

# 智能变电站温度实时监测系统的设计与实现

李 翊<sup>1</sup>, 潘存治<sup>1</sup>, 杨 慧<sup>2</sup>

(1. 石家庄铁道大学 机械工程学院, 河北 石家庄 050043;

2. 山西省电力公司太原市电力局, 山西 太原 030053)

**摘要:**在对传统变电站温度监测技术的研究基础上,设计与实现了一套基于浏览器/服务器(B/S)模式的智能变电站温度实时监测系统。该系统的无线测温模块由采集端和接收端组成,二者间通过 GPRS 通信模块实现传输。在简述温度采集端和接收端电路的软、硬件设计后,针对该系统设计的关键问题,重点改进了以 AT 指令为媒介的 GPRS 无线通信程序设计与数据传输 PC 主机的方法;介绍了以 Windows 通信服务(WCF)为基础的客户端与服务器端通讯互联的方法;并介绍了采用 Silverlight 新技术对电气设备主接线建立模型和绘制图形。在实际运行测试中验证了系统的可靠性,变电站值班工作人员能够快速、准确地获得温度数据和报警信息,从而达到实时监测温度数据的目的,为智能变电站温度实时监测系统的设计提供了借鉴。

**关键词:**温度监测;GPRS 技术;Silverlight 技术;WCF 服务;智能变电站

**中图分类号:** TM63 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0373(2020)01-0074-08

## 0 引言

随着电力向着高电压、大机组、大容量的迅速发展,变电站中各主要电气设备能否正常运行将直接关系到电力系统的运行情况。在变电站中,各电气设备长期处于运行中,各触点及连接点等部位因老化会造成接触电阻增大的问题,极易产生发热现象<sup>[1]</sup>。若不及时处理,会导致火灾和区域性大面积停电,故解决电气设备过热问题是杜绝此类事故发生的重要手段。

对电气设备的运行温度,尤其是敏感位置温度的监测是故障预警和预防事故的重要手段。总结现有电力系统的测温方法,主要有光纤测温和红外线测温法等。红外测温仪携带和使用方便灵活,无干扰环境下测量精度高,但红外测温仪的抗干扰能力弱,测量中对环境要求高,而变电站中各电气设备常年处于复杂环境,故检测的精度会大大降低。光纤测温法全程都通过光的形式传播,体积小便于安装,但缺陷在于光纤传递费用昂贵,其性价比不高,且用于测温的半导体温度传感器探头的抗干扰能力太差,无法适应偏远地区变电站恶劣环境的要求<sup>[2-3]</sup>。

近年来使用较多的 ZigBee 无线通信技术虽传输速度快,但可靠性不高<sup>[3]</sup>。而 GPRS 无线通信技术就以信号穿透能力强和传输可靠性高的优势能弥补现有系统的缺点,其传感器能方便地安装在电气设备的表面,大大增强监测数据的准确性。

在结合实际监测终端设计的基础上,采用 Silverlight 新技术进行建模和绘图,而客户端通过 WCF Server 与服务端互联完成通讯连接,在监测页面上,值班工作人员可以看到变电站实时的温度信息,并当温度超过报警点时,会发出警报提示工作人员。本设计已在太原市迎泽区变电站试运行成功,此系统能够实现温度实时监测和报警的功能。

收稿日期:2018-10-06 责任编辑:车轩玉 DOI:10.13319/j.cnki.sjztdxxbzb.20181006001

基金项目:国家自然科学基金(11472180);青年科学基金(51807124)

作者简介:李翊(1993—),男,硕士研究生,研究方向为机电设备测控技术。E-mail:2774241992@qq.com

李翊,潘存治,杨慧.智能变电站温度实时监测系统的设计与实现[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2020,33(1):74-81.

## 1 变电站温度监测系统设计

根据温度监测系统的各个模块分工不同,将系统分为基于 GPRS 的无线测温模块和基于 B/S 的在线监测模块。

```

graph LR
    A[温度传感器] --> B[单片机]
    B --> C[数据线]
    C --> D[GPRS 模块]
  
```



图 1 温度采集端

(1)基于 GPRS 的无线测温模块。测温系统的结构设计基于 GPRS 通讯协议,采用以 AT 指令为媒介的改进版 GPRS 程序设计与数据传输 PC 主机的方法,实现温度数据的传输,图 1 与图 2 分别为温度采集端框图和温度接收端框图。

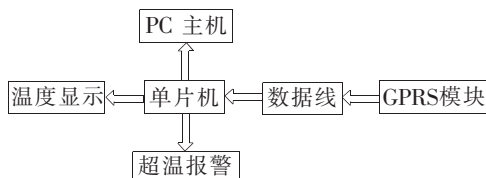


图 2 温度接收端

(2)基于 B/S 的在线监测模块。基于 B/S 的在线监测模块具有用户端零维护系统的特点,能够大大降低用户在维护系统扩展中的成本,在以 WCF 通讯服务基础下完成数据通信后,能实现实时监测功能。

## 2 基于 GPRS 的无线测温模块设计

### 2.1 采集端与接收端的硬件设计

图 3 为采集端 CAD 图。图 4 为接收端 CAD 图。

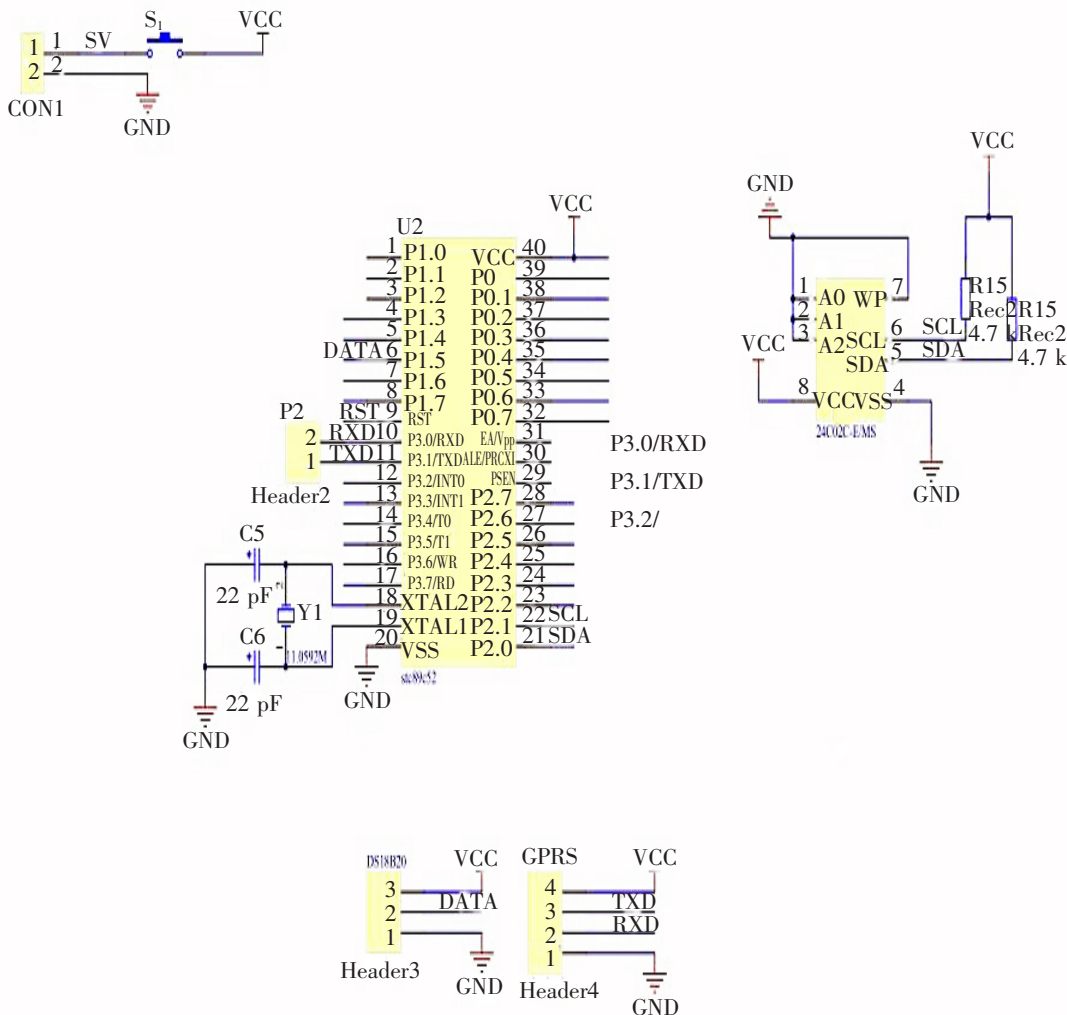


图 3 采集端 CAD 图

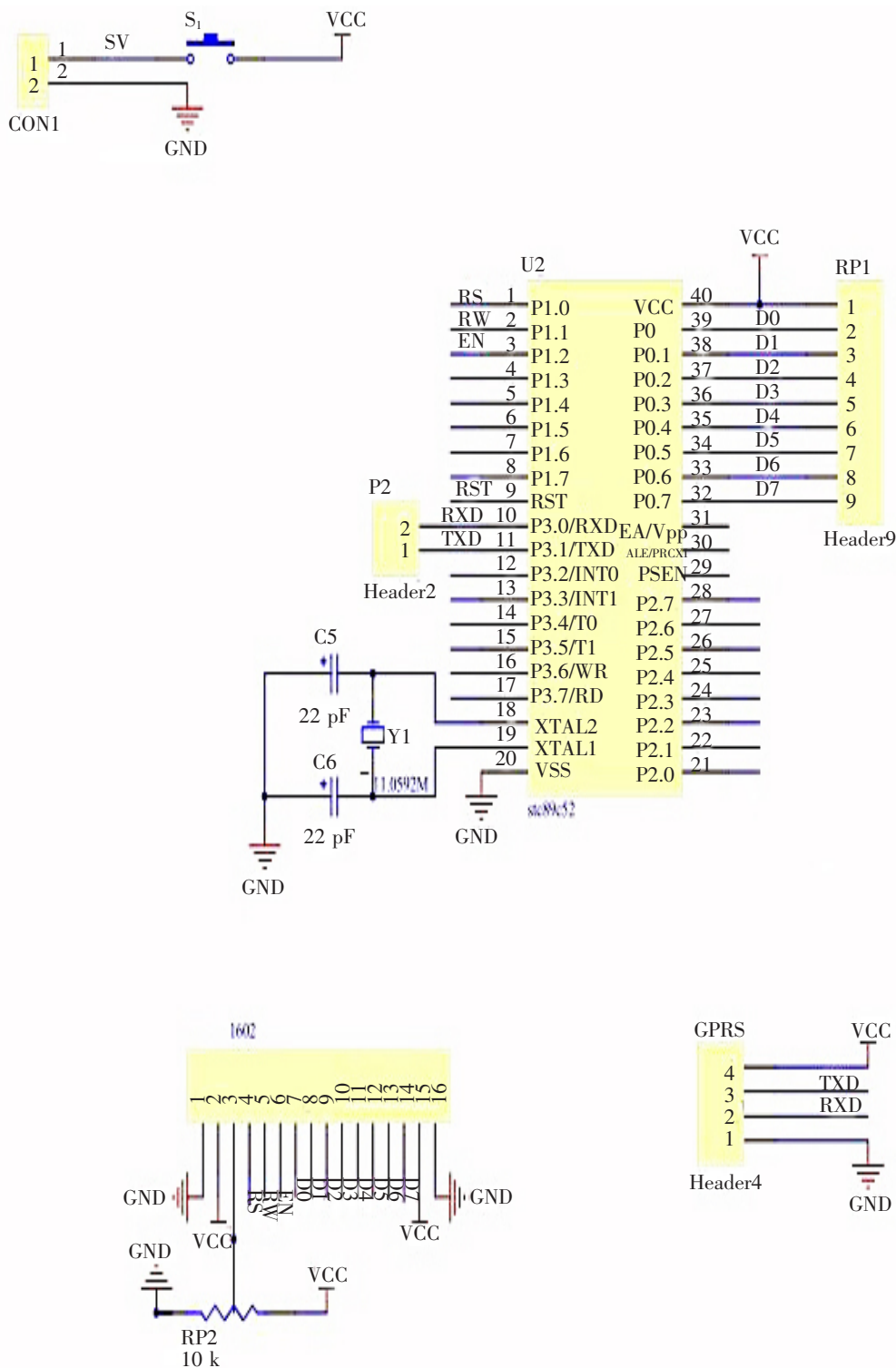


图 4 接收端 CAD 图

加入时钟振荡电路为电路提供时序,并利用复位电路保证电路的稳定,当测量温度值超过设定值时,报警器发出警告,处理故障后按下复位开关,报警声停止,温度报警电路完成警示的效果。此监测系统的测温模块能够实现对温度数据的采集、传输、存储和报警功能。

## 2.2 测温模块的软件设计

计算机初始化延迟一段时间后读取所测试的温度值,然后由读取状态寄存器判断数据接收情况,并在液晶屏上显示并不断刷新数据的变化。

### 2.2.1 数据传输方法

与传统的方法不同,改进后的数据传输方法先使用计算机指令 ipconfig 查询 IP 地址,在确定本机为公网后,采用 Net Assist 对网络设置进行修改,将原设置改为 TCP server,IP 地址改为指令查询的地址号,观察端口号 8086 能否连接,连接成功后,连接对象上能显示出端口号与 IP 地址。

### 2.2.2 改进版 GPRS 模块通讯设计

若要实现以 AT 指令为媒介的改进版 GPRS 模块数据传输方法,将 GPRS 与移动网络连接,在设置出 AT 指令参数后,通过 AT+GPRS APN 对 GPRS 网络的名称进行设置,设置完毕即可通过 AT+GPRSUSR 和 AT+GPRSPWD 修改的 GPRS 接入密码。若能接收到给定的建网指令,则执行命令,若未接收到任何指令,GPRS 网络即可自动断开。

借助 AT+TCPOPEN 指令来实现网络连接,调试出的 GPRS 通信系统还要观察 GPRS 模块是否接收到 OK 指令,以及 GPRS 模块接收指令后是否输出 GPRS Modem。从而进一步确定无线协调器与网络连接成功,如图 5 和图 6 所示。

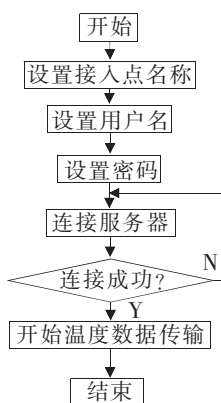


图 5 GPRS 通信程序流程图

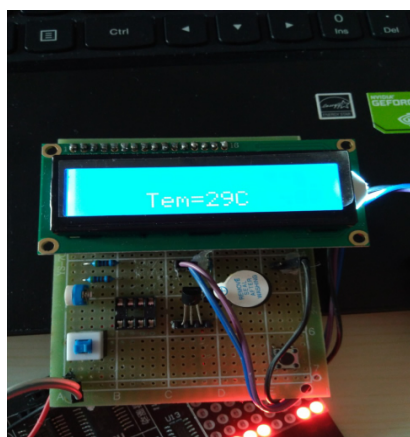


图 6 测温模块简易制作图

## 2.3 无线协议的比较

各类无线协议均有各自的优缺点,表 1 中列出典型代表 ZigBee 与 GPRS 的优缺点比较。

表 1 ZigBee 与 GPRS 的比较

| 协议     | 优点           | 缺点        |
|--------|--------------|-----------|
| ZigBee | 传输速率较快       | 高功耗,可靠性不高 |
| GPRS   | 低功耗,低成本,可靠性高 | 传输速率不高    |

通过表 1 的比较,在无线传输协议中,GPRS 拥有更好的可靠性,能确保在传输过程中无数据丢失的现象发生<sup>[4]</sup>,通过数据的验证,GPRS 协议能在降低测温传感器安装成本的同时也达到满足数据稳定传输的要求。

## 3 监测系统架构与实现关键技术

### 3.1 温度实时数据模型原理

变电站中的电气设备往往会存在多个温度监测点,在进行温度传感器 ID 与电气设备 ID 映射时,与传统的映射不同,本设计的映射采用新型多对多的形式。拿电气设备中的闸刀开关举例,在闸刀开关的动、静触点上各自安装一个测温传感器,因为 2 个传感器监测的是同一设备,若进行一对一映射,那么在数据传输时会导致数据的丢失,故一对多的结构不能使用,只能使用多对多映射<sup>[5]</sup>,根据测温元件的测量位置,将变电站中各主要电气设备进行分割,将整体分割为多组个体进行多对多映射。

### 3.2 监测平台结构

改进后的 B/S 结构相较于传统的 C/S 结构,能够实现多个客户同时访问一个客户端的功能。表 2 为

## 2 种结构各自特点的分析。

表 2 2 种结构各自特点的分析

| 在线监测平台结构            | 特点                                 |
|---------------------|------------------------------------|
| B/S(Browser/Server) | 能实现多服务器与网络的接入,并实现让多个独立网络用户访问同一个资源。 |
| C/S(Client/Server)  | 较好地简化客户端的输入,能够避免非授权人员对系统的访问。       |

### 3.3 基于 Silverlight 和 WCF 技术的新型实时监测功能实现

#### 3.3.1 数据展示方式的比较

传统的数据展示方法主要是绘制图表,此类方法单一且不能为工作人员提供总体结构的直观感受<sup>[6]</sup>。采用 Silverlight 新技术进行建模和绘制模型,与传统的展示方法相比,观测人员能以更直观的方式看到整个变电站各主要电气设备的温度实时数据变化。

#### 3.3.2 配电网主接线图绘制

使用统一建模语言(UML 图)来表示主接线图的总体结构模型,把系统中的各个监测点抽象为各个类别,并将各个类别由 Silverlight 供应 Ellipse 和 Path 等原始绘图零件完成初始化,之后采用实例化模式进行建模和绘图<sup>[5]</sup>。

#### 3.3.3 数据图形一体化功能的实现

完成建模和绘图后,通过 WCF 通讯服务完成通信,SQL server 将测出的温度值存储在数据库中,此时变电站值班工作人员能实时获得温度数据。

WCF 服务的协议必须以接口的方式体现,对于此类编程模型采用的通信机制为 SOAP(简易对象访问协议)进行采编,通过在服务器程序中定义标准的 Web Service 作为返回数据类型的结构体,获得实时的温度数据<sup>[7]</sup>。其中 WCF 服务的结构如图 7 所示。

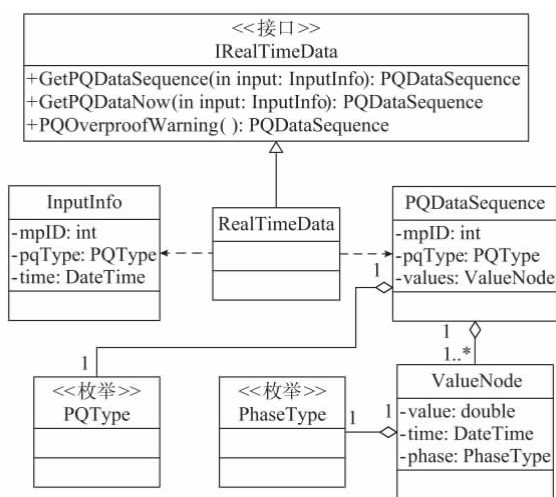


图 7 WCF 服务的结构图

## 4 温度监测系统运行的效果

### 4.1 系统运行环境

系统基于 Microsoft NET 架构,C 语言作为系统的开发语言。采用 Windows Server 2010 实现对 PC 机管控,Web 服务器软件为 IIS6.0。

### 4.2 传感器的安装方案

太原市迎泽区变电站在电力电缆电缆接头处、母线接头处、电缆接头处,以及变压器输配电线路端口处等设备处安装测温传感器,对温度进行实时监测。

### 4.3 实时监测图的演示

图 8 是温度实时监测系统中监测部分截图,其中实线部分代表 2 号主变室内环境温度,虚线部分代表此设备区域安装有测温传感器,灰色区域代表测温元件的测量点,在文字提示下,值班人员能够精确找出测量位点。图中显示的数据均是各电气设备的实时温度值,可以看到图中大部分数据为正常值,其中“35 kV 套管侧温度”温度较高,达

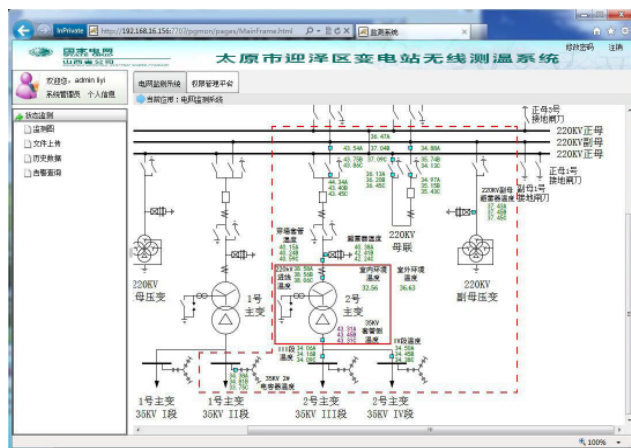


图 8 太原市迎泽区变电站无线测温系统

到了温度预警的条件,若此温度继续上升,则发出警示信息。

太原迎泽区变电站 2 号主变正处于工作状态,此变电站负责向太原迎泽区域内的 35 kV 负载段供电,当负载电流通过 2 号主变,根据热量公式:  $Q = I^2 R$ , 计算得出,由于流经低压侧套管的电流过大进而造成热量过大,故产生了温度预警<sup>[8]</sup>。

#### 4.4 传输数据精确度实验

当太原市迎泽区变电站内的 110 kV 变压器在额定运行情况下,对常温下的 110 kV 变压器的低压绕组进行测试,表 3 变电站中干式变压器温度监测值与理论计算值对比,表中相对温差是指变压器 A、B、C 三相的平均温度与计算值间的偏差。

表 3 变电站中 110 kV 变压器温度监测值与理论计算值对比

℃

| 日期         | 室内温度值 | A 相温度值 | B 相温度值 | C 相温度值 | 理论计算值 | 相对误差值 |
|------------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 2018.09.18 | 23.1  | 87.2   | 88.1   | 87.4   | 90.7  | 3.13  |
| 2018.09.19 | 26.7  | 87.1   | 88.2   | 87.1   | 90.5  | 2.28  |
| 2018.09.20 | 25.8  | 58.3   | 59.1   | 58.7   | 61.1  | 2.41  |
| 2018.09.21 | 28.1  | 58.5   | 59.2   | 58.2   | 61.5  | 2.87  |

测量出的温度值与理论计算值相比略有下降,相对误差分别为 2% 和 3% 左右。误差的原因在于变电站中干式变压器理论与实际的损耗有所差别<sup>[9]</sup>,故实际与理论的热源存在误差。但是相较于原有的监测系统,本监测系统以 AT 指令为媒介的改进版 GPRS 无线通信程序设计与数据传输 PC 主机的方法,能够大大提高数据传输的精确性,进而有效降低误差。

#### 4.5 测量精度实验与性能测试比对

红外测温仪在外界干扰小的环境下测量精度很高,为验证基于 GPRS 的温度监测系统测量数据的准确性,现使用温度源和变电站监测常用仪表精度等级为 1.0 的手持红外测温仪对系统进行精度等级比对。将温度源每 15 ℃ 设置为一个测量点,在测点处同时使用标准温度计和测温节点进行温度测量,测量数据如表 4 所示。

表 4 测量数据比对

℃

| 温度源温度 | 红外测温仪 | 测温节点 | 温度源温度 | 红外测温仪 | 测温节点 |
|-------|-------|------|-------|-------|------|
| 15    | 15.2  | 15   | 60    | 60.8  | 61   |
| 30    | 30.9  | 31   | 75    | 74.9  | 75   |
| 45    | 45.4  | 45   | 90    | 90.6  | 90   |

我国工业仪表精度等级分为 7 个等级:0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0。将 2 种测温系统在相同测试环境(无雾气和粉尘)下进行实验<sup>[10]</sup>。实验数据表明,二者在同一测试环境下,已知红外测温仪的测量精度,根据公式,引用误差=(绝对误差的最大值/仪表量程)×100% 计算出系统的引用误差为 0.9%,则其精度等级为 1.0,完全满足变电站中使用仪表测量精度的要求。

在变电站中进行性能测试,在无遮挡的情况下,测试出 SIM900A 型 GPRS 的有效测温通信距离为 120 m,在厚 30 cm 的墙体遮挡情况下,其有效测温通信距离为 75 m,同精度等级(1.0)的红外测温仪测温有效距离为 110 m,在厚 30 cm 的墙体遮挡情况下,其有效测温通信距离为 42 m。查阅大量文献后得知,对于现有的红外测温法而言,通常采用测量精度为 1.0 的手持式红外测温仪进行温度测量,但在有雾气和粉尘的恶劣环境下,红外测温仪的有效测温距离仅为原有的 40%,会严重影响测温数据的准确性<sup>[11]</sup>。

综上所述,从测量精度角度分析,在同一干扰较小的环境下,测试数据表明,GPRS 温度监测系统在测量精度等级上与现有常用工业精度等级为 1.0 的红外测温仪相同。从可靠性角度分析,通过实际测量和查阅资料,得出 GPRS 温度监测系统的穿透能力和在恶劣环境下的抗干扰能力要更好。从经济角度分析,GPRS 传输模块的价格更低,大大节约了变电站的投资成本。结果证明本系统在变电站温度监测过程中具有较好的实用性和经济性<sup>[12]</sup>。

## 5 结语

提出并实现了一种基于 GPRS 无线测温模块和基于 B/S 的在线监测模块的智能变电站温度实时监测系统设计方案,对以 AT 指令为媒介 GPRS 无线通信程序设计与数据传输 PC 主机的方法进行改进,能有效降低系统的搭建成本。在监测系统架构实现过程中,使用 Silverlight 新技术进行建模和绘图,并以 WCF 客户端通过与服务器端互联完成通讯连接,从而实现变电站值班工作人员第一时间获得温度数据和报警信息,与此同时通知相关人员解决问题,大大降低了事故隐患的发生。

对系统先后进行了 2 类实验。首先进行传输数据精确度实验,实验数据表明,本监测系统使用以 AT 指令为媒介的改进版 GPRS 无线通信程序设计与数据传输 PC 主机的方法后,大大提高数据传输的精确性,进而有效降低了误差。其次进行了测量精度实验与性能测试,当基于 GPRS 的温度监测系统和红外测温系统的测量精度等级均为 1.0 时,分别测试 2 种系统在有遮挡时的测温有效距离。其中基于 GPRS 的温度监测系统测温通信有效距离为 75 m,红外测温仪有效测温距离 42 m。据此计算分析和查阅相关资料得出,本设计的 GPRS 温度监测系统比现有传统红外测温仪的穿透能力和在恶劣环境下的抗干扰能力更强<sup>[13]</sup>。

该系统已在太原迎泽区变电站试运行,效果良好,试运行结果验证了系统能实现对无人值守变电站中各主要电气设备进行准确、在线、连续的监测,为智能变电站各主要电气设备的正常运行提供了有力支持。

## 参 考 文 献

- [1]杨青波,魏卓,柴卫强,孟学磊. 红外测温技术在换流阀温度监测中的应用[J]. 激光与红外,2018,48(1):73-78.
- [2]王然,刘曜恺. 红外测温技术在炉膛温度场检测中的应用[J]. 中国电机工程学报,2017,46(6):136-140.
- [3]张丽萍. 基于 ARM 和 GPRS 的微光安全监测预警系统的设计[J]. 仪表技术与传感器,2018(1):93-97.
- [4]朱文,袁成,孟晓. 变电站无线温度监测系统设计与实现[J]. 水电能源科学,2016,31(2):207-210,79.
- [5]曹一家,何杰,黄小庆,张志丹. 物联网技术在输变电设备状态监测中的应用[J]. 电力自动化,2016,27(3):16-27.
- [6]杨建平,阳靖,罗莎. 110kV 智能变电站的设计与实现[J]. 电力科学与技术学报,2017,27(2):90-96.
- [7]曾祥君,黎瑞峰,李泽文,等. 基于 IEEE1588 的智能变电站时钟同步网络[J]. 电力科学与技术学报,2015,26(3):3-8.
- [8]焦东升,陆冬良,应俊豪,等. 基于 Probus 的电能质量实时监测系统设计与实现[J]. 电力自动化,2014,31(5):117-121.
- [9]于庆广,付之宝. 电力系统电能质量监测系统的实现[J]. 仪器仪表学报,2015,35(7):17-21.
- [10]朱伟立,王俊,王巍. PQDF 在嵌入式电能质量监测终端上的实现与应用[J]. 电机工程,2015,27:19-23.
- [11]王康,胡永辉,马红皎. 基于 IEEE1588 的智能变电站时钟同步技术[J]. 电力科学与技术学报,2015,26(3):14-17.
- [12]袁兆强,张雯. 基于 B/S 模式的电力设备在线监测通用安全信息系统的研究[J]. 继电器,2017,35(6):59-63.
- [13]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,2015,41(4):130-135.

## Design and Implementation of Temperature Real-time Monitoring System for Intelligent Substation

Li Yi<sup>1</sup>, Pan Cunzhi<sup>1</sup>, Yang Hui<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;

2. Taiyuan Electric Power Bureau, Shangxi Electric Power Company, Taiyuan 030053, China)

**Abstract:** Based on the research of traditional substation temperature monitoring technology, a set of intelligent substation temperature real-time monitoring system based on Browser/Server (B/S) mode is designed and implemented. The wireless temperature measurement module of the system is composed of the collecting end and the receiving end, and the transmission between them is realized by GPRS communication module. After introducing the hardware and software design of temperature collecting and

receiving circuits, this study focuses on the improvement of GPRS wireless communication program design and data transmission PC host based on AT instruction, aiming at the key problems of the system design. The method of communication between client and server based on Windows communication service (WCF) is introduced. This paper also introduces how to establish the model and draw the graph of the main wiring of electrical equipment by using the new technology of Silverlight. The reliability of the system is verified in the actual running test. The substation staff on duty can obtain the temperature data and alarm information quickly and accurately, so as to achieve the purpose of monitoring and predicting the temperature data. It provides a reference for the design of intelligent substation temperature real-time monitoring system.

**Key words:** temperature monitoring; GPRS; Silverlight; WCF service; intelligent substation

(上接第 30 页)

## Calculation Method for the Shape-finding of Spatial Wind Cable System on Flexible Pedestrian Suspension Bridge

Li Baojun

(Surveying and Designing Institute of Shanxi Province, Taiyuan 030006, China)

**Abstract:** Based on the theory of catenary cable element, a reliable and accurate calculation method for the shape-finding of spatial wind cable system was studied. The transverse coordinates of cable nodes were gotten according to force equilibrium in the horizontal plane. Then, on the principle that the shape of the cable between nodes was catenary, vertical coordinates of node and the unstressed length of cable were gotten through iterative calculation. The calculating process chart was shown in this study, and programmed with Matlab. Based on a practical example of certain project, the shape of the wind cable system under condition of dead load and the unstressed length of cable were gotten through this method. According to the method in this study, the bridge line shape of wind-resistant cable system and the stress-free length of each cable segment were obtained by combining with an engineering example. The results show that the deformation is less than 1/40 000 of the span. The shape-finding calculation method presented is feasible, and meets the requirement of engineering accuracy.

**Key words:** pedestrian bridge; wind cable; spatial wind cable system