

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 621.314.21.042.52

**ОБОСНОВАНИЕ ПРИБЛИЖЕННОГО МЕТОДА ХОЛОСТОГО ХОДА
ДЛЯ РАЗДЕЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССЕЯНИЯ
ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРОВ*****В.И. Безденежных****Курганский государственный университет (г. Курган)*

© Безденежных В.И., 2026

Аннотация. Исследование имеет своей целью обоснование экспериментального метода определения реактивных сопротивлений рассеяния для каждой обмотки в отдельности. Актуальность работы обусловлена повсеместным распространением трансформаторов. Раскрыта сущность разработанного метода, указаны его преимущества и недостатки практического использования. Установлена возможность измерения сопротивлений рассеяния обмоток трансформатора по отдельности несколькими способами. Предложенный способ характеризуется простотой и удовлетворительной точностью результатов.

Ключевые слова: реактивное сопротивление, измерение, напряжение, ток.

DOI: 10.46573/2658-7459-2026-1-44-49**ВВЕДЕНИЕ**

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

Ранее такая операция считалась невозможной, поэтому измерялось суммарное сопротивление обеих обмоток, а результат делился пополам и приписывался каждой обмотке, что приводило к существенным ошибкам, поскольку почти в каждом случае указанные 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) [2–5]) для данного случая.

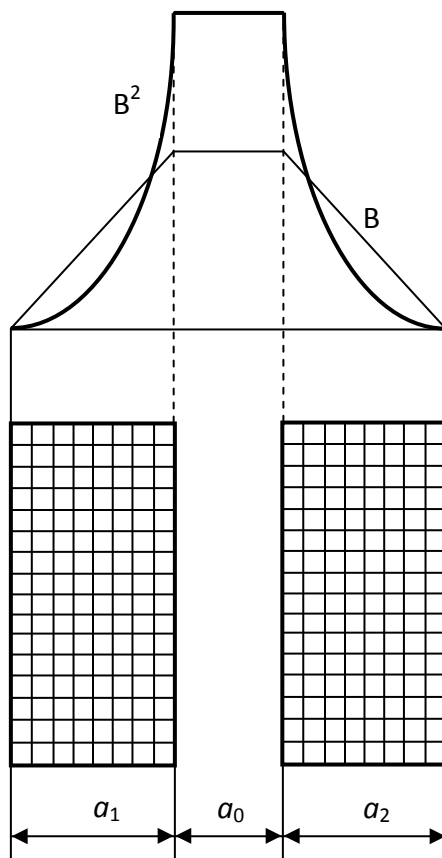


Рис. 1. Распределение поля рассеяния
в радиальном направлении

Отрицательное (емкостное) сопротивление рассеяния характерно для внутренней цилиндрической обмотки и обусловлено тем, что для нее собственный поток рассеяния меньше потока поглощения от внешней обмотки (разница отрицательная). Отрицательным (емкостным) сопротивлением могут обладать не только конденсаторы [6–9].

Для других видов обмоток, например раздельных (т.е. 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 [10].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

У двух идентичных трансформаторов последовательно соединяются первичные обмотки, в результате чего схема принимает вид, представленный на рис. 2.

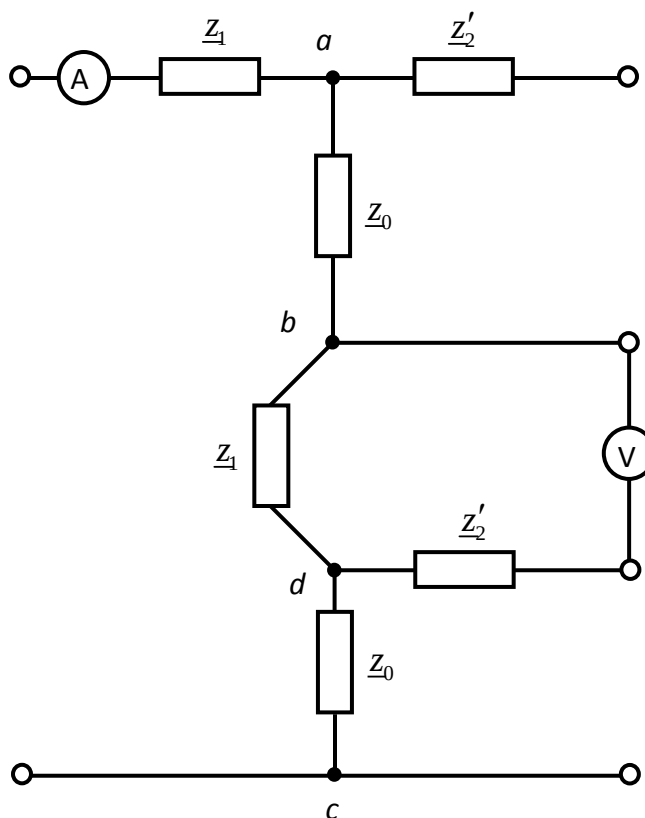


Рис. 2. Схема замещения
для последовательного соединения (XX)

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:

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

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

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 уравнением (1) определяют z_1 .

4. Определяют x_1 .

5. В соответствии с (2) определяют x'_2 .

Пример. Два идентичных трансформатора ОСМ-1,00 соединены по схеме, показанной на 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.

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

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

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

Полученные значения хорошо соответствуют результатам других экспериментальных методов [1]:

$$x_1 = -0,081; -0,080; -0,07 \text{ Ом},$$

$$x'_2 = 0,562; 0,559; 0,59 \text{ Ом}.$$

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сопротивления рассеяния обмоток трансформатора могут быть измерены по отдельности, причем несколькими способами.

Предложенный в данной статье четвертый способ характеризуется простотой и удовлетворительной точностью результатов.

Полученные результаты рекомендуется использовать при исследованиях трансформаторов и в учебном процессе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов И.П. Рассеяние магнитного потока в трансформаторах // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2020. № 4 (8). С. 81–88. DOI: 10.46573/2658-7459-2020-4-81-88
2. Попов И.П. Трииндуктивный осциллятор // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2022. № 1 (13). С. 50–55. DOI: 10.46573/2658-7459-2022-50-55
3. Попов И.П. Магнитный заряд. Осевое взаимодействие проводников с токами // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2025. № 1 (25). С. 67–73. DOI: 10.46573/2658-7459-2025-1-67-73
4. Павлов В.Д. Интерпретация результатов измерения кванта магнитного потока // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2025. № 1 (25). С. 61–67. DOI: 10.46573/2658-7459-2025-1-61-67
5. Попов И.П. Приоритет электродинамики над механикой на примере второго закона Ньютона // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2024. № 3 (23). С. 62–69. DOI: 10.46573/2658-7459-2024-3-62-69
6. Безденежных В.И. Мгновенное значение момента, развиваемого синхронным генератором при индуктивной и емкостной нагрузке // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2025. № 2 (26). С. 36–39. DOI: 10.46573/2658-7459-2025-2-36-39
7. Попов И.П. Амплитудно-частотные особенности режимов нагрузки синхронной электрической машины // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2020. № 2 (6). С. 49–56.
8. Попов И.П. Электромеханический маховик с искусственным (емкостным) моментом инерции // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2021. № 1 (9). С. 58–63. DOI: 10.46573/2658-7459-2021-1-58-63
9. Попов И.П. Влияние сети на реактивную мощность // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2023. № 1 (17). С. 55–60. DOI: 10.46573/2658-7459-2023-1-55-60

10. Араратьян Л.С., Крупнов А.В., Кожекин А.Н. Энергоэффективные силовые трансформаторы с сердечником из аморфной стали // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2019. № 3 (3). С. 51–57.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

БЕЗДЕНЕЖНЫХ Валентина Ивановна – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации производственных процессов, ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», 640020, Россия, г. Курган, ул. Советская, д. 63/4. E-mail: uralakademia@kurganstalmost.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Безденежных В.И. Обоснование приближенного метода холостого хода для отдельного определения рассеяния обмоток трансформаторов // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2026. № 1 (29). С. 44–49.

RATIONALE FOR AN APPROXIMATE NO-LOAD METHOD FOR SEPARATE DETERMINATION OF TRANSFORMER WINDING DISPERSION

V.I. Bezdeneshnykh

Kurgan State University (Kurgan)

Abstract. The study aims to substantiate an experimental method for determining the reactive scattering resistances for each winding individually. The relevance of this work is due to the widespread use of transformers. The essence of the developed method is revealed, and its advantages and disadvantages for practical use are indicated. The possibility of measuring the scattering resistances of transformer windings individually using several methods is established. The proposed method is characterized by simplicity and satisfactory accuracy of the results.

Keywords: reactive resistance, measurement, voltage, current.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

BEZDENESHNYKH Valentina Ivanovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automation of Production Processes, Kurgan State University, 63/4, Sovetskaja street, Kurgan, 640020, Russia. E-mail: uralakademia@kurganstalmost.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Bezdeneshnykh V.I. Rationale for an approximate no-load method for separate determination of transformer winding dispersion // *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2026. No. 1 (29), pp. 44–49.