

УДК 621.314.21.042.52

**И.П.Попов**

Курганский государственный университет, Курган

**ДОПОЛНЕНИЕ К СТАТЬЕ «ЕМКОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ  
РАССЕЯНИЯ ОБМОТКИ ТРАНСФОРМАТОРА», ОПУБЛИКОВАННОЙ  
В ВЕСТНИКЕ ПНИПУ. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ИНФОРМАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ. 2018. № 28**

В дополнение к рассмотренным ранее трем способам экспериментального определения реактивных сопротивлений рассеяния трансформатора для каждой обмотки в отдельности представлено обоснование четвертого способа. Актуальность работы обусловлена повсеместным распространением трансформаторов. Предложенный способ характеризуется простотой и достоверностью результатов.

**Ключевые слова:** сопротивление, активное, реактивное, полное, измерение, напряжение, ток.

**I.P. Popov**

Kurgan State University

**ADDITION TO THE ARTICLE "CAPACITIVE RESISTANCE OF THE  
SCATTERING OF THE TRANSFORMER WINDING" PUBLISHED IN THE  
BULLETIN OF PNP. ELECTRICAL ENGINEERING, INFORMATION  
TECHNOLOGIES, CONTROL SYSTEMS. 2018. No. 28**

In addition to the three previously discussed methods for experimentally determining the leakage reactance of the transformer for each winding separately, the rationale for the fourth method is presented. The relevance of the work is due to the widespread distribution of transformers. The proposed method is characterized by simplicity and reliability of the results.

**Keywords:** resistance, active, reactive, total, measurement, voltage, current.

В работе [1] представлено три способа экспериментального определения реактивных сопротивлений рассеяния трансформатора для каждой обмотки в отдельности.

До этого считалось, что такая операция невозможна, и поэтому измерялось суммарное сопротивление обеих обмоток, а результат делился пополам и приписывался каждой обмотке. Это приводило к существенным ошибкам, поскольку почти в любом случае эти сопротивления различаются. При этом цилиндрические концентрические обмотки даже имеют противоположный характер реактивности. На рис. 1 представлено распределение поля рассеяния в радиальном направлении (магнитной индукции  $B$  ( $B^2$ )) для этого случая.

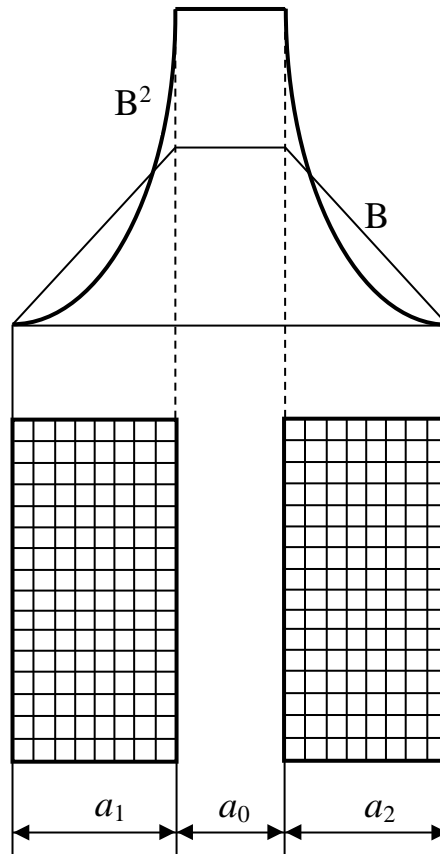


Рисунок 1 – Распределение поля рассеяния

Отрицательное (емкостное) сопротивление характерно для внутренней цилиндрической обмотки. Оно обусловлено тем, что для нее собственный поток рассеяния меньше потока поглощения от внешней обмотки (разница отрицательная). Отрицательным (емкостным) сопротивлением могут обладать не только конденсаторы [2–5].

Для других видов обмоток, например, отдельных (расположенных на разных стержнях), сопротивление рассеяния носит индуктивный характер для обеих обмоток.

Исследование имеет своей целью обоснование четвертого экспериментального метода определения реактивных сопротивлений рассеяния для каждой обмотки в отдельности.

*Актуальность* работы обусловлена повсеместным распространением трансформаторов [6–10].

**Приближенный метод холостого хода при последовательном соединении.** У двух идентичных трансформаторов последовательно соединяются первичные обмотки. В результате схема принимает вид, представленный на рис. 2.

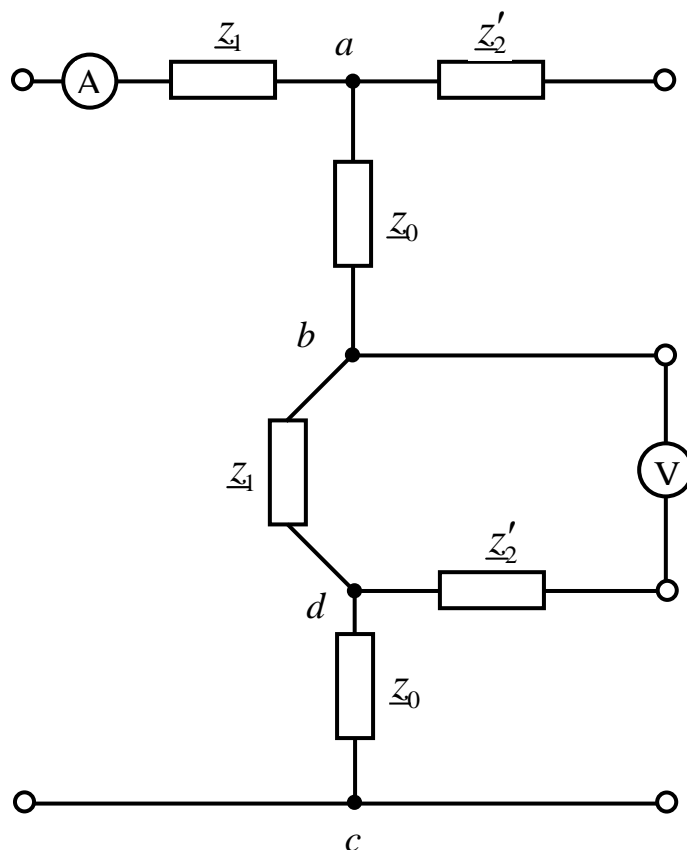


Рисунок 2 – Схема замещения для последовательного соединения (XX)

Из схемы замещения непосредственно следует, что

$$z_1 = \frac{U'_{bd}}{I_{01}} \quad (1)$$

Величины  $r_1$ ,  $r'_2$ ,  $x_k = x_1 + x'_2$  определяются известными экспериментальными методами.

$$\begin{aligned} x_1 &= \sqrt{z_1^2 - r_1^2}, \\ x'_2 &= x_k - x_1. \end{aligned} \quad (2)$$

*Способ экспериментального (приближенного) определения параметров трансформатора (XX)*

1. Два идентичных трансформатора соединяют по схеме в соответствии с рис. 2.
2. Измеряют и «приводят» величины:  $I_{01}$ ,  $U'_{bd}$ ,  $r_1$ ,  $r'_2$ ,  $x_k$ .
3. В соответствии с (1) определяют  $z_1$ .
3. Определяют  $x_1$ .
4. В соответствии с (2) определяют  $x'_2$ .

*Пример.* Два идентичных трансформатора ОСМ-1,00 соединены по схеме в соответствии с рис. 2. Измеренные величины:  $I_{01} = 0,4$  А;  $U'_{bd} = 0,441$  В;  $r_1 = 1,1$  Ом;  $r'_2 = 0,2$  Ом;  $x_k = 0,52$  Ом.

$$z_1 = \frac{U'_{bd}}{I_{01}} = \frac{0,441}{0,4} = 1,103 \text{ (Ом)},$$

$$x_1 = \sqrt{z_1^2 - r_1^2} = \sqrt{1,103^2 - 1,1^2} = -0,08 \text{ (Ом)},$$

$$x'_2 = x_k - x_1 = 0,52 - (-0,08) = 0,6 \text{ (Ом)}.$$

Эти значения хорошо соответствуют результатам других экспериментальных методов ( $x_1 = -0,081; -0,080; -0,07 \text{ (Ом)}$ ,  $x'_2 = 0,562; 0,559; 0,59 \text{ (Ом)}$ ) [1].

Недостатком приближенного метода холостого хода при последовательном соединении по сравнению с высокоточными методами является необходимость наличия двух идентичных трансформаторов, а его сравнительным достоинством – простота экспериментов.

**Оценка достоверности значений сопротивлений рассеяния.** В соответствии с [1]

$$\frac{x'_2}{x_1} = -\frac{a_1/2 + a_0 + a_2/3}{a_1/6},$$

где  $a_1, a_0, a_2$  – величины, указанные на рис. 1. Пусть, например,  $a_1 = 3a_0 = a_2 = a$ . При этом

$$\frac{x'_2}{x_1} = -\frac{a/2 + a/3 + a/3}{a/6} = -7.$$

Для величин из приведенного примера

$$\frac{x'_2}{x_1} = -\frac{0,6 \text{ Ом}}{0,08 \text{ Ом}} = -7,5.$$

Таким образом, полученные значения сопротивлений рассеяния представляются достоверными.

Сопротивления рассеяния обмоток трансформатора по отдельности измерить можно, причем, несколькими способами.

Предложенный (четвертый) способ характеризуется простотой и удовлетворительной точностью результатов.

### Список литературы

1. Попов И.П. Емкостное сопротивление рассеяния обмотки трансформатора // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2019. № 32. С. 148–159.
2. Попов И.П. Накопитель энергии с искусственной инертной ёмкостью // Вестник Калужского университета. 2019. № 4. С. 71–73.
3. Попов И.П. Электромагнитный маховик для ориентирования орбитальных объектов // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2019. № 2. С. 15–17.
4. Попов И.П. Компенсация пиковых нагрузок транспортно-технологических машин // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение». 2020. № 3 (132). С. 68—72.

5. Попов И.П., Попов Д.П., Кубарева С.Ю. Реактивность терморпары // Вестник Курганского государственного университета. Естественные науки. Вып. 6. 2013. № 3(30). С. 47, 48.

6. Ставицкий С.А., Суворов А.А., Уфа Р.А., Андреев М.В., Гусев А.С. Всережимная модель фазоповоротного трансформатора в электроэнергетических системах // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2019. № 32. С. 7–21.

7. Рогинская Л.Э., Латыпов А.Р., Меднов А.А., Минияров А.Х. Исследование работы многофункциональных трансформаторов в качестве устройств обеспечения электромагнитной совместимости // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2017. № 21. С. 36–48.

8. Сельменова Д.С., Лиске Е.Г., Шевцов Д.Е. Исследование переходных процессов при управляемом включении силового трансформатора // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2017. № 24. С. 161–177.

9. Ромодин А.В., Кузнецов М.И., Костыгов А.М. Режим работы трёхобмоточного трансформатора с электрическими системами разной фазности // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2009. № 3. С. 144–152.

10. Климаш В.С., Табаров Б.Д. Исследование трансформаторной подстанции с двухподдиапазонным реакторно-тиристорным регулирующим устройством // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2018. № 28. С. 92–107.

#### **Сведения об авторе**

**Попов Игорь Павлович** – старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты», Курганский государственный университет, Курган, e-mail: ip.popow@yandex.ru

#### **About the author**

**Popov Igor Pavlovich** – Senior Lecturer of the Department of Mechanical Engineering, Metal-Cutting Machines and Tools, Kurgan State University, Kurgan, e-mail: ip.popow@yandex.ru