

### 3 ИНФОРМАЦИОННАЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНИКИ И СВЯЗИ

УДК 621.314

#### ДИАГНОСТИКА ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРНОГО УЧЕТА ДАННЫХ И СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

*В. О. БЕЛЬКИН, И. Л. ГРОМЫКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

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.

Основные неисправности силовых трансформаторов:

- 1 Межвитковые замыкания.
- 2 Местное замыкание пластин стали (пожар в стали).
- 3 Наличие примесей в трансформаторном масле.

К дополнительным неисправностям, относят:

- 1 Деформация магнитопровода.
- 2 Механическая деформация обмоток.

При выполнении опытов в трансформатор заблаговременно вводились поочередно все неисправности и затем проводились испытания. По результатам экспериментов было выявлено, что наиболее значимыми исходными данными для нейромоделирования являются следующие:

- температура на поверхности обмоток (при МКЗ средний градиент температуры в зоне МКЗ составил около 35 °С/мин);
- отношение токов, напряжений и активных мощностей первичной и вторичной обмоток;
- состав окружающего воздуха на наличие частиц задымления от лака и бумажной изоляции.

Исследование дополнительных испытаний позволяет выявить наиболее значимо изменяющиеся параметры экспериментально. При деформации магнитопровода наблюдается увеличение потерь холостого хода и уменьшение активного сопротивления Т-образной схемы замещения на холостом ходу. А при механической деформации обмоток: увеличивается индуктивность и активное сопротивление обмоток.

На рисунке 1 представлено влияние диагностических испытаний для увеличения срока службы трансформатора.

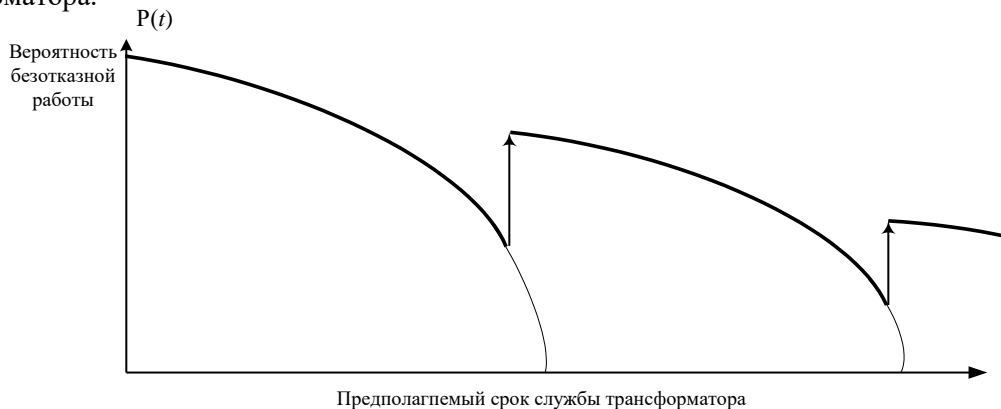


Рисунок 1 – Влияние диагностических испытаний и корректировочные меры для увеличения срока службы трансформатора

Сверточная нейронная сеть, принимая на свой вход данные с первичных преобразователей, позволит в режиме реального времени анализировать информацию и судить о том или ином состоянии электрической машины, не выводя трансформатор из работы, а также с вероятностью 90 % прогнозировать остаточный ресурс. Это предоставляет дополнительные возможности в обеспечении низкого уровня безаварийности и соблюдения режимов бесперебойного электропитания. При этом затраты на внедрение данной технологии нейромоделирования относительно невелики (например, применение одноплатных компьютеров), а эффективность от применения будет существенной.

Состояние изоляции обмоток трансформатора можно оценить, измеряя всего несколько параметров: сопротивление изоляции постоянному току, коэффициенты абсорбции  $DAR$ , поляризации  $PI$  и диэлектрического разряда  $DD$ . Значения этих величин позволяют обнаружить расслоение и загрязнение, определить ток утечки, степень влажности и старения, т.е. сделать вывод о пригодности изоляции к дальнейшей эксплуатации.

В настоящее время существует три метода определения степени увлажненности трансформаторов: «емкость – время», емкостно-температурный метод, метод частотной зависимости емкости.

При испытании изоляции, согласно ТКП 181-2009, сопротивление измерялось мегаомметром MS5201 (на напряжение 1000 В). Характерными временными отсечками при выполнении измерений сопротивления изоляции обмоток являлись следующие: 15 секунд после начала измерения ( $R_{15}$ ); 60 секунд ( $R_{60}$ ); 600 секунд ( $R_{600}$ ).

Данные измерения необходимы для определения действительного сопротивления ( $R_{60}$ ), а также коэффициента абсорбции и индекса поляризации.

В таблице 1 приведены критерии оценки качества изоляции, основанные на результатах измерений индекса поляризации и коэффициента абсорбции. В таблице 2 приводятся частично результаты оценки качества изоляции.

Таблица 1 – Оценка качества изоляции

Индекс поляризации	Коэффициент абсорбции	Качество изоляции
<1	<1,25	Опасное
1–2		Несоответствующее
2–4	1,25–1,6	Хорошее
>4	>1,6	Отличное

Таблица 2 – Результаты измерений для оценки качества изоляции

Сутки	$R_{15}$	$R_{60}$	$R_{600}$	$DAR$	$PI$
	МОм				
0	481	798	2000	1,659044	2,50627
1	273	491	1133	1,798535	2,30754
2	140	245	519	1,750000	2,11837
3	95	180	318	1,894737	1,76666
4	86	133	232	1,546512	1,74436
5	58	104	140	1,793103	1,34615
6	55	65	81	1,181818	1,24615
7	61	66	60	1,081967	0,90909
8	41	47	50	1,146341	1,06383
9	37	40	36	1,081081	0,90000
10	32	30	29	0,937500	0,96667

С помощью программы *Mathlab* на основе Т-образной схемы замещения апробирован и верифицирован инструментарий анализа коротких замыканий обмоток и неисправностей магнитопровода для дальнейшего обучения сверточных нейронных сетей.

#### Список литературы

1 Пехота, А. Н. Диагностика трансформаторов с помощью сверточных нейронных сетей / А. Н. Пехота, В. Н. Галушко, И. Л. Громыко // Энергоэффективность. – 2021. – № 2. – С. 30–36.