

开关柜监控采用无线通信的抗干扰性能试验研究

王晓哲¹, 李知秋¹, 姚良忠², Christian Sasse², 黄瑜珑¹, 曾 嵘¹

(1. 清华大学电机工程与应用电子技术系, 北京 100084;

2. AREVA 输配电集团技术中心, Stafford, ST17 4LX, United Kingdom)

Anti-interference Performance Test Investigation of Wireless
Communication in Cabinet Monitoring and Control

WANG Xiao-zhe¹, LI Zhi-qiu¹, YAO Liang-zhong², Christian Sasse², HUANG Yu-long¹, ZENG Rong¹

(1. Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. AREVA T&D Technology Centre, Stafford, ST17 4LX, United Kingdom)

摘要: 采用现代无线方式实现开关柜监控通信, 在监控量规模较大时具有运行可靠、安装灵活、成本低廉等优点。在对现有商用成熟无线通信技术进行比对筛选的基础上, 对 IEEE 802.11b 两种主要候选方案进行了工频磁场、间隙放电等的抗干扰实验, 初步了解了它们的抗干扰性能, 为进一步的应用研究打下了基础。

关键词: 抗干扰; 蓝牙; 802.11b; 开关柜

中图分类号: TM595

文献标识码: A

Abstract: In this paper, Bluetooth and 802.11b are chosen from several commercial wireless communication solutions for the purpose of cabinet monitoring and control, and 50 Hz magnetic field, pulse magnetic field and gap breakdown anti-interference tests are proceeded on it. According to the test result, the anti-interference performance of the two candidates preliminarily is found out, which have laid the foundation for the further feasibility investigations.

Key words: immunity; Bluetooth; 802.11b; cabinet

0 引言

开关柜在线监测要测量的量一般包括开关柜内的温湿度、断路器行程、速度、开断电流以及合分闸线圈电流电压等, 监测量既有数字量也有模拟量, 监测速率要求快慢不一, 是一个非常复杂的弱电信号系统, 它们的传输一直以来主要采用有线方式。鉴于设备现场电磁环境非常恶劣, 线路一般都使用屏蔽电缆或光纤, 然而这两种线路的铺设、维护成本都相当高, 光缆相关的收发装置尤其昂贵, 当监控量很多时, 传输线路本身就要占用很大的空间, 并且直接导致接线复杂, 维护与检修非常不便。此外, 当遭遇雷击等强电磁干扰时, 传输微弱信号且长度可观的这些信号线路往往成为干扰窜入的首选路径, 而连接于信号线路末

端的均为弱电元件, 往往不具备抵御强电磁干扰的能力, 很容易被瞬态冲击破坏, 造成经济损失。

由于有线传输的通信手段存在以上弊端, 而无线通信不需要传导媒质, 避免了传导性电磁干扰对弱电元件的破坏, 且由于取消了导线连接, 即使传输信号量很多时也不会给维护带来困难。因此, 越来越多的研究人员与设备制造厂商都在考虑采用无线传输解决以上问题的可行性。

1 现有无线通信方式的简单对比分析

目前比较常用且成熟的无线通信方式主要有普通 FSK 调制、IEEE 802.11b/g、蓝牙、ZigBee 等。

选择在开关柜中应用的无线通信方式, 主要考虑以下因素: ①监控量的传输速率能得到保证; ②系统的运行要稳定可靠; ③系统成本可接受; ④通信系统的功耗应在可接受范围内。普通 FSK 通信方式的结构过于简单, 速率很低 (<90 kbps), 无法满足模拟信号量化后传输的速率要求, 仅能用于简单的开关量监控; 而 IEEE 802.11b/g、蓝牙和 ZigBee 都是新一代成熟的商用扩频通信技术, 在 2.4 GHz ISM 频段下提供了较高的通信速率, 其中 802.11g 的最大速率为 54 Mbps^[1], 802.11b 为 11 Mbps^[2], 蓝牙为 1 Mbps^[3], ZigBee 为 250 kbps^[4]。就能耗而言, 802.11 系列基本在同一量级; ZigBee 是专为传感器网络应用所设计的, 能耗极低; 蓝牙居于二者之间。由于 ZigBee 的通信速率难以应付速率要求较高的采集量与监控量的实时传输, 而系统的最大速率应该在满足要求的前提下尽量降低以提高稳定性和可靠性, 因此在综合比对的基础上, 选择 802.11b 和蓝牙作为候选无线通信方式进行研究。

收稿日期: 2006-06-19; 修回日期: 2006-07-24

作者简介: 王晓哲 (1981-), 男, 山东莱州人, 在读硕士研究生, 主要从事无线通信设备的电磁兼容研究。

2 开关柜监控中的抗干扰实验设计

2.1 可能的电磁干扰类型分析

由于无线通信部分在应用中并非独立设备(无独立供电和导出信号端口),因而重点研究的是感应和辐射干扰信号,在开关柜中该类信号主要包括工频磁场、脉冲磁场、电弧、电晕放电、SF₆和真空间隙击穿等^[5]。通过分析,主要选择工频及脉冲磁场、电晕放电、间隙击穿等抗干扰实验内容。

2.2 工频及脉冲磁场抗干扰实验设计

工频磁场和脉冲磁场抗干扰实验分别按照 IEC 61000-4-8^[6]和 IEC 61000-4-9 标准进行^[7]。实验按最高规定标准(5级)进行。使用边长 1.5 m 线圈系数 0.87 的矩形磁场线圈对无线设备进行 3 个正交方向上的浸入式测试,持续工频磁场的磁场强度为 100 A/m,脉冲磁场的峰值磁场强度为 1 000 A/m。实验装置见图 1。

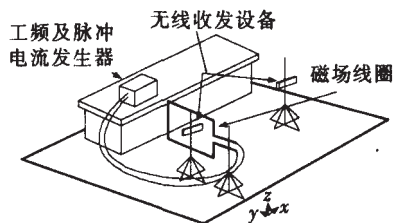


图1 工频及脉冲磁场实验装置配置

一般 10 kV 母线附近的磁场强度在 30 ~ 60 A/m 的范围内^[8]。经计算,当相电流为 600 A 时,在间距为 0.3 m 的三相并排母线上方 1 m 处的最大磁场强度约为 96 A/m,因此可以认为实验条件足够严酷。

2.3 电晕放电及间隙击穿抗干扰实验设计

空气中的电晕放电以及空气、SF₆和真空间隙的击穿是开关柜中常见的干扰源,其产生的干扰信号高频分量比例很大,能够以辐射形式有效地将能量耦合到其它设备中去,因此采用它们进行无线通信设备辐射抗干扰实验具有代表性。实验方式主要是利用不同的间隙装置在距通信设备一定距离处产生干扰信号,并观测待测通信系统通信质量的变化。

2.3.1 模拟干扰源

模拟空气电晕放电及间隙击穿使用的是如图 2 所示的针板电极装置,电极同高压交流电源相连接。随着施加电压的逐步升高,电极间首先出现电晕放电现象,一旦电压超过电极间隙的极限击穿电压,即会产生空气间隙击穿。

模拟 SF₆和真空间隙击穿则使用如图 3 所示的

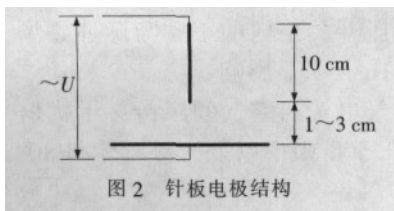


图2 针板电极结构

封闭式间隙装置,装置击穿电压约为 20 kV。

2.3.2 实验装置

实验装置见图 4 与图 5。图中:A 为喇叭形接收

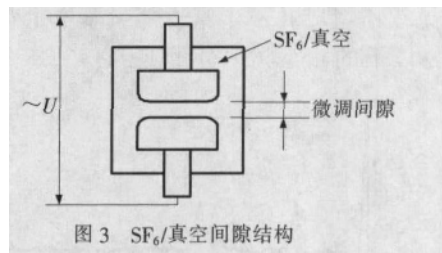


图3 SF₆/真空间隙结构

天线(适用频带 1 ~ 18 GHz)或偶极子天线(适用频带 200 MHz 以下);S 为模拟干扰源,采用针板电极(空气间隙实验)或封闭式间隙装置(SF₆/真空间隙实验);D 为无线通信设备,为 802.11b 或蓝牙 USB 无线网卡。

分析干扰源频谱特性时,接收天线连接至 Agilent ESA 4407B 频谱仪(带宽 26.5 GHz)。考虑到

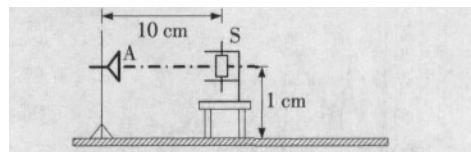


图4 频谱测量实验设备

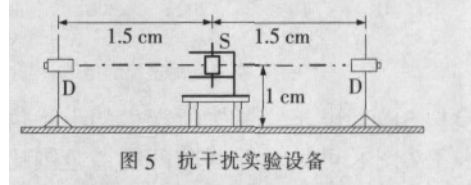


图5 抗干扰实验设备

分析频段需包含无线通信所用频段(2.4 GHz ISM 频段),而为了排除低频处频谱仪本振的馈通干扰,频段下限又不能太低,故选择 100 kHz ~ 2.483 5 GHz 作为待分析的频率范围,但在干扰源明显不存在很高频率的分量时,则应适当缩小待分析频率范围以提高精度。分辨率带宽 RBW 默认设置为 1 MHz。另外,间隙击穿时产生信号的随机性很强,为了全面刻画其频谱分布特性,在测量时使用了 Max Hold 方式保留所有频点处的最大功率值。

实验时,无线通信设备分别使用两台笔记本电脑控制,通信速率用 NetIQ IxChariot 软件测量。由于蓝牙和 802.11b 设备的最大通信速率相差较大,因此对蓝牙采用 20 kB 长的测试数据段,对 802.11b 采用 100 kB 长的数据段,以保证同样长的测量时间段内取得相近的测量点数。最终以 TCP/IP 方式的用户层净数据吞吐量测量结果作为评判通信质量的标准。

3 实验结果及分析

3.1 工频及脉冲磁场抗干扰实验结果

大量实测结果显示,5 级持续工频磁场和脉冲磁场对蓝牙及 802.11b 无线通信设备的通信性能基本没有影响,二者的通信速率均无明显变化。

3.2 电晕放电及间隙击穿的干扰频谱

试验测量得到的模拟空气电晕放电干扰信号的频谱见图 6。信号功率用 P 表示, 单位为 dBmW 。从图 6 可见频谱组成并不丰富, 能量基本上都分布在 200 MHz 以下的几个频率分量上。

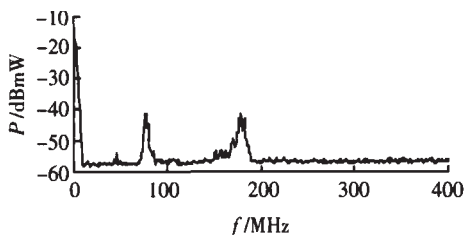


图 6 空气电晕放电频谱

逐步升高施加电压, 使其转变为空气间隙击穿后, 产生的干扰信号频谱见图 7。从图 7 可见, 此时高频成分丰富了许多, 延伸到 600 MHz 左右, 同时较低频率分量强度也有所提高。

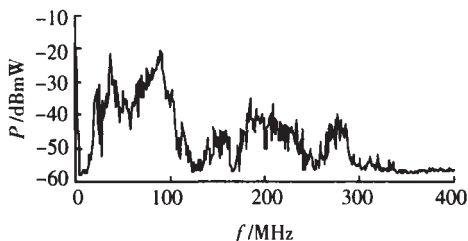


图 7 空气间隙击穿频谱

模拟 SF_6 间隙击穿装置所产生的干扰信号频谱见图 8。从图 8 可见, SF_6 间隙的频谱范围比空气间隙击穿要宽, 而且结构复杂得多, 信号分量强度随频率变化缓慢, 直至 2.4~2.4835 GHz 的 ISM 频段内仍有近 -40 dBmW 的强度, 是典型的宽带干扰信号。

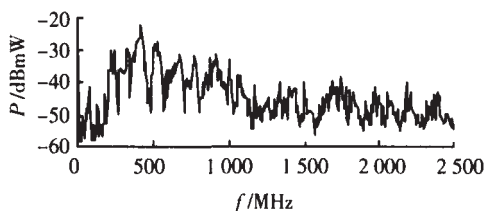


图 8 SF_6 间隙击穿频谱

模拟真空间隙击穿装置所产生的干扰信号频谱见图 9。从图 9 可以看出, 同 SF_6 间隙击穿的频谱相似, 真空间隙击穿也是含有极高频分量的宽带干扰信号, 由于试验时击穿电压比 SF_6 间隙时要高, 击穿时释放的能量大, 因此各个分量的强度都有所提高。

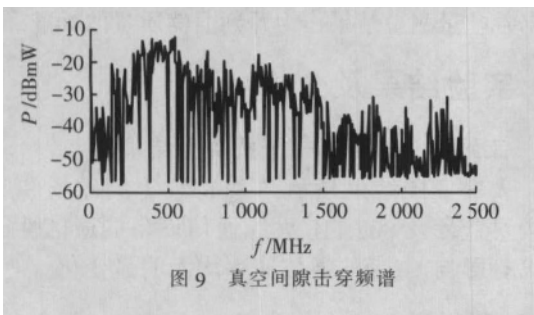


图 9 真空间隙击穿频谱

3.3 电晕放电及间隙击穿对通信的影响

以模拟空气电晕放电和空气间隙击穿为干扰源, 蓝牙和 802.11b 无线通信速率的测量结果见图 10 (为方便进行前后比较, 以正常通信速率为基准, 对速率数据进行了归一化处理, 用 r 表示。以下同)。

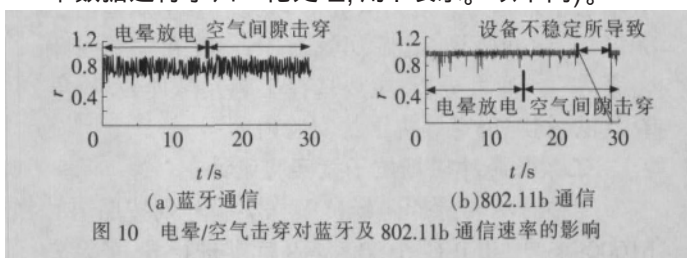


图 10 电晕/空气击穿对蓝牙及 802.11b 通信速率的影响

除了所用 802.11b 无线网卡自身不稳定导致的一段速率显著下降以外, 从图 10 中未观察到电晕放电和空气间隙击穿对蓝牙和 802.11b 无线通信产生的明显影响。

干扰源改为 SF_6 间隙装置时, 无线通信速率测量结果见图 11。从图 11 可以看出, 蓝牙和 802.11b 通信方式对 SF_6 间隙击穿干扰信号都很敏感, 出现干扰信号时, 802.11b 速率下降至原来的 50% 左右, 蓝牙速率则跌落到几乎无法进行正常通信。但是一旦干扰消失, 二者都能恢复至正常的通信速率。

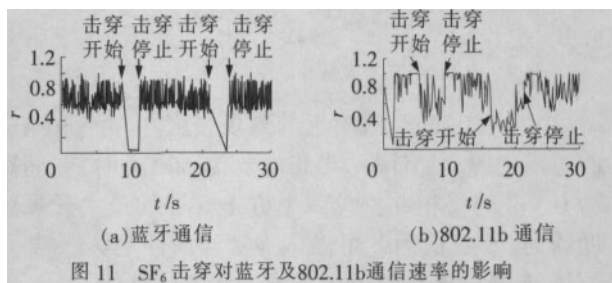


图 11 SF_6 击穿对蓝牙及 802.11b 通信速率的影响

干扰源改为真空间隙装置后的速率测量结果见图 12。从图 12 可见, 真空间隙击穿干扰同样对蓝牙和 802.11b 通信产生了明显影响, 蓝牙受影响程度同 SF_6 间隙击穿时相近, 而 802.11b 受影响程度则略轻一些。

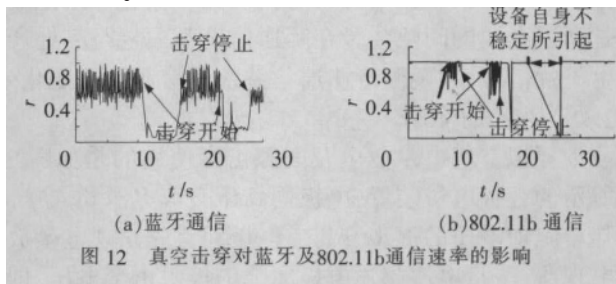


图 12 真空击穿对蓝牙及 802.11b 通信速率的影响

4 结论

由以上各项试验的实测结果可得到以下结论:

(1) 中压开关柜内的工频与脉冲磁场干扰对蓝牙和 802.11b 无明显影响。

(2) 空气电晕与空气间隙击穿干扰信号的主要成分分布在 500 MHz 以下, 对蓝牙和 802.11b 无明显影响。
(下转第 24 页)

4 结语

为解决高压侧电子装置的电源供给,必须为其提供稳定、可靠、高质量的电源。特制电源 CT 是一个低成本的实用方案。平波电抗的采用,使该电源可以工作在更宽的一次电流范围内,结构更简单、工作更可靠。如果增大 CT 铁心体积可以获得更低的启动电流或更大的功率输出。

该方案仅与一次电流大小有关,与电压等级无关,可应用在 10 kV 以上所有电压等级的设备中。高压自具电源可以满足大多数高压侧电子系统的供能要求,具有很高的性价比,在电流、温升的测量系统和高压开关的操动机构中有广泛的应用前景。

这种高压侧的供电方式,与光纤通信技术和微处理器技术相结合,可简化高压设备的绝缘设计,降低生产成本。

参考文献:

- [1] 段雄英, 邹积岩. 数字调制式一体化光纤电力传感器的研究 [J]. 高压电器, 2002, 38(2): 29-31, 34.
- [2] Donaldson E F, Gibson J R, Jones G R, et al. Hybrid Optical Current Transformer with Optical and Power-line Energisation [J]. IEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution, 2002, 147(5), 304-309.
- [3] 廖敏夫, 邹积岩, 段雄英. 基于永磁操动机构的光控模块式多断口真空断路器技术 [J]. 高压电器, 2004, 40(1): 40-42.
- [4] 费万民, 吕征宇, 耿福江, 等. 高压开关触点和母线温度在线检测与监视系统 [J]. 电力系统自动化, 2004, 28(3): 86-89.
- [5] 许一声, 顾霓鸿. 高压开关柜触头温度在线检测仪 [J]. 高压电器, 2005, 41(2): 139-140.
- [6] 李芙蓉, 陈永亭. 应用于光电式电流互感器的悬浮式电源的设计 [J]. 继电器, 1999, 27(1): 40-42.
- [7] 李 澎, 蔡志斌, 罗承沐. 光电电流互感器的供能电路的研究 [J]. 电工电能新技术, 2003, 22(4): 44-47, 72.
- [8] 袁季修, 盛和乐, 吴聚业. 保护用电流互感器应用指南 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.

(上接第 20 页)

(3) SF₆ 和真空间隙击穿时所产生的干扰信号成分很丰富,影响频带可延伸至 2.5 GHz 以上。

(4) 采用 FHSS 技术的蓝牙和采用 DSSS 技术的 802.11b 无线通信方式都会受到 SF₆ 和真空间隙击穿的干扰,通信速率会产生不同程度的跌落;同样干扰环境下,蓝牙相对于 802.11b 受到的影响更为显著。

(5) 由于所用间隙设备的击穿电压无法任意调节,且蓝牙发射信号功率比 802.11b 小很多,因而尚不能对比解析两种无线通信方式受干扰的机理。因此,今后还将进一步深入开展实验和研究分析工作。

参考文献:

- [1] IEEE 802.11g. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 4:

- Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band[S].
- [2] IEEE 802.11b. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Higher-speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band[S].
- [3] BT Spec v1.2. Bluetooth SIG Specification of the Bluetooth System Core[S].
- [4] IEEE 802.15.1. Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for WPANs[S].
- [5] 郭 雄, 张文亮. 电力系统电磁环境问题 [J]. 高电压技术, 1997, 23(4): 33-35.
- [6] IEC 61000-4-8. Basic Immunity Standard for Power Frequency Magnetic Field Tests[S].
- [7] IEC 61000-4-9. Basic Immunity Standard for Pulse Magnetic Tests[S].
- [8] 陈巨兴. 变电所电磁环境测量与分析 [J]. 农村电气化, 2003 (4): 31-32.

简 讯

2006 年高压开关行业 10 件大事评选揭晓

由中国高压电器网和中国电器工业协会高压开关分会共同举办的 2006 年高压开关行业重大事件评选活动于 2007 年 1 月 20 日结束。评委会对从行业内征集到的 33 项事件经过严格筛选,从中初选出了 15 件候选事件在中国高压电器网(www.chinahva.com)上进行投票评选。通过近 20 天的网上投票,最终依据票数的多少确定入选的 2006 年高压开关行业 10 件大事为:①国务院出台《关于加快振兴装备制造业若干意见》;②西安高压电器研究所 800 kV 断路器大容量试验系统技术改造项通过国家验收;③GB 3906-2006《3.6~40.5 kV 交流金属封闭开关设备和控制设备》国家标准发布;④“中国名牌产品”评比涉及高压开关行业评比活动开始启动;⑤国家高压电器质量监督检验中心对 5 个特高压产品实施了型式试验;⑥首台 800 kV 罐式断路器通过鉴定;⑦“750 kV 交流输变电成套设备及电网互联成套设备研制”通过验收;⑧外资收购我国高压开关企业愈演愈烈;⑨我国又一人被任命为 IEC 分技术委员会主席席位;⑩高压开关行业大会召开,科技交流活动蓬勃开展。

关于以上事件的详细解释请浏览中国高压电器网(www.chinahva.com)。