

УСТРОЙСТВО УРАВНОВЕШИВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТИПА ДЛЯ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Е. С. Кустов, В. Д. Романцов, А. Е. Тонкаль

Киев

В настоящее время одним из наиболее перспективных преобразователей напряжения в код является преобразователь с поразрядным уравновешиванием, точность которого определяется точностью и стабильностью аналоговых узлов: нуль-индикатора и преобразователя кода в напряжение. Существует большое количество различных схем этих узлов, каждая из которых имеет свои достоинства и недостатки.

Для преобразователей с точностью порядка 0,1—0,5% в качестве нуль-индикатора представляется наиболее целесообразным выбрать схему усилителя постоянного тока с дифференциальным усилением. Несмотря на относительную сложность, нуль-индикатор с дифференциальным УПТ выгодно отличается от других, более простых нуль-органов (например, триггер Шмитта либо диодно-регенеративные схемы), хорошими частотными и температурными характеристиками, большим входным сопротивлением и высокой чувствительностью, а также малым дрейфом порога срабатывания. Преобразователь кода в напряжение для указанной выше точности лучше всего собирать по схеме с источниками тока в узлах декодирующей сетки $R-2R$. Она позволяет применить для коммутации источников тока простые ключи, не требующие глубокого насыщения, что обеспечивает повышение частотного предела преобразователя.

Выбранные схемы дают возможность собрать аналого-цифровой преобразователь полностью на потенциальных элементах без согласующих источников напряжения и с присоединением входа и выхода преобразователя к одной нулевой шине. С учетом этого в Институте автоматики было разработано устройство уравновешивания потенциального типа, состоящее из преобразователя двоичного параллельного кода в напряжение постоянного тока и нуль-индикатора. Описываемое устройство предназначено для аналого-цифрового преобразователя, входящего в состав вычислительного устройства автоматического взвешивания железнодорожных вагонов в движении.

Основные технические характеристики:

Величина поступающего с датчика входного напряжения 0—7,5 в.
Входное сопротивление нуль-индикатора в режиме компенсации (при разбалансе $\Delta U = 60$ мв) $R_{вх. н. о.} \geq 2,6$ мом.

Количество разрядов — 8 параллельных двоичных.

Точность преобразования $\delta = \pm 0,3\%$.

Минимальное время преобразования одного разряда $t_{пр. мин} = 40$ мксек.

Величина управляющих сигналов на входах ключей $U_{упр. вх} = (-0,5) - (-12)$ в.

Входное сопротивление ключей $R_{\text{вх. кл.}} \geq 80 \text{ ком.}$

Величина выходного сигнала нуль-индикатора $U_{\text{вых}} = 0 - (-10) \text{ в.}$

Рабочий диапазон окружающих температур $(+5) - (+50)^\circ \text{C.}$

Функциональная схема описываемого устройства приведена на рис. 1. Блок управления аналого-цифрового преобразователя должен обеспечивать последовательное подключение источников тока ИТ1-ИТ8 посредством ключей кл1—кл8 к соответствующим узлам декодирующей сетки $R-2R$, начиная со старшего разряда 2^7 .

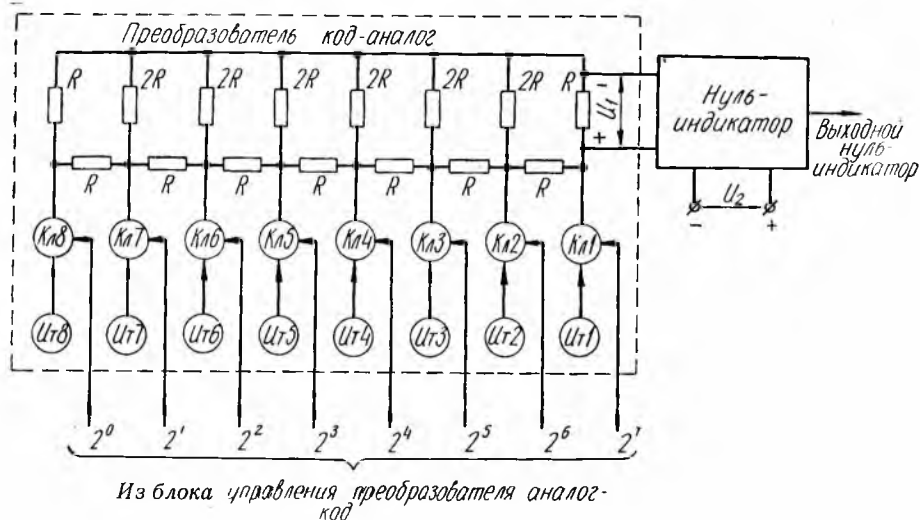


Рис. 1. Функциональная схема устройства уравнивания.

Напряжение U_1 , снимаемое с выхода декодирующей сетки, подается на один из входов нуль-индикатора, на второй вход которого подается измеряемое напряжение U_2 . Результат сравнения этих двух напряжений в виде потенциала 0 или -10 в с выхода нуль-индикатора поступает в блок управления преобразователя аналого-код для осуществления логических операций включения или отключения соответствующего разряда.

Принципиальная электрическая схема нуль-индикатора приведена на рис. 2. Усилитель постоянного тока нуль-индикатора представляет собой сочетание дифференциального (транзисторы ПП1, ПП2, ПП3, ПП4) и разностного (транзисторы ПП6, ПП7) усилителей. В схему введен дополнительный транзистор ПП5, на базу которого подается отрицательная обратная связь из эмиттерной цепи разностного усилителя. Обратная связь, действующая только для общего сигнала, уменьшает дрейф, не снижая при этом полного коэффициента усиления, и увеличивает входное сопротивление усилителя.

Применение кремниевых транзисторов в дифференциальном каскаде позволяет получить малый дрейф в диапазоне температур $(+5) - (+50)^\circ \text{C.}$ Диодная цепочка Д6, Д7 в дифференциальном усилителе представляет собой ограничитель разности входных напряжений.

Коэффициент усиления равен 1000 в момент минимального разбаланса напряжений на входе $\Delta U = U_2 - U_1 = 5 \text{ мв.}$ Выходной сигнал дифференциального усилителя снимается с обоих сопротивлений нагрузки: R_3 и R_6 . Это симметричное напряжение преобразуется в несимметричное в разностном усилителе. Выходной каскад нуль-индикатора — эмиттерный повторитель, в нагрузке (3,9 ком) которого стабилитроны Д10, Д11, Д12,

Д13, Д14 обеспечивают нормированный по амплитуде сигнал: 10 в при $U_1 > U_2$ и 0 при $U_1 < U_2$. Напряжение питания нуль-индикатора 48 в с точностью поддержания $\pm 1\%$. В схеме применен делитель напряжения на стабилитронах Д1, Д2, Д3, Д4, Д5. Ток, потребляемый нуль-индикатором, $I_{\text{потр}} = 28 \text{ ма}$.

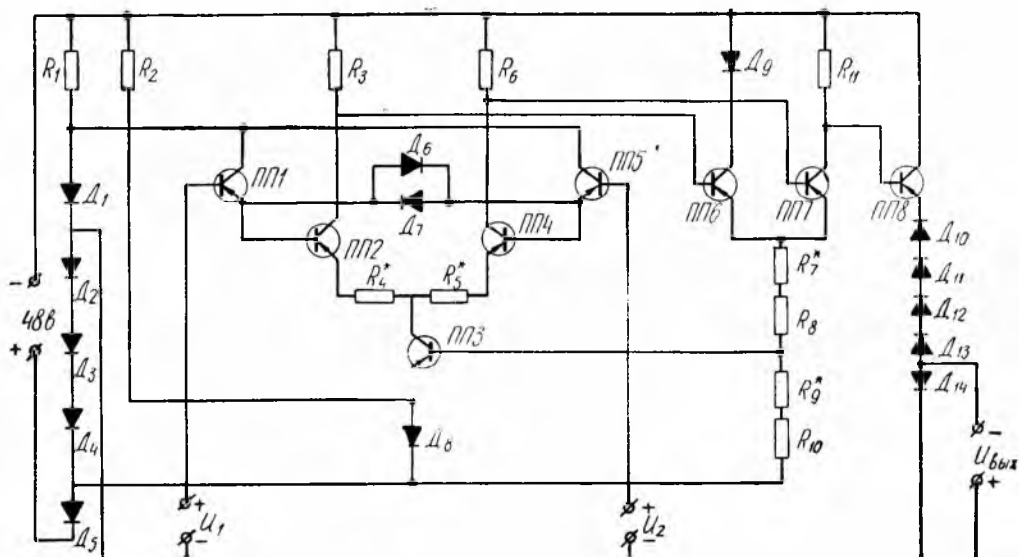


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема нуль-индикатора:

$R_1 = 430 \text{ ом}$; $R_2 = 18 \text{ ком}$; $R_3 = 30 \text{ ком}$; $R_4 = R_5 = 120 \text{ ом}$; $R_6 = 30 \text{ ком}$; $R_7 = 1 \text{ ком}$; $R_8 = 10 \text{ ком}$; $R_9 = 400 \text{ ом}$; $R_{10} = 5,6 \text{ ком}$; $R_{11} = 10 \text{ ком}$; Д1 ÷ Д5 — диоды Д808; Д6, Д7 — диоды Д220; Д8, Д9, Д14 — диоды Д811; Д10 ÷ Д13 — диоды Д808; ПП1, ПП2, ПП4, ПП5 — транзисторы П106; ПП3, ПП6, ПП7, ПП8 — транзисторы П42Б.

Результаты испытаний приведены в табл. 1 и на рис. 3, где даны зависимости входного сопротивления $R_{\text{вх}}$ от величины разбаланса ΔU при разных уровнях входных напряжений. Эти результаты справедливы в диапазоне температур от $+5$ до $+50^\circ\text{C}$. Погрешность нуль-индикатора составляет $\leq 0,1\%$ во всем диапазоне входных напряжений при высоком входном сопротивлении.

Таблица 1

Уровень входных на- пряжений	20, мв		3,5, в		4,5, в		5,5, в		6,5, в		7,5, в	
$U_{\text{вх.}}$ в	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10
ΔU , мв	5	-4	5	-4	4	-6	3,5	-6,5	3	-7	3	-7

Принципиальная схема преобразователя код-аналог представлена на рис. 4. В состав преобразователя входят восемь источников тока ИТ с диодно-транзисторными коммутирующими ключами, суммирующая сетка сопротивлений $R-2R$ и источник опорного напряжения ИОН. При подаче сигнала «1» (потенциал $(-7)-(10) \text{ в}$) на ключ определенного разряда последний переключает ток источника в соответствующий узел

суммирующей сетки. С выхода сетки снимается сумма напряжений, создаваемых токами источников. При отсутствии сигнала «1» (сигнал «0») на шине какого-либо разряда ключ переключает ток источника на балластное сопротивление R_b .

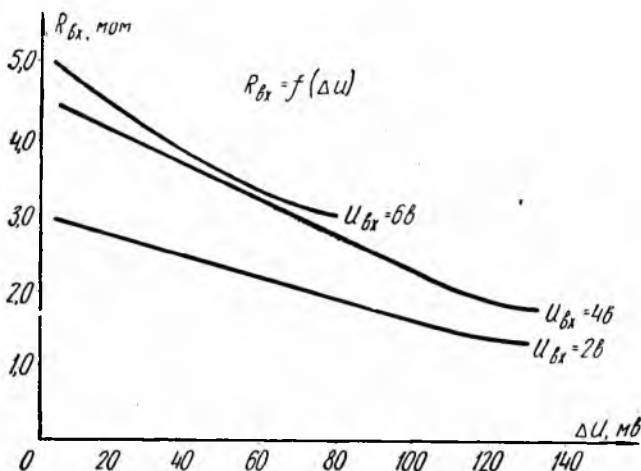


Рис. 3. Зависимости входного сопротивления $R_{вх}$ от величины разбаланса ΔU .

Диапазон напряжений, снимаемых с суммирующей сетки, равен 0—7,5 в. Источники тока собраны на кремниевых (П106) и германиевых (П42Б) транзисторах по схеме стабилизатора на транзисторе с общей базой. Для увеличения внутреннего сопротивления источников используется составной транзистор (ПП1 и ПП2), у которого управляющий кремниевый транзистор П106 определяет малую величину обратного коллекторного тока I_k . Величина тока каждого источника устанавливается постоянным сопротивлением R_1 типа БЛП с точностью 0,5% и подгоночным сопротивлением R_2 , изготовленным из манганина. Внутреннее сопротивление источников равно 620 ком. В источнике опорного напряжения диоды Д1—Д6 служат для термокомпенсации. Суммирующая сетка $R=2R$ собрана из сопротивлений БЛП величиной 1,5 и 3 ком с точностью 0,5%. Эквивалентное сопротивление сетки — 1 ком.

Основными элементами ключа (кл1—кл8) являются переключающие диоды Д5 и Д6 (диоды типа Д220), а также управляющий транзистор ПП2 (транзистор типа П37Б). Диоды Д220 имеют большое сопротивление в обратном направлении, что устраняет взаимное влияние источников.

Диод Д3 (стабилитрон Д813) ограничивает коллекторное напряжение на транзисторе ПП2. Сопротивление R_b , сопротивление коллектор-эмиттер открытого транзистора ПП2 и сопротивление диода Д5 в прямом направлении в сумме составляют около 1 ком, поэтому при переключении тока с суммирующей сетки на транзистор ПП2 и обратно режим работы источников тока не меняется, что повышает стабильность работы преобразователя. Диод Д2 (типа Д9К) предотвращает включение стабилитрона Д813 (диод Д3) в прямом направлении при открытом транзисторе ПП2. Эмиттерный повторитель ПП1 является согласующим элементом.

Напряжение питания и потребляемые токи:

$$\begin{array}{ll} E_1 = 24 \text{ в} \pm 1\%; & I_1 = 120 \text{ ма}; \\ E_2 = 12 \text{ в} \pm 10\%; & I_2 = 28 \text{ ма}; \\ E_3 = 6 \text{ в} \pm 10\%; & I_3 = 120 \text{ ма}. \end{array}$$

Для измерения выходного напряжения U_1 использовался потенциометр Р307 класса 0,015 с делителем напряжения Р403 класса 0,05.

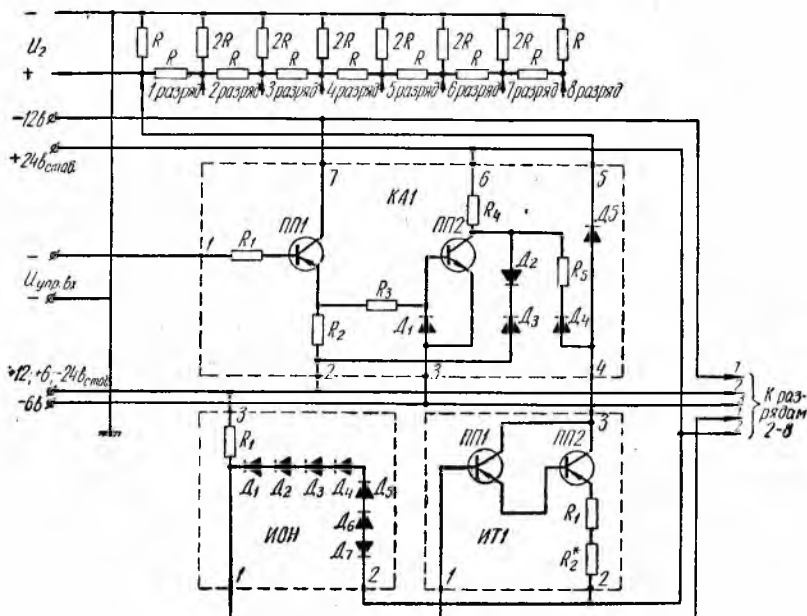


Рис. 4.

$R = 1,5$ ком; $2R = 3$ ком; ИОН: $R_1 = 1,5$ ком; Д1 + Д6 — диоды Д811; Д7 — диоды Д-808. ИТ1: $R_1 = 3$ ком; $R_2 = 120$ ом; ПП1 — транзисторы П106; ПП2 — транзистор П42Б. КЛ1: $R_1 = 1$ ком; $R_2 = R_4 = 3,3$ ком; $R_3 = 2,7$ ком; $R_5 = 910$ ом; Д1, Д2 — диоды Д9К; Д3 — диод Д813; Д4, Д5 — диоды Д220; ПП1 — транзистор П42Б; ПП2 — транзистор П37Б.

Таблица 2

№ разряда	1	2	3	4	5	6	7	8
Напряжение на выходе U_1 , в	3,765	1,883	0,941	0,470	0,235	0,117	0,058	0,029

Таблица 3

№ разряда	1	2	3	4	5	6	7	8	$U_{\text{вых}}$ опытное, в	$U_{\text{вых}}$ тео- ретичес- кое, в	Погреш- ность Δ , мВ
Суммируемые разряды	+	+	+	+	+	+	+	+	7,505	7,500	+5
	+	+	+	+	+	+	+	+	7,061	7,059	+2
	+	+	+	+	+	+	+	+	6,589	6,588	+1
	+	+	+	+	+	+	+	+	5,648	5,647	+1
	+	+	+	+	+	+	+	+	3,799	3,794	+5
	+	+	+	+	+	+	+	+	3,271	3,265	+6
	+	+	+	+	+	+	+	+	5,005	5,000	+5
	+	+	+	+	+	+	+	+	2,504	2,500	+4
	+	+	+	+	+	+	+	+	6,095	6,088	+7
	+	+	+	+	+	+	+	+	3,741	3,735	+6
			+	+	+	+	+	+	0,444	0,441	+3
									1,767	1,764	+3

В табл. 2 даны значения выходных напряжений каждого разряда преобразователя, в табл. 3 — результаты суммирования отдельных разрядов.

дов, где знаком «+» обозначены номера суммируемых разрядов. Результаты измерений соответствуют температуре 20°С. Погрешность суммирования составляет $\delta \leq 0,1\%$ и сохраняется в диапазоне температур от +5 до +50°С. Совместные испытания нуль-индикатора и преобразователя код-аналог показали, что результирующая погрешность всего устройства по уравниванию измеряемых напряжений в диапазоне 0—7,5 в не превышает $\pm 0,3\%$ во всем диапазоне температур. Для повышения стабильности работы преобразователя во времени в суммирующей сетке $R - 2R$ желательно вместо сопротивлений БЛП применить сопротивления, изготовленные из манганина.

Таким образом, описанное устройство можно рекомендовать для применения в аналого-цифровых преобразователях с точностью $\delta = 0,3 - 0,5\%$ и частотой преобразования $\approx 2 - 5$ кГц.
