

НУЛЬ-ОРГАН ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НА КРЕМНИЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ (ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЕ — ВРЕМЯ)

Н. И. Щедров

Киевский институт автоматики

Одним из простых методов преобразования напряжения в интервал времени является метод сравнения измеряемой величины с мгновенными значениями линейнорастущего напряжения. При $\frac{dn}{dt} = \text{const}$ каждому мгновенному значению напряжения соответствует определенный отрезок времени, т. е. $t = u$.

Таким образом, измерения в основном сводятся к применению источника пилообразного напряжения с высокой линейностью и созданию устройства, способного фиксировать момент равенства двух напряжений ($u_x = u_c$) или момент, когда $u_x = u_c - u_0$ при $u_0 = \text{const}$:

u_x — измеряемое напряжение;

u_c — мгновенное значение пилообразного напряжения;

u_0 — постоянный уровень напряжения.

Источником линейнорастущего напряжения в описываемом приборе является RC цепь ($R_{32}, R_{11}, R_{10}, R_9, R_{33}, C_4$ с разрядным транзисторным ключом ПП₂ (рис. 1)).

На зарядную цепь подается напряжение — 150 в, стабилизируемое СГП, в то время как предельное напряжение заряда конденсатора u_c — не более 2,9 в. Нелинейность составляет не более $\pm 0,1\%$.

В качестве измерительного устройства (нуль-органа) использован блокинг-генератор (ПП₁), регистрирующий момент изменения знака разности напряжений u_x и u_c (эмиттер-база). Диапазон измеряемых преобразователем напряжений находится в пределах от 0 до 2500 мв, что соответствует периоду от 1 до 11 мс, т. е. 10 мс.

Итак, измеряемое напряжение отрицательной полярности подается на эмиттер кремниевого транзистора ($p-n-p$) ПП₁. Цепь (R_5, R_6, C_3) является фильтром от возможных наводок на входе, и кроме этого конденсатор C_3 предотвращает возникновение эмиттерной отрицательной обратной связи в момент блокинг-процесса. Накапливающийся при срабатывании блокинг-генератора небольшой заряд конденсатора уходит по внутреннему сопротивлению источника измеряемого напряжения и сопротивлению R_4 , а при отсутствии источника — только по сопротивлению R_4 . Сопротивление R_1 стабилизирует и определяет величину входного сопротивления прибора. Входное сопротивление $n-p$ перехода (эмиттер-база) запертого транзистора имеет величину около 150 мом, но нестабильно в условиях различных температур. В схему блокинг-генератора входит трансформатор $Tr1$ с сердечником из пермивара, обладающего высокой стабильностью магнитной проницаемости в широких пределах температур. Первичная

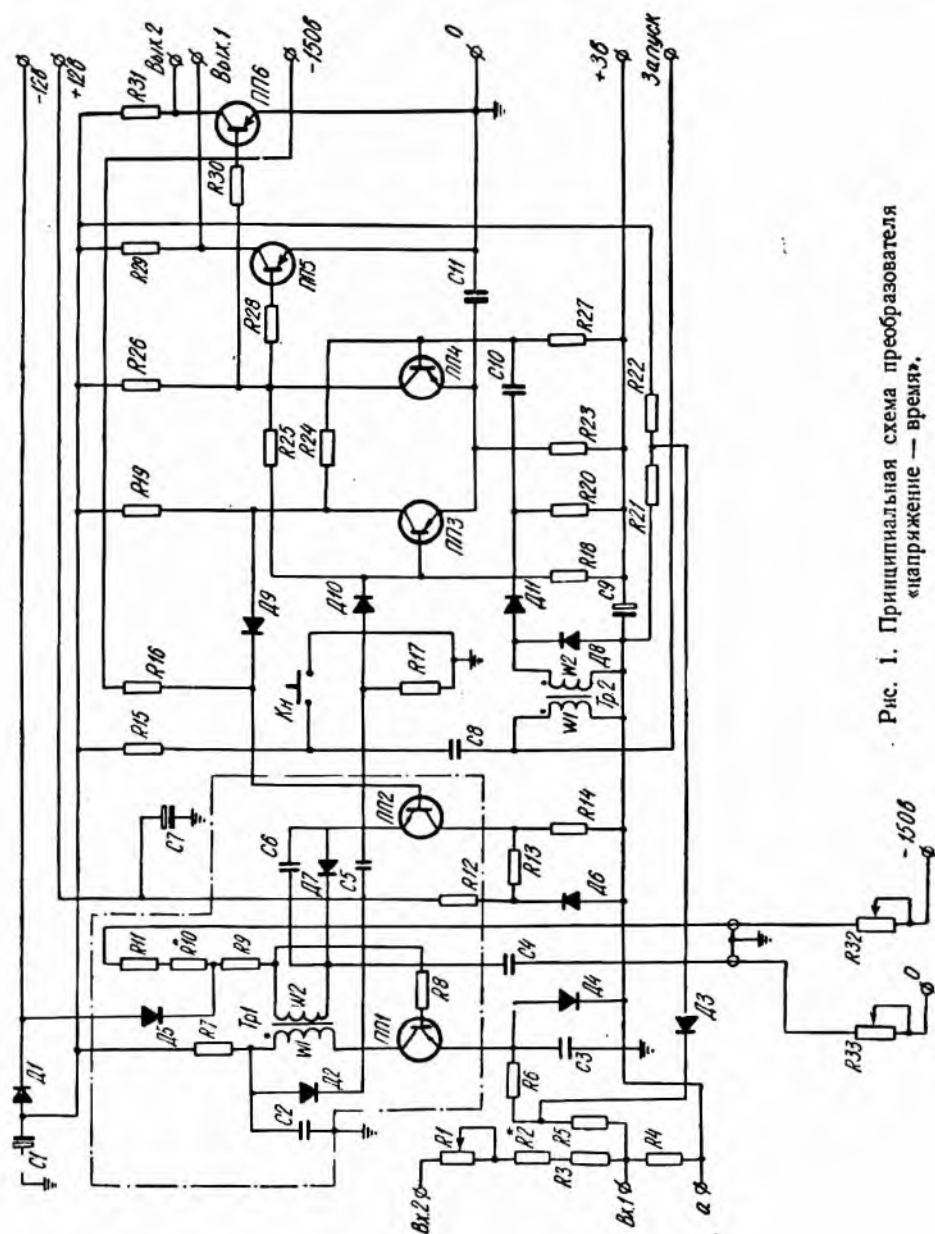


Рис. 1. Принципиальная схема преобразователя
«напряжение — время».

обмотка ω_1 трансформатора находится в цепи коллектора транзистора и получает питание от заряженного конденсатора C_2 .

С целью получения высокой чувствительности, от которой зависит разрешающая способность всего прибора, используются коллекторная и базовая обмотки с относительно большим и равным количеством витков (каждая по 200). Это обеспечивает получение импульса с высокой крутизной и значительной длительностью. Но длительное время, в течение которого транзистор пребывает в открытом состоянии (или большой ток базы) приводит к аккумуляции междоузелковой проводимости. В результате этого происходит повышение тока $I_{к0}$, что вызывает нестабильность входного сопротивления и недопустимое увеличение погрешности при измерениях. Пребывание транзистора нуль-органа в режиме насыщения в течение нескольких секунд выводит его из нормального режима на несколько суток.

Для устранения нежелательного эффекта длительность импульса блокинг-генератора ограничивается высокоомной R_7C_2 цепью, а ток базы — сопротивлением R_4 . Кроме того, для защиты транзистора ПП₁ от перегрузок, которые возможны при неправильной эксплуатации или допущены при наладке, в схему введены: диод D_3 с делителем $R_{21} R_{22}$ для ограничения напряжения входа на пороге — 3 в; диод D_4 (кремниевый стабилизатор) для шунтирования входа в случае несоответствия полярности измеряемого напряжения; диод D_5 (кремниевый, точечный) для защиты базы от длительного действия тока зарядной цепи (при отключенном напряжении — 12 в или запертом ключевом транзисторе ПП₂). Диодом D_5 одновременно защищается эмиттер ПП₂ от пробоя высоким напряжением. В случае повреждения D_5 защитой ПП₂ от пробоя является диод D_4 .

Ключевой, разрядный транзистор ПП₂ в исходном положении открыт до насыщения стабильным током, поступающим через сопротивление R_{16} от стабилизатора — 150 в и удерживает конденсатор C_4 в разряженном состоянии.

Инверсное включение ПП₂ обеспечивает в режиме насыщения высокую проводимость со стабильным падением напряжения на участке коллектор — эмиттер порядка 10 мв, а в режиме запирающего — высокое сопротивление в сотни мегом, что практически исключает утечку заряда конденсатора C_4 в период линейного напряжения. Для полного разряда конденсатора в цепь коллектора ПП₂ введено положительное напряжение смещения, с избытком компенсирующее потери напряжения на ПП₂ и на сопротивлении диода D_7 (выполняющего роль элемента термокомпенсации). Источник смещения состоит из конденсатора C_7 , стабилизатора R_{12} , D_6 и делителя R_{13} , R_{14} . Напряжение питания + 12 в.

Управление разрядным транзистором исходит от генератора одиночных импульсов (Тр2) и триггера (ПП₃; ПП₄). Генератор одиночных импульсов формирует кратковременный импульс от положительного фронта напряжения, предназначенного для вызова измерений. Вызов можно производить нажатием кнопки КН. Триггер выполнен по обычной схеме и имеет общее потенциальное смещение (+ 3 в), предназначенное для увеличения глубины запирающего разрядного ключа ПП₂, (в момент измерений) и выходных инверторов ПП₅ и ПП₆. Диод D_9 нормально заперт напряжением коллектора триода ПП₃. Это устраняет реакцию нестабильного напряжения питания триггера на ток базы ПП₂, от которого зависит начальный уровень заряда конденсатора C_4 . Во время измерений D_9 открыт положительным напряжением ПП₃, при этом ПП₂ глубоко заперт и действие на заряд конденсатора C_4 небольшого уровня помех, приходящих к базе, исключается.

Процесс измерений происходит следующим образом. Импульс опроса, пройдя через трансформатор $Tr2$, запирает транзистор ПП₁ и этим опрокидывает триггер. Опрокинутый триггер запирает разрядный триод ПП₂, в результате чего происходит заряд конденсатора C_4 . Когда напряжение конденсатора достигает величины измеряемого напряжения и превосходит ее на $u_0 = 250$ мв, что соответствует 1 мс, срабатывает блокинг-генератор (ПП₁). Импульс блокинг-генератора, пройдя по цепи $C_5 D_{10}$, поступает на второй вход триггера и устанавливает его в исходное положение. Время, которое отсчитывает триггер, начиная с момента опроса до появления импульса блокинг-генератора, пропорционально величине измеряемого напряжения, точнее

$$t_{TP} \equiv u_x + u_0.$$

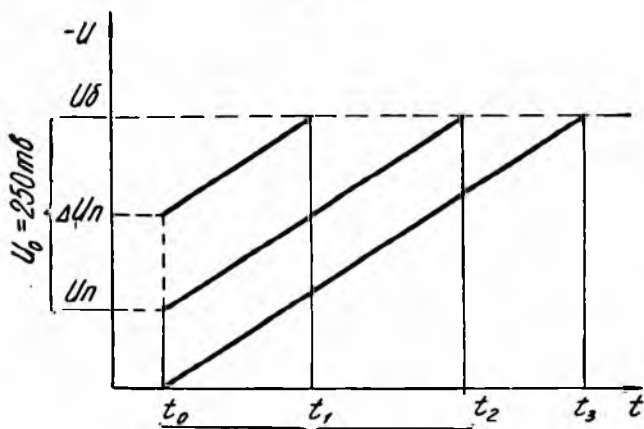


Рис. 2. График зависимости начального времени от величины пьедестала пилообразного напряжения.

Наиболее короткое время, отсчитываемое триггером (при 0 в на входе), равно 1 мс, а полное время (при 2500 мв) — 11 мс. Для установки начального и конечного значений предусмотрены соответственно реостаты R_{33} и R_{32} . Изменением сопротивления реостата R_{33} достигается установка пьедестала пилообразного напряжения. Величина пьедестала определяет величину паузы между импульсами опроса и началом измерений, т. е. время, условно принятое за 0 и равное 1 мс. На рис. 2 показана зависимость паузы от величины пьедестала при $u_x = 0$ мв.

u_0 — потенциал базы ПП₁, при котором срабатывает блокинг-генератор;

u_n — напряжение пьедестала;

Δu_n — прирост напряжения пьедестала;

t_0 — момент опроса;

t_1, t_2, t_3 — конец паузы.

Действительно, при $u_n = 0$ $t_3 - t_0$ больше, чем при u_n , имеющем некоторую величину $t_2 - t_1$. При увеличении высоты пьедестала на Δu_n интервал начального времени уменьшается

$$t_1 - t_0 < t_2 - t_0.$$

Так реостатом R_{33} устанавливается начальное время (1 мс), соответствующее $u_x = 0$ мв, а верхний предел (2500 мв) устанавлива-

ется реостатом R_{32} , позволяющим регулировать ток цепи, от которого зависит скорость заряда конденсатора C_4 .

При колебаниях температуры окружающего воздуха уровень напряжения, вызывающий срабатывание блокинг-генератора, непостоянен: с повышением температуры он понижается и, наоборот, с понижением температуры — повышается. Сохранить постоянство интервала начального времени можно вводом элемента термокомпенсации. Диод D_7 в цепи эмиттера транзистора ПП₂ выполняет роль термосопротивления, характеристика которого совпадает с тепловой характеристикой участка база-эмиттер ПП₁. Конденсатор C_6 предназначен для подавления шумов диода D_7 . При стабильном напряжении смещения (+12 в) напряжение базы ПП₁ зависит от величины сопротивления диода D_7 . С повышением температуры сопротивление диода понижается. Это увеличивает напряжение запирающего триода ПП₁.

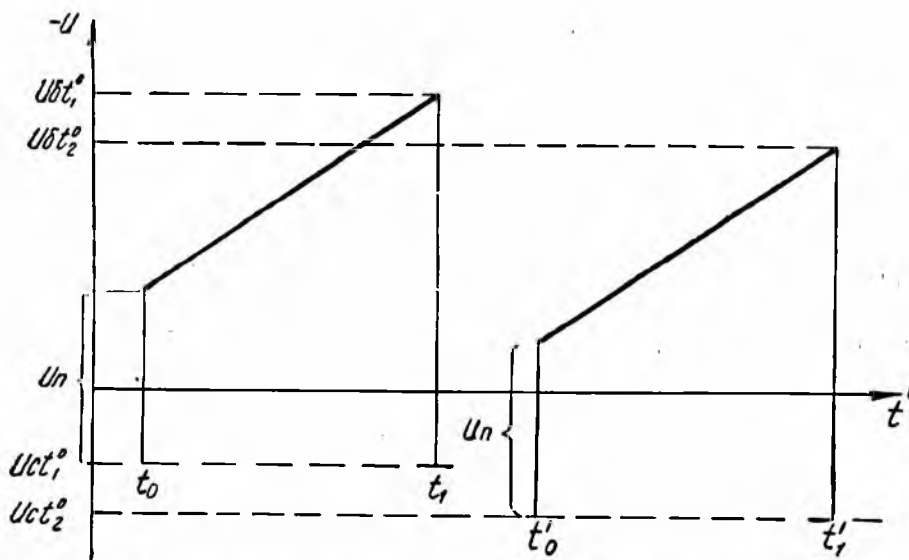


Рис. 3. График, иллюстрирующий действие устройства термокомпенсации.

Одновременно с повышением температуры понижается потенциал срабатывания блокинг-генератора, что равноценно отпирающему триода. Суммарное действие смещений сохраняет интервал начального времени стабильным в широком диапазоне температур (см. рис. 3).

u_{dt^0} — напряжение срабатывания блокинг-генератора при температуре окружающего воздуха t_1 ;

u_{dt^2} — то же при t_2 ;

u_n — напряжение пьедестала;

u_{ct^0} — напряжение смещения термокомпенсации при температуре воздуха t_1 ;

u_{ct^2} — то же при t_2 ;

$t_1 - t_0$ — интервал времени, условно принятый при измерении $u_1 = 0$ мв;

$t'_1 - t'_0$ — то же.

Температура t_2 выше температуры t_1 . Из рисунка видно, что при одновременном изменении порога срабатывания блокинг-генератора и величины смещения, вызываемого действием термосопротивления

$$t_1 - t_0 = t'_2 - t'_0.$$

Это время поддерживается равным 1 мс.

Цепь термокомпенсации независимо от величины приложенного на вход измеряемого напряжения работает аналогично. Применение конденсатора типа МПГТ и сопротивлений зарядной цепи с минимальным температурным коэффициентом обеспечивает работу преобразователя в диапазоне от $+5^\circ$ до $+50^\circ$ С с точностью $\pm 0,5\%$ от предельного значения измеряемого параметра.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ ЭЛЕМЕНТОВ

1. Транзисторы. ПП1, ПП2 — П106; ПП3-ПП6-П16Б.
2. Сопротивления: R_1 -СП-1, 100 ком; R_2 -МГП, 300 ком; R_3 -МГП, 2,7 мом; R_4 -МГП 1 мом; R_5 -МЛТ, 36 ком; R_6 -МЛТ, 82 ком; R_7 -МЛТ, 56 ком; R_8 -МЛТ, 510 ом; R_9 -МЛТ, 24 ком; R_{10} -МЛТ, 12 ком (подбирается при настройке); R_{11} -МГП, 510 ком; R_{12} -МЛТ, 270 ом; R_{13} -МЛТ, 1,1 ком (подбирается при настройке); R_{14} -МЛТ, 100 ом; R_{15} -МЛТ, 1 мом; R_{16} -МЛТ, 510 ком; R_{20} -МЛТ, 30 ком; R_{21} -МЛТ, 300 ом; R_{22} -МЛТ, 910 ом; R_{23} -ВС, 75 ом; R_{24} , R_{25} -МЛТ, 7,5 ком; R_{28} , R_{30} -МЛТ, 12 ком; R_{29} , R_{31} -МЛТ, 5,1 ком; R_{32} -СП-1, 10 ком; R_{33} -СП-1, 470 ом; R_{18} , R_{27} -МЛТ, 2,7 ком, R_{19} , R_{26} -МЛТ-1 ком.
3. Конденсаторы: C_1 , C_{11} -30 мкф; C_2 , C_{10} -0,05 мкф; C_3 -0,5 мкф; C_4 -0,01 мкф, C_5 -1000 пф; C_6 -1 мкф; C_7 -200 мкф; C_8 -1500 пф; C_9 -100 мкф.
4. Диоды: Д1-Д7Г; Д2, Д6, Д10-Д101; Д3, Д7, Д8-Д226; Д6-Д808; Д11-Д9Д; Д8-Д7Ж.
5. Трансформаторы: Тр.1 Пермаллой 0,05 мм ($7 \times 10 \times 20$) $\omega_1 = \omega_2 = 200$ витков; Тр.2 ($10 \times 6 \times 5$) $\omega_1 = 100$ витков, $\omega_2 = 200$ витков.