



**Массовое применение кабелей с изоляцией СПЭ в странах Европы и США началось в 1972 г, в Японии – в 1960-е гг., в России – в 1990-е – 2000-е. Первое ТУ (16. К71-335-2004) на производство кабеля подписано в 2004 !!!**

## **Доля кабелей с изоляцией из СПЭ**

- в США и Канаде составляет 85%,
  - в Германии и Дании – 95%,
  - в Японии, Франции, Финляндии и Швеции – 100%
  - в России – 10% (на 2009 г.)
- 
- На 2006 г. – 36% производимых в России кабелей 6-10 кВ – СПЭ
- Сегодня: соотношение производимого в России кабеля 6-35 кВ – СПЭ/БПИ – 50/50



**ГОСТ Р 55025-2012**

**Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение от 6 до 35 кВ включительно. Общие технические условия.**

**ГОСТ Р МЭК 60840-2011.**

**Кабели силовые с экструдированной изоляцией и арматура к ним на номинальное напряжение свыше 30 кВ ( $U_m = 36$  кВ) до 150 кВ ( $U_m = 170$  кВ). Методы испытаний и требования к ним**

**ГОСТ Р МЭК 62067- 2011**



## Преимущества кабелей СПЭ

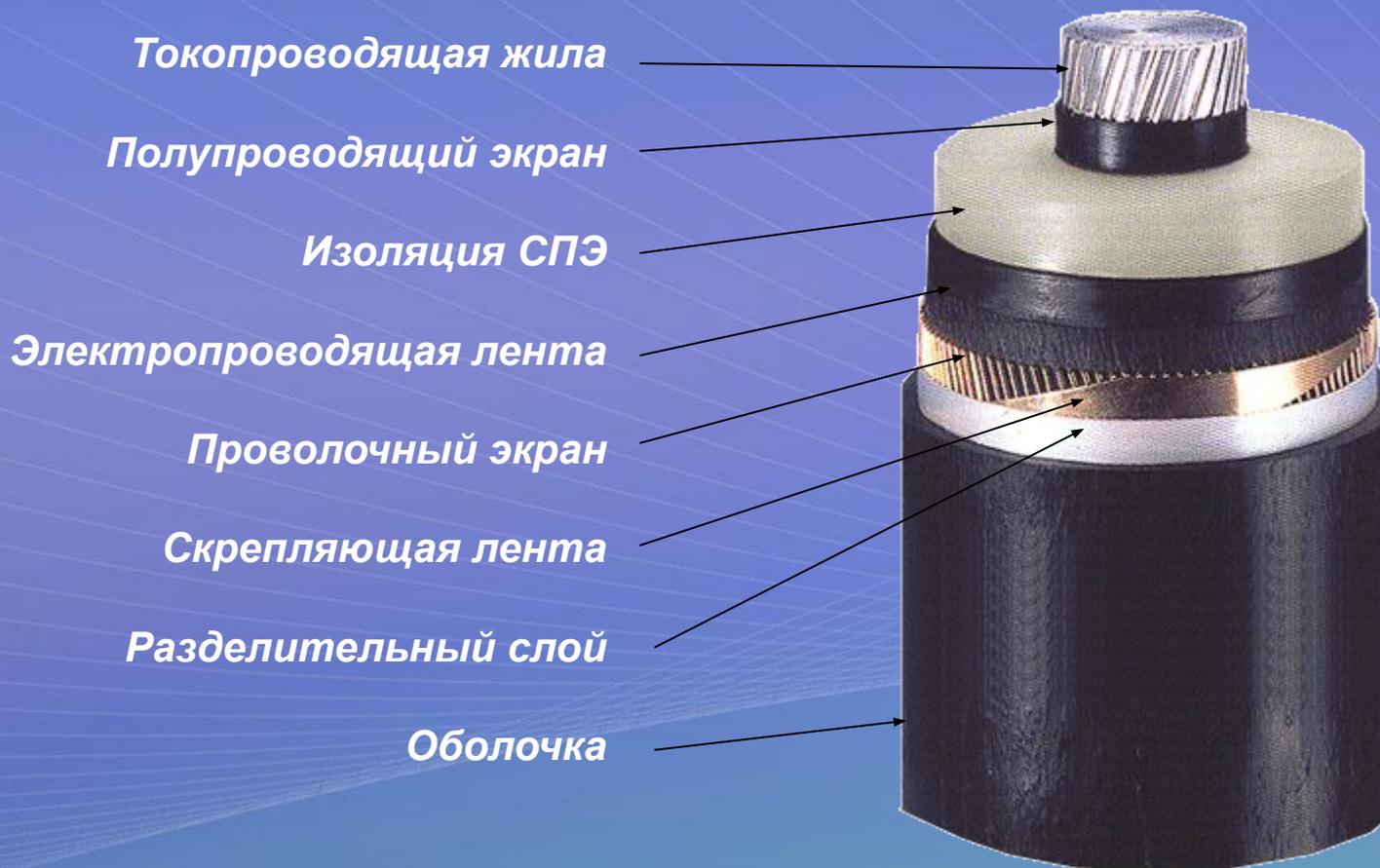


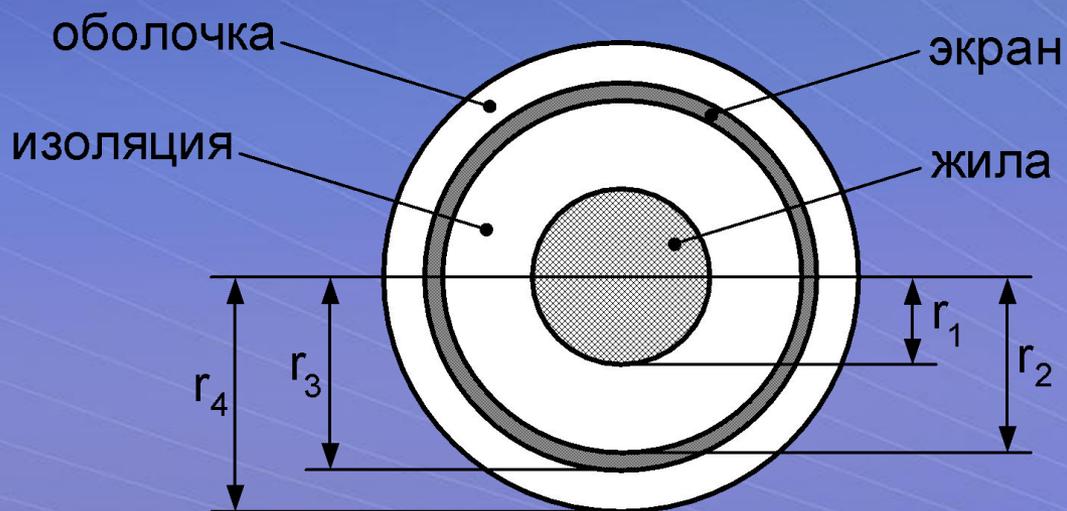
- *Высокая нагревостойкость (большая пропускная способность за счет увеличения допустимой температуры ТПЖ)*
- *Высокий ток термической устойчивости при к.з.*
- *Высокая влагостойкость. Нет необходимости использовать металлическую оболочку, меньший вес и габариты кабеля, меньший радиус изгиба*
- *Отсутствие жидких компонентов (нет ограничений по разности уровней при прокладке)*
- *Возможность прокладки при температуре до  $-20^{\circ}$  без предварительного подогрева.*



**ПКБ «РЭМ»**

## ПЕРЕХОД К СОВРЕМЕННЫМ ИЗОЛЯЦИОННЫМ МАТЕРИАЛАМ КЛ

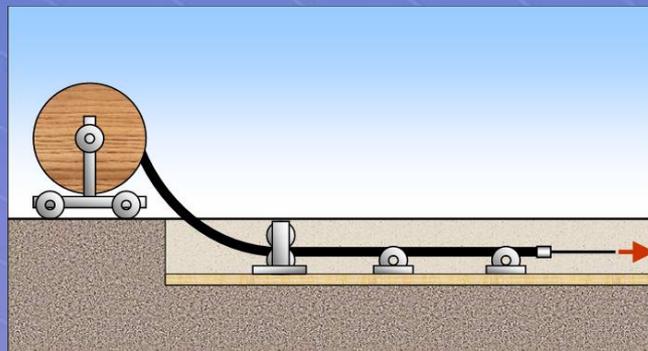






## Выбор способа прокладки кабеля

### Прокладка кабеля в траншею



### Расположение фаз в плоскости

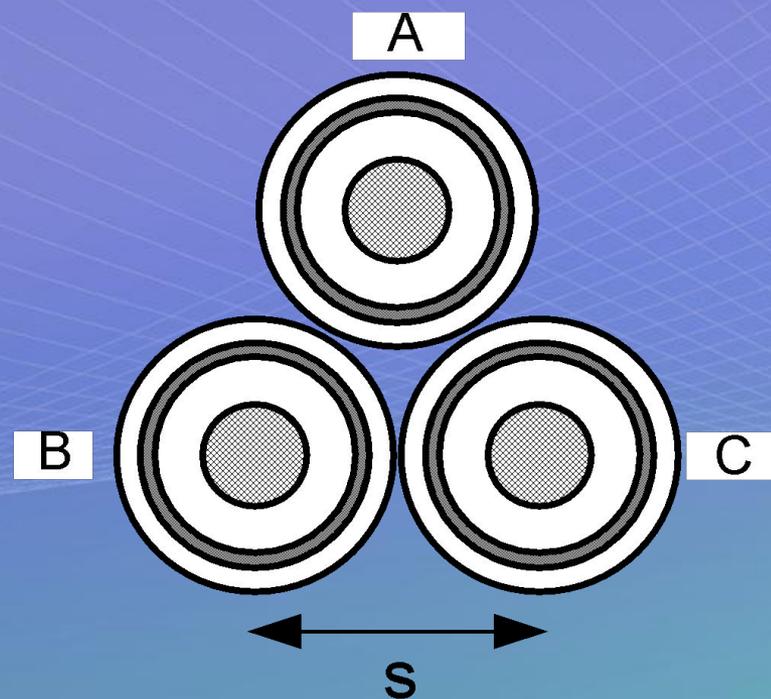
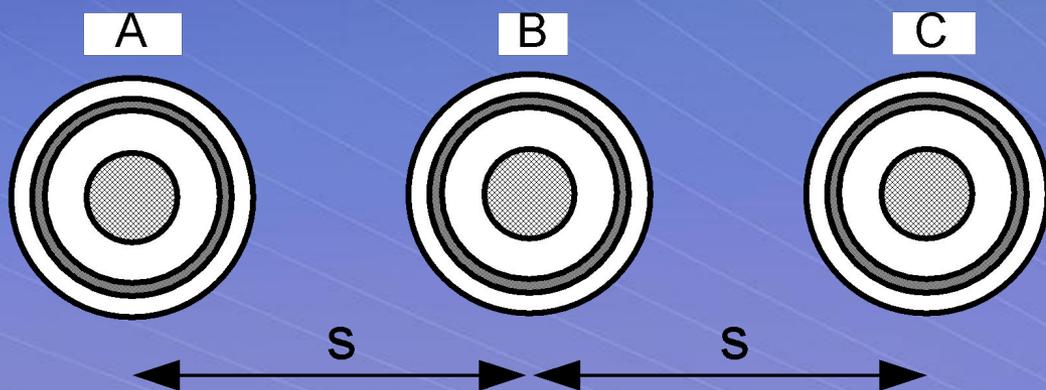


### Укладка треугольником





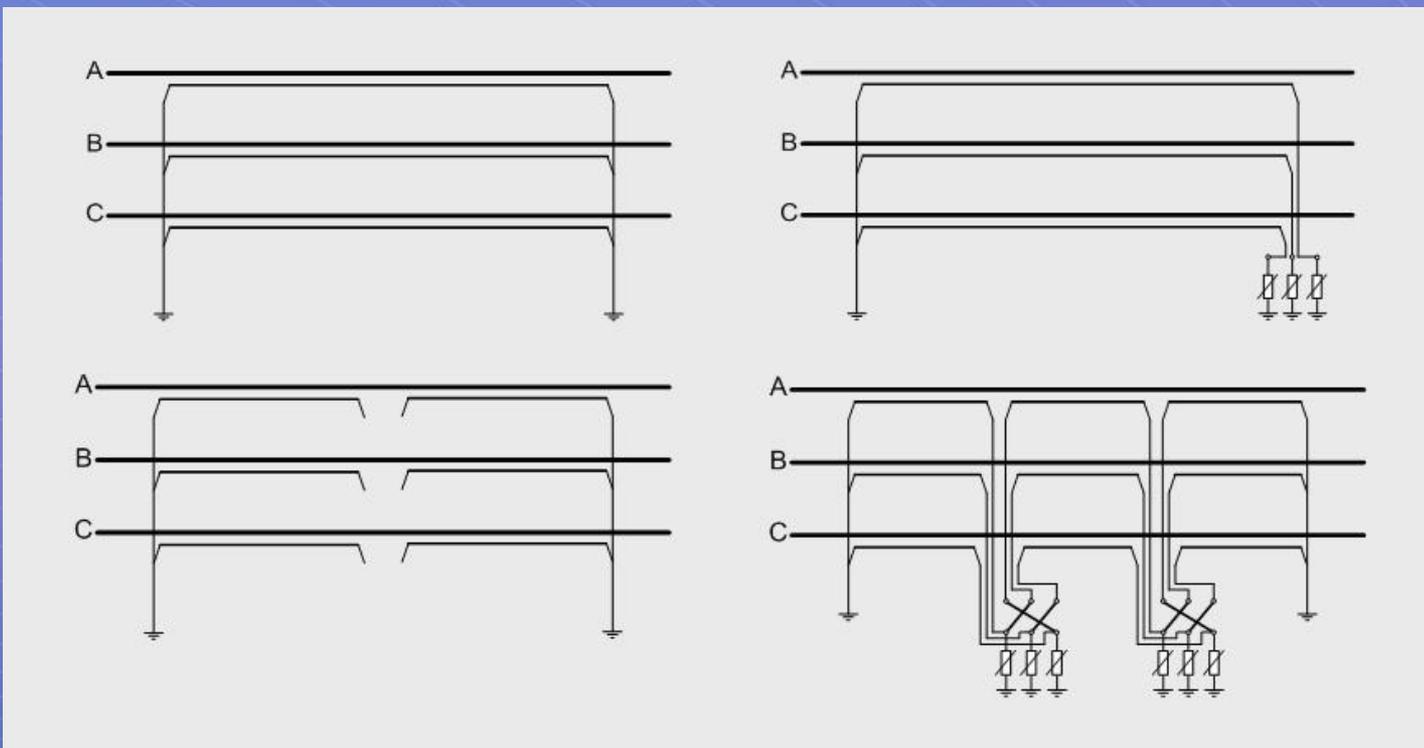
## Взаимное расположение однофазных кабелей





## Способы заземления

*Применение однофазных кабелей 6-500 кВ требует повышенного внимания к методам и качеству заземления экранов*

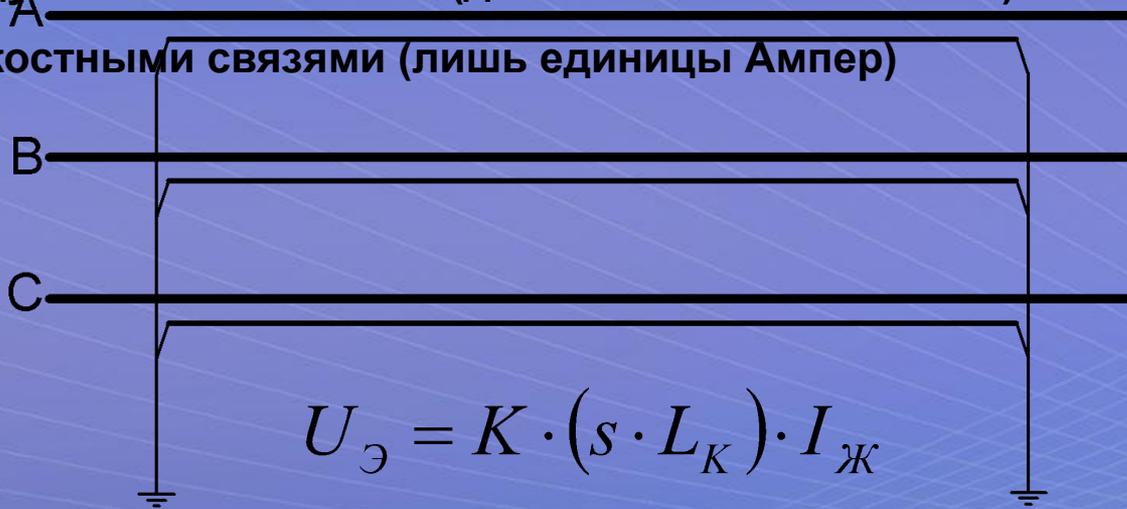




## Заземление экранов кабеля

Токи в экранах обусловлены:

1. Индуктивными связями (десятки % от тока в жиле)
2. Емкостными связями (лишь единицы Ампер)



$$U_{\text{Э}} = K \cdot (s \cdot L_K) \cdot I_{\text{Ж}}$$

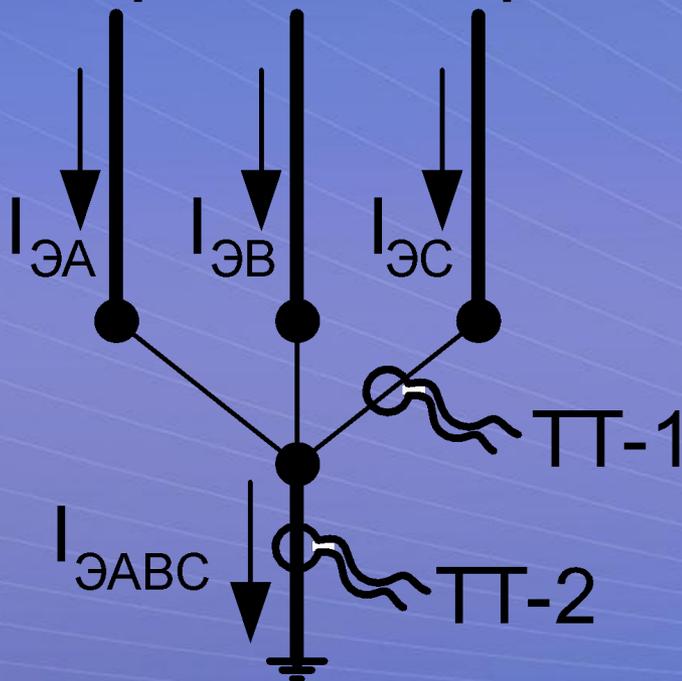
$$Z_{\text{Э}} = Z_{\text{Э}}^* \cdot L_K$$

$$I_{\text{Э}} = \frac{U_{\text{Э}}}{Z_{\text{Э}}} = \frac{K}{Z_{\text{Э}}^*} \cdot s \cdot I_{\text{Ж}}$$



## Результаты измерений токов в экранах

В нормальном (!) режиме работы (в ТТ-1):



**Вологда:**

Кабель 10 кВ, 500/95 мм<sup>2</sup>

$I_{ж}=186$  А,  $I_{э}=115$  А (!)

**Екатеринбург:**

Кабель 35 кВ, 630/35 мм<sup>2</sup>

$I_{ж}=900$  А,  $I_{э}=300$  А (!)



## Источники потерь мощности в кабеле

$$P_{\text{СУМ}} = P_{\text{Ж}} + P_{\text{Э}} + P_{\text{ДИЭЛ}}$$

$$P_{\text{ДИЭЛ}} = \left( U_{\text{НОМ}} / \sqrt{3} \right)^2 \cdot \omega C \cdot \text{tg} \delta \approx 0$$

$$P_{\text{Э}} = I_{\text{Э}}^2 R_{\text{Э}}$$

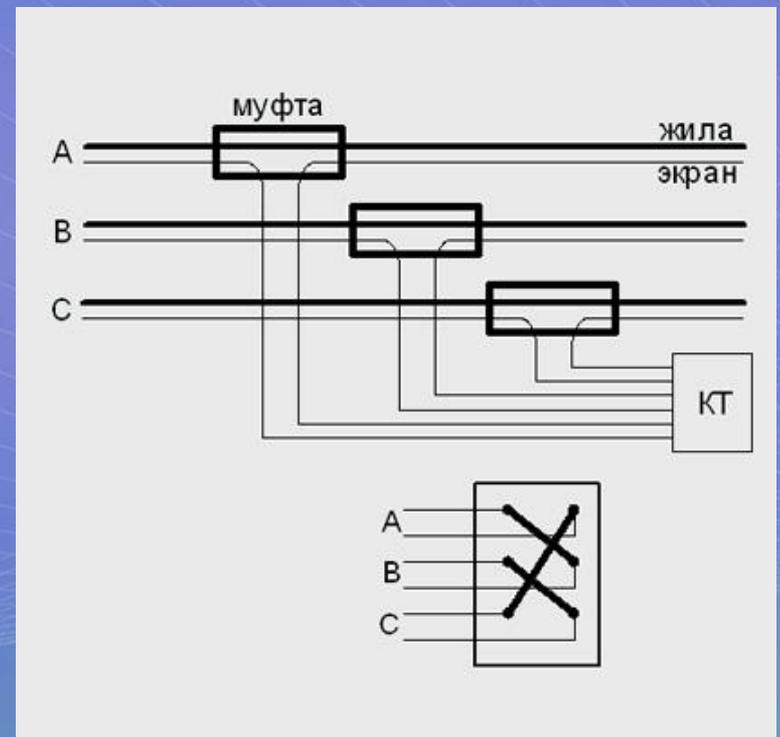
$$P_{\text{Ж}} = I_{\text{Ж}}^2 R_{\text{Ж}}$$

$$\frac{P_{\text{Э}}}{P_{\text{Ж}}} = \left( \frac{I_{\text{Э}}}{I_{\text{Ж}}} \right)^2 \cdot \frac{\rho_{\text{Э}}}{\rho_{\text{Ж}}} \cdot \frac{F_{\text{Ж}}}{F_{\text{Э}}}$$



## Способы заземления и решения по защите от перенапряжения

*Схема установки муфт и коробок транспозиции*



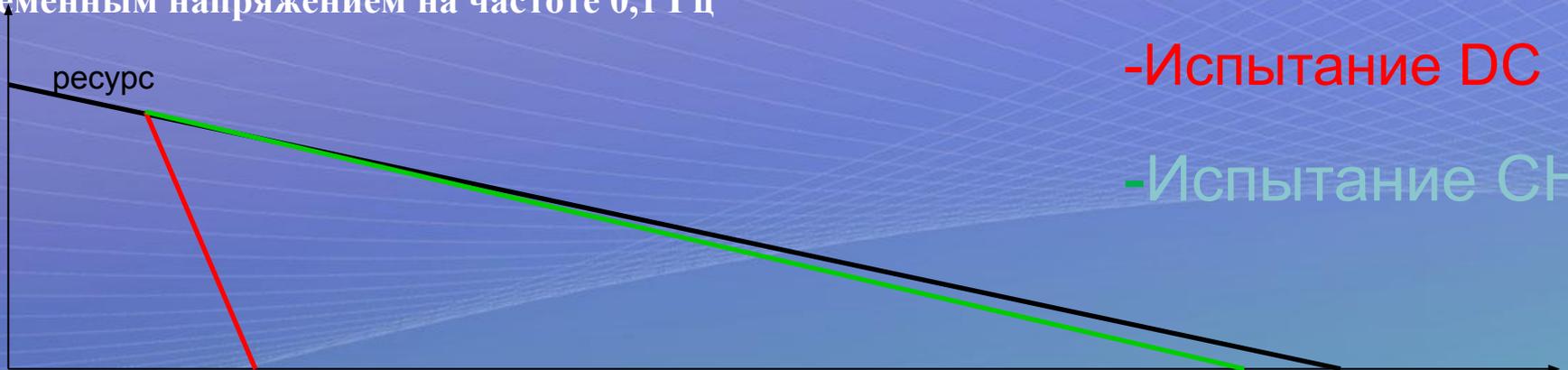


## 2. Испытание КЛ с изоляцией из сшитого полиэтилена

Испытание кабелей СПЭ нельзя проводить постоянным напряжением !

Кроме этого, для сохранения ресурса кабеля необходимо сократить напряжение и время испытания , для кабеля с любым типом изоляции.

Сохранить ресурс кабеля и предотвратить аварийную ситуацию можно при испытании кабеля переменным напряжением на частоте 0,1 Гц





Проблемы с кабелями СПЭ как правило вызваны:

1. Неправильным испытанием и поляризация полиэтилена (микротрещины) и накопление небезопасного объемного заряда

2. Неправильной прокладкой и некачественной установкой муфт

**Водяные триинги (1)**

Данные проблемы приводят к следующим

Микротрещины заполняются продуктами распада, разрастаясь внутри изоляции под воздействием влаги, **рост до 7 лет**

**Электрические триинги (2)**

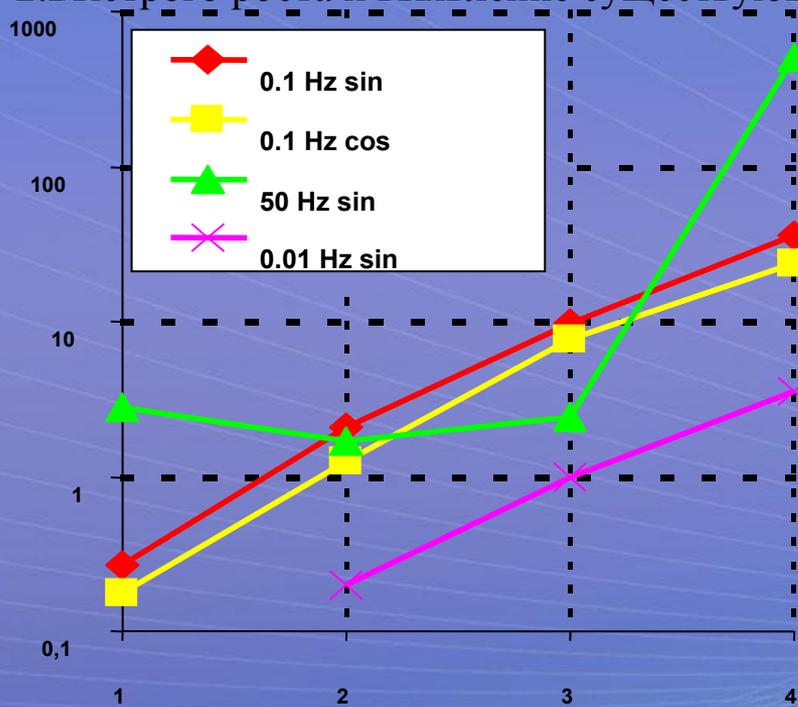
Микротрещины разрастаются по мере





При испытании кабеля СПЭ важно добиться:

1. Минимального отрицательного эффекта для изоляции
2. Быстрого роста и выявления существующих дефектов



Величина испытательного напряжения

При оценке наилучшего соотношения этих двух условий наиболее оптимальным является испытание СНЧ 0,1 Гц, так как оно обеспечивает:

- Минимальное воздействие на изоляцию
- Выявление максимального количества дефектов



## Электрические испытания после прокладки

После выполнения монтажных работ рекомендуется проводить испытание кабеля

- переменным напряжением частотой 0,1 Гц в течение 60 мин: кабелей на напряжение - 10 кВ – 18 кВ; - 20 кВ – 30 кВ; - 35 кВ – 60 кВ; (30 кВ, 60 кВ, 105 кВ – по ТУ заводов-производителей)
  - или переменным напряжением  $U_0$  в течение 24 ч, приложенным между жилой и металлическим экраном, где  $U_0$  – номинальное напряжение кабеля между жилой и экраном в нормальном режиме эксплуатации, кВ.
- Оболочка кабеля после прокладки должна быть испытана постоянным напряжением 10 кВ, приложенным между металлическим экраном и заземлителем в течение 1 мин. (10 мин. – по ТУ Заводов-производителей)

После испытания постоянным напряжением необходимо заземлить токопроводящую жилу или соединить её с медным экраном на время не менее 1 ч.

Методику испытания кабельной линии в процессе эксплуатации, а так же периодичность проведения испытаний выбирается по согласованию с потребителем. Преимущественным является неразрушающий контроль методом определения величины частичных разрядов в изоляции, а так же анализа её изменения во времени. Начальная периодичность проведения контроля – один раз в пять лет.

Испытательная установка 0,1 Гц





## Переносные системы СНЧ 40 кВ и 60 кВ





# Современные методы определения места повреждения

Основная задача предварительного  
обнаружения мест повреждений – это  
**ПРАВИЛЬНО** определить место повреждения.

- Быстро
- Точно



# Трассопоисковое оборудование

## ПКБ «РЭМ»



### FM 9800

Приемник:	Модель	Активные частоты	Пассивные частоты
	9860-E	9,82, 82 кГц	50 / 60 Гц, 14-22 кГц
	9890-E	982 Гц, 9,82 кГц, 82 кГц	50 / 60 Гц, 14-22 кГц
Передатчик:	Модель	Частота излучения	Выходная мощность
	9860-S	9,82, 82 кГц	3 W
	9890-S	982 Гц, 9,82 кГц, 82 кГц	3 W

*Максимальная глубина измерения 6 м*

*Точность измерения глубины +/- 5% + 5 см*

#### Особенности:

- Указания пользователю с помощью запатентованной, определяющей удаление, системы указания направления,
- Полностью автоматическая непрерывная регулировка усиления
- Ручная регулировка усиления
- Измерение тока для точного различия параллельно идущих проводников и нахождения ответвлений.
- Автоматическое выявление и установка оптимальной поисковой частоты.
- Встроенное измерение сопротивления дает представление об условиях подключения.
- Автоматическая бесступенчатая подстройка передатчика
- Высокая надежность вследствие применения брызгоустойчивой пленочной клавиатуры.

### ARROW

#### Arrow™ - приемник:

Поисковые частоты:	Энергия (P)	Радио (RF)	Активная (A)
	50-60 Гц	12-60 кГц	35 кГц

Arrow™ - передатчик:	Выходная частота	Выходная мощность
	3,5 кГц	0,5 Вт

#### Особенности:

- Встречные измерения по методу 45°
- Зондирование трассы для предотвращения повреждений линий снабжения при проведении земляных работ.
- В комбинации с дополнительной активной частотой с помощью ARROW™ системы передачи возможно точное определение местоположения трассы.
- Три диапазона частот





## Трассопоисковое оборудование



i5000



Easyloc Rx/Tx



ПКБ «РЭМ»

## Передвижные электролаборатории





## Системы безопасности лаборатории



Концевые выключатели дверей высоковольтного отсека

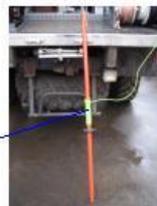
Внутренняя световая сигнализация



Барaban с кабелем вспомогательного заземления и штырем



Разрядная штанга



Выносной блок световой и звуковой сигнализации



Аварийный выключатель



Рубильник видимого разрыва сети



Модуль безопасности SM2

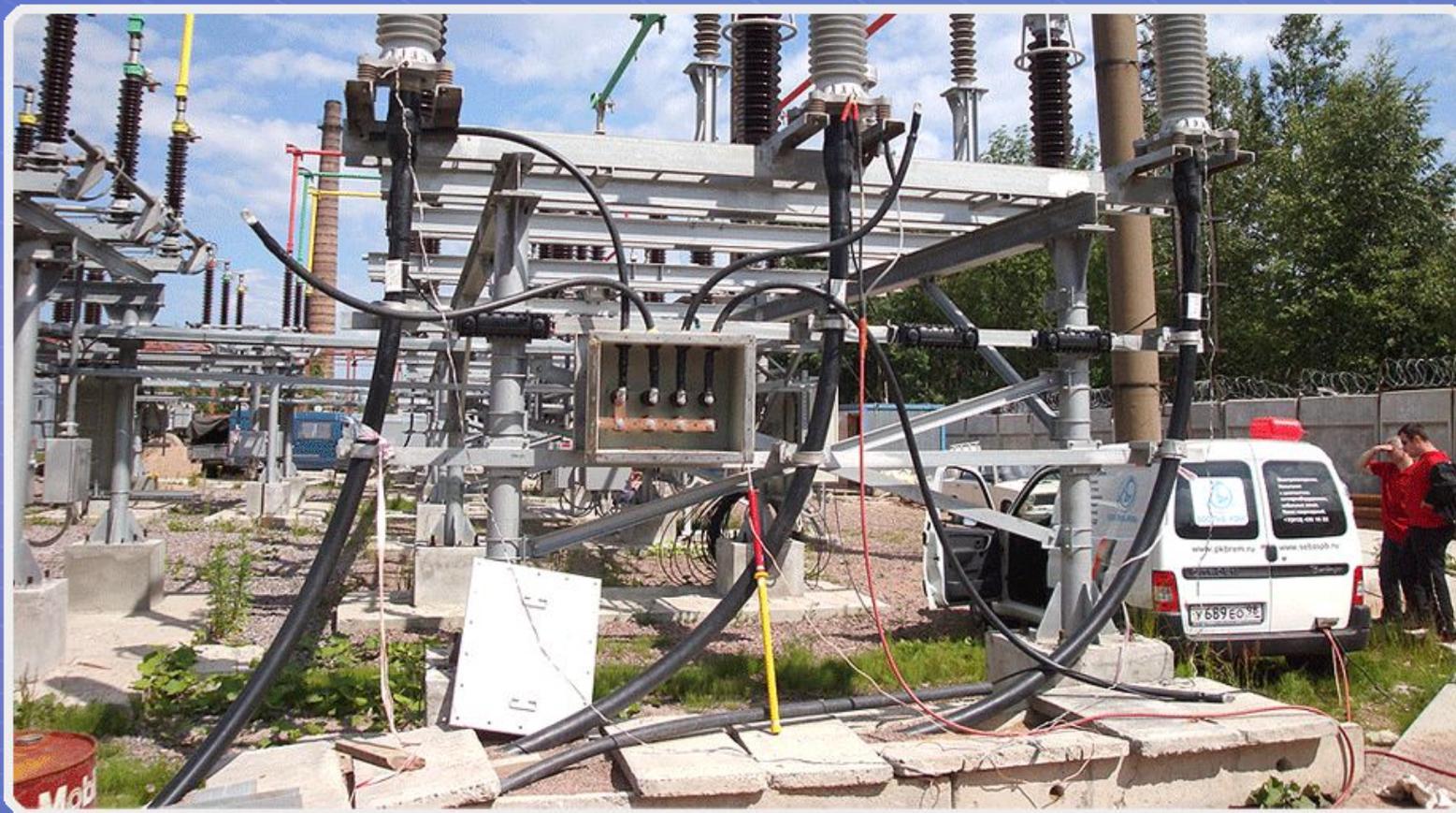


Защитное заземление

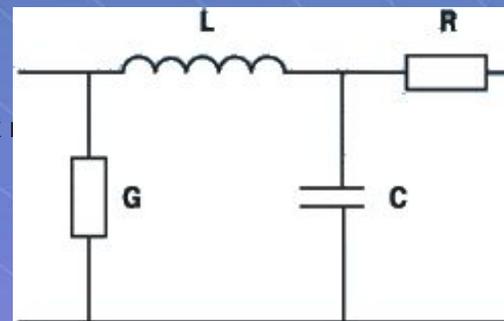


**ПКБ «РЭМ»**

## Определение мест повреждений кабельных линий



*Производство работ на новой кабельной линии 110 кВ*



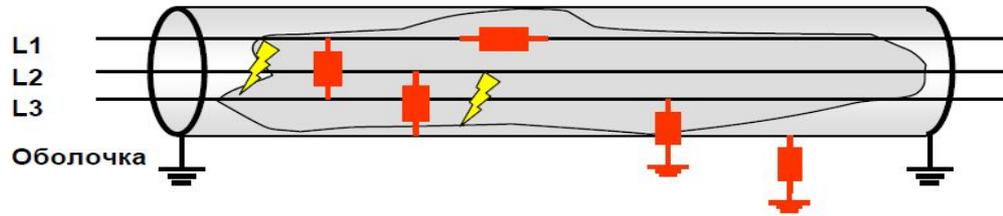
Если повреждений нет то параметры кабельной линии сбалансированы

В случае наличия повреждения параметры кабеля отличаются от нормальных

Для кабеля характерны различные типы повреждений, такие как :

1. Повреждение изоляции с и без соприкосновения с землей

# 1. Локализация сложных повреждений кабельных линий КЛ



Омические повреждения

Вид	Жила-Жила	Жила-оболочка	Оболочка-земля	Жила-земля	Прод-ое R-жила	Прод-ое R-оболочка
По типу Z	Как низкоомное 0 Ом так и высокоомное 100 и более МОм					

Емкостные повреждения

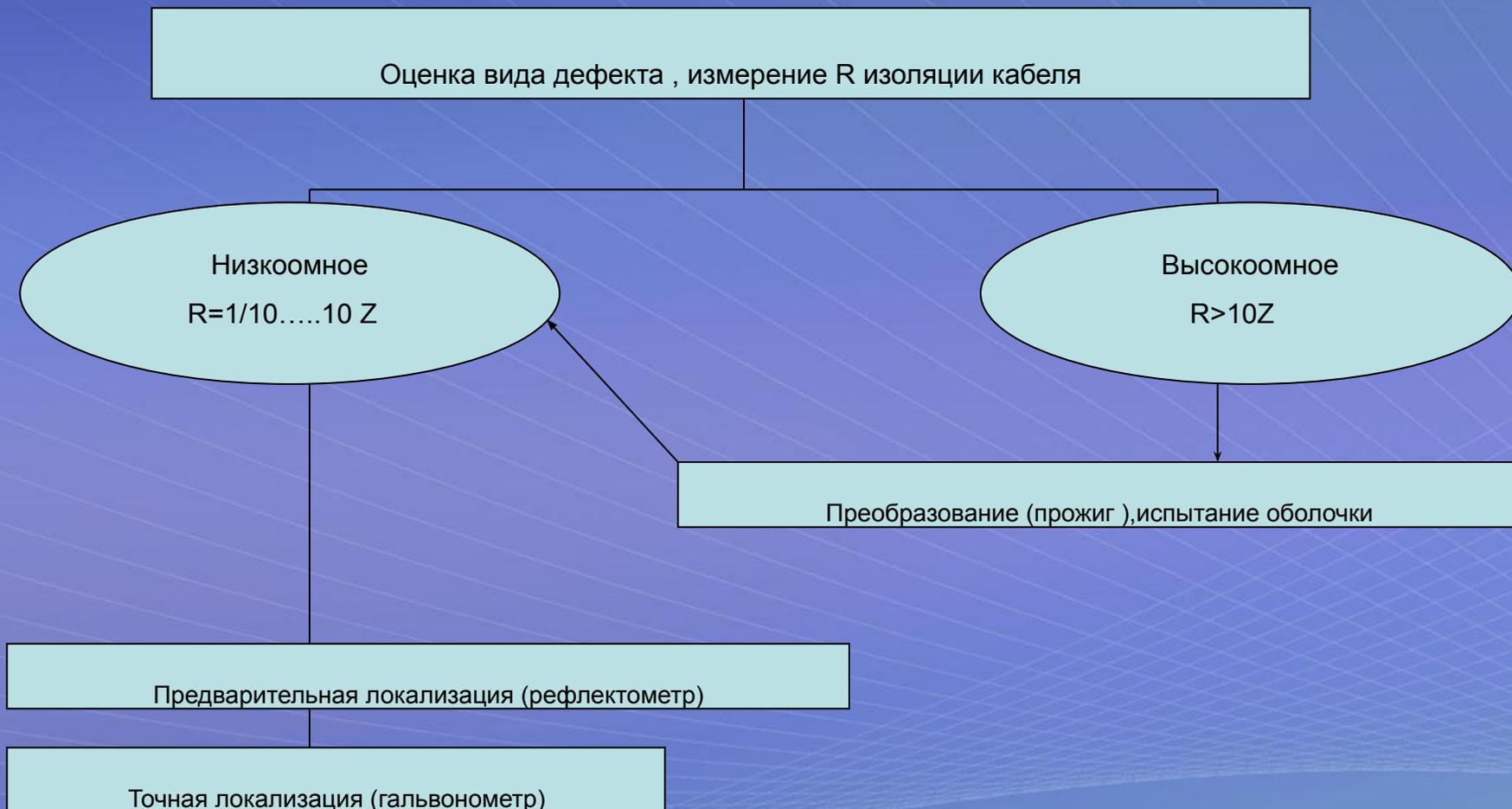
Вид	Замокание
По типу Z	Низкоомное, несколько кОм





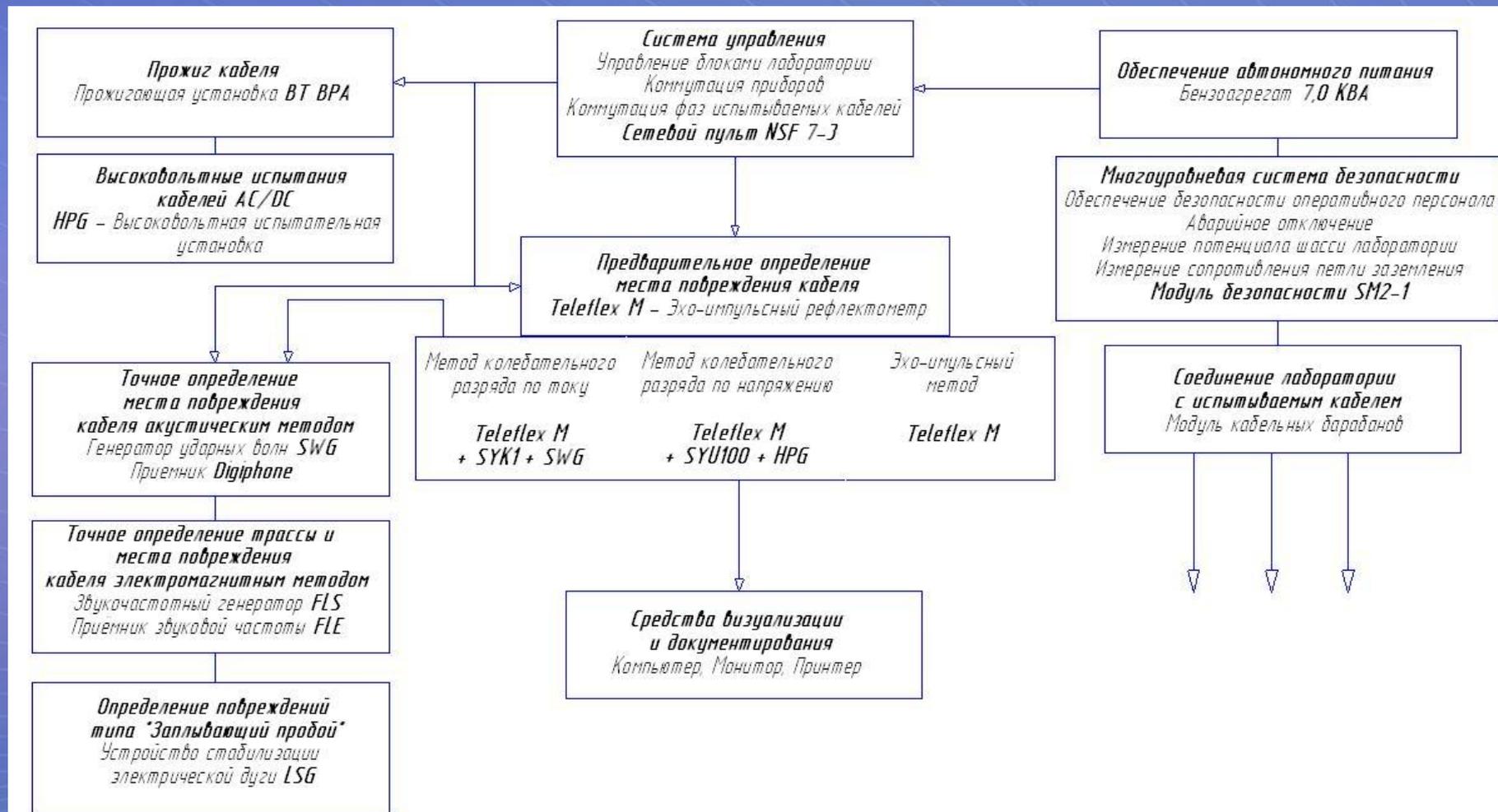
## Важно

При поиске повреждений, после прокладки КЛ и монтажа ее элементов, а также после испытания повышенным напряжением необходимо проводить измерения сопротивления изоляции (СИ) между каждым проводником КЛ относительно заземлителя. Для КЛ свыше 1 кВ, при тестовом напряжении 2500 В, значение СИ измеренное на 60 секунде должно быть не менее 0,5 МОм





## Функциональная схема электротехнической лаборатории





# ПКБ «РЭМ»

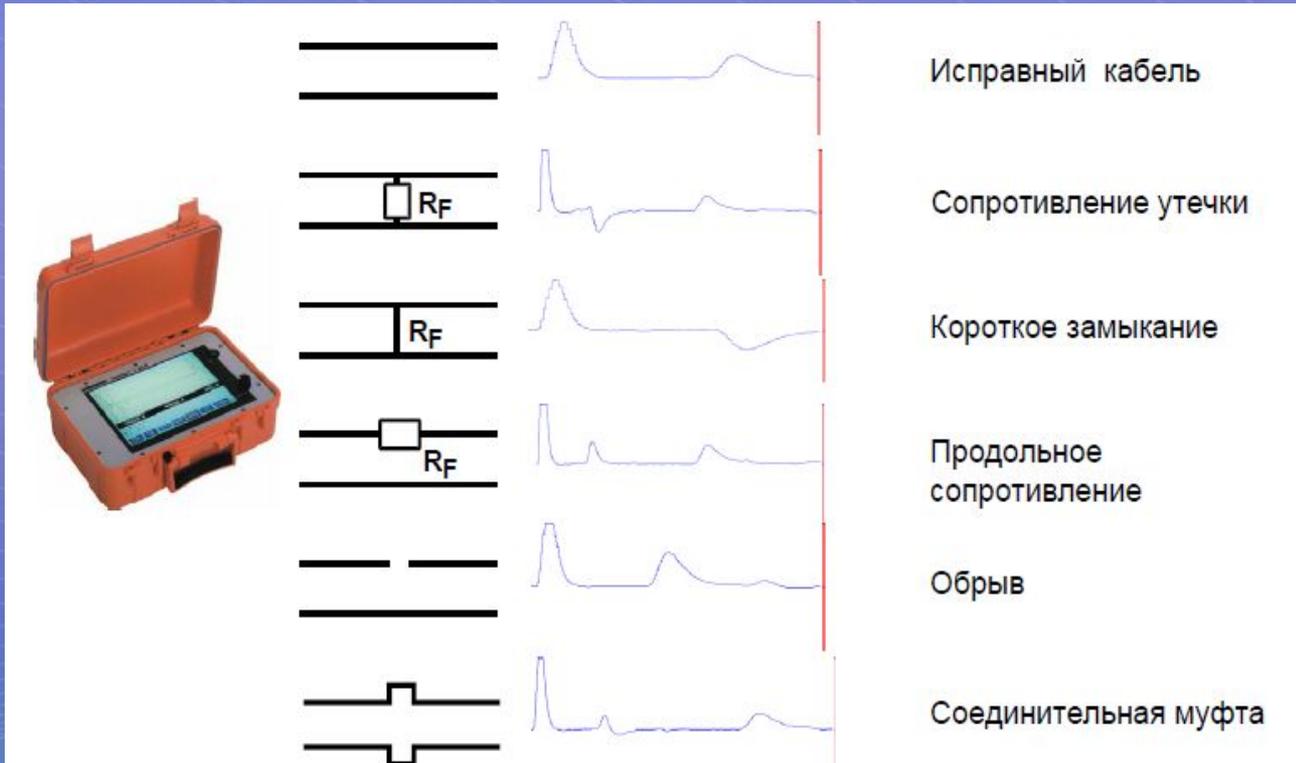




# ПКБ «РЭМ»

Рефлектометр – прибор посылает импульс в кабель, который проходя вдоль кабеля отражается от всех неоднородностей. Если известен К.У. кабеля

Можно рассчитать расстояние до неисправности а





## Генераторы ударных волн



### *Назначение*

*Используются для точного определения мест повреждений  
После предварительного определения дефектов с помощью  
Рефлектометрии или других высоковольтных устройств.  
Использует комбинированный акустический и магнитный  
способ определения повреждений.*



### Технические данные

Выходное напряжение

от 4 до 32 кВ

Энергия импульса

от 500 до 3500 Дж



## Приемник ударных волн Digiphone



### ✓ Назначение

Точная окончательная локализация повреждений в кабелях из-за пробоев

### Способы измерения:

- ✓ измерение совпадения
- ✓ относительное измерение расстояния

### Технические данные

Мощность на выходе	0,8 Вт
Усиление акустического сигнала	от 0 до 65 дБ
Усиление магнитного сигнала	от 0 до 50 дБ
Габариты (ВхШхГ)	92x245x130
Масса	1,25 кг



## Мобильное устройство для определения неисправностей в кабелях Surgeflex 15/25



### Особенности системы

Полная локализация повреждений с возможностями для:

- Испытаний по постоянному току напряжением 15 кВ/25 кВ
- Предварительной локализации
  - рефлектометрия
  - ARM-измерение (метод отражения электрической дуги)
- Поиск трассы (как опция)
- Точная локализация повреждений
  - Дистанционное измерение и измерение акустического поля
  - Методы звуковой частоты ( как опция)
- Режим работы от сети и от батарей.

Независимая от сети, переносная установка для поиска повреждений силовых кабелей и кабелей управления может использоваться без автомобиля. При работе от батарей прибор может работать до 4 часов при полной импульсной энергии, также может работать и от сети. При импульсном напряжении 15 кВ или 25 кВ установку можно использовать для локализации повреждений кабелей среднего и низкого напряжения.



## Мобильное устройство для определения неисправностей в кабелях Surgeflex 32



Surgeflex 32 является переносной установкой для испытания и определения места повреждения в силовых кабелях и в кабелях управления. С испытательным и импульсным напряжением до 32 кВ установку SPG 32 можно использовать также и в кабелях среднего напряжения с  $U_n$  до 18 кВ.

### Особенности системы

- Испытание постоянным током до 32 кВ
- Предварительное определение
  - измерение методом отражения
  - измерение методом ARM (метод отражения электр. дуги) до 32 кВ
  - метод импульсного тока 8/16/32 кВ
- Прожиг (преобразование повреждения) до 32 кВ
- Определение трасс
- Точное определение
  - дистанционное и акустическое измерение (8/16/32 кВ с 1000 Дж / 1750 Дж)
  - определение мест повреждений оболочки (0...5 кВ ограниченная мощность)
  - метод звуковых частот (как опции)



## Рефлектометр для определения низкоомных неисправностей и обрывов в кабелях Т 30Е



### Технические данные

Диапазон измерения	50 м ... 7500 м
Длительность импульса	50 ns до 10 $\mu$ s
Частота дискретизации	100 MHz
Допуск	$\pm 0,1\%$
Установка V/2	60 м/ $\mu$ s ... 150 м/ $\mu$ s
Дисплей	10,4" VGA Color TFT
Режимы измерения	
✓ прямое измерение L1	
✓ сравнительное измерение через рабочую память	
✓ режим ARM®	
✓ токоимпульсный метод	
Память	100 кривых
Внешний интерфейс	RS 232
Питание	230 В, 50 / 60 Гц
Рабочая температура	-20°C ... 40°C
Размеры (Ш x В x Г)	360 x 150 x 280 мм
Вес	6 кг

### Особенности

- управление с помощью одной клавиши
- 10,4" VGA цветной TFT дисплей
- Quick Steps-режим с автоматическим измерительным процессом
- Step by step Easy Mode - подсказка для пользователя со вспомогательными текстами Online
- режим Expert Mode со свободным выбором параметров
- автоматическое определение-опознание места повреждения и изображение
- автоматическое опознание конца кабеля и изображение
- ARM®-, метод, токо-импульсный метод и метод связи по напряжению
- высокая разрешающая способность в непосредственной близости и точность из-за специальных форм измерительных импульсов
- высокая динамика из-за усиления, зависящего от длины отображения
- 3 измерительных кривых
- Zoom-функция



# ПКБ «РЭМ»

Под методами преобразования подразумевается как прожиговые методы так и беспрожиговые методы.

Прожиг – знаком и надежен, **Беспрожиговые методы** – новинки вообще.

plus

## ARM

plus

## Decay

## ICE

Отражение от дуги

Связь по напряжению

Связь по току



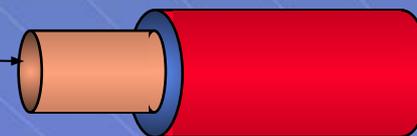
## До 32 кВ

### ARM

Генератор  
Ударных  
волн

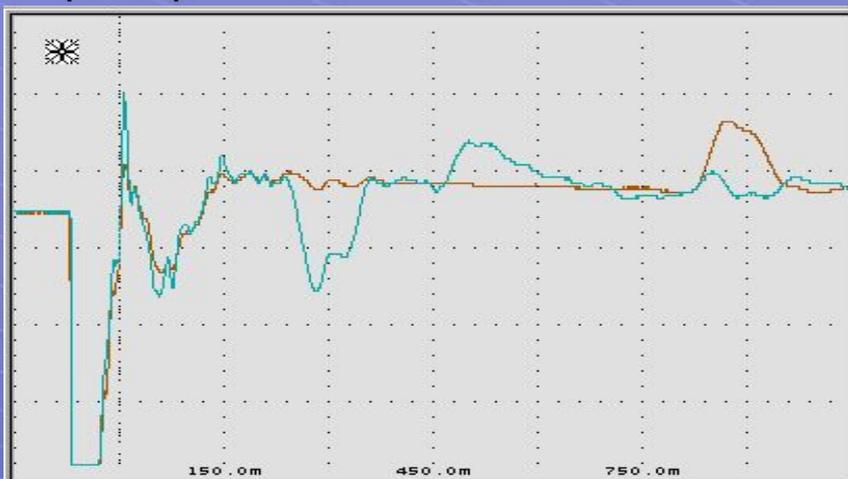


Устройство стабилизации дуги



Рефлектометр

Рефлектограмма



При добавлении установив DC и еще одного генератора ударных волн стала возможным работа с кабельными линиями большой длины



plus

# ПКБ «РЭМ»

## 1. Локализация сложных повреждений кабельных линий КЛ

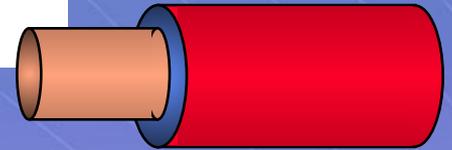
# Decay

Установка DC

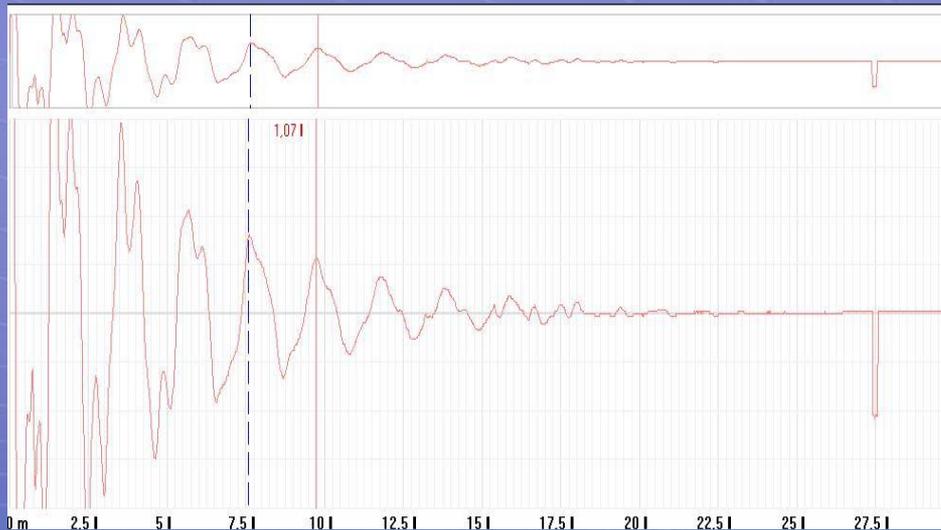


Развязка

Рефлектометр



### Рефлектограмма



При добавлении генератора ударных импульсов и коммутационных устройств линиями большой длины





## ICE



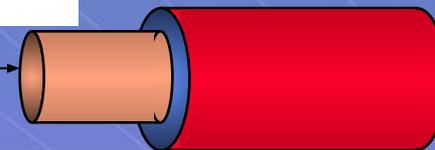
Установка DC



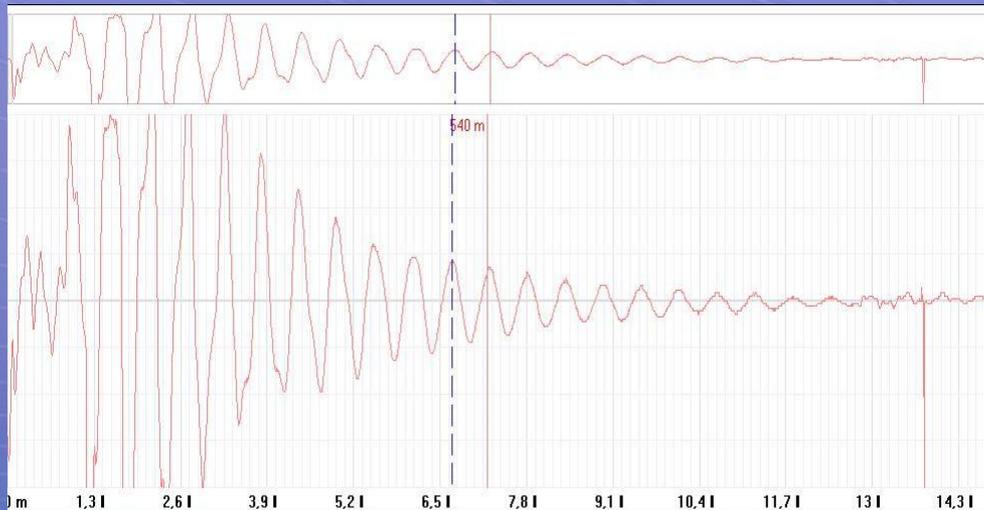
Генератор  
ударных импульсов



Рефлектометр



Рефлектограмма





## Метод ARM – метод стабилизации дуги

### Преимущества:

- В месте повреждения выделяется небольшое, по сравнению с прожигом, количество энергии, поэтому вредное влияние на кабель минимальное;
- Высокая точность измерений;
- Будут четко видны начало, конец кабеля, муфты и т.д.;
- Достаточно одного импульса для определения места повреждения;
- Возможность реализации этого метода на различных типах кабеля.

### Недостатки:



## Метод ARM – метод стабилизации дуги

SWG



LSG

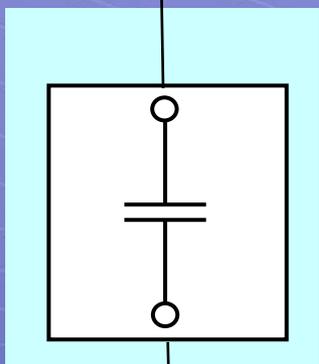


КАБЕЛЬ

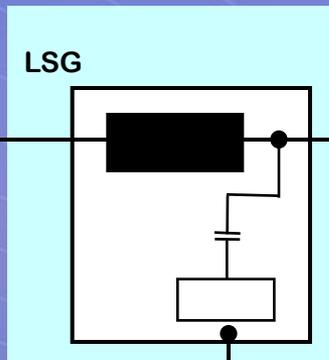
TELEFLEX MX



Генератор ударных волн



LSG



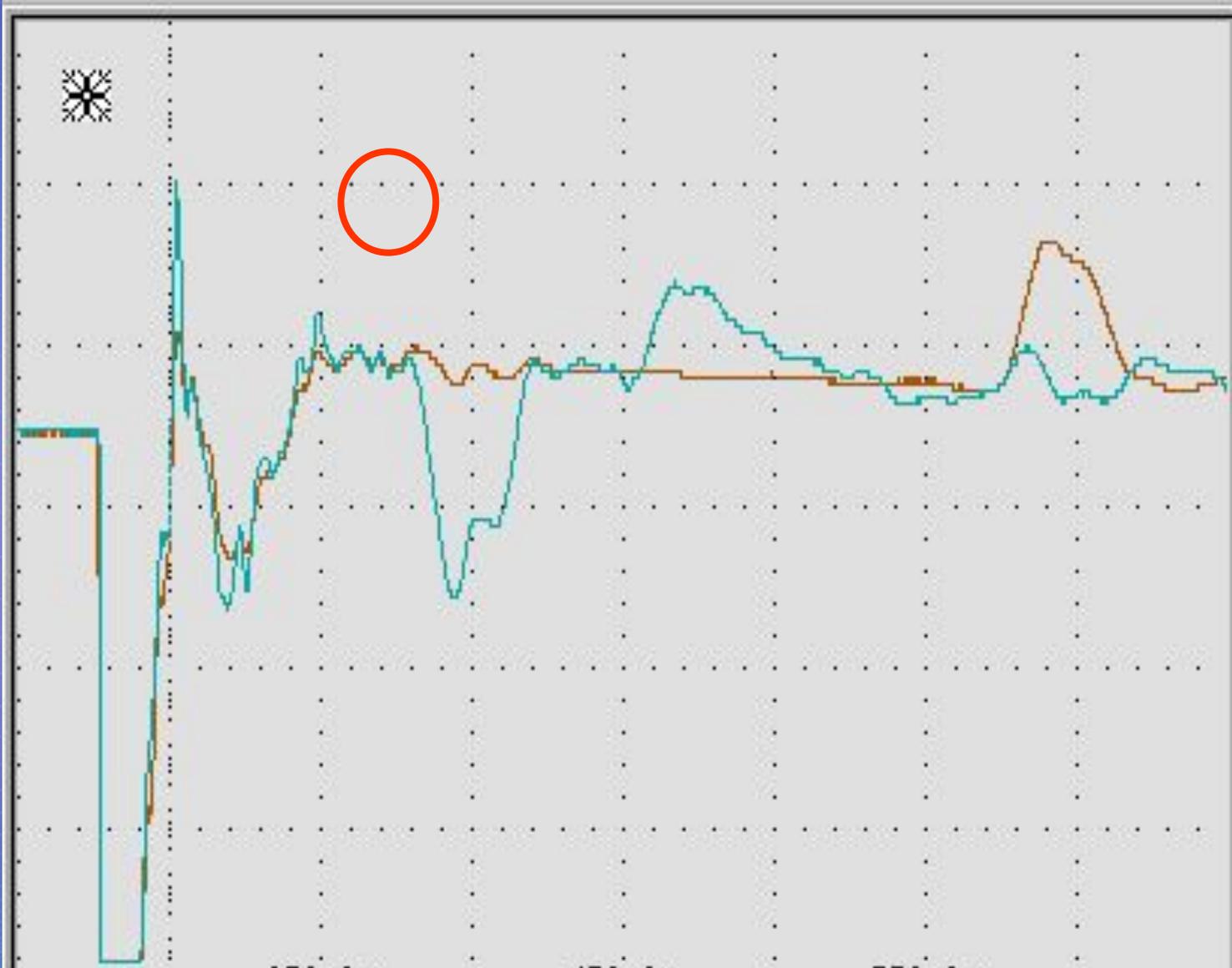
Teleflex



Повреждение



# ПКБ «РЭМ»



238 V



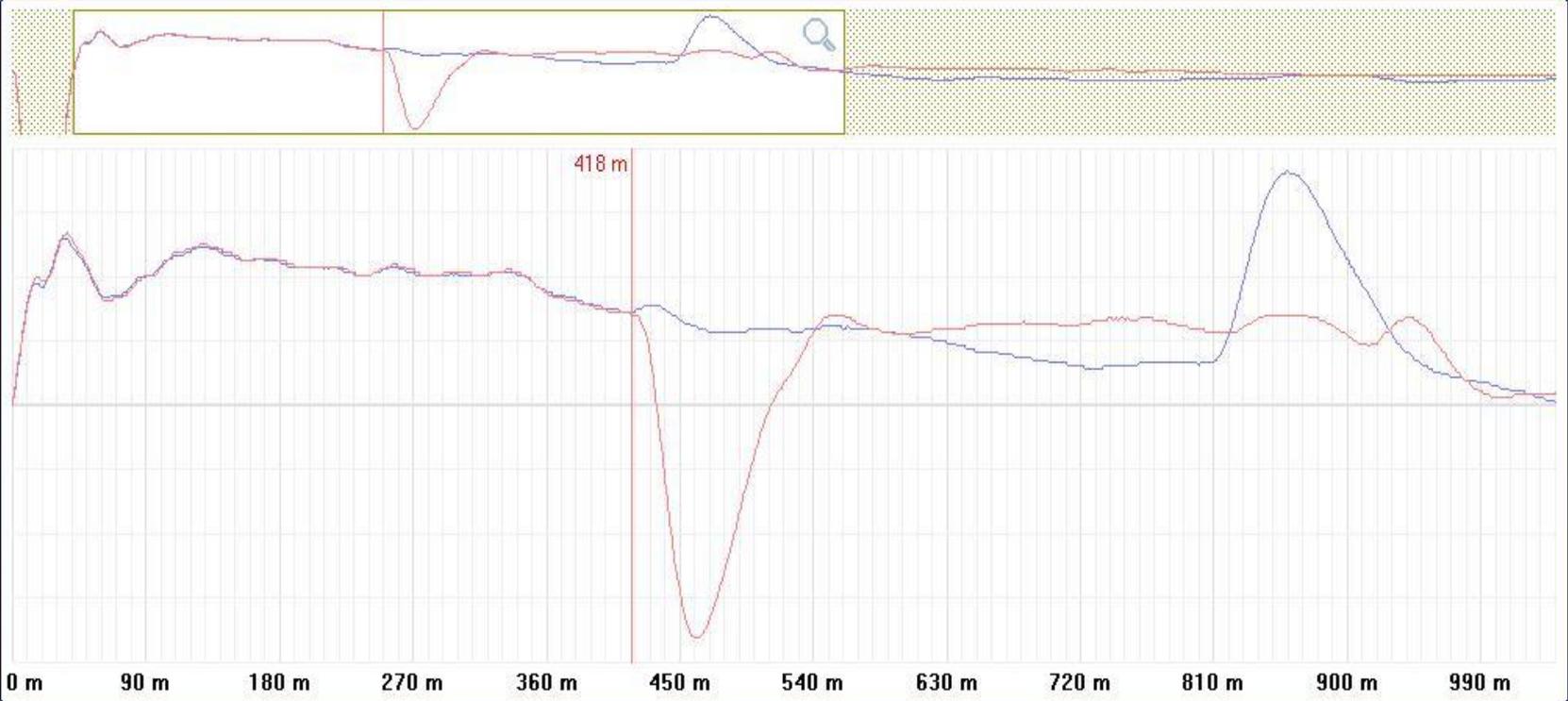
0,85 A

Высоковольтный кабель

22.06.2007

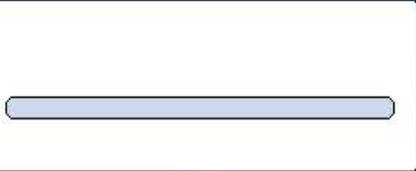


9:50:01



ARM+ Метод ARM Plus  
 Путь ссылки

Загружена демонстрационная рефлектограмма



- ← L1 ✓
- ← L2 ✗
- ← L3 ✗



	2 000 МВ		15
	2 800 кГц		16 kV
	1,5 kV		417,6 м
			9 дБ

Режим запуска

	1	<input type="checkbox"/>	Загрузка Ссылка L1
			Загрузка Ошибка L1
	80,0 м/	<input type="checkbox"/>	

238 V



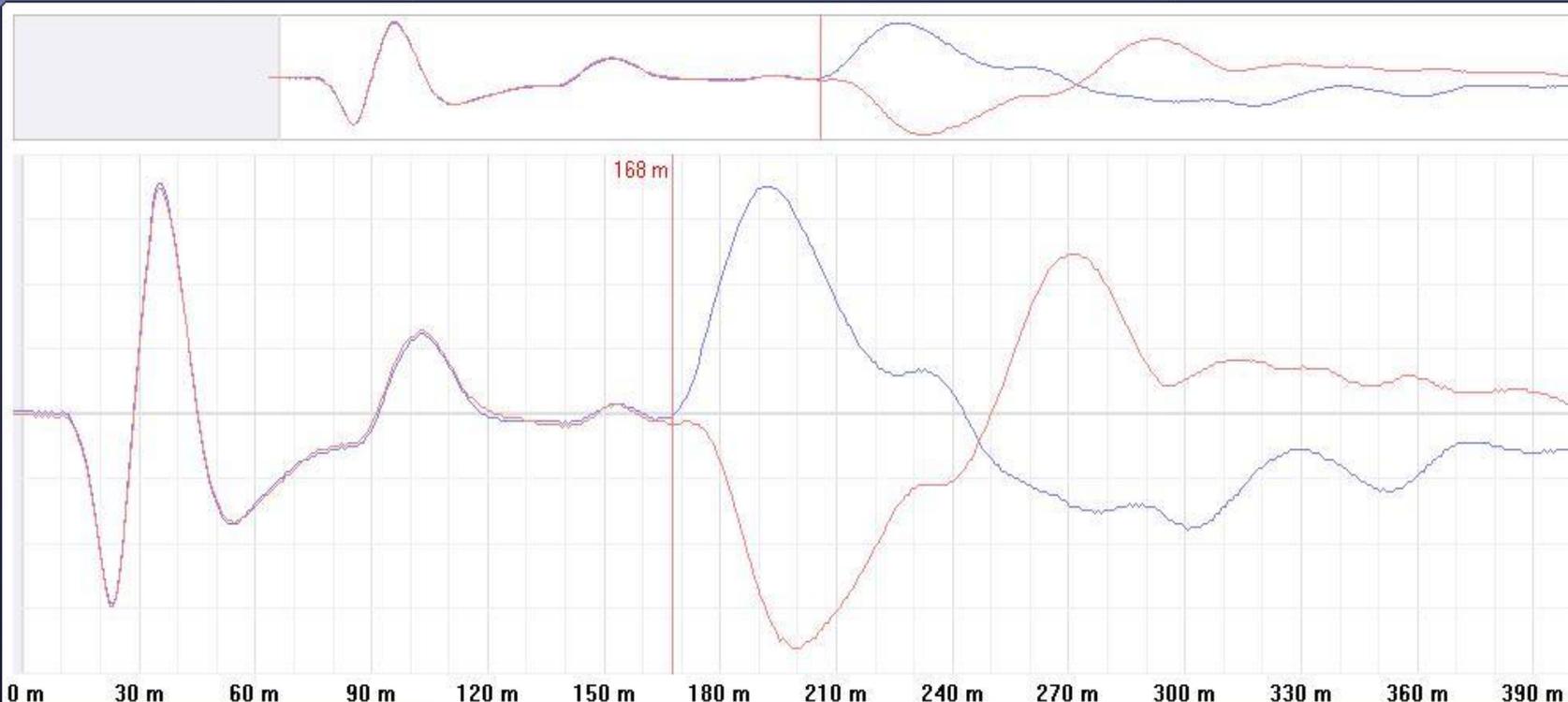
0,85 A

Высоковольтный кабель

22.06.2007

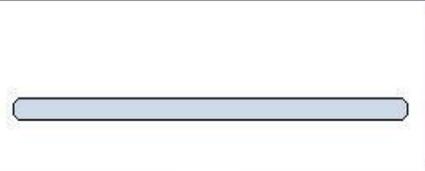


9:56:25

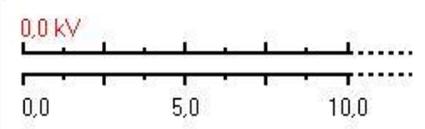


Метод ARM-прожиг  
Путь ссылки

Загружена демонстрационная рефлектограмма



- ⚡ ● ← L1 ✓
- ⚡ ● ← L2 ✗
- ⚡ ● ← L3 ✗



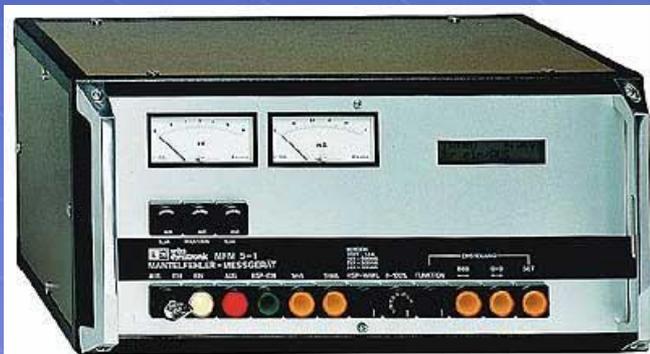
Автоматический режим  
 $66,7 \Omega$      $2\ 800 \text{ кГц}$      $V_r \uparrow 10 \text{ kV}$   
 $\rightarrow 168 \text{ m}$      $Y_G \uparrow 10 \text{ дБ}$

Режим запуска

$X_R$  400 m    Загрузка Ссылка L1  
 $\leftrightarrow$  50 нс    Загрузка Ошибка L1  
 $\frac{V}{2}$  80,0 m/□



## Система для измерения кабелей MFM 5-1



### Технические данные

- Напряжение испытания 0,5 - 1 - 2 - 5 кВ DC
- Ток испытания 1 mA, 10 mA
- Ток в режиме локализации места неисправности 0,15 - 0,3 - 0,6 - 1,5 A DC
- Тактовая последовательность 1:3 - 0,5:3 - 0,5:6 с
- Измерительные приборы
  - Вольтметр 0-6 kV/m
  - Амперметр
- ЖК дисплей 2 x 16 знаков, с подсветкой
- Установка длины 1 - 9999 м
- Время измерения 1 - 99 min
- Питание 230 В AC  $\pm 10\%$ , 45...60 Hz
- Потребляемая мощность 600 VA
- Вес 30,6 кг (включая кабели)

Система для измерения оболочки кабеля MFM 5-1 - универсальный прибор,

который, кроме испытания оболочки кабеля, позволяет производить

предварительное и точное определение места неисправности в ней. Управление прибором осуществляется через меню.

В режиме испытания возможны измерения тока 1 и 10 mA на полном диапазоне.

Это позволяет выявить малейшие дефекты изоляции в оболочке кабеля.

Для снижения тепловой нагрузки в месте дефекта, чтобы не повредить изоляцию жилы, предприняты следующие меры:



# Прибор для точной локализации замыкания на землю в оболочке кабеля ESG 80

## ПКБ «РОМ»



Технические данные :

Измерительный прибор 50 - 0 - 50  $\mu$ A

Чувствительность без усилителя

В зависимости от установки регулятора чувствительности

\*6 0.14 В

\*5 0.40 В

\*4 1.20 В

\*3 2.60 В

\*2 3.80 В

\*1 4.60 В

Чувствительность с усилителем

\*6 0.5 мВ

\*5 5.0 мВ

\*4 30.0 мВ

\*3 125.0 мВ

\*2 250.0 мВ

\*1 2000.0 мВ

Входное сопротивление без усилителя макс . 700 кОм

Входное сопротивление с усилителем 100 кОм

Компенсация во всех диапазонах :  $\pm$  100%

**Локатор замыканий ESG 80 представляет собой**

**чувствительный милливольтметр**

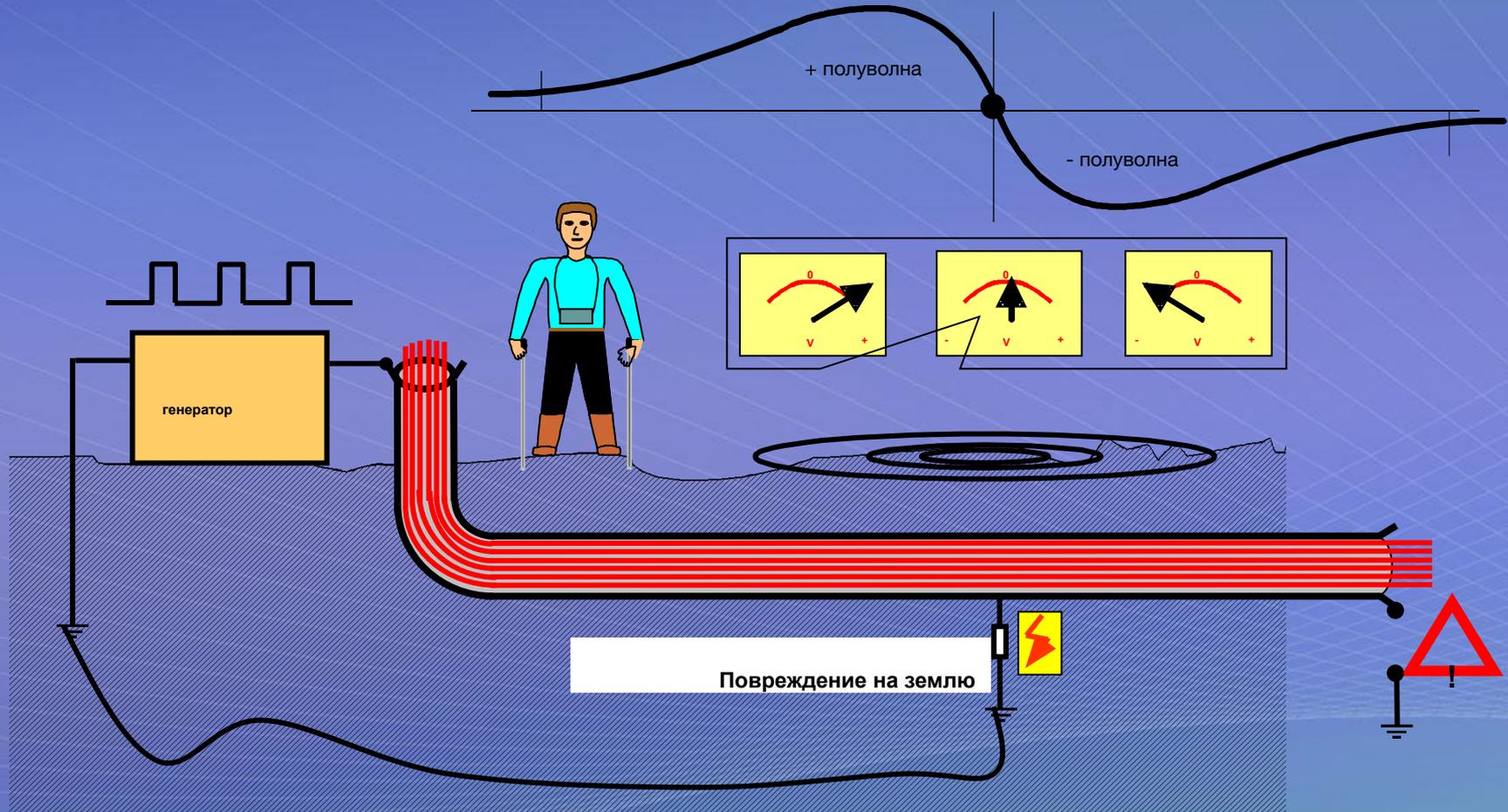
**постоянного тока для отыскания мест замыканий на**

**землю в кабельных оболочках**





## Точная локализация повреждения оболочки





## Определение мест повреждений кабельных линий



*Повреждение оболочки — следствие небрежной прокладки кабеля*



## Определение мест повреждений кабельных линий



*Механическое повреждение — задир*



**ПКБ «РЭМ»**

## Определение мест повреждений кабельных линий





**ПКБ «РЭМ»**

*НАШИ ТЕХНОЛОГИИ*

## Определение мест повреждений кабельных линий





## Так зачем нужна диагностика ?

1. Для оценки качества прокладки КЛ при их приеме в эксплуатацию согласно Р МЭК
2. Для оценки остаточного ресурса КЛ и прогнозирования ремонтных работ
3. Для предотвращения аварийных ситуаций
4. Для сохранения ресурса КЛ

Диагностика бывает двух видов

On-Line

Измерение ЧР под рабочим напряжением

Off-Line

Системы DAC (OWTS)

Резонансные установки

СНЧ установки с диагностикой ЧР



Испытание оболочки КЛ(СПЭ) после прокладки показало что она повреждена

При прокладке кабеля, в траншеи оказался посторонний предмет (металлическая прокладка). В течении короткого времени, в месте соприкосновения кабеля с прокладкой возникло повреждение изоляции



Вывод:

Некачественное выполнение работы



## Примеры механических повреждений кабеля



Вывод:

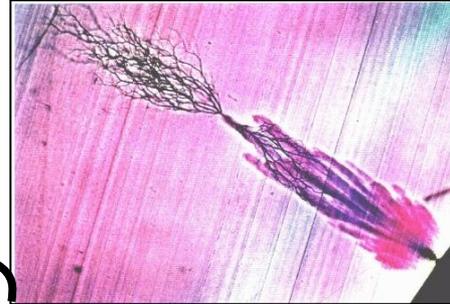
Некачественное выполнение работ

### 3. Диагностика кабельных линий

#### 1. Проблемы в муфтах и соединениях



#### 2. Водяные и электрические тринги



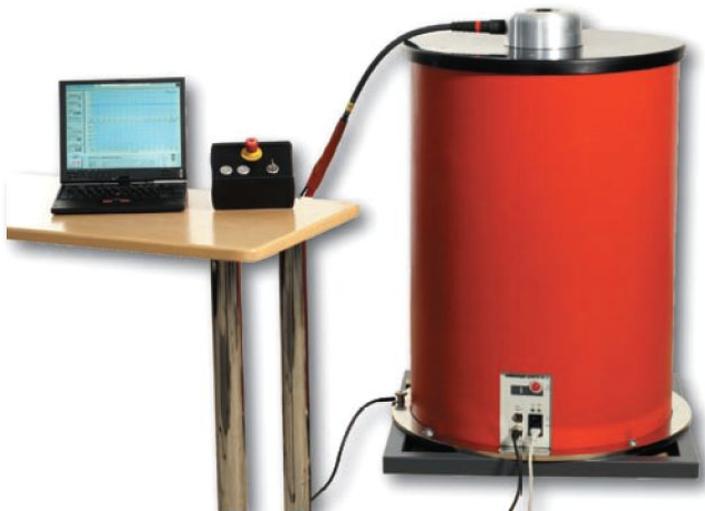
#### 3. Различные отрицательные процессы в изоляции



Измерение ЧР, подходит для любого типа кабеля

Принцип работы установки OWTS

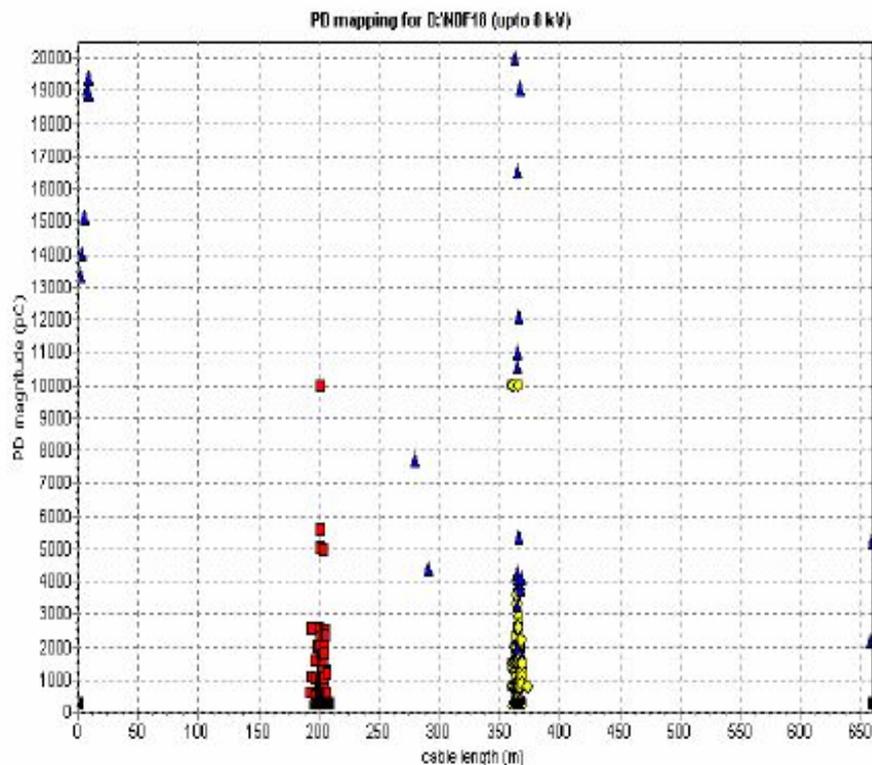
1. Кабель калибруется от шумов для измерений
2. Зарядка кабеля напряжением  $1,7U_{\text{номинального}}$  .
3. Замыкание на резонансную катушку,  
переменного напряжения которое раж



тиза



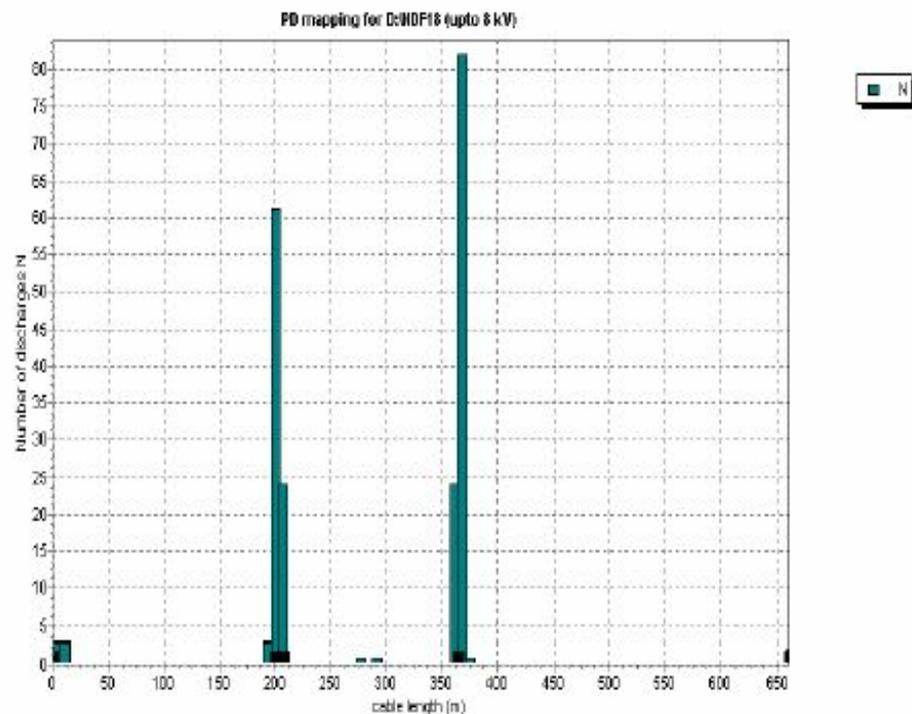
### 3. Диагностика кабельных линий



Тип кабеля: NA2XSF2Y 150/25  
Длина: 660м  
Год: 1997  
Напряжение: 12/20 кВ  
Участок: NDF 18

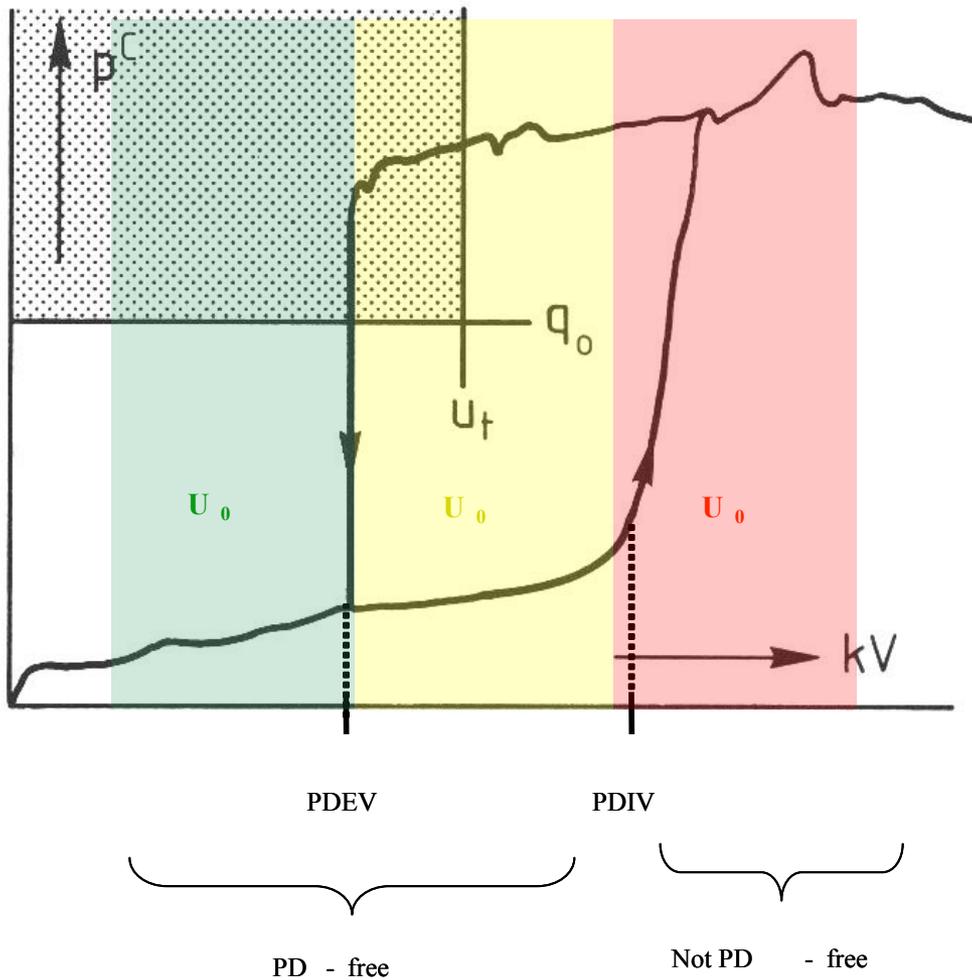
Высокий уровень ЧР в

L 1      муфта 200 м ( 208 м)  
L2 / L3    муфта 365 м





### 3. Диагностика кабельных линий



1. При калибровке установки отсекаются шумы ниже уровня 5ПкК

2. Постепенно повышая напряжение измеряются ЧР, напряжение может варьироваться в границах от  $1,3 U$  до  $2 U$  ( для диагностики  $1,7 U$  )

3. ЧР не должны появляться при рабочем напряжении

4. Частота на которых проходит диагностика варьируются от 20 до 600 МГц, это обусловлено :  
Расстоянием, рабочим режимом

5. Критичны уровень ЧР обусловлен требованиями регламента

### 3. Диагностика кабельных линий

OWTS 28 и 60



Для кабелей среднего и высокого напряжения диагностика проводится с напряжением  $1,7U$

Для кабелей сверхвысокого напряжения возможно провести диагностику в номинальном режиме работы.

На данный момент есть модель установки до 350кВ

Однако, ей можно диагностировать и кабели до 500 кВ

**СТАТИСТИКА**



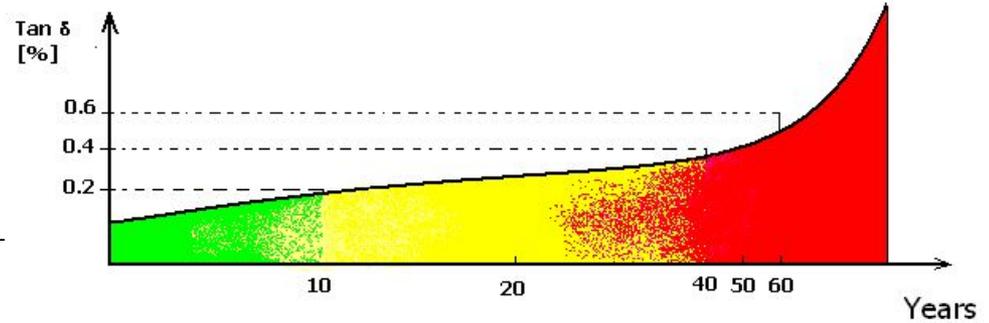
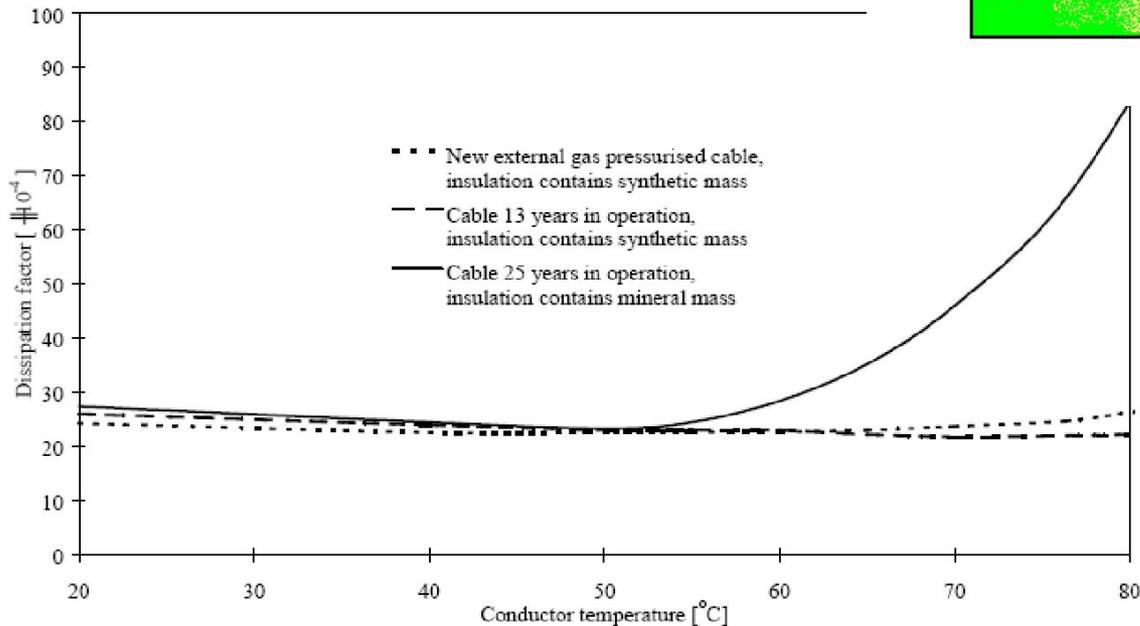
OWTS 350

### 3. Диагностика кабельных линий

Все вышесказанное верно для кабеля с любым типом изоляции, однако

Для ROI кабеля наличие ЧР не всегда критично, так как присутствует эффект Сомолечения

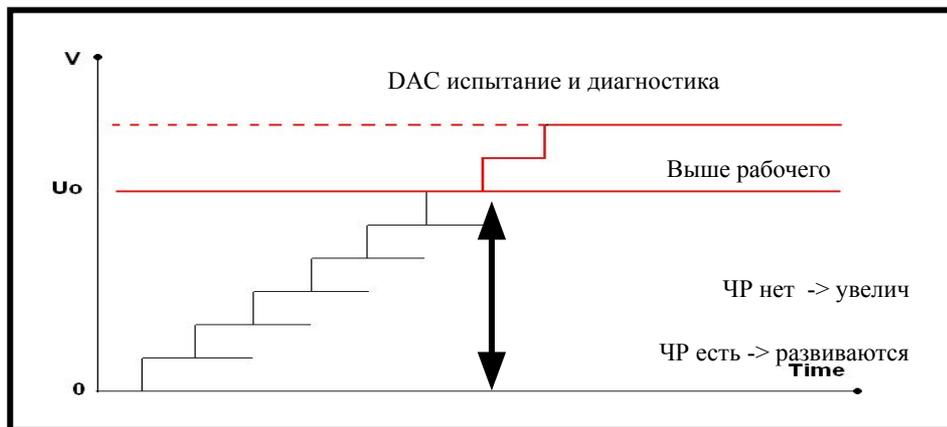
Для таких кабелей следует оценивать  $\text{tg } \delta$  который находится во взаимосвязи с температурой кабеля.



Увеличение  $\text{tg } \delta$  свидетельствует  
О резком возрастании  $T$  кабеля

### 3. Диагностика кабельных линий

При диагностировании подается высокое напряжение, а испытания без диагностики малоинформативные, по этому, установку для диагностики также можно использовать и для испытаний



При испытании нецелесообразно применять напряжение выше 2х кратного и не более часа.

Испытания 24 часа под рабочим  $U$   
Бесполезны ( для кабелей от 110 и выше)



3.Диагностика кабельных линий off line

Пороговые значения ЧР

<b>Местоположение</b>	<b>Тип изоляции</b>	<b>Пороговое значение</b>
<b>Изоляция</b>	<b>БМ</b>	<b>10 000 ПкК</b>
	<b>СП</b>	<b>20 ПкК</b>
<b>Муфта</b>	<b>Маслонаполненная</b>	<b>10 000 ПкК</b>
	<b>Резиновая изоляция</b>	<b>5 000 ПкК</b>
	<b>Селиконовая изоляция</b>	<b>1 000 ПкК</b>
<b>Концевая муфта</b>	<b>Маслонаполненная</b>	<b>6 000 ПкК</b>
	<b>Сухая</b>	<b>3 500 ПкК</b>
	<b>Термоусадочная</b>	<b>250 ПкК</b>

### 3.Диагностика кабельных линий off line

Тип кабеля	место локализации ЧР	Оценка условий		
		Безопасно	Подозрительно	Небезопасно
Экструдированная новая изоляция / со сроком службы	Кабельная изоляция	Свободно от ЧР* $\tan \delta < 0.1\%$		
Экструдированная со сроком службы	муфты	Свободно от ЧР * $\tan \delta < 0.1\%$ $\Delta \tan \delta < 0.1\%^{***}$	<100 ПкК ** $\tan \delta < 0.2\%$ $\Delta \tan \delta < 0.1\%^{***}$	>100 ПкК ** $\tan \delta > 0.2\%$ $\Delta \tan \delta > 0.1\%^{***}$
Жидко наполненная (малое давление) со сроком службы	Распределенное без локализации	<100ПкК ** $\tan \delta < 0.2\%$ $\Delta \tan \delta < 0.1\%^{***}$	<500 ПкК ** $\tan \delta < 0.3\%$ $\Delta \tan \delta < 0.2\%^{***}$	>1000 ПкК ** $\tan \delta > 0.3\%$ $\Delta \tan \delta > 0.2\%^{***}$
	Локализована в кабельной изоляции и муфтах	<50 ПкК ** $\tan \delta < 0.2\%$ $\Delta \tan \delta < 0.1\%^{***}$	<200 ПкК ** $\tan \delta < 0.3\%$ $\Delta \tan \delta < 0.2\%^{***}$	>200 ПкК ** $\tan \delta > 0.3\%$ $\Delta \tan \delta > 0.2\%^{***}$
Жидко наполненная (высокое давление) газовый кабель со сроком службы	Распределенное без локализации	Свободно от ЧР * $\tan \delta < 0.2\%$ $\Delta \tan \delta < 0.1\%^{***}$	<300 ПкК ** $\tan \delta < 0.3\%$ $\Delta \tan \delta < 0.2\%^{***}$	>500 ПкК ** $\tan \delta > 0.3\%$ $\Delta \tan \delta > 0.2\%^{***}$
	Локализована в кабельной изоляции и муфтах	Свободно от ЧР * $\tan \delta < 0.3\% / \Delta \tan \delta < 0.2\%^{***}$		

(\*) Свободно от ЧР (PDIV > 1.3 U<sub>0</sub>) при уровне шума 25..50 ПкК (стандартно для локализации ЧР)

(\*\*) только как признак; зависит от PDIV , изоляции кабеля и индивидуальных условий

(\*\*\*) колеблется между 0.5U<sub>0</sub> и 2U<sub>0</sub> [IEC 60141]

**Диагностика кабельных без их отключения  
методом измерения частичных разрядов.**

**Диагностика электротехнического оборудования**



## Эквивалентная схема частичного разряда – элементарные модели, ЧР и «дефект»

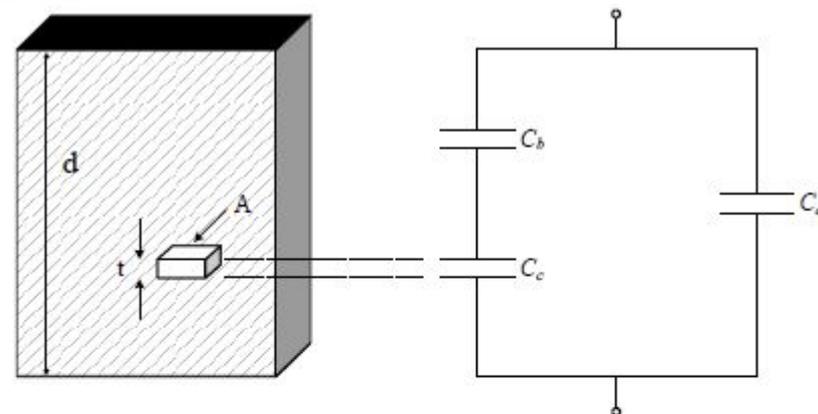
Локализованный электрический разряд, лишь частично замыкающий изоляцию между проводниками и возникающий или не возникающий рядом с проводником

$C_A$  = Внутренняя структура изоляции

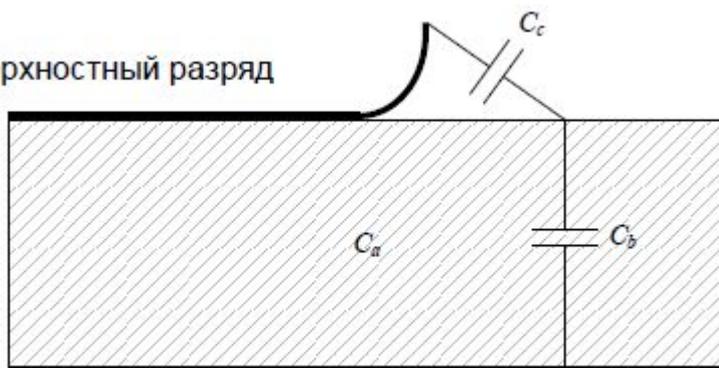
$C_B$  = Емкость между зоной разряда и электродами

$C_C$  = Разряд через полость/поверхность

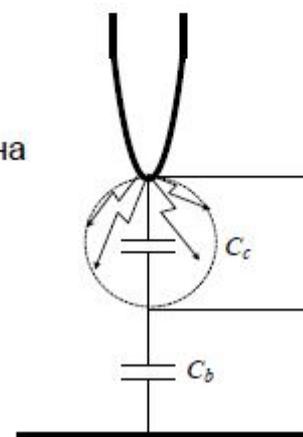
Пустота/полость



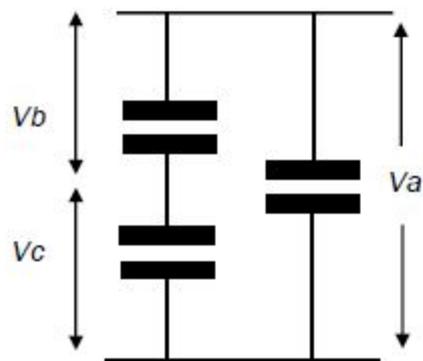
Поверхностный разряд



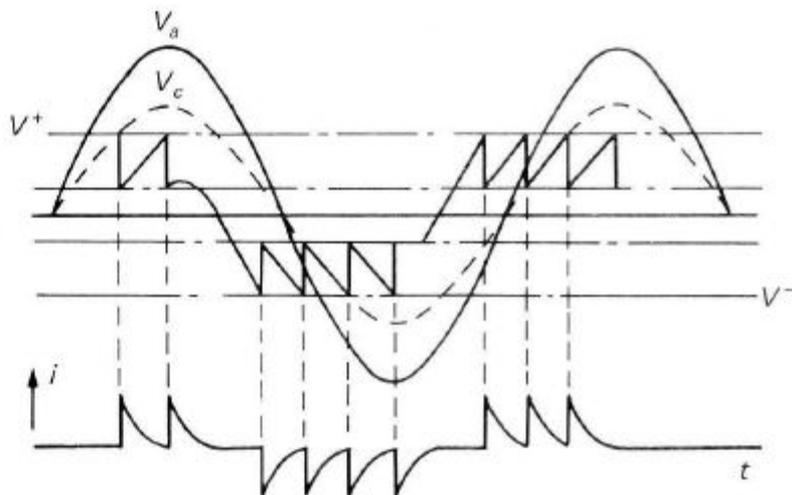
Корона



# Напряжение пробоя полости поверхность, Cc



Теоретически



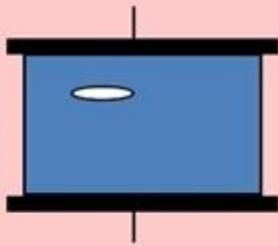
Реальные импульсы тока (возникающие стохастически)



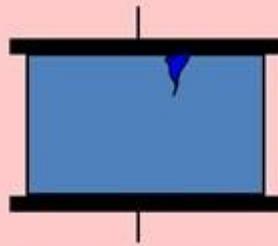
$V^+$ ,  $V^-$  = Исходные напряжения частичного разряда,

## 7 различных типов частичного разряда

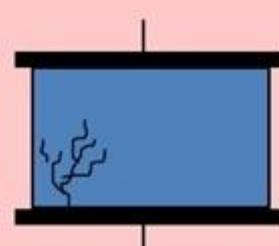
Внутренний  
частичный  
разряд



Пустоты в  
изоляции

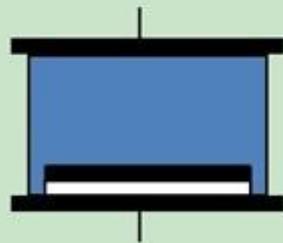


Заостренная, неровная  
поверхность  
проводника

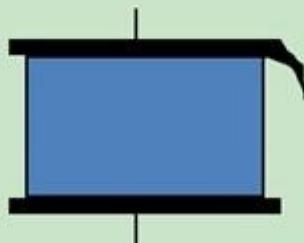


Древовидная  
структура в  
изоляции

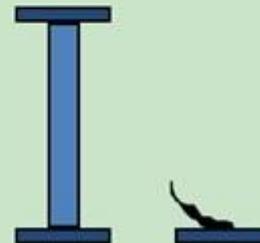
Внешний  
частичный разряд



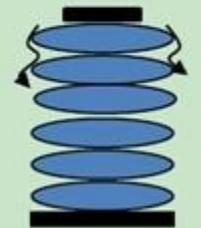
«Плавающая»  
металлическая  
конструкция вблизи  
проводников



Коронный разряд с  
заостренных объектов при  
высоком напряжении



Разряды, вызванные  
наведенными напряжениями  
на заостренные точки  
заземления



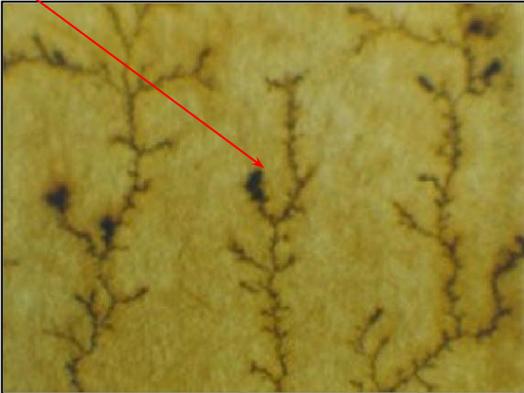
Поверхностные  
разряды

## 7 различных типов частичного разряда

Примеры внутренних разрядов:

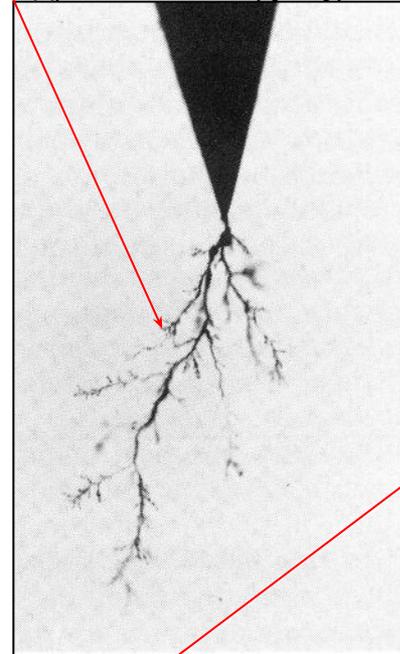
- Пустоты и полости в твердотельной и жидкой изоляции
- Древоподобные структуры возникающие в пустотах

*Древоподобная структура в БМ кабеле*



*Пустоты в муфтах*

*Древоподобная структура в СП*

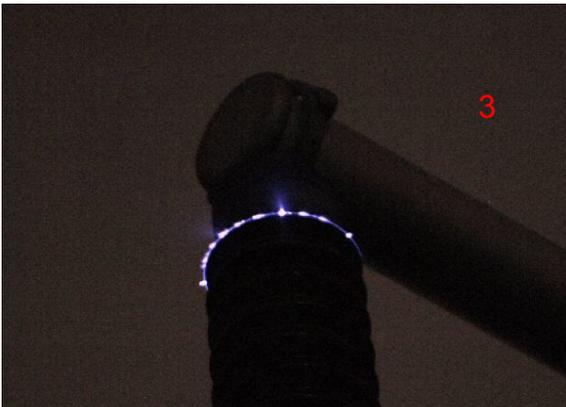
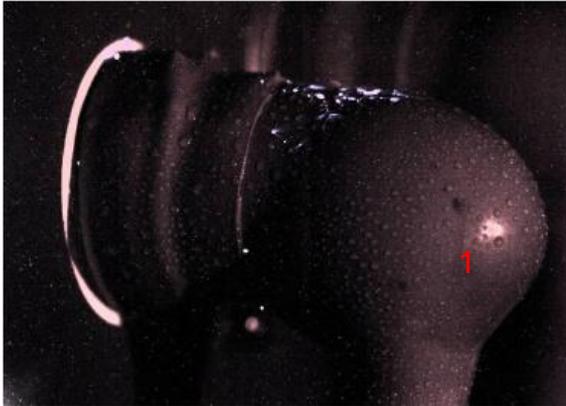


*Развитие древоподобная структура в  
Изоляции разъема 33 кВ*

## 7 различных типов частичного разряда

Примеры внешних разрядов:

1. Поверхностный разряд в следствие загрязненности изоляции
2. Коронные разряды от заостренных точек высоковольтных проводников
3. Разряды на кромках фарфоровых корпусов изоляторов
4. Разряды на стыке шин



# Мировые стандарты измерения ЧР

Один из методов контроля состояния изоляции это измерение частичных разрядов или более правильно – кажущихся частичных разрядов

IEC 60270:2001

Методики высоковольтного испытания - Измерения частичного разряда

IEEE 1434-2000

Руководство для пробного использования IEEE по измерению частичных разрядов в электрических машинах

IEEE 400-2001 Часть 3

Руководство IEEE по испытанию частичным разрядом систем экранированных силовых кабелей в полевых условиях ..

## Датчики для измерения и обнаружения ЧР

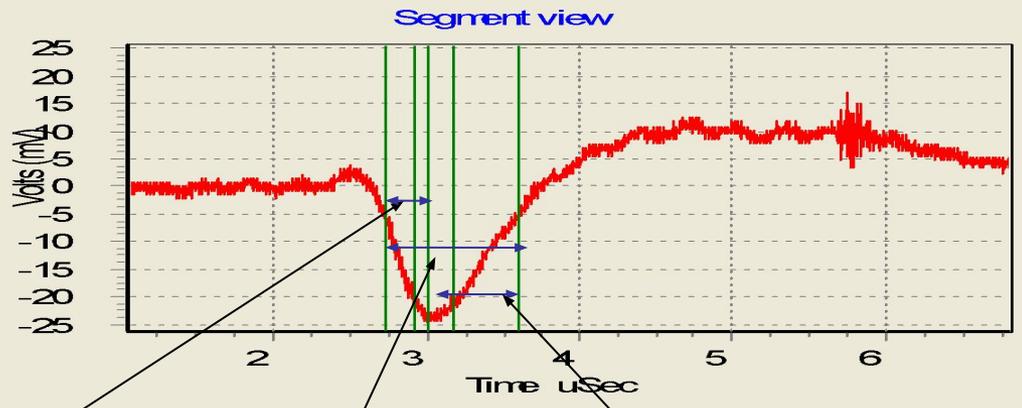
Объект.	Кабель	Муфта	Ячейки	Двигатели и генераторы	Трансформаторы ср. напряжения	Трансформаторы выс. напряжения
Датчик	HFCT	HFCT	TEV	HV емкость	Контактные акуст. антенны	Контактные акуст. антенны
		TEV	Воздуш. акуст. антенны	HFCT	HFCT	HFCT
		Воздуш. акуст. антенны	HFCT	Катушки Роговского	TEV	TEV
		Контактные акуст. антенны		VHF Пробник		

## Датчики HFCT

- Обнаружение частичного разряда **в кабелях** и в подключенной установке: электрической машине, коммутационном оборудовании, трансформаторе
- Крепится к силовым кабелям на клеммах и отводах заземления высоковольтного оборудования

Ширинный диапазон частоты (100 Гц – 30 МГц)

Съём



Время роста

Ширина импульса

Время спада



$$Q_{\text{заряда\_в\_Пк}} = \frac{1}{Z_{\text{перех.сопр}}} \int_{\text{нач.имп}}^{\text{кон.имп}} V_{\text{вых}} dt$$

## Датчики HFCT. Установка

1



2



3



Датчик-высокочастотный трансформатор тока необходимо крепить на пересечении *любого* из проводников тока частичного разряда ( $i+$ ) либо на заземляющем проводе цепи частичного разряда ( $i-$ )



Подключить датчик нельзя

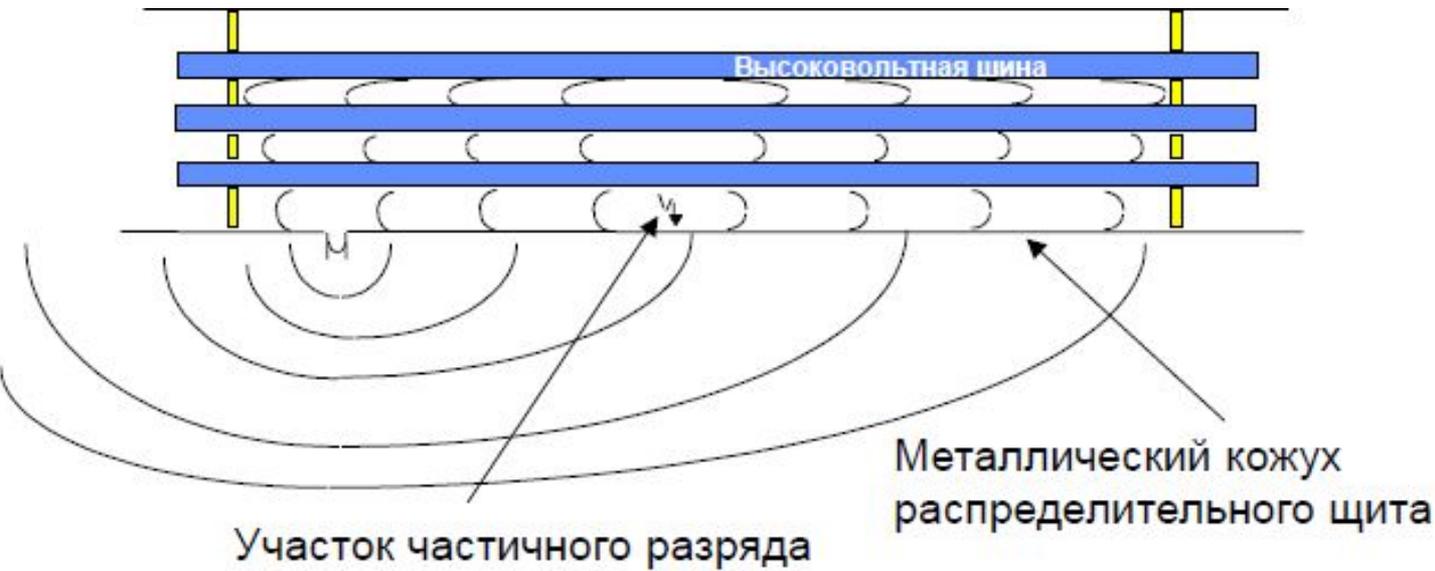
HFCT на заземляющем проводе ( $i-$ )

HFCT на кабеле с заземляющим проводом, пропущенным через ( $i+$ )

Высокочастотный трансформатор тока должен охватывать кабель ( $i- + i+ = 0$ )



## Датчики TEV



- Обнаружение частичного разряда на оборудовании (ячейки, концевые муфты)
- Электромагнитные сигналы распространяются с участка частичного разряда
- Эти сигналы складываются на металлическом кожухе коммутационного оборудования
- Сигналы локализируются на внешней поверхности отверстий металлического кожуха: вентиляции, швов, прокладок

$$Q_{\text{заряда}} \text{ в Дб} = 20 \log \frac{\text{Пиковое значение ЧР в мВ}}{1 \text{ мВ}}$$

## Установка датчиков. Место установки

HFCT на общий экран и землю



+ TEV в ячейке



Установка TEV  
в концевой муфте



HFCT на жилу

## Установка датчиков.

1. Датчики устанавливаются заранее при регламентных работах, ремонтных или пуско-наладочных работах. В данном случае датчики размещаются в ячейке а вывод сигнальных кабелей на ее поверхность



## Установка датчиков. Время установки

3. Под рабочим напряжением с использованием средств защиты или на вывод экрана в случае наличия безопасного доступа

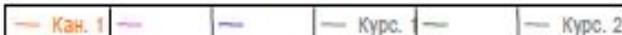
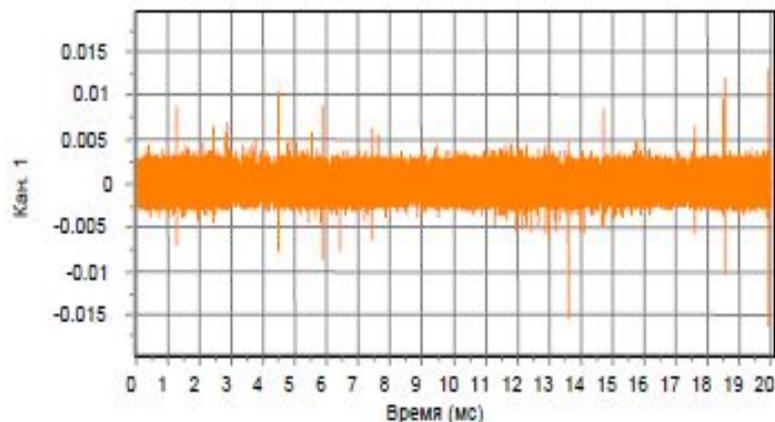


## Мониторинг ЧР в режиме On-Line

Необработанные  
данные одного  
периода напряжения  
от высокочастотного  
трансформатора тока

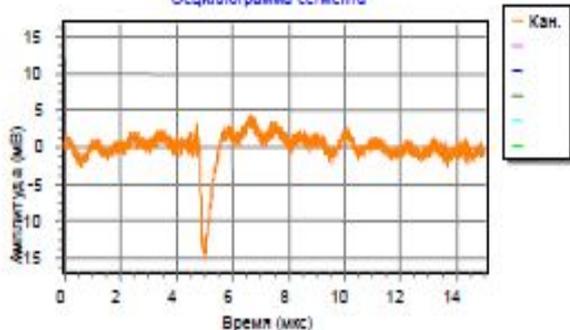
20 мкс

Имеющаяся осциллограмма



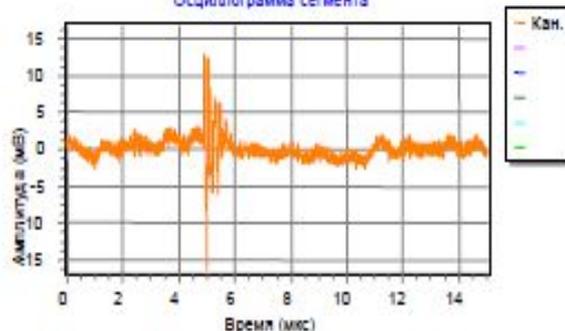
15 мкс

Осциллограмма сегмента



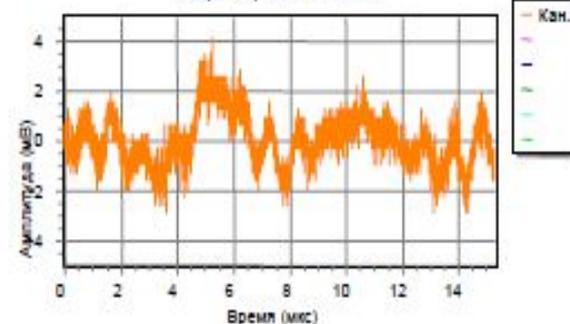
Импульс частичного разряда из  
кабеля: 16 мВ, 1160 пКл

Осциллограмма сегмента



Импульс локального частичного  
разряда: 15 мВ, 24 дБ

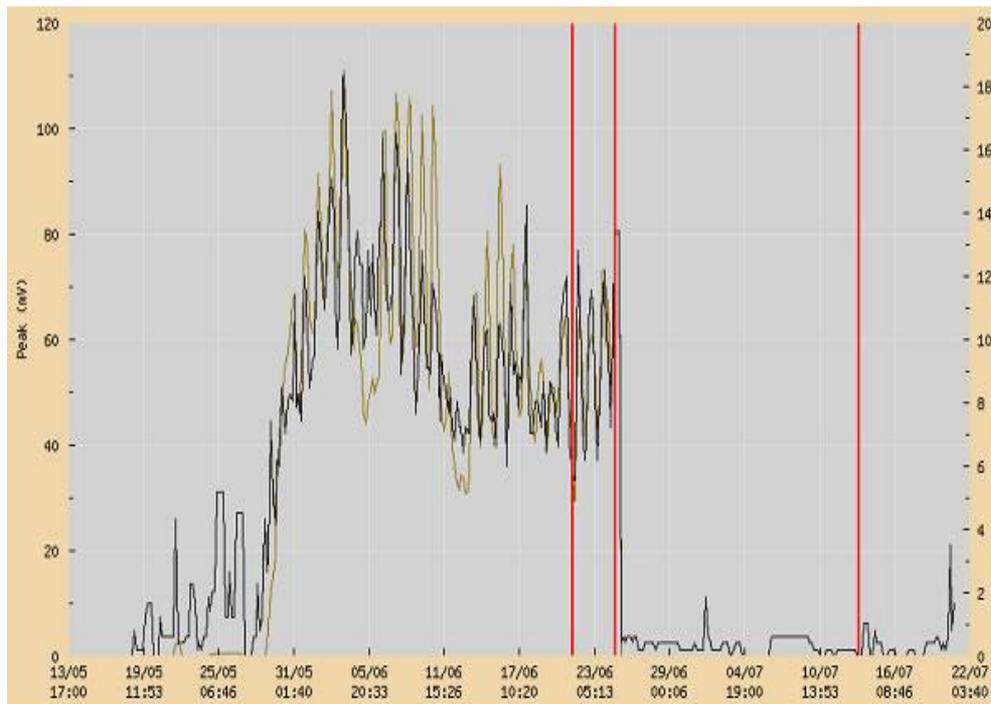
Осциллограмма сегмента



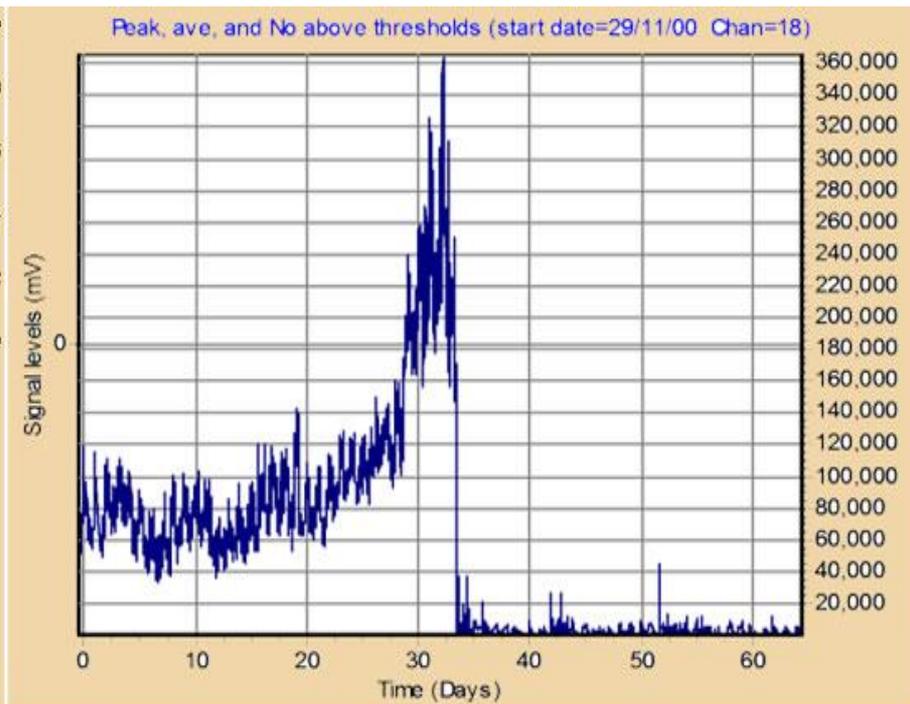
Шумовой импульс: 6 мВ

## Мониторинг ЧР в режиме On-Line

Мониторинг ЧР в режиме On-Line в течении длительного времени



Активность ЧР до и после замены деформированного участка кабеля



Активность ЧР до пробы

## Приборы предварительной диагностики

### PDS Air



- 3 датчика: Высокочастотный трансформатор тока, TEV и воздушный акустический датчик
- Обнаружение частичного разряда в кабелях среднего напряжения и металлических кожухах коммутационного оборудования
- Удобство считывания, 7 уровней, цветная индикаторная панель уровня частичного разряда (зеленый-желтый-оранжевый-красный)
- Используется для оперативного отбора начального уровня частичного разряда среди большого количества позиций установки среднего напряжения
- Достоверное отображение панелей коммутационного оборудования и кабельных цепей, диагностическое испытание
  - Напряжение до 45 кВ
  - Диагностика кабелей до 2,5 км
  - Акустическая антенна для определения места возникновения ЧР ( до 25 метров)

## Приборы предварительной диагностики

### PDS Air

#### On-Line Partial Discharge Surveying System

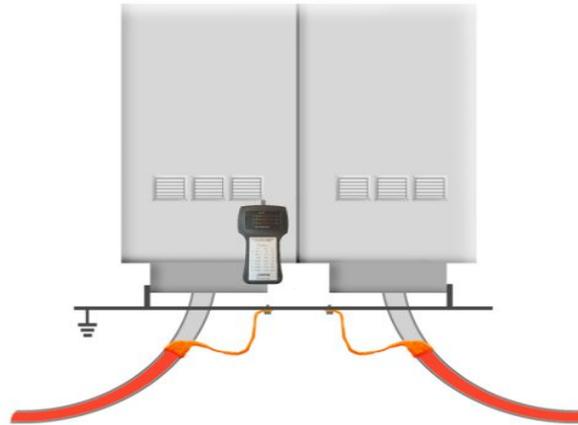
##### PD Level Guide:

	CT	TEV	AA
●	300pC	15dB	12dB
●	600pC	23dB	18dB
●	1100pC	28dB	20dB
●	3300pC	36dB	22dB
●	7500pC	42dB	25dB
●	20000pC	44dB	28dB
●	50000pC	48dB	33dB

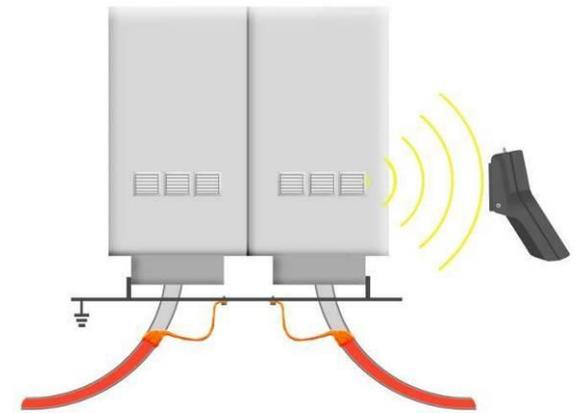


www.hvpd.co.uk

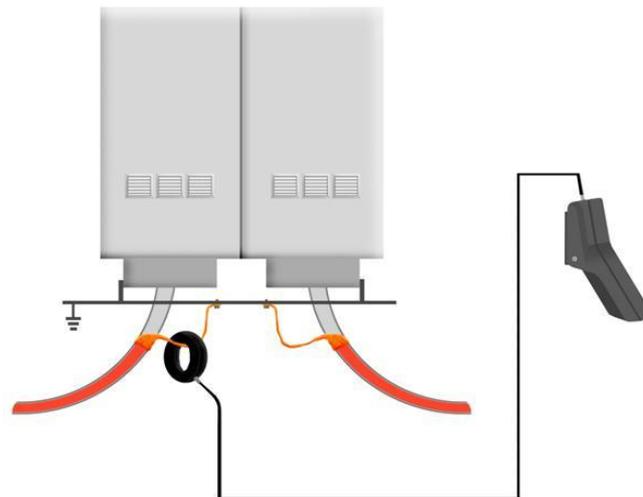
Измерение TEV датчиком



Измерение акустическим датчиком

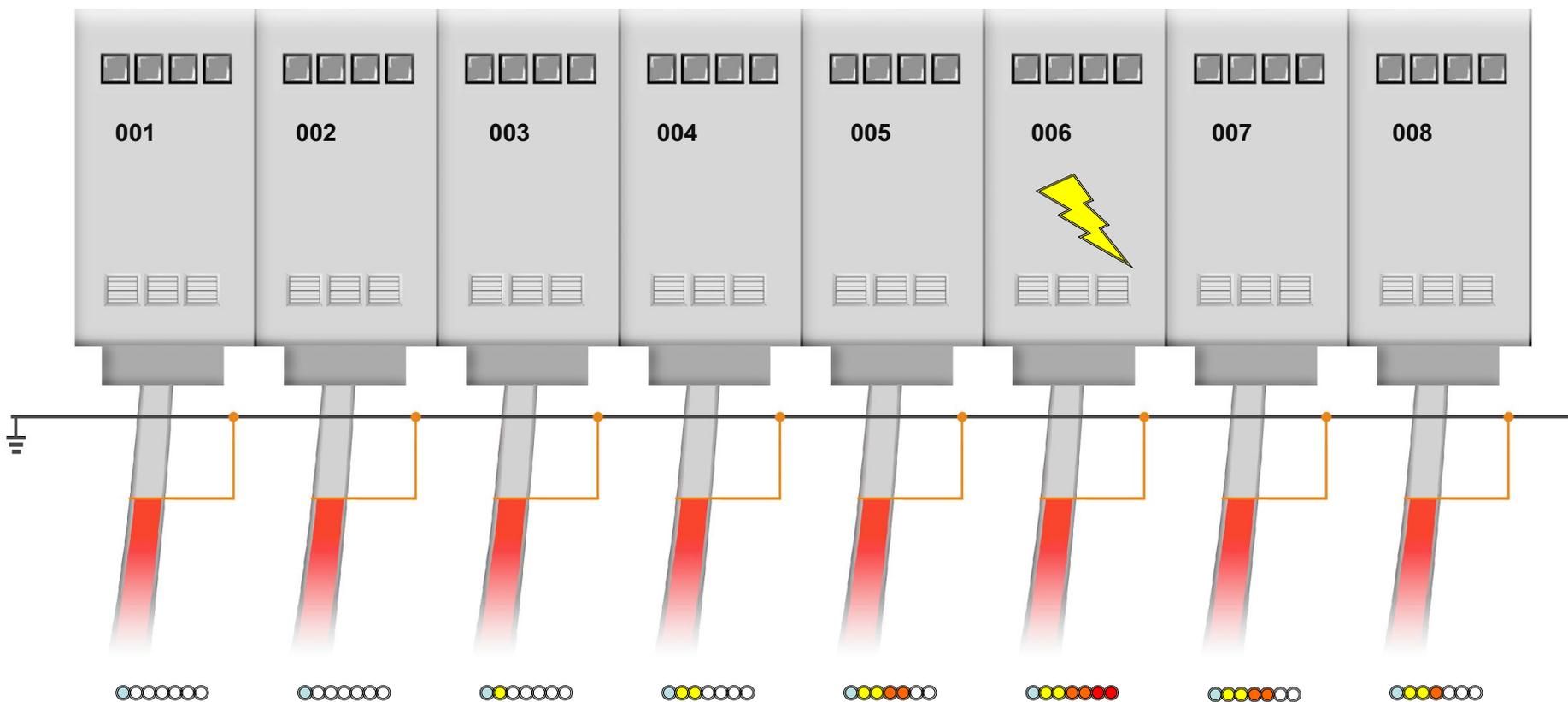


Измерение датчиком HFCT



# Приборы предварительной диагностики

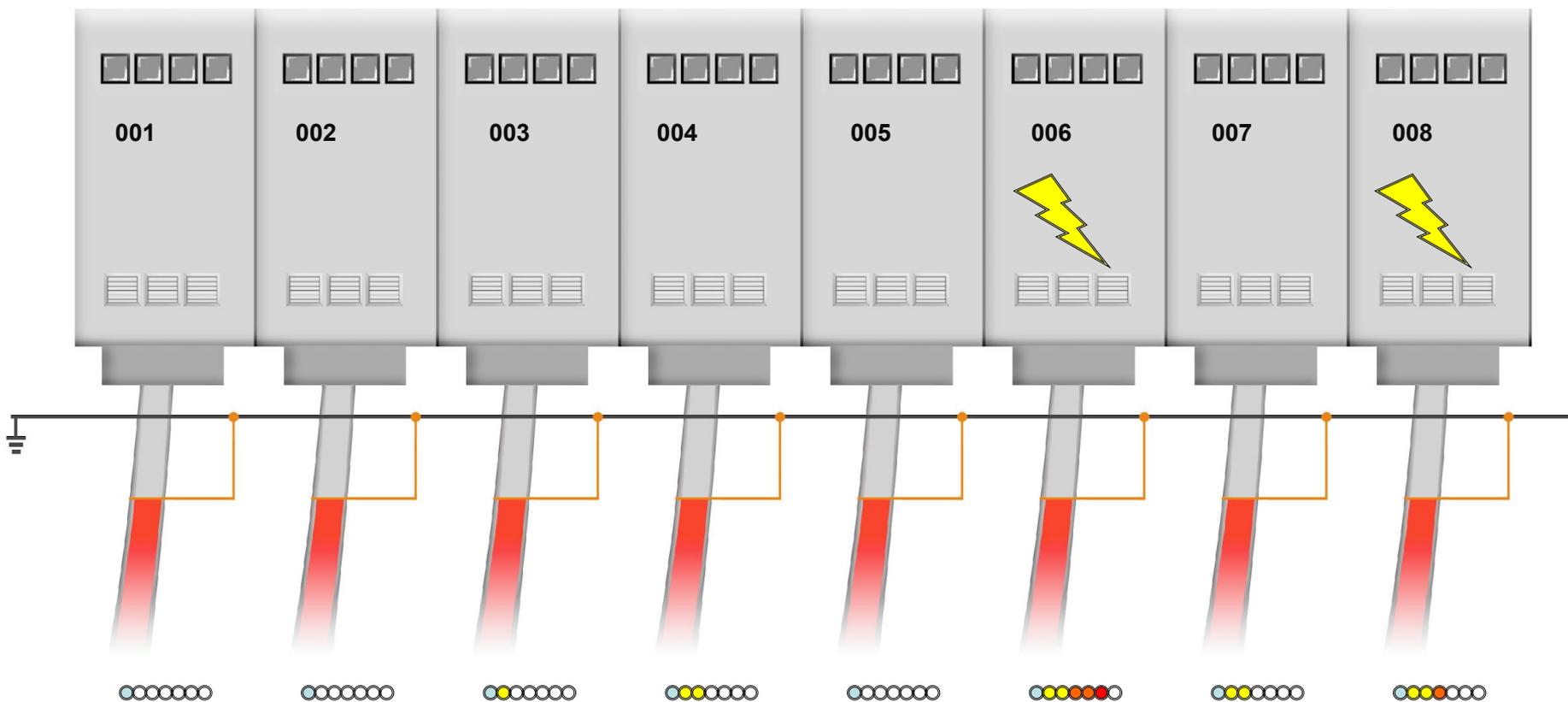
PDS Air



**Активность локальных ЧР >48dB (Ячейка 006)**

## Приборы предварительной диагностики

PDS Air



**Высокая активность ЧР в панелях 6 и 8**

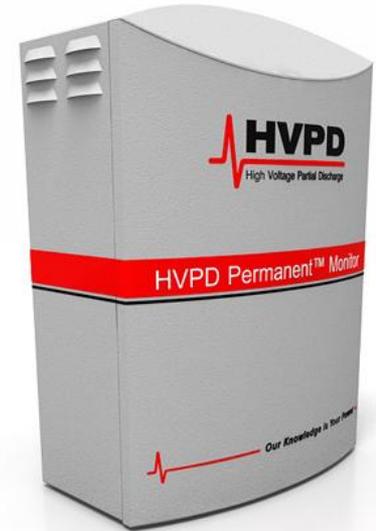
## Приборы мониторинга



**Mini Monitor**



**Multi Monitor ( LPD)**



**Multi Monitor Permanent**

Работа с датчиками HFCT и TEV

2 Канала TEV и 2 HFCT

16 Каналов TEV\HFCT

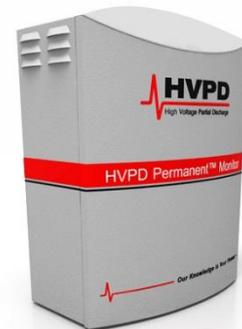
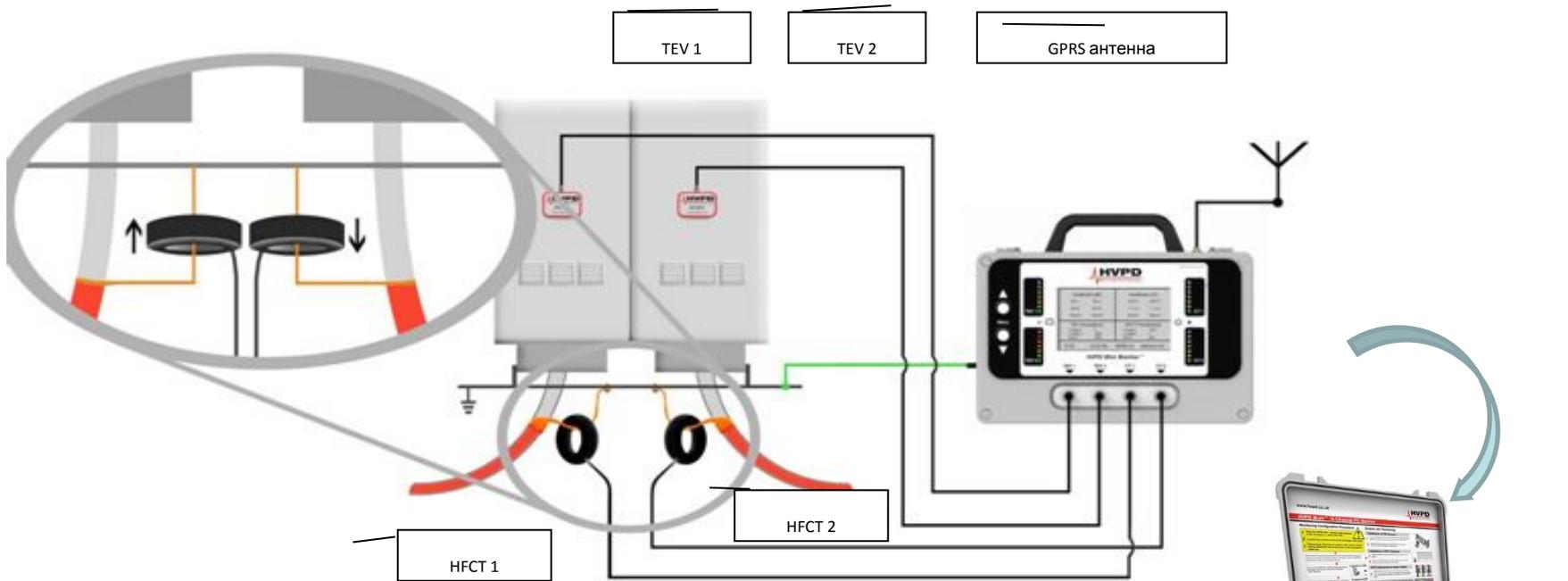
16 -96 Каналов TEV\HFCT

Работа с кабелем среднего напряжения

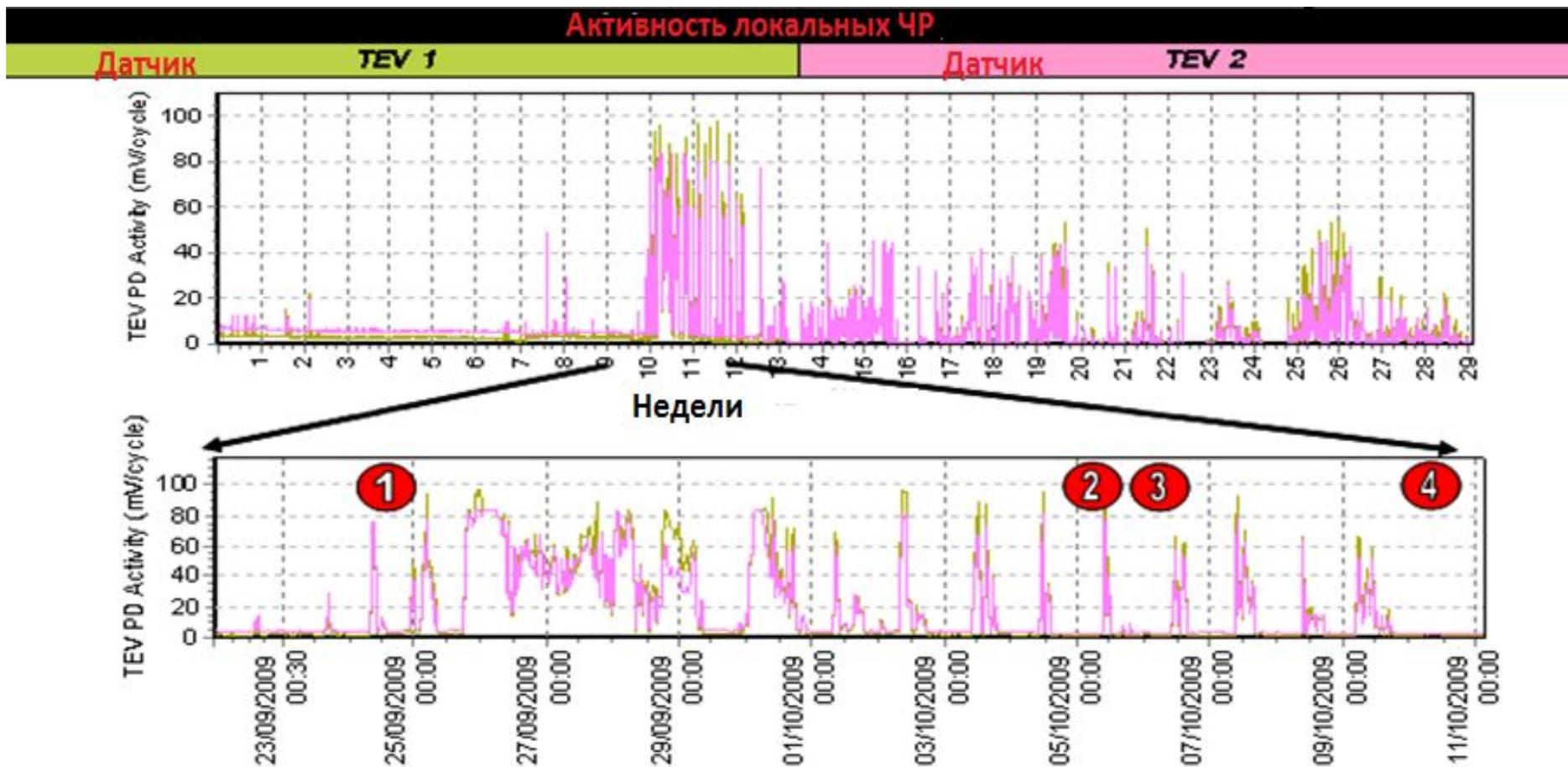
Удаленная работа по радио или LAN каналу

Организация системы мониторинга

# Приборы мониторинга



# Приборы мониторинга



# Приборы мониторинга

## Система мониторинга кабельной сети среднего напряжения



Networks	Substations	Circuits	Tests	Logout	Admin	Quick Search
----------	-------------	----------	-------	--------	-------	--------------

Criticality Key:		Criticality (0-100)
Condition / Action Guidelines		
High PD / Diagnostic		76-100
Mod to High PD / Investigate		51-75
Moderate PD / Monitor		26-50
Plant OK / No Action		0-25

Wide Area Network Criticality League Table				
Network	Local Network	Cable	Local	Criticality(0-100)
North	Carfield	85	95	
North	Farrow	70	83	
East	Rowton	68	70	
East	Fenton	47	67	
East	Hailton	42	48	
South	Buxton	27	24	
South	Horwich	25	35	
South	Styal	35	13	
South	Irvington	13	7	
West	Topton Docks	5	2	

Local Area Network Criticality League Table				
Network	Sub-Station	ID	Panel / Feeder	Criticality(0-100)
Carfield	Builds Rd	07206	Builds Rd	85 95
Carfield	Builds Rd	07206	Charlwood Rd	74 80
Carfield	Builds Rd	04012	Cello Rd	56 69
Carfield	Newfield East	04012	Newfield East	51 21
Carfield	Newfield East	07370	South St	51 20
Carfield	Mulberry	07367	Mulberry	49 30
Carfield	Mulberry	07367	Ale Rd	45 24
Carfield	Vulcan Rd	07135	Vulcan Rd	40 30
Carfield	Vulcan Rd	07135	Northern Est	35 15
Carfield	Vulcan Rd	04012	Hilldale	29 23

Sub Station Information

Panel & Feeder Information

Single Line Network Diagrams

Test Configuration

Test Report

Symbol	Description
<span style="color: red;">m</span> <span style="color: orange;">m</span> <span style="color: yellow;">m</span> <span style="color: green;">m</span>	Monitor Position & PD Criticality
<span style="color: red;">▶</span> <span style="color: orange;">▶</span> <span style="color: yellow;">▶</span> <span style="color: green;">▶</span>	Precedence (directional)

Monitoring Period: 2/07/09 12:00pm - 3/07/09 12:00pm

Last 24hrs
  Last week
  Last month

## Приборы мониторинга и локализации

### Longshot

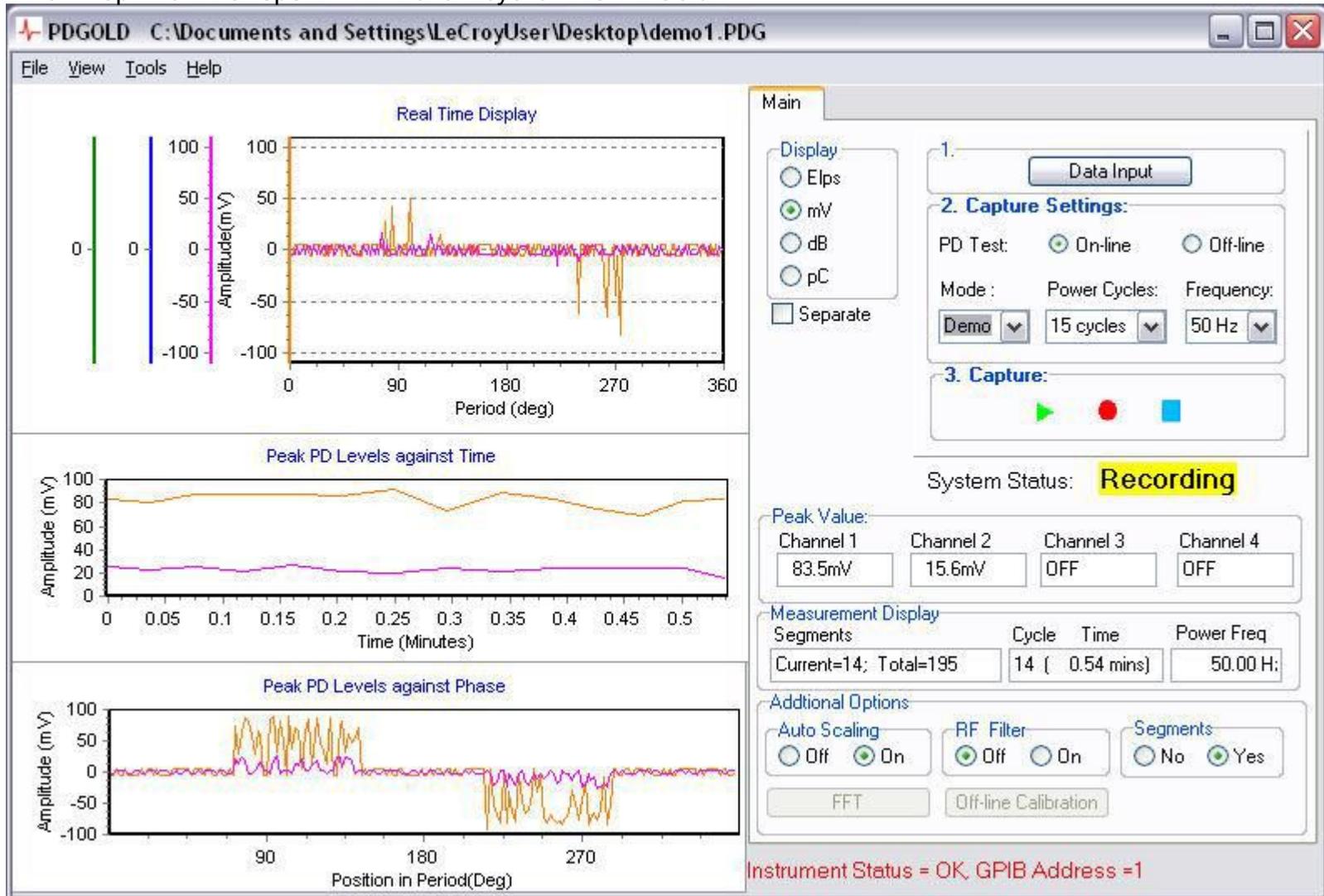
- Диагностика кабелей и установок в процессе эксплуатации (кабели, ячейки, трансформаторы, двигатели и генераторы 750кВ)
- Мониторинг (до 48 часов)
- Четырехканальное синхронное широкополосное (0-400 МГц) фиксирование данных
- Встроенное программное обеспечение получения, анализа данных частичного разряда и составления отчетов
- Множество вариантов подключаемых датчиков
- Установление участка частичного разряда в кабеле
- (с помощью дополнительного программного обеспечения PDMap и транспондера)



## Приборы мониторинга и локализации

### Longshot

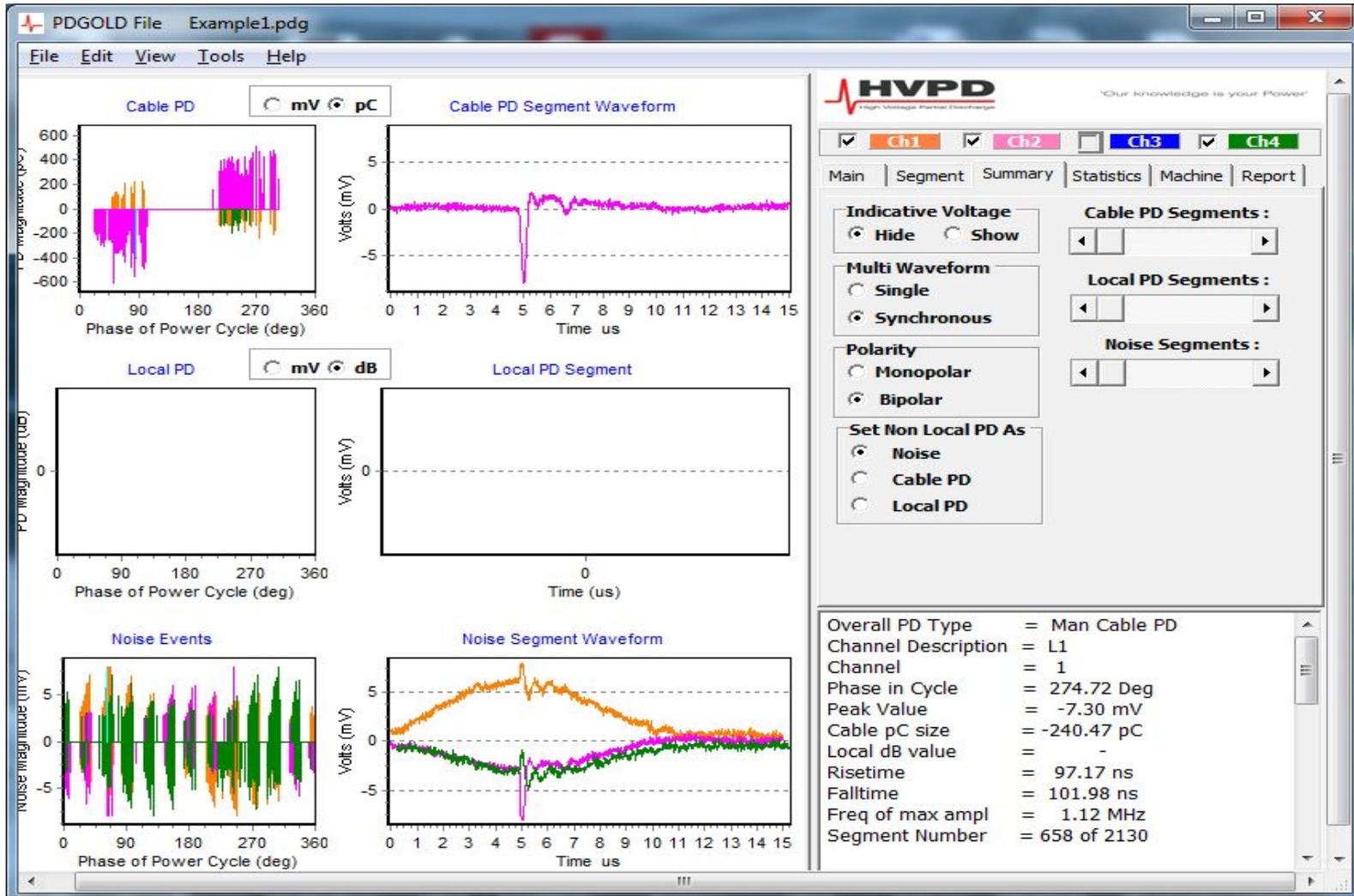
Для мониторинга и измерения ЧР используется ПО PDGold.



## Приборы мониторинга и локализации

### Longshot

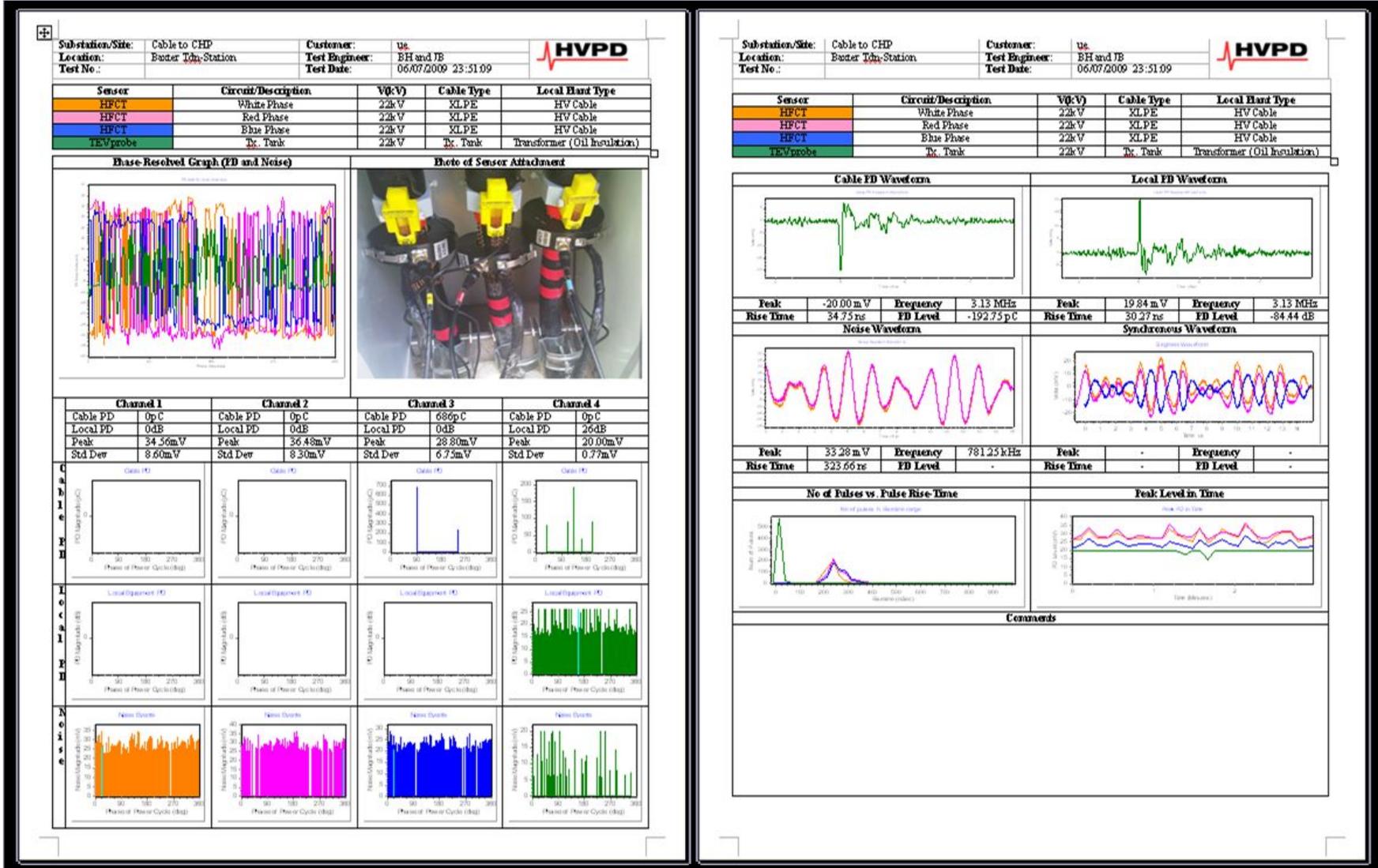
Для анализа ЧР используется ПО PDReader.



# Приборы мониторинга и локализации

## Longshot

### Создание отчета по диагностике



**Cable FD Waveform**

Peak: -20.00 mV	Frequency: 3.13 MHz
Rise Time: 34.75 ns	FD Level: -192.75 pC

**Noise Waveform**

Peak: 33.28 mV	Frequency: 781.25 kHz
Rise Time: 323.66 ns	FD Level: -

**No. of Pulses vs. Pulse Rise Time**

**Peak Level in Time**

**Comments**

**Local FD Waveform**

Peak: 19.84 mV	Frequency: 3.13 MHz
Rise Time: 30.27 ns	FD Level: -84.44 dB

**Synchronous Waveform**

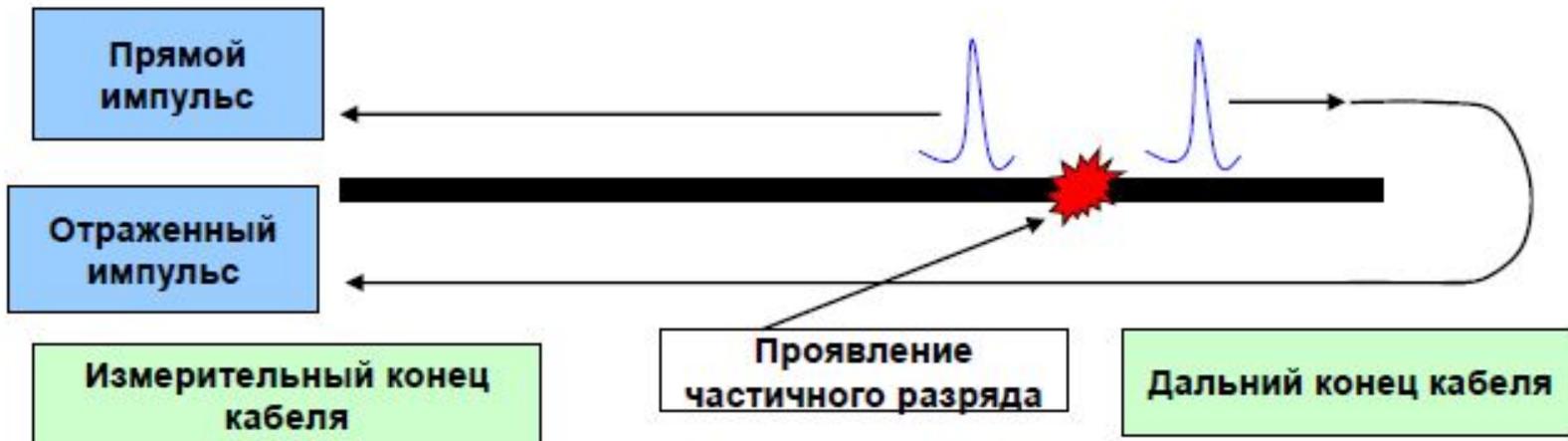
Peak: -	Frequency: -
Rise Time: -	FD Level: -

## Приборы мониторинга и локализации

### Longshot

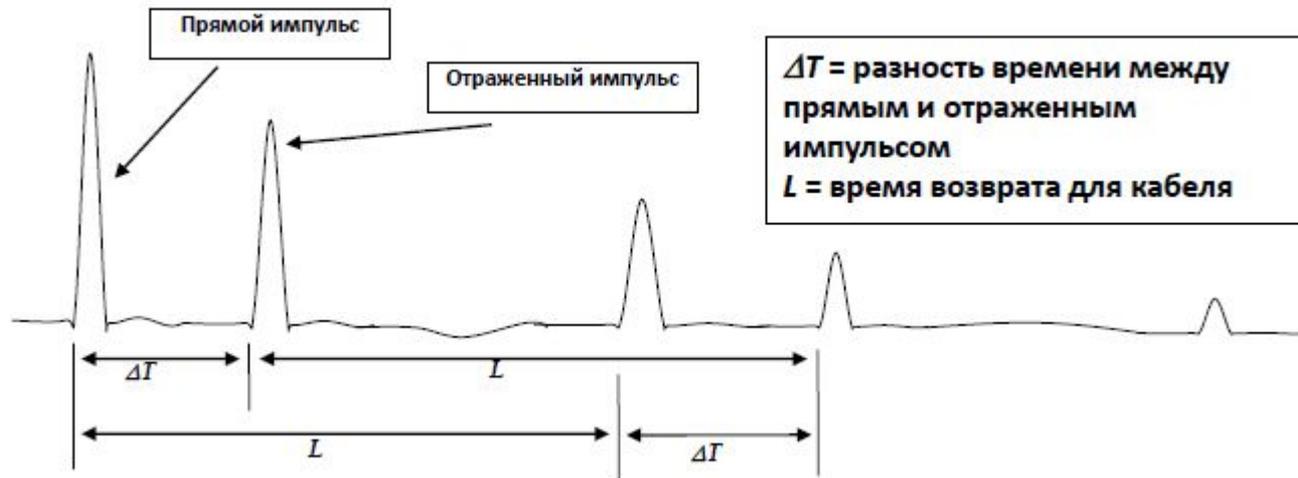
#### Теоретические основы местоположения частичного разряда

- Импульсы частичного разряда отражаются от концов кабеля, изменяясь в зависимости от типа кабеля
- В некоторых случаях по отражениям можно установить местоположение источника частичного разряда
- При отсутствии отражения местоположение источника частичного разряда можно установить по сигналам синхронизации, наблюдаемым на двух концах кабеля (методика транспондера)



## Приборы мониторинга и локализации

### Формула вычисления местоположения источника частичного разряда



Скорость возврата импульса частичного разряда,  $VPD$  = длина кабеля/время возврата (типовой диапазон скорости возврата 70-90 м/мкс (230-300 фт/мкс))

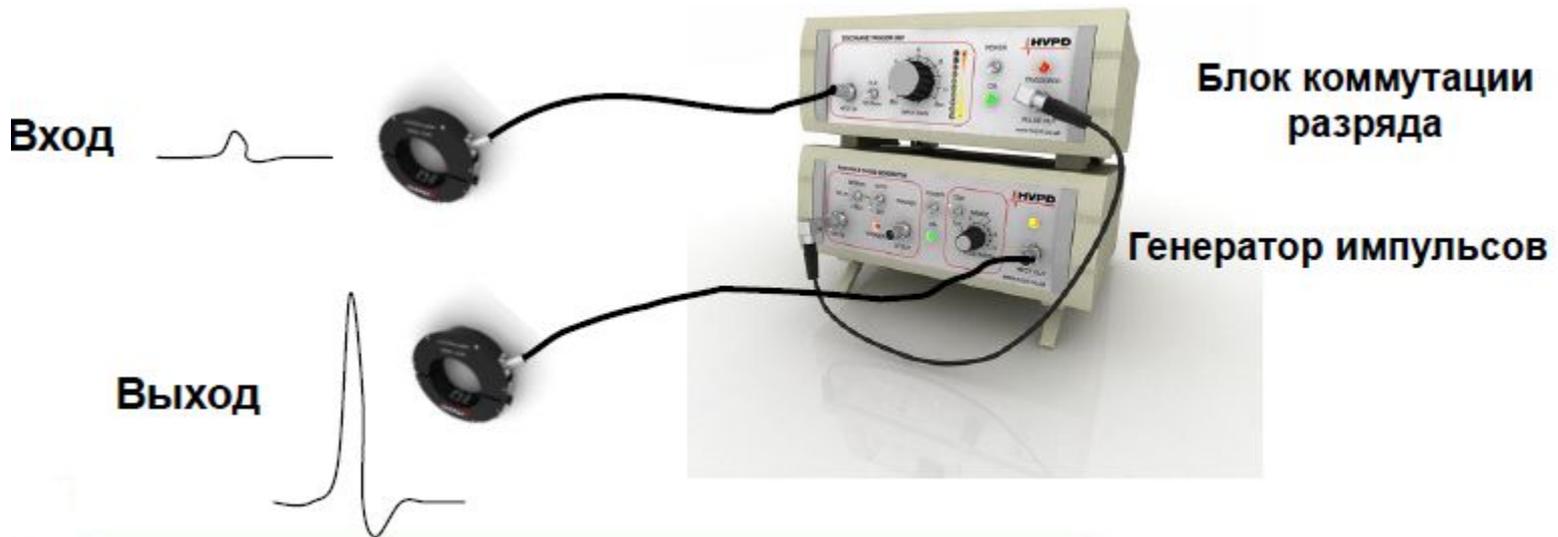
Местоположение источника частичного разряда,

$$PD_{\%} = \left( 1 - \left( \frac{\Delta T}{L} \right) \right) 100$$

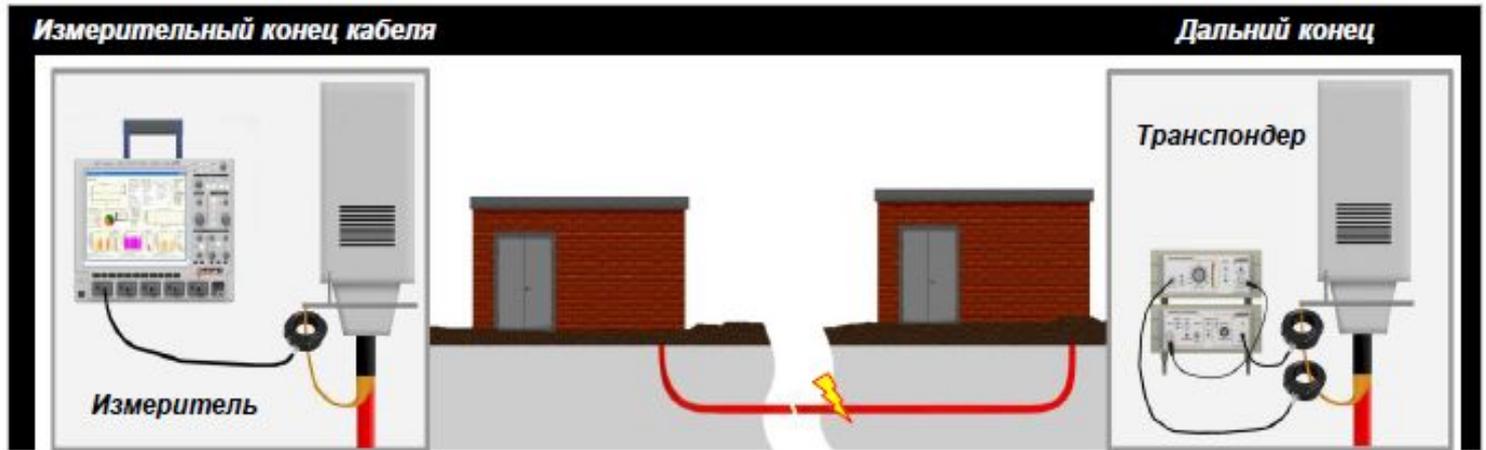
## Приборы мониторинга и локализации

### Транспондер для определения местоположения

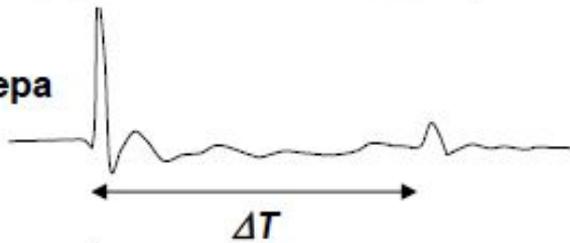
- Транспондер, смонтированный на дальнем конце кабеля
- Обнаруживает импульс частичного разряда и переизлучает импульс увеличенной амплитуды назад в кабель через высокочастотный трансформатор тока
- Компенсирует слабые или отраженные импульсы



Транспондер для определения местоположения

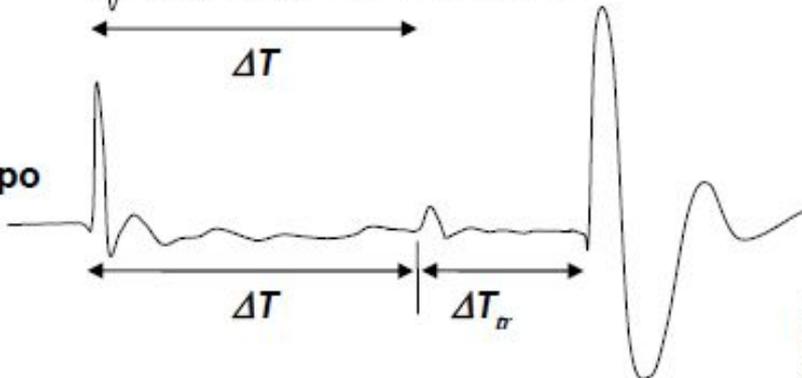


Без  
транспондера



**Отражение может быть  
нечетким ... особенно в  
присутствии шума.**

С  
транспондеро  
м



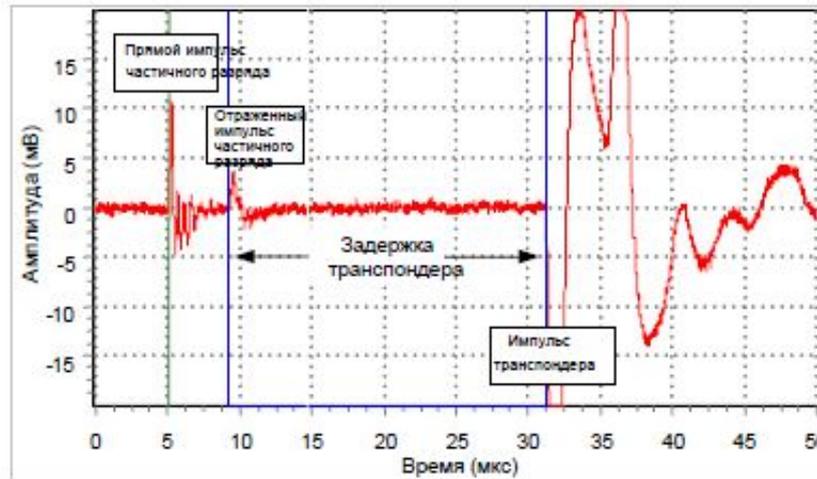
**Мощный импульс от  
транспондера снимает  
любое сомнение**

$\Delta T$  = промежуток времени между прямым и  
отраженным импульсом частичного разряда  
 $\Delta T_{tr}$  = Задержка на транспондере

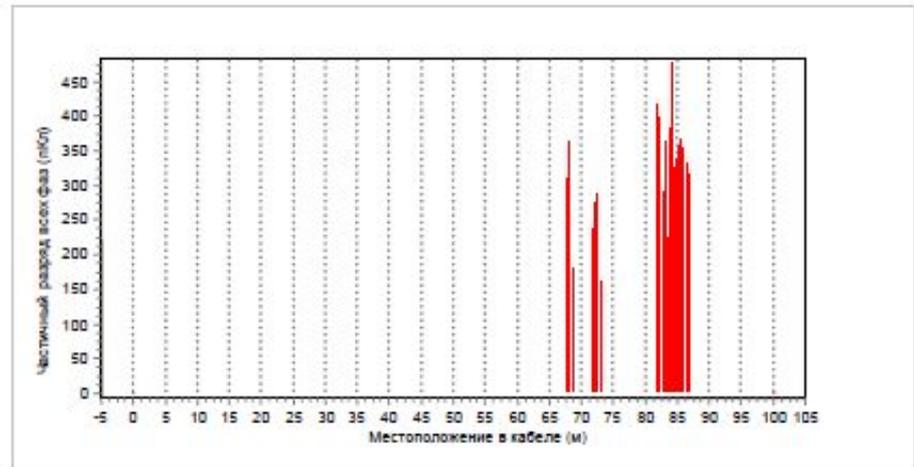
## Приборы мониторинга и локализации

### Транспондер для определения местоположения

**Рефлектограмма  
импульсов  
частичного  
разряда и  
транспондера**



**План  
расположения  
всех импульсов  
частичного  
разряда  
испытываемом  
участке кабеля**



## Критерии величины ЧР от НВПД

*Критерии критичности ЧР для оборудования (переключатели с твердой изоляцией / воздушной ) до 33 кВ при диагностике под рабочим напряжением. Данные критерии выражены в Дб, для сравнения с показаниями датчиков TEV*

Твердая изоляция	Заключение	Воздушная изоляция
Менее 0 Дб	Нет проблем в изоляции	Менее 0 Дб
От 0 до 15 Дб	Крайне низкие значения, повторная диагностика через 12 месяцев	От 0 до 10 Дб
От 15 до 25 Дб	Удовлетворительный уровень активности ЧР, рекомендуется мониторинг или периодическая диагностика	От 10 до 15 Дб
От 25 до 35 Дб	Высокий уровень активности ЧР, рекомендуется детальная диагностика, в том числе мониторинг	От 15 до 30 Дб
Выше 35 Дб	Критичный уровень ЧР. Источник следует локализовать и устранить, возможно, для этого потребуются отключение подстанции и ремонт оборудования	Выше 30 Дб

## Критерии величины ЧР от НВПД

*Критерии критичности ЧР для кабельных линий с изоляцией СП и БМ до 45 кВ / только СП 66-400 кВ при диагностике под рабочим напряжением. Данные критерии выражены в пКк, для сравнения с показаниями датчиков HFCT*

СП до 45 кВ	БМ до 45 кВ	Заключение	СП 66-400 кВ
0 – 250 пКл	0 – 2500 пКл	Разряд в допустимых пределах	0-50 пКл
250 – 350 пКл	2500– 5000 пКл	Рекомендуется контроль	50-200 пКл
350– 500 пКл	5000– 7000 пКл	Рекомендуется регулярный контроль	200-400 пКл
> 500 пКл	> 7000 пКл	Найдите место частичного разряда, проведите ремонт или замену	> 400 пКл

## Критерии величины ЧР от НВПД

*Критерии критичности ЧР для аксессуаров (муфт, заделок) кабельных линий с изоляцией СП и БМ до 45 кВ / только СП 66-400 кВ при диагностике под рабочим напряжением. Данные критерии выражены в пКл, для сравнения с показаниями датчиков HFCT*

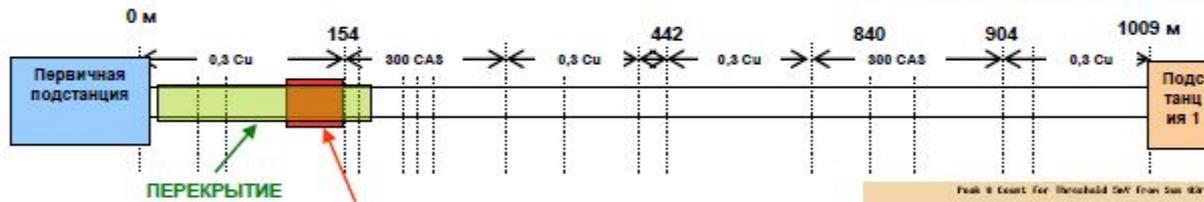
СП до 45 кВ	БМ до 45 кВ	Заключение	СП 66-400 кВ
0 – 500 пКл	0 – 4000 пКл	Разряд в допустимых пределах	0-250 пКл
500 – 1000 пКл	4000– 6000 пКл	Рекомендуется контроль	
1000– 2500 пКл	6000– 10000 пКл	Рекомендуется регулярный контроль	250-1000 пКл
> 2500 пКл	> 10000 пКл	Найдите место частичного разряда, проведите ремонт или замену	> 1000 пКл

## Примеры локализации

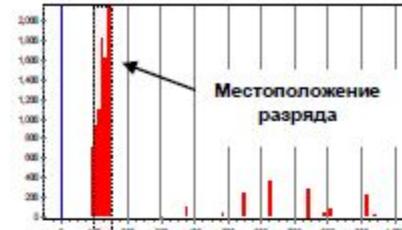
### Замена кабеля по результатам контроля частичного разряда



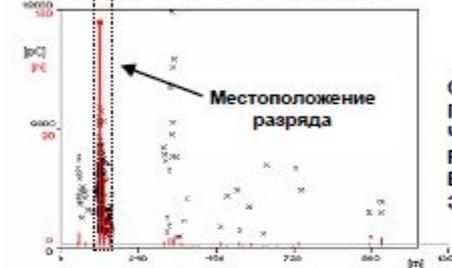
ЭТАП 1: Контроль на ходу



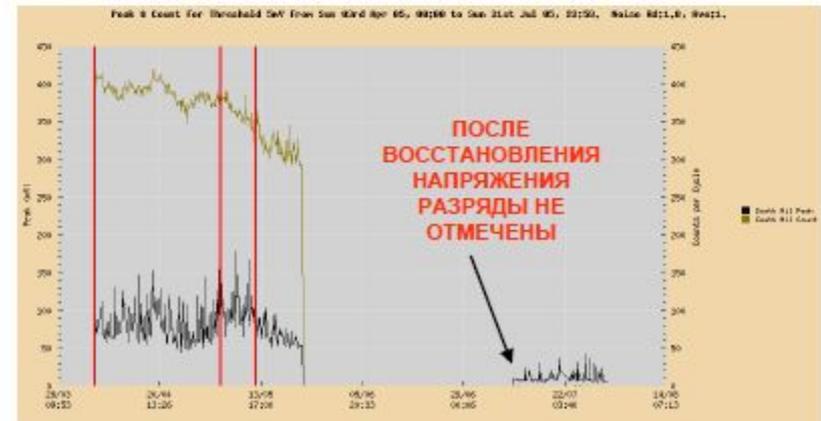
ЗОНА РАЗРЯДА



СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА ЧАСТИЧНОГО РАЗРЯДА НА ХОДУ

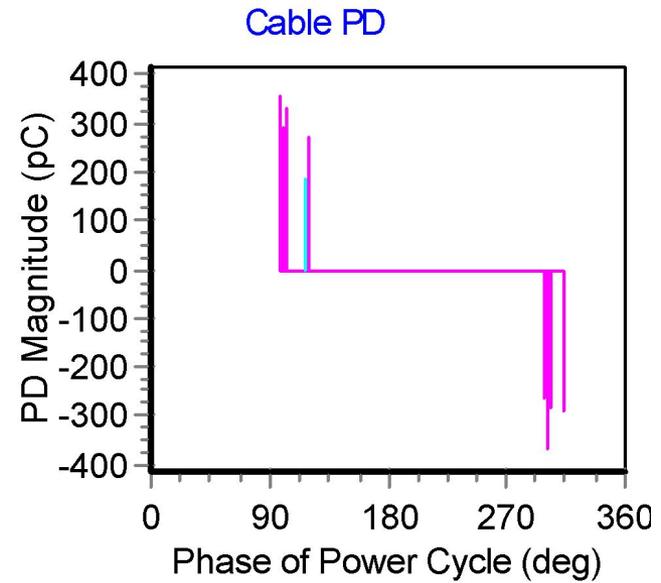


СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА ЧАСТИЧНОГО РАЗРЯДА С ВЫВОДОМ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ



## Примеры локализации

Трансформатор 110 кВ, фаза 2, кабель СП



Вскрытие ввода через 12 месяцев после диагностики

