

УДК 621.311.426

С.К. Шерьязов, А.В. Пятков

**КЛАССИФИКАЦИЯ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ВИТКОВЫЕ ЗАМЫКАНИЯ В ТРАНСФОРМАТОРАХ
НАПРЯЖЕНИЕМ 6-10/0,4 КВ**

В статье рассматриваются причины, влияющие на бесперебойную работу силовых трансформаторов, которые обеспечивают жизнедеятельность сельских потребителей.

Ключевые слова: электроснабжение, силовые трансформаторы, изоляция обмоток, старение изоляции, межвитковые замыкания.

S.K. Sheryazov, A.V. Pyatkov

**CLASSIFICATION OF FACTORS INFLUENCING THE COILED FAULTS IN TRANSFORMERS
WITH 6-10/0, 4 KVVOLTAGE**

The factors influencing the uninterrupted operation of power transformers that provide the rural consumer vital activity are considered in the article.

Key words: power supply, power transformers, winding isolation, isolation wear-out, inter-winding fault.

Особенностью электроснабжения сельских потребителей является наличие большого числа электроприемников малой мощности. Для их питания используются трансформаторы, установленные в основном на однострановых подстанциях, расположенных на значительном расстоянии друг от друга. Повреждение их ведет к отключению большого числа потребителей и снижает надежность электроснабжения.

Причины отказов сельских трансформаторов 6-10/0,4 кВ исследованы недостаточно. При этом часто наблюдаются межвитковые замыкания, к которым не чувствительна установленная защита – предохранители ПКТ.

В трансформаторах 6-10/0,4 кВ повреждения продольной изоляции по месту замыкания подразделяются на полные витковые, межслойные и межкатушечные замыкания обмоток. Причем известно, что два последних вида замыкания начинаются именно с межвиткового замыкания [1].

Одним из факторов, влияющих на возникновение межвитковых замыканий, являются заводские дефекты. К ним могут быть отнесены дефекты обмоточного провода, заусеницы на обмотках, слабый поджим витков и др.

Персонал, обслуживающий трансформаторы, не всегда обращает внимание на некоторые особенности работы оборудования. Так, оперативный персонал часто допускает ошибку при устранении аварий (неоднократное включение на устойчивое КЗ) и проведении оперативных переключений.

По причине некачественного выполнения капитального ремонта трансформаторов также возникают межвитковые замыкания. Так, в актах дефектовки трансформаторов, прошедших капитальный ремонт, указываются слабая укладка витков; использование изоляционных материалов, не соответствующих требованиям, и попадание посторонних предметов.

Все указанные факторы – заводские дефекты, слабая организация эксплуатации, некачественный капитальный ремонт – могут быть вызваны низкой организацией службы эксплуатации и производства трансформаторов.

Во время работы трансформаторов на изоляцию обмоток могут воздействовать внешние (грозовые) и внутренние (коммутационные, дуговые и др.) перенапряжения [2]. Коммутационные перенапряжения возникают при отключениях трансформаторов через малый промежуток времени после его включения. Дуговые перенапряжения возникают при однофазном замыкании в сети 6–10 кВ, которые могут существовать относительно долго. Данный процесс имеет много общего с коммутационным перенапряжением [3].

Следующим фактором, влияющим на возникновение межвиткового замыкания, является старение изоляции. Процесс старения продольной изоляции сопровождается изменением ее структуры, физико-химических и механических свойств [3]. Межвитковая изоляция обмоток может подвергаться механическому, электрическому, тепловому и химическому старению.

Механическое старение межвитковой изоляции приводит к возникновению и развитию трещин в твердой изоляции. Динамические нагрузки, действующие в радиальном и осевом направлениях, приводят к деформации обмотки и ослаблению поджима витков. Причинами механического старения продольной изоляции также могут быть повышенная вибрация, электродинамические усилия из-за токов пусковых и короткого замыкания.

Электрическое старение изоляции может происходить при рабочем напряжении в продольной изоляции обмоток трансформатора. С увеличением напряжения темпы электрического старения возрастают [4].

Одной из основных причин электрического старения продольной изоляции является появление частичных разрядов. Различают начальные (НЧР) и критические (КЧР) частичные разряды [4].

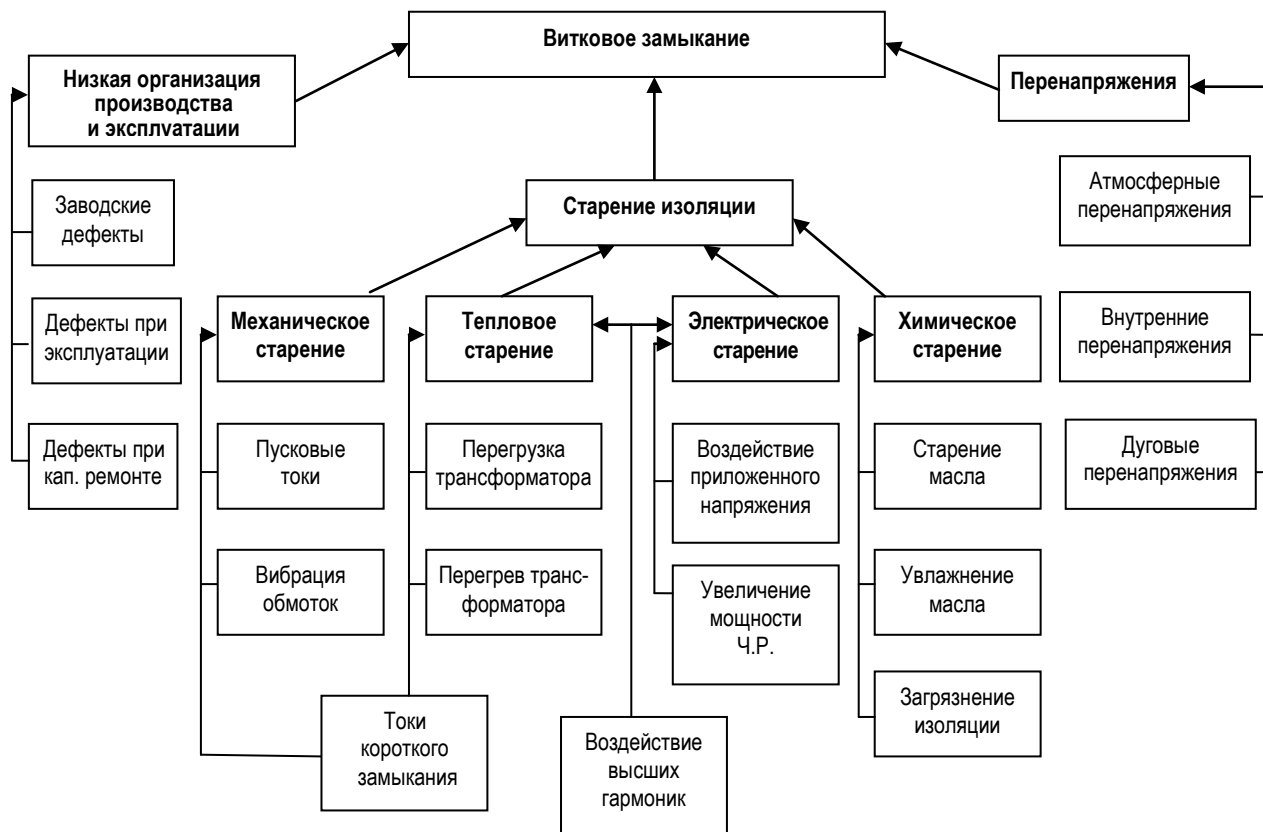
НЧР возникают в ослабленных местах изоляции, например, у микронеровностей. КЧР имеют мощность для относительно быстрого разрушения слоев бумаги. Они возникают при перенапряжениях и могут сохраняться при рабочих напряжениях, тем самым за короткое время разрушают изоляцию.

Тепловое старение межвитковой изоляции связано с электрической нагрузкой, которая приводит к изменению ее структуры и диэлектрических свойств. Изменение и появление сверхдопустимой электрической нагрузки и прохождение по обмоткам токов перегрузки или короткого замыкания может привести к перегреву обмоток и разрушению изоляции [5].

Химическое старение витковой изоляции происходит из-за ее увлажнения. Влага во внутреннюю изоляцию трансформатора в основном проникает из окружающего воздуха. В некоторых случаях в результате термоокислительных процессов возможно увлажнение самой изоляции [4].

В последнее время в сельских электрических сетях значительно увеличилось число потребителей с нелинейной нагрузкой. Влиянию высших гармоник на работу электрооборудования и на состояние изоляции посвящен ряд научных работ [5–7]. Однако проблема возникновения витковых замыканий по причине воздействия высших гармоник тока и напряжения остается без должного внимания. Изучение и выявление причинно-следственной связи между возникновением витковых замыканий в трансформаторах и наличием высших гармоник в питаемой сети является актуальной задачей.

Исходя из проведенного анализа проведена классификация факторов, приводящих к межвитковым замыканиям в трансформаторах 10/0,4 кВ. Классификация факторов приведена на рисунке.



Классификация факторов, влияющих на возникновение межвитковых замыканий в трансформаторах 6-10/0,4 кВ

Выводы

1. Межвитковые замыкания в трансформаторах в большинстве случаев протекают по времени медленно. Нагрузки, воздействующие на витковую изоляцию, создают в ней кумулятивный эффект, постепенно разрушая структуру изоляции, ухудшают ее состояние.

2. Низкая организация производства и эксплуатации трансформаторов на протяжении всего срока службы является одной из существенных причин возникновения межвитковых замыканий.

3. Трансформаторы 6-10/0,4 кВ, работающие в сельских сетях, особо подвержены воздействиям атмосферных перенапряжений, по причине большой протяженности ВЛ и наружной установки ТП, что приводит к частым межвитковым замыканиям.

4. Основным фактором, влияющим на возникновение витковых замыканий, является старение изоляции трансформаторов 10/0,4 кВ. При этом в ходе эксплуатации трансформаторов витковая изоляция подвергается механическим, электрическим, тепловым и химическим воздействиям.

5. В условиях появления нелинейной нагрузки в сельских сетях актуальной задачей является изучение влияния высших гармонических составляющих тока и напряжения на развитие витковых замыканий в трансформаторах 6-10/0,4 кВ.

6. Приведенная классификация факторов, влияющих на межвитковое замыкание, показывает, что причины нарушения изоляции могут быть связаны или могут проявляться обособленно, что затрудняет поиск решения по защите обмоток трансформаторов от межвитковых замыканий.

Литература

1. *Засыпкин А.С.* Релейная защита трансформаторов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 240 с.
2. *Шнайдер Г.Я.* Электрическая изоляция трансформаторов высокого напряжения. – М.: Знак, 2009. – 160 с.
3. *Быстрицкий Г.Ф., Кудрин Б.И.* Выбор и эксплуатация силовых трансформаторов. – М.: Академия, 2003. – 176 с.
4. *Базуткин В.В., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С.* Техника высоких напряжений: Изоляция и перенапряжения в электрических системах. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 464 с.
5. *Каганович Е.А.* Испытание трансформаторов малой и средней мощности на напряжение до 35 кВ включительно. – М.: Энергия, 1977. – 296 с.
6. *Жежеленко И.В.* Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.
7. *Сидоренков В.А.* Повышение точности учета электрической энергии в системе электроснабжения сельскохозяйственных потребителей с нелинейной нагрузкой: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск, 2013. – 23 с.

