

Д. А. СЕМЕНОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОРПУСНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ

Ключевые слова: сопротивление изоляции, схема замещения корпусной изоляции трансформатора, обмотки высшего напряжения, обмотки низшего напряжения, трансформатор.

Аннотация. Рассмотрены способы определения параметров сопротивления корпусной изоляции.

В главной изоляции трансформаторов различают: сопротивление изоляции между обмотками высшего напряжения (ВН) и низшего напряжения (НН); сопротивление изоляции между обмоткой ВН и корпусом; сопротивление изоляции между обмоткой НН и корпусом (рис.1) Рассмотрим, как можно определить эти параметры по результатам измерений на примере трансформатора ТР 8039–250 1985 года выпуска по схеме измерений, приведенной на рис. 1.

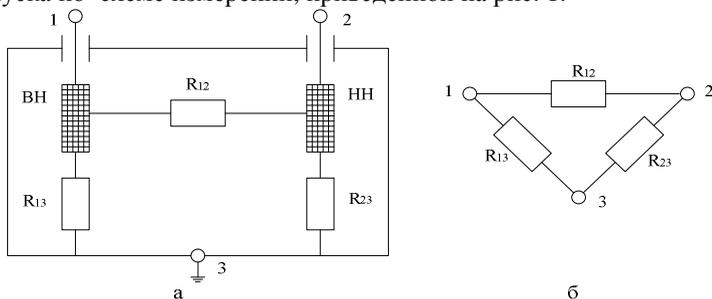


Рисунок 1 – Схема измерения сопротивления корпусной изоляции (а) и ее схема замещения (б): R_{12} – сопротивление изоляции между обмотками ВН и НН; R_{13} – сопротивление изоляции между обмотками ВН и корпусом; R_{23} – сопротивление изоляции между обмотками НН и корпусом.

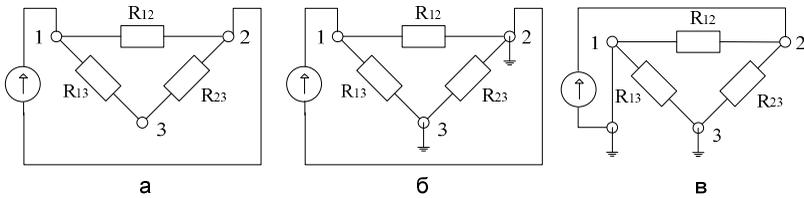


Рисунок 2 – Схема первого измерения (а), второго измерения (б) и третьего измерения (в).

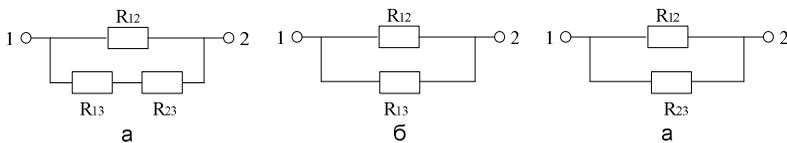


Рисунок 3 – Схемы замещения для расчета параметров сопротивления изоляции по каждому замеру

При первом, втором и третьем замере были получены параметры сопротивлений соответственно $R_2 = 1060 \text{ МОм}$ и $R_3 = 1080 \text{ МОм}$, которые исходя из схем рис. 3 можно определить по следующим формулам:

$$\text{1-ый замер} \quad R_1 = \frac{R_{12} \cdot (R_{13} + R_{23})}{R_{12} + R_{13} + R_{23}}$$

$$\text{2-ой замер} \quad R_2 = \frac{R_{12} \cdot R_{13}}{R_{12} + R_{13}}$$

$$\text{3-ий замер} \quad R_3 = \frac{R_{12} \cdot R_{23}}{R_{12} + R_{23}}$$

Для нахождения значений сопротивлений изоляции R_{12} , R_{13} и R_{23} , решим уравнения по схемам замещения, изображенным на рис. 3.

Запишем уравнения (1) – (3) в виде системы и решим полученную систему уравнений:

$$\begin{cases} R_1 = \frac{R_{12} \cdot (R_{13} + R_{23})}{R_{12} + R_{13} + R_{23}} \\ R_2 = \frac{R_{12} \cdot R_{13}}{R_{12} + R_{13}} \\ R_3 = \frac{R_{12} \cdot R_{23}}{R_{12} + R_{23}} \end{cases}$$

Решение системы уравнений дает следующие выражения для сопротивлений изоляции:

$$R_{12} = -\frac{R_2 \cdot R_3 + \sqrt{(R_1 - R_2) \cdot R_2 \cdot (R_1 - R_3) \cdot R_3}}{R_1 - R_2 - R_3},$$

$$R_{13} = \frac{R_2 \cdot (-R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3 + \sqrt{(R_1 - R_2) \cdot R_2 \cdot (R_1 - R_3) \cdot R_3})}{(R_1 - R_2) \cdot (R_2 - R_3)},$$

$$R_{23} = \frac{R_3 \cdot (-R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + \sqrt{(R_1 - R_2) \cdot R_2 \cdot (R_1 - R_3) \cdot R_3})}{(R_1 - R_3) \cdot (R_3 - R_2)},$$

Подставим в уравнения значения

$R_1 = 1139 \text{ МОм}$, $R_2 = 1060 \text{ МОм}$ и $R_3 = 1080 \text{ МОм}$, полученные при измерении:

$$R_{12} = -\frac{1060 \cdot 1080 + \sqrt{(1139 - 1060) \cdot 1060 \cdot (1139 - 1080) \cdot 1080}}{1139 - 1060 - 1080} = 1217 \text{ МОм},$$

$$R_{13} = \frac{1060 \cdot (-1139 - 1080 + 1060 \cdot 1080 + \sqrt{(1139 - 1060) \cdot 1060 \cdot (1139 - 1080) \cdot 1080})}{(1139 - 1060) \cdot (1060 - 1080)} = 8234 \text{ МОм}$$

$$R_{23} = \frac{1080 \cdot (-1139 - 1060 + 1060 \cdot 1080 + \sqrt{(1139 - 1060) \cdot 1060 \cdot (1139 - 1080) \cdot 1080})}{(1139 - 1080) \cdot (1080 - 1060)} = 9617 \text{ МОм}$$

Также данные уравнения можно решить с помощью интегрированного пакета Mathcad. Данный пример решения приведен на рисунок 4.

$$\begin{array}{l}
 R_1 := 1139 \qquad R_2 := 1060 \qquad R_3 := 1080 \\
 R_{12} := R_1 \qquad R_{13} := R_2 \qquad R_{23} := R_3 \\
 \text{Given} \\
 R_{12} \cdot \frac{(R_{13} + R_{23})}{R_{12} + R_{13} + R_{23}} = R_1 \\
 \frac{R_{12} \cdot R_{13}}{R_{12} + R_{13}} = R_2 \\
 \frac{R_{12} \cdot R_{23}}{R_{12} + R_{23}} = R_3 \\
 R_{12} > 0 \qquad R_{13} > 0 \qquad R_{23} > 0
 \end{array}$$

$$R := \text{Find}(R_{12}, R_{13}, R_{23}) \qquad R = \begin{pmatrix} 1.217 \times 10^3 \\ 8.234 \times 10^3 \\ 9.617 \times 10^3 \end{pmatrix}$$

Проверка

$$\begin{array}{l}
 Rr1 := \frac{R_0 \cdot (R_1 + R_2)}{R_0 + R_1 + R_2} \qquad Rr1 = 1.139 \times 10^3 \\
 Rr2 := \frac{R_0 \cdot R_1}{R_0 + R_1} \qquad Rr2 = 1.06 \times 10^3 \\
 Rr3 := \frac{R_0 \cdot R_2}{R_0 + R_2} \qquad Rr3 = 1.08 \times 10^3
 \end{array}$$

Рисунок 4 – Пример решения уравнений в программе Mathcad для нахождения сопротивления корпусной изоляции по схеме рисунок 1.

В интегрированном пакете Mathcad функция Given, представленная на рис. 4 – это ключевое слово, начало блока решения. Функция Find – это функция, находящая точное решение искомым неизвестных, в данном примере R_{12} , R_{13} и R_{23} . Жирный знак равенства – это знак эквивалентности, который набирается нажатием клавиш [Ctrl]+[=].

В проверке, изображенной на рис. 4 параметры $Rr1$, $Rr2$, $Rr3$ равны значениям $R1$, $R2$, $R3$ соответственно, а R_0 , R_1 и R_2 равны соответственно R_{12} , R_{13} и R_{23} .

Проще решать если сделать следующие три замера по второму варианту по схемам, приведенным на рис. 5

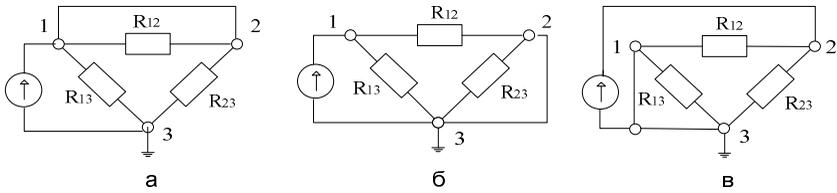


Рисунок 5 – Схемы измерений по второму варианту

По приведенным схемам измерения составим уравнения для определения параметров сопротивления корпусной изоляции через проводимость.

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_{13}} + \frac{1}{R_{23}}$$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_{13}} + \frac{1}{R_{12}}$$

$$\frac{1}{R_3} = \frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_{23}}$$

Решим уравнения и получим следующие выражения сопротивлений изоляции:

$$R_{12} = \frac{2R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2 - R_2 \cdot R_3} = \frac{2R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot (R_2 + R_3) - R_2 \cdot R_3}$$

$$R_{13} = \frac{2R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_3 \cdot (R_1 + R_2) - R_1 \cdot R_2}$$

$$R_{23} = \frac{2R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_2 \cdot (R_3 + R_1) - R_1 \cdot R_3}$$

На рис. 6 приведено решение уравнений с помощью интегрированного пакета Mathcad.

$$\begin{array}{l}
 R1 := 4436 \qquad R2 := 1060 \qquad R3 := 1080 \\
 R12 := R1 \qquad R13 := R2 \qquad R23 := R3 \\
 \text{Given} \\
 \frac{(R13 \cdot R23)}{R13 + R23} = R1 \\
 \frac{R12 \cdot R13}{R12 + R13} = R2 \\
 \frac{R12 \cdot R23}{R12 + R23} = R3 \\
 R12 > 0 \qquad R13 > 0 \qquad R23 > 0 \\
 R := \text{Find}(R12, R13, R23) \\
 R = \begin{pmatrix} 1.217 \times 10^3 \\ 8.234 \times 10^3 \\ 9.617 \times 10^3 \end{pmatrix} \\
 \text{Проверка} \\
 R12 := \frac{2R1 \cdot R2 \cdot R3}{R1 \cdot (R2 + R3) - R2 \cdot R3} \qquad R12 = 1.217 \times 10^3 \\
 R13 := \frac{2R1 \cdot R2 \cdot R3}{R3 \cdot (R1 + R2) - R1 \cdot R2} \qquad R13 = 8.234 \times 10^3 \\
 R23 := \frac{2R1 \cdot R2 \cdot R3}{R2 \cdot (R1 + R3) - R1 \cdot R3} \qquad R23 = 9.617 \times 10^3
 \end{array}$$

Рисунок 6 – Пример решения уравнений в программе Mathcad для нахождения сопротивления корпусной изоляции по схемам рис. 5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Объем и нормы испытаний электрооборудования / Под общей редакцией Б. А. Алексеева, Ф. Л. Когана, Л. Г. Мамиконянца. М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2001, 256 с.
2. Серебряков А. С. Электротехническое материаловедение. Электроизоляционные материалы: Учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта. М.: Маршрут, 2005. 280 с.

**DEFINITION OF PARTIAL PARAMETERS
CASE ISOLATION OF TRANSFORMERS BY RESULTS
OF MEASUREMENTS**

***Keywords:** resistance of isolation, an equivalent circuit of case isolation of the transformer, windings of the highest tension, winding of the lowest tension, transformer.*

***The summary.** Ways of definition of parameters of resistance of case isolation are considered.*

СЕМЕНОВ ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ – старший преподаватель кафедры электрификация и автоматизация Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, (xxxmy@mail.ru).

SEMENOV DMITRI ALEKSANDROVICH – the senior teacher of the chair Electrification and automatization, the Nizhniy Novgorod state engineering-economic institute, Russia, Knyaginino, (xxxmy@mail.ru).
