

温度监测系统中无线通讯部分的设计与实现

刘滨涛, 金煜, 殷小祥, 韩学军

(东北电力学院电力工程学院, 吉林 吉林 132012)

The Design and Realization of Wireless-communication Part in Temperature Monitoring System

LIU Bin-tao, JIN Yu, YIN Xiao-xiang, HAN Xue-jun

(Northeast China Institute of Electric Power Engineering, Jilin 132012, China)

摘要: 提出了一种新型基于无线通讯的高压断路器机构箱温度在线监测系统的设计。设计中选用了工作稳定可靠的无线通讯芯片和先进的温度传感器, 工作子站选用MSP430F149处理芯片, 便于现场的实时温度采集。上位机监控程序采用C++ Builder程序进行编写, 采用了功能强大的串口通讯控件TYbCommDevice。笔者描述了该系统的软硬件在无线通讯方面的设计, 并经过实际的运行检验, 证明系统运行正常, 各项指标达到了工业要求。

关键词: 在线监测; 无线通讯; 温度; 串口通信; MSP430

中图分类号: TM764

文献标识码: A

Abstract: A new design scheme of temperature online monitoring system in circuit breaker based on wireless-communication is presented in this paper. The advanced wireless-communication chip (nRF401) and temperature sensor (DS18B20) are selected in the design. MSP430F149 is a new microprocessor of TI, which has abundant resource, so that to collect temperature data online conveniently. The monitor program of computer is compiled by C++ Builder, and powerful serial communication toolkit, TybCommDevice, is used. The design of hardware and software on wireless-communication are described in details. By practical running, the equipment runs normally, and every targets meet industrial demand.

Key words: on-line monitoring; wireless-communication; temperature; serial communication; MSP430

0 引言

国内外的研究表明, 对高压断路器实施状态监测经济效益显著^[1]。高压断路器液压操动机构应在严格规定的环境温度下, 温度过高、过低都会导致其工作不正常。因此变电站运行人员必须随时掌

握高压断路器液压操动机构的工作环境温度的变化。特别是在东北地区, 冬季十分严寒, 为了保持机构箱的温度, 需要加盖防寒被, 这使得巡视人员的抄表工作变得十分艰苦。笔者研究开发了一套高压断路器液压操动机构箱温度在线监测系统, 采用了无线通讯技术, 相对于有线通讯, 安装和维护都非常方便, 为了适应变电站复杂的电磁环境, 在软硬件方面特意加强了抗干扰方面的设计, 采用了数据中继和抗干扰电路设计等方法。该系统有助于提高变电站的运行自动化水平, 降低人员的工作强度, 从而提高了高压断路器设备运行的管理水平和运行的可靠性。

1 系统总体方案设计

该系统由监控主机系统、现场工作子站和工作总站3部分组成。采用了分布式控制结构。工作子站与工作总站通过无线通信模块nRF-401进行无线通信, 总站与上位机通过RS-485接口以有线的方式进行通信。其系统结构见图1。

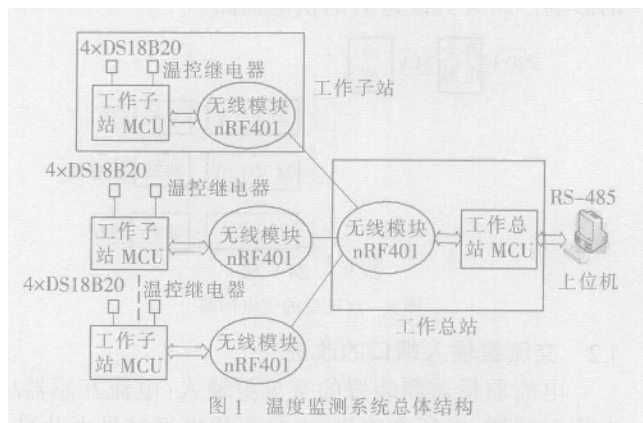


图1 温度监测系统总体结构

工作子站由温度传感器DS18B20, 单片机主控芯片MSP430F149, 无线通讯芯片nRF401和温控继

收稿日期: 2005-12-20; 修回日期: 2006-03-21

基金项目: 黑龙江省电力公司科技部2004年科技开发项目。

作者简介: 刘滨涛(1980-), 男, 硕士研究生, 研究领域为电力设备状态在线监测与故障诊断。

电器组成。每个断路器的液压机构箱都带有一个 2×500 W 的加热器, 每个断路器放置一台工作子站。现场工作子站就地采集温度数据, 并通过后停阈值自动控制加热器的投入和退出。监控主机系统实时显示各机构的温度数据并能用图表形式显示其历史走势, 还可远方手动通过温控继电器的开闭来控制加热器的投入和退出, 也可以远方设定加热器的启停阈值。

2 硬件部分

2.1 主要系统器件介绍

系统的 MCU 使用 MSP430 系列中的 F149 型, 它具有 2 kb Ram+60 kb Flash Rom, 两个 16 位定时器、速度极快的 8 通道 12 位 A/D 转换器、一个内部比较器和两个通用同步/异步发射接收器^[2]。

无线通讯使用的单片收发芯片 nRF401。这是一个为 433 MHz ISM 频段设计的真正单片 UHF 无线收发芯片, 它采用 FSK 调制解调技术。NRF401 的最高工作速度可以达到 20 kbps, 发射功率可调, 最大为 +10 dBm。天线接口设计为差分天线^[3], 便于使用低成本单鞭天线。

温度传感器选用 DS18B20, 它采用单总线 (1-wire) 技术^[4], 将地址线、数据线和控制线合为一根双向串行传输的信号线, 具有结构简单, 便于总线扩展和维护等诸多优点。温度传感器安装在液压机构箱里面, 靠近液压机构装置, 用来测量机构箱的环境温度。单片机通过 DS18B20 自身独有的 ID 序列号实现通信。DS18B20 的测温范围为 $-55 \sim +125$ °C, 转换精度可达到 12 位二进制数, 其精度为 0.062 5 °C, 此时转换时间约为 750 ms, 精度越高, 转换时间越长。该系统转换精度为 9 位, 温度精度为 0.5 °C, 转换时间为 93.75 ms。

MSP430 系列单片机都自带串行通信口, 直接与 nRF401 收发电路连接, 无需电平转换。单片机的 P4.7, P4.6 端口发出的控制信号, 可以通过 nRF401 的 2 个串行外围设备接口 CS、RF-PWR 和来设定射频模块的工作频段、输出功率。通过控制 TXEN、PWR_UP 来设定射频模块的工作状态。图 2 为工作子站的电路图。

上位机通过 RS-485 协议与工作总站通信, 工作总站的结构与子站一样, 只不过在单片机主-从通信模式中, 主站作为主机使用。工控机自带的是 RS-232 串口, 因此要使用 RS-485 协议, 需要进行 RS-232 与 RS-485 的电平转换接口, 也可以直接在工控机中加装一块 RS-485 的串口卡。图 5 选用加装 RS-485 串口卡的方法。由于 MSP430 串口输出是 TTL 电平, 而 RS-485 串口卡是 485 电平, 因此两者之间需要进行电平转换, MAX485 芯片可以完成该

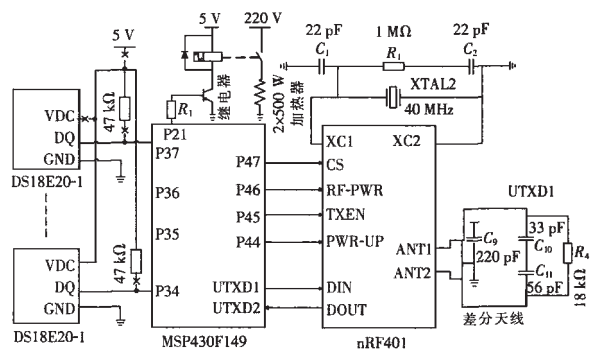


图2 工作子站电路图

功能。图 3 为工作总站的电路图。

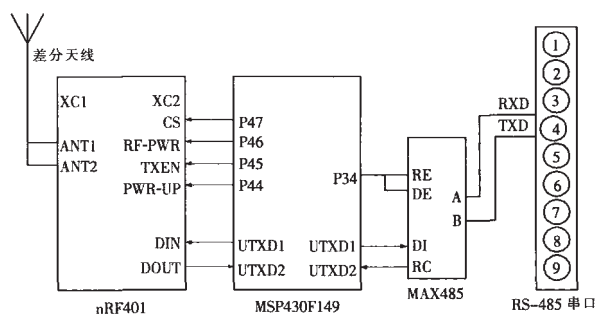


图3 工作总站电路图

2.2 硬件抗干扰设计

变电站中电磁干扰可以分为辐射电磁干扰(电网的操作干扰和雷电)、传导干扰(电网的操作干扰)及静电干扰(静电放电干扰)^[5], 频段大致集中在 0.1~50 MHz 之间, 而通讯采用的频段为 433 MHz, 避开了主要的电磁干扰。在现场实际环境下, 合适的天线选取大大增强了抗电磁干扰, 总站天线选用高增益的全向天线, 采用低损耗、高强度的优质玻璃钢材料封装, 辐射振子为单元直线阵, 功率容量大, 电压驻波比小, 性能稳定。而工作子站因为数量众多, 天线选用价格低廉的单鞭天线, 带有吸盘, 单独安装在机构箱顶部的合适位置, 不选用 PCB 版的环形天线。对于所有的各类天线, 电路板的外壳(外围包装)也可能影响天线调谐^[6], 环形天线安装在外壳里面, 在现场调谐天线十分麻烦。而单鞭天线可方便地安装在机构箱的各个位置调节角度, 获得最好的接收效果。nRF-401 的直流电源必须在离 VDD 脚尽可能近的地方用高性能的 RF 电容去耦, 如果一个小电容再并上一个较大的电容(2.2 F)效果会更好, nRF-401 的电源必须经过很好的滤波, 并且与数字电路供电分离。由于在工作子站中有继电器开断, 而开断产生的 du/dt , di/dt 就是干扰源。抑制干扰源就要尽可能减小干扰源的 du/dt , di/dt 。这是抗干扰设计中最优先考虑和最重要的原则。减小干扰源的 du/dt 主要是通过干扰源两端并联电容来实现。减小干扰源的 di/dt 则是在干扰源回路中串联电感或电阻以及增加续流二极管。按此原则, 采取了以下两项措施:

(1) 继电器线圈增加续流二极管, 消除断开线圈

时产生的反电动势干扰。仅加续流二极管会使继电器的断开时间滞后, 增加稳压二极管后继电器在单位时间内可动作更多的次数。

(2) 在继电器接点两端并接火花抑制电路(一般是 RC 串联电路), 减小电火花影响。

3 软件部分

上位机软件采用 C++ Builder6.0 编写, 采用了自带的 Paradox 数据库, 通过数据库引擎 BDE 连接。上位机软件图形界面采用了仿 XP 界面, 美观大方, 使用方便, 主要由串口数据通讯程序和数据库数据处理程序两大部分组成。对于一个监测软件来说, 数据通讯的稳定高效是软件好坏的关键, 特别是在变电站这样一个电磁环境复杂, 干扰严重的场所下运用无线通讯技术, 数据通讯能否通畅、准确至为重要。为了克服数据帧断帧、掉帧的情况, 通过现场实地的比较, 选用了功能强大的串口通讯控件 TybCommDevice。

数据通讯协议组成见图 4。帧头是 16 进制 0x2F, 帧尾是 16 进制 0x40。地址域包括类地址(区分设备), 站地址(区分工作子站), 路由表(用于数据中继)。控制码的作用是标示该数据帧的用途。

帧头	地址域	数据域	数据长度	控制码	CRC 校验码	帧尾
----	-----	-----	------	-----	---------	----

图 4 数据通讯协议组成

因为 nRF401 灵敏度高, 在没有进行数据传输时, 它的数据输出脚会有杂波输出, 这些杂波会被 MCU 的串口接收并处理。为了区分干扰杂波与有效数据, 需要数据帧加上帧头。因为干扰杂波基本是随机的, 如果只使用帧头, 则可能无法区分干扰和有效数据。因此本系统协议通过帧尾来协同判断, 如果只有帧头没有帧尾, 则抛弃数据, 不做处理, 如果有帧头帧尾, 则认为是一个完整的数据帧, 对里面的数据进行 CRC-8 校验, 如果正确就进行后续处理, 如果错误则抛弃数据。杂波产生首尾 0x2F 和 0x40 的概率很小, 则可以确保有效数据的确认。

3.1 数据通讯模块

TybCommDevice 是一个功能强大、使用简单的串行通信控件, 它的数据帧识别功能可使收到的数据是完整的每帧数据。它的一些常用属性有:

Baud, Parity, ByteSize, StopBits: 分别为波特率; 奇偶校验; 数据位数, 一般为 8; 停止位;

Read: 读串口(接收数据);

Write: 写串口(发送数据);

UsePackage: 使用数据帧协议。如果启动数据帧协议, 可以用 ReadPackage 和 WritePackage 方法发送和接收数据帧。

ReadPackage: 读数据帧(接收数据帧)

WritePackage: 写数据帧(发送数据帧)

当属性 UsePackage=true 时, 就启动了数据帧支持, 这种方法发送的数据中, 如果有作为头尾标识的字节, 要转换为: 控制符+字节, 以区分头尾标识。这种方法的优点: ①数据可以连续发送, 不用间断; ②接收到误码不串位, 遇到帧头和帧尾会很容易同步。后用数据帧协议发送数据时, 帧头帧尾是自动添加的, 当接收方接受到数据时, 会相应地去掉帧头帧尾, 读取发送来的有效信息, 以上编码和解码由控件内部自动完成。因此在操作上跟一般的发送接收是完全一样的。

为了提高数据传送的可靠性, 采用了 CRC-8 对数据进行校验, 添加在数据域的后面。

下面是上位机发送给子站 1, 要求子站 1 传送温度数据的命令字的程序。首先在串口控件的属性栏中设定好各个参数值, 设定 COM1 串口为工作串口, 波特率为 19 200, 奇偶校验为无, 采用 8 位数据位, 1 个停止位。

```
unsigned char Buffer[BufSize];
```

```
YbCommDevice1->UsePackage=true; //启动数据帧协议
```

```
fasong="31 30 31 3b 31 39 30 30 30";
```

```
fasong=fasong+rotatecrc(fasong); //添加 CRC-8 校验码
```

```
transform(fasong);
```

```
YbCommDevice1->WritePackage(Buffer, BufSize); //发送数据帧
```

这里 fasong 是一串 16 进制的文本数据, 转换为 ASCII 码为“101;19000”;其中 1 为设备号, 01 表示是子站 1, “;”为分隔符, 19 为控制码, 表示是主站发送给子站要求子站传送温度, 000 表示温度的数据长度。Rotatecrc 函数是对 fasong 字符串进行 CRC-8 校验。Transform 函数把 16 进制的文本数据转换成二进制字节数据存储到 Buffer 数组中, 然后发送给单片机。温度数据监测界面见图 5。

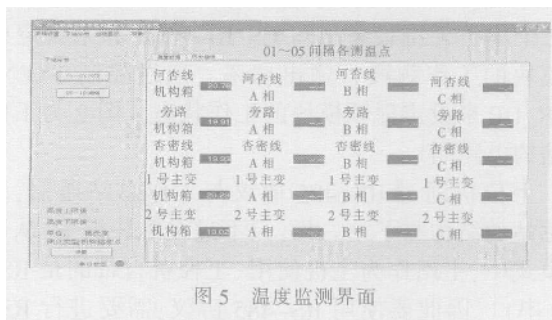


图 5 温度监测界面

主站对子站读取温度数据采用定时查询方式, 主站每隔一个周期轮流向子站 1, 子站 2, ..., 子站 n 发送读取命令字。在无线通讯环境下, 由于受到电磁干扰, 受子站发射功率的影响 (nRF401 最大发射功率只有 +10 dBm), 子站向主站发送的数据, 主站时

常有接收不到的情况发生。为了解决这个问题,采取了以下两项措施:

(1) 增大波特率, 缩短发送周期是一个有效的方法。波特率从 2 400 提高到 19 200, 发送周期从 1.2 s 减小到 0.5 s, 通过增加查询次数, 提高通讯成功率。

(2) 采用数据中继的方式。由于某些子站离总站距离比较远, 直接返回的信号比较微弱, 因此采用中继接力的方式非常有效。首先选取距离总站较近, 没有什么通信障碍, 通信状态良好的子站作为中继站, 向其他子站进行信号转发。如图 6 所示, 子站 1 与子站 7 距总站较远, 且障碍较多, 通信状况不是很好, 采用子站 4 作为中继子站, 向子站 1 和 7 进行转发, 通信距离虽然从 117 m 增加到 100+60=160 m, 但是绕过了障碍, 而且信号在每段都得到了增强, 保证了通信的通畅。在实际应用中, 用一个子站作为固定的中继子站是不可靠的, 所以软件在设计中不断统计总站与各个子站的通信成功率, 动态地设置中继子站, 总是把在单位时间里通信成功率最高的子站设置为中继子站。

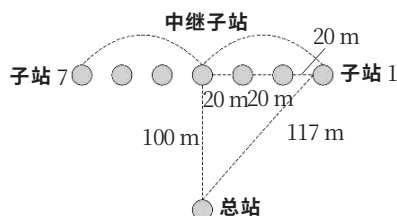


图 6 子站中继示意图

软件不仅能遥测温度数据, 而且可以对机构箱内的加热器通过通讯命令字进行投切动作, 实现远程遥控功能。在加热器与电源之间加装一中间继电器, 通过对继电器的开闭实现对加热器的投入、退出控制。一般状态下, 工作子站运行在自动状态下, 单片机根据设定的温度值对加热器进行投切控制, 上位机的手动远方操作为自动运行的备选, 大大提高了系统的灵活性和稳定性。

3.2 数据库数据处理模块

该窗口显示历史曲线, 用来查阅历史数据, 分析事故原因等。也可实时显示各子站的温度数据。可以任意放大数据显示界面, 得到各个时刻的温度数据。存储温度数据的数据库有两个, 一个是存储当前实

时数据的数据库 data, 它包含了当前的数据以及 7 天前的历史数据; 一个是存储历史数据的备份库 backup, 它包含了从运行起所有的温度数据。利用 SQL 语言实现数据的插入, 查询, 修改等。软件关闭前, 程序自动备份当前数据到备份库 backup 中, 并检测当前库 data 中的数据是不是超过了 7 天的容量, 如果超过了, 对超期的数据进行删除, 并对 data 数据库进行物理压缩, 保持 data 数据库在一个比较合适的大小。图 7 是现场 2 号主变压器机构箱 5 月 24 日的实际温度曲线。

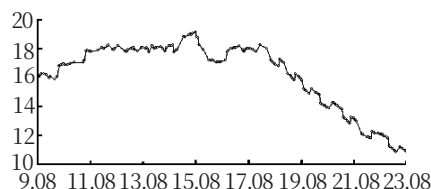


图 7 2 号主变压器机构箱温度历史曲线

4 结语

介绍了一种新型温度监测系统的软硬件无线通讯部分的设计与实现方案, 采取了多种抗干扰方式。该系统不仅局限于温度监测, 结合不同的传感器, 还可对高压断路器进行不同的状态监测, 稍作改动, 也可运用在其他需要做温度监测的电气设备上, 如变压器油温等。经过在现场实地的运行, 达到了预期的效果, 总站与工作子站的通讯稳定可靠, 采集的温度数据也非常准确, 误差不超过 0.5℃。现已在鸡西市某变电所投入运行。

参考文献:

- [1] 胡文平. 高压断路器在线状态监测系统应用 [J]. 诊断技术 2004(3): 30-31.
- [2] 胡大可. MSP430 系列 FLASH 型超低功耗 16 位单片机 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.
- [3] 蒋正义, 朱善安, 韩 东. 基于 MSP430 和 nRF401 的无线自动抄表系统 [J]. 电子技术应用, 2004(11): 74-77.
- [4] 杨金岩, 郑应强, 张振仁. 8051 单片机数据传输接口扩展技术与应用实例 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005.
- [5] 冷力宇. 500 kV 变电站电磁兼容问题浅谈 [J]. 江西电力, 2005(3): 4-6.
- [6] 付 彬. 利用 nRF-401 实现微机间无线通信 [J]. 世界电子元器件, 2004(11): 50-53.
- [7] 陈 迁, 徐国政, 关永刚, 等. 高压开关设备就地监测装置的电磁兼容设计和试验 [J]. 高压电器, 2003, 39(3): 21-23.
- [8] 王幸之, 王 雷, 瞿 成, 等. 单片机应用系统抗干扰技术 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2000.
- [9] 李 伟, 朱汉粉, 蓝润泽. 微机保护装置中浪涌干扰的防护 [J]. 电测与仪表, 2002, 39(8): 43-47.
- [10] 梁志成, 傅静波, 李富同, 等. 微机保护装置的电快速瞬变脉冲群抗扰度研究 [J]. 电力系统自动化, 2003, 27(11): 65-67.
- [11] IEC 60255-26. Measuring Relays and Protection Equipment-part26: Electromagnetic Compatibility Requirements for Measuring Relays and Protection Equipment [S].
- [12] 刘晶红. 电磁兼容测试方法及应用设计 [J]. 长春理工大学学报, 2004, 27(2): 118-120.
- [13] 马宝莆. 微机应用系统可靠性设计理论与实践 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1999.
- [14] 白同云, 吕晓德. 电磁兼容设计 [M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2001.

(上接第 357 页)