

# Метод сличения шунтов с мерой сопротивления

М. Д. Клионский<sup>1</sup>, К. И. Шипелев<sup>2</sup>

ФГУП «Всероссийский НИИ метрологии им. Д.И.Менделеева»  
<sup>1</sup>m.d.klionsky@vniim.ru, <sup>2</sup>k.i.shipelev@vniim.ru

**Аннотация.** The known method for calibration DC shunts by resistance standard has a shortage that resistance standard has a decimal nominal value and resistance of majority of shunts is non-decimal. A method of calibration is elaborated that allows comparing DC shunts and resistance standard having different values. The method bases on the usage of resistance voltage divider inserted between resistance standard and microometer applied as comparator. Expressions for computation and research results with recommendations for using are given.

**Ключевые слова:** DC shunt; resistance standard; voltage divider

## I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В связи с утверждением новой государственной поверочной схемы для средств измерений сопротивления (вводится в действие с 1 апреля 2020 г.), куда впервые включены эталонные шунты постоянного тока, появилась потребность измерять сопротивление этих шунтов  $R_{Ш}$  с повышенной точностью. Это можно осуществить, используя метод сличения шунта с мерой сопротивления того же номинального значения. В качестве прибора сравнения используют цифровой микроомметр. Погрешность измерений будет определяться единицей дискретности его младшего разряда, а также нестабильностью контактов шунта. Погрешностью меры сопротивления здесь можно пренебречь, т.к. меры сопротивления имеют класс точности (КТ) 0,01, а у шунтов КТ, как правило, значительно больше и равен 0,2 или 0,5. Однако применению метода сличения мешает следующее обстоятельство: сопротивление  $R_M$  серийно выпускаемых мер имеет номинальные значения только кратные или дольные десяти, минимальное сопротивление составляет  $R_M=1$  мОм (мера P310), иногда встречаются меры ранних выпусков 0,1 мОм (P323). Между тем типовой ряд номинальных сопротивлений шунтов в основном имеет недесятичные значения. Например, для шунтов 75.ШИСВ используется такой ряд: 1; 1,25; 1,5; 1,875; 2; 2,5; 3; 3,75; 5; 7,5; 10. Таким образом, сличение можно выполнить лишь в единичных случаях.

## II. РАСЧЕТНЫЕ ВЫРАЖЕНИЯ

Во ВНИИМ разработан метод сличения шунтов с мерой сопротивления, предназначенный для использования в случаях, когда  $R_{Ш}$  имеет недесятичное значение [1]. В настоящей работе приводится теоретическое обоснование метода и результаты его исследований. Сущность метода заключается в том, что при подключении меры к микроомметру только часть падения напряжения на мере подводится к потенциальным выводам измерительного жгута. Это осуществляется при помощи резистивного делителя напряжения с

коэффициентом преобразования  $K$ , равным отношению сопротивлений шунта и меры.

Практически резистивный делитель выполняют из двух последовательно соединенных магазинов сопротивления (МС), имеющих КТ 0,02 или 0,05. Начальную клемму первого МС и конечную клемму второго МС присоединяют к потенциальным клеммам меры, а потенциальные выводы измерительного жгута микроомметра – к одному из МС (рисунок).

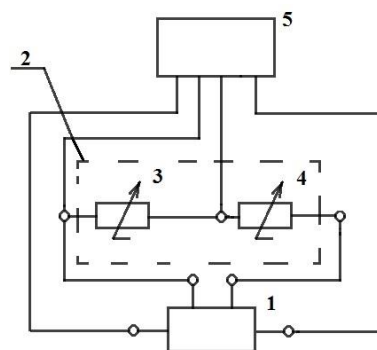


Рис. 1. Схема соединения элементов

1 – мера сопротивления; 2 – делитель напряжения; 3,4 – магазины сопротивления; 5 – микроомметр.

Комбинируя положение переключателей обоих МС, можно получить все вышеперечисленные значения  $K$ . В каждом магазине сопротивления используются три декады с множителями  $\times 10$ ,  $\times 100$  и  $\times 1000$  Ом. Плечи делителя условно назовем верхним ( $R_1$ ) и нижним ( $R_2$ ) плечами.

Коэффициент деления делителя  $K$  равен

$$K = R_1 / (R_1 + R_2) \quad (1)$$

Задача заключается в том, чтобы найти такие значения  $R_1$ ,  $R_2$ , при которых номинальное значение эталонной меры сопротивления будет преобразовано в сопротивление, равное номинальному сопротивлению шунта.

Исходное уравнение связи:

$$R_{Ш} = K \cdot R_M, \quad (2)$$

где  $R_M$  – номинальное сопротивление меры;  $R_{Ш}$  – номинальное сопротивление шунта.

Задают сопротивление  $R_1$  и, исходя из (1) и (2), рассчитывают  $R_2$  по формуле

$$R_2 = R_1 [(R_M / R_{Ш}) - 1] \quad (3)$$

Значения  $R_M$  и  $R_{Ш}$  должны быть выражены в одних и тех же единицах (обычно мкОм или мОм). Формулу (3) можно упростить, если сопротивление  $R_1$  принять численно равным сопротивлению шунта, т.е.  $R_1 = p \cdot R_{Ш}$ , где  $p$  – десятичный множитель. Тогда получают

$$R_2 = p \cdot R_M - R_1 \quad (4)$$

где все члены уравнения выражены в омах.

### III. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование проводилось для шунта с самым «неудобным» значением сопротивления, когда  $R_{Ш} = 18,75$  мкОм (соответствует номинальному току 4 кА при падении напряжения на шунте 75 мВ). В качестве эталона используется мера P323 с номинальным сопротивлением  $R_M = 100$  мкОм. Принимаем  $p = 10^6$ , тогда  $R_1 = 18,75$  Ом. Согласно формуле (4) получаем  $R_2 = 100 - 18,75 = 81,25$  Ом. Коэффициент деления  $K = 18,75 / (18,75 + 81,25) = 0,1875$ . Преобразованное сопротивление меры равно  $100 \cdot 0,1875 = 18,75$  мкОм, т.е. становится равным номинальному сопротивлению шунта.

Делитель напряжения выполнен из двух магазинов сопротивления МСР-63 КТ 0,05, образующих верхнее и нижнее плечи делителя с шагом 10 Ом. Полученные значения  $R_1$  и  $R_2$  являются только расчётными, практически их установить невозможно. Учитывая, что эти величины входят в отношение, можно их умножить на выбранный множитель  $q$  для получения чисел, заканчивающихся нулем. Тогда их можно выставить в плечах делителя.

Получаемые значения сопротивления не должны превосходить значений, допускаемых между токовыми и потенциальными выводами 4-хпроводной нагрузки для микрометра, используемого в качестве прибора сравнения. Это определяют экспериментально. Например, для используемого во ВНИИМ измерителя малых сопротивлений ИМС-1 установлено, что это значение не должно быть более 2 кОм.

В рассмотренном выше примере множитель  $q$  выбирают равным 8. После перемножения окончательно получают:  $R_1 = 150$  Ом,  $R_2 = 650$  Ом.

Полученные значения укладываются в диапазоны сопротивления плеч делителя, одновременно соблюдается вышеуказанное условие ограничения нагрузки, подключаемой к измерителю.

Погрешность метода в основном определяется погрешностью магазинов сопротивления и влияния их сопротивления на прибор сравнения. Суммарная погрешность результата сличения дополнительно включает упомянутые выше единицу дискретности микрометра и погрешность меры сопротивления. В нашем случае суммарная погрешность составляет 0,09 %. Погрешность можно уменьшить, используя более точные МС.

Метод можно также применять для поверки микрометров в диапазоне малых значений сопротивления, там, где отсутствуют серийно выпускаемые меры (менее 100 мкОм).

### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан метод сличения шунтов с мерой сопротивления, который можно использовать в случаях, когда сопротивление шунта имеет недесятичное значение. Метод основан на использовании резистивного делителя напряжения, включенного между мерой сопротивления и прибором сравнения (микрометром). Метод можно применять для измерения сопротивления шунтов КТ 0,2 и 0,5.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Повышение точности измерений при поверке шунтов постоянного тока / М.Д. Клионский, В.Л. Золотая // Сб. тр. 65-й науч.-техн. конф., посвящённой Дню радио, С.-Петербург, 20-27 апреля 2010. СПб, 2010, с. 348-350.