

СВМ – система диагностического мониторинга ячеек КРУ с вакуумными выключателями

Технические требования к системе мониторинга и диагностики ячеек КРУ

Система мониторинга коммутационных ячеек КРУ имеет существенные технические и программные отличия от систем мониторинга, используемых для контроля состояния высоковольтного оборудования других типов.

Это обусловлено несколькими причинами:

- Выключатель, установленный в ячейке КРУ, работает только в короткие отрезки времени, когда происходит коммутация нагрузки. Поэтому максимум диагностической информации система мониторинга должна получать в момент регистрации процесса переключения.

- Заранее неизвестны условия, в которых будет происходить следующая коммутация выключателя. Потенциально, один и тот же выключатель может несколько раз успешно отключить номинальные токи нагрузки, но выйдет из строя при первой же коммутации токов короткого замыкания. Поэтому оценивая остаточный ресурс выключателя, приходится ориентироваться на самый тяжелый режим его работы: отключение токов короткого замыкания в нагрузке.

- Система мониторинга коммутационной ячейки должна контролировать техническое состояние не только выключателя, но и других подсистем ячейки, которые потенциально могут явиться причиной выхода ячейки из эксплуатации.

- Сравнительно невысокая стоимость коммутационной ячейки формирует жесткие требования к структуре диагностического оборудования. Для получения реального экономического эффекта цена поставки технических средств системы мониторинга должна быть минимальной.

Система СВМ для мониторинга ячеек КРУ с вакуумными выключателями

В соответствии с вышеперечисленными требованиями фирмой ДИМРУС была разработана и производится система диагностического мониторинга марки СВМ, предназначенная для оценки технического состояния и управления эксплуатацией ячеек КРУ с вакуумными выключателями. При помощи системы СВМ можно контролировать вакуумные выключатели с моторным приводом и с магнитной защелкой.

Все технические и программные средства этой системы мониторинга ячеек КРУ реализованы в виде трех взаимно дополняющих технических элементов:

- Главный модуль системы мониторинга СВМ.
- Дополнительный модуль СВМ/PD.
- Комплект датчиков температуры BDM/T.

Полная поставка системы мониторинга коммутационной ячейки КРУ включает в себя все эти три технические составляющие.

Главный модуль системы марки СВМ



Главный модуль системы мониторинга СВМ

В главном модуле системы СВМ технически реализована функция контроля состояния вакуумного выключателя ячейки.

Для этого в модуле регистрируются токи управления включением – отключением выключателя, а также фазные токи нагрузки, протекающие через выключатель. Эти токи нагрузки регистрируются в модуле при помощи трех датчиков тока марки IFCT-5, включаемых в цепи измерительных трансформаторов тока.



Трансформаторный датчик тока IFCT-5

Для удобства монтажа эти датчики просто одеваются на проводники вторичных цепей измерительных трансформаторов тока. При таком монтаже они не оказывают никакого влияния на токовые цепи, расположенные в ячейке измерительных ТТ.

Зарегистрированной главным модулем информации достаточно для выявления дефектов и определения остаточного ресурса выключателя. Эту функцию реализует встроенная в программное обеспечение цифровая модель.

Главный модуль СВМ также является верхним экспертным уровнем всей системы мониторинга ячейки КРУ. В модуле автоматически формируется

итоговое комплексное заключение о техническом состоянии контролируемой ячейки.

Из модуля в систему АСУ-ТП цифровой подстанции передается как первичные данные, так и итоговая диагностическая информация. Верхним уровнем системы мониторинга СВМ может быть панельный компьютер, установленный на лицевой стороне ячейки, или же непосредственно интегральная система АСУ-ТП цифровой подстанции. На верхнем уровне принимаются решения о необходимости и сроках проведения ремонтных работ.

Для удобства и обеспечения безопасности вся информация передается в АСУ-ТП по проводному интерфейсу RS-485.

Также главный модуль системы СВМ имеет техническую возможность передавать зашифрованную информацию по беспроводному интерфейсу Bluetooth на смартфон или планшет, имеющийся у оперативного персонала подстанции. Эта функция передачи информации о состоянии контролируемой ячейки особенно актуальна при локальном монтаже системы мониторинга, когда стационарные проводные каналы связи не используются.

Конструктивно модуль СВМ поставляется в металлическом негерметичном корпусе, который предназначен для монтажа на DIN рейке в релейном отсеке ячейки. Габаритные размеры модуля СВМ составляют 70*82*165 мм, рабочий диапазон температур от -40 до +60 градусов. Питание модуля осуществляется от переменного или оперативного постоянного тока. От блока питания главного модуля также подается напряжение питания в дополнительный диагностический модуль марки СВМ/PD.

Дополнительный диагностический модуль марки СВМ/PD



Диагностический модуль СВМ/PD

Диагностический модуль СВМ/PD системы мониторинга СВМ устанавливается в высоковольтном отсеке выключателя ячейки КРУ и предназначен для решения трех важных диагностических задач:

- Контроль состояния

высоковольтной изоляции соединительных шин, самого выключателя, а также отходящих

кабельных линий, к которым подключена нагрузка, по наличию и параметрам частичных разрядов.

- Оперативный сбор текущей информации от беспроводных датчиков температуры марки BDM/T, установленных на шинах и контактах в высоковольтном отсеке ячейки КРУ. Датчики контролируют текущие значения и изменения температур, связанных с протекающими токами и переходными сопротивлениями.

- При помощи технических средств дополнительного модуля СВМ/PD производится электромагнитная и оптическая регистрации интенсивности и длительности дуговых процессов, возникающих в высоковольтном отсеке контролируемой ячейки КРУ как во время коммутаций, так и на интервалах времени между ними.

Диагностический модуль СВМ/PD монтируется в высоковольтном отсеке контролируемой ячейки на боковой стенке ячейки и подключается к главному модулю системы мониторинга при помощи кабеля типа «витая пара», по которому подается напряжение питания модуля и передается вся необходимая информация.

Модуль конструктивно выполнен в герметичном металлическом корпусе размером 35*150*170 мм. На верхней части корпуса модуля в стандартных кабельных вводах располагаются три высокочастотные антенны, предназначенные: для регистрации частичных разрядов в высоковольтной изоляции, для контроля дуговых процессов в ячейке и для связи с беспроводными датчиками температуры.

Достоинством такой компактной и защищенной конструкции диагностического модуля СВМ/PD является то, что все первичные датчики, кроме беспроводных датчиков температуры BDM/T, располагаются внутри корпуса модуля и не требуется проводить дополнительные работы по их монтажу и подключению.

Конструктивное исполнение диагностического модуля в виде единого моноблока значительно упрощает монтаж оборудования системы марки СВМ для мониторинга ячеек КРУ.

На лицевой крышке модуля СВМ/PD располагается встроенный оптический датчик, предназначенный для регистрации светового излучения от локальных дуговых процессов, которые могут возникнуть в высоковольтном отсеке контролируемой ячейки.

Одновременное использование двух датчиков для контроля дуговых процессов в ячейке, электромагнитного и оптического, позволяет максимально точно и корректно диагностировать возникновение дуговых процессов именно в высоковольтном отсеке ячейки КРУ.

Беспроводные датчики контроля температуры BDM/T



Беспроводной датчик температуры марки BDM/T

Беспроводные датчики марки BDM/T устанавливаются на поверхности высоковольтных шин ячейки, вблизи подвижных контактов, служащих для подключения

выключателя, и на контактных выводах вакуумных камер. Датчики температуры BDM/T также предназначены для оперативного контроля температурного состояния соединений в высоковольтной силовой цепи ячейки под рабочим напряжением.

В одной коммутационной ячейке, в соответствии с требованиями технического задания на создание системы мониторинга, на токоведущих шинах и на контактах выключателя, может быть смонтировано от трех до пятнадцати и даже более беспроводных датчиков температуры.

Информация от датчиков температуры марки BDM/T оперативно передается в диагностический модуль CBM/PD, или сразу в главный модуль системы мониторинга CBM. Для этой цели используется беспроводной интерфейс марки Bluetooth. Приемниками этого интерфейса оснащены все модули системы CBM.

Датчик температуры BDM/T конструктивно выполнен в силиконовом герметичном корпусе размером 37*25*51 мм. Встроенной в датчик электроникой контролируется температура алюминированного основания.

Для надежного монтажа датчика в ячейке КРУ на токопроводящих шинах, с ним поставляется универсальный комплект крепления на шине практически любого размера.

Диапазон рабочих температур высоковольтных шин и контактов, которые можно контролировать при помощи беспроводных датчиков марки BDM/T,

составляет от -40 до +130 градусов. Ограничение по максимальной температуре связано с работоспособностью встроенной электроники беспроводных датчиков.

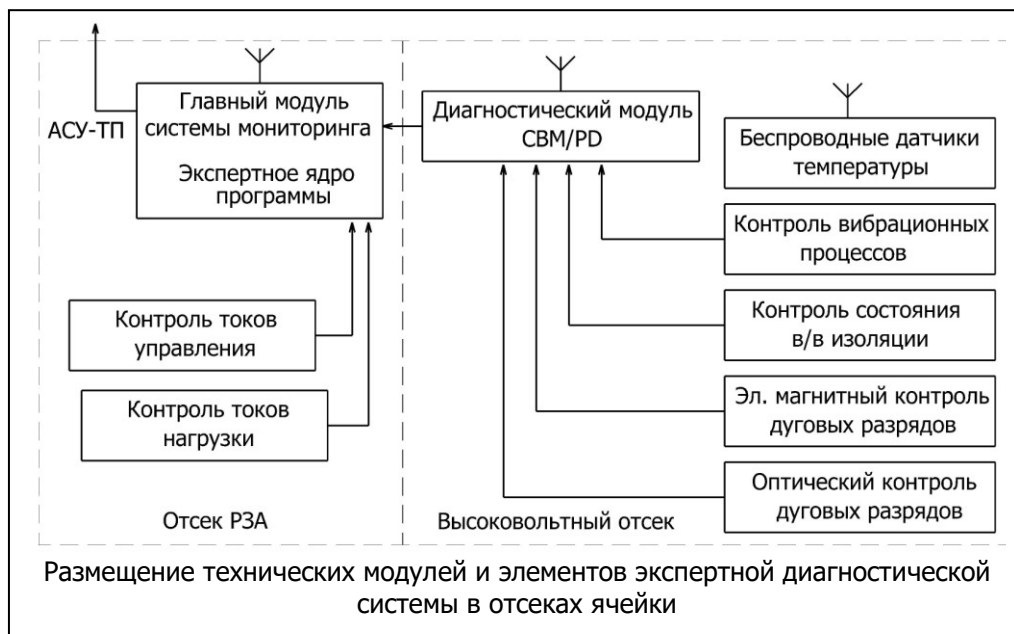
Питание внутренней электроники датчиков BDM/T производится от внешнего электромагнитного поля рассеяния, наводимого вокруг шин протекающими токами нагрузки промышленной частоты. Минимально датчики начинают работать, измерять температуру и передавать информацию по беспроводному интерфейсу при протекании по контролируемым шинам токов от 5 А.

Общая структура технических и алгоритмических средств системы мониторинга марки CBM

Состав и распределение технических модулей и первичных датчиков системы мониторинга по модулям и по отсекам стандартной ячейки КРУ приведен на схеме.

Используемый набор технических, программных и экспертных решений является оптимальным для обеспечения эффективной работы системы диагностического мониторинга коммутационной ячейки КРУ, оснащенной вакуумным выключателем.

Монтаж модулей и датчиков системы CBM в ячейках КРУ



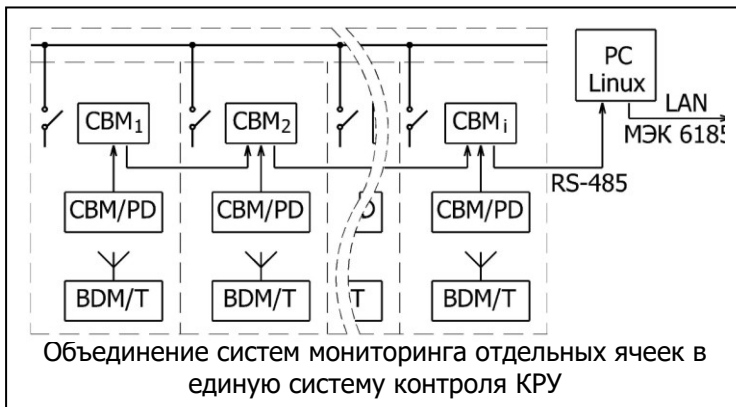
Размещение технических модулей и элементов экспертной диагностической системы в отсеках ячейки

Дополнительные диагностические модули марки CBM/PD монтируются в высоковольтных отсеках ячейки, рядом с выключателем, обычно на одной из боковых стенок.

Функционально эти диагностические модули предназначены, в первую очередь, для контроля технического состояния высоковольтной изоляции

в ячейке путем регистрации и анализа частичных и дуговых разрядов.

Дополнительными функциями модулей марки CBM/PD является сбор информации от беспроводных датчиков температуры BDM/T и контроль за аварийными дуговыми процессами, которые могут возникнуть в контролируемой ячейке КРУ в процессе работы.



Главные модули системы мониторинга марки CBM располагаются в релейных отсеках ячеек и обычно монтируются на общей DIN рейке. К главным модулям мониторинга по локальному проводному интерфейсу RS-485 подключаются диагностические модули CBM/PD.

Главные модули системы мониторинга отдельных ячеек интегрируются в единую систему мониторинга КРУ при помощи последовательного подключения к общему панельному компьютеру мониторинга секции шин с активным экраном 10". Технически подключение модулей производится при помощи отдельного проводного интерфейса связи RS-485.

На центральном панельном компьютере комплексной системы мониторинга всего КРУ устанавливается специализированное программное обеспечение управления эксплуатацией марки CBM-INVA. Это специализированное программное обеспечение предназначено для сбора информации от главных модулей систем мониторинга отдельных ячеек, ее архивации и отображения на экране панельного компьютера итоговой информации о техническом состоянии всех контролируемых коммутационных ячеек КРУ.

Если в системе мониторинга каждой коммутационной ячейки КРУ предполагается использовать свой автономный панельный компьютер, подключенный к главному модулю CBM и отображающий диагностическую информацию только об этой контролируемой ячейке, то он использует экран меньшего размера с диагональю не более 7".

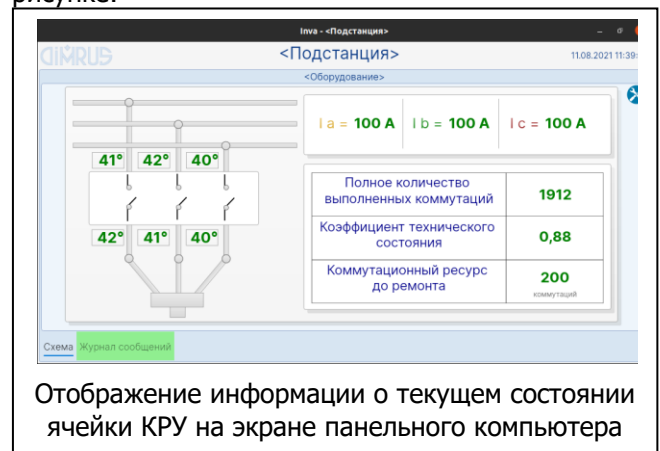
Особенности программного обеспечения CBM-INVA системы мониторинга ячеек КРУ

Программные и технические средства системы мониторинга марки CBM отвечают всем необходимым требованиям по обеспечению совместимости и информационной безопасности, предъявляемым к оборудованию современной цифровой подстанции.

Основные особенности программного обеспечения системы мониторинга коммутационных ячеек КРУ, обеспечивающие необходимую для условий безопасности защиту информации:

- Передача информации от датчиков температуры контактов и шин в диагностический модуль CBM/PD производится по беспроводному интерфейсу Bluetooth с использованием защитного шифрования.

- Панельный компьютер системы мониторинга с установленным на нем программным обеспечением марки CBM-INVA работает под управлением операционной системы Linux. Пример отображения технической информации о состоянии вакуумного выключателя и всей контролируемой ячейки приведен на рисунке.



- Вся собранная системой мониторинга марки CBM первичная, и полученная в экспертной системе итоговая диагностическая информация о техническом состоянии контролируемых ячеек КРУ, передается из панельного компьютера на сервер системы АСУ-ТП цифровой подстанции по стандартному протоколу связи МЭК 61850.

Перечень диагностических методов и экспертных алгоритмов, используемых в программном обеспечении системы СВМ

Диагностические методы и средства, использованные в СВМ для диагностики и оценки технического состояния коммутационных ячеек КРУ, соответствуют определенным требованиям.

Не использованы «экзотические методы диагностики», которые хотя и имеют высокую информативность и достоверность, но реальная цена их реализации может быть соизмеримой или даже превышать цену всей ячейки.

Вторым ограничением для выбора доступных методов диагностики ячеек КРУ была их способность эффективно контролировать состояние сложного энергетического оборудования, наиболее ответственная часть которого находится под высоким рабочим напряжением.

В-третьих, важным критерием для выбора диагностических методов было наличие в них нормативных или устоявшихся критериев оценки технического состояния. Если таких критериев качества в методе нет, то должна быть возможность адаптивного формирования их значений в процессе эксплуатации.

Рассмотрение использованных в системе СВМ методов диагностики проведем применительно к разным подсистемам ячейки КРУ.

Высоковольтный вакуумный выключатель

Для контроля технического состояния выключателя, установленного в ячейке КРУ, функционально состоящего из нескольких отдельных подсистем, в системе СВМ использовано несколько диагностических методов, результаты работы которых дополняют друг друга.

По принципу максимальной эффективности были выбраны следующие методы:

- Метод контроля временных параметров работы выключателя, таких как время коммутации, одновременность работы по фазам, время фиксации контактов и т. д. Для определения этих важных параметров выключателя комплексно используются несколько методов диагностики: контроль формы изменения токов управления выключателем, контроль формы изменения фазных токов нагрузки в процессе коммутации, контроль динамических (вибрационных) процессов работы выключателя.

- Контроль состояния главных контактов в вакуумных камерах выключателя. Для оценки их состояния анализируются графики изменения фазных токов нагрузки выключателя, полученные с высоким временным разрешением. На этих графиках непосредственно в момент включения и

отключения нагрузки можно выявить признаки ухудшения состояния контактов.

- Контроль состояния вакуума в коммутационных камерах выключателя. Прямой контроль глубины вакуума в современных камерах, особенно под рабочим напряжением, практически невозможен, но косвенно этот параметр можно оценивать, анализируя длительность дуговых процессов в камерах при отключении нагрузки. Естественно, что интенсивность дуговых процессов в вакуумной камере сильно зависит от величины коммутируемого камерой тока и его реактанса, но в системе мониторинга это влияние можно учесть за счет комплексного мониторинга параметров.

Контроль состояния контактов и соединений в высоковольтных шинах

Эта составляющая общей диагностики состояния ячейки позволяет оценить температуру подвижных контактов, при помощи которых выключатель подключается к системе шин, и главных контактов самого выключателя, а также и состояние стационарных контактных соединений высоковольтных шин внутри ячейки.

Поскольку соединительные шины в ячейке находятся под высоким напряжением, то контроль их температуры возможен только или с использованием бесконтактных дистанционных пирометров, или при помощи установки контактных датчиков температуры, которые получают питание от токов нагрузки ячейки и передают информацию в систему мониторинга по беспроводным каналам связи. В системе СВМ было принято решение использовать беспроводные датчики температуры.

Высоковольтная изоляция ячейки КРУ

Практически единственным эффективным способом контроля состояния высоковольтной изоляции ячеек КРУ под рабочим напряжением является использование метода регистрации и анализа частичных разрядов. Этот метод имеет высокую чувствительность и может диагностировать дефекты в изоляции на ранних стадиях их развития.

Достоинством этого современного диагностического метода является возможность одновременно одним датчиком контролировать состояние изоляции шин, выключателя и даже отходящей кабельной линии. При переводе измерительной схемы контроля частичных разрядов в режим пониженной чувствительности появляется возможность контролировать наличие в ячейке более мощных дуговых разрядов, т. е. реализовать функции дугового мониторинга внутри высоковольтного отсека ячейки.

Техническое состояние конструктивных элементов ячейки

Причиной выхода из строя коммутационной ячейки может быть и возникновение проблем в конструкции, в основном это относится к ослаблениям болтовых и сварных соединений. Такие дефекты в ячейке выявляются методом вибрационного контроля, в котором анализируются динамические удары в приводе выключателя и параметры возникающих после ударов затухающих колебаний в элементах конструкции ячейки.

Общее описание алгоритмов оценки остаточного ресурса и прогнозирования сроков проведения ремонтных работ

Определение текущего технического состояния ячейки КРУ является первой и очень важной функцией для работы системы диагностического мониторинга. Для реализации этой функции в программном обеспечении СВМ используется специализированное экспертное ядро, которое позволяет оперативно выявлять признаки дефектных состояний в оборудовании. Оно в своей работе использует математические модели и образы наиболее часто встречающихся дефектных состояний, которые были созданы практическими экспертами или были получены с использованием нейронных сетей.

Еще более актуальной для службы эксплуатации оборудования является информация о возможности и сроках дальнейшей безаварийной эксплуатации контролируемого оборудования. Наличие такой информации позволяет реализовать наиболее эффективную систему эксплуатации высоковольтного оборудования по техническому состоянию. Эта система на основании текущего технического состояния и результатов работы алгоритмов предиктивной аналитики конкретно указывает персоналу, когда (по времени) надо проводить ремонт оборудования, состав (объем) этих ремонтных работ.

Прогнозирование сроков безаварийной работы ячейки КРУ, как и любого другого сложного оборудования, возможно только при использовании в экспертном программном обеспечении системы мониторинга динамических математических моделей контролируемого оборудования. Эти модели должны описывать изменение параметров контролируемой ячейки в процессе эксплуатации. Достаточно часто такие математические модели называются цифровыми двойниками оборудования, так как при их создании подразумевается получение максимально подробной аналогии физических и математических

процессов в реальном объекте и в его цифровом аналоге.

Целевая функция создания цифрового двойника (модели) ячейки КРУ предполагает решение четырех основных экспертных задач, связанных с эксплуатацией оборудования:

- Оценка текущего технического состояния оборудования с выявлением признаков наиболее часто встречающихся дефектных состояний, с описанием степени развития этих дефектов и определением их эксплуатационной опасности.
- Прогнозирование изменения технического состояния ячейки на будущих этапах эксплуатации как при отсутствии в ней признаков дефектных состояний (это нормальный или эволюционный износ оборудования ячейки), так и при наличии в ней выявленных признаков дефектных состояний (анормальный или ускоренный износ ячейки).
- Автоматическое планирование оптимальных сроков и объемов проведения ремонтных и сервисных работ с последующей оперативной оценкой качества выполненных ремонтных работ.
- Включение результатов работы системы мониторинга ячеек КРУ, особенно рекомендаций по комплексному управлению эксплуатацией высоковольтного оборудования, в единое информационное поле цифровой подстанции.

Оптимальный по функциям цифровой двойник любого высоковольтного оборудования обычно представляет собой самонастраивающуюся математическую модель, коэффициенты и параметры которой учитывают наиболее важные процессы в контролируемом оборудовании.

Автоматическая корректировка (адаптация) параметров модели производится для учета меняющихся условий работы ячейки. Это позволяет своевременно и максимально точно учесть:

- Изменение условий эксплуатации ячейки КРУ, параметров ее нагрузки.
- Возникновение в ячейке признаков дефектных состояний, выявляемых экспертной системой.
- Скорость саморазвития выявленных дефектных состояний, возможность генерации и развития новых дефектных признаков.

При этом формируется уникальная цифровая модель. Использование адаптивного цифрового двойника коммутационной ячейки является обязательным условием для решения вопросов оптимального управления эксплуатацией высоковольтного оборудования КРУ.