

40315  
2903

**ВЫСОКОТОЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ МАЛЫХ АКТИВНЫХ  
СОПРОТИВЛЕНИЙ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ ВОЛЬТМЕТРОВ**

А. Б. СЕЛИБЕР, В. Б. РУДНИЦКИЙ, В. И. СОКОЛОВ

Ленинградский электротехнический институт связи им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Приводятся анализ режима и характеристики разработанного авторами преобразователя малых активных сопротивлений, в котором автоматически исключается аддитивная погрешность преобразования, обусловленная паразитными контактными потенциалами и термоэдс.

Достижения измерительной техники последних лет привели к созданию высокоточных и быстродействующих цифровых вольтметров постоянного тока (ЦВПТ). Одним из современных направлений развития измерительной техники является использование ЦВПТ в качестве базового прибора для измерения различных величин (отношения двух напряжений, переменного напряжения, сопротивления, емкости, индуктивности, мощности, тока, температуры и др.). В таких ЦВПТ используются точные аналоговые преобразователи измеряемых величин в постоянное напряжение в виде сменных приставок к ним.

В данной статье рассматривается вопрос построения преобразователя малых сопротивлений (ПМС) в постоянное напряжение, измеряемое ЦВПТ.

Методы преобразования малых сопротивлений основаны, как правило, на пропускании известного тока через измеряемое сопротивление и измерении падения напряжения на нем [1, 2, 3], причем ток может быть как переменным, так и постоянным. При построении высокоточных ПМС, работающих в широком динамическом диапазоне (от 1 Ом до 1 мкОм), единственно возможным является питание измеряемого сопротивления постоянным током, так как на переменном токе неизбежна значительная погрешность измерения, обусловленная наличием у измеряемого сопротивления паразитной индуктивности. Но при использовании постоянного тока в качестве измерительного необходимо считаться с погрешностью измерения, обусловленной действием паразитных э. д. с. в цепи потенциальных зажимов измеряемого сопротивления. Для устранения этой погрешности можно применить метод двух измерений: либо с переменной полярности измерительного тока, либо с кратковременным выключением измерительного тока. Последний метод был использован в разработанном ПМС.

Функциональная схема ПМС показана на рис. 1. На этой схеме ИОН — источник опорного напряжения, ДН — делитель напряжения, УС — устройство синхронизации, УП — устройство памяти, У1 и У2 — усилители постоянного тока, Кл. 1 и Кл. 2 — ключи,  $R_0$  — образцовый

резистор,  $R_x$  — измеряемое сопротивление. Измеряемое сопротивление включено на выход стабилизатора тока посредством токовых зажимов (ТЗ), а падение напряжения на  $R_x$  снимается с помощью потенциальных зажимов (ПЗ). Работу устройства рассмотрим с того момента, когда ключ  $Кл. 1$  разомкнут, а ключ  $Кл. 2$  замкнут. Состояние ключей

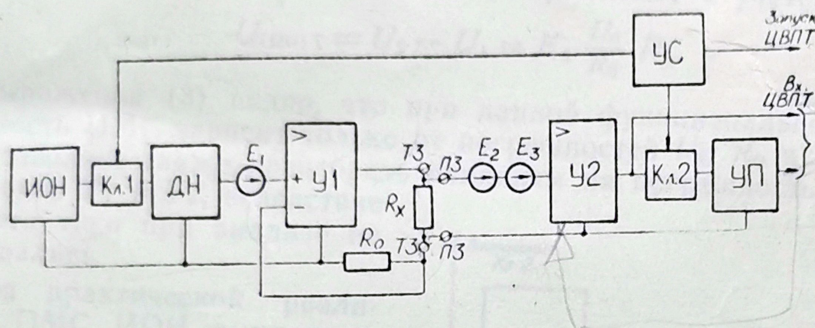


Рис. 1

определяется УС. При этом выходное напряжение ДН  $U_0=0$ , а на входе У1 включен источник э.д.с.  $E_1$ , учитывающий начальное смещение У1. Последовательно соединенные измеряемое сопротивление  $R_x$  и образцовый резистор  $R_0$  подключены к выходу У1. Падение напряжения на  $R_0$  полностью заводится на инвертирующий вход У1. При коэффициенте усиления У1 более  $10^4$  можно считать, что падение напряжения на  $R_0$  равно напряжению, подаваемому на неинвертирующий вход У1. Таким образом, начальный ток  $I_1$  через  $R_x$  и  $R_0$  определяется как

$$I_1 = \frac{E_1}{R_0}.$$

Таким образом, на входе У2 при разомкнутом ключе  $Кл. 1$  действует

$$\frac{E_1}{R_0} R_x + E_2 + E_3,$$

где  $E_2$  — паразитные контактные потенциалы и термоэдс,  $E_3$  — э.д.с., учитывающая начальное смещение У2.

Напряжение  $U_1$ , запоминаемое УП, определяется как

$$U_1 = \left( \frac{E_1}{R_0} R_x + E_2 + E_3 \right) K_2, \quad (1)$$

где  $K_2$  — коэффициент усиления масштабного усилителя У2.

После запоминания  $U_1$  УС отключает УП от У2 (ключ  $Кл. 2$  размыкается) и подключает ИОН ко входу ДН (при этом ключ  $Кл. 1$  замкнут). На выходе ДН, необходимого для обеспечения требуемого режима работы У1, появляется напряжение  $U_0$ . При этом ток  $I_2$  через  $R_x$  определяют по формуле

$$I_2 = \frac{E_1 + U_0}{R_0}.$$

Напряжения  $E_1, E_2, E_3$

После замыкания ключей, УС измеряет внешнее

Из выражения (1) видно, что погрешность УП позволяет измерять токи, для которых эти погрешности учитывались.

При использовании ПМС по схеме (рис. 1) параметры, аналогичные промышленным образцам, обеспечивают погрешность измерения  $\pm 0,01\%$  при напряжении питания  $220 \text{ В} \pm 10\%$  и частоте  $50 \text{ Гц}$ . В качестве стабилизатора напряжения использован стабилизатор на основе мanganin-резистора с коэффициентом стабильности  $\pm 0,01\%$  для У1 и операционного усилителя У2 применены операционные усилители типа ИС1516, для которых в качестве источника питания использован источник тока с регулируемым напряжением на стандартных транзисторах (рис. 2) и стабилизатором напряжения (рис. 3).

Напряжение  $U_2$  на выходе У2, если пренебречь нестабильностью э. д. с.  $E_1, E_2, E_3$  за время одного измерения, находят как

$$U_2 = \left( \frac{E_1 + U_0}{R_0} R_x + E_2 + E_3 \right) K_2. \quad (2)$$

После окончания переходных процессов, связанных с коммутацией ключей, УС выдает импульс запуска ЦВПТ, работающего в режиме внешнего запуска. Показание ЦВПТ определяют с учетом (1) и (2):

$$U_{\text{ЦВПТ}} = U_2 - U_1 = K_2 \frac{U_0}{R_0} R_x. \quad (3)$$

Из выражения (3) видно, что при данной функциональной схеме погрешность ПМС зависит только от погрешностей  $U_0, R_0$  и  $K_2$ . Введение УП позволяет также пренебречь влиянием на погрешность ПМС входных токов  $U_1$  и  $U_2$ , вследствие чего эти токи при анализе не учитывались.

При практической реализации ПМС ИОН выполняют по схеме трехкаскадного параметрического стабилизатора, аналогичной схеме ИОН промышленных ЦВПТ, нестабильность выходного напряжения которых не более  $\pm 0,01\%$  при температуре окружающей среды  $20 \pm 10^\circ \text{C}$  и напряжении питающей сети  $220 \text{ В} \pm 10\%$ . ДН изготавливают из высокостабильных марганциновых резисторов с плавной регулировкой коэффициента передачи, необходимой для калибровки ПМС. В качестве дифференциального усилителя У1 используют интегральную микросхему К1УТ402А с усилением не менее  $10^4$ . В состав У1 входит также усилитель мощности — составной эмиттерный повторитель на транзисторах КТ315А и КТ602А, необходимый для получения стабилизируемых токов до 100 мА. В качестве У2 применяют усилитель в модульном исполнении типа Ф7024 с коэффициентом усиления  $10^3$ , обеспечивающий малый уровень шумов и разрешающую способность порядка 0,1 мкВ. Высокое входное сопротивление (свыше 1 ГОм) современных ЦВПТ, в частности, вольтметра ШЦ1516, для которого и предназначен разработанный ПМС, позволяет в качестве УП использовать простую интегрирующую RC-цепочку. В качестве запоминающего конденсатора применяют конденсатор с малой утечкой типа К76-3 емкостью 10 мкФ. При этом потеря запоминающего напряжения составляет не более 0,01% за 1 с. УС собирают на стандартных логических схемах. Временные диаграммы УС показывают (рис. 2), что длительность токового импульса 0,6 с, а время одного измерения — 1 с.

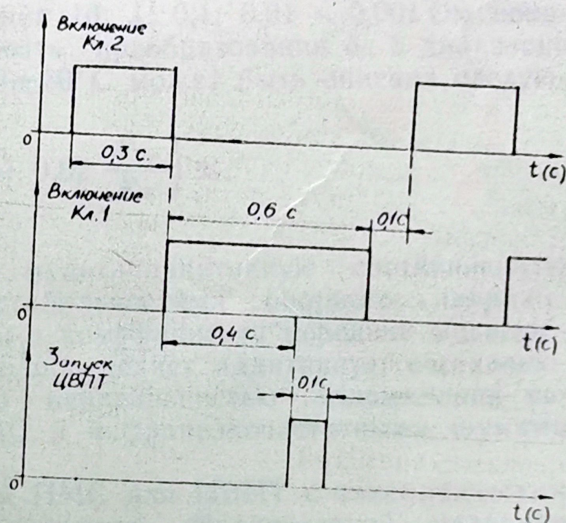
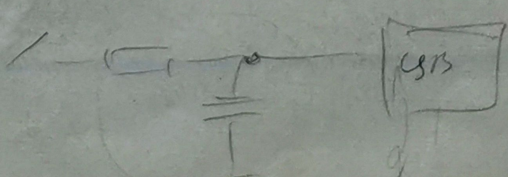


Рис. 2



В ПМС четыре предела преобразования: 10 Ом, 1 Ом, 100 мОм и 10 мОм, выбор которых осуществляется коммутацией образцовых резисторов, задающих силу стабилизируемого тока. Значение  $U_0$ , выбранное равным 1В, определило значения сопротивлений образцовых резисторов, соответствующих указанным пределам преобразования, 10 кОм, 1 кОм, 100 Ом и 10 Ом. При этом сила стабилизируемого тока равна соответственно 0,1 мА, 1 мА, 10 мА, 100 мА. Выходное напряжение ПМС, соответствующее каждому пределу преобразования, равно 1В. Верхний предел измерения может быть увеличен до 100 Ом.

Испытания ПМС с помощью образцовых резисторов класса точности 0,01 на номинальные значения 10; 1; 0,1; 0,01 и 0,001 Ом показали, что относительная погрешность преобразования  $\delta_n$  в диапазоне температур окружающей среды  $20 \pm 10^\circ \text{C}$  может быть описана следующей формулой:

$$\delta_n = \pm \left( 0,03 + 0,02 \frac{R_{np}}{R_x} \right) \%,$$

где  $R_{np}$  — предел преобразования.

Первое слагаемое определяет мультипликативную составляющую погрешности, обусловленную нестабильностями опорного напряжения  $U_0$ , образцовых резисторов  $R_0$  и коэффициента передачи масштабного усилителя. Второе слагаемое определяет аддитивную составляющую погрешности, обусловленную неидеальностью запоминания начального сигнала на выходе ПМС и инфранизкочастотными шумами на выходе масштабного усилителя.

Таким образом, разработанный ПМС для ЦВПТ с автоматическим исключением погрешности преобразования, обусловленной наличием паразитных контактных потенциалов и термоэДС, по своим метрологическим характеристикам приближается к самым совершенным приборам для измерения малых сопротивлений — двойным мостам, однако, намного (в сотни раз) превосходит их по быстродействию.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Константинов С. В. Измерительные цепи компенсационных преобразователей сопротивления в напряжение. — В сб.: «Управляющие машины и системы», вып. 2. Институт Кибернетики АН УССР, г. Киев, 1966, с. 65.
2. Волгин Л. И. Применение усилителей постоянного тока с обратной связью для измерения активных сопротивлений. — Изв. вузов СССР — «Приборостроение», 1968, т. XI, № 4.
3. Волгин Л. И. Линейные электрические преобразователи для измерительных приборов и систем. М., «Сов. радио», 1971, с. 220—246.

Рекомендована кафедрой  
измерений в технике связи

Поступила в редакцию  
11 мая 1976 г.

Широ-  
меров (Г.  
идально  
ходного  
ния этих  
математическ  
точности  
выполнен  
10 Гц — в  
разцового  
пазоне 0,0  
ее период  
разует в  
вание ос  
связи [2].  
Функц  
ного форм  
пределов  
в составе  
тельно вк  
делителя  
схем логи  
декадного  
ваше  $N_T$   
схем совм  
связи (Ф  
частоты Г  
ЦЧ в сое  
(ГгС), вы  
вания ПП  
схем П<sub>2</sub>, П  
ной памяти  
Л1 — Л5 т