

# Диагностика кабельных линий в рабочем режиме методом измерения частичных разрядов

Автор: Александр Литвинюк  
Руководитель: д.т.н., конф. Погора В. К.

Технический Университет Молдовы

**Аннотация:** в данной работе рассмотрена диагностика кабельных линий методом измерения частичных разрядов в рабочем режиме с использованием системы HVPD Longshot, высокочастотного трансформатора тока HFCT с разъемным сердечником и емкостного датчика TEV.

**Ключевые слова:** кабель, диагностика, частичный разряд, датчик HFCT, датчик TEV.

## Введение

Надежность электроснабжения потребителей в определяющей степени зависит от надежности работы кабельных сетей. В связи с этим проблема диагностики силовых кабелей является весьма актуальной. Следует отметить, что наиболее перспективными являются методы диагностики, при которых кабели не подвергаются воздействию высоких напряжений. Одним из таких методов является метод измерения частичных разрядов (ЧР), которые практически все приводят к повреждению изоляции кабелей в той или иной степени. При проведении диагностики кабельных линий (КЛ) методом измерения ЧР существует два основных подхода: диагностика КЛ в рабочем режиме и диагностика КЛ, отключенной от сети. Каждый из этих методов имеет как ряд преимуществ, так и ряд недостатков. Наибольший интерес представляет метод измерения ЧР в рабочем режиме, так как при этом кабель не отключается от сети и электроснабжение потребителей не нарушается.

## Методика диагностики и технические средства для ее реализации

Частичные разряды в кабельных системах приводят к медленному разрушению изоляции, что в свою очередь приводит к повреждению кабеля. Регулярные проверки уровня ЧР позволяют судить о состоянии изоляции высоковольтного кабеля, и при необходимости, принимать превентивные меры для предотвращения аварийных ситуаций. Очевидно, что такие проверки целесообразно проводить в рабочем режиме кабеля.

Для диагностики КЛ в рабочем режиме компанией HVPD Ltd. [3] разработан комплекс оборудования, включающий систему HVPD Longshot, а также специальные датчики, такие как высокочастотный трансформатор тока HFCT (High Frequency Current Transformer) и емкостной датчик TEV (Transient Earth Voltage), которые регистрируют импульсы ЧР за 1 период промышленной частоты 50 Гц. Обработка полученных результатов обеспечивается специальной программой PD Gold, которая предназначена для измерения и записи активности ЧР за период времени от 2 до 5 минут. Далее с информацией работает программа анализа PD Reader, в которой для анализа и описания характеристик импульсов, используется программная модель распознавания событий. Для измерения ЧР в кабелях среднего и высокого класса напряжения применяются датчики HFCT различных размеров, устанавливаемые вокруг вывода экрана или каждой жилы КЛ. Установка данных датчиков имеет некоторые особенности. Если установить датчик HFCT на жиле без снятого заземленного экрана, то полный ток от импульсов ЧР (в проводнике =  $i_+$ , в заземленном экране =  $i_-$ ) будет равен нулю. Это объясняется тем, что при возникновении ЧР во внутренней структуре изоляции (между проводником и заземленным экраном) импульсные сигналы, генерируемые в обоих проводниках, имеют одинаковую величину, но противоположную полярность. Таким образом, для измерения сигнала ЧР необходимо использовать любой из этих проводников по отдельности и измерять либо ток ЧР в проводнике, либо ток ЧР в заземленном экране.

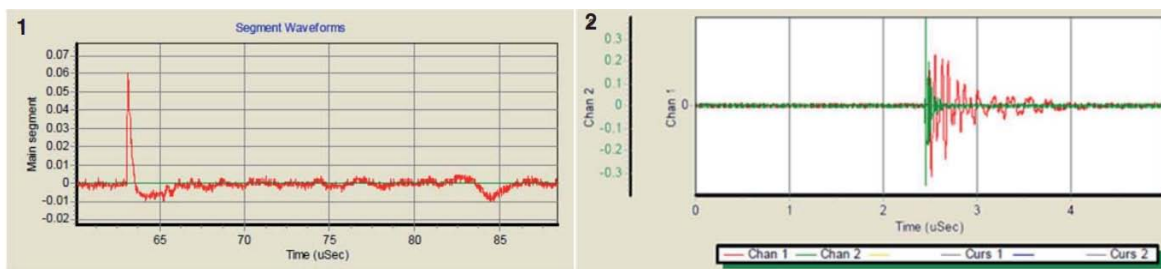
Частичные разряды по месту своего возникновения следующие: ЧР между жилой и экраном и ЧР между жилой и жилой. ЧР, возникающие между жилой и экраном – наиболее критичные ЧР, так как именно они в 75% случаев приводят к пробое изоляции КЛ. Данный вид ЧР легко локализуется при реализации любого вида подключения датчика. ЧР, возникающие между жилами КЛ, менее критичны для её выхода из строя. Это обусловлено самой конструкцией КЛ, так как жилы почти не подвергаются механическим повреждениям при прокладке КЛ, в отличие от слоя внешней изоляции, и разность потенциалов и напряженность электрического поля незначительны для провокации дефекта. ЧР между жилами можно регистрировать только при непосредственном подключении датчика на каждую жилу КЛ. Поэтому при измерении ЧР трехжильных кабелей с общей изоляцией, в случае невозможности установки датчиков на каждую КЛ, и при размещении датчика на общем экране, ЧР между жилами регистрироваться не будут.

Датчик HFST измеряет величину ЧР в пКл. Он обладает своим постоянным переходным сопротивлением  $Z_{пер}$ . Импульс ЧР, возникающий в изоляции кабеля, регистрируется, при этом происходит измерение его напряжения. Зная  $Z_{пер}$ , можно вычислить ток ЧР. Благодаря характеристикам среды высоковольтного кабеля протекающие по нему высокочастотные импульсы тока объединяются в единое целое, а это значит, что степень ЧР можно рассчитать без какой-либо калибровки по следующей формуле.

$$Q_{чп} = 1/Z_{пер} \int_{\text{Начало импульса}}^{\text{Конец импульса}} U_{\text{вых}} dt \quad (1)$$

где  $Z_{пер}$  – постоянное переходное сопротивление датчика HFST,  $U_{\text{вых}}$  – напряжение на выходе датчика HFST в милливольтгах.

Импульсы ЧР попадая в линию, сохраняют однополюсную природу ЧР по мере их перемещения по кабелю. Такие типы импульсов имеют типовую частоту от сотен кГц (для дальних точек ЧР) до 4 МГц (для ближних точек ЧР). В данном случае отдельного обсуждения заслуживают импульсы ЧР в концевых заделках, такие импульсы идентифицируются и локализуются при помощи датчиков TEV. Это устройство с емкостной связью, которое регистрирует импульсы ЧР в кабеле, перетекающие на заземленную металлическую поверхность. Импульсы ЧР, локализуемые датчиком TEV, называются локальными или местными. Эти импульсы имеют более высокую частоту, нежели импульсы в КЛ – 100 МГц в TEV, до 4 МГц в HFST (рис.1). На рисунке, на осциллограмме 1 показан вид импульсов ЧР в КЛ, а на осциллограмме 2 – в концевой заделке, причем показания датчика HFST зарегистрированы красным цветом, а показания датчика TEV – зеленым.



**Рисунок 1 – Измерение ЧР по двум каналам (от датчика HFST и от датчика TEV) в режиме наложения**

Значение величины ЧР рассчитывается при помощи показаний датчика TEV по формуле

$$Q = 20 \text{Log} \cdot U_{\text{вых}} \quad (2)$$

где  $Q$  в Дб,  $U_{\text{вых}}$  в мВ.

В табл. 1 приведены уровни ЧР полученные компанией HVPD Ltd. при тестировании кабелей напряжением 11 кВ на территории Великобритании.

Таблица 1 – Ориентировочные уровни ЧР для кабелей и муфт БПИ и СПЭ 11 кВ [2]

Оценка состояния изоляции	Цветовая кодировка	Частичный разряд в XLPE	Частичный разряд в PILC
Разряд допустимых пределах		0 пКл – 250 пКл	0 пКл – 2500 пКл
Рекомендуется контроль		250 пКл – 350 пКл	2500 пКл – 5000 пКл
Рекомендуется регулярный контроль		350 пКл – 500 пКл	5000 пКл – 7000 пКл
Найдите место частичного разряда, проведите ремонт или замену		> 500 пКл	> 7000 пКл

Значение уровней ЧР для различных условий (таб.1) для муфт и кольцевых заделок кабелей БПИ и СПЭ немного выше, чем для самих кабелей, так как подобные конструкции имеют больший объем изоляции по сравнению с самим кабелем, и обычно более стойки к разрушениям, связанным с ЧР.

В случае необходимости обнаружения местонахождения ЧР по длине КЛ используется система HVDP Longshot в сочетании с программой PD Map и датчик HFCT. Данная технология использует принцип измерения времени прохождения сигнала. 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 ЧР в кабеле с точностью менее 0,5% от его длины (Рис.2).

При возникновении ЧР импульсы перемещаются по экрану кабеля и в его жиле в обоих направлениях от места разряда. Первый импульс (прямой) поступает прямо на тот конец кабеля, где производится измерение. Вторым импульсом, позволяющим определить место ЧР, является импульс, отраженный от противоположного конца кабеля и достигший того конца, на котором производится измерение.

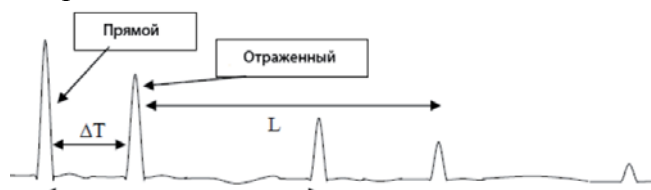


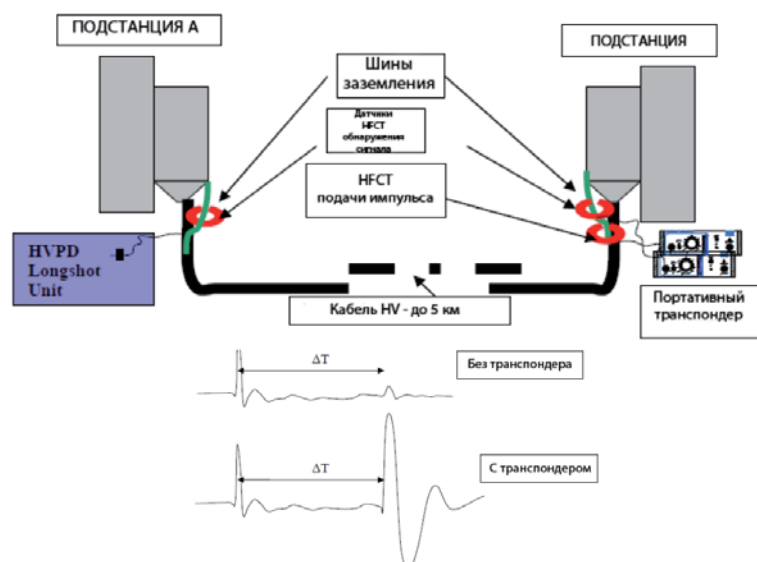
Рисунок 2 – Локализация ЧР в кабеле методом одностороннего измерения

Такая технология называется “одностороннее обнаружение места частичного разряда” и является наиболее простым и быстрым методом обнаружения места разряда в кабеле в рабочем режиме. Разница по времени между первыми импульсами (прямым и отраженным)  $\Delta T$  указывает на место ЧР. Оба импульса продолжают перемещаться по кабелю, пока их уровень не сравняется с уровнем шумов. В течение этого времени импульсы отражаются точно на расстоянии  $L$  (время возврата импульса по кабелю) от предыдущего появления на той стороне кабеля, где производится измерение. Зная значения  $\Delta T$  и  $L$  можно определить местоположение ЧР по формуле.

$$\text{расстояние от стороны измерения (в \% от длины кабеля)} = 100(1 - \Delta T/L). \quad (3)$$

Недостатком метода одностороннего измерения является тот факт, что его сложно использовать на длинных кабелях, так как они снижают амплитуду отраженного импульса до такой степени, что он теряется в фоновом шуме.

Формы сигналов, полученные при измерении ЧР, сложно интерпретировать из-за помех, например, импульсных шумов электродвигателей, к которым подключен силовой кабель. Решением данной проблемы является использование портативного транспондера РТТ 2000-СТ. Это приёмопередающее устройство, посылающее в кабель усиленный сигнал в ответ на принятый слабый сигнал. Общий принцип работы схемы двухсторонних измерений ЧР с использованием транспондера заключается в следующем (рис.3).



**Рисунок 3 – Принципиальная схема двухсторонних измерений ЧР и сравнение амплитуд отраженного импульса с использованием транспондера и без него**

Если датчик HFCT, подключенный к транспондеру, принимает импульс, который превышает заданный уровень запуска последнего, то устройство запуска сработает и передаст сигнал на импульсный генератор, а он в свою очередь подаст мощный импульс 100 В на подключенный к нему второй датчик HFCT, который, в свою очередь, передаст этот импульс в кабель. Этот процесс позволяет превратить одностороннюю систему поиска местоположения ЧР в двухстороннюю, обеспечивающую более высокую точность измерений [1].

#### **Выводы:**

Измерение ЧР и определение их источника позволяет существенно повысить достоверность диагностики изоляции кабелей тем, что выявляет места и участки с явно выраженной дефектностью изоляции, позволяет получить достоверную информацию об ошибках монтажа или изменениях электрических свойств какого-либо участка изоляции кабеля, которые ещё не привели к пробое.

Отличительными особенностями метода измерения ЧР, кроме возможности проведения измерений в рабочем режиме, являются также: наглядность полученных результатов, возможность оценки остаточного ресурса и выявления наиболее слабых участков изоляции кабеля, выявление дефектов КЛ на ранних стадиях их формирования, локализация точного местоположения скопления ЧР, а также применимость для всех типов изоляции КЛ.

#### **Литература:**

1. Диагностика оборудования и кабельных линий без вывода в ремонт. Журнал “Кабель-news”, №1, 2012 г, с. 62-68.
2. Комментарии к применению тестирования On-line Partial Discharge и поиску места частичного разряда на высоковольтных кабелях. Подготовлено компанией ИМАГ. 2012 г, 23 с.
3. <http://hvpd.ru/longshot.htm>
4. <http://www.cabetl.ru/articles/02/>
5. <http://www.emag.ru/pdf/hvpd2012.pdf>
6. <http://www.tools.ru/hvpd/accessories/hfct.htm>