

# 基于 OPC 技术的高压开关柜无源无线温度监测系统设计

赵勤学<sup>1</sup>, 杨俊杰<sup>1</sup>, 楼志斌<sup>2</sup>

(1. 上海电力学院 电子与信息工程学院, 上海 200090; 2. 上海科学院, 上海 201203)

**摘 要:** 现有高压开关柜温度在线监测系统存在安装维护复杂、传感器供电不可靠、接口开放性差等不足。针对该问题, 基于面向过程控制的 OLE 技术(OPC), 设计一种新的温度监测系统。利用无源无线的声表面波温度传感器采集温度信息, 通过 ZigBee 无线网络进行数据传输, 实现高压开关柜温度在线监测与集中显示, 同时采用 OPC 服务器软件架构屏蔽设备的底层私有协议, 便于与其他测控平台实现无缝集成。实验结果表明, 该系统能够克服协议私有、接口不开放的弊端, 具有较好的工程应用价值。

**关键词:** 高压开关柜; 温度在线监测; 无源无线; 声表面波; 面向过程控制的对象连接与嵌入; ZigBee 技术

**中文引用格式:** 赵勤学, 杨俊杰, 楼志斌. 基于 OPC 技术的高压开关柜无源无线温度监测系统设计[J]. 计算机工程, 2017, 43(11): 303-309.

**英文引用格式:** ZHAO Qinxue, YANG Junjie, LOU Zhibin. Design of High Voltage Switchgear Passive Wireless Temperature Monitoring System Based on OPC Technology[J]. Computer Engineering, 2017, 43(11): 303-309.

## Design of High Voltage Switchgear Passive Wireless Temperature Monitoring System Based on OPC Technology

ZHAO Qinxue<sup>1</sup>, YANG Junjie<sup>1</sup>, LOU Zhibin<sup>2</sup>

(1. College of Electronics and Information Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China;

2. Shanghai Academy of Science and Technology, Shanghai 201203, China)

**[Abstract]** High voltage switchgear temperature online monitoring system currently exists mostly presence deficiencies of complexity for installation and maintenance, unreliable sensor power supply and private interface. In view of this problem, this paper designs a new temperature monitoring system based on Object Linking and Embedding for Process Control(OPC) technology which achieves online monitoring and centralized display switchgear temperature information by using Surface Acoustic Wave (SAW) temperature sensor and ZigBee wireless network to transfer temperature information. And software architecture of OPC server is used which shields private protocol at the bottom of the device to facilitate the realization of seamlessly integrated with other measurement and control platform. Experimental results show that the designed system can overcome the disadvantages of private protocol and not open interface, and has good engineering application value.

**[Key words]** high voltage switchgear; temperature online monitoring; passive wireless; Surface Acoustic Wave (SAW); Object Linking and Embedding for Process Control(OPC); ZigBee technology

**DOI:** 10.3969/j.issn.1000-3428.2017.11.049

## 0 概述

高压开关柜是电力系统中重要的电气设备, 长期处于高电压、满负荷、大电流的工作环境下<sup>[1]</sup>, 母排、触头、电缆接头等部位常因老化或接触电阻过大等原因造成热量集中、温度急升, 严重时会导致设备故障, 甚至引发火灾事故<sup>[2]</sup>。因此, 对其关键部位进

行温度监测是保障电力系统正常运行的必要措施<sup>[3]</sup>。高压开关柜测温方式主要有人工巡检和在线监测两大类, 人工巡检主要有示温贴纸和手持式红外测温, 存在巡检周期长、浪费大量人力物力等弊端<sup>[4]</sup>, 且红外测温仪易受光照、湿度等环境及线路遮挡等因素的影响, 造成测温结果不准确<sup>[5]</sup>。光纤光

**基金项目:** 国家自然科学基金(61202369, 61401269, 61572311); 上海市教育委员会科研创新项目(13YZ102)。

**作者简介:** 赵勤学(1991—), 男, 硕士研究生, 主研方向为变电站设备状态监测、无线传感器网络、嵌入式系统; 杨俊杰, 教授; 楼志斌, 高级工程师。

**收稿日期:** 2016-07-28      **修回日期:** 2016-11-15      **E-mail:** iamyjj@163.com

栅测温属于在线测温方式,存在布线成本高、引线困难,并且易出现爬电现象,造成绝缘问题<sup>[6]</sup>。近些年发展起来的无线测温大多采用电池或者特制传感器线圈感应高压侧电流为传感器供电<sup>[7]</sup>,前者存在电池高温易爆炸和化学泄露等隐患<sup>[8]</sup>,后者易受负荷波动影响造成供电电压不稳定,影响传感器的正常工作<sup>[9]</sup>。基于声表面波(Surface Acoustic Wave, SAW)温度传感器的测温方式属于无源无线测温,SAW 温度传感器体积小,并可根据不同的测温位置将传感器制作成不同的形状,便于安装。其无源无线的特点克服了高压绝缘问题,并且无需更换电池,一旦安装基本免维护,在高压开关柜的温度在线监测中具有很好的应用前景<sup>[10]</sup>,特别是对维护检修困难的偏远地区变电站。再者,现有测温系统大多平台独立,采用私有协议,很难实现温度信息共享和平台的无缝对接,平台升级或工程改造困难<sup>[11]</sup>。面向过程控制的 OLE(OLE for Process Control, OPC)技术为硬件采集控制设备与软件应用开发提供了一条透明通道,屏蔽了各种不同硬件设备之间的差异,实现不同厂商设备的互连互访<sup>[12]</sup>。

本文考虑高压开关柜的测温特点及现有测温方式存在的不足,采用声表面波温度传感器进行温度采集,通过 ZigBee 无线网络进行数据传输,并且编写上位机软件,构造面向 ZigBee 无线传感器网络的 OPC 服务器架构,屏蔽设备底层私有协议,为 OPC 客户端提供标准的 OPC 数据存取接口。

## 1 系统方案论述与设计

变电站是配电自动化系统的主要部分,其自动化水平的提高对配电自动化系统的实现至关重要。目前,变电站综合自动化系统大都采用 IEC 60870-5-101,IEC60870-5-103,DNP3.0 等通信规约或是私有规约,并且各个设备厂家根据实际需求对规约进行了扩展。由于不同厂家对规约的理解不同,使得各厂家的设备并不完全兼容,存在二次设备间互操作性差、信息难以共享、系统的可扩展性差等弊端。这种由于规约混乱使用造成的规约转换问题已成为实际工程中的最大问题之一,主要体现在:一方面,各个厂家生产的设备驱动程序具有较强的专用性和复杂性,使得系统不具备开放性,一旦硬件设备更换或者升级都可能导致通信接口的改动,增加系统维护

成本和软件开发周期;另一方面,各个厂家分别采用不同的协议,甚至是一些私有协议,导致不同厂商之间的软件与硬件集成困难,无法实现信息共享。随着变电站自动化系统朝着数字化和分散网络化方向发展的推进,此问题更显突出。以分布式变电站为例,国际电工委员会规定,分布式变电站分为站控层、间隔层、过程层 3 层结构。间隔层设备要求实现与各种远方输入/输出、智能传感器和控制器进行通信。站控层功能应高度集成,可在一台计算机或嵌入式装置中实现,也可分布在多台计算机或嵌入式装置中,实现面向全站的测量和控制功能,完成数据采集和监视控制、操作闭锁以及同步相量采集、电能量采集、保护信息管理等相关功能。这就要求不同设备厂家的设备之间能够实现互操作性和无缝集成。

针对这种情况,解决方法之一是促使各厂家使用同一种规约。而使用同一种规约的弊端主要在于不能充分发挥硬件的功能,另外一种方法是采用 OPC 技术,通过把电力测控技术与先进的计算机软件技术结合起来,以降低开发的费用和变电站综合自动化系统的成本。OPC 这种软件总线相比于传统的 RS485 等硬件总线具有接口开放的优点,不存在协议不一致的弊端,不局限于专门的软硬件开发商,解决了上层监控软件与下层硬件之间通信的兼容性问题,使得变电站自动化系统具有更好的开放性和可移植性,促使通信方式由硬件和软件直接通信变为由 OPC 客户端和服务端代理通信。由于 OPC 客户端和服务端通信方式的统一,规约转换问题就不再存在,OPC 通过分布式组件对象模型(Distributed Component Object Model, DCOM)技术隐藏网络细节,便于实现远程分布式数据监测与控制。并且由于采用标准的接口和配置,能够即插即用,避免大量的配置工作,符合变电站综合自动化系统的发展要求。结合 ZigBee 低功耗、低成本、网络容量大、免执照频段以及抗干扰性强的特点,开发面向 ZigBee 无线传感网络的 OPC 服务器应用软件,真正实现站内监测信息的全景化、网络化。

如图 1 所示,基于 OPC 技术的高压开关柜无源无线温度监测系统包括温度监测终端、温度集中器、OPC 服务器 3 大部分。

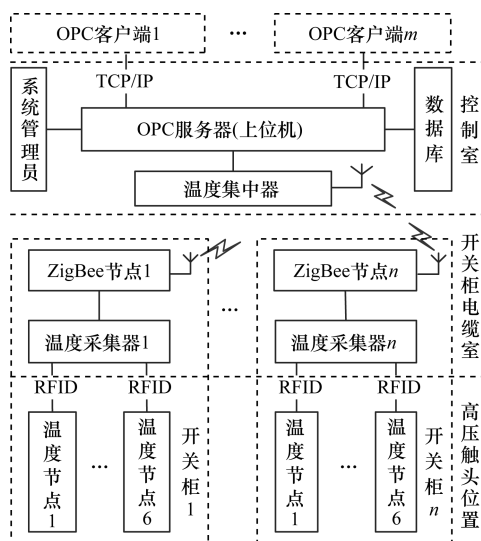


图1 系统结构框图

该系统不仅能够实现单独变电站开关柜温度的采集与就地显示,而且便于温度信息的远程共享和分布式监控组网,促进变电站自动化系统朝着开放的方向发展。温度监测终端包括温度采集器和 SAW 温度传感器。文献[13]通过 Ansys 软件对高压开关柜进行有限元热场仿真结果表明,电力开关柜触头处最容易发热,所以将传感器安装在高压开关柜的高压触头上,采集器位于开关柜电缆室中。每个开关柜内安装 6 个温度传感器,对应一个温度采集器。温度采集器通过射频信号与传感器进行信号传输,然后通过 ZigBee 无线网络转发到温度集中器,集中器再经过 RS232 总线发送给 OPC 服务器。整个信息采集与数据传送的过程都采用无线的方式,克服了高压绝缘问题,节约了布线成本。SAW 温度传感器属于无源器件,克服了上述存在的外部供电问题。为提高通信可靠性,本文系统 ZigBee 自组织网络采用网状拓扑结构,温度集中器工作在协调器模式;温度采集器工作在路由或终端模式,ZigBee 网络在变电站环境下处于实时动态变化的状态,故本文系统将路由节点均匀分布在网络中,并保证相邻路由节点的通信范围有重叠部分。这种冗余配置的好处是:一方面,可以避免某个路由节点出现故障而造成一系列终端节点瘫痪;另一方面,XBee 模块是根据信号强度进行连接的,终端节点会优先选择信号强度高的路由进行转发,从而进一步提高通信可靠性。面向 ZigBee 无线传感器网络的 OPC 服务器位于监控室中,具有显示、预警、存储、查询、报表打印等功能,采用标准的 OPC 数据存取规范向 OPC 客户端提供接口,与符合 OPC 规范的现有平台进行无缝集成,将温度信息提供给其他监控平台,用于故障检修、状态评估等高级应用,实现变电站高压开关柜温度信息的共享与集成。该系统具有以下功能:

1) 单个变电站若干开关柜温度信息的采集、就地与集中显示。

2) 与站内现有测控平台或 SCADA 通过 OPC 规范实现温度信息的共享。

3) 不同变电站之间通过 OPC 规范实现对开关柜温度信息的分布式监控组网,完成地域性变电站开关柜温度信息的统一监测管理。

## 2 系统硬件设计

### 2.1 温度采集器的硬件设计

如图 2 所示,温度采集器包括 MCU、显示屏、ZigBee 模块、声光报警模块、存储器模块、射频收发模块、匹配网络、天线模块等主要部分:MCU 采用 NXP 公司基于 ARM Cortex-M3 内核的微控制器 LPC1768,运行速度高达 100 MHz,含有丰富的片上资源,带有独立电池供电的超低功耗 RTC 和全新的中断唤醒控制器。射频收发模块采用 TI 公司的低功耗 RF 收发芯片 CC1101,该芯片将与无线收发相关的控制电路部分、数据缓冲模块、RF 功率放大模块、滤波模块、A/D 转换模块、开关电路等硬件进行集成,采用一片 CC1101 集成芯片即可通过软件控制开关实现发射激励信号与接收回波信号 2 种工作模式的切换,从而减少天线数量,降低硬件复杂度和强电磁环境下的干扰。

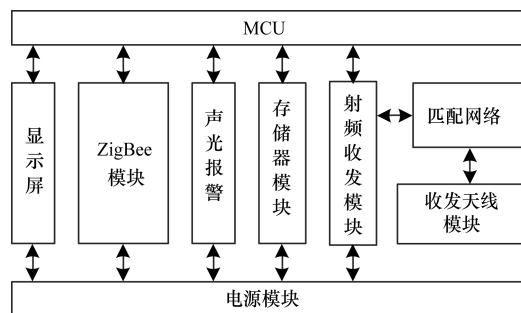


图2 温度采集器结构框图

由于 CC1101 芯片为差分式输入输出,基于巴伦平衡转换器设计的匹配网络不仅可以解决差分信号和单端信号的转换问题,并且实现与天线阻抗的匹配功能,这对提高信号的传输效率具有很重要的作用。MCU 与 CC1101 芯片通过 SPI 接口实现发射与接收工作模式的快速切换。温度采集器接收到启动命令后,按照设定的采集周期调用 CC1101 发送间歇性高频正弦激励信号,并通过匹配网络和天线辐射出去,随即工作在接收模式下,等待接收携带温度信息的回波信号,SAW 温度传感器将接收到激励信号经过叉指换能器进行电-声-电转换后通过天线发射给采集器。采集器根据谐振频率与温度良好的线性关系即可通过解析频率值得出温度信息。ZigBee 无

线模块采用 Digi 公司的 XBee Pro 模块,内置 ZigBee 协议栈,即插即用,组网灵活,配置简单,支持 AT 和 API 两种命令方式,串口方式编程。采用表面贴装的数据接口形式,体积小。由于温度采集器采用射频信号与传感器进行通信,通信距离大约 2 m,所以将采集器安装在高压开关柜的电缆室内,将其天线安装在传感器附近,以提高信号传输的可靠性。为减少开关柜电磁干扰的影响,在硬件上除了减小采集器体积、PCB 板抗干扰设计等措施外,还采用磁导率较高的坡莫合金外壳屏蔽干扰。电磁干扰对该 SAW 温度采集系统的影响主要体现在以下两方面:对 SAW 器件的影响和对射频信号传输与检测的影响。对于前者影响因素来说,由于 SAW 传感器是通过在压电晶片上激发沿表面传播的弹性波,不涉及晶体内部电子的迁移,因此器件本身的抗干扰能力较强。对于后者影响因素来说,声表面波温度传感器工作的中心频率为 433 MHz,对低频噪声的抗干扰能力较强,且在谐振器两端并联的电感可用于静电保护。采集器设计具有带通滤波器的功能,能够滤除电磁干扰信号。

## 2.2 温度集中器的硬件设计

温度集中器负责构建及维护 ZigBee 无线网络,将所有开关柜采集的温度信息集中转发给服务器,结构如图 3 所示,包括电源模块、MCU、ZigBee 模块、GSM 短信模块。MCU 采用低功耗、超强抗干扰性能的 STC15W4K60S4 系列单片机,具有 4 个高速异步串行通信端口,符合通信功能需求,而不必采用成本较高的串口扩展芯片。GSM 短信模块采用 SIMCOM 公司生产的 SIM300 型 GSM/GPRS 双频模块,通过串口 2 与 MCU 连接,负责将温度超限告警信息发送给指定人员。ZigBee 无线模块同样采用 Digi 公司的 XBee Pro 模块,MCU 通过串口 1 与 ZigBee 模块进行数据收发。温度集中器端的 ZigBee 模块配置为协调器工作方式,负责整个 ZigBee 无线网络的构建及维护,将集中接收到的 ZigBee 数据帧通过 RS232 发送给 MCU。MCU 进行数据解析处理后,由串口 3 将温度信息发送给 PC 上位机。

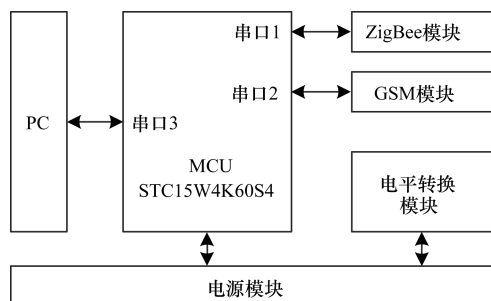


图 3 温度集中器结构框图

## 3 系统软件设计

### 3.1 温度采集器的软件设计

温度采集器负责接收温度集中器下发的命令后进行温度采集、数据上传操作。温度采集器的工作方式有 2 种:周期轮训和问答查询。周期轮训即按照温度集中器下发的设定周期自动地查询、上报温度信息;问答查询即接到采集命令后立即进行单次查询上报操作后结束。如图 4 所示,温度采集器上电后首先进入低功耗模式,等待集中器下发启动命令后开始采集信号。由于传感器采用射频信号与采集器之间进行数据传输,因此天线的质量、位置及角度都是影响系统可靠通信的重要因素,为提高系统通信的可靠性,在多次发送射频询问信号后无相应的应答信号时,温度采集器会发出传感器故障告警,提醒相关人员检查传感器是否损坏,或者及时调整天线位置和角度。

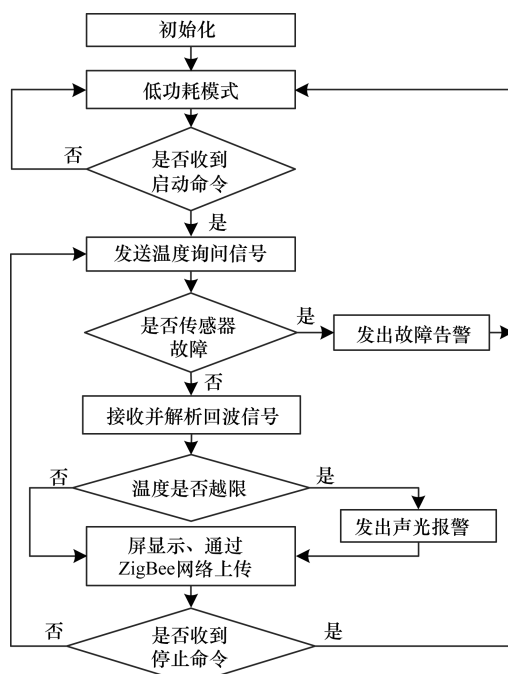


图 4 温度采集器的软件流程

### 3.2 温度集中器的软件设计

温度集中器负责收集变电站内所有开关柜内关键监测点的温度信息,并且构建和维护整个系统的 ZigBee 无线网络,当网络出现瞬时性故障时能够及时发现并立即调整各个温度采集器重传采集信息;当网络出现永久中断时能够发出告警信号以提醒值班人采取及时的维护措施,防止采集数据丢失造成监测信息不完整或者在开关柜温度越限时不能及时预警的现象。温度集中器查询各个温度采集器数据的方式有 2 种:一种是主动上报的方式,集中器下达

上传命令后,各个温度采集器工作在周期轮询的工作方式下,即采集器将温度信息以设定的周期进行主动上传,直到收到集中器下达的终止命令为止,该方式可以减少集中器不停地发送采集命令而造成的网络负担,提高信息传输的有效性。另一种是问答的方式,即集中器向指定采集器下达采集命令后,采集器将当前温度信息立即上报给集中器,采用此方式进行信息重传操作,用来克服网络瞬时性故障造成的某个开关柜采集器上传信息丢失的现象。温度集中器的软件流程如图 5 所示。集中器下发的上传命令包含启动温度监测的开关柜编号、温度传感器节点编号、采集速率、上报速率等控制信息。考虑到变电站中的电磁干扰,当电磁场的频率为 ZigBee 的发射频段、半频和倍频时,会出现丢包的情况。因此增加了握手机制,即在温度采集器发送数据之前先发送一个请求发送准备发送(Ready to Send, RTS)帧,温度集中器收到后回应一个准许发送清除发送(Clear to Send, CTS)帧。在交换了 RTS/CTS 信号后才开始真正的数据传递。此系统采用的重发机制为:考虑系统采用 Xbee 模块自动防止数据冲撞的延时机制,忽略其他网络延时。根据设定的周期接收上报数据,当超时 1 s 后没收到某个开关柜采集器上传的信息,则以问答方式向该采集器重发上传命令后再延时 1 s,当重发 3 次仍然不能收到目标信息,则判断为网络出现中断故障,集中器发出告警信息通知相关人员采取维护措施。

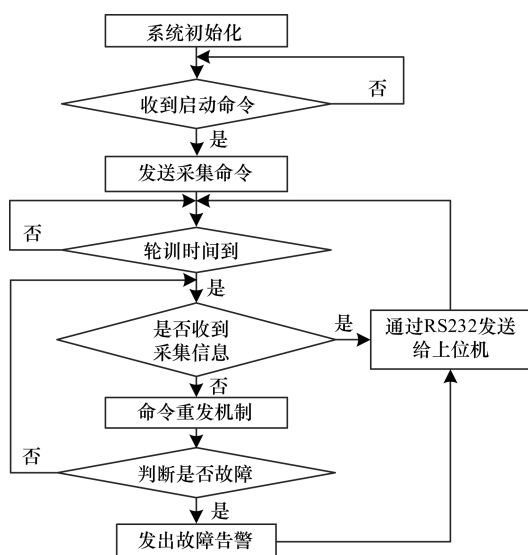


图 5 温度集中器的软件流程

### 3.3 OPC 服务器的软件设计

为减少开发周期,选择采用 Knight 公司的 KOSRDK 工具实现 OPC 服务器软件设计。

KOSRDK 是一个专门用于开发 OPC 服务器软件的工具,全面兼容 OPC 基金会制定的 OPC 数据存取规范 1.0 和 2.0 标准,将底层 COM/DCO、M 技术细节完全封装,方便使用,提高开发效率。服务器软件总体结构如图 6 所示,初始化模块工作包括初始化 OPC 数据访问接口(包括初始化服务器、设置回调函数、注册服务器),初始化 ZigBee 通信接口,查询 ZigBee 网络上的设备,建立设备列表并分别建立连接,创建设备扫描子线程及 OPC 数据树。使用 API 函数 KOS\_Init 初始化 OPC 服务器,该函数包含服务器的 Class ID 和服务器的数据刷新频率 2 个参数。使用 API 函数 KOS\_AddItem 为 OPC 数据树添加 OPC 数据点,包括 OPC 点的名称、数据值、质量及读写属性等传递参数。添加到 OPC 服务器列表中的 OPC 点会由 KOSRDK.dll 自动进行管理以及和 OPC 客户端的连接。设备扫描线程负责周期性地对设备扫描列表中的设备进行扫描,将更新后的数据交由 OPC 数据处理模块进行处理,OPC 数据处理模块在进行格式转换后,通过 API 函数 KOS\_UpdateItem 更新到 OPC 数据树中,供客户端访问,OPC 服务器在使用之前一定要使用函数 KOS\_Register 进行注册操作,能够在注册列表中找到该服务器。

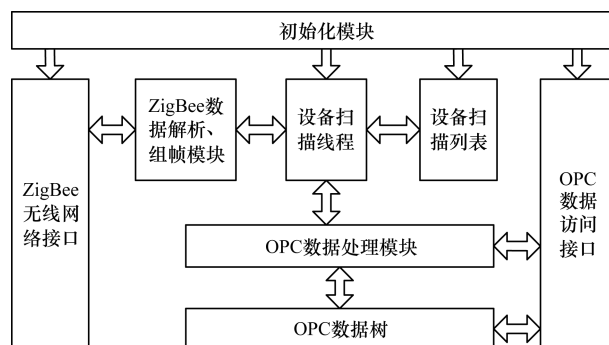


图 6 OPC 服务器软件架构

### 3.4 上位机界面设计

上位机位于监控室中,具有实时显示、预警、存储、查询、报表打印等功能,并提供 OPC 服务器的操作维护界面供操作员管理 OPC 服务器。系统采用 Visual C++ 6.0 集成开发环境和 SQL Server 2005 数据库管理软件进行上位机软件和数据库开发,通过 ADO 接口实现信息存储与查询。为减少开发周期,丰富监控的实时性画面,综合考虑两者因素,选择 WinCC 控件进行单点温度的图形开发,采用直观、高效的 TeeChart Pro Active 图表控件进行温度曲线显示的开发。上位机软件针对高压开关柜的实时监控界

面如图 7 所示。

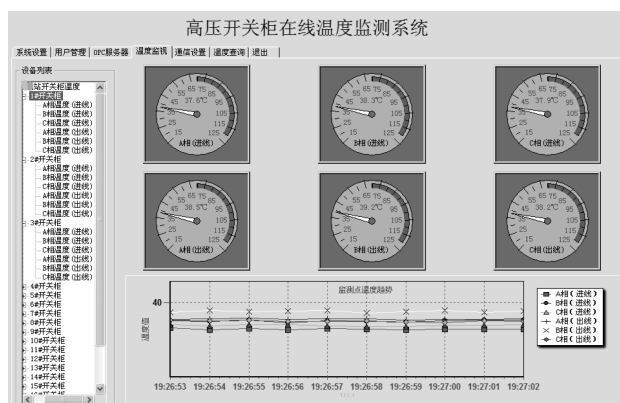


图 7 上位机软件实时监控界面

该软件具有如下功能:

1) 用户登录与管理:该功能对不同用户进行操作权限设置、管理,防止一般用户误操作设置或删除数据。

2) 参数设置:该功能允许操作员通过软件界面对系统的通信参数、温度采集速率、温度上传速率、温度预警阈值等进行设置。

3) 数据采集与显示:包括曲线显示和单点显示 2 种显示方式,从曲线显示可以很清晰地看出各个监测点的温度走势及变化幅值。单点显示能够观察各个监测点的当前实时温度值。

4) 异常报警:开关柜温度超出设定阈值时,界面弹出报警对话框,并发出告警声音。

5) 历史查询:允许用户按照查询条件查询历史温度信息,并可进行报表打印、输出等操作。

6) 服务器维护:包括注册或者取消注册 OPC 服务器、新增传感器设备、维护传感器地址信息等功能。

#### 4 实验测试

分别从功能和性能 2 个方面对系统进行实验测试。在功能实现方面,采用热风枪对测温部位进行加热,模拟温升现象,温度集中器实物如图 8 所示。首先通过上位机软件将开关柜温度报警阈值设定为  $39.0^{\circ}\text{C}$ ,其中一个开关柜在某时刻监测的温度信息如表 1 所示,并且在同一时刻用红外测温仪对该开关柜内进行测温,温度显示为  $36.3^{\circ}\text{C}$ 。由于触点 2、触点 3、触点 5、触点 6 温度值均超过设定阈值,该开关柜会发出温度越限的声光报警,指定人员收到短信告警信息,并可以通过开关柜上的显示屏或者监控室中的上位机软件看到具体温度值及红色标注的预警信息。该系统测量结果比红外测温结果高出约  $2.2^{\circ}\text{C} \sim 3.1^{\circ}\text{C}$ ,

是由于红外测温测到的是开关柜内的温度,而本文系统是将温度传感器安装在触头上,测得数据更接近监测点的真实温度值。



图 8 温度集中器实物

表 1 某开关柜触点温度测量值

编号	测量位置	温度值/ $^{\circ}\text{C}$	报警
1	A 相触头(进线)	38.5	否
2	B 相触头(进线)	39.3	是
3	C 相触头(进线)	39.1	是
4	A 相触头(出线)	38.7	否
5	B 相触头(出线)	39.2	是
6	C 相触头(出线)	39.4	是

在性能测试方面,由于本文系统采用 ZigBee 无线网络进行数据传输,因此提高 ZigBee 无线网络的稳健性成为设计的关键。为验证网络拓扑结构设计的合理性与可靠性,采用 X-CTU 软件对 ZigBee 网络节点进行信号强度和数据传输正确性检测,实验安排在每 24 h 内间隔 2 h 进行一次记录,连续测试 1 周数据,取同一时刻的平均值进行对比。其中一个采集器节点测量结果如图 9 所示,信号强度在  $-47\text{ dBm}$  上下小范围内波动,数据传输误差率基本为 0,即使是在用电高峰期时段,负荷变化大,电磁干扰相对较复杂时,也能很好地满足变电站对数据传输的可靠性要求,原因主要体现在以下 2 个方面:一方面,变电站中存在的电晕放电和空气击穿放电等电磁干扰频率集中在几百兆赫兹范围内,而 ZigBee 通信使用的频率为  $2.4\text{ GHz}$ ,对 ZigBee 的工作频率基本没有影响;另一方面,SF6 间隙击穿放电和真空间隙击穿放电在  $2.405\text{ GHz} \sim 2.485\text{ GHz}$  范围内虽然有较强的信号,但同频干扰对 ZigBee 网络的影响很小<sup>[14]</sup>。对于多径干扰问题,ZigBee 网络采用的直接序列扩频技术能够很好地抑制多径干扰<sup>[15]</sup>。另外,该系统自组织 ZigBee 网络采用的握手机制与重发机制能够在网络受到暂时性干扰的情况下进一步保证数据通信的可靠性。

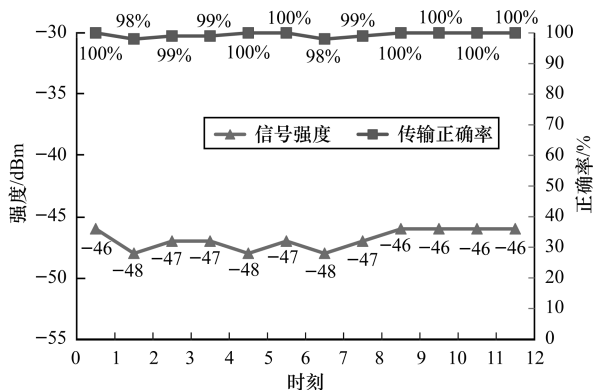


图 9 信号强度和传输正确率随时间变化的趋势

## 5 结束语

针对高压开关柜的测温特点,本文分析了现有测温方式存在的不足,设计一个接口开放的无源无线温度在线监测系统。该系统采用声表面波温度传感器进行信息采集,具有安装维护方便、抗干扰性强、无需电池供电、一次安装基本免维修、使用寿命长等显著优点;通过射频技术和 ZigBee 技术实现温度采集和传输过程中的全程无线通信,克服了高压开关柜测温存在的高压侧绝缘问题、传感器供电不可靠及布线困难等问题;设计一种面向 ZigBee 无线传感器网络的 OPC 服务器软件架构,方便实现测控平台的无缝集成及温度信息的远程共享。实验测试表明,该系统能够可靠地监测开关柜温度并及时发出预警信息,传输网络具有良好的健壮性,并且能够减少变电站冗余测控平台,便于组网扩展监控范围,为高压开关柜的温度监测提供一种可靠、集成的监测平台。

## 参考文献

- [1] 王秉政,江健武,赵 灵,等. 高压开关柜接触发热温度场数值计算[J]. 高压电器, 2013,49(12):42-48.
- [2] 张向群,侯家奎,王奎甫. GIS 间隔控制器的研究与开发[J]. 计算机工程,2012,38(14):242-245.
- [3] CAI Bin, JIN Xinchao, YAN Shaomin, et al. Application

Research on Temperature WSN Nodes in Switchgear Assemblies Based on Tinyos and ZigBee[C]//Proceedings of the 4th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies. Washington D. C., USA; IEEE Press, 2011;535-538.

- [4] 刘 琦,程 春,吴 健,等. 智能变电站温度监测主站系统的设计与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2013,41(4):130-135.
- [5] 周瑞双,王春新,王焕娟,等. 基于传感技术与 Zigbee 的变电站设备温度在线监测系统[J]. 电力科学与工程,2012,28(7):24-29.
- [6] 徐 波,杨 帆. 高压开关柜无线测温系统的研究[J]. 电测与仪表,2012,49(10):91-95.
- [7] 梁 波,宋 莹,王 博,等. 面向数据中心的实时温度监测系统设计与实现[J]. 计算机工程,2015, 41(8):317-321.
- [8] 汪铭东,梅广辉. 基于单片机与 DS18B20 的机柜温度控制器设计[J]. 现代电子技术,2014,37(12):8-10.
- [9] 许高俊,马宏忠,李超群,等. 高压开关柜有源无线温度在线监测系统[J]. 电测与仪表,2014,51(22): 82-86.
- [10] 陈 金,覃 奇,彭光尼,等. 声表面波温度传感器在电力系统状态监测中的应用[J]. 电气技术,2011(12): 93-95.
- [11] 李正军,高显扬,崔 嵩. OPC 技术在数字化变电站智能电子装置中的应用[J]. 工业控制计算机,2015, 28(5):79-81.
- [12] 崔红梅,赵 锋. 基于 OPC 协议的变电站辅助设施与环境监控系统设计及实现[J]. 中国电机(技术版), 2011(10):35-39.
- [13] 陈雪薇,马国明,李成榕,等. 高压开关柜无线测温系统设计及可靠性研究[J]. 高压电器,2015,51(6): 152-160.
- [14] ZHANG Jun, DAI Wei, HUANG Di, et al. ZigBee Enabled Remote Temperature Monitor System for High-voltage Substations[C]//Proceedings of Spring World Congress on Engineering and Technology. Washington D. C., USA; IEEE Press, 2012:1-4.
- [15] HU Zhenfeng, GENG Xin, XIAO Jin, et al. Research and Realization of On-line Monitoring System for High Voltage Circuit Breaker Based on ZigBee Technology [C]// Proceedings of IEEE International Conference on Control and Automation. Washington D. C., USA; IEEE Press, 2009:190-195.

编辑 顾逸斐