

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ В КОД

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

Киев

Преобразователи напряжения в код применяются в цифровых системах автоматического контроля, сбора и обработки данных, в автоматических цифровых системах управления, а также в устройствах телеизмерения.

В настоящее время создаются условия для унификации преобразователей по их основным параметрам и характеристикам. С точки зрения промышленного применения перспективными являются преобразователи напряжения в код с поразрядным сравнением. Применение в последних обратной связи по коду, охватывающей весь преобразователь, повышает их стабильность. В Институте автоматики разработан преобразователь напряжения в код указанного типа, предназначенный для преобразования в цифровую форму унифицированных сигналов датчиков. Основные технические характеристики преобразователя следующие.

а) Пределы преобразования — напряжение постоянного тока в диапазоне 0—10 в.

б) Точность преобразователя (основная погрешность) — не ниже 0,25 %.

в) Входное сопротивление в режиме компенсации — не менее 200 ком.

г) Быстродействие — порядка 2000 преобразований параметров в секунду.

д) Выходной код десятиразрядный, параллельный, двоичный.

Для повышения надежности и быстродействия в преобразователе используются потенциальные модули типа «Мир-1», разработанные Институтом кибернетики АН УССР.

Функциональная схема преобразователя приведена на рис. 1. Пуск производится автоматически или от руки. Сигнал U_x , поступающий на вход, сравнивается с сигналом U_k , который вырабатывается блоком компенсатора. Сигнал U_k пропорционален весовому коэффициенту кода и изменяется в соответствии с заложенной в блоке управления программой. Сигналы сравниваются при каждом изменении сигнала U_k , приближающегося к сигналу U_x . На первом такте цикла преобразования напряжение U_k пропорционально весовому коэффициенту старшего разряда кода. Если U_k больше U_x и разность превышает чувствительность нуля-органа, то разряд отключается. Если U_k меньше U_x , разряд остается включенным. На очередном такте сигнал U_x сравнивается с сигналом U_k , равным новому весовому коэффициенту с учетом смежного со старшим разряда. Работа преобразователя на последующих тактах аналогична первым двум. Вслед за этим выдается сигнал разрешения U_p съема кода, эквивалентного преобразуемому напряжению.

Преобразователь состоит из блока управления, регистра, компенсатора и нуля-органа. Генератор импульсов собран по схеме мульти-вibratorа, работает на частоте 60 кГц, синхронизирует работу всего преобразователя и управляет поразрядным сравнением на каждой сту-

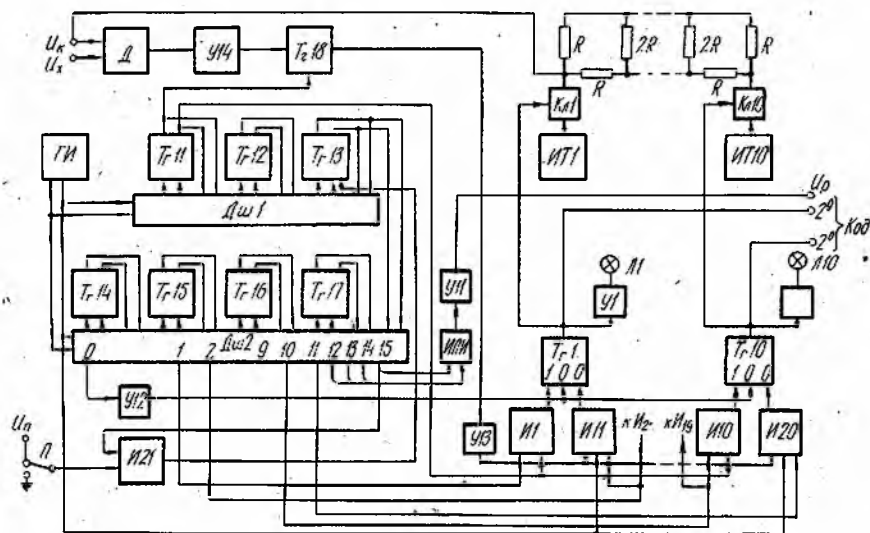


Рис. 1. Функциональная схема преобразователя напряжение — код: ГИ — генератор импульсов; Тг — триггер, И — схема совпадения; ИЛИ — схема разделения; Дш — дешифратор; У — усилитель; Л — лампа индикации; ИТ — источник тока; Кл — ключ; Д — дифференциальный каскад; П — переключатель пуска; U_p — потенциал пуска; U_p — потенциал разрешения съема кода; U_x — входное напряжение; U_k — компенсирующее напряжение.

пени преобразования. Команды из блока управления поочередно поступают в соответствующие разряды регистра кода, которые управляют схемой компенсатора, формирующей напряжение U_k , эквивалентное коду. Цикл преобразования начинается возбуждением выхода «0» распределителя для приведения регистра в нулевое положение. Каждый разряд обрабатывается на соответствующей ламели распределителя (Ш1, Ш2 и т. д.).

Это иллюстрируется для двух старших разрядов рис. 2, на котором приведена временная диаграмма. Каждая шина распределителя возбуждена на протяжении четырех полупериодов ГИ. Как видно из рис. 2, на протяжении первого полупериода ГИ предыдущий разряд отключается при наличии перекомпенсации ($U_k > U_x$). На протяжении второго и третьего полупериода выходной триггер нуля-органа Тг18 возвращается в исходное состояние, на протяжении четвертого полупериода вводится очередной разряд кода и т. д.

Блок управления состоит из двух каскадных распределителей, первый из которых тактирует работу преобразователя в пределах одного разряда, а второй — в пределах всего цикла преобразования. Как видно из схемы, приведенной на рис. 3, триггеры распределителя переключаются цепями обратной связи от дешифратора. Благодаря этому расход триггеров и диодов примерно такой же, как и в схемах с импульсно-потенциальными связями. Преимущество же схемы с потенциальными связями — в ее надежности и помехоустойчивости.

На рис. 4 приведена принципиальная схема одного разряда регистра кода. Триггер $Tg1$ состоит из двух модулей $Г1^м$. Выход 13 каждого из них соединен со входом 3 другого модуля. $Tg1$, как и все остальные триггеры регистра кода, устанавливается в нулевое состояние

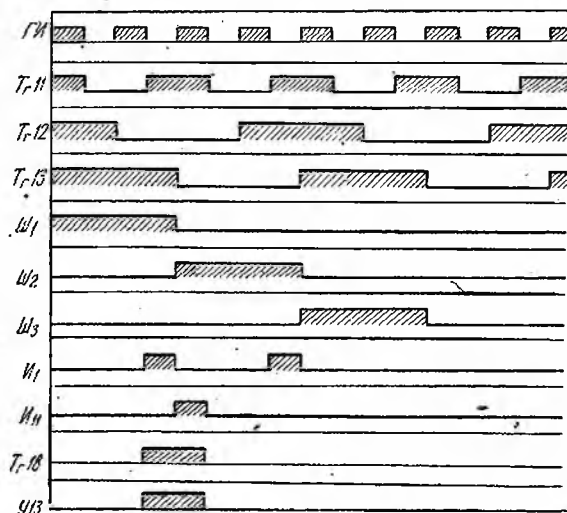


Рис. 2. Временная диаграмма.

установки регистра в нуль, $У13$ — выдачи сигнала от нуля-органа, $У11$ — выдачи разрешающего потенциала на съём кода — применены модули $И2^м$ с большой нагрузочной способностью. Схемы

под действием потенциала от выходной шины усилителя $У12$ в начале цикла преобразования. Затем потенциалом с выхода схемы $И1$ триггер 1 устанавливается в положение 1 и выдает разрешающий потенциал на клемму K , к которой подключается цепь ключевого триода блока компенсатора, управляющего соответствующим источником тока. В случае перекомпенсации ($U_k > U_x$) при совпадении потенциалов на входах схемы $И11$ триггер 1 возвращается в исходное состояние. В качестве усилителей: $У12$ —

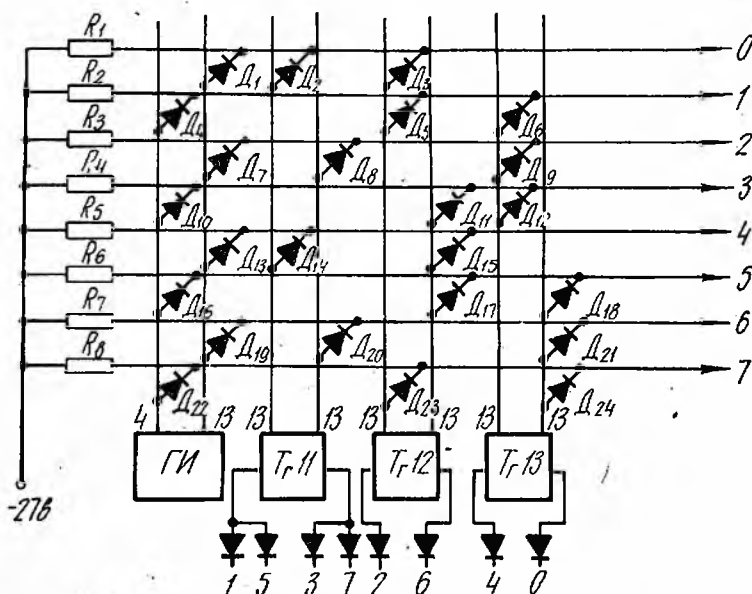


Рис. 3. Схема распределителя.

совпадения выполнены на модулях $Д1^м$. Код индицируется при помощи модулей $С1^м$ с индикаторными лампами СМ-37.

Блок компенсатора принимает команды от триггеров регистра на включение и отключение источников тока разрядов кода, а также фор-

мирует в соответствии с весовыми коэффициентами компенсирующее напряжение U_k , которое поступает на вход нуля-органа. В состав блока входят источники тока ИТ1—ИТ10 с высоким выходным сопротивлением и суммирующая схема $R-2R$, формирующая напряжение U_k .

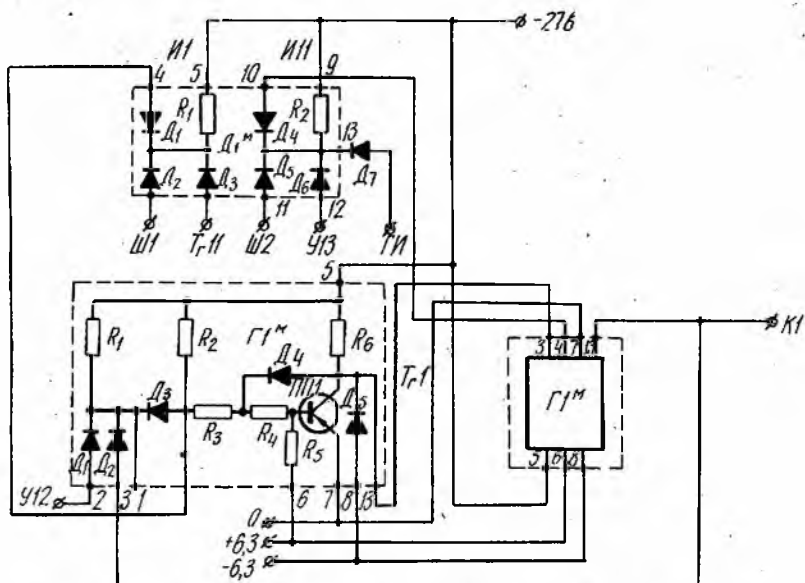


Рис. 4. Схема разряда регистра с логикой. Модуль Д1М; $R_1 = R_2 = 10$ ком; $D_1 - D_7$ — диод Д9К. Модуль Д9К; $R_1 = R_6 = 10$ ком; $R_2 = 56$ ком; $R_3 = 2,2$ ком; $R_4 = 680$ ом; $R_5 = 6,2$ ком; $D_1 - D_5$ — диод Д9К; ПП1 — транзистор П42А; Ш1 — ламель распределителя первого разряда кода; Ш2 — ламель распределителя второго разряда кода.

Источники тока имеют преимущества перед другими источниками эталонных величин, так как каждый из них легко поддается индивидуальной настройке, обеспечивающей высокую точность работы схемы даже при некотором разбросе значений суммирующих сопротивлений. Благодаря высокому выходному сопротивлению примененных источников тока (порядка нескольких мегом) не требуется сложных ключевых схем при коммутации нагрузки суммирующей схемы.

Суммирующая схема $R-2R$ представляет собой дискретный делитель, состоящий из точных и стабильных сопротивлений. Эта схема одинаково нагружает все ИТ независимо от номера разряда, однако доля напряжения, вносимая каждым источником тока в выходную цепь, точно соответствует его разрядному весу. Эквивалентное сопротивление, на которое нагружен любой источник тока, равно $\frac{2}{3}R$. Погрешность преобразователя определяется в основном погрешностью δU_k . Поскольку $U_k \approx I_{\text{ист.т}} R_{\text{эв.}}$,

$$\delta U_k \approx R_{\text{эв.}} \delta I_{\text{ист.т}} + I_{\text{ист.т}} \delta R_{\text{эв.}}$$

Кроме того, возникает погрешность при сравнении напряжений посредством нуля-органа, которая составляет $\approx 5 \cdot 10^{-4}$.

Общая погрешность преобразования не превышает 0,25% ($2,5 \times 10^{-3}$), основная ее часть падает на суммарную погрешность источников тока $\delta I_{\text{ист.т}}$, составляющую $\approx 1,5 \cdot 10^{-3}$.

Величина δR определяется нестабильностью во времени (старением) эталонных сопротивлений, так как разброс величин сопротивлений не учитывается примененной методикой настройки. Величина δR , определяемая старением сопротивлений, обычно имеет такой же поря-

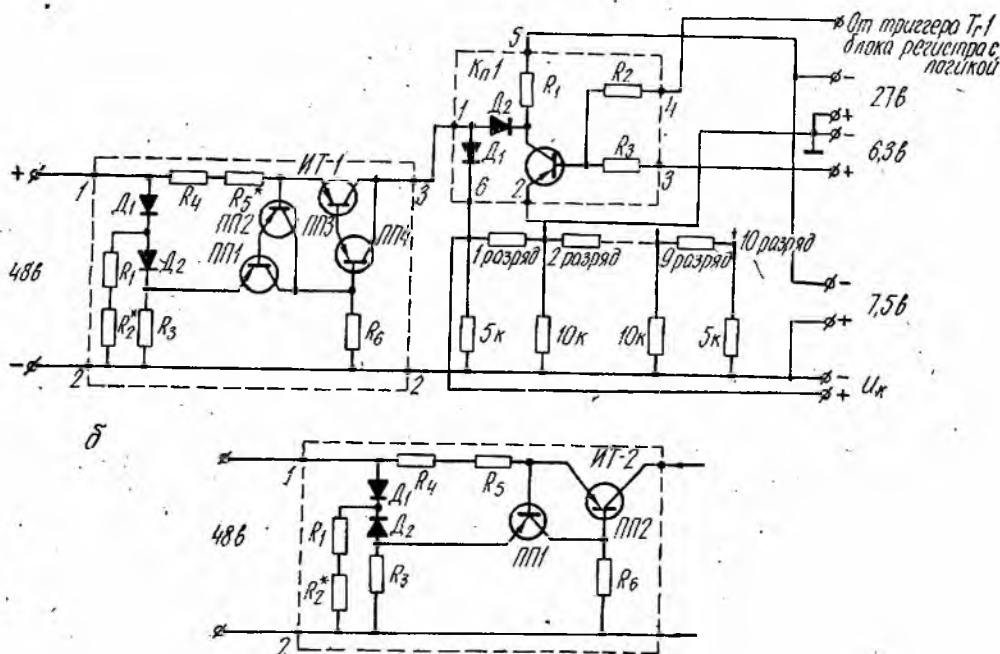


Рис. 5. Схема разрядного элемента блока компенсатора:

а — схема старшего разряда блока компенсатора: источник тока — $R_1 = 20$ ком; $R_2 = 10$ ком, $R_3 = 7,5$ ком, $R_4 = 5,5$ ком; D_2 — кремниевый стабилитрон Д811; ПП1—ПП4 — кремниевые транзисторы П104; ключ КЛ1 — $R_1 = 3,3$ ком; $R_2 = 3,3$ ком, $R_3 = 10$ ком, D_1, D_2 — кремниевые диоды Д220 (Д223).
б — схема источника тока ИТ-2: $R_1 = 20$ ком, $R_2 = 10$ ком, $R_3 = 7,5$ ком, $R_4 = 5,5$ ком, $R_5 = 200$ ом, $R_6 = 51$ ком, D_1 — кремниевый стабилитрон Д808; ПП1—ПП2 — кремниевые транзисторы П104; D_2 — кремниевый стабилитрон Д811.

док, что и разброс, т. е. составляет для примененных сопротивлений $\approx 5 \cdot 10^{-4}$.

Схема старшего разряда компенсатора приведена на рис. 5, а и состоит из источника тока ИТ1, ключа КЛ1 и нагрузки $R-2R$. Источник тока включает источник опорного напряжения, собранный на кремниевом стабилитроне D_2 , чувствительный усилительный элемент, выполненный на составном транзисторе ПП1—ПП2, и регулирующий элемент на составном транзисторе ПП3—ПП4. Термокомпенсация в цепи D_2 осуществляется включением диода D_1 в прямом направлении. Усилительный элемент по входу связан с нагрузкой и источником опорного напряжения, а по выходу — с регулирующим элементом. Изменение тока нагрузки воздействует на вход УПТ, а на выходе его вырабатывается сигнал разбаланса, изменяющий внутреннее сопротивление регулирующего элемента. Этим объясняется поддержание неизменным тока нагрузки в пределах заданной погрешности. Источники тока коммутируются ключами КЛ1—КЛ10. Для ключа выбран кремниевый транзистор П104. С целью максимального уменьшения времени переходных процессов при переключении источников тока сопротивление нагрузки R_1 принято равным $R_{зкр}$ (3,3 ком).

Элементы входного делителя ключа выбраны таким образом, что обеспечивается режим открывания и закрывания транзистора при нормированных перепадах коммутирующих потенциалов: «0» — от 0 до 1,5 в, «1» — от 6,3 до 7,5 в. Выбрано: $R_2 = 3,3 \text{ к}$, $R_3 = 10 \text{ ком}$. Ключевые

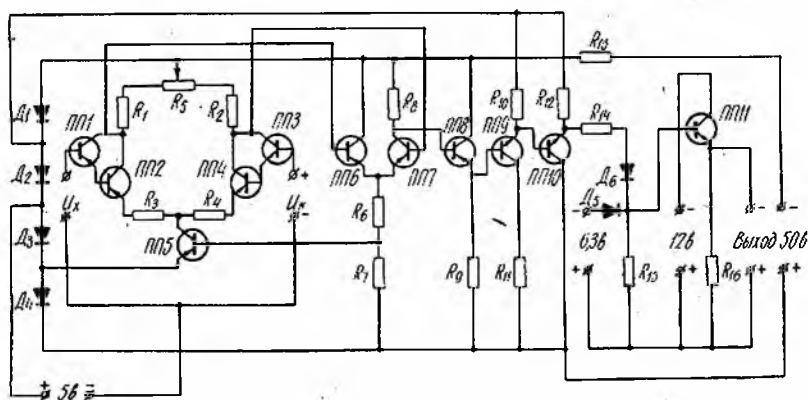


Рис. 6. Схема нуля-органа:

ПП1—ПП5 — транзисторы П416; ПП6—ПП8 — транзисторы П106; ПП9 — ПП10 — транзисторы П101; ПП11 — транзистор П16Б; $R_1 = 33 \text{ ком}$; $R_2 = 33 \text{ ком}$; $R_3 = R_4 = 110 \text{ ом}$; $R_5 = 10 \text{ ком}$; $R_6 = 45 \text{ ком}$; $R_7 = 30 \text{ ком}$; $R_8 = 56 \text{ ком}$; $R_9 = R_{11} = 39 \text{ ком}$; $R_{10} = 750 \text{ ом}$; $R_{12} = 5,6 \text{ ком}$; $R_{13} = 820 \text{ ом}$; $R_{14} = 10 \text{ ком}$; $R_{15} = 20 \text{ ком}$; $R_{16} = 390 \text{ ом}$; D_1, D_2, D_4 — Д808, $D_3 = Д811$, $D_5 = Д9К$, $D_6 = Д810$.

диоды взяты кремниевые типа Д220 (Д223) с большим обратным сопротивлением. При $t = 25^\circ \text{С}$ $R_{обр} = 80 \text{ мом}$. Прямое сопротивление ключевого диода составляет 150—500 ом. Считая $\delta R_{пр} = 100 \text{ }\Omega$ и принимая среднюю величину выходного сопротивления источника тока равной $R_{вых ИТ} = 2 \text{ мом}$, находим, что погрешность, связанная с падением напряжения на ключевом диоде,

$$\delta U_{вых} \approx \frac{\delta R_{пр}}{R_{вых} ИТ} \approx \frac{100}{2 \cdot 10^6} \approx 0,5 \cdot 10^{-4}.$$

Этой величиной можно пренебречь.

При подаче на вход ключа потенциала — 6,3 в от триггера Тг1 транзистор ПП1 открывается, при этом диод Д2 закрывается и ток от источника ИТ1 поступает через открытый диод Д1 в схему $R-2R$, создавая в узле этой схемы потенциал положительной полярности 5 в. Потенциал — 1,5 в от триггера Тг1 закрывает транзистор ПП1, в результате чего диод Д2 открывается и на аноде Д1 оказывается потенциал, который закрывает его.

В делителе $R-2R$ блока компенсатора применены стабильные во времени сопротивления МВС из марганинового микропровода, изготовленные с точностью $\delta = \pm 0,05\%$ и номинальными значениями 10 и 5 ком. Необходимая степень термокомпенсации достигается выбором стабилизатора Д1 и подбором сопротивления R_5^* .

Описанные точные источники тока применены в старших разрядах, погрешность которых больше всего сказывается на точности преобразования. В младших разрядах (с 7-го по 10-й) применены более простые источники тока ИТ2 на двух кремниевых транзисторах. Схема источника тока ИТ2 приведена на рис. 5, б. Термокомпенсация осуществляет-

ся аналогично источнику ИТ1. Величину β транзисторов желательно выбирать равной не менее 10.

На рис. 6 приведена схема нуля-органа. Это усилитель постоянного тока с дифференциальным усилением входных сигналов. Он сравнивает входное напряжение U_x с напряжением U_k и выдает сигнал в блок регистра, если $U_k > U_x$. Сравнение напряжений производится входным дифференциальным каскадом [1, 2].

Для увеличения входного сопротивления и улучшения чувствительности оба плеча дифференцирующего каскада собраны по схеме составного транзистора (ПП1—ПП2, ПП3—ПП4). Транзистор ПП5 работает в токоограничивающем режиме и улучшает стабильность схемы. Транзисторы ПП6 и ПП7 представляют собой разностный усилитель с отрицательной обратной связью, охватывающей как разностный, так и дифференциальный усилители. После усиления транзисторами ПП8—ПП10 сигнал попадает на цепочку двухстороннего ограничения, состоящую из диода Д5 и стабилитрона Д6. Сформированный выходной сигнал подается через эмиттерный повторитель ПП11 на триггер Тг18 (рис. 1).

Ниже приводятся данные испытания преобразователя. Испытывался лабораторный макет преобразователя при $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ$. Исследования показали, что он удовлетворяет поставленным техническим требованиям. Разброс показаний при неизменном преобразуемом напряжении не превышал единицы младшего разряда кода. Были проведены отдельно температурные испытания блока компенсатора и блока нуля-органа. Погрешность компенсирующего напряжения при нагревании до 50°C — не более 0,15%. Чувствительность нуля-органа при этом ухудшается примерно вдвое и составляет около 6 мВ, т. е. примерно половину величины дискретности преобразования.

ЛИТЕРАТУРА

1. П. Л. Кнеппо и др. Быстродействующие преобразователи напряжение-код на транзисторах. «Приборостроение», 1965, № 8.
2. И. М. Бескровный. Анализ дифференциального и разностного усилителей на транзисторах. «Вопросы радиоэлектроники», серия II, вып. 4, 1962.