

Рис. 1. Метод определения ПЛЭЦ по трем мгновенным значениям переходного процесса

измерительной цепи можно значительно упростить, используя метод определения ПЛЭЦ [2], согласно которому мгновенные значения сигнала на средней точке ИЦ берутся через одинаковые интервалы времени  $\Delta t$ , причем момент времени  $t_1$  выбран произвольно. Тогда

$$U_0(1 - e^{-t_1/\tau}) = u(t_1); U_0(1 - e^{-(t_1 + \Delta t)/\tau}) = u(t_2);$$

$$U_0(1 - e^{-(t_1 + 2\Delta t)/\tau}) = u(t_3). \quad (3)$$

При этом постоянная времени ИЦ  $\tau = -\Delta t / \ln \left[ \frac{u(t_3) - u(t_2)}{u(t_2) - u(t_1)} \right]$ .

Неизвестный элемент ИЦ определяют по вычисленной постоянной времени и известному элементу цепи.

Временные диаграммы, поясняющие этот метод, представлены на рис. 1. В данном случае время измерения не зависит от  $\tau$ , и при соответствующем выборе интервала времени  $\Delta t$  может быть значительно меньше постоянной времени ИЦ.

К сокращению числа уравнений в (3) приводит совмещение момента подачи напряжения на ИЦ с моментом начала измерения ( $t_1 = 0$ ):

$$\left. \begin{aligned} U_0(1 - e^{-\Delta t/\tau}) &= u(t_2); \\ U_0(1 - e^{-2\Delta t/\tau}) &= u(t_3), \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где  $t_2 = \Delta t$ ;  $t_3 = 2\Delta t$ .

В этом случае постоянная времени ИЦ соответствует выражению

$$\tau = -\Delta t / \ln \left[ \frac{u(t_3) - u(t_2)}{u(t_2)} \right].$$

При определении ПЛЭЦ можно достаточно просто обеспечить значение напряжения  $U_0$  постоянным и известным или измерять его в каждом цикле определения ПЛЭЦ.

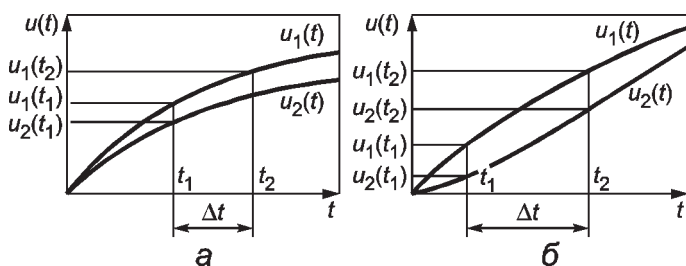


Рис. 2. Метод определения ПЛЭЦ по мгновенным значениям двух переходных процессов с использованием вспомогательной измерительной цепи с известной постоянной времени (а) и с произвольными параметрами (б)

Если  $U_0 = \text{const}$ , то (3) можно привести к следующим выражениям [3]:

$$U_0(1 - e^{-t_1/\tau}) = u(t_1); U_0(1 - e^{-(t_1 + \Delta t)/\tau}) = u(t_2),$$

откуда постоянная времени будет равна

$$\tau = -\Delta t / \ln \left[ \frac{U_0 - u(t_2)}{U_0 - u(t_1)} \right].$$

Аналогично, из (4) следует  $U_0(1 - e^{-\Delta t/\tau}) = u(t_2)$ , а постоянная времени ИЦ соответственно примет вид

$$\tau = -\Delta t / \ln \left[ 1 - \frac{u(t_2)}{U_0} \right].$$

К сокращению времени измерения приводит использование вспомогательных линейных ИЦ, постоянная времени одной из которых известна [4]. В этом случае

$$U_0(1 - e^{-t_1/\tau_1}) = u_1(t_1); U_0(1 - e^{-t_1/\tau_2}) = u_2(t_1);$$

$$U_0(1 - e^{-(t_1 + \Delta t)/\tau_1}) = u_1(t_2), \quad (5)$$

где  $\tau_1$  — известная постоянная времени вспомогательной ИЦ;  $\tau_2$  — постоянная времени искомой ИЦ с неизвестным параметром,

$$\tau_2 = \tau_1 \ln \left[ \frac{u_1(t_2) - u_1(t_1)}{u_1(t_2) - u_1(t_1)e^{-\Delta t/\tau_1}} \right] / \ln \left[ 1 - \frac{u_2(t_1)}{u_1(t_1)} \left[ 1 - \frac{u_1(t_2) - u_1(t_1)}{u_1(t_2) - u_1(t_1)e^{-\Delta t/\tau_1}} \right] \right].$$

Временные диаграммы, поясняющие метод, представлены на рис. 2, а.

При совместном решении первого и третьего уравнений из (5) можно определить неизвестные  $t_1$  и  $U_0$ , а из второго — искомую постоянную времени  $\tau_2$ .

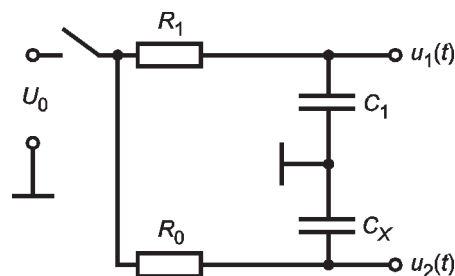


Рис. 3. Подключение вспомогательной и основной активно-емкостных измерительных цепей

Схема подключения вспомогательной и основной активно-емкостных ИЦ приведена на рис. 3. В этом случае  $\tau_1 = R_1 C_1$ , а  $\tau_2 = R_0 C_X$ .

Эту же задачу можно решить аналогично, если средняя точка вспомогательной цепи с произвольными параметрами подключена к ИЦ, один из параметров которой неизвестен. Соответствующие соотношения примут вид

$$U_0(1 - e^{-t_1/\tau_1}) = u_1(t_1); u_1(t_1)(1 - e^{-t_1/\tau_2}) = u_2(t_1);$$

$$U_0(1 - e^{-(t_1 + \Delta t)/\tau_1}) = u_1(t_2); u_1(t_2)(1 - e^{-(t_1 + \Delta t)/\tau_2}) = u_2(t_2). \quad (6)$$

Здесь из первого и второго уравнений (6) можно вычислить значение  $e^{-t_1/\tau_2}$ , использование которого при совместном решении третьего и четвертого уравнений позволяет найти постоянную времени

$$\tau_2 = -\Delta t / \ln \left\{ \frac{[u_2(t_2) - u_1(t_2)]u_1(t_1)}{[u_2(t_1) - u_1(t_1)]u_1(t_2)} \right\}.$$

Для пояснения метода на рис. 2, б приведены временные диаграммы.

Схема последовательного включения вспомогательной и основной активно-емкостных ИЦ показана на рис. 4.

Наконец, при  $U_0 = \text{const}$  и применении вспомогательной ИЦ с известной постоянной времени

$$U_0(1 - e^{-t_1/\tau_1}) = u_1(t_1); U_0(1 - e^{-t_1/\tau_2}) = u_2(t_1).$$

В этом случае выражение для неизвестной постоянной времени второй цепи в произвольный момент времени  $t_1$  можно записать как

$$\tau_2 = \tau_1 \ln \left[ 1 - \frac{u_1(t_1)}{U_0} \right] / \ln \left[ 1 - \frac{u_2(t_1)}{U_0} \right].$$

В методах измерения ПЛЭЦ по отдельным мгновенным значениям переходного процесса время измерения не зависит от постоянной времени ИЦ, а определяется только значением образцового интервала времени  $\Delta t$ , который ограничен в основном временем измерения мгновенных значений переходного процесса. В общем случае меньшее время измерения обеспечивает реализация метода опреде-

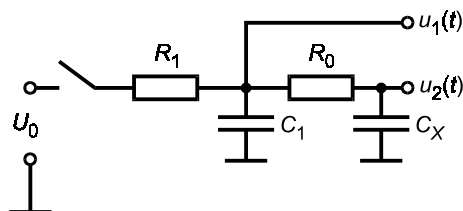


Рис. 4. Последовательное включение вспомогательной и основной активно-емкостных измерительных цепей

ления ПЛЭЦ по мгновенным значениям переходного процесса, связанным с моментом подключения известного напряжения к измерительной цепи.

Дальнейшее сокращение времени измерения достигается при определении ПЛЭЦ по отдельным мгновенным значениям нескольких переходных процессов. При этом метод измерения ПЛЭЦ по мгновенным значениям двух переходных процессов, параметры одного из которых известны, не связан с моментом подключения известного напряжения к ИЦ и не требует использования образцовых интервалов времени.

Недостаток данного метода состоит в необходимости применения трех опорных величин — постоянной времени вспомогательной цепи, одного из элементов измерительной цепи, опорного напряжения постоянного тока.

#### Литература

1. Батищев В. И., Мелентьев В. С. Аппроксимационные методы и системы промышленных измерений, контроля, испытаний, диагностики. М.: Машиностроение-1, 2007.
2. А. с. 1797079 СССР. Способ измерения электрических величин активного сопротивления, индуктивности и емкости / В. С. Мелентьев и др. // Изобретения. 1993. № 7.
3. Батищев В. И., Мелентьев В. С. Измерение параметров емкостных датчиков положения и перемещения. М.: Машиностроение-1, 2005.
4. Мелентьев В. С. Методы и средства измерения параметров емкостных дифференциальных датчиков // Датчики и системы. 2005. № 5 (72). С. 36—38.

Дата принятия 13.04.2010 г.