

# 基于 ZigBee 的六氟化硫微水含量在线监测装置的研究

杨 惠<sup>1,2</sup>,潘峥嵘<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>甘肃联合大学电子信息工程学院 兰州,730000)

(<sup>2</sup>兰州理工大学电气工程与信息工程学院 兰州,730050)

**摘 要:**基于 ZigBee 的 SF<sub>6</sub> 气体微水含量在线监测装置由处理器、数据采集和调理装置、ZigBee 无线网络通信技术、报警控制装置以及电源电路组成。本装置通过监测 SF<sub>6</sub> 气体的湿度、温度、压力等相关数据信息,采用无线信息融合技术降低了测量误差,实现了测量系统自动定标、测量数据的补偿和确定输出报警信号,提高了测量的精度和可信度,延长了使用寿命。

**关键词:**ZigBee; 六氟化硫; 微水含量; 在线监测

**Abstract:** on-line monitoring device for SF<sub>6</sub> humidity based on ZigBee was composed of processors, signal conditioning units (SCU), data-collection devices, ZigBee wireless network communication technology, control equipment of ventilation and alarm and powering circuits. Data information of humidity, temperature and pressure of SF<sub>6</sub> gas can be monitored by the device. The application of information blending technique decreased the error of measuring, and achieved auto-calibration of measurement systems, compensation of measured data and signal output control, and improved precision of the reliability of measurement, and extended the service life.

**Key words:** ZigBee; SF<sub>6</sub>; humidity; on-line monitoring

中图分类号: TP306

文献标识码: A

文章编号: 1001-9227(2013)-02-0022-03

## 0 引言

SF<sub>6</sub> 气体几乎成为高压、超高压断路器中唯一的绝缘和灭弧介质<sup>[1]</sup>。SF<sub>6</sub> 气体在常温下是稳定的,但当其中含有水分时,温度在 200℃ 以上就开始分解,生成物中含有无机酸中腐蚀性最强的氢氟酸和 SO<sub>2</sub>,会对设备绝缘件和金属部件产生腐蚀作用。当 SF<sub>6</sub> 气体中水分超标时,对 SF<sub>6</sub> 断路器的危害特别大,轻者导致设备的绝缘下降,造成断路器损坏,重者将导致断路器事故引起的电网事故,这不但降低了电网的运行的安全性,而且可能给电力企业及用户造成了重大经济损失。水分的存在对 SF<sub>6</sub> 气体电气性能的危害分为化学和物理两个方面,因此对微水含量的控制也应根据运行中是否有电弧的发生区别对待,即将 GIS 中开关气室与其它气室的微水含量以不同的标准分别控制。电力行业标准 DL/T596-1996 对此有明确的规定,见表 1<sup>[2]</sup>。

表 1

设备类型	交接验收值	运行允许值
有电弧的隔室	150	300
无电弧的隔室	250	500

注:表中微水为气温为 20℃ 时的值

在线测量技术是针对一个系统使用多种传感器这一特定问题而展开的一种关于信息处理领域的研究,它利用多个传感器获取的多个信息,得出对环境或对象更全面、更精确的认识,进而进行可靠的决策,克服了单一传感器给系统带来的误报危险性大、可靠性和容错性低的缺陷<sup>[3]</sup>。系统采用高精度专用无线传感器,在线实时采集 SF<sub>6</sub> 气体的绝对湿度、压力与温度,研制基于多无线传感器融合的嵌入式 SF<sub>6</sub> 微水监测仪,准确地反映断路器工作状态的表征量及相应阈值。系统采用 ZigBee 无线网路技术

采集数据,并利用 RS-485 总线标准将监测数据上传到监测中心的数据库,以实现数据的分析。此无线传感器网络节点的外围电路少、功耗低、功能强大、处理速度快,根据实际需要组建为星形、树形网络,不仅可维护性强而且安全可靠、生存周期长。此外,本系统 SF<sub>6</sub> 浓度检测精度优于 200μV/V,检测范围为 200-2500μV/V。

## 1 系统结构及工作原理

SF<sub>6</sub> 断路器微水含量在线监测系统以 PC 机作为主机,以 PIC18F252 单片机系统和温度、湿度、压力三种参数信号通道构成的测量电路为分机<sup>[4-6]</sup>。主机它放在电厂的中央监测室,分机安放在现场,在一个监测点它放一个分机。一台主机它可以管理 256 个分机,一个分机可以连接一个测温传感器,一个测温传感器,一个压力传感器。主机和从机间的最大通信距离可达 1.2km,管理人员可以在中央监测室主机屏幕上了解到所有监测点的状态参数。

SF<sub>6</sub> 断路器微水在线监测系统的硬件设计可分为下位机数据采集与上位机通信两部分,在图 1 中被测量信号由传感器转换成相应的电信号,这是任何非电量检测不可少的环节。由传感器的输出的信号很微弱,而且含有一定干扰。为了提高系统测量的精度必须对传感器输出的信号进行放大和滤波处理,如图 1 的信号调节。被调节输出后的信号不能直接送到单片机进行显示,需要进一步的处理。信号的处理有两部分完成,即模拟信号处理和数字信号处理。A/D 转换以前的全部信号处理都是模拟处理方式,在此以后的处理都是数字信号,为了将模拟信号量转换为数字量以适应单片机的工作,从传感器采集的信号必须通过 A/D 转换电路直接送入单片机。单片机为最小系统,其

收稿日期: 2012-12-10

外围有液晶显示电路和报警电路<sup>[7]</sup>。

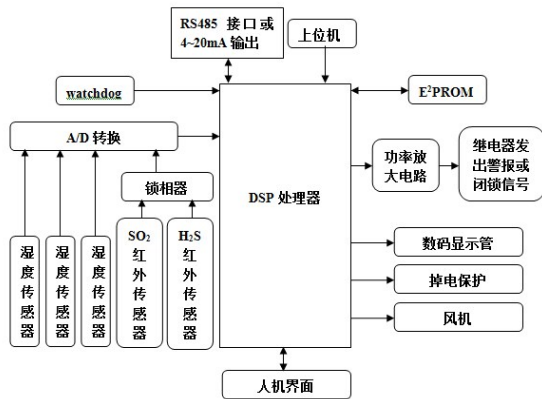


图1 SF<sub>6</sub>断路器微水含量在线监测系统

## 2 ZigBee 技术及应用

### 2.1 ZigBee 技术概述

ZigBee 是一种崭新的,专注于低功耗、低成本、低复杂度、低速率的近程无线网络通信技术,它是一种介于无线标记技术和蓝牙之间的技术方案。ZigBee 是 IEEE802.15.4 协议的代名词。这一名称来源于源自蜜蜂群(bee)在发现花粉位置时,通过跳 Zig-Zag 形舞蹈来告知同伴,达到交换信息的目的。主要适用于自动控制 and 远程控制领域,可以嵌入各种设备<sup>[8]</sup>。

ZigBee 技术并不是完全独有、全新的标准。它的物理层、MAC 层和链路层采用了 IEEE802.15.4(无线个人局域网)协议标准,并在此基础上进行了完善和扩展。ZigBee 联盟对其网络层协议和 API 进行了标准化<sup>[9-10]</sup>。ZigBee 联盟还开发了安全层,以保证这种便携设备不会意外泄漏其标识,而且这种利用网络的远距离传输不会被其它节点获得。IEEE802.15.4 规范是一种经济、高效、低数据速率(<250kbps)、工作在 2.4GHz 和 868/928MHz 的无线技术,用于个人局域网和对等网络。

表2 几种无线通信技术对比

市场名称 标准	GPRS/GSM 1xRTT/CDMA	Wi-Fi™ 802.11b	Bluetooth™ 802.15.1	ZigBee™ 802.15.4
应用重点	广阔范围 声音和数据	Web, Email 图像	电缆替代品	监测和控制
系统资源	16MB+	1MB+	250KB+	4KB-32KB
电池寿命(天)	1-7	0.5-5	1-7	100-1000+
网络大小	1	3	7	255/65000
带宽(KB/s)	64-128+	11000	720	20-250
传输距离(米)	1000+	1-100	1-10+	1-100+
成功尺度	覆盖面大 质量	速度 灵活性	价格便宜	可靠 低功耗

### 2.2 ZigBee 网络拓扑结构设计

六氟化硫检测场所一般为工厂、车间或变电站,它们共同的特点是空间较空旷,监测点数目较多,数据传输信息量小,适合树状网络的构建。树状网络允许路由间隔一定的周期操作一次,这样就可以大大减少网络的能耗,延长网络的生存周期。由于采集信息量小,实时性要求不高,ZigBee 网络通信技术主要应用于 SF<sub>6</sub> 断路器运行健康状态的检测中,其系统拓扑关系如图 2 所示。

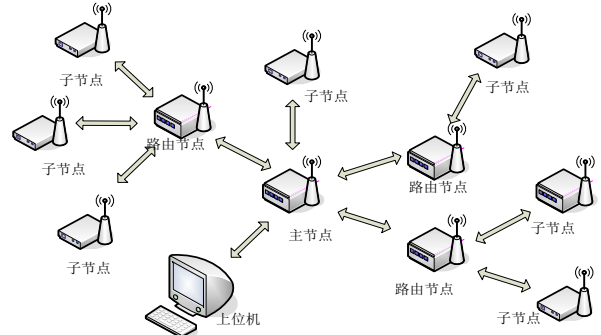


图2 ZigBee 网络拓扑结构

基于 ZigBee 的六氟化硫无线传感器节点的拓扑结构为树状网络。本设计中 ZigBee 无线传感器网络中的节点分为三种类型:含有串口和射频模块的协调器节点(主节点),带有湿度、温度、压力监测的路由器节点和带有湿度、温度、压力监测终端节点(子节点)。协调器和路由器为全功能设备(FFD),具备维护网络的功能;终端节点为精简功能设备(RFD),不具备网络维护功能,只具有数据采集功能。在此传感器网络中主节点主要负责 ZigBee 网络的建立与维护,控制其他节点的工作状态以及将路由节点和子节点采集的数据上传至上位机;路由器不仅负责信息的传递、网络的维护,同时负责六氟化硫气体中微水含量等数据的采集与上传;子节点则只负责六氟化硫气体中微水含量等数据的采集与上传。

### 3 微水含量的整定算法

对六氟化硫断路器微水含量实施在线监测,首先要确定系统要从现场提取哪些特征量。湿度计量有多种表示方法,相对湿度、饱和蒸汽压、露点、质量分数、体积分数、绝对湿度都可以用来表示水气的含量<sup>[11-13]</sup>。我们要利用从现场提取的特征量,经过分析和计算,在系统的显示界面向用户显示多种计量方法的量值,这些值有相对湿度、饱和蒸汽压、露点、质量分数、体积分数、绝对湿度,这些湿度表示方法在电力系统中是经常用到的。因此,在进行 SF<sub>6</sub> 气体微水含量在线监测中选取湿度作为在线监测特征量显得更为全面、合理。考虑到湿度可以较好的反映出 SF<sub>6</sub> 气体微水含量对设备绝缘的危害程度,故最终选定湿度作为在线监测的一个特征量仅仅选择相对湿度作为其中的一个特征量是不够的,因为只有相对湿度量是不能转换到饱和蒸汽压和质量、体积分数的。根据饱和蒸汽压公式,要计算出饱和蒸汽压,必须知道被测气体的温度,因此,温度也是一个必须测量的特征量。根据体积分数的定义公式,要计算出体积分数,必须知道被测量气体的压力。所以我们确定了系统所需的三个特征量:相对湿度、温度和压力<sup>[14]</sup>。

湿度传感器 HM1520 测量的是腔体内的相对湿度 RH 值,其电压输出值与相对湿度之间的线性关系为:

$$RH \uparrow \frac{0.195V_{OUT}}{V_s} \downarrow 638.5$$

式中:RH 为以百分数的形式表示的相对湿度;V<sub>OUT</sub> 为传感器的电压输出值,单位 mV;V<sub>s</sub> 为传感器的标准电压,单位 V。

系统要求测量绝对湿度的 PPM<sub>v</sub> 值,可以通过以下关系将相

(下转第 26 页)

方法,这里引入对拖<sup>[7]</sup>实验方法:“背靠背”试验样机的进线与出线均与电网相连,通过逆变侧的有功电流给定使整流前端运行在不同的状态。图7为实验结果图,其中各量均标么化,电压基值为300V,电流基值为50A。

图7(a)中系统处于负载突变状态,而7(b)中系统处于整流至逆变状态,由实验结果图可知,此套三电平PWM整流器四象限工作性能良好,无论是在整流或逆变状态,或者是状态切换的过程中,中点电位都基本保持稳定,这说明本文中提出三电平中点电位控制方法是可靠、有效的。

#### 4 结论

本文在简化三电平SVPWM算法的基础上,提出一套三电平中点电位控制方法,该控制方法在不改变SVPWM“七段”输出模式的同时,通过检测整流器系统状态,能很好的控制中点电位。仿真与实验都很好的检测了该控制方法的有效性与可执行性。

(上接第23页)

对湿度RH值转换成绝对湿度PPM<sub>v</sub>值:

$$PPM_v \uparrow \frac{RH \cdot e_w}{P} \cdot 10^6$$

式中:PPM<sub>v</sub>为表示绝对湿度的气体中水份含量的体积分数,单位ul/L;RH为以百分数的形式表示的相对湿度; $e_w$ 为当前温度下的饱和水蒸气气压值,单位kPa;P为当前温度下的气体压力值,单位kPa。要对SF<sub>6</sub>断路器的绝缘性以及使用寿命等多项健康指标做出诊断,需要用20℃时的PPM<sub>v</sub>值作衡量,所以要把当前温度下的PPM<sub>v</sub>转换成20℃时的PPM<sub>v</sub>值,转换关系为:

$$PPM_v^m \uparrow \frac{P}{P^m} \cdot \frac{e_w}{e_w^m} \cdot PPM_v$$

式中:PPM<sub>v</sub><sup>m</sup>为20℃时气体中水分含量的体积分数,单位ul/L; $e_w^m$ 为20℃时的饱和水蒸汽的气压值,单位KPa; $P^m$ 为20℃时气体压力值,单位KPa。

气体的质量分数表示为气体中水蒸汽质量与干气质量之比,也用百万分之一计算,用单位PPM<sub>w</sub>表示:

$$PPM_w \uparrow \frac{m_w}{m_T} \cdot 10^6$$

式中: $m_w$ 表示湿气的质量, $m_T$ 表示为测试气体的质量。

六氟化硫气体的分子量是146,水分的分子量为18,当两种气体的体积相同时,六氟化硫气体的质量为水分质量的8.1倍,即六氟化硫气体的含水量为体积分数,换算到质量分数时除以8.1即可:

$$PPM_w \uparrow \frac{PPM_v}{8.1}$$

#### 4 结束语

新型SF<sub>6</sub>断路器微水在线监测系统是利用高精度、高灵敏度的专用微水传感器为基础的多数数据融合的微水含量综合监测,系统采用现场无线传感器采样、ZigBee无线通信技术、软测量技术、绝缘及抗干扰等技术克服了原有设备的不足,实现了六氟化

#### 参考文献

- [1] 李永东.大功率高性能逆变器技术发展综述.中国电工技术学会电力电子学会第六次全国学术会议,1997,232-238.
- [2] Seo J H,Chang Ho Choi,Dong Seok Hyun.A new simplified space-vector PWM method for three-level inverters[J].IEEE Trans.on Power Electron, 2001,4(7):545-547.
- [3] Numho Hur, Jinhwan Jung, Kwanghee Nam. A Fast Dynamic DC-Link Power-Balance Scheme for a PWM Converter-Inverter System[J]. IEEE Trans. Industrial Electronics, vol. 48, no. 4, pp. 794-803, 2001.
- [4] 姜卫东,王群京等.中点箝位型三电平逆变器在空间矢量调制时中点电位的低频振荡[J]中国电机工程学报,2009,29(3):49-55.
- [5] 蔡凯,程善美.三电平SVPWM方案的实现[J].电气传动自动化,2008,30(4):6-8.
- [6] 韩耀飞.MW级异步电机双三电平变频系统研究[D].徐州:中国矿业大学,2010.
- [7] 郑艳文等.大容量对拖式双馈电机试验系统[J].清华大学学报. 2010(1),28-33.

硫气体中微水含量变化的在线监测,以及湿度裂化倾向分析,可及时发现设备中六氟化硫气体湿度超标的现象,提高了设备的可靠性。

#### 参考文献

- [1] 段志强,王宝石,唐学东.我国高压SF<sub>6</sub>断路器的现状及发展趋势[J].沈阳工程学院学报(自然科学版),2011,Vol.7(1):50-52.
- [2] 刘庆,欧阳琦珺,徐瑜,蓝小萌.SF<sub>6</sub>断路器故障辨识及在线监测的探讨[J].广东电力,2006,Vol.19(12):28-30.
- [3] 李建基.高压及超高压SF<sub>6</sub>封闭式组合电器[J].高压电器通讯,2001,Vol.20(1):13-18.
- [4] 林立生.关于SF<sub>6</sub>开关设备中微水含量问题[J].华北电力技术,1998, No.1:41-44.
- [5] W.莫尔施.高压绝缘用六氟化硫[M].机械工业出版社,第一版,1984.
- [6] 罗学深.SF<sub>6</sub>气体绝缘全封闭组合电器(GIS)[M].北京:中国电力出版社,第一版,1998.
- [7] 杨锦盈.SF<sub>6</sub>组合电器气体湿度升高的原因及防范措施[J].福建电力与电工,2000,Vo1.20(1):63-64.
- [8] Holger Karl and Andreas Willig, "A short survey of wireless sensor networks," TKN Technical Report TKN-03-018, Technical University Berlin, October 2003.
- [9] K. Sohrabi et al. "Protocols for self-organization of a wireless sensor network" IEEE Personal Communications, vol. 7, No. 5, pp.16-27, 2000.
- [10] W. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless sensor networks," Proceeding of the Hawaii International Conference System Sciences, 2000.
- [11] 中华人民共和国电力行业标准(DL506-92).六氟化硫气体绝缘设备中水分含量的现场测量方法[S].
- [12] 王永强.关于SF<sub>6</sub>气体绝缘组合电器中微水含量问题的研究[J].电力情报,2001, No.2:40-43.
- [13] 路自强.SF<sub>6</sub>气体中水分监测、控制与处理[J].青海电力,1996, No.3: 22-25.
- [14] 张宁,潘峥嵘,赵磊.SF<sub>6</sub>断路器微水在线监测系统的研究与设计[J].电子测量技术,2010, Vol.33(4):109-112.