

Мониторинг и диагностика силовых трансформаторов с литой изоляцией с рабочим напряжением 6÷35 кВ

Система мониторинга TDM-10S для силовых трансформаторов с литой изоляцией с рабочим напряжением 6÷10 кВ



Система мониторинга TDM-10S для контроля сухих трансформаторов с литой изоляцией

Система мониторинга марки TDM-10S предназначена для оперативного контроля технического состояния силовых трансформаторов 6÷10 кВ с сухой (литой) изоляцией.

Для контроля текущего технического состояния сухих трансформаторов в системе мониторинга марки TDM-10S используются четыре диагностических метода:

- Контроль нагрузки трансформатора при помощи датчика тока марки IFCT-5, смонтированного на цепях измерительных трансформаторов тока.
- Регистрация и анализ температурных режимов работы трансформатора. Для этого используется датчик температуры Pt100.
- Контроль состояния изоляции обмоток трансформатора на основании регистрации и анализа разрядной активности в обмотках трансформатора. Для этого используется направленный датчик регистрации высокочастотных импульсов, располагаемый внутри защитного кожуха трансформатора, направленный на обмотки. При наличии высокого уровня внешних высокочастотных помех при помощи этого датчика будут регистрироваться не только частичные разряды, имеющие небольшую амплитуду, а также более интенсивные разрядные процессы в дефектных зонах изоляции обмоток трансформатора, которые будут превышать уровень помех.
- Контроль температуры и влажности окружающей среды. На основании использования этого параметра в системе мониторинга дополнительно оценивается эффективность охлаждения трансформатора, более корректно диагностируются поверхностные загрязнения и локальные повреждения литой изоляции обмоток трансформатора. Совместный учет нагрузки трансформатора, температуры обмоток, температуры и влажности воздуха и интенсивности разрядных процессов позволяет строить модели старения компаундной изоляции, определять ее остаточный ресурс.
- Контроль вибрации трансформатора. Датчик вибрации, устанавливаемый на нижней части сердечника трансформатора, дает возможность проводить оперативную диагностику состояния конструкции трансформатора, выявлять наличие ослаблений и механических дефектов различной природы. Эта

информация также учитывается при определении остаточного ресурса трансформатора.

Установка TDM-10S на трансформаторе:

Прибор системы мониторинга TDM-10S устанавливается рядом с контролируемым силовым трансформатором с литой изоляцией. Все первичные датчики монтируются непосредственно на контролируемом трансформаторе или рядом с ним. При монтаже необходимо использовать максимально короткие сигнальные кабели от датчиков до прибора для уменьшения влияния электромагнитных помех.

Кольцевой датчик тока нагрузки трансформатора марки IFCT-5 монтируется на проводнике вторичной цепи измерительного трансформатора тока. При помощи информации от этого датчика рассчитывается температура наиболее нагретой части обмотки, что важно для контроля остаточного ресурса твердой изоляции обмоток.

Датчик климата (температуры и влажности окружающего воздуха) при монтаже системы на месте дополнительно подключать к прибору не нужно. Еще при изготовлении на заводе он сразу же монтируется на корпусе прибора в отдельном кабельном вводе (чувствительный элемент датчика немного выступает из корпуса кабельного ввода) и уже подключен к плате измерительного прибора.

Передающая антенна выбранного при заказе системы мониторинга беспроводного интерфейса связи (по выбору это может быть или Bluetooth, или LoRa) также заранее монтируется в верхней части корпуса измерительного прибора и не требует подключения при помощи внешней кабельной линии.

Внешние интерфейсы системы TDM-10S

Как и все системы мониторинга силовых трансформаторов 6-35 кВ производства фирмы ДИМРУС, система TDM-10S после монтажа легко интегрируется в информационную АСУ-ТП подстанции или предприятия при помощи встроенных интерфейсов передачи информации:

- Гальванически изолированный проводной интерфейс марки RS-485. Этот промышленный защищенный интерфейс связи обладает удовлетворительной скоростью передачи информации и хорошей помехозащищенностью, но требует прокладки по подстанции линии связи.
- Стандартный беспроводной интерфейс марки Bluetooth. Особенно удобен этот интерфейс при автономном использовании системы мониторинга, когда информация о текущем состоянии трансформатора не передается в общую систему АСУ-ТП, а будет периодически считываться персоналом предприятия при проведении обходов оборудования с использованием стандартного смартфона или планшета с соответствующим программным обеспечением. Антенна этого интерфейса связи монтируется на верхней стороне корпуса прибора системы мониторинга.
- Беспроводной интерфейс связи марки LoRa. При помощи этого интерфейса информация может передаваться на большое расстояние, достигающее нескольких километров. Вторым достоинством интерфейса LoRa является использование в нем двойного шифрования информации.

Для отображения информации о текущем состоянии контролируемого трансформатора на крышке корпуса прибора TDM-10S установлены три цветных светодиода, отображающие работоспособность системы мониторинга и текущее

техническое состояние контролируемого трансформатора – норма, тревожное состояние, предаварийное состояние.

Сам измерительный прибор системы мониторинга TDM-10S поставляется в защитном металлическом корпусе, показанном на рисунке. Прибор монтируется рядом с контролируемым трансформатором на наружной поверхности защитного кожуха. Это делается для того, чтобы обеспечить минимальную длину соединительных линий от внешних датчиков контроля параметров трансформатора.

Измерительный прибор системы TDM-10S может быть смонтирован и внутри защитного кожуха трансформатора, но в этом случае будет сложнее обеспечить необходимый температурный режим работы встроенной электроники прибора и организовать надежную работу беспроводных интерфейсов связи для передачи информации в систему АСУ-ТП.

Технические параметры системы TDM-10S

	Параметр	Значение
1	Напряжение ВН контролируемого трансформатора, кВ	6 ÷ 10
2	Контроль тока нагрузки трансформатора в цепи ТТ, А	5
3	Диапазон контролируемой температуры, град	-55 ÷ +150
4	Диапазон контролируемых разрядных импульсов, dBm	-60 ÷ -8
5	Размеры корпуса прибора для электроники Ш*Г*В, мм	200*170*77
6	Масса прибора в сборе, кг	2
7	Рабочая температура, град	-40 ÷ +85
8	Напряжение питания, В (АС/DC)	110÷240
9	Потребляемая мощность, не более, Вт	5

Система TDM-35S для мониторинга силовых трансформаторов с литой изоляцией с рабочим напряжением 10÷35 кВ

Система диагностического мониторинга марки TDM-35S (предыдущая версия этой системы выпускалась фирмой ДИМУС под торговой маркой TDM-S) предназначена для оперативного контроля технического состояния силовых трансформаторов 10÷35 кВ с сухой (литой) изоляцией.

Эта система является, по сравнению с системой TDM-10S, более эффективной благодаря использованию расширенного набора первичных датчиков и использованию более информативных методов диагностики технического состояния контролируемого трансформатора.

Для контроля текущего технического состояния силовых трансформаторов в системе TDM-35S используется несколько диагностических методов:

- Контроль нагрузочных режимов работы трансформатора.
- Регистрация температурных режимов работы трансформатора. Для этого в системе мониторинга используется от одного до четырех датчиков температуры. Это позволяет, в максимальной конфигурации, контролировать температуру обмоток трех фаз и магнитопровода трансформатора. При превышении температурой обмоток заданных пороговых значений прибор системы TDM-35S может последовательно включать выходные реле управления двумя группами вентиляторов охлаждения трансформатора.



Система TDM-35S в защищенном корпусе для наружной установки рядом с трансформатором

- Контроль состояния изоляции обмоток трансформатора на основании регистрации и анализа частичных разрядов в диапазоне СВЧ (UHF). Диагностические алгоритмы TDM-35S позволяют определить тип дефекта в изоляции, оценить степень опасности выявленного дефекта для дальнейшей эксплуатации трансформатора. Используемые в системе технические средства диагностики могут частично локализовать место возникновения дефекта, анализируя разницу во времени прихода импульса частичного разряда к разным датчикам.

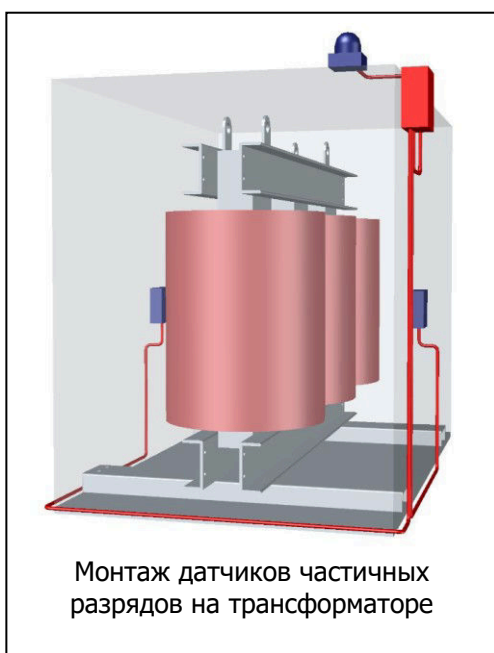
- Анализ режимов работы трансформатора с учетом температуры и влажности окружающей среды за счет использования комплексного датчика позволяет оценить эффективность работы системы охлаждения трансформатора, прогнозировать уменьшение остаточного ресурса изоляции.
- Контроль технического состояния конструкции трансформатора по параметрам вибрации. Вибродатчик обычно устанавливается на нижней раме сухого трансформатора. На основании анализа интегральных параметров и спектров вибрационных сигналов во встроенной экспертной системе диагностируются электромеханические дефекты в конструкции трансформатора.

Расширенный, по сравнению с системой TDM-10S, набор контролируемых параметров трансформатора позволяет более корректно определять остаточный ресурс компаундной изоляции обмоток и всего трансформатора в целом.

Установка диагностического оборудования системы мониторинга TDM-35S на трансформаторе

Прибор системы мониторинга TDM-35S устанавливается рядом с контролируемым трансформатором. Все первичные датчики системы TDM-35S монтируются непосредственно на трансформаторе. При монтаже системы необходимо использовать максимально короткие сигнальные кабели от датчиков до прибора для уменьшения электромагнитных помех.

В зависимости от конструкции силового трансформатора с сухой изоляцией существуют особенности монтажа первичных датчиков. В наибольшей мере эти особенности касаются выбора мест для установки датчиков частичных разрядов СВЧ диапазона частот, при помощи которых контролируется



Монтаж датчиков частичных разрядов на трансформаторе

состояние литой компаундной изоляции и проводится локация мест возникновения дефектов.

Две направленные электромагнитные антенны СВЧ диапазона марки ВА-2 располагаются с двух сторон сухого трансформатора с литой изоляцией. Они направляются на обмотки трансформатора, для чего крепятся внутри защитного ограждения трансформатора или на дополнительных стойках.

Третья СВЧ антенна марки ВА-1 располагается сверху защитного ограждения и предназначена для регистрации импульсов помех. Синхронное сравнение параметров импульсных сигналов с трех антенн позволяет системе контроля частичных разрядов максимально корректно отстраиваться от внешних высокочастотных помех и проводить локацию мест возникновения дефектов.

Кольцевой датчик тока нагрузки трансформатора марки IFCT-5 монтируется на проводнике вторичной цепи измерительного трансформатора тока. При помощи информации от этого датчика рассчитывается температура наиболее нагретой части обмотки, что важно для прогнозирования остаточного ресурса твердой изоляции обмоток трансформатора.

Внешние интерфейсы связи системы TDM-35S

Как и все другие системы производства фирмы ДИМРУС для организации диагностического мониторинга силовых трансформаторов 6-35 кВ система TDM-35S легко интегрируется в информационную среду цифровой подстанции или предприятия при помощи трех встроенных интерфейсов передачи информации:

- Гальванически изолированный интерфейс RS-485. Этот проводной защищенный интерфейс связи обладает удовлетворительной скоростью передачи информации, но требует прокладки по подстанции информационных кабельных линий связи. Этот интерфейс всегда реализован в приборе.
- Беспроводной интерфейс связи марки Wi-Fi. Особенно удобен этот интерфейс при автономном использовании системы мониторинга, когда информация о текущем состоянии трансформатора будет периодически считываться персоналом при обходах оборудования с использованием смартфона или планшета. Антенна этого интерфейса беспроводной связи монтируется на верхней стороне корпуса прибора системы мониторинга.
- Вместо интерфейса Wi-Fi, имеющего достаточно ограниченный радиус работы, особенно в условиях промышленного предприятия, в приборе системы мониторинга марки TDM-35S может быть смонтирован беспроводной интерфейс марки LoRa, который может передавать информацию в систему АСУ-ТП на расстояние в несколько километров. Вторым достоинством этого интерфейса связи является наличие двойного шифрования передаваемой информации.

Для отображения информации о режимах работы системы мониторинга и о текущем техническом состоянии трансформатора в приборе системы TDM-35S установлены информационные элементы индикации и релейные устройства сигнализации:

- Три цветных ярких светодиода на крышке прибора, отражающие техническое состояние трансформатора – норма, тревожное состояние, предаварийное.
- Информационный экран для сообщений о критических значениях контролируемых параметров и выявленных дефектах трансформатора.



Конструктивное исполнение прибора TDM-35S для монтажа внутри защитного шкафа

- Два сигнальных реле, отображающие информацию о текущем статусе системы мониторинга и выявлении предаварийных технических состояний контролируемого трансформатора.

Для управления системой охлаждения трансформатора в системе дополнительно установлены два реле, предназначенные для управления вентиляторами системы охлаждения трансформатора в зависимости от температуры обмоток.

Особенности монтажа прибора TDM-35S

Стандартно измерительный прибор системы мониторинга TDM-35S поставляется в герметизированном защитном металлическом корпусе, показанном на рисунке. В таком конструктивном исполнении система может быть смонтирована рядом с контролируемым трансформатором в условиях производственного цеха или подстанции без дополнительной защиты.

Если предполагается монтировать систему мониторинга на территории открытой подстанции, то необходимо предусматривать использование шкафа наружного исполнения для защиты оборудования от внешних климатических воздействий. В этом случае для самого прибора нет необходимости использовать герметизированный корпус, достаточно более дешевого сборного металлического корпуса, показанного на рисунке.

Технические параметры системы TDM-35S

	Параметр	Значение
1	Напряжение ВН контролируемого трансформатора, кВ	10 ÷ 35
2	Контроль тока нагрузки трансформатора в цепи ТТ, А	5
3	Выходное (входное) напряжение трансформатора, В	220
4	Диапазон контролируемой температуры обмотки, град	-55 ÷ +150
5	Диапазон контролируемых разрядных импульсов, dBm	-70 ÷ 0
6	Диапазон контролируемой вибрации в баке, Гц	10 ÷ 1000
7	Размеры корпуса прибора для электроники Ш*Г*В, мм	280*210*100
8	Масса прибора в сборе, кг	3
9	Рабочая температура, град	-40 ÷ +85
10	Напряжение питания, В (AC/DC)	110÷240
11	Потребляемая мощность, Вт	10

Признаки дефектных состояний силовых трансформаторов с литой изоляцией, диагностируемые системами мониторинга марки TDM-10S и TDM-35S

Для организации диагностического мониторинга сухих трансформаторов с литой изоляцией используются системы мониторинга двух марок. Эти системы различаются конфигурацией используемых технических средств регистрации параметров трансформатора. В результате системы имеют различную информативность и достоверность получаемых результатов.

Перечень контролируемых параметров систем мониторинга приведен в таблице 1:

Система	Тип, рабочее напряжение ВН, технологическая значимость трансформатора	Контролируемые параметры трансформатора					
		Ток нагрузки	Температура	Разрядная активность	Температура и влага воздуха	Вибрация	Управление охлаждением
		1	2	3	4	5	6
TDM-10S	Трансформаторы с рабочим напряжением 6÷10 кВ с литой изоляцией	1	1 ⁽¹⁾	1	1	1 ⁽²⁾	-
TDM-35S	Ответственные и мощные трансформаторы 10÷35 кВ с литой изоляцией	1	4	3 ⁽³⁾	1	1	2 ⁽⁴⁾

Примечания к таблице:

- (1) - по заказу система TDM-10S может быть поставлена с 2 датчиками температуры;
- (2) - дополнительная опция системы мониторинга;
- (3) - контроль и локация мест разрядной активности при помощи трех СВЧ антенн;
- (4) - контроль двух температурных порогов с включением 2 групп вентиляторов обдува.

Эти системы мониторинга предназначены для диагностического мониторинга трансформаторов с литой изоляцией и различаются количеством первичных датчиков и их типом.

В результате системы, с одной стороны, с различной точностью оценивают состояние трансформатора, а с другой стороны, как следствие, они различаются по стоимости. Чем больше количество используемых датчиков и сложнее система, тем она дороже.

Перечень наиболее часто встречающихся локальных дефектных состояний силовых трансформаторов с литой изоляцией, выявляемых встроенной диагностической экспертной системой, приведен в таблице.

№	Дефектное состояние	Параметры из табл. 1	Достоверность	
			TDM-10S	TDM-35S
1. Изоляция обмоток трансформатора				
1.1.	Учет естественного старения изоляции обмоток на основании контроля наработки трансформатора.	1	++	++
1.2.	Контроль температурных превышений, их величины и длительности, приводящих к ускоренному старению изоляции обмоток.	2	++	++
1.3.	Выявление локальных дефектов в литой изоляции обмоток по частичным разрядам.	3	+	++
1.3.	Определение типа выявленных дефектов в изоляции, оценка степени их развития, опасности для дальнейшей эксплуатации трансформатора.	3, 4	+	++
1.4.	Контроль поверхностного загрязнения изоляции обмоток трансформатора.	3, 4	+	++
2. Сердечник трансформатора				
2.1.	Контроль усилия прессовки сердечника трансформатора по спектру вибрационного сигнала.	5	++	++
2.2.	Контроль наличия короткозамкнутых контуров в сердечнике трансформатора.	2, 5	++	++
3. Состояние конструктивных элементов трансформатора				
3.1.	Контроль целостности конструкции трансформатора по спектрам вибрационных сигналов.	5	++	++
3.2.	Контроль наличия зон перегрева в трансформаторе по градиенту температуры обмоток с температурой воздуха.	2, 5	+	+
4. Управление эксплуатацией и обслуживанием трансформатора				
4.1.	Контроль текущего технического состояния трансформатора по параметрам цифрового двойника.	1 - 5	+	++
4.2.	Определение скорости ухудшения технического состояния, оценка остаточного ресурса трансформатора.	1 - 5	++	++
4.3.	Планирование сроков и объемов проведения сервисных и ремонтных работ.	1 - 5	++	++

Достоверность выявления дефектных состояний контролируемого трансформатора в таблице иллюстрируется следующим образом:

- (++) – достаточно высокая достоверность;
- (+) – сравнительно невысокая достоверность.

Для каждой из трех контролируемых подсистем трансформатора: для изоляционной системы, для сердечника трансформатора и для его конструкции в программном обеспечении системы мониторинга строятся локальные математические модели.

Итоговая математическая модель трансформатора, его цифровой двойник, комплексно строится на основе объединения параметров локальных моделей всех контролируемых подсистем трансформатора с литой изоляцией.
