

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 аperiодические переходные процессы в RC - или RL -цепях с начальным уровнем U_0 и асимптотическим нулевым уровнем. Интервал времени между началом переходного процесса и моментом, когда напряжение уменьшается до уровня U_0/e , равен постоянной времени цепи τ . Постоянная времени активно-емкостной цепи равна RC , а активно-индуктивной L/R . При известном постоянном значении образцового сопротивления R постоянная времени τ прямо пропорциональна измеряемым величинам C или L .

Такой метод применяют также для измерения конденсаторов и различных физических величин с помощью емкостных датчиков.

Используя образцовый резистор R , постоянная времени τ прямо пропорциональна емкости C . Такой метод используется, например, для измерения расхода топлива в автомобилестроении.

Структурная схема на рис. 1 обобщает схемы измерителей R , L , C -параметров [1, рис. 4.27, 4.28], [2, рис. 11, 12], [3, рис. 8.31].

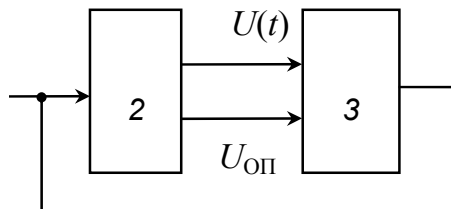


Рис. 1

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.

Погрешности измерения, свойственные методу измерения постоянной времени путем сравнения напряжения переходного процесса с опорным напряжением, проанализированы в работе [4].

Недостаток устройства – низкая точность измерения, обусловленная погрешностью сравнения сигнала с опорным уровнем и погрешностью квантования времени разряда конденсатора при контроле конденсаторов малой емкости и емкостных датчиков с малыми изменениями емкости.

Кроме того, устройство обладает низкой помехозащищенностью, особенно при контроле параметров емкостных датчиков, установленных на технологических объектах, удаленных от средства измерения. В каналы связи системы сбора информации от удаленных датчиков и измерительных преобразователей проникают промышленные помехи и шумы, их влияние существенно выше, чем при проведении лабораторных измерений.

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.

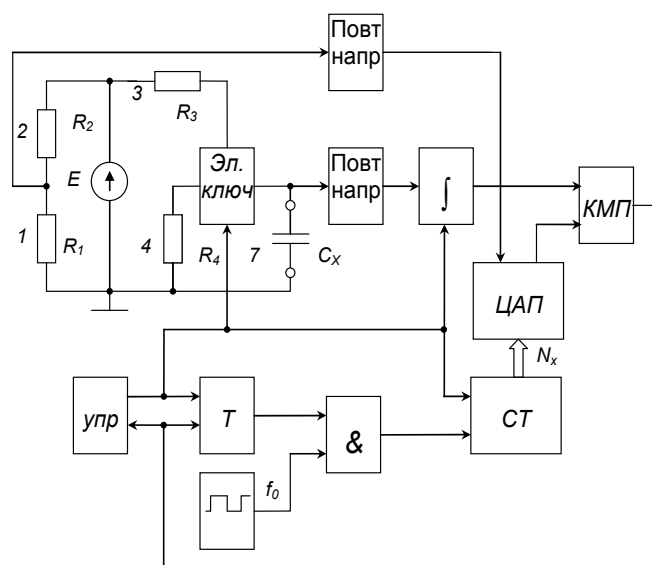


Рис. 2

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

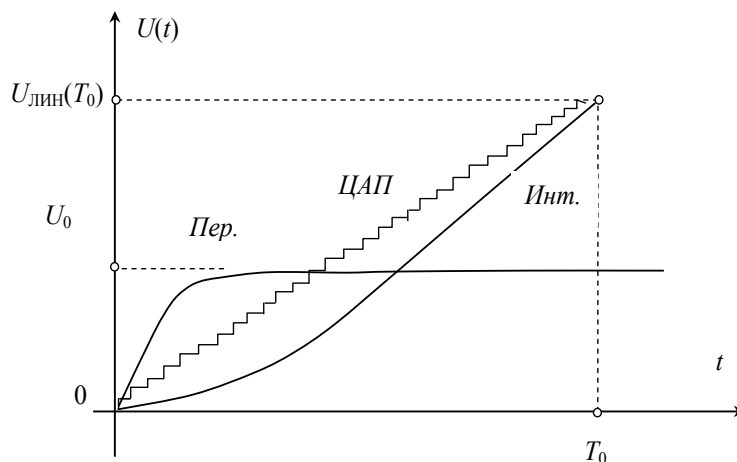


Рис. 3

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 \mathcal{E} ; $\tau = R_3 C_X$ – постоянная времени.

Через второй повторитель напряжения напряжение (в устройстве исключает влияние входного сопротивления интегратора) конденсатора поступает на вход интегратора. На выходе:

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

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

$$N(T) = T f_0, \quad (3)$$

где f_0 – частота импульсов генератора.

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

$$0U = mE = \frac{R_2}{R_1 + R_3} E. \quad (4)$$

Выходное напряжение ЦАП

$$U_{\text{ЦАП}}(t) = U_{\text{МР}} N(t) = \frac{U_{\text{ОП}}}{N_0} t f_0 = E \frac{m}{N_0} t f_0, \quad (5)$$

где $U_{\text{МР}} = U_{\text{ОП}} / N_0$ – единица младшего разряда ЦАП; N_0 – максимальный цифровой код счетчика и ЦАП.

Компаратор фиксирует момент времени T_X равенства выходных напряжений напряжением интегратора и ЦАП. Сигнал компаратора возвращает триггер в исходное состояние, элемент И закрывается, поступление импульсов генератора в счетчик прекращается. В счетчике хранится код, а на выходе ЦАП сформировано напряжение, пропорциональное измеряемой величине. Время T_X – корень уравнения:

$$U_{\text{ИНТ}}(T_X) = U_{\text{ЦАП}}(T_X); \quad (6)$$

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

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 $C_{\text{МАХ}} = 10$ пФ можно выбрать $R_3 = 1$ МОм, $\tau_{\text{МАХ}} = R_3 C_{\text{МАХ}}$. Параметры могут быть следующими: $N_0 = 100$, $f_0 = 1$ МГц, $T_{\text{И}} = 100$ 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

$$N_X = 10 f_0 \tau = 10 f_0 R_3 C_{LX}. \quad (11)$$

Например, при $C_X = 5$ пФ, $\tau_X = R_3 C_X = 5$ мкс, $T_X = 50$ 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.

Л и т е р а т у р а

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. Error minimization in time-constant measurements. Rusek A. «IEEE Trans. Instrum. and Meas.», 1987, 36, № 1, 29–31.