

高压 GIS 控制及保护装置研制

陈晓明¹, 苗世洪¹, 陈洪才², 刘 沛¹

(1. 华中科技大学 电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074;

2. 武汉哈德威电力监控系统有限公司, 湖北 武汉 430070)

摘要: 针对气体绝缘封闭组合电器 (GIS) 智能化的要求研制了一种基于高性能 32 位双 CPU 结构的新型装置。采用数字信号处理器 (DSP) TMS320VC33 和 ARM 嵌入式处理器 AT91RM9200, 双口 RAM 用于双处理器间的高速数据交换。DSP 模块通过复杂可编程逻辑器件 (CPLD) 完成数据测量、命令执行和保护判断等功能; ARM 模块内嵌 uClinux 操作系统, 主要完成人机接口、事故记录、启动保护出口和通信等功能; 双 CPU 共享电压频率转换器 (VFC) 采集数据。详细介绍了系统的硬件、软件设计方案和抗干扰措施, 采用 C 语言和 Verilog HDL 语言开发系统软件, 并提供了保护算法及各个功能模块的软件结构。实验测试和现场运行结果表明该系统可靠性高、组网能力强, 满足对 GIS 监控和保护的要求。

关键词: GIS; 微机保护; DSP; 嵌入式操作系统

中图分类号: TM 774

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2007)09-0091-04

1 GIS 控制及保护原理

气体绝缘封闭组合电器 (GIS) 是以 SF_6 气体作为灭弧介质和绝缘介质、由标准元件组合而成。标准元件包括断路器、隔离开关、接地开关、负荷开关、电压互感器、氧化锌避雷器、套管和电缆终端、母线和间隔控制柜等, 全部密封在一个接地的金属外壳内, 壳内充有一定压力的 SF_6 气体以保证相间、地以及断口间的可靠绝缘。GIS 典型的进出线间隔如图 1 所示。其中 1、2、3 是接地开关, 4、5 是隔离开关, 6 是断路器。GIS 变电站就是将一座变电站中除变压器以外的所有一次设备优化设计成一个有机组合的整体, 一般为积木式结构, 也就是由几个 GIS 间隔通过一定的组合, 构成各种接线形式。如常见的桥式接线、双母线接线、单母分段等。

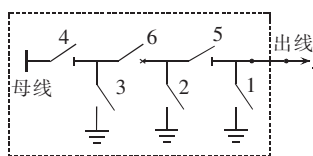


图 1 GIS 典型的出线间隔图

Fig.1 Typical outlet cell of GIS

由于 GIS 是密封的, 一旦发生故障, 检修周期长、维修费用高^[1], 为确保其安全稳定运行, 对 GIS 运行状态的监视和控制提出了很高的要求。由上面介绍可知, 对 GIS 间隔进行智能化保护控制其实质上就是对 GIS 间隔中的出线和断路器进行保护控制, 因此提出为 GIS 测控及保护单元配置基本的线路保护功能和断路器失灵保护功能。

线路保护实现相间短路的电流、电压保护, 相间

短路的方向电流、电压保护和接地短路的电流、电压保护。包括: I、II、III 段电流保护 (即速断、反时限、过流), 低频减载, 母线接地, 功率反向, 滑差保护, 单相接地故障保护等。

断路器失灵保护功能作为后备手段, 即其他保护 (内部的或者是外部的保护) 启动之后, 在一个设定时间过后仍然有故障电流流过断路器, 则向邻近的断路器发出后备跳闸信号, 这可以在断路器故障时确保故障的清除。

基于以上原理, 开发了一套适合于高压的 GIS 智能化测控装置, 主要应用于 110 ~ 550 kV 变电站、电厂等场合下的间隔级智能化控制, 完成逻辑联锁与控制、保护、自动操作、测量和事故记录等功能。为保证高可靠性、强大的数据处理能力和网络功能, 装置采用 DSP+高级精简指令系统处理器 (ARM) 结构的硬件平台^[2-8]。以下就此系统具体设计方案进行探讨。

2 硬件设计方案

装置总体结构如图 2 所示, 装置有 4 块开入板 (共 128 路); 开出板 (24 路)、GPS 板、交流板 (14 路)、直流板 (6 路)、开关电源板、DSP 板和 ARM 板各一块, 均采用插件的方式同总线板相连, 装置采用背插式 5 U 一体化型机箱^[9]。面板包括 LCD、键盘、操作开关和指示灯等。

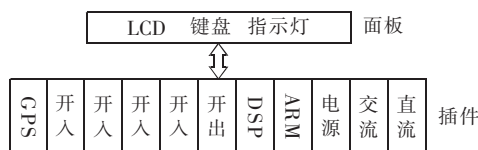


图 2 装置结构示意图

Fig.2 Device configuration

2.1 DSP 模块

DSP 模块结构如图 3 所示。采用 TI 公司开发的新一代 32 位高性能浮点型 DSP(TMS320VC33),它具有高速、低功耗、低成本的特点,能在单周期内完成累加和乘法并行指令。DSP 主要完成保护和测量功能,它通过 CPLD(EPM3256A)控制外围电路的工作。在本装置中 CPLD 主要产生片选信号、时序控制信号和计算电力系统的频率等。总线上外围扩展 2 片 256 K×16 bit SRAM 和 1 片 2 M×16 bit Flash。DSP 程序存放在 Flash 里,装置上电后,系统自动将程序装载到片外高速 SRAM 中执行,SRAM 还用来存放中间临时数据。DSP 板通过双口 RAM(IDT70V24)与 ARM 板进行通信,通信内容主要包括自检信号、测量信息、定值、时钟、控制命令等。

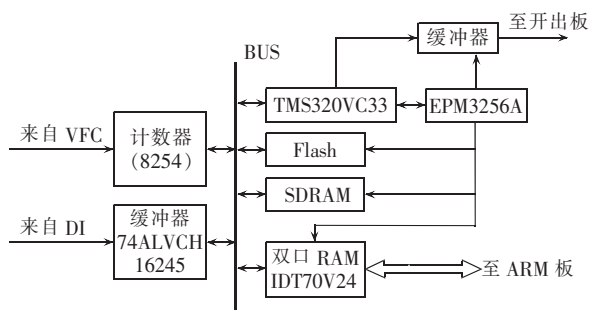


图 3 DSP 模块结构图

Fig.3 Block diagram of DSP module

2.2 ARM 模块

ARM 模块结构如图 4 所示。ARM 微处理器选用了 ATMEL 公司的 AT91RM9200 芯片,此芯片是基于 ARM920T 内核的新型微控制器,片内集成了 USB、以太网、EBI、MCI、SSC 和 SPI 等多种通信接口,200 MIPS 的处理速度和先进电源管理使这款芯片非常适合于系统控制和通信领域。ARM 主要用来处理人机对话、通信、保护的启动、事件记录和故障录波功能。

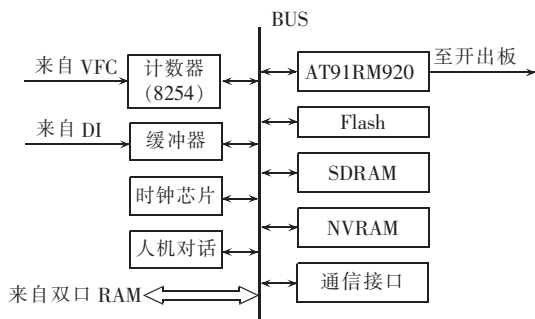


图 4 ARM 模块结构图

Fig.4 Block diagram of ARM module

ARM9 的存储空间划分为 3 部分:2 片 2 M×16 bit SDRAM 作为内存,完全满足运行操作系统和应用软件的需要;1 片 2 M×16 bit 的 Flash 存储操作系统镜像和应用程序,系统上电后,引导程序会将操作系统镜像全部加载到 SDRAM 中运行。1 片 256 K×16 bit NVRAM 存放事件记录和故障录波数据。装置的定值和出厂设置等也存放在 Flash 中。

通信接口包括 RS-485 和以太网接口,本系统选用 LX971ALC 芯片来完成 Ethernet 功能,LX971ALC 是 INTEL 公司生产的快速以太网收发器,能够完成 IEEE802.3 标准中规定的物理代码子层和物理代码附加层,还可以完成物理介质独立层所有的功能,能提供 100BASE-TX、10BASE-T、100BASE-FX 3 种接入方式。光纤和双绞线接入方式可由 PIN26 引脚选择。当此引脚接地时选择的是双绞线通信方式,当此引脚接到电源上时选择的便是光纤通信模式。另外,装置预留的接口:RS-232 接口,用于连接打印机或其他装置互连;USB 接口,用于装置信息的现场下载和上传。

2.3 模数转换模块

模数转换模块结构如图 5 所示。交流电压、电流通过互感器(TV 及 TA)变换成弱电信号,共输入 14 路模拟量,分别对应于三相电压(断路器两侧电压共 6 路)、三相电流(保护和测量用共 6 路)、3U₀、3I₀。弱电信号再经过 RC 低通滤波器及电压频率转换器(VFC),分别将输入的电压、电流变换成脉冲频率随输入模拟量幅值大小变化的脉冲量,并经快速光隔(6N137)光电隔离后送至 DSP 及 ARM 插件中的计数器计数,以实现模数转换^[10]。其中,VFC 采用 VFC110 芯片,其电压-频率特性线性范围 0~4 MHz,在程序中可做到 13.7 位分辨率^[11]。6 路 4~20 mA 直流信号输入到直流插件,分别用于测量 SF₆ 气体的压力和温度、分合闸线圈的线路阻抗及分合闸电流、储能电机的启动电流和运行电流等。

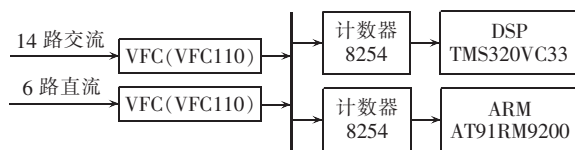


图 5 模数转换模块结构图

Fig.5 Block diagram of ADC module

2.4 开入和开出模块

开入量首先经大功率的电阻实现降压,然后经一级 RC 电路整型,最后通过光隔、缓冲器输入到 CPU 中。开入板的接入电压可通过短接线短接电阻的方法选择电压等级为 24V DC、110V DC 或 220V DC。

开出板包括启动继电器、异常闭锁继电器、异常报警继电器、保护跳合闸继电器、遥控跳合闸继电器等。为保证出口工作的可靠性,装置采用双 CPU 启动互锁形式,其逻辑结构如图 6 所示(图中 YC 表示模拟量-遥测量,YX 表示数字量-遥信量)。

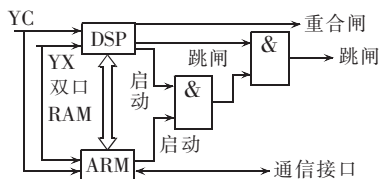


图 6 保护跳闸逻辑图

Fig.6 Block diagram of protection trip logic

3 软件设计方案

3.1 CPLD 部分软件

CPLD 中的程序采用 Verilog HDL 语言,主要产生外围扩展芯片的片选信号和控制信号。为减轻 DSP 的运算负担,装置采用 CPLD 测量系统频率。其测量原理为:电压信号经过低通滤波器送到比较器,得到与电压信号频率相同的方波信号;CPLD 提供标准信号频率 f_s ,在方波信号的一个周期内,记录标准频率的周期数 N_s ,则被测信号的频率为

$$f_x = f_s / N_s \quad (1)$$

其中, f_x 为系统的测量频率。其主要误差为一个计数时钟周期,误差计算公式为

$$\Delta f_x / f_x = \Delta N_s / N_s + \Delta f_s / f_s \quad (2)$$

3.2 DSP 部分软件设计

软件主要采用 C 语言,只是在少数地方嵌入汇编语言。为使程序运算精度高、编程方便,采用浮点算法。软件主要由主程序和中断服务子程序组成。

主程序完成硬件和定值自检、测量数据计算、命令执行等功能。中断服务子程序包括外部中断、采样中断和保护中断;外部中断用作双口 RAM 通信,中断优先级为最低;工频情况下 timer 0 产生采样间隔为 5/6 ms 的采样中断,采样间隔可根据 CPLD 实测的系统频率而动态调整,保证每个周期为 24 点采样,此中断优先级最高,其功能为开入量的采集、控制命令的执行等;程序利用 timer1 开辟 3 ms 的保护中断,其软件流程如图 7 所示。

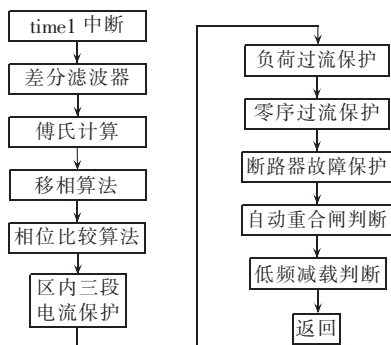


图 7 保护中断流程

Fig.7 Flowchart of protection interruption

交流量计算选用全周傅氏算法,能滤除纯直流分量及各次谐波分量,也能较好地滤除高频分量。考虑到按指数衰减的非周期分量对傅氏算法的影响,采用差分算法对采样数据进行预处理。差分算法如下:

$$y(n) = x(n) - x(n-4) \quad (3)$$

方向继电器可通过移相算法和相位比较算法实现,限于篇幅,公式不一一列出,可参阅文献[12]。

3.3 ARM 部分软件设计

ARM 部分软件结构如图 8 所示,由嵌入式操作系统(uClinux)、网络驱动协议、硬件驱动程序(USB、串口和以太网)、应用程序组成。uClinux 在标准 Linux 基础上进行了适当的裁减和优化,是一个高度优化、代

码紧凑的嵌入式 Linux,其代码完全开放。它最大的特点就是无内存管理单元(MMU),它不能使用处理器的虚拟内存管理技术,对内存的访问是直接的,所有程序中访问的地址是实际的物理地址,与标准 Linux 相比,uClinux 内核相对较小,操作系统所有代码加起来小于 900 KB。



图 8 ARM 部分软件结构

Fig.8 Software configuration of ARM module

应用程序采用 C 语言,考虑到芯片特点和通信数据格式,数据采用定点格式。具体分为 3 个模块。

a. 人机接口模块,包括键盘操作和 LCD 显示功能。

b. 中断模块,1 ms 中断用来扫描开入量和提供精确时钟,使事件顺序记录(SOE)达到 1 ms 分辨率;采样中断(优先级最高)每周期采样 24 点,用作启动判据计算和故障录波;快速中断(优先级最低)用作双口 RAM 通信。

c. 通信模块,实现多种通信规约,包括 IEC60870-5-104 规约、Modbus 通信协议等。用以完成远方定值修改、遥控、传送遥测、遥信、录波数据和断路器分合状态位等功能。

4 电磁兼容(EMC)及可靠性设计

a. DSP 和 ARM 板采用 6 层,总线板采用 4 层 PCB 布线技术,电源和地处于中间作为敷层,具有很强的屏蔽作用;强、弱电信号分开,模拟部分与数字部分分开,数字地与模拟地分开;芯片采用贴片元件,适当增加布线密度,使传输阻抗稳定,减小电路板的电磁辐射,提高抗干扰能力[13]。

b. 采用有效的隔离措施。在开入板和开出板设计中利用光电耦合将噪声源隔离,以切断来自现场的传导干扰,从而提高装置在各种恶劣电磁环境下的可靠性;在 LX971AIC 和以太网物理插座间增加一个隔离变压器,一方面可以起到电平转换的作用,另一方面可以将通信口同外界隔离开,有效防止外部通信线的传导干扰;CPU 板上最大限度地使用缓冲器将多个不同等级的电源隔离开,减小相互间的干扰。

c. 电源采用 AC-DC 变换器,前置 II 型滤波电路,具有很好的滤波效果,最大限度地减小了电源噪声的产生;在电源的前端设计中,采用了抗浪涌的设计电路,选用氧化锌作为浪涌的吸收器件;弱电电源系统采用“浮地方式”,输出端分别对机壳地接入陶瓷电容,为共模干扰电流提供了泄放通道[14]。

5 结论

该产品的研制借鉴了诸多测控和保护装置的开发、运行经验以及相关新理论成果,充分利用了双 CPU 互锁结构使跳闸安全可靠,双 CPU 共享 VFC 数据简化了装置的硬件设计和提高了设备的可靠性。由于设计时考虑了必要的硬件冗余,此装置可以作为一个

综合性的硬件平台,只需修改软件模块,就可以实现各种用途的微机保护。产品已通过全面的试验测试,各项技术指标都达到了设计要求,根据现场试运行结果表明,该装置具有可靠性高、组网能力强等特点,能够满足对 GIS 监控的要求。

参考文献:

- [1] 张宇娇,庄曰平,程炯. SF6 气体绝缘全封闭组合电器故障分析[J]. 高电压技术, 2005,31(1):89-90.
ZHANG Yu-jiao,ZHUANG Yue-ping,CHENG Jiong. Analysis and consideration of malfunction of SF6 GIS[J]. High Voltage Engineering, 2005,31(1):89-90.
- [2] 张壬寅,夏锦胜. 基于 DSP 平台的中低压微机保护装置[J]. 电力自动化设备, 2005,25(9):80-82.
ZHANG Ren-yin,XIA Jin-sheng. Research on DSP-based protective device for mid/low voltage power system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005,25(9):80-82.
- [3] 刘幼林,姬芳. 基于 DSP+CPLD 的断路器智能控制单元设计[J]. 电力自动化设备, 2005,25(11):65-67.
LIU You-lin,JI Lao. Design of intelligent breaker controller based on DSP+CPLD[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005,25(11):65-67.
- [4] 唐妙然,苗世洪,刘沛. 基于 dsPIC30F 处理器的一种新型保护装置平台的研究[J]. 继电器, 2006,34(4):10-13.
TANG Miao-ran,MIAO Shi-hong,LIU Pei. Design of new-style protection device based on dsPIC30F digital signal controllers[J]. Relay, 2006,34(4):10-13.
- [5] 李文进,韩晓萍. 基于 ARM 平台的变电站远程抄表系统[J]. 电力自动化设备, 2005,25(11):85-88.
LI Wen-jin,HAN Xiao-ping. Substation meter reading system based on ARM[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005,25(11):85-88.
- [6] 王松月,杨福兴. 基于 ARM920T 嵌入式通信控制系统设备驱动开发[J]. 电力自动化设备, 2005,25(11):65-67.
WANG Song-yue,YANG Fu-xing. Driver development for embedded communication control system based on ARM920T[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005,25(11):65-67.
- [7] 窦晓波,徐科,胡敏强,等. 基于 ARM 处理器的低压微机保护装置[J]. 电力系统自动化, 2005,29(20):93-96.
DOU Xiao-bo,XU Ke,HU Min-qiang,et al. Low-voltage micro-computer-based protection device with ARM microprocessor[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005,29(20):93-96.
- [8] 陈曠. ARM9 嵌入式技术及 Linux 高级实践教程[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2005.
- [9] 李钢,王善祥,苏文辉,等. 微机保护通用平台的分析和研究[J]. 继电器, 2005,33(14):29-31.
LI Gang,WANG Shan-xiang,SU Wen-hui,et al. Analysis and studies on universal platform of relays[J]. Relay, 2005,33(14):29-31.
- [10] 周志宇,李裕能,郭松梅,等. 基于 DSP 的同步交流采样技术[J]. 电力自动化设备, 2006,26(5):57-60.
ZHOU Zhi-yu,LI Yu-neng,GUO Song-mei,et al. Synchronous AC sampling technologies based on DSP[J]. Electric Power Automation Equipment, 2006,26(5):57-60.
- [11] 杨奇逊,黄少锋. 微机继电保护基础[M]. 2 版. 北京:中国电力出版社, 2005.
- [12] 陈德树. 计算机继电保护原理与技术[M]. 北京:中国电力出版社, 1992.
- [13] 侯慧,游大海,尹项根. 基于 DSP 的微机继电保护抗干扰研究[J]. 电力自动化设备, 2006,26(4):4-7.
HOU Hui,YOU Da-hai,YIN Xiang-gen. Research on anti-interference of DSP-based relay protection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2006,26(4):4-7.
- [14] 王剑乔,刘建新. 微机保护抗电快速瞬变脉冲群干扰的研究[J]. 高电压技术, 2005,31(10):36-37.
WANG Jian-qiao,LIU Jian-xin. Research on electrical fast transient immunity for relay protection equipment[J]. High Voltage Engineering, 2005,31(10):36-37.

(责任编辑:李玲)

作者简介:

陈晓明(1974-),男,江西上饶人,工程师,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护(E-mail:cc_xiaoming@163.com);
苗世洪(1963-),男,湖北随州人,副教授,研究方向为电力系统继电保护与控制;
陈洪才(1973-),男,湖北仙桃人,工程师,主要从事变电站自动化装置开发工作。

Development of control and protection device for HV GIS

CHEN Xiao-ming¹,MIAO Shi-hong¹,CHEN Hong-cai²,LIU Pei¹

(1. Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China;

2. Wuhan Hathaway Power Monitoring System Co., Ltd., Wuhan 430070, China)

Abstract: For the intelligent control and protection of GIS(Gas Insulated Switchgear),a device based on dual 32-bit high-performance CPU of DSP(Digital Signal Processor) TMS320VC33 and ARM (Advanced RISC Machines) embedded microprocessor AT91RM9200 is developed,in which the dual-port RAM is used to realize the high-speed data exchange between two processors. The DSP module,with the aid of CPLD(Complex Programmable Logic Device),realizes the functions of data measurement,command execution,protection judgment,and so on. The ARM module,with the embedded operating system uClinux,realizes the functions of man-machine interface,fault record,protective trip output,communication,and so on. The outputs of VFC(Voltage Frequency Converter) are shared by two CPUs. The system design,including HW and SW,and the anti-interference measures are introduced in detail. The system SW is developed with C language and Verilog HDL language. The protection algorithms and the flowcharts of function modules are provided. Experiments and field operations show its high reliability,good networking capability,meeting the requirements of GIS control and protection.

Key words: gas insulated switchgear; microprocessor-based protection; DSP; embedded operating system