

---

---

# ЭЛЕКТРОННЫЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ УСТРОЙСТВА

---

---

УДК 621.372.4.08  
DOI: 10.17586/0021-3454-2017-60-12-1130-1137

## ПРИМЕНЕНИЕ $RC$ -ЗВЕНЬЕВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОБРАЗЦОВЫХ СИГНАЛОВ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ОБОБЩЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ ДВУХПОЛЮСНИКОВ

В. И. ИВАНОВ, В. С. ТИТОВ, С. Н. ГВОЗДЕВА

*Юго-Западный государственный университет, 305040, Курск, Россия  
E-mail: titov-kstu@rambler.ru*

Предложено построенное в виде  $n$ -каскадного дифференциатора на последовательно включенных  $RC$ -звеньях устройство формирования образцовых сигналов, имеющих форму степенных функций. Устройство не содержит операционных усилителей в цепях дифференциатора, это обуславливает отсутствие искажений формы сигналов неравновесия, вызванных временными задержками в каскадах. Возможность применения высоковольтных тестовых импульсов в пассивной цепи дифференциатора обеспечивает повышение разрешающей способности преобразователя и увеличение числа измеряемых обобщенных параметров пассивных многоэлементных двухполюсников. Представлены аналитические выражения для вычисления обобщенных параметров проводимости двухполюсников, в том числе объектов с коротким замыканием между полюсами на постоянном токе.

**Ключевые слова:** обобщенные параметры, многоэлементные двухполюсники, дифференциаторы

В устройствах измерения параметров двухполюсных электрических цепей широко используются уравновешенные компенсационные схемы, в которых приводится к нулю векторная разность двух активных величин. Одна из них формируется цепью преобразования комплексной проводимости (сопротивления) многоэлементного двухполюсника в активную векторную величину, причем каждая составляющая последней однозначно определяется одной из искомым составляющих комплексного сопротивления, а вторая — вспомогательной цепью, которая строится таким образом, чтобы значение каждой составляющей компенсирующей активной векторной величины регулировалось одним пассивным элементом [1—4]. При параметрической идентификации многоэлементных двухполюсников (МДП), в частности, выполняется определение обобщенных параметров объекта измерения — коэффициентов полиномиального сигнала отклика измерительной схемы (ИС) в установившемся режиме при воздействии на ИС импульсом напряжения или тока, имеющего вид степенной функции [5—8]. Использование обобщенных параметров сложных электрических цепей, в частности многоэлементных пассивных  $RLC$ -двухполюсников, позволяет унифицировать алгоритмы и аппаратуру параметрической идентификации широкого класса объектов. Известны преобразователи с уравновешиванием выходного полиномиального сигнала МДП и образцовых сигналов, в которых для формирования компенсирующих сигналов применяют  $n$ -каскадные ин-

теграторы или дифференциаторы, выполненные на операционных усилителях (ОУ) с обратной связью [9, 10]. К качеству компенсирующих сигналов, а именно к точности формы, стабильности и синхронности, предъявляются высокие требования.

В работе [11] обоснована возможность построения схемы преобразователя параметров с  $n$ -каскадным дифференциатором на пассивных RC-звеньях. Преобразователь в [11] содержит генератор импульсов напряжения степенной формы  $u(t) = U_m t^n / t_n^n$  и  $n$ -каскадный дифференциатор на RC-звеньях с буферными развязывающими усилителями. Передаточная функция каждого каскада имеет вид  $H(p) = p\tau / (1 + p\tau)$ .

В возбужденном тестовым импульсом напряжения степенной формы  $u(t) = U_m t^n / t_n^n$  двухполюснике объекта измерения после переходного процесса устанавливается импульс тока, содержащий четыре составляющих — кубическую, квадратичную, линейную и прямоугольную:

$$i_{\text{дп}}(t) = (Y_0 U_m t^3 + 3Y_1 U_m t^2 + 6Y_2 U_m t + 6Y_3 U_m) / t_n^3, \quad (1)$$

где  $Y_0, Y_1, Y_2, Y_3$  — обобщенные параметры комплексной проводимости МДП, которые определяются выражениями [5]

$$Y_0 = \frac{b_0}{a_0}; Y_1 = \frac{b_1 - a_1 Y_0}{a_0}; Y_2 = \frac{b_2 - a_2 Y_0 - a_1 Y_1}{a_0}; Y_3 = \frac{b_3 - a_3 Y_0 - a_2 Y_1 - a_1 Y_2}{a_0}; \quad (2)$$

$a_0, a_1, a_2, \dots, b_0, b_1, b_2, \dots$  — коэффициенты полиномов знаменателя и числителя операторной функции МДП.

Тестовый импульс подается также на вход трехкаскадного дифференциатора. На выходах первого, второго и третьего каскадов формируются сигналы

$$u_{\text{диф1}}(t) = (3\tau U_m t^2 - 6\tau^2 U_m t + 6\tau^3 U_m) / t_n^3; \\ u_{\text{диф2}}(t) = (6\tau^2 U_m t - 12\tau^3 U_m) / t_n^3; u_{\text{диф3}}(t) = 6\tau^3 U_m / t_n^3. \quad (3)$$

Импульсы напряжения  $u_{\text{диф1}}(t)$ ,  $u_{\text{диф2}}(t)$  и  $u_{\text{диф3}}(t)$  содержат все составляющие, необходимые для компенсации тока двухполюсника. Из тестового импульса и импульсов (3) с помощью преобразователей „напряжение—ток“ (ПНТ) формируются составляющие импульсов компенсирующего тока: кубической, квадратичной, линейно изменяющейся и прямоугольной формы. Баланс кубического тока МДП  $Y_0 U_m t^3 / t_n^3$  и тестового импульса  $G_0 U_m t^3 / t_n^3$  достигается регулированием проводимости прямой передачи  $G_0$  преобразователя ПНТ 1. Из условия равновесия можно определить параметр проводимости  $Y_0 = G_0$ . Уравновешивание квадратичной составляющей тока МДП осуществляется напряжением  $u_{\text{диф1}}$ :  $3Y_1 U_m t^2 / t_n^3 = G_1 3\tau U_m t^2 / t_n^3$ . Это выражение позволяет вычислить параметр  $Y_1 = G_1 \tau$ . Компенсация линейно изменяющегося тока МДП  $6Y_2 U_m t / t_n^3$  выполняется с помощью линейных составляющих сигналов  $u_{\text{диф2}}$  и  $u_{\text{диф1}}$  путем регулировки параметра  $G_2$ . Из условия баланса вычисляют параметр проводимости  $Y_2 = (G_2 - G_1) \tau^2$ . Значение  $Y_3$  определяется из условия баланса прямоугольной составляющей импульса МДП  $6Y_3 U_m / t_n^3$  и суммы прямоугольных импульсов в составе сигналов  $u_{\text{диф3}}$ ,  $u_{\text{диф2}}$  и  $u_{\text{диф1}}$ , достигаемого регулированием параметра  $G_3$ :  $Y_3 = (G_3 - 2G_2 + G_1) \tau^3$ .

Дифференциаторы на RC-цепях устойчивы и стабильны, однако каскадное включение операционных усилителей является источником погрешностей преобразования параметров двухполюсных пассивных RLC-цепей из-за временных сдвигов между составляющими реакции сигнала МДП и образцовыми колебаниями, обусловленными задержками в активных

элементах (в операционных усилителях) многокаскадных формирователей. Наибольшая ошибка (до 3—5 %) возникает на четвертом этапе преобразования.

Разработана схема дифференциатора, которая не содержит активных элементов между каскадами (рис. 1). Устройство представляет собой последовательную цепь дифференцирующих RC-звеньев. Операционные усилители ОУ1, ОУ 2 и ОУ 3 используются как буферные каскады в режиме повторителя напряжения. Рассмотрим работу преобразователя параметров пассивных двухполюсников с конечным (ненулевым и небесконечным) сопротивлением на постоянном токе.

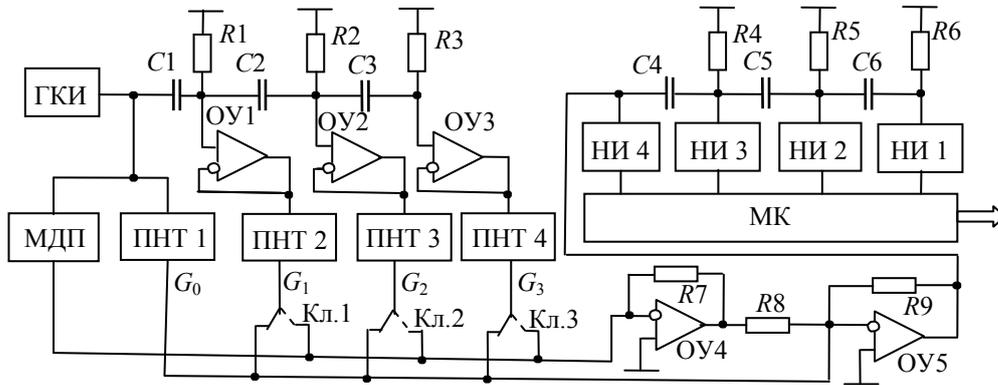


Рис. 1

Для упрощения анализа и вычислений целесообразно установить значения постоянных времени всех каскадов одинаковыми:  $R_1C_1 = R_2C_2 = R_3C_3 = \tau$ , и для уменьшения длительности переходного процесса в измерительной схеме использовать разные значения емкости и сопротивления в каждом каскаде — во втором и третьем звеньях емкость уменьшать, а сопротивление во столько же раз увеличивать:  $C_2 = mC$ ;  $R_2 = R/m$ ;  $C_3 = mC_2$ ;  $R_3 = R_2/m$ ,  $m < 1$ .

Передаточные функции по выходам первого (звена C1-R1), второго (C2-R2) и третьего (C3-R3) каскадов имеют вид:

$$H_{1RC}(p) = \frac{p\tau(1 + (2 + m)p\tau + p^2\tau^2)}{1 + (3 + 2m)p\tau + (3 + 2m + m^2)p^2\tau^2 + p^3\tau^3}; \tag{4}$$

$$H_{2RC}(p) = \frac{p^2\tau^2(1 + p\tau)}{1 + (3 + 2m)p\tau + (3 + 2m + m^2)p^2\tau^2 + p^3\tau^3}; \tag{5}$$

$$H_{3RC}(p) = \frac{p^3\tau^3}{1 + (3 + 2m)p\tau + (3 + 2m + m^2)p^2\tau^2 + p^3\tau^3}. \tag{6}$$

Сигналы дифференциатора содержат импульсы напряжения вида степенной функции:

$$u_{1RC}(t) = (3\tau U_m t^2 - 6(1 + m)\tau^2 U_m t + 6(1 + 3m + m^2)\tau^3 U_m) / t_{и}^3; \\ u_{2RC}(t) = (6\tau^2 U_m t - 12(1 + m)\tau^3 U_m) / t_{и}^3; u_{3RC}(t) = 6\tau^3 U_m / t_{и}^3. \tag{7}$$

Импульсы  $u_{1RC}(t)$ ,  $u_{2RC}(t)$  и  $u_{3RC}(t)$  используются как образцовые сигналы для компенсации тока двухполюсника. Уравновешивание токов осуществляется регулировкой проводимости прямой передачи  $G_0, G_1, G_2, G_3$  преобразователей ПНТ 1, ПНТ 2, ПНТ 3 и ПНТ 4, подключенных к выходам дифференциатора. Преобразователи могут быть выполнены по схеме перемножающего ЦАП или дискретно переключаемых резисторов.

Уравновешивание следует начинать с сигнала старшей степени. С помощью ПНТ 1 уравнивают кубическую составляющую импульсов тока МДП  $Y_0 U_m t^3 / t_{и}^3 = G_0 U_m t^3 / t_{и}^3$  и определяют обобщенный параметр проводимости  $Y_0$ :

$$Y_0 = G_0. \quad (8)$$

Затем компенсируют квадратичную составляющую тока двухполюсника квадратичной составляющей импульсов на выходе первого каскада дифференциатора  $u_{1RC}(t)$ . Из условия баланса токов  $3Y_1 U_m t^2 / t_{и}^3 = 3\tau G_1 U_m t^2 / t_{и}^3$  находят выражение для определения параметра проводимости  $Y_1$ :

$$Y_1 = \tau G_1. \quad (9)$$

Далее уравнивают линейно изменяющуюся составляющую тока МДП и линейный компенсирующий ток с выхода второго каскада дифференциатора  $u_{2RC}(t)$ . Из условия компенсации линейной составляющей тока МДП

$$6Y_2 U_m t / t_{и}^3 = 6\tau^2 G_2 U_m t / t_{и}^3 - 6(1+m)\tau^2 G_1 U_m t / t_{и}^3$$

определяют параметр проводимости  $Y_2$ :

$$Y_2 = \tau^2 (G_2 - (1+m)G_1). \quad (10)$$

Завершается процесс компенсации тока МДП уравниванием составляющей тока прямоугольной формы путем регулировки параметра  $G_3$  преобразователя ПНТ 4. Равновесие наступает при условии

$$6Y_3 U_m / t_{и}^3 = 6\tau^3 G_3 U_m / t_{и}^3 - 12(1+m)\tau^3 G_2 U_m / t_{и}^3 + 6(1+3m+m^2)\tau^3 G_1 U_m / t_{и}^3.$$

Из полученного выражения определяют параметр проводимости  $Y_3$ :

$$Y_3 = \tau^3 (G_3 - 2(1+m)G_2 + (1+3m+m^2)G_1). \quad (11)$$

Уравнивание всех составляющих тока МДП контролируется с помощью второго трехкаскадного дифференциатора на RC-звеньях C4-R4, C5-R5 и C6-R6. На первый вход дифференциального преобразователя „ток—напряжение“ (вход операционного усилителя ОУ4) поступают импульсы тока двухполюсника, а компенсирующие токи через ключи коммутируются либо на второй вход преобразователя (вход операционного усилителя ОУ5), если соответствующая составляющая имеет знак плюс, либо на первый вход преобразователя. Напряжение преобразователя на выходе ОУ5 пропорционально разности входных токов. На выходе третьего RC-звена (C6-R6) формируется прямоугольный импульс напряжения, амплитуда которого пропорциональна разности кубических токов. Сигнал на входе первого нуля-индикатора НИ 1 используется для управления процессом уравнивания импульсов кубической формы путем регулировки проводимости  $G_0$  преобразователя ПНТ 1. После компенсации кубических токов амплитуда прямоугольных импульсов на выходе третьего RC-звена принимает нулевое значение, а на выходе второго (C5-R5) наблюдается прямоугольный импульс, амплитуда которого пропорциональна разности квадратичных составляющих тока МДП и компенсирующего тока. В процессе уравнивания с помощью второго нуля-индикатора определяются знак проводимости  $G_1$  преобразователя ПНТ 2 и ее номинальное значение. Аналогичным образом осуществляется уравнивание остальных компонентов тока МДП.

Рассмотрим работу преобразователя на примере четырехэлементного двухполюсника с конечным сопротивлением на постоянном токе (рис. 2). Операторное изображение проводимости МДП имеет вид

$$Y(p) = (1 + p(R_1 + R_2)C_1 + p^2 L_1 C_1) / (R_1 + pR_1 R_2 C_1 + p^2 L_1 C_1).$$

Обобщенные параметры проводимости ( $Y$ -параметры) МДП, найденные в соответствии с формулами (2), равны

$$Y_0 = 1/R_1; Y_1 = C_1; Y_2 = -R_2C_1^2; Y_3 = C_1^2 (R_2^2C_1 - L_1).$$

Найденные в процессе уравнивания токов значения проводимости прямой передачи  $G_0, G_1, G_2, G_3$  преобразователей ПНТ 1, ПНТ 2, ПНТ 3 и ПНТ 4 используются для вычисления значений обобщенных параметров проводимости по формулам (8)—(11). На завершающей стадии вычисляются электрические параметры элементов МДП:

$$R_1 = 1/Y_0; C_1 = Y_1; R_2 = -Y_2/Y_1^2; L_1 = -(Y_2^2 - Y_3Y_1)/Y_1^3.$$

Как видно из приведенного примера, алгоритм преобразования обобщенных параметров не зависит от конфигурации схемы замещения объекта.

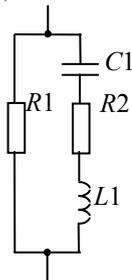


Рис. 2

**Особенности измерения параметров МДП с коротким замыканием между полюсами на постоянном токе.** Если между выводами двухполюсника включен индуктивный элемент, в операторном изображении проводимости  $Y(p)$  свободный член  $a_0$  равен нулю. Пример схемы такого МДП показан на рис. 3. Операторное изображение проводимости двухполюсника имеет вид

$$Y(p) = (R_1 + p(L_1 + R_1R_2C_1) + p^2(R_1 + R_2)L_1C_1) / (pR_1L_1 + p^2R_1R_2L_1C_1).$$

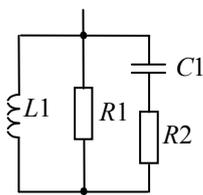


Рис. 3

Так как в формулах (2)  $a_0 = 0$ , их применение для определения обобщенных  $Y$ -параметров невозможно. Необходимо модифицировать функцию проводимости. Перенесем оператор  $1/p$  в изображении тока МДП  $I(p) = Y(p)U(p)$  из операторного изображения проводимости  $Y(p)$  в операторное изображение тестового сигнала  $U(p)$ .

Выражение

$$Y^*(p) = (b_0 + pb_1 + p^2b_2 + \dots) / (a_1 + pa_2 + p^2a_3 \dots) \tag{12}$$

является операторным изображением модифицированной функции проводимости МДП [12, 13]. Для обеспечения соответствия показателей степени возбуждающего сигнала и реакции цепи целесообразно в выражениях для  $Y$ -параметров сдвинуть индексы:

$$Y_{-1} = b_0/a_1; Y_0 = (b_1 - a_2Y_{-1})/a_1; Y_1 = (b_2 - a_3Y_{-1} - a_2Y_0)/a_1; Y_2 = (b_3 - a_4Y_1 - a_3Y_0 - a_2Y_{-1})/a_1.$$

Увеличение степени оператора  $p$  в знаменателе изображения тестового импульса свидетельствует о том, что старшая степень импульса тока на единицу выше степени входного импульса напряжения.

Так, для двухполюсника, схема замещения которого приведена на рис. 3, операторное изображение модифицированной функции проводимости имеет вид

$$Y^*(p) = \left( R_1 + p(L_1 + R_1 R_2 C_1) + p^2(R_1 + R_2)L_1 C_1 \right) / \left( R_1 L_1 + p R_1 R_2 L_1 C_1 \right).$$

Обобщенные параметры проводимости модифицированной модели МДП равны  $Y_{-1} = 1/L_1$ ;  $Y_0 = 1/R_1$ ;  $Y_1 = C_1$ ;  $Y_2 = -R_2 C_1^2$ .

При воздействии на двухполюсник импульса напряжения  $n$ -й степени  $u_{\text{дп}}(t) = U_m t^n / t_{\text{и}}^n$  реакция представляет собой сумму импульсов тока степенной формы с показателями от  $(n + 1)$  до нуля:

$$i(t) = \sum_{n=0}^2 \sum_{k=-1}^n \frac{n! Y_k U_m t^{n-k}}{(n-k)! t_{\text{и}}^n}. \quad (13)$$

Так как старший показатель степени импульса тока на единицу выше степени тестового сигнала, необходимо использовать источник компенсирующего тока  $(n + 1)$ -й степени. Для возможности измерения с помощью ранее рассмотренного преобразователя (см. рис. 1) объект следует подключить к выходу первого каскада дифференциатора, а напряжение генератора тестовых импульсов (ГКИ) использовать для компенсации кубичной составляющей тока двухполюсника с регулировкой параметра  $G_0$  преобразователя ПНТ 1:

$$Y_{-1} U_m t^3 / t_{\text{и}}^3 = G_0 U_m t^3 / t_{\text{и}}^3.$$

Из этого условия равновесия определяют

$$Y_{-1} = G_0. \quad (14)$$

Выходной сигнал  $u_1(t)$  первого дифференциатора (7) содержит три составляющие, каждая из которых вырабатывает в двухполюснике группу импульсов тока степенной формы. Квадратичные составляющие токов МДП и первого каскада дифференциатора уравновешивают регулировкой параметра  $G_1$  преобразователя ПНТ 2:

$$3Y_0 U_m t^2 / t_{\text{и}}^3 = 3G_1 \tau U_m t^2 / t_{\text{и}}^3.$$

Из полученного выражения баланса можно определить

$$Y_0 = G_1 \tau. \quad (15)$$

Источником сигнала, компенсирующего линейную составляющую тока МДП, служат импульсы линейно изменяющегося напряжения на выходе второго дифференциатора, к которому подключен преобразователь ПНТ 3 с регулируемым параметром проводимости  $G_2$ :

$$6Y_1 U_m t / t_{\text{и}}^3 = 6G_2 \tau^2 U_m t / t_{\text{и}}^3 - 6(1+m)G_1 \tau^2 U_m t / t_{\text{и}}^3.$$

Из условия компенсации линейного тока определяется:

$$Y_1 = (G_2 - (1+m)G_1) \tau^2. \quad (16)$$

Для компенсации постоянной составляющей тока МДП используется постоянная составляющая напряжения  $6\tau^3 U_m / t_{\text{и}}^3$  на выходе третьего дифференциатора, к которому подключен преобразователь ПНТ 4 с регулируемой проводимостью  $G_3$ . Из условия компенсации тока

$$6Y_2 U_m / t_{\text{и}}^3 = 6G_3 \tau^3 U_m / t_{\text{и}}^3 - 12G_2 (1+m) \tau^3 U_m / t_{\text{и}}^3 + 6G_1 (1+3m+m^2) \tau^3 U_m / t_{\text{и}}^3$$

определяется параметр проводимости  $Y_2$ :

$$Y_2 = \left( G_3 - 2(1+m)G_2 + (1+3m+m^2)G_1 \right) \tau^3. \quad (17)$$

После уравновешивания тока МДП и компенсационного тока вычисляются электрические параметры элементов двухполюсника:

$$L_1 = 1/Y_{-1}; \quad R_1 = 1/Y_0; \quad C_1 = Y_1; \quad R_2 = -Y_2/Y_1^2.$$

Ниже приведены результаты моделирования преобразователя параметров МДП, схема замещения которого представлена на рис. 3. Постоянная времени каскадов дифференциатора  $\tau = 15$  мкс, длительность тестового импульса 300 мкс, частота единичного усиления ОУ 50 МГц.

Элементы	Параметр ПНТ	Обобщенный параметр		Электрический параметр	Погрешность МДП, %	
		расчетный	измеренный			
$L_1=5$ мГн	$G_0=0,2000$	$Y_{-1}$ , мСм/мкс	0,2	0,2	$L_1=5$ мГн	0
$R_1=2$ кОм	$G_1=0,0333$	$Y_0$ , мСм	0,5	0,5	$R_1=2$ кОм	0
$C_1=15$ нФ	$G_2=0,0667$	$Y_1$ , мСм·мкс	15	14,985	$C_1=14,985$ нФ	0,1
$R_2=4$ кОм	$G_3=0,2666$	$Y_2$ , См·мкс <sup>2</sup>	900	895	$R_2=3,980$ кОм	0,5

Таким образом, предложенный вариант формирователей образцовых сигналов в преобразователях параметров многоэлементных пассивных двухполюсников позволяет устранить влияние на точность уравнивания задержек сигналов, присущих интеграторам и дифференциаторам на основе операционных усилителей. Импульсы токов, имеющие форму степенных функций времени, вырабатываются пассивной RC-цепью, структура которой соответствует модели объекта измерения, что обеспечивает адекватность уравниваемых сигналов. Импульсы сигнала неравновесия имеют плоскую вершину, что создает условия для более точной компенсации. Кроме того, устройство формирования образцовых сигналов на пассивной цепи допускает повышение на порядок амплитуды тестовых импульсов, что позволяет увеличить разрешающую способность преобразователя и количество измеряемых параметров МДП.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровских Л. П. Об однозначности определения параметров многоэлементных двухполюсников методом уравнивания // Автометрия. 1972. № 1. С. 64—67.
2. Мартяшин А. И., Шахов Э. К., Шляндин В. М. и др. Преобразователи электрических параметров для систем контроля и измерения. М.: Энергия, 1976. 392 с.
3. Передельский Г. И. Мостовые цепи с импульсным питанием. М.: Энергоатомиздат, 1988. 192 с.
4. Иванов В. И., Передельский Г. И. Мостовые цепи с импульсным питанием и расширенными функциональными возможностями // Измерительная техника. 2009. № 4. С. 40—45.
5. Иванов В. И., Титов В. С., Голубов Д. А. Применение обобщенных параметров измерительной цепи для идентификации многоэлементных двухполюсников // Датчики и системы. 2010. № 8. С. 43—45.
6. Иванов В. И. Теория и применение обобщенных параметров RLC-двухполюсников. Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2013. 136 с.
7. Иванов В. И., Титов В. С. Модели алгоритмов и устройств параметрической идентификации многоэлементных RLC-датчиков на основе обобщенных параметров двухполюсников. Ч. 1 // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 4. С. 128—135.
8. Иванов В. И. Модели алгоритмов и устройств параметрической идентификации многоэлементных RLC-датчиков на основе обобщенных параметров двухполюсников. Ч. 2 // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 4. С. 136—142.
9. Иванов В. И., Титов В. С., Голубов Д. А. Преобразователь параметров многоэлементных двухполюсников с уравниванием токов // Изв. вузов. Приборостроение. 2012. Т. 55, № 2. С. 73—78.
10. Ivanov V. I., Titov V. S. Direct Conversation of Generalized Parameters of Multicomponent Two-Terminal Networks Using Capacitive Differentiator RC-Chains // Mechanical Engineering Research. 2014. Vol. 4, N 1. P. 36—42.
11. Иванов В. И., Титов В. С. Применение дифференциаторов для идентификации полиномиального сигнала компенсационным методом в преобразователях параметров RLC-двухполюсников // Измерительная техника. 2016. № 6. С. 60—63.

12. Иванов В. И., Титов В. С. Преобразование параметров многоэлементных RLC-двухполюсников с коротким замыканием и разрывом цепи между полюсами на постоянном токе // Датчики и системы. 2014. № 9. С. 26—32.
13. Ivanov V. I., Titov V. S., Petrov A. S. Converters of the parameters of multicomponent two-terminal networks with a DC short circuit and a break in the circuit between poles // Measurement Techniques. 2014. Vol. 57, N 3. P. 340—346.

**Сведения об авторах**

- Владимир Ильич Иванов** — канд. техн. наук, доцент; Юго-Западный государственный университет; кафедра вычислительной техники; E-mail: viva37@mail.ru
- Виталий Семенович Титов** — д-р техн. наук, профессор; Юго-Западный государственный университет; кафедра вычислительной техники; заведующий кафедрой; E-mail: titov-kstu@rambler.ru
- Светлана Николаевна Гвоздева** — аспирант; Юго-Западный государственный университет; кафедра вычислительной техники; E-mail: svetka-gvozdeva@yandex.ru

Рекомендована кафедрой  
вычислительной техники

Поступила в редакцию  
26.05.17 г.

**Ссылка для цитирования:** Иванов В. И., Титов В. С., Гвоздева С. Н. Применение RC-звеньев для формирования образцовых сигналов в преобразователях обобщенных параметров многоэлементных двухполюсников // Изв. вузов. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 12. С. 1130—1137.

**USING RC CIRCUITS FOR FORMATION OF STANDARD SIGNALS  
IN CONVERTERS OF GENERALIZED PARAMETERS  
OF MULTICOMPONENT TWO-TERMINAL NETWORKS**

**V. I. Ivanov, V. S. Titov, S. N. Gvozdeva**

*Southwest State University, 305040, Kursk, Russia  
E-mail: titov-kstu@rambler.ru*

A device for formation of standard signals of the shape of power function is proposed. The device is constructed as an n-cascaded differentiator on series-connected RC-circuits. The device does not contain operational amplifiers in differentiator circuits and therefore avoids distortions of the shape of signals of a disbalance caused by time delays in cascades. The possibility of applying high-voltage test pulses in the passive circuit of the differentiator makes it possible to increase the resolving power of the converter and increase the number of measured generalized parameters of the passive multi-element two-terminal network. Analytical expressions are presented for calculating generalized conductivity parameters of dipoles, including objects with a short-circuit between poles at a direct current.

**Keywords:** generalized parameters, multicomponent two-terminal networks, differentiators

**Data on authors**

- Vladimir I. Ivanov** — PhD, Associate Professor; Southwest State University, Department of Computer Science; E-mail: viva37@mail.ru
- Vitaly S. Titov** — Dr. Sci, Professor; Southwest State University, Department of Computer Science; E-mail: titov-kstu@rambler.ru
- Svetlana N. Gvozdeva** — Post-Graduate Student; Southwest State University, Department of Computer Science; E-mail: svetka-gvozdeva@yandex.ru

**For citation:** Ivanov V. I., Titov V. S., Gvozdeva S. N. Using RC circuits for formation of standard signals in converters of generalized parameters of multicomponent two-terminal networks. *Journal of Instrument Engineering*. 2017. Vol. 60, N 12. P. 1130—1137 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2017-60-12-1130-1137