

局部放电超高频检测系统标定方法的研究现状及发展

王 颂, 吴晓辉, 袁 鹏, 梁永春, 李彦明

(西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049)

Current Situation and Development of Calibration for UHF-PD(partial discharge) Detection System

WANG Song, WU Xiao-hui, YUAN Peng, LIANG Yongchun, LI Yan-ming

(School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049 China)

摘要: 概述了局部放电超高频检测方法的发展及其在GIS和电力变压器中的应用现状, 简要介绍了超高频局部放电检测系统的构成, 着重对不同层次的超高频检测法的标定进行了阐述。同时, 对近年来国内外关于超高频法标定的研究工作做了评述, 并就进一步深入研究提出了建议。

关键词: 局部放电; 超高频检测系统; 标定

中图分类号: TM835.4

文献标识码: A

Abstract: This paper outlines the application status of partial discharge UHF detection for GIS and power transformers, and construction of the UHF PD-detection system mainly used now are simply introduced. Calibration methods for UHF signal detection system are expounded from different levels. And, recent research work about calibration for UHF method is evaluated, then, suggestion is proposed for next research.

Key words: partial discharge; UHF-detection system; calibration

0 引言

局部放电是造成绝缘劣化的主要原因, 同时也是绝缘劣化的主要征兆和表现形式。绝缘失效导致的大型电力设备故障往往以局部放电活动为前兆。因此, 在监测电力设备的绝缘状况方面已经做了大量研究并提出了不少局部放电的检测方法。文[1]研究表明, GIS中的局放活动产生的脉冲电流, 其上升时间小于100 ps, 可激发出超过2 GHz的电磁波。文[2]的研究结果证明: 变压器油中放电上升沿很陡, 脉冲宽度多为纳秒级, 能激励起1 GHz以上的超高频电磁波。超高频(UHF)局部放电检测法就是通过超高频传感器传感电力设备内部局部放电所产生的

超高频电磁波, 从而实现局部放电的检测和定位, 并实现抗干扰。利用超高频法研究电力设备的局部放电, 克服了传统的脉冲电流法测量频率低、频带窄的缺点, 可以较全面地反映局部放电的本征特征, 因而广受关注。目前, 超高频法已应用在GIS、电缆和发电机的局部放电测量中, 并取得了较好的效果。在电力变压器的局部放电检测中, 超高频方法的应用研究也正逐步地深入。

超高频法中的关键技术是传感器和灵敏度。传感器多采用电容传感器或超高频天线^[3]。超高频传感器的性能对检测灵敏度有着至关重要的影响。同时, 随着超高频法标准化的推动, 研究者逐渐认识到对超高频传感器标定的必要, 因为检测系统的有效性主要取决于传感器的灵敏度^[4]。应用于传统天线的标定方法包括标准场所、标准天线和标准场方法, 这些方法都是针对规则的天线标定提出的^[5]。对于非传统的天线标定方法仍在研究中。局部放电超高频传感器(天线)由于应用场合的特殊性, 其外形和功能与以往的天线(传感器)有明显的区别, 因而传统的天线标定方法对其不一定适用。国外对超高频传感器标定已经开展了不少研究, 并取得一定进展。国际大电网会议(CIGRE)积极推动超高频法的标准化, 并推荐了GIS局部放电超高频检测系统的灵敏度校准方法。

1 超高频局部放电检测系统

超高频局部放电检测系统框图见图1, 一般由传感器、信号调理单元、数据采集单元、计算机单元组成。

(1) 传感器

超高频法由于所检测的对象不同, 使用的超高频

收稿日期: 2006-06-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50377034)。

作者简介: 王 颂(1983-), 男, 湖南长沙人, 硕士研究生, 从事局部放电超高频检测技术的研究。

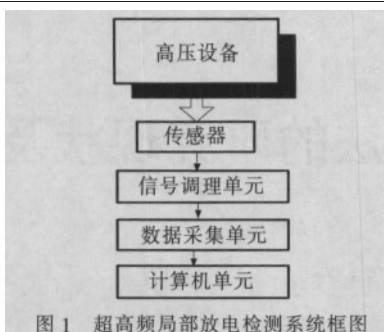


图 1 超高频局部放电检测系统框图

频传感器也各有差别。从安装位置来看,超高频传感器有内部耦合器和外部天线。天线若装在设备(GIS或变压器)内部,则内部电磁信号易于接收而且外部干扰几乎被完全屏蔽,灵敏度很高,但内部天线可能会改变内部电场分布,引起击穿^[6-7]。文[8]表明,GIS和变压器金属外壳绝缘缝隙处会泄漏出局部放电高频电磁波。因此,外部天线检测局部放电超高频信号也是一种有效途径,虽然其抗干扰能力和灵敏度较内部传感器低,但不影响内部电场分布和系统密封,移动方便,较少传感器即可实现局放源的定位。

(2) 信号调理单元

信号调理单元主要由带通滤波器、前置放大器、混频器、频率综合器等组成。通过对传感器送来的信号进行预处理,使得能任意选通超高频段一定带宽的某一中心频率的信号,将信号调整到普通采集卡能处理的频率范围,并保留其峰值和相位等特征,达到既能检测信号,又降低技术要求的目的,最后将调理好的信号送入采集卡进行数据处理。

(3) 数据采集单元

超高频局部放电信号经信号调理单元的混频、滤波处理后,降频为几十兆赫兹。再经过放大器的对数放大和解调后,信号变为宽度只有几十到几百纳秒的脉冲。要采集这样的信号,并基本可以反映原来脉冲波形,根据奈奎斯特采样定律,采集系统最小的采样率必须是被测对象最大频率的两倍,才不至于出现频率混迭。同时,根据不同的应用要求,数据采集系统还需考虑采集通道、A/D转换精度、模拟带宽、缓存等参数。

(4) 计算机单元

计算机单元通过软件对数据采集系统采集的数据进行分析处理,提供局部放电的强度、相位和放电类型等重要信息以辅助决策。一般采用工业计算机,也可以采用PC机(但很少用于变电站现场检测)。

2 标定方法的研究

超高频方法由于其高灵敏度和极强的抗干扰能力,已成为一种监测电力设备局部放电活动的重要诊断工具。而且,随着关于超高频法局部放电检测方面标准的讨论和建立,进行超高频检测系统标定就显得尤为重要。目前,有关超高频法标定的研究主要

集中在以下 3 个方面:①超高频法检测结果的标定;②超高频检测系统灵敏度的标定;③超高频传感器的标定。

(1) 超高频法检测结果标定

超高频法检测结果的标定主要是与传统方法(IEC 60270 法)的结果进行校核,试图在超高频法测量结果(dBm, mV)与局部放电量(pC)之间建立联系。文[9]在这方面做了尝试:首先根据实际GIS的局放图识别缺陷类型,然后根据灵敏度曲线(UHF法和IEC 60270标准方法同时测量得到)来标定每一类缺陷的视在放电量。然而,这种校核方法受到很多因素的影响,如不同缺陷的处理将对应不同的灵敏度曲线,还有注入人工脉冲的当量(多少pC)问题等,这些都将使得不同制造部门或研究机构得到各不相同的结果。另外,文[10]也做了类似研究,使用IEC 60270描述的方法和UHF检测法对不同类型的GIS局部放电活动进行检测。根据两种测量方法的结果,dBm单位(UHF检测系统的结果)与pC单位之间的转换是可能的,且结果表明转换曲线与局放源及箱体大小无关。

(2) 超高频检测灵敏度标定

对于检测局部放电的设备而言,灵敏度是一个极其重要的性能指标。超高频法的检测灵敏度也一直为相关研究机构和组织所关注。例如,CIGRE就对超高频法的灵敏度标定提出了一些建议方法。由于超高频传感器测得信号幅值取决于诸多因素,如设备结构、缺陷位置以及传感器本身等等,因而不能确定总的传递函数^[11-13]。因此,类似于IEC 60270的灵敏度校核方法对超高频法是不合适的。CIGRE TF15/33.03.05建议了一个两步骤的灵敏度校核方法,确保用超高频检测设备能发现典型的缺陷^[13]。第1步,如图2所示,实验室试验确定发射超高频信号的人工脉冲的参数(上升时间、半峰值时间、脉冲幅值等)。加压使传感器 C_1 处的真实缺陷发生局部放电(放电量约5pC),在 C_2 处用UHF法检测该缺陷放电激发的超高频信号A(用脉冲能量或幅值表示),见图2(a)。然后在 C_1 处注入幅值可调的脉冲,在 C_2 处得到超高频信号B,见图2(b)。调节注入脉冲的幅值,使超高频信号B与A的偏差在 $\pm 20\%$ 以内^[13]。第2步,现场试验在GIS设备相邻的传感器之间进行:将实验室得到的脉冲(参数已定)在其中一处注入,如能在另一处测得上述超高频信号,则认为UHF测量设备的检测灵敏度为某一水平^[13](CIGRE标准建议是5pC)。目前,国外已有较多关于该方法应用于GIS的报道^[11-15]。文[15]尝试将该方法应用于电力变压器的超高频检测系统并取得一定成果。

(3) 超高频传感器的标定

超高频传感器的标定是对超高频信号检测传感

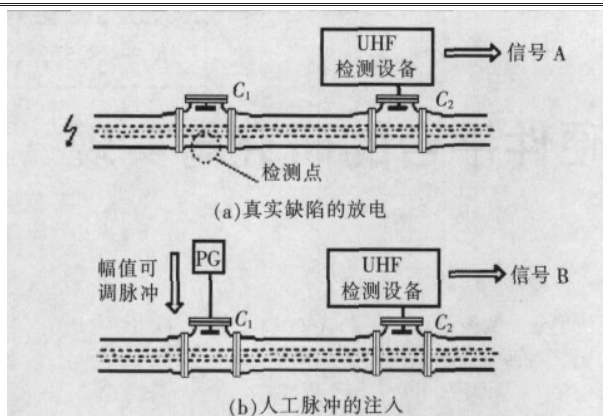


图2 GIS局部放电超高频检测灵敏度标定第1步-实验室试验

器本身的校准。局部放电超高频检测系统自身的校准是标定其灵敏度的基础，在检测系统本身校准的前提下，对灵敏度标定才有意义。文[16]提出用一种新的平行板 TEM 传输线标定方法对 GIS 中超高频传感器进行评价。TEM 传输线产生类似于 GIS 中传感器受到的电场。通过定义标准的测试条件，对不同的传感器进行比较。这些测试条件^[4, 17]是：①传感器应该安装在一凹槽里，并且凹槽尺寸与 GIS 上传感器的安装位置相同，以便模拟传感器的实际环境；②测试时，接地平板代替传感器安装的 GIS 气室壁；③传感器的灵敏度定义为频域里的有效高度 H_e ()，其值为传感器输出电压 U_o () 与入射电场 E_i () 的比值；④ E_i () 为垂直于接地平板的电场，测量时传感器位置的开口被金属平板盖住，以使接地平板连续。

TEM 传输线系统结构见图 3^[18]。激励电场的信号源由雪崩电路产生，避免了使用扫频信号可能引起的电磁场畸变。文[4]对 GIS 中超高频传感器的标定做了许多研究，在总结上述方法的基础上，对传统 TEM 传输线做了改进，去掉了原来的 TEM 终端匹配要求，简化了测量系统的结构，使其工作频率延至数 GHz 范围，即 GTEM 标定。

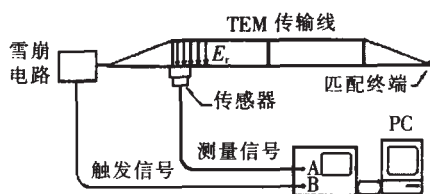


图3 超高频传感器 TEM 标定系统结构

3 分析与讨论

超高频法检测结果与 IEC 60270 方法检测结果的对比一直受到关注。显然，如果能与现有标准建立联系，那么对建立超高频法方面的标准无疑是极为有利的。国内外对这方面已经开展了很多研究，但一直没有定论。也有学者认为这样的标定是没有意义的，因为不同研究机构做出的结果可能大不相同。因而，这方面研究仍有待进行新的探索。

CIGRE 组织提出标定超高频设备灵敏度的建议方法时，超高频方法在 GIS 中的应用已经发展了多年，但在变压器中的应用尚处起步阶段，因而其提出的方法针对性较强。该方法涉及到模拟缺陷和人工脉冲产生的频谱比对，内部、外部传感器的位置等具体问题。电力变压器中的这些问题与 GIS 中是不尽相同的。随着近年来变压器局部放电超高频检测方法的发展，CIGRE 建议的方法在变压器中的应用也有待进一步研究。

随着超高频方法的广泛应用，对超高频局部放电检测系统的可靠性和灵敏度都提出更严格的要求。特别对于现场应用的局放测试设备，希望对超高频传感器及其放大单元的校准更方便快捷地完成。因此，今后的发展应该是建立起标准测试条件以利于超高频传感器的现场校核。

4 结语

研究局部放电超高频检测系统的标定方法是一项具有重要意义的工作。从目前国内外的研究现状来看，无论是超高频检测结果的标定，还是超高频检测设备灵敏度的标定，仍有不少待探索或解决的问题，这也为以后的研究工作提供了新的方向。

参考文献:

- [1] Sander Meijer, Robert G A Zoetmulder, Johan J Smit, et al. Development and Application of a Portable Multipurpose On-site/on-line PD Measuring System, Dielectric Materials, Measurements and Applications [C]// Conference Publication No. 473, IEE 2000: 133-138.
- [2] Rutgers W R, FU Y H. UHF PD Detection in Power Transformer[C]// 10th ISH, Montreal, Canada, 1997: 25-29.
- [3] 王国利, 郝艳捧, 李彦明. 电力变压器局部放电检测技术的现状和发展[J]. 电工电能新技术, 2001(2): 52-57.
- [4] Judd M D, Farish O. A Pulsed GTEM System for UHF Sensor Calibration [J]. IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, 1998, 47(4): 875-880.
- [5] Tim Hong, Chen-Lung Chou, Andy Kuo. Improving Calibration of Broadband Antenna Factors in a GTEM Cell [J]. International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 1999(5): 592-595.
- [6] 唐炬, 朱伟, 孙才新, 等. 检测 GIS 局部放电的超高频屏蔽谐振式环天线传感器研究 [J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(7): 705-709.
- [7] 王建生, 邱毓昌, 孙晓滨, 等. 超高频天线传感器的优化设计[J]. 传感器技术, 2000, 19(2): 17-19.
- [8] 李忠, 陈杰华. 外部传感器 GIS 局部放电超高频检测的研究[J]. 高电压技术, 2003, 29(6): 35-37.
- [9] Toshihiro Hoshino, Shiro Maruyama, Kenichi Njima, et al. A Unique Sensitivity Verification Combined With Real-time Partial-discharge Identification Method[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2005, 20(3): 1890-1896. (下转第 64 页)

强电信号通过各插件上的端子直接从机箱后面进入相应的信号板,各个信号板通过机箱前面的底板相连,底板上没有强电信号经过,从而克服了前插式机箱强电信号和弱电信号在同一侧 PCB 板上走线的缺点。同时,在所有与外部连接的信号接口电路与装置内部电路之间采用光电隔离或互感器隔离,将内部电路与外部电路完全隔离,从而有效地避免了装置安装现场的干扰通过信号电缆、控制电缆或通信电缆窜入后,干扰装置内部元件的正常工作。由于装置本身采用的液晶显示屏面积较大,且面板上的按键较多,造成前面板上的开口较多、较大,所以外部的电磁干扰不可避免地通过面板泄露到装置的内部。为了抑制辐射电磁干扰对装置内部的影响,在机箱的前面板与机箱内部之间增加了一块金属挡板,将机箱前面的显示和键盘部分与机箱内部的插件隔离开,两部分之间的电源和信号也完全隔离,两者之间通过光电隔离器件连接,采用串行通信方式完成数据的交换。这样,只需要在增加的挡板上开一个小孔来连接前面板与机箱内部,大大减少了通过前面板泄露到机箱内部的电磁辐射,提高了装置的抗干扰能力,保证了装置的可靠性^[3]。整个继电保护装置的结构框图见图 2。

图 2 中,装置电源的每一路输出都是互相隔离的,从而保证装置内部的不同部分之间不会通过电源互相干扰。同时,CPU 插件上所有的输入和输出信号与装置外部的信号线之间都经过隔离,提高了整个系统的抗干扰能力。

4 结语

目前,基于该硬件平台开发出的继电保护装置

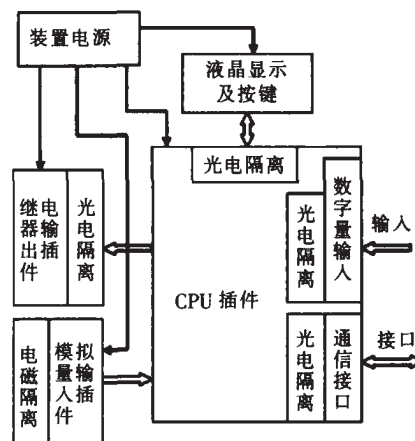


图 2 整个继电保护装置的结构框图

已经通过了中国电力科学研究院的功能、测量精度和电磁兼容测试,完全满足设计要求,证明该设计方案是可行的,同时也证明 F2812 功能强大、可靠性高,非常适合作为工控领域的高性能控制器。以 F2812 为核心构成的硬件平台完全能够满足目前对继电保护装置的性能要求,是目前非常理想的硬件平台。在该硬件平台上,开发不同功能的产品,以满足电力行业不断出现的新的需求,必将带来更多的社会效益和经济效益。

参考文献:

- [1] 易勇辉,赵志华.一种新型的继电保护软硬件平台[J].继电器,2002,30(6):26-29.
- [2] 李佑光.电力系统继电保护原理及新技术[M].北京:科学出版社,2005.
- [3] 李娜.基于 ARM 的自动保护装置开发与研究[J].电气应用,2005,24(7):41-43.

(上接第 61 页)

- [10] Kato T, Endo F, Hironaka S. Sensitivity Calibration of UHF Partial Discharge Monitoring System in GIS [J]. Transactions of the Institute of Electrical Engineers of Japan, Part B. 2002, 122(11): 1226-1331.
- [11] Feger R, Feser K, Neumann C, et al. Non-conventional UHF Sensors for PD Measurements on GIS of Different Designs [C]// IEEE PowerCon 2000 Conference, Perth, Australia, 2000: 1395-1400.
- [12] Sellars A G, Mac Gregor S J, Farish O. Calibrating the UHF Technique of Partial Discharge Detection Using a PD Simulator [J]. IEEE Trans. Dielectrics and Electrical Insulation, 1995, 2(1): 46-53.
- [13] PD Detection System for GIS: Sensitivity Verification for the UHF Method and the Acoustic Method [C]// CIGRE TF15/33.03.05. Electra No. 183, 1999.
- [14] Knapp M, Feger R, Feser K, et al. Application of the GI-GRE-sensitivity Verification for UHF PD Detection in

Three-phase GIS [C]// Conf Publication: High Voltage Engineering Symposium, Montreal Canada, 1999: 22-27.

- [15] Sander Meijer, Pantelis D Agoris, Johan J Smit. UHF PD Sensitivity Check on Power Transformers [C]// Proc. of the XIVth International Symposium on High Voltage Engineering, Beijing, China, 2005: 25-29.
- [16] Martin D Judd, Li Yang, Ian B B Hunter. Partial Discharge Monitoring for Power Transformers Using UHF Sensors Part 1: Sensors and Signal Interpretation [J]. IEEE Electrical Insulation Magazine, 2005, 21(2): 5-14.
- [17] Judd M D, Farish O, Pearson J S. UHF Couplers for Gas Insulated Substations—a Calibration Technique [J]. IEE Proc. Science, Measurement and Technology, 1997, 144(3): 117-122.
- [18] Martin D Judd, Farish O, Hampton B F. Broadband Couplers for UHF Detection of Partial Discharge in Gas-insulated Substation [J]. IEEE Proc-sci. Meas. Technol, 1995, 142(3): 237-243.