

ПОМЕХОЗАЩИЩЕННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ ЕМКОСТНЫХ ДАТЧИКОВ

Е. В. Кочешов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Беларусь

Научный руководитель Ю. А. Козусев

Цифровые измерители R , L , C -параметров используют аperiodические переходные процессы в RC - или RL -цепях с начальным уровнем U_0 и асимптотическим нулевым уровнем. Структурная схема на рис. 1 обобщает схемы измерителей R , L , C -параметров [1]–[3].

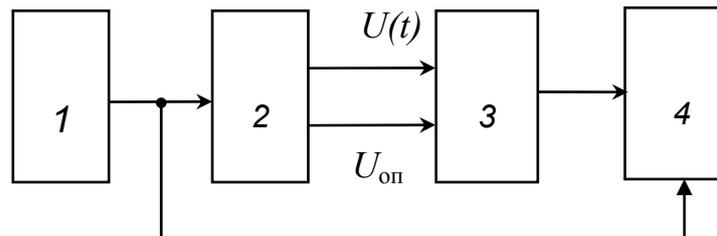


Рис. 1. Структурная схема

Блок управления 1 формирует сигнал начала переходного процесса, поступающий на входы источника сигнала переходного процесса 2 и цифрового измерителя временных интервалов 4 .

Источник сигнала переходного процесса 2 содержит контролируемые RC или RL -цепи, формирователи напряжений начального уровня U_0 и опорного уровня $U_{оп} = U_0 / e$, электронные ключи. Напряжение переходного процесса $U(t)$ и опорный уровень $U_{оп}$ сравниваются компаратором 3 . В момент их равенства компаратор вырабатывает сигнал окончания процесса измерения, а измеритель 4 формирует код, пропорциональный постоянной времени τ и, следовательно, измеряемому параметру.

Недостаток устройства – низкая точность измерения, обусловленная погрешностью сравнения сигнала с опорным уровнем и погрешностью квантования времени разряда.

Цель исследования – повышение точности и помехозащищенности устройства для измерения емкости.

Для решения поставленной задачи разработано устройство для измерения постоянной времени переходного процесса, формирующее код в течение расширенного интервала времени, пропорционального измеряемой величине – емкости конденсатора (рис. 2).

Повышается и помехозащищенность измерения за счет применения интегратора.

В исходном состоянии счетчик и интегратор обнулены, выход электронного ключа с конденсатором C_x соединен с его вторым входом. Конденсатор C_x разряжен через разрядный резистор R_4 .

Сигналом с выхода блока управления выход ключа с конденсатором C_x подключается к первому его входу с зарядным резистором R_3 .

Напряжение на конденсаторе изменяется по закону

$$U_c(t) = E(1 - e^{-t/\tau}), \quad (1)$$

где E – напряжение источника 5; $\tau = R_3 C_x$ – постоянная времени.

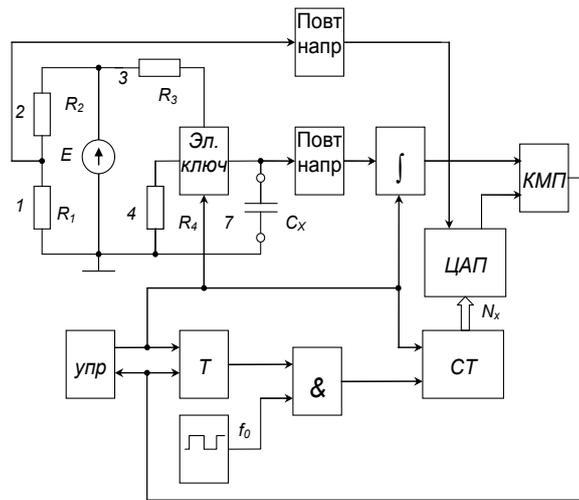


Рис. 2. Устройство для измерения постоянной времени переходного процесса

На рис. 3 приведены временные диаграммы сигналов, поясняющие работу устройства.

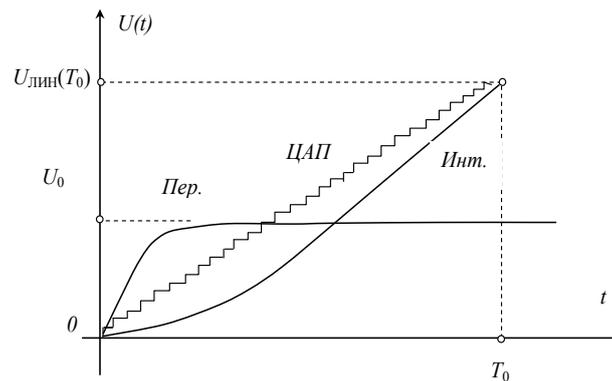


Рис. 3. Временные диаграммы сигналов

Через второй повторитель напряжения напряжение конденсатора поступает на вход интегратора. Применение повторителя напряжения с большим входным сопротивлением необходимо для исключения влияния входного сопротивления интегратора на постоянную времени. В частности, повторитель напряжения может быть внутренним компонентом интегратора.

Выходное напряжение интегратора 16 изменяется по закону

$$U_{\text{инт}}(t) = \frac{1}{T_{\text{и}}} \int_0^t U(t) dt = \frac{1}{T_{\text{и}}} \int_0^t E(1 - e^{-t/\tau}) dt = \frac{E}{T_{\text{и}}} [t - \tau(1 - e^{-t/\tau})], \quad (2)$$

где $T_{\text{и}}$ – постоянная интегрирования.

Одновременно с началом переходного процесса заряда конденсатора триггер (Т) переводится в единичное состояние, через элемент И(&) импульсы генератора поступают на счетный вход счетчика. Цифровой код счетчика поступает на входы ЦАП, на выходе которого формируется напряжение, пропорциональное количеству импульсов, поступивших на вход счетчика.

Временная зависимость кода счетчика

$$N(T) = Tf_0, \quad (3)$$

где f_0 – частота импульсов генератора 11.

Опорное напряжение ЦАП формируется делителем напряжения на резисторах 1 и 2:

$$U_{\text{оп}} = mE = \frac{R_2}{R_1 + R_3} E. \quad (4)$$

Выходное напряжение ЦАП 17

$$U_{\text{ЦАП}}(t) = U_{\text{МП}} N(t) = \frac{U_{\text{оп}}}{N_0} tf_0 = E \frac{m}{N_0} tf_0, \quad (5)$$

где $U_{\text{МП}} = U_{\text{оп}} / N_0$ – единица младшего разряда ЦАП; N_0 – максимальный цифровой код счетчика 12 и ЦАП 17.

Компаратор 13 фиксирует момент времени T_x равенства выходных напряжений напряжением интегратора 16 и ЦАП 17. Сигнал компаратора 13 возвращает триггер 9 в исходное состояние, элемент И 10 закрывается, поступление импульсов генератора 11 в счетчик 12 прекращается. В счетчике 12 хранится код, а на выходе ЦАП 17 сформировано напряжение, пропорциональное измеряемой величине:

$$U_{\text{инт}}(T_x) = U_{\text{ЦАП}}(T_x); \quad (6)$$

$$\frac{E}{T_{\text{и}}} [T_x - \tau(1 - e^{-T_x/\tau})] = E \frac{m}{N_0} T_x f_0. \quad (7)$$

Параметры $N_0, f_0, T_{\text{и}}$ и m выбираются таким образом, чтобы выполнялось условие $T_x \gg \tau$, тогда $e^{-T_x/\tau} = 0$, и из уравнения (7) находим:

$$T_x = \frac{\tau}{1 - \frac{m}{N_0} T_{\text{и}} f_0}. \quad (8)$$

Например, при измерении на пределе измерения до $C_{\text{MAX}} = 10 \text{ пФ}$ можно выбрать $R_3 = 1 \text{ МОм}$, $\tau_{\text{MAX}} = R_3 C_{\text{MAX}}$. Параметры могут быть следующими: $N_0 = 100$; $f_0 = 1 \text{ МГц}$; $T_{\text{И}} = 100 \text{ мкс}$.

Тогда

$$T_x = \frac{\tau}{1-m}, \quad (9)$$

а код в счетчике

$$N_x = \frac{f_0}{1-m} \tau = \frac{f_0}{1-m} \tau. \quad (10)$$

При $m = 0,9$, получим $T_x = 10\tau$ и код в счетчике

$$N_x = 10f_0\tau = 10f_0R_3CL_x. \quad (11)$$

Например, при $C_x = 5 \text{ пФ}$; $\tau_x = R_3 C_x = 5 \text{ мкс}$; $T_x = 50 \text{ мкс}$; $N_x = 50$. Методическая относительная погрешность измерения пренебрежимо мала:

$$e^{-T_0/\tau} = e^{-10} \approx 5 \cdot 10^{-5}.$$

Следовательно, по сравнению с известными устройствами заявляемое обладает на порядок меньшей погрешностью дискретности, кроме того, за счет интегрирования напряжения переходного процесса уменьшается случайная погрешность измерения и повышается помехозащищенность.

Литература

1. Измерения в электронике : справочник / В. А. Кузнецов [и др.] ; под ред. В. А. Кузнецова. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – С. 205–207.
2. Кукуш, В. Д. Электрорадиоизмерения / В. Д. Кукуш. – М. : Радио и связь, 1985. – С. 315–317.
3. Орнатский, П. П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые) / П. П. Орнатский. – 5-е изд. – Киев : Вища шк. – 1986. – С. 377–378.
4. Rusek, A. Error minimization in time-constant measurements / A. Rusek // IEEE Trans. Instrum. and Meas. – 1987. – 36, № 1. – P. 29–31.