



Оценка технического состояния высоковольтного оборудования подстанции по итогам работы систем мониторинга

Русов В.А., ООО «DIMRUS», Пермь
rusov@dimrus.ru

Режимы работы, контроль состояния, сервисное и ремонтное обслуживание высоковольтного оборудования определяется системами мониторинга нескольких технологических уровней, имеющих различное назначение:

- Система технологического или диспетчерского мониторинга, определяющая включение, отключение, режимы работы оборудования. Функционирование этой системы определяется воздействием диспетчерского персонала и комплексных систем автоматизации.
- Система оперативной защиты оборудования от возникновения аномальных режимов работы – система (релейной) защиты и автоматики (РЗА). Назначение этой системы – минимизация технологического и технического ущерба, возникающего при возникновении аномальных режимов работы оборудования.
- Система контроля и мониторинга параметров работы оборудования. При помощи этой системы обычно отображается текущий режим работы оборудования. Чаще всего датчики этой системы являются элементами систем диспетчерского мониторинга и РЗА.
- Система диагностического мониторинга. Эта система предназначена для предотвращения возникновения аномальных режимов работы. Она не может предотвратить возникновение аварийных ситуаций, но может предупредить персонал риске их возникновения, причине и даже о вероятном сроке.

Отличительной особенностью построения систем диагностического мониторинга является использование для работы набора первичных параметров, важных для проведения диагностики, которые не используются в системах диспетчерского мониторинга и в РЗА.

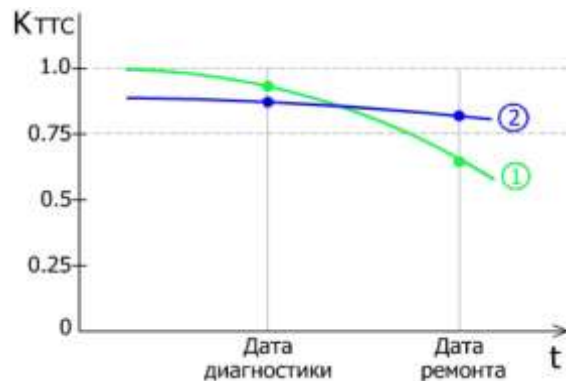
В то же время существует ряд параметров, которые уже регистрируются другим системами мониторинга. С целью оптимизации стоимости систем диагностического мониторинга эти параметры должны по информационным каналам передаваться в систему для использования в диагностических моделях оборудования.

Организация эксплуатации оборудования возможна только при достоверном знании текущего технического состояния. Наиболее эффективным способом определения технического состояния является использование результатов работы систем диагностического мониторинга

Использование систем мониторинга для проведения оперативной оценки состояния оборудования имеет несколько важных преимуществ:

- ❑ Оценка технического состояния оборудования производится в режиме реального времени, что особенно важно при возникновении быстро развивающихся дефектных состояний.
- ❑ Наличие в программном обеспечении систем мониторинга нескольких диагностических методов и математических моделей позволяет комплексно оценивать техническое состояние.
- ❑ Современные системы мониторинга позволяют при оценке состояния оборудования также дополнительно учитывать информацию о проведенных ранее off-line тестах, что повышает информативность получаемой диагностической информации.
- ❑ Работа диагностических систем совместно с другими системами мониторинга позволяет оперативно выявлять связь технического состояния оборудования с технологическими параметрами работы.
- ❑ Выявление признаков существующих дефектных состояний в оборудовании позволяет заранее достаточно надежно оценивать объем ремонтных воздействий.
- ❑ Сравнение системой мониторинга технического состояния оборудования до и после проведения ремонтных работ позволяет определять реальную эффективность выполненных мероприятий.

Система диагностического мониторинга является наиболее эффективным средством для создания системы управления эксплуатацией оборудования по техническому состоянию.

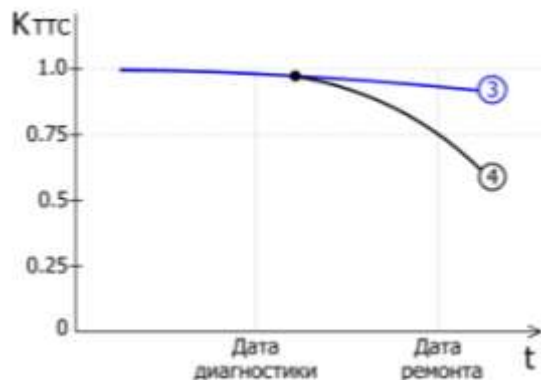


Значение функций прогнозирования велико при планировании ремонтных работ оборудования, в котором были обнаружены признаки дефектных состояний. Для повышения эффективности ремонтных работ планирование должно производиться не по текущему состоянию на момент диагностики, а по расчетному состоянию на момент проведения ремонтных воздействий.

На примере видно, что на момент диагностики состояние аппарата 2 было хуже, чем состояние аппарата 1, а на момент проведения планируемых ремонтных работ ситуация поменялась – аппарат 1 больше нуждался в ремонтных работах, чем 2.

Практическое изменение технического состояния оборудования происходит по сложной кривой, которую условно можно разделить на две составляющие:

- График 3 – стационарно и плавно развивающееся во времени ухудшение состояния оборудования при бездефектном режиме работы.

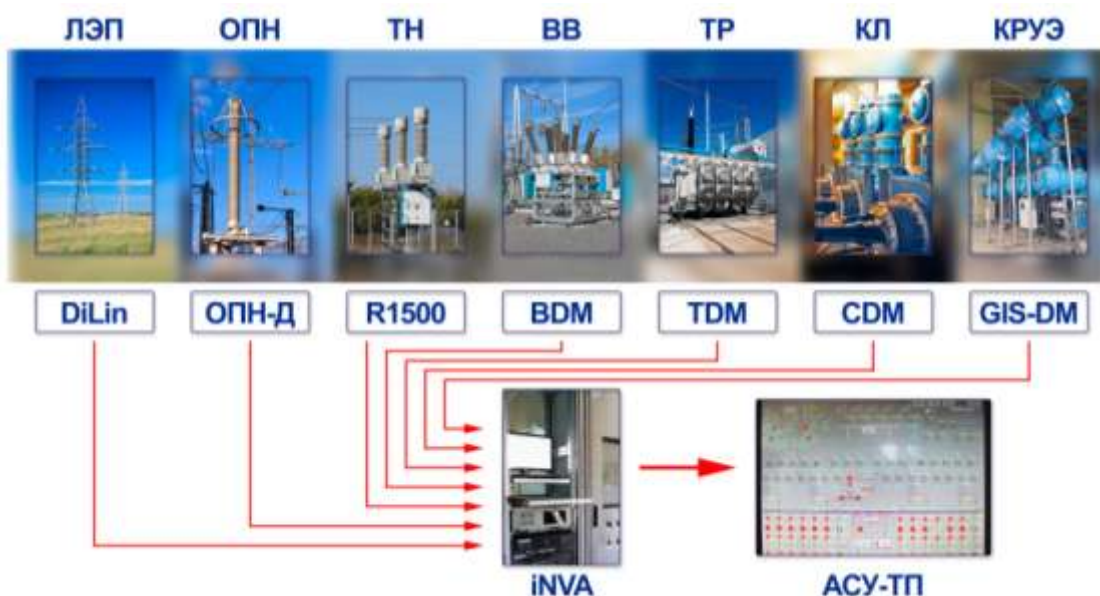


- График 4 – дополнительное изменение состояния оборудования по причине возникновения дефектных состояний. Этот сложный процесс может быть описан только динамическими параметрами, учитывающими как саморазвитие первичного, так и возникновение и развитие вторичных дефектных состояний.

Для эффективного прогнозирования изменения состояния оборудования должны использоваться адаптивные математические модели, коэффициенты которых оперативно и автоматически учитывают текущее изменение состояния оборудования.

Каждая единица высоковольтного оборудования, установленная на подстанции, или непосредственно участвует в передаче и преобразовании электрической энергии, или служит для контроля и учета работы другого оборудования, или же для реализации других важных функций. В любом случае она является важным и необходимым элементом технического и технологического комплекса всей подстанции.

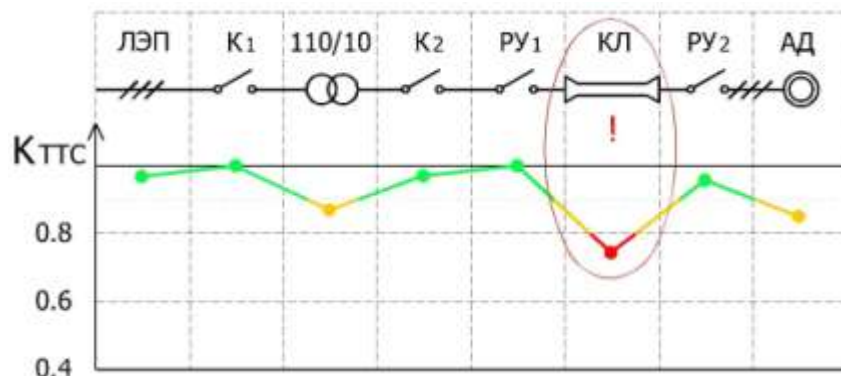
Для обеспечения надежной работы подстанции системами диагностического мониторинга должно быть охвачено все основное и технологически наиболее важное высоковольтное оборудование. Для обеспечения необходимого уровня экономической эффективности стоимость систем мониторинга должна коррелировать со стоимостью самого оборудования.



На рисунке приведен пример комплексной системы INVA для мониторинга оборудования подстанции, созданной на основе разработок фирмы ДИМРУС.

На основном оборудовании подстанции устанавливаются датчики и приборы систем мониторинга, информация от которых обрабатывается при помощи единого АРМ с общим программным обеспечением.

Все параметры и результаты работы локальных и комплексной системы мониторинга доступны пользователям ЛВС на уровне АРМ, а по каналам связи они передаются в системы АСУ-ТП любого технологического уровня.



Комплексная система мониторинга оборудования подстанции позволяет реализовать уникальную возможность - проводить сравнительную оценку технического состояния каждой единицы оборудования – выявлять «слабое звено» всего технологического транзита.

Согласно рисунку слабым звеном всего транзита является кабельная линия, коэффициент технического состояния которой равен 0,72.

На основании получаемой по результатам работы систем диагностического мониторинга оперативной информации о техническом состоянии всего оборудования подстанции можно целенаправленно формировать графики и планировать оптимальные объемы проведения необходимых ремонтных работ.

При планировании ремонтных работ с использованием информации от комплексной системы мониторинга появляется возможность учета технологической значимости каждого высоковольтного элемента подстанции, которая определяется тем, в цепь какого транзита этот элемент включен. Используемое программное обеспечение комплексного мониторинга оборудования должно включать в себя функции технологических связей всех высоковольтных элементов.

Если от одной подстанции обеспечивается подключение нескольких потребителей, имеющих различный технологический статус, то комплексная система мониторинга имеет возможность ранжировать и эту информацию.

Наиболее важная часть любой системы диагностического мониторинга высоковольтного оборудования – экспертная система, позволяющая решать несколько задач, главными из которых являются следующие:

- Определение текущего технического состояния.
- Диагностика признаков дефектного состояния оборудования.
- Планирование сроков и объемов ремонтных работ.
- Оценка состояния качества и эффективности выполненного ремонта.

Существуют два способа создания экспертно-диагностических систем для оборудования:

- Специализированная экспертная система для конкретного типа оборудования, созданная на основании знаний реального практического эксперта или группы экспертов.
- Универсальная самообучающаяся экспертная система, созданная на основе «нейронных сетей» или «искусственного интеллекта». Данная система подразумевает использование универсального программного обеспечения. Необходимость в использовании знаний практических экспертов возникает только на этапе адаптации или самообучения экспертной системы применительно к конкретному типу оборудования.

Какой путь более эффективен?

Нейронная сеть в максимальной степени ориентируется на выявление и диагностику уже встречавшихся ранее дефектных состояний. Она не может оценивать возникновение ранее не диагностированных состояний, так как не учитывает особенности физических процессов в контролируемом оборудовании.

Фиксированная экспертная система базируется на хорошем знании экспертом процессов, происходящих в оборудовании, и в большей степени может учитывать возникновение повторяющихся и модифицированных дефектных состояний. Такая система имеет большие возможности в модернизации диагностических алгоритмов.

Фирма ДИМРУС уже более 25 лет занимается разработкой программных и технических средств систем управления обслуживанием оборудования по техническому состоянию.

С момента своего создания фирма сразу была ориентирована на разработку программного обеспечения обслуживания оборудования по техническому состоянию. Через три года было начато производство переносных приборов – виброметров для контроля параметров вращающегося оборудования.

С 2005 года по 2008 год фирмой осуществлялась разработка и производство первой системы диагностического мониторинга марки TDM для мониторинга силовых трансформаторов.

В это время была сформулирована идеология дальнейшей работы фирмы в сфере разработки технических и программных средств: создание полного набора систем мониторинга для комплекса высоковольтного оборудования подстанции.

В 2007 – 2010 годах проводилась разработка системы мониторинга марки CDM для мониторинга высоковольтных кабельных линий с рабочим напряжением 6–10 кВ.

В 2011 – 2013 годах проводилась разработка системы мониторинга марки GIS-DM для контроля технического состояния различного элегазового оборудования.

В 2014 году смонтирована и запущена первая комплексная система мониторинга высоковольтного оборудования 12 взаимосвязанных подстанций, обслуживающих спортивные объекты олимпийских игр в г. Сочи. Она включала в себя 146 систем диагностического мониторинга силовых трансформаторов, элегазового оборудования и высоковольтных кабельных линий 110 кВ, всего более 1000 первичных измерительных каналов.

В настоящее время продолжается разработка и включение в промышленное производство систем мониторинга различных типов высоковольтного оборудования.

По итогам 2019 года фирмой ДИМРУС произведено и поставлено более 600 систем мониторинга различного электротехнического оборудования.

Марка системы мониторинга	Объект контроля						Тип трансформатора
	Вводы	ЧР	РПН	Охлаждение	Газы в масле	Вибрация	
TDM	+	+	+	+	+	+	Все типы трансформаторов
TDM-M	+	+	+	+	+	+	Трансформаторы 110 кВ
TDM-S	+						Сухие трансформаторы до 35 кВ
КИВ-500/110	+						Защитное реле для вводов
TDM-10/0,4		+		+		+	Трансформаторы 6 ÷ 35 кВ
ADS-3		+					Элегазовые ТТ
TDGM-04						+	Газоанализатор + H ₂ O

Системы диагностического мониторинга силовых трансформаторов разработки ДИМРУС имеют различную функциональность и как следствие различную стоимость.

При выборе системы мониторинга с оптимальными свойствами необходимо учитывать:

- Технологическую значимость силового трансформатора.
- Мощность трансформатора.
- Рабочее напряжение стороны ВН.
- Особенности текущей эксплуатации.
- Опыт эксплуатации трансформаторов подробного типа.

Обычно стоимость поставки системы мониторинга не должна превышать 3-5% от стоимости контролируемого трансформатора.



Для организации непрерывного мониторинга высоковольтных кабельных линий фирмой ДИМУС разработано и производится диагностическое оборудование двух марок:

- Система мониторинга марки CDM, предназначенная для контроля технического состояния кабельных линий с рабочим напряжением до 35 кВ. Один диагностический прибор этой системы мониторинга различной модификации может контролировать от 6 до 45 кабельных линий.
- Система мониторинга марки CDR, предназначенная для контроля технического состояния кабельных линий с рабочим напряжением 110 кВ и выше. Это более сложная и информативная 6-канальная диагностическая система.

Обе эти системы производят оценку технического состояния кабельной линии по наличию частичных разрядов в изоляции, так как появление частичных разрядов сопровождается почти все значимые и часто встречающиеся дефекты в изоляции высоковольтных кабельных линий.

Использование многоканальной системы мониторинга CDM на одном объекте имеет существенные преимущества:

- Позволяет значительно снизить затраты на поставку системы мониторинга, рассчитываемые на один контролируемый кабель.
- Дает возможность максимально эффективно отстраиваться от высокочастотных помех несколькими методами.

Достоинством систем CDM и CDR является то, что они могут проводить эффективную локацию мест нахождения дефектов, причем в процессе работы кабельной линии под рабочим напряжением.



Диагностика и мониторинг технического состояния КРУ, КРУЭ и коммутационного оборудования подстанций осуществляется при помощи систем мониторинга двух марок:

1 - Система мониторинга марки GIS-DM, предназначенная для мониторинга технического состояния устройств КРУЭ 110 кВ и выше. Основным методом диагностики дефектов изоляции в этой системе является контроль частичных разрядов.



2 - Система мониторинга марки BDM, предназначенная для контроля технического состояния КРУ и коммутационных аппаратов. Оценка технического состояния выключателей в системе BDM производится несколькими взаимодополняющими методами диагностики:

- Контроль состояния изоляции выключателя, секций шин и подходящих линий, кабельных или воздушных. Такая диагностика производится на основе измерения и анализа частичных разрядов.

- Контроль работы привода выключателя. Производится по графикам изменения токов соленоидов управления и динамическим ударам в приводе.

- Анализ разновременности работы главных контактов по фазам. Производится по графикам изменения фазных токов, которые измеряются при помощи накладных трансформаторов тока.

- Контроль технологических параметров, набор которых зависит от типа контролируемого выключателя.

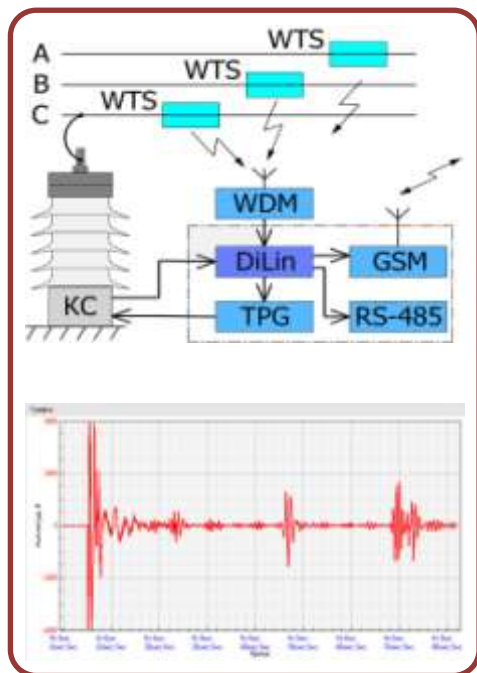
- Контроль температуры токопроводящих шин и контактов выключателей при помощи беспроводных датчиков температуры марки BDM/T. Электроника этих датчиков получает питание от токов в шинах, а информацию передает по стандартному радиоканалу Bluetooth.



Система мониторинга марки DiLin предназначена для мониторинга технического состояния высоковольтных воздушных линий при помощи датчиков, монтируемых на проводах линии и на «земле».

Возможности системы DiLin:

- Измерение текущей температуры проводов.
- Регистрация грозовых и коммутационных перенапряжений в линии с локацией места их возникновения по методу «time off arrival».
- Контроль возникновения межфазных замыканий и замыканий проводов на землю с локацией мест возникновения замыканий.
- Контроль гололедных процессов в линии по изменению скорости движения волны электромагнитного поля по проводам линии.



Для контроля наличия гололеда система DiLin устанавливается на одном конце контролируемой линии в составе:

- Измерительный прибор марки DiLin.
- Генератор тестовых импульсов марки TPG.
- Конденсатор связи марки KC.
- Датчики температуры проводов линии WTS с приемником WDM.

Для реализации всех функций мониторинга и диагностики ЛЭП комплекты DiLin необходимо устанавливать на обоих концах контролируемой ЛЭП. Интегрирование и анализ информации при этом будет производиться на компьютере единого АРМ.

Работу обоих приборов необходимо синхронизировать при помощи сигналов системы глобального времени GPS/GLONASS – это является обязательным условием для проведения точной локации дефектных участков ЛЭП.



Наряду с крупными высоковольтными генераторами и двигателями в эксплуатации находится большое количество электрических машин меньшей мощности с рабочим напряжением от 0,4 кВ. Эффективность их эксплуатации во многом определяет надежность энергоснабжения потребителей.

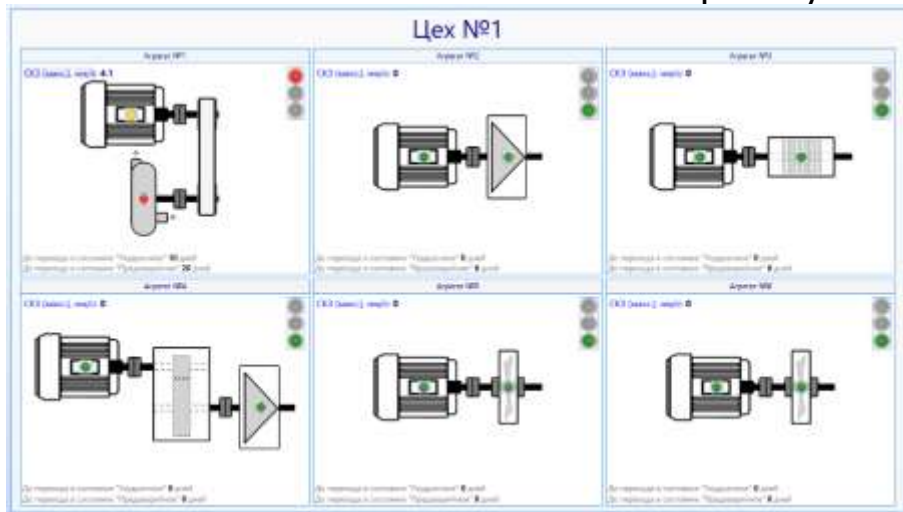
Для оценки состояния электродвигателей фирма ДИМРУС производит систему марки FDM, предназначенные для контроля состояния электродвигателей.



Для контроля вибрационного состояния вращающихся агрегатов используется система мониторинга марки ViBlock.

Эти системы имеют две отличительные особенности:

- Системы являются полностью беспроводными.
- Оба устройства являются интеллектуальными системами мониторинга, так как имеют встроенную экспертную диагностическую систему.



В системе ViBlock реализована не только система выявления дефектных состояний, но производится оценка технического состояния и прогнозирование оптимальных сроков проведения ремонтных работ.

При помощи стандартного беспроводного интерфейса LoRa информация от ViBlock передается на расстояние до 1 – 2 км.

Это позволяет оперативно создавать экономически эффективные системы мониторинга большого количества вращающихся агрегатов.

Спасибо за внимание