

СНЧ (Сверхнизкой частоты) испытания и диагностика

Тестирование высоковольтного кабеля можно условно разделить на два метода.

Испытания

Диагностика

Разрушающий метод

Неразрушающий метод

**TD (Тангенс угла
диэлектрических
потерь)**
Интегральная оценка
изоляции

**PD (метод частичных
разрядов)**

Локализация
поврежденных
участков

ИСПЫТАНИЯ

Высоковольтные кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) согласно нормативам нельзя испытывать традиционными методами, так как в процессе испытаний постоянным током в изоляции формируются остаточные емкостные заряды, что приводит к резкому уменьшению ресурса такого кабеля.

Для испытания СПЭ-кабелей можно применять установки сверхнизкой частоты (СНЧ; или VLF - Very Low Frequency). Такие испытания не влияют на состояние материала изоляции и кабель не теряет своих свойств.

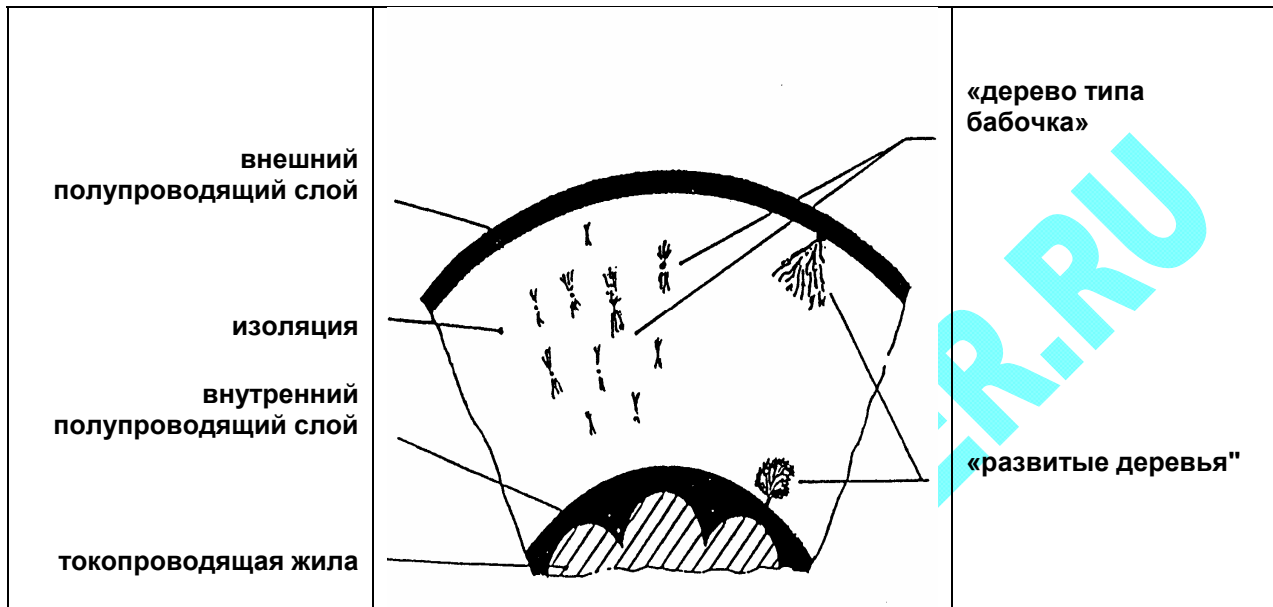
Установка VLF подает в кабель постоянное напряжение частотой 0,1 Гц. Испытание производится напряжением, равным $3 U_0$, согласно утвержденным отраслевым стандартам (HD 620S1, VDE 0276-620, -621, -1001 и т.д.) или $6 U_0$ согласно российским требованиям. С помощью применения напряжения косинусно-прямоугольной формы дефектные места в кабелях с ПЭ, ПВХ а также с бумажно-масляной изоляцией быстро приводятся в состояние пробоя, без ненужной дополнительной нагрузки на кабельную изоляцию.

Основной причиной увеличения уровня частичных разрядов при эксплуатации кабелей с изоляцией из СПЭ является рост водных деревьев – «триингов» в изоляции.

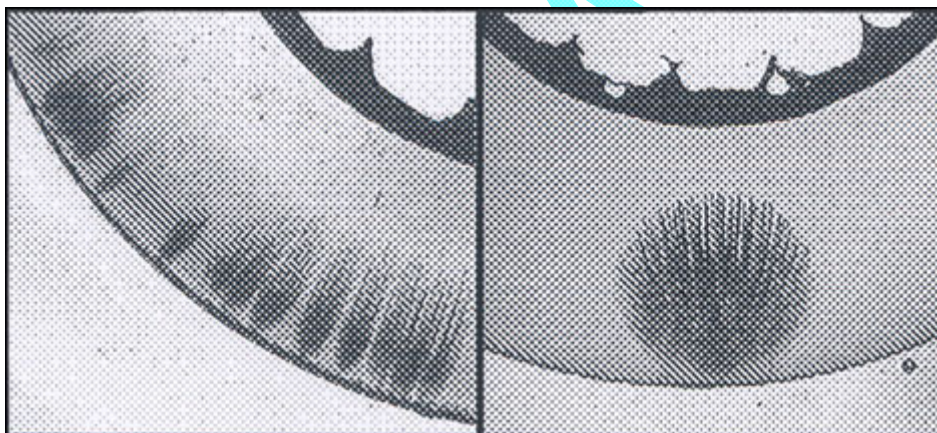
«ВОДЯНЫЕ ДЕРЕВЬЯ» в полиэтиленовой изоляции (схематичное представление)

Факторы, влияющие на развитие дефектов изоляции:

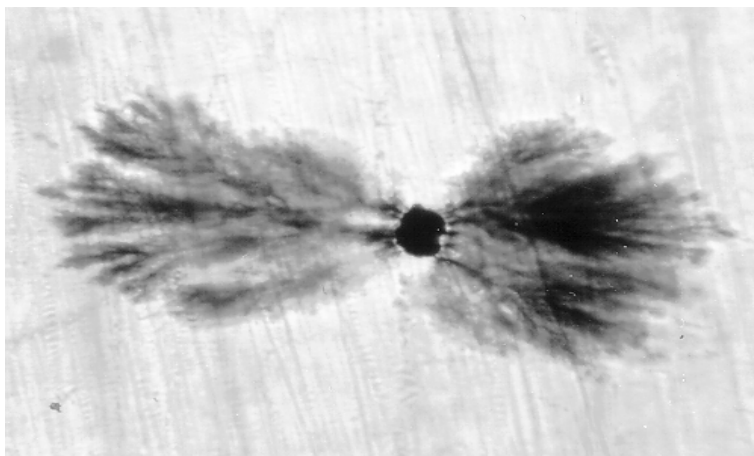
- электрическое поле
- вода
- механические дефекты
- время



Типичная картина триингов в изоляции кабеля, находившегося в эксплуатации представлена на рисунке.



или «Водяное дерево» типа бабочки в толще полиэтиленовой изоляции кабеля 35 кВ



Может ли испытание повышенным постоянным напряжением, приложенным между жилой и экраном, выявить этот дефект? НЕТ, так как указанный дефект не нарушает целостности изоляции.

Более того, за рубежом проведены обширные исследования, доказывающие, что испытания повышенным постоянным напряжением не только не позволяют сделать адекватное заключение о состоянии кабеля, но и значительно ослабляют изоляцию. Доказано, что испытания высоким постоянным напряжением уменьшают срок эксплуатации кабелей и значительно увеличивают рост водных триингов.

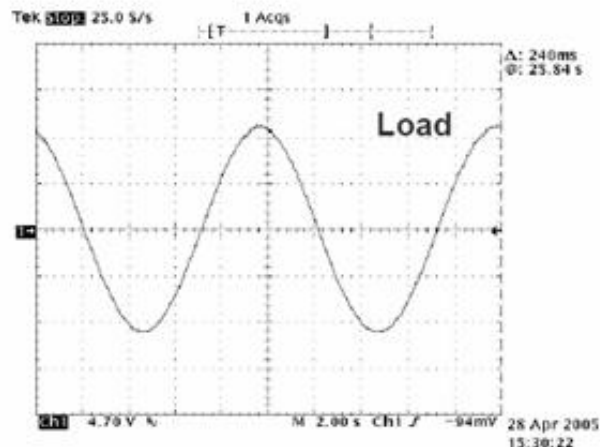
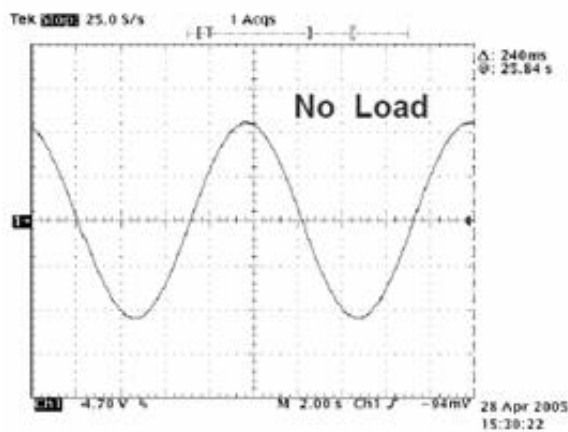
В качестве альтернативных методов диагностики состояния кабелей с СПЭ изоляцией предлагаются различные методы неразрушающего контроля:
измерение частичных разрядов;
измерение тангенса дельта на частоте 0,1 Гц;
емкость и тангенс дельта, измеренные в диапазоне частот от 0,1 до 0,02 Гц (диэлектрическая спектроскопия);

С начала 70-х годов прошлого века кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена активно заменяют кабели с бумажно – масляной изоляцией. Низкие величины относительной диэлектрической проницаемости, большой запас термической стойкости стали главной причиной, заставившей выбрать сшитый полиэтилен, как изоляционный материал для кабелей среднего и высокого напряжения. Данные кабели рекомендуется испытывать и диагностировать только переменным напряжением СНЧ (сверх низкой частоты)

Преимущества синусоидального испытательного напряжения 0.1 Гц при тестировании кабелей из сшитого полиэтилена

- Чистое переменное напряжение без постоянной составляющей
- Форма волны не зависит от нагрузки
- Высокая скорость выявления дефектов
- Компактные размеры испытательного оборудования

Для высоковольтных установок производства компании HV Diagnostic ФОРМА ВОЛНЫ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ СНЧ, 0.1ГЦ не зависит от нагрузки. Более того пользователь может наблюдать форму волны по току и напряжению в режиме реального времени прямо на дисплее прибора.



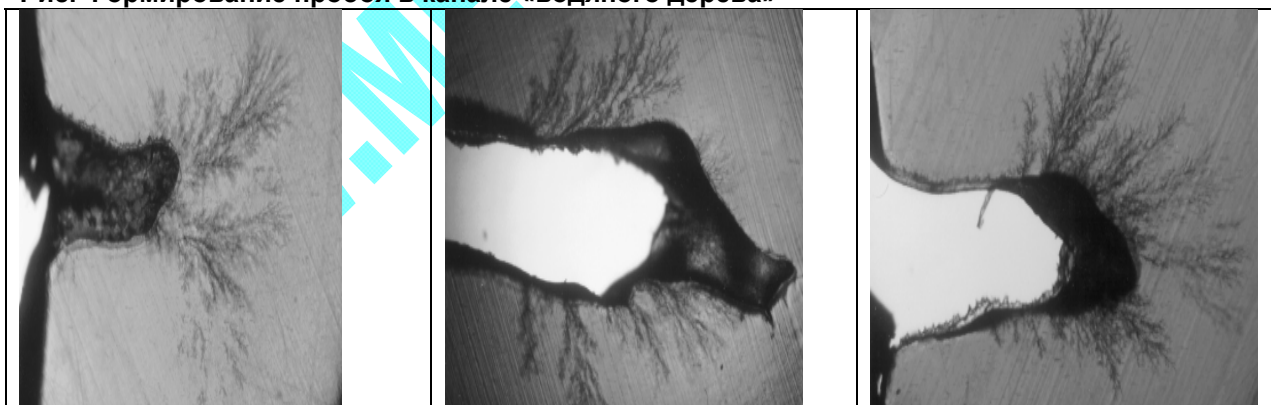
Программируемые формы испытательного напряжения

Кроме синусоидального вида сигнала установка должна проводить тестирование прямоугольными импульсами (косинус).

Синусоидальное напряжение 0,1 Гц:	Прямоугольное напряжение 0,1 Гц:

Синусоидальная форма сигнала является наиболее предпочтительной при тестировании кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена, так как позволяет максимально быстро обнаружить дефект изоляции.

Рис. Формирование пробоя в канале «водяного дерева»



Сравнение скорости выявления дефектов при испытании кабелей

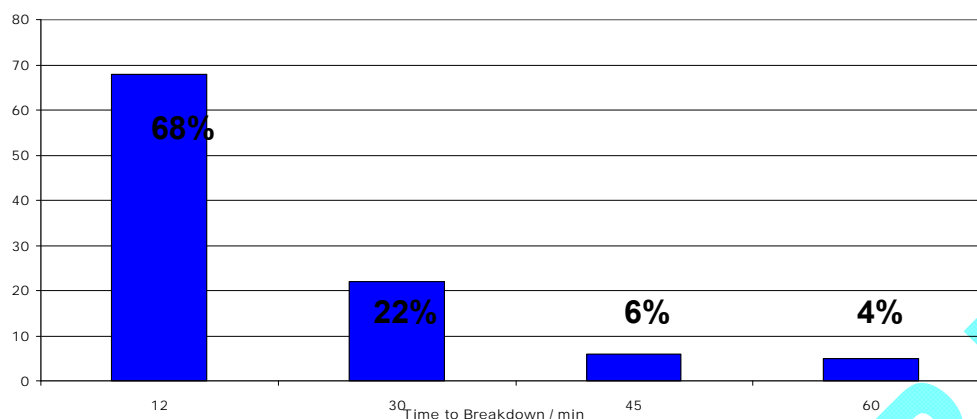
Развитие канала пробоя при 50 Гц: **1.7 мм/ч**

Развитие канала пробоя при 0,1 Гц: **7.8 мм/ч** (Косинусно-прямоуг.)

Развитие канала пробоя при 0,1 Гц: **12.3 мм/ч** (Синусоида)

Как видно из сравнения выше прибор, подающий синусоидальный высоковольтный сигнал, частотой 0,1Гц позволяет в разы быстрее оценить качество изоляции и локализовать дефект. Статистика СНЧ испытаний показывает, что из 100% случаев пробоя изоляции, 90% приходится на первые полчаса испытания

Рис. Процент пробоя кабелей с СПЭ изоляцией в зависимости от продолжительности испытаний синусоидальным СНЧ напряжением



ДИАГНОСТИКА

Метод интегральной оценки изоляции , посредством измерения тангенса угла диэлектрических потерь.

Тангенс угла диэлектрических потерь (также известный как коэффициент мощности) представляет собой отношение мнимой и вещественной части комплексной диэлектрической проницаемости.

$$tg\delta = \frac{\epsilon_{im}}{\epsilon_{re}} = \frac{\sigma}{\omega\epsilon_a}$$

Потери энергии в любом конденсаторе (= длинном кабеле) определяются потерями в диэлектрике и обкладках. При протекании переменного тока через конденсатор векторы напряжения и тока

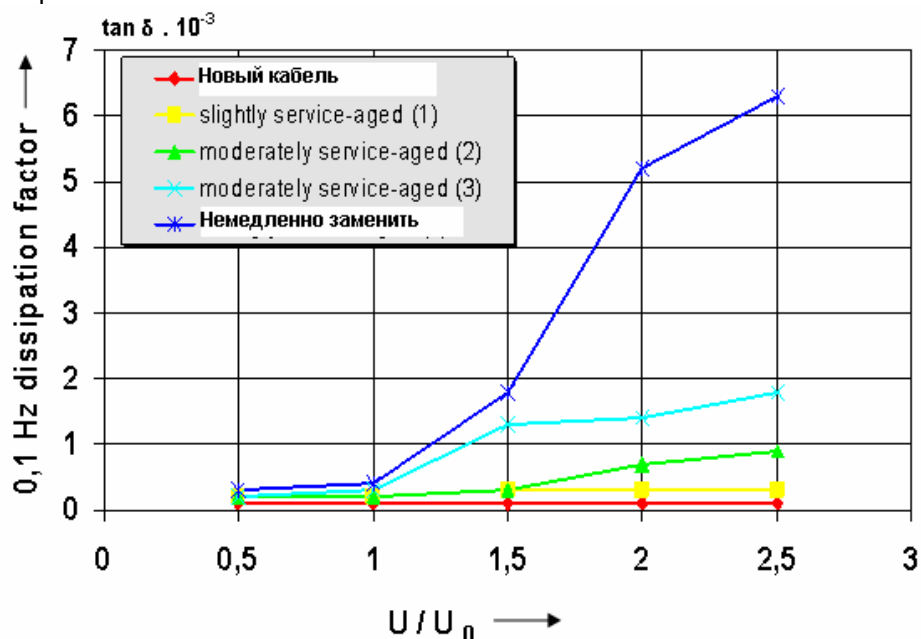
сдвинуты на угол $\varphi = \frac{\pi}{2} - \delta$, где δ — угол диэлектрических потерь. При отсутствии потерь $\delta = 0$. Тангенс угла потерь определяется отношением активной мощности P_a к реактивной P_p

при синусоидальном напряжении определённой частоты. Величина, обратная $tg(\delta)$, называется добротностью изоляции. Приборы TD30/60 позволяют проводить диагностику высоковольтных кабелей с ЛЮБЫМ типом изоляции - XLPE (сшитый полиэтилен), PILC (бумажно - масляная), EPR(Этилен-пропилен), PVC (кабель с поливинилхлоридной изоляцией - ПВХ), и т.д., а также любых высоковольтных устройств – конденсаторов, выключателей, трансформаторов и двигателей.

Тестирование тангенса угла диэлектрических потерь позволяет пользователю определить дефекты изоляции ДО того, как сама проблема случится и придется ее устранять высокочрезвычайными и отнимающими много времени работами.

Приборы TD30/60 это практичные, легкие в использовании системы, измеряющие тангенс угла диэлектрических потерь, подключаемые напрямую к высоковольтной СНЧ установке серии HVA. Тангенс угла диэлектрических потерь быстро измеряется с сохранением результата измерения в памяти прибора вместе с полным описанием тестируемого кабеля. Данная установка позволяет пользователю проводить измерение тангенса угла диэлектрических потерь вместе с простым испытанием кабеля высоким постоянным или переменным напряжениями..

Рис. Зависимость $\tan \delta$ от тестового напряжения для новой и состаренной изоляции кабелей напряжением 6 – 35 кВ



Критерии оценки состояния XLPE кабелей

Состояние кабелей хорошее, если :

$\tan \delta (2 U_0) < 0,12 \%$ и / или
 $[\tan \delta (2 U_0) - \tan \delta (U_0)] < 0,06 \%$

Плохое состояние (незамедлительная замена), если :

$\tan \delta (2 U_0) > 0,22 \%$ и / или
 $[\tan \delta (2 U_0) - \tan \delta (U_0)] > 0,1 \%$

Для всех остальных случаев необходим повышенный контроль и замена исходя из текущих возможностей

PD, Метод частичных разрядов – Локализация поврежденных участков кабеля

Частичный разряд - это искровой разряд очень малой мощности, который образуется внутри изоляции, или на ее поверхности, в оборудовании среднего и высокого напряжения. С течением времени, периодически повторяющиеся частичные разряды разрушают изоляцию, приводя в конечном итоге к ее пробою. Обычно разрушение изоляции под действием частичных разрядов происходит в течение многих месяцев, и даже лет. Таким образом, регистрация частичных разрядов, оценка их мощности и повторяемости, а также локализация места их возникновения, позволяет своевременно выявить развивающиеся повреждения изоляции и принять необходимые меры для их устранения.

Все стандарты по ЧР базируются на понятии "кажущийся заряд". Под "кажущимся" зарядом понимают такой заряд, который необходимо дополнительно и мгновенно впрыснуть в контролируемое оборудование, чтобы восстановить равновесие, нарушенное возникновением импульса ЧР. В этом определении очень важным является то, что мы не знаем реальный заряд, например, внутри газового включения, а измеряем (замеряем) реакцию измерительной схемы на возникший ЧР. Заряд потому и назван "кажущимся", т. к. мы так считаем, не зная истинного значения реального ЧР. Измеряется кажущийся заряд ЧР в пикокулонах. Если сложить все заряды, зарегистрированные в оборудовании за одну секунду, то получится ток ЧР - тот ток, который протекает в нашей схеме дополнительно за счет возникновения ЧР. В среднем этот ток является чисто активным и характеризует потери в изоляции из-за возникновения ЧР.

Как посчитать потери вызванные ЧР? Это можно сделать достаточно просто. При каждом

импульсе ЧР, мы дополнительно впрыскиваем из источника испытательного напряжения в контролируемый объект "кажущийся" заряд. Заряд инжектируется мгновенно и связан с конкретным напряжением питающей сети. Значит энергия, которая дополнительно вводится в оборудование из-за единичного ЧР, равна заряду, умноженному на мгновенное напряжение на объекте. Далее нужно просуммировать все импульсы и получить полную энергию ЧР. Если полную энергию поделить на полное время суммирования, то получим мощность ЧР. Этот параметр называется "потери энергии на частичные разряды".

Формула:

$$P = \frac{1}{T} \times \sum_{i=1}^m Q_i \times V_i$$

где:

P - мощность разрядов, W,

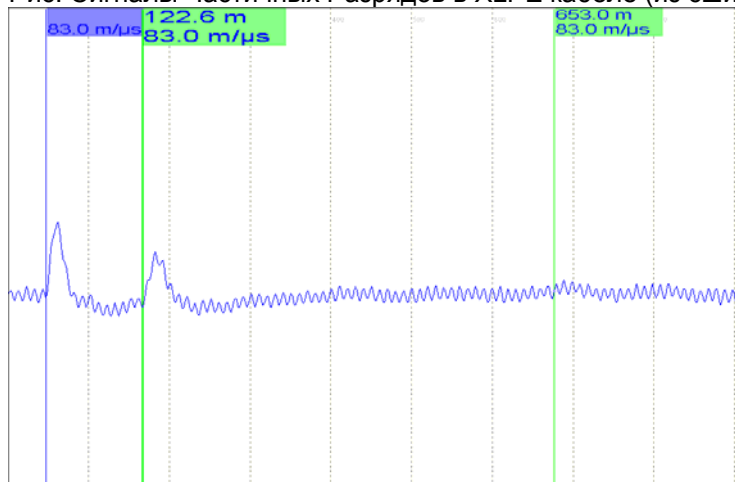
T - время наблюдения, s,

m - число наблюдаемых импульсов за время T, и

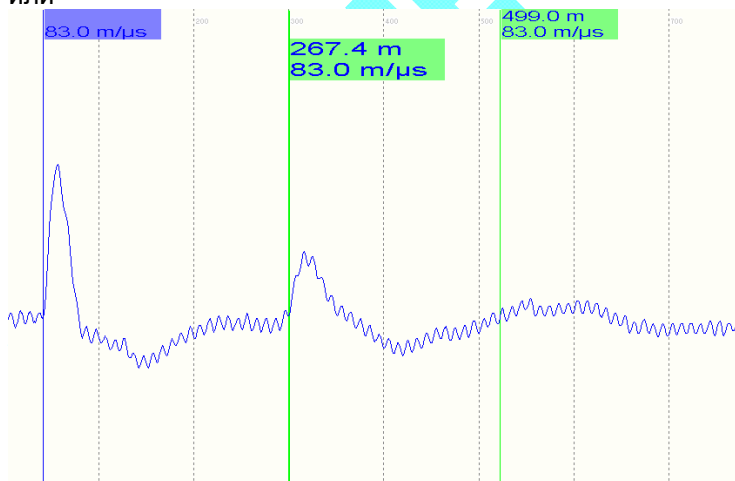
QiVi - энергия i-го импульса

А как это выглядит на практике ?

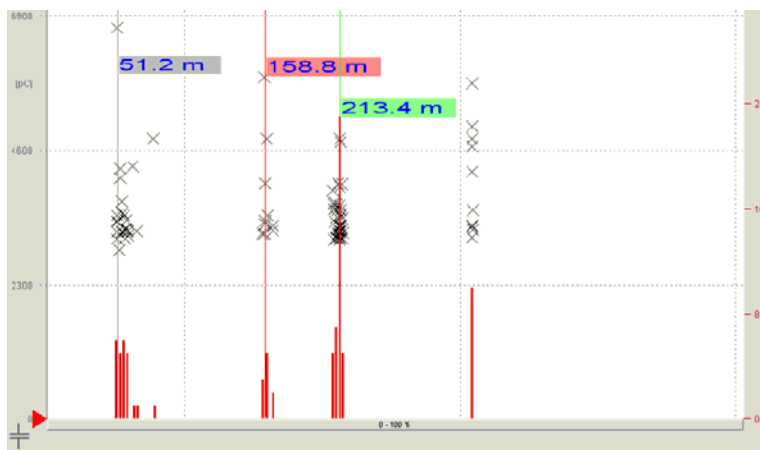
Рис. Сигналы Частичных Разрядов в XLPE кабеле (из сшитого полиэтилена)



или



Графическая локализация Частичных Разрядов в XLPE кабеле



Наиболее частые источники ЧР – кабельные муфты, концевые разделки, соединительные муфты

Лаборатории, изготавливаемые нашей компанией

Лаборатория для диагностики трансформаторов и высоковольтных вводов МЕГА-1

- Измерение диэлектрических характеристик изоляции трансформатора и высоковольтных вводов
- Измерение сопротивления и испытание повышенным напряжением
- Измерение сопротивления обмоток трансформатора постоянному току
- Измерение потерь холостого хода и короткого замыкания
- Измерение параметров масла
- Измерение температурных режимов работы трансформатора

Лаборатория для испытания кабельных линий и поиска мест повреждений МЕГА-2

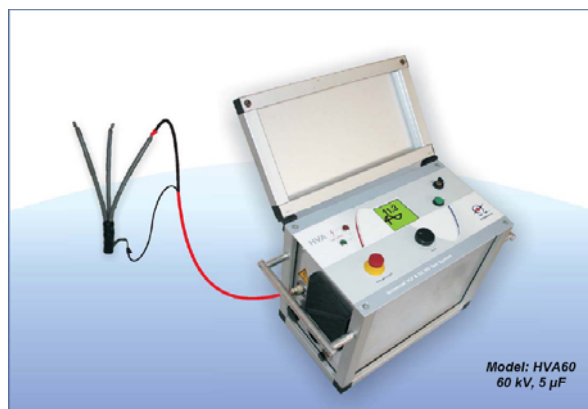
- Испытание изоляции кабеля повышенным напряжением до 90кВ
- Относительное определение места повреждения кабеля с использованием рефлектометра
- Абсолютное определение места повреждения с использованием генератора высоковольтных импульсов
- Определение местоположения кабельной трассы и глубины залегания кабеля
- Испытание кабелей с полиэтиленовой изоляцией напряжением сверхнизкой частоты

Приборы, выпускаемые компанией HV Diagnostic (Швейцария) для высоковольтных испытаний, тестирования и диагностики кабеля с любым видом изоляции.

HVA серия Многофункциональная (4 в 1), цифровая, универсальная высоковольтная испытательная установка

Высоковольтные испытания до 90кВ

- 1) СНЧ (сверх-низкой частоты VLF) кабеля из СПЭ
- 2) Постоянным напряжением обеих полярностей
- 3) Тестирование оболочки кабеля
- 4) Прожиг изоляции



Model: HVA60
60 kV, 5 μF

Высоковольтная установка HVA представляет собой легкую в использовании, изготовленную в одном корпусе, контролируемую микропроцессором, портативную установку для полевого использования, для высоковольтного тестирования высоким постоянным напряжением или напряжением сверх низкой частоты (VLF) диэлектрических свойств различных типов электрической изоляции.

Описание

- Наиболее современная на сегодняшний день из всех предлагаемых покупателям высоковольтных испытательных СНЧ установок, а также наиболее компактная и легкая по весу установка .
- Высоковольтное тестирование СНЧ (0.1Гц), Постоянным напряжением DC (\pm), пржиг изоляции и тестирование оболочки кабеля.
- СНЧ тестирование: быстрое и безопасное тестирование длинных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ).
- Автоматическое тестирование или в ручном режиме, согласно всем международным стандартам IEEE 400.2, VDE 0276, CENELEC, HD620 S1, NEN 3620, SANS 10198 и IEC 60060-3 (draft).
- Данная установка – все что нужно для тестирования кабеля.
- Идеальный, симметричный , полностью синусоидальный выходной высоковольтный сигнал на всем диапазоне , вне зависимости от нагрузки.
- Большой ЖК дисплей с подсветкой - Графическое отображение формы выходного тестирующего сигнала в реальном времени на дисплее прибора, а также всех параметров тестирования – напряжение, ток, емкость
- Удобный и простой пользовательский интерфейс, управляемый только одним навигационным колесиком.
- Одноблочная, ударопрочная конструкция прибора.
- Огромный потенциал тестирования по емкости (до 12мкФ), что соответствует 30км стандартного высоковольтного кабеля или 10км кабеля при тестировании одновременно по трем фазам
- Встроенная автоматическая система выбора оптимальной тестовой частоты прибора (СНЧ) в зависимости от величины нагрузки
- Энергонезависимая память.
- В установке не используются никакие подвижные механические части или масло для генерации или изоляции высокого напряжения. Этим достигается минимизация обслуживания установки и как следствие существенное увеличение срока ее службы.
- Защита от короткого замыкания в случае прожига изоляции

Применение.

Высоковольтная тестирующая установка HVA разработана для проведения тестирования различных типов изоляции высоким напряжением. Эти применения включают, но не ограничены, тестированием объектов с высокой емкостью такие как кабели и генераторы. Другое применение установки включает в себя высоковольтное тестирование переключателей, высоковольтных трансформаторов, двигателей, изоляторов, высоковольтных вводов и т.д.

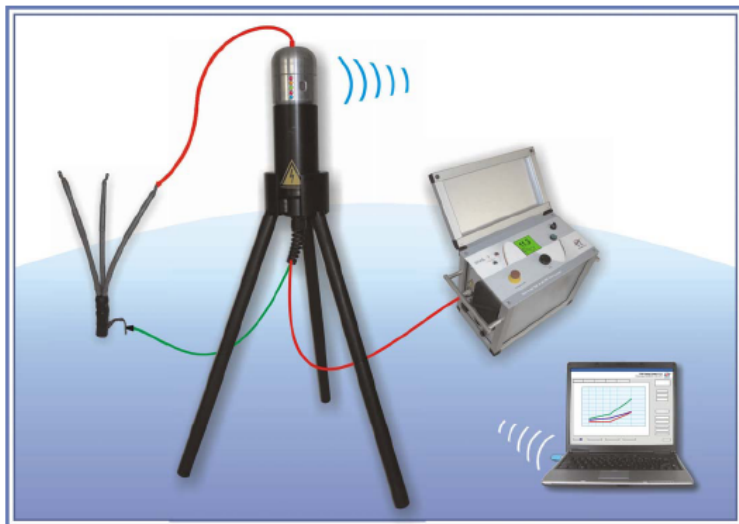
При тестировании кабеля установка может тестировать как кабели из сшитого полиэтилена так и с бумажно-масляной изоляцией, типов XLPE и PILC. В дополнение установка HVA может использоваться для тестирования как основной изоляции кабеля так и его оболочки.

Оба тестирующих высоковольтных выхода – по постоянному напряжению (положительной или отрицательной полярности относительно земли) или по переменному напряжению сверхнизкой частоты VLF с синусоидальным или квадратным выходным сигналом являются стандартными для установки.. Тестовая последовательность согласно условиям тестирования может выполняться в ручном или автоматическом режимах . Данная функция позволяет очень гибко использовать данную установку для любого высоковольтного тестирования где требуется высокое переменное или постоянное напряжение.

Установка может также использоваться в режиме прожига , а современная система контроля и управления позволяет пользователю задавать необходимые пороги срабатывания и условия тестирования. Прибор измеряет и записывает в память емкость, сопротивление, напряжение пробоя, действующее значение тока и подаваемое напряжение на объект тестирования.

TD30 / TD60

Высоковольтная система (до 30,60 или 90кВ) измерения тангенса угла диэлектрических потерь в кабеле



- Портативный прибор весом ВСЕГО несколько кг
- Измерение Tan Delta / Емкость
- Изолированный, безопасный корпус прибора
- Простое подключение к высоковольтной СНЧ установке и к кабелю
- Результаты тестирования передаются в ПК через беспроводный интерфейс Bluetooth ®
- Поставляется в комплекте с ПО
- Отображение в реальном времени актуальной формы выходного сигнала
- Измерение Tan Delta быстро
- Автоматическое создание отчета о тестировании

Описание

Тестирование тангенса угла диэлектрических потерь позволяет пользователю определить дефекты изоляции ДО того, как сама проблема случится и придется ее устранять высокочрезвычайными и отнимающими много времени работами .

Приборы TD30/60 это практичные, легкие в использовании системы, измеряющие тангенс угла диэлектрических потерь, подключаемые напрямую к высоковольтной СНЧ установке серии HVA. Тангенс угла диэлектрических потерь быстро измеряется с сохранением результата измерения в памяти прибора вместе с полным описанием тестируемого кабеля. Данная установка позволяет пользователю проводить измерение тангенса угла диэлектрических потерь вместе с простым испытанием кабеля высоким постоянным или переменным напряжениями..

Описание установки

На сегодняшний день компания H.V. Diagnostic (Швейцария) производит 2 модели приборов TD30 для измерения ТАН ДЕЛЬТА с максимальным напряжением до 23кВ rms (действ) (33кВ пиковое), и TD60 для измерения ТАН ДЕЛЬТА с максимальным напряжением до 44кВ rms (действ.) (62кВ пиковое) На момент написания этой листовки находится в разработке и планируется к производству с 10-2008 прибор TD90 для измерения ТАН ДЕЛЬТА с максимальным напряжением до 66кВ rms (действ.) (90кВ пиковое)

Приборы TD30/60 питаются от стандартных батарей типа С, комплекта которых хватает на 10 часов непрерывного тестирования. Приборы TD30/60 поставляются в комплекте с 10 м кабелем для подключения к высоковольтной СНЧ установке HVA30/60. Приборы TD30/60 также имеют в комплекте поставки программное обеспечение, которое дает полную картину во время измерения ТАН ДЕЛЬТА, включая даже форму выходного высоковольтного сигнала по напряжению и току в реальном времени. Данные передаются на компьютер при помощи беспроводного интерфейса Bluetooth™ , позволяя отказаться от жесткого соединения с компьютером посредством подключения при помощи интерфейсного кабеля, что дает не только дополнительную безопасности при высоковольтных измерениях, но также существенно экономит время для подключения и начала работы.