

基于 IEC 61850 文件服务的局部放电谱图文件格式探讨

陈宏辉¹, 唐 喜², 张育臣³, 刘 银¹,
孟 岩², 李 征², 刘春雷², 靳雪茹²

(1. 广东电网公司茂名供电局, 广东 茂名 525000; 2. 北京四方继保护自动化股份有限公司, 北京 100085;

3. 东南大学电气工程学院, 南京 211189)

摘要: 分析了现有在线监测局放谱图格式现状。为更好地提高状态监测系统无缝融合, 提高不同厂商局放监测 IED 与局放监测系统的互换性, 文中在借鉴继电保护装置故障简报及录波文件传输规范基础上, 对现有 IEC 61850 文件服务的局放谱图文件格式提出改进方案。对 COMTRADE 文件格式进行扩展, 提出局部放电 PRPD、PRPS 二维和三维谱图格式, 以及局部放电原始数据、趋势统计格式。通过实际工程使用, 实现了不同厂商局放监测 IED 在不同监测后台上的图谱展示和数据分析, 避免了因为文件格式定义差异而带来的互操作问题, 提高了系统集成效率, 具备很好的工程应用价值。

关键词: IEC 61850; 局部放电; 谱图格式; 文件服务; 状态监测

Discussion of Format of Partial Discharge Pattern File Based on IEC 61850 File Service Protocol

CHEN Honghui¹, TANG Xi², ZHANG Yuchen³, LIU Yin¹,
MENG Yan², LI Zheng², LIU Chunlei², JIN Xueru²

(1. Maoming Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Company, Guangdong Maoming 525000, China; 2. Beijing Sifang Automation Co., Ltd., Beijing 100085, China; 3. School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 211189, China)

Abstract: Current online partial discharge (PD) pattern file format is analyzed. In order to improve the interchangeability requirement of monitoring IEDs and online monitoring systems from different suppliers and to promote the seamless interface of condition monitoring system, this paper proposes a PD pattern file format based on IEC 61850 file services. With extension of the COMTRADE file format, PRPD pattern, PRPS pattern, trend analysis format and PD statistics format are respectively defined. PD monitoring IEDs with this file format from different suppliers can work with the same host server (or main IED). Application of this file format could implement the interchangeability of the online monitoring system, and thus improve the engineering efficiency.

Key words: IEC 61850; partial discharge; pattern format; file service; condition monitoring

0 引言

自国网、南网公司提倡状态检修理念以来, 带电检测技术及在线监测技术在中国发展迅速^[1-2], 随之而来, 局部放电监测技术也有了飞快的发展, 并在实际工程中有成功的应用案例。由于局部放电检测现场应用遇到的抗干扰、现场标定^[3]、局放报警等

技术难题没有很好地解决^[4-5], 目前还没有国家权威部门出台相关的行业标准指导工程应用。传统的局部放电在线监测系统是独立的, 即局放传感器、局放处理单元、局放分析系统都是由同一厂商提供, 相应的局放数据格式定义及谱图文件定义都是私有的, 不同厂商的监测后台与局放监测 IED^[6-7]功能配合时都需要在监测后台安装额外的局放分析软件。尽管南方电网在 2010 年出台了《气体绝缘金属

收稿日期: 2015-04-27; 修回日期: 2015-05-26

基金项目: 广东电网有限责任公司科技项目(K-GD2012-221)。

Project Supported by Science and Technology Project of Guangdong Power Grid Co.(K-GD2012-221).

封闭开关设备(GIS)局部放电特高频检测技术规范》,但规范的附录D中仅对检测波形图和局部放电谱图做了泛泛的要求,没有对谱图内容作规范性约束。国网企标Q/GDW 616《基于DL/T 860标准的变电设备在线监测装置应用规范》对局放逻辑节点有了详细定义,而且局放谱图规范定义有了雏形,规范了谱图数据以文件形式,按IEC 61850文件服务进行传输,但还是在以下几个方面缺少规范性约束:

1)原有文件命名方式会造成多通道局放同步采样数据文件命名重复,现有文件类型无法满足局放趋势文件、数据统计分析文件单独文件上送,文件扩展名需要扩展;

2)缺少局部信息简报规范,无法将谱图文件与局放简报信息进行关联,同步展示;

3)缺少局放趋势分析文件规范,对于具备就地分析功能的局放监测IED,无法做到与后台趋势文件兼容;

4)二维、三维PRPD和PRPS谱图文件独立,高级应用无法做二维、三维数据关联。

Q/GDW 396《IEC 61850工程继电保护应用模型》规定一次故障录波,需要保护装置上送HDR、CFG、DAT 3个文件,但HDR文件主要是面向继电保护装置故障录波规范,DAT数据文件只适用于时域波形,对频域波形没有规范定义,现有COMTRADE文件格式不满足PRPD、PRPS三维谱图的规范需求。

鉴于目前这种现状,智能变电站一体化业务平台将状态监测系统、监控系统、辅助系统等系统融合会遇到互操作障碍,因此文中对局部放电谱图格式做了具体定义,做到谱图数据与界面不绑定,以方便不同厂商的集成,从而加快局放监测工程实用化推广。

1 局放谱图应用分析

局部放电测量有助于发现电力设备内部多种绝缘缺陷,是诊断电力设备健康状态的重要手段^[8]。近些年,国内外研究机构、制造厂商均开展了对电力重要一次设备进行局放状态监测工作。在电力设备本体上加装合适的特高频传感器,通过对局放信号的检测、特征量的提取,对局放模式进行识别,对局放严重程度进行评估、诊断^[9-10]。

局放信号频带范围宽,一般在百兆赫兹至千兆赫兹,即使局放信号经过对数放大、检波后,对监测IED数据采样率也有一定的要求,一般在几兆至几十兆不等,对应的采样数据量在几兆至几十兆不等,而且这只是一个监测点的数据量,对于整个变

电站而言,传输数据量是非常大的,网络负荷非常重,传输效率低下。此外,监测IED一般要采集数个工频周期的信号并处理,对于监测系统的存储容量也是一个考验。因此有必要对局放监测IED提出就地分析功能,将原始采样数据进行分析、处理,得出初步诊断的局放特征量、局放谱图,然后将分析后数据上送至监测后台,在一定程度上,减少网络负担,提高系统传输效率。由此可以看出,有必要对局放谱图文件格式做进一步规范,体现开放性、一致性。

此外,局放诊断基于经验学,目前业内并没有完全成熟的诊断理论,仅依赖监测IED完成100%的诊断正确率还不现实,因此,还需要有统一的监测专家诊断系统^[11-13],根据不断积累的样本数据,训练专家系统,不断提高监测IED、专家系统的诊断策略,随着专家库的不断丰富,诊断结论会逐步精确,设备的状态诊断数据的可信度会逐步提高。每一次局放数据对于专家系统的自学习能力都是一次提升,因此有必要对局放数据作规范,统一专家系统的接口规范,在需要传输谱图数据,也有必要留有原始采样数据的接口规范,方便后期智能诊断系统的数据挖掘。

目前国网、南网均有生产管理系统或状态评估系统,针对不同厂商的监测数据,如果统一数据规范,评估系统面向海量数据、统一的数据接口进行综合诊断^[14-15],提出有价值的状态检修意见,对中国的电力设备状态监测、状态检修事业发展意义重大。

文中从指导工程实用角度出发,对局部放电多种文件作详细定义,主要包括局放文件命名格式、文件类型汇总、局放原始数据格式、局放PRPD和PRPS谱图格式、局放趋势统计格式。最终目的是实现不同厂商的局放监测IED输出的局放格式是保持一致的,并且通过IEC 61850文件服务上送到状态监测后台,在其他厂商的状态监测后台可以正确解析、显示,不需要在监测后台上安装单独的分析软件,实现局放监测间隔层与站控层接口一致的效果。

2 局放谱图文件服务、传输

2.1 文件传输服务

IEC 61850^[16]所定义的文件传输模型^[17]可在服务器与客户端之间简洁、高效、可靠地管理和传输文件。使用该文件传输模型在局放监测IED与监测后台应用之间实现局放谱图的传输,可极大提高传输过程的速度、性能和可靠性。结合使用局放监测相关的信息模型,可使不同厂商的局放监测IED与监

测后台应用之间实现无缝集成成为可能^[18]。

录波报告模型与国网企标 Q/GDW 616 《基于 DL/T 860 标准的变电设备在线监测装置应用规范》定义一致,采用录波逻辑节点 RDRE^[19]实现,RDRE 中的数据 RcdMade、FltNum 应配置到录波数据集中,通过报告服务通知客户端,通过录波逻辑节点 RDRE 中的数据录波开始(RcdStr)和录波完成(RcdMade)完成录波的启动、完成标志置位,从而完成监测 IED 有新录波请求监测后台召唤的过程。

同样,录波文件传输服务同国网企标 Q/GDW 616《基于 DL/T 860 标准的变电设备在线监测装置应用规范》定义也是一致的。使用读文件(GetFile)和读文件属性值(GetFileAttributeValues)服务^[20]实现。录波文件路径名为/Comtrade/。

2.2 传输过程

一次完整的局放谱图传输过程应包含 3 个步骤:

1) 召唤局放图谱文件列表。客户端使用 ACSI GetServerDirectory 服务读取指定的谱图文件目录中所有文件的名称,然后使用 ACSI Get File Attribute Values 服务读取相关的文件属性,即可获得一张完整的局放谱图记录列表。

2) 选择局放谱图文件。对于服务器主动通知模式和客户端定期循检模式,客户端可将在步骤 1) 中召唤到的局放谱图记录列表中的文件名称和文件属性与数据库中已召唤的文件名称和文件属性进行对比,选择出尚未召唤过的局放谱图文件。对于操作员手动召唤模式,则由操作员在召唤到的局放谱图记录列表中选择出需要召唤的局放谱图文件。

3) 召唤局放谱图文件。客户端使用 ACSI GetFile 服务从服务器侧获得在步骤 2) 中所选择的局放谱图文件并将它们保存在数据库中。

3 局放谱图文件格式

局放谱图配置文件、信息简报文件均采用可扩展性标记语言(extensible markup language,XML)文件定义。

局放数据文件采用标准 COMTRADE 格式。COMTRADE 是 IEEE 标准电力系统暂态数据交换通用格式。在继电保护装置、故障录波器、故障信息系统中常用,为广大设备制造厂商、系统集成厂商、变电站系统运行人员等所熟知,因此很容易整合到现有智能变电站系统,省去系统集成厂商因为文件格式差异而定制软件的麻烦。

3.1 局放文件类型汇总及文件命名格式

局放文件名包括文件基本名及扩展名两部分,

文件基本名表示同一次录波文件的基本信息,文件扩展名表示同一次录波的不同文件类型。文件基本名命名规则:“IEDNAME_CHxx_RCD_ 厂商标识_ 类型_ 电网故障号_ 子序号_ 时间.xxx”。其中: IEDNAME 表示局放监测 IED 的名称;CHxx 表示不同的录波通道号,xx 从 1 开始递增; 厂商标识表示不同设备厂商的名称,供备用;类型表示局放监测 IED 不同的功能扩展类型,“sam”表示采样数据,“trd”表示趋势数据,“sta”表示统计数据;电网故障号表示每次录波的编号;子序号表示每次录波的插件子序号;时间表示录波时刻的具体时间。文件扩展名对应的文件类型汇总见表 1。

表 1 文件类型汇总

Table 1 Summary of file type

文件扩展名	功能说明
*.sam	局放信号采样原始数据信息
*.hdr	局放简报信息
*.xml	谱图描述、通道配置信息
*.dat	PRPD、PRPS 谱图数据信息
*.trd	局放趋势、统计配置信息
*.sta	局放趋势、统计数据信息

3.2 原始数据格式

定义局放原始数据格式出于两方面考虑,一方面,局放监测 IED 上送的谱图数据,是计算后的熟数据,有时对局放熟数据分析还需要查看原始的采样数据,因此需要规范原始数据格式,在监测后台通过 IEC 61850 文件服务可以读取到局放监测 IED 的原始数据;另一方面,考虑到局放诊断的特殊性,有时监测后台会需要局放监测 IED 的原始数据,以发挥监测后台服务器性能的优势,通过高级诊断算法对原始数据进行计算,方便专家诊断指纹库的优化。原始数据格式定义见表 2。

表 2 原始数据格式

Table 2 The criterion of original data format

数据段	名称	位置	长度
标题段	采样时间	0	16
	数据长度	16	4
	数据类型	20	4
	最大值	24	4
	最小值	28	4
	采样率	32	4
	比例因子	36	4
	偏移量	40	4
数据段	第 1 点数据	512	4
	...	...	...

3.3 局部放电信息简报格式

局放信息简报主要是存储每次局放发生时,对应的局部放电次数、最大值、最小值、平均值、放电相位等信息,做到与谱图波形数据进行关联,方便用户查看。文件样例见图 1。

3.4 局部放电 PRPD、PRPS 谱图格式

PRPD、PRPS 谱图文件包括配置文件和数据文件两部分。

配置文件基于标准化 XML1.0 格式,编码为 UTF-8,为对人或计算机程序提供必要的信息,以便阅读和解释相关数据文件中的数据值。配置文件各节点涵义见表 3。

表 3 模型中常用节点及属性说明

Table 3 The illumination of common node and property

节点	属性	涵义
<Channel>	无	表示通道标识,每个通道内可含多个 CurveInfo 节点,如局放通道 1,包括 PRPD、PRPS,二者属于单独的 CurveInfo。
<CurveInfo>	name	表示 CurveInfo 节点的名称。
	desc	表示 CurveInfo 节点的描述。
	demension	表示 CurveInfo 节点的维度,1 表示一维数据,2 表示二维曲线,3 表示三维曲线。
	number	表示 CurverInfo 图形总数据(包括后面 X 轴、Y 轴、Z 轴部分)。
	dataType	表示每个采样点的数据类型。
	CurveType	表示曲线类型“2DCurve”表示二维曲线、“3DCurve”表示三维曲线、“Bar”表示柱状图,“Pie”表示饼状图。
<XVal>		
<YVal>	name/desc/unit/datatype/number	分别表示 X、Y、Z 轴代表的数据名称、描述、单位、数据类型及数据点个数。
<ZVal>		

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<root>
  <Channel>
    <CurveInfo name="PRPD" desc=" US1-PRPD" demension="3"
      number="7200" dataType="ASCII" CurveType="3DCurve">
      <YVal name="Amplitude" desc=" 放电幅值" unit="%"
        dataType="Float" number="100">
        <XVal name="Phase" desc=" 相位" unit="°"
          dataType="Float" number="72" />
        <ZVal name="Count" desc=" 放电次数"
          max="2000.0" min="0.0" unit="A" dataType="Float" />
      </YVal>
    </CurveInfo>
  </Channel>
</root>
```

图 2 谱图配置文件格式

Fig. 2 The configuration file format of diagram

```
1.00, 5.00, 0.00, 10.00, 0.00, 15.00, 0.00, 20.00,
0.00, 25.00, 0.00, 30.00, 0.00, 35.00, 0.00, 40.00,
0.00, 45.00,
2.00, 5.00, 0.00, 10.00, 0.00, 15.00, 0.00, 20.00,
0.00, 25.00, 0.00, 30.00, 0.00, 35.00, 0.00, 40.00,
0.00, 45.00,
```

图 3 谱图数据文件格式

Fig. 3 The data file format of diagram

3.5 局部放电趋势统计格式

局部放电趋势统计文件包括配置文件和数据文件两部分,配置文件的格式定义与 PRPD、PRPS 谱图的配置文件相同。趋势统计配置、数据文件样

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<Monitor>
  <PmInfo>
    <name>局放最大放电量</name>
    <phase></phase>
    <value>-92.3333</value>
    <unit></unit>
  </PmInfo>
  <PmInfo>
    <name>局放平均放电量</name>
    <phase></phase>
    <value>-92.3333</value>
    <unit></unit>
  </PmInfo>
</Monitor>
```

图 1 信息简报文件样例

Fig. 1 The file style of information report

谱图配置、数据文件样例见图 2、3。

例见图 4、5。

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<root>
  <Channel>
    <CurveInfo name="PDIendency" desc=" 平均放电量"
      demension="2" number="400" dataType="ASCII"
      CurveType="Bar">
      <XVal name="Date" desc=" 日期" unit=" " dataType="
        number="400">
      <YVal name="Amplitude" desc=" 局放平均放电量"
        max="40000.00" min="-95.00" unit=" " dataType="Float"
        />
    </XVal>
  </CurveInfo>
</Channel>
</root>
```

图 4 趋势统计配置、数据文件样例

Fig. 4 The file style of configuration and file of trend statistic

4 局放谱图定义及传输方式比较

目前工程应用中,主要使用的规约有 I2 规约、私有规约,表 4 从各个不同的方面对几种实现方式的特点进行了比较,使用 IEC 61850 文件服务实现局放谱图的传输在开放性、互操作性、可扩展性上

00:00:00, 1.00
00:00:15, 2.00
00:00:30, 3.00
00:00:45, 4.00
00:01:00, 5.00
00:01:15, 6.00
00:01:30, 7.00

图 5 趋势统计配置、数据文件样例

Fig. 5 The file style of configuration and file of trend statistic

表 4 局放谱图定义和传输的几种方式比较

Table 4 Comparison of several method of PD definition and transfer

传输方式	I2 规约	私有规约	基于 IEC 61850 文件服务
开放性、数据、通信、图形耦合度	数据格式定义与图形显示耦合紧密,通信规约私有,在智能变电站,与其它系统融合度不高;	数据格式定义私有,通信过程私有,数据与图形紧密耦合,在智能变电站,与其他系统融合度不高;	数据在 COMTRADE 标准格式基础上,扩展 XML 文件,数据格式开放,采用 IEC61850 文件传输服务传输,在智能变电站,可与其它系统无缝集成;
互操作性	各厂家对 I2 规约的理解存在差异,对不同厂家的产品需开发不同的接入程序。互操作性较差,传输过程复杂;	对不同厂家的产品需开发不同的接入程序。互操作性很差,传输过程复杂;	标准中明确定义了与局放监测功能相关的抽象对象、服务接口以及特定通信协议栈的映射,具有完全的互操作性,传输过程简单,与 FTP 相同;
可扩展性	扩展性不强,扩展数据对装置、后台系统影响较大。	扩展性差,扩展数据对装置、后台系统影响很大。	扩展能力强,且数据采用 XML 定义,具备自解释能力,扩展数据对装置、后台系统影响很小。

5.1 传输效率

对于 4 通道监测 IED,如果采用同步并发处理模式,原始数据量为 16 M,如果采用异步处理模式,每次处理的原始数据量为 4 M,但处理时间为单通道的 4 倍。按站内 48 个监测点,12 台 4 通道监测 IED 数据量计算,单次采样最大原始数据量为 192 M。

现对采用本格式前后的两种情况作分析对比:

1)采用本格式前。监测 IED 仅作为采集单元,由监测主单元进行数据处理,需要网络带宽 192 M,工程配置 100 M 以太网组网方案已不满足要求,需要配置 1 000 M 以太网进行组网,提高了工程实施成本。

2)采用本格式后。监测 IED 具备就地分析功能,将原始数据就地处理,对外传输谱图文件(*.dat,*.xml,*.hdr)3 个文件的总大小为 256 k,即使需要查看局放谱图的原始数据,考虑到监测 IED 本身具备存储功能,通过异步传输 4 M 局放原始数据,采用 100 M 以太网组网完全满足要求。

5.2 存储容量

对于 4 通道监测 IED,单次采样原始数据量为 16 M。按站内 48 个监测点,12 台 4 通道监测 IED 数据量计算,单次采样最大原始数据量为 192 M。从最苛刻的原始数据存储容量角度,对采用本格式前

都具有无可比拟的优越性。

5 应用效果

以江西阳明湖 220 kV 变电站局放监测工程为例,从传输效率、存储容量、谱图展示 3 个方面介绍应用本格式的局放谱图效果。

该站共配置 48 个内置 UHF 传感器,12 台 4 通道监测 IED。按监测 IED 2 M 采样率、14 位 AD 采样估算,单个 UHF 传感器、单次采样 50 个工频周期原始数据量为 4 M。

后的 2 种情况作分析对比:

1)采用本格式前。监测 IED 仅作为采集单元,由监测主单元进行数据处理,对于整个变电站来讲,采用的是集中式存储方案。按 10 s 采样一次计算,如果监测主单元配置 500 G 机械硬盘,能够存储约 43 min 原始数据,若需要存储更长时间的数据,需要配置更大容量的机械硬盘,或者多配置几块同样的机械硬盘,而且机械硬盘使用寿命低,不适用于长期监测,稳定性、可靠性低。

2)采用本格式后。监测 IED 具备就地分析功能,同时从使用寿命、可靠性角度出发,为每块监测 IED 配置一块 32 G 固态硬盘,对于整个变电站监测来讲,采用的是分布式存储方案。按 10 s 采样一次计算,每台 4 通道 IED 每 10 s 存储数据量为 16 M,能够存储 341 分钟原始数据,存储时长大大提高,由于采用了固态硬盘,稳定性、可靠性提高,适用于长期连续监测。

5.3 实际工程谱图效果展示

监测后台通过 IEC 61850 服务召唤局放监测 IED 的局放文件,依次绘制局放 PRPD、PRPS 的二维和三维曲线,以及趋势统计分析曲线。在曲线展示的同时,还会有局放信息简报,具备很大的分析参考意义。实际图谱效果见图 6、7。

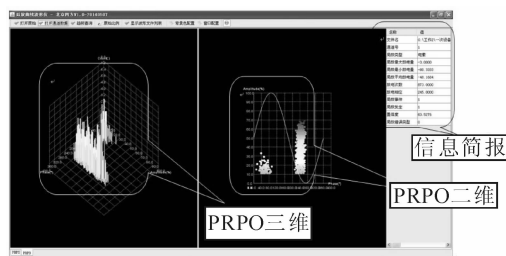


图 6 PRPS、PRPD 谱图

Fig. 6 The diagram of PRPS、PRPD

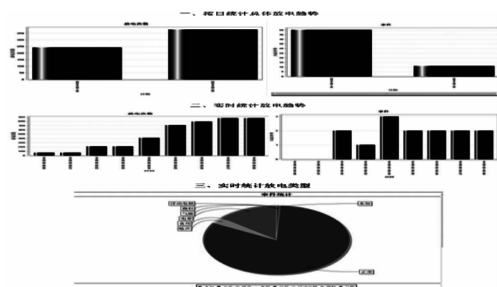


图 7 放电类型统计谱图

Fig. 7 The statistical diagram of PD type

6 结语

文中在分析局放监测谱图格式现状的基础上,对局放监测 IED 数据输出至状态监测后台数据输入进行规范性梳理,提出了有工程实用价值的详细格式改进建议,通过格式解释及文件样例,进一步提高格式可操作性,为电力设备状态监测评估系统提供了接口格式。后续还需要在工程应用中不断推广,在多厂商之间配合完善,最终达成一致的规范性原则,以做到批量应用,提高系统集成效率,为智能变电站的建设做出一份贡献。

参考文献:

- [1] 许婧,王晶,高峰,等. 电力设备状态检修技术研究综述[J]. 电网技术,2000,24(8):48-52.
XU Jing,WANG Jing,GAO Feng,et al. A survey of condition based maintenance technology for electric power equipments[J]. Power System Technology,2000,24(8):48-52.
- [2] 李明,韩学山,杨明,等. 电网状态检修概念与理论基础研究[J]. 中国电机工程学报,2011,31(34):43-52.
LI Ming,HAN Xueshan,YANG Ming,et al. Basic concept and theoretical study of condition-based maintenance for power transmission system[J]. Proceedings of the CSEE,2011,31(34):43-52.
- [3] 王颂,吴晓辉,袁鹏,等. 局部放电超高频检测系统标定方法的研究现状及发展[J]. 高压电器,2007,43(1):59-61.
WANG Song,WU Xiaohui,YUAN Peng,et al. Current situation and development of calibration for UHF-PD(partial discharge) detection system[J]. High Voltage Apparatus,

2007,43(1):59-61.

- [4] 王少华,叶自强,梅冰笑. 输变电设备在线监测及带电检测技术在电网中的应用现状[J]. 高压电器,2011,47(4):84-90.
WANG Shaohua,YE Ziqiang,MEI Bingxiao. Application status of online monitoring and live detection technologies of transmission and distribution equipment in electric network[J]. High Voltage Apparatus,2011,47(4):84-90.
- [5] 郭俊,吴广宁,张血琴,等. 局部放电检测技术的现状和发展[J]. 电工技术学报,2005,20(2):29-35.
GUO Jun,WU Guangning,ZHANG Xieqin,et al. The actuality and perspective of partial discharge detection techniques[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2005,20(2):29-35.
- [6] 国家电网公司.Q/GD W/Z 410—2011 高压电气设备智能化技术导则[S]. 北京:中国电力出版社,2011.
- [7] 毕建刚. 智能高压开关设备性能检测方案[Z]. 北京:国家电网公司,2012.
- [8] 姚陈果,周电波,陈攀,等. 采用超高频法监测变电站设备局放水平及其早期预警[J]. 高电压技术,2011,37(7):1670-1676.
YAO Chenguo,ZHOU Dianbo,CHEN Pan,et al. UHF-based monitoring for equipment PD within the substation and early warning[J]. High Voltage Engineering,2011,37(7):1670-1676.
- [9] 李化,程昌奎,陈娇,等. 基于 EMD 的 GIS 典型局部放电超高频信号的分形特征提取方法[J]. 高压电器,2014,50(6):104-110.
LI Hua,CHENG Changkui,CHEN Jiao,et al. Fractal dimension research of the partial discharge UHF signal in GIS based on EMD[J]. High Voltage Apparatus,2014,50(6):104-110.
- [10] 李立学,滕乐天,黄成军,等. GIS 局部放电超高频信号的包络分析与缺陷识别[J]. 高电压技术,2009,35(2):260-265.
LI Lixue,TENG Letian,HUANG Chengjun,et al. Envelope analysis and defects identification of partial discharge UHF signals in GIS[J]. High Voltage Engineering,2009,35(2):260-265.
- [11] 李宇,张国钢,耿英三. 基于模糊理论的高压断路器状态评估研究[J]. 高压电器,2007,43(4):274-277.
LI Yu,ZHANG Guogang,GENG Yingsan. The condition assessment method for HV circuit breakers based on fuzzy theory[J]. High Voltage Apparatus,2007,43(4):274-277.
- [12] 王伟,李成榕,丁燕生,等. 局部放电 UHF 信号检波及其仿真[J]. 高电压技术,2004,30(2):32-33.
WANG Wei,LI Chengrong,DING Yansheng,et al. Simulation on the application of detection technique to detecting UHF PD signals[J]. High Voltage Engineering,2004,30(2):

(下转第 204 页)

- WANG Jianhua,ZHANG Tao,YANG Yuchun,et al. Research of thunder and lightning monitoring and location system in Shenyang[J]. Journal of Meteorology and Environment,2006,22(6):65-68.
- [13] 樊 荣,肖稳安,高 焱,等. 雷击大地密度的计算与软件实现[J]. 气象科技,2011,39(6):709-713.
- FAN Rong,XIAO Wen'an,GAO Yi,et al. Calculation and software implementation of ground lightning-flash density[J]. Meteorological Science and Technology,2011,39(6):709-713.
- [14] 李 博. 重庆雷电时空分布特征及雷灾研究[D]. 南京: 南京信息工程大学,2008.
- LI Bo. Study on the characteristics and spatial distribution of lightning disaster in Chongqing[D]. Nanjing: Nanjing University of Information,2008.
- [15] 高 焱,劳小青,李健生,等. 雷击风险评估中雷击大地年平均密度的计算[J]. 气象研究与应用,2009,30(3):68-70.
- GAO Yan,LAO Xiaoqing,LI Jiansheng,et al. Calculation of lightning average density in the lightning risk assessment[J]. Journal of Meteorological Research and Application,2009,30(3):68-70.
- [16] 中华人民共和国电力工业部. DL/T 620—1997 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合[S].1997.
- Ministry of Power Industry of the People's Republic of China. DL/T 620—1997 Overvoltage protection and insulation coordination for AC electrical installations [S].1997.
- [17] IEEE Std 1243—1997 IEEE guide for improving the lightning performance of transmission lines[S]. New York:IEEE Inc.,1997.
- [18] 张文娟,孟 青,吕伟涛,等. 时间差闪电监测网的误差分析和布局优化[J]. 应用气象学报,2009,20(4):402-410.
- ZHANG Wenjuan,MENG Qing,LYU Weitao,et al. Error analyses and network optimization for time-of-arrival lightning locating system[J]. Journal of Applied Meteorological Science,2009,20(4):402-410.
- [19] CHISHOLM W A,CUMMINS K L. Lightning parameters: a review, applications and extensions[C]//2005/2006IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition.USA:IEEE,2006:465-470.
- [20] 张元芳,王 建,刘 颖,等. 磁带式雷电流记录仪的研制[J]. 高压电器,1998,34(5):25-28.
- ZHANG Yuanfang,WANG Jian,LIU Ying,et al. Application of magnetic steel remanence method in the measurement of lightning current[J]. High Voltage Apparatus,1998,34(5):25-28.
- 王 赞(1982—),女,硕士研究生,工程师,主要从事雷电风险评估研究。
-
- (上接第198页)
- 32-33.
- [13] 宋人杰,王晓东. 输变电设备状态检修评估分析系统的研究[J]. 继电器,2008,36(9):54-57.
- SONG Renjie,WANG Xiaodong. Research on assessment and analysis system of condition-based maintenance for power transmission and transformation equipment[J]. Relay,2008,36(9):54-57.
- [14] 王德文,阎春雨,毕建刚,等. 变电设备在线监测系统中 IEC 61850 的一致性测试[J]. 电力系统自动化,2013,37(2):79-85.
- WANG Dewen,YAN Chunyu,BI Jiangang,et al. Conformance testing of IEC 61850 on substation on-line monitoring system[J]. Automation of Electric Power Systems,2013,37(2):79-85.
- [15] 刘有为,周 华. 智能高压开关设备信息流方案设计[J]. 电工文摘,2011,47(5):27-30.
- LIU Youwei,ZHOU Hua. Information flow scheme designed for smart HV switchgear[J]. Electrician Abstracts,2011,47(5):27-30.
- [16] 任雁铭,秦立军,杨奇逊. IEC61850 通信协议体系介绍和分析[J]. 电力系统自动化,2000,24(8):62-64.
- REN Yanming,QIN Lijun,YANG Qixun. Study on IEC 61850 communication protocol architecture[J]. Automation of Electric Power Systems,2000,24(8):62-64.
- [17] 黄巍松,葛 慧. IEC 61850 文件传输模型的应用[J]. 电力自动化设备,2008,28(6):111-114.
- HUANG Weisong,GE Hui. Application of file transfer model defined in IEC 61850[J]. Electric Power Automation Equipment,2008,28(6):111-114.
- [18] 任雁铭,操丰梅,唐 喜,等. 智能电网的通信技术标准化建议[J]. 电力系统自动化,2011,35(3):1-4.
- REN Yanming,CAO Fengmei,TANG Xi,et al. Advice on communication standards for smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems,2011,35(3):1-4.
- [19] IEC 61850-7-2—2010 Communication networks and systems in substations-Part 7-2: Basic communication structure for substation and feeder equipment-abstract communication service interface (ACSI)[S].2010.
- [20] IEC 61850-8-1—2011 Communication networks and systems in substations-Part 8-1: Specific communication service mapping (SCSM)-mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3[S].2011.
- 陈宏辉(1972—),男,高级工程师,硕士,长期从事自动化系统研究。
- 唐 喜(1979—),男,高级工程师,从事变电站自动化、一次设备状态监测研发工作(通信作者)。