

中低压配电柜数字化技术

支艳华,王金全,唐友怀,刘 渊

(解放军理工大学 工程兵工程学院,江苏 南京 210007)

摘要:设计了一种以 STM32F103 高性能微处理器为核心,采用 RealView MDK 进行软件开发的数字化开关柜。充分利用其丰富的片上外设接口,通过外围扩展电路可实现配电回路电压、电流、母线接头温度、柜内环境温度/湿度及开关状态等参数的检测,并可计算有功功率、无功功率、视在功率、功率因数、频率、谐波等,通过 CAN 总线将参数传输至上位机,对配电柜进行实时监测和远程控制。试验结果显示该系统运行稳定可靠。

关键词: 配电柜; 数字化; 微处理器芯片; CAN 总线; 设计

中图分类号: TM 52

文献标识码: B

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.03.027

0 引言

建设智能电网是我国电力行业可持续发展的方向,是以电力系统为对象,结合新型的控制技术、信息技术和管理技术,实现从发电、输电、变电、配电到用电所有环节信息、能量的双向交流以及配电网与用户之间的互动。智能配电网的建设包括智能表计、智能网络、智能运行 3 个部分^[1-3]。只有实现电网的信息化才可能实现电网的智能化,而智能表计作为智能配电网的基础,用以测量、收集、存储、分析及双向传输网络中的数据,具有重要作用^[4-6]。

目前,电网公司已建成的光纤网络覆盖了大部分 35 kV 变电站^[7],但从变电站到用户小区仍缺乏有效通信手段,低压配电网的智能化建设属于薄弱环节,因而迫切需要开发高可靠性、低成本的数字化低压配电设备,推动智能电网的发展^[8-9]。配电柜作为供配电系统中最重要基础电气设备,其数字化研究能实现更多数据的测量及存储,研发的智能控制模块更可以通过双向通信与上层监控中心进行信息交流。

1 总体研究方案

实现配电柜数字化的核心技术是基于微处理器的控制系统,其结构如图 1 所示。数字化配电柜控制系统的结构由主单元和回路控制子单元组合构成。

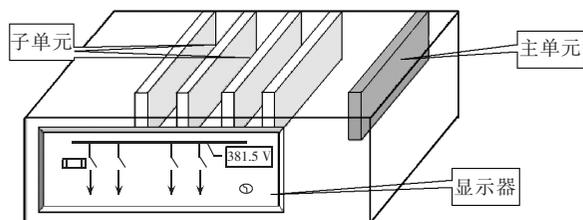


图 1 数字化配电柜控制系统结构

Fig.1 Control system structure of digital distribution cabinet

每个子单元承担配电柜内一个配电回路的参数检测,包括该回路的电压/电流、母线接头温度、断路器开关状态以及柜内环境温度/湿度等,并计算电能质量;主单元对各回路子单元所采集计算的参数进行数据汇总及显示,并就地实现对各回路断路器的开/合控制。主单元作为重要的人机交互设备,还具备以太网接口,便于进一步向上传输数据,为整个供配电系统数字化、智能化提供设备基础信息。考虑到实时性和成本,子单元和主单元之间通过 CAN 总线互联,一个数字化配电柜内的多个回路控制子单元可以共享一个主单元,也可以多个数字配电柜共享一个主单元。

2 子单元硬件

数字化配电柜回路控制子单元以基于 Cortex-3 内核的 32 位微处理器 STM32F103 为核心,其内核时钟频率达 72 MHz,内部具有 128 KB 的 FLASH 及高达 20 KB 的 SRAM^①。充分利用该芯片强大的数字处理能力,结合外围硬件电路设计并通过软件开发实现配电柜的数字化。回路控制子单元硬件结构框图如图 2 所示,包括电流、电压、开关状态量、母线接头温度、柜内温/湿度以及开关控制和 CAN 通信接口等电路。

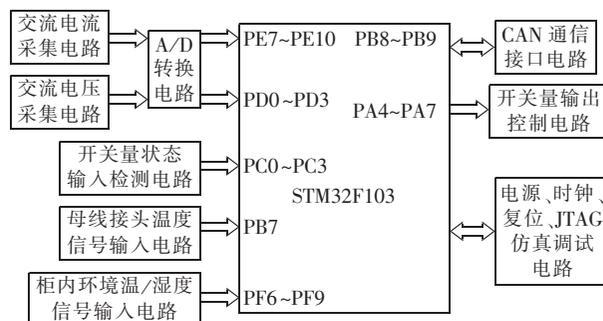


图 2 回路控制子单元硬件结构框图

Fig.2 Hardware structure of control subunit

2.1 电参量的采集

为防止配电回路中的高电压、强电流串入子单元电路损坏电子器件,同时为提高 A/D 转换精度,采用微型精密交流电流互感器 TA1015 和微型精密交流电压互感器 TV1013 分别与电流互感器和电压互感器连接,将信号转换成 4~20 mA 的电流信号及 0~5 V 的电压信号,再通过低通滤波和采样保持电路送入 A/D 转换器,转换为相应的数字量后送入微处理器进行处理。

参数采集与处理电路的关键是 A/D 转换芯片的选择^[10]。Maxim 公司生产的并行 14 位 8 通道同步采集芯片 MAX1320 具有独立的采样/保持电路,转换速度快、动态范围大,且具有先进先出功能^[11],可减少接口数量,并可在转换结束或转换中读取转换结果,非常适合交流电参量的采集。

图 3 为 A/D 转换芯片 MAX1320 与微处理器 STM32F103 的硬件连接原理图。CH0~CH7 为 8 路模拟量输入,其中 CH0~CH3 为交流电流输入,CH4~CH7 为交流电压输入;D0~D7 为双向并行数字量输出数据线,分别与微处理器相应接口相连;CONVST 管脚为转换启动信号,低电平时跟踪获取模拟信号,上升沿时启动转换。

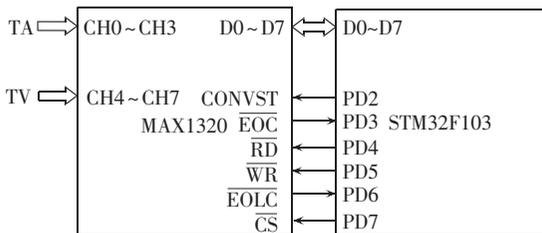


图 3 MAX1320 与微处理器 STM32F103 接口

Fig.3 Interfacing between MAX1320 and STM32F103

2.2 母线接头温度及柜内环境温/湿度的采集

对配电回路母线接头温度的检测采用美国 DALLAS 公司生产的单总线数字式温度传感器 DS18B20,传感器采用 1-Wire 总线协议,只用一根信号线就可实现信号的双向传输^①,其测量精度较高且直接将温度信号转换为数字信号,便于微处理器处理,也简化了电路设计。DS18B20 可多个并联使用,从而实现多点测温,在接入配电柜之前,先读取传感器固有的序列号,并按 1 到 n 的顺序一一对应记录,再通过串口程序设置中断,实现对相应母线接头的温度测量。

对配电柜内环境温湿度检测采用一体式数字温/湿度传感器 DB111,输出全标定的数字信号,检测时直接将温/湿度传感器安装在配电柜内壁。电路设计中,考虑到由于电力设备的启停操作、交流电网的

不稳定等因素产生的电压及电流的瞬态干扰会造成电子器件的损坏,在 DB111 与微处理器连接过程中接入抑制瞬态干扰的器件 TVS。

2.3 开关量的输出控制

开关量输出控制电路通过继电器对电动操作机构进行控制,从而实现断路器的开/合闸操作,由于继电器内阻较小,需要外接大电流驱动器件。电路通过微处理器的 PA4~PA7 口连接达林顿管 ULN2003 来驱动继电器。

2.4 CAN 总线通信节点

CAN 总线节点电路的设计中采用 CTM1050 高速 CAN 隔离收发器,芯片内部集成了通信所必需的隔离和收发器件^②,STM32F103 微处理器中内置了 CAN 控制器,将其 CAN_RX、CAN_TX 直接与 CTM1050 上的 RXD、TXD 相连。

2.5 子单元电气接线

数字化配电柜回路控制子单元在开关柜内配电回路中实际的接线设计如图 4 所示。

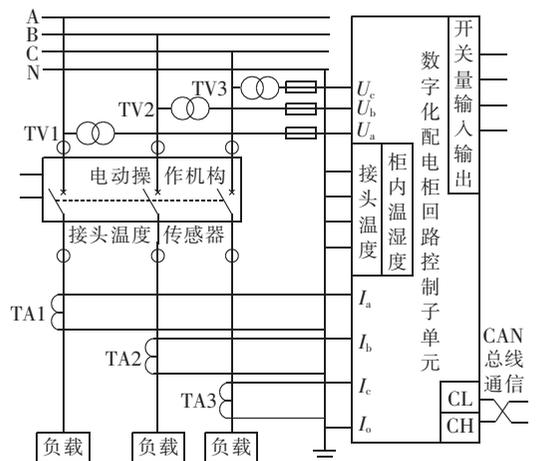


图 4 电气回路接线设计

Fig.4 Wiring design of electrical subunit

3 子单元软件

数字化配电柜回路控制子单元采用德国 Keil 公司的 RealView MDK 软件进行开发和模块化设计^[12],根据硬件设计与功能分析开发数据采集子模块、数据处理子模块、控制模块及通信子模块。数据采集子模块进行电流/电压、开关状态量、母线接头温度、柜内环境温/湿度等参数的采集;数据处理子模块进行有功功率、无功功率、视在功率、功率因数的计算以及通过 FFT 算法进行谐波分析。

主程序流程图如图 5 所示,首先完成微处理器芯片内存管理、I/O 接口初始化,之后进入等待状态,随

① Dallas Semiconductor. DS18B20 datasheet. 2008.

② Echelon Corporation. CTM1050T datasheet. 2007.

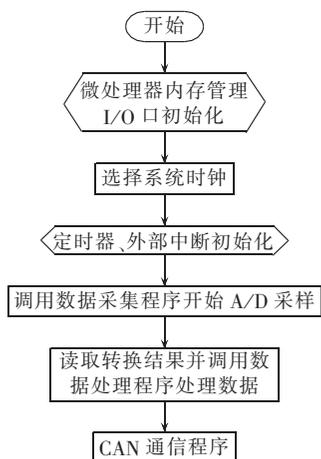


图 5 控制单元软件流程图

Fig.5 Flowchart of control subunit software

时判断各种定时中断是否到达,包括 A/D 采样、通信等定时中断,主程序完成对各中断的查询并调用相应的子程序。因为要保证对信号的实时处理,A/D 采样定时中断在各定时中断中的优先级最高。读入 A/D 采样值并送入设定的环形数据区后,调用数据处理子程序对电参量进行计算,最后通过 CAN 通信子程序实现数据的通信功能。

4 主单元硬件结构及软件设计

数字化配电柜回路控制主单元的主要功能是对各回路子单元所采集的数据进行汇总,需具备网络通信接口,还需具有可视化、可操作的人机交互特点。硬件采用触控屏计算机,设置在柜门表面,便于实时地观测及就地开/合闸操作,还可将配电柜运行参数通过以太网进一步传输至上层监控设备。软件开发采用简单易操作的 VB6.0,提供友好的操作界面,并基于 CAN 总线通信协议,通过控件程序调用 USBCAN 接口卡的接口函数动态库,完成主单元与接口卡之间的数据交换,实现通信功能。

通过主单元可现场监测配电柜运行状态,包括配电回路母线接头温度、柜内环境温/湿度、开关状态等信息,能够反馈操动机构的机械性能,为故障前兆的预测提供分析基础;实时监测配电回路的电压和电流电参数,并直观地显示计算得到的有功功率、无功功率、视在功率、功率因数、频率、谐波等信息,反映供电系统的实际运行状况。

5 试验结果

根据国际标准 IEC947(低压开关设备和控制设备)中的抗干扰试验指标,对数字化配电柜回路控制子单元进行了测试,结果如表 1 所示,表明回路控制子单元能够适应复杂的电磁环境。

表 1 试验标准及结果

Tab.1 Test standards and results

试验标准	规定严酷度	试验结果
电快速瞬变脉冲群 抗扰度试验 IEC61000-4-4	2 kV(电源线) 1 kV(L/O 线)	2.5 kV(电源线) 2.5 kV(L/O 线)
设备与系统的 HEMP 抗扰度测试方法 IEC61000-4-25		
抗电磁脉冲和其他辐射 骚扰的防护装置试验 方法 IEC61000-4-23		19.9 kV/m(水平) 9.9 kV(垂直)

6 结语

由数字化配电柜回路控制子单元构成的数字开关柜实际运行效果良好,能满足配电网数据采集、监控和管理需要,为智能化的供配电系统提供了重要的基础数据。

参考文献:

- [1] 常康,薛峰,杨卫东. 中国智能电网基本特征及其技术进展综述[J]. 电力系统自动化,2009,33(17):10-11.
CHANG Kang,XUE Feng,YANG Weidong. Review on the basic characteristic and its technical progress of smart grid in China [J]. Automation of Electric Power Systems,2009,33(17):10-11.
- [2] 谢开,刘永奇,朱治中,等. 面向未来的智能电网[J]. 中国电力,2008,41(6):19-22.
XIE Kai,LIU Yongqi,ZHU Zhizhong,et al. The vision of future smart grid[J]. Electrical Power,2008,41(6):19-22.
- [3] 余贻鑫,梁文鹏. 智能电网[J]. 电网与清洁能源,2009,25(1):7-11.
YU Yixin,LUAN Wenpeng. Smart grid[J]. Power System and Clean Energy,2009,25(1):7-11.
- [4] 万玄玄. 数字化电网中的电量计费自动化系统设计[J]. 电力需求侧管理,2008,10(2):79-80.
WAN Xuanxuan. Automatic electric power metering system design in digital network [J]. Power Demand Side Management, 2008,10(2):79-80.
- [5] 黄绍平,金国彬,李玲. 成套开关设备实用技术[M]. 北京:机械工业出版社,2010:78-79.
- [6] 黄绍平,李永坚,秦祖泽. 成套电器技术[M]. 北京:机械工业出版社,2009:235-236.
- [7] 作海涛,赵元珠,卫忠. 全数字化 35 kV 变电站的技术探讨[J]. 上海电力,2006(6):588-590.
WU Haitao,ZHAO Yuanzhu,WEI Zhong. The full digital 35 kV substation technology seminars [J]. Shanghai Electric Power,2006 (6):588-590.
- [8] 张景超,陈卓娅. AMI 对未来电力系统的影响[J]. 电力系统自动化,2010,34(2):20-23.
ZHANG Jingchao,CHEN Zhuoya. The influence of AMI on the future electric power system [J]. Automation of Electric Power Systems,2010,34(2):20-23.
- [9] 钟金,郑睿敏,杨卫红,等. 建设信息时代的智能电网[J]. 电网技术,2009,33(13):18-19.
ZHONG Jin,ZHENG Ruimin,YANG Weihong,et al. Construction

- of smart grid at information age[J]. Power System Technology, 2009,33(13):18-19.
- [10] 毕文辉,严楠,崔德邦. 数据采集系统中 A/D 转换器的正确选择[J]. 计量与测试技术,2009,36(4):20-22.
- BI Wenhui,YAN Nan,CUI Debang. How to select the A/D converter correctly in DAQ[J]. Test and Measurement Technology,2009,36(4):20-22.
- [11] 潘小波,吴彩林. MAX1320 及其在电能质量监测仪数据采集中的应用[J]. 国外电子测量技术,2007,26(9):62-65.
- PAN Xiaobo,WU Cailin. MAX1320 and its application in the

- data-acquisition of the electric power quality monitoring instrument[J]. Foreign Electronic Measurement Technology,2007,26(9):62-65.
- [12] 李宁. 基于 MDK 的 STM32 处理器开发应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2008:283-387.

作者简介:

支艳华(1986-),女,河南周口人,硕士研究生,主要从事建筑电气设计工作(E-mail:iris86_23@sohu.com)。

Digital technology of low-voltage distribution cabinet

ZHI Yanhua,WANG Jinquan,TANG Youhuai,LIU Yuan
(Engineering Institute of Engineering Corps,PLA University of Science
and Technology,Nanjing 210007,China)

Abstract: A digital distribution cabinet is designed based on STM32F103 high-performance microprocessor and RealView MDK software,which makes full use of the rich peripheral interfaces of STM32F103 to detect different parameters with the externally expanded circuits,such as the voltage and current of feeders,the temperature of bus connectors,the environmental temperature and humidity inside cabinet and the switch status,calculates the active power,reactive power,apparent power,power factor,frequency and harmonics,and transfers these parameters to host computer via CAN bus to realize its real-time monitoring and remote control. Test results show the trial operation of the system is stable and reliable.

Key words: distribution cabinet; digitization; microprocessor chips; CAN bus; design

(上接第 151 页 continued from page 151)

Design and implementation of electronic transformer signal acquisition and merging unit for traveling-wave transfer

DONG Yihua¹,SUN Tongjing¹,XU Bingyin^{2,3}

(1. School of Control Science and Engineering,Shandong University, Ji'nan 250061,China;

2. Shandong University of Technology,Zibo 255049,China;

3. Kehui Power Automation Co.,Zibo 255087,China)

Abstract: A design scheme of electronic current transformer is proposed for broadband data transmission, which includes the common signal functional module and the traveling-wave signal processing module to meet the requirements of digital substation for the common signal processing of bay-level devices and the transient traveling-wave signal processing of traveling-wave fault location devices. The multi-channel data acquisition mode is applied at data collection terminal and the field programmable gate arrays are used for the follow-up data processing. Experimental results show that,the designed electronic current transformer can restore the original signal correctly and collect/process/transfer the traveling-wave signal,which meets the requirements for traveling-wave transmission.

Key words: electronic transformer; sampling; traveling-wave signal; bandwidth; Field Programmable Gate Arrays(FPGA)