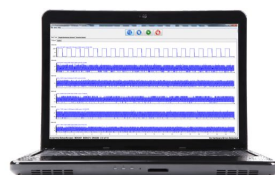




Система поиска места частичного разряда в кабелях в режиме онлайн, разработанная компанией HVPD

Руководство пользователя





Содержание

- 1.0 Введение в методологию и оборудование поиска мест частичного разряда
 - 1.1 Требования к портативному транспондеру (пусковое устройство и импульсный усилитель)
 - 1.2 Аппаратное обеспечение портативного транспондера (2 модуля)
 - 1.2.1 PTT 2000-СТ – устройство запуска разряда
 - 1.2.2 PTT 2000-СТ – портативный импульсный генератор
 - 1.2.3 Соединение транспондера и HFCT для поиска места частичного разряда в кабеле в рабочем режиме
 - 1.3 Советы по использованию портативных транспондеров для поиска мест частичного разряда на высоковольтных кабелях
 - 1.4 Характеристики аппаратного обеспечения
- 2.0 Программа Kronos Cable Mapping (Отображение кабеля) для Kronos Spot Tester
 - 2.1 Введение
 - 2.2 Общий обзор
 - 2.3 Рабочий процесс определения местоположения в KST
 - 2.4 Настройка системы сенсоров
 - 2.5 Запуск программного обеспечения в реальном времени KST Cable Mapping
 - 2.5.1 Запуск нового теста
 - 2.5.2 Запись параметров местоположения (RLP)
 - 2.6 Определение прямого импульса в программном обеспечении
 - 2.7 Восстановление обычной обработки данных в режиме реального времени
 - 2.8 Контроль программного обеспечения в режиме реального времени для создания гистограмм
 - 2.9 По завершении откройте программное обеспечение анализа местоположения, чтобы просмотреть полный набор результатов
 - 2.10 Отображение кабеля при одностороннем тестировании
 - 2.11 Примеры испытательных установок
- Приложение 1: Скорость распространения импульсов частичного разряда для различных типов высоковольтных кабелей

1.0 Введение в методологию и оборудование поиска мест частичного разряда

Для точного обнаружения места частичного разряда на участке высоковольтного кабеля можно использовать тестер частичного разряда HVPD Kronos Spot Tester в сочетании с программой - Kronos Cable Mapping, портативным транспондером и датчиками HFCT. Данная технология использует принцип измерения TOF (Time-Of-Flight – время прохождения сигнала) для импульсов частичного разряда, проходящих по кабелю. Поступающий из изоляции кабеля импульс частичного разряда проходит как по заземленному экрану, так и по жиле кабеля. Измерение разницы во времени между приемом прямого импульса и импульса, отраженного от дальнего конца кабеля, позволяет определить место частичного разряда в кабеле с точностью менее 1% от его длины.

С помощью данного метода IPEC High Voltage успешно обнаруживает места частичного разряда в кабеле с точностью менее 1% от длины кабеля. Метод поиска места частичного разряда основывается на концепции, показанной ниже на рисунке 1.

Как показано на рисунке, при возникновении частичного разряда импульсы от него перемещаются по экрану кабеля (и жиле кабеля) в обоих направлениях от места разряда. Первый импульс (прямой) поступает прямо на тот конец кабеля, с которого проводится измерение. Вторым импульсом, позволяющим определить место частичного разряда, является импульс, отраженный от противоположного (дальнего) конца кабеля и достигший того конца, на котором производится измерение. Такая технология называется «одностороннее обнаружение места частичного разряда» (Single-Ended PD Location) и является наиболее простым и быстрым методом обнаружения места частичного разряда в кабеле, находящемся под напряжением.

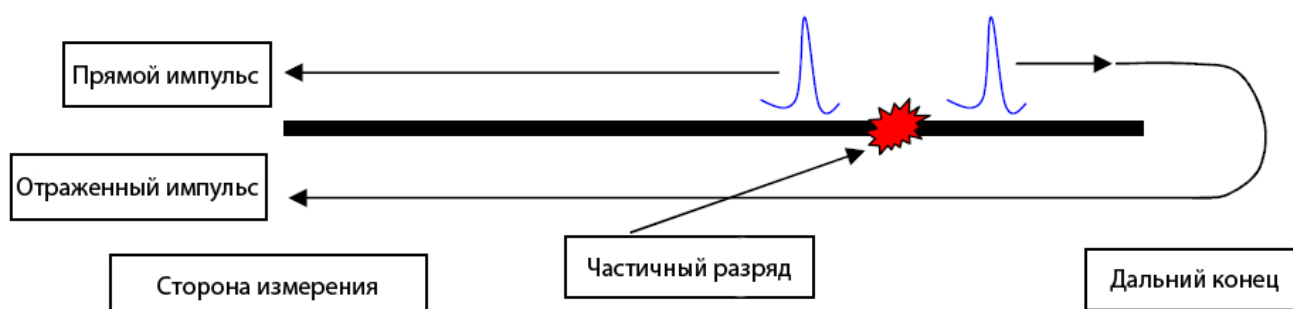


Рисунок 1: Метод одностороннего обнаружения места частичного разряда

Если прямой импульс и отраженный импульс опознаются, то найти место частичного разряда можно относительно легко с помощью метода одностороннего поиска (Single-Ended Location Method). Результаты выглядят следующим образом.



Рисунок 2: Последовательность импульсов частичного разряда со стороны проведения измерения



Как показано на рисунке 2, разница по времени между первыми двумя импульсами (прямым импульсом и отраженным импульсом) ΔT указывает на место частичного разряда. Как видно на рисунке, оба импульса продолжают перемещаться по кабелю, пока их уровень не упадет до уровня шумов. В течение этого времени импульсы отражаются точно на расстоянии L (время возврата импульса по кабелю) от предыдущего появления на той стороне кабеля, где проводится измерение. Это приводит к появлению серии импульсов уменьшающейся амплитуды, располагающихся друг от друга на расстоянии L . Если L - это время возврата по кабелю, то местоположение частичного разряда будет следующим:

Расстояние от стороны измерения (в % от длины кабеля) = $100 \times (1 - \Delta T/L)$

Или:

Расстояние от дальнего конца кабеля (в %) = $100 \times \Delta T/L$

1.1 Требования к портативному транспондеру (пусковое устройство и импульсный усилитель)

В то время как метод одностороннего поиска места частичного разряда можно использовать в идеальных условиях, практика поиска местоположения частичного разряда в высоковольтных кабелях (как в рабочем, так и в нерабочем режиме) показала, что методы измерения с одной стороны кабеля сложно использовать на длинных кабелях, а также в некоторых других случаях. Можно столкнуться со следующими сложностями:

- Слишком большое затухание сигнала. Длинные кабели с высоким затуханием снижают амплитуду отраженного импульса до такой степени, что он теряется в фоновом шуме.
- Формы сигналов, полученные при измерении частичного разряда, сложно интерпретировать из-за помех, например, импульсных шумов электродвигателей, к которым подключен силовой кабель.
- Кабели, имеющие тройниковое соединение или составленные из нескольких длин, вносят более высокое затухание и отражения.
- Кабели с большим числом устройств RMU (Ring Main Unit) вносят затухание и (частично) отраженные импульсы.
- Кабели, не имеющие изменения импеданса на дальнем конце.

Решением данной проблемы является использование портативного транспондера РТТ 2000-СТ (смотрите рисунок 3), который был специально разработан для поиска места частичного разряда в описанных выше случаях.



Рисунок 3: Портативный транспондер типа РТТ 2000-СТ
Сверху устройство запуска разряда, внизу импульсный генератор.

Общий принцип работы заключается в следующем. Если датчик Signal HFCT (обнаружение сигнала), подключенный к устройству Transponder Trigger Unit (устройству запуска), принимает импульс, который превышает регулируемый уровень запуска транспондера, то устройство запуска (Trigger Unit) подает сигнал на импульсный генератор (Pulse Generator Unit), который, в свою очередь, подает мощный импульс 100 В (на 50 Ом) на устройство Pulse Injection HFCT (подача импульса); при этом мощный импульс передается в кабель. Такой процесс позволяет превратить одностороннюю систему поиска местоположения частичного разряда в двустороннюю систему поиска.

Основным преимуществом двусторонней системы поиска места частичного разряда над односторонней системой поиска является отсутствие необходимости пользователю самому интерпретировать форму сигнала, так как это делается устройством запуска разряда (Discharge Trigger Unit) транспондера. Практика показала, что зачастую бывает трудно найти место частичного разряда с помощью простого метода одностороннего измерения по указанным выше причинам (затухание, высокий уровень шумов и т.д.). Как правило, отраженный импульс слишком мал или его легко спутать с множеством других импульсов, которые связаны с другими отражениями сигналов, шумами или другими «искажениями» формы сигнала. Таким образом, если второй импульс можно выделить, сделать заметным, то поиск места частичного разряда будет намного проще и эффективнее. Именно это и является основной задачей транспондера, который повышает амплитуду отраженного импульса настолько, что его можно легко обнаружить. Типовая форма сигнала на измеряемом конце кабеля показана на рисунке ниже.

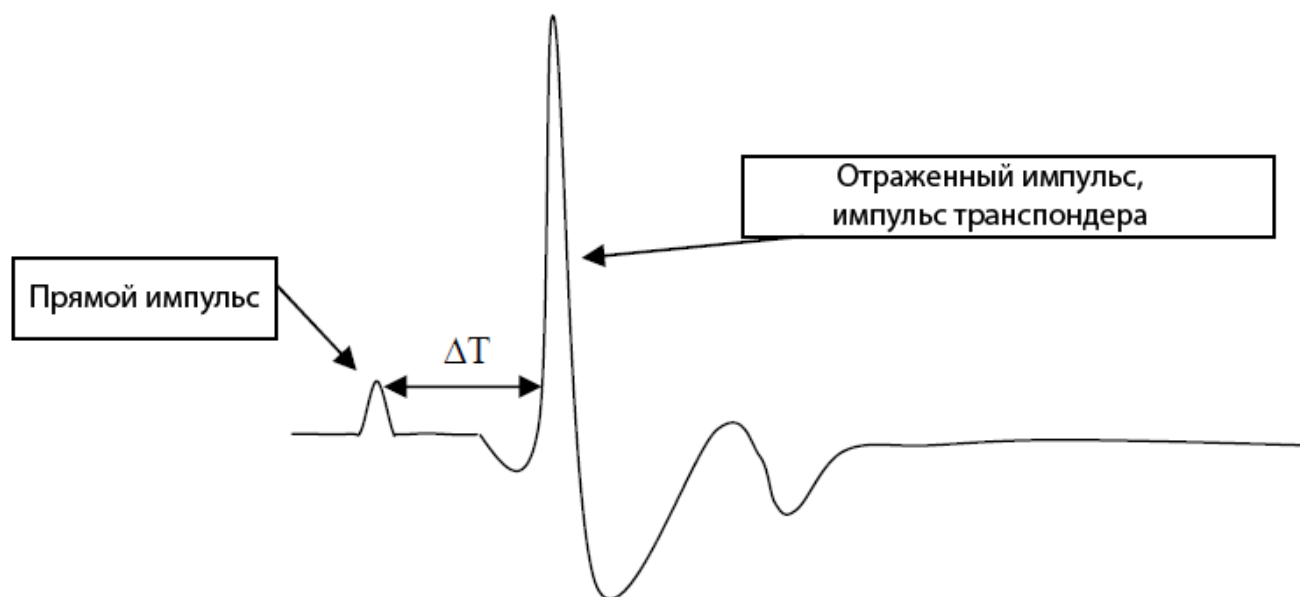


Рисунок 4: Пример формы сигнала с импульсом транспондера

В большинстве случаев пользователь настраивает тестер HVPD Kronos Spot Tester на просмотр прямых импульсов частичного разряда (небольшой амплитуды), так что усиленный с помощью транспондера импульс при обычных обстоятельствах превышает масштаб экрана тестера. В подобных условиях происходит перегрузка усилителей осциллографа, и поэтому форма сигнала, следующего за импульсом транспондера, не совсем верно представляет отражения, которые могут существовать в кабеле при отсутствии импульса транспондера. Для устранения этой проблемы портативный транспондер позволяет задерживать передачу своего импульса, что дает возможность сохранить оригинальную форму сигнала и измерить ее обычным для одностороннего метода способом; но запуск импульса транспондера все равно будет осуществляться. Тестер HVPD Kronos Spot Tester обладает достаточным объемом памяти для обеспечения работы данной функции с той же частотой дискретизации, что используется и при методе одностороннего измерения, и глубиной памяти, которая позволяет в дополнение к времени L для кабеля добавлять задержку 20 мкс, 50 мкс или 100 мкс. Это позволяет сохранить всю оригинальную характеристику, но запускать ее с задержкой импульса транспондера.

Место частичного разряда при использовании транспондера рассчитывается точно так же, как и при использовании стандартного метода одностороннего измерения, то есть с использованием значений времени ΔT и L .

Как видно на приведенном ниже рисунке 5, данный метод позволяет сохранять первоначальную форму сигнала. Это дает возможность использовать метод одностороннего измерения, а также подтверждать положение отраженного импульса с помощью известной задержки импульса транспондера. Типичная форма сигнала будет выглядеть так:



Рисунок 5: Использование ручного транспондеров с задержкой импульса

Для отображения места частичного разряда было разработано программное обеспечение - Kronos Cable Mapping, которое учитывает величину задержки транспондера. Эта задержка программируется пользователем, и программное приложение автоматически вычисляет место частичного разряда.

1.2 Аппаратное обеспечение портативного транспондера (2 модуля)

Лежащая в основе работы транспондера концепция основана на том, что сигнал частичного разряда с удаленного конца кабеля (положение транспондера) сначала обнаруживается устройством запуска разряда. Как только сигнал обнаружен, устройство запуска подает сигнал на импульсный генератор, который используется для повышения уровня (усиления) исходящего импульса, подаваемого обратно в экран/проводник кабеля и перемещающегося обратно по кабелю к измерительному концу. Это позволяет установленному на измерительном конце кабеля тестеру HVPD Kronos Spot Tester обнаружить «отраженный» от дальнего конца кабеля импульс. Таким образом, оборудование представляет собой сочетание устройство запуска по импульсу частичного разряда с мощным импульсным генератором (100 В). Подробная информация об этих устройствах приводится в следующих разделах.

1.2.1 РТТ 2000-СТ – устройство запуска разряда

Этот прибор предназначен для работы в качестве устройства запуска при обнаружении импульсов частичного разряда, проходящих по экрану/проводнику высоковольтных кабелей. Данное устройство можно использовать для приблизительной оценки уровня частичного разряда, а в системе транспондера оно применяется для запуска импульсного генератора, который используется для определения мест частичного разряда на кабельных сетях. В качестве источника питания на устройстве запуска используется аккумулятор, заряда которого хватает на 6 – 8 часов непрерывной работы. Передняя панель устройства запуска разряда показана на рисунке 6.



Рисунок 6: РТТ 2000-СТ – устройство запуска разряда

**Включение/выключение питания**

Этот переключатель позволяет включать устройство, питающееся от аккумулятора.

ON

Зеленый светодиодный индикатор горит постоянно, пока напряжение аккумуляторной батареи находится на удовлетворительном уровне.

Когда напряжения аккумуляторной батареи недостаточно для правильной работы устройства, в качестве предупреждения об этом будет мигать индикатор ON. В этот момент необходимо выключить устройство и зарядить его аккумулятор.

Вход и регулятор входной чувствительности

Крайним левым на передней панели устройства (с маркировкой INPUT) является входной разъем BNC, предназначенный для подачи сигнала частичного разряда (от датчика HFCT). Переключатель справа от входа BNC позволяет выбрать его импеданс – 50 Ом или высокий (High Impedance). Данный переключатель можно использовать в тех случаях, когда устройство подключается параллельно с другим устройством, имеющим согласованную нагрузку 50 Ом. В этом случае для выбора импеданса 50 Ом переключатель следует установить в положение OUT. Если же для подключения датчика используется только данный вход, переключатель необходимо установить в положение IN.

Регулятор усиления

Регулятор усиления является единственной ручкой на передней панели устройства; этот регулятор изменяет коэффициент усиления усилителя устройства, с которого сигнал подается на схемы срабатывания. Уровни сигнала на этом приборе выводятся на состоящий из 10 светодиодов вертикальный индикатор на передней панели (шесть желтых светодиодов и четыре красных). Если уровень принимаемого сигнала достигает первого красного светодиода (светодиод уровня 7 из 10), происходит срабатывание устройства. Уровень усиления устройства можно регулировать таким образом, что пороговый уровень срабатывания будет соответствовать уровням конкретных имеющихся сигналов.

Индикатор срабатывания

При каждом срабатывании устройства будет мигать красный «светодиодный индикатор срабатывания». Если же индикатор горит постоянно, значит, схема срабатывает непрерывно, что обычно не требуется. В этом случае измените (повысьте) уровень срабатывания с помощью регулятора усиления, чтобы устройство срабатывало только время от времени.

Выход BNC (PULSE OUT)

Выходной разъем BNC (PULSE OUT) на правой стороне устройства предназначен для соединения с входом импульсного генератора (смотрите раздел ниже). Также с этого выхода можно управлять запуском других устройств.

Настройка устройства запуска – Общая информация

Конструкция устройства запуска обеспечивает легкость в использовании; управление прибором осуществляется следующим образом:

- 1) Подайте сигнал BNC от датчика HFCT на вход BNC (INPUT).
- 2) По необходимости включите (ON) или выключите (OFF) внутреннюю нагрузку 50 Ом (в стандартном режиме необходимо установить на ON).
- 3) Поверните ручку регулятора усиления в такое положение, чтобы уровень сигнала приблизительно соответствовал седьмому светодиоду индикатора (+/- один светодиод). При этом уровне устройство будет срабатывать.
- 4) Выходной сигнал срабатывания затем подается на импульсный генератор, который, как описано в следующем разделе, подает обратно в кабель импульс напряжением 100В.

1.2.2 РТТ 2000-СТ – портативный импульсный генератор

Портативный импульсный генератор используется совместно с устройством запуска в качестве источника импульсов фиксированной амплитуды и переменной длительности для их индуктивной подачи в силовую кабель с помощью высокочастотного трансформатора тока. Импульсный генератор способен



подавать на выход импульсы переменной длительности, которую пользователь может изменять в пределах от 100 нс и 10 мкс.

Пользователь может выбрать, будут ли импульсы запускаться от внутреннего генератора 10 Гц, или по переднему или заднему фронту внешнего сигнала с напряжением уровня TTL. Выходной импульс имеет номинальное пиковое напряжение 200 В при высоком импедансе или номинальное пиковое напряжение 100 В при импедансе 50 Ом. Также предусмотрен низковольтный пусковой импульс с номинальным напряжением 2 В. Устройство питается от аккумуляторной батареи, которая способна обеспечить 6 – 8 часов непрерывной работы. Устройство с питанием от аккумуляторов имеет значительные преимущества при использовании для тестирования по сравнению с другими приборами, требующими трехфазного «сетевого» электропитания. Портативный импульсный генератор показан на рисунке 7 ниже.



Рисунок 7: Портативный импульсный генератор и устройство запуска разряда РТТ 2000-СТ

Устройство запуска разряда – Индикаторы на передней панели

ON

Зеленый светодиодный индикатор горит постоянно, пока напряжение аккумуляторной батареи находится на удовлетворительном уровне.

Когда напряжения аккумуляторной батареи недостаточно для правильной работы устройства, в качестве предупреждения об этом будет мигать индикатор ON. В этот момент необходимо выключить устройство и зарядить его аккумулятор.

TRIGGERED

Красный светодиодный индикатор загорается каждый раз, когда устройство генерирует импульс, т.е. когда устройство запускается извне (от устройства запуска), либо от своего внутреннего генератора 10 Гц.

Вход BNC

К данному входу подключается провод датчика HFCT, установленного на тестируемый кабель.

Выход BNC

Выход сигнала запуска по короткому кабелю BNC подается на вход портативного импульсного генератора для его внешнего запуска.

Портативный импульсный генератор – Элементы управления на передней панели

POWER

Когда данный переключатель находится в нижнем положении, генератор включен. Когда устройство не используется, устанавливайте этот переключатель в верхнее положение, чтобы предотвратить разряд внутренней аккумуляторной батареи.

AUTO/EXT

Когда этот переключатель находится в верхнем положении или в позиции AUTO, устройство запускается от внутреннего генератора с фиксированной частотой 10 Гц. Эту функцию можно, например, использовать для автоматической передачи импульсов по кабелю для измерения «времени



возвращения» для данного кабеля. Для всех других приложений устройства переключатель следует устанавливать в нижнее положение EXT, чтобы импульсный генератор запускался от внешнего устройства.

Выход устройства (или другого внешнего источника сигнала с уровнями напряжения TTL), который соединен с разъемом BNC EXT IN.

TRIGGER

Этот переключатель действует только тогда, когда устройство находится в режиме EXT. В верхнем положении переключателя устройство запускается по фронту входного сигнала. В нижнем же положении переключателя устройство запускается от среза сигнала.

Примечание: Это имеет значение, когда генератор используется в сочетании с устройством запуска, имеющим точную длительность выходного импульса 25 микросекунд, а фронт импульса совпадает с вызывающим его импульсом частичного разряда. При запуске по фронту высоковольтный выходной импульс возникает в то же самое время, что и импульс разряда; при запуске по срезу высоковольтный выходной импульс возникает на 25 микросекунд позже.

RANGE

Этот переключатель управляет длительностью выходного импульса. В верхнем положении (10 мкс) длительность импульса можно регулировать в пределах от 1 до 11 микросекунд. В нижнем положении (1 мкс) длительность импульса можно регулировать в пределах от 0,1 до 1,1 микросекунды.

PULSE WIDTH

Эта ручка позволяет регулировать длительность выходного импульса. Переключателем RANGE выберите желаемый диапазон длительности выходных импульсов, затем с помощью этого регулятора установите необходимую длительность импульса.

Вход BNC - EXT In

К этому разъему подключается короткий кабель BNC, идущий от устройства запуска разряда. Он позволяет запускать импульсный генератор и подавать на выход импульс напряжением 100 В, который вводится в кабель с помощью HFCT.

Выход BNC 1 - LV OUT

Когда генератор посылает высоковольтный импульс, на этот выход подается импульс +2 В. Этот маломощный импульс предназначен только для запуска осциллографа.

Выход BNC 2 - HV OUT

На этот выход BNC подается импульс положительной полярности с номинальной амплитудой 100 В на согласованную нагрузку 50 Ом. Так как этот сигнал имеет высокое напряжение, для предотвращения ущерба при контакте с персоналом или чувствительным электронным оборудованием необходимо предпринять соответствующие меры безопасности. В идеале для подключения предназначенного для этой цели высокочастотного трансформатора тока следует использовать высококачественный коаксиальный кабель. Чтобы избежать нарушения любых местных правил электромагнитной совместимости (ЕМС), необходимо обеспечить достаточное экранирование. Ни при каких обстоятельствах не следует использовать этот генератор в самолете во время полета или в любых других условиях, где высоковольтные импульсы могут представлять опасность.

Предупреждение

Ни в коем случае не подавайте сигнал с выхода PULSE OUT на вход BNC INPUT устройства запуска, так как импульс напряжением 100 В может повредить чувствительные входные цепи этого устройства.

1.2.3 Соединение транспондера и HFCT для поиска места частичного разряда в кабеле в рабочем режиме

Стандартная установка для обнаружения места (мест) частичного разряда на высоковольтном кабеле с помощью тестера HVPD Kronos Spot Tester™ и портативного транспондера показана на рисунке 8. В

этом примере измерения проводятся с помощью тестера HVPD Kronos Spot Tester™ на подстанции А, а устройство запуска и импульсный генератор расположены на подстанции В и предназначены для создания усиленных отраженных импульсов, которые передаются обратно по кабелю для обнаружения на стороне измерения.

НВ (выход 100 В)

Когда внутренний высоковольтный источник сигнала импульсного генератора имеет уровень, достаточный для обеспечения номинального выходного напряжения импульса, загорается желтый светодиодный индикатор. В обычных условиях этот индикатор будет гореть постоянно. При внешнем запуске существует возможность (из-за неправильной установки пользователем «порогового уровня») попытки устройства генерировать импульсы с чрезмерной частотой, что потребует слишком большого тока и окажет излишнюю нагрузку на внутренний высоковольтный генератор. В подобных условиях безопаснее уменьшить выходное напряжение высоковольтного генератора до уровня возможностей устройства, после чего желтый светодиод НВ погаснет. Когда необходимость в импульсе снизится, восстановится правильное напряжение внутреннего высоковольтного генератора, и светодиодный индикатор загорится снова.

Вход ВNC

При работе в режиме EXT генератор будет запускать импульс, подаваемый с уровнем напряжения TTL, т.е. низкий <0,5 В, высокий >2 В.

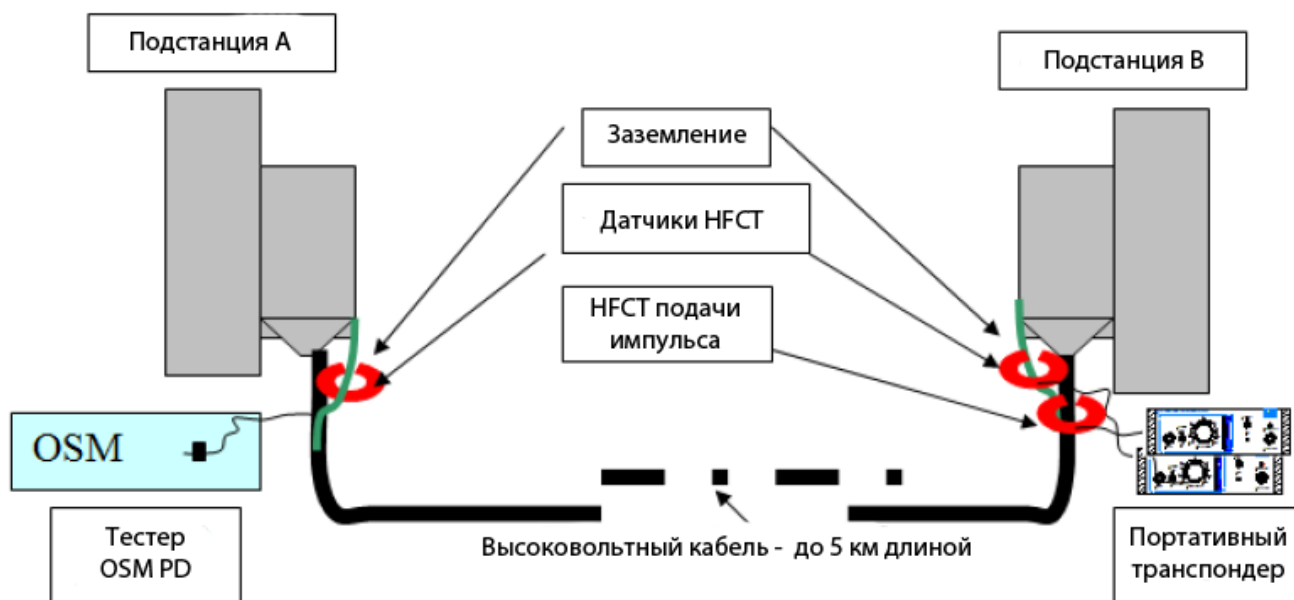


Рисунок 8: Стандартная установка для двустороннего поиска мест частичного разряда на кабеле в рабочем режиме.

1.3 Советы по использованию портативных транспондеров для поиска мест частичного разряда на высоковольтных кабелях

1. При подготовке портативного транспондера на удаленном конце кабеля всегда важно установить на устройстве запуска разряда правильный уровень сигнала частичного разряда. Это позволит запускать импульсный генератор только от импульсов частичного разряда, а не от шумов или импульсов другого типа.
2. Постарайтесь убедиться, что на обоих концах кабеля видны одни и те же сигналы частичного разряда. Это позволит гарантировать, что транспондер будет реагировать на импульсы, которые дойдут до дальнего конца кабеля. Например, если кабель очень длинный (например, более 3 км) и импульсы в



кабеле имеют очень маленькую амплитуду (скажем, около 50 пКл), то маловероятно, что такие импульсы частичного разряда будут видны на обоих концах кабеля. Таким образом, импульсные сигналы транспондера не будут связаны с любым сигналом, который можно увидеть на измерительной стороне кабеля. Это еще одна причина для использования импульса транспондера с задержкой, что позволит сделать видимым оригинальный импульс частичного разряда. В этом случае будет очевидно, что импульс транспондера не связана с какими-либо сигналами на измерительной стороне.

3. Если позволяет время, для подтверждения правильности определения места частичного разряда измерение можно провести с обоих концов кабеля; это позволит более точно определить место неисправности. Хотя это и увеличит вдвое время измерения, в случаях сомнения в правильности определения места частичного разряда в кабеле такое измерение будет полезным.

4. В большинстве случаев измерений в режиме онлайн будет только несколько мест, в которых возможно возникновение частичного разряда. Настройте транспондер таким образом, чтобы он запускался, реагируя только на эти события, а не на любые другие импульсы, которые могут быть связаны с шумами или помехами. Другими словами, используйте тот факт, что большие события частичного разряда значительно упрощают измерения. Это следует соотносить с тем фактом, что места возникновения частичного разряда часто имеют характеристическую величину, особенно в процессе своего развития. Поэтому старайтесь, чтобы можно было записывать события частичного разряда с как можно меньшим уровнем, так как они могут соответствовать тем местам частичного разряда, которые вырастут в будущем в более активные события. Попробуйте использовать хорошие сигналы, но помните, чтобы также хорошо захватить динамический диапазон событий частичного разряда.

5. Часто в ходе проведения измерений может изменяться характер частичного разряда, так как частичный разряд зависит от нагрузки, напряжения, времени и т.д. Часто бывает полезно во время тестирования частичного разряда в режиме онлайн иметь на удаленном конце тестируемого кабеля сотрудника, который мог бы во время измерения настраивать транспондеры вручную. В этом случае для точного обмена информацией между двумя подстанциями очень важно поддерживать постоянную мобильную связь.

6. Если фактическая длина кабеля «L» неизвестна, ее можно измерить в режиме онлайн с помощью портативного транспондера. На той стороне кабеля, где проводятся измерения, установите импульсный генератор (для этого идеально подходит второй транспондер), чтобы транспондер на дальнем конце кабеля запускался при получении импульса, генерируемого на измерительном конце кабеля. Разница во времени между передачей импульса и получением импульса от транспондера является временем возврата импульса для данного кабеля. Убедитесь, что измеренное время является разумным для приблизительной длины тестируемого кабеля. Убедитесь также, что измерение повторяется, а не является запуском от шумов на дальнем конце кабеля.

7. Это лучше выполнять данное измерение с использованием двух транспондеров, так как уровень сигнала будет иметь достаточно большой уровень для того, чтобы шум не вызывал проблемы с запуском удаленного транспондера.

8. Транспондеры можно подключать в цепь кабеля на устройствах Ring Main Unit (RMU), т.е. их не обязательно нужно устанавливать на концах кабеля. Однако важно убедиться, что транспондер хорошо связан с тестируемой цепью. Используйте метод измерения длины кабеля по возвращаемому импульсу, чтобы убедиться в реакции системы на импульсы в кабеле и нормальной передаче импульса транспондера обратно в кабель. Часто в таких случаях оставляет желать лучшего связь HFCT с линиями заземления. При этом уровни сигналов могут не быть такими же, как на концах. Учитывайте это, если намерены использовать данный метод.

9. При необходимости транспондеры можно использовать в нерабочем режиме. В этом случае в качестве обратного провода для сигнала транспондера используйте другую жилу кабеля. При этом импульс транспондера никогда не будет появляться в главном тракте сигнала, поэтому для данного приложения используйте другой канал на тестере HVPD-Kronos Spot Tester. Как правило, этот метод легко использовать в нерабочем режиме, так как не возникают трудности с индуктивным соединением. В данном случае уровень сигнала 50 В может быть слишком большим, для обнаружения импульса транспондера, возможно, придется использовать пробник с настройку 1/10.



Пожалуйста, имейте в виду:

Приведенные выше советы по использованию являются лишь введением к применению технологии. Компания HVPD настоятельно рекомендует конечным пользователям оборудования запросить у HVPD полный набор документов, обучающих использованию оборудования.

1.4 Характеристики аппаратного обеспечения

Характеристики портативного транспондера (устройство запуска и генератор импульсов)

Амплитуда выходного импульса	100 В на 50 Ом
Длительность выходного импульса	1 мкс
Задержка импульса на устройстве запуска	375 нс +/- 5%
Задержка импульса на импульсном генераторе	375 нс +/- 5%
Суммарная задержка	750 нс +/- 5%
Настройка задержки выходного импульса	25 мкс
Диапазон уровней срабатывания (высокое усиление)	5 мВ – 150 мВ
Диапазон уровней срабатывания (низкое усиление)	100 мВ – 1000 мВ
Полярность срабатывания	Запускать устройство будут импульсы +ve или -ve.
Ширина полосы частот входного сигнала	10 МГц
Ограничения для входа	Никакие импульсы не будут приводить к запуску в течение 100 мкс после запуска. Это позволяет избежать повторных запусков из-за отраженных импульсов.
Режим Free Run	Отключаемый режим, при котором устройство генерирует импульсы непрерывно с фиксированным интервалом.
Интервалы для режима Free Run	1 мс, 1 секунда, 1 минута
Защита входа/выхода	Защита с помощью газоразрядных ламп
Разъемы входа/выхода	Типа BNC
Питание	Батарейное питание – От 6 до 8 часов непрерывного использования
Масса (устройство запуска + импульсный генератор)	4 кг



2.0 Kronos Cable Mapping (Отображение кабеля)

2.1 Введение

Программное обеспечение KST вводит новый метод для обнаружения неисправностей, вызывающих появление частичного разряда. Этот метод позволяет определять местоположение в режиме реального времени с помощью программного обеспечения сбора данных Cable Map. Метод определения местоположения KST собирает данные за полный цикл электропитания и не работает с запуском по отдельным событиям. Это удобно, так как для проверки результатов можно использовать график PRPD. Программа определения местоположения KST использует для идентификации отраженного импульса метод распознавание образов. Если используется транспондер, то распознается его импульс (данный режим называется отображением с двусторонним тестированием – Double Ended Mapping). Если же кабель с учетом его потерь достаточно короткий, для выполнения отображения можно использовать отраженный импульс (данный режим называется односторонним отображением – Single Ended Mapping). В обоих случаях программное обеспечение должно с помощью функции распознавания образов идентифицировать или распознать «Сигнатуру транспондера».

Должна быть известна скорость распространения импульса. Если скорость распространения импульса, как и длина кабеля, неизвестны, необходимо обязательно оценить скорость, потому что отсутствие этой информации отрицательно скажется на точности определения местоположения. Если же скорость распространения неизвестна, но известна длина кабеля, программное обеспечение KST можно использовать для измерения скорости распространения. Поэтому при необходимости для оценки длины кабеля можно использовать систему KST.

2.2 Общий обзор

Необходимо оценить или измерить следующие необходимые параметры определения местоположения (RLP):

- Скорость распространения импульса (м/мкс)
- Длина кабеля (м)
- Время задержки транспондера (если используется) (мкс)

Для идентификации отраженного импульса программа сбора данных KST использует метод распознавания образов. С учетом параметров RLP программное обеспечение рассчитывает временное окно, которое применяется до времени прибытия идентифицированного отраженного импульса в цикле электропитания. Все обнаруженные события частичного разряда, попадающие в приемочное временное окно (Time Acceptance Window – TAW), назначаются гистограмме. Гистограмма рассчитывается путем взятия «дельты Т», которая рассчитывается как разница между временем прибытия импульса транспондера или отраженного импульса. Для каждого события, попадающего в окно TAW, значение «Delta t (us)» (DT) увеличивается. Обычно импульс транспондера в каждом цикле электропитания запускается несколько раз. Гистограмма обновляется несколько раз за каждый цикл электропитания. События частичного разряда при запуске импульса транспондера будут систематическими, поскольку для одного и того же места возникновения частичного разряда измеренное значение DT будет одинаковым (хотя и в пределах шумов аппаратуры и там, где места возникновения частичных разрядов будут распределенными, например, в кабелях с бумажной изоляцией). Распределение значений DT для импульсов шума, конечно, будет в TAW однородным.

2.3 Рабочий процесс определения местоположения в KST

Ниже показаны шаги, необходимые для определения местоположения частичного разряда с помощью программного обеспечения KST:

- Настройте систему сенсоров
- Запустите программное обеспечение в реальном времени KST Cable Mapping
- Запустите новый тест
- Запишите параметры местоположения (acr)



- Если необходимо, выполните тест оценки параметров определения местоположения (RLP).
- Идентифицируйте отраженный импульс в программном обеспечении
 - «режим реального времени»
- Вернитесь, чтобы обрабатывать данные в обычном режиме в реальном времени
- Контролируйте программное обеспечение в реальном времени для создания гистограмм
- Контролируйте пользовательский интерфейс программного обеспечения в режиме реального времени для обратного считывания оценки местоположения неисправности.
- По завершении для просмотра полного набора результатов откройте программное обеспечение анализа местоположения.

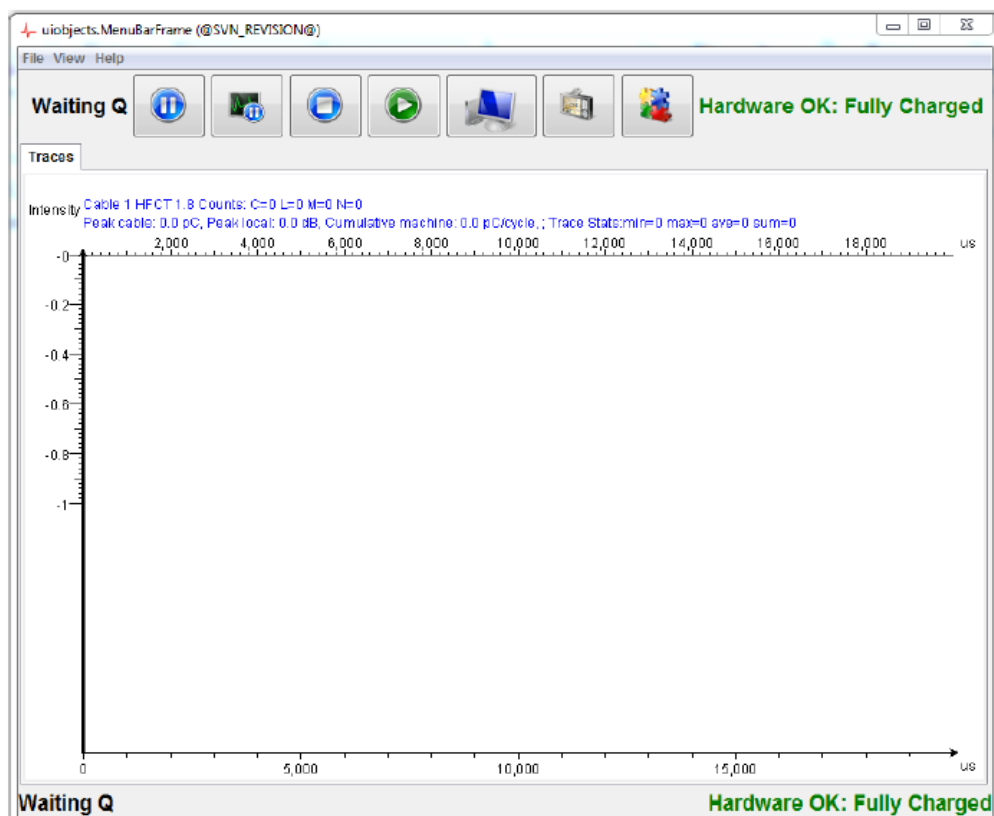
Ниже детализируем и проиллюстрируем рабочий процесс на реальном примере.

2.4 Настройка системы сенсоров

В данном примере используется кабель RG223 длиной 140 метров; 140 метров состоят из катушек 2 x 50 метров и 2 x 20 метров. Кабель RG223 является аналогом силового кабеля. Силовой кабель на обоих концах имеет оконечную согласованную нагрузку 50 Ом. Источник частичного разряда HVPD подключается через 90 метров. Он генерирует частичный разряд с естественным разделением по фазам, и эти импульсы распространяются по силовому кабелю, поскольку он имеет гальванические соединения. Для запуска транспондера и для передачи усиленного импульса транспондера обратно в силовой кабель (по завершении времени задержки транспондера) на дальнем конце кабеля используется обычная сборка 2XHFCT.

2.5 Запуск программного обеспечения в реальном времени KST Cable Mapping

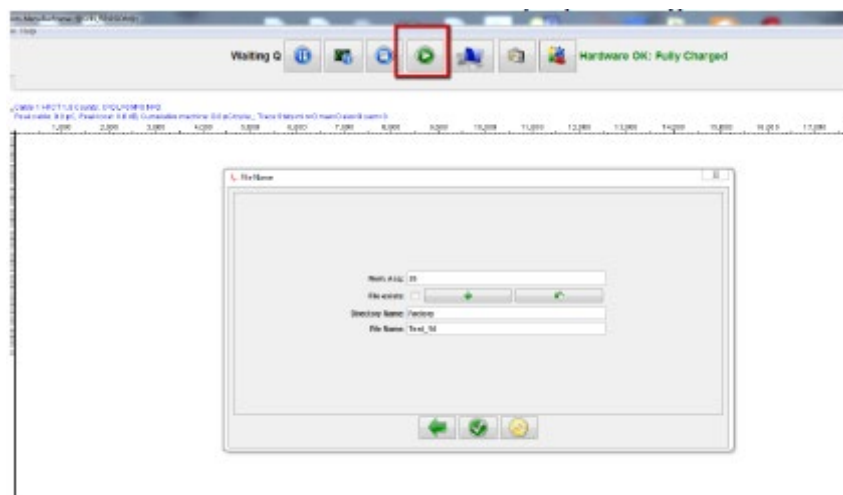
Программное обеспечение отображения кабеля должно быть запущено. Окно приложения будет выглядеть, как показано на рисунке ниже. Обратите внимание на любые проблемы с оборудованием, о которых сообщает программное обеспечение, и устраните их.





2.5.1 Запуск нового теста

Тестирование частичного разряда запускается нажатием кнопки начала сбора данных.



2.5.2 Запись параметров местоположения (RLP)

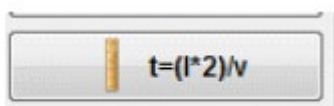
На странице программного обеспечения Cable Mapping Setup (Настройка отображения кабеля) необходимо ввести обязательные параметры местоположения (Required Location Parameter – RLP). В этом примере известно следующее:

- Длина тестируемого кабеля составляет 140 метров.
 - Длина измерительных проводов составляет 6 метров, и для обеспечения точности измерения необходимо добавить это расстояние.
- Скорость распространения составляет 198 м/мкс.
 - Имейте в виду, что это не скорость возврата.
 - Скорость возврата = скорость распространения/2
- Задержка транспондера составляет 25,72 (указано на задней панели блока транспондера)

Страницу отображения кабеля также можно использовать для получения сигнатуры отраженного импульса из главного окна, если он уже был идентифицирован. Для этого нажмите кнопку Set From Global Setup (Установить из общей настройки).



Длина кабеля, скорость распространения и задержка транспондера введены.
Чтобы рассчитать время возврата кабеля, нажмите эту кнопку:



Теперь настройка теста может продолжаться в обычном режиме, программное обеспечение сбора данных перейдет в режим реального времени.
Перейдите к методам, применимым к настройке теста.



2.6 Определение прямого импульса в программном обеспечении

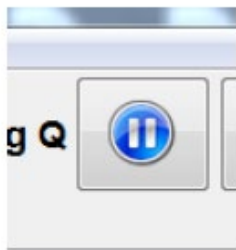
Система будет записывать и отображать на экране данные кривой, получаемые с 1-го канала KST. Если предположить, что форма импульса транспондера еще не известна, прежде всего, нужно идентифицировать этот импульс для программного обеспечения. Необходимо выполнить следующие задачи:

- Выбрать режим анализа для программного обеспечения.

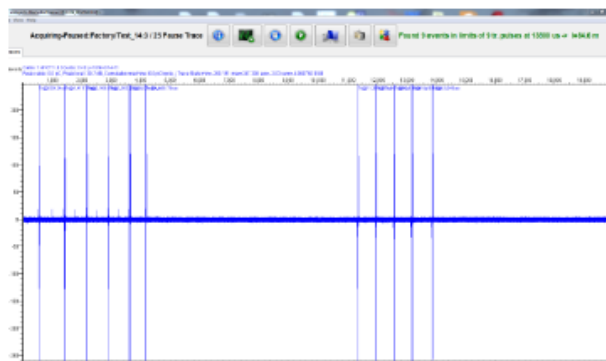


Примечание: Режим реального времени будет сохраняться постоянно без выполнения расчета частичного разряда.

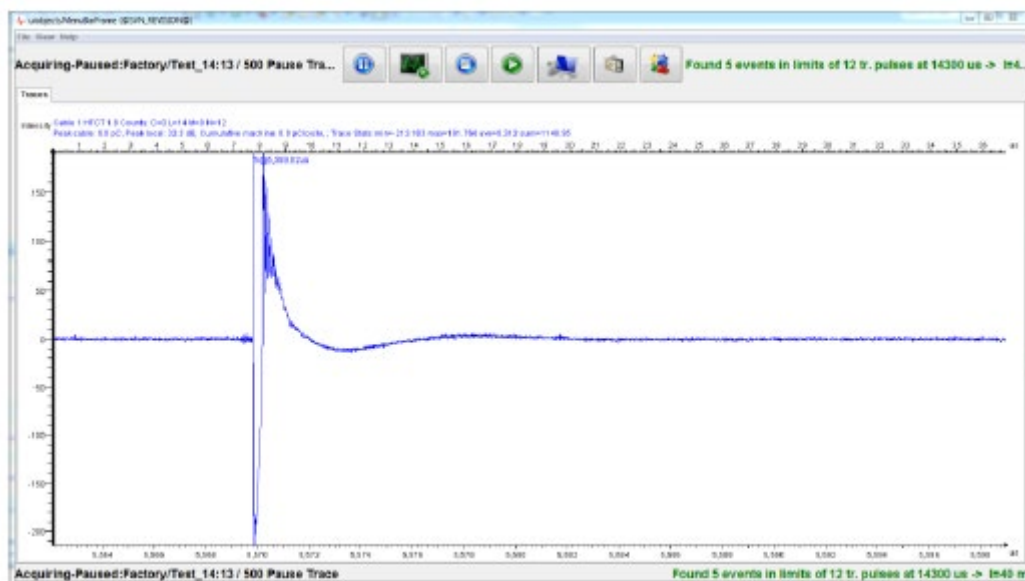
- Приостановить сбор данных для идентификации импульсов транспондера.



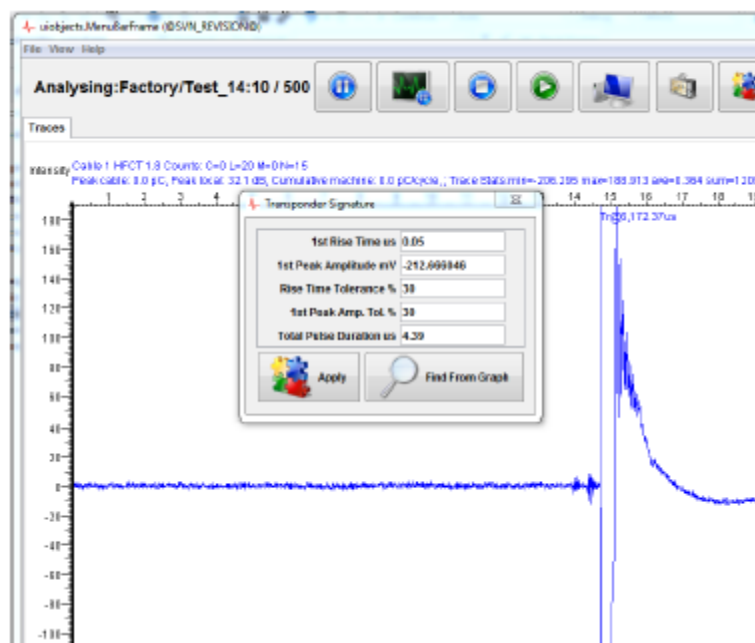
- Сделайте это, когда в режиме реального времени отображается подходящая кривая с идентифицируемыми импульсами транспондера.



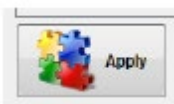
- Если необходимо, вручную измените масштаб вокруг одного импульса транспондера.
 - Чтобы выбрать импульс транспондера, используйте функцию панорамирования с помощью левой кнопки мыши (или клавиш перемещения курсора).



- Теперь можно идентифицировать сигнатуру транспондера.
 - Откройте вкладку View (Вид) и выберите диалоговое окно Transponder Signature (Сигнатура транспондера).
 - Нажмите Find From Graph (Найти на графике).



- Примените параметры к программному обеспечению.



- Дважды щелкните кнопкой мыши, чтобы уменьшить масштаб.



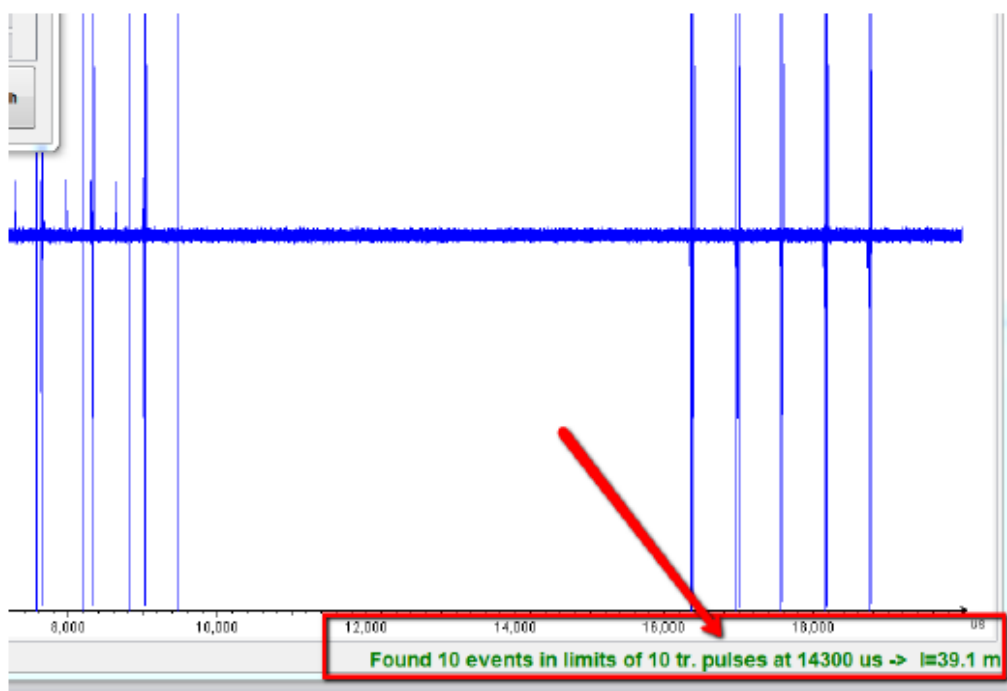
2.7 Восстановление обычной обработки данных в режиме реального времени

Перейдите в режим анализа, нажав одновременно кнопки паузы и режима анализа.



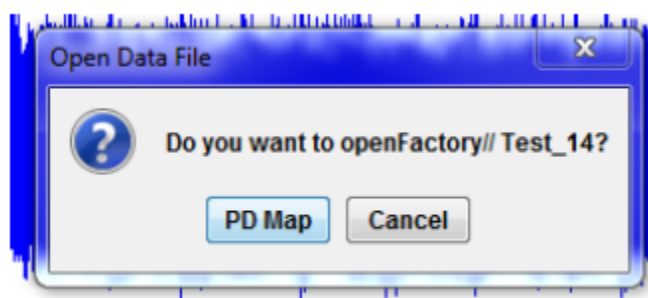
- Теперь анализ будет выполняться в режиме реального времени.

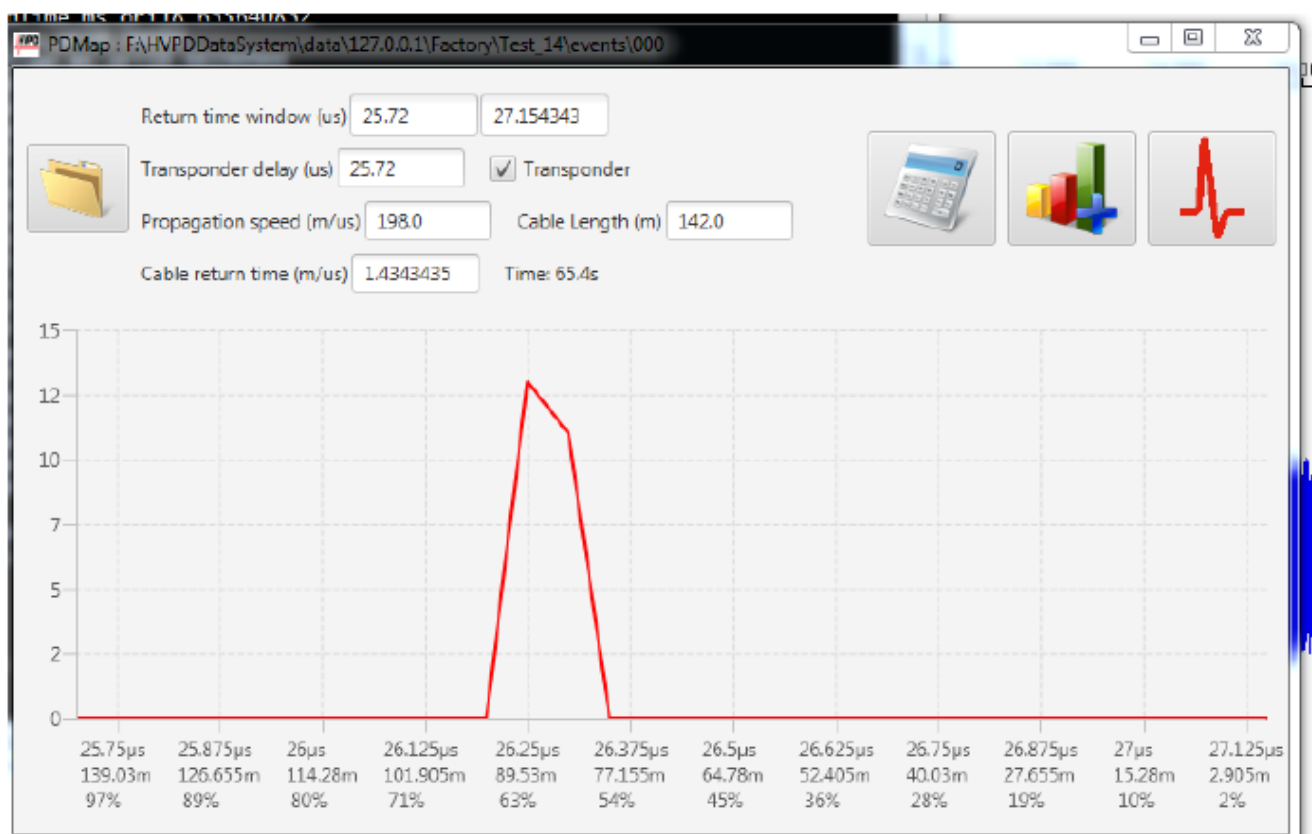
2.8. Контроль программного обеспечения в режиме реального времени для создания гистограмм



2.9 По завершении откройте программное обеспечение анализа местоположения, чтобы просмотреть полный набор результатов

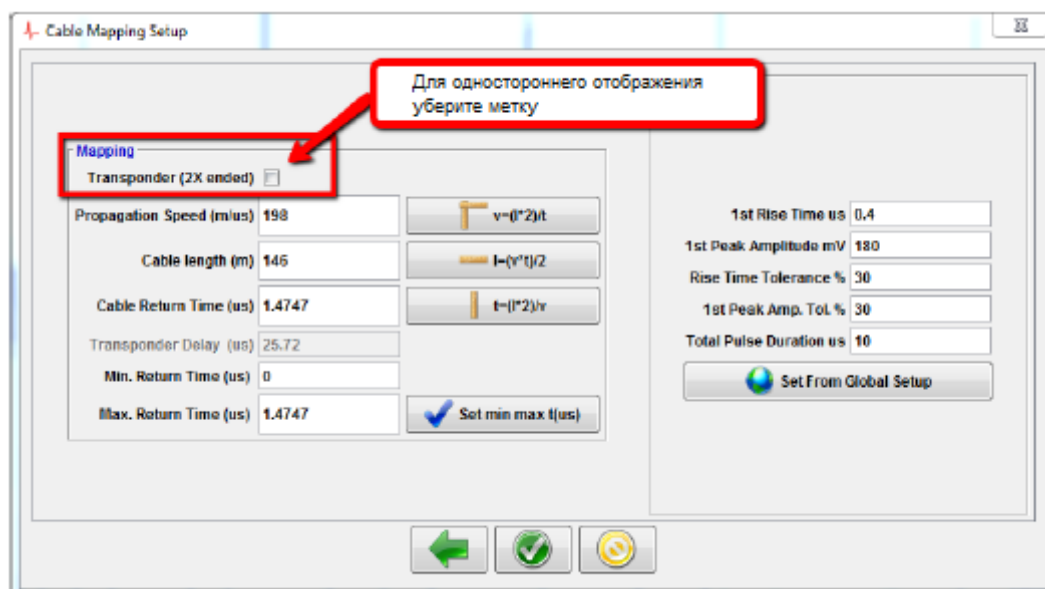
- Откройте программное обеспечение анализа



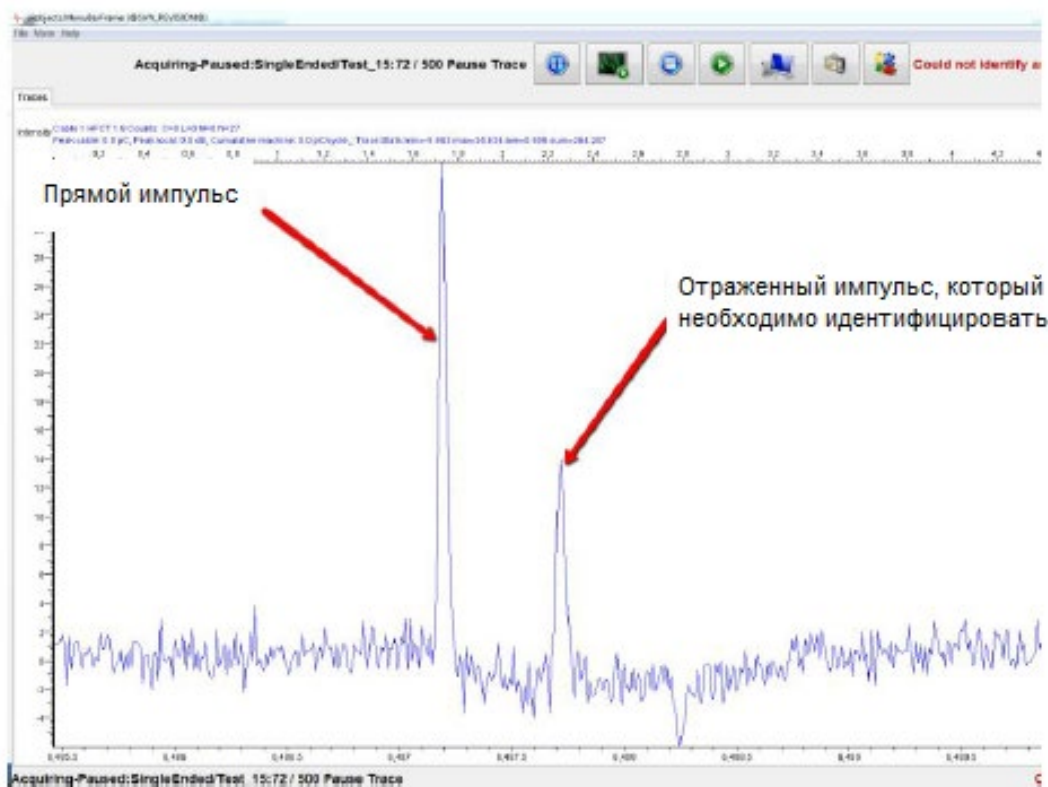


2.10 Отображение кабеля при одностороннем тестировании

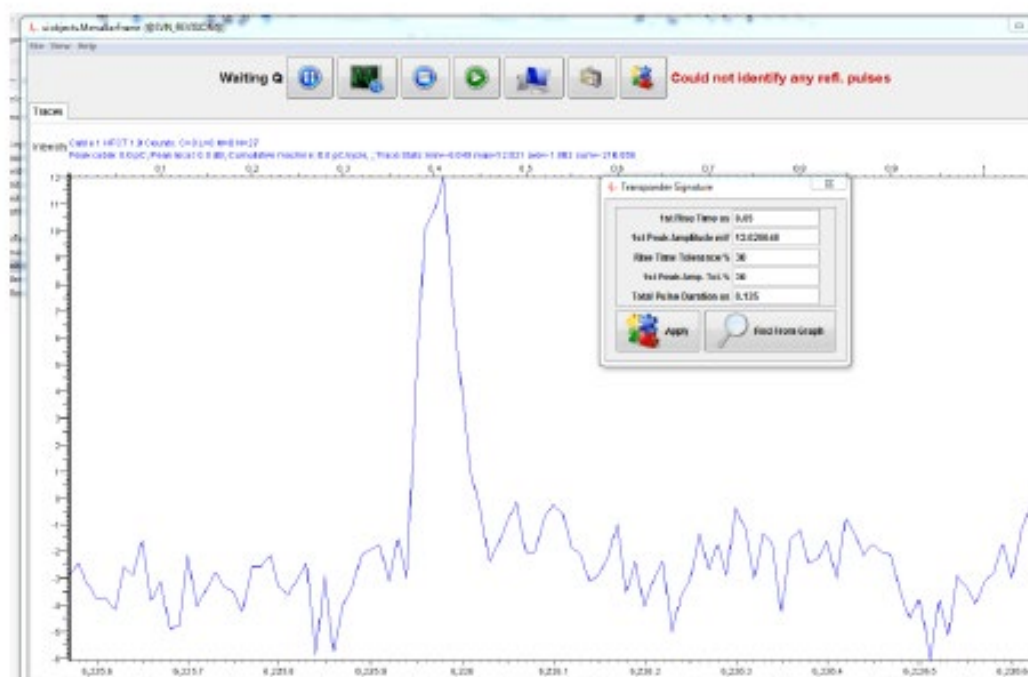
Процедура такая же, как и для двухстороннего отображения. Основное отличие состоит в том, что необходимо отменить использование транспондера:



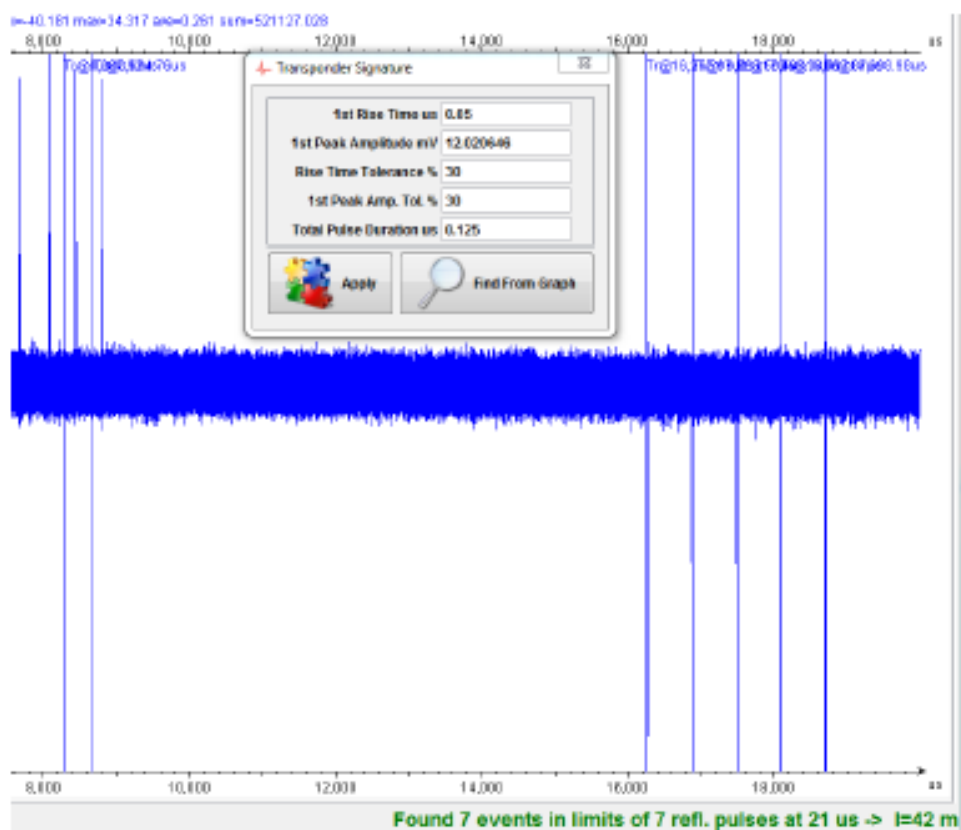
Это означает, что отраженный импульс, который должен быть идентифицирован программным обеспечением, является фактическим импульсом частичного разряда, а не импульсом, генерируемым транспондером. Этот импульс будет меньше, чем прямой импульс, и намного ближе по времени к прямому импульсу по сравнению с импульсом при использовании транспондера. Причина в отсутствии задержки транспондера.



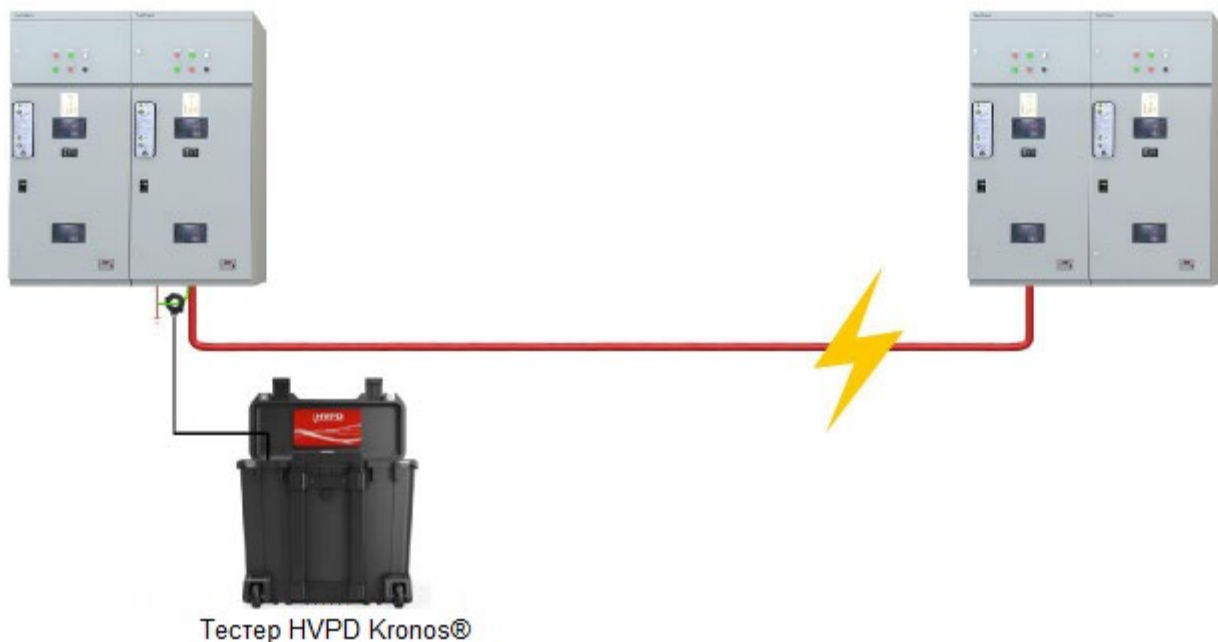
Чтобы идентифицировать отраженный импульс для программного обеспечения, следует увеличить масштаб второго по величине импульса.



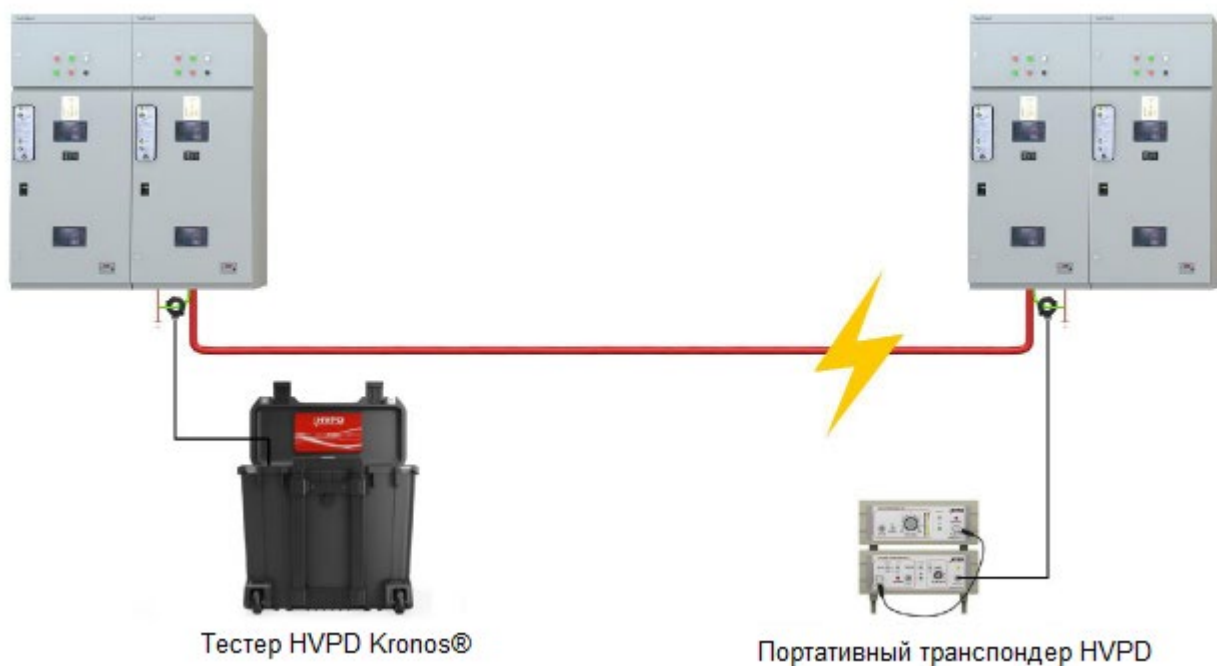
Сбор данных можно контролировать как при двустороннем тестировании.



2.11 Примеры испытательных установок



Отображение кабеля при одностороннем тестировании



Тестер HVPD Kronos®

Портативный транспондер HVPD

Отображение кабеля при двухстороннем тестировании



Приложение 1: Скорость распространения импульсов частичного разряда для различных типов высоковольтных кабелей

Скорость распространения импульсов частичного разряда по проводнику или заземленной оболочке высоковольтных кабелей может различаться в широком диапазоне. Скорость распространения зависит от относительной диэлектрической проницаемости/диэлектрической постоянной изоляции кабеля.

$$\frac{V_s}{\sqrt{\epsilon}}$$

Абсолютная скорость распространения, V_f , рассчитывается по формуле

Где:

V_s – скорость света в вакууме (300 м/мкс) и ϵ является относительной диэлектрической проницаемостью диэлектрика.

Вместо скорости распространения иногда используется термин «коэффициент скорости». Коэффициент скорости является отношением скорости распространения к скорости света.

Для отображения частичного разряда в кабеле и/или поиска места повреждения обычно используют скорость возвращения импульсов, а не абсолютную скорость. Скорость возвращения импульса – это деленная пополам абсолютная скорость; это значение используется на практике, поскольку время, измеряемое проводящим тестированием инженером между получением импульсов, представляет собой время, которое необходимо импульсу, чтобы пойти до дальнего конца кабеля и обратно.

Если известны время прохождения сигналов частичного разряда вперед и назад по кабелю и длина кабеля, можно рассчитать абсолютную скорость распространения и скорость возврата.

Если же длина кабеля неизвестна, расстояние можно рассчитать по формуле:

$$D = V_f \cdot \frac{t_f}{2}$$

Где:

V_f = абсолютная скорость распространения для кабеля

t_f = время получения импульса

Измеренное время делится на 2, потому что это время прохождения импульса «туда и обратно».

Тип изоляции	Типовая диэлектрическая постоянная	Тангенс угла потерь (Tan δ) для «хорошего» кабеля (радиан)	V_f – Абсолютная скорость распространения импульсов частичного разряда в кабеле $V_s/\sqrt{\epsilon}$ (м/мкс)	Скорость возвращения импульса ($V_f/2$) (м/мкс)
PVC (тип T1)	6,0 – 7,0	0,08	113 – 122	57 – 61
XLPE	2,3 – 5,2	0,0003	132 – 198	66 – 99
EPR	3,2 – 3,8	0,01	154 – 168	77 – 84
Бумага (Oil Rosin)	2,5 – 3,6	0,003	158 – 190	79 – 95
Бумага (MIND)	2,4 – 3,5	0,002	160 – 194	80 – 97