

基于 Modbus 协议的电力开关成套设备远程监控系统

施盛华, 项新建, 郑永平

(浙江科技学院 自动化与电气工程学院, 杭州 310023)

摘要: 为了保障电力开关成套设备稳定安全地运行,设计了一种基于 Modbus 协议的电力开关设备远程监控系统。首先介绍系统的总体架构;其次分别阐述电力开关成套设备数字终端、GPRS 通信控制器及远程用户监控终端等软硬件设计,通过 Modbus 总线实时采集开关成套设备中多个线路的数据,同时在软硬件层面上采取抗干扰措施,实现对电力开关成套设备长期、稳定的监控;最后对系统进行测试。实际运行情况表明:该系统测量精度高、数据传输稳定、操作维护方便,适用于各类电力开关成套设备远程监控与管理。

关键词: 电力开关成套设备;Modbus 总线;GPRS;远程监控系统

中图分类号: TM764.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-8798(2019)01-0023-07

Remote monitoring system of whole set power switch equipment based on Modbus protocol

SHI Shenghua, XIANG Xinjian, ZHENG Yongping

(School of Automation and Electrical Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

Abstract: In order to ensure the stable and safe operation of whole set power switch equipment, a remote monitoring system of power switch equipment was designed on the basis of Modbus protocol. Firstly, the system architecture was introduced. Secondly, the software and hardware designs of digital terminal, GPRS communication controller and remote user monitoring terminal of whole set power switch equipment were described respectively. The real-time data of multiple lines in whole set switch equipment were collected by Modbus bus, and the anti-interference measures were adopted in the software and hardware levels to guarantee durable and stable monitoring of the system. Finally, the system was tested. The actual operation shows that the system boasts high measurement accuracy, stable data transmission, easy operation and maintenance, suitable for remote monitoring and management of all kinds of whole set power switch equipment.

收稿日期: 2018-06-14

通信作者: 项新建(1964—),男,教授,浙江省永康人,主要从事人工智能、机器人、物联网理论与技术研究。E-mail: 188002@zust.edu.cn。

Keywords: whole set power switch equipment; Modbus bus; GPRS; remote monitoring system

随着中国经济的快速发展,电力设备广泛地应用于石油、化工、发电厂及高层建筑等诸多领域^[1-2]。电力开关成套设备在电力设备中作为配电、输电和电能转换的关键设备,其稳定安全地运行是用电安全的重要保障^[3-6]。因此,构建一个可靠的监控系统对电力开关成套设备运行状态和工作环境实现监控已经成为一个迫切的需求。

目前电力设备监控方式主要有本地存储、有线传输、无线传输。其中本地存储需要人员定期前往现场对数据进行转换和存储,效率低,消息滞后。有线传输发展较为成熟,但是局限性也很明显,存在现场布线困难,施工周期长,安全性低等缺点。无线传输则分为无线射频传输和 GPRS 网络传输两种,其中无线射频技术虽具备功耗低、抗干扰能力强等优点,但其数据传输距离不足 1 000 m,无法满足要求;而 GPRS 网络是一种稳定性高、覆盖范围广的无线通信方式,因而在远程监控系统中受到广泛应用^[7-9]。秦业等^[10]设计了一种电力设备运行环境温度的远程监控系统,该系统利用 GPRS 将温度采集终端与 Internet 广域网进行数据交互,实现了用户远程对电力设备运行环境的长期、可靠的监控。路小俊等^[11]设计了一种基于 GPRS 通信技术的新型配变远程监控系统,该系统在 GPRS 技术的基础上结合 VPN 技术,使得数据传输拥有更高的优先级,远程监控响应更为迅速,传输更加安全可靠。由于电力开关成套设备中存在多个线路,需要对各线路的电力参数进行监测,导致采集节点的分散性,而 Modbus 总线技术很好地解决了采集设备的分散化^[12-14]。在电力监测设备中,不可避免地因为环境因素的干扰或现场的偶然性导致传感器采集结果偏差而引发误报警,从而造成经济损失,因此系统抗干扰措施不可或缺。

基于上述研究,笔者提出一种基于 Modbus 协议的电力开关成套设备远程监控系统。该系统采用 Modbus 协议一主多从的方式实时采集设备中多个线路的数据,然后通过 GPRS 网络技术与远程用户监控终端进行数据交互;在系统的抗干扰措施上,采取在硬件层面上通过隔离,在软件层面上利用一阶后滞滤波算法的方式,实现电力开关成套设备长期、稳定的实时监控与管理。

1 系统的总体架构

基于 Modbus 总线的电力开关成套设备远程监控系统由 3 部分组成,分别是电力开关设备数字终端、GPRS 通信控制器、远程用户监控终端。各部分设计相对独立,具有良好的可扩展性、可操作性和应用性。系统总体构架如图 1 所示。为了显示方便,架构图中将开关设备内的电力开关设备数据终端置于外部,实际位于开关成套设备内。电力开关设备数字终端通过多个采集子模块的传感器获取开关设备内多线路的电力参数,将获取的参数信息进行分析处理,然后通过 Modbus 总线集中传输给主控模块进行数据统一管理。主控模块通过串行技术将这些参数传送给 GPRS 通信控制器,由其负责完成数据的远程传输。远程用户监控终端在 PC 上运行,其通过 Socket 技术与 GPRS 通信控制器建立稳定的连接,从而实现在远程实时监控电力开关成套设备的运行状态。

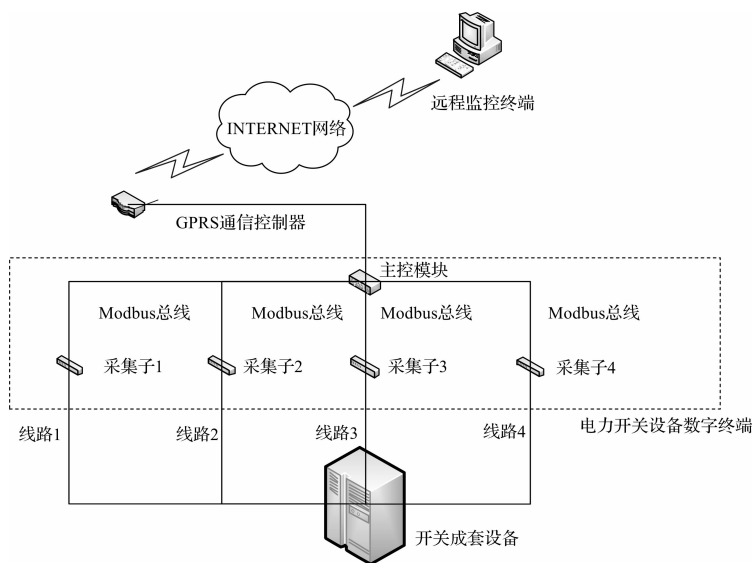


图 1 系统架构

Fig. 1 System architecture

2 系统设计

2.1 监控系统硬件设计

2.1.1 电力开关设备数字终端

电力开关设备数字终端不但需要实时获取开关设备各个电力参数信息,而且需要采集多条线路的参数,所以不仅设计了多个可以获取信息的采集子模块,还添加了可以与多个采集子模块通信、与 GPRS 控制器数据交互的主控模块。

采集子模块采用高精度的三相电能芯片 AT7022B,它可将采集电路中三相电压、电流进行模数转换并采样,通过对数据的处理得到各相的有功功率、无功功率、视在功率,同时还能测量各相电流与电压的有效值、功率因数、相位角、频率等参数。考虑到处理的参数较多,采集子模块搭载了 STC15F2K60S2 微处理器,与 AT7022 通过 SPI 总线建立通信从而进行数据交互。在电压、电流采样电路中,采用互感器接入方式,将芯片与电网进行隔离,从而获得良好的抗干扰能力。为了实现与主控模块通信,外部还扩展了 Modbus(RS485)总线通信,同时添加 MAX485 芯片将 RS485 总线输出的差分数据电平转换成 TTL 电平使得能与微处理器进行数据交互。采集子模块硬件原理如图 2 所示。

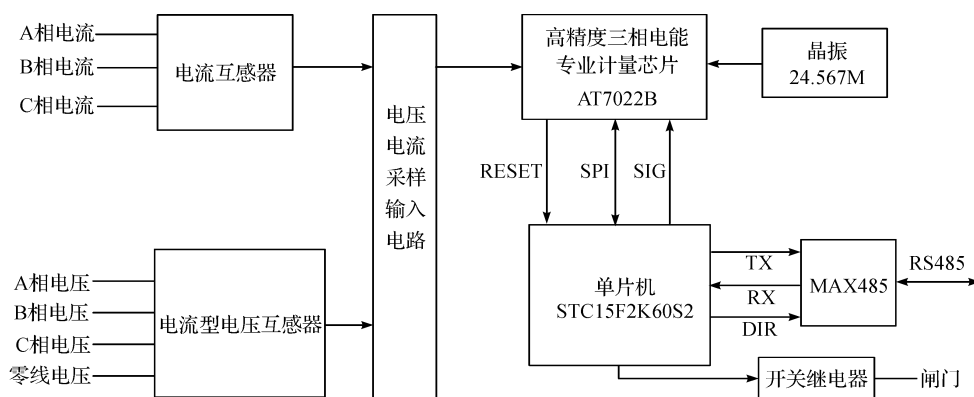


图 2 采集子模块硬件原理

Fig. 2 Hardware principle of the collector module

主控模块搭载 STC15F2K60S2 微处理器,该单片机是宏晶科技有限公司(STC)生产的单时钟/机器周期为 1T 的单片机,指令代码完全兼容传统 8051,但速度快 7~12 倍,同时内部集成高精度 R/C 时钟,范围在 5~35 MHz,支持两个完全独立高速异步串行通信端口,能够高速稳定地对数据进行收发和处理^[15]。为了能与多个采集子模块通信,外部扩展了 485 集线器,能够将外部多条采集子模块 RS485 线转换为一个 RS485 主线,从而与主控模块连接通信,以此为硬件基础实现一主多从的 Modbus 通信传输。主控模块不仅需要收发来自采集子模块的数据,还需要与 GPRS 通信控制器通信。基于 GPRS 的全双工数据传输,采用 RS232 接口的方式进行连接,在主控模块上添加 MAX232 芯片完成传输电平的转换。温度传感器 DS18B20 实时对温度进行检测。主控模块硬件原理如图 3 所示。

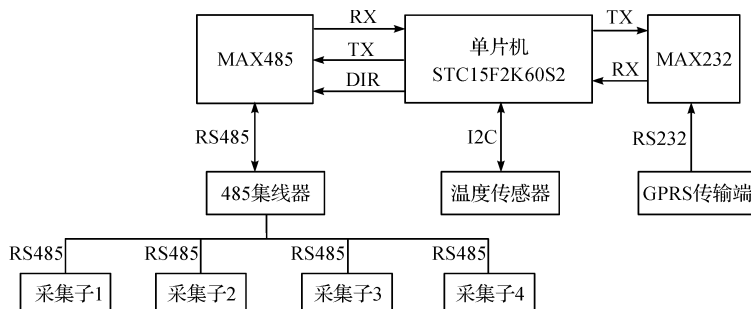


图 3 主控模块硬件原理

Fig. 3 Main control module hardware principle

2.1.2 GPRS 通信控制器

GPRS 通信控制器的设计采用厦门灵旗通信有限公司的 LQ1000 GPRS DTU 模块,该模块采用先进的 GPRS 无线通信技术^[16]、嵌入式单片机技术和 TCP/IP 网络通信技术,无需用户再对其进行硬件开发,可直接进行无线数据透传。该模块的使用只需要利用灵旗通信开发的上位机软件,通过串口的方式设置 IP、心跳包等相关参数,然后放置好 SIM 卡即可使用。具体的工作过程为,该远程模块与电力开关设备数字终端中的主控模块通过 RS232 连接完成数据的接收工作,然后利用 GPRS 网络向远程用户端发送数据。

2.2 监控系统软件设计

2.2.1 Modbus 通信协议

Modbus 协议采用 Master-Slave 技术,允许一个主机和一个或多个从机通信来完成编程、数据传送、程序上传/下载和主机操作^[17]。每个从设备须要有不同的地址编号 1~247,通过地址识别来决定要产生何种行动。从机与主机采用命令/应答方式,每一种命令信息对应一种应答信息。主机发出命令信息,从机按照命令信息与自身地址判断,若地址匹配才发送应答信息进行响应。Modbus 通信协议支持 2 种传输模式:RTU 模式和 ASCII 模式。由于 ASCII 模式的数据字节是 7 bit 数据位,单片机无法实现,而且通信速率较慢,所以本系统采用 RTU 模式。

采用 Modbus RTU 模式需要按照一定的协议格式。Modbus RTU 数据帧分为地址码、功能码、数据部分、CRC 校验码 4 个部分,地址码长度为 1 B,功能码长度为 1 B,数据部分长度不定,CRC 校验码长度为 2 B,两个数据帧之间至少有传输 3.5 B 数据的间隔时间^[18]。其中功能码种类理论上可达 256 个,本系统主要使用功能码 03H 和 06H 来实现对采集子模块的数据读出和写入。

2.2.2 数字终端程序设计

程序设计中采集子模块与主控模块的通信是建立在 Modbus 协议之上的。将采集子 1 模块地址设为 01,由于需要读取电压、电流、相位角、功率因数、有功功率、无功功率、视在功率这 7 个参数,同时为了保证精度,将 AT7022 获取的参数分为整数和小数两部分。以 300.38 电压为例,将 300 转化为 16 进制即 12C,小数部分 38 转化为 16 进制的 26,将 12C 存入 0000 寄存器,26 存入 0001 寄存器,于是一个参数需要 2 个寄存器。因为是三相的参数,每相都有 7 个参数,总共需要 $2 \times 7 \times 3 = 42$ 个寄存器来存储参数。读取参数时主从机数据帧格式见表 1。

表 1 读取参数时主从机数据帧格式

Table 1 Data frame format of master and slave computer while reading parameters

设备	地址	功能码	数据	CRC 校验码
主机	01	03	00 00 00 2A	65 CB
从机	01	03	84 01 2C 00 26 ...	FA 33

其中 01 为设备地址,03 为读寄存器功能码,其后的 00 00 为读寄存器的起始地址,00 2A 为读取 42 个寄存器的数值,65 CB 为 CRC 校验码由相关算法计算出。从机的 84 表示发送 84 字节数据(1 个寄存器包含 2 个字节数据),01 2C 00 26 表示读取到的 A 相电压值 300.38,之后数据依次为 A 相电流、相位角、功率因数、有功功率、无功功率、视在功率。B 相与 C 相也同 A 相参数顺序一样依次向后排列。表中其余 20 个参数以省略号代替。

为了保证数据的可靠性,当写入参数时从机会回复主机相同的数据帧,数据帧格式见表 2。根据 Modbus 协议,当写寄存器的时候,从机成功完成该指令的操作后,会把主机发送的指令直接返回。其中 06 为写寄存器功能码,其后数据部分的 00 00 为写寄存器的地址,00 01 为写入寄存器的数值。在本设计中 00 01 为合闸指令,数值 00 00 为关闸指令。

表 2 写入参数时主从机数据帧格式

Table 2 Data frame format of master and slave computer while writing parameters

设备	地址	功能码	数据	CRC 校验码
主机	01	06	00 00 00 01	48 0A
从机	01	06	00 00 00 01	48 0A

根据 Modbus 协议制定通信规则后,描述采集子模块程序流程,流程如图 4 所示。采集子模块上电后,首先进行定时器、串口等相关参数初始化,其中串口波特率设置为 9 600 bit/s,初始化后对 AT7022 进行校表。然后不断更新来自 AT7022 的电力参数并对数据进行存储。当接收到数据时,进入串口中断,对收到的数据进行存储。当收到一帧数据时,对该帧数据进行判断。若符合本机地址,则根据上述规则返回指令并执行相应关合闸操作。

主控模块上电后,首先进行参数初始化,主控模块程序流程如图 5 所示。其中串口 1 与 RS485/Modbus 总线相连,串口 2 通过 RS232 与 GPRS 端相连,波特率均为 9 600 bit/s。然后等待消息到来,当收到消息时判断是来自串口 1 还是串口 2,若是串口 1 的消息则对数据进行处理后发送给 GPRS 传输端,若是来自串口 2 的消息,则将消息进行处理转换成 Modbus 指令发送给采集子模块。

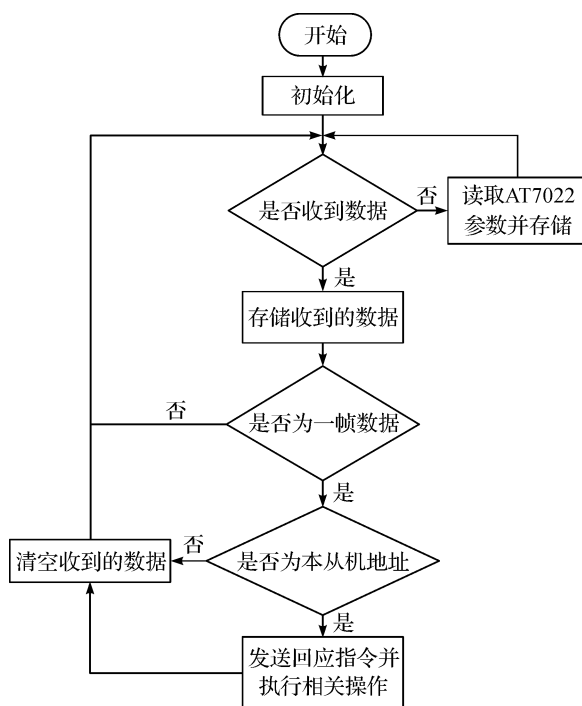


图 4 采集子模块程序流程

Fig. 4 Process of collecting sub module

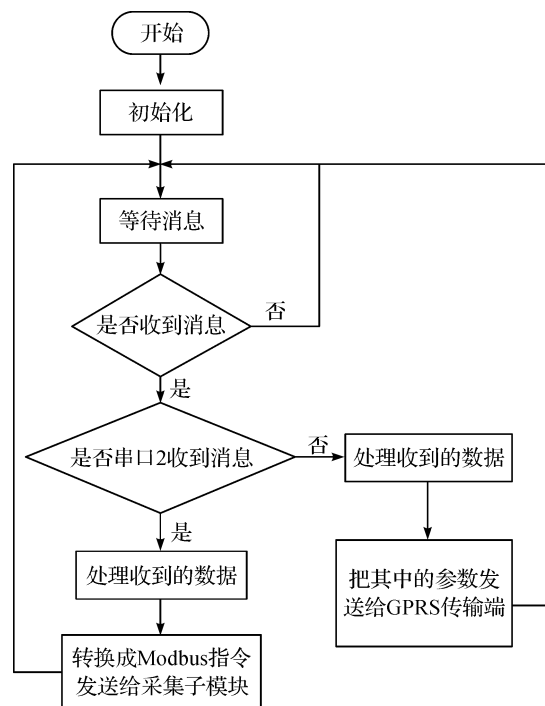


图 5 主控模块程序流程

Fig. 5 Process of main control module

2.2.3 抗干扰措施

由于外界环境干扰和供电电源不稳定等容易导致传感器采集的数据波动,引起误差,本系统所采用的采集模块通过互感器接入的方式使得芯片与电网进行隔离,在硬件层面上具备抗干扰的能力,同时在软件层面上引入一阶后滞滤波算法:

$$Y_n = \alpha X_n + (1 - \alpha)Y_{n-1}. \quad (1)$$

式(1)中: α 为滤波系数, X_n 为本次采样值, Y_{n-1} 为上次滤波输出值, Y_n 为本次滤波输出值。

主控模块将采集模块传来的数据通过一阶后滞滤波算法处理后,数据更加平滑,减少由数据波动引起的误差。经过大量试验,当 $\alpha=0.4$ 时,采集结果与电表测量值更为接近,因此本系统采用 $\alpha=0.4$ 作为滤波系数值。

2.2.4 远程用户监控终端软件设计

远程用户监控终端采用 Microsoft 推出的 Visual Studio 2012 上的 MFC 平台下开发的基于 TCP/IP 协议栈的网络编程,采用 C/S 模式,同时结合 Access 2008 数据库实现对数据的管理存储。主界面包含各线路电力参数显示、闸门状态及控制、数据库管理、报警阈值设定、电力开关设备温度信息等。其中电力参数信息通过手动操作实时获取,数据库可以查询历史的各个电力参数,同时为了保障数据安全,添加用户密码设置,用户可简单快捷修改数据库密码。由于网络链路的不稳定性,常常出现在通信过程中连

接断开的情况,为了改善这种情况,采用心跳包的机制。若每隔 60 s 能收到心跳包,界面中的网络状态则变绿,指示当前连接正常,此时用户方可对电力开关设备实现远程监控;否则网络状态变红,指示连接异常。

3 系统性能测试与运行测试

3.1 电力参数性能测试

利用北京北研兴电力仪表有限责任公司生产的 BY2083C 三相精密电源与福禄克电表对监控系统的电气参数性能进行测试,结果见表 3~4。

表 3 主进线电路与配电电路电力参数性能测试

Table 3 Power line parameter performance test of main incoming circuit and distribution circuit

电力参数	主进线电路			配电电路		
	真实值	测量值	测量误差/%	真实值	测量值	测量误差/%
A 相电压	220.00 V	220.68 V	0.31	220.00 V	218.92 V	0.49
B 相电压	220.00 V	221.27 V	0.58	220.00 V	219.78 V	0.10
C 相电压	220.00 V	220.75 V	0.34	220.00 V	219.35 V	0.29
A 相电流	1.00 A	1.01 A	1.00	1.00 A	1.01 A	1.00
B 相电流	1.00 A	0.99 A	1.00	1.00 A	1.00 A	0.00
C 相电流	1.00 A	0.99 A	1.00	1.00 A	0.99 A	1.00
A 相相位角	30.00°	30.15°	0.50	30.00°	29.80°	0.40
B 相相位角	45.00°	44.85°	0.33	45.00°	45.13°	0.29
C 相相位角	60.00°	60.22°	0.36	60.00°	59.89°	0.18

表 4 动力照明电路与补偿电路电力参数性能测试

Table 4 Power lighting circuit and compensation circuit power parameter performance test

电力参数	动力照明电路			补偿电路		
	真实值	测量值	测量误差/%	真实值	测量值	测量误差/%
A 相电压	220.00 V	219.63 V	0.17	220.00 V	219.56 V	0.20
B 相电压	220.00 V	218.67 V	0.61	220.00 V	219.82 V	0.08
C 相电压	220.00 V	219.32 V	0.31	220.00 V	218.95 V	0.47
A 相电流	1.00 A	1.00 A	0.00	1.00 A	0.99 A	1.00
B 相电流	1.00 A	1.00 A	0.00	1.00 A	1.00 A	0.00
C 相电流	1.00 A	0.99 A	1.00	1.00 A	1.00 A	0.00
A 相相位角	30.00°	30.28°	0.93	30.00°	29.81°	0.63
B 相相位角	45.00°	45.17°	0.38	45.00°	44.66°	0.76
C 相相位角	60.00°	59.98°	0.03	60.00°	60.47°	0.78

由测试结果可以看出,监控系统对电力参数的测量精度较高,其中电压测量误差均小于 1%,电流测量误差小于 2%,相位角的误差也小于 1%。此外,无功、有功、视在功率等参数也较为准确,能够满足实际需求。

3.2 运行测试

为测试本系统的实际效果,在室内搭建系统平台并连续运行 200 h,每隔 12 h 对系统进行远程监控,有效应答率为 100%,这表明系统能够长时间稳定运行。实际运行时远程监控终端界面如图 6 所示。

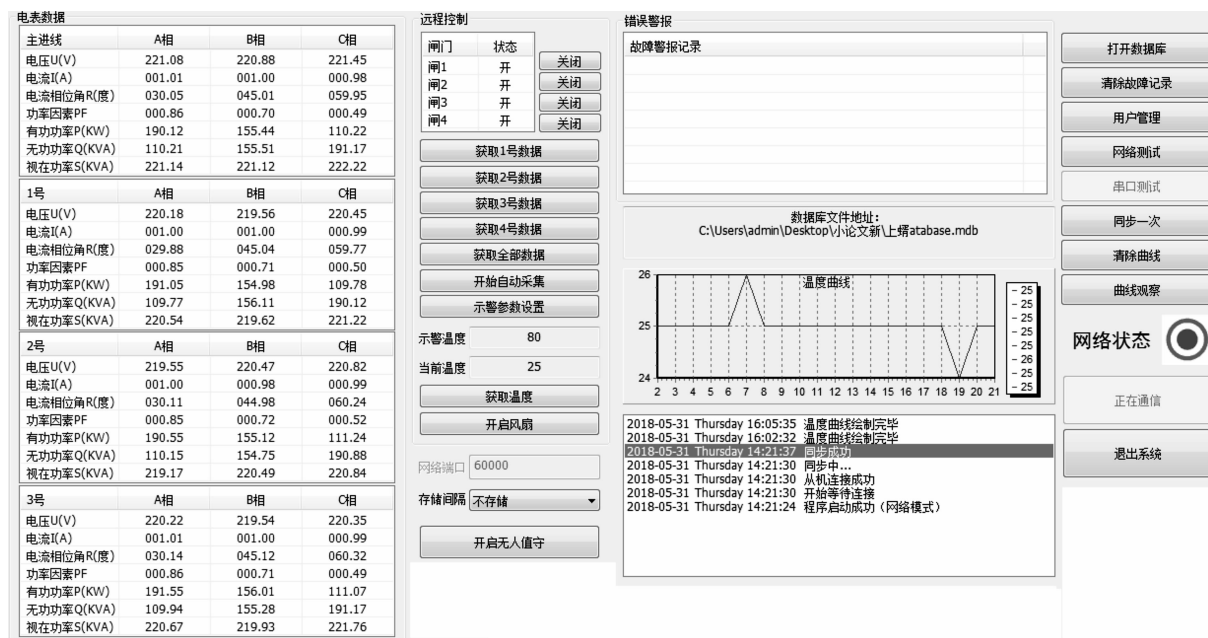


图 6 远程监控终端界面

Fig. 6 Remote monitoring terminal interface

4 结 语

本研究针对现有电力开关成套设备远程监控系统中存在的问题,结合监控系统的应用需求提出一种基于 Modbus 总线的多线路电力开关设备远程监控系统设计方案。该系统搭载 AT7022 计量芯片保证了其高精度;通过 Modbus 总线作为采集模块与控制模块的通信方式解决了传统开关设备中多线路采集延时、数据丢包等问题;同时利用 GPRS 无线传输克服了电力系统现场布线困难、安全性低等缺点;远程用户监控终端界面友好、操作简单。在对该系统进行性能测试与运行测试后,结果表明系统测量精度高、数据传输稳定、操作维护方便,适用于各类多线路电力开关成套设备的远程监控与管理。

参考文献:

- [1] 艾精文,吕启深,黄荣辉,等. 电力设备运维生产计划排程调度模型的构建[J]. 自动化与仪器仪表,2018(2):37.
- [2] 刁浩然,杨明,韩学山,等. 电力设备停运概率的非精确条件估计[J]. 中国电机工程学报,2016,36(19):5134.
- [3] YAO M. The application of temporary earth voltage (TEV) measurement in the online monitoring of the partial discharge of HV switch cabinet[C]//China International Conference on Electricity Distribution, Nanjing:IEEE,2011:1.
- [4] 周永耀,梁汉泉,曾永浩. 浅析电力开关柜的智能控制器设计与应用[J]. 工程建设与设计,2013(1):113.
- [5] 廖浩利. 电力开关类设备健康状态诊断系统的设计与实现[D]. 成都:电子科技大学,2016.
- [6] 张慧娟,赵庆生,王英,等. 基于盲数的电力开关设备全寿命周期成本估算[J]. 高压电器,2013,49(11):12.
- [7] 宿筱. 电力开关设备温度在线监测系统[J]. 仪表技术,2013(10):21.
- [8] 郑兴. 电力开关设备监测系统软件平台研制[D]. 北京:北方工业大学,2009.
- [9] 张浩. 基于物联网技术的电力开关成套设备远程监控系统[D]. 杭州:浙江工业大学,2015.
- [10] 秦业,袁海文,袁海斌,等. 电力设备运行环境温度远程监控系统的实现[J]. 电器与能效管理技术,2011(12):19.
- [11] 路小俊,吴在军,郑建勇,等. 基于 GPRS 通讯技术的新型配变远程监控系统[J]. 电力系统及其自动化学报,2005,17(3):82.
- [12] 卢文俊,冷杉,杨建军. 基于 Modbus 协议的控制器远程监控系统[J]. 电力自动化设备,2003,23(6):54.
- [13] 刘沛津,谷立臣,韩行,等. 基于 Modbus/TCP 的火电厂实时数据集成及网络通信控制器研制[J]. 电力自动化设备,2009,29(8):128.

(下转第 35 页)