Опыт разработки и эксплуатации системы непрерывного контроля состояния силовых трансформаторов высших классов напряжения СКИТ.

Монастырский А.Е.
ООО "Дизкон", E-mail: monalex@delfa.net

Анализ аварийности силовых трансформаторов высших классов напряжения показывает, что более 80% отказов связано не с выработкой физического ресурса, а в результате образования и развития различных дефектов. По скорости развития эти дефекты могут быть разделены на три группы:

· медленно развивающиеся дефекты с временем развития измеряющимся годами – 40%;

· быстро развивающиеся дефекты с временем развития измеряющимся месяцами – 40 %;

· внезапные отказы с временем развития от долей секунд до нескольких часов – 20%.

Существующая система периодического контроля позволяет выявлять лишь медленно развивающиеся дефекты в связи с тем, что минимальный период контроля не превышает 6 месяцев и таким образом не позволяет выявлять до 60% дефектов, развивающихся в трансформаторах. Для решения этой проблемы необходимо использование методов непрерывного контроля состояния трансформаторов. Интенсивное развитие систем непрерывного контроля началось в конце восьмидесятых годов и к настоящему времени практически все ведущие электроэнергетические фирмы предлагают их к использованию. Применяемые мониторинговые комплексы достаточно хорошо контролируют системы охлаждения, переключатели, температуру и др. вспомогательные параметры, но по основным характеристикам изоляции, определяющим работоспособность трансформатора, контроль ограничивается лишь регистрацией нарастания концентрации растворенных в масле газов и влажностью масла. При этом практически не контролируются такие важные характеристики как электрическая прочность масла, частичные разряды в основной изоляции и в высоковольтных вводах, диэлектрические характеристики высоковольтных вводов.

В Санкт-Петербургском Государственном Политехническом Университете разработана Система непрерывного Контроля состояния Изоляции силовых Трансформаторов высших классов напряжения СКИТ. Комплекс СКИТ - предназначен для измерения параметров, определяющих процессы старения и разрушения изоляции и позволяет производить измерения следующих параметров:

- концентрация растворенных в масле газов 50...1000 ppm;
- влажность твердой изоляции 0...10 %;
- концентрация механических примесей с размерами в диапазоне 5...500 мкм до 100 000 шт. в 100 см3

- tgб высоковольтных вводов 0,1…10%
- емкость изоляции остова 100…3000 пФ
- частичные разряды в изоляции электрическим и акустическим методами с построением амплитудных спектров ч.р. и фазовых диаграмм по кажущемуся заряду в диапазоне 10^{-11} ... $3*10^{-6}$ Кл и интенсивностью до 10^{5} имп/с.

Помимо указанных характеристик дополнительно могут обеспечиваться измерения вспомогательных параметров, включающих уровень масла в расширительном баке, влажность трансформаторного масла, температуру масла (можно контролировать температуру верхних слоев масла, работу системы охлаждения – температура на входе и выходе охладителя), температуру воздуха, термограммы поверхности бака, давление масла во вводах и др.

В состав комплекса входят:

· Блок встроенных датчиков (БВД), выполненный в виде герметичного блока, устанавливаемого на бак трансформатора или трубопроводы системы охлаждения, в состав которого входят: измерители концентрации растворенных в масле газов (условное обозначение Сг), влажности твердой изоляции (Wт) и концентрации механических примесей (Nмп).

· Комплект акустических датчиков со струбцинами крепления их на корпусе трансформатора.

· Трансформаторный модуль с размещенными в нем измерителями диэлектрических характеристик изоляции вводов (tgб), частичных разрядов (ИЧР) и контроллером, осуществляющим управление трансформаторным модулем и передачу информации в центральный модуль.

· Центральный модуль (ЦМ) на основе компьютера с платой сопряжения и соответствующим программным обеспечением.

Блок - схема комплекса диагностики представлена на рис.1.

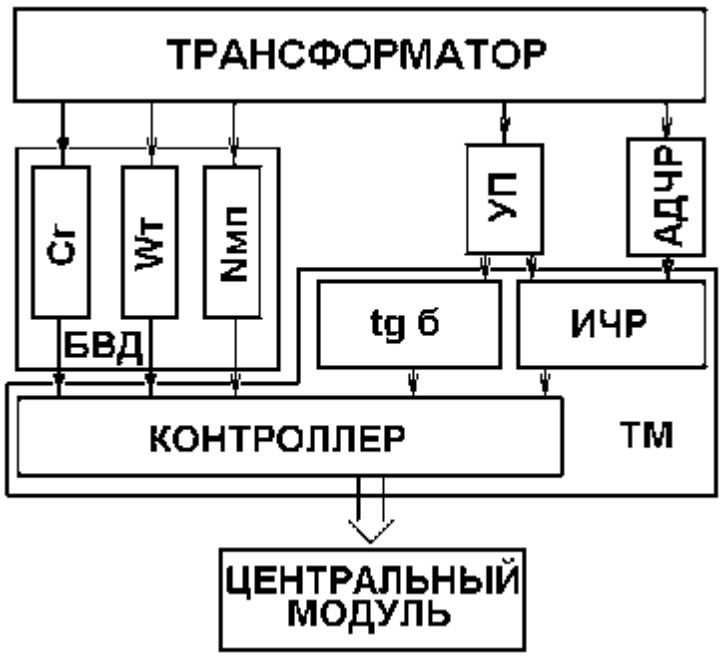

Рис.1 Блок – схема диагностического комплекса "СКИТ".

В состав комплекса могут входить до 15 (по числу трансформаторов на объекте) трансформаторных модулей с первичными датчиками и измерителями, которые связаны оптоволоконными линиями с центральным модулем.

Блок встроенных датчиков представляет собой герметичную полость, соединенную медными трубопроводами через масляные вентили с трубопроводами системы охлаждения. В масляной полости устанавливаются датчики концентрации газов, влажности твердой изоляции и концентрации механических примесей в масле. Электронные схемы измерителей устанавливаются в водонепроницаемой крышке блока. Внешний вид установленного БВД показан на рис.2.

Рис.2. Внешний вид блока встроенных датчиков.

Измерение концентрации газов в масле основываются на принципе равновесного газосодержания в системе масло-газ, разделенной полупроницаемой маслостойкой мембраной. Датчик представляет собой газовую полость с установленным в ней полупроводниковым чувствительным элементом, меняющим свое электрическое сопротивление в зависимости от концентрации газов окружающих его. Газовая полость отделена от масляного объема БВД полупроницаемой полимерной мембраной. Газы, проникая через мембрану, создают в газовой полости газовую смесь, равновесную с содержанием газа в масле. Измерив концентрацию газа в газовой полости и зная соотношение равновесия можно рассчитать концентрацию растворенных в масле газов. Внешний вид газового датчика показан на рис.3.

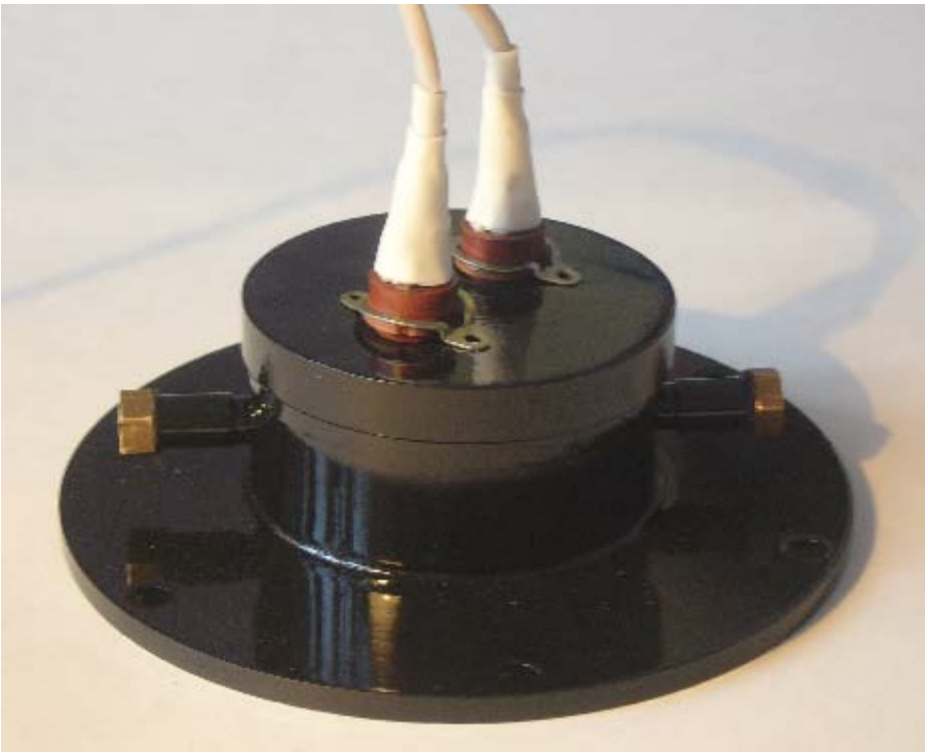

Рис.3. Внешний вид датчика газов.

Измерение влажности твердой изоляции основывается на принципе равенства относительной влажности компонентов системы. За счет миграции влаги при изменении температуры трансформатора из твердой изоляции в масло и обратно влажность целлюлозного материала, внесенного в трансформатор, уравнивается с влажностью основной изоляции. Влажность внесенного материала определяется по величине его диэлектрической проницаемости. Датчик влажности представляет собой конденсатор с картонной изоляцией, емкость которого зависит от влажности картона(рис.4).

Рис.4. Внешний вид датчика влажности твердой иоляции.

Измерение концентрации механических примесей производится световым методом. Прозрачная трубка, через которую при помощи перисталического насоса с определенной скоростью прокачивается масло, освещается направленным источником света. Если примеси в масле отсутствуют, весь свет от источника попадает на фототранзистор, который обеспечивает протекание исходного тока. При попадании в поток частицы механической примеси часть света поглощается, а часть рассеивается. Световой поток на фототранзистор уменьшается, что приводит к снижению тока фототранзистора, причем величина снижения пропорциональна величине механической частицы. Измеряя количество и величину изменений тока при прокачке определенного объема масла, можно определить количество и величину механических частиц в этом объеме (рис.5).

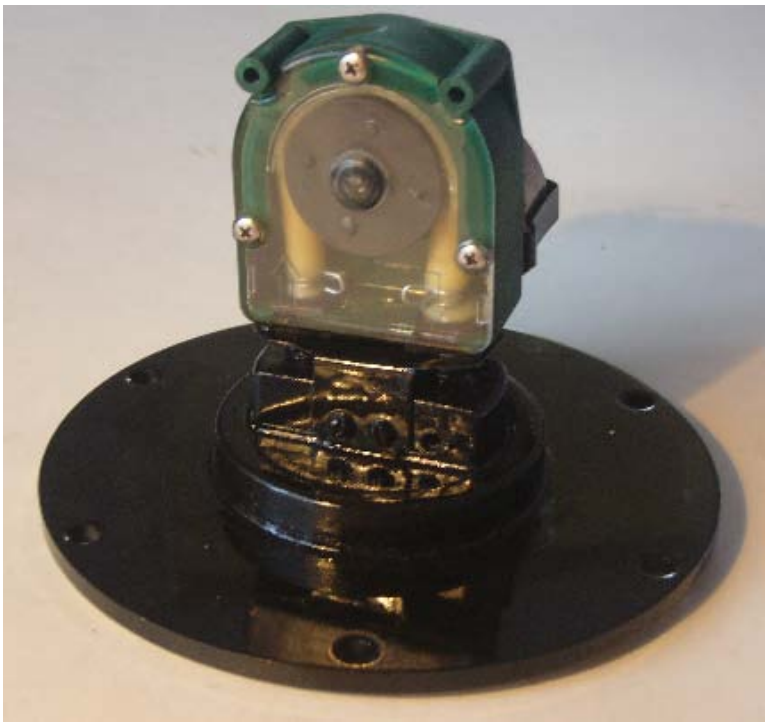

Рис.5. Внешний вид датчика механических примесей.

Акустические датчики состоят из пьезоэлектрического преобразователя и предварительного усилителя. Цилиндрический корпус датчика с помощью подпятника и струбцины устанавливается на стенке бака трансформатора, плотно прижимается к стенке бака и имеет с ней акустический контакт. Для обеспечения акустического контакта поверхность бака трансформатора в месте установки датчика зачищается от краски и шлифуется, а при установке датчика на его чувствительный элемент наносится несколько капель касторового масла. При частичных разрядах во внутренней изоляции трансформатора возникают акустические колебания, которые воздействуют на пьезоэлектрический преобразователь, преобразующий акустический сигнал в электрический. Электрический сигнал поступает на предварительный усилитель. Предварительное усиление позволяет соединить акустический датчик с измерителем ЧР кабелем длиной до 100 м без

снижения чувствительности измерений. Питание акустического датчика осуществляется от стабилизированного источника +12В, расположенного в измерителе ЧР. Измерение характеристик ЧР может производиться в непрерывном режиме. Внешний вид установленного датчика показан на рис. 6.

Рис.6. Вешний вид акустического датчика ЧР.

Трансформаторный модуль размещается во влагозащищенном термостабилизированном шкафу, состоит из промышленного компьютера, блока коммутации, а также блоков питания, сопряжения с центральным модулем и других вспомогательных элементов. В трансформаторный модуль по коаксиальным кабелям и витой паре поступают аналоговые сигналы от датчиков, которые преобразуются при помощи платы АЦП в цифровой вид и передаются по волоконно-оптической линии связи в центральный модуль. Внешний вид трансформаторного модуля показан на рис. 7.

Центральный модуль предназначен для сбора, обработки, анализа и архивирования измерительной информации, передачи ее на сервер хранения, формирования и передачи аварийной информации оперативному персоналу. Основными элементами ЦМ является компьютер, который соединяется с трансформаторными модулями с помощью оптоволоконных кабелей, и коммутационный модуль, осуществляющий управление питанием всех элементов комплекса. Компьютер оснащается устройством сопряжения и соответствующим программным обеспечением. Программное обеспечение обеспечивает автоматический сбор измерительной информации, предварительную обработку и архивирование ее, анализ получаемой информации и постановку диагноза состояния трансформаторов на основе измерительной информации комплекса. Одновременно измерительная информация может передаваться в сервер хранения по локальной

вычислительной сети, а аварийная информация, сигнализирующая об аномальном состоянии трансформатора или сбоях в работе комплекса, передается оперативному персоналу по специальному каналу связи.

Рис.7. Внешний вид трансформаторного модуля.

Для работы комплекса используются три основные программы: Skit.exe, Analyst.exe и ReportsParser.exe. Программа Skit.exe выполняет функцию получения исходной измерительной информации, архивирования ее, а также визуализации исходной аналоговой информации (осциллограмм). Программа Analyst.exe выполняет обработку исходной информации, формирует файлы отчетов и архивирует их. Программа ReportsParser.exe служит для анализа состояния трансформатора, управлением работы таймера в коммутационном модуле, формирования и передачи аварийной информации, а также для вывода и визуализации данных о состоянии трансформатора. Примеры вывода информации приведены на рис. 8…10.

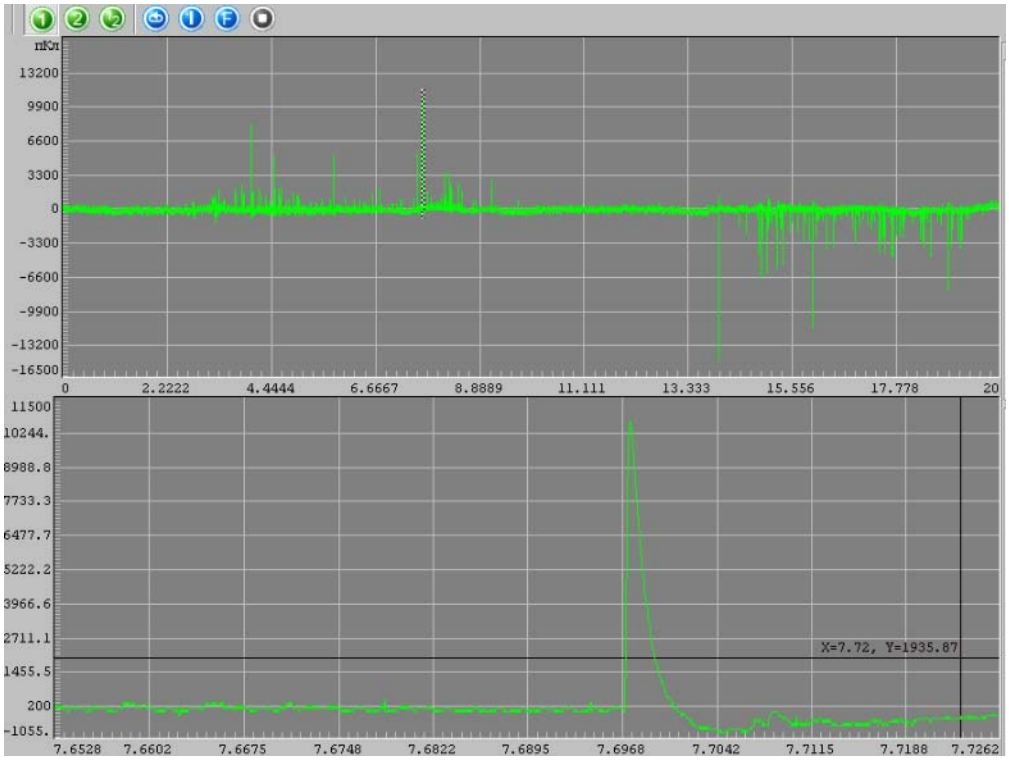

Рис.8. Осциллограмы импульсов ЧР.

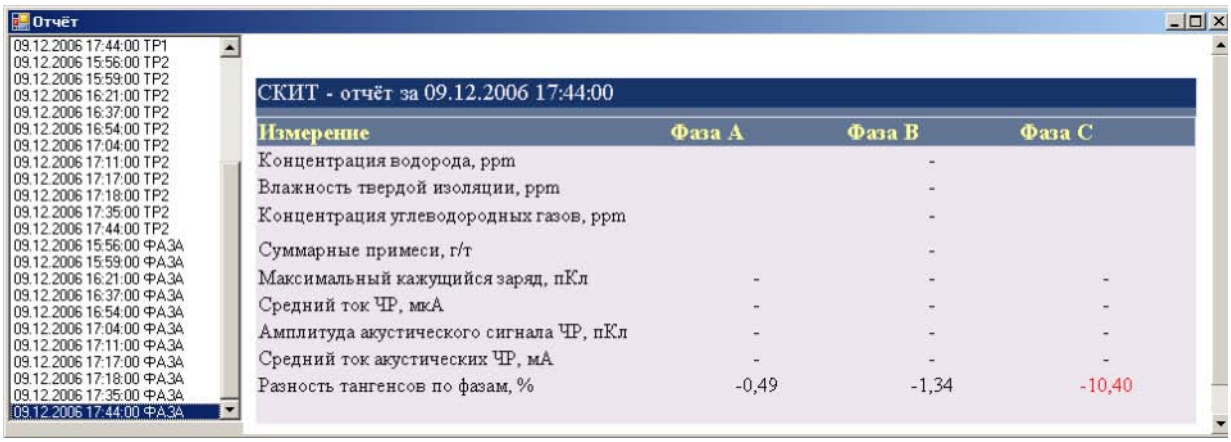

Рис.9. Вид окна отчетов программы ReportsParser.exe.

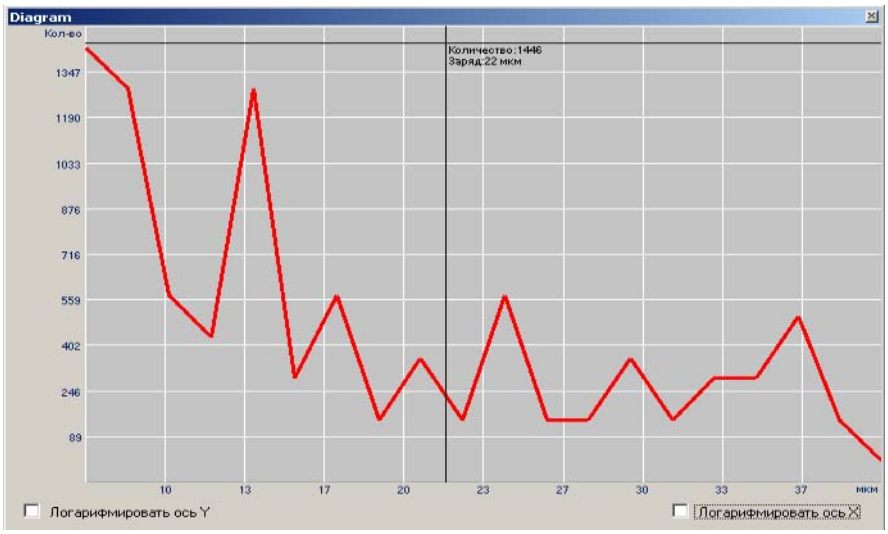

Рис 10. Вид амплитудного спектра механических примесей.

Использование комплекса возможно как в автономном варианте, так и в составе автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП). В последнем случае эффективность использования комплекса заметно повышается за счет:

· применения готовых решений децентрализованного сбора и обработки информации и централизованного ее хранения ;

· применения современных систем управления базами данных (СУБД) с возможностью накопления больших объемов информации в базе данных (БД) и быстрого доступа к требуемым данным многими потребителями информации совместно ;

· возможности применения экспертных систем для оценки состояния трансформаторов в режиме мониторинга;

· использования развитых средств для отображения и документирования данных мониторинга состояния трансформаторов.

С точки зрения логической организации взаимодействия компонентов ПО АСУ ТП, СКИТ представляет собой локальную подсистему нижнего уровня (НУ) сбора и первичной обработки данных от технологического оборудования. Обмен данными по ЛВС АСУ ТП осуществляется по логическому протоколу TCP/IP или любому другому, применяемому в АСУ ТП. Применение широко распространенных системотехнических решений и информационных технологий, заложенных в ПО СКИТ, обеспечивает необходимые условия для применения СКИТ, как подсистемы, и в АСУ ТП других производителей.