

基于等角螺旋天线的 GIS 局部放电在线检测研究

吴怀玉

(长治供电分公司,山西长治,046011)

摘要:对 GIS 局部放电的产生进行了分析,介绍了 GIS 局部放电的几种检测方法。着重论述了 GIS 特高频检测法和平面等角螺旋天线,探讨了如何使用特高频局部放电传感器进行现场测试。

关键词:GIS;局部放电;检测方法;平面等角螺旋天线;特高频

中图分类号:TM762

文献标识码:A

全封闭组合电器 GIS(Gas Insulator Switchgear)因其运行可靠、占地面积小、不受外界环境的影响及检修周期长等特点,已广泛地应用于各电压等级的电网之中。GIS 的稳定运行关系着整个电力系统的安全与稳定,如其出现故障,将会导致该变电站管辖地区停电,甚至可能造成严重的经济损失及社会影响。目前能够实现 GIS 局部放电检测的方法有很多,这些方法大多针对运行前的 GIS 检测。设备安装运行后,因其为封闭式组合结构,缺乏有效的检测管理手段,停电检修需要花费较长时间,而且需投入大量的人力、物力及财力。采用 GIS 局部放电在线检测可以实

现 GIS 绝缘状况的检测,预先发现 GIS 内部存在的绝缘缺陷,避免恶劣事故发生^[1]。

1 GIS 局部放电的产生及检测

国际大电网会议 CIGRE 调查表明,50%以上的 GIS 故障是可预先发现的。在 GIS 的交接试验中监视局部放电信号,对运行中进行定期监测,均是保障安全运行的有效手段。

1.1 GIS 局部放电的产生

电网中运行的电气设备,其绝缘耐压等级是按其运行电压

2002.

[2] 李必传. 煤巷锚杆支护巷道冒顶原因浅析[J]. 矿业快报, 2003(5):17-18.

[3] 姚爱敏,孙世国,刘玉福. 锚杆支护现状及其发展趋势[J]. 北方工业大学学报,2007(3):90-94.

(责任编辑:薛培荣)

第一作者简介:李松波,男,1970年生,1991年毕业于东华理工大学勘查地球物理专业,高级工程师,现为南华大学环境保护与安全工程学院安全工程专业 2008 级在读硕士研究生,湖南省衡阳市,421001.

4 结论

通过对矿山巷道锚杆支护失败事故树分析可知,巷道锚杆支护失败就会带来冒顶隐患,从而引发冒顶事故。引发矿山巷道锚杆支护失败的因素有许多,消除这些因素成为锚杆支护工作的重点,同时要从安全管理和工人培训上下工夫。巷道锚杆支护是一个复杂的系统工程,必须把理论、工程经验和现场监测 3 种手段和计算机结合起来,来指导矿山巷道锚杆支护,使巷道锚杆支护规范化和科学化。

参考文献

[1] 张景林,崔国璋. 安全系统工程[M]. 北京:煤炭工业出版社,

The Hazard Assessment on Gateway Roof's Bolt Support in Coal Mine Based on Fault Tree Analysis

LI Song-bo

ABSTRACT: By using fault tree analysis, this paper makes the hazard assessment on gateway roof's bolt support in coal mine, makes the qualitative analysis on all factors causing the failures of gateway roof's bolt support in coal mine, and thus determines some key factors causing the failures of bolt support, providing reliable bases for optimizing gateway roof's bolt support in mining enterprises.

KEY WORDS: gateway roof; bolt support; fault tree analysis; hazard assessment

等级设计的。在正常情况下,其绝缘性能均能承受运行电压。由于制造、安装工艺的影响,电气设备的绝缘可能在内部留有气泡、杂质、裂缝等,这种绝缘在高压交变电场作用下,绝缘内部会出现周期性的局部放电。如果这种周期性局部放电长时间持续存在,GIS 绝缘结构的介电性能可能受到严重损坏。如果这种故障不能及早发现并妥当处理,可能引发恶劣故障。

1.2 GIS 局部放电的检测方法

局部放电检测都是以局部放电所产生的各种现象为依据,通过能表述该现象的物理量来表征局放的状态。局部放电发生时伴随出现电脉冲、电磁波、超声波、光、热等物理现象,以及一些新的生成物等化学变化现象。

根据上述物理、化学表象特征,研究出以下几种检测方法:化学法、电极法、脉冲电流法、超声波法和特高频(UHF)法等方法。

2 GIS 特高频法检测

GIS 腔体内填充的是 SF6 气体,气压很高,其在运行过程中绝缘强度及击穿场强都很高。当 GIS 设备在很小的范围内发生局部放电时,由于气体击穿过程很快,将会产生一系列很陡的脉冲电流。放电脉冲持续时间为几个纳秒,其波头上升时间仅 1 ns 左右,激发的电磁波频率可达 1 GHz。由于 GIS 的壳体是同轴波导腔结构,放电过程中激发的电磁波在 GIS 腔体中能够有效传播。但是,因为 GIS 腔体并不是理想的导体,电磁波在 GIS 腔体内传播时会有一定的衰减。有研究发现,1 GHz 的电磁波在半径为 0.25 m 的 GIS 腔体中传播时的衰减大概为 3 dB/km~5 dB/km^[1],如果采用波导理论进行 GIS 设备局部放电检测,则可以忽略这种衰减带来的影响。

GIS 有许多由法兰盘连接的断点,例如盆式绝缘子、T 形接头、隔离开关等,电磁波信号在 GIS 腔体内传播通过这些断点时,会产生一定的衰减。文献[2]指出,电磁波能量衰减主要在绝缘子和 T 形接头这两处,绝缘子处的衰减大概是 3 dB 左右,T 形接头处的衰减大概是 10 dB 左右。

3 平面等角螺旋天线

平面等角螺旋天线是一种金属导体在同一平面内的天线^[4],且金属导体成螺旋形,分为单臂、双臂、四臂等形式,在本研究中采用双臂螺旋。平面等角螺旋天线的螺旋天线结构是自相似结构,螺旋天线的两端可以继续延伸,至无限长,能够满足天线设计中对于天线检测频率带宽的要求。因此,在一定频率带宽范围内认为天线本身的阻抗不会因检测信号频率变化而变化,这样天线的阻抗和检测设备传送线的阻抗能够实现固定匹配,并根据匹配情况采取有效措施,尽可能保证并还原局放信号波形特征。等角螺旋天线最主要的特点就是具有非频变特性,这也是本研究采用此种天线的原

因。平面等角螺旋天线结构示意图见图 1。

螺旋线极坐标系方程为:

$$\rho=\rho_0e^{a\psi} \tag{1}$$

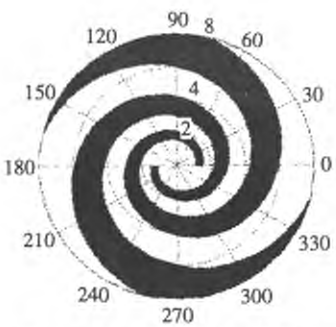


图 1 平面等角螺旋天线结构图

式中: ρ 为螺旋天线的极径; ρ_0 为螺旋天线起始的极径; a 为螺旋天线的螺旋率,用以表征螺旋线的紧密程度; ψ 为螺旋天线的极角。

双臂螺旋天线由 4 条螺旋线构成,螺旋率 a 相等。双臂螺旋天线其中一个臂的曲线方程为:

$$\rho_1=\rho_0e^{a\psi} \tag{2}$$

$$\rho_2=\rho_0e^{a(\psi+\delta)} \tag{3}$$

天线的另一个臂相当于前一臂绕定轴旋转半圈,与前一臂形成对称形状,它的曲线方程为:

$$\rho_3=\rho_0e^{a(\psi+\pi)} \tag{4}$$

$$\rho_4=\rho_0e^{a(\psi+\pi+\delta)} \tag{5}$$

GIS 发生局放时,产生 300 MHz~3 GHz 的 UHF 信号。在天线设计过程中,设计 300 MHz~1.5 GHz 的天线就能有效感知 GIS 内部发生的各种类型的局部放电现象,而且也避开了主要的电晕干扰频段。

在基于等角螺旋天线的 GIS 局放在线检测研究中双臂等角螺旋天线的螺旋率 a 取 0.221, δ 取 90°。这种天线能够实现自互补,在一定频率带宽范围内认为是非频变天线,当螺旋臂无限长时,天线阻抗理论值为 188.5 Ω 。

4 特高频局部放电传感器

基于等角螺旋天线的 GIS 局部放电在线检测研究中将天线和信号放大处理单元一起屏蔽起来,封装在一个金属封闭壳体当中,组成特高频局部放电传感器(见图 2)。

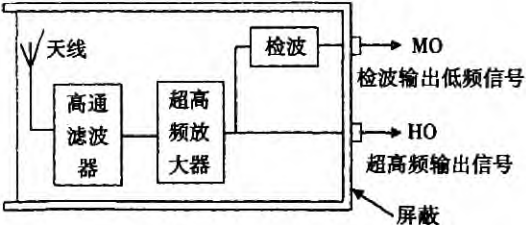


图 2 特高频局部放电传感器原理图

特高频局部放电传感器包括信号捕捉单元和信号放大单元两部分。其中,信号捕捉单元负责获取 GIS 设备内部因局部放电而产生的 UHF 信号,由本文设计的平面等角螺旋天线完成。

信号放大单元负责对平面等角螺旋天线接收到的 UHF 局部放电信号进行处理,高通滤波器降低背景噪声中电晕信号的影

响,通过高通滤波器滤波后的 UHF 局部放电信号由超高频放大器进行放大处理,降低信号传输及处理时产生的信号干扰,提高信噪比。

由 GIS 设备断点处传出的局部放电信号很小,如果再经过输送线路的远距离传输,信号将产生进一步衰减,放电信号将不能被 GIS 局部放电检测设备所使用,因此必须采取必要的信号放大处理措施。平面等角螺旋天线的信号频带较高,信号比较微弱,就要求采用的信号放大器的响应频带足够宽,通带增益足够高。因此,研究中采用通道增益为 40 dB 的高增益射频放大器作为 GIS 局部放电在线检测传感器的信号放大器。

特高频局部放电传感器同时提供检波输出(MO)和射频输出(HO)两路信号。检波输出保留局部放电信号的幅值和相位信息,经处理和分析后,形成局部放电图谱,为后续的波形分析、放电类型识别、故障查找等提供依据。射频输出具有实时、连续、前沿陡峭的模拟信号输出,可连接高性能示波器;可以将检波输出信号利用幅值比较法进行简单的故障定位;也可以将射频输出信号接入高性能数字示波器,利用时差法进行精确的故障定位。

5 GIS 局部放电现场测试

使用带有上述特高频局部放电传感器的局部放电检测仪进行现场测试,将传感器依次放在 GIS 的各盘式绝缘子处,通过局部放电检测仪的显示屏,观测是否出现局部放电脉冲。如果 GIS 设备内部存在放电,就使用两个传感器对放电点进行定位。图 3、图 4 为某变电站 3 段 PT、170 断路器间隔工频相位测试图谱。

从图 3、图 4 工频相位图谱可以看出,放电信号与工频相位不存在特定的联系,信号均匀分布于整个工频相位,没有突出的 180°对称云团,不具备典型的局部放电特征,多为干扰信号。因此,GIS 设备运行正常,不存在局部放电现象。

6 结语

基于等角螺旋天线的 GIS 局部放电超高频检测法,根据测量到的信号频谱及统计特征,能够很好地识别放电类型,还能对局部放电点进行定位,抗干扰能力尤其是抗低频干扰的能力强,灵敏度高,能够有效实现 GIS 局部放电的检测。也有研究表明,

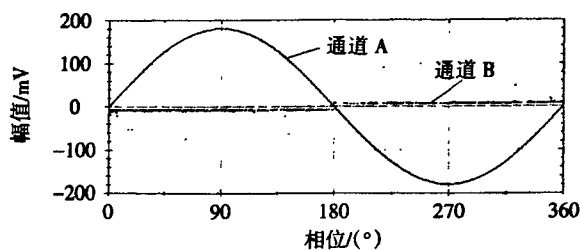


图 3 3 段 PT 工频相位图谱

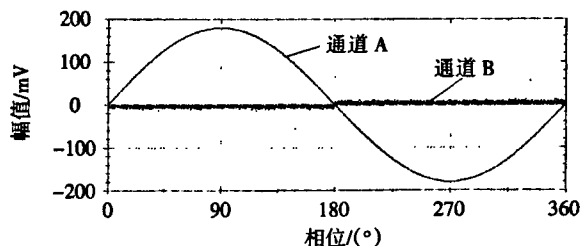


图 4 170 断路器工频相位图谱

特高频法目前还无法确定 GIS 内部故障的视在放电量,相信当其实实现视在放电量的准确测量时,将在 GIS 局部放电在线检测得到更为广泛的应用。

参考文献

- [1] 刘勋,王丽君.GIS 局部放电在线监测技术的综合分析[J].电力电气,2011,30(7):60-63.
- [2] 王建生,邱毓昌.气体绝缘开关设备中局部放电的在线监测技术[J].电工电能新技术,2000(6):44-49.
- [3] Nicholas De Kock. UHF PD detection in gas-insulated switchgear—suitability and sensitivity of the UHF method in comparison with the IEC270 method [J].IEEE Electrical Insulation Magazine, 1996,2(6):18-25.
- [4] 郝朝阳.特高频法检测 GIS 局部放电的研究[D].济南:山东大学,2011.

(责任编辑:戚米莎)

第一作者简介:吴怀玉,男,1967 年生,1990 年毕业于华北电力学院环境工程专业,工程师,长治供电分公司,山西省长治市,046011.

Research on GIS (Gas Insulator Switchgear) Partial Discharge Online Detection Based on Equiangular Spiral Antenna

WU Huai-yu

ABSTRACT: This paper analyzes the generation of GIS partial discharge, introduces several methods for the detection of GIS partial discharge, emphatically discusses UHF (ultra high frequency) detection of GIS and planar equiangular spiral antenna, and probes into how to make the field test by using UHF partial discharge sensor.

KEY WORDS: GIS; partial discharge; detection method; planar equiangular spiral antenna; UHF

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训：

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势：

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们：

- ※ 易迪拓培训官网：<http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网：<http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店：<http://shop36920890.taobao.com>