

УДК 621.317.333, 621.317.311

## Погрешность способа измерения сопротивления изоляции в цепях постоянного тока и ее устранение<sup>\*</sup>

С.А. МАЛЫГИН<sup>1,2</sup>, А.Н. ИЛЬИН<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, Томский политехнический университет. E-mail: [msa\\_tpu@mail.ru](mailto:msa_tpu@mail.ru)

<sup>2</sup> 634041, г. Томск, пр. Кирова, 56в, Акционерное общество «Научно-производственный центр «Полус»». E-mail: [polus@online.tomsk.net](mailto:polus@online.tomsk.net)

В данной работе рассмотрен известный способ измерения сопротивления изоляции цепей постоянного тока, позволяющий контролировать состояние материала изолирующего покрытия шин питания относительно корпуса оборудования как в обесточенном состоянии, так и под напряжением. Выявлено условие, при котором рассчитанное согласно рассматриваемому способу сопротивление изоляции не соответствует его действительному значению. Проведен расчет тока в измерительной цепи и выведена формула расчета сопротивления изоляции. В результате установлена причина возникновения ошибки измерения. Приведено неравенство, в соответствии с которым описанный способ может применяться со следующим ограничением: напряжение измерительного источника должно быть не меньше половины выходного напряжения источника постоянного тока, шины питания которого находится в процессе измерения сопротивления их электроизолирующего материала. Невыполнение данного условия ведет к появлению дополнительной погрешности в определении сопротивления изоляции. Предложен новый способ, который снимает указанное ограничение. Кроме того, он позволяет измерять сопротивление изоляции не только относительно корпуса, но и между шинами питания гальванически развязанных стабилизированных источников постоянного тока. Сущность предложенного способа заключается в том, что в измерительную цепь включают источник измерительного напряжения с одним значением напряжения, которое может быть равно нулю, затем с другим, после чего определяют значения измерительных токов для обоих указанных значений. После этого проводится расчет сопротивления изоляции по соответствующей формуле. Представлено устройство автоматического контроля сопротивления изоляции, реализующее данный способ, рассмотрена его функциональная схема и описан принцип работы.

**Ключевые слова:** электрическая изоляция, измерение сопротивления относительно корпуса, автоматический контроль, погрешность способа измерения, цепи постоянного тока, источник постоянного тока, гальваническая развязка, шины питания

DOI: 10.17212/1814-1196-2017-1-159-168

---

<sup>\*</sup> Статья получена 14 сентября 2016 г.

## ВВЕДЕНИЕ

Надежность современного оборудования во многом определяется надежностью его изоляции. В процессе эксплуатации электрооборудования происходит старение изолирующего покрытия, в результате изменяются наиболее важные его свойства, в частности сопротивление. Большое влияние на срок службы изоляции оказывают нагревание рабочими и пусковыми токами и токами короткого замыкания, коммутационные и атмосферные перенапряжения, а также механические повреждения, возникающие из-за недостаточных радиусов изгибов проводов и кабелей, либо вибрации [1, 2]. Автоматический контроль сопротивления изоляции в работающей аппаратуре позволяет определить степень и скорость деградации электроизолирующего покрытия и предотвратить аварийные ситуации, связанные с его нарушением. Это актуально для аппаратуры, в которой используются источники постоянного тока. Особенность такой проверки в цепях постоянного тока заключается в том, что на результат измерения влияет напряжение источника питания. Измерение с использованием переменного тока, как правило, невозможно из-за наличия емкости, включенной параллельно сопротивлению изоляции. На данный момент существует множество патентов на различные способы измерения сопротивления изоляции в цепях постоянного тока, однако у них имеются недостатки, такие как невозможность измерений под напряжением [3], технически сложная реализация устройств контроля развязанных между собой источников питания [4, 5], обязательное наличие общей минусовой шины питания у контролируемых источников постоянного тока [6, 7] и др.

## 1. ПОГРЕШНОСТЬ СПОСОБА ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ В ЦЕПЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА И ВОЗМОЖНОСТЬ ЕЕ УСТРАНЕНИЯ

Известен достаточно простой способ измерения сопротивления изоляции в цепях постоянного тока [8], на функциональной схеме которого (рис. 1) ИП – источник постоянного тока с выходным напряжением  $E$ ;  $R$  – резисторы, подключенные к полюсам ИП; ИТ – измеритель тока;  $U$  – напряжение измерительного источника;  $K$  – коммутатор для переключения полярности напряжения  $U$ ;  $R_+$  и  $R_-$  – сопротивление изоляции по плюсовой и минусовой шинам питания соответственно.

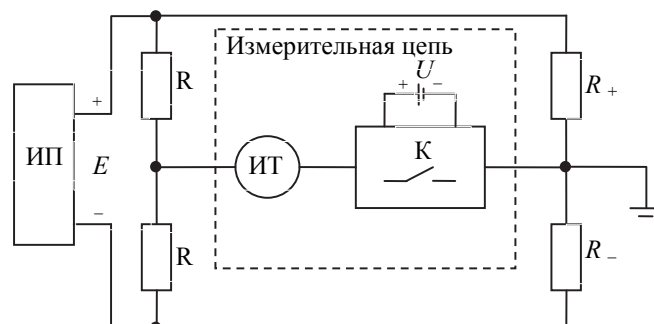


Рис. 1. Функциональная схема измерения сопротивления изоляции относительно корпуса

Исходя из данного способа сопротивление изоляции рассчитывается по формуле

$$R_{\text{из}} = \frac{2U}{|I_1| + |I_2|} - \frac{R}{2}, \quad (1)$$

где  $I_1$  и  $I_2$  – токи в измерительной цепи при положительной и отрицательной полярности напряжения  $U$ ;  $R_{\text{из}}$  – сопротивление изоляции относительно корпуса, которое является параллельным соединением сопротивлений  $R_+$  и  $R_-$ .

Однако в этом случае имеется ограничение по применению. Доказать это можно, определив ток в измерительной цепи приведенной схемы, для чего построим эквивалентную схему измерения сопротивления изоляции относительно корпуса (рис. 2), обозначив на ней контурные токи [9, 10].

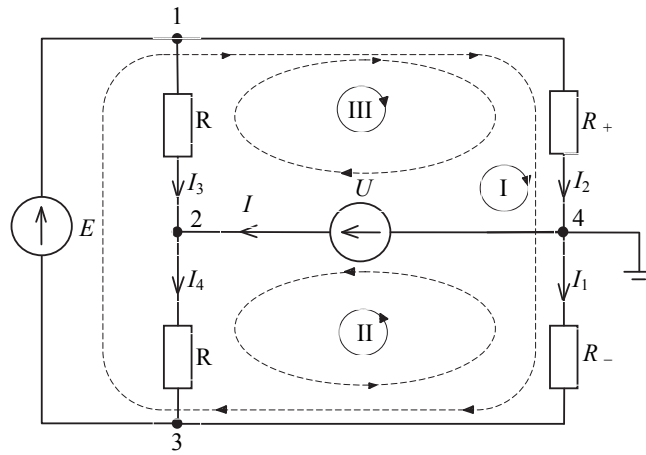


Рис. 2. Эквивалентная схема измерения сопротивления изоляции относительно корпуса

Составим систему уравнений по законам Кирхгофа:

$$\begin{cases} E = I_1 R_- + (I_1 + I) R_+, \\ U = (I + I_3) R - I_1 R_-, \\ U = (I_1 + I) R_+ - I_3 R, \end{cases} \quad (2)$$

где  $I_1 + I = I_2$ , а  $I + I_3 = I_4$ ,  $I$  – ток в измерительной цепи.

Решив систему уравнений (2) относительно тока  $I$ , получим

$$I = \frac{2U(R_+ + R_-)}{2R_+ R_- + R(R_+ + R_-)} - \frac{E(R_+ - R_-)}{2R_+ R_- + R(R_+ + R_-)}.$$

Введя в данное уравнение новую переменную  $R_{\text{из}} = R_+ R_- / R_+ + R_-$ , после некоторых преобразований получим

$$I = \left( U - \frac{E(R_+ - R_-)}{2(R_+ + R_-)} \right) / \left( R_{\text{из}} + \frac{R}{2} \right). \quad (3)$$

Формулу для расчета сопротивления изоляции можно вывести, решая систему уравнений тока при двух значениях напряжения в измерительной цепи ( $U_1$  и  $U_2$ ):

$$R_{\text{из}} = \left| \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1} \right| - \frac{R}{2}. \quad (4)$$

Сравнив формулы (1) и (4), можно сделать заключение, что при  $U_2 = -U_1$  суммирование по модулю токов в формуле (1) справедливо, если при изменении полярности измерительного напряжения изменяется полярность тока. Исходя из выражения (3) это условие можно записать в виде неравенства

$$U \geq \left| \frac{E(R_+ - R_-)}{2(R_+ + R_-)} \right|. \quad (5)$$

В предельном случае, когда сопротивление изоляции по одной шине значительно больше, чем сопротивление по другой, неравенство (5) можно представить в виде

$$U \geq \frac{E}{2}. \quad (6)$$

Возникающую погрешность можно продемонстрировать следующим примером. Напряжение  $E$  равно 28 В, измерительное напряжение 5 В, сопротивление изоляции источника по плюсовой шине равно бесконечности, а по минусовой – 100 кОм, номинальное сопротивление каждого из резисторов  $R$  равно 10 кОм. Сопротивление изоляции, определенное по известному способу, составляет 32,5 кОм вместо действительного 100 кОм. Если измерение провести при выходном напряжении источника постоянного тока 10, 15 и 50 В, то получим значения 100, 65 и 16 кОм соответственно. В данных случаях относительная погрешность измерения составляет 0, 35 % и 84 % соответственно. Такие погрешности недопустимы, поскольку не позволяют в процессе эксплуатации при нестабилизированном источнике питания контролировать дрейф сопротивления изоляции.

Применение рассмотренного способа для исключения дополнительной погрешности требует, чтобы измерительное напряжение было не менее половины напряжения источника постоянного тока. Чтобы снять это ограничение, предлагается способ, при котором для вычисления сопротивления изоляции согласно схеме, приведенной на рис. 1, необходимо использовать формулу (4). В частном случае  $U_2$  может быть равно нулю. Этот вариант был реализован в устройстве контроля изоляции, погрешность которого не превышала 1 % [11, 12].

Если необходимо измерить сопротивление изоляции между двумя гальванически развязанными источниками постоянного тока, то в соответствии со схемой, представленной на рис. 3, резисторы  $R$  подключаются к полюсам второго источника (ИП2), а измерительная цепь включается между точками соединения этих резисторов. Здесь  $R_+$  и  $R_-$  – сопротивления изоляции меж-

ду плюсовыми и минусовыми шинами питания соответственно,  $E_1$  и  $E_2$  – выходные напряжения источников ИП1 и ИП2 соответственно [13, 14].

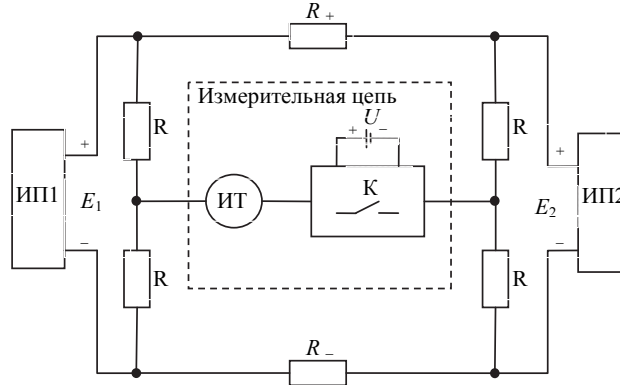


Рис. 3. Функциональная схема измерения сопротивления изоляции между двумя источниками постоянного тока

Построим эквивалентную схему измерения сопротивления изоляции между источниками ИП1 и ИП2 (рис. 4), обозначив на ней контурные токи.

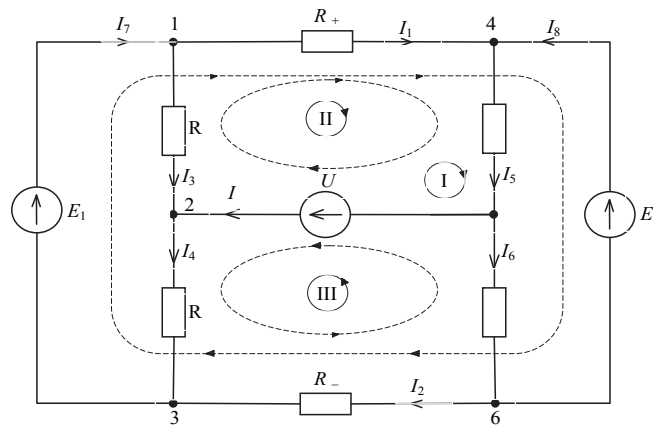


Рис. 4. Эквивалентная схема измерения сопротивления изоляции между источниками ИП1 и ИП2

Составим систему уравнений:

$$\begin{cases} E_1 - E_2 = I_1 R_+ + I_2 R_-, \\ U = I_5 R - I_3 R + I_1 R_+, \\ U = I_4 R - I_2 R_- - I_6 R, \\ I_4 = I + I_3, \\ I_5 = I + I_6, \\ I_7 = I_1 + I_3, \\ I_7 = I_4 + I_2, \\ I_8 = I_5 - I_1, \\ I_8 = I_6 - I_2, \end{cases} \quad (7)$$

где  $I$  – ток в измерительной цепи.

Решив систему уравнений (7) относительно тока  $I$  и введя в это уравнение новую переменную  $R_{из} = R_+ R_- / R_+ + R_-$ , получим

$$I = \left( U - \frac{(E_1 - E_2)(R_+ - R_-)}{2(R_+ + R_-)} \right) / (R_{из} + R). \quad (8)$$

Формулу для расчета сопротивления изоляции можно вывести, решая систему уравнений тока при двух значениях напряжения в измерительной цепи ( $U_1$  и  $U_2$ ):

$$R_{из} = \left| \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1} \right| - R, \quad (9)$$

где  $I_1$  и  $I_2$  – ток в измерительной цепи при двух значениях напряжения  $U_1$  и  $U_2$ .

## 2. УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ИЗОЛЯЦИИ

Для реализации возможности измерения сопротивления изоляции между гальванически развязанными источниками постоянного тока устройство контроля изоляции доработано в соответствии с функциональной схемой (рис. 5).

В состав устройства контроля изоляции входят: гальванически развязанный последовательный интерфейс И; микроконтроллер с аналоговым входом МК; измеритель тока ИТ; источник измерительного напряжения ИИН; коммутатор источника измерительного напряжения К1; коммутаторы входных цепей с  $n + 1$  входами К2, К3; резисторы  $R$ , подключенные к полюсам ИП; диагностический резистор  $R_d$ .

Устройство контроля изоляции начинает работу после подачи питания. Сначала проводится проверка коммутаторов К2 и К3. Для этого одновременно замыкают их одноименные цепи, в результате чего происходит короткое замыкание измерительной цепи. Проверяется отсутствие неисправностей, после чего при помощи коммутатора К2 контроллер МК подключает диагностический резистор  $R_d$  к измерительной цепи, проводит измерение его сопротивления и сравнивает полученное значение с заранее известным номиналом. Таким образом тестируется работоспособность устройства.

После проверки устройства начинается поочередное измерение сопротивлений изоляции контролируемых источников постоянного тока ИП относительно корпуса. Для этого к измерительной цепи при помощи коммутатора К2 коммутируется цепь, подключенная к первому входу коммутатора К2, затем цепь, подключенная ко второму входу, и т. д. При этом измерение сопротивления изоляции относительно корпуса проходит в два этапа: вначале определяется значение тока в измерительной цепи  $I_1$  с помощью измерителя тока ИТ при выключенном источнике измерительного напряжения ИИН ( $U_1 = 0$ ), затем значение тока в измерительной цепи  $I_2$  при включенном ИИН ( $U_2 \neq 0$ ). После измерения токов по формуле (4) проводится расчет сопротивления изоляции.

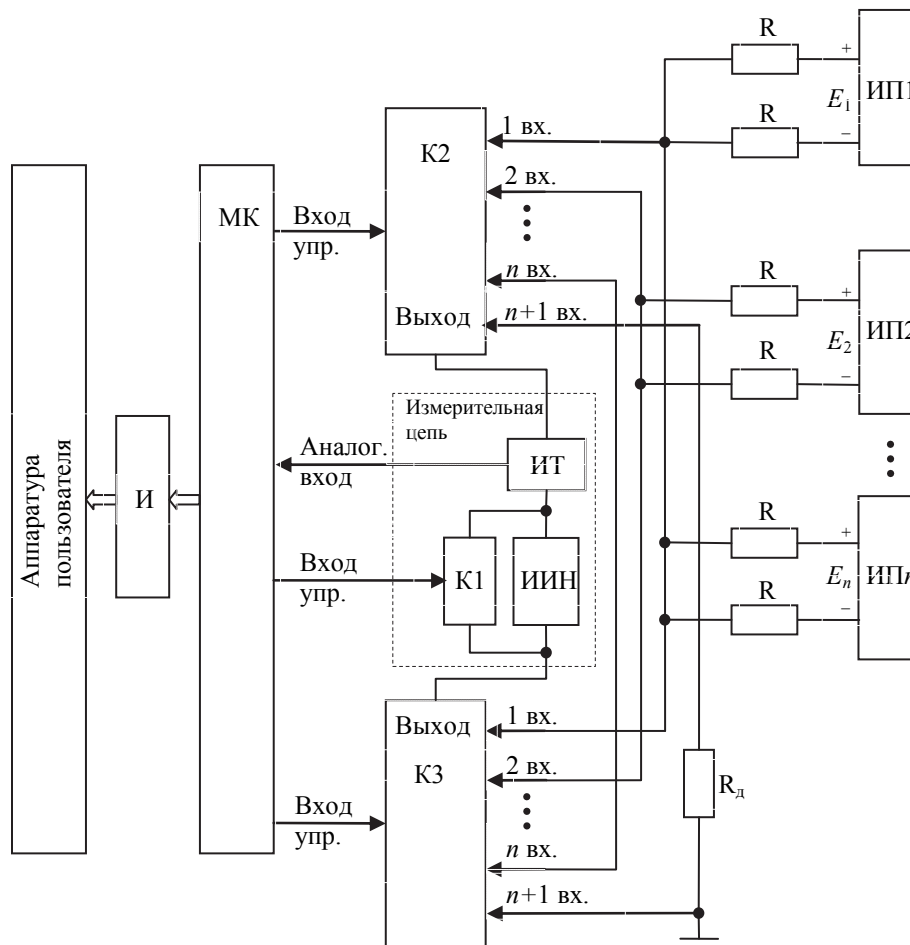


Рис. 5. Функциональная схема устройства контроля изоляции

Контроллер сохраняет данные в памяти после каждого измерения.

Определив сопротивление изоляции  $n$  цепей относительно корпуса, контроллер начинает измерять сопротивление изоляции контролируемых цепей  $n$  источников постоянного тока ИП относительно друг друга, подключая их к измерительной цепи с помощью коммутаторов К2 и К3. Эта операция также проводится в два этапа. После измерения токов по формуле (9) проводится расчет сопротивления изоляции.

По завершении определения сопротивления изоляции  $n$  источников постоянного тока относительно корпуса и между собой устройство передает результаты измерений по последовательному интерфейсу И в аппаратуру пользователя. Контроллер по заданным интервалам начинает новый цикл измерения, при этом тестирование и проверка неисправностей могут не проводиться. Этот процесс повторяется до снятия питания с устройства. Циклограмма работы контроллера может корректироваться из аппаратуры пользователя, благодаря чему устройство адаптируется к изменяющимся условиям эксплуатации.

Поскольку измерение проводится в два этапа, оценка состояния сопротивления изоляции каждой контролируемой цепи в соответствии с государственным стандартом [15] занимает не более двух минут.

Функция тестирования устройства контроля изоляции и наличие интерфейса для удаленного пользователя имеют очень важное значение для автоматической аппаратуры, которая может быть размещена в труднодоступных или недоступных в процессе эксплуатации местах. Это позволяет отключить устройство и включить резервное в случае неисправности, а анализ информации, автоматически поступающей пользователю, дает возможность определить ухудшение свойств изоляции, скорость ее деградации и предотвратить аварийные ситуации при снижении сопротивления изоляции менее допустимых значений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В отличие от первоначально рассмотренного способа [8], предложенный способ измерения сопротивления изоляции под напряжением в цепях постоянного тока снимает ограничение по измерительному напряжению и исключает появление дополнительной погрешности. Разработанное устройство контроля изоляции позволяет измерять сопротивление изоляции шин питания источников постоянного тока относительно корпуса и относительно друг друга, при этом они могут находиться под напряжением или быть обесточенными.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сви П.М. Контроль изоляции оборудования высокого напряжения. – М.: Энергия, 1980. – 112 с.
2. Корблев В.П. Устройства электробезопасности. – М.: Энергия, 1979. – 72 с.
3. Патент 2503963 Российская Федерация. Способ контроля сопротивления изоляции цепей постоянного тока относительно корпуса и устройство для его реализации / А.А. Гладских. – № 2012104860/28; заявл. 10.02.15; опубл. 10.01.14, Бюл. № 1.
4. Патент 2403580 Российская Федерация. Способ измерения и контроля эквивалентного сопротивления изоляции изолированных от земли силовых электрических сетей постоянного тока, в том числе и сетей электродвижения со статическими преобразователями под рабочим напряжением и устройство для его реализации / И.М. Васин. – № 2009118054/28; заявл. 15.05.09; опубл. 10.11.10, Бюл. № 31.
5. Патент 2411526 Российская Федерация. Способ контроля сопротивления изоляции разветвленных сетей постоянного тока и устройство для его осуществления / В.Ю. Ковалев. – № 2008134253/28; заявл. 20.08.08; опубл. 10.02.11, Бюл. № 4.
6. Патент 2391679 Российская Федерация. Способ автоматического контроля сопротивления изоляции шин источников постоянного тока на корпус / И.Н. Ловушкин, В.А. Дубенко. – № 2009103681/28; заявл. 04.02.09; опубл. 10.06.10, Бюл. № 16.
7. Патент 2351940 Российская Федерация. Способ автоматического контроля сопротивления изоляции шин источников постоянного тока на корпус / И.Н. Ловушкин, В.А. Дубенко. – № 2006132155/28; заявл. 06.09.06; опубл. 10.04.2009, Бюл. № 10.
8. Патент 2384855 Российская Федерация. Способ измерения сопротивления изоляции в цепях постоянного тока / С.В. Романов. – № 2008150009/28; заявл. 17.12.08; опубл. 20.03.10, Бюл. № 8.
9. Носов Г.В., Кулешова Е.О., Колчанова В.А. Теоретические основы электротехники. Ч. 1: учебное пособие / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2012. – 216 с.
10. Лоторейчук Е.А. Теоретические основы электротехники: учебник. – М.: Форум: Инфра-М, 2006. – 316 с. – (Профессиональное образование).
11. Малыгин С.А., Карпов Е.В. Устройство контроля изоляции цепей питания постоянного тока относительно корпуса // Электронные и электромеханические системы и устройства: тезисы докладов XIX научно-технической конференции, Томск, 16–17 апреля 2015 г. / АО «НПЦ «Полус». – Томск, 2015. – С. 73–75.



12. Малыгин С.А., Карпов Е.В. Устройство контроля изоляции цепей питания постоянно-го тока относительно корпуса // Электронные и электромеханические системы и устройства: сборник научных трудов. – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2016. – С. 127–130.

13. Ефимов И.П. Источники питания РЭА: учебное пособие. – 2-е изд., испр. – Ульяновск: УлГТУ, 2002. – 136 с.

14. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники. Ч. 1: учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1999. – 199 с.

15. ГОСТ РВ 20.57.310–98. Комплексная система контроля качества. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 45 с.

*Малыгин Сергей Анатольевич*, инженер-конструктор 3-й категории отдела электроники АО «НПП «Полус», аспирант кафедры точного приборостроения Института неразрушающего контроля Томского политехнического университета. Основное направление научных исследований – контроль изоляции шин питания источников постоянного тока. E-mail: msa\_tpu@mail.ru

*Ильин Анатолий Николаевич*, начальник отдела электроники АО «НПП «Полус». E-mail: polus@online.tomsk.net

### ***The error of the method of insulation resistance measurement of DC circuits and its elimination\****

S.A. MALYGIN<sup>1, 2</sup>, A.N. ILYIN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tomsk Polytechnic University, 30 Lenin Prospekt, Tomsk, 634050, Russia Federation, post-graduate student. E-mail: msa\_tpu@mail.ru

<sup>2</sup> Research and Production Center “Polus” JSC, 56v Kirov Prospekt, Tomsk, 634041, Russia Federation. E-mail: polus@online.tomsk.net

In this paper we consider a well-known method of measuring insulation resistance of DC circuits which makes it possible to control the condition of electrical insulation of power buses both under DC voltage and when dead. We have revealed the case when insulation resistance calculated by the method in question does not correspond to the actual value. We have also calculated the current in the measuring circuit and derived a formula for insulation resistance calculation. As a result we have established the cause of the measurement error. An inequality based on which a well-known method of measuring insulation resistance can be used is derived. There are some limitations of this method, namely the measuring source voltage must be higher than half of the output voltage of a DC current source whose power buses are in the process of its insulation measurement. In the case where this condition is not satisfied, there is an additional error in determining the insulation resistance. The proposed method eliminates this disadvantage and also allows us to measure the insulation resistance not only relative to the housing, but also between the buses in galvanically isolated DC current sources. The method implies that the measuring voltage source with one value in the measuring circuit which can be zero is switch on. Then the measuring voltage source with another value is switched on and finally the values of measuring currents are found for both values. Thereafter, the insulation resistance is calculated by the relevant formula. The paper also presents an automatic insulation control device that is based on the proposed method. The principle of operation of the device is described by the functional scheme.

**Keywords:** electrical insulation, resistance measurement, automatic control, measuring method error, DC circuits, DC current source, galvanically isolated, housing, power buses

DOI: 10.17212/1814-1196-2017-1-159-168

---

\* Received 14 September 2016.

## REFERENCES

1. Svi P.M. *Kontrol' izolyatsii oborudovaniya vysokogo napryazheniya* [Insulation control of high voltage equipment]. Moscow, Energiya Publ., 1980. 112 p.
2. Korablev V.P. *Ustroistva elektrobezopasnosti* [Electrical devices]. Energiya Publ., 1979. 72 p.
3. Gladskikh A.A. *Sposob kontrolya soprotivleniya izolyatsii tsepei postoyannogo toka otnositel'no korpusa i ustroistvo dlya ego realizatsii* [Method to control resistance of insulation in DC circuits relative to the body and device for its realisation]. Patent RF, no. 2503963, 2014.
4. Vasin I.M. *Sposob izmereniya i kontrolya ekvivalentnogo soprotivleniya izolyatsii izolirovannykh ot zemli silovykh elektricheskikh setei postoyannogo toka, v tom chisle i setei elektrodvizheniya so staticheskimi preobrazovatelyami pod rabochim napryazheniem i ustroistvo dlya ego realizatsii* [Method for measurement and control of equivalent resistance of unearthed power electric direct-current mains, including electromotor networks with voltage static converters and related device for implemental thereof]. Patent RF, no. 2403580, 2010.
5. Kovalev V.Yu. *Sposob kontrolya soprotivleniya izolyatsii razvetvlennykh setei postoyannogo toka i ustroistvo dlya ego osushchestvleniya* [Method to control resistance of insulation of ramified DC circuits and device for its realization]. Patent RF, no. 2411526, 2011.
6. Lovushkin I.N., Dubenko V.A. *Sposob avtomaticheskogo kontrolya soprotivleniya izolyatsii shin istochnikov postoyannogo toka na korpus* [Method for automatic monitoring of resistance of insulation of buses of direct current sources from housing]. Patent RF, no. 2391679, 2010.
7. Lovushkin I.N., Dubenko V.A. *Sposob avtomaticheskogo kontrolya soprotivleniya izolyatsii shin istochnikov postoyannogo toka na korpus* [Method of automatic control of direct current radiant busbars insulation resistance on case]. Patent RF, no. 2351940, 2009.
8. Romanov S.V. *Sposob izmereniya soprotivleniya izolyatsii v tsepyakh postoyannogo toka* [Measuring method of insulation resistance in direct current circuits]. Patent RF, no. 2384855, 2010.
9. Nosov G.V., Kuleshova E.O., Kolchanova V.A. *Teoreticheskie osnovy elektrotehniki*. Ch. 1 [Theoretical foundations of electrical engineering. Pt. 1]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ., 2012. 216 p.
10. Lotoreichuk E.A. *Teoreticheskie osnovy elektrotehniki* [Theoretical foundations of electrical engineering]. Moscow, Forum Publ., Infra-M Publ., 2006. 316 p.
11. Malygin S.A., Karpov E.V. [The insulation control device of DC circuits relative to the housing]. *Elektronnye i elektromekhanicheskie sistemy i ustroistva: tezisy dokladov XIX nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Electronic and electromechanical systems and devices: XIX scientific and technical conference]. Stock Company "Research and Production center "Polus". Tomsk, 16–17 April 2015, pp. 73–75. (In Russian)
12. Malygin S.A., Karpov E.V. [The insulation control device of DC circuits relative to the housing]. *Elektronnye i elektromekhanicheskie sistemy i ustroistva: sbornik nauchnykh trudov* [Electronic and electromechanical systems and devices: collection of scientific papers]. Tomsk, 2016, pp. 127–130. (In Russian)
13. Efimov I.P. *Istochniki pitaniya REA* [REA power sources]. Ul'yanovsk, UISTU Publ., 2002. 136 p.
14. Zinov'ev G.S. *Osnovy silovoi elektroniki*. Ch. 1 [Fundamentals of power electronics. Pt. 1]. Novosibirsk, NSTU Publ., 1999. 199 p.
15. GOST RV 20.57.310–98. *Kompleksnaya sistema kontrolya kachestva. Apparatura, pribory, ustroistva i oborudovanie voennogo naznacheniya* [State Standard 20.57.310–98. Complex quality control system. Equipment for military use]. Moscow, Standartinform Publ., 1998. 45 p.