



wirescan

风电场
电力电缆运维方案

目录

Contents



1 背景介绍

2 传统的检测方法

3 LIRA概述

4 LIRA分析软件

5 LIRA现场案例

目录

Contents

1 背景介绍

背景

风电场输变电路包括风电场内的架空线路、电力电缆，是风电场重要的组成部分。可以说，输变电路的健康稳定是风电场安全运行的重要保障。近年来，随着风电场投入运行的年限增长，输变电路的故障次数明显增多，特别是电力电缆的故障频发，对发电量造成了不可忽视的损失。因此，为了有效减少发电量损失，有必要对电力电缆的常见故障进行梳理，分析其原因和解决方案。进而提出行之有效的故障预防和检修方法的改进措施，为风电场提高发电量做出有效贡献。

国家智能电网持续在发展，从电缆全寿命管理角度出发，已经从传统的耐压试验方法上升到状态检修，目前最为有效的电缆整体状态评估方法为介损老化状态评价，而评价仅仅只是做了电缆的“体检”，检测到但无法解决隐患。因此基于电缆线性阻抗测试的方法应运而生，在频域下发现影响电缆整体或局部的缺陷问题：局部放电、高低阻故障、水树缺陷、进水受潮、机械损伤等。



电力电缆常见故障及原因	
直接外力破坏导致的损伤	1. 道路施工; 2. 山体滑坡导致电缆外皮损伤; 3. 由于运输过程中的不规范操作造成损伤; 4. 在施工中电缆受到的机械牵引力过大, 电缆弯曲过大。
电缆敷设的施工工艺	1. 线路敷设时; 2. 电缆头制作工艺; 3. 电缆沟机械回填时。
绝缘层受潮	1. 分接箱或对接箱的结构不严密; 2. 电缆本身存在质量问题 (材质问题) ; 3. 电缆护套被异物 (如石头、颗粒) 刺穿、或被化学腐蚀。
绝缘老化变质	1. 电缆的温升常常导致电缆的绝缘胶层受到破坏; 2. 电力电缆长期在电和热的长期作用下产生物理性变化; 3. 地下土壤的酸碱性等自然因素长期对电缆绝缘外套造成的腐蚀。

电缆故障原因



目录

Contents

② 传统的检测方法

振荡波局放
超低频介损
电缆外护套测试
串联谐振

传统的检查 方法





宽频阻抗谱检测

LIRA ACQUIRE技术起初是由核电站电缆检测和状态评估方法的需求而提出的，使用AC 5V扫频信号技术，不会损坏电缆的任何部分或与电缆连接的任何设备。是一款便携式电缆综合诊断测试系统，硬件与WS软件结合，形成了强大的电缆状态评估和缺陷定位系统，适用于任何电压等级，长度3m ~ 300 km的电缆测试。它包括三个测量端口，可以保证用户在停电状态但不断开任何设备的情况下进行测量。

目录

Contents

3 LIRA概述

LIRA概述



宽频阻抗技术是基于传输线理论，通过线路阻抗作为应用信号频率函数的计算和分析，测量出电缆的长度、接头位置、阻抗变化异常点。该技术目前拥有3项国外专利, 可以检测由于恶劣的环境条件(高温、湿度、辐射、故障)引起的电缆绝缘的整体老化，并检测绝缘材料因机械冲击或局部异常环境条件而发生的局部缺陷。

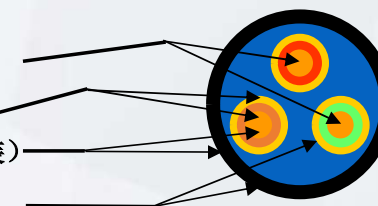


conductor – conductor (导体间)

conductor – screen (导体-屏蔽)

conductor – steel armour (导体-铠装)

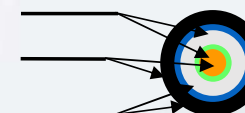
screen – steel armour (屏蔽-铠装)



conductor – lead sheath (导体-护套)

conductor – steel armour (导体-铠装)

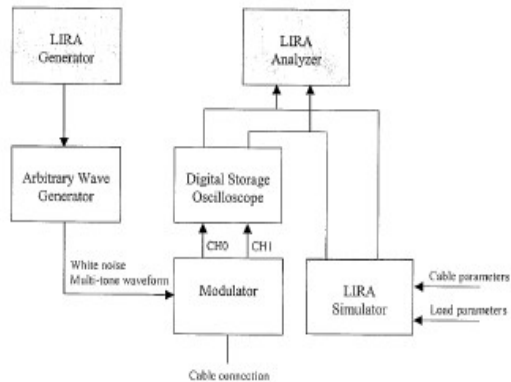
lead sheath – steel armour (护套-铠装)



LIRA技术专利

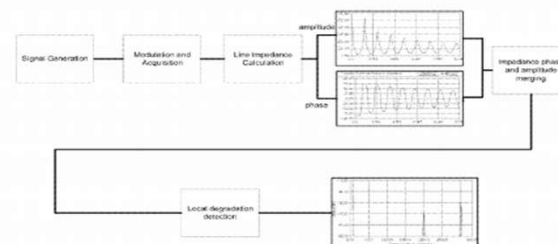
专利一

	
US 20090228222 A1	
(19) United States	
(12) Patent Application Publication	(10) Pub. No.: US 2009/0228222 A1
Fantoni	(43) Pub. Date: Sep. 10, 2009
(54) LINE RESONANCE ANALYSIS SYSTEM	
Related U.S. Application Data	
(60) Provisional application No. 60/722,450, filed on Oct. 3, 2005.	
Publication Classification	
(51) Int. Cl. <i>G01R 31/08</i> (2006.01) <i>G01R 1/00</i> (2006.01)	
(52) U.S. Cl. <i>702/59</i>	
ABSTRACT	
The present invention provides a method for monitoring a condition of an electrical cable, the method comprising providing a reference signal CH0 and a signal CH1, said signal CH1 being the reference signal CH0 after amplitude and phase modulation by a cable impedance Z_{DECT} of the electrical cable; calculating the cable impedance Z_{DECT} as a function of the applied signal frequency based on the reference signal CH0 and the signal CH1; and analyzing said cable impedance providing an assessment of the cable condition. A system performing the method is also disclosed.	
(21) Appl. No.: 11/992,928	
(22) PCT Filed: Oct. 3, 2006	
(86) PCT No.: PCT/NO2006/000337	
§ 371 (c)(1), (2), (4) Date: Jul. 22, 2008	



专利二

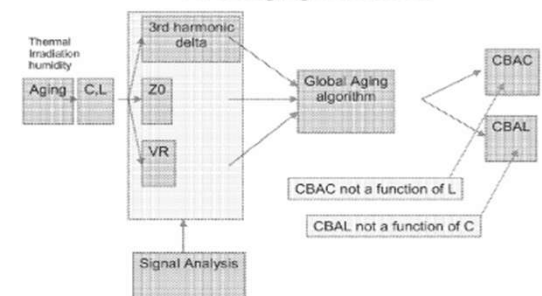
	
US 7,966,137 B2	
(12) United States Patent	
Fantoni	
(10) Patent No.: US 7,966,137 B2	
(45) Date of Patent: Jun. 21, 2011	
(54) LINE RESONANCE ANALYSIS SYSTEM	
References Cited	
U.S. PATENT DOCUMENTS	
4,077,023 A * 2/1978 Boyd et al. 333/147 4,307,267 A 12/1981 Peoples 324/605 4,630,228 A 12/1986 Farzy-Hornoch et al. 702/59 2004/0039976 A1 2/2004 Gunther et al. 714/742 2005/0057259 A1 3/2005 Hornsby et al. 324/512	
(75) Inventor: Paolo F. Fantoni, Genoa (IT)	
(73) Assignee: Wirescan AS, Halden (NO)	
(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 326 days.	
(21) Appl. No.: 11/992,928	
(22) PCT Filed: Oct. 3, 2006	
(86) PCT No.: PCT/NO2006/000337	
§ 371 (c)(1), (2), (4) Date: Jul. 22, 2008	
(87) PCT Pub. No.: WO2007/040406 PCT Pub. Date: Apr. 12, 2007	
Prior Publication Data	
US 2009/0228222 A1 Sep. 10, 2009	
Related U.S. Application Data	
(60) Provisional application No. 60/722,450, filed on Oct. 3, 2005.	
(51) Int. Cl. <i>G01R 31/08</i> (2006.01)	
(52) U.S. Cl. <i>702/59</i>	
(58) Field of Classification Search 702/60, 72, 76-77, 90, 96, 106, 142, 182, 702/183; 331/44-46, 60, 333/147 See application file for complete search history.	
OTHER PUBLICATIONS	
International Search Report mailed Feb. 2, 2007 for International Application No. PCT/NO06/000337. International Preliminary Report on Patentability mailed Dec. 20, 2007 for International Application No. PCT/NO06/000337. * cited by examiner	
Primary Examiner — Mohamed Charoui (74) Attorney, Agent, or Firm — Wenderoth, Lind, Ponack, L.L.P.	
ABSTRACT	
The present invention provides a method for monitoring a condition of an electrical cable, the method including: providing a reference signal CH0 and a signal CH1, the signal CH1 being the reference signal CH0 after amplitude and phase modulation by a cable impedance Z_{DECT} of the electrical cable; calculating the cable impedance Z_{DECT} as a function of the applied signal frequency based on the reference signal CH0 and the signal CH1; and analyzing the cable impedance providing an assessment of the cable condition. A system performing the method is also disclosed.	
6 Claims, 5 Drawing Sheets	



专利三

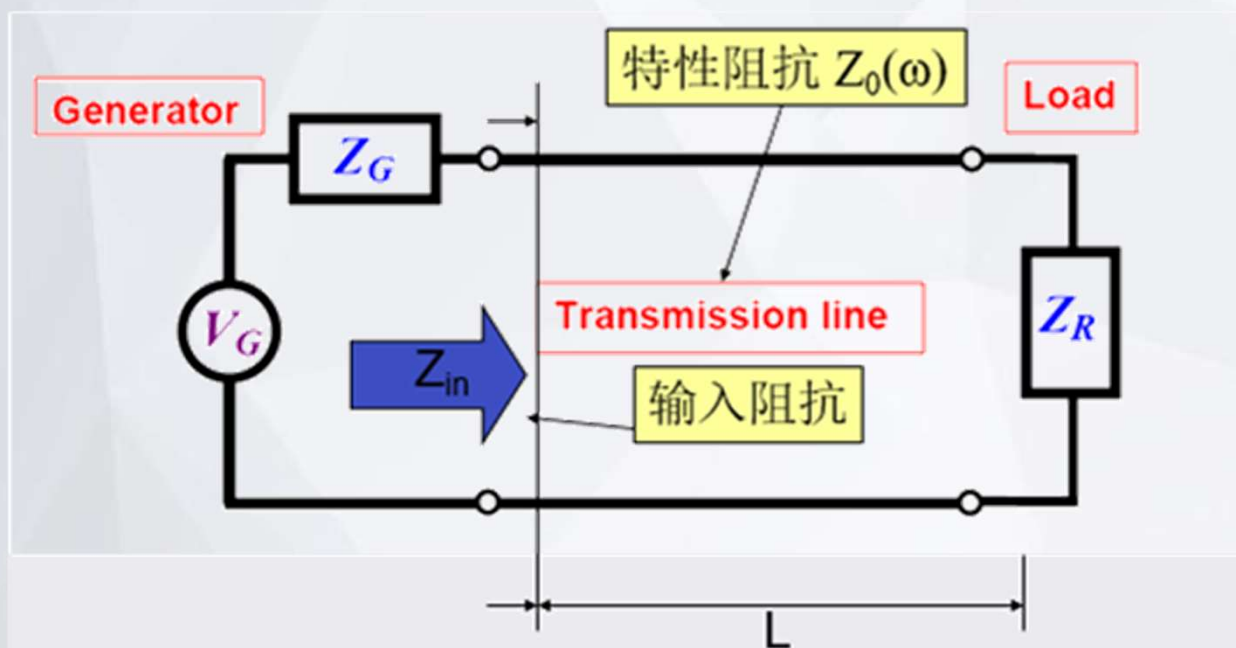
	
US 20150253370 A1	
(19) United States	
(12) Patent Application Publication	
Fantoni	
(10) Pub. No.: US 2015/0253370 A1	
(43) Pub. Date: Sep. 10, 2015	
(54) METHOD AND SYSTEM FOR MONITORING A CONDITION OF ELECTRICAL CABLES	
Publication Classification	
(51) Int. Cl. <i>G01R 31/02</i> (2006.01) <i>G01R 27/04</i> (2006.01)	
(71) Applicant: WIRESCAN AS, Vinterbro (NO)	
(72) Inventor: Paolo Franco Fantoni, Genova (IT)	
(21) Appl. No.: 14/437,977	
(22) PCT Filed: Oct. 23, 2013	
(86) PCT No.: PCT/NO2013/050182 § 371 (c)(1), (2) Date: Apr. 23, 2015	
Foreign Application Priority Data	
Oct. 24, 2012 (NO) 20121245	
ABSTRACT	
A method and a system are described for monitoring a condition of an electrical cable. The method comprises applying a broadband signal wave to a first end of the electrical cable, wherein the broadband signal wave is phase and amplitude modulated and acquiring the phase and amplitude modulated broadband signal wave transmitted and reflected by the electrical cable. Signal analyses is performed which results in establishing a relationship between a real and an imaginary part of a phase impedance spectrum Fourier transform of the power spectrum in an interval around at least one of the locations along the cable, and identifying impedance changes in these locations. Analyzing a second order reflection of the broadband signal in said identified fault locations may establish a local degradation severity of an identified fault in the cable insulation in at least one of the locations along the cable.	

Isolation of the effects of C and L on the LIRA aging indicators



Line Impedance Resonance Analysis

线性阻抗谐振分析

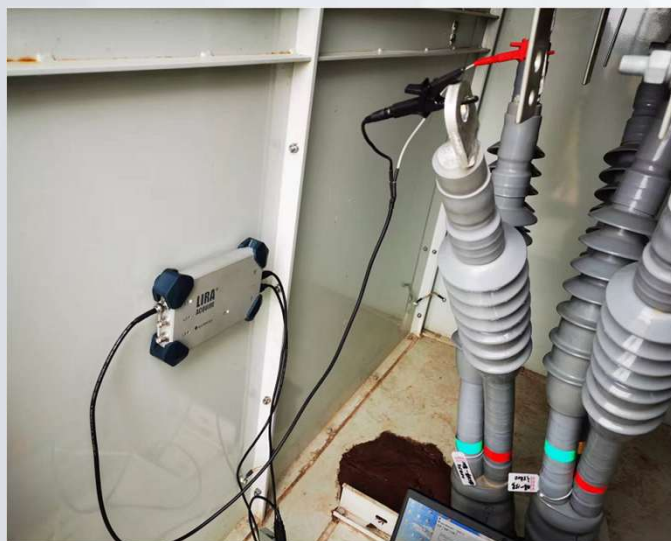


基于宽带频率域分析方法，对传输线的高频谐振效应进行分析。

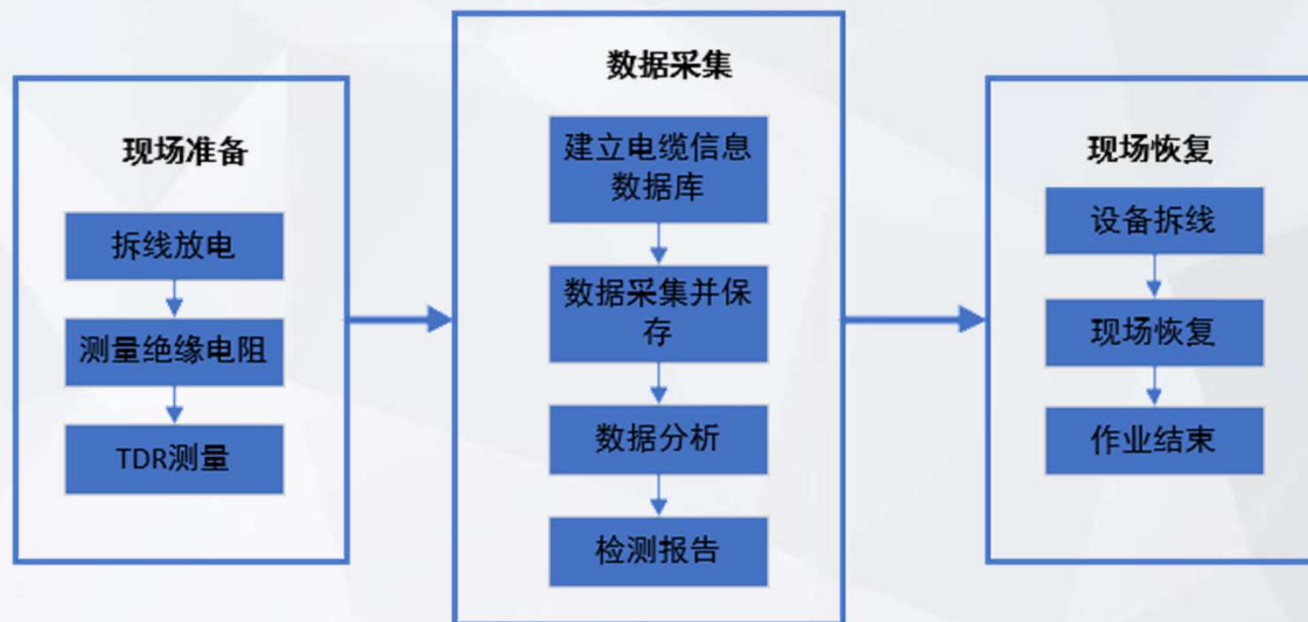
分析电缆状态的重要指标(介电常数)。

测量两个导体之间阻抗的不均匀性。

LIRA现场接线及操作流程



现场接线图



操作流程

检测

电容、阻抗以及各种
因素影响电缆绝缘变
化

01

发现

进水、受潮、局放及
高低阻故障快速定位

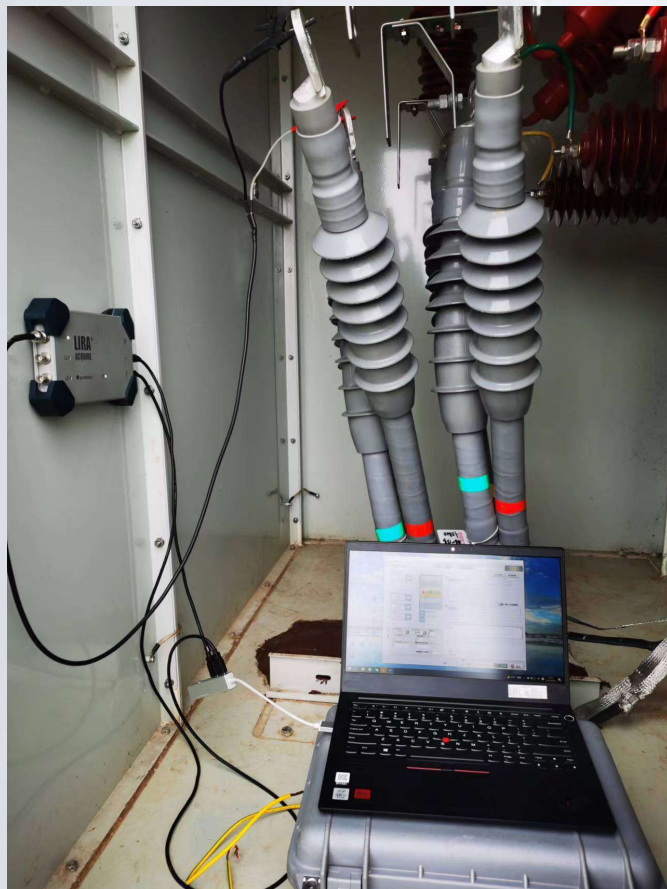
02

预测

运行状态评估、细微
缺陷的发展趋势

03

与传统的检测方法比较



检测	LIRA	其他设备
现场接线	如左图所示，现场接线简单，设备小巧	接线复杂，需要众多附件支持，现场空间需求严格
检测模式	输出电压仅低压5V扫频信号，对电缆无损伤	持续或瞬间高电压输出，绝缘电阻较高会激发缺陷变大，绝缘电阻较低容易导致电缆击穿
电源需求	自带笔记本USB口或充电宝即可供电，无需外接电源	现场需要市电电源或发电机供电，也可携带大功率的移动电源
便携性	设备尺寸相当于一台掌上电脑，加上笔记本电脑即可完成检测工作	高压设备由于加压和原理的限制，导致设备较为笨重，现场至少需要两人完成设备转移和检测工作
检测时间	检测和接线较为方便，时间15-30分钟即可完成对一条线路的数据采集	由于设备较为笨重，接线复杂，如果完成一条线路检测则需要2-3个小时
设备重量	设备重量相当于一台平板电脑，携带方便	设备体积较大，设备较重，需要专用的车辆进行设备转移
试验安全性	由于电压输出仅为5V，故无需担心试验期间人员安全问题	输出电压高，现场需要保持安全距离，且需要放电
人员需求	单人即可完成数据采集分析	由于设备重量体积的原因，至少需要两人进行辅助

LIRA现场应用



电缆接头
局放缺陷
定位



电缆终端
局放定
位



机械损伤
(弯曲过度)



长电缆接头
快速定位

高阻故障
快速定位



电缆水
树定位



电缆受潮
放电接头
定位



电缆老化
状况评估

LIRA设备特点



设备特点:

- AC 5V扫频信号,对电缆无损害。
- 体积小重量轻,便于携带。
- 对电缆线芯材质、尺寸、长度、电压等级、绝缘状况等没有要求。
- 现场接线方便,多种检测模式 (fast,avg,noise,long)。
- 检测时间短(5 ~ 15分钟),故障定位误差优于0.3%。
- 软件自带数据库管理功能, 可以将测试数据分类管理。
- 电缆进水、受潮、局放及高低阻故障点快速检测并定位。

LIRA设备特点



设备功能对比:

	OWTS振荡波	超低频介损	电缆故障定位	LIRA
水入侵		●		●
水树枝定位				●
局放定位	●			●
局放	●	●		●
老化评估	●	●		●
低阻故障			●	●
高阻故障			●	●

LIRA技术参数



序号	参数名	值	序号	参数名	值
1	频率范围	0.1M~100MHz	9	湿度	≤80% (RH)
2	输出测量电压	AC 5V	10	海拔	≥3000m
3	测试电缆长度	3m-300km	11	IMP幅值图	BS%可手动或自动调节/100dB
4	适用电压等级	6kV-500kV	12	IMP相位图	零相位补偿功能
5	故障定位精度	0.30%	13	DNORM	阈值5%可调
6	接口	USB接口/网口	14	仿真	具备电缆阻抗谱仿真功能
7	电源	AC 220V / DC 5V	15	诊断	具备供远程诊断功能
8	操作与存储温度	(-25℃~+50℃)	16	数据库	软件自带数据库管理功能，可以将测试数据分类管理

Contents

目录

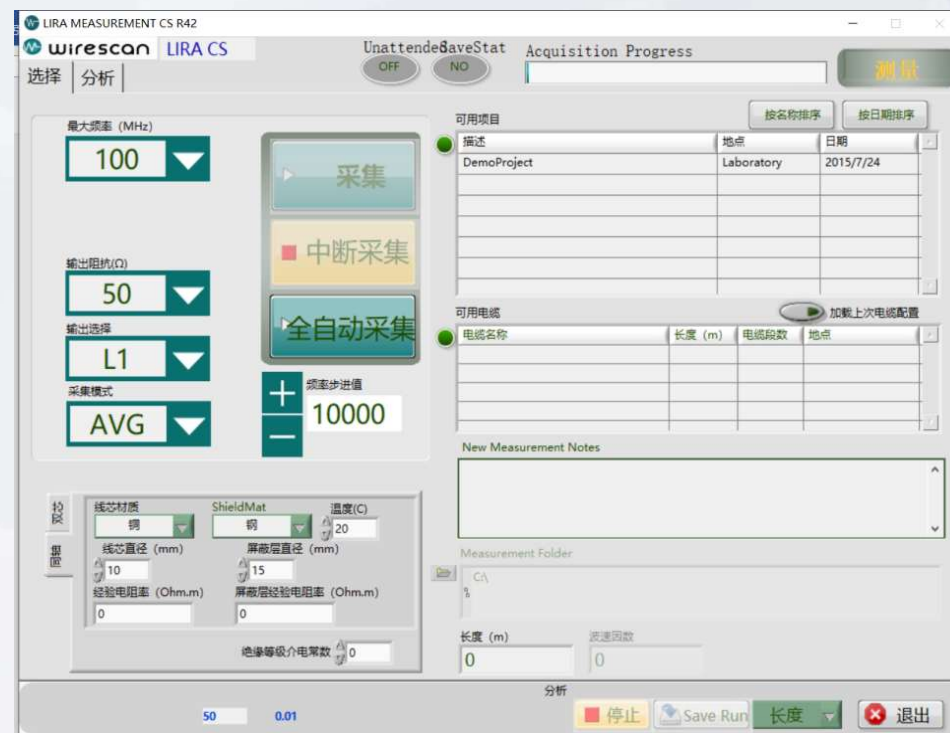
4 LIRA分析软件

LIRA分析软件



软件主界面

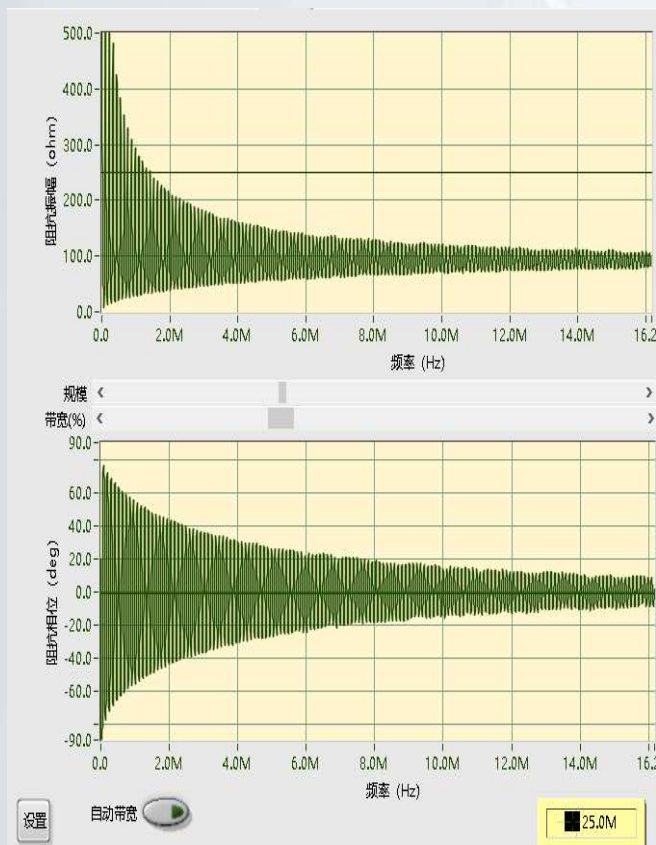
数据分析测量，数据库管理及导出数据等功能。



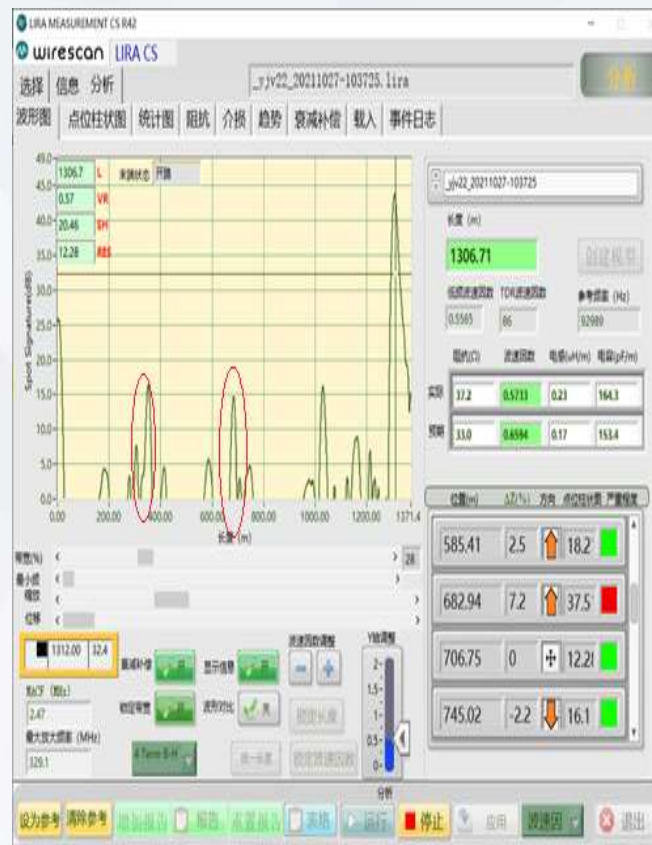
软件采集窗口

选择采集端口，设置采集模式，填写数据备注，开始及结束测量。

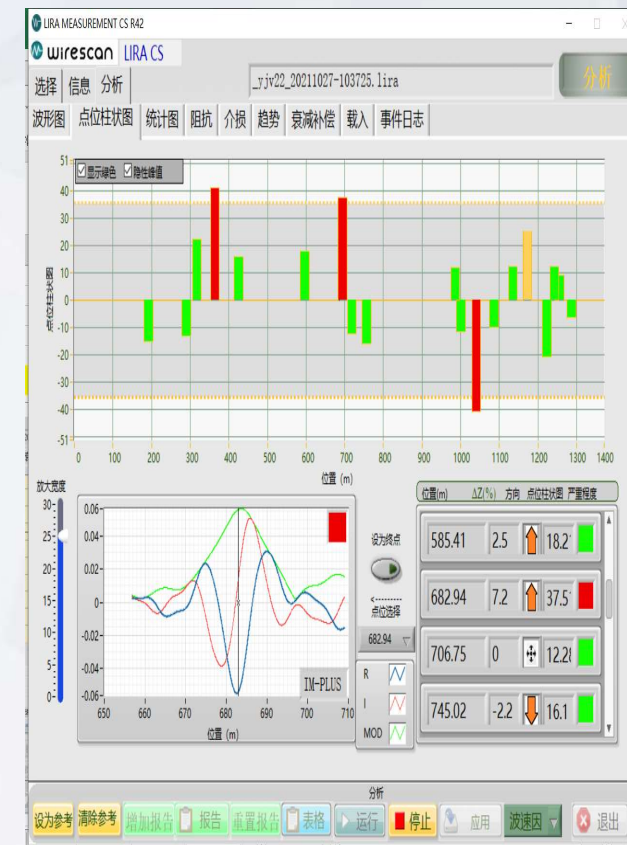
LIRA分析软件



幅值和相位图
电缆阻抗幅值曲线应于0线居中对称



阻抗波形图
分析电缆阻抗波形异常点



点位柱状图
分析电缆接头阻抗极性变化情况

目录

Contents

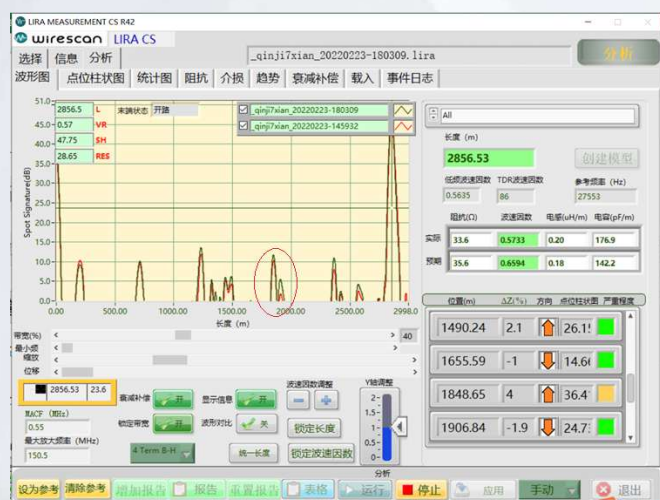
5 LIRA现场案例

案例一:高阻故障快速定位

时间	2022.2.23		
地点	湖北		
用户	湖北**风电场		
测试目的	了解设备操作及缺陷定位准确性，并进行验证		
测试设备	LIRA		
测试线路名称	35kV***线电力电缆		
电缆长度	2851m		
接头数量	5个		
电缆绝缘	A	B	C
	69M	168M	70M
采集数据时长	15-30min		
出具报告时长	30min		

案例一:现场采集数据分析

在分析过程中,客户在进行耐压实验时,将电缆击穿,需要寻找击穿点。



击穿前后数据对比,红色为击穿前波形,绿色为击穿后波形



点位柱状图

通过阻抗图谱判定:在距测试端1843m接头存在阻抗波形异常变化,且幅值较大,建议及时处理。

案例一:现场电缆接头解体

对1843m处接头解体时，现场照片



结论:客户经过较长时间的加压后，在1843米接头处听到明显放电声并发生击穿现象；现场解体后发现接头存在明显绝缘缺陷，与阻抗谱结论一致。

案例二:长电缆多接头快速定位+接头进水

时间	2022.2.24		
地点	福州		
用户	福州**公司		
测试目的	计划检修维护		
测试设备	LIRA		
测试线路名称	10kV ***电力电缆		
电缆长度	3960m		
接头数量	8个		
			
电缆绝缘	A	B	C
	16.7M	66.9M	56M
采集数据时长	15-30min		
出具报告时长	30min		

案例二:现场数据分析



阻抗波形图



点位柱状图

现场情况:用户反馈此电缆0-1000米是新电缆, 3000米以后每个接头都已经抢修, 这2段电缆存在故障的概率较低, 主要分析1000-3000米的电缆问题。

通过阻抗图谱判定:电缆在距测试端2222m, 2825m接头处阻抗波形存在明显畸变的情况, 且幅值相对较大, 疑似为绝缘缺陷, 建议优先处理。

结论:经现场巡查, 确认在距测试端2222, 2825米处为电缆接头, 现场解体后发现明显缺陷问题, 与阻抗谱检测结论一致。

案例二:现场电缆接头解体

对2222m处接头解体时,发现电缆接头有明显进水情况,现场图片



解体后绝缘

	A	B	C
0-2222m	500M	500M	500M
2222-3960m	28.1M	86.1M	56M

案例二:现场电缆接头解体

当对2825m接头解体时，现场图片



解体后绝缘

	A	B	C
2222-2825m	100G	100G	100G
2825-3960m	300M	701M	550M

案例三:电缆终端头局放定位

时间	2021.12.6		
地点	福州		
用户	福州**公司		
测试目的	计划检修维护 实验中A相在加压过程中击穿，需要找出击穿点		
测试设备	LIRA		
测试线路名称	10kV**电力电缆		
电缆长度	197		
接头数量	1		
采集数据时长	15-30min		
出具报告时长	30min		

案例三:现场数据分析



阻抗波形图



点位柱状图

通过阻抗图谱判定：在距测试端181m处存在阻抗畸变，应为击穿点。

案例三:现场解体照片

197m处终端解体，现场照片



结论：现场巡查后发现，197m处终端头有明显局放击穿现象应为击穿点，与阻抗谱结论一致。

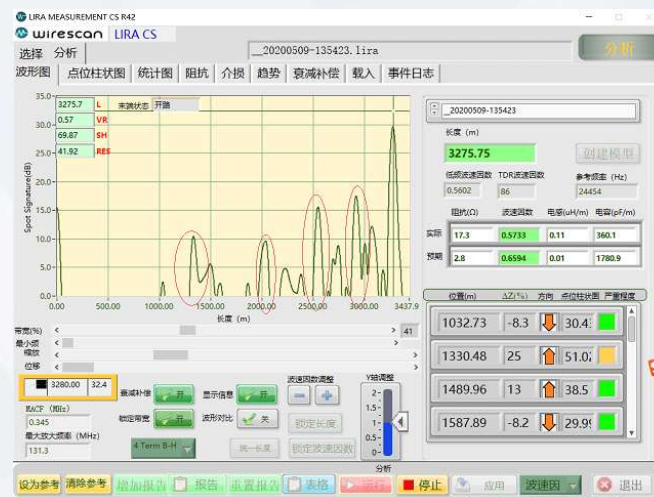
案例四:电缆接头受潮定位

时间	2020.5.9		
地点	福州		
用户	福州**公司		
测试目的	客户第一次接触该设备，想要了解设备操作及缺陷定位情况		
测试设备	LIRA		
测试线路名称	10kV**电力电缆		
电缆长度	3280m		
接头数量	7个		
			
电缆绝缘	A	B	C
	61M	18M	30M
采集数据时长	15-30min		
出具报告时长	30min		

案例四:现场采集数据分析



现场采集图片



阻抗波形图



点位柱状图

通过阻抗图谱判定:电缆在距测试端1331米、2012米、2556米和2920米, 阻抗波形均存在畸变现象, 疑似为绝缘缺陷, 建议及时处理。

结论:经现场巡查解体后发现, 电缆1331, 2012, 2556, 2920米接头处存在明显绝缘缺陷问题, 与阻抗谱结论一致。

案例四:现场接头解体照片

1331米处接头解体，现场照片



解体前后绝缘电阻

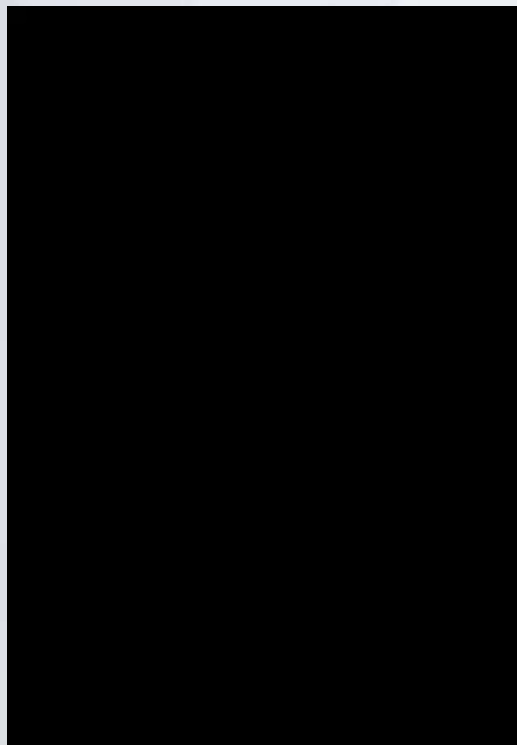
	电缆段	A	B	C
解体前	0~3280m	61M	18M	30M
解体后	0-1331m	80G	68.3G	49.3G
	1331-3280m	112M	148M	22.1M

说明:

对1331m处电缆接头解体后,发现1331m至3280m间电缆段C相绝缘电阻只有22.1M Ω (远低于AB两相),随后对2012m处接头进行现场解体,以排除电缆故障。

案例四:现场接头解体情况

2012米处接头解体, 现场情况如下



现场视频

2012m处接头解体后, 电缆绝缘情况

电缆段	A	B	C
1331-2012m	30.7G	13.4G	23.4G
2012-3280m	193M	524M	17.5M



说明:

对2012m处电缆接头解体后, 发现2012m至3280m间电缆段C相绝缘电阻只有17.5M Ω (远低于AB两相), 随后对2920m处接头进行现场解体, 以排除电缆故障。

案例四:现场接头解体情况

2920米处接头解体, 现场情况如下

电缆段	A	B	C
2012-2920m	554M	540M	90M
2920-3280m	176G	86G	197G



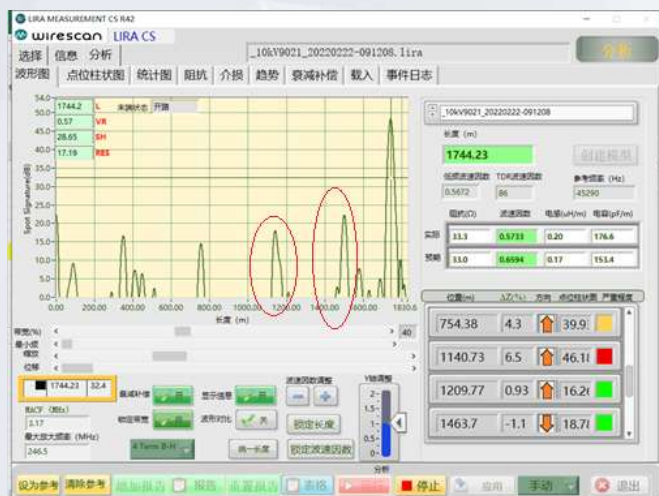
2556米处接头解体, 未能获得现场照片

	A	B	C
2012-2556m	35.4G	312G	101G
2556-2920m	31.2G	37.6G	33.2G

说明:对2920m处电缆接头解体后,发现2012m至2920m间电缆段C相绝缘电阻只有90M Ω (远低于AB两相),随后对2556m处接头进行现场解体,以排除电缆故障。现场完成2556m处接头解体后电缆绝缘电阻值正常,电缆恢复正常运行。

时间	2022.2.22		
地点	福州		
用户	福州**公司		
测试目的	计划检修维护		
测试设备	LIRA		
测试线路名称	10kV**电力电缆		
电缆长度	1743		
接头数量	4		
电缆绝缘	A	B	C
	92.6M	363M	291M
采集数据时长	15-30min		
出具报告时长	30min		

案例五:现场采集数据分析



阻抗波形图



点位柱状图

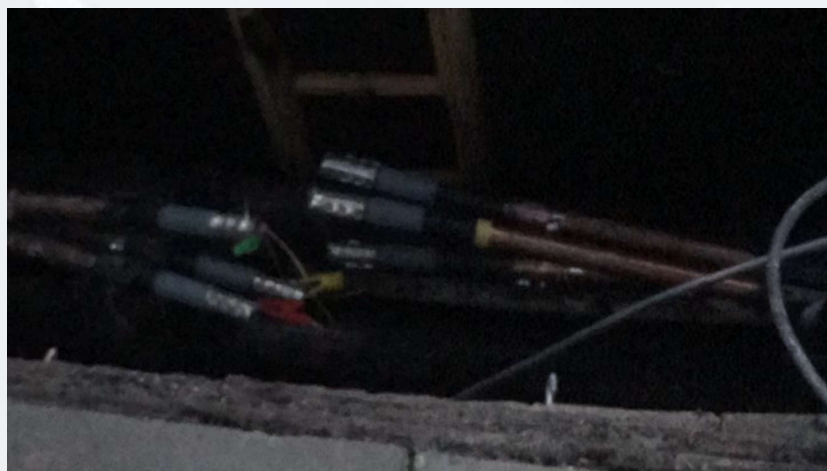
通过阻抗图谱判定:

- (1) 电缆在距测试端1140米、1500米存在阻抗波形异常且幅值变化较大,疑似为绝缘缺陷问题,建议优先处理;
- (2) 在距离测试端88米处有异常阻抗变化,因幅值变化相对较小,建议持续关注。

结论:经现场巡查,在距测试端1140,1500米处均为电缆中间接头,现场解体后发现明显缺陷情况,与阻抗谱检测结论一致。

案例五:现场巡视照片

对1140m处接头解体时，现场图片



解体后绝缘

	A	B	C
0-1140m	2G	2G	2G
1140-1743m	30M	200M	200M

案例五:现场巡视照片

当对1500m接头解体时，现场图片



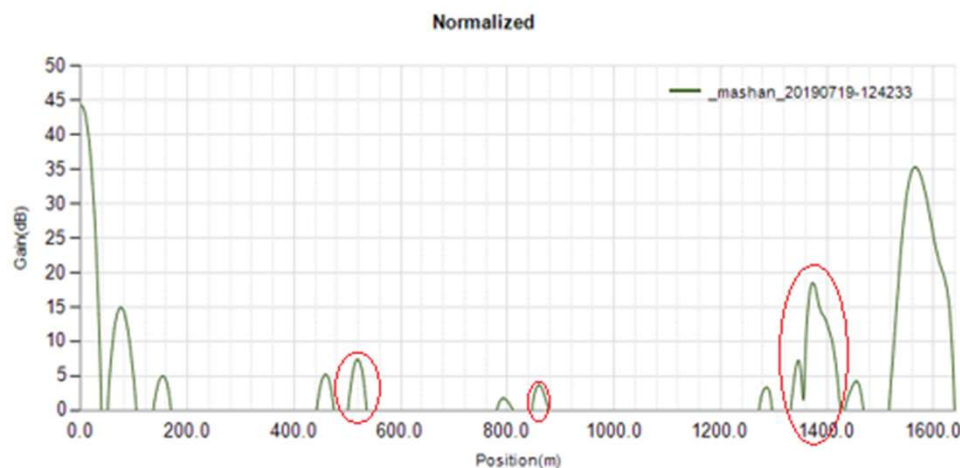
解体后绝缘

	A	B	C
1140-1500m	10G	10G	10G
1500-1743m	4G	4G	4G

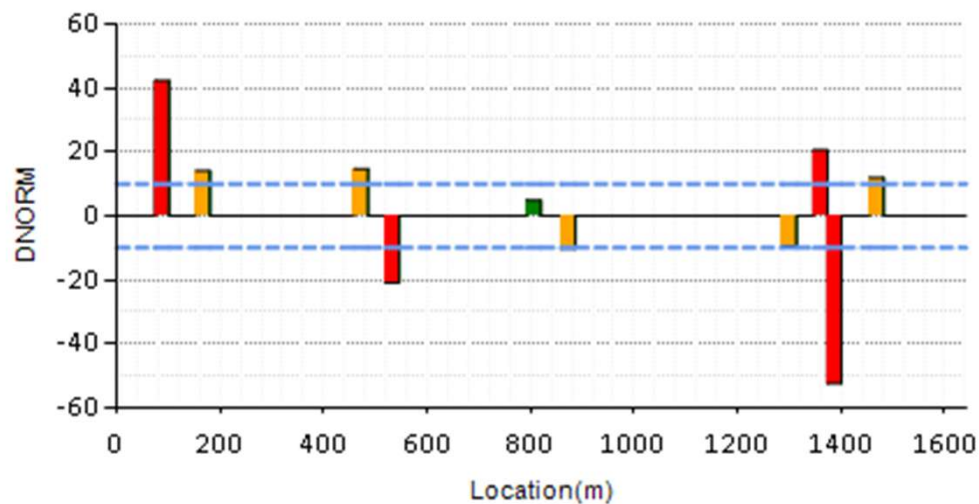
案例六:电缆本体机械损伤(过度弯曲)+接头受潮

时间	2019.7.19		
地点	成都		
用户	成都**公司		
测试目的	为客户第一次接触该设备，想要了解设备操作及缺陷定位情况		
测试设备	LIRA		
测试线路名称	10kV**电力电缆		
电缆长度	1565		
接头数量	4		
采集数据时长	15-30min		
出具报告时长	30min		

案例六:现场采集数据分析



阻抗波形图



点位柱状图

通过阻抗图谱判定:

- (1) 在距测试端1346m阻抗波形有明显畸变且幅值较大, 建议及时处理。
- (2) 电缆514m, 859m处阻抗波形异常, 建议持续关注。

案例六:现场巡视照片



514米处
转弯半径不足
(过度弯曲)



859米处
电缆通道潮湿
(接头受潮)



1400米处
电缆完全浸没于
水下(接头受潮)

说明:现场巡视发现859m与1400m两处电缆接头存在明显受潮情况, 514m处电缆转弯半径不足导致该处电缆阻抗值异常, 与宽频阻抗谱检测结果一致。

谢 谢 观 看