

УДК 623.44

## ОБЗОР МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ УСТРОЙСТВ РПН ТРАНСФОРМАТОРОВ

**Копейкина Т.В.**

*Камышинский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет», Камышин, e-mail: kopeikina.tania@yandex.ru*

В настоящей статье производится анализ вопроса необходимости тщательного изучения причин, связанных с нарушением работоспособности переключающих устройств, используемых в силовых трансформаторах для изменения числа витков первичной (или вторичной) обмотки трансформатора и, следовательно, коэффициента трансформации для регулирования вторичного напряжения трансформатора. Приводятся наиболее частые дефекты механических неисправностей устройств регулирования под нагрузкой РПН силовых трансформаторов. Анализируются методы определения правильной работы РПН силовых трансформаторов, среди которых внимание уделяется методу, основанному на контроле тока нагрузки во время переключения и числа переключений РПН на разные положения отпаек обмотки; измерение сопротивления контактов; выявление продуктов горения дуги между контактами в РПН; газохроматографический анализ масла; виброакустический метод определения правильности работы РПН. В статье содержится информация о наиболее распространенных и перспективных приборах для определения неисправностей в работе РПН. Сделан вывод о необходимости повышения надежности электроснабжения в условиях роста доли оборудования с длительным сроком эксплуатации.

**Ключевые слова:** трансформатор, неисправность, регулирование под нагрузкой, контакт, метод, устройство, срок службы, прибор

## OVERVIEW OF METHODS FOR DETERMINING FAULT OF TAP-CHANGER TRANSFORMERS

**Kopeikina T.V.**

*Kamyshin Technological Institute (branch) of Volgograd State Technical University, Kamyshin, e-mail: kopeikina.tania@yandex.ru*

In this paper we analyze the question of the need for a thorough study of the causes associated with the operability of switching devices used in power transformers to change the number of turns of the primary (or secondary) winding of the transformer and therefore the transformation ratio for regulating the secondary voltage of the transformer. Describes the most frequent defects, mechanical failure of device regulation under load tap changer of power transformers. Analyzes the methods of determining the correct operation of tap changer power transformers, among which attention is paid to the method based on the control of the load current during the switch and number of switches RPN at different positions of the taps of the winding; measuring the contact resistance; identification of combustion products of the arc between the contacts in the tap changer; gas chromatographic analysis of the oil; vibro-acoustic method of determining the correct operation of tap changer. The article contains information about the most common and promising devices for identifying faults in the work of the RPN. The conclusion about necessity of increase of reliability of power supply in terms of growth in the share of equipment with a long service life.

**Key words:** transformer malfunction, regulation under load, the contact method, the device, the service life of the device

При ремонте переключающих устройств особое внимание уделяют состоянию их контактной системы. Причиной выхода из строя трансформаторов в десяти случаях из ста бывает неисправность переключающих устройств, в частности повреждение их контактов. Эти неисправности вызывают повышенные местные нагревы, часто приводящие к выходу трансформатора из строя.

В трансформаторах применяются переключающие устройства ПБВ (переключение без возбуждения) и РПН (регулирование под нагрузкой).

Ремонт отдельных частей переключающего устройства РПН обусловлен необходимостью их разборки и сборки. В случае сборки и регулировки приводов руковод-

ствуются рисками, которые наносятся на соединяемые детали при изготовлении трансформатора на заводе. Ошибка в подключении отводов может стать причиной выхода из строя переключающего устройства, а, следовательно, и трансформатора. Например, неправильное подключение реактора к контактору, нарушающее последовательность работы контактной системы. Во избежание ошибок в схеме подключения отводов после сборки, регулировки и визуальной проверки схемы соединений строят круговую диаграмму, которая показывает последовательность действия контактной системы переключателя, а также углы опережения и запаздывания при работе контактов контакторов и избирателя.

### Цель исследования

Устройство регулирования напряжения силовых трансформаторов под нагрузкой (РПН) по своему исполнению является сложным и часто недостаточно надежным узлом силового трансформатора. В то же время авария РПН может привести к серьезному повреждению трансформатора в целом, в крайнем случае — к пожару и взрыву. До 40% катастрофических аварий трансформаторов связаны с повреждениями РПН [1].

Из-за наличия движущихся частей трансформаторы с РПН требуют в 3-5 раз больших трудозатрат по сравнению с нерегулируемыми под нагрузкой. Этот фактор, а также пониженная, в среднем, надежность трансформаторов с РПН должны учитываться при решении вопроса о замене или ремонте РПН.

Для устройств РПН наиболее частыми дефектами являются механические неисправности РПН из-за износа узлов кинематической схемы, приводящие к плохому контакту в схеме РПН — дефекты пружин, привода и других движущихся узлов контактора и избирателя. Эти дефекты сами по себе не сильно влияют на работу трансформатора, но являются причиной электрических и изоляционных дефектов, которые могут привести не только к повреждению РПН, но и к регулировочной обмотки.

Необходимость своевременного выявления развивающихся дефектов при такой важности РПН для трансформатора в целом — проведение профилактических мероприятий в зависимости от состояния РПН. Для этого нужен частый контроль во время работы, а для многих видов дефектов желателен непрерывный контроль состояния РПН.

### Результаты исследования и их обсуждение

С развитием средств измерений появляются новые возможности выявления дефектов в устройствах РПН. Примером является применение компанией Foster-Miller гибких видеоскопов для освещения и осмотра труднодоступных мест. При этом появляется возможность не сливать масло из РПН для осмотра, что позволяет провести осмотр с отключением трансформатора менее, чем на сутки [2].

Контроль нагрева внешней поверхности трансформатора с помощью тепловизионной техники позволяет выявить перегревы в баках контакторов и избирателей РПН вообще без отключения трансформатора. Перегревы в устройствах РПН выявляются сравнением температуры в баке РПН и в

основном баке, тепловой режим может контролироваться непрерывно.

Важной и сложной задачей является контроль износа контактов в РПН, практически этот дефект определяет срок жизни устройства.

Простейшим, но весьма грубым методом определения износа контактов является контроль тока нагрузки во время переключения и числа переключений РПН на разные положения отпаек обмотки. Критерием допустимой эксплуатации РПН до ремонта является накопленная сумма коммутируемых токов.

Этот метод входит во все комплексы контроля состояния РПН. Он используется и в автоматизированных системах контроля состояния трансформаторов, в том числе MS2000 (Alstom), ТЕС и T-Monitor (ABB), TDM (Вибро-Центр) [2].

Непосредственное определение ухудшения состояния РПН — измерение сопротивления контактов. Они проводятся с отключением трансформатора от сети. Оценка состояния контактов производится с помощью измерения сопротивления всей обмотки трансформатора с подачей постоянного тока при разных положениях РПН. При этом выявляются внутренние замыкания и повышение сопротивления контактов РПН.

Косвенный метод оценки износа контактов — выявление продуктов горения дуги между контактами в РПН. Многочисленными исследованиями подтверждено, что анализ продуктов разложения масла эффективно оценивает износ контактов РПН.

Пример применения оценки качества масла — система профилактических испытаний в энергокомпании Chugach Electric (Анкоридж, Аляска). В масле определяется наличие посторонних частиц (пять градаций по размерам, начиная от размера 5 до 100 и более мкм). Критерии оценки рекомендованы компанией Analytic Service TJ | H2b (США, Calgary, CA.) по пятибалльной шкале TASA (Tap Changer Activity Signature Analysis). Система оценки состояния РПН TASA включает также допустимую концентрацию растворенных в масле пяти газов. На основе оценки по пятибалльной шкале система рекомендует периодичность обследований РПН.

Распространенный метод выявления дуги при работе РПН — газохроматографический анализ масла. Обычно определяют концентрацию  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $C_2H_2$ ,  $C_2H_6$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ .

Выявление дефектов в РПН по рекомендациям МЭК 60599 (Газы в масле трансформаторов) осуществляется по величине отношения газов  $C_2H_2/H_2$ : если в общем

баке оно выше 2-3, имеет место загрязнение масла в общем баке продуктами работы РПН. Далее сравнивают концентрации газов в главном баке и в РПН. От числа срабатываний РПН четко зависит концентрация  $C_2H_2$ , она же зависит от пути попадания газа в главный бак.

Перспективный метод выявления обгорания контактов РПН — применение химических индикаторов для определения степени их износа.

На поверхность контактов наносится индикаторный материал, наличие которого проверяется при анализе масла во время периодического обследования. Материал — магний, фторопластовые жидкости и нанокристаллы, флуоресцирующие в определенном диапазоне частоты. Вывод сигнала — через световод, идущий от контактов.

Другой способ — введение индикатора (литий) в металл контактов. Спектрометр анализирует излучение света от металла индикатора во время действия дуги между контактами при размыкании и выявляет убывание индикатора при обгорании контактов. Проверка обоих методов институтом EPRI (США) на РПН 25 кВ показала их эффективность, после 60000 операций В-0 четко выявлялся износ контактов.

Обязательной процедурой при приемке, после ремонта и во время ревизии РПН является снятие круговых диаграмм. Фиксация моментов срабатывания в сопоставлении с фиксацией угла поворота вала дает картину взаимного расположения контактов и их отклонения от ранее полученной диаграммы. Осциллографирование процесса переключения позволяет выявить затягивание срабатывания, неодновременность срабатывания по фазам, неоднократность срабатывания контакта.

Сопоставление моментов времени и позиций переключателя позволяет выявить ненормальности в работе реверсирующего контактора и предупредить возможное залипание контактов. Такой дефект чаще всего возникает, если контакты долгое время не работают.

Для проверки правильности работы подвижных частей РПН анализируется процесс переключения во времени при регистрации вибрации, акустических шумов или звуков при горении дуги. Определение продолжительности каждого этапа этого процесса позволяет выявить затягивание времени срабатывания, неодновременность по фазам и вибрацию контактов, ведущую к перерывам тока и искрению.

Все большее распространение принимает виброакустический метод определения правильности работы РПН.

Акустический датчик, обычно измеритель ускорения, прикладывается к стенке бака РПН, как стетоскоп. Фиксируются вибрации и шумы, сопровождающие моменты переключений контактов. Полученные диаграммы позволяют легко выявить отклонения процесса переключения от нормальной картины, эффективно сравнение с диаграммами, снятыми раньше.

Система TDM (компания Вибро-Центр), контролирующая состояние и режим работы РПН трансформатора использует для их оценки следующие параметры:

- Температура бака РПН, ее сравнение с температурой основного бака.
- Вибрационные характеристики механической части привода.
- Вибрация бака при наличии дуги в контакторе.
- Акустические параметры частичных разрядов в баке РПН.
- Положение РПН.
- Уровень масла в баке РПН.

Автоматизированные системы контроля состояния силовых трансформаторов включают модули контроля РПН. Для оценки состояния используется моделирование процессов в трансформаторе, расчет на выходе моделей сравнивается с действительными рабочими характеристиками.

В частности, система T-Monitor (ABB), предназначенная для контроля состояния силового трансформатора по многим параметрам, имеет в своих программах следующие модели процессов, относящиеся к работе РПН:

- Температурная модель РПН: определение перегрева путем сравнения температуры в баке РПН с температурой основного бака трансформатора.
- Перемещение контактов РПН: сравнение фактического графика момента двигателя РПН с базовым, в неповрежденном состоянии, связь с положением избирателя.
- Положение и износ контактов (РПН): расчет общего числа переключений и количества проходов каждой позиции. Расчет износа контактов (по току нагрузки, числу срабатываний и позициям РПН).
- Механический износ движущихся частей РПН (по току двигателя и времени пуска, по пусковому току двигателя, по среднему току двигателя, по индексу тока двигателя — расходу энергии за время переключения).

Примером устройства для измерения и регистрации параметров работы РПН во время ревизии является выпускаемый компанией «Вибро-Центр» прибор Ганимед. Его назначение — контроль состояния контактов и соединений РПН масляных транс-

форматоров, настройка систем регулирования.

Функции прибора Ганимед — регистрация и анализ стандартных характеристик РПН — снятие временной диаграммы работы контактора и круговой диаграммы работы избирателя.

С помощью встроенного миллиомметра можно измерять переходное сопротивление контактов. На основе графика потребляемой двигателем мощности оценивается состояние механического привода. Предусмотрена возможность вибрационного контроля колебаний корпуса в течение цикла коммутации, а также контроля частичных разрядов с помощью акустического датчика, который крепится на корпусе с помощью магнита.

Пределы измерений прибором: по мощности 200 Вт-10 кВт. Полоса частот акустических измерений — до 20 кГц, по сопротивлению — от 0,001 до 15 Ом, виброускорение — от 3 до 100 м/сек<sup>2</sup>. Дисплей с жидкокристаллическим индикатором на 320/240 точек с подсветкой [2].

Для выявления причины неисправности устройства РПН и автоматизации процесса диагностики компания ООО «СКВ ЭП» (зарекомендовавший себя более 20 лет на рынке производитель и поставщик уникальных приборов контроля и диагностики высоковольтного оборудования российского и зарубежного производства) выпустила на электротехнический рынок приборы контроля устройств РПН трансформаторов ПКР-2 и ПКР-2М, основополагающей функцией которых является возможность снятия осциллограмм работы контакторов и снятие круговой диаграммы одновременно по всем фазам. Результаты выдаются в графическом или табличном виде. Приборы оборудованы большими цветными графическими дисплеями с высокой яркостью и контрастностью, облегчающими обработку графиков.

Прибор ПКР-2 предназначен для регистрации круговой диаграммы и осциллографирования устройств РПН. Благодаря удобным выносным щупам упрощается процесс подключения прибора к контактам контактора без слива масла. Снятие круговой диаграммы и осциллограммы с отвода на отвод прибором ПКР-2 производится за одно переключение в течении отведенного времени — 10 минут. После каждого измерения прибором автоматически вычисляются и отображаются на дисплее результаты в трех видах:

- развернутая круговая диаграмма;
- круговая диаграмма построенная по графикам исходных данных переключения;
- приведенная таблица значений круговой диаграммы.

По измеренным этим характеристикам уже можно составить картину о состоянии РПН. Круговая диаграмма после выполнения измерения, как в нашем случае, построена некорректно, а полученные результаты в Табл. параметров не рассчитаны по фазе А. На данный результат повлияло превышение допустимых значений при расчете, например, превышение дребезга контактов, что видно в исходных графиках. В данном случае необходимо произвести повторное и дополнительное измерение на последующие отводы. Если круговая диаграмма некорректно проявляется при повторных, а также при дополнительных измерениях, то следует проверить измерительную схему подключения прибора к устройству РПН и все ее соединения.

В связи с возможными неисправностями контролируемых переключающих устройств — неправильными подсоединениями отводов реакторных устройств РПН, рекомендуется проводить проверку после каждой монтажных и наладочных работ. При выявлении этой неисправности круговые диаграммы при помощи ПКР-2 могут быть не построены, и для выявления причины рассматриваются графики исходных данных следующего вида.

Одной отличительной функцией прибора ПКР-2М является безразборная проверка и диагностика состояния устройств РПН без снятия крышки бака контакторов, используя метод DRM. Анализ полученных графиков измерения сопротивления обмотки при переключении отводов позволяет не только отбраковывать по критерию исправен/неисправен, но зачастую и указывать характер дефекта, что как минимум, дает возможность исключить ненужные вскрытия и проверки исправных устройств РПН. А по мере накопления банка графиков с известными дефектами конкретных устройств РПН, можно будет проводить их точную безразборную диагностику:

- экспресс-диагностика состояния устройств РПН трансформатора при любых погодных условиях;
- построение оценочной диаграммы работы контакторов, не вскрывая бак РПН;
- анализ графиков измеряемого объекта непосредственно на приборе;
- определение места проблемы РПН, например, обнаружение обрыва токоограничивающих резисторов, плохого контакта избирателя и другое.

Таким образом, в связи с тем, что безразборная проверка состояния контактора устройств РПН требует очень небольших трудозатрат, рекомендуется выполнять такую диагностику при любой плановой и

внеплановой проверке силового трансформатора.

Использование приборов ПКР-2 и ПКР-2М позволит значительно сократить финансовые и ресурсные затраты организации, а также повысить качество диагностики трансформаторов и избежать незапланированного ремонта объектов.

#### **Выводы**

Требования повышения надежности электроснабжения в условиях роста доли оборудования с длительным сроком эксплуатации заставляют переходить к стратегии превентивной профилактики на основе фактического состояния объекта.

Особенность устройств РПН — многообразие типов как по принципам коммутации, так и по конструкции — делает необходимым определенный подход к оценке состояния каждого типа РПН, важная задача — выявление менее надежных типов.

Для выявления дефектов в устройстве РПН во время работы чаще всего применяется определение разницы температур в баке РПН и основном баке трансформатора.

Характер и опасность дефекта помогают определить анализ газов в масле бака РПН, акустические детекторы ненормальностей

работы контактов, электрические параметры режима работы привода РПН во время переключений. На повышение эффективности оценки состояния РПН направлены новые разработки средств и методов контроля. В настоящее время наблюдается быстрое освоение и широкое внедрение виброакустических методов.

Непрерывный контроль состояния РПН ведется специализированными мониторами, часто входящими в состав автоматизированной системы контроля всего трансформатора.

По зарубежным данным, часто высокая стоимость мероприятий по ремонту РПН определяет решение о сроке службы всего трансформатора.

Дальнейшее совершенствование системы профилактики требует повышения квалификации персонала и активного обмена опытом по надежности РПН и методам их контроля с другими организациями.

#### **Список литературы**

1. Алексеев Б.А. Контроль состояния устройств регулирования напряжения трансформаторов под нагрузкой / Электро, 2008, № 4. - С. 41-46.
2. Журнал «Электротехнический рынок» №2 (62) Март-Апрель 2015