



КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИЙ

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

ОСНОВНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ СИСТЕМ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

АСУ-ТП



Система диспетчерского мониторинга, предназначенная для управления режимами работы электротехнического оборудования энергосистемы.

Цель диспетчерского мониторинга - контроль основных технологических параметров оборудования – режимы работы, токи, напряжения, температуры.

Система противоаварийной защиты и блокировки – РЗА. Производит отключение оборудования в момент возникновения аномальных режимов работы.

Цель работы системы РЗА – минимизация технических и экономических потерь после возникновения аварийных ситуаций с электротехническим оборудованием.

Система постоянного диагностического мониторинга, предназначенная для оперативной оценки остаточного технического ресурса оборудования, выявления дефектных состояний на ранних стадиях.

Цель работы СДМ – перевод непредсказуемых аварийных ситуаций с оборудованием в разряд предсказуемых, организация эффективного управления ремонтами и обслуживанием.

ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИЙ

Системы диагностического мониторинга (СДМ) предназначены для решения четырех основных задач управления эксплуатацией оборудования:

1. Практическое внедрение системы обслуживания высоковольтного оборудования по техническому состоянию. Благодаря наличию встроенных экспертных систем большинство СДМ позволяют оперативно, и в автоматическом режиме, контролировать текущее техническое состояние, правильно формировать стратегию управления эксплуатацией.

2. Прогнозирование изменения качественных и количественных параметров состояния оборудования. Знание этих тенденций позволяет персоналу оптимально формировать планы и графики проведения ремонтных и сервисных работ, проводя их в нужные сроки и в необходимом (и достаточном!) объеме.

3. Комплексная сравнительная оценка состояния оборудования в единой технологической цепи (транзита) энергетического предприятия. Формирование графиков и объемов проведения ремонтных работ исходя из принципа устранения «слабого звена» транзита.

4. Планирование затрат на повышение надежности работы транзита электроэнергии исходя из принципов управления оборудованием по техническому состоянию, устранения «слабого звена» транзита, с учетом прогнозных изменений технического состояния оборудования.

Две первые задачи использования СДМ являются локальными, а две вторые – комплексными, учитывающими состояние всей технологической цепи транзита.

ВЫБОР И НОРМИРОВАНИЕ ПЕРВИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ СИСТЕМ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Эффективность работы и стоимость СДМ во многом зависит от того, насколько корректно будет сформирован набор первичных параметров, контролируемых системой мониторинга, и от того, насколько правильно сформированы пороги и критерии состояния.

Первичные параметры для системы мониторинга

Конструктивные параметры оборудования, обычно задаваемые для режима «off-line»

Эксплуатационные критерии, зависящие от конкретных условий эксплуатации

Синтезированные и комплексные параметры, описывающие состояние целых подсистем

Способы нормирования первичных параметров СДМ

По данным производителя контролируемого оборудования

На основании эксплуатационной документации предприятия

Адаптивная настройка пороговых значений, определяемая на основе опыта эксплуатации

Целый ряд параметров и критериев, активно используемых при оценке состояния оборудования в режиме «off-line», не могут быть применены для систем мониторинга, или же их значения, полученные при периодических испытаниях, отличаются от значений в рабочих режимах работы оборудования.

ВЫХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ, ОПИСЫВАЮЩИЕ СОСТОЯНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ. КОМПЛЕКСНЫЙ ПАРАМЕТР ТЕКУЩЕГО ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЯ

Критические параметры технического состояния контролируемого оборудования (измеренные и расчетные), непосредственно определяющие возможность дальнейшей эксплуатации оборудования.

Эти параметры имеют максимальную значимость и наиболее активно используются в системе управления ремонтами и сервисным обслуживанием.

Условно - критические параметры технического состояния контролируемого оборудования (измеренные и расчетные), косвенно влияющие на возможность дальнейшей эксплуатации оборудования. Обычно сюда же входят расчетные параметры, полученные на основании работы экспертных систем.

Не критические параметры технического состояния контролируемого оборудования (измеренные и расчетные), не оказывающие прямого влияния на возможность дальнейшей эксплуатации оборудования.

Комплексный параметр текущего технического состояния (ТТС) оборудования (текущий остаточный ресурс), описывающий состояние оборудования в момент проведения измерений, определяющий необходимость в проведении сервисных и ремонтных воздействий.

Многовекторный анализ – основа для достоверного технического заключения о состоянии оборудования

Заключение о техническом состоянии любого высоковольтного оборудования может базироваться только на комплексном подходе к анализу имеющейся первичной информации от датчиков.

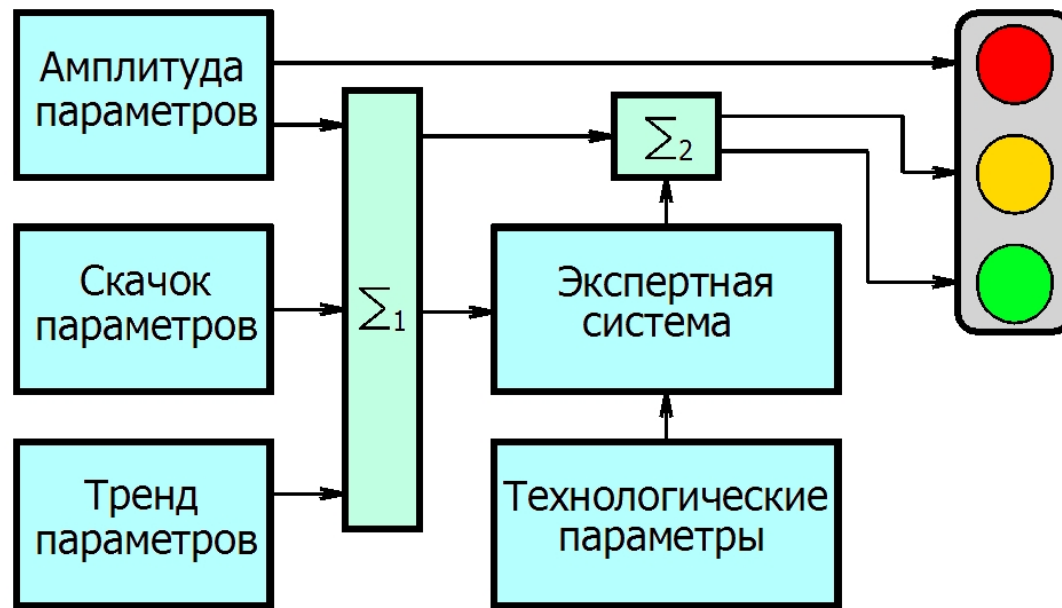
При наиболее общем проведении диагностики высоковольтного оборудования необходимо использовать пятиступенчатый алгоритм оценки состояния:

1. Оценка общего технического состояния высоковольтного оборудования по амплитуде измеренных и расчетных параметров.
2. Контроль быстрых и скачкообразных изменений контролируемых и расчетных параметров.
3. Контроль медленных и монотонных изменений параметров оборудования, анализ временных трендов.
4. Использование комплексных результатов работы специализированных экспертных диагностических систем.
5. Корреляция всех полученных результатов со значениями и текущими изменениями технологических и эксплуатационных параметров.

Итоговое техническое заключение никогда не является простой суммой заключений по каждому из пяти пунктов, каждый последующий пункт может дополнять и усиливать предыдущее заключение, а может даже и отрицать его.

Формирование итогового заключения можно представить в виде суммирования пяти векторов, направление и модуль каждого из которых влияет на конечный диагноз.

АЛГОРИТМ ОПЕРАТИВНОГО ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ О ТЕХНИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ КОНТРОЛИРУЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ

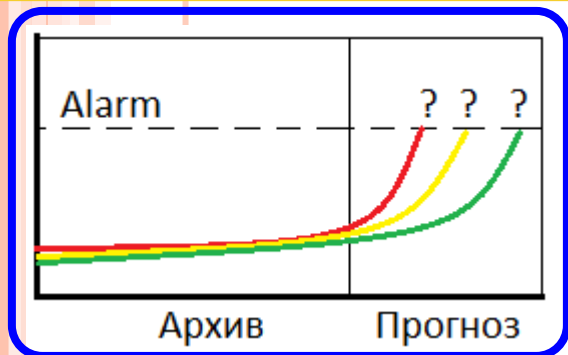


Оборудование переводится системой мониторинга в категорию «предаварийное состояние» (красный сигнал светофора) только при недопустимо высоком уровне критических параметров (при наличии пороговых значений). Эта функция системы мониторинга дополняет работу систем РЗА.

Зеленый сигнал светофора включен системой мониторинга тогда, когда нет амплитудного превышения параметров, не было скачка, отсутствует временной тренд увеличения параметра. При этом экспертная диагностическая система по текущим значениям первичных параметров не выявила признаков дефектного состояния.

Желтый сигнал светофора зажигается при определенных сочетаниях первичных параметров и функций состояния оборудования.

ИТОГОВЫЙ УРОВЕНЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА - ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ



Определение допустимого интервала безаварийной работы оборудования во многом определяет стратегию управления эксплуатацией.

Ни одна из практических математических моделей не дает возможность абсолютно достоверно описать дальнейшее изменение технического состояния электротехнического оборудования. Причины:

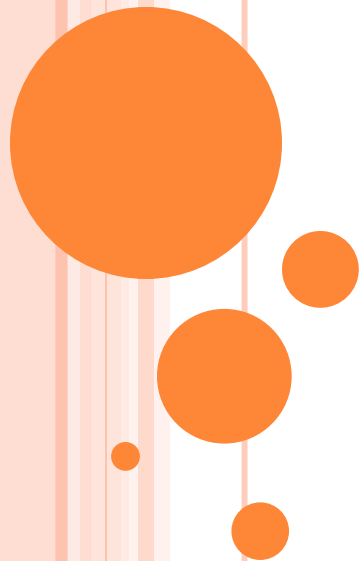
- Сложность, многоплановость и связанность различных процессов в оборудовании.
- Зависимость физических процессов в оборудовании от условий эксплуатации и режимов работы.
- Различная скорость изменения состояния оборудования на разных этапах эксплуатации, связанная с развитием и саморазвитием дефектов.

В результате очень сложно точно описать изменение состояния оборудования в будущие периоды времени, велико влияние непрогнозируемых воздействий.

Единственный возможный способ учета в математических моделях изменяющихся условий эксплуатации, возникающих и саморазвивающихся дефектов, является использование адаптивных алгоритмов, автоматически перенастраивающих коэффициенты и параметры модели.

Каждый новый зарегистрированных замер параметров всегда имеет наивысшую достоверность, и дает возможность учитывать изменяющееся состояние контролируемого оборудования.

Системы диагностического мониторинга силовых и измерительных трансформаторов



СОСТАВ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЙ ВЫСОКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИ МИНИМУМЕ ЗАТРАТ

Наиболее важными техническими параметрами трансформаторного оборудования, контроль которых должна осуществлять система диагностического мониторинга, являются:

- Состояние изоляционной системы трансформатора, включающей в себя изоляцию высоковольтных вводов, изоляцию обмоток, состояние изоляционного масла в баке трансформатора.

- Температурное состояние трансформатора, особенно величины температур критических точек в обмотках, что связано с работой системы охлаждения и технологическими режимами работы.

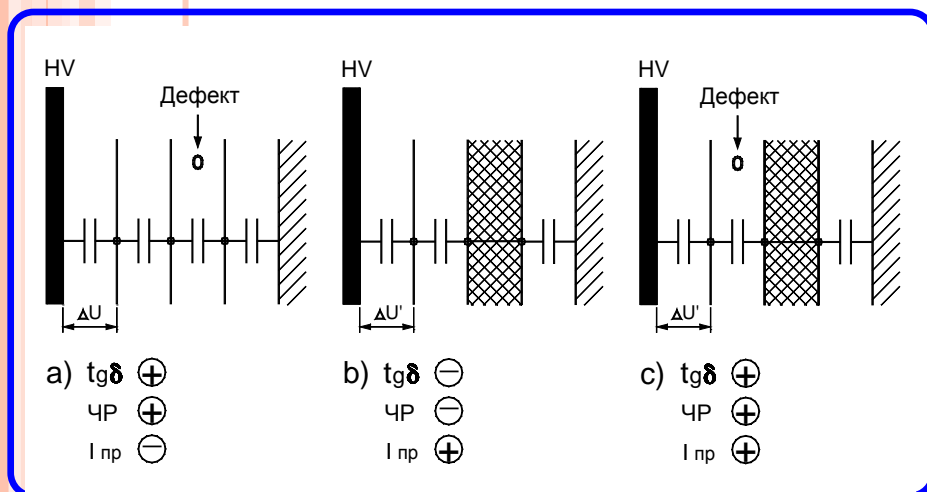
- Электромеханическое состояние трансформатора, которое обычно практически полностью определяется техническим состоянием встроенного переключающего устройства РПН.

Эти параметры состояния трансформатора являются критическими, и обычно однозначно определяют возможность дальнейшей эксплуатации оборудования.

В состав систем мониторинга должно обязательно входить экспертное ядро, комплексно оценивающее состояние трансформатора. Чем интеллектуальнее эта экспертная часть, тем выше эффективность работы СДМ, причем при меньшем объеме первичной информации, т. е. при меньшей цене поставки системы.

Перегрузка системы мониторинга другими технологическими и второстепенными параметрами мало влияет на ее общую эффективность, а только увеличивает ее стоимость и снижает надежность работы.

ОСОБЕННОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ, РАЗВИТИЯ И ДИАГНОСТИКИ ДЕФЕКТОВ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВВОДАХ С ТВЕРДОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ



Этап 1. Этап зарождения, когда локальный дефект в изоляции возникает на одном участке одного изоляционного промежутка.

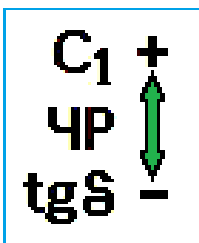
Первым признаком возникновения дефекта на этом этапе является появление частичных разрядов. Чем шире зона дефекта, тем больше количество разрядов примерно одинаковой величины.

Величина тангенса угла потерь в изоляции изменяется мало, так дефектная зона с повышенными потерями невелика.

Этап 2. За счет постепенного развития зоны дефекта изоляционный промежуток, рано или поздно, перекрывается. Увеличивается емкость ввода C_1 и ток проводимости через изоляцию. Тангенс угла потерь изоляции ввода уменьшается до нормального значения (!). Частичных разрядов нет (!).

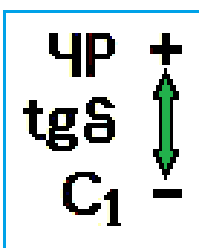
Этап 3. За счет увеличенного напряжения на оставшихся изоляционных промежутках изоляции ввода возникает новая локальная дефектная зона. Снова повторяется этап 1, когда появляются частичные разряды, изменяется тангенс угла потерь, но все это происходит уже при другом, повышенном токе проводимости изоляции.

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ДЕФЕКТОВ И ПАРАМЕТРЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВВОДОВ С ТВЕРДОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ



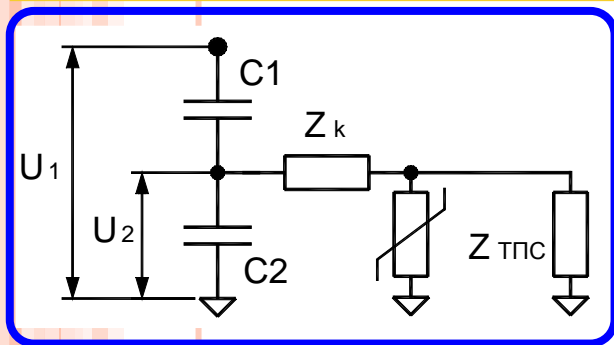
Для проведения диагностических работ в режиме «on-line», и для организации непрерывного мониторинга технического состояния вводов с RIP изоляцией, необходимо уделять основное внимание наиболее информативным параметрам.

В режиме стационарного мониторинга изоляции наиболее информативным параметром о состоянии ввода является величина емкости C_1 , определяемая по величине тока проводимости изоляции ввода. Следующим по информативности диагностическим фактором являются частичные разряды в изоляции ввода. Тангенс угла потерь в изоляции ввода, вне зависимости от того, измеряется ли он прямым, или косвенным, сравнительным способом, несет в себе наименьшую диагностическую информацию.



В режиме периодического мониторинга состояния вводов, когда измерения параметров изоляции производятся переносными приборами через определенные промежутки времени, наиболее информативными параметрами являются уровень и распределение частичных разрядов, и величина тангенса угла потерь. Для повышения достоверности проводимой диагностики тангенс угла потерь должен обязательно измеряться под полным рабочим напряжением. Результаты измерения тангенса угла потерь изоляции ввода, выполненное при пониженном испытательном напряжении, мало пригодны даже для проведения периодического мониторинга.

ПРОБЛЕМЫ ЗАЩИТЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ВЫВОДОВ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВВОДОВ ОТ ГРОЗОВЫХ И КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ



Из-за примерного равного соотношения величин емкостей C_1 и C_2 , в отличие от вводов с изоляцией бумага – масло, в вводах с твердой изоляцией напряжение на измерительном выводе может равняться половине приложенного, что очень опасно при любом импульсном воздействии на ввод.

Во всех схемах защиты вводов, используемых в настоящее время на практике, защитные разрядник и варистор располагаются не рядом со вводом, а непосредственно в шкафу ТПС. В результате они подключены к измерительному выводу через соединительный кабель, имеющий достаточно большое индуктивное сопротивление на высоких частотах. В результате импульсное напряжение на измерительном выводе может достигать очень опасных значений.

Кроме того, в цепях защиты используются цепи с последовательно включенными разрядником и варистором, что еще более повышает напряжение на измерительном выводе.

Для обеспечения надежной защиты измерительных выводов для вводов с твердой изоляцией все защитные элементы, особенно с частотно – зависимыми параметрами, должны располагаться непосредственно внутри датчика, монтируемого на вводе, а не в коммутационном шкафу. От конструкции датчика зависит, насколько надежно будет защищен измерительный ввод от высокочастотных коммутационных импульсов.

ПЕРВИЧНЫЕ ДАТЧИКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТОКОВ ПРОВОДИМОСТИ ВВОДОВ С ТВЕРДОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ



К датчикам, используемым для измерения параметров изоляции ввода под рабочим напряжением, монтируемым на измерительных выводах, предъявляется целый ряд жестких технических требований:

- Датчик должен позволять измерять все три главных диагностических параметра, описывающих техническое состояние ввода – емкость $C1$, уровень и распределение частичных разрядов в изоляции, величину тангенса угла потерь изоляции.
- Датчик должен оперативно и надежно монтироваться на измерительном выводе. Это является достаточно сложной задачей, так как большинство фирм - производителей вводов, применяют свои, специально разработанные конструкции посадочных мест для датчиков.
- В схему измерительного датчика обязательно должна быть встроена система защиты от высокочастотных импульсных перенапряжений. Для обеспечения необходимой надежности работы ввода система защиты должна быть, как минимум, дублированной.
- Датчик должен обеспечивать надежную защиту измерительного вывода от проблем, возникающих при обрыве сигнального кабеля, при помощи которого подключается система защиты и мониторинга состояния ввода. Эта защита также должна быть дублированной.

«R1500» – СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРЕХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВВОДОВ ПО ТОКАМ ПРОВОДИМОСТИ



Система мониторинга трех вводов по токам проводимости. Работает по балансной схеме, является микропроцессорным аналогом КИВ-500, но работает с вводами любого напряжения.

Благодаря наличию встроенных высокоэффективных фильтров прибор «R1500» успешно работает при очень высоком уровне помех и синхронных гармоник, даже на согласующих конверторных подстанциях DC – AC на границе Канада - США.

Производится с 2000 года без каких – либо модификаций. Имеется 6 канальная версия прибора. Является сравнительно дешевой и эффективной системой мониторинга и диагностики, особенно для вводов с изоляцией бумага – масло.

Прибор позволяет не только регистрировать общий небаланс токов проводимости трех вводов, но может выявлять дефектный ввод, и выявлять причину возникновения небаланса. Позволяет выявлять вводы, параметры которых зависят от температуры, что чаще всего бывает при повышенном влагосодержании в масле ввода.

- Прибор является разработкой фирмы «Вибро-Центр». В настоящее время выпущено и смонтировано во всем мире несколько около 2 тысяч приборов этой марки.

«КИВ-500/110» – РЕЛЕ ЗАЩИТЫ И КОНТРОЛЯ ТРЕХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ВВОДОВ ПО ТОКАМ ПРОВОДИМОСТИ



Модернизированная версия системы мониторинга и защиты вводов «R1500», реализующая как балансную схему, так и классическую схему измерения «истинных» тангенсов углов потерь вводов с использованием сигналов от трансформаторов напряжения.

Предназначена для создания локальных систем мониторинга и защиты вводов с различными типами изоляции, имеющих любое рабочее напряжение.

Прибор «КИВ-500/110» является полностью микропроцессорным устройством, в котором все алгоритмы работают с цифровыми данными, не требует использования согласующих трансформаторов типа ТПС. Это позволяет повысить общую помехозащищенность и устойчивость работы системы защиты, что очень важно для реализации функции защиты, так как позволяет уменьшить количество ложных срабатываний.

Достоинством КИВ-500/110, по сравнению с КИВ-500, являются:

- Возможность организации защиты вводов с любым рабочим напряжением.
- Реализация алгоритмов защиты вводов с любым типом изоляции.
- Отсутствие в измерительной цепи индуктивных элементов.
- Использование в датчиках защиты на напряжение 100 В.

«ТІМ-3» – РЕЛЕ ЗАЩИТЫ И МОНИТОРИНГА ТРЕХ ВВОДОВ ТРАНСФОРМАТОРА ПО ТОКАМ ПРОВОДИМОСТИ И ЧАСТИЧНЫМ РАЗРЯДАМ



Система мониторинга силового трансформатора «ТІМ-3» реализует комплексный подход к использованию методов контроля состояния вводов:

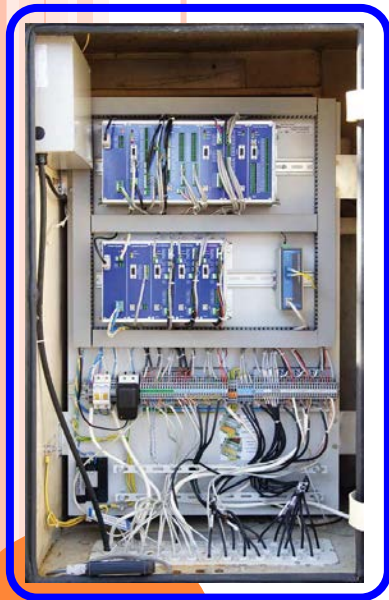
- Реализует функции мониторинга и защиты вводов по параметрам токов проводимости изоляции.
- Позволяет измерять величину тангенса углов потерь в изоляции вводов как по балансной схеме, так и по схеме измерения истинных тангенсов.

Достоинством прибора «ТІМ-3» является встроенная система мониторинга и диагностики состояния изоляции вводов и изоляции обмоток трансформатора по параметрам частичных разрядов. При регистрации частичных разрядов в силовых трансформаторах, что особенно важно при организации мониторинга вводов с твердой изоляцией, в приборе используются очень эффективные методы борьбы с высокочастотными помехами.

При помощи «ТІМ-3» дополнительно контролируется общее состояние системы охлаждения трансформатора, для чего используются температурные датчики, контролируется нагрузка трансформатора, используются упрощенные адаптивные математические модели нагревания и охлаждения.

Система имеет европейский сертификат СЕ, прошла все необходимые метрологические испытания в Европе.

«TDM» – МОДУЛЬНАЯ КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ



Универсальная комплексная система мониторинга силовых трансформаторов, по заказу оперативно набираемая из 14 функциональных модулей различного назначения. Максимальное количество модулей различных типов, используемое в одной системе, может достигать 20.

Данное техническое решение наиболее эффективно в том случае, когда необходимо создание систем мониторинга мощных и ответственных силовых трансформаторов, имеющих нестандартное исполнение. Для создания типовых систем мониторинга трансформаторного оборудования используются стандартные наборы модулей.

При сборке системы марки «TDM» выбранные модули легко подключаются на общую шину, и автоматически программно интегрируются в систему, и управляются главным модулем мониторинга.

Современные средства обмена информации позволяют легко интегрировать систему «TDM» в общую систему АСУ-ТП подстанции по протоколу МЭК 61850. К настоящему моменту сделано около 400 установок системы TDM.

Для работы на верхнем уровне мониторинга трансформаторного оборудования предназначено программное обеспечение «iNVA», работающее со всеми системами мониторинга производства «DIMRUS», имеющее встроенное универсальное экспертное ядро.

«TDM-3F» – УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ВВОДОВ И КОНТРОЛЯ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В UHF ДИАПАЗОНЕ



Высокий уровень наведенных внешних помех, особенно коронных разрядов, чрезвычайно затрудняет проведение измерений частичных разрядов в силовых трансформаторах. Обычно уровень помех в высоковольтных трансформаторах превышает уровень контролируемых частичных разрядов в десятки раз.

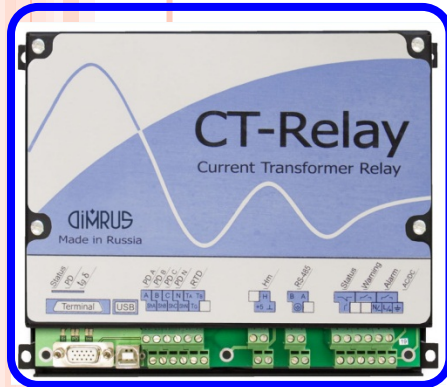
Наиболее эффективным способом устранения влияния коронных разрядов является использование датчиков частичных разрядов, работающих в СВЧ (UHF) диапазоне частот. Это связано с тем, что импульсы коронных разрядов имеют частоту, не превышающую 100 – 200 МГц. Если регистрировать импульсы в более высокочастотном диапазоне, то там коронные разряды отсутствуют.

Система «TDM-3F» предназначена для проведения регистрации частичных разрядов в UHF диапазоне частот, от 300 до 1500 МГц.

Система «TDM-3F» является системой мониторинга минимального объема – контроль токов проводимости 6 вводов, регистрация частичных разрядов, контроль температурных режимов работы трансформатора, контроль состояния РПН, мониторинг вибрационных процессов.

Система «TDM-3F» может также входить функциональным модулем в состав комплексной системы мониторинга «TDM».

«CT-RELAY» – МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА



Для мониторинга и диагностики состояния изоляции измерительных трансформаторов тока используется диагностическая система марки «CT-Relay».

Она предназначена для контроля токов проводимости изоляции, и частичных разрядов, для чего на измерительном трансформаторе устанавливаются специализированные датчики марки DB-2/ТТ.

Измерение параметров изоляции трех трансформаторов тока производится по балансной схеме.

Для связи с системой АСУ-ТП подстанции в системе используется изолированный интерфейс RS-485.

Технические данные прибора «CT-Relay»

| Технический параметр | Значение |
|--|-------------|
| Количество контролируемых фаз ТТ | 3 |
| Рабочее напряжение трансформаторов, кВ | 110 ÷ 750 |
| Диапазон токов проводимости экранов ТТ, мА | до 180 |
| Точность измерения небаланса трехфазных токов проводимости ТТ, % | 0,1 |
| Частотный диапазон регистрируемых импульсов ЧР, МГц | 1 ÷ 15 |
| Габаритные размеры «CT-Relay» в монтажном шкафу, мм | 400x530x250 |
| Диапазон рабочих температур, без подогрева, °С | -40 ... +50 |

«CCVT-RELAY» – МОНИТОРИНГ И ЗАЩИТА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ



Система «CCVT-Relay» предназначена для организации непрерывного мониторинга и организации защиты высоковольтных измерительных трансформаторов тока и измерительных трансформаторов напряжения. Контролируемым параметром состояния является небаланс токов проводимости изоляции.

Для получения дополнительной диагностической информации о состоянии изоляции ТТ и ТН могут быть использованы результаты измерения частичных разрядов в изоляции. Для этого на приборе системы мониторинга предусмотрены специальные разъемы для оперативного подключения переносных приборов измерения ЧР.

Важным достоинством системы «CCVT-Relay» является наличие в одном измерительном приборе входов для контроля состояния шести измерительных трансформаторов. К ним могут быть подключены как однотипные трансформаторы, например, шесть фаз ТТ, или шесть фаз ТН. Возможны комбинации по три фазы ТТ, и три фазы ТН.

Такое универсальное использование одного измерительного прибора системы мониторинга для шести фаз измерительных трансформаторов уменьшает удельную стоимость системы мониторинга и повышает точность получаемых диагностических заключений.

МОНИТОРИНГ И ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УСТРОЙСТВ РПН СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОД РАБОЧИМ НАПРЯЖЕНИЕМ



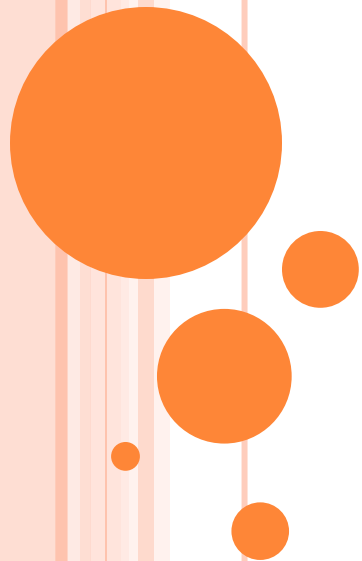
Регулировочный переключатель РПН является наиболее ответственным электромеханическим устройством силового трансформатора. Роль его возрастает в связи с повышением требований к качеству электрической энергии.

В режиме «on-line» мониторинга доступны несколько способов контроля состояния РПН:

- Статистический метод контроля – регистрация количества выполненных коммутаций.
- Регистрация кривой изменения потребляемого тока приводного электродвигателя для контроля состояния механической части РПН.
- Регистрация вибрационных процессов в баке РПН в процессе каждой коммутации – контроль состояния механической части по величине динамических ударов в приводе.
- Сравнительный контроль температуры бака трансформатора и бака РПН – контроль наличия перегревов контактов избирателя, в результате которых температура бака РПН повышается.
- Контроль разрядных процессов в баке РПН.

На рисунках приведены системы мониторинга РПН марки «TAPGUARD 260» и «TAP-Monitor».

Системы диагностического мониторинга и диагностики высоковольтных кабельных линий



МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ, ДОСТУПНЫЕ В РАБОЧИХ РЕЖИМАХ

Наиболее часто на практике применяют два метода контроля состояния высоковольтных кабельных линий с СПЭ изоляцией:

- **Контроль температуры кабельной линии** при помощи оптического волокна, проложенного в кабеле под оболочкой еще на заводе изготовителе (иногда оптоволоконный кабель прокладывают по поверхности силового кабеля, или даже на некотором удалении от него, что менее эффективно). Метод позволяет контролировать температуру вдоль всей линии, диагностируя места наличия локальных перегревов, обычно в зоне дефектов.

- **Контроль частичных разрядов в изоляции кабеля и в муфтах.** Данный метод имеет высокую чувствительность к подавляющему большинству дефектов, возникающих в изоляции кабельной линии, причем на самых ранних стадиях их возникновения и развития. Электрический пробой изоляции происходит или в зоне возникновения «водных деревьев», или в зоне, где возник и развивается локальный дефект изоляции. И в том, и в другом случае электрический пробой высоким напряжением происходит раньше, чем происходит локальный нагрев и термическая деградация изоляции.

В идеальном случае кабельная линия должна оснащаться комплексной системой мониторинга, включающей в себя оба метода диагностики состояния изоляции.

ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО МОНИТОРИНГА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПРИ ПОМОЩИ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

Волоконно-оптическая система измерения температуры (Distributed Fiber-Optic Sensing) представляет собой регистрирующий модуль с подключенным к нему оптическим кабелем-сенсором, представляющий собой распределенный датчик температуры с дискретизацией порядка 1 метр.

Принцип работы системы основан на регистрации рамановского рассеяния оптического света внутри волоконно-оптического кабеля. Свет отражается на отдельных участках оптоволоконного кабеля, и регистрируется оптическим приемником. Поскольку изменение температуры влияет на характеристику отраженного света, система выдает распределенную температуру кабеля.

Системы мониторинга такого типа, предназначенные для контроля состояния высоковольтных кабелей, поставляются несколькими фирмами (например Lios, Sensa и т. д.), а также и отечественными (Инверсия-Сенсор, Седатэк).

Системы температурного мониторинга более правильно следует считать системами технологического мониторинга, так как они позволяют оптимизировать нагрузку работы кабельной линии исходя из реального температурного режима работы высоковольтного кабеля.

Возможности диагностирования дефектов в изоляции кабельной линии при помощи контроля температуры очень ограничены, так как даже предпробойное состояние высоковольтной изоляции из сшитого полиэтилена очень редко сопровождается тепловыми нагревами. Диагностическая информативность таких систем мониторинга недостаточна для организации обслуживания кабелей по техническому состоянию, хотя фирмы поставщики об этом уверенно пишут в своих рекламных буклетах.

СИСТЕМА ТЕМПЕРАТУРНОГО МОНИТОРИНГА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ «ASTRO»



Волоконно-оптическая система измерения температуры «ASTRO» производства фирмы «Инверсия-Сенсор» предназначена для независимого использования, и в составе комплексов КМК-500, в которых дополнительно производится измерение частичных разрядов при помощи акустических датчиков (приборы ADM-9) и высокочастотных трансформаторов тока (приборы CDR).

| | |
|--|-----------------------|
| Диапазон измерения температуры, °С | -55 ... +400 |
| Время измерения температуры, сек | от 5 |
| Точность измерения, °С | от 0,01 |
| Пространственное разрешение, м | от 1 |
| Длина чувствительного элемента (оптоволокна), км | до 10, опция до 20 |
| Количество измерительных каналов | 1, 4, 8 |
| Длина волны излучения, нм | 1550 |
| Тип волокна | ММ |
| Температура эксплуатации, °С | 0...+40 |
| Влажность окружающей среды, % | до 80 |
| Напряжение питания, В | 220 |
| Потребляемая мощность, Вт | 40 |
| Размеры прибора, мм | 230*320*70 |
| Вес измерительного прибора, кг | 3,0 |

КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ МУФТ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПРИ ПОМОЩИ АКУСТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Это один из способов регистрации частичных разрядов в изоляции, в котором используются акустические датчики ультразвукового диапазона частот.

Такие акустические датчики обычно монтируются непосредственно на поверхности концевых и соединительных муфт, хотя иногда используются и бесконтактные акустические датчики – микрофоны. Акустические датчики позволяют регистрировать акустические импульсы от частичных разрядов непосредственно в зоне дефектов в изоляции.

Наибольшим недостатком контроля состояния кабельных линий при помощи акустических датчиков является приемлемая чувствительность только в непосредственной близости от места установки датчика. Поскольку акустические импульсы в кабельной линии очень быстро затухают, этот метод нечувствителен к дефектам в изоляции самого кабеля. По этой причине акустические датчики используются только для локального контроля состояния муфт, на которых они смонтированы.

Вторым существенным недостатком использования акустических датчиков для регистрации частичных разрядов является их недостаточная защита от помех, особенно в условиях промышленных предприятий, рядом с дорогами, при прокладке по кабельным эстакадам и т. д. В этих случаях уровень внешних помех может превышать информативный уровень частичных разрядов в десятки раз, что резко снижает реальную чувствительность таких систем мониторинга и диагностики, и снижает эффективность их работы до критически недопустимого уровня.

МОНИТОРИНГ И ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА



Вторым типом датчиков частичных разрядов, наиболее часто применяемым для диагностики кабельных линий, являются высокочастотные трансформаторы тока, обозначаемые в литературе как HFCT и RFCT. Они представляют собой измерительные трансформаторы тока, в которых использован не ферромагнитный сердечник, а сердечник из высокочастотного феррита.

Частотные свойства таких датчиков определяются параметрами ферритового сердечника, наиболее эффективно их применение для частот от 0,5 до 15,0 МГц.

При создании систем мониторинга и диагностики кабельных линий на основе датчиков типа RFCT их устанавливают на поводке (шине) заземления экрана кабеля. Если экран кабеля заземлен несколькими проводниками, то всех «свободных» поводках заземления устанавливаются пассивные фильтры высокочастотных сигналов.

Поскольку по проводникам заземления возможно протекание больших токов, как импульсных, так и промышленной частоты, в «кабельных модификациях» датчиков типа RFCT применяются специальные меры, позволяющие избегать больших насыщений сердечника, снижающих чувствительность датчика к частичным разрядам.

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА АППАРАТУРЫ РЕГИСТРАЦИИ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ НА ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

Измерение частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования может производиться в трех диапазонах частот:

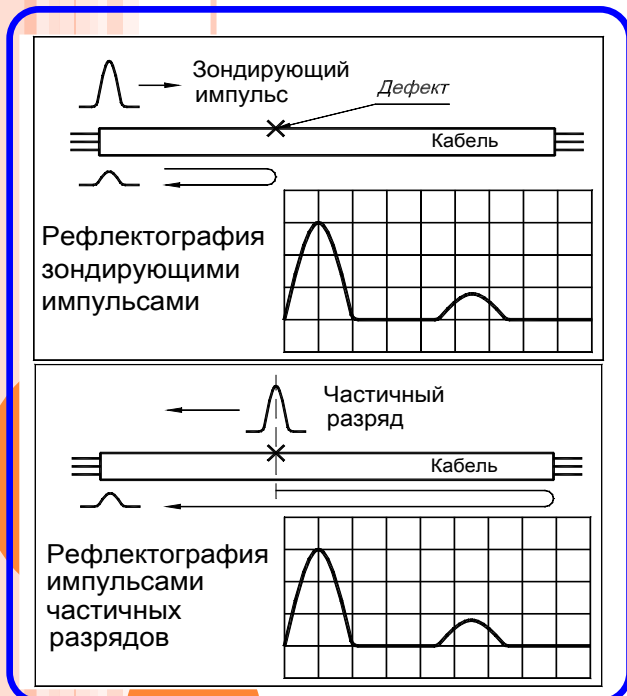
- Ультразвуковом диапазоне, до 300 кГц;
- Высокочастотном диапазоне, до 100 МГц;
- Сверхвысокочастотном диапазоне, до 1,5 ГГц.

| Диапазон частот | Тип датчиков | Способ монтажа | Чувствит. |
|-----------------|---|---------------------------------|--------------|
| U (ультразвук) | Пьезодатчики, микрофоны | Контактно и безконтактно | ± 1 м |
| HF (ВЧ) | HF трансформаторы Конденсаторы связи | На земляных и токоведущих шинах | ± 2000 м |
| UHF (СВЧ) | Электромагнитные антенны | Бесконтактно | ± 20 м |

Если предполагается производить контроль состояния изоляции только муфт, на которых и смонтированы датчики частичных разрядов, то в создаваемой системе мониторинга можно использовать аппаратуру, работающую в любом диапазоне частот.

Если предполагается использовать систему мониторинга для контроля состояния концевых муфт, соединительного кабеля, и соединительных муфт, то наилучшие результаты получаются при использовании аппаратуры, работающей в ВЧ диапазоне частот.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В СПЭ ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПО ЧАСТИЧНЫМ РАЗРЯДАМ



Отличие данного метода рефлектографии от «стандартного» заключается в том, что в качестве тестирующего импульса используется не импульс от встроенного в прибор тестового генератора, а импульс частичного разряда, возникающего в зоне дефекта изоляции.

В месте наличия дефекта кабельной линии возникает частичный разряд, и, соответственно, электромагнитный импульс. Этот импульс начинает распространяться по кабельной линии в обе стороны, в направлении концевых разделок кабельной линии.

Прямой импульс будет сразу зарегистрирован прибором системы мониторинга. Противоположный импульс, приблизившись к правому концу кабеля отразится, и отраженный импульс, меньшей амплитуды, будет двигаться в обратном направлении. В тот момент, когда импульс придет к левому концу кабеля, он также будет зарегистрирован измерительным прибором.

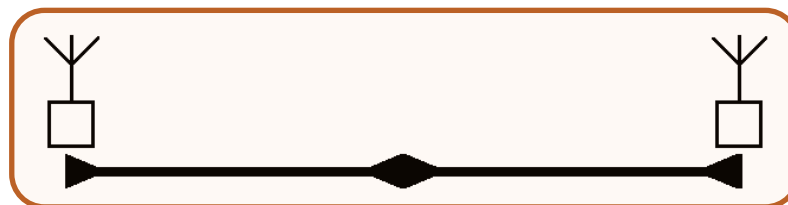
Разница во времени прихода импульса к прибору равняется удвоенному времени движения от места дефекта к противоположному концу кабельной линии.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В СПЭ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЕЙ ПО ЧАСТИЧНЫМ РАЗРЯДАМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИГНАЛОВ GPS

Для более длинных линий, длиной от 1 км и более, зарегистрировать отраженный от противоположного конца линии импульс не всегда удастся из-за снижения его амплитуды при отражении и большом затухания при движении по контролируемой линии.

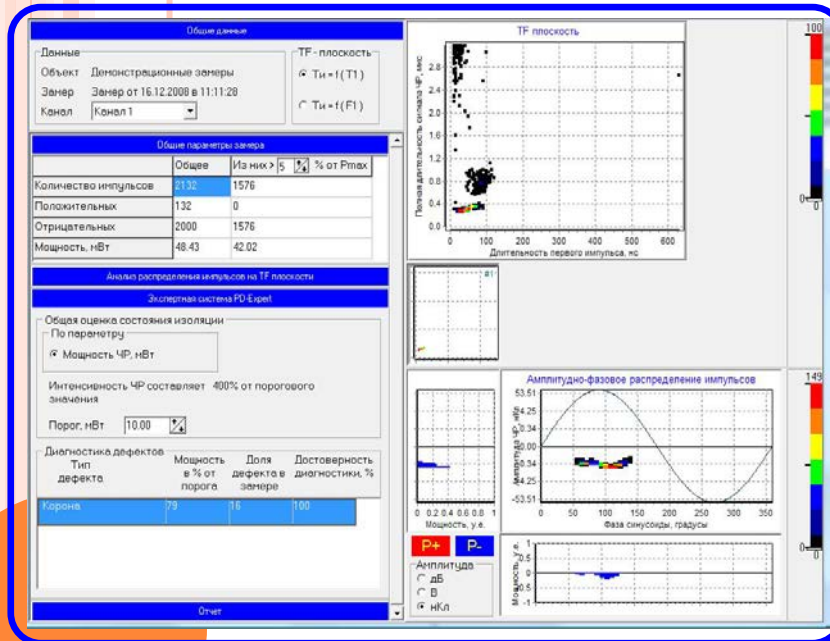
Для повышения чувствительности системы мониторинга и более точной локации мест возникновения дефектов на концах линии устанавливают два регистрирующих прибора, работу которых принудительно синхронизируют.

Оптимальным способом синхронизации приборов является использование сигналов системы глобального позиционирования GLONASS/GPS. При помощи этих сигналов можно получить синхронизацию процесса регистрации импульсов частичных разрядов на уровне ± 60 нс.



Если импульс возникает в центре линии, то к обоим концам линии он придет одновременно. Если импульс возникает ближе к одному концу линии, то туда он придет раньше, чем к другому концу линии. Разница во времени прихода импульса к двум регистрирующим определяется удвоенным расстоянием от центра линии до места возникновения дефекта.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПА ДЕФЕКТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНАЛИЗА ЧАСТОТНЫХ СВОЙСТВ ИМПУЛЬСОВ РАЗРЯДОВ И СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗОВ ДЕФЕКТОВ



Завершающей фазой работы системы мониторинга является проведение экспертной оценки зарегистрированных импульсов частичных разрядов - проведение оперативной экспертной диагностики типов выявленных дефектов в изоляции кабельной линии.

Такая функция системы возможна при наличии встроенной в программное обеспечение автоматизированной экспертной системы, например, системы «PD-Expert» разработки фирмы «DIMRUS».

При помощи экспертной диагностической системы PD-Expert можно:

- Эффективно отстраиваться от высокочастотных помех различного типа при помощи алгоритмических средств.
- Определять типы дефектов, выявленных по итогам замеров ЧР, используя образы дефектов, хранящиеся в памяти программы.
- Разделять частичные разряды от нескольких типов дефектов, или от одинаковых дефектов, но возникших в разных зонах изоляции.

CDM-30 - МНОГОКАНАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ С РАБОЧИМ НАПРЯЖЕНИЕМ 6 – 10 кВ

Система мониторинга марки «CDM-30» (Cables Diagnostics Monitor) предназначена для постоянного контроля технического состояния изоляции 15 – 45 кабельных линий под рабочим напряжением. Все контролируемые кабельные линии должны быть подключены на одном объекте (КРУ) на расстоянии не более 100 метров между собой и от прибора системы мониторинга. В качестве датчиков частичных разрядов в системе используются высокочастотные трансформаторы тока «RFCT-7».

Использование многоканальной системы мониторинга «CDM-30» позволяет, с одной стороны, снизить затраты на систему диагностики, рассчитываемые на один контролируемый кабель. С другой стороны, дает возможность эффективно отстраиваться от наводок высокочастотных помех на контролируемый кабель, которые в условиях больших КРУ очень значительны.

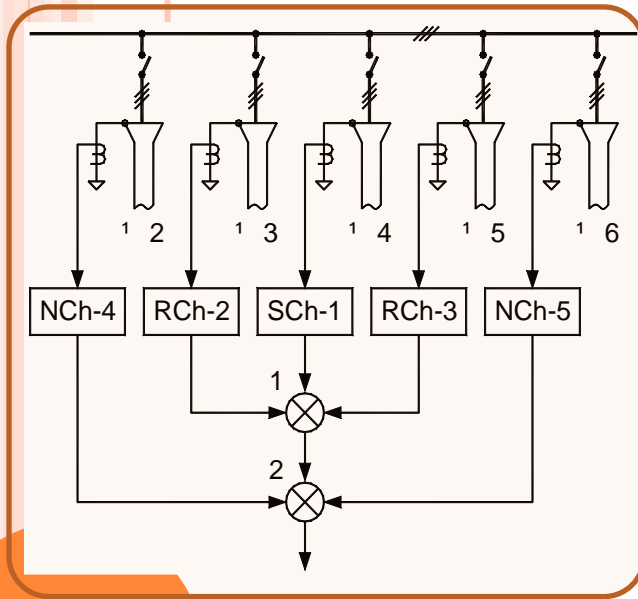
Достоинства системы CDM-30:

- Осуществляется непрерывный контроль состояния изоляции высоковольтной кабельной линии на основе метода регистрации и анализа уровня частичных разрядов.

- Производится автоматическая локализация мест возникновения дефектов в изоляции, выявленных системой по частичным разрядам, как в муфтах, так и в самом кабеле. Эта функция реализована для кабельной линии, находящейся под рабочим напряжением.



CDM-30 – ОТСТРОЙКА ОТ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПОМЕХ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ



Эффективность работы системы мониторинга состояния изоляции кабельных линий по частичным разрядам зависит от помехозащищенности используемой измерительной аппаратуры. Это связано с тем, что в сетях среднего и высокого напряжений количество помеховых сигналов, имеющих параметры, близкие к параметрам частичных разрядов, очень велико.

Чем лучше аппаратура может отстроиться от помех, тем выше будет достоверность получаемых диагностических заключений.

Наиболее эффективными способами отстройки от помех являются:

- Метод «time of arrival» - контроль разновременности времени прихода импульсов от одного разряда к нескольким датчикам, сигналы кот которых в измерительном приборе регистрируются синхронно. Чем большее расстояние проходит импульс «по силовому кабелю + по измерительному кабелю» к датчику, тем дальше дефект от этого датчика.
- Метод синхронного сравнения амплитуды сигналов от нескольких датчиков. Чем дальше датчик находится от дефекта, тем меньше будет амплитуда импульса.
- Метод контроля частотных параметров каждого импульса. Обычно этот метод реализуется в приборах в алгоритмическом виде.

CDR – СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПО ЧАСТИЧНЫМ РАЗРЯДАМ

Прибор марки «CDR» предназначен для организации мониторинга технического состояния высоковольтных кабельных линий с рабочим напряжением до 500 кВ. Основные возможности системы:

- Осуществляется непрерывный контроль состояния изоляции высоковольтной кабельной линии на основе метода регистрации и анализа уровня и распределения частичных разрядов. Определяется тип дефекта в изоляции и степень его развития.

- Производится автоматическая локализация мест возникновения дефектов в изоляции, выявленных системой по частичным разрядам, как в муфтах, так и в самом кабеле. Уникальность этой важной диагностической функции в системе заключается в том, что она реализована для кабельной линии, находящейся под рабочим напряжением.

- Непрерывное контактное измерение рабочей температуры фаз кабельной линии (концевых муфт), расположенных рядом с измерительным прибором системы мониторинга.

- Контроль величины уравнительных фазных токов, протекающих по экрану (броне) кабельной линии при помощи дополнительного датчика тока. Появление уравнительных токов отрицательно сказывается на нагрузочной способности линии из-за увеличенной температурной нагрузки на изоляцию.

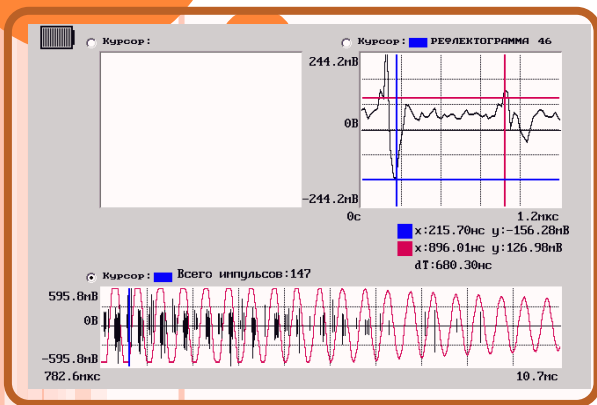
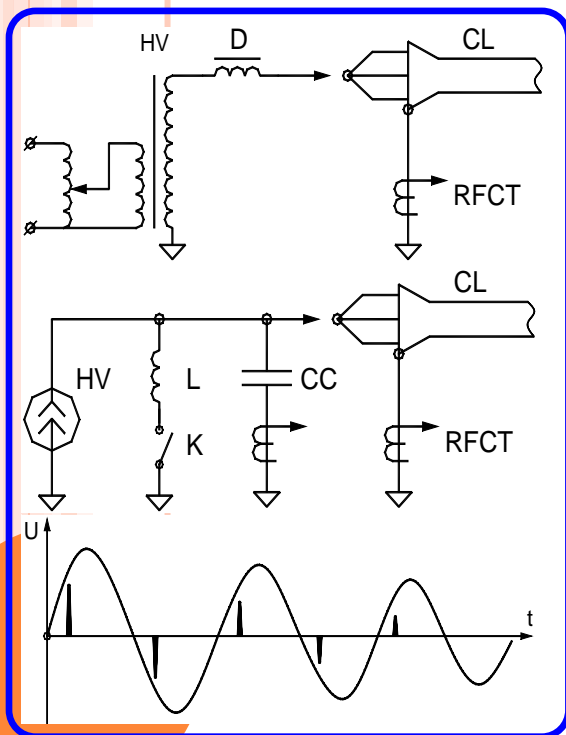


CDR – ОСОБЕННОСТИ РЕГИСТРАЦИИ И АНАЛИЗА ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Основные особенности системы «CDR» для мониторинга кабельных линий:

- Основу системы составляет универсальный шестиканальный измерительный прибор.
- Возможность регистрации прибором импульсов частичных разрядов в очень широком диапазоне частот, от 50 кГц до 1 ГГц. Если импульс возник рядом с датчиком, то его частота будет очень высокой, равной сотням МГц. Чем длиннее линия, тем более низкочастотные импульсы ЧР могут быть зарегистрированы в ней.
- В систему мониторинга марки «CDR» встроены два метода локализации места возникновения дефекта в изоляции кабельной линии. Один работает независимо на основе анализа рефлектограмм распределения импульсов частичных разрядов в линии, а второй анализирует разницу по времени прихода высокочастотного импульса от дефекта к «концам» контролируемой кабельной линии.
- В системе «CDR» реализована экспертная диагностическая система «PD-Expert», позволяющая в автоматическом режиме определять тип дефекта в изоляции, и степень его развития.
- Отдельные приборы марки «CDR» интегрируются в общую систему путем синхронизации процесса регистрации импульсов. Синхронизация приборов может быть осуществлена двумя способами. При расстояниях до 1 км синхронизация осуществляется при помощи оптических линий связи. Если длина линии более одного км, или отсутствует возможность прокладки оптической линии, то измерения можно синхронизировать по сигналам системы GPS/GLONASS. Для этого во все приборы встроены приемники сигналов GPS.

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПО ЧАСТИЧНЫМ РАЗРЯДАМ ПРИ ПОМОЩИ ПРИБОРОВ СЕРИИ CPDA



Переносная система марки «CPDA» («Cable Partial Discharge Analyzer») предназначена для диагностики состояния изоляции кабельных линий с использованием одного из современных методов, называемого в литературе OWTS (Oscillating Wave Test System).

Аппаратура, используемая в этом методе, по сравнению с другими системами испытания высоковольтной изоляции, отличается меньшими габаритами.

По итогам проведения тестов кабельных линий оперативно определяются:

- Интенсивность ЧР в изоляции, рассчитанная при номинальном напряжении.
- Связь момента возникновения частичных разрядов в изоляции в связи с фазой приложенного напряжения.
- Определение напряжения погасания частичных разрядов в изоляции.
- Определение типа и места дефекта, возникшего в изоляции кабельной линии.

«CPDA-15» – УСТАНОВКА С ВЫХОДНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 18 кВ



Установка марки «CPDA-15» является наиболее компактной и дешевой из всех существующих на рынке установок такого типа.

Установка «CPDA-15» максимально адаптирована к отечественным кабельным сетям, основу которых составляют линии с рабочим напряжением 6 – 10кВ.

Вся установка находится в общем транспортном чемодане, включая аккумуляторное питание, емкости которого хватает на работу в течение рабочей смены. Управление системой осуществляется с переносного компьютера по стандартному радио интерфейсу Wi-Fi.



Установка «CPDA-15», как и вся серия установок «CPDA», имеет государственную аттестацию, зарегистрирована в государственном реестре средств измерения. Установка имеет свидетельство об утверждении типа средств измерения RU.C.34.004.A №52612 «Приборы измерительные CPDA»

«CPDA-30» – УСТАНОВКА С ВЫХОДНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 30 кВ



Установка «CPDA-30» состоит из катушки индуктивности и блока управления с высоковольтным источником. Также имеет сетевое и аккумуляторное питание.

«CPDA-30» – УСТАНОВКА С ВЫХОДНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 60 кВ



Установка отличается модульностью высоковольтного блока – на высоковольтный источник оперативно устанавливаются блоки катушки индуктивности.

DKL + DIM-Loc – СИСТЕМА ПЕРИОДИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ



Периодический мониторинг технического состояния отличается от периодических испытаний высоковольтных кабельных линий тем, что производится под рабочим напряжением, и не требует изменений режимов работы кабельной линии.

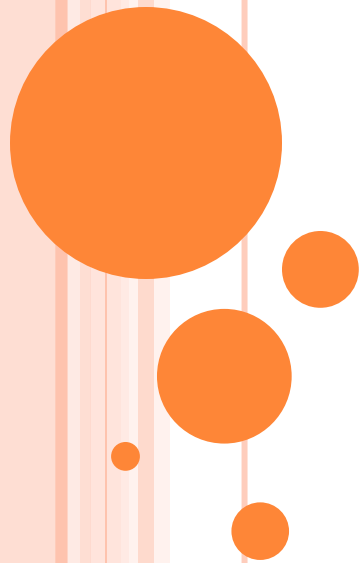
Организация периодического мониторинга большого количества кабельных линий требует существенно меньших вложений, чем организация непрерывного мониторинга.

Для технической и методической обеспечения периодического мониторинга на всех контролируемых кабельных линиях должны быть заранее смонтированы датчики для измерения частичных разрядов, к которым должен быть обеспечен оперативный и безопасный доступ диагностическому персоналу.

Комплекты первичных датчиков частичных разрядов «DKL-3», включающие в себя устройство для коммутации и три датчика частичных разрядов (акустических или типа RFCT), плюс переносный прибор регистрации и анализа частичных разрядов, плюс программное обеспечение «iNVA» для мониторинга – комплект системы для периодического высоковольтных кабельных линий, разработанный фирмой «DIMRUS».



Системы диагностического мониторинга состояния воздушных линий электропередачи



ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ОПЕРАТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Высоковольтные воздушные линии электропередачи являются наиболее аварийным элементом в составе единой технологической цепи снабжения потребителей электроэнергией. Более половины всех перерывов в энергоснабжении потребителей обусловлено проблемами воздушных линий электропередачи.

Значительная часть причин выхода ЛЭП из работы являются форс-мажорными, и не могут быть предупреждены ни какими средствами оперативной диагностики. Это различные непредсказуемые атмосферные воздействия, природные и геологические особенности прохождения трассы ЛЭП, влияние аномальных режимов работы самой линии.

В то же время не менее половины всех практических случаев выхода ЛЭП из эксплуатации может быть переведены из категории непредсказуемых в категорию предсказуемых, если для контроля состояния линий использовать системы стационарного мониторинга технического состояния.

Создание современных высокоэффективных систем диагностического мониторинга стало возможным благодаря созданию современных микропроцессорных устройств, широкому применению систем контроля позиционирования и глобального времени, использованию высокоскоростных систем передачи информации по различным физическим и радио каналам связи. Именно эти технические достижения сделали возможным создание систем мониторинга воздушных ЛЭП.

ВОЗМОЖНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

Основные технические и функциональные различия между системами диагностического мониторинга воздушных ЛЭП, производства различных фирм, обычно заключается в способе (месте) установки первичных датчиков, контролируемых параметрах технического состояния линии, и в количестве контролируемых параметров.

Все системы диагностического мониторинга ЛЭП можно разделить на две основные группы:

- Системы мониторинга, датчики которых монтируются «на земле», и подключаются к контролируемым линиям при помощи различных согласующих устройств, чаще всего конденсаторов связи, или вторичных цепей измерительных трансформаторов тока. Само подключение к ЛЭП чаще всего является наибольшей проблемой, так как обычно требует высоковольтной развязки

- Системы мониторинга воздушных ЛЭП, датчики которых, как и процессоры первичной обработки первичных сигналов, монтируются непосредственно на проводах линии. В этом случае проблемы подключения датчика к линии полностью снимаются, но возникают проблемы обеспечения питания электронной части датчика, и с обменом информацией.

Наиболее эффективными являются системы с интеллектуальными датчиками на проводах контролируемой линии, так как они могут быть многофункциональными, способными решать целый комплекс технологических, технических и эксплуатационных аспектов контроля работы ЛЭП.

ТЕХНИЧЕСКИЕ И АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

Мониторинг технического состояния воздушных линий

| | | | | | | | |
|---|---|------------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|--|-------------------------------|
| Технологический мониторинг | Мониторинг технического состояния ЛЭП, поиск дефектов | | | | | | |
| | Мониторинг импульсных высокочастотных процессов в воздушной линии | | | | | Другие методы диагностики | |
| Измерение температуры проводов линии | Контроль состояния подвесной изоляции | Локация мест дефектов | Локация мест повреждений | Контроль обледенения проводов | Поиск замыканий на землю | Стрела прогиба проводов в линии | Загрязнение изоляторов |

В таблице приведен перечень основных возможных диагностических функций, которые могут быть реализованы в системах мониторинга воздушных ЛЭП. В таблице показаны возможности системы мониторинга, первичные датчики которой смонтированы непосредственно на проводах контролируемой воздушной линии электропередачи.

Возможности систем мониторинга с датчиками, смонтированными «на земле», существенно меньше, так как отсутствует возможность прямого контроля провода линии, и чувствительность таких датчиков к высокочастотным импульсам значительно ниже. В сводной таблице такие методы не выделены цветом и жирным шрифтом.

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА МАРКИ OVM ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП



Система OVM разработана фирмой DIMRUS и является системой мониторинга воздушных линий электропередачи с «наземными» датчиками. Приборы системы «OVM» выпускаются в одно, и трех фазном исполнении.

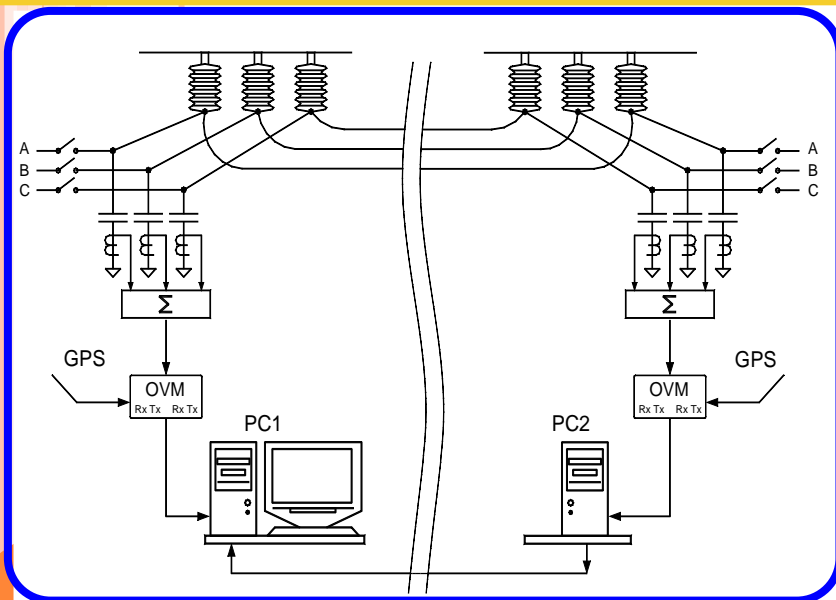
В основном данная система мониторинга предназначена для контроля разрядных процессов в подвесной изоляции воздушной линии, достигших определенного уровня.

Позволяет контролировать грозовые, коммутационные и аварийные эксплуатационные импульсы, возникающие в линии.

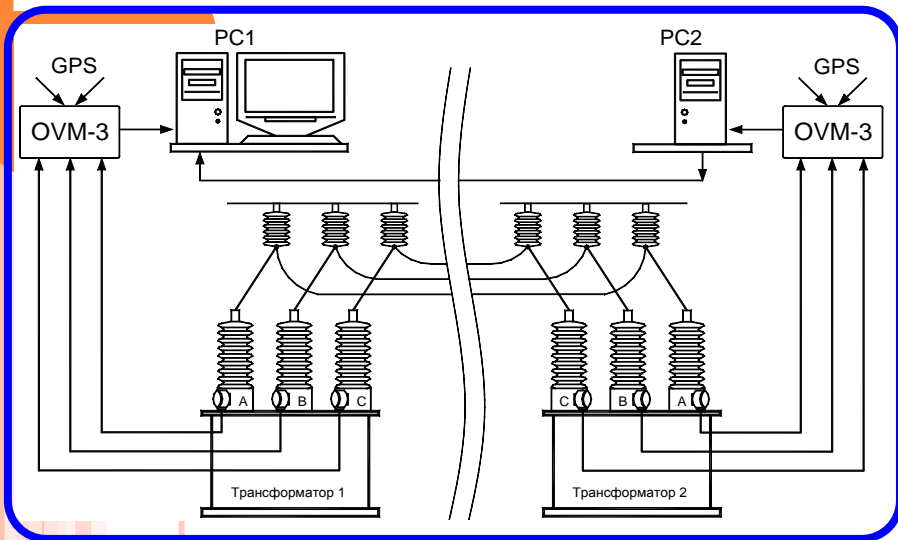
Наличие синхронизации систем марки OVM, расположенных на концах контролируемой линии, по сигналам системы глобального позиционирования, дает возможность проводить локализацию мест возникновения импульсных процессов с точностью «до опоры».

Основная проблема, возникающая при создании систем мониторинга ЛЭП на основе приборов марки OVM – техническая сложность подключения датчиков к проводам контролируемой линии, особенно в тех случаях, когда на линии устанавливаются высокочастотные заградители для организации ВЧ связи по проводам линии.

СПОСОБЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МАРКИ «OVM» ДЛЯ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

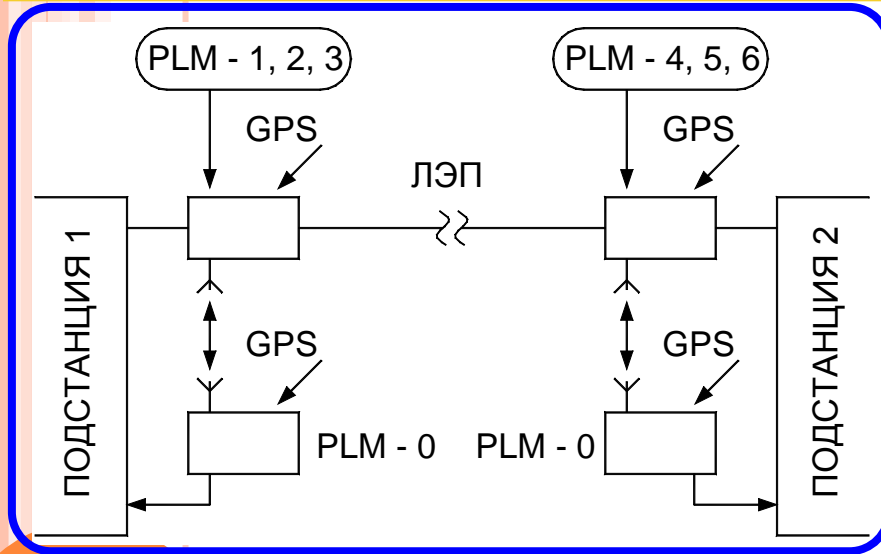


Пример подключения приборов марки «OVM» к контролируемой линии при помощи конденсаторов связи. Реально организовать для линий 6 – 35 кВ.



Подключение приборов «OVM» к контролируемой линии используя в качестве емкостных делителей вводы трансформатора

СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СЕРИИ «DiLin» для ПРЯМОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ



Система «DiLin», разработки фирмы «DIMRUS» позволяет организовывать мониторинг воздушных линий используя набор датчиков собственного производства, смонтированным на проводах линии.

Система марки «DiLin» состоит из трех основных элементов – интеллектуальных датчиков, станций сбора информации с датчиков по радиоканалу, и АРМ мониторинга.

Установка первичных датчиков системы «DiLin» на проводах позволяет легко решать основную задачу технологического мониторинга – контролировать температуру проводов. Это дает возможность оперативно решать задачу определения допустимой нагрузки линии исходя из текущих атмосферных условий. Для целей такого мониторинга служат первичные датчики минимальной конфигурации.

При помощи системы марки «DiLin» с датчиками на проводах линии решаются все основные вопросы организации диагностического мониторинга параметров воздушных ЛЭП.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ДАТЧИК МАРКИ «DiLin-SENSOR» ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОВОДОВ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ



Основой для создания системы мониторинга «DiLin» является интеллектуальный датчик марки «DiLin-Sensor».

Датчик имеет разъемную конструкцию и оперативно крепится непосредственно на проводах контролируемой линии. Вся встроенная электроника датчика получает питание непосредственно от тока нагрузки, протекающего в проводе контролируемой линии.

Внутри датчика марки «DiLin-Sensor» располагаются все необходимые датчики тока, температуры провода, датчик абсолютных перемещений в трех координатах, датчики параметров окружающей среды. При помощи такого универсального набора первичных датчиков система мониторинга надежно контролирует текущее техническое состояние линии.

Для синхронизации процессов регистрации электромагнитных процессов в линии при помощи двух датчиков, смонтированных на двух сторонах длинной ЛЭП, в датчике «DiLin-Sensor» использован приемник системы глобального позиционирования GPS.

Передача первичной и уже обработанной информации в общую систему мониторинга воздушной ЛЭП осуществляется по радиоканалу 2,4 ГГц, или по телефонному каналу системы GSM, в зависимости от места установки датчиков.

БАЗОВАЯ ЛОКАЛЬНАЯ СТАНЦИЯ «DiLin-OBSERVER», ПРЕДНАЗНАЧЕННАЯ ДЛЯ СБОРА ИНФОРМАЦИИ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ



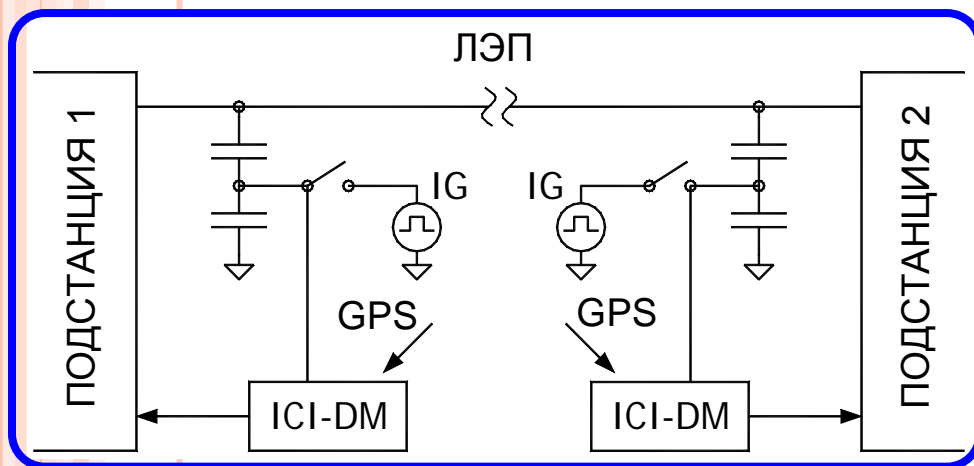
Базовая станция системы мониторинга воздушной линии имеет марку «DiLin-Observer», и предназначена для сбора информации от первичных датчиков «DiLin-Sensor». Она должна располагаться на расстоянии «на земле», и на расстоянии не более чем 1,5 км от датчиков на проводах.

Одна станция «DiLin-Observer» может обслуживать любое количество датчиков в радиусе доступной радиосвязи, т. е. все собирать информацию о всех отходящих и подходящих линиях одной высоковольтной подстанции.

Станция «DiLin-Observer» может быть запитана от стандартного напряжения питания 220 В, или от оперативного напряжения подстанции. Для передачи собранной информации в систему АСУ-ТП по интерфейсу RS-485, или по оптической линии связи.

В шкафу «DiLin-Observer», при необходимости, может быть смонтирован высокочастотный импульсный генератор, при помощи которого измеряются электромагнитные параметры линии, связанные с наличием гололеда.

Волновой принцип поиска гололедных явлений на проводах воздушных ЛЭП



Наиболее эффективным способом поиска гололедных процессов на проводах, из всех известных, является использование метода контроля изменения электромагнитных параметров воздушной линии электропередачи при появлении гололеда.

При помощи импульсного генератора в провод линии инжектируется высокочастотный импульс. При помощи датчиков на концах линии (наземных или на проводах линии) определяется время пролета импульса по линии, и амплитудное затухание сигнала, или же регистрируется рефлектограмма, на которой основное значение имеют прямой и отраженный импульсы.

Появление гололеда создает вокруг провода, в ледяной подушке, эквивалентные контура, обладающие определенным электрическим сопротивлением. Эти контура увеличивают степень затухания сигнала по амплитуде, и замедляют скорость его распространения.

Основной параметр замедления сигнала в линии с гололедом – коэффициент укорочения линии, равный отношению скорости света к скорости движения волны электромагнитного поля в проводе линии.

ЗАВИСИМОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО УКОРОЧЕНИЯ ПРОВОДОВ ЛЭП ПРИ ПОЯВЛЕНИИ НА НИХ ПРОЦЕССОВ

МОНИТОРИНГ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

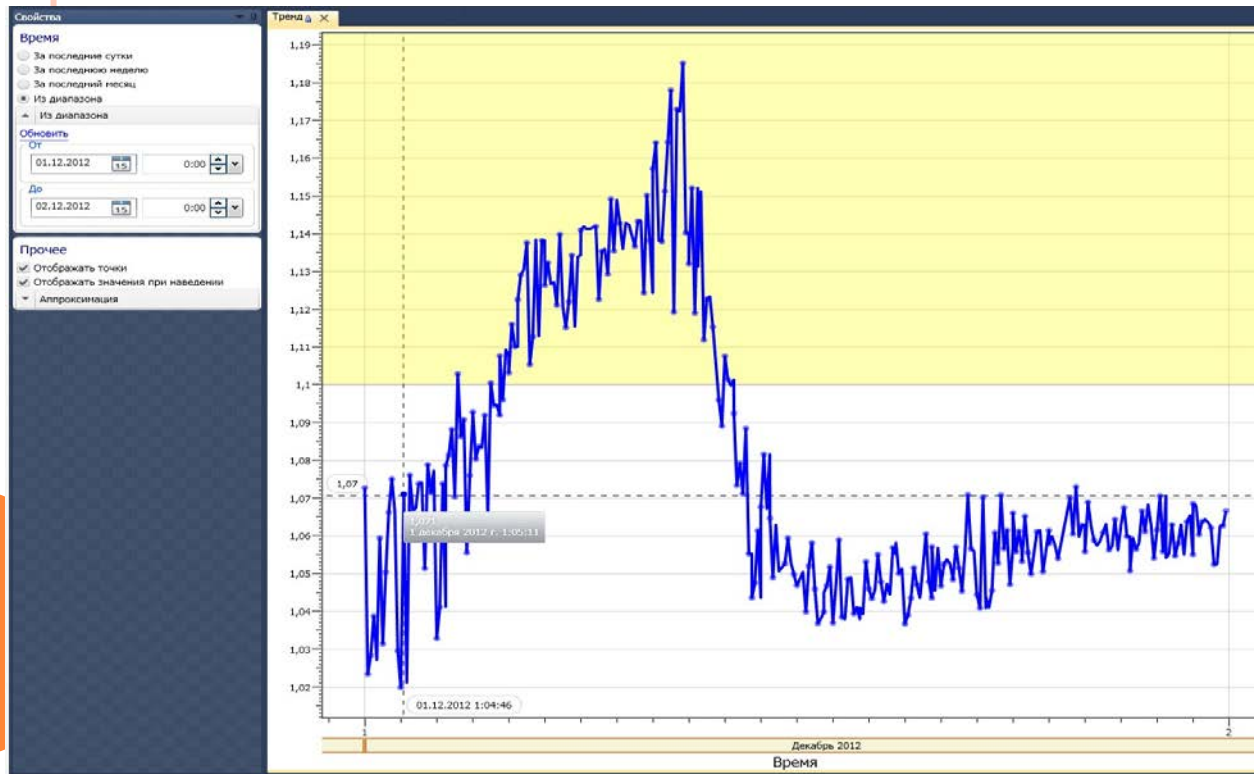
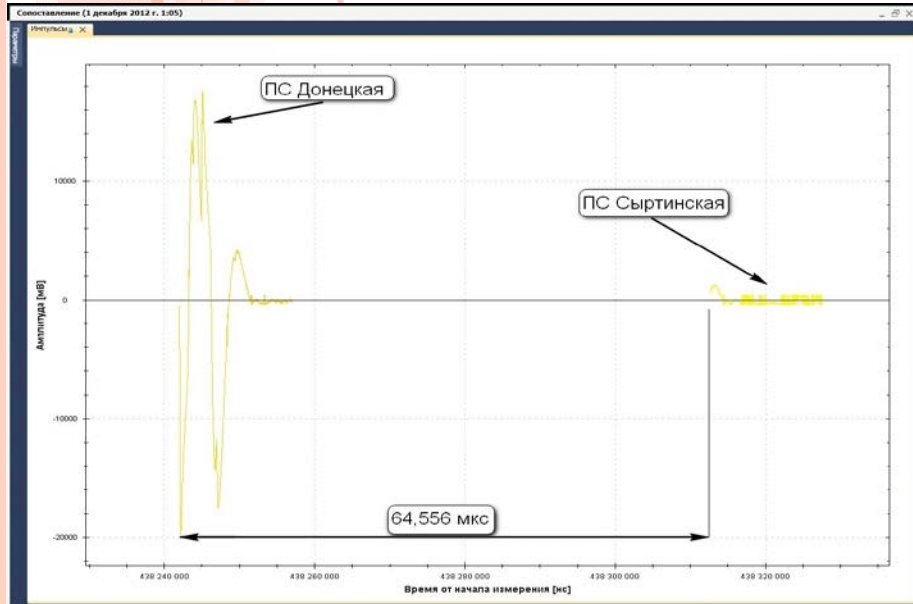
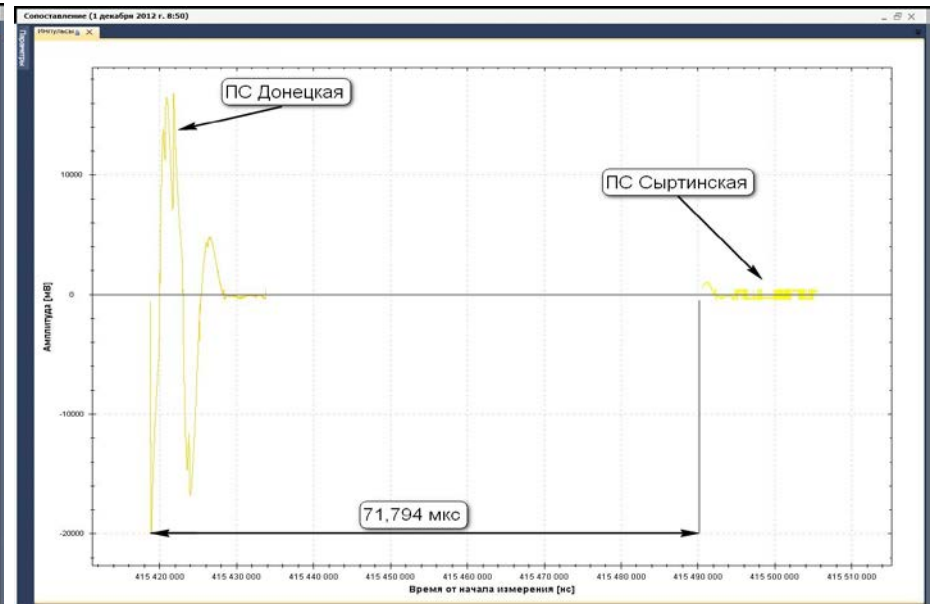


График изменения коэффициента укорочения линии в процессе возникновения и самоустранения гололеда.

СИГНАЛЫ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫЕ НА КОНЦАХ ЛИНИИ НЕПОСРЕДСТВЕННО ПЕРЕД ПОЯВЛЕНИЕМ ГОЛОЛЕДА И ВО ВРЕМЯ ГОЛОЛЕДА



До гололеда $K_u = 1,07$.

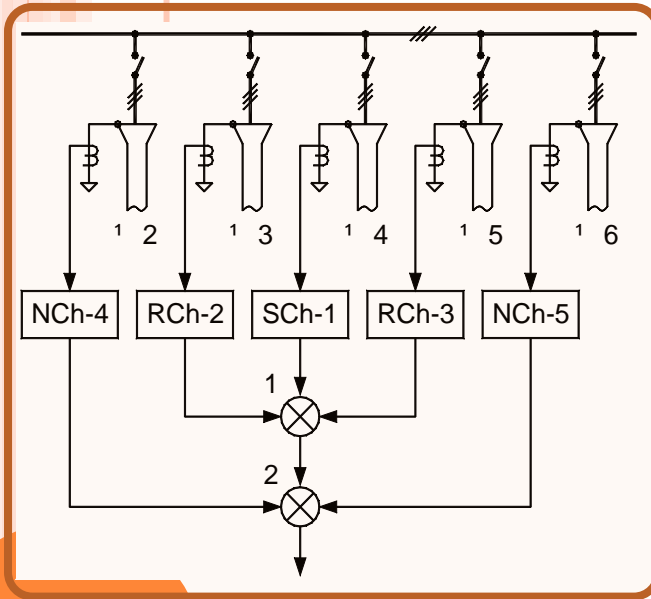


Во время гололеда $K_u = 1,18$



Системы диагностического мониторинга КРУ

СПОСОБЫ ОТСТРОЙКИ ОТ ВНЕШНИХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПОМЕХ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ НА ШИНАХ И В ЯЧЕЙКАХ КРУ



При возникновении дефектов в изоляции КРУ на основе регистрации и анализа частичных разрядов основной методической проблемой является надежная отстройка от помех, и устранение взаимного влияния рядом расположенных объекта.

Только в этом случае возможно оперативное получение корректных диагностических заключений о техническом состоянии изоляции шин КРУ, ячеек, высоковольтных выключателей, и подключенных к ячейкам кабельных линий.

Для этих целей обычно используют три наиболее эффективных метода борьбы с помехами, реализуемых только при синхронной многоканальной регистрации:

- Метод контроля разницы во времени прихода импульсов частичных разрядов к разным датчикам, метод, чаще всего называемый «time of arrival».
- Метод сравнения амплитуды импульсов частичных разрядов, чем дальше датчик от места дефекта, тем меньше будет амплитуда импульса.
- - Метод контроля частотных свойств импульсов частичных разрядов. Чем больше будет расстояние от места дефекта до датчика, тем ниже будет частота регистрируемого импульса.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ЯЧЕЕК КРУ, ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ И ОТХОДЯЩИХ КАБЕЛЕЙ



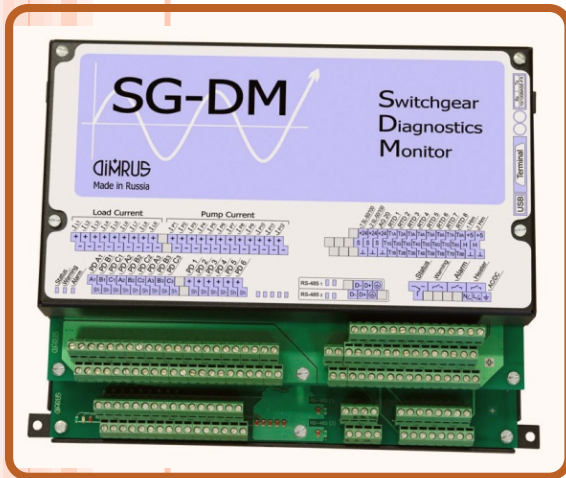
Реле марки «IDR-10» (Insulation Diagnostics Relay) предназначено для оперативного контроля состояния изоляции шин КРУ 6 ÷ 36 кВ, ячеек, отходящих кабельных линий. Оценка состояния изоляции КРУ осуществляется на основе измерения и анализа распределения частичных разрядов.

Уникальной возможностью «IDR-10» является экспертное определение типа дефекта, выявленного в изоляции при помощи встроенной экспертной системой «PD-Expert».

Достоинством работы реле «IDR-10» является также то, что оно также выполняет стандартные функции индикатора наличия напряжения на контролируемых шинах. При помощи свечения трех светодиодов реле показывает наличие высокого напряжения в фазах, даже при отсутствии оперативного напряжения питания.

В качестве датчиков частичных разрядов в КРУ используются емкостные делители напряжения (конденсаторы связи – опорные изоляторы), устанавливаемые в настоящее время на шинах всех новых КРУ. Если такие датчики в КРУ не установлены, то их легко можно смонтировать на месте трех стандартных опорных изоляторов сборных шин, так как такие датчики также полностью выполняют функции опорных изоляторов, имеют такие же размеры и форму.

«SG-DM» – СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ШИН, ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ КРУ И ПРИСОЕДИНЕННЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

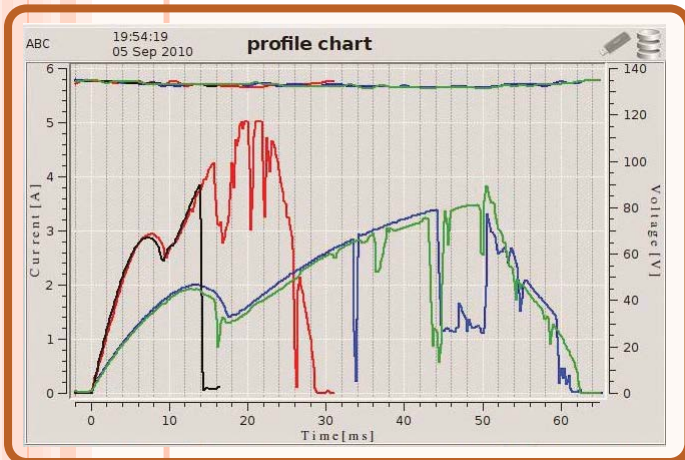


Стационарная система марка «SG-DM» предназначена для организации мониторинга и оценки технического состояния ячеек КРУ и подключенного оборудования марки предназначена для оперативной диагностики дефектов изоляции в 14 ячейках КРУ среднего напряжения, в отходящих кабельных линиях, и в высоковольтных выключателях ячеек.

При помощи системы «SG-DM» производится:

- Определение остаточного коммутационного ресурса выключателей фидерной, секционной и 12 распределительных ячеек секции КРУ.
 - Определение технического состояния элементов механического привода 14 контролируемых выключателей.
 - Контроль состояния изоляции шин КРУ и выключателей в ячейках по уровню и распределению частичных разрядов.
 - Контроль состояния изоляции подключенных кабельных линий, а также запитанного от КРУ высоковольтного оборудования.
 - Определение места возникновения дефекта в изоляции подключенной кабельной линии, которое производится при помощи встроенного в систему мониторинга «on-line» рефлектометра, работающего на основании анализа времени прихода прямых и отраженных импульсов ЧР.

СПОСОБЫ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ДЕФЕКТОВ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ В ЯЧЕЙКАХ КРУ



Создать хорошо работающую систему мониторинга высоковольтных выключателей, входящих в состав КРУ, достаточно сложно по нескольким причинам:

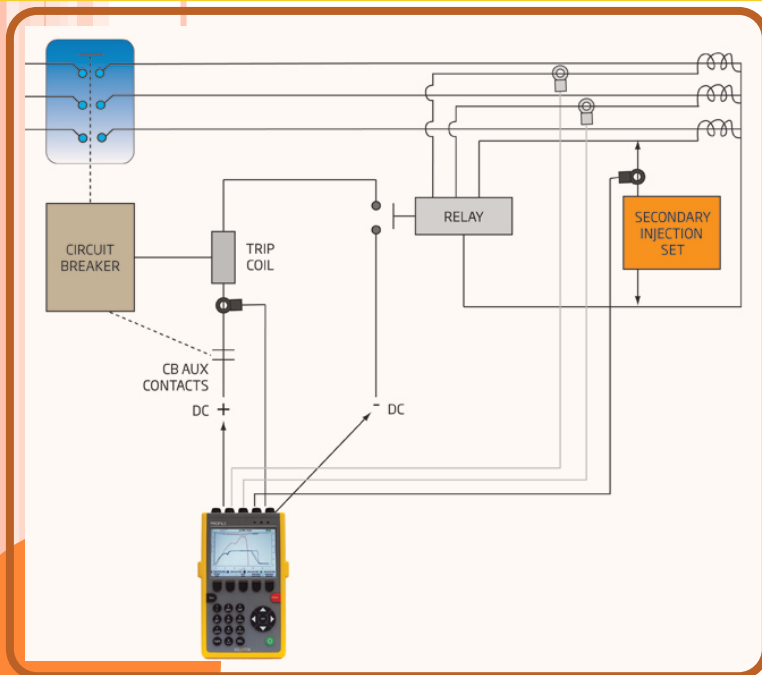
- В то время, когда выключатель находится во включенном положении контролировать можно только вспомогательные параметры, непосредственно не определяющие его коммутационную способность.

- Наиболее тяжелым режимом работы выключателя является отключение нагрузки, причем совершенно не очевидно, что любое отключение произойдет успешно, все зависит от величины коммутируемой мощности.

- Остаточный технический ресурс выключателя определяется по итогам анализа предыдущей коммутации, поэтому нет полной гарантии, что включение выключателя пройдет успешно, так как возможно изменение состояния за период времени между двумя коммутациями.

По этой причине важное значение приобретают синтезированные диагностические параметры и методы, косвенно определяющие техническое состояние выключателя. К таким следует отнести методы контроля вибрационных параметров в процессе коммутации, и контроль графиков изменения тока в катушках управления приводом выключателя.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ, ЯЧЕЕК КРУ

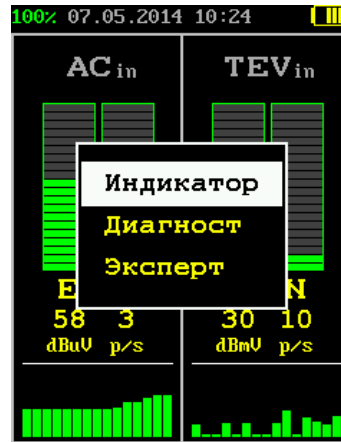


Оптимальная по объему и стоимости система мониторинга высоковольтных выключателей должна базироваться на обоих этих методах.

В ряде случаев важным является контроль одновременности срабатывания контактов фаз выключателя. Для определения этого параметра достаточно контролировать токи нагрузки, коммутируемые выключателем. Появление или исчезновение сигналов на выходе трансформаторов тока говорит о замыкании, или размыкании контактов выключателя.

Система мониторинга высоковольтных выключателей постоянно находится в ждущем режиме, ожидая появления токов в соответствующих катушках управления. При появлении любого тока управления начинается регистрация сигналов с высокой частотой, так как процессы в современных выключателях происходят очень быстро. После завершения коммутации полученная информация обрабатывается, анализируется, и формируется заключение о текущем состоянии выключателя, о возможности его дальнейшей работы, реализации следующего цикла работы «включение – отключение».

«3i» – ПЕРЕНОСНОЙ ПРИБОР ДИАГНОСТИКИ И ПЕРИОДИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЯЧЕЕК КРУ И ПРИСОЕДИНЕННЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ



Компактный измерительный прибор марки «3i» предназначен для регистрации и анализа частичных разрядов в ячейках КРУ.

Для удобства пользователей «3i» работает в трех режимах – индикатор, диагност и эксперт.

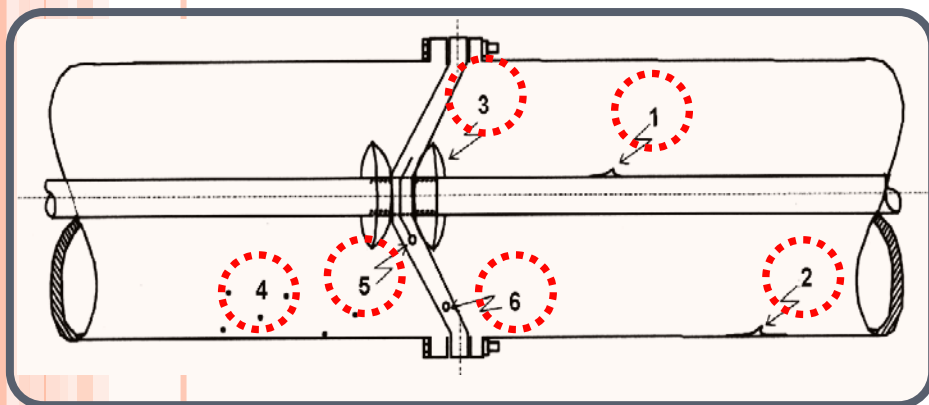
Прибор оснащен считывателем меток «RFID», что позволяет проводить измерения по заранее сформированному маршруту персоналом, имеющим минимальную диагностическую подготовку. Зарегистрированная информация передается в компьютер, где автоматически обрабатывается и сохраняется. По итогам проведения измерений программой автоматически формируются отчеты о состоянии оборудования.

Таким образом реализуется эффективная система периодического мониторинга состояния КРУ.



Системы диагностического мониторинга КРУЭ

НАИБОЛЕЕ ЧАСТО ВСТРЕЧАЮЩИЕСЯ ДЕФЕКТЫ В ИЗОЛЯЦИИ КРУЭ, ПОИСК КОТОРЫХ МОЖЕТ ОСУЩЕСТВЛЯТЬСЯ ПО ЧАСТИЧНЫМ РАЗРЯДАМ



В процессе работы КРУЭ могут возникать новые дефекты в изоляции, а могут проявиться дефекты, заложенные в конструкцию при изготовлении оборудования.

Наиболее часто встречающиеся дефекты в КРУЭ:

1 – Выступ на высоковольтном проводнике. Данный дефект проявляется как стандартная корона на высоковольтном электроде.

2 – Выступ на корпусе камеры. Данный дефект проявляется как частичный разряд на земляном потенциале.

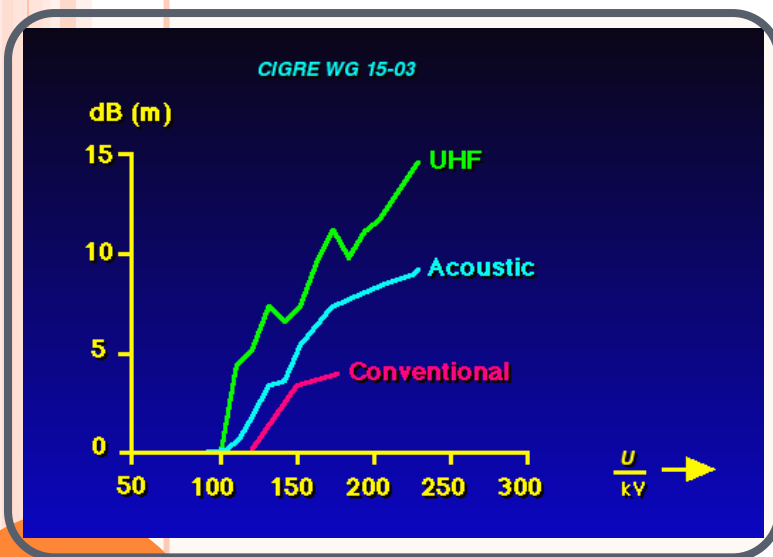
3 – «Плавающая» металлическая часть, имеющая плохой контакт с токопроводящим проводником. Проявляется как стандартный плавающий потенциал.

4 – Свободные частицы внутри камеры, не имеющие контакта с проводником и корпусом оборудования. Проявляется как обычный дефект внутри объема изоляции.

5 – Пузырьки и вкрапления между экраном и изоляцией.

6 – Вкрапления и науглероженные участки на поверхности опорной изоляции. Форма проявления зависит от локализации дефекта.

ВЫБОР ЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА ДАТЧИКОВ И ПРИБОРОВ МОНИТОРИНГА, НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ДИАГНОСТИКЕ КРУЭ



Для измерения частичных разрядов в камере КРУЭ различными производителями используются различные датчики и оборудование, работающее в различных диапазонах частот. Наиболее часто используются датчики UHF (СВЧ) диапазона частот, и акустические датчики.

Споры о том, какой частотный диапазон измерительной аппаратуры наиболее эффективен, ведутся в России и в настоящее время.

Приведем данные, опубликованные СИГРЭ еще в 1991 году.

Тип контролируемого дефекта, на котором тестировались все три метода регистрации и диагностики: «Дефект в камере КРУЭ – игла на высоковольтном электроде».

Измерения частичных разрядов проведены тремя методами, результаты приведены на графике:

- Традиционные измерения, согласно стандарту IEC270, проводились в диапазоне частот от 1 МГц до 200 МГц.
- Измерения в UHF (СВЧ) диапазоне частот, от 300 до 1500 МГц.
- Измерения частичных разрядов с использованием акустического датчика, работающего на частоте 34 (40) кГц.

СРАВНЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МЕТОДОВ РЕГИСТРАЦИИ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В КРУЭ В ДИАПАЗОНЕ UHF И ПРИ ПОМОЩИ АКУСТИКИ

МОНИТОРИНГ ИЗОЛЯЦИИ КРУЭ

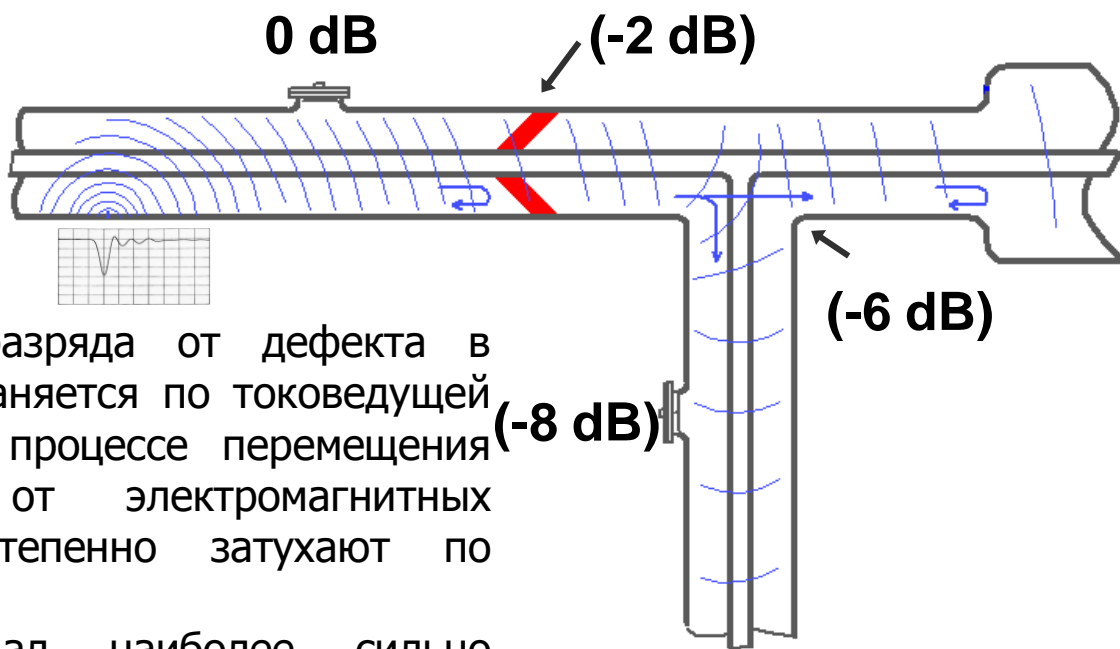
| | UHF-системы | Акустические системы |
|---|---|---|
| Решаемые задачи | 😊 Поиск дефектов 😊 Локализация места возникновения дефектов | 😞 Поиск дефектов 😊 Локализация места возникновения дефектов |
| Чувствительность | 😊 Мобильные частицы 1-2 мм 😊 Неподвижные частицы 2-5 мм 😊 Плавающий потенциал 😊 Включения в изоляцию | 😊 Мобильные частицы 1-2 мм 😊 Неподвижные частицы 2-5 мм 😊 Плавающий потенциал 😞 Включения в изоляцию |
| Время измерения | 😊 5-10 минут и быстрее | 😞😞 От 30 до 90 минут |
| Применение для проведения стационарного мониторинга | 😊 Надежные датчики Защита от помех Большая зона защиты одним датчиком | 😞 Ненадежные датчики Большой уровень помех Необходимо много датчиков |

СРАВНЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МЕТОДОВ РЕГИСТРАЦИИ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В КРУЭ В ДИАПАЗОНЕ UHF И ПРИ ПОМОЩИ АКУСТИКИ

МОНИТОРИНГ ИЗОЛЯЦИИ КРУЭ

| | UHF-системы | Акустические системы |
|-------------------------------|--|---|
| Типичные требования к системе | ☹️ ☺️ Встроенные датчики Или внешние датчики на разделители | ☺️ Только внешние датчики |
| Борьба с помехами | ☺️ Очень эффективная | ☹️ Не возможна, зависимость от ветра, дождя, капли, вибрации, коронных разрядов |
| Сохранение данных | ☺️ Возможно | ☹️ Возможно, но с проблемами |
| Анализ и экспертиза данных | ☺️ Возможно | ☹️ Возможно |

Влияние внутренних конструктивных особенностей камер КРУЭ на пространственное затухание сигналов частичных разрядов

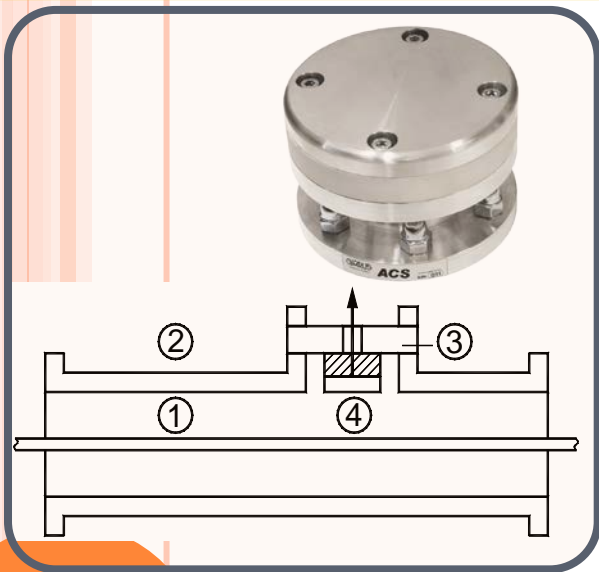


Импульс частичного разряда от дефекта в изоляции КРУЭ, распространяется по токоведущей шине в обе стороны. В процессе перемещения импульсы отражаются от электромагнитных неоднородностей, и постепенно затухают по амплитуде.

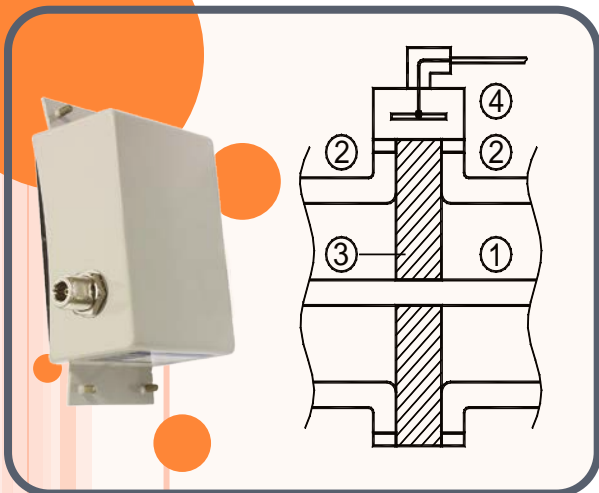
Высокочастотный сигнал наиболее сильно затухает в зонах электромагнитной нестационарности, особенно разделителях объемов (изоляторах), в местах подключения ячеек к соединительным шинам, к замыкателям, и т. д.

Максимальное расстояние, на которое распространяется импульс от частичного разряда в КРУЭ, обычно не превышает 15 метров. Исходя из этого определяется необходимое количество первичных датчиков.

СТАЦИОНАРНЫЕ ДАТЧИКИ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ ОТ ДЕФЕКТОВ ИЗОЛЯЦИИ ВНУТРИ ОБЪЕМОВ КРУЭ



Датчик марки «ACS» производства фирмы «DIMRUS» для монтажа на лючках объемов КРУЭ



Датчик марки «AES» производства фирмы «DIMRUS» для монтажа на изолированных разделителях объемах.

УСТАНОВКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ UHF ДАТЧИКОВ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ НА СМОТРОВЫХ ОКНАХ ЗАМЫКАТЕЛЕЙ КРУЭ



Установка датчиков частичных разрядов на смотровых окнах КРУЭ 500 кВ

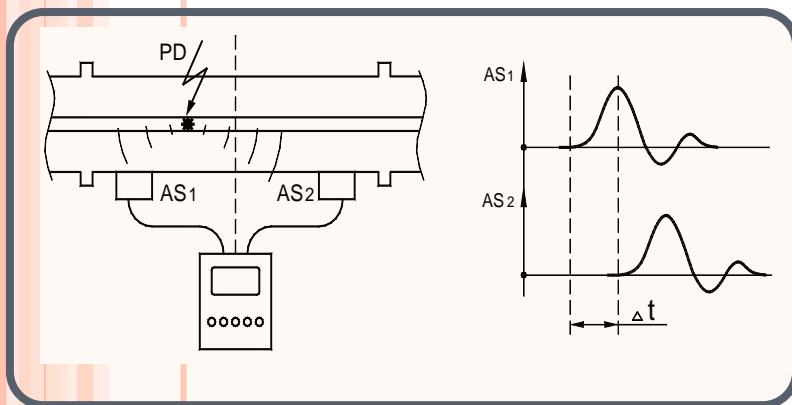


Установка датчиков частичных разрядов на смотровых окнах КРУЭ 110 кВ.

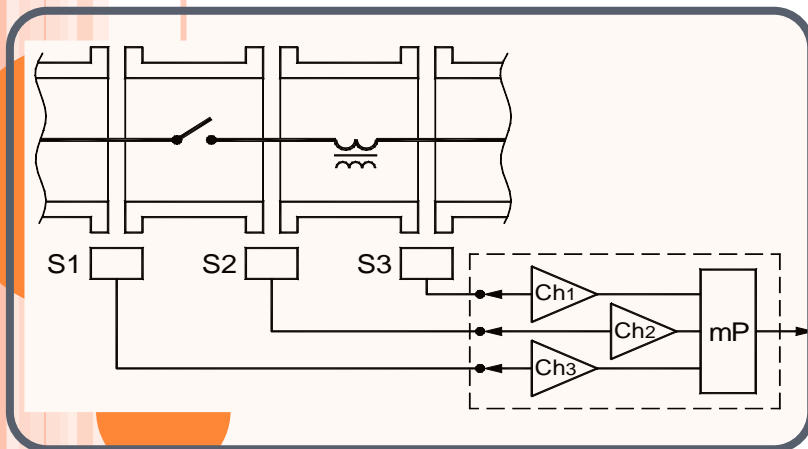


Использование стационарных датчиков частичных разрядов, установленных на заводе – изготовителе КРУЭ

Точная локация места возникновения дефекта при помощи метода «ТОВА» (TIME OF ARRIVAL) по разнице времени прихода



При помощи переносного прибора и стационарно установленных датчиков.



При помощи встроенной в систему мониторинга функции, для работы которой нужна синхронная регистрация сигналов со всех датчиков.

«GIS-DM» – МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕГАЗОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ И ПРИСОЕДИНЕННЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

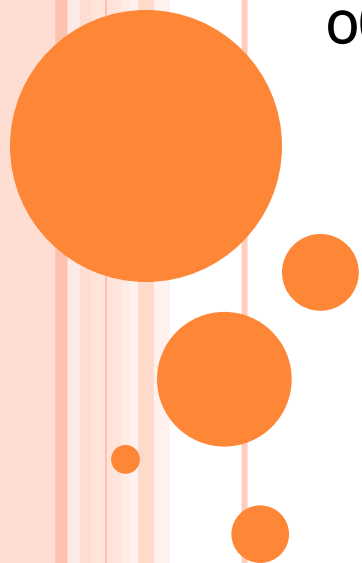


Система шести канального мониторинга марки «GIS-DM» предназначена для непрерывного контроля технического состояния оборудования с элегазовой изоляцией – КРУЭ различного исполнения, а также для измерения частичных разрядов в измерительных и силовых трансформаторах, выключателях, кабельных линиях.

Отличительными техническими и алгоритмическими особенностями системы мониторинга марки «GIS-DM» являются:

- Проведение синхронной регистрации импульсов частичных разрядов одновременно по всем шести каналам прибора. Использование такого режима дает возможность не только выявить наличие дефектов в изоляции, но и провести оперативную локацию мест их возникновения в КРУЭ, анализируя разницу во времени прихода импульсов к датчикам.
- Регистрация сигналов частичных разрядов в каждом измерительном канале прибора «GIS-DM» производится сразу в двух частотных диапазонах – HF (ВЧ) и UHF (СВЧ), т. е. перекрывая широкий диапазон частот от 50 кГц до 1 ГГц. Это позволяет одинаково успешно регистрировать как сверхвысокочастотные импульсы, возникшие внутри оборудования, в непосредственной близости от измерительного датчика, так и более низкочастотные импульсы, возникшие на большем удалении.

Системы диагностического мониторинга вспомогательного оборудования высоковольтных подстанций



СПОСОБЫ ОРГАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА НЕДОРОГОГО ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИИ

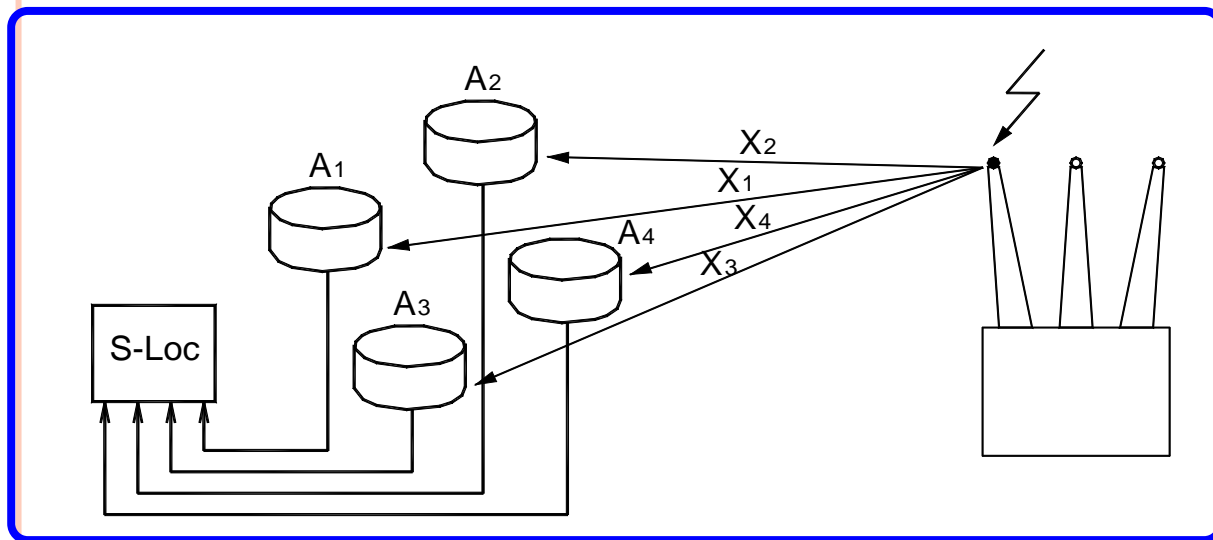
В состав транзита электрической энергии, кроме дорогих и ответственных устройств, типа силовых трансформаторов, кабелей, ЛЭП, и т. д., входит большое количество других высоковольтных устройств, надежность работы которых также определяет надежность работы всего транзита. Это различные разъединители, опорные и подвесные изоляторы, и другие подобные устройства.

По причине их невысокой цены, и сложности контроля их технических и эксплуатационных параметров, они никогда не оснащаются индивидуальными системами диагностического мониторинга. Для этих целей желательно использовать интегральные системы мониторинга, когда при помощи одной диагностической системы удается контролируется техническое состояние большого количества объектов.

Оптимальным является установка единой распределенной системы мониторинга, которая желательно бесконтактно, контролировала бы хоть один из критических параметров вспомогательных устройств, сконцентрированных на территории высоковольтной подстанции.

Наиболее важным и общим параметрам всех таких устройств является техническое состояние высоковольтной изоляции, которое во многом определяет надежность работы всех и каждой единицы вспомогательного оборудования подстанции.

СПОСОБ ДИСТАНЦИОННОЙ ЛОКАЦИИ МЕСТ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ



Для поиска и локализации мест возникновения дефектов в изоляции высоковольтного оборудования используется многоканальная аппаратура, имеющая высокую чувствительность и очень высокое временное разрешение – в единицы и доли наносекунд.

Оптимальным является использование четырех канальной аппаратуры, антенны которой устанавливаются для реализации алгоритма «фазированной решетки» – способа локализации объектов при помощи неподвижных антенн.

Для каждой пары антенн решается стандартная триангуляционная задача, позволяющая определить направление на источник импульсов. Совместное рассмотрение результатов решения четырех триангуляционных задач позволяет определить расстояние до источника импульсов.

СИСТЕМА «S-Loc» для ЭКСПЕРТНОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИИ

Для диагностики дефектов и поиска мест их возникновения была разработана, изготовлена, смонтирована на подстанции «Петровская» система «S-Loc». Система была протестирована и введена в опытную эксплуатацию.

В состав системы «S-Loc» входит:

- Четыре антенны СВЧ диапазона частот, смонтированные на опорах порталов подстанции, желательно в центре подстанции.
- Система регистрации и обработки сигналов. Монтируется на подстанции максимально близко к антеннам.
- АРМ системы - панельный компьютер с цветным монитором. Монтируется в помещении щитовой.
- Программное обеспечение мониторинга и диагностики, устанавливается на АРМ системы.
- Программное обеспечение для удаленного контроля. Монтируется на удаленном компьютере, имеющем связь с АРМ.
- Переносной прибор марки «DIM-Loc», предназначенный для проведения уточненной диагностики и локализации дефектов в оборудовании подстанции.

УСТАНОВКА ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ АНТЕНН ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ И ПРОВЕДЕНИЯ ЛОКАЦИИ ДЕФЕКТОВ В ВЫСОВОЛЬТНОМ ОБОРУДОВАНИИ



Антенны для регистрации высокочастотных импульсов смонтированы на опорах порталов подстанции и подключены высокочастотным коаксиальным кабелем.



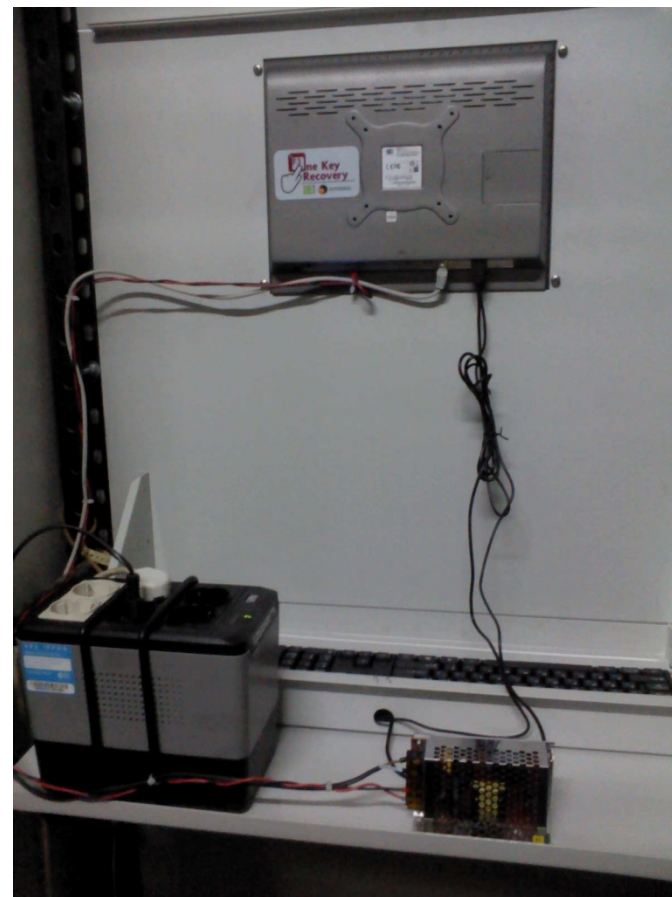
УСТАНОВКА ПРИБОРА «S-LOC» НА ТЕРРИТОРИИ ПОДСТАНЦИИ



Прибор «S-Loc» устанавливается на подстанции исходя из двух условий:

- Соединительные кабели от датчиков (антенн) до прибора должны иметь минимальную длину.
- Все соединительные кабели должны иметь одинаковую длину.

УСТАНОВКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА СИСТЕМЫ «S-LOC» НА ЩИТЕ ПОДСТАНЦИИ

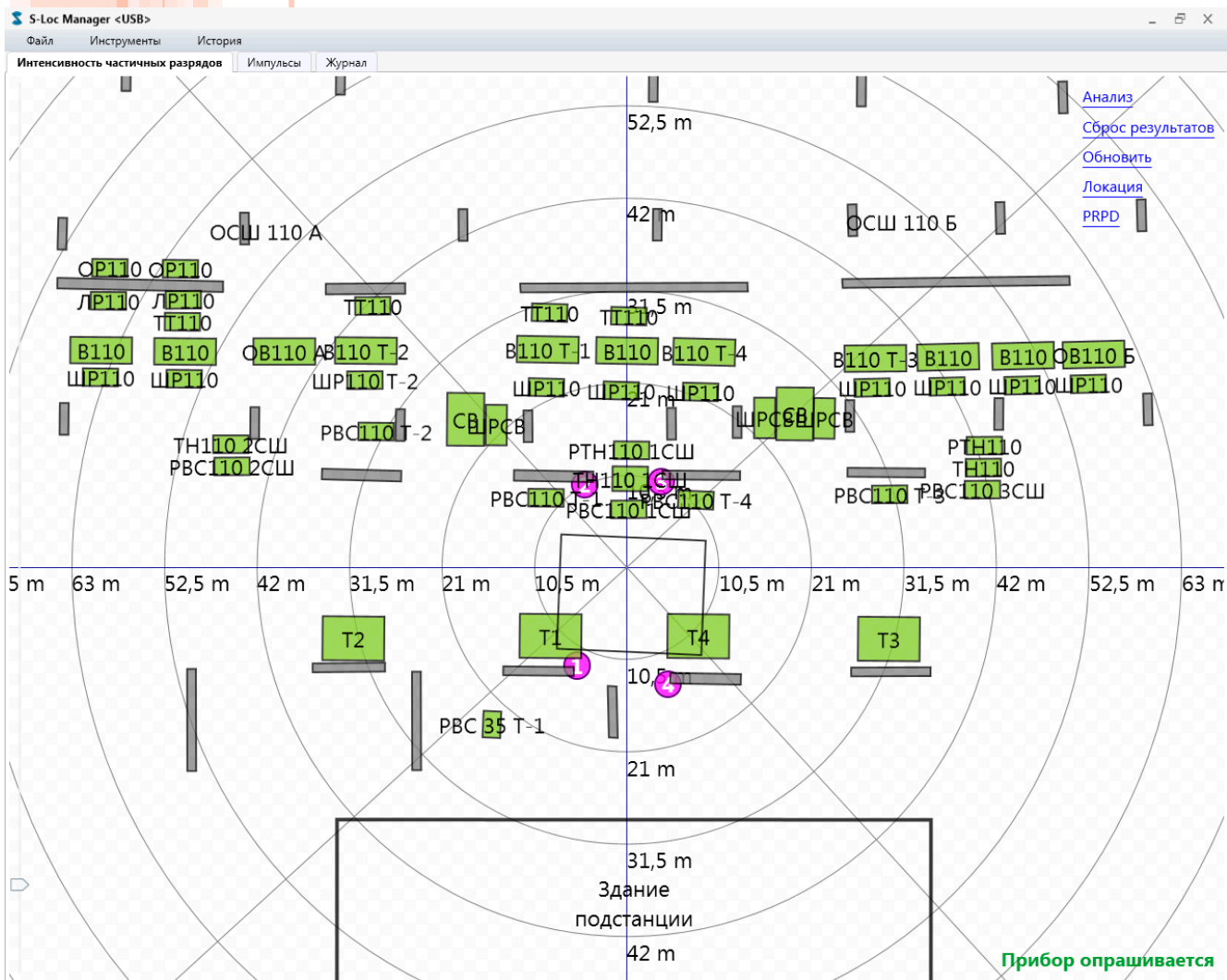


Автоматизированное рабочее место (АРМ) системы «S-Loc» смонтирован на свободном месте в щитовой подстанции.

На лицевой панели располагается экран компьютера и клавиатура.

Сзади смонтирован источник питания и средства связи.

СХЕМА ПОДСТАНЦИИ – ОСНОВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛОКАЦИИ ДЕФЕКТОВ В ВЫСОКОВОЛЬТНОМ ОБОРУДОВАНИИ



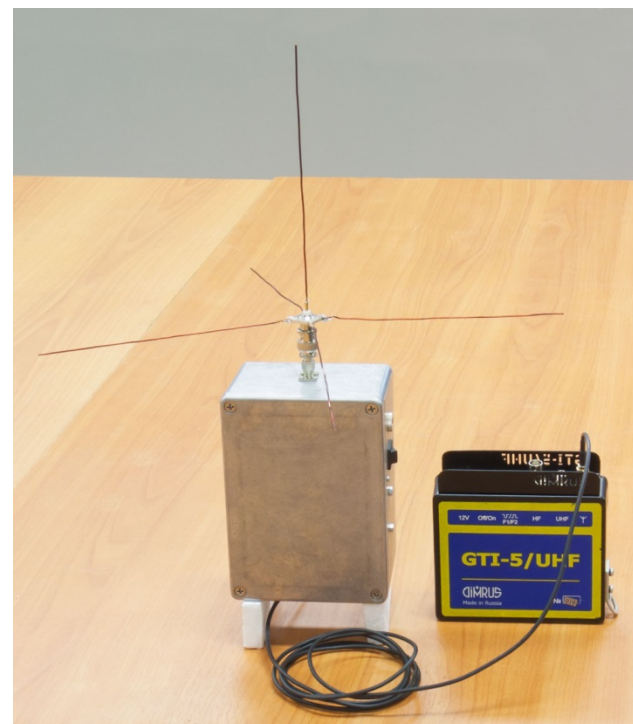
Для работы системы «S-Loc» необходимо создать максимально точный план расположения оборудования на территории подстанции, и мест установки антенн.

На основании этого плана будет производиться локация мест возникновения дефектов.

КАЛИБРОВКА ЛОКАЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ, ПРОВЕРКА ПРИВЯЗКИ ОБОРУДОВАНИЯ К ПЛАНУ ПОДСТАНЦИИ



Для проверки работоспособности системы и определения чувствительности и точности использовались специально разработанные калибраторы – искровой и специализированный высокочастотный генератор.



РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМЫ «S-LOC» НА ОСНОВАНИИ РЕГИСТРАЦИИ СИГНАЛОВ ОТ ТЕСТОВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Реальная чувствительность системы «S-Loc» определялась при помощи двух различных генераторов – искрового, с открытым разрядом, и импульсного высокочастотного, с электромагнитно наведенным импульсом.

Результаты определения реальной чувствительности измерительной системы «S-Loc», при соотношении сигнал / шум не хуже, чем 1:2, приведены в таблице. Приведенные реальные данные говорят о высокой чувствительности измерительной части системы «S-Loc».

На основании этих данных о чувствительности система может быть использована для надежной диагностики опасных дефектов в изоляции оборудования на расстоянии до 100 метров.

Благодаря наличию встроенной экспертной системы «PD-Expert» реальная чувствительность системы «S-Loc» может быть еще выше.

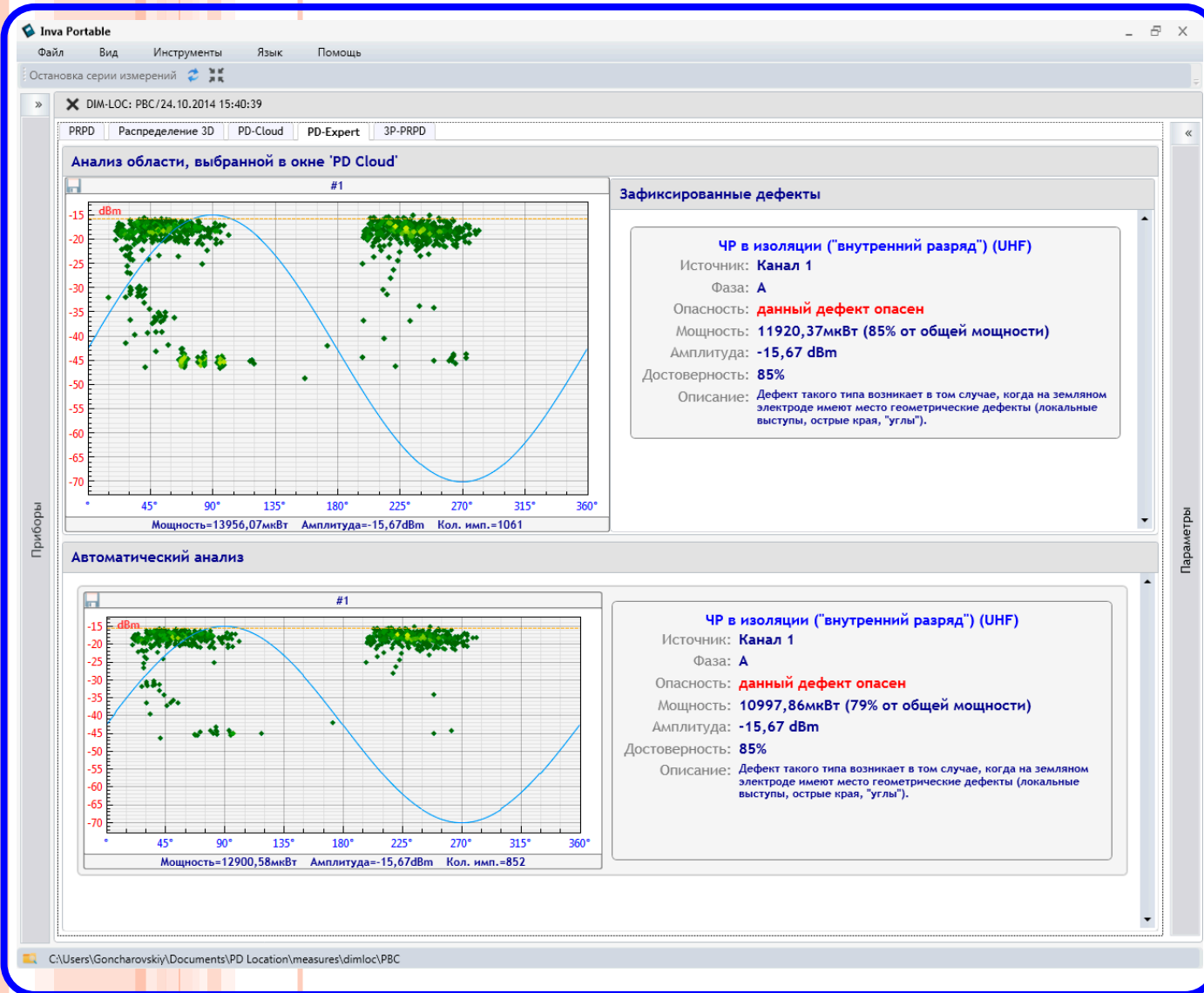
| Расстояние до дефекта, м | Величина импульса ЧР, рК |
|--------------------------|--------------------------|
| 5 | 80 |
| 10 | 130 |
| 20 | 200 |
| 50 | 600 |
| 100 | 900 |
| 250 | 3000 |

ОБРАБОТКА ЗАРЕГИСТРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИИ, АНАЛИЗ, ПОЛУЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ ЗАКЛЮЧЕНИЙ О ДЕФЕКТНОМ ОБОРУДОВАНИИ

Порядок обработки информации, получаемой с электромагнитных антенн:

- Отбраковка импульсов помех с использованием аппаратных и алгоритмических средств.
- Проведение триангуляционных расчетов для определения мест возникновения импульсов.
- Выявление стабильных источников разрядной активности, отображение выявленных зон на плане подстанции.
- Локализация мест разрядной активности с учетом реального расположения оборудования на подстанции.
- Определение типа дефекта с использованием экспертной системы «PD-Expert», входящей в состав АРМ системы.
- Определение степени опасности выявленных дефектов.
- Выявление связи разрядной активности с параметрами окружающей среды и временем суток.
- При необходимости уточнение мест расположения дефектов при помощи переносного прибора «DIM-Loc», входящего в состав системы «S-Loc».

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ «PD-ЭКСПЕРТ» ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПА ДЕФЕКТА И ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ЕГО ОПАСНОСТИ



Использование PRPD и PD-Cloud представлений распределений разрядов решаются задачи определения типа дефекта и оценка степени его опасности.

Базой для работы экспертной системы является библиотека образов дефектов в изоляции различного оборудования.

Система комплексного управления затратами на
эксплуатацию высоковольтного оборудования единой
технологической цепи энергетического предприятия

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ «iNVA-ALM» - ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАТРАТАМИ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ

Система «iNVA-ALM» (iNVA - Asset Life Management) – программная оболочка, реализующая функции технического и экономического управления сервисными и ремонтными работами, предлагающая решения по модернизации оборудования единой технологической цепи.

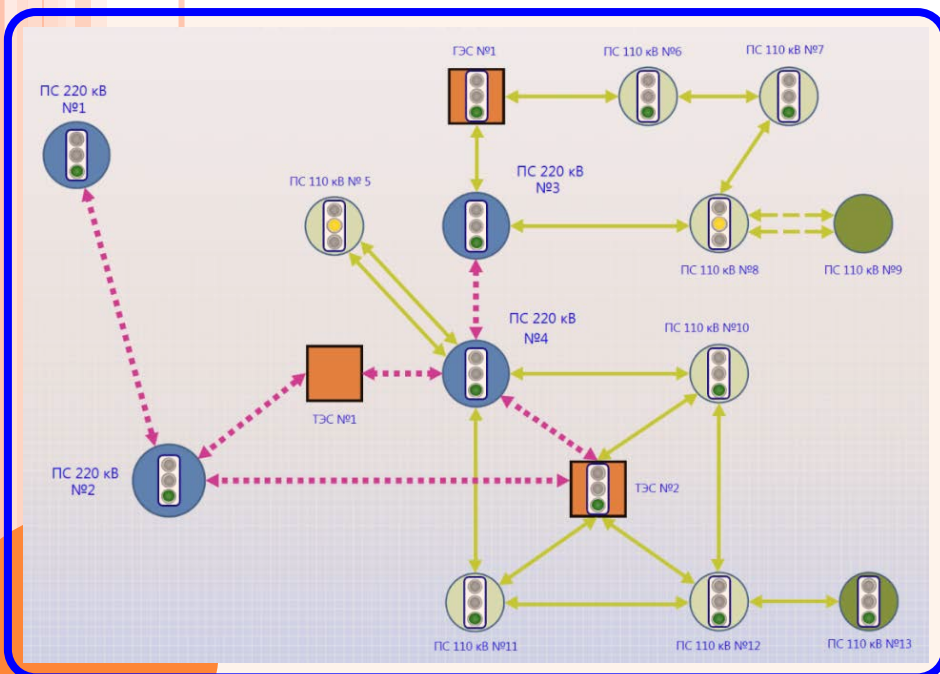
В комплексе программного обеспечения диагностического мониторинга высоковольтного оборудования «iNVA» она является дополнительной программой для управления затратами, для чего работает с общими базами данных.

Программное обеспечение «iNVA-ALM» позволяет интегрировать в единое целое результаты работы всех систем диагностического мониторинга, установленных на трансформаторах, выключателях, кабельных и воздушных линиях, и другом оборудовании энергетических предприятий.

Эти системы мониторинга могут быть поставлены различными фирмами, но они должны иметь «на своем выходе» рассчитанные любым способом актуальные интегральные значения, описывающие техническое состояние контролируемого оборудования на момент последнего измерения. Именно такие комплексные параметры, по определению, должны формировать современные системы диагностического мониторинга. Информация от систем мониторинга, просто собирающих первичную информацию в виде набора просто измеренных параметров, уже никого не устраивает.

В настоящее время система «iNVA-ALM» работает со всем диагностическим оборудованием, выпускаемым фирмой «DIMRUS».

ПРИМЕР ЧАСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ, НА КОТОРОМ ОТРАБАТЫВАЮТСЯ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ОБОРУДОВАНИЯ



В качестве полигона для отработки алгоритмов системы управления затратами взят участок системы, состоящий из 16 транзитных и понижающих подстанций.

Всего на оборудовании этих подстанций было установлено около 150 различных систем диагностического мониторинга, контролирующих техническое состояние основных элементов транзита энергии.

Светофоры состояния, установленные на общей мнемосхеме рядом с каждой подстанцией, отражают состояние худшего их агрегатов подстанции, определенное по факту превышения порогов для критических и условно критических параметров состояния оборудования.

Для системы управления экономическими вложениями в оборудование все используемые системы мониторинга формируют комплексный параметр текущего технического состояния, однозначно определяющий необходимость проведения сервисных или ремонтных работ с оборудованием.

ПРИМЕР ФОРМИРОВАНИЯ ТРАНЗИТА ДЛЯ ГРУППЫ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ПОДСТАНЦИЙ, ОБОРУДОВАНИЕ КОТОРЫХ ИМЕЕТ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

Технологические и технико-экономические параметры путей транзита подстанции

| Внешние линии | Подстанция | Внутренний транзит | Элементы транзита |
|--------------------------|------------|--|--|
| КЛ 220 кВ ПС №1 - ПС №2 | ПС №2 | КЛ 220 кВ ПС №1 - ПС №2 ячейка №3 → КЛ 220 кВ ПС №2 - ТЭС №2 | Внутренние элементы <input type="checkbox"/> АТ-1 <input type="checkbox"/> АТ-2 <input type="checkbox"/> ячейка АТ-1 <input type="checkbox"/> ячейка АТ-2 <input type="checkbox"/> ячейка №1 <input type="checkbox"/> ячейка №2 <input checked="" type="checkbox"/> ячейка №3 Внешние линии <input checked="" type="checkbox"/> КЛ 220 кВ ПС №2 - ТЭС №2 |
| КЛ 220 кВ ТЭС №2 - ПС №4 | ПС №4 | КЛ 220 кВ ТЭС №2 - ПС №4 ячейка №1 → АТ-1 → ячейка №3 → КЛ 110 кВ ПС №4 - ПС №10 | Внутренние элементы <input checked="" type="checkbox"/> АТ-1 <input type="checkbox"/> АТ-2 <input checked="" type="checkbox"/> ячейка №1 <input type="checkbox"/> ячейка №2 <input checked="" type="checkbox"/> ячейка №3 <input type="checkbox"/> ячейка №4 <input type="checkbox"/> ячейка №5 <input type="checkbox"/> ячейка №6 <input type="checkbox"/> ячейка №7 Внешние линии <input checked="" type="checkbox"/> КЛ 110 кВ ПС №4 - ПС №10 <input type="checkbox"/> КЛ 110 кВ ПС №4 - ПС №11 |

Формирование транзита производится при помощи специальной функции программы, которая базируется на общей структуре базы данных комплекса систем мониторинга.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ВЛОЖЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В ТРАНЗИТ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ОБЩЕГО ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

Возможно использование трех видов целевой функции, предназначенной для оптимизации сервисных и ремонтных экономических вложений в оборудование транзита:

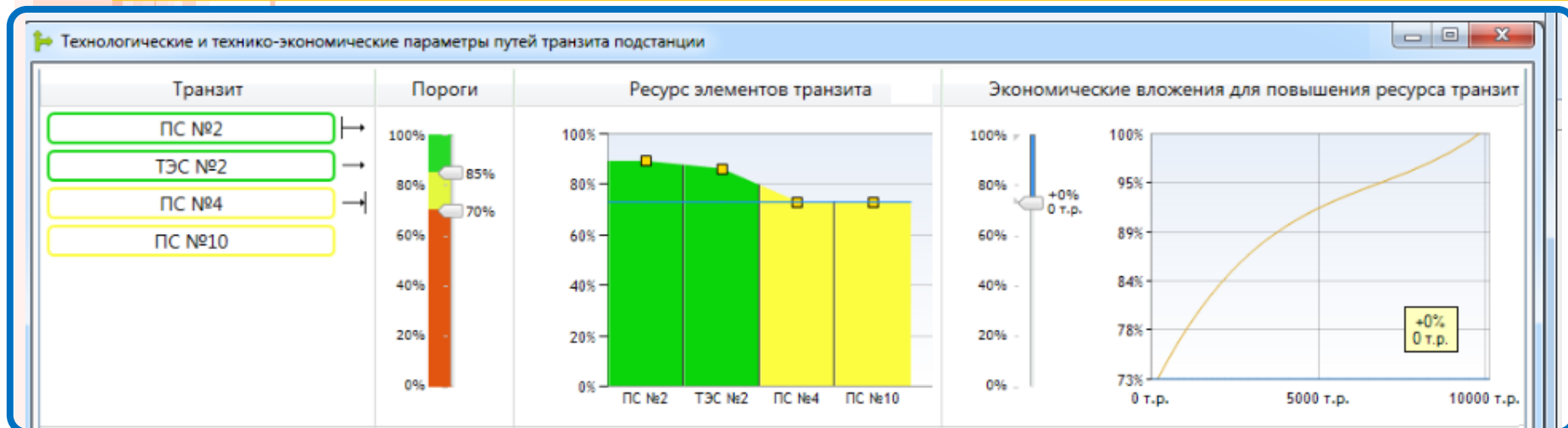
1 - Управление экономическими вложениями в сервис и ремонт оборудования, исходя из определенного системами мониторинга текущего технического ресурса, практически реализуя классическую систему обслуживания по техническому состоянию (локальное планирование затрат).

2 - Устранение «слабого звена» в оборудовании технологической цепи транзита исходя из сравнительного текущего технического ресурса – локализация технологически обоснованных вложений материальных ресурсов (комплексное планирование затрат).

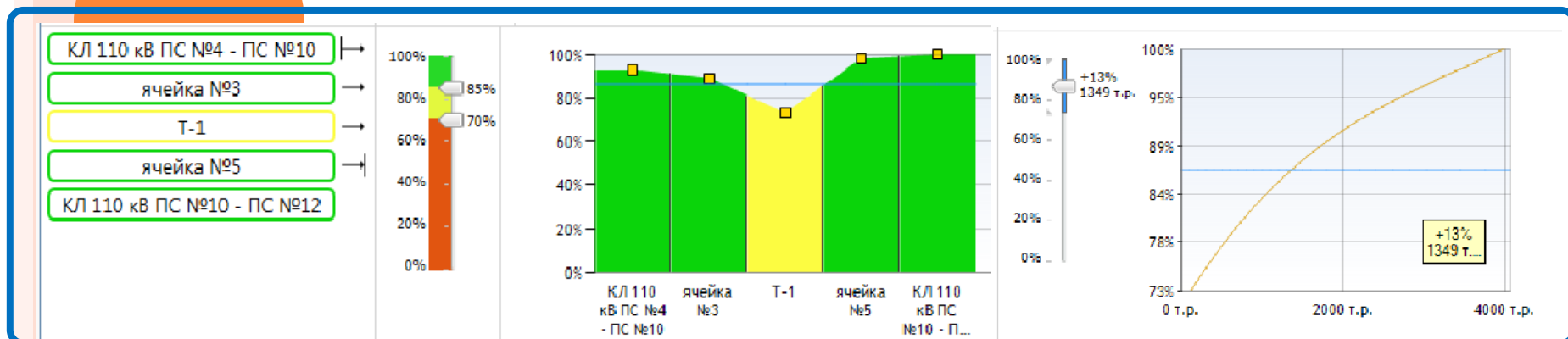
3 – Управление экономическими вложениями в сервис и ремонт исходя из расчетного прогнозного срока развития выявленных в оборудовании дефектных состояний. В этом режиме определяющим фактором является не текущее техническое состояние, а прогнозный срок достижения «худшим по прогнозу оборудованием» предаварийного состояния.

Наиболее эффективным является совместное использование всех трех целевых функций управления, отдавая предпочтение общей минимизации затрат на длительную эксплуатацию оборудования. Самым важным является обеспечение длительной работы (целевая функция 3), и устранение «текущего слабого звена» в транзите (целевая функция 2).

СВЯЗЬ ОБЪЕМА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ВЛОЖЕНИЙ С ГАРАНТИРОВАННЫМ УРОВНЕМ ТЕКУЩЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНЗИТА



Пример графического представления информации о минимальном текущем техническом ресурсе транзита, проходящего через четыре подстанции.

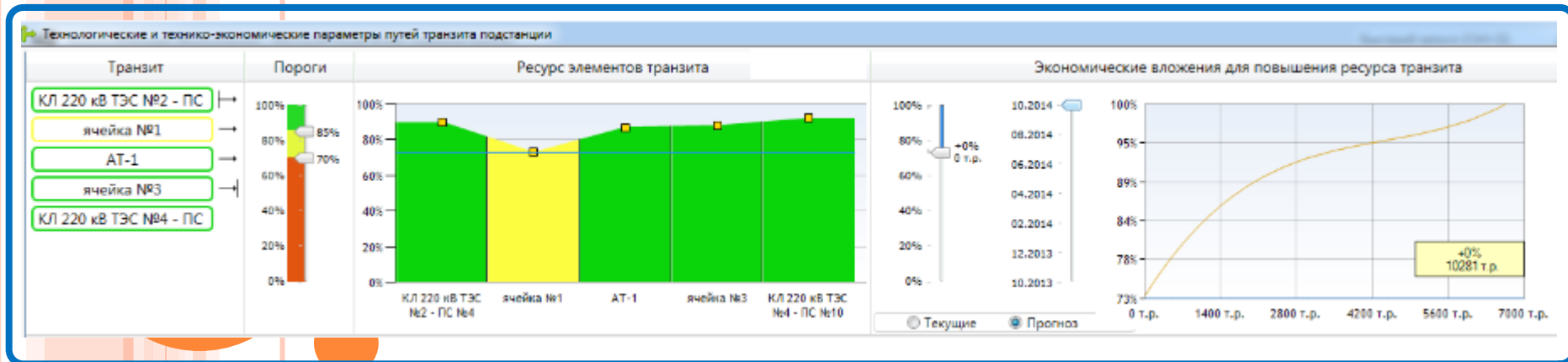


Пример графического представления информации о текущем техническом ресурсе транзита в части, относящейся к оборудованию одной подстанции.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОГО ОБЪЕМА ПЛАНИРУЕМЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ВЛОЖЕНИЙ С УЧЕТОМ ПРОГНОЗОВ ПО ИЗМЕНЕНИЮ СОСТОЯНИЯ ТРАНЗИТА

При планировании экономических вложений в транзит на будущие периоды времени необходимо учитывать то, что техническое состояние оборудования к моменту проведения плановых сервисных и ремонтных работ будет другим, отличным от текущего.

Более правильно планировать экономические вложения в транзит с учетом прогнозов по изменению технического состояния оборудования, определенных с использованием адаптивных математических моделей.



Для этого в программе «iNVA-ALM» необходимо задать конечную точку временного интервала, в течение которого будут производиться экономические вложения. Программа автоматически скорректирует объем затрат, необходимых для поддержания заданного уровня технического состояния транзита, опираясь не на текущее техническое состояние, а на прогнозное состояние оборудования в «момент завершения всех планируемых ремонтных и сервисных работ».