

Серпионова Татьяна Александровна

магистрант

Садыков Руслан Рустемович

аспирант

Грачева Елена Ивановна

д-р техн. наук, доцент, профессор

ФГБОУ ВПО «Казанский государственный

энергетический университет»

г. Казань, Республика Татарстан

К ВОПРОСУ РОСТА ПОТЕРЬ ХОЛОСТОГО ХОДА ТРАНСФОРМАТОРОВ В ПЕРИОД СРОКА СЛУЖБЫ

Аннотация: в данной статье рассмотрена структура потерь холостого хода в силовом трансформаторе, приведены основные причины увеличения данных потерь. Авторами произведён анализ зависимости изменения потерь холостого хода трансформаторов от срока службы.

Ключевые слова: трансформатор, потери холостого хода, срок службы.

В последние годы всё большее число авторов обращают внимание на рост потерь электроэнергии холостого хода (ХХ) в силовых трансформаторах по мере их старения по сравнению с паспортными данными, измеренными в год выпуска. При этом конструкторы трансформаторов, как правило, утверждают, что потери ХХ в процессе эксплуатации в исправных трансформаторах, если и увеличиваются, то не более чем на 5% за весь срок службы трансформатора – 40 лет.

Измерения, проведенные многими исследователями, показали, что старение трансформатора приводит к росту потерь ХХ, порой весьма и весьма значительному, в зависимости от условий работы трансформатора и, особенно, качества его ремонта в процессе эксплуатации.

Следует особо отметить, что, например, в ОАО «Тольяттинский трансформатор» были рассмотрены данные измерений трансформаторов марки АОРЦТ,

проработавших 18 лет на Волжской ГЭС. Оказалось, что производство ОАО «Тольяттинский трансформатор» силовые трансформаторы за период эксплуатации также увеличили потери ХХ на 5,65–6,25%. Эти трансформаторы были доставлены для ремонта.

Магнитная система трансформаторов при этом никаким образом не подвергалась ремонту и находилась в целостности, но по тем или иным причинам имел рост потерь ХХ. Представлялось определить причину роста потерь за счет определения возможных факторов роста и изменения структуры.

Известно, что потери ХХ в трансформаторе складываются из:

- магнитных потерь;
- потерь в стальных элементах конструкции трансформатора;
- диэлектрических потерь в изоляции.

Для наглядности приведем структуру потерь ХХ в силовом трансформаторе (рис. 1).

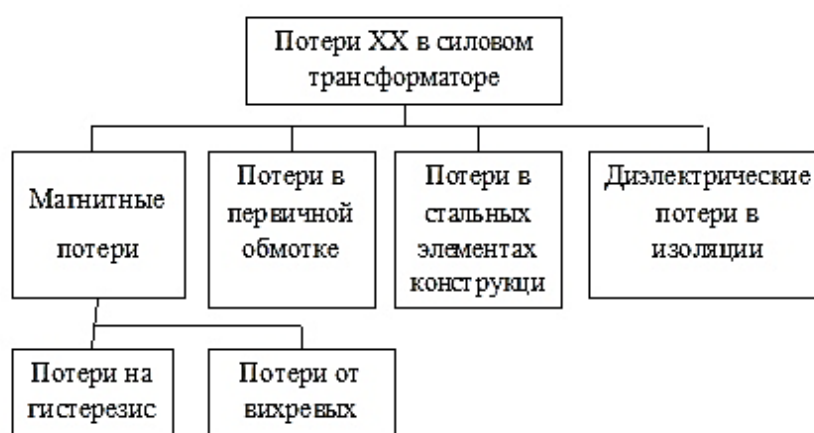


Рис. 1. Структура потерь ХХ в силовом трансформаторе

Потери в стальных элементах конструкции остова трансформатора, вызванные частичным ответвлением главного магнитного потока, относительно невелики и при расчете потерь ХХ трансформатора учитываются в потерях в стали трансформаторов [1].

Диэлектрические потери в изоляции необходимо, видимо, учитывать в трансформаторах, работающих при повышенной частоте. На частоте 50 Гц в силовых трансформаторах диэлектрические потери в изоляции незначительны и

при расчете потерь ХХ их также, как и основные потери в первичной обмотке, составляющие обычно менее 1% потерь ХХ, принято не учитывать. Другими словами, основную часть потерь ХХ в силовом трансформаторе составляют магнитные потери.

В качестве основных причин увеличения потерь ХХ в силовых трансформаторах, определяемых сроком службы, принято считать следующие факторы:

- старение стали из-за нагрева магнитопровода вследствие потерь при перемагничивании сердечников и выделения тепла намагничивающими обмотками;
- механические воздействия на магнитопроводы в различных режимах работы (вибрация, электродинамические усилия при коротком замыкании и т. д.) и при ремонтах трансформаторов;
- причины, связанные с износом материалов, в том числе:
 - общее нарушение межлистовой изоляции магнитопровода ввиду старения;
 - выгорание сердечника магнитопровода;
 - повреждение изоляции шпилек;
 - местное нарушение межлистовой изоляции;
 - ослабление прессовки магнитопровода ввиду усадки стали магнитопровода);
 - ослабление прессовки стыков;
 - разрушение изолирующих прокладок в стыках и т. д.

Известно, что электротехническая анизотропная сталь является магнитно-мягким материалом и отличается малой площадью петли гистерезиса. Основным параметром, определяющим площадь петли гистерезиса, является коэрцитивная сила H_c .

На H_c в основном влияют: внутренние напряжения и неметаллические включения.

Негативное влияние на H_c внутренних напряжений зависит от их амплитуды и значения магнитострикции λ_s . Наибольшее отрицательное влияние напряжений на H_c проявляется, когда амплитуде внутренних напряжений $\Delta\sigma_i$ соизмерима с толщиной доменных границ σ .

На значение магнитных потерь в электротехнической анизотропной стали оказывают влияние различного рода несовершенства кристаллической решётки, примеси, находящиеся в α -твёрдом растворе Fe – 3% Si или в виде неметаллических включений, а также остаточные механические напряжения.

Имеющие место в процессе работы трансформаторов перегревы (из-за КЗ, ухудшения условий теплоотвода вследствие старения трансформаторного масла и др.) выше допустимых значений приводят к ухудшению магнитных свойств стали сердечника, увеличению тока ХХ и повышению потерь трансформаторов P_{XX} . Более того, на пути к потребителю в городских электрических сетях выполняется, как правило, до 4–5 преобразований энергии в трансформаторах с выделением P_{XX} , которое с течением времени может достигать 4%.

С ростом срока службы трансформатора происходит также ухудшение диэлектрических свойств изоляции обмоток и выводов, трансформаторного масла счет: старения твердой изоляции; истирания твердой изоляции в условиях постоянных вибраций, деформацией в режимах КЗ и другие, увлажнение и загрязнение поверхности твердой изоляции и трансформаторного масла и др.

Свою долю в увеличение потерь ХХ вносит и работа трансформатора с несимметрической нагрузкой, в результате которой появляются магнитные потоки нулевой последовательности и, как следствие, дополнительные потери ХХ.

Как указывалось, в процессе эксплуатации трансформаторов важное значение имеет диагностический контроль параметров трансформаторов и, при необходимости, проведение плановых или внеплановых ремонтных работ. Необоснованное решение о проведении ремонта трансформатора, объеме и технологии в лучшем случае приводит к неоправданным затратам, в

худшем – к снижению показателей и надежности, а в итоге – к значительным материальным затратам.

Некачественная перешихтовка магнитопровода при ремонте трансформатора приводит потерь ХХ до 20%.

Существенно на изменение потерь ХХ трансформатора влияет изменение при ремонте обмоточных данных, изоляционных промежутков, замена данных, изоляционных промежутков, замена трансформаторного масла и твердой изоляции обмоток и выводов.

При изменении соотношения напряжения и числа витков в первичной обмотке изменяется магнитный поток в трансформаторе и пропорционально квадрату этого изменения изменяются потери ХХ. Изменение P_{XX} с течением времени работы подтверждается результатами специальных измерений на 13 трансформаторах ТМ 250/10 горсети со сроками службы от 2 до 34 лет в одной из работ.

Средний срок службы трансформаторов с высшим напряжением 10 кВ для приведенной выборки 21,6 года.

Результаты измерений показаны в табл. 1 и на рис. 2.

Таблица 1

Потери ХХ трансформаторов ТМ 250/10
Шуйской городской электросети ($P_{XX,пасп} = 820$ Вт)

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Т _{сл} , лет	34	32	31	29	28	25	24	19	18	16	12	11	2
P _{XX} , Вт	1140	998	902	998	909	999	841	619	798	798	959	879	519
ΔP _{XX} , %	39,0	21,7	10,0	21,7	10,9	21,8	2,56	-24,5	-2,7	-2,7	17,0	7,2	-36,7

Здесь $\Delta P_{XX} = \frac{P_{XX} - P_{XX,пасп}}{P_{XX,пасп}} \cdot 100\%$, то есть процентное отличие реального значения потерь ХХ трансформатора от паспортного.

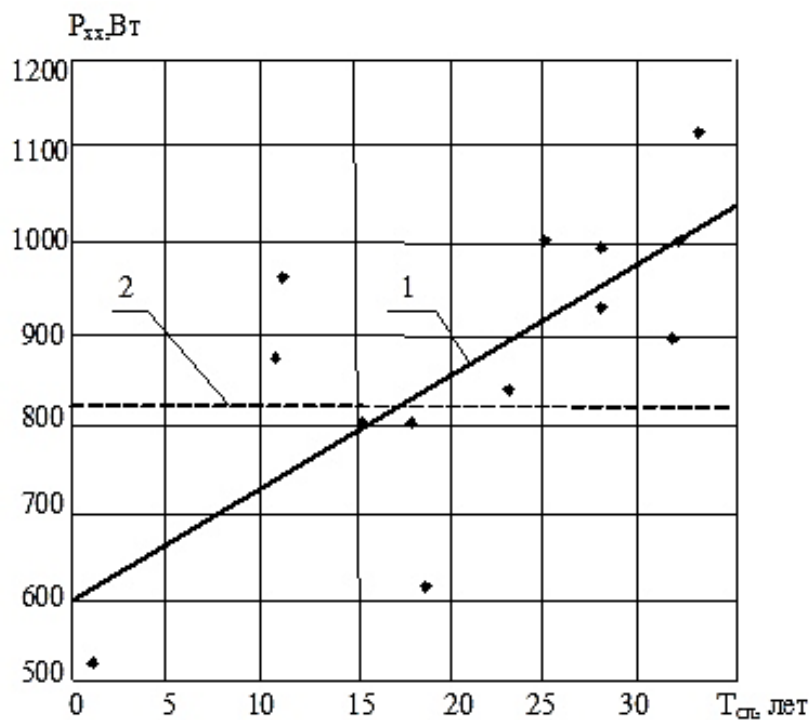


Рис. 2. Зависимость изменения потерь XX трансформаторов ТМ 50/10

Шуйской городской электросети от срока службы: измерения;

1 – линейный тренд; 2 – паспортная мощность потерь XX.

Максимальные потери XX выявлены у трансформатора с наиболее продолжительным сроком эксплуатации 34 года. Они более чем 2,2 раза превышают потери XX самого «молодого» трансформатора и в 1,39 раза паспортные потери XX. Таким образом, изменение потерь XX трансформаторов в период срока службы, особенно подвергавшихся в этот период ремонтам, вполне может достигать 30–50%.

Список литературы

1. Грачева Е.И. Некоторые особенности электрических трансформаторов: Учебник / Е.И. Грачева, О.В. Наумов. – М.: Русайнс, 2016. – 184 с.