

**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**  
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **20094**

(13) **С1**

(46) **2016.04.30**

(51) МПК

**G 01R 29/02** (2006.01)

(54) **СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ  
ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО  
ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ**

(21) Номер заявки: а 20130734

(22) 2013.06.10

(43) 2015.02.28

(71) Заявитель: Учреждение образования  
"Гомельский государственный  
технический университет имени  
П.О. Сухого" (ВУ)

(72) Авторы: Козусев Юрий Андреевич;  
Кухаренко Сергей Николаевич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение  
образования "Гомельский государ-  
ственный технический университет  
имени П.О. Сухого" (ВУ)

(56) ВУ 7122 U, 2011.

ВУ 7452 U, 2011.

RU 2187822 C1, 2002.

RU 2180966 C2, 2002.

SU 1504626 A1, 1989.

ЕМЕЛЬЯНОВ А.В. и др. Исследо-  
вание АЦП двухтактного интегрирова-  
ния.

Методические указания к лабора-  
торной работе. - Волгоград: ВолгГТУ,  
2003. - С. 4-7, 11-12.

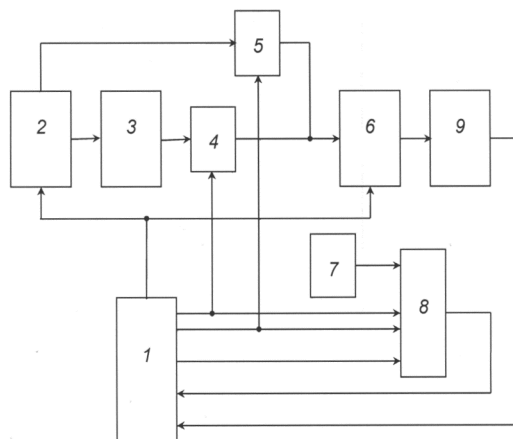
(57)

1. Способ определения постоянной времени переходного процесса, в котором подают на исследуемый объект скачок постоянного напряжения  $U_0$  и интегрируют возникший сигнал переходного процесса в течение интервала времени  $T_1$ , при этом напряжение на выходе интегратора  $U_{\text{инт}}$  в момент окончания интервала  $T_1$  соответствует условию:

$$U_{\text{инт}}(T_1) = \frac{U_0}{T_{\text{и}}} (T_1 - \tau),$$

где  $T_{\text{и}}$  - постоянная интегрирования интегратора;

$\tau$  - постоянная времени переходного процесса,



Фиг. 1

**ВУ 20094 С1 2016.04.30**

по окончании интервала  $T_1$  интегрируют постоянное напряжение, равное по модулю  $U_0$  противоположной полярности, в течение времени  $T_2$  до момента равенства нулю результата интегрирования, а постоянную времени переходного процесса  $\tau$  определяют из выражения:

$$\tau = T_1 - T_2.$$

2. Устройство для определения постоянной времени переходного процесса способом по п. 1, содержащее источник скачка постоянного напряжения, первый выход которого соединен со входом исследуемого объекта, блок управления, два электронных ключа, интегратор, компаратор, генератор импульсов и реверсивный счетчик, причем выход исследуемого объекта соединен с первым входом первого электронного ключа, второй выход источника скачка постоянного напряжения соединен с первым входом второго электронного ключа, выходы электронных ключей объединены и соединены с первым входом интегратора, выход которого соединен со входом компаратора, первый выход блока управления соединен со входом источника скачка постоянного напряжения и вторым входом интегратора, второй выход блока управления соединен со вторым входом первого электронного ключа и входом суммирования реверсивного счетчика, третий выход блока управления соединен со вторым входом второго электронного ключа и входом вычитания реверсивного счетчика, четвертый выход блока управления соединен со входом сброса реверсивного счетчика, счетный вход которого соединен с выходом генератора импульсов, а выход - с первым входом блока управления, выход компаратора соединен со вторым входом блока управления.

Изобретение относится к измерительной технике, а именно к измерению  $R$ ,  $L$ ,  $C$  - параметров и различных физических величин емкостными или индуктивными датчиками с помощью постоянной времени экспоненциального переходного процесса.

Изобретение позволяет определять постоянную времени переходного процесса вида:

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

Известен способ определения параметров многоэлементных двухполюсных цепей, заключающийся в подаче на исследуемый двухполюсник экспоненциального или ступенчатого воздействия и интегрировании свободной составляющей переходного процесса. Согласно известному способу измеряют два значения интеграла  $H_1$  и  $H_2$  через интервал  $t_p$  и вычисляют показатель экспоненты переходного процесса по формуле [1]:

$$p = -\frac{1}{t_p} \ln \left( \frac{H_2}{H_1} \right).$$

Известный способ сложен, так как требует дополнительных вычислений. Способ обладает низкой точностью, особенно при контроле быстропротекающих переходных процессов, так как требует измерения мгновенных значений быстроизменяющихся напряжений.

В качестве прототипа определен способ определения постоянной времени переходного процесса, в котором подают на вход исследуемого объекта скачок постоянного напряжения, измеряют через интервал времени  $\Delta t$  между выборками значения  $U_1$  и  $U_2$  предварительно продифференцированного сигнала переходного процесса и вычисляют искомую величину по формуле [2]:

$$\tau = \frac{\Delta t}{\ln \frac{U_1}{U_2}}.$$

Устройство для определения постоянной времени переходного процесса содержит входную цепь, аналого-цифровой преобразователь, микроконтроллер, дисплей и масштабирующий усилитель, вход которого соединен с клеммой входной цепи, а выход - со вхо-

дом дифференциатора, который подключен ко входу аналого-цифрового преобразователя, а микроконтроллер соединен с масштабирующим усилителем, аналого-цифровым преобразователем и дисплеем по шине SPI [2].

Недостатками прототипа являются необходимость дополнительных вычислений, низкая помехозащищенность и точность определения постоянной времени переходного процесса в следствие наличия операции дифференцирования.

Задача изобретения - повышение помехозащищенности и точности измерения постоянной времени переходного процесса.

Задача достигается тем, что согласно способу определения постоянной времени переходного процесса подают на исследуемый объект скачок постоянного напряжения  $U_0$  и интегрируют возникший сигнал переходного процесса в течение интервала времени  $T_1$ , при этом напряжение на выходе интегратора  $U_{\text{инт}}$  в момент окончания интервала  $T_1$  соответствует условию:

$$U_{\text{инт}}(T_1) = \frac{U_0}{T_{\text{и}}} (T_1 - \tau),$$

где  $T_{\text{и}}$  - постоянная интегрирования интегратора;

$\tau$  - постоянная времени переходного процесса,

по окончании интервала  $T_1$  интегрируют постоянное напряжение, равное по модулю  $U_0$  противоположной полярности, в течение времени  $T_2$  до момента равенства нулю результата интегрирования, а постоянную времени переходного процесса  $\tau$  определяют из выражения:

$$\tau = T_1 - T_2.$$

Интегрирование в течение интервала  $T_1$  напряжения переходного процесса и последующее интегрирование постоянного напряжения  $U_0$  позволяют сформировать интервал времени, пропорциональный измеряемой величине, исключить влияние постоянной интегрирования на результат измерения и повысить точность измерения постоянной времени переходного процесса. При этом не требуется выделение свободной составляющей переходного процесса, например путем дифференцирования сигнала.

Задача достигается тем, что устройство для определения постоянной времени переходного процесса содержит источник скачка постоянного напряжения, первый выход которого соединен со входом исследуемого объекта, блок управления, два электронных ключа, интегратор, компаратор, генератор импульсов и реверсивный счетчик, причем выход исследуемого объекта соединен с первым входом первого электронного ключа, второй выход источника скачка постоянного напряжения соединен с первым входом второго электронного ключа, выходы электронных ключей объединены и соединены с первым входом интегратора, выход которого соединен со входом компаратора, первый выход блока управления соединен со входом источника скачка постоянного напряжения и вторым входом интегратора, второй выход блока управления соединен со вторым входом первого электронного ключа и входом суммирования реверсивного счетчика, третий выход блока управления соединен со вторым входом второго электронного ключа и входом вычитания реверсивного счетчика, четвертый выход блока управления соединен со входом сброса реверсивного счетчика, счетный вход которого соединен с выходом генератора импульсов, а выход - с первым входом блока управления, выход компаратора соединен со вторым входом блока управления.

Введение двух электронных ключей, подключающих к интегратору поочередно переходный процесс и выход источника скачка постоянного напряжения, и компаратора, сравнивающего интеграл с нулем, обеспечивает положительный эффект.

Устройство позволяет повысить помехозащищенность и точность измерения постоянной времени переходного процесса.

На фиг. 1 показана схема устройства, на фиг. 2 - временные диаграммы сигналов, поясняющие способ измерения.

Устройство для измерения параметров переходного процесса содержит блок управления 1, источник 2 скачка постоянного напряжения, первый выход которого соединен со входом исследуемого объекта 3, первый и второй электронные ключи 4 и 5, интегратор 6, генератор импульсов 7, реверсивный счетчик 8 и компаратор 9.

Выход исследуемого объекта 3 соединен с первым входом первого электронного ключа 4, второй выход источника 2 скачка постоянного напряжения соединен с первым входом второго электронного ключа 5, выходы электронных ключей 4 и 5 объединены и соединены с первым входом интегратора 6, выход которого соединен со входом компаратора 9.

Первый выход блока управления 1 соединен со входом источника 2 скачка постоянного напряжения и вторым входом интегратора 6.

Второй выход блока управления 1 соединен со вторым входом первого электронного ключа 4 и входом суммирования реверсивного счетчика 8.

Третий выход блока управления 1 соединен со вторым входом второго электронного ключа 5 и входом вычитания реверсивного счетчика 8.

Четвертый выход блока управления 1 соединен со входом сброса реверсивного счетчика 8, счетный вход которого соединен с выходом генератора импульсов 7, а выход соединен с первым входом блока управления 1, выход компаратора 9 соединен со вторым входом блока управления 1.

Способ осуществляется следующим образом.

При подаче на вход исследуемого объекта 3 скачка постоянного напряжения  $U_0$ , на выходе последнего формируется переходный процесс:

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

Переходный процесс (1) изображен графиком 1 на фиг. 2.

Выходной сигнал (1) интегрируется в течении времени  $T_1$ . Напряжение на выходе интегратора в момент времени  $T_1$  равно:

$$U_{\text{инт}}(t) = \frac{1}{T_{\text{и}}} \int_0^t T_0(1 - e^{-t/\tau}) dt = \frac{U_0}{T_{\text{и}}} [T_1 - \tau(1 - e^{-T_1/\tau})], \quad (2)$$

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

Интервал  $T_1$  выбирается из условия  $T_1 \ll \tau$ , тогда  $e^{-T_1/\tau} \ll 1$ .

Это позволяет упростить выражение (2):

$$U_{\text{инт}}(t) = \frac{U_0}{T_{\text{и}}} (T_1 - \tau). \quad (3)$$

На фиг. 2 график 2 - выходное напряжения интегратора  $U_{\text{инт}}(t)$ .

В момент времени  $T_1$  начинается интегрирование постоянного напряжения  $-U_0$ , которое по модулю равно величине скачка напряжения, но противоположно по знаку. Если исследуемый объект является инвертирующим, то инвертирование напряжения  $U_0$  не требуется. Важно, чтобы знаки напряжений, интегрируемых в первом и втором тактах, были противоположны - графики 1 и 3 на фиг. 2.

На интервале  $T_2$  напряжение интегратора изменяется по закону

$$U_{\text{инт}}(t) = U_{\text{инт}}(T_1) - \frac{1}{T_{\text{и}}} \int_0^t U_0 dt = \frac{U_0}{T_{\text{и}}} (T_1 - \tau) - \frac{U_0}{T_{\text{и}}} t. \quad (4)$$

Из уравнения

$$U_{\text{инт}}(T_2) = \frac{U_0}{T_{\text{и}}} (T_1 - \tau) - \frac{U_0}{T_{\text{и}}} T_2 = 0 \quad (5)$$

получим

$$T_2 = T_1 - \tau, \quad (6)$$

откуда

$$\tau = T_1 - T_2. \quad (7)$$

# ВУ 20094 С1 2016.04.30

На фиг. 2 график 4 соответствует интегрированию сигналов в случае  $\tau = 0$ , и, следовательно,  $T_1 = T_2$ .

Устройство для определения постоянной времени переходного процесса обеспечивает последовательность требуемых согласно способу операций над сигналами.

В исходном состоянии электронные ключи 4 и 5 разомкнуты, интегратор 6 и реверсивный счетчик 8 обнулены.

Чтобы не влиять вносимым входным сопротивлением на исследуемый объект 3, интегратор 6 может содержать на входе повторитель напряжения с большим входным сопротивлением.

Контролируемый переходный процесс начинается в момент подачи скачка напряжения с выхода блока 2 на вход объекта 3 по сигналу на первом выходе блока управления 1. Одновременно по сигналу с второго выхода блока управления 1 электронный ключ 4 подключает переходный процесс объекта 3 ко входу интегратора 6 и устанавливает режим суммирования реверсивного счетчика 8.

Интервал  $T_1$  равен времени заполнения счетчика 8 импульсами генератора 7:

$$T_1 = N_1/f_0, \quad (8)$$

где  $N_1$  емкость счетчика,

$f_0$  - частота импульсов генератора 7.

В момент времени  $T_1$  импульс переполнения реверсивного счетчика 8 поступает на первый вход блока управления 1. Блок управления 1 отключает со второго выхода сигнал управления ключом 4 и сигнал суммирования счетчика 8.

На третьем выходе блока управления 1 формируется импульс, замыкающий второй ключ 5 и устанавливающий режим вычитания счетчика 8. Формируется интервал  $T_2$  и соответствующий этому интервалу код  $N_x$ .

Когда напряжение интегратора 6 становится равным нулю, срабатывает компаратор 9, сигналом с его выхода блок управления 1 возвращается в исходное состояние. Второй ключ 5 размыкается, реверсивный счетчик 8 прекращается. В счетчике 8 в результате измерения по заявляемому способу формируется код:

$$N_x = N_1 - N_2, \quad (9)$$

где  $N_2$  - число импульсов, поступивших на вход счетчика за время  $T_2$ .

Учитывая, что в соответствии с (8) и (6)

$$N_1 = T_1 f_0, N_2 = T_2 f_0 = (T_1 - \tau) f_0,$$

получим результат

$$N_x = N_1 - N_2 = \tau \cdot f_0. \quad (10)$$

Например, пределы измерения  $\tau = 1-1000$  мкс. Выбираем частоту счетных импульсов  $f_0 = 1$  МГц, так, чтобы один импульс или единица младшего разряда счетчика соответствовали 1 мкс. Задаем  $N_1 = 10000$ . Тогда  $T_1 = N_1/f_0 = 10^4/10^6 = 10$  мс.

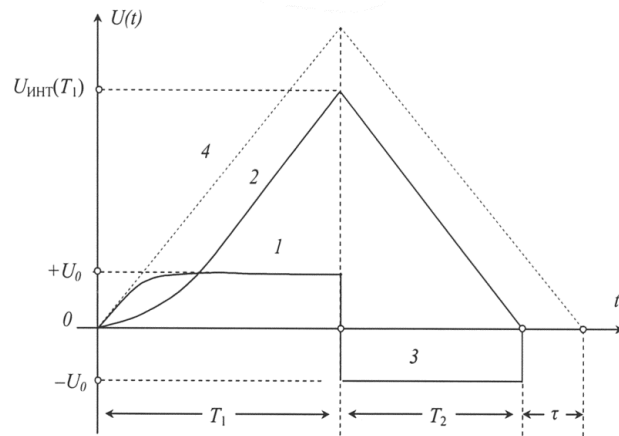
При измерении, например  $\tau = 1$  мс, в режиме вычитания за время  $T_2 = T_1 - \tau = 10 - 1 = 9$  мс в счетчик поступит  $N_2 = T_2 f_0 = 0,009 \cdot 10^6 = 9000$  импульсов, и в результате сформируется код  $N_x = N_1 - N_2 = 10000 - 9000 = 1000$ , что соответствует  $\tau = 1000$  мкс.

Методическая погрешность измерения, возникающая при упрощении интеграла (2) при переходе к интегралу (3), не превышает величину  $e^{-\tau} = e^{-10} < 5 \cdot 10^{-5}$ .

Способ и устройство позволяют получить цифровой код, пропорциональный постоянной времени переходного процесса. Постоянная времени интегратора не влияет на результат измерения, при этом не требуются операции по выделению свободной составляющей переходного процесса.

Источники информации:

1. RU 2180966 С2, МПК G 01R 27/26, G 01R 27/02, 2002.
2. ВУ 7122 U, МПК G 01R 23/16, 2011.



Фиг. 2