

УДК 621.314

АНАЛИЗ ПРИЧИН ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**ANALYSIS OF THE REASONS FOR FAILURE AND MEASURES TO INCREASE THE RELIABILITY OF MEASURING TRANSFORMERS**

С.В. Климчук, М.В. Прокопович

Научный руководитель – А.Л. Старжинский, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

astarginsky@bntu.by

S. Klimchuk, M. Prokopovich

Supervisor – A. Starzhinsky, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

***Аннотация:** Проанализированы причины повреждаемости измерительного маслонаполненного оборудования и внесены предложения по снижению его аварийности в электросетевых предприятиях. Произведенный анализ причин повреждаемости оборудования по его типам указывает на ряд конструктивных недостатков, которыми обладает то или иное оборудование определенного типа. Даны рекомендации по снижению числа отказов данного оборудования, направленные на предотвращение аварийных ситуаций, связанных с отказом высоковольтных измерительных трансформаторов тока и напряжения.*

***Abstract:** The causes of damage to oil-filled measuring equipment are analyzed and proposals are made to reduce its accident rate in power grid enterprises. The analysis of the causes of equipment damage by its types indicates a number of design flaws that this or that equipment of a certain type has. Recommendations are given to reduce the number of failures of this equipment, aimed at preventing emergency situations associated with the failure of high-voltage measuring current and voltage transformers.*

***Ключевые слова:** высоковольтное измерительное оборудование, трансформаторы тока и напряжения, повреждаемость, анализ причин повреждаемости, снижение числа отказов, трансформатор тока, трансформатор напряжения*

***Keywords:** high-voltage metering equipment, current and voltage transformers, damage, damage cause analysis, failure reduction, current transformer, voltage transformer*

Введение

Измерительные трансформаторы тока (ТТ) и напряжения (ТН) - электрические аппараты, предназначенные для измерения и контроля тока и напряжения в контролируемой цепи. Используются тогда, когда прямое подключение измерительного прибора невозможно, например, при измерении слишком высоких токов и напряжений. Кроме этого, при помощи ТТ и ТН осуществляется галь-

ваническая развязка первичных и вторичных цепей. Также через измерительные трансформаторы запитываются цепи релейной защиты и автоматики.

Таким образом, повреждения в измерительных трансформаторах приводят к серьезным последствиям. Практически всегда имеют место факты возгорания и взрывы. При аварии, ввиду большого радиуса разлета осколков, часто повреждаются соседние установки. Также, к неправильному действию или несрабатыванию устройств релейной защиты, что может повлечь за собой выход из строя дорогостоящего оборудования.

В настоящее время анализ причин повреждений и отказов трансформаторов тока и напряжения является немаловажной задачей в энергетике.

В данной статье будут рассмотрены некоторые современные способы повышения безотказности измерительных трансформаторов тока и напряжения

Основная часть

Несмотря на свою важность, назвать измерительные трансформаторы надежным оборудованием в данный момент времени не представляется возможным. Дефекты данного оборудования трудно диагностируются, а развиваются достаточно быстро. Одним из способов предотвращения аварий является постоянный мониторинг состояния изоляции.

В качестве примера, по результатам исследования количества отказов трансформатора напряжения типа НОМ 35 был построен график интенсивности отказов. В данном графике можно выделить 3 характерных участка:

- на первом участке имеют место ранние отказы.
- второй участок соответствует статическим отказам.
- третий участок - окончание срока службы.

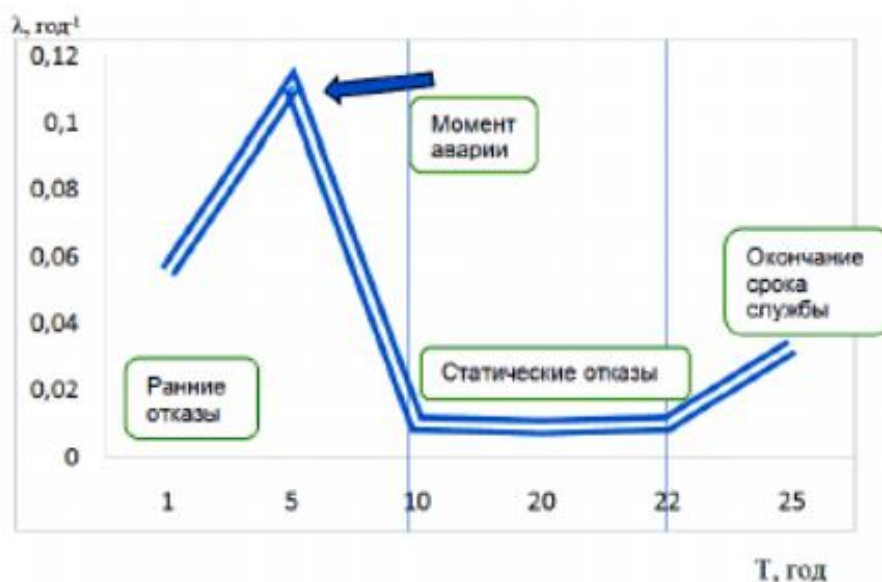


Рисунок 1 - График кривой интенсивности отказов измерительного трансформатора напряжения

Для ТН типа НОМ 35 заводом изготовителем установлен номинальный срок службы 25 лет. Однако для данного срока службы не установлено среднеквадратичное отклонение от этого времени. Поэтому если ориентироваться

именно на срок 25 лет, то, можно считать, что период в 5 лет от начала эксплуатации до момента аварии относится к ранним отказам.

Анализируя график видно, что наименьшая интенсивность отказов, а следовательно, и наибольшая надежность, имеет место на втором участке (статических отказов).

Также в ходе исследований был получен график распределения вероятности безотказной работы измерительного трансформатора тока ТФРМ.

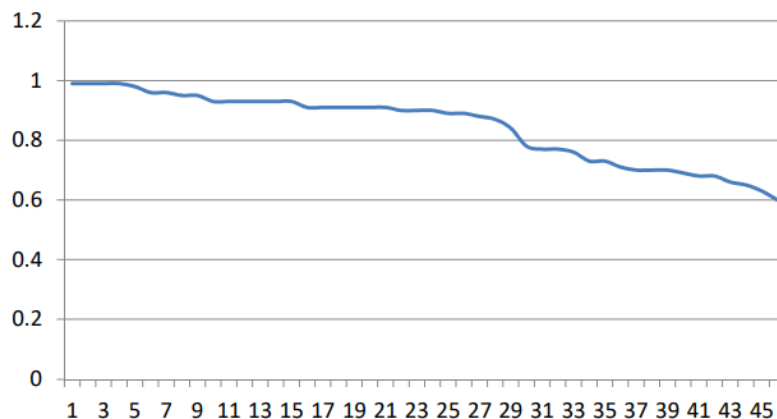


Рисунок 2 - Распределение вероятности безотказной работы трансформатора тока ТФРМ

Анализ графика показал, что для ТФРМ, который находится в эксплуатации 29 лет, значение вероятности безотказной работы составляет 0,78. Далее, с увеличением времени нахождения трансформатора тока в работе, возрастает скорость снижения вероятности безотказной работы аппарата. Так в 45-й год вероятность составит 0,6.

Для выявления процессов, негативно влияющих на работу трансформаторов тока и напряжения, были проведены многочисленные экспериментальные исследования на основе собранной за годы эксплуатации статистики.

Причины отказов измерительного оборудования можно разделить на следующие категории:

1. Повреждение изоляции;
2. Межвитковые замыкания;
3. Феррорезонансные явления;
4. Механические деформации;
5. Заводские неисправности;

Согласно статистике, к наиболее частым факторам выхода из строя ТТ и ТН относят пробой изоляции и ее старение (52 %). Возникают вследствие воздействия частичных разрядов, нагрева прямыми солнечными лучами, а также при протекании токов, значения которых превышают допустимые.

Кроме нагрева изоляции происходит ее постепенное увлажнение, что в свою очередь приводит к увеличению диэлектрических потерь. При резком повышении температуры может происходить выделение растворенного воздуха в свободную газовую фазу в виде пузырьков, в которых развиваются критические частичные разряды, приводящие к пробую бумажно-масляной изоляции. Суще-

ствуется и другой механизм пробоя, который связан с переходом влаги из увлажненной бумаги в масло при резком повышении температуры.

Одним из немаловажных факторов, влияющих на срок службы изоляции, являются частотные перенапряжения. При каждом пробое промежутка между контактами разъединителя в сети возникают затухающие электромагнитные колебания с частотой от 50 до 1000 кГц, длительностью 10-500 мкс. Количество таких процессов за одну коммутацию составляет от нескольких десятков до нескольких тысяч в зависимости от параметров схемы, класса напряжения, скорости движения контактов разъединителя, метеорологических условий. Амплитуда колебаний меняется за коммутацию от сотен вольт при малых размерах межконтактного промежутка до $3,5 U_{фм}$ при максимальных пробиваемых расстояниях между контактами, что может вывести высоковольтное оборудование из строя.

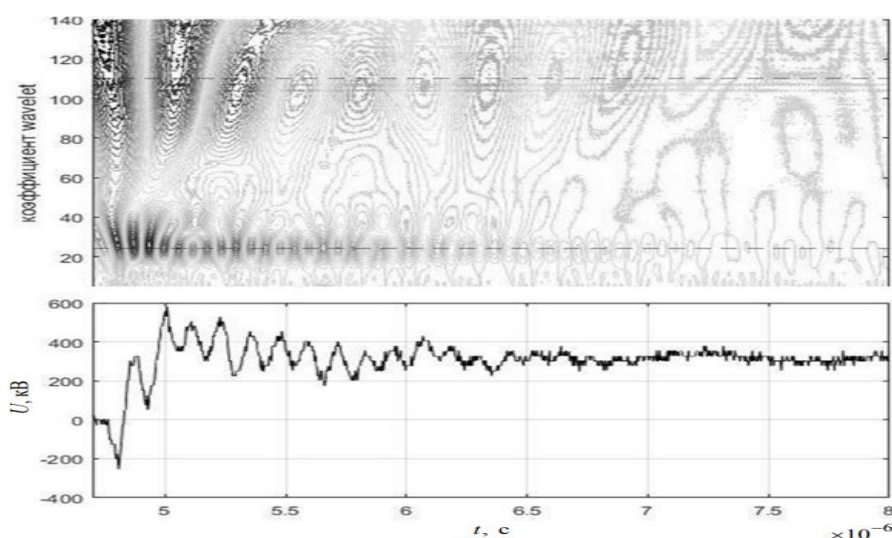


Рисунок 3 - Осциллограмма напряжения и её частотно-временное представление при коммутации

При межвитковых замыканиях (они составляют 32 % от общего количества повреждений) происходит пробой изоляции обмотки, что также приводит к выходу из строя измерительных трансформаторов. Немаловажным фактором считаем учесть, что при протекании токов КЗ по U-образной обмотке, ввиду возникающих электродинамических усилий, происходит повреждение изоляции, что в свою очередь приводит к частичным разрядам. Они ускоряют процесс старения изоляции.

Исходя из приведенного анализа, с целью предотвращения повреждений измерительных трансформаторов тока и напряжения 110 кВ и выше, принимаются следующие меры:

1. Участиль контроль состояния измерительных трансформаторов тока и напряжения, которые работают в особых режимах или тех, длительность эксплуатации которых превышает 15 лет.

2. Осуществлять тепловой контроль ТТ и ТН проводить не реже трех раз в год. А в летний период, когда среднесуточная температура окружающего воздуха превышает 20°C , не реже 1 раза в месяц. Непосредственно для данного

периода года тепловой контроль оборудования следует производить в ночное время суток, спустя два часа после захода солнца.

3. Осуществлять автоматизированный контроль состояния трансформаторного масла для всех ТТ (ТН), дополнительный анализ масла на влагосодержание. Анализ химического состава трансформаторного масла, в том числе определение количества азота и кислорода в нем, позволит сделать вывод о состоянии масла. При превышении концентрации примесей в масле выше допустимых значений, следует проводить испытания в полном объеме.

4. Производить измерение тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$. Данное мероприятие, также как и предыдущее, осуществляется для контроля качества изоляции. Проводят такие измерения при помощи различных испытательных комплексов. Отклонение измеренных величин от нормы не является причиной для вывода измерительного оборудования в ремонт, однако является основанием для проведения испытаний в полном объеме согласно нормативным документам.

5. Для ТТ – снятие характеристики намагничивания для выявления наличия короткозамкнутых витков. Для ТН – измерение сопротивления первичной и вторичных обмоток.

6. Контролировать интенсивность частичных разрядов в изоляции ТТ, начиная с класса напряжения 110 кВ и выше при помощи различных методов.

7. Для трансформаторов напряжения: при перенапряжениях должно производиться оперативное их отключение с последующим выявлением причин возникновения этих перенапряжений. Производить анализ схем подстанций с целью выявления возможных феррорезонансных перенапряжений и разработки специальных мероприятий по их предотвращению.

8. Создание общей информационной базы, в которой приведена статистика отказов вновь устанавливаемого оборудования с предварительной разработкой мероприятий по их предупреждению.

Заключение

В данной статье были рассмотрены основные причины возникновения отказов измерительных трансформаторов тока и напряжения, а также мероприятия, способствующие повышению безотказности и срока их эксплуатации. Данные подходы позволят в значительной степени повысить надежность электроэнергетических систем.

Литература

1. Фомина, И.А. Исследование воздействия коммутационных перенапряжений на измерительные трансформаторы тока сверхвысокого напряжения и результаты химического анализа трансформаторного масла // Сборник научных трудов НГТУ. – 2010. – № 4.
2. Хреников, А.Ю., Мажурин, Р.В. Диагностика и мероприятия по снижению аварийности высоковольтных измерительных трансформаторов тока и напряжения в электрических сетях 110-750 кВ // ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ. ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. - 2013 - С. 52-54.
3. Швед, Г. А. Высокочастотные перенапряжения / Г. А. Швед ; науч. рук. И. В. Колосова // Актуальные проблемы энергетики : материалы 72-й научно-технической конференции студентов и аспирантов / Белорусский национальный технический университет, Энергетический факультет. – Минск : БНТУ, 2016. – С. 300-301.