

ЛИТЕРАТУРА

1. Кончаловский В. Ю., Купершмидт Я. А., Сыропятова Р. Я., Харченко Р. Р. Электрические измерительные преобразователи. Изд. «Энергия», М., 1967.
2. Корндорф С. Ф. Основы электроизмерений, электронной техники и электроавтоматики в приборостроении. Машгиз, М., 1959.
3. Житомирский В. И. Линейная теория кольцевого детектора. «Радиотехника», т. 7, № 3, 1952.
4. Турченков В. И. Электронный двухполюсный переключатель на полупроводниковых приборах в системах автоматики. «Полупроводниковые приборы и их применение», вып. II, 1964.

О. П. СКОБЕЛЕВ, Е. Н. УЗИЛОВА

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ КЛЮЧИ В МНОГОКАНАЛЬНЫХ ВРЕМЯ-ИМПУЛЬСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ С ДАТЧИКАМИ СОПРОТИВЛЕНИЯ

В многоканальных время-импульсных преобразователях, основанных на использовании переходного процесса в аperiодических измерительных цепях LR или RC , параметры датчиков преобразуются в интервал времени и далее в цифровой эквивалент [1, 2]. В таких преобразователях содержится большое число (по количеству каналов) образцовых элементов и сравнивающих устройств. Между тем существуют разнообразные объекты измерений, которые обслуживаются однотипными или группами однотипных первичных преобразователей (ПП). На рис. 1, а представлена структурная схема преобразователя, в котором однотипные ПП (датчики сопротивления) включены в аperiодические контуры RC с одним образцовым элементом (емкостью) и одним сравнивающим устройством. Для разряда энергии образцового элемента предусматривается специальный разрядный ключ K_p , который включен параллельно образцовой емкости в измерительной RC -цепи.

В преобразователях такого типа особое значение приобретает стабильность измерительных ключей (K_1, K_2, \dots, K_n), влияющая на точность преобразования «параметр — время». Это в полной мере относится к ключевым элементам, выполненным на транзисторах. Очевидно, что с увеличением числа каналов влияние остаточных параметров закрытых ключей возрастает. Можно предположить, что при некотором числе каналов величина температурной погрешности транзисторных ключей становится недопустимо большой, и в этом случае она определяет максимально возможное количество каналов. Поэтому результаты анализа температурной погрешности преобразователя, вносимой ключевыми элементами на транзисторах, с учетом числа каналов имеют важное значение при проектировании преобразователей.

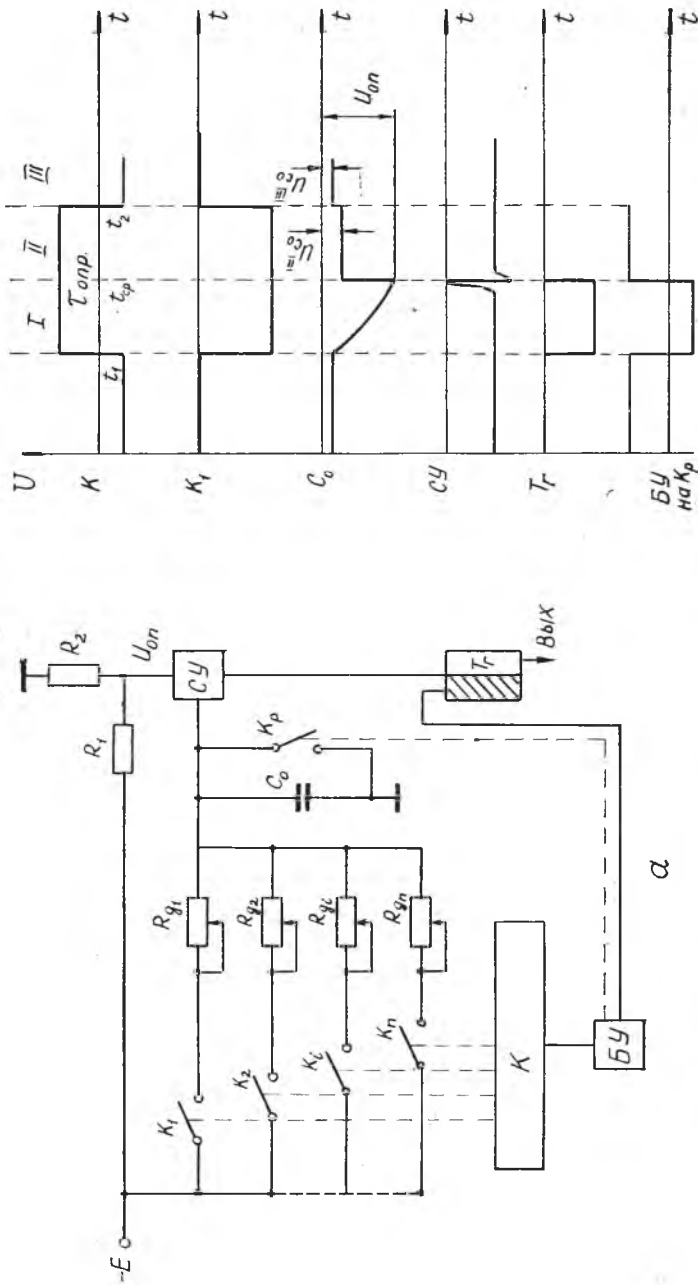


Рис. 1. Структурная схема и временная диаграмма многоканального преобразователя:
 К — коммутатор; БУ — блок управления; $R_1, R_{д2} \dots R_д$ — первичные преобразователи; K_1, K_2, \dots, K_n — измерительные ключи;
 C_0 — образцовый элемент; K_p — разрядный ключ; СУ — сравнивающее устройство; Тр — триггер.

Работу измерительного ключа удобно рассмотреть поэтапно (рис. 1, б).

I этап. В момент времени t_1 измерительный ключ k_1 и разрядный — k_p под действием внешних управляющих импульсов одновременно изменяют состояния: k_1 открывается, k_p запирается. Первый этап — основной этап преобразования. Образцовый конденсатор C_0 заряжается через сопротивление датчика R_d и запертые ключи остальных каналов (током закрытых транзисторов). Заряд емкости C_0 происходит до сравнения напряжения U_{co} с заданным опорным уровнем $U_{опорн}$.

II этап. В момент сравнения t_2 срабатывает сравнивающее устройство. Одновременно импульсом с блока управления открывается разрядный ключ. Ключ k_1 остается открытым. Происходит разряд емкости C_0 до напряжения U_{co}^{II} .

III этап. В момент t_3 измерительный ключ k_1 закрывается, а разрядный k_p остается в открытом состоянии. Происходит окончательный разряд емкости C_0 до остаточного напряжения U_{co}^{III} . Этап III продолжается до прихода опросного импульса на измерительный ключ следующего канала.

Пользуясь статической эквивалентной схемой замещения транзистора, можно составить эквивалентные схемы ключевых элементов преобразователя каждого этапа работы (рис. 2). Анализ этих схем дает возможность получить аналитическое выражение для интервала времени $t_{cp} = t_1 - t_2$. Предполагается, что остаточные параметры измерительных ключей одинаковы:

$$U_{o1} = U_{o2} = \dots = U_{on}, \quad I_{o1} = I_{o2} = \dots = I_{on}, \quad r_{o1} = r_{o2} = \dots = r_{on} \\ r_{31} = r_{32} = \dots = r_{3n}.$$

Тогда

$$t_{cp} = \frac{R_2 r_3'}{R_2 + r_3'} \cdot C_0 \cdot \ln \frac{A - V_{co}^{III}}{A - V_{он}}$$

$$\text{где } U_{co}^{III} = \frac{U_o' + I_o r_o n + \frac{E + r_o' n}{r_3}}{1 + \frac{r_o' n}{r_3}} \text{ — остаточное напряжение на образцовой емкости;}$$

$$A = (E + I_o R_2) \frac{r_3'}{R_2 + r_3'} - \frac{U_o R_3}{R_3 + r_o + R_d} + \frac{I_o r_3 R_4}{R_4 + \frac{r_3}{n-1}};$$

$$R_2 = \frac{\frac{r_3}{n-1} (r_o + R_d)}{\frac{r_3}{n-1} + r_o + R_d}; \quad R_3 = \frac{r_3' \frac{r_3}{n-1}}{r_3' + \frac{r_3}{n-1}};$$

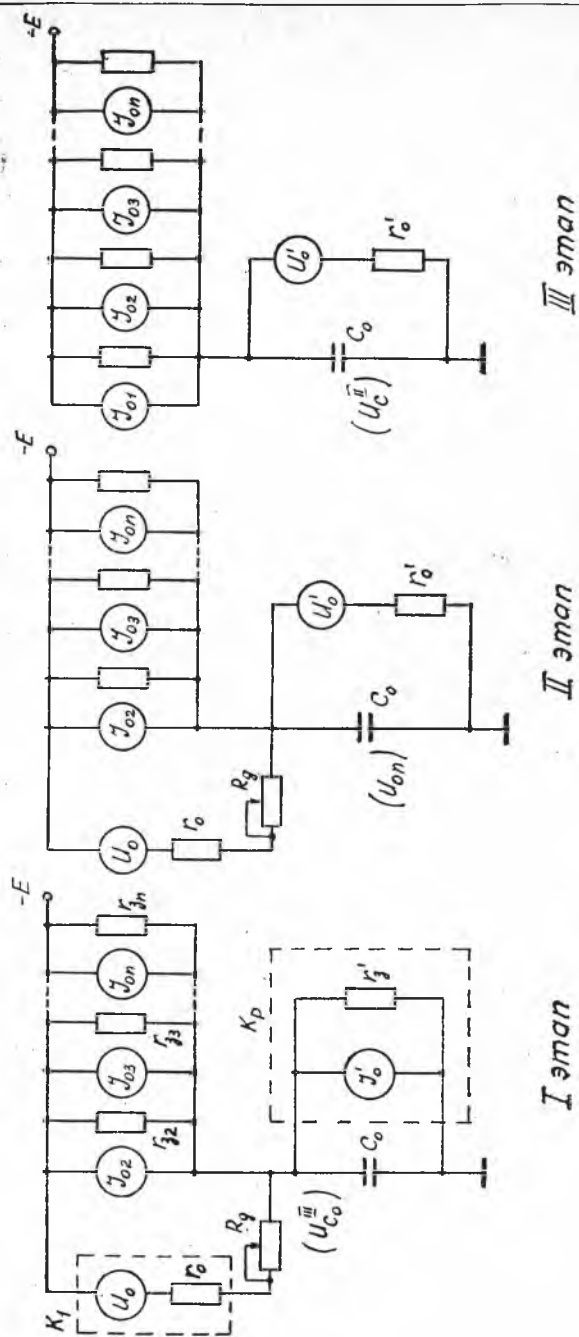
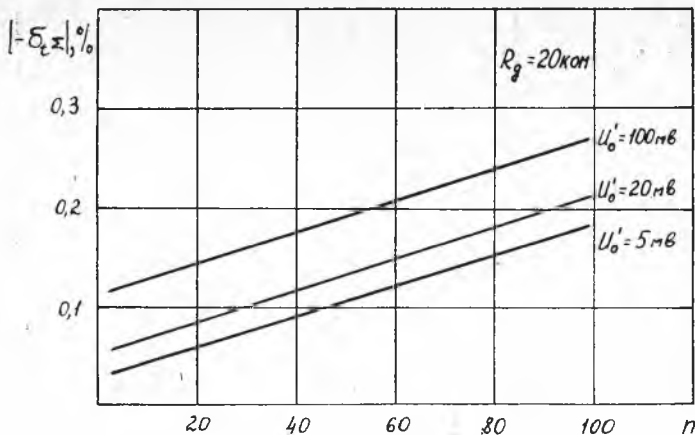


Рис. 2. Эквивалентные схемы ключевых элементов преобразователя



Р и с. 3. Температурная погрешность преобразователя в зависимости от числа каналов в диапазоне температур $T^{\circ} = 15 - 40^{\circ}\text{C}$ ($\delta u_0 = 10\%$, $\delta r_0 = -10\%$, $\delta r_3 = -10\%$, $I_0(T_2) = I_0(T_1)e^{0,09(T_2-T_1)}$)

$$R_d = \frac{r'_3(r_0 + R_d)}{r'_3 + r_0 + R_d};$$

V'_0 , I'_0 , r'_0 , r'_3 — остаточные параметры разрядного ключа;
 n — количество каналов.

Зависимость от температуры остаточных параметров ключей приводит к изменению интервала времени t_{cp} и появлению погрешности преобразования

$$\delta_t(\Sigma) = \frac{t_{cp}(T_2) - t_{cp}(T_1)}{t_{cp}(T_1)} \cdot 100\%.$$

Уменьшение величины остаточных параметров ключей дает возможность уменьшить $\delta_t(\Sigma)$. В случае высокоомных датчиков ($R_d = 20 \div 50$ ком и более) целесообразно использовать кремниевые транзисторы в инверсном включении. Результаты расчетов $\delta_t(\Sigma)$ для транзисторов МП113* представлены на рис. 3. Максимально возможное количество каналов, работающих на одну образцовую емкость, определяется заданной погрешностью. Основное влияние оказывает температурный уход токов закрытых транзисторов I_0 . Из рис. 3 следует, что применение кремниевых транзисторов в инверсном включении с $I_0 = 0,003$ мка дает возможность получить $\delta_t(\Sigma) \leq 0,2\%$ (при

* Параметры транзисторов: $U_0 = 5$ мв, $r_0 = r'_0 = 30$ ом, $r_3 = r'_3 = 990$ мом, $I_0 = I'_0 = 0,003$ мка. Испытания партии транзисторов МП113 (350 штук) показали, что около 60% их имеют ток в режиме запираания $I_{кз} \leq 0,003$ мка (при $U_{вз} = 10$ в, $E_{зад} = 2,0$ в).

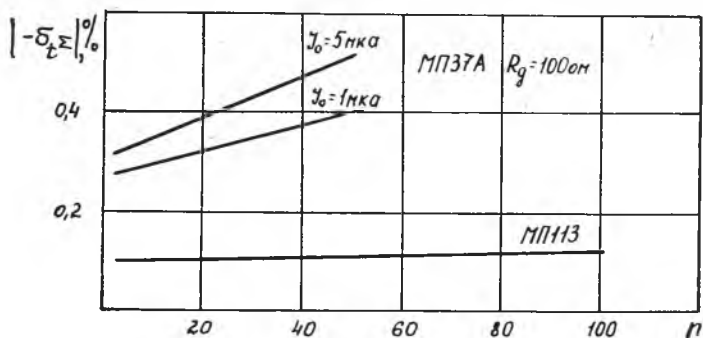


Рис. 4. Температурная погрешность преобразователя в зависимости от числа каналов в диапазоне температур $T^{\circ} = 15 - 40^{\circ}\text{C}$ ($\delta r_0 = 10\%$, $\delta r_0 = -10\%$, $\delta r_3 = -10\%$, $T_0(T_2) = I_0(T_1)e^{0,09(T_2 - T_1)}$)

числе каналов $n=100$). На рисунке показано также влияние режима разрядного ключа (U'_0) на погрешность преобразования.

В случае низкоомных датчиков ($R_d=100$ ом) использовать инверсное включение маломощных транзисторов (МП113, МП37А) нельзя из-за существенного увеличения тока управления. На рис. 4 приведены зависимости $\delta_t(\Sigma)$ от числа каналов для кремниевых (МП113) и германиевых (МП37А) транзисторов в прямом включении.

Для транзисторов МП113* получаем погрешность преобразования $\delta_t(\Sigma)=0,1\%$ при $n=100$. Для транзисторов МП37А** уже при $n=50$

$$\begin{aligned} \delta_t(\Sigma) &= 0,4\% && (\text{для } I_0=1 \text{ мка}) \\ \delta_t(\Sigma) &= 0,5\% && (\text{для } I_0=5 \text{ мка}) \end{aligned}$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Болтянский А. А., Райков Б. К., Скобелев О. П., Старобинский Н. М. «Измерительная техника». № 11, 1970.
2. Райков Б. К., Скобелев О. П., Старобинский Н. М. Сб. докладов «Автоматизация научных исследований морей и океанов». Экспресс-информация, Севастополь, МГИ АН УССР, № 11, 1968.

* Параметры транзисторов: $U_0 = U'_0 = 100$ мв, $r_0 = r'_0 = 7$ ом, $I_0 = = I'_0 = 0,01$ мка, $r_3 = r'_3 = 990$ мом.

** Параметры транзисторов: $U_0 = U'_0 = 30$ мв, $r_0 = r'_0 = 2$ ом, $r_3 = = r'_3 = 90$ мом.