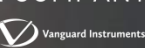




ALTANOVA

A DOBLE COMPANY



如何使用 PDCheck 和 T/F map 技术检测电缆局部放电（二）

李 建 祥/Alan Li

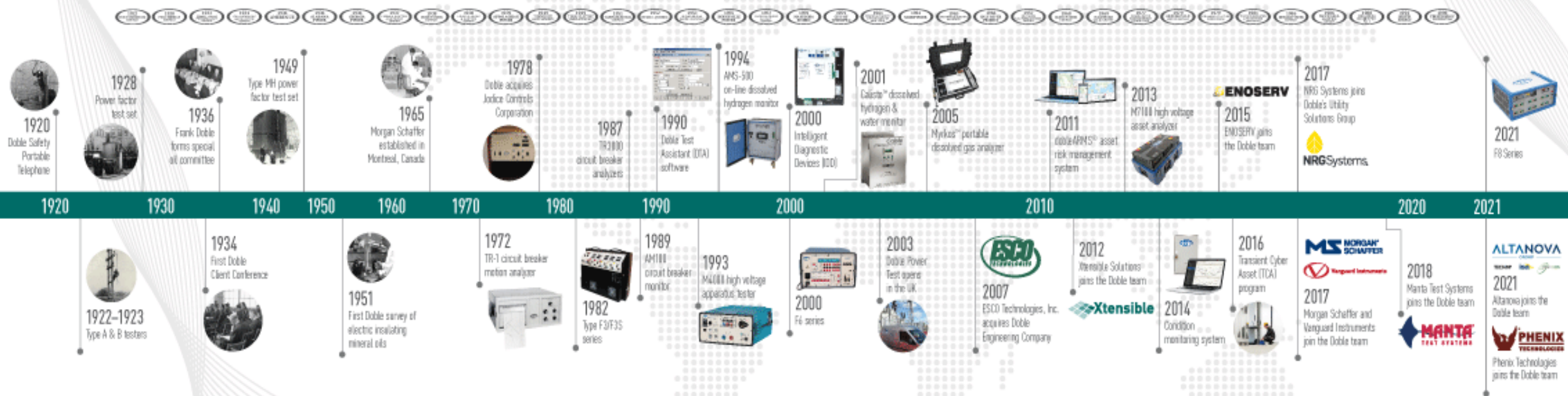
道波 (Doble)、特因普 (Techimp)、Morgan Schaffer 应用工程师/TAE

周 维 伟

天津市津海天源电力技术有限公司 副总经理

道波 (Doble) 发展历史

100 YEARS OF SERVICE TO THE ELECTRIC UTILITY INDUSTRY



ALTANOVA 公司介绍



ALTANOVA

a Doble company



100
COUNTRIES



150+
EMPLOYEES



5550+
CUSTOMERS GLOBALLY



Part of ESCO Technologies'
Utility Solutions Group

TECHIMP (特因普) 公司介绍



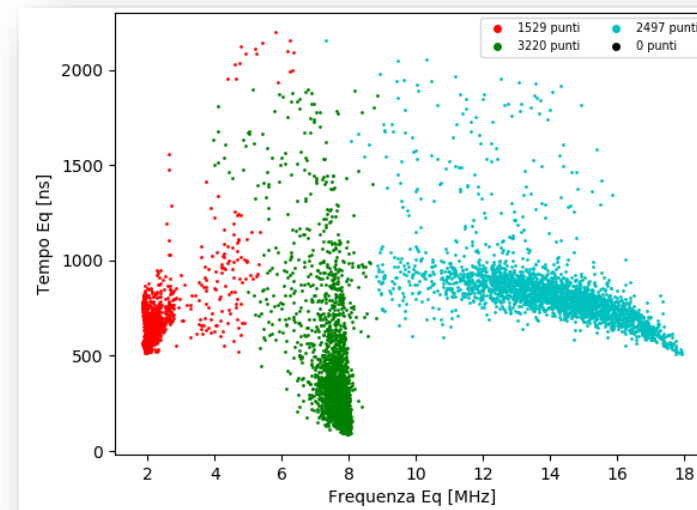
TECHIMP (特因普) 位于意大利博洛尼亚，是全球电气设备局部放电检测技术的领导者。国内认知度最高的特因普产品是 **PDCheck** 局放检测仪，同时特因普产品链还包括：多款局放带电检测仪、在线监测系统、及实验室检测仪等。

- PDCheck、Aquila 局部放电带电检测仪
- PDBaseII 实验室局放检测仪 (IEC60270)
- PEA 空间电荷测量系统

- HV电缆局部放电在线监测系统
- 开关柜 / MV电缆局部放电在线监测系统
- 变压器综合在线监测系统
- GIS 综合在线监测系统
- 发电机局部放电在线监测系统

内容

1. 电缆故障定位
2. 放电理论定性分析
3. 典型放电图谱分析
4. 局放测量回路解析
5. 案例分析

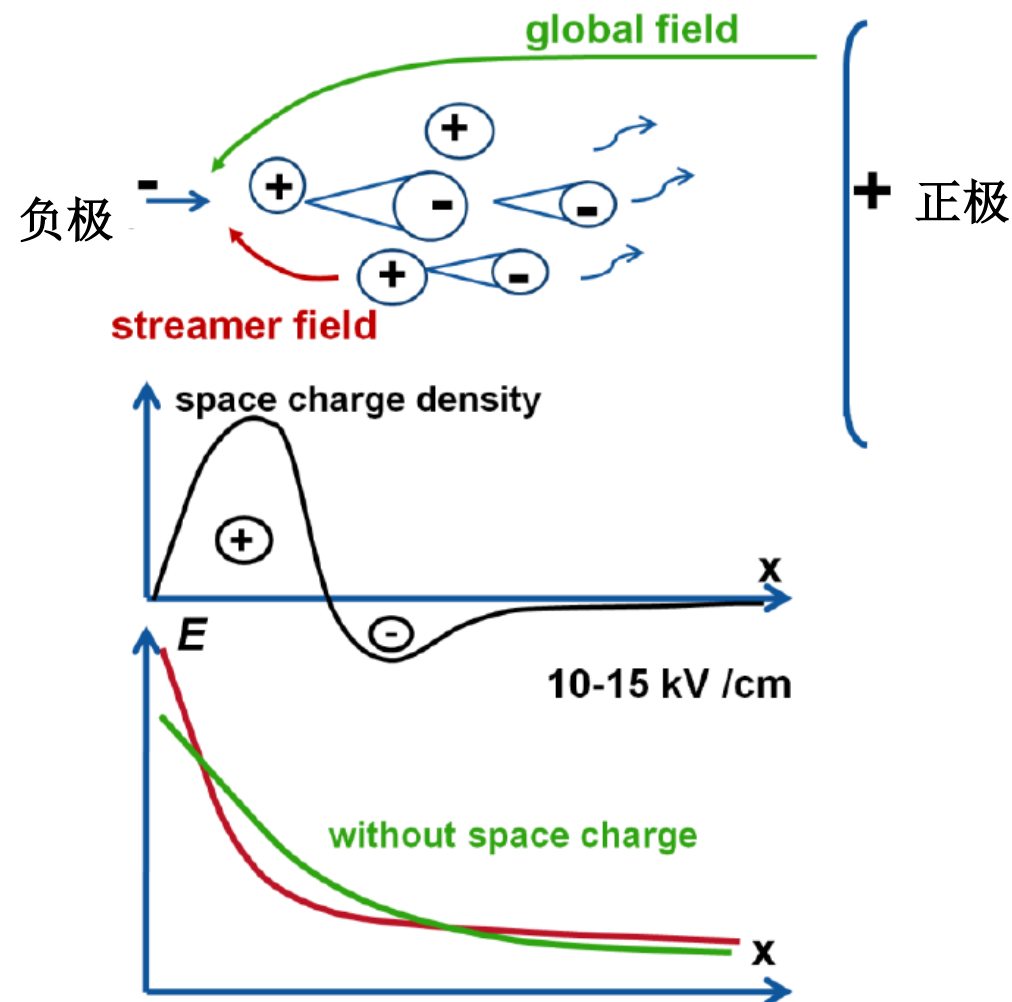


放电理论定性分析

放电理论-极性效应

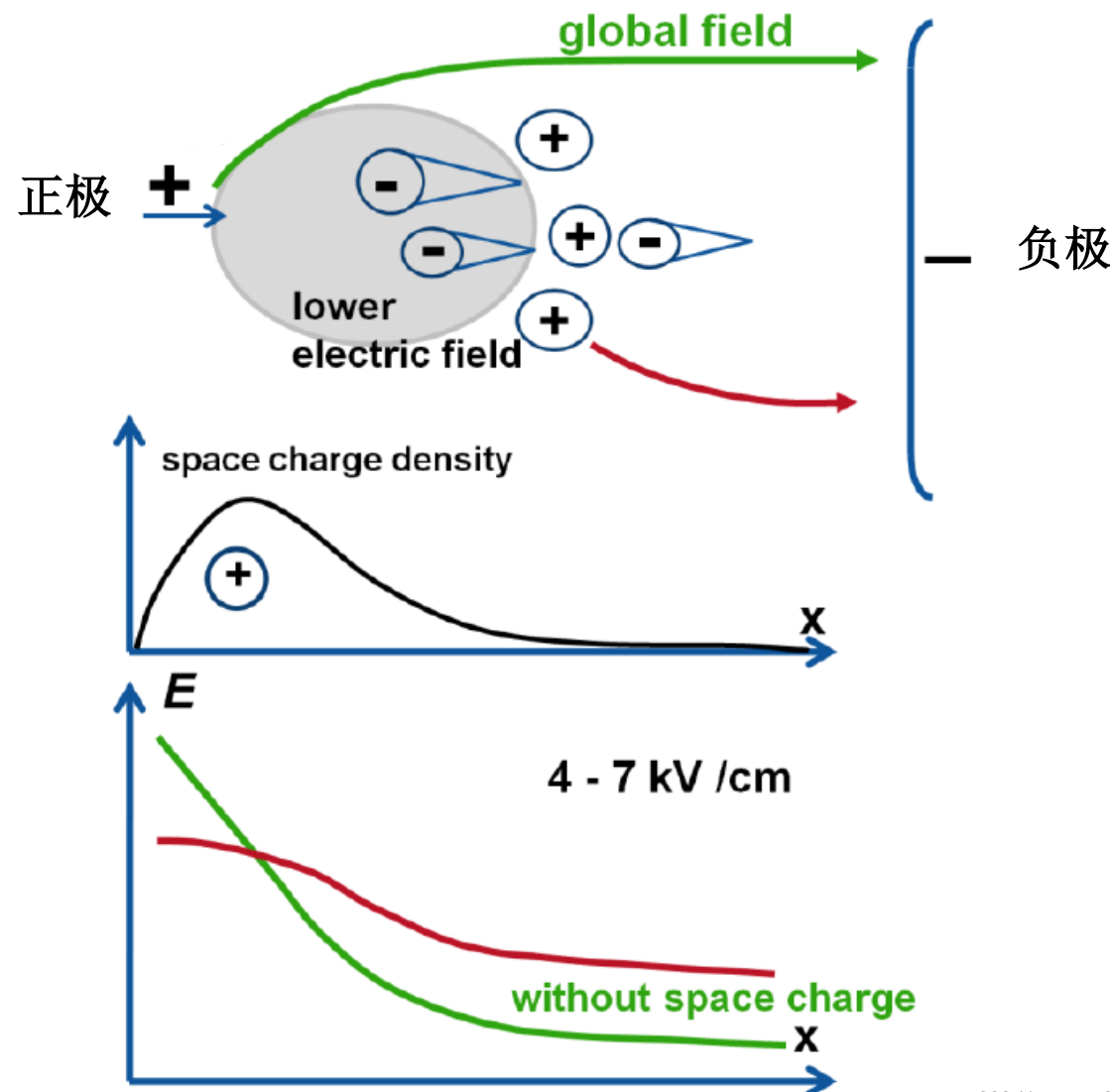
负极附近积累了更多的正电荷

导致负极附近场强增大



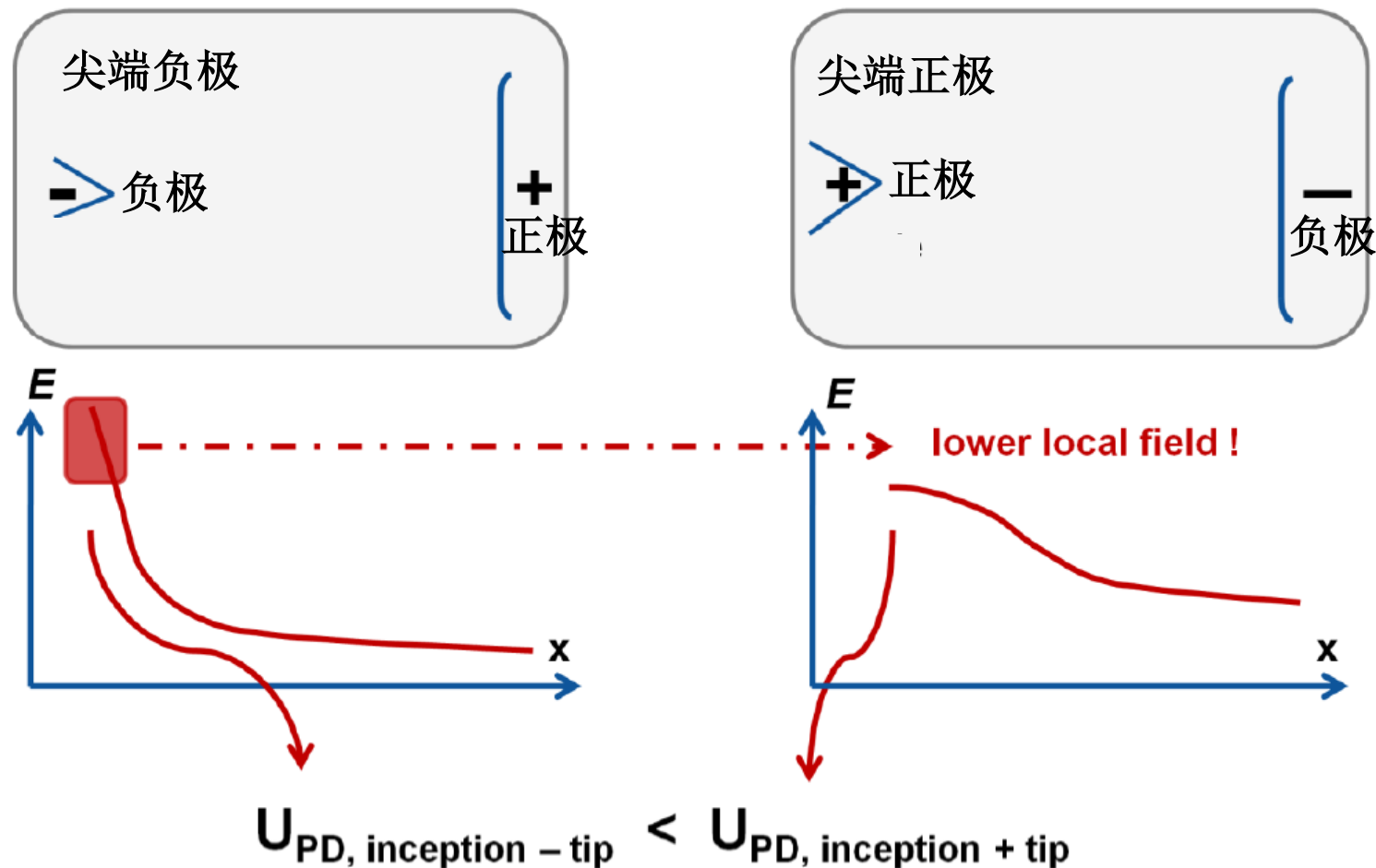
放电理论-极性效应

正极把更多的正电荷推向负极附近，导致正极附近的场强减弱



放电理论-极性效应

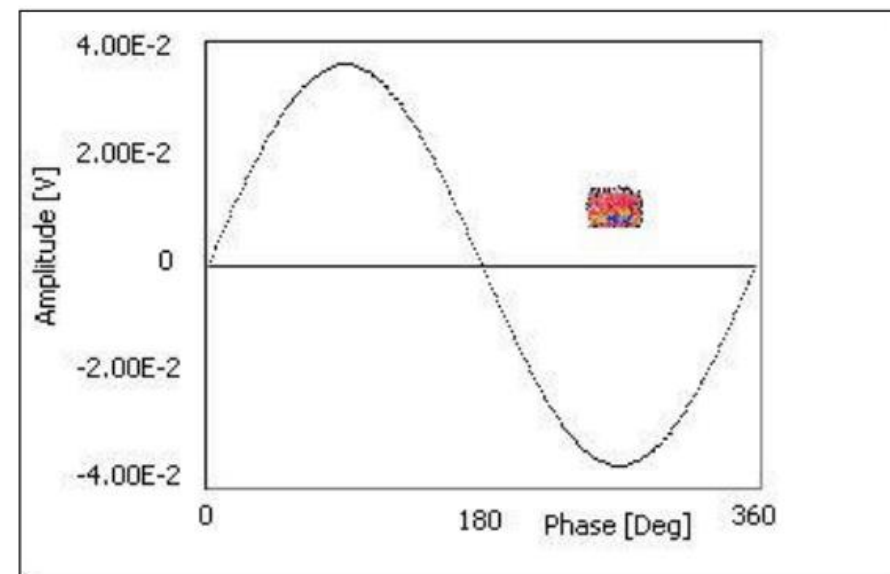
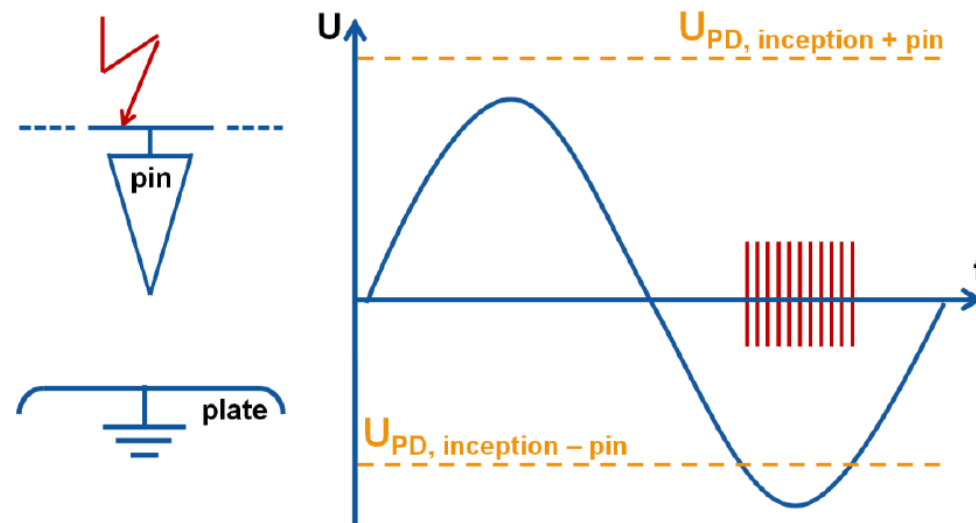
电压相同时，负极端的
场强更大，由此可以得出
负极放电的起始电压更低
负极更容易放电



典型放电图谱分析

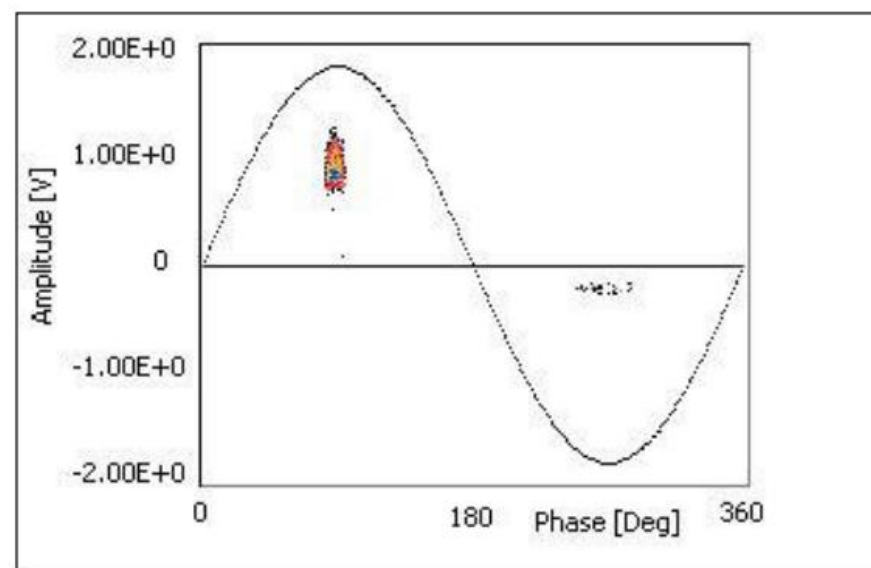
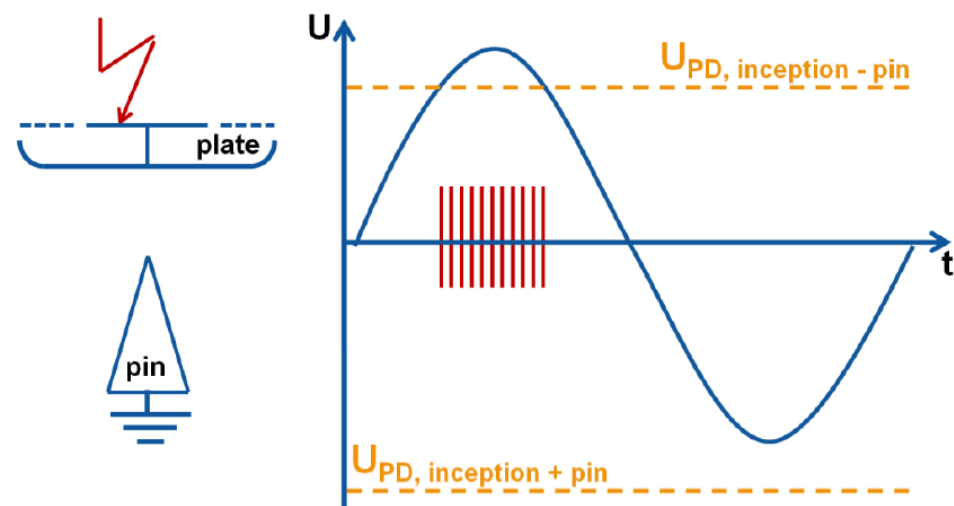
电晕放电图谱-尖端位于高压导体

由于尖端在负极时更容易放电
所以局放的脉冲首先出现在电
压的负半周



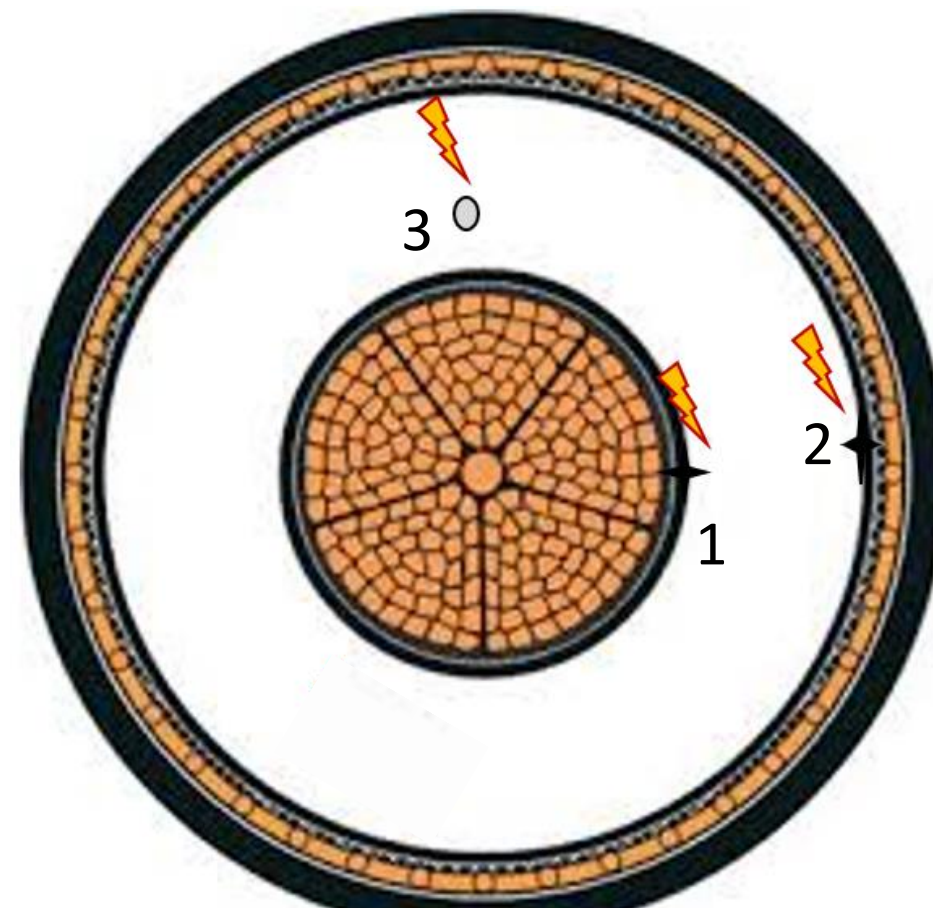
电晕放电图谱-尖端接地

由于尖端在负极时更容易放电
所以局放的脉冲首先出现在电
压的正半周



内部放电

1. 缺陷靠近高压导体
2. 缺陷靠近接地极
3. 缺陷位于绝缘材料中间

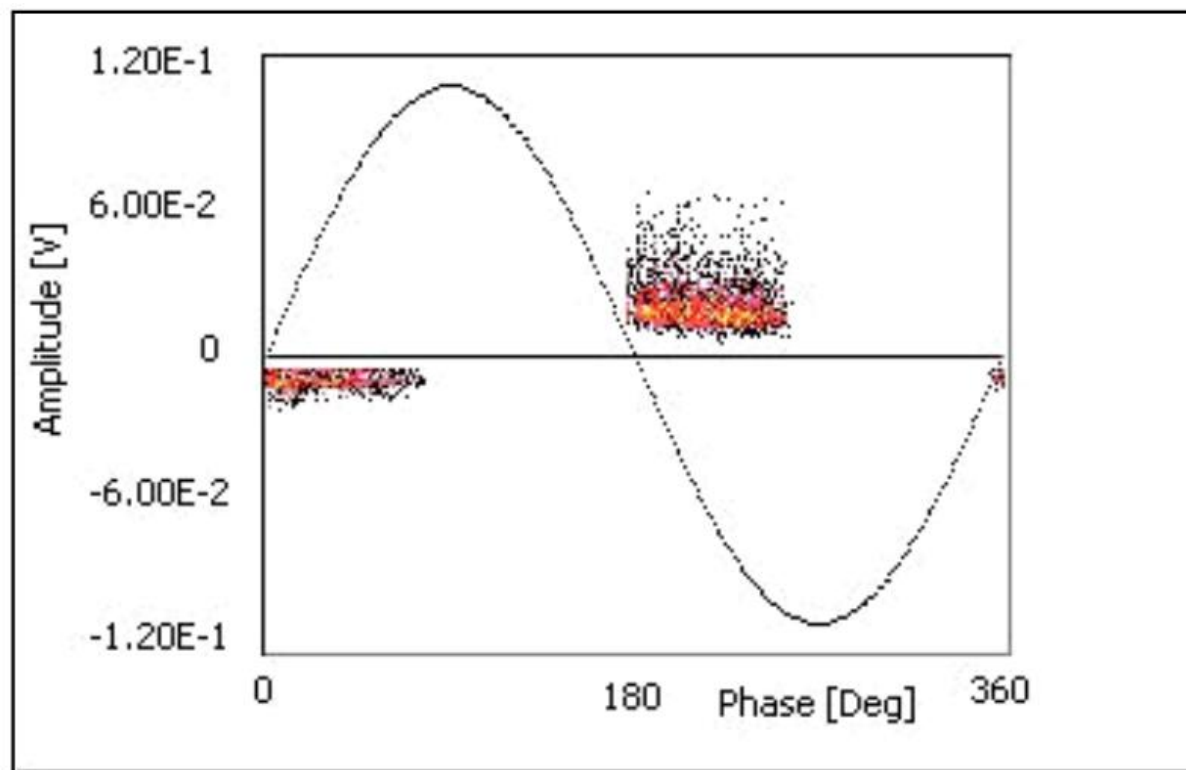


内部放电-缺陷靠近接地极

从前面的介绍得知，缺陷在负极性的时候更容易放电

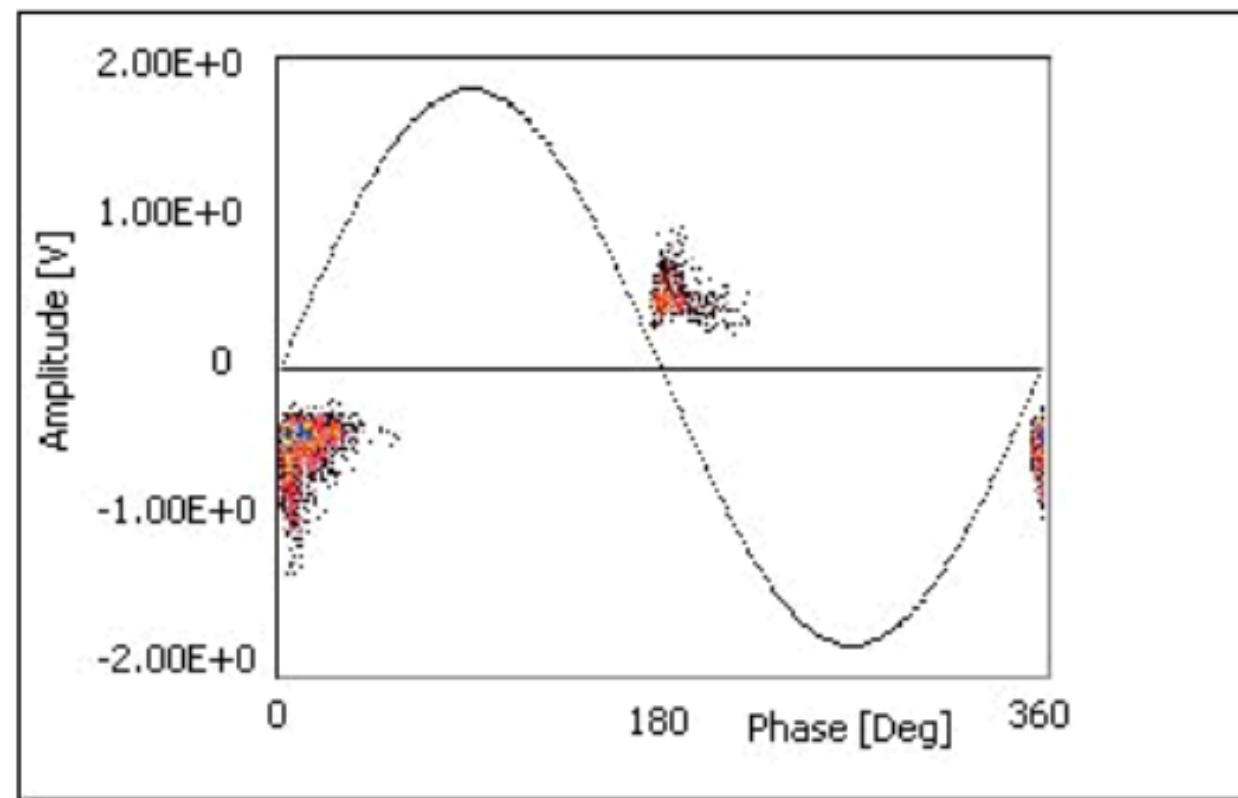
更容易放电意味着放电电压低，能量小，频率高，能量小表示局放脉冲幅值低

反之，缺陷在正极性的时候放电电压高，能量大，频率低，能量大表示局放脉冲幅值高



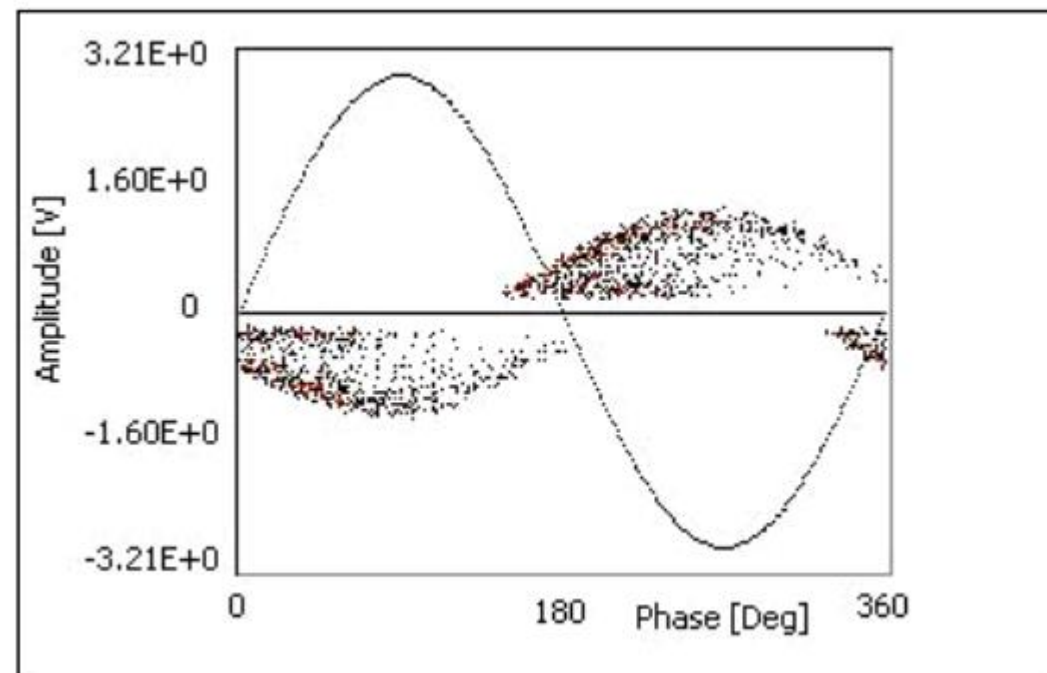
内部放电-缺陷靠近高压导体

从前面的介绍得知，缺陷在负极性的时候更容易放电
更容易放电意味着放电电压低，
能量小，频率高，能量小表示
局放脉冲幅值低
反之，缺陷在正极性的时候放
电电压高，能量大，频率低，
能量大表示局放脉冲幅值高



内部放电-缺陷位于绝缘材料中间

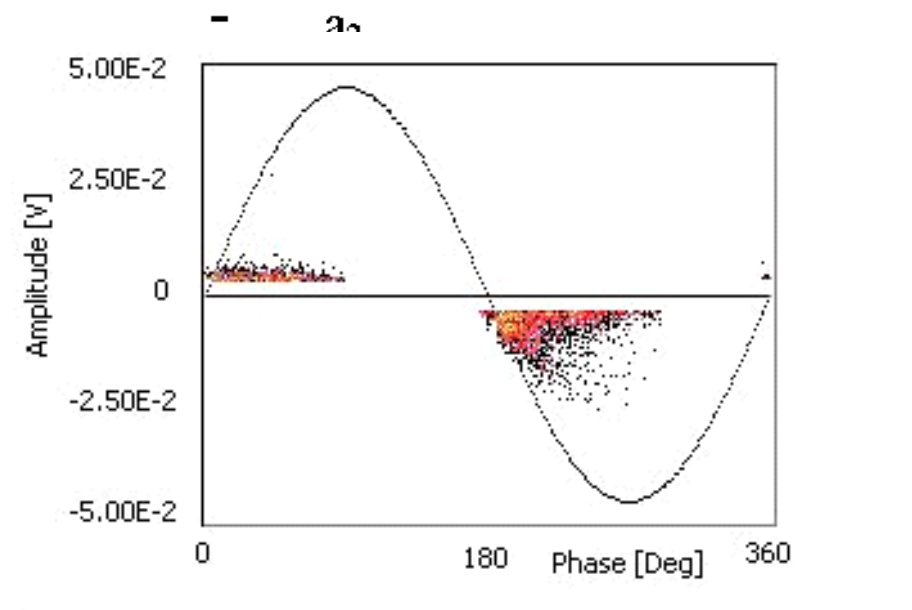
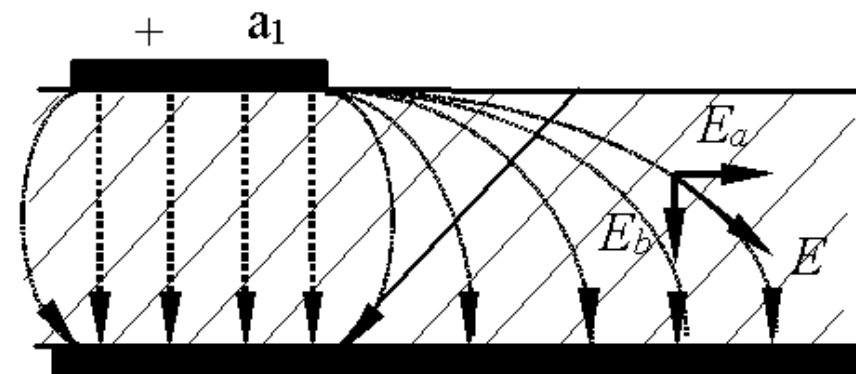
缺陷位于绝缘材料中间，没有极性效应，局放脉冲在电压正负半周分布均匀，对称



表面放电

当产生表面放电的电极是处于高压时，在正半周出现的脉冲是大而稀，在负半周出现的脉冲是小而密

如果放电的电极接低压端，则放电图形的极性也随之反过来，即负半周出现的脉冲是大而稀，在正半周出现的脉冲是小而密



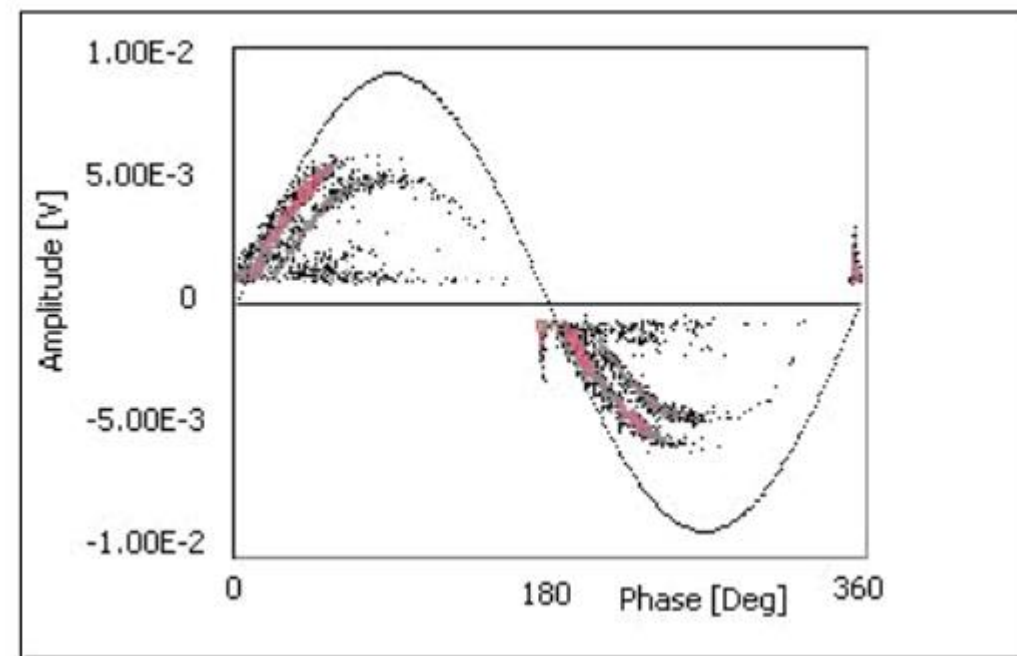
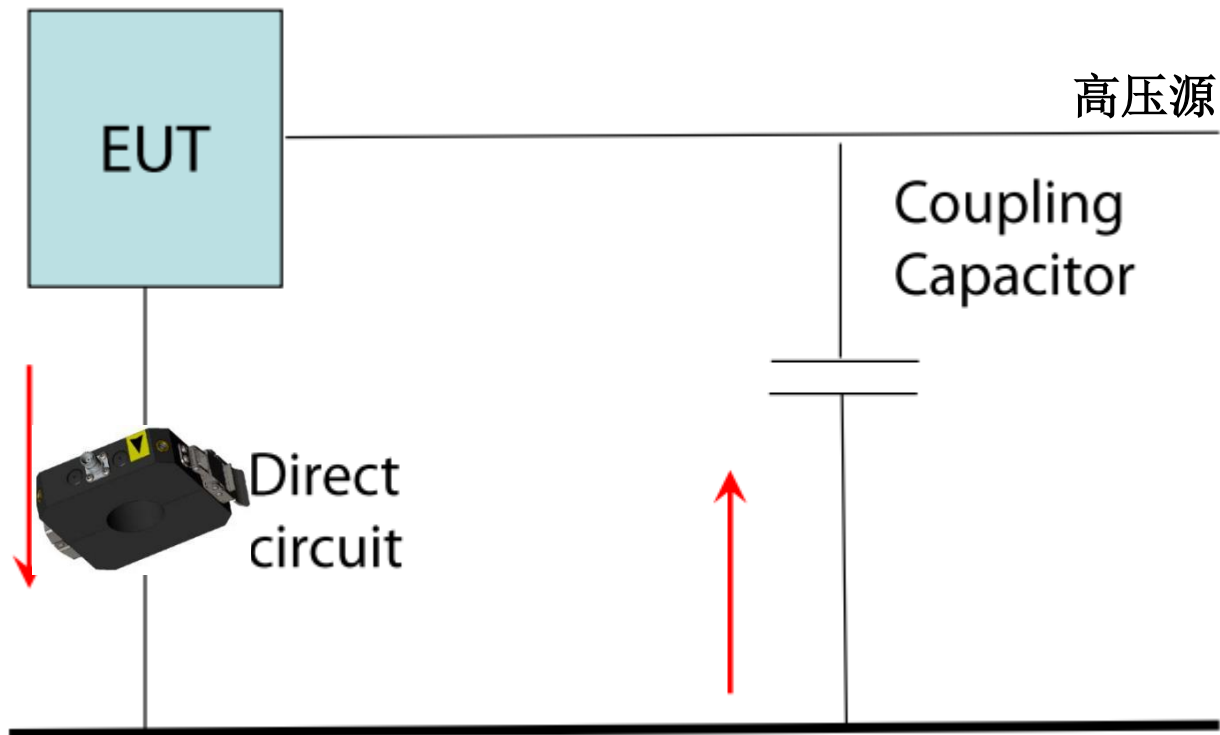
局放测量回路解析

局放测量-PDC参数设置

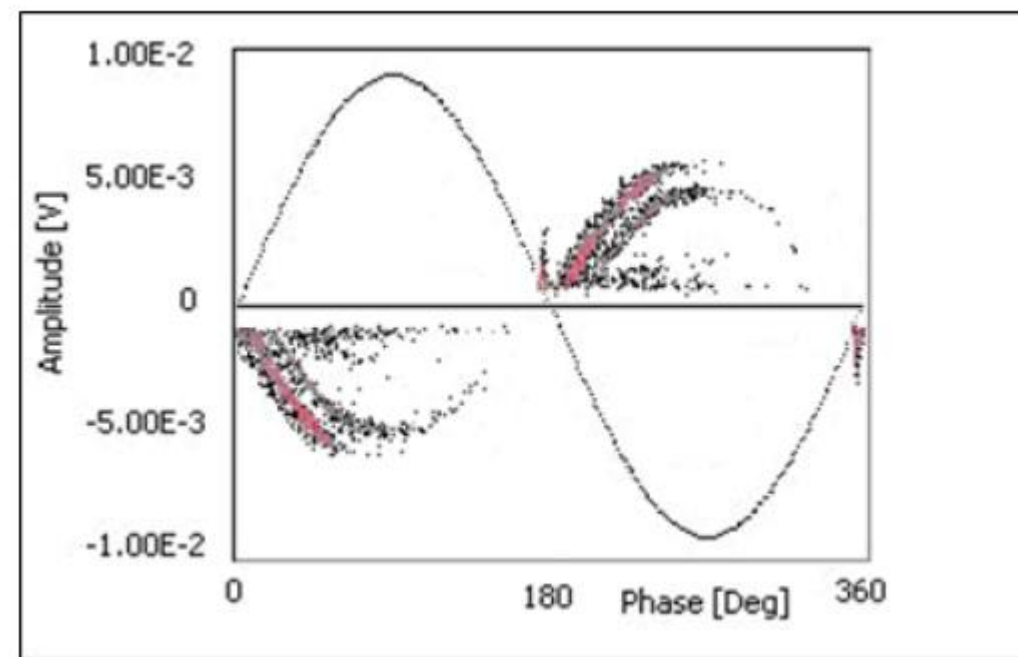
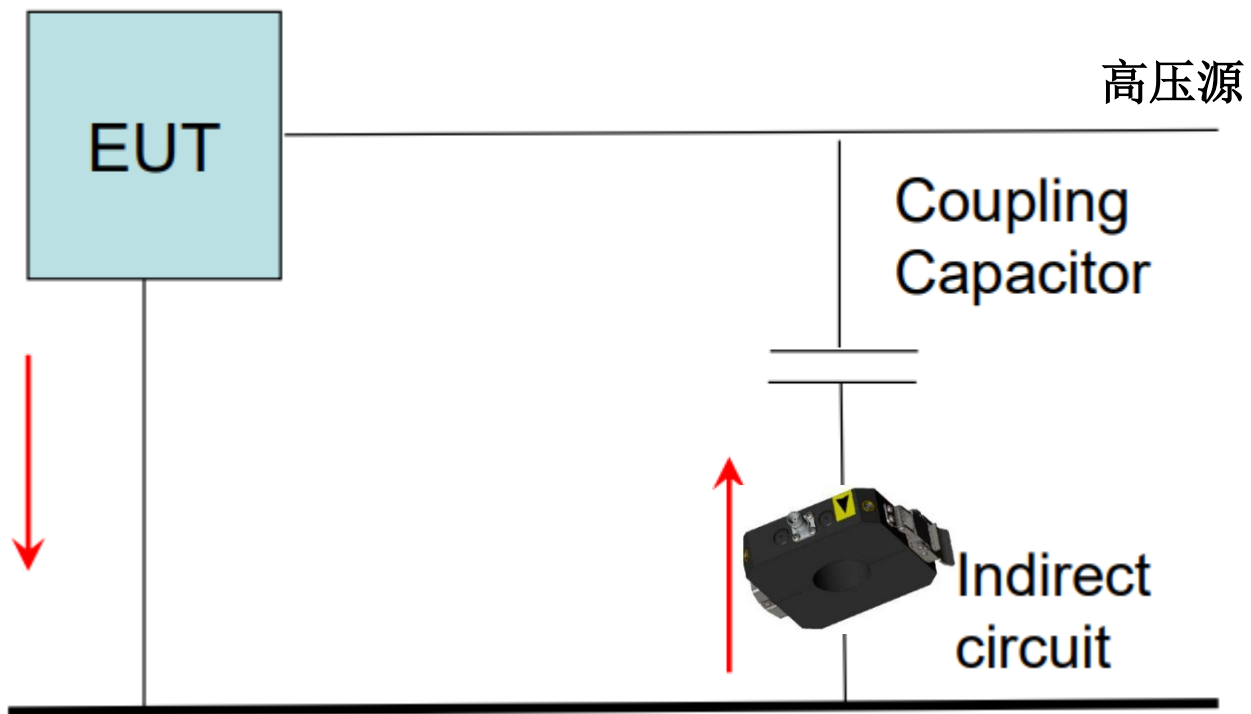
The screenshot displays the ALTANOVA software interface with the 'Acquisition settings' tab selected. The 'Channel settings' section includes a 'Measurement circuit' dropdown set to 'Indirect circuit (CCS)', a 'Dead time' dropdown set to 'Very short', a 'File name' field containing 'HFCT_150kV', a 'File number' field with '000', a 'File path' field with 'C:\Data', and a 'TW map filter' button. The 'Waveform acquisition' section shows an 'Acquisition timeout [s]' of 10 and a 'Number of waveforms' of 5000. The 'Phase shift' section features a 'Pattern' dropdown set to 0.000 and a graph of 'Amplitude [V]' ranging from -1.000 to 0.000.

- ✓ **File name:** 测试文件命名，一般用电压等级和传感器类型 (例如: **HFCT_150kV**)
- ✓ **Dead time :** 停滞时间，每次脉冲触发后，短时间内检测器不能处理其他事件，时间范围是**5μs**（非常短）至**500μs**（非常长期）
- ✓ **File path:** 测试文件保存路径
- ✓ **Measurement circuit:** 测试回路类型**Indirect**（反向）或者 **direct**（正向），采用**HFCT**，总是选**direct**
- ✓ **TW map filter:** T/F图上设置过滤条件
- ✓ **Waveform acquisition:** 脉冲波形采集参数设置，采集时间 (**10** 或 **20 s**);采集脉冲**5000** 或**10000**)
- ✓ **Phase shift :** 根据同步装置信号设置

局放的测量回路-直接测量（正向测量）



局放的测量回路-间接测量（反向测量）



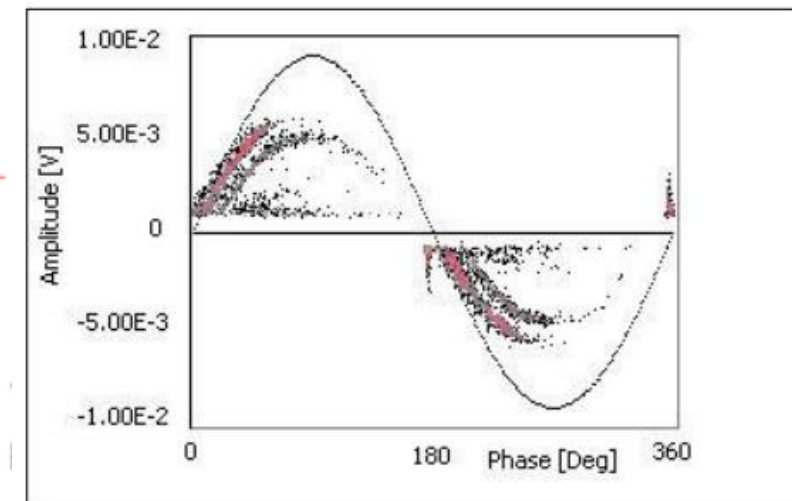
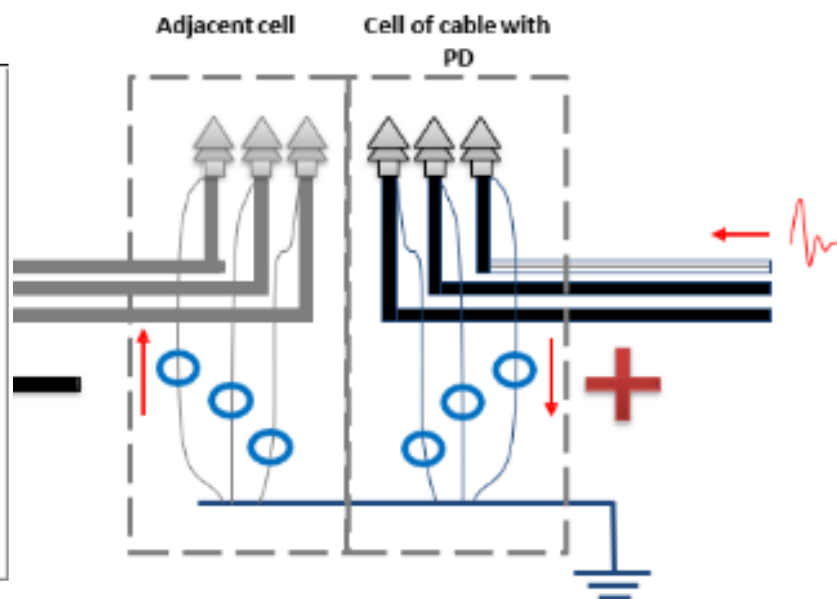
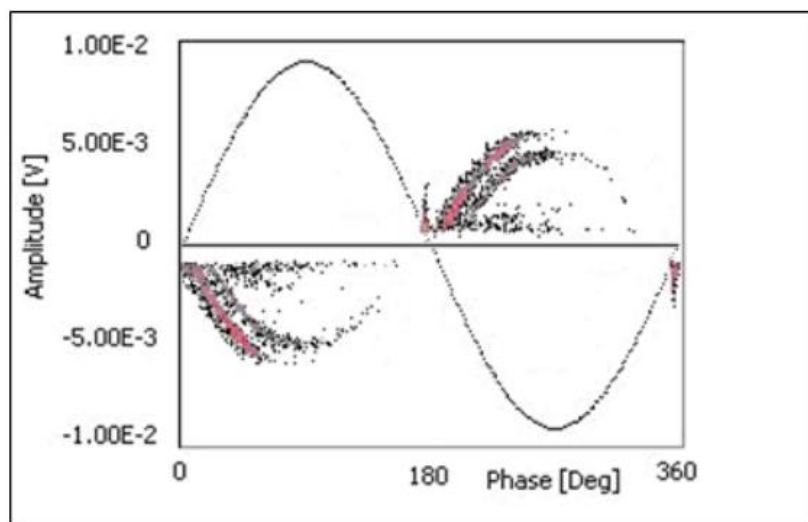
直接/间接测量的应用

具有脉冲极性识别的传感器：HFCT

测试回路：正向（Direct）



HFCT上箭头的方向指向脉冲电流流向地的方向



相移设置-同步装置

罗氏线圈



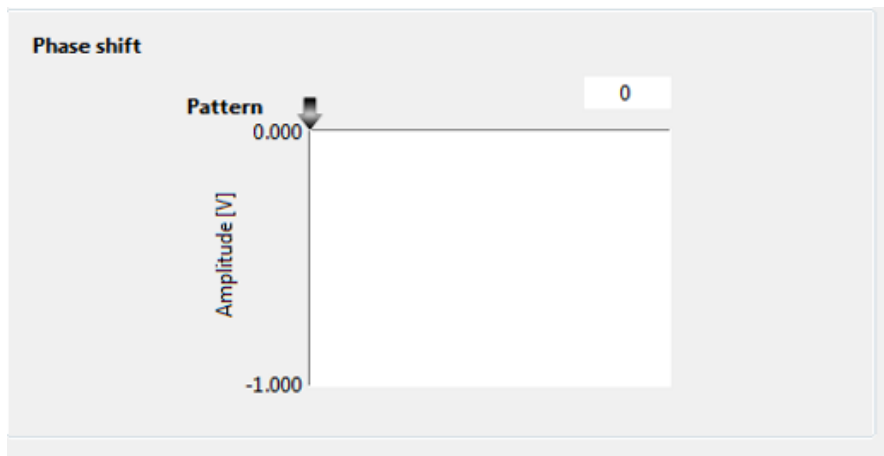
- 卡接在待测电缆相线上，可以忽略同步信号和相线电压之间的相位差
- 卡接在待测电缆每相的地线上，同步信号超前相线电压90度

电源同步装置

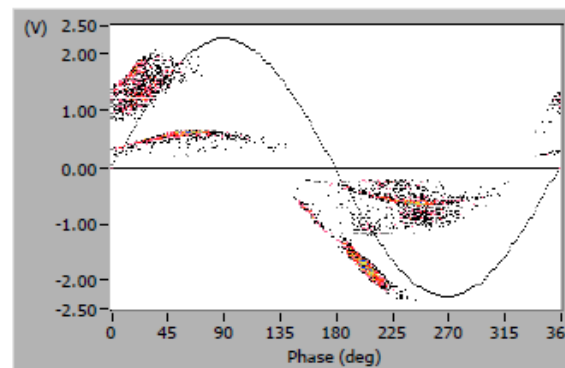


- 外接220V电源，输出12V同步信号，用于由于待测电缆比较短，容性电流比较低，使用罗氏线圈无法提供最小同步信号的时候

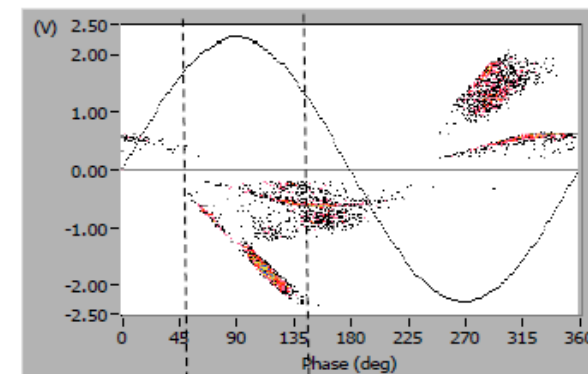
相移设置-举例



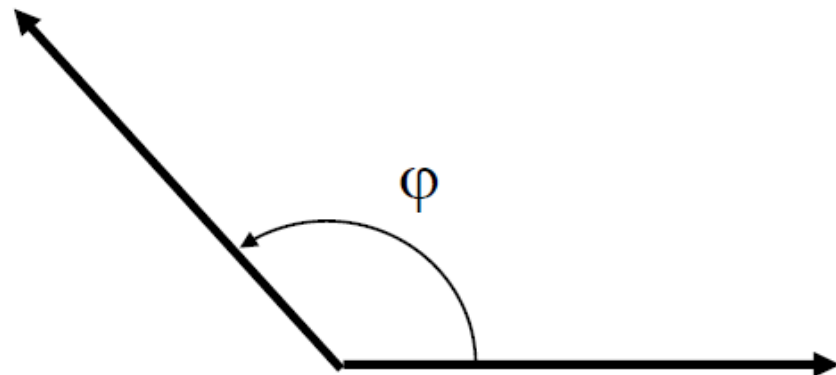
测量的PRPD



相移之后的PRPD

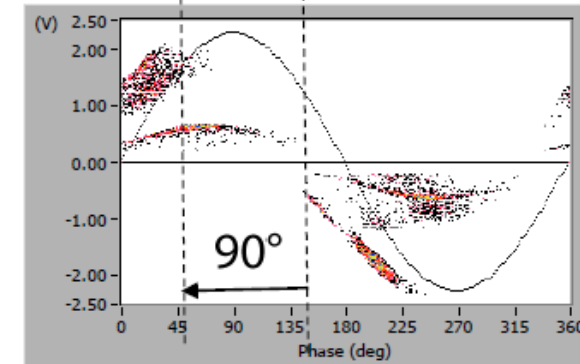


同步信号电压相位



待测物电压相位

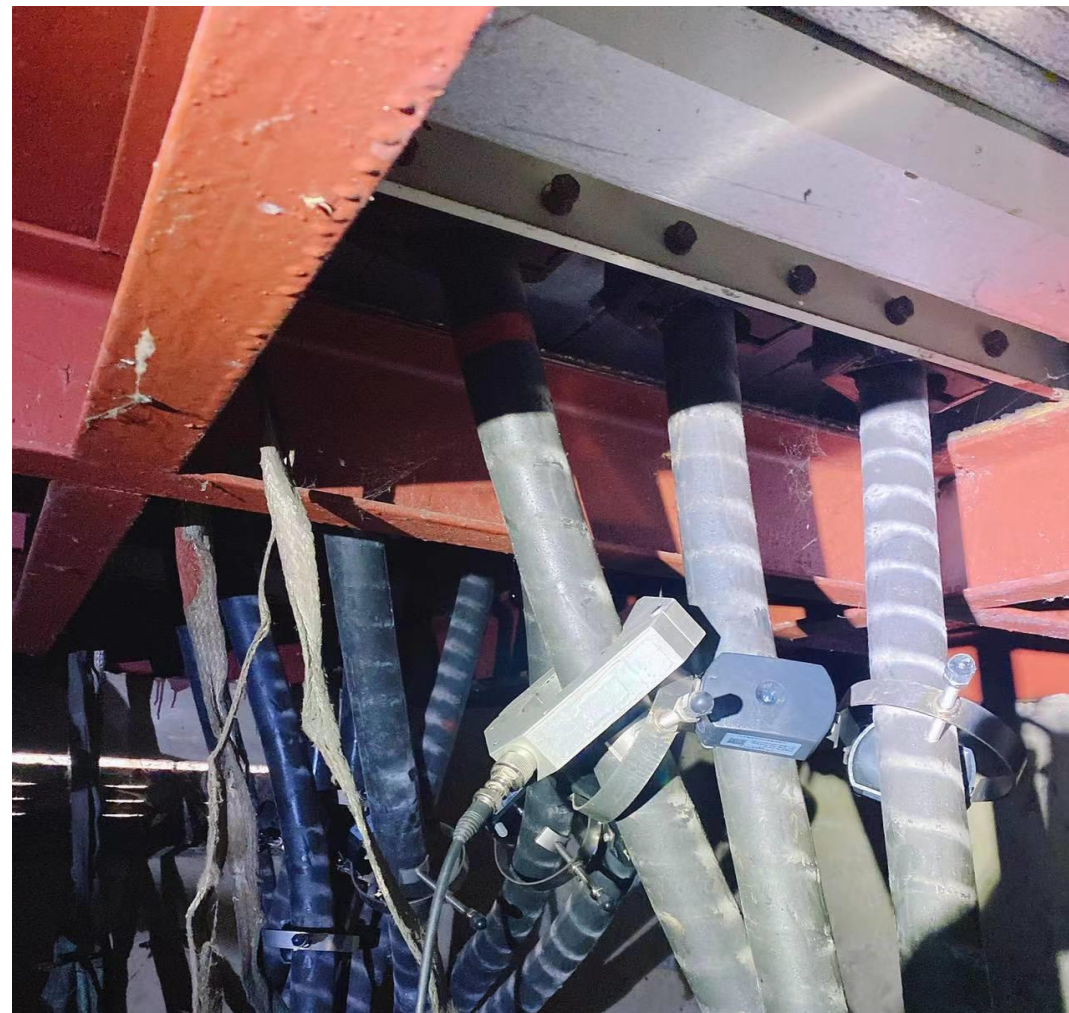
相移90度



案例分析

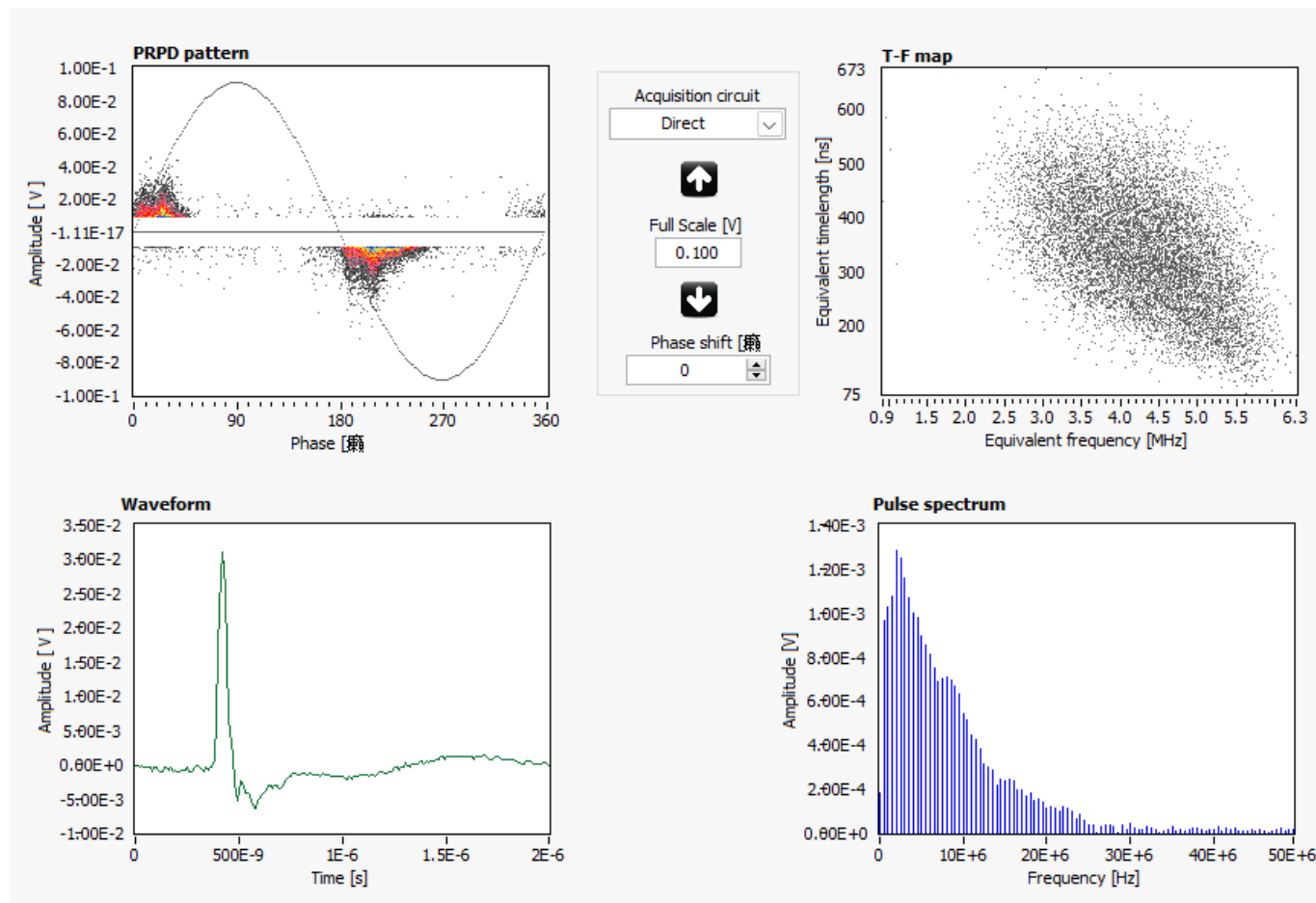
案例一：多手段联合验证电缆沿面放电

- 检测日期：2021.11.3
- 检测地点：国内某35kV环网柜电缆夹层
- 检测设备：PD Check、FACLON、MV60
- 检测部位：电缆终端
- 传感器HFCT卡在电缆三指套上方单相本体上
- 同步线圈i3000卡在电缆三指套上方单相本体上
- 缺陷类型：沿面放电



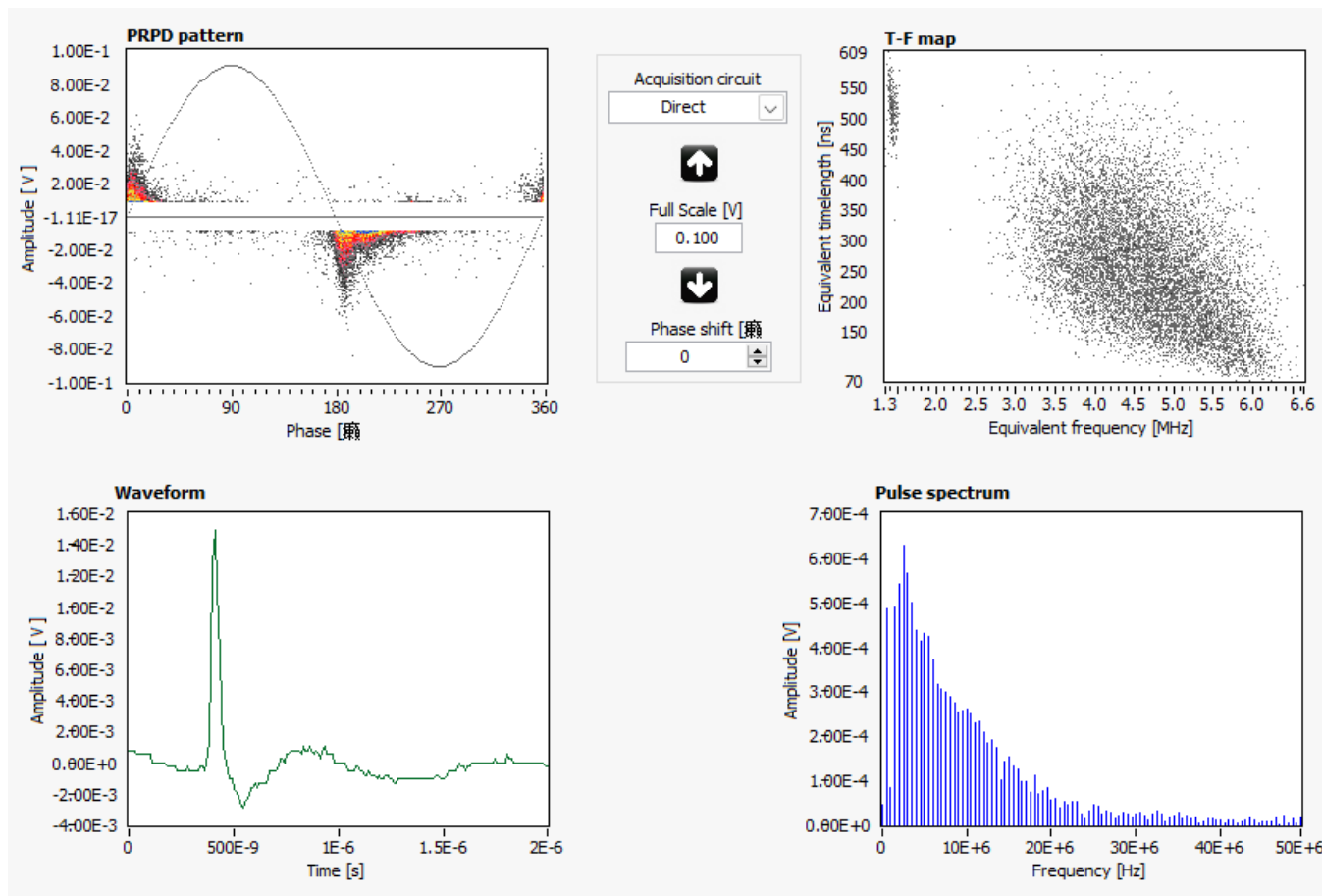
电缆终端A相

- 采集脉冲数: 10000
- 采集时间: 79.58s
- 重复率: 2.51
- 同步频率: 50.12Hz
- 最大幅值: 79mV
- 触发: 0.0090V



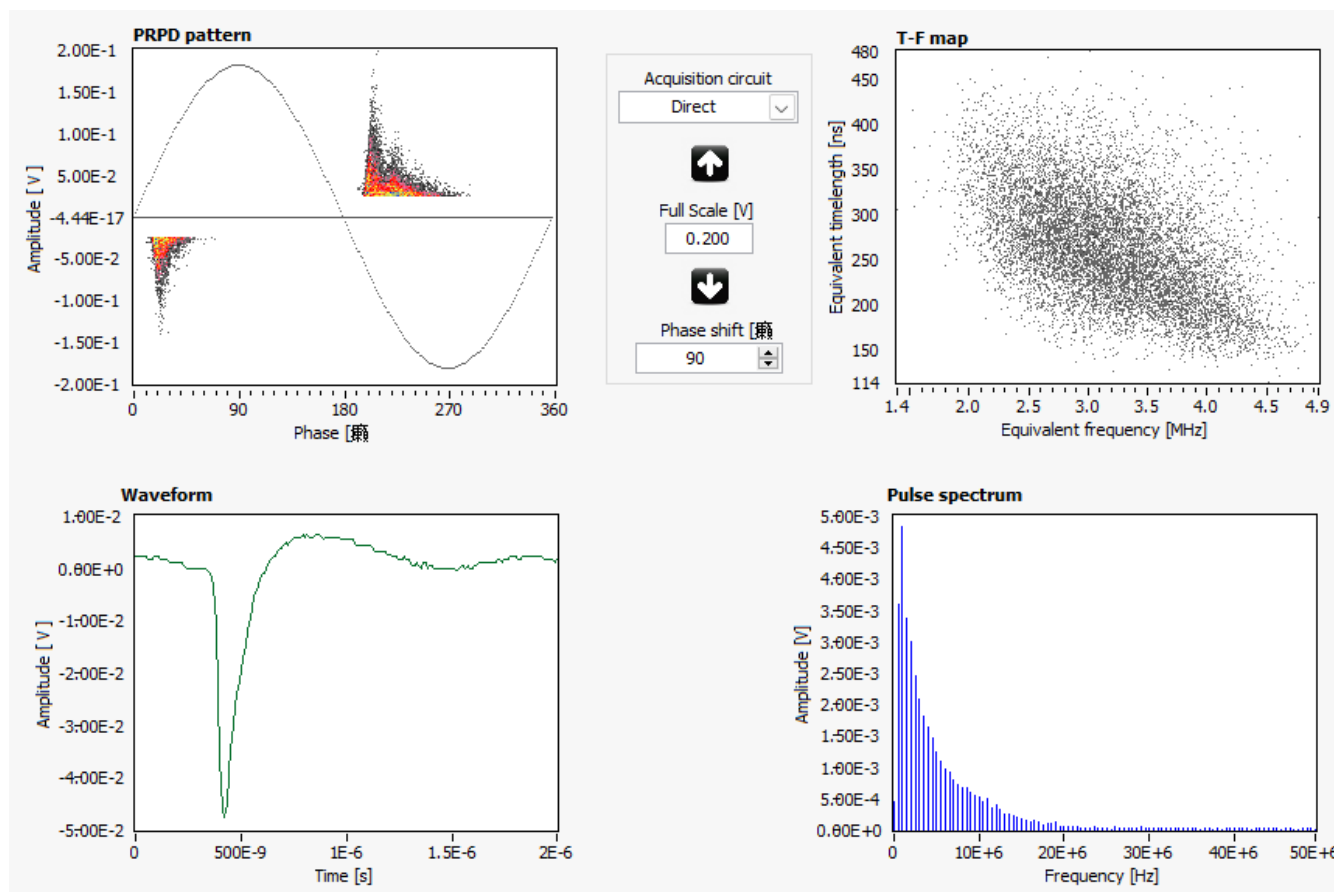
电缆终端B相

- 采集脉冲数: 10000
- 采集时间: 50.85s
- 重复率: 25.97
- 同步频率: 50.57Hz
- 最大幅值: 184mV
- 触发: 0.0080V



电缆终端C相

- 采集脉冲数: 10000
- 采集时间: 48.36s
- 重复率: 4.13
- 同步频率: 50.05Hz
- 最大幅值: 1300mV
- 触发: 0.0240V

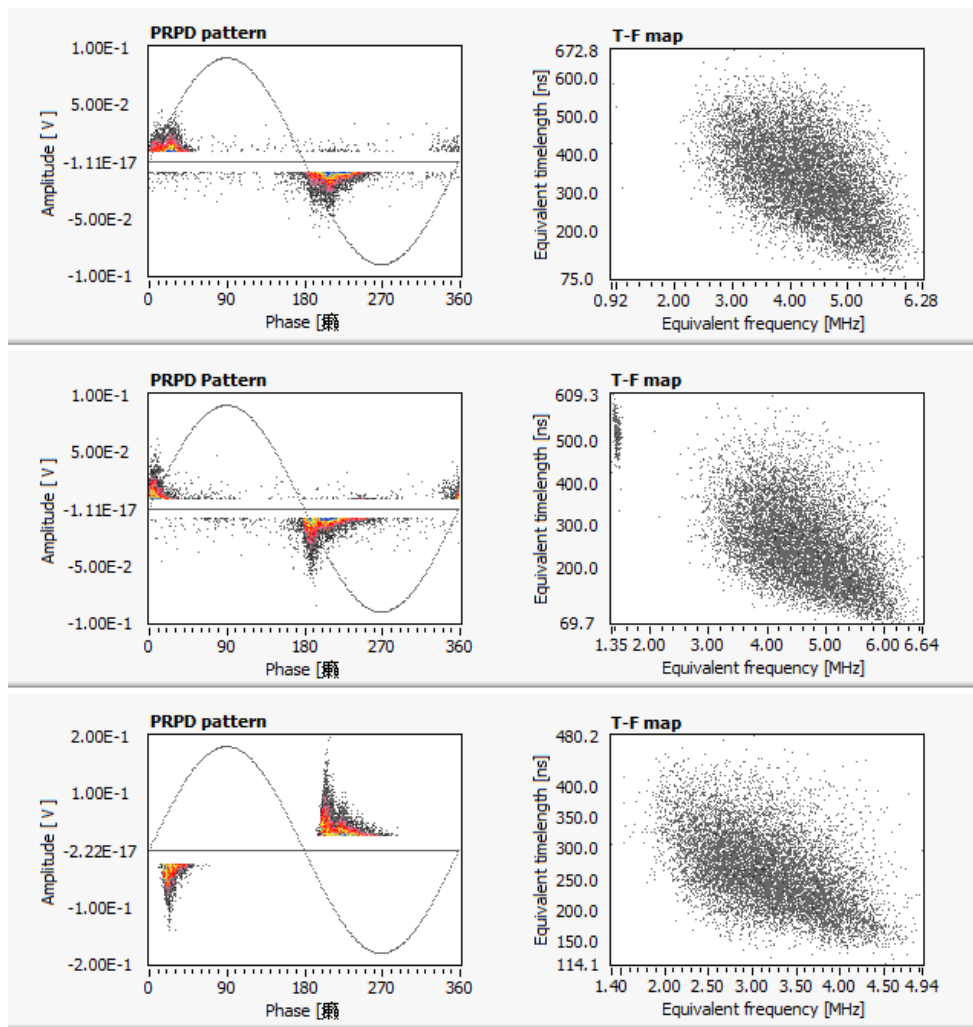


数据分析

- A相最大幅值: 79mV
- B相最大幅值: 184mV
- C相最大幅值: 1300mV

- A相触发值: 0.0090V
- B相触发值: 0.0080V
- C相触发值: 0.0240V

- C相极性与A、B相相反



- 放电信号在工频相位的正、负半周均出现；放电发生同步电压的第一、三象限；放电幅值较分散，且放电次数较少；放电图谱不对称。
- 气隙或沿面放电一般是由于电缆在制造过程中或者在电缆附件安装过程中形成的内部气隙、裂纹、绝缘表面污秽、附着金属颗粒等引起的局部放电。

依据Q/GDW 11400-2015电力设备高频局部放电带电检测技术现场应用导致中表B. 1 典型高频局部放电图谱特征及表B. 2 高频局部放电检测典型图谱判断依据：

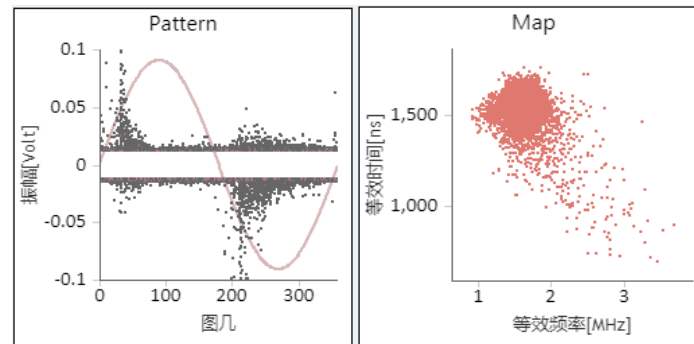
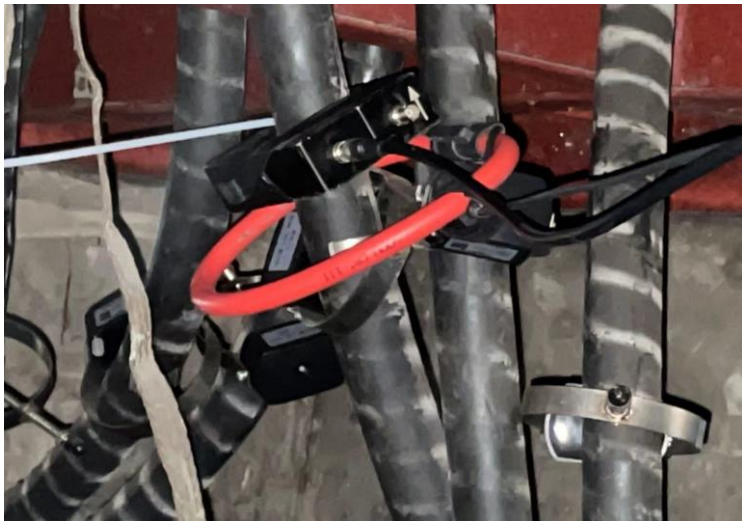
表 B.1 典型高频局部放电图谱特征

	测试结果	图谱特征	放电幅值	说明
正常	无典型放电图谱	没有放电特征	没有放电波形	按正常周期进行
异常	具有局部放电特征且放电幅值较小	放电相位图谱工频（或半工频）相位分布特性不明显	小于 500mV 大于 100mV，并参考放电频率	异常情况缩短检测周期
缺陷	具有典型局部放电的检测图谱且放电幅值较大	放电相位图谱具有明显的工频（或半工频）相位特征	大于 500mV，并参考放电频率	缺陷应密切监视，观察其发展情况，必要时停电检修。通常频率越低，缺陷越严重

表 B.2 高频局部放电检测典型图谱

放电类型	图谱特征	缺陷分析
电晕放电	见图 B.1	高电位处存在单点尖端，电晕放电一般出现在电压周期的负半周。若低电位处也有尖端，则负半周出现的放电脉冲幅值较大，正半周幅值较小。
内部放电	见图 B.2	存在内部局部放电，一般出现在电压周期中的第一和第三象限，正负半周均有放电，放电脉冲较密且大多对称分布。
沿面放电	见图 B.3	存在沿面放电时，一般在一个半周出现的放电脉冲幅值较大、脉冲较稀，在另一半周放电脉冲幅值较小、脉冲较密。

在线监测



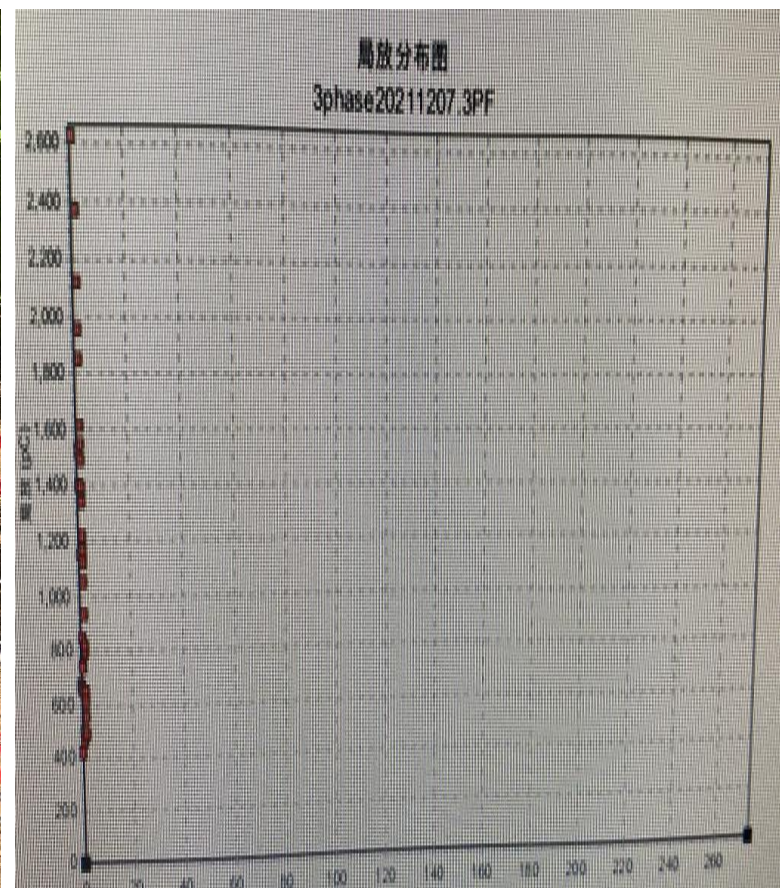
总体状况



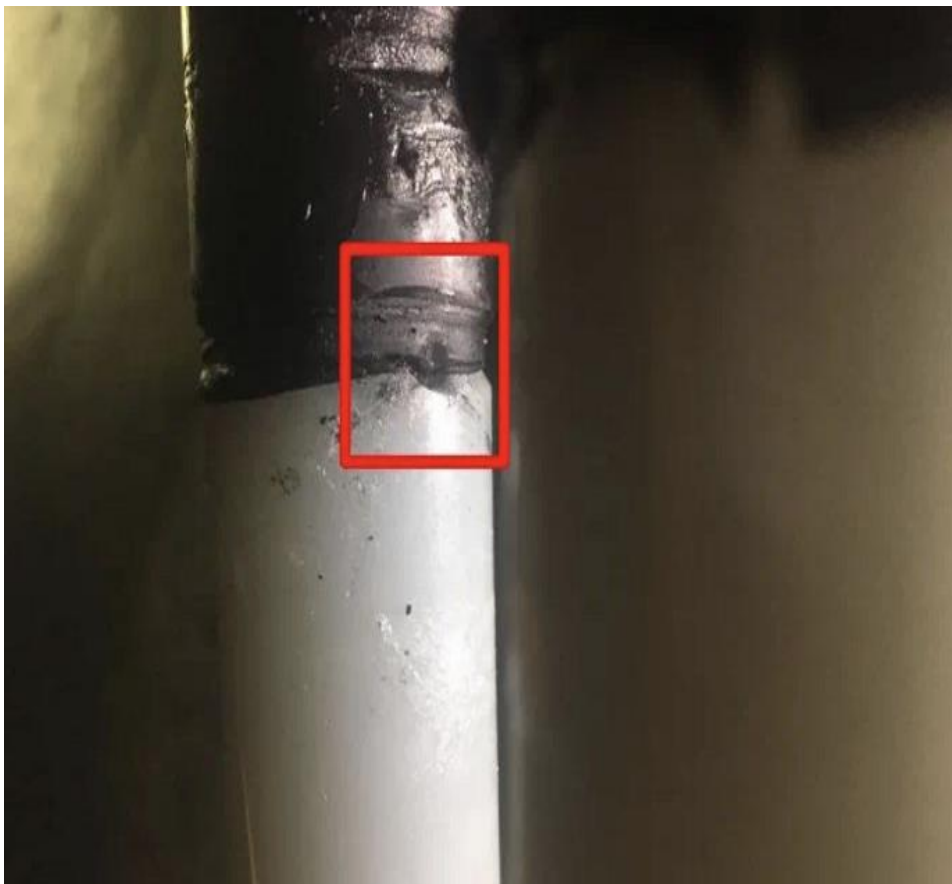
PD系统状态 关键：部件严重退化，在第一年内出现故障的可能性很大。建议立即采取修理或更换措施。

振荡波验证

2022年1月07日，对35kV缆进行停电试验及检修，使用35kV振荡波对该电缆进行试验，试验结果如下：通过振荡波试验发现，35kV电缆C相在终端处，放电图谱中呈现聚集且簇状打点分布，符合振荡波局部放电缺陷典型图谱，因此初步判断电缆终端C相处存在局部放电，与PD Check检测结果一致。



停电消缺



- 电缆开展带电检测的重要性，由于电缆结构的特殊性高频局放检测对于电缆终端和中间接头的局部放电是最有效的手段；
- 开展电缆的局放检测要多重手段相结合，高频、接地电流、震荡波、红外热像等，更能准确的判断缺陷类型和缺陷部位；
- 电缆数量巨大，必要时可对有异常信号的电缆开展重症监护或者在线监测，可实时观测电缆缺陷的发展趋势，科学有效的辅助我们就行决策。

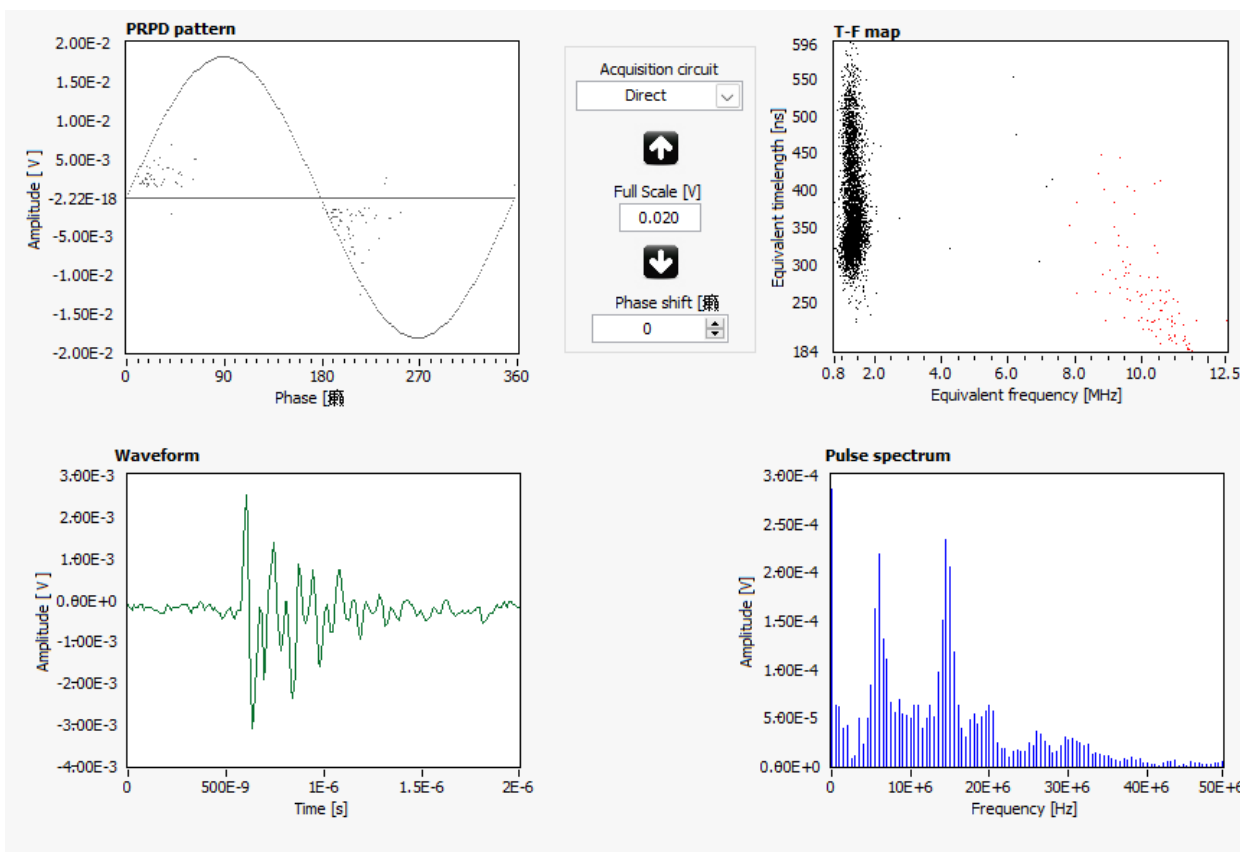
案例二：施工工艺不良引起的电缆局放

- 检测日期：2022. 4. 6
- 检测地点：国内某35kV开关柜电缆夹层
- 检测设备：PD Check、FACLON、MV60
- 检测部位：电缆终端
- 传感器HFCT卡在电缆三指套上方单相本体上
- 同步线圈i3000卡在电缆三指套上方单相本体上
- 缺陷类型：沿面放电



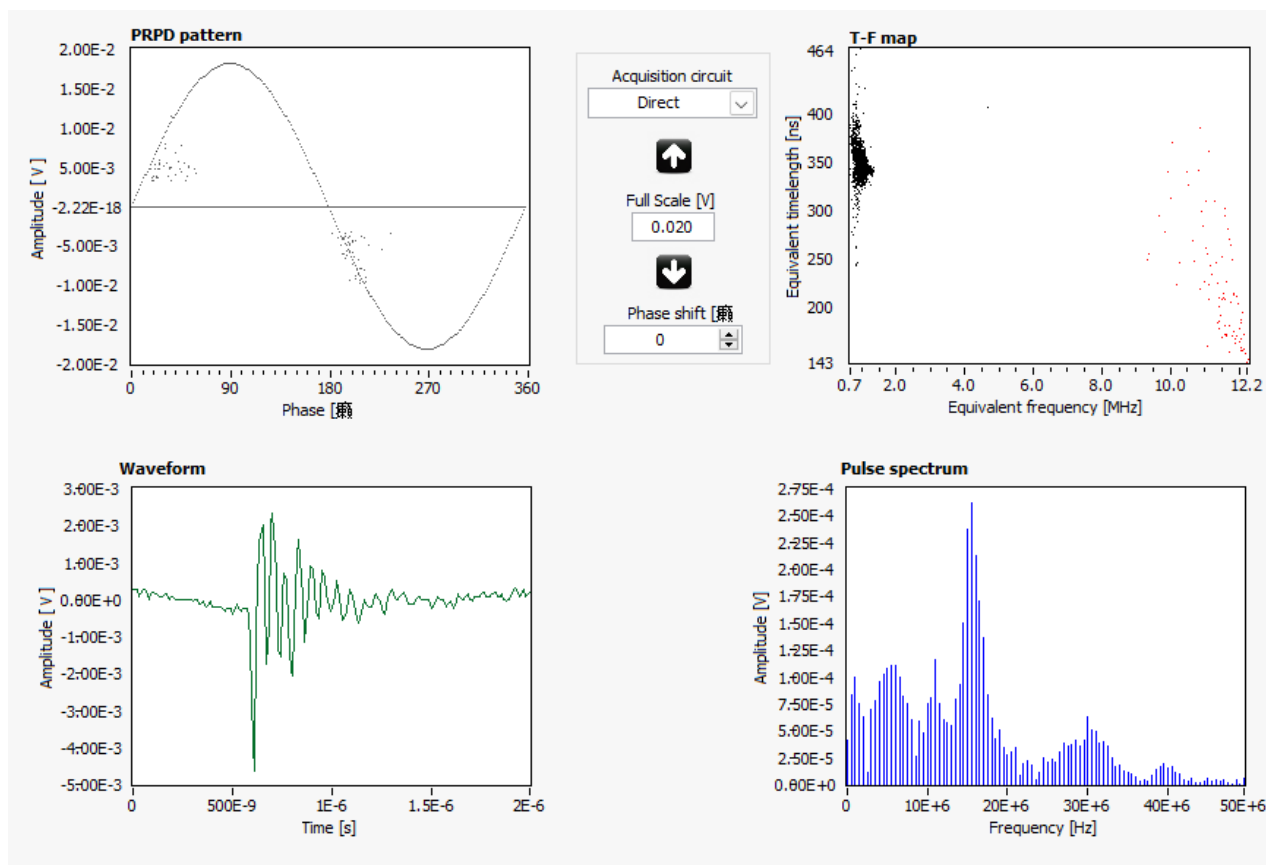
电缆终端A相

- 采集脉冲数: 5000
- 采集时间: 1.41s
- 重复率: 70.73
- 同步频率: 50.00Hz
- 最大幅值: 1.52V
- 触发: 0.0014V



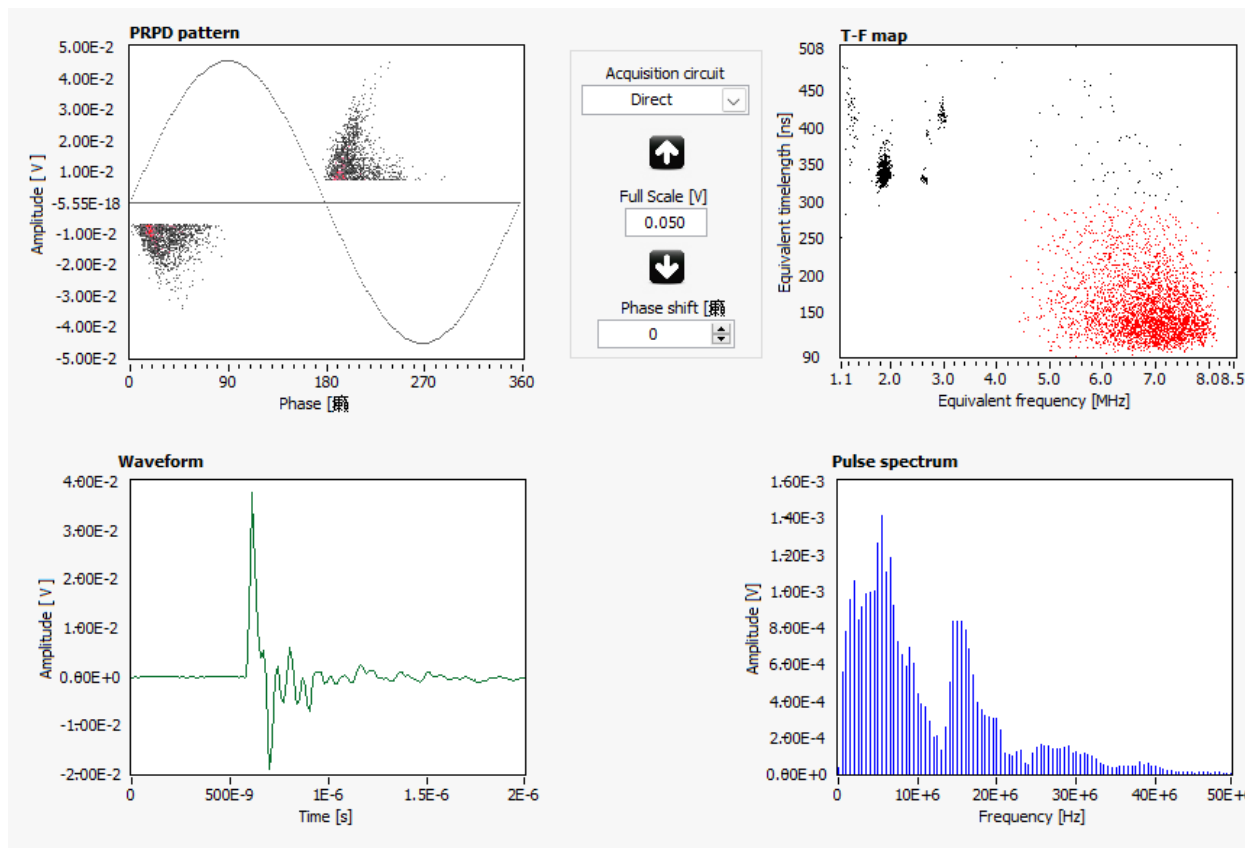
电缆终端B相

- 采集脉冲数: 5000
- 采集时间: 1.52s
- 重复率: 65.72
- 同步频率: 49.99Hz
- 最大幅值: 1.07V
- 触发: 0.0032V

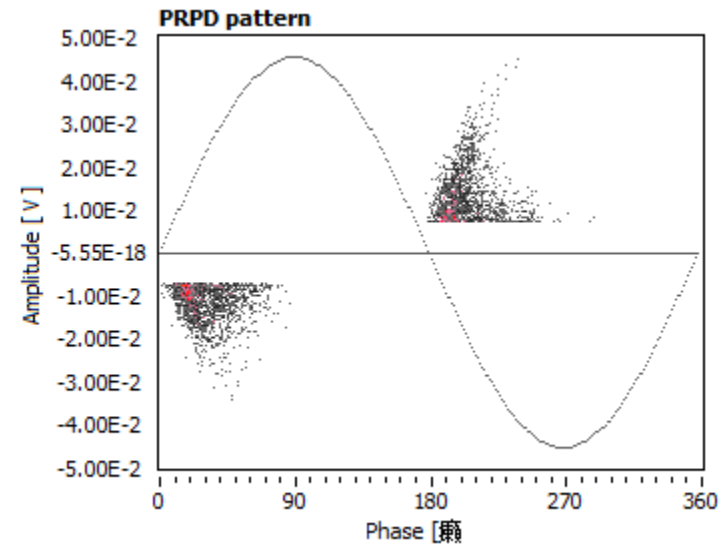
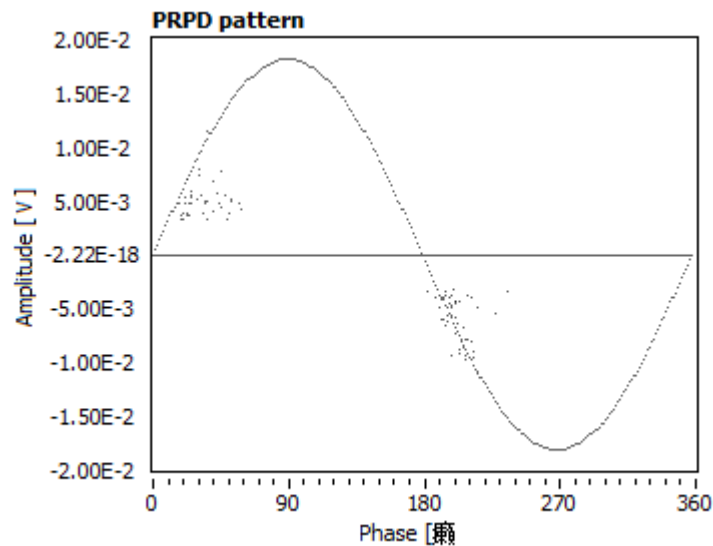
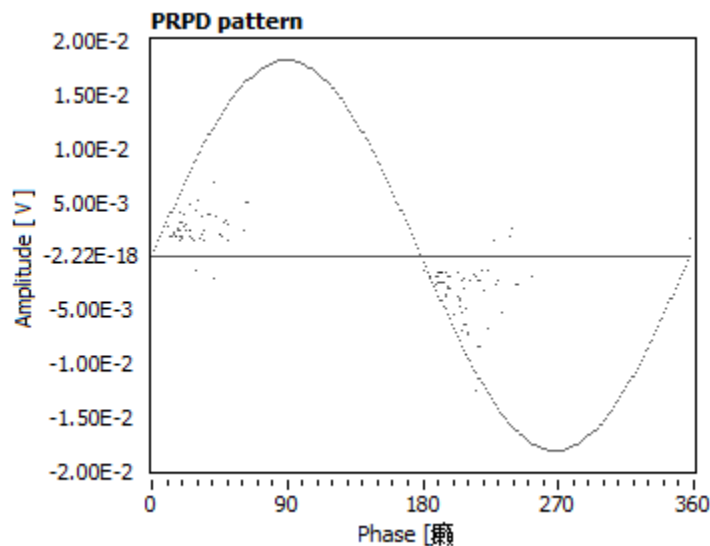


电缆终端C相

- 采集脉冲数: 3977
- 采集时间: 50.12s
- 重复率: 1.59
- 同步频率: 49.97Hz
- 最大幅值: 4.97V
- 触发: 0.0070V



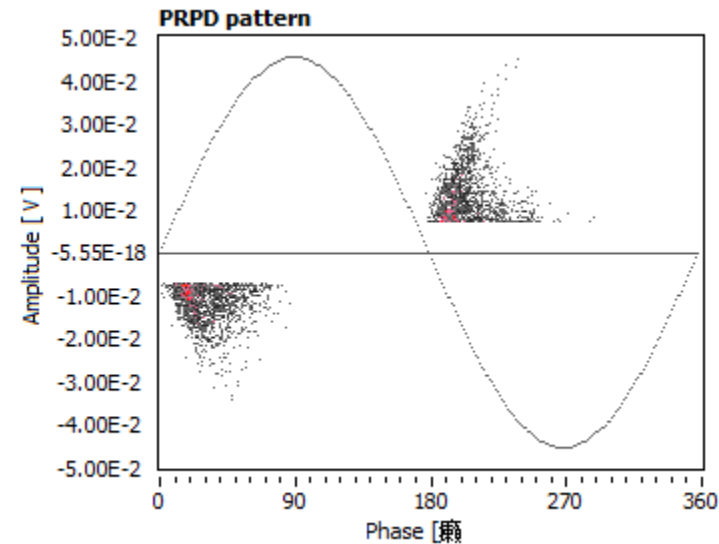
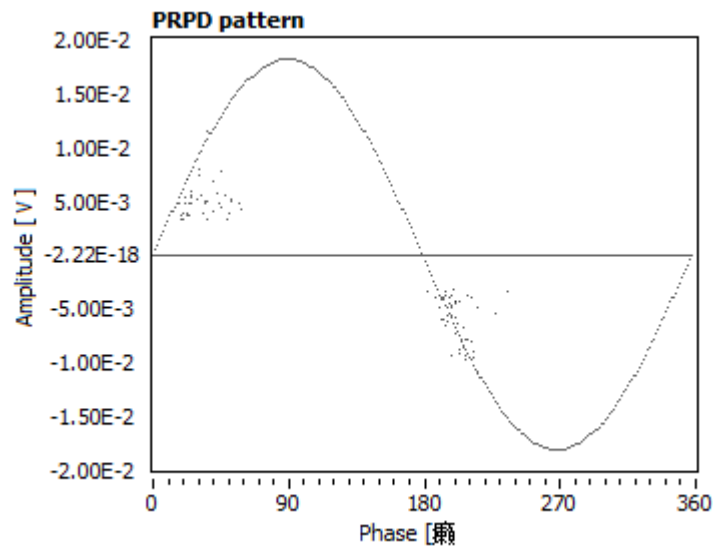
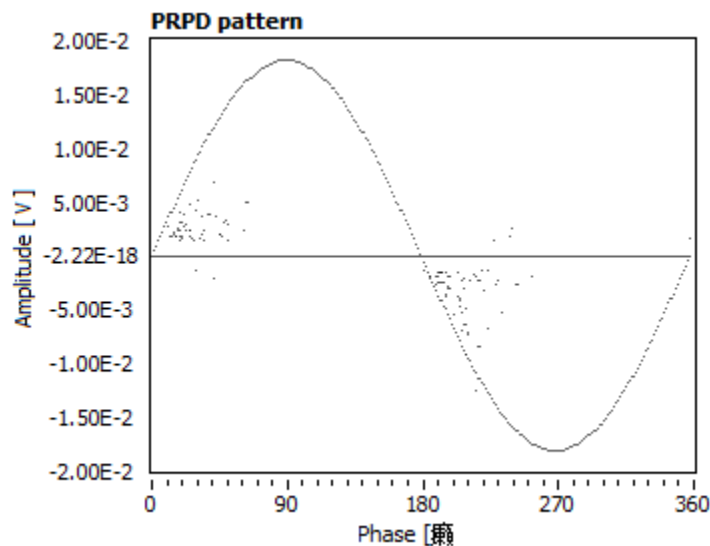
数据分析



- A相最大幅值：1.52V
- B相最大幅值：1.07V
- C相最大幅值：4.97V
- C相极性与A、B相相反

- 放电信号在工频相位的正、负半周均出现；放电发生同步电压的第一、三象限；放电幅值较分散，且放电次数较少；放电图谱不对称。

数据分析



- A相最大幅值：1.52V
- B相最大幅值：1.07V
- C相最大幅值：4.97V
- C相极性与A、B相相反

- 放电信号在工频相位的正、负半周均出现；放电发生同步电压的第一、三象限；放电幅值较分散，且放电次数较少；放电图谱不对称。

依据“Q/GDW 11400-2015
电力设备高频局部放电带电
检测技术现场应用导则”中
表B.1 典型高频局部放电图
谱特征及表B.2 高频局部放
电检测典型图谱判断依据：

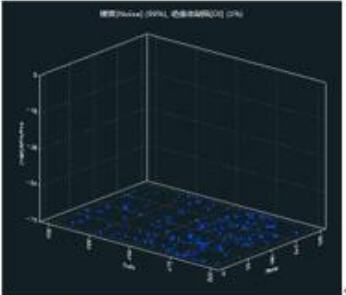
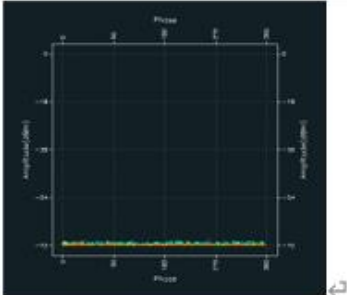
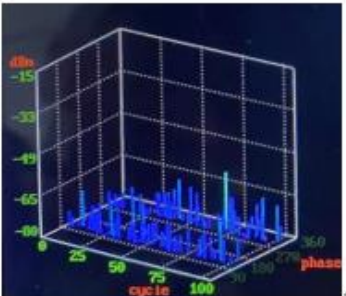
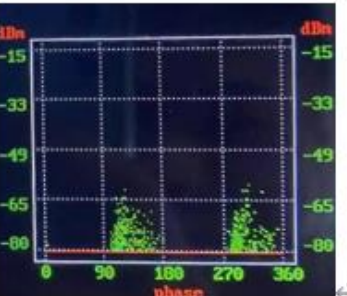
表 B.1 典型高频局部放电图谱特征

	测试结果	图谱特征	放电幅值	说明
正常	无典型放电图谱	没有放电特征	没有放电波形	按正常周期进行
异常	具有局部放电特征 且放电幅值较小	放电相位图谱工频 (或半工频) 相位分布 特性不明显	小于 500mV 大于 100mV，并参考 放电频率	异常情况缩短 检测周期
缺陷	具有典型局部放电 的检测图谱且放电幅 值较大	放电相位图谱具有 明显的工频（或半工 频）相位特征	大于 500mV，并参考 放电频率	缺陷应密切监视，观察 其发展情况，必要时停电 检修。通常频率越低，缺 陷越严重

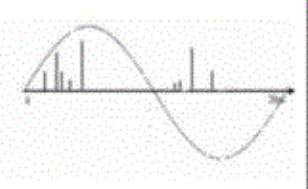
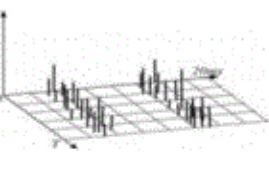
表 B.2 高频局部放电检测典型图谱

放电类型	图谱特征	缺陷分析
电晕放电	见图 B.1	高电位处存在单点尖端，电晕放电一般出现在电压周期的负半周。若低电位处也有尖端，则负半周出现的放电脉冲幅值较大，正半周幅值较小。
内部放电	见图 B.2	存在内部局部放电，一般出现在电压周期中的第一和第三象限，正负半周均有放电，放电脉冲较密且大多对称分布。
沿面放电	见图 B.3	存在沿面放电时，一般在一个半周出现的放电脉冲幅值较大、脉冲较稀，在另一半周放电脉冲幅值较小、脉冲较密。

特高频检测

设备名称	PRPD	PRPS
空气环境		
35kV 311-2 间隔 开关柜		

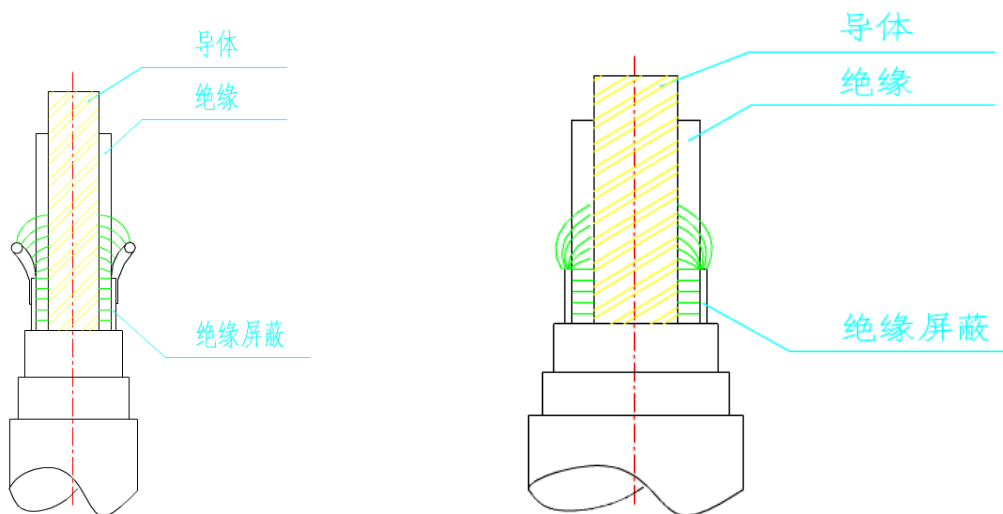
- 每周期有两簇防电信号，相位相差 180° ；
- 放电幅值较分散，且放电次数较少；
- 放电图谱不对称。

沿面放电	绝缘表面金属颗粒或绝缘表面脏污导致的局部放电		
	放电幅值分散性较大，放电时间间隔不稳定，极性效不应明显。		

- 根据“Q/GDW11059.2-2013特高频法局部放电带电检测技术现场应用导则”中附录表D.1

停电消缺

2022年06月08日，311-2间隔进行停电处理检修。
检修过程中发现冷缩终端应力锥错位下移，未搭接在
电缆半导体层部位，没有起到疏散电场集中作用。



应力锥搭接错位(下移)

放电痕迹

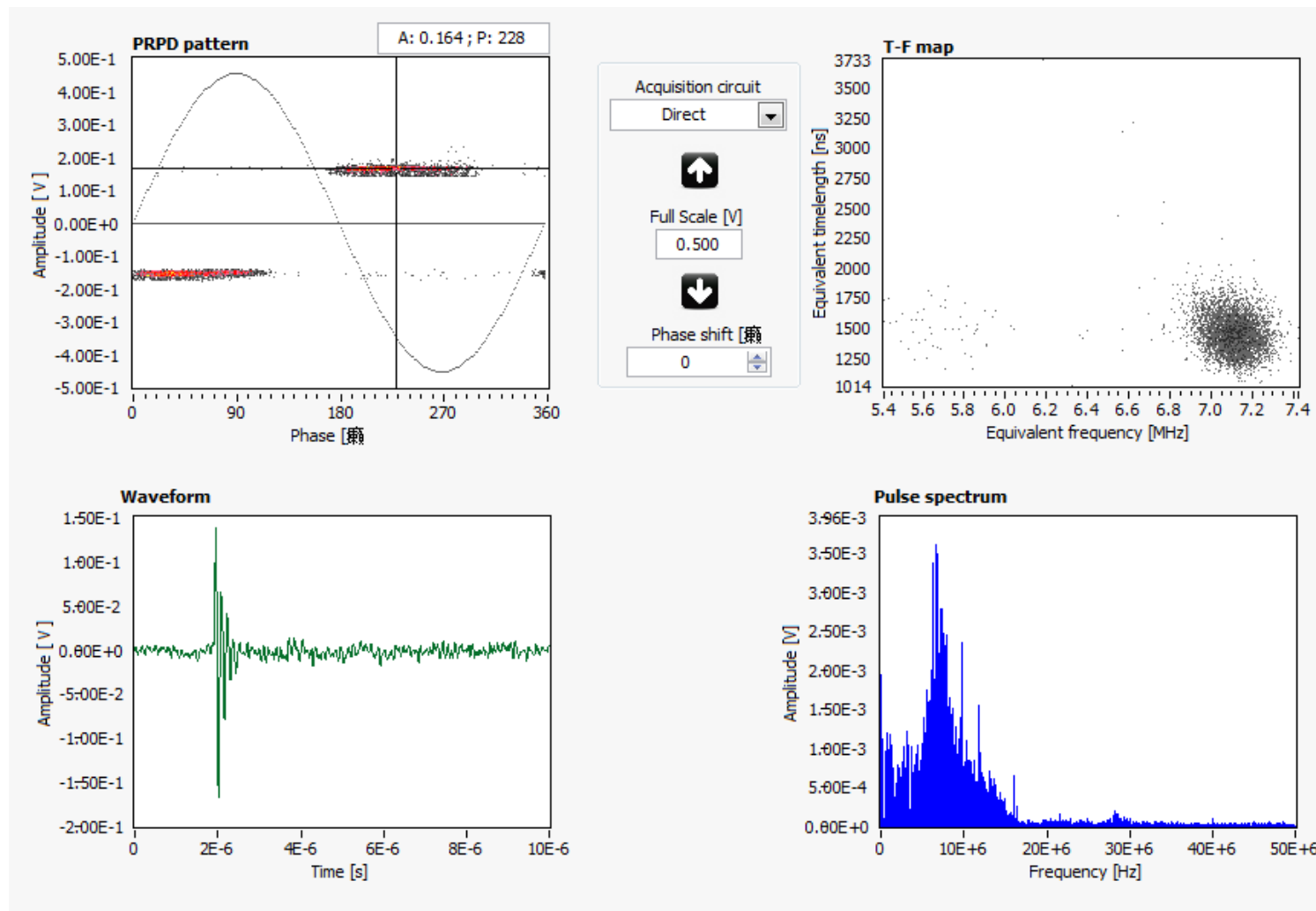
案例三：110kV 电缆终端局放检测

- 检测日期：2022. 10. 18
- 检测地点：110kV户外电缆终端
- 检测单位：天津市津海天源电力技术有限公司
- 检测设备：PD check 、FLIR T660
- 检测部位：电缆终端
- 传感器HFCT卡在电缆单相本体上
- 同步线圈i3000卡在电缆单相本体上
- 缺陷类型：悬浮放电



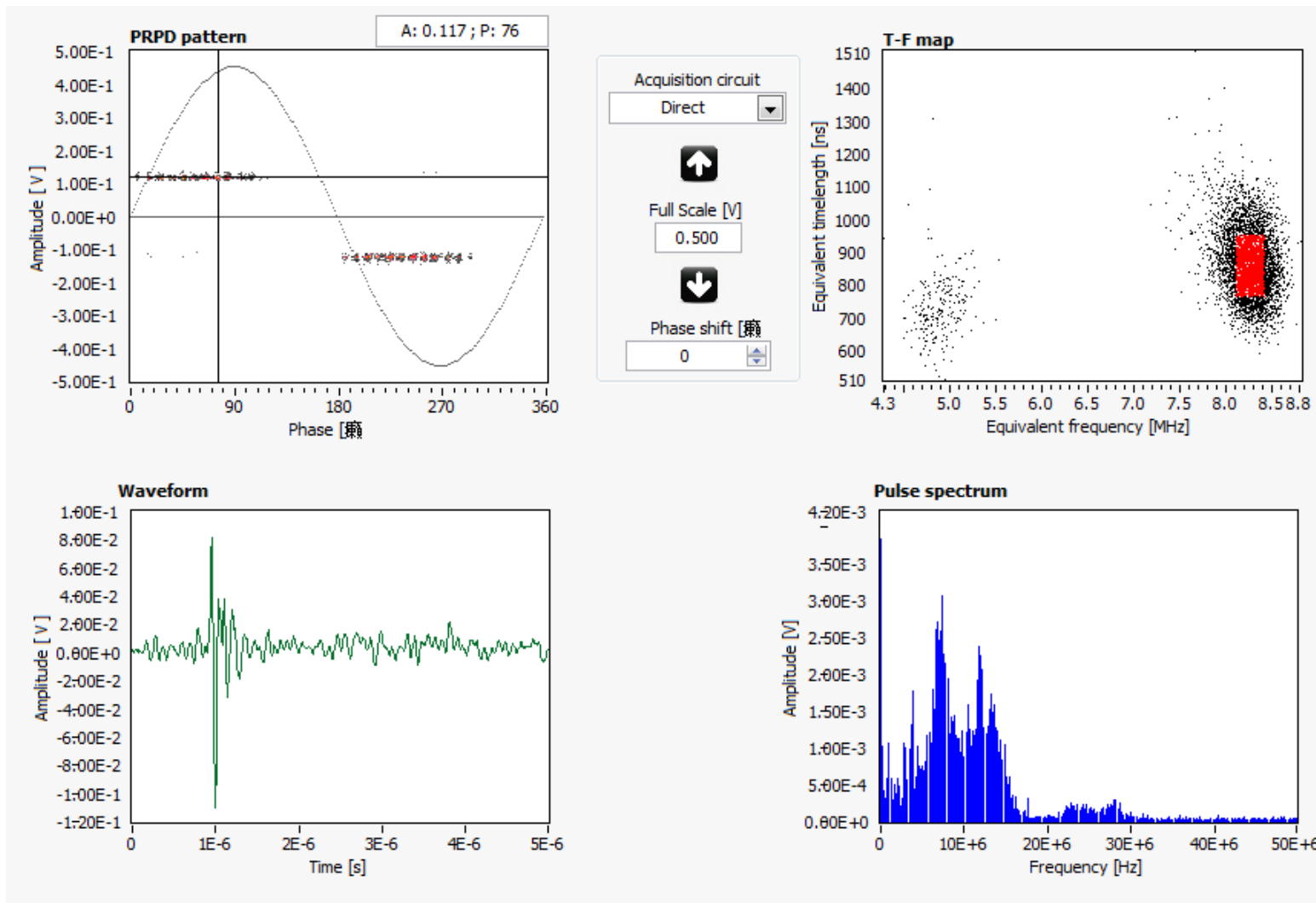
电缆终端A相测试数据

- 采集脉冲数: 5000
- 采集时间: 48.12s
- 重复率: 1.99
- 同步频率: 50.97Hz
- 最大幅值: 0.238mV
- 触发: 0.0070V



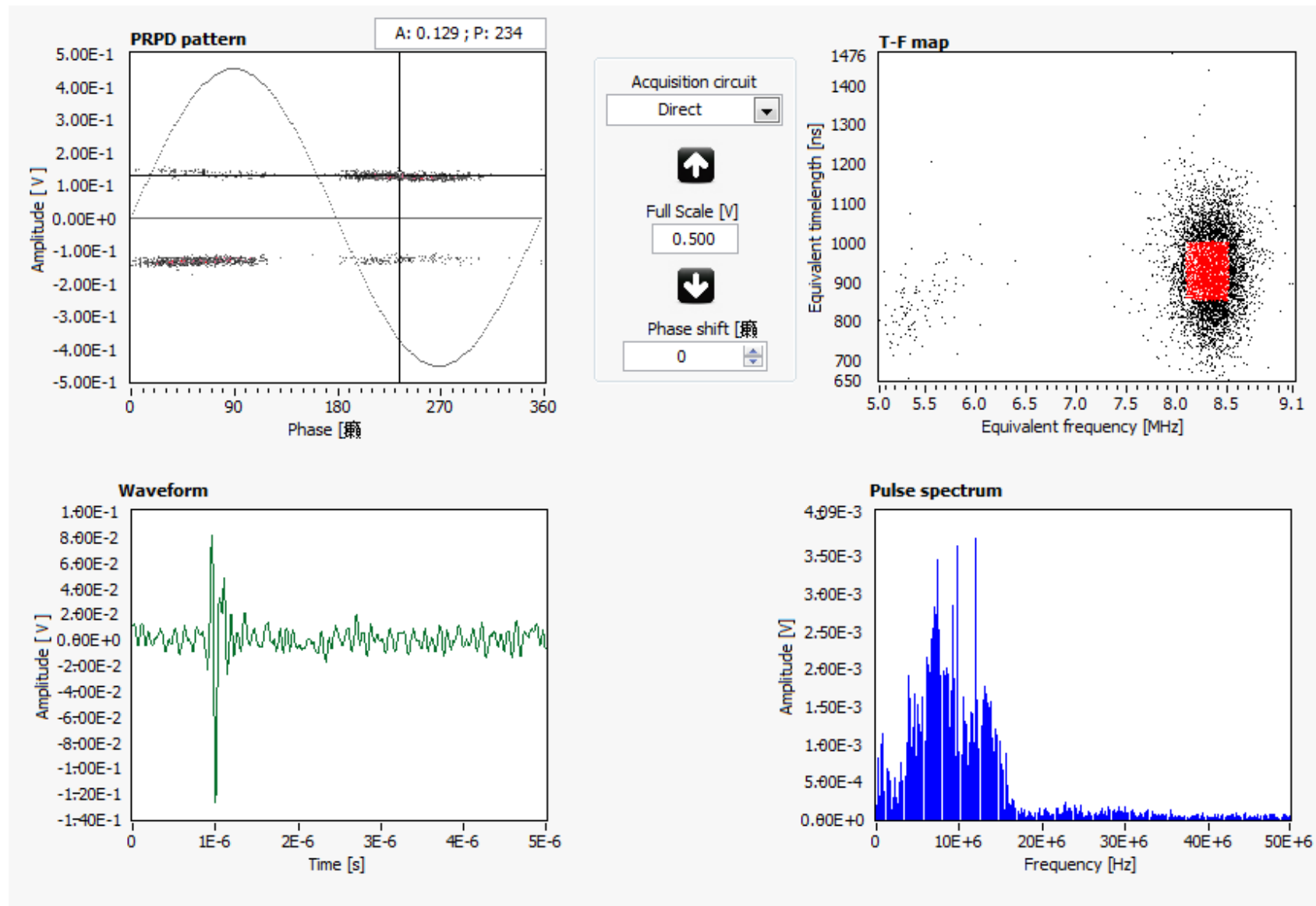
电缆终端B相测试数据

- 采集脉冲数: 4776
- 采集时间: 35.07s
- 重复率: 8.99
- 同步频率: 50.17Hz
- 最大幅值: 0.278mV
- 触发: 0.0059V

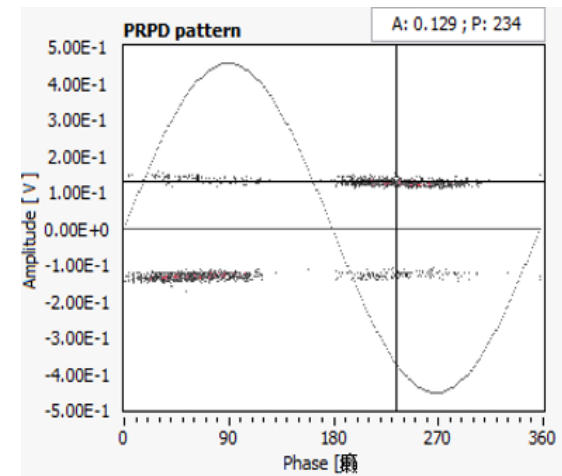
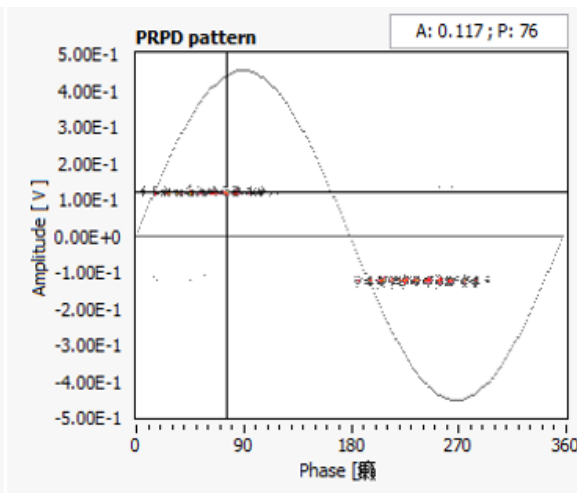
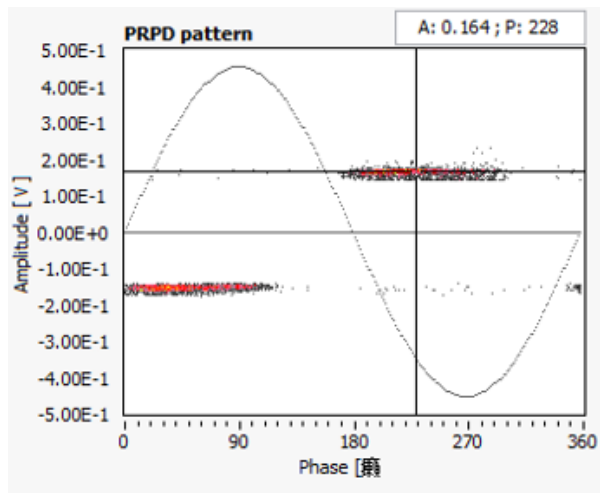


电缆终端C相测试数据

- 采集脉冲数: 5000
- 采集时间: 47.1s
- 重复率: 2.07
- 同步频率: 49.87Hz
- 最大幅值: 0.234mV
- 触发: 0.0070V



测试分析



- A相最大幅值: 0.238mV
- B相最大幅值: 0.278mV
- C相最大幅值: 0.234mV
- B相极性与A、C相相反

A相等效频率: 7.0-7.3MHz
B相等效频率: 8.0-8.7MHz
C相等效频率: 8.0-8.6MHz
B相等效频率较大

放电信号在工频相位的正、负半周均会出现, 且具有一定对称性, 放电信号幅值基本一致且相邻放电信号时间间隔基本一致, 放电次数少, 放电重复率较低。

红外检测验证

对电缆终端进行红外成像检测：

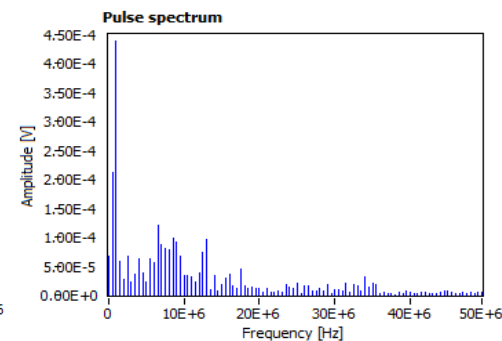
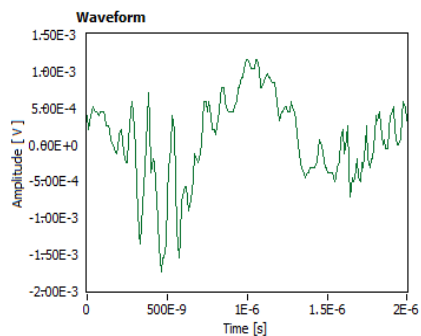
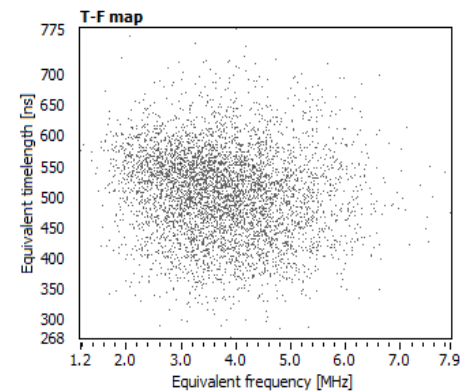
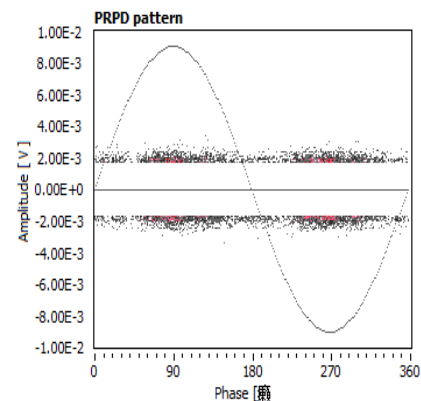
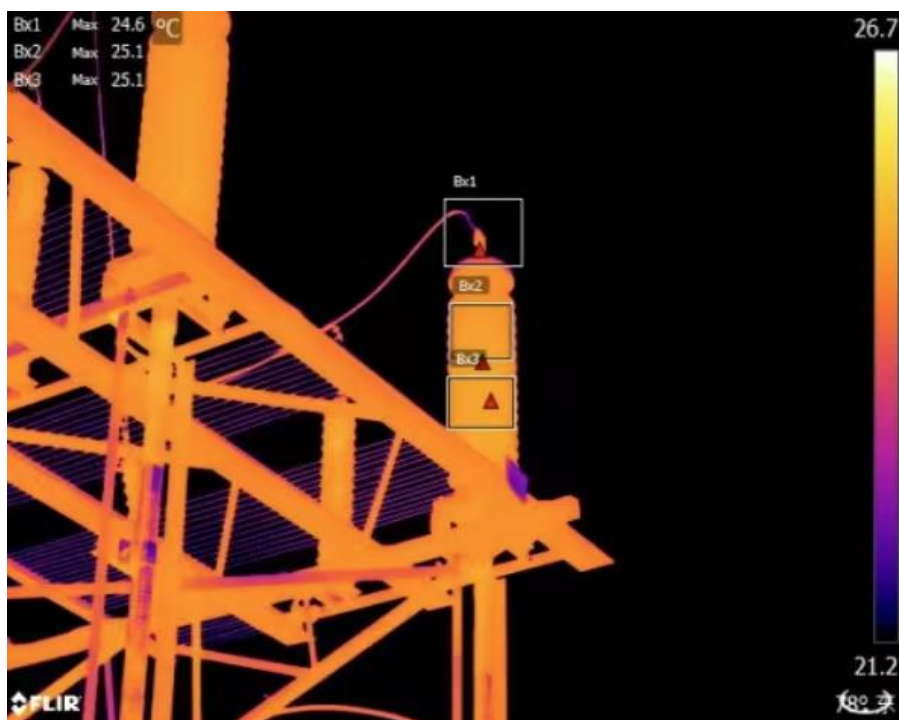
- A相电缆终端接头连接处温度为12.1℃
- B相电缆终端接头连接处温度为91.5℃
- C相电缆终端接头连接处温度为13.7℃
- 设备环境温度为11.1℃
- 相对温差为98.8%
- 根据“DL/T664-2016带电设备红外诊断应用规范”附录H判定为紧急缺陷。

设备类别和部位		热像特征	故障特征	缺陷性质			处理建议	备注
				紧急缺陷	严重缺陷	一般缺陷		
电器设备与金属部件的连接	接头和线夹	以线夹和接头为中心的热像，热点明显	接触不良	热点温度>110℃或 $\delta \geq 95\%$ 且热点温度>80℃	80℃≤热点温度≤110℃或 $\delta \geq 80\%$ 但热点温度未达紧急缺陷温度值	$\delta \geq 35\%$ 但热点温度未达到严重缺陷温度值		δ ：相对温差如图 J.9、图 J.17 所示



停电消缺

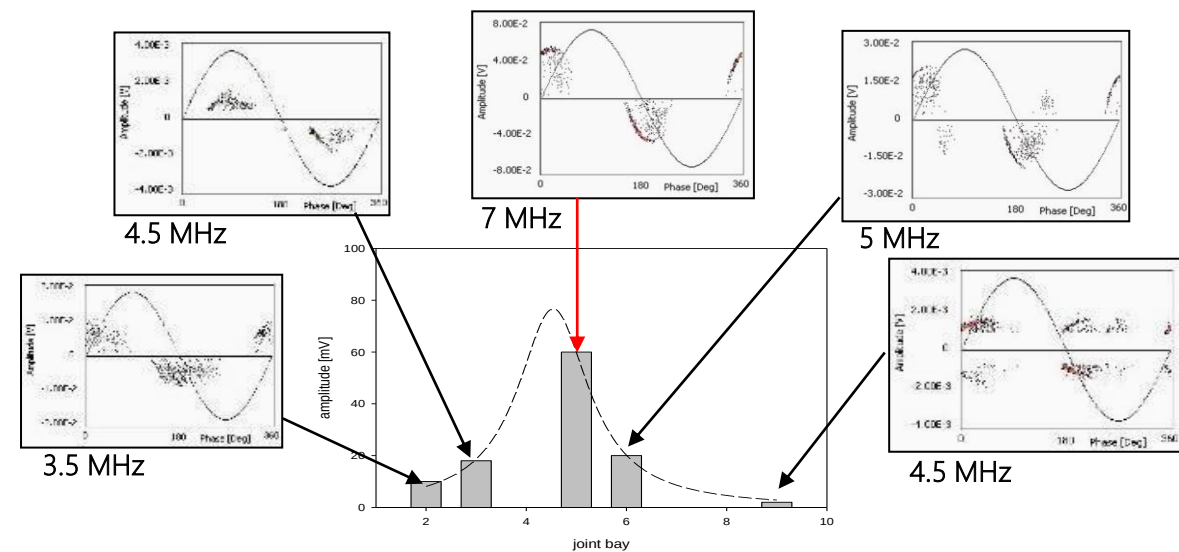
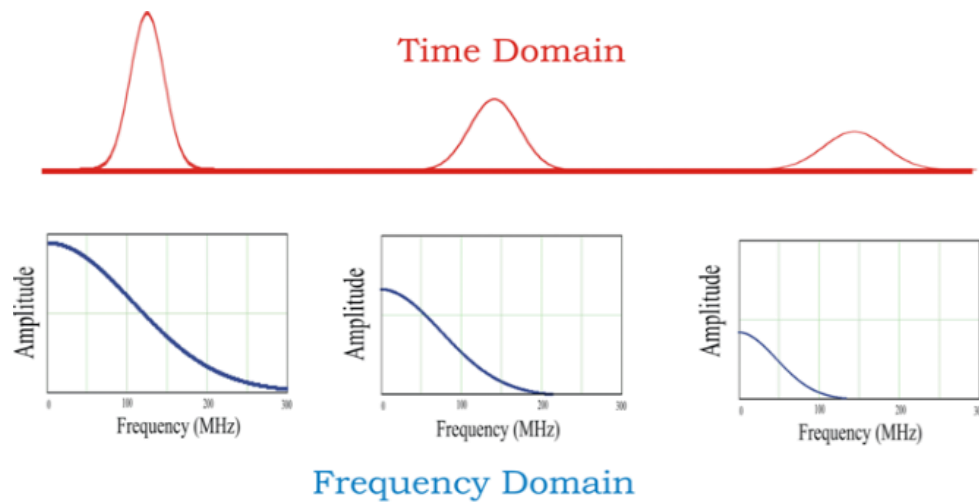
对杆塔进行停电检修，发现B相电缆终端连接螺栓松动，维修紧固之后，进行复测，高频异常信号消失，发现温度正常，缺陷解除。



电缆局部放电故障定位

电缆故障定位技术

T-F map® + 幅频分析



TDR电缆局放定位技术

脉冲的传播

电缆中发生局放后，局放脉冲从局放源会沿着电缆开始向两个方向传播。

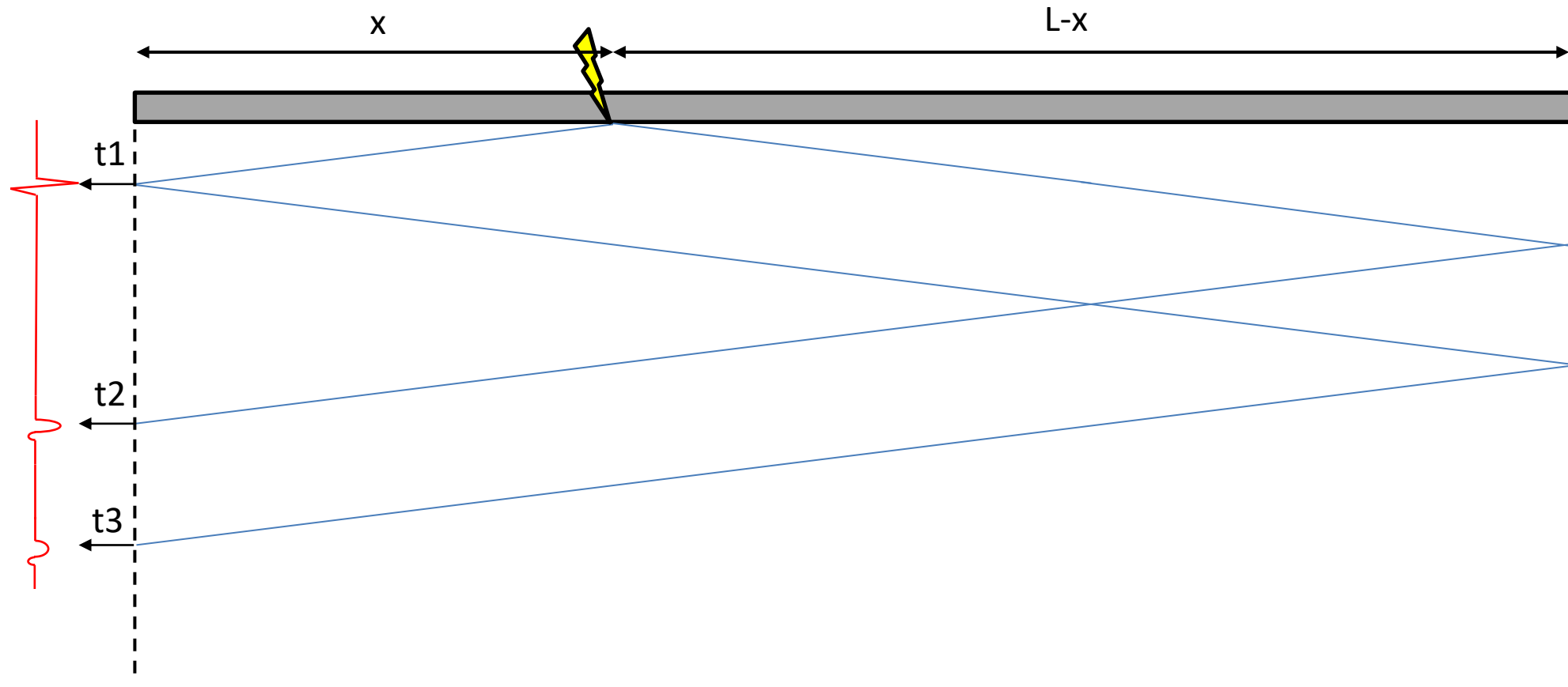
距离公式： $L = V * \Delta t$

L： 电缆长度

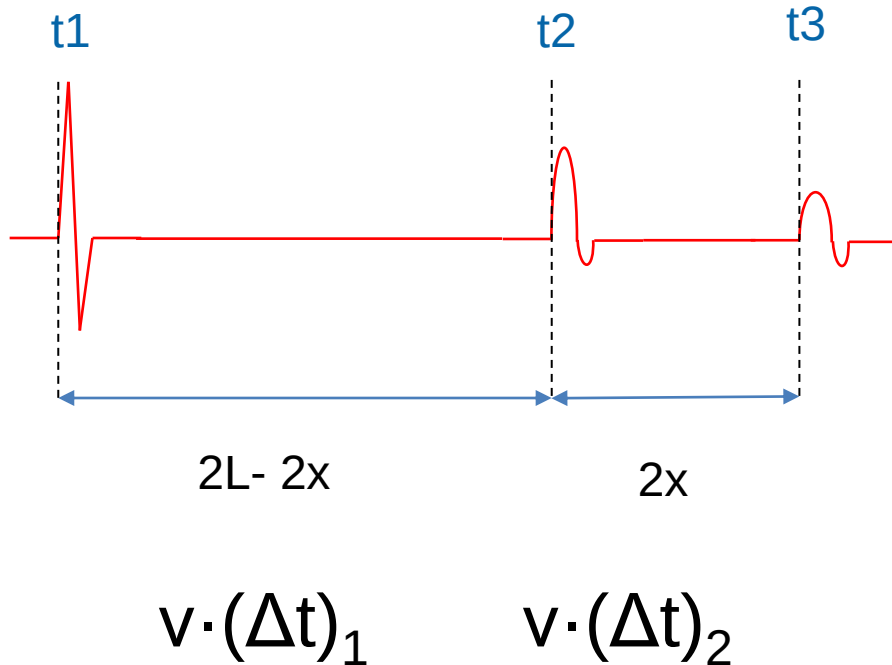
V： 局放脉冲速度

Δt ： 以速度V走过相应距离的时间

局放脉冲的传播和反射



TDR计算公式



L : 电缆的总长度

x : 从测量点到局放源的距离

v : 脉冲传播速度

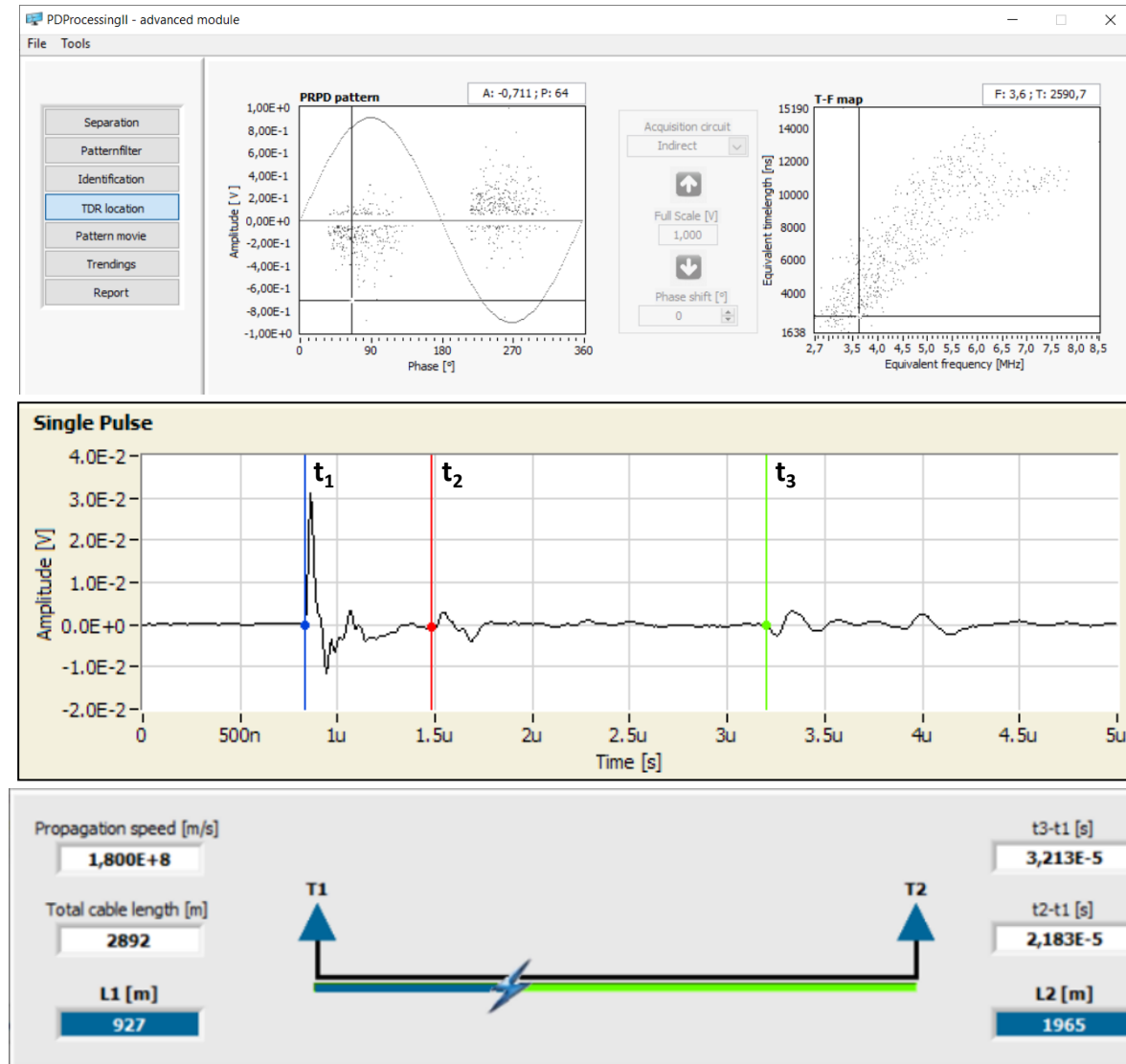
$(\Delta t)_1$: $t_2 - t_1$ 距离 $= (2L - 2x)$

$(\Delta t)_2$: $t_3 - t_2$ 距离 $= 2x$

电缆	速度m/μs
XLPE 10 kV	154 – 160
XLPE 20 kV	164 – 170
XLPE 30 kV	170 – 176
XLPE 60 kV	174 – 176
XLPE 110 kV	174 – 176
XLPE 150 kV	≈ 181
EPR 10 kV	130 -- 134

TDR 电缆故障定位技术

- 准确获取局部放电信号，及其波形信息（采用正确的时间长度 20us）。
- 通过TDR软件计算放电源与检测点之间的距离。



传感器位置

第一次反射时间

第二次反射时间

联系信息

宋智 Hans Song

道波 (Doble)、特因普 (Techimp)、Morgan Schaffer 中国销售经理

Email: Hsong@doble.com

电话: 187 2152 3072



道波、特因普、Morgan
Schaffer 中国微信群



宋智的微信