

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРА С РАЗЛИЧНЫМИ НЕИСПРАВНОСТЯМИ

И. Л. Громыко

Учреждение образования «Белорусский государственный университет
транспорта», г. Гомель

Научный руководитель канд. техн. наук, доцент В. Н. Галушко

Так как силовой трансформатор является очень важным элементом централизованного электроснабжения, то выход его из строя может привести к аварийным ситуациям, перебоям электроснабжения, массовому недоотпуску продукции. Поэтому необходим контроль за состоянием трансформатора.

Основные неисправности силовых трансформаторов представляют собой следующее:

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

Дополнительные неисправности включают:

- межвитковые короткие замыкания;
- деформация магнитопровода;
- междуфазное замыкание обмоток трансформатора;
- механическая деформация обмоток.

При выполнении опытов в трансформатор заблаговременно вводились поочередно все неисправности и затем проводились испытания. По результатам экспериментов были выявлены, наиболее значимые исходные данные для нейромоделирования:

- температура на поверхности обмоток (при МКЗ средний градиент температуры в этой зоне МКЗ составил около $35^{\circ}\text{C}/\text{мин}$);
- отношение токов, напряжений и активных мощностей первичной и вторичной обмоток;
- состав окружающего воздуха на наличие частиц задымления от лака и бумажной изоляции.

При исследовании дополнительных неисправностей можно экспериментально выявить наиболее значимо изменяющиеся параметры.

1. Деформация магнитопровода.

Построим схемы замещения трансформатора в нормальном состоянии (рис. 1) и с деформированным магнитопроводом (рис. 2).

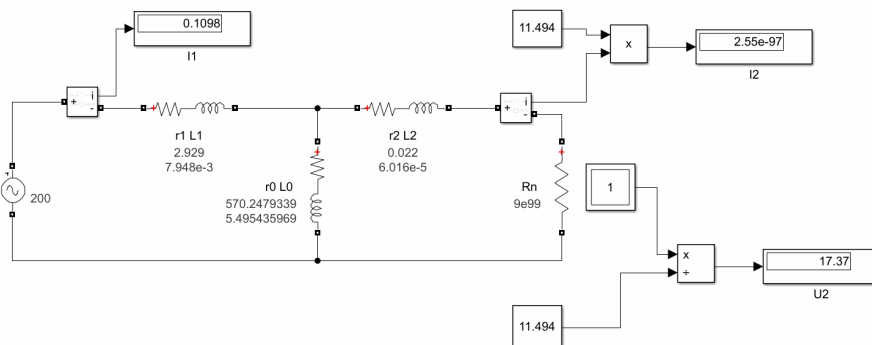


Рис. 1. Пример схемы замещения трансформатора при холостом ходе без дефектов

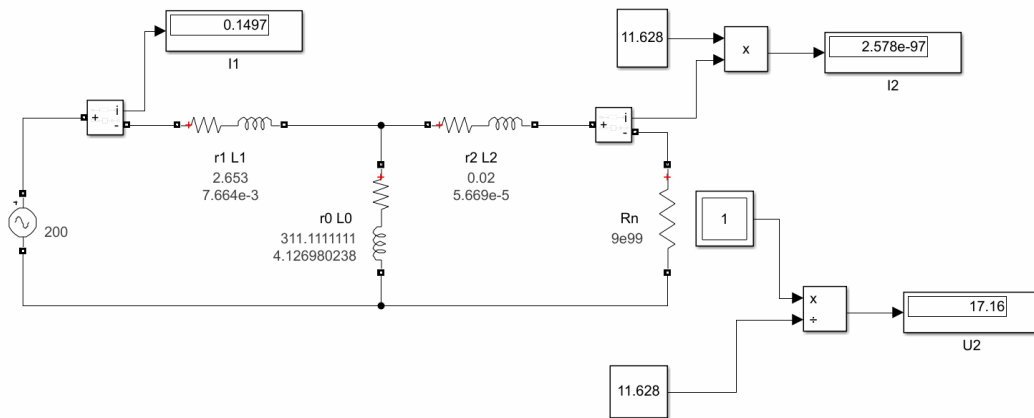


Рис. 2. Пример схемы замещения трансформатора с деформированным сердечником при холостом ходе

Увеличение потерь холостого хода и уменьшение активного сопротивления T -образной схемы замещения на холостом ходу являются признаками повреждения.

Трансформатор с короткозамкнутой вторичной обмоткой был представлен в виде реальной катушки индуктивности для проведения опыта короткого замыкания и механической деформации обмоток с помощью RLC -метра (рис. 3).

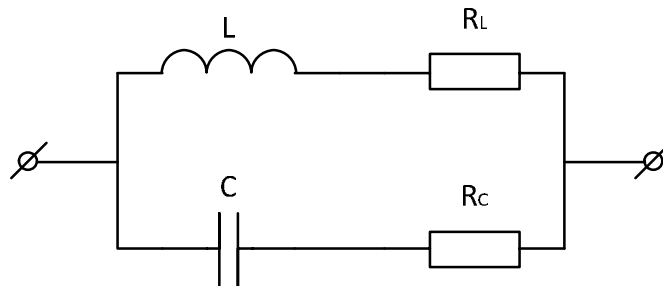


Рис. 3. Схема замещения реальной катушки индуктивности:
 L – индуктивность; C – собственная емкость; R_L – сопротивление, отображающее активные потери в проводнике; R_C – сопротивление, отображающее потери в емкости (диэлектрические потери)

2. Межвитковые короткие замыкания. Наибольшие изменения относятся к увеличению активного сопротивления намагничивающей ветви и активной мощности в опыте холостого хода, а также к менее значимому уменьшению индуктивности намагничивающей ветви.

3. Механическая деформация обмоток. Экспериментально 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.

4. Междофазное замыкание обмоток трансформатора. Отмечено значительное увеличение активного сопротивления обмоток и уменьшение собственной емкости схемы замещения реальной катушки индуктивности.

Снижение емкости обусловлено уменьшением числа изоляционных витковых промежутков, а увеличение активных потерь связано с повышенным тепловыделением в зоне замыкания фаз.

В таблице приведены параметры трансформаторов, характерные для различных неисправностей.

Существенно изменяющиеся параметры трансформаторов, характерные для различных неисправностей

Неисправность	Опыт холостого хода	Измерения с помощью RLC-метра
1. Деформация магнитопровода	$P_0 \uparrow, r_0 \downarrow$	–
2. Механическая деформация обмоток	–	$L \uparrow, r_L \uparrow, C \downarrow$
3. Межвитковые короткие замыкания	$P_0 \uparrow \uparrow, r_0 \uparrow \uparrow$	$L \downarrow$
4. Междофазное замыкание обмоток	–	$r_L \uparrow \uparrow, C \downarrow \downarrow$

Примечание. r_L – активное сопротивление проволоки катушки индуктивности.

Таким образом, анализируемая математическая модель трансформатора, построенная на основе T -образной схемы замещения, позволит обучать нейронную сеть и применять этот метод диагностики к абсолютно любому трансформатору.

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. Определение короткозамкнутых витков в обмотках трансформаторов и дросселей / И. Л. Паздников // Радио. – 1990. – № 7. – С. 68–69.
3. Диагностика электрооборудования электрических станций и подстанций : учеб. пособие / А. И. Хальясмаа [и др.]. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 64 с.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОВАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ ПО ОСТАТОЧНОМУ НАПРЯЖЕНИЮ И ДЛИТЕЛЬНОСТИ

А. С. Исанов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель канд. техн. наук, доц. О. Г. Широков

Изменения параметров входного напряжения в электросети во многих случаях связаны с провалами напряжения. Так, в соответствии с ГОСТ 32144–2013 определяется кратковременное снижение напряжения в конкретной точке электрической системы, когда оно опускается ниже порогового значения. После понижения, которое длится от 10 мс до одной минуты, напряжение восстанавливается до исходного значения.

Провалом считают понижение напряжения ниже 90 % от номинального. Безопасным будет уровень, который не превышает отклонение напряжения на 10 %. Очень часто провалы носят случайный характер, а регулярность их появления зависит от конструкции электрической системы, мощности и типа потребителей, точки наблюдения и природных явлений.

В среднем производственное предприятие от 10 до 30 раз в году сталкивается с провалами напряжения, причем в распределительной воздушно-кабельной сети они возникают в три раза чаще, чем в кабельной.