изменением U_n добиваются равенства $U_{\text{вых}_1}(1) = U_{\text{вых}_0}$. Для предотвращения повреждения гальванометра последовательно с его обмоткой введено сопротивление R_n , которое закорачивается кнопкой K_n в режиме согласования уровней. После переключения тумблеров B_2 , B_3 в положение «Работа» прибор подготовлен к измерению пороговой разности. При этом к компаратору прикладывается максимальная отрицательная разность входных напряжений

$$\Delta U_{\text{макс}} = |U_1| - |U_0| = -l \cdot N_0 = -100 \text{ мв.}$$

При переключении B_1 в положение «Работа» на входы «Сброс» триггеров поступает напряжение смещения $+1,5 \text{ в}$ и на вход схемы $И$ подается частота, которая через открытую схему поступает на вход счетчика. В момент срабатывания компаратора импульс сравнения перебрасывает T_{10} в противоположное состояние, схема $И$ закрывается и в счетчике хранится цифровой эквивалент пороговой разности.

Индикация состояния триггеров осуществляется неоновыми лампочками типа $MH-3$. От триггера T_9 , который выполняет функции триггера знака, на вход блока индикации поступают два сигнала — с правого и левого коллекторов. В исходном состоянии горит лампочка — $(\bar{X} + 1)$. Если $N < N_0$, лампочка продолжает гореть. При этом знак пороговой разности отрицательный, а величина пропорциональна обратному коду X регистра $T_1 \div T_8$ плюс единица $(\bar{X} + 1)$. Если $N > N_0$, загорается лампочка $+X$. При этом знак пороговой разности положительный, а величина пропорциональна прямому коду X .

Принципиальная схема одного разряда прибора, включающая триггер T , переключатель Π и усилитель индикации $У$, представлена на рис. 3. Триггер T собран по известной схеме ненасыщенного триггера с нелинейной обратной связью [3]. Особенностью триггера является наличие корректирующего импульсного трансформатора в коллекторных

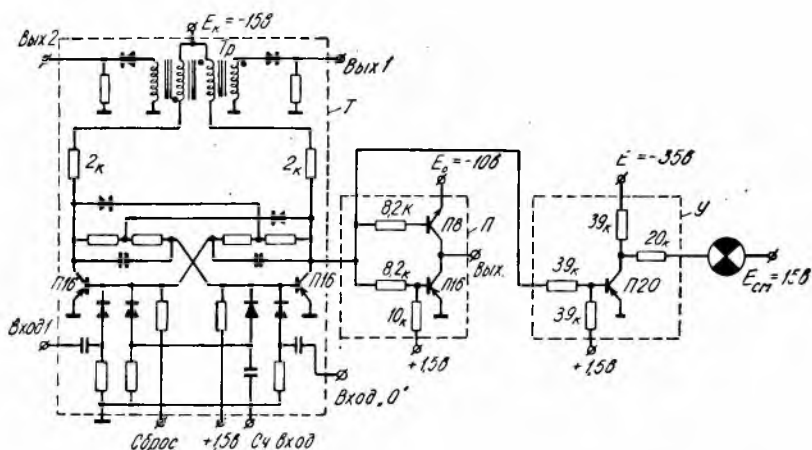


Рис. 3. Принципиальная схема одного разряда преобразователя кода в напряжение с индикацией.

цепях триодов. Применение импульсного трансформатора позволяет просто решить вопрос о создании декадного счетчика с обратными связями.



Рис. 4. Внешний вид прибора.

Обмотки трансформатора намотаны на сердечнике Φ — 1000, число витков $50 \times 50 \times 50 \times 50$. Описание работы переключателя, а также анализ статических и динамических погрешностей подобного преобразователя «код — напряжение» представлены в [1, 4]. Внешний вид разработанного прибора показан на рис. 4.

Техническая характеристика прибора

1. Диапазон измеряемых пороговых разностей ± 100 мв.
2. Измерение пороговой разности может быть произведено в десяти дискретных точках в диапазоне напряжений $0 \div 10$ в.
3. Абсолютная погрешность измерения пороговой разности не превышает 1 мв.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Стахов. Циклический преобразователь «напряжение-код» на полупроводниковых приборах с цепью обратной связи. ГОСИТИ, ПНТПО, 1964.
 2. К. А. Нетребенко. Цифровые автоматические компенсаторы, Госэнергоиздат, 1961.
 3. Б. Н. Кононов. Симметричные триггеры на плоскостных полупроводниковых приборах. Госэнергоиздат, 1960.
 4. А. П. Стахов. Об ошибках циклического преобразователя «напряжение-код» с цепью обратной связи на полупроводниковых приборах. Вопросы радиоэлектроники, т. XII, серия общетехническая, вып. 4, 1964.
-