

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

13-86-400

Д.П.Василевская, В.П.Саванеев

**ДЕЛИТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА
ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

1986

Бесконтактные измерительные преобразователи постоянного тока на основе магнитных компараторов широко используются в качестве элементов систем автоматического измерения, регулирования и стабилизации тока^{/1/}. Преимущества таких преобразователей реализуются в широком диапазоне токов от сотен ампер до десятков килоампер. С ростом диапазона измеряемых токов растут геометрические размеры и вес преобразователей, увеличивается потребляемая на измерение мощность. Появляются технологические трудности с изготовлением и отжигом магнитных сердечников большого диаметра (>100 мм).

Возникающие затруднения могут быть разрешены путем расширения пределов измерения используемых преобразователей. В электроизмерительной технике для этой цели используется шунт, включаемый параллельно измерительному преобразователю^{/2/}. Измеряется часть тока, проходящая через преобразователь, а всю величину тока J_H определяют как произведение коэффициента шунтирования $K_{ш}$ на ток J_1 , протекающий через измеритель: $J_H = K_{ш} J_1$. При этом для поддержания необходимой точности коэффициент шунтирования $K_{ш}$ должен оставаться постоянным в широком интервале температур, поэтому шунты обычно изготавливают из манганина.

Известен вариант магнитного датчика тока, установленного на одну из ветвей токового делителя, изготовленного на базе измерительных манганиновых шунтов^{/3/}. Недостатком такого устройства является наличие потерь мощности на токовом делителе.

В настоящей работе описан измерительный преобразователь постоянного тока, изготовленный для расширения диапазона измерения совместно с токовым делителем из материала с высокой проводимостью. Приведены описание конструкции и технология изготовления токового делителя, экспериментальная зависимость влияния температуры и градиента температур по длине на коэффициент шунтирования $K_{ш}$.

КОНСТРУКЦИЯ ДЕЛИТЕЛЯ ТОКА

Конструкция делителя тока должна обеспечивать одинаковый температурный режим работы обеих ветвей деления^{/4/}. С учетом этого делитель был сделан следующим образом. На медной тонкостенной трубе 90/2,5 прорезом отделены два участка У1 и У2 (рис.1). В полученных участках просверлены отверстия под стержень токопровода, затем участок У1 был отогнут внутрь трубки и к нему при-

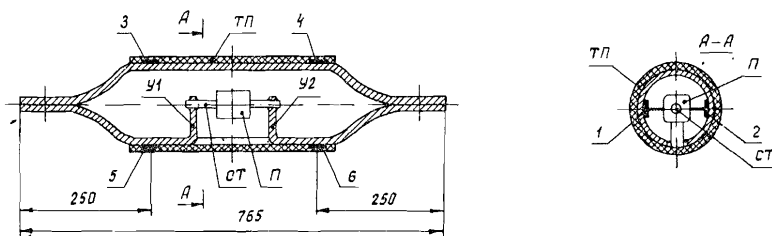


Рис.1. Конструкция делителя постоянного тока: У1, У2 — участки медной трубы, СТ — стержень токопровода, П — измерительный преобразователь, ТП — теплоизолирующее покрытие. 1÷6 — датчики температуры.

поем ПСР-45 припаян стержень токопровода СТ, на который надет измерительный преобразователь постоянного тока П. Стержень токопровода изолирован от преобразователя одним слоем асбестобумаги. Затем внутрь был отогнут участок У2 и к нему припаян второй конец стержня токопровода. Измерительный преобразователь располагался, таким образом, внутри трубы, на части трубы и стержне токопровода. С внешней стороны делитель тока теплоизолирован асбестобумагой толщиной 0,5 мм в 4 слоя. Затем труба делителя обжималась, и на концах образовывались после обжатия контактные площадки для включения в шинопровод цепи постоянного тока. Основные размеры полученного устройства приведены на рис.1. При проведении испытаний контроль температуры проводился с помощью наклеенных на трубу терморезисторов типа ММТ-1. Терморезисторы 1 и 2 контролируют температуру внутри делителя по его диаметру, 3÷6 — снаружи делителя по его длине.

Коэффициент шунтирования $K_{Ш}$ рассчитан по соотношению сопротивлений медных участков и токопроводящего стержня, на котором установлен измерительный преобразователь. Коэффициент шунтирования $K_{Ш}$ может изменяться путем изменения сечения ветвей делителя тока. В дальнейшем при исследовании такая возможность не использовалась.

На рис.2 показан общий вид делителя тока с измерительным преобразователем и блока электроники (кассета 480x120). Устройство показано без теплоизолирующего покрытия.

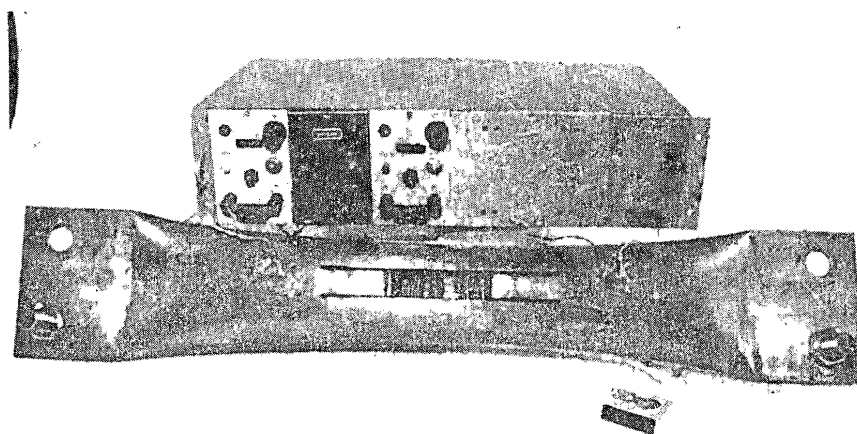


Рис.2. Общий вид делителя тока. Теплоизолирующее покрытие с участка деления снято.

СХЕМА УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

На рис.3 изображена упрощенная блок-схема установки для проверки температурных погрешностей измерительного преобразователя, в котором первичная обмотка выполнена в виде делителя тока. Делитель тока включен последовательно с нагрузкой L_M магнита

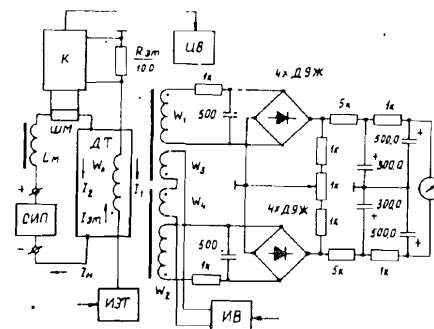


Рис.3. Упрощенная блок-схема установки для проведения испытаний. СИП — стабилизированный источник питания, ШМ — шунт масляный, К — коммутатор, ИЭТ — источник эталонного тока, ЦВ — цифровой вольтметр, Г — гальванометр, ДТ — делитель тока.

СП-57-3. В качестве источника тока использовался стабилизированный источник питания (СИП) — генератор постоянного тока типа ГП 500-1000. Контроль тока осуществлялся по падению напряжения на масляном шунте (ШМ) типа 1600/2,2. В качестве измерительного преобразователя постоянного тока использовался магнитный компаратор^{5/} с однополярным импульсным возбуждением. Принципиальная схема источника возбуждения (ИВ) и описание его работы полностью приведены в работе^{6/}. В качестве источника эталонного тока использовался термостатированный источник питания на ток 200 мА^{7/}. Значение токов СИП в ветви делителя контролировалось цифровым вольтметром типа TR-6515. С помощью механического коммутатора К напряжение на вход цифрового вольтметра ЦВ пода-

валось либо с измерительного шунта ШМ, либо с эталонного резистора $R_{ЭТ}$, включенного последовательно с обмоткой компенсации W_K магнитного компаратора постоянного тока. Эталонный резистор $R_{ЭТ}$ выполнен из манганина и помещен в термостат. Момент равенства эталонных и измеряемых ампер-витков фиксировался по гальванометру (Г) типа М195/2, подключенному к выходной схеме измерительного преобразователя постоянного тока. Выходная часть схемы преобразователя устанавливалась в пассивном термостате. Преобразователь рассчитан на измерение тока в диапазоне 0÷150 А. Основной режим работы: частота возбуждения 1000 Гц, ток возбуждения 0,2 А при напряжении питания выходного каскада ИВ 40 В. Магнитопровод из материала 83НФ имел наружный диаметр 30 мм, внутренний — 25 мм и высоту 5 мм. Число витков $W_K = 1000$, $W_1 = W_2 = 300$ витков (провод ПЭВ-2, диаметр 0,25), $W_3 = W_4 = 500$ витков (ПЭВ-2, диаметр 0,2). Выходная часть магнитного компаратора выполнена из проволочных сопротивлений типа С 5-5, конденсаторов типа ЭТО и КСО.

Температура на делителе тока фиксировалась цифровым вольтметром В7-18, на вход которого с помощью механического коммутатора подключались терморезисторы 1÷6. Время опроса 6 точек ~18÷20 с.

Для нагрева и создания градиента температур по длине делителя тока использовался нагреватель мощностью ~700 Вт, для охлаждения — вентилятор, создающий скоростной напор воздуха порядка ~10 м/с на расстоянии ~20 см.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Делитель постоянного тока с измерительным преобразователем подключался к системе электропитания для измерения тока J_H . Температурное поле делителя тока изменялось во времени для определения температурной погрешности под влиянием источников тепла или охлаждения. Экспериментально определялось изменение $K_{Ш} = J_H / J_1$ в разные моменты времени. Ток J_H измерен по падению напряжения на масляном шунте, ток J_1 — по падению напряжения на эталонном резисторе $R_{ЭТ}$, включенном последовательно с компенсационной обмоткой измерительного преобразователя (рис.3). Все измерения проведены при токе $J_H = 800$ А.

Полученные результаты обрабатывались на ЭВМ ЕС-1010, использовался пакет подпрограмм "График" /8/. По этим программам построены графики заданной кривой $K_{Ш} = f(\tau)$, $t = f(\tau)$ и $\Delta t = f(\tau)$ в выбранном масштабе в виде сплошной линии с линейной интерполяцией между точками. Для интерполирования данных равноотстоящих точек применялись первая и вторая интерполяционные формулы Ньютона и интерполяционная формула Стирлинга с центральными

разностями. При этом первая и вторая интерполяционные формулы Ньютона использовались в начале и в конце таблицы значений функций. Во внутренней области применялась интерполяционная формула Стирлинга.

В эту систему программ входит также программа численного дифференцирования точечной кривой (первая производная) /9/. По графикам изменения скоростей $K_{Ш}$, t и Δt , полученным после численного дифференцирования данных, можно определить максимальные скорости изменения $K_{Ш}$, t и Δt , время запаздывания при распространении теплового потока в трех предлагаемых вариантах изменения температуры и градиента по делителю тока.

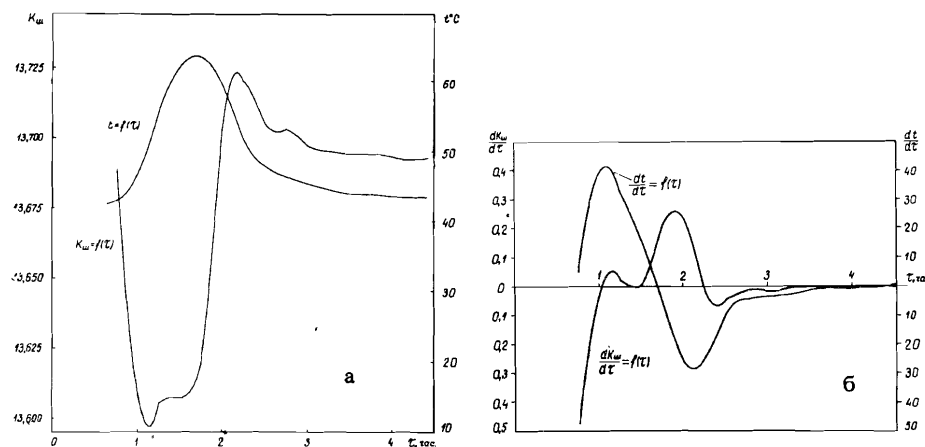


Рис.4. Нагрев в средней части делителя тока. Зависимости изменения коэффициента шунтирования и температуры внутри делителя тока от времени (а). Расчетные зависимости изменения скоростей коэффициента шунтирования и температуры от времени (б).

На рис.4а показана экспериментально полученная зависимость $K_{Ш} = f(\tau)$ от температуры. Нагреватель расположен в средней части под делителем тока. Такой нагрев обуславливал наличие градиента температур в верхней и нижней частях делителя тока ~10°C. Направление градиента — сверху вниз ($\Delta t = t_3 - t_4 = t_5 - t_6 \approx 10^\circ$). Зависимость $t = f(\tau)$ построена по показаниям термодатчика 1, расположенного во внутренней полости делителя тока. Из рисунка видно, что нагрев делителя на ~20°C уменьшает $K_{Ш}$ на ~0,65%. Максимальная скорость нагрева ~40°/ч (рис.4б). При отключении нагревателя $K_{Ш}$ увеличивается, и при восстановлении первоначального значения перегрева делителя тока по отношению к температуре среды $K_{Ш}$ восстанавливает свое значение с точностью 0,02%.

На рис.5а показаны зависимости $K_{Ш} = f(\tau)$, $t = f(\tau)$ и $\Delta t = f(\tau)$. Нагрев делителя тока осуществлялся нагревателем, расположенным

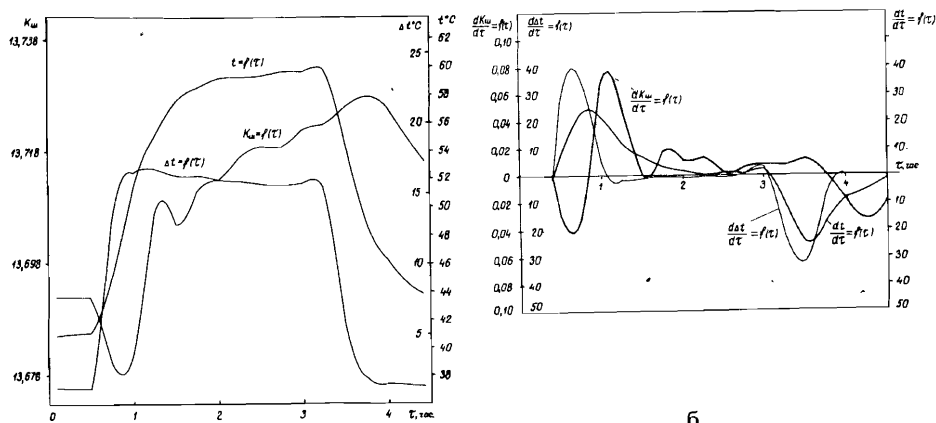


Рис.5. Нагрев делителя тока с одного конца. Зависимости изменения коэффициента шунтирования, температуры внутри делителя и градиента по его длине от времени (а). Расчетные зависимости изменения скоростей коэффициента шунтирования, температуры и градиента от времени (б).

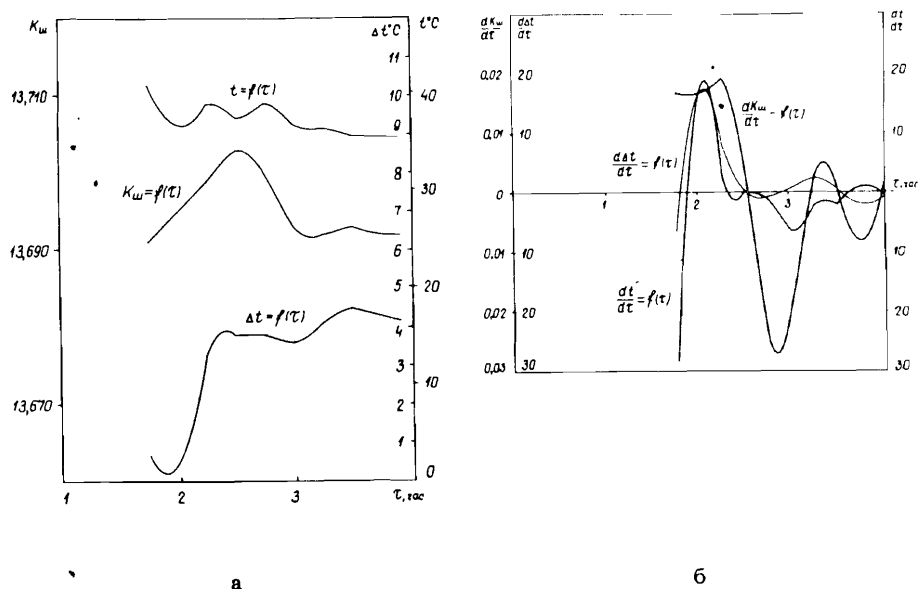


Рис.6. Охлаждение делителя тока с одного конца. Зависимости изменения коэффициента шунтирования, температуры внутри делителя и градиента по его длине от времени (а). Расчетные зависимости изменения скоростей коэффициента шунтирования, температуры и градиента от времени (б).

под делителем тока, с одного конца. Такое расположение нагревателя давало градиент температур не только по диаметру делителя тока, но и по его длине. Кривая изменения температуры $t = f(\tau)$ строилась по показаниям термодатчика 1, кривая изменения градиента $\Delta t = f(\tau)$ по длине делителя тока — по разности показаний термодатчиков 3 и 4 $\Delta t = t_3 - t_4$. При этом максимальный градиент в верхней и нижней частях делителя тока достигал $\Delta t = t_3 - t_5 \approx 10^\circ\text{C}$.

В обоих случаях использовался нагреватель мощностью ~ 700 Вт. Из рисунков видно, что при включении нагревателя $K_{\text{ш}}$ падает относительно первоначального значения на $\sim 0,1\%$, затем с ростом градиента и температуры $K_{\text{ш}}$ увеличивается на $\sim 0,25\%$.

Максимальная скорость нарастания температуры внутри делителя тока составляла $\sim 25^\circ/\text{ч}$, изменение градиента по длине делителя (базовый размер 265 мм) — $40^\circ/\text{ч}$ (см. рис.5б).

При отключении нагревателя и восстановлении стационарного теплового режима работы преобразователя $K_{\text{ш}}$ восстанавливается с точностью 0,02% (конечные значения $K_{\text{ш}}$, t и Δt не приводятся на графике рис.5а).

На рис.6а показана экспериментальная зависимость $K_{\text{ш}} = f(\tau)$ при охлаждении делителя тока с одной стороны воздушным потоком со скоростью 10 м/с. Зависимость $t = f(\tau)$ снималась по термодатчику 1. Положение вентилятора относительно первоначального значения менялось в пределах ~ 20 см. Зависимость $\Delta t = f(\tau)$ строилась по разнице показаний термодатчиков 5 и 6, $\Delta t = t_5 - t_6$. Из графиков видно, что изменение температуры внутри делителя тока на 5° и рост градиента по длине на 4° влекут изменение $K_{\text{ш}}$ на $\sim 0,1\%$.

Максимальные скорости охлаждения делителя тока и изменения градиента составляли соответственно $\sim 30^\circ$ и 20° за час (рис.6б).

Испытания измерительного преобразователя, содержащего делитель тока, показали, что тепловой выбег $K_{\text{ш}}$ составляет ~ 2 ч, за это время $K_{\text{ш}}$ изменится на 0,1% до величины $K_{\text{ш}} = 13,690$.

Величина $K_{\text{ш}}$ не зависит от измеряемого тока при плотности тока в делителе $j > 0,8$ А/мм². При установлении стационарного теплового режима и при нормальных температурных условиях $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ значение $K_{\text{ш}}$ делителя тока стабильно выдерживается в течение 8 ч с точностью $\sim 0,02\%$.

ВЫВОДЫ

1. Разработан, изготовлен и испытан измерительный преобразователь постоянного тока, в котором первичная обмотка с измеряемым током выполнена в виде делителя тока из материала с низким удельным электросопротивлением (медь).

2. Использование такого измерительного преобразователя позволяет расширить предел измерения более чем в 10 раз ($K_{\text{ш}} = 13,690$).

3. Разработанный измерительный преобразователь чувствителен к скорости изменения температуры и градиента по делителю тока. При работе в нормальных условиях (изменение температуры окружающей среды на $\pm 2^{\circ}\text{C}$) и изменениях температуры со скоростью $\leq 40^{\circ}/\text{ч}$ можно ожидать максимальной температурной погрешности преобразователя постоянного тока $\delta_t \leq 0,065\%$.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность В.В.Калининченко, В.В.Кольге и П.Т.Шишлянникову за постоянное внимание, полезные обсуждения и помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Денисов Ю.Н., Калининченко В.В., Саванеев В.П. В кн.: Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, ОИЯИ, 1985, т.1, с.384.
2. Попов В.С. Электрические измерения. "Энергия", М., 1974, с.72.
3. Омельченко Б.Д. ПТЭ, 1969, № 3, с.156.
4. Дульнев Г.Н., Тарновский Н.Н. Тепловые режимы электронной аппаратуры. "Энергия", Л., 1971.
5. Ахманова Л.Н. и др. ОИЯИ, 13-81-806, Дубна, 1981.
6. Саванеев В.П. ОИЯИ, 13-85-844, Дубна, 1985.
7. Василевская Д.П. и др. ОИЯИ, 13-84-576, Дубна, 1984.
8. Аксенова Е.К. и др. ОИЯИ, 11-10818, Дубна, 1977.
9. Аксенова Е.К. и др. ОИЯИ, 11-11971, Дубна, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 июня 1986 года.

Василевская Д.П., Саванеев В.П. 13-86-400
Делитель постоянного тока измерительного преобразователя

Рассмотрен вариант измерительного преобразователя постоянного тока, в котором первичная обмотка с измеряемым током выполнена в виде делителя постоянного тока из сплава с низким удельным электросопротивлением. Использование такого преобразователя позволяет расширить предел измерения более чем в 10 раз. Приводятся экспериментальные данные о температурных погрешностях разработанного устройства. При работе в нормальных условиях можно ожидать при изменении температуры максимальной температурной погрешности устройства $\delta_t < 0,065\%$.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Vasilevskaya D.P., Savaneev V.P. 13-86-400
DC-Current Measuring Converter

A variant of DC-current measuring converter is described. Its primary winding is the DC-current attenuator manufactured from a low electrical resistance alloy. Application of such a converter permits to increase by more than 10 times the range of measurements. The experimental information about temperature errors of the designed device is given. For operation under normal conditions the expected maximum temperature error may be $\delta_t < 0.065\%$.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986