

ИЗМЕРИТЕЛЬ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА

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 различных физических величин с помощью емкостных или индуктивных датчиков.

В случае использования образцового конденсатора C постоянная времени τ прямо пропорциональна сопротивлению R . Такой метод используется например для измерения сопротивления изоляции в электроустановках.

Структурная схема на рис. 1 обобщает схемы измерителей R , L , C -параметров [1]–[3].

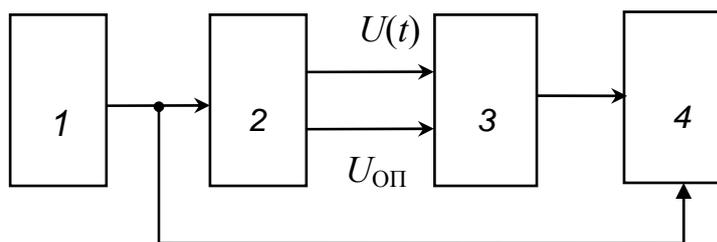


Рис. 1

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, формователи 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].

Погрешность измерения содержит две основные составляющие. Аналоговая составляющая обусловлена погрешностью компаратора и зависит от положения уровня $U_{оп}$. Дискретная составляющая определяется периодом частоты квантования, для ее уменьшения необходимо увеличивать частоту тактовых импульсов или увеличивать время измерения путем изменения $U_{оп}$. При измерениях в микросекундном диапазоне преобладает дискретная составляющая.

Следовательно, недостатком измерителей постоянной времени является низкая точность, обусловленная погрешностью сравнения сигнала с опорным уровнем и погрешностью квантования интервала времени, особенно для быстропротекающих переходных процессов.

Цель исследования – повышение точности измерения постоянной времени быстропротекающих переходных процессов при измерении конденсаторов малой емкости и измерении сигналов емкостных датчиков с малыми вариациями емкости.

Для решения поставленной задачи разработано устройство для измерения постоянной времени переходного процесса с промежуточным преобразованием интервала – рис. 2.

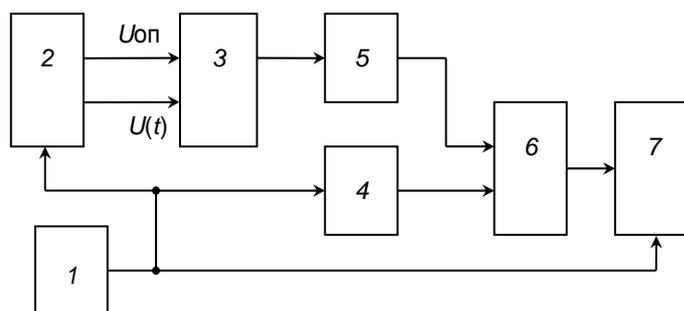


Рис. 2

Измеритель параметров переходного процесса содержит блок управления 1, источник сигнала переходного процесса 2, первый компаратор 3, генераторы линейно-изменяющегося напряжения (ГЛИН) 4 и 5, второй компаратор 6, цифровой измеритель временных интервалов 7.

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

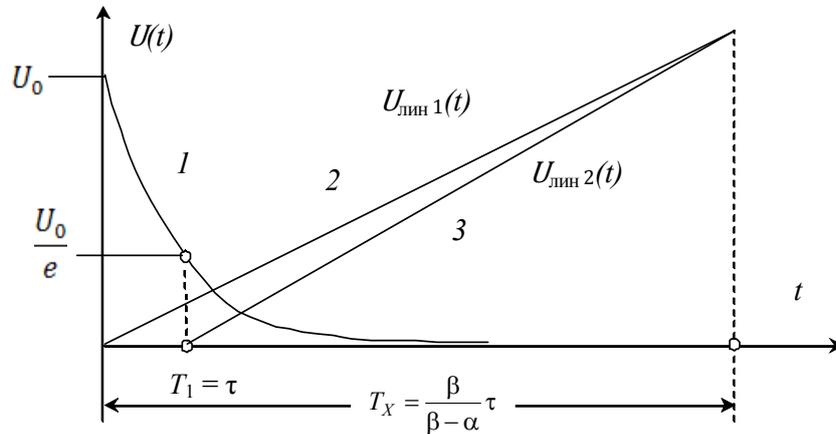


Рис. 3

По сигналу с выхода блока управления 1 на первом выходе источника 2 формируется напряжение переходного $U(t)$ процесса с начальным уровнем U_0 и нулевым асимптотическим уровнем (график 1 на рис. 3).

$$U(t) = U_0 e^{-t/\tau}. \quad (1)$$

Одновременно с началом переходного процесса начинается формирование первого линейно-изменяющегося напряжения $U(t)_{\text{лин1}}(t)$ на выходе ГЛИН 4 (график 2) и включается цифровой измеритель временных интервалов 7.

Компаратор 3 срабатывает в момент времени $T_1 = \tau$, когда напряжения переходного процесса $U(t)$ равно опорному напряжению $U_{\text{оп}} = U_0 / e$. Сигнал компаратора 3 включает второй ГЛИН 5, который начинает формировать напряжение $U(t)_{\text{лин2}}(t)$ (график 3 на рис. 3).

Второй компаратор 6 сравнивает напряжения $U(t)_{\text{лин1}}(t)$ и $U(t)_{\text{лин2}}(t)$ и срабатывает в момент их равенства T_x .

Напряжение ГЛИН 4:

$$U(t)_{\text{лин1}}(t) = \alpha t, \quad (2)$$

напряжение ГЛИН 5 с учетом задержки включения:

$$U(t)_{\text{лин2}}(t) = \beta(t - \tau), \quad (3)$$

где α и β – коэффициенты, характеризующие скорость нарастания линейно-изменяющихся напряжений.

Длительность измеряемого интервала определим из уравнения

$$U_{\text{лин1}}(T_x) = U_{\text{лин2}}(T_x) \Rightarrow \alpha T_x = \beta(T_x - \tau). \quad (4)$$

Цифровой измеритель временных интервалов формирует код, пропорциональный времени:

$$T_x = \frac{\beta}{\beta - \alpha} \tau = \frac{1}{1 - \gamma} \tau = K\tau, \quad (5)$$

где $\gamma = \alpha / \beta$ – отношение коэффициентов ГЛИН; K – коэффициент преобразования.

Например, если $\alpha = 0,9\beta$, то $T_x = 10\tau$.

Следовательно, измеритель обладает на порядок меньшей погрешностью дискретности, и следовательно, большей точностью при контроле быстропротекающих переходных процессов.

В результате анализа влияния погрешности, вызванной неидеальностью ГЛИН на коэффициент преобразования, получены следующие результаты.

Абсолютные погрешности $\Delta\alpha$ и $\Delta\beta$ первого и второго ГЛИН приводят к появлению абсолютной $\Delta\gamma$ и относительной $\delta\gamma$ погрешностей:

$$\gamma(1 + \frac{\Delta\gamma}{\gamma}) = \gamma(1 + \delta\gamma) \approx \frac{\alpha}{\beta} (1 + \frac{\delta\alpha - \delta\beta}{1 + \delta\beta}) = \gamma(1 + \frac{\delta\alpha - \delta\beta}{1 + \delta\beta}). \quad (6)$$

Абсолютная погрешность коэффициента K , обусловленная $\Delta\gamma$:

$$\Delta K = \frac{\delta K}{\delta\gamma} \Delta\gamma = K(1 - \gamma)^{-1} \Delta\gamma. \quad (7)$$

Относительная погрешность:

$$\delta K = \frac{\Delta K}{K} = \frac{\gamma}{1 - \gamma} \cdot \frac{\Delta\gamma}{\gamma} = (K - 1)\delta\gamma. \quad (8)$$

Например, при $\delta\gamma = 10^{-3}$, $K = 10$, $\delta K = 1\%$.

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. Error minimization in time-constant measurements. Rusek A. «IEEE Trans. Instrum. and Meas.», 1987, 36, N1, 29–31.