

## Метод поверки высоковольтных делителей напряжения постоянного тока

Д. И. НЕФЕДЬЕВ

Рассмотрен метод поверки высоковольтных делителей напряжения постоянного тока, основанный на использовании в качестве эталонных средств измерений вспомогательного делителя напряжения постоянного тока и компаратора напряжений. Предлагаемый метод обеспечивает конструктивное упрощение средств поверки и позволяет осуществлять поверку высоковольтных делителей напряжения постоянного тока на напряжения до 100 кВ.

**Ключевые слова:** поверка, высоковольтный делитель, напряжение постоянного тока.

*The method of verification of the high-voltage dc potential dividers based on the use of the supplementary dc potential divider and the voltage comparator as reference standard means is considered. The suggested method provides constructive simplification of calibration means and allows realization of verification of high-voltage dc potential dividers on voltages up to 100 kV.*

**Key words:** verification, high-voltage divider, dc voltage.

Для поверки высоковольтных делителей напряжения постоянного тока (ДН) разработано большое количество методов и средств поверки. Действующие в настоящее время методические указания РД 50-363—82, распространяющиеся на ДН до 100 кВ, регламентируют проведение поверки ДН одним из следующих методов [1]:

методом измерения напряжения постоянного тока на входе и выходе поверяемого ДН при помощи эталонного средства поверки дифференциального типа ДВИНА-100 и цифрового вольтметра;

методом измерения напряжения постоянного тока на входе и выходе поверяемого ДН при помощи эталонного средства поверки УПК-100 или эталонного ДН и цифрового вольтметра;

методом измерения напряжения постоянного тока на выходе поверяемого ДН и разности напряжений на выходах поверяемого и эталонного ДН при помощи цифровых вольтметров.

При детальном рассмотрении описанных выше методов и средств поверки ДН становится ясно, что общим требованием к ним является высокая временная и температурная стабильность ДН или высоковольтных блоков из состава эталонных средств измерений, что связано с необходимостью тщательного подбора резистивных элементов или стабилизаторов ДН с целью минимизации погрешностей эталонных средств измерений. Поэтому целесообразнее, с этой точки зрения, применять такие методы и средства поверки ДН, которые обеспечивают определение коэффициента деления эталонных ДН непосредственно в процессе поверки ДН, а также имеют по сравнению с известными улучшенные метрологические и эксплуатационные характеристики.

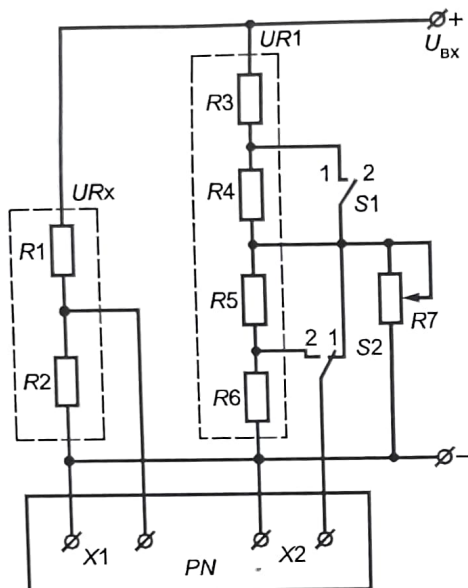
Предлагаемый метод поверки ДН основан на использовании в качестве эталонных средств измерений компаратора напряжений и вспомогательного эталонного ДН [2, 3]. Схема устройства для поверки ДН, реализующего предложенный метод поверки, приведена на рисунке. Схема представляет собой параллельную измерительную цепь, левую ветвь которой образует поверяемый делитель напряжения  $URx$ , правую — вспомогательный эталонный делитель —  $UR1$ . Выходные плечи поверяемого и вспомогательного ДН подключены к зажимам соответственно  $X1$  и  $X2$  компаратора напряжений  $PN$ . Вспомогательный ДН образован резистивными элементами  $R3—R6$  с возможностью замыкания накоротко резистивного элемента  $R4$ , в котором выходное плечо  $R5, R6$  — низковольтный ДН с коэффициентом преобразования, равным 0,9 на напряжение 1,5 В:

$$m = \frac{R_6}{R_5 + R_6} = 0,9. \quad (1)$$

Перед операцией поверки ДН определяют коэффициент деления  $(R_4 + R_5 + R_6) / (R_5 + R_6)$  методом автономной (независимой) поверки. Конструкция вспомогательного ДН, специально разработанного для реализации данного метода, предусматривает возможность проведения независимой поверки. Получают соотношение

$$\frac{R_4 + R_5 + R_6}{R_5 + R_6} = \frac{1}{\rho_3}, \quad (2)$$

где  $\rho_3$  — коэффициент преобразования автономно поверяемого ДН.



Устройство для проверки (калибровки) высоковольтных делителей напряжения постоянного тока

Используя (1), уравнение (2) можно представить в виде

$$\frac{R_4}{R_6} m + 1 = \frac{1}{\rho_3}. \quad (3)$$

Коэффициент деления поверяемого ДН находят следующим образом.

На первом этапе измерений при помощи компаратора напряжений измеряют падения напряжений на выходных плечах поверяемого ( $R_2$ ) и вспомогательного ( $R_5, R_6$ ) делителей напряжения (переключатели  $S_1$  и  $S_2$  устанавливают в положение 2). Выполняется равенство

$$\frac{R_1 + R_2}{R_2} U_{1-1} = \frac{R_3 + R_4 + R_5 + R_6}{R_5 + R_6} U_{2-1}, \quad (4)$$

где  $U_{1-1}, U_{2-1}$  — показания соответственно первого и второго рядов компаратора напряжений на первом этапе измерений.

Уравнение (4) можно представить как

$$\frac{R_3 + R_4}{R_6} m + 1 = \frac{K}{\rho_1}, \quad (5)$$

где  $K$  — коэффициент деления поверяемого ДН;  $\rho_1 = U_{2-1} / U_{1-1}$  — отношение показаний рядов компаратора напряжений.

На втором этапе измерений замыкают резистивный элемент  $R_4$ , а сопротивление выходного плеча вспомогательного ДН изменяют с  $R_5 + R_6$  на  $R_6$  (переключатели  $S_1$  и  $S_2$  устанавливают в положение 1). Измерив падения напряжений на выходных плечах поверяемого ( $R_2$ ) и вспомогательного ( $R_6$ ) ДН, можно составить новое равенство

$$\frac{R_1 + R_2}{R_2} U_{1-2} = \frac{R_3 + R_5 + R_6}{R_6} U_{2-2}. \quad (6)$$

Уравнение (6) можно представить в виде

$$\frac{R_3}{R_6} + \frac{1}{m} + 1 = \frac{K}{\rho_2}, \quad (7)$$

где  $\rho_2 = U_{2-2} / U_{1-2}$  — отношение показаний рядов компаратора напряжений на втором этапе измерений.

Из совместного решения уравнений (3), (5), (7) после несложных промежуточных преобразований найдем коэффициент деления поверяемого делителя напряжения постоянного тока по полученным значениям  $\rho_1, \rho_2, \rho_3$ :

$$K = \frac{\rho_1 \rho_2 (1 - \rho_3)}{\rho_3 (\rho_2 - \rho_1)}.$$

Достоинством предложенного метода поверки является то, что в процессе проведения измерений исключается систематическая составляющая погрешности, вносимая компаратором напряжений. Это обеспечивается, когда отсчеты по рядам компаратора напряжений при определении коэффициента деления поверяемого ДН совпадают в трех или более старших разрядах. Так как в данном случае отношение сопротивлений  $R_1 / R_2 \approx 10$ , то, изменив сопротивление выходного плеча делителя с  $R_5 + R_6$  на  $R_6$  при замыкании плеча  $R_4$ , и с учетом соответствующей корректировки сопротивлений резистивных элементов в процессе подготовки вспомогательного делителя постоянного напряжения к работе, несложно получить близкие по значению отсчеты компаратора напряжений.

Вспомогательный эталонный ДН разработан специально для реализации данного метода поверки, в котором снижение погрешности от утечек тока с элементов делителя достигается в результате применения эквипотенциальной цепи, подключенной параллельно измерительной. При этом экраны резистивных элементов измерительной цепи находятся под соответствующим потенциалом эквипотенциальной цепи делителя.

Предложенный метод поверки можно использовать при поверке высоковольтных делителей напряжения постоянного тока на напряжения до 100 кВ. В настоящее время на основе предложенного метода поверки ведется разработка средства поверки.

#### Литература

1. РД 50-363—82. Делители напряжения постоянного тока измерительные высоковольтные. Методические указания.
2. Журавлев Э. Н. Методы и средства измерений высоких напряжений постоянного тока и их метрологическое обеспечение. — М.: Машиностроение, 1982.
3. Пат. 2086996 РФ / Д. И. Нефедьев // Бюл. изобрет. — 1997. — № 22.

Дата одобрения 20.10.2003 г.