

УДК 621.314

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ  
В ТРАНСФОРМАТОРЕ  
TECHNOLOGY OF APPLICATION OF DIAGNOSTIC COMPLEX OF  
TRANSFORMERS

Громыко И. Л., ст. преподаватель,  
Белорусский государственный университет транспорта, г.Гомель, Беларусь  
I. Gromyko, Senior Lecturer, Belarusian State University of Transport,  
Gomel, Belarus

*Аннотация. Разработан метод диагностики различных дефектов трансформатора и с помощью опыта холостого хода и RLC-метра. Организованный таким образом диагностический контроль имеет своей целью предотвращение аварийного отказа оборудования, определения его состояния и прогнозирование остаточного ресурса.*

*Abstract. A method has been developed for diagnosing various defects in the transformer using the open-circuit test and the RLC meter. The diagnostic control organized in this way is aimed at preventing an emergency failure of the equipment, determining its condition and predicting the residual life.*

*Ключевые слова: диагностика, трансформатор, неисправность*  
*Keywords: diagnostics, transformer, malfunction*

## ВВЕДЕНИЕ

Неотъемлемым элементом при централизованном электроснабжении является трансформатор. Выход из строя силового трансформатора может привести к созданию аварийных ситуаций, перебоям электроснабжения, массовому недоотпуску продукции. Поэтому, контроль состояния трансформатора является важной задачей [1].

Основные неисправности силовых трансформаторов:

- межвитковые замыкания;
- местное замыкание пластин стали (пожар в стали);
- наличие примесей в трансформаторном масле.

К дополнительным неисправностям относят:

- деформация магнитопровода;
- механическая деформация обмоток;
- междуфазное замыкание обмоток трансформатора.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для анализа данных неисправностей, использовалась Т-образная схема замещения трансформатора.

Для определения активного и реактивного сопротивлений ветви намагничивания, использовался опыт холостого хода, который базируется на методе амперметра, вольтметра и ваттметра. Так же измерялось напряжение на вторичной обмотки, для определения коэффициента трансформации.

Для проведения опыта короткого замыкания, вместо метода амперметра, вольтметра и ваттметра, использовался RLC-метр.

Для проведения опыта короткого замыкания с помощью RLC-метра, трансформатор с короткозамкнутой вторичной обмоткой был представлен в виде реальной катушки индуктивности, схема которой представлена на рис. 1, где:

- $L$  – индуктивность;
- $C$  – собственная емкость;
- $R_L$  – сопротивление, отображающее активные потери в проводнике;
- $R_C$  – сопротивление, отображающее потери в емкости (диэлектрические потери).

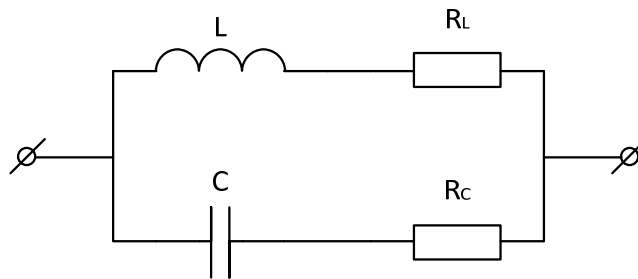


Рисунок 1 – Схема замещения реальной катушки индуктивности

Для определения параметров первичной обмотки, необходимо рассчитать эквивалентное сопротивление:

$$\underline{Z}_{кз} = \frac{(R_L + j2\pi fL)(R_C - j/2\pi fC)}{R_L + R_C + j(2\pi fL - 1/2\pi fC)}. \quad (1)$$

Активное сопротивление рассчитывается по формуле

$$r_1 = \frac{\operatorname{Re}[\underline{Z}_{кз}]}{2}, \quad (2)$$

а индуктивность

$$L_1 = \frac{\operatorname{Im}[\underline{Z}_{кз}]}{4\pi f}. \quad (3)$$

По рассчитанным параметрам Т-образной схемы замещения, был произведен анализ некоторых из вышеперечисленных неисправностей.

Деформация магнитопровода. Признаками повреждения являются: увеличение потерь холостого хода и уменьшение активного сопротивления Т-образной схемы замещения на холостом ходу.

Механическая деформация обмоток. В ходе экспериментов было определено, что данный вид дефекта приводит к значительному увеличению индуктивности и активного сопротивления обмоток при одновременном уменьшении собственной емкости схемы замещения реальной катушки индуктивности.

Межвитковые короткие замыкания. Наибольшие изменения касались увеличения активного сопротивления намагничивающей ветви и активной мощности в опыте холостого хода, а также менее значимого уменьшения индуктивности намагничивающей ветви [2].

Междуфазное замыкание обмоток трансформатора. Характеризуется значительным увеличением активного сопротивления обмоток и уменьшением собственной емкости схемы замещения реальной катушки индуктивности. Снижение емкости связано с уменьшением числа изоляционных витковых промежутков, а увеличение активных потерь обусловлено повышенным тепловыделением в зоне замыкания фаз.

Влажная изоляция. Увеличение влагосодержания в изоляции свидетельствуют об ухудшении ее свойств [3].

Изменение значений емкости указывает на возможный пробой изоляции между обкладками. Измеряя емкость и потери, можно выявлять износившуюся изоляцию до того, как случится отказ.

Для определения взаимосвязи, между влагосодержанием и качеством изоляции, были проведены следующие эксперименты:

- измерение сопротивления изоляции между первичной и вторичной обмотками с помощью мегомметра;
- измерение межобмоточной емкости и тангенса угла диэлектрических потерь с помощью RLC-метра на частоте 100 кГц.

По результатам данных экспериментов, было установлено, что при увлажнении изоляции сильно возрастает межобмоточная емкость и тангенс угла диэлектрических потерь и очень сильно снижается сопротивление изоляции. Снижение сопротивления, а также рост тангенса угла диэлектрических потерь и межобмоточной емкости говорит об ухудшении качества изоляции.

Результаты анализа неисправностей были занесены в табл. 1.

Таблица 1 – Набор существенно изменяющихся параметров трансформаторов, характерные различным неисправностям

Неисправность	Опыт холостого хода	Измерения с помощью RLC-метра
1. Деформация магнитопровода	$L_0 \downarrow, r_0 \downarrow$	
2. Механическая деформация обмоток	$L_0 \downarrow, r_0 \downarrow$	$R_C \uparrow, C \downarrow$
3. Межвитковые короткие замыкания	$L_0 \downarrow, r_0 \uparrow$	
4. Междуфазное замыкание обмоток		$R_C \uparrow, R_L \uparrow, C \downarrow$

Продолжение табл. 1

Неисправность	Опыт холостого хода	Измерения с помощью RLC-метра
5. Влажная изоляция		$R_{II} \downarrow, C_{12} \uparrow, \operatorname{tg} \delta_{12} \uparrow$
$R_{II}$ – сопротивление изоляции; $C_{12}$ – межобмоточная емкость; $\operatorname{tg} \delta_{12}$ – тангенс угла диэлектрических потерь.		

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведения экспериментов была разработана методика, позволяющая диагностировать различные дефекты трансформатора. Данная методика основана на опыте холостого хода, опыте короткого замыкания, произведенного с помощью RLC-метра, а также на измерении межобмоточной емкости и сопротивлении изоляции.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Пехота, А. Н. Диагностика трансформаторов с помощью сверточных нейронных сетей / А. Н. Пехота, В. Н. Галушко, И. Л. Громько // Энергоэффективность. – 2021 – № 2 – С. 30–36
2. Паздников, И. Л. Для проверки катушек индуктивности / Паздников И. Л. // Радио. – 1990 – № 7 – 68–69 с.
3. Диагностика электрооборудования электрических станций и подстанций: учебное пособие / А. И. Хальясмаа [и др.]. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015 – 64 с.