

## РАЗДЕЛ II ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ И ПРИБОРЫ

А. И. МАРТЯШИН, В. М. ШЛЯНДИН, А. Е. МОРОЗОВ

### ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

При производстве современного электротехнического и радиоэлектронного оборудования одной из самых трудоемких операций является контроль исправности электрических цепей (контроль правильности монтажа). Поэтому автоматизация подобных операций целесообразна практически при любом типе производства. Ниже на примере параллельной  $R_K C_K$  цепи рассматривается возможность использования параметров электрических цепей, характеристик переходных процессов, возникающих в специальных измерительных схемах, куда включена и контролируемая цепь. Чаще всего в качестве измерительной схемы используется обычный делитель напряжения, составленный из последовательного соединения образцового элемента и контролируемой цепи; в рассматриваемом случае (контроль параллельной  $R_K C_K$  цепи) за образцовый элемент взят резистор  $R_0$  (рис. 1). При подключении такой схемы к источнику образцового напряжения (ИОН) с напряжением  $U_{II}$  в ней возникает переходный процесс, причем напряжение  $U_K$  на контролируемой цепи будет изменяться [1] по следующему закону:

$$U_K = U_{II} \frac{R_K}{R_0 + R_K} \times \left( 1 - e^{-\frac{R_0 + R_K}{R_0 \cdot R_K \cdot C_K} \cdot t} \right). \quad (1)$$

Время, в течение которого  $U_K$  достигает определенной, заранее заданной величины опорного напряжения  $U_{OP}$  (интервал времени от момента включения  $U_{II}$  до момента

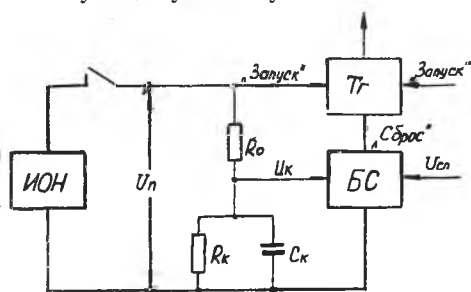


Рис. 1. Измерительная схема электрической цепи

равенства  $U_K$  и  $U_{оп}$  выделяется по команде блока сравнения (БС) триггером Тг), определится как

$$t_{\tau} = -C_K \cdot \frac{R_K \cdot R_O}{R_O + R_K} \cdot \ln \left[ 1 - \frac{U_{оп}}{U_{п}} \cdot \frac{R_O + R_K}{R_K} \right]. \quad (2)$$

Учитывая, что  $R_K = R_{КН} \pm \Delta R_K$  ( $\Delta R_K$  — отклонение сопротивления  $R_K$  от своего номинального значения  $R_{КН}$ ), из выражения (2) получим

$$t_{\tau} = -C_K R_O \frac{R_{КН} \pm \Delta R_K}{R_O + R_{КН} \pm \Delta R_K} \cdot \ln \left[ 1 - \frac{U_{оп}}{U_{п}} \cdot \frac{R_O + R_{КН} \pm \Delta R_K}{R_{КН} \pm \Delta R_K} \right]. \quad (3)$$

Обозначив  $\pm \frac{\Delta R_K}{R_{КН}} = \pm m_R$ ,  $\frac{R_O}{R_{КН}} = a_R$ , после несложных преобразований из (3) получим

$$t_{\tau} = -C_K R_O \frac{1 \pm m_R}{1 + a_R \pm m_R} \cdot \ln \left[ 1 - \frac{U_{оп}}{U_{п}} \frac{1 + a_R \pm m_R}{1 \pm m_R} \right] = C_K R_O A_R. \quad (4)$$

Учитывая, что на каждой позиции контроля  $R_O = \text{const}$ ,  $R_{КН} = \text{const}$ ,  $a_R = \text{const}$ ,  $\frac{U_{оп}}{U_{п}} = \text{const}$ , можно считать, что интервал времени  $t_{\tau}$  определяется величинами  $C_K$  и  $\pm m_R$  (при  $m_R = 0$  интервал времени  $t_{\tau}$  равен постоянной времени измерительной цепи  $\tau_u = R_O \cdot C_K \frac{R_{КН}}{R_O + R_{КН}}$ ).

В установившемся режиме ( $t \approx \infty$ ), как следует из выражения (1), напряжение  $U_{Ку}$  определяется только величиной  $\pm m_R$  ( $a_R$ ,  $R_O$ ,  $U_{п}$  — величины постоянные)

$$V_{Ку} = U_{п} \frac{R_K}{R_O + R_K} = U_{п} \frac{1 \pm m_R}{1 + a_R \pm m_R}. \quad (5)$$

По допускowej оценке этого напряжения можно однозначно судить о том, находится ли величина контролируемого сопротивления в пределах допуска или вышла за них. При этом желательно так выбрать величины  $a_R$  и  $\frac{U_{оп}}{U_{п}}$ , чтобы интервал времени  $t_{\tau}$  определялся только величиной  $C_K$ . Расчеты показывают, что при изменении  $R_K$  в пределах наиболее распространенных допусков  $\pm 10\%$  и  $\pm 20\%$  это возможно с приближением до десятых долей процента, для чего достаточно подобрать допустимый диапазон изменения коэффициента  $A_R$ .

В тех случаях, когда необходимо проконтролировать постоянную времени  $\tau_K$  рассматриваемой электрической цепи для получения большей точности преобразования, желательно использовать переходный процесс разряда емкости  $C_K$ , возникающий при отключении источника  $U_{п}$  от измерительной цепи.

При этом [1]

$$U_K = U_{\Pi} \frac{R_K}{R_O + R_K} \cdot e^{-\frac{R_O \cdot R_K}{R_O \cdot R_K \cdot C_K} \cdot t} \text{ и}$$

$$t_{\tau} = -C_K R_K \cdot \frac{R_O}{R_O + R_K} \cdot \ln \left[ \frac{U_{\text{ОП}}}{U_{\Pi}} \cdot \frac{R_O + R_K}{R_K} \right] =$$

$$= -C_K R_K \frac{a_R}{1 + a_R \pm m_R} \cdot \ln \left[ \frac{U_{\text{ОП}}}{U_{\Pi}} \cdot \frac{1 + a_R \pm m_R}{1 \pm m_R} \right].$$

Рассматривая получение интервала времени  $t_{\tau}$  мы предполагали идеальные условия. Фактически же необходимо учитывать нестабильность порога чувствительности БС и влияние его входного сопротивления на результат преобразования параметров контролируемой цепи в интервал времени, а также нестабильность ИОН и влияние параметров соединительных жгутов.

При получении интервала времени  $t_{\tau}$  абсолютная погрешность от нестабильности  $\pm \Delta V_{\text{ПС}}$  порога чувствительности БС определится как  $\Delta t_{\tau} = t_{\tau} - t_{\tau \Delta V}$ , а относительная  $\delta t_{\Delta V} = \frac{\Delta t_{\tau}}{t_{\tau}}$  с учетом (4) как

$$\delta t_{\Delta V} = 1 - \frac{\ln \left[ 1 - \frac{U_{\text{ОП}} \pm \Delta U_{\text{ПС}}}{U_{\Pi}} \cdot \frac{1 + a_R \pm m_R}{1 \pm m_R} \right]}{\ln \left[ 1 - \frac{U_{\text{ОП}}}{U_{\Pi}} \cdot \frac{1 + a_R \pm m_R}{1 \pm m_R} \right]}. \quad (6)$$

Входное сопротивление БС  $R_{\text{ВХ}}$  фактически изменяет величину  $R_K$ , уменьшая ее ( $R_{\text{ВХ}}$  подключено параллельно  $R_K$ ), поэтому вместо  $t_{\tau}$  будет получен интервал времени

$$t_{\tau}^1 = -C_K R_O \frac{R_{\text{Э}}}{R_O + R_{\text{Э}}} \cdot \ln \left( 1 - \frac{U_{\text{ОП}}}{U_{\Pi}} \cdot \frac{R_O + R_{\text{Э}}}{R_{\text{Э}}} \right),$$

где  $R_{\text{Э}} = \frac{R_K \cdot R_{\text{ВХ}}}{R_K + R_{\text{ВХ}}}$

Можно показать, что относительная погрешность  $\delta t_{\tau R}$  получения интервала времени  $t_{\tau}$ , обусловленная влиянием  $R_{\text{ВХ}}$ , определяется выражением

$$\delta t_{\tau R} = 1 - \frac{R_{\text{Э}}}{R_K} \cdot \frac{R_O + R_K}{R_O + R_{\text{Э}}} \cdot \frac{\ln \left[ 1 - \frac{U_{\text{ОП}}}{U_{\Pi}} \cdot \frac{R_O + R_{\text{Э}}}{R_{\text{Э}}} \right]}{\ln \left[ 1 - \frac{U_{\text{ОП}}}{U_{\Pi}} \cdot \frac{R_O + R_K}{R_K} \right]}, \quad (7)$$

а относительная погрешность  $\delta t_{\Pi}$  получения интервала времени  $t_{\tau}$  обусловленная нестабильностью  $\pm \Delta U_{\Pi}$  напряжения ИОН, —

$$\delta t_{\Pi} = 1 - \frac{\ln \left[ 1 - \frac{U_{\text{оп}}}{U_{\Pi} \pm \Delta U_{\Pi}} \cdot \frac{1 + a_R \pm m_R}{1 \pm m_R} \right]}{\ln \left[ 1 - \frac{U_{\text{оп}}}{U_{\Pi}} \cdot \frac{1 + a_R \pm m_R}{1 \pm m_R} \right]} \quad (8)$$

Учитывая, что емкость соединительных жгутов Сж подключается параллельно контролируемой цепи, относительная погрешность получения интервала времени  $t_{\tau}$ , обусловленная влиянием этой емкости, определится следующим образом:

$$\delta t_{\text{Сж}} = \frac{R_0 (C_K + C_{\text{ж}}) \frac{R_K}{R_0 + R_K}}{R_0 C_K \frac{R_K}{R_0 + R_K}} - 1 = \frac{C_{\text{ж}}}{C_K}$$

Очевидно, что параметры и других часто встречающихся цепей (последовательное соединение  $R_K$  и  $C_K$ , последовательное и параллельное соединение  $R_K$  и катушки индуктивности  $L_K$ ) можно проконтролировать по вышеописанной методике.

При практической реализации такого устройства контроля целесообразно с точки зрения его упрощения преобразовывать в интервал времени  $t_U$  установившееся значение напряжения  $U_{\text{Ку}}$ , а затем последовательно производить допусковую оценку интервалов времени  $t_{\tau}$  и  $t_U$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Теумин И. И. Справочник по переходным электрическим процессам. Изд. «Связь», 1952.

А. А. БОЛТЯНСКИЙ, М. Г. ТОЛСТОНОГОВА, А. А. КОНДОРОВ

### ИНТЕГРИРУЮЩИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С КОЛЬЦЕВЫМ ДИОДНЫМ КОММУТАТОРОМ

Схемы кольцевого детектора, обладая относительным постоянством входного сопротивления, отсутствием подмагничивания в трансформаторах, хорошей термостабильностью, нашли широкое применение в измерительных преобразователях в качестве структурных элементов таких устройств, как двухполюсный переключатель, амплитудный модулятор, амплитудно-фазовый