

# 基于ARM的开关柜智能监控装置研究

孟艳清, 赵宏伟, 邹育霖

(后勤工程学院机械电气工程系, 重庆 401311)

**摘要:** 针对配电网中开关柜的安全现状,在普通开关柜操控装置基础上,提出一种集成了开关状态显示、柜内温湿度控制、无线测温等功能的新型开关柜智能监控装置。该装置以ARM微控制器为核心,设计了凝露控制模块、无线测温模块、人机交互模块等外围电路,同时在嵌入式操作系统平台上开发了各功能模块的应用程序。该装置实现了对开关柜的一体化检测、监视和控制,提高了系统的可靠性和集成度,降低了维护成本,为实现中低压变配电所的远程监控,提升开关柜智能化水平以及配网安全稳定运行提供了条件。

**关键词:** ARM; 开关柜; 智能操控; 监控系统

**中图分类号:** TM56

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-1609(2014)03-0029-07

## Research of the Smart Monitoring Control Device for Switchboard Based on ARM

MENG Yanqing, ZHAO Hongwei, ZOU Yulin

(Mechanical and Electrical Engineering Faculty of Logistical Engineering University, Chongqing 401311, China)

**Abstract:** For the safety operation of MV switchgear, a new smart monitoring device is designed which can provide the integrated functions for switchgear as real-time condition display, temperature and humidity control in the panel, wireless measuring temperature for key parts and so on. ARM LPC2292 is used as the CPU for condensation control, temperature monitor, human-computer interaction, communication etc. The application programs of each function are developed based on the embedded operation platform. The integrated functions like detection, monitoring and controlling are realized for switchgear panel, the system reliability and integration are increased, and the maintenance cost is decreased. It will be helpful to realize the remote control of MV and LV distribution station, to increase the smart level for switchgear and to increase the safety and stable operation for distribution network.

**Key words:** ARM; switchgear; smart control; monitoring system

## 0 引言

随着智能电网的发展,传感、检测和支持IDG的高级量测系统,特别是变电站的智能化监视,成为配网研究的重要内容之一<sup>[1-2]</sup>。开关柜是配电系统中重要的电能分配和保护控制设备。它采用断路器作为主元件,根据电气一次主接线图的设计要求,将有关的高低电压电器如母线、载流导体、绝缘子等装配在封闭的金属柜体内,实现接受和分配电能的目的<sup>[3]</sup>。开关柜事故往往会造成很大的经济损失,甚至人身伤亡事故。过去10 kV开关柜的监控,特别是变电所中低压设备的监控一直没有引起人们的足够重视。

随着社会经济的发展,单位停电造成的损失和影响越来越大,对配电网可靠性水平提出更高的要求。近年来出现了一些针对开关柜监控的产品,例如断路器模拟显示器、高压带电指示器、凝露控制器、多功能仪表、微机保护装置等产品<sup>[4]</sup>。这些产品在高压开关柜运行中发挥了重要作用,但是由于各种监控装置独立安装,使得开关柜面板显示复杂,装置之间信息的共享程度不高,各装置的通信方式与规约不同,同时安装检修工作量加大,系统可靠性提升并不明显。基于智能配电网的理念,并考虑到当前已有装置存在以上问题,笔者提出并设计了一种新型多功能开关柜智能监控装置,实现了单柜及整个中低压配电装置的全面一体化检测、监视和控制,并具有联网功能,允许进行远程监视控制。

收稿日期:2013-10-14; 修回日期:2013-11-26

## 1 开关柜智能监控装置概述

新型开关柜智能监控装置研制,需要适应智能化变电站的基本要求,基于现有开关设备,提升开关柜中关键设备的智能化,使其具有更高的性能、可靠性、免维护性等,并实现主设备的在线监测、自诊断等功能,同时提供网络化远动接口,支持多种通信方式和通信协议。

新型开关柜智能监控装置以 ARM 嵌入式微处理器作为核心控制单元,通过自动检测环境温度、湿度,开关柜内部温度、断路器触头、母线、电缆接头处温度、断路器和接地开关开合状态、带电状态等输入信息,识别是否存在局部温升,进而判断是否存在安全隐患。根据柜体内外温湿度值,确定是否进行加热除湿操作。采用 LED 图形指示断路器和接地开关状态、开关储能状态、带电状态,并通过 LCD 显示器显示

温湿度及电参数等信息。通过 RS485 与上位机通讯,实现了就地控制和远程控制<sup>[5]</sup>。同时还具有辅助功能,如人体感应带电提示及柜内照明、语音防误提示等。

新型开关柜智能监控装置是一种智能化、模块化的装置,采用一个处理器并使相关硬件和软件集成化,极大地减少了接线数量,使得安装方便、调试简单、功能全面、可靠性高、抗干扰能力强,降低了制造成本和维护成本。适用于高压户内中置柜、手车柜、固定柜、环网柜等多种开关柜。

## 2 开关柜智能监控装置硬件设计

开关柜智能监控装置以 LPC2292 微处理器<sup>[6-7]</sup>为核心,按照功能分为处理器单元、模拟量输入、开关量输入输出模块、凝露控制单元、无线测温模块、高压带电显示单元、人机交互模块、电源模块和通信模块等。整个装置硬件结构框图见图 1。

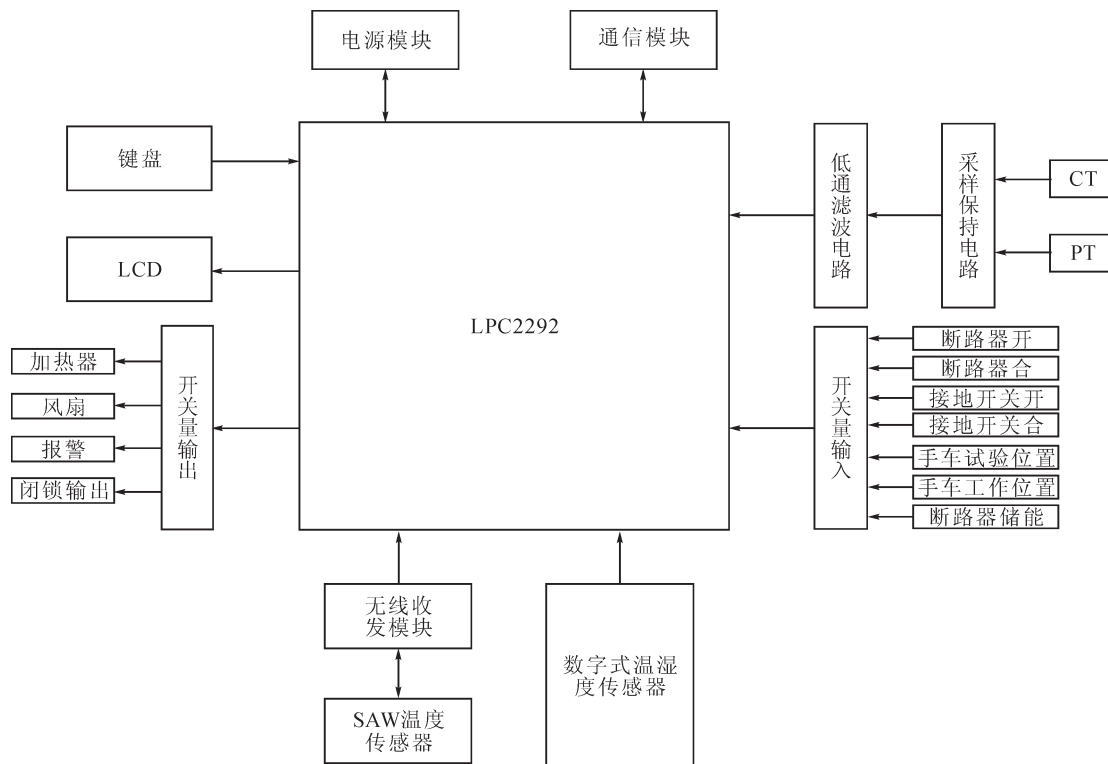


图 1 装置硬件结构

Fig. 1 The hardware structure of device

### 2.1 凝露控制模块

凝露现象是指当环境温度低于当时的露点温度时,空气中的水蒸汽会在低温物体表面凝结成水珠的现象<sup>[8]</sup>。开关柜内发生凝露现象,设备间的爬电距离会减小,容易引起爬电事故,同时会腐蚀设备,使设备的绝缘能力下降引起电压闪络事故。开关柜凝露现象的产生取决于柜内温度、相对湿度及露点温度等。为避免开关柜内产生凝露现象,在开关柜内装设凝露控制装置。凝露控制的温湿

度传感器采用 SHT15 数字式温湿度传感器<sup>[9]</sup>,通过传感器采集的温湿度启动或停止加热器或风扇,使柜内温湿度保持在合理范围内,避免凝露的产生。加热器、风扇和报警信号由继电器输出,温湿度值由 LCD 进行显示,温湿度阈值可以通过装置上的按键进行修改。

SHT15 数字式温度传感器的测量原理是将两只温湿度传感器采集的信号经过放大器后送入模数转换器进行模数转换、校准和纠正,然后将得到

的温度和相对湿度数据经两线串行接口送至微处理器。该装置中 LPC2292 与 SHT15 的连接采用两个 I/O 口分别作为数据线 DATA 和时钟线 SCK, 并在 DATA 端接入一只 10 k $\Omega$  的上拉电阻, 在电源端接入一只 100 nF 的去耦电容, 就能实现数据的采集与传输。温湿度采集电路见图 2。

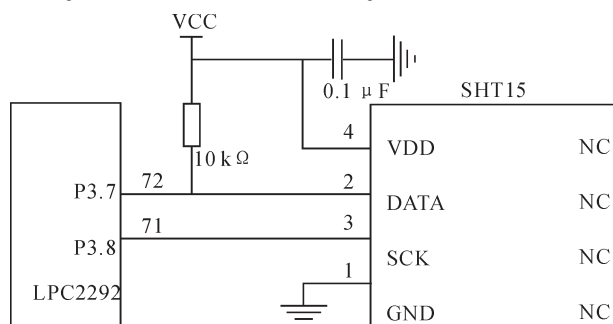


图 2 温湿度采集电路

Fig. 2 The acquisition circuit of temperature and humidity

目前防凝露控制的方式主要有两种:不间断加热和实时加热<sup>[10]</sup>。不间断加热方式是长期将加热器投入运行,这种防凝露措施可以保证柜内温度始终高于环境温度,最大程度上保证不发生凝露,但长期加热,会造成电能的浪费。实时加热方式主要是通过温湿度控制器实时控制加热器的工作状态。温湿度控制器利用温湿度传感器获取相对湿度,当相对湿度大于 80%RH 或 93%RH 时,开启加热器,当相对湿度小于 75%RH 时,停止加热,这种方式的缺陷在于当相对湿度较高,温度较低时,环境温度与露点温度非常接近,如果控制不及时就会产生凝露现象。

由文[8]得出的结论可知,只要使开关柜内部温度比外部环境温度高,且降低柜内的相对湿度,就可以预防凝露的产生。因此,在开关柜内外分别安装温湿度传感器,通过比较柜内外温差来驱动加热器,使柜内外温差保持在 1°~3°以上,同时依据柜内相对湿度来开断加热器降低柜内湿度,这样两种控制方式相结合可以主动防止凝露的产生,提高了防凝露的可靠性。

## 2.2 无线测温模块

高压开关柜设备因断路器的动静触头接触不良,触头老化且长期有大电流流过,导致断路器触头长期发热,使得接触电阻增大,严重时会导致温度过高烧毁设备。电缆触头随着运行时间的延长,绝缘老化、接头松动、局部放电会导致温度异常升高,继而使接触电阻增大,进一步恶化了发热故障,为开关柜安全稳定运行带了巨大隐患。据统计,20 世纪 90 年代中国电力系统开关事故类型中,发热故

障和绝缘故障占 46%左右<sup>[11]</sup>。为保证开关柜安全稳定运行,提高开关柜运行效率,对开关柜断路器触头、电缆接头等关键部位实施温度在线监测具有重大意义。

普通电阻接触式测温、红外测温、光纤测温等测温方法在电力系统温度监控系统中都具有一定的局限性<sup>[12-13]</sup>。声表面波传感器是一种新型无源传感器,与传统的传感器相比,它具有性能高、精度高、体积小、耐高温、耐辐射的特点。声表面波传感器能够在特殊环境中,如高速旋转、快速移动的物体,封闭的空间和高温强辐射的环境下检测物理量<sup>[14]</sup>,因此具有广阔的应用前景。声表面波传感器分为时间延迟线型和谐振型两类。谐振型在灵敏度和可靠性等方面优于时间延迟线型。谐振型无源无线温度传感器的工作原理<sup>[15]</sup>见图 3,叉指换能器通过压电效应应将输入的电信号转换成声信号后,在左右两个反射栅之间多次反射形成谐振。该谐振器的谐振频率与基片的温度有关,当叉指换能器通过逆压电效应应将声信号转变成电信号输出后,可以得到频率的变化,根据频率与温度的关系得到温度值<sup>[16]</sup>。

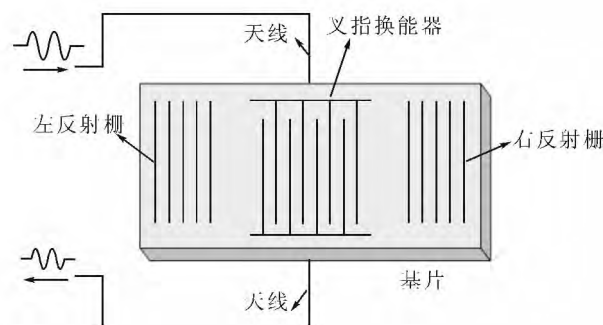


图 3 无源无线温度传感器的工作原理

Fig. 3 The principle of passive wireless temperature sensor

声表面波温度传感器在开关柜测温系统中的应用具有以下优势:无需电池、安装方便、安全可靠、无线传输、环境适应性好、低成本。该装置的测温系统采用成都赛康信息技术有限公司生产的无源无线测温系统。在开关柜内安装 6~12 个温度传感器,分别安装在断路器触头、电缆接头、母线上,这组温度传感器由一个温度采集器负责温度信息的收发,温度采集器集成在开关柜智能操控装置内,采集器的温度信息通过 CAN 总线上传至微处理器,微处理器通过对数据的分析处理来显示各点的温湿度值并控制超温报警信号输出。开关柜智能监控装置的无线测温系统见图 4。

## 2.3 开关量输入输出模块

开关量的输入是开关设备状态显示的信号来源<sup>[17]</sup>,是开关柜智能监控装置的重要组成部分。开关

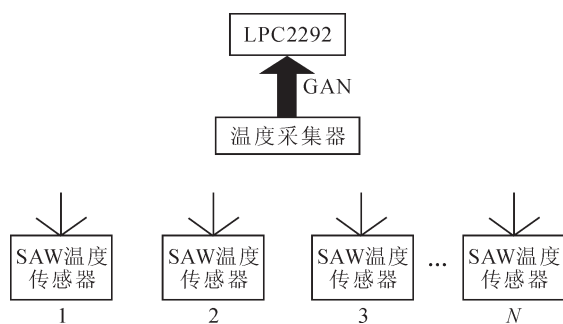


图4 无线测温系统

Fig. 4 The system of wireless temperature measurement

量的输入信号来自一次设备的辅助触点,通过光电隔离后输入处理器的I/O口,并驱动相应的LED模拟显示条来指示开关设备的状态,其中包括断路器分闸、断路器合闸、手车试验位置、手车工作位置、接地开关分、接地开关合、断路器储能指示7路信号。开关量采集电路图见图5。

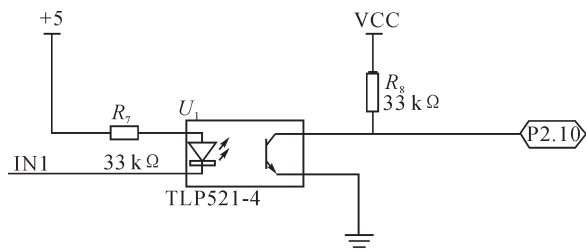


图5 开关量采集电路

Fig. 5 Switch signal Acquisition circuit

开关量的输出电路是整个监控装置对外部设备实施控制的最终机构<sup>[18]</sup>。开关量的输出信号是由处理器对采集的信息分析运算后,做出判断并发送到GPIO口,再由光电耦合器驱动三极管导通,使继电器线圈得电,控制继电器触点向外输出。开关量输出包括:加热器、风扇、柜内照明、断线报警、过热报警、闭锁输出、关键部位超温报警等。开关量输出

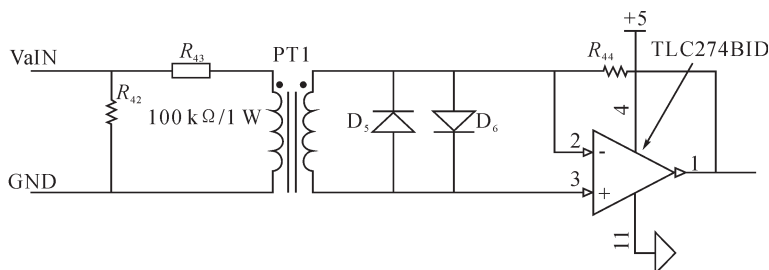


图7 电压转换电路

Fig. 7 Voltage switching circuit

## 2.5 其他模块

开关柜智能监控装置还包括语音模块、人际交互模块、电源模块、通讯模块、人体感应模块等。语音模块采用WT558D语音芯片,控制模式采用三线串口控制模式,由LPC2292的P3.0-P3.2控制,采用DAC方式外接LM386功放进行语音播放。显示部分采用

电路原理图见图6。

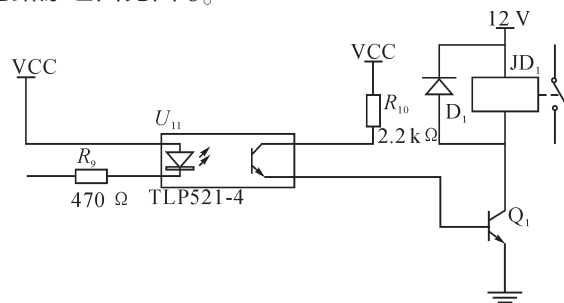


图6 开关量输出电路

Fig. 6 Switch signal export circuit

## 2.4 模拟量输入模块

模拟量采集电路由互感器信号转换电路、信号调理电路、低通滤波电路和A/D转换电路组成。高压开关柜中的电压和电流经一次互感器变换后得到220V和5A的模拟信号,而A/D转换模块只能接受变化较小的弱电信号,所以必须经过微型互感器转换为低电压和低电流信号,信号通过信号调理电路产生A/D模块适当的电压信号,再经过低通滤波电路滤波后输入LPC2292内置的A/D转换模块。处理器对获得的信号进行分析处理得到电压、电流、有功功率、无功功率等物理量,测量精度为0.5级。

经过转换电路和信号调理电路后电压和电流信号均转换成幅值范围为-1.25~+1.25V的电压量,同时电平转换电路还实现了二次回路与监控装置内部电路之间的电气隔离和电气屏蔽,减少了自高压设备对弱电元件的干扰。为电压转换电路见图7,电流转换电路见图8,低通滤波电路见图9。图7-9中D5、D6、D7、D8为瞬态电压抑制二极管(TVS),能抑制电压或电流的瞬态干扰,防止电压和电流的突然上升,避免元件受到瞬间冲击而损坏。

C12864-ZB液晶显示模块来实现,LPC2292与LCD接口采用8位数据总线并行输入输出和3条控制线。此外,系统还设计了上、下、左、右、确定、退出6个按钮来实现数值查询和参数修改任务。电源模块采用线性稳压电源芯片SPX29150为系统提供3.3V和1.8V电压。通讯模块采用RS485通讯方式,由SP485R芯



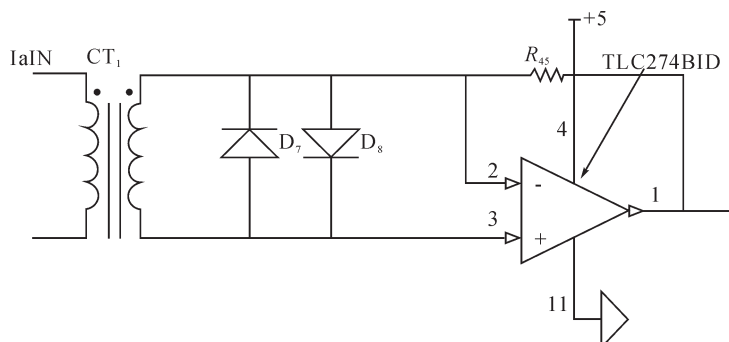


图 8 电流转换电路

Fig. 8 Current switching circuit

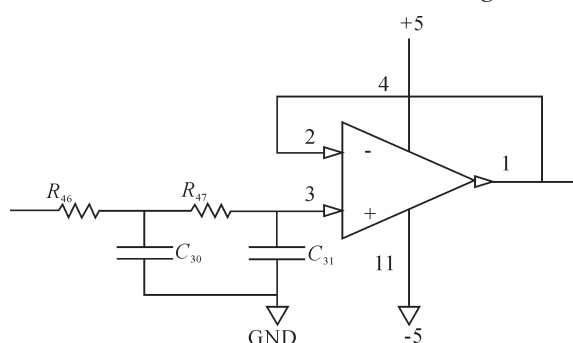


图 9 滤波电路

Fig. 9 Filtering electric circuit

片实现与 LPC2292 的连接,完成监控主机与装置之间的信息交换。人体感应模块由人体红外感应探头判断是否有人靠近,自动启动柜内照明。

### 3 软件设计

开关柜智能监控装置采用 ARM7 控制器 LPC2292,为了提高系统的实时性和可靠性,该装置引入了嵌入式操作系统  $\mu C/OS-$ 。  $\mu C/OS-$  是一个实时多任务操作系统,它具有很强的移植性<sup>[19-20]</sup>。基于嵌入式操作系统的软件结构分为 3 层:应用程序层、操作系统层、嵌入式硬件层<sup>[21]</sup>。将  $\mu C/OS-$  移植到 LPC2292 处理器上,各个应用程序就是运行在  $\mu C/OS-$  的多个任务。

#### 3.1 系统任务划分及主程序设计

系统软件主要完成数据采集、监控、数据上传等功能。在  $\mu C/OS-$  操作系统下,根据系统的功能,由函数 OSTaskCreate() 创建以下几个任务:信号采集任务、凝露控制任务、无线测温报警任务、按键任务、液晶显示任务、通讯任务、语音提示任务。各个任务的优先级不同,优先级高的进程优先运行。依据任务优先级安排原则,系统中各任务的优先级安排见表 1。

主程序是系统开始执行各个任务的前提,在主程序中,首先进行系统硬件初始化,再进行  $\mu C/OS-$  操作系统初始化,最后建立任务,启动多任务操作系统。主程序流程图见图 10。

表 1 任务优先级安排

Tab. 1 Priority arrangement of task

任务名称	优先级
信号采集任务	6
凝露控制任务	7
无线测温报警任务	8
按键任务	19
液晶显示任务	11
通讯任务	13
语音提示任务	15

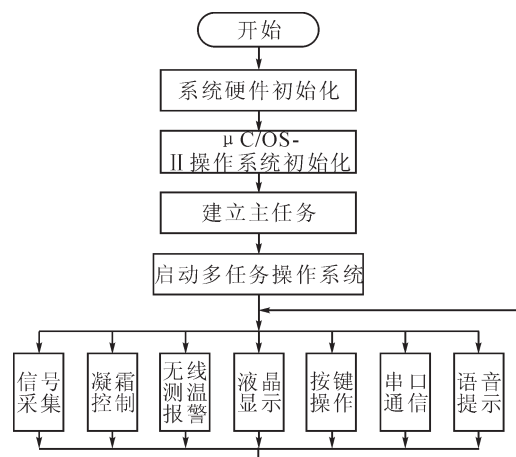


图 10 主程序流程图

Fig. 10 Main program flow chart

#### 3.2 系统主要模块软件设计

##### 3.2.1 凝露控制软件设计

开关柜内温湿度测量由 SHT15 数字式温湿度传感器来完成,温湿度传感器将采集的信号放大后,经过内部 A/D 转换、矫正后,通过串行接口将数字信号发送到 LPC2292 处理器内部,处理器对信号分析处理后,通过 LCD 显示温湿度数值,如果温湿度超过了设定阈值,自动开起加热器或风扇,同时进行报警提示。凝露控制程序流程图见图 11。

##### 3.2.2 无线测温模块软件设计

无线测温模块的数据传输分为两个阶段,温度采集器与温度传感器之间的数据采用无线传输,流

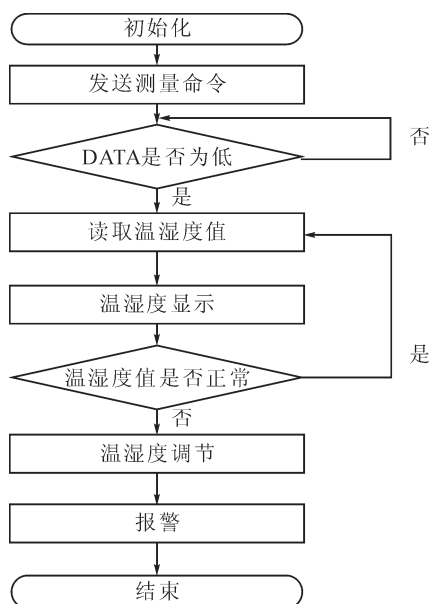


图 11 凝露控制程序流程

Fig. 11 The flow of gel controlling program

程图见图 12;温度采集器与微控制器 LPC2292 之间的数据传输采用 CAN 总线传输,流程图见图 13。

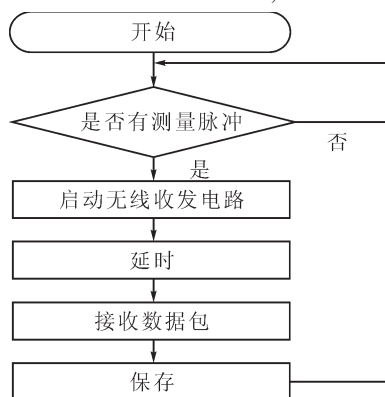


图 12 温度采集流程

Fig. 12 The flow of temperature acquisition

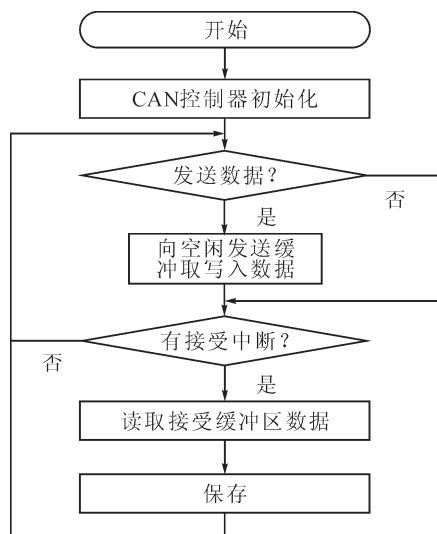


图 13 CAN 总线数据传输流程

Fig. 13 Date transmission flow by CAN bus

CAN总线传输程序设计主要是调用 CAN 驱动程序提供的接口来实现数据的接收与发送。CAN 驱动函数包括控制器初始化、数据发送、数据接收和总线异常等内容。该装置使用 LPC2292 内部集成的控制器 1, 符合 CAN 规范 CAN2.0B 和 ISO 11899-1 标准, 波特率设置为 115 200 bps。

### 3.2.3 信号采集模块软件设计

开关量的采集使用中断程序来执行, 由 LPC2292 内置的中断控制器来响应来自 IRQ 的中断, 通过中断子程序来识别 I/O 口的状态, 从而获取开关状态信息。开关量采集流程见图 14, 模拟量的采集通过 A/D 中断实现, 中断主要用来采集和处理数据。通过 A/D 转换获取采样数据, 然后调入标定的算法程序, 计算出相应的测量结果, 并将结果显示在液晶屏上。模拟量采集流程图见图 15。

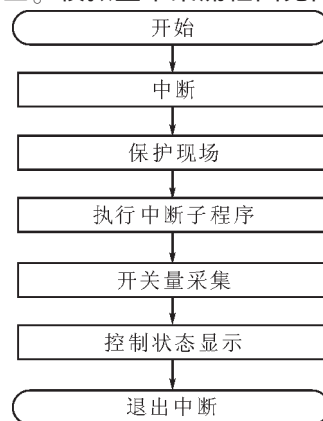


图 14 开关量采集流程图

Fig. 14 The flow chart of switch signal acquisition

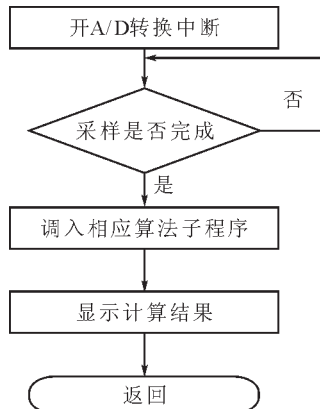


图 15 模拟量采集流程图

Fig. 15 The flow chart of analog signal acquisition

## 4 实验论证

该装置采用 ADS1.2 集成开发环境完成了软件的开发与调试, 并结合硬件进行了整体调试, 形成了试验样机。通过实验测试, 装置实现了预定的功能, 测温精度达到  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 湿度测量精度达到  $\pm 3.0\%\text{RH}$ ,

电参量的测量精度达到 0.5 级。通过电磁兼容实验,静电测试为 3 级,浪涌测试为 4 级,符合 IEC 255-22 的标准规定。

## 5 结语

笔者将 ARM 嵌入式微控制器 LPC2292 与  $\mu\text{C}/\text{OS-}$  操作系统相结合,设计了一款集测量、显示、控制、通信于一体的开关柜智能监控装置,具有良好的实时操作性和稳定性,凝露控制模块采用先进的数字式温湿度传感器,加热控制方式采用传统控制方式与开关柜内外温差控制相结合,克服了原有产品的控制盲区,测温系统采用了新型的无源无线温度传感器,为解决电力系统测温问题开辟了新途径,此外,系统还集成了开关状态显示、电参量测量、语音提示、液晶显示等模块,能够更好地监控开关柜内设备运行状态,为变电所安全稳定运行提供可靠保证。随着智能化开关柜的不断推广,开关柜智能监控装置势必在变配电领域取得广泛应用。

## 参考文献:

- [1] 高明华,王冬,王学峰,等. 智能变电站设备在线监测系统[J]. 山东电力技术,2011(1):18-21.  
GAO Minghua, WANG Dong, WANG Xuefeng, et al. The on-line monitoring system for smart substation[J]. Shandong Electric Power, 2011(1):18-21.
- [2] 余贻鑫. 新形势下的智能配电网[J]. 电网与清洁能源, 2009, 25(7):1-3.  
YU Yixin. Intelligent distribution network in the new situation[J]. Power System and Clean Energy, 2009, 25(7):1-3.
- [3] 杜宏,边静. 配电网自动化中的通信解决方案[J]. 电力设备, 2002, 3(2):38-44.  
DU Hong, BIAN Jing. Communication scheme for automation of distribution networks[J]. Electrical Equipment, 2002, 3(2):38-44.
- [4] 郑程遥,刘峰. 开关柜智能操控装置:中国, ZL20092 000444.7[P]. 2010-09-01.
- [5] 刘生辉,王克英,廖颜深. 智能开关柜操控装置 Modbus-RTU 通讯协议的设计[J]. 电测与仪表, 2010, 47(7):77-80.  
LIU Shenghui, WANG Keying, LIAO Yanshen. Design of the Modbus-RTU protocol between intelligent switchgear and host computer[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2010, 47(7):77-80.
- [6] 周立功. ARM 微控制器基础与实践[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2003.
- [7] 侯益坤,刘益标,侯聪玲. 基于 ARM 和  $\mu\text{C}/\text{OS-}$  的机器人控制系统设计[J]. 机械设计与制造, 2009(8):27-29.  
HOU Yikun, LIU Yibiao, HOU Congling. Control system design for a mobile robot based[J]. Machinery Design & Manufacture, 2009(8):27-29.
- [8] 冯晓铭. 开关柜凝露防护的问题及解决办法的初探[J]. 北京电力高等专科学校学报, 2012, 29(1):184-185.  
FENG Xiaoming. Preliminary study of the switchgear condensation protection problems and solutions[J]. Beijing Electric Power College, 2012, 29(1):184-185.
- [9] Sensirion Company. SHT1x/SHT7x humidity & temperature sensmitter data sheet [EB/OL]. <http://www.sensirion.com>, 2009-10-12/2013-05-10.
- [10] 周军,周文越. 开关柜防凝露控制技术浅谈[J]. 科技创新导报, 2010(1):57-57.  
ZHOU Jun, ZHOU Wenyue. Review of the switchgear anti condensation control technology[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2010(1):57-58.
- [11] 宋昊,崔景春,袁大陆. 2004 年高压开关设备运行统计分析[J]. 电力设备, 2006, 7(2):10-14.  
SONG Hao, CUI Jingchun, YUAN Dalu. The statistical analysis of high-voltage switchgear Running in 2004[J]. Electrical Equipment, 2006, 7(2):10-14.
- [12] 唐小平,胡元辉,林吉. 开关柜检测发展现状[J]. 电气开关, 2011(6):74-76.  
TANG Xiaoping, HU Yuanhui, LIN Ji. The status of switchgear detection[J]. Electrical Switches, 2011(6):74-76.
- [13] 楼开宏,秦一涛,施才华,等. 基于光纤测温的电缆过热在线监测及预警系统[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(19):97-99.  
LOU Kaihong, QIN Yitao, SHI Caihua, et al. Online monitoring and early warning system of cables overheating based on optical fiber temperature measurement[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(19):97-99.
- [14] 朱文章,徐恭勤. 谐振型声表面波无线温度传感器[J]. 厦门理工学院学报, 2005, 13(4):24-27.  
ZHU Wenzhang, XU Gongqin. A wireless temperature sensor using the surface acoustic wave resonator[J]. Journal of Xiamen University of Technology, 2005, 13(4):24-27.
- [15] 王军峰,李平,周志坤,等. 声表面波谐振型无源无线温度传感器硬件系统[J]. 压电与声光, 2006, 28(1):1-4.  
WANG Junfeng, LI Ping, ZHOU Zhikun, et al. The hardware composing of wireless sensing system using passive SAW resonator[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2006, 28(1):1-4.
- [16] 胡兰芳. 声表面波器件频率温度特性研究[J]. 四川师范大学学报:自然科学版, 2001, 24(4):363-366.  
HU Lanfang. Study on frequency-temperature sensitivity of SAW devices[J]. Journal of Sichuan Normal University: Natural Science, 2001, 24(4):363-366.
- [17] 孙兴丽,刘曙光. 一种开关柜智能操控装置的设计与实现[J]. 高压电器, 2009, 45(1):76-80.

(下转第 43 页)

- organizing and self-healing wireless sensor networks[J]. High Voltage Engineering, 2010, 36(3): 616-620.
- [12] 郭经红, 张浩, 刘亚新, 等. 智能输电线路状态监测系统数据传输技术研究[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(1): 45-49.
- GUO Jinghong, ZHANG Hao, LIU Yaxin, et al. Study on the data transmission technology of line condition monitoring system of smart transmission grid[J]. Proceedings of the Chinese Society for Electrical Engineering, 2011, 31(1): 45-49.
- [13] 李丽芬, 朱永利, 于永华. 基于长链树状无线传感器网络实现输电线路在线监测数据传输[J]. 电网技术, 2011, 35(6): 199-203.
- LI Lifeng, ZHU Yongli, YU Yonghua. Transmission of power line on-line monitoring data based on long-chain tree-like wireless sensor network[J]. Power System Technology, 2011, 35(6): 199-203.
- [14] 王烨, 范红, 魏雷. 基于 EPON 和 WiMAX 的融合网络[J]. 光通信技术, 2010(12): 1-4.
- WANG Ye, FAN Hong, WEI Lei. The integrated network based on EPON and WiMAX[J]. Optical Communication Technology, 2010(12): 1-4.
- [15] HEN Gangxiang, TUCKER R S, CHAE C J. Fixed mobile convergence architectures for broadband access: Integration of EPON and WiMAX[J]. IEEE Communications Magazine, 2007(8): 44-50.
- [16] 徐光年, 马新祥, 潘克菲, 等. 基于 EPON 技术的配电网通信系统设计和应用[J]. 电力系统通信, 2008, 29(5): 59-62.
- XU Guangnian, MA Xinxiang, PAN Kefei, et al. Design and application of distribution network communication system based on EPON[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2008, 29(5): 59-62.
- [17] 王一蓉, 赵强, 尹少鹏. EPON 系统安全性分析与安全策略[J]. 电力系统通信, 2009, 30(6): 1-5.
- WANG Yirong, ZHAO Qiang, YIN Shaopeng. Security analysis and policy of EPON system[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2009, 30(6): 1-5.
- [18] 冯利伟, 马永红, 王一蓉. EPON 在配网自动化系统中的应用[J]. 电力系统通信, 2010, 31(4): 24-27.
- FENG Liwei, MA Yonghong, WANG Yirong. Application of EPON in distribution automation system[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2010, 31(4): 24-27.
- [19] 王玮, 张浩, 郭经红. 基于 EPON 的输电线路状态监测数据传输系统[J]. 电力系统通信, 2011, 32(7): 20-23.
- WANG Wei, ZHANG Hao, GUO Jinghong. Communication system for transmission line monitoring based on EPON[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2011, 32(7): 20-23.
- [20] ALAVI H S, MOJDEH M, YAZDANI N. A quality of service architecture for IEEE 802.16 standards [C]//IEEE Asia Pacific Conference on Communications 2005. [S.l.]: IEEE, 2005: 249-253.
- [21] 陈蕾. WiMAX 技术及其在电力系统通信的应用[J]. 电力系统通信, 2007, 28(7): 46-48.
- CHEN Lei. WiMAX and its applications in power communication system[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2007, 28(7): 46-48.
- [22] 李炳林. WiMAX 技术在电力应急通信中的应用[J]. 电力系统通信, 2009, 30(10): 53-55.
- LI Binglin. Application of WiMAX in electric power emergency communication[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2009, 30(10): 53-55.
- [23] 齐淑清, 王一蓉, 张辉. WiMAX 技术在建设智能化电网中应用探讨[J]. 中国电力, 2009, 42(12): 27-31.
- QI Shuqing, WANG Yirong, ZHANG Hui. Application of WiMAX in the smart grid construction[J]. Electric Power, 2009, 42(12): 27-31.

唐书霞(1986—), 女, 硕士研究生, 研究方向为智能电网输变电设备在线监测通信技术研究。

黄新波(1975—), 男, 博士(后), 教授, 硕导, 研究方向为智能电网输变电设备在线监测理论与关键技术的研究。

(上接第 35 页)

- SUN Xingli, LIU Shuguang. Design and implementation of a intelligent manipulation device for switchboard[J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(1): 76-80.
- [18] 方严, 张晓忠. 基于 MC9S08AW32 芯片的开关柜智能测控装置的设计及应用[J]. 电气传动自动化, 2010, 32(2): 45-48.
- FANG Yan, ZHANG Xiaozhong. Design and application of the intelligent monitoring control device for switchboard based on the chip of MC9S08AW32[J]. Electrical Drive Automation, 2010, 32(2): 45-48.
- [19] 王田苗. 嵌入式系统与实例开发—基于 ARM 微处理器与 uC/OS-II 实时操作系统[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [20] 任哲. 嵌入式实时操作系统 uC/OS-II 原理与应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
- [21] 赖晓晨. 嵌入式系统工程实例解析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.
- 孟艳清(1988—), 男, 硕士研究生, 从事电力系统运行与控制研究。