

«ССМ-6» – устройство непрерывного контроля состояния изоляции кабельных линий

Выпуском прибора ССМ-6 наша фирма начинает производство серии нового уникального диагностического оборудования, предназначенного для непрерывного контроля состояния изоляции высоковольтных кабельных линий под рабочим напряжением.

Практическое внедрение этих приборов позволяет изменить общий подход к эксплуатации силовых кабелей. По принятой в настоящее время технологии предполагается проведение



диагностических измерений состояния изоляции кабельных линий через фиксированные, достаточно длительные, интервалы времени. Поскольку абсолютное большинство существующих методов контроля изоляции кабелей применимо только при отключении от сети, такие измерения сопряжены с практическими сложностями и проводятся через большие интервалы времени. Как результат, такой подход мало способствует снижению аварийности кабельных линий, что, в конечном итоге, увеличивает общие эксплуатационные затраты.

Использование метода непрерывного контроля состояния изоляции кабелей, реализованного в приборе ССМ-6, дает возможность переходить к ремонту высоковольтного оборудования по техническому состоянию. Это позволяет реально внедрять наиболее

экономически эффективную систему эксплуатации энергетического оборудования. Оперативная информация о наличии, степени развития и локализации дефектов изоляции минимизирует общие эксплуатационные затраты предприятий, сводя к минимуму вероятность возникновения аварийных ситуаций.

Прибор ССМ-6 (Cables Condition Monitor) предназначен для постоянного контроля состояния изоляции силовых высоковольтных кабельных линий под рабочим напряжением. Прибор имеет шесть равноценных входных каналов для регистрации частичных разрядов, что позволяет ему одновременно контролировать состояние изоляции до шести кабельных линий, находящихся под напряжением. Если каждая фаза кабельной линии проложена отдельно, то при помощи одного прибора марки ССМ-6 можно одновременно контролировать две такие распределенные кабельные линии.

Экономическая эффективность практического внедрения приборов серии ССМ-6 достаточно высока. В основе этого лежит низкая стоимость комплекта диагностического оборудования. Полная стоимость смонтированной системы защиты изоляции, приведенная к одной контролируемой кабельной линии, не превышает \$500. Эти затраты соизмеримы с ценой всего лишь нескольких метров кабельной линии. Если же учитывать потери предприятий, связанные с аварийными режимами в системе снабжения электроэнергией, то экономическая эффективность внедрения прибора ССМ-6 будет еще выше.

1. Краткое описание возможностей прибора ССМ-6.

Работа прибора основана на регистрации и анализе уровня амплитудного и фазового распределения импульсов частичных разрядов в изоляции кабельных линий, что позволяет выявлять возникающие дефекты на начальных этапах развития. Возможность проведения ранней диагностики дефектов изоляции в режиме «on-line» является отличительной особенностью данного прибора.

Наличие в приборе шести входов позволяет не только снизить цену системы контроля изоляции, приведенную к одному кабелю, но и существенно повышает достоверность работы встроенной системы диагностики. Прибор ССМ-6 на основании аналогового и цифрового сравнения позволяет оперативно выявлять, в каком из шести контролируемых кабелей возник дефект. Особенно это важно для КРУ и кабельных сборок, где практически в одной точке собирается несколько кабелей, в результате чего источник частичных разрядов трудно выделить.

Встроенный в прибор и постоянно работающий рефлектометр (опция прибора ССМ-6R), использует для локализации зоны возникновения дефекта не тестовые импульсы, а сигналы от возникающих в изоляции частичных разрядов. По разнице времени прихода прямого и отраженного импульсов рефлектометр локализует зону дефекта с точностью не хуже 1% от длины контролируемого кабеля.

Полная автономность работы прибора в промышленном диапазоне температуры окружающей среды упрощает его монтаж и эксплуатацию. Наличие нескольких стандартных протоколов связи прибора с внешними компьютерами и локальными системами позволяет легко интегрировать систему контроля изоляции кабельных линий в общую систему АСУ-ТП энергетического предприятия.

2. Частичные разряды – признак наличия дефектов в изоляции.

Принцип действия прибора «ССМ-6» основан на регистрации и анализе импульсов частичных разрядов, возникающих в изоляции кабельных линий на начальных этапах развития дефектов. Всем аварийным нарушениям изоляции кабелей предшествует возникновение локальных дефектов, дальнейшее развитие которых сопровождается повышением общего уровня частичных разрядов.

Наиболее важными параметрами оценки уровня частичных разрядов в кабелях являются два – текущая интенсивность разрядов в изоляции и рост интенсивности в процессе эксплуатации кабельной линии. Наличие частичных разрядов постоянного уровня в изоляции кабеля не всегда однозначно говорит о наличии дефектов в изоляции, это может просто определяться свойствами изоляционных материалов. Рост же интенсивности частичных разрядов практически всегда указывает на развитие дефекта и расширение зоны его локализации.

Высокие требования к системам контроля изоляции кабельных линий предъявляются в вопросе помехозащищенности. Частичные разряды в изоляции имеют малый уровень, по амплитуде не превышая долей, в предельных случаях, единиц вольт, что существенно усложняет их регистрацию в линиях, находящихся под высоким рабочим напряжением. Кроме того, очень актуальной является задача корректного определения места возникновения частичных разрядов, как минимум, это разделение разрядов в контролируемой кабельной линии от разрядов в другом оборудовании, электрически связанном с данным кабелем.

Важную роль в диагностике состояния изоляции кабелей может играть регистрация и анализ амплитудно-фазового распределения импульсов внутри одного периода промышленной частоты. Дополнив его графическим представлением амплитудно-частотного распределения импульсов ЧР, можно достаточно уверенно выявлять место возникновения дефекта в изоляции кабельной линии. Для проведения такой диагностики в программном обеспечении мониторинга изоляции, устанавливаемого на персональном компьютере, должны храниться графические образы распределения импульсов при дефектах, наиболее часто встречающихся в кабельных линиях.

3. Описание прибора ССМ-6.

Прибор марки ССМ-6 минимально поставляется в защитном металлическом корпусе, с боковых сторон которого расположены клеммы для подключения датчиков и выходных линий. Внешний вид прибора в корпусе показан на фотографии выше. Если предполагается проводить монтаж прибора вне стационарного шкафа управления оборудованием, то прибор поставляется в дополнительном защитном корпусе, предохраняющий его от механических повреждений и прямого воздействия влаги.

На лицевой панели прибора располагаются 6 светодиодов, пропорционально количеству контролируемых кабельных линий. Загорание любого диода красным цветом сигнализирует в наличии проблем в изоляции соответствующего кабеля. Прибор может поставляться с встроенным графическим экраном и клавиатурой, как это показано на рисунке, а может и не иметь их. В этом случае в состав поставки прибора может быть включен дополнительный внешний модуль с экраном и клавиатурой, подключаемый к прибору интерфейсным кабелем с разъемом. Этот модуль, предназначенный для индикации и внешнего управления прибором, является универсальным и может быть использован для последовательной настройки и контроля состояния нескольких приборов. Включенное состояние прибора контролируется зеленым светодиодом на лицевой панели.

С левой стороны прибора расположены клеммы для подключения шести первичных датчиков типа SCM-1 или SCM-2, по одному на каждую контролируемую кабельную линию. При помощи датчика марки SCM-1 регистрируются импульсы частичных разрядов, и контролируется наличие напряжения в кабельной линии, по наличию тока утечки в заземляющей шине. Датчик SCM-2 предназначен только для регистрации частичных разрядов. При его использовании вопрос контроля наличия напряжения в кабеле остается открытым. Ниже входных клемм от датчиков SCM располагаются клеммы шести дополнительных входов, к которым могут быть подключены датчики любого другого типа, при помощи которых возможно индикация наличия напряжения в контролируемой кабельной линии.

С правой стороны прибора располагаются клеммы и разъемы для подключения дополнительных внешних устройств. Первым сверху располагается разъем типа USB, предназначенный для подключения переносного компьютера. Используя это разъем можно, при помощи ноутбука, легко, по мере надобности, просматривать и копировать всю необходимую архивную информацию, а также производить настройку и перенастройку параметров прибора на конкретные условия работы.

Ниже разъема USB располагается разъем для подключения выносного блока управления, при помощи которого также можно проводить настройку прибора и просматривать архив данных на месте. Как уже указывалось выше, этот блок управления применяется в том случае, когда прибор поставляется без встроенного индикатора и клавиатуры управления.

Далее, справа ниже, располагаются клеммы для подключения внешних датчиков температуры и влажности окружающей среды. Применение этих датчиков позволяет более корректно оценивать состояние изоляции кабельных линий, т. к. достаточно часто общий уровень частичных разрядов связан с этими параметрами окружающей среды.

Еще ниже, также справа, располагается разъем для подключения линии связи, при помощи которой прибор может быть интегрирован в общую систему АСУ-ТП предприятия. Стандартный набор внешних интерфейсов, с которыми поставляется прибор, может включать, по выбору, интерфейсы RS-232, RS-485, Ethernet, модуль радиоканала. Конструкция прибора ССМ-6 такова, что выбор типа используемого внешнего интерфейса производится сменой небольших коммутационных плат с одинаковым разъемом, на которых реализованы эти интерфейсы. При смене платы внешних интерфейсов прибор автоматически переходит на использование соответствующего протокола связи.

Нижнюю часть прибора занимает универсальный блок питания, закрытый отдельной крышкой. На плате блока питания смонтированы силовые реле, предназначенные для реализации функций внешнего управления. В приборе располагается и может быть

задействовано до 4 реле управления. Первые два реле отрабатывают пороги аварийного и тревожного состояния изоляции, соответствующие худшей из контролируемых кабельных линий. Пороги срабатывания этих реле настраиваются программно, на месте, или с удаленного компьютера. Реле 3 используется в качестве индикатора нормальной работы прибора. При включенном приборе и успешном тестировании всех встроенных функций это реле замыкает свой контакт, состояние которого контролирует персонал или система АСУ-ТП.

Реле 4 на плате блока питания активируется в том случае, если прибор будет использован для управления термостатом, поддерживающем заданную температуру внутри шкафа автоматики. Процессор контролирует температуру внутри прибора по датчику, расположенному на печатной плате. При снижении температуры ниже заданного (настраиваемого) уровня включается реле 4, которое может управлять встроенным в шкаф нагревателем мощностью до 1500 ватт. Данная функция используется, чаще всего в том случае, когда совместно с прибором ССМ-6 монтируются другие устройства автоматики и защиты, не рассчитанные на работу в промышленном диапазоне температур. Наш прибор работает при внешней температуре минус 40 градусов, поэтому нуждается в подогреве только в очень редких случаях.

4. Технические параметры прибора.

Данная система применяется для кабельных линий с рабочим напряжением от 6 до 70 кВ. Основные технические параметры прибора ССМ-6 приведены в таблице.

№	Параметр	Значение
1	Количество контролируемых кабельных линий	до 6
2	Рабочее напряжение кабельных линий	6 ÷ 70 kV
3	Длина контролируемого участка кабельной линии	до 2 km (*)
4	Допустимая длина коаксиальных кабелей от датчиков типа SCM до прибора ССМ-6	до 100 m
5	Время проведения одного полного измерения уровня ЧР в 6 кабельных линиях	-
6	Частотный диапазон регистрируемых импульсов ЧР	0,5 ÷ 10 MHz
7	Динамический диапазон регистрируемых импульсов ЧР	70 dB
8	Фазовая точность определения момента возникновения импульса относительно синусоиды промышленной частоты	7 град
9	Погрешность определения места возникновения ЧР в кабеле при помощи встроенного рефлектометра	1 % от длины кабеля
10	Выносной датчик температуры окружающей среды	Pt100
11	Выносной датчик контроля влажности окружающей среды	0-100%
12	Внешний интерфейс (один по выбору) для включения прибора в систему АСУ-ТП	RS-232, RS-485, TCP/IP, радиоканал
13	Внешний интерфейс для подключения переносного компьютера	USB
14	Объем памяти для хранения архива выполненных измерений ЧР в кабелях	32 MB, или 2 года работы
15	Количество встроенных выходных реле управления (сухой перекидной контакт)	4
16	Параметры контактов выходных реле	~250 V, 6 A
17	Напряжение питания прибора	~220 V(**)
18	Потребляемая прибором из сети мощность	6 Вт
19	Диапазон допустимых внешних рабочих температур, при работе без термостата	-40 ÷ +70 градусов
20	Гарантийный срок на прибор и датчики	18 мес.
21	Время эксплуатации прибора	не менее 10 лет
22	Габаритные размеры прибора	

23	Масса прибора	
----	---------------	--

(*) – Длина контролируемого участка кабеля может достигать 4000 метров, но при вдвое большей погрешности измерения ЧР.

(**) – По заказу возможна поставка прибора с источником питания, имеющим комбинированное входное напряжение 85–265V переменного тока и 100–220V постоянного тока. При этом нижняя граница диапазона рабочих температур прибора увеличится и составит -30 градусов.

Для повышения достоверности получаемых результатов в приборе реализован набор уникальных диагностических алгоритмов анализа входных импульсов. Наиболее важным является то, что эти алгоритмы работают в режиме реального времени. Основными, и наиболее значимыми, из этих алгоритмов являются:

- Анализ частотных свойств и формы каждого входного импульса.
- Использование матриц перекрестной наводки импульсов с одной кабельной линии на другую. Практически это выглядит как синхронное сравнение амплитуд импульсов ЧР в контролируемом кабеле с амплитудой импульсов ЧР, регистрируемых в рядом расположенных кабельных линиях.
- Анализ времени запаздывания, или времени опережения, прихода импульса с контролируемого кабеля, относительно импульсов, регистрируемых с рядом расположенных кабельных линий. Технические средства прибора позволяют различать импульсы от ЧР, разделенные в пространстве участком кабеля или шины длиной 1 метр.
- Анализ и сравнение полярности импульсов, пришедших с соседних измерительных каналов. В силу особенностей применяемых датчиков ЧР и схем их включения полярность импульса, зарегистрированного в кабеле, в котором возник импульс, противоположна полярности импульса ЧР в другом кабеле, для которого этот же импульс является внешним.

Использование этих алгоритмов анализа входных импульсов ЧР позволяет, даже при наличии кабельных линий, проложенных рядом и подключенных к общим точкам шинопроводов, выявлять дефектную линию с вероятностью, превышающей 90%.

5. Первичные датчики частичных разрядов в кабельных линиях.

Для регистрации частичных разрядов, возникающих в кабельной линии, используются



специально разработанные датчики частичных разрядов марки SCM-1 и SCM-2. Выходной сигнал датчика SCM-1 содержит в себе две составляющие: сигнал тока промышленной частоты, обусловленный наличием токов утечки, и сигнал от импульсов частичных разрядов. Дополнительная регистрация тока утечки кабельной линии, имеющего промышленную частоту, обусловлена необходимостью автоматического определения наличия напряжения в контролируемом кабеле. Если

кабель находится под напряжением, то в нем всегда есть емкостный ток утечки. Это дает возможность, не используя специальных сигналов и линий связи, избежать проведения «диагностики» ЧР в отключенном кабеле, т. е. повысить общую достоверность работы системы мониторинга изоляции.

Датчик импульсов частичных разрядов марки SCM-1 конструктивно выполнен так, чтобы можно было легко осуществлять его монтаж в разрыв цепи заземляющего экрана кабеля. В процессе монтажа датчика заземляющая жила (экран) кабельной линии отключается от «земли». На освободившееся место монтируется датчик, а заземляющая шина кабеля подключается ко второму «посадочному месту» датчика. Конструктивное исполнение датчика таково, что он имеет практически нулевое внутреннее сопротивление и может, без ухудшения своих параметров, пропускать через себя большие токи, возникающие, при определенных условиях в заземляющих жилах кабельных линий.

Выходной сигнал от датчика передается к прибору ССМ-6 при помощи стандартного коаксиального кабеля. К выходному разъему датчика кабель подводится через уплотняющий ввод. При необходимости, коаксиальный кабель может быть проложен в защитном металлическом рукаве. Такой вариант поставки датчиков должен быть оговорен при формировании спецификации к договору поставки системы.

Если экран кабельной линии заземлен с двух сторон, то на противоположном конце кабеля, где нет датчика, на заземляющей жиле, монтируется специальный высокочастотный заградительный фильтр. Этот фильтр не пропускает импульсы частичных разрядов на землю, но не является преградой для токов промышленной частоты. Следует помнить, что в этом случае необходимо использовать датчик SCM-2, который не регистрирует только импульсы ЧР, но не токи утечки, т. к. при такой схеме заземления экрана кабеля токи промышленной частоты могут протекать и при отсутствии рабочего напряжения. Для контроля наличия напряжения, в этом случае, нужно использовать другие технические средства.

6. Монтаж прибора ССМ-6 на объекте.

Идеология использования прибора ССМ-6 предполагает его монтаж в естественном узле системы снабжения электрической энергией. К данному узлу, или от него, подходит несколько высоковольтных кабельных линий с общим уровнем рабочего напряжения. Такими естественными узлами системы электроснабжения предприятий обычно являются КРУ, различные кабельные сборки, подстанции и т. д.

Количество контролируемых одним прибором кабельных линий не превышает шести. На каждом контролируемом кабеле, в разрыве заземляющей жилы, монтируется один датчик марки SCM-1 или SCM-2. При помощи этого датчика контролируется изоляция отходящей кабельной линии, включая все электрические устройства и аппараты, подключенные к линии. Под такими устройствами и аппаратами понимаются соединительные муфты, высоковольтные выключатели и статоры электрических машин, непосредственно, без трансформаторов и реакторов, подключенные к кабельной линии. Эффективная длина контролируемого участка схемы электроснабжения зависит от степени затухания частичных разрядов в силовом кабеле, но обычно не превышает 2000 метров.

Для эффективной работы прибора ССМ-6 все соединительные коаксиальные линии от первичных датчиков SCM-1 до прибора должны иметь одинаковую длину. Допустимое различие в длине сигнальных кабелей не должно превышать ± 20 сантиметров. Превышение этого значения может привести к погрешности в работе системы дифференциальной диагностики, когда производится выявление кабеля, в котором возник дефект в изоляции.

Монтаж прибора производится в месте, куда удобно свести все коаксиальные кабели от первичных датчиков. В это же место необходимо проложить кабель питающего напряжения. При включении прибора в информационную сеть отсюда должен быть проложен кабель внешнего интерфейса, при помощи которого прибор будет подключен к персональному компьютеру. Длина линии связи может достигать 1000 метров, при использовании гальванически изолированного протокола связи RS-485.

7. Рефлектометр – опция прибора.

Увеличение уровня частичных разрядов в контролируемом кабеле легко выявляется прибором марки ССМ-6, и является важным признаком наличия развивающегося дефекта в изоляции. Знание такой информации однозначно и всегда вызывает у эксплуатационного и ремонтного персонала следующий вопрос, а где же находится вероятное место возникновения дефекта. Знание ответ на этот вопрос определит необходимую стратегию планирования, а также объем и сроки проведения будущих ремонтных работ.

Оптимальным решением для локализации места дефекта является использование прибора версии ССМ-6R, оснащенного встроенным рефлектометром. Этот прибор отличается от стандартного тем, что в нем смонтирована дополнительная электронная плата, позволяющая определять разницу во времени прихода в прибор импульсов ЧР, с точностью, достаточной для

выявления зоны дефекта с разрешением в 1 метр. Встроенный в прибор рефлектометр имеет существенные преимущества перед обычными, переносными рефлектометрами. Во-первых, рефлектометр прибора ССМ-6R проводит измерение времени между приходом импульсов в процессе работы кабеля, под рабочим напряжением, что делает эту функцию оперативной. Во-вторых, для локации места возникновения дефекта используются не специально созданные и инжектированные в кабель импульсы, а уже имеющиеся в кабеле импульсы частичных разрядов, возникшие непосредственно в зоне дефекта.

При помощи встроенного рефлектометра прибор ССМ-6R в автоматическом режиме определяет наличие зон дефектов во всех шести контролируемых кабельных линиях. Для более эффективного диагностирования места дефекта в каждой кабельной линии, в памяти прибора хранятся исходные рефлектограммы, зарегистрированные в момент начала мониторинга состояния изоляции. Сравнение текущей рефлектограммы с начальной, опорной, позволяет уменьшить влияние на диагностику отраженных сигналов от соединительных муфт.