

基于 DSP 的微机保护综合实验装置设计

王洪涛,周有庆,彭红海

(湖南大学 电气与信息工程学院,湖南 长沙 410082)

摘要:提出了一种基于 32 位高性能数字信号处理器(DSP)芯片 TMS 320F 2812 的多功能微机保护综合实验装置的设计方案。硬件方面在综合考虑各种实际微机保护装置硬件结构特点的基础上提出了一种通用型硬件平台的设计方案;软件方面采用代码在线更新和上电自举的设计方法实现对不同保护功能的软件配置。通过 PC 机远程下载不同的保护程序和相应的监控程序,装置可以实现包括各种电压等级的线路保护、母线保护、变压器保护等多种保护功能。实际运行和使用证明该装置具有较强的实用性。

关键词:微机保护; 数字信号处理器; 在线更新; 综合实验装置

中图分类号: TM 774

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2007)01-0097-04

0 引言

与传统的继电保护装置相比,微机保护装置由于其性能和可维护性方面的巨大优势得到了越来越广泛的应用^[1]。尤其是近年来,随着计算机硬件尤其是数字信号处理器(DSP)技术的迅猛发展,微机保护技术得到了硬件方面的有力支持,性能进一步提高。目前的微机保护装置运算速度越来越快,可靠性越来越高,维护调试更加方便,灵活性更大,经济性越来越好^[2]。目前,我国的继电保护装置正经历着大规模的微机化改造,电力系统保护装置的全面微机化已经是一个不可逆转的潮流。然而,由于应用于现场的微机保护装置种类繁多、功能各异,而且成本都相对较高,因此,如何尽快熟悉各种微机保护装置的原理和操作成为运行人员以及高等院校相关专业师生的一大难题。

目前,微机保护实验培训装置的解决方案都比较复杂,而且其结构与实际微机保护装置有很大差距,虽然可以完成各种保护功能与操作的演示,但由于其软件系统复杂,用户很难在其硬件平台上进行底层软件的开发与测试等操作^[3-5]。文中提出了一种通用化硬件平台+软件在线更新的设计方法,采用 32 位的高性能 DSP 芯片 TMS 320F 2812 作为主处理器,设计了一套可以实现包括多种保护功能的综合实验装置,并且将每种保护与监控软件独立成模块。通过下载不同的软件,可以实现目前常用的多种保护功能,从而为解决电力系统微机保护实验和培训问题提供了一条新思路。同时,由于各模块功能相对独立和单一,在硬件驱动函数模板的基础上,用户可以比较容易地进行新功能代码的编写和测试,从而大大拓展了其应用范围。

1 装置整体方案设计

装置的整体硬件结构采用目前主流微机保护装置的结构形式,并且尽量通用化和模块化。硬件部分包括保护模块、监控模块、开入/开出模块、模拟量输入模块和电源模块 5 大部分。各模块之间通过光电隔离或串行通信线连接,互相之间尽量减少直接的电气联系,同时,由于采用的 DSP 芯片片上有丰富的外设资源,因此大幅减少了片外资源的扩展,从而提高了系统的可靠性和抗干扰能力^[6]。

针对不同的保护功能,软件方面设计了多套不同的保护与监控程序。每一套保护程序和监控程序均是一个独立完整的程序,其中保护部分程序包括保护模块的硬件初始化与驱动程序、软件初始化、各种保护算法与保护逻辑功能的实现以及各种通信接口的驱动与协议;监控部分程序包括监控模块的硬件初始化与驱动、软件初始化、各种通信接口的驱动与协议以及针对不同保护的显示程序等。各功能代码通过 PC 机的 RS-232 串口在线下载到实验装置的 EEPROM 中,利用 DSP 芯片的上电自举功能,保护装置加载新的代码到片外 RAM 区,实现了装置向另一种保护功能的转变。

通过与微机保护测试仪和 PC 机的配套使用,装置可以完成多种保护功能。用户还可以开发自己的代码程序,通过 PC 机下载到装置中进行测试。整个系统的原理框图如图 1 所示。

2 通用化硬件平台各模块设计

各种功能的微机保护装置除了软件设计方面的差异,在硬件方面的要求也不尽相同,这就需要结合实际情况综合考虑,力求设计一种能够实现各种功能的通用化硬件平台。

系统采用 TI 公司的 TMS 320F 2812 作为主处

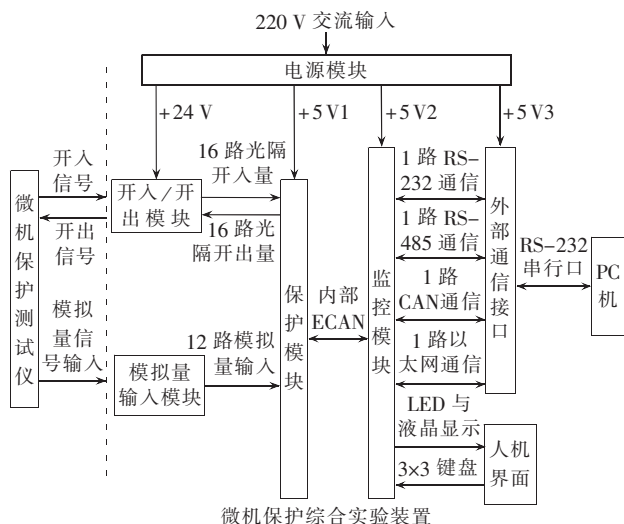


图 1 系统原理框图

Fig.1 Block diagram of system principle

理器芯片。TMS 320F 2812 是一款高性能 32 位定点 DSP,采用哈佛总线结构,最高运行速度可达 150 MHz,且支持 DSP/BIOS 实时操作功能。TMS 320F 2812 集成了丰富的片上资源,包括 18 K 字片内 RAM,16 路 12 位 A/D,2 路 SCI 异步串口,1 路 SPI 同步串口,1 路增强型同步串口 MCBSP,一路增强型局域网控制器(ECAN),并且具有 128 K×16 bit 片内 Flash^[7]。此外,TMS 320F 2812 采用统一寻址,最大可达 4 MB 的程序/数据寻址空间。系统采用 TMS 320F 2812 作为主处理器芯片,可以充分利用其片上的外设资源,并且可以大大提高运行速度^[7-8]。

设计采用模块化设计方法,系统从功能上分为保护模块、监控模块、开入/开出模块、模拟量输入模块和电源模块^[9-10],下面介绍各模块的主要功能及设计思路。

2.1 保护模块

保护模块负责采样与计算、完成各种保护算法、控制继电器的跳合^[11]。保护模块通过内部的 ECAN 总线与监控模块的 DSP 芯片进行通信,ECAN 总线的通信速率可达 1 Mbit/s,完全可以满足系统对通信速率的要求。保护模块的采样部分采用 2 片 TI 公司的模/数转换芯片 ADS 8364,这是一种高速低功耗的 6 通道 16 位并行模/数转换芯片,可以实现 6 通道同时采样,转换速率高达 250 kHz。在 5 MHz 的时钟频率下,每个通道的总转换时间仅需 4 μs,而全差分的输入方式又可以很好地抑止共模干扰。根据所实现的保护类型的不同,保护模块最多可以对 12 路模拟量进行同时采样,从而有力保证了采样数据的实时性和精度^[8]。

2.2 监控模块

监控模块主要负责人机界面与通信的处理。监控模块同样采用 TMS 320F 2812 作为主处理器,在内部通过 ECAN 总线与保护模块进行通信,及时获

得所需要的有关电气参数和状态信息。为了满足不同的通信需求,监控模块扩展了 1 路 RS-232 通信接口、1 路 RS-485 通信接口、1 路 CAN 通信接口和 1 路以太网通信口与外界进行通信。所有对外的通信均通过高速光电隔离芯片 HCPL-063A 与外部进行接口,从而使系统的稳定性和抗干扰能力大为增强。不同功能的微机保护装置的人机界面部分也不尽相同,尤其是 LED 指示灯部分。为解决这一问题,本设计采用液晶+LED 联合显示的方式,在液晶显示屏的边上留出一块区域用于指示每个 LED 灯的具体功能。对于不同的保护,只要运行不同的监控程序就可以刷新 LED 灯的指示功能,很好地解决了这一问题。

2.3 开入/开出模块

开入/开出模块负责处理开关量的开入与开出信息、执行继电器的跳闸与合闸等操作。为满足不同保护功能的要求,开入/开出模块可处理 16 路开关量的开出和 16 路开关量的开入信息,并且可以根据需要进行扩展。为有效防止误动,提高系统的可靠性和抗干扰能力,开入量均采用光电隔离芯片 TLP 121 隔离,开出量均采用光电隔离芯片 TLP 127 隔离。

2.4 模拟量输入模块

模拟量输入模块负责对模拟信号进行隔离、变换和低通滤波等处理。模拟输入部分的电压和电流变换器需要根据与装置配套的信号发生装置的实际输出信号配置。根据不同保护功能的需要,模拟输入模块可以实现多达 12 路电压、电流信号的预处理,并且能够根据实际需要进行扩展。

2.5 电源模块

电源模块负责给各模块供电,电源模块可以提供 +24 V 的电源 1 路,用于开入/开出模块的继电器供电;+5 V 的电源 3 路,分别给保护模块、监控模块和与外部通信部分供电。

3 软件设计

为了实现不同的保护功能,软件部分针对目前各种常用的保护功能设计了若干套保护与监控程序,包括 10 kV 线路保护、35 kV 线路保护、110 kV 线路保护、变压器保护、电容器保护和电动机保护等^[12-18]。同时,针对保护软件开发人员,装置还可以提供一套硬件驱动模板,用户只需在模板上添加自己的功能代码,就可以下载到实验装置中进行新保护功能的测试。

不同功能软件代码的更新采用 SPI 口上电自举+程序在线更新的方式实现,通过 PC 机的 RS-232 串口将不同保护的程序方便地下载到装置中。下面介绍 SPI 口上电自举和程序在线更新的具体实现方法。

3.1 SPI 口上电自举的实现

上电自举是指系统加电时通过外部接口从片外加载程序代码到指定运行空间的一种操作。通过上电自举,可以将存储在外部速度较慢、非易失性器件中的代码转移到速度较快的 RAM 区执行,从而可以大大提高程序的执行速度。TMS 320F 2812 内

部带有 4 K×16 bit 的引导 ROM,可以提供包括 SCI 异步串行引导、SPI 同步串行引导、并行引导等多种上电自举的方式^[7]。本设计采用 SPI 同步串行引导 (SPI_Boot) 方式,首先将程序烧写到片外的 EEPROM 芯片 AT25HTP512 中,这是 ATMEL 公司一款 SPI 接口的 EEPROM 芯片,存储容量为 64 K×8 bit,最高运行速度可达 10 MHz。

上电之前需要将 TMS320F 2812 的 GPIOF 4 脚通过一个 5 kΩ 的电阻弱下拉,GPIOF 12 脚通过一个 5 kΩ 的电阻弱上拉,并将 DSP 芯片配置成微处理器方式(将 MP/MC 脚接低电平)。系统上电之后,首先执行引导 ROM 区的程序,通过判断 GPIOF 4 和 GPIOF 12 这 2 个引脚的状态决定执行何种自举方式。如果判断的结果是 GPIOF 4 为高,GPIOF 12 为低,则 DSP 将执行 SPI 自举方式,通过片外的 EEROM 芯片下载程序到用户指定空间运行(本设计为片外 RAM)。DSP 与 AT25HTP512 的连接电路如图 2 所示。

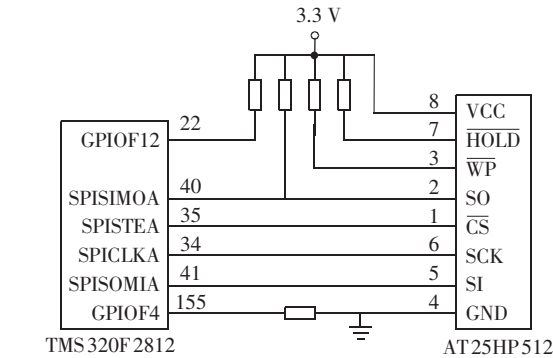


图 2 TMS 320F 2812 与 AT25HP512 的连接

Fig.2 Connections between TMS320F2812 and AT25HP512



图 3 SPI 8 位数据结构

Fig.3 Structure of 8-bit SPI data

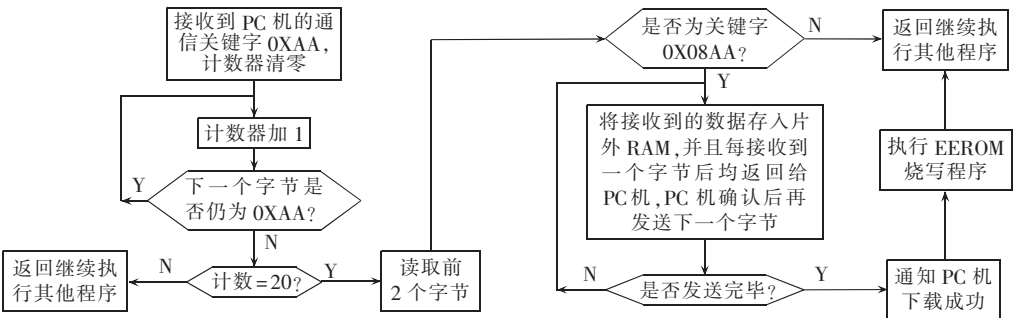


图 4 监控程序下载流程

Fig.4 Download flow of monitoring and control program

3.2 程序在线更新的设计

为了实现不同的保护功能,系统需要运行不同的保护和监控程序,这就要求系统能方便地下载所需的程序。

利用 TI 公司的集成调试环境 CCS 生成的可执行代码为 .OUT 格式,不可以直接烧写到 EEPROM 中。因此首先需要将 .OUT 格式的文件转换成可以下载到 AT25HP512 中的 8 位 SPI 数据流格式^[7]。转换完成后 .HEX(16 进制码)格式的 SPI 8 位数据结构如图 3 所示。

本装置可以通过 PC 机的 RS-232 串口将转换完成的 .HEX 格式的代码根据不同的保护功能需要分别下载到保护和监控模块的片外 EEPROM 芯片 AT25HP512 中。如果监控部分的 DSP 串口连续接收到 20 个 0XAA 的关键字,并且接下来的 2 个字节为存储器宽度为 8 位的关键字 0XAA 和 0X08,则表示接下来上位机将要发送监控部分的代码。监控 DSP 接收程序代码的流程如图 4 所示。

保护部分的程序下载过程与监控部分类似,只是需要先将程序下载到监控模块的片外 RAM 里,然后通过内部 ECAN 发送给保护模块,保护模块将接收到的代码置于片外 RAM 区,再执行烧写程序,同时通知监控 DSP 下载成功,监控 DSP 再返回给 PC 机一个保护程序下载成功信息,从而完成保护部分的代码下载。

重新上电后,DSP 通过上电自举,将 AT25HTP 512 中的新的代码下载到片外用作程序存储器的 RAM 区,然后跳转到程序入口,系统就可以实现新的保护功能,从而完成了程序的在线更新。

4 结语

实际使用和运行经验表明,该系统运行稳定可靠、功能强大,可完成大多数常用的保护功能,且用户界面友好、操作简单方便。对于电力系统和高等院校相关人员的微机保护实验和培训,文中提出的基于 DSP 的多功能微机保护综合实验装置提供了一个很好的解决方案。同时,该装置也可以为微机保护的软件开发人员进行新型保护装置功能测试提供一个很好的硬件测试平台。在继电保护装置已开始全面转入微机化的今天,该装置具有广泛应用前景。

参考文献:

- [1] 贺家李,宋从矩. 电力系统继电保护原理[M]. 北京:中国电力出版社,2004.
- [2] 刘园,周有庆,彭红海,等. 基于 DSP 的电力系统多功能微机保护实验装置的设计[J]. 继电器,2005,33(6):56-58,65.
LIU Yuan,ZHOU You-qing,PENG Hong-hai,et al. Design of multi-functional microcomputer protection device for power system based on DSP[J]. Relay,2005,33(6):56-58,65.
- [3] 厉吉文,文锋,高厚磊,等. 微机保护实验系统[J]. 继电器,1995,23(2):26-29.
LI Ji-wen,WEN Feng,GAO Hou-lei,et al. The experiment device of microcomputer protection[J]. Relay,1995,23(2):26-29.
- [4] 李刚,王翠霞,温渤嬰. 一种新型微机继电保护实验装置的研制[J]. 继电器,2005,33(22):16-20.
LI Gang,WANG Cui-xia,WEN Bo-ying. Research and development of a new experimental device for digital relay protection[J]. Relay,2005,33(22):16-20.
- [5] 魏宜华,焦彦军,张新国,等. 通用继电保护微型实验装置的设计[J]. 电力系统及其自动化学报,2005,17(3):95-98.
WEI Yi-hua,JIAO Yan-jun,ZHANG Xin-guo,et al. Design of general microprocessor-based experiment apparatus for relay protection[J]. Proceedings of the EPSA,2005,17(3):95-98.
- [6] 杨奇逊,刘建飞,张涛,等. 现代微机保护技术的发展与分析[J]. 电力设备,2003,4(5):10-14.
YANG Qi-xun,LIU Jian-fei,ZHANG Tao,et al. Technical development and analysis on modern microprocessor-based protection[J]. Electrical Equipment,2003,4(5):10-14.
- [7] INCORPORATED T. TMS 320C 28X 系统 DSP 的 CPU 与外设[M]. 张卫宁,译. 北京:清华大学出版社,2004.
- [8] 苏奎峰,吕强,耿庆峰,等. TMS 320F2812 原理与开发[M]. 北京:电子工业出版社,2005.
- [9] 陈德树. 计算机继电保护原理与技术[M]. 北京:水利电力出版社,1990.
- [10] 杨奇逊. 微型机继电保护基础[M]. 北京:水利电力出版社,1988.
- [11] 许正亚. 变压器及中低压网络数字式保护[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004.
- [12] 周芸,杨奖利,路青起. 基于 TMS 320F2812 的线路保护系统[J]. 高压电器,2005,41(4):289-291.
ZHOU Yun,YANG Jiang-li,LU Qing-qi. Transmission line protection system based on TMS 320F2812[J]. High Voltage Apparatus,2005,41(4):289-291.
- [13] 荣彩霞,张哲,潘军军,等. 新型高压线路微机保护装置研制[J]. 电力自动化设备,2005,25(12):55-58.
RONG Cai-xia,ZHANG Zhe,PAN Jun-jun,et al. Protective device for high-voltage transmission line[J]. Electric Power Automation Equipment,2005,25(12):55-58.
- [14] 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):80-83.
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):80-83.
- [15] 姚志强,盛孟刚. 基于数字信号处理和 CAN 总线的综合微机保护系统的设计[J]. 湘潭大学自然科学学报,2005,27(4):108-113.
YAO Zhi-qiang,SHENG Meng-gang. Design of multifunctional microcomputer protection system based on digital signal processing and CAN bus[J]. Natural Science journal of Xiangtan University,2005,27(4):108-113.
- [16] 肖洪,丁磊,王瑞. 微型型变压器保护的研究[J]. 电力自动化设备,2005,25(11):48-50.
XIAO Hong,DING Lei,WANG Rui. Study on microprocessor-based transformer relay protection[J]. Electric Power Automation Equipment,2005,25(11):48-50.
- [17] 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):29-31,51.
LI Gang,WANG Shan-xiang,SU Wen-hui,et al. Analysis and studies on universal platform of relays[J]. Relay,2005,33(14):29-31,51.
- [18] 侯慧,游大海,尹项根. 基于 DSP 的微型型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.

(责任编辑:李玲)

作者简介:

王洪涛(1981-),男,山东临沂人,硕士研究生,研究方向为电力系统微机继电保护、变电站综合自动化与配电自动化(E-mail:hongpai55@163.com);

周有庆(1964-),男,河北故城人,教授,博士研究生导师,研究方向为电力系统微机保护、变电站综合自动化与配电自动化;

彭红海(1972-),男,湖南怀化人,讲师,博士研究生,研究方向为电力系统微机保护及变电站综合自动化。

Design of integrative experimental device for microcomputer protection based on DSP

WANG Hong-tao,ZHOU You-qing,PENG Hong-hai
(Hunan University,Changsha 410082,China)

Abstract: A scheme of integrative experimental device for multi-function microcomputer protection based on 32-bit DSP(Digital Signal Processor) TMS 320F2812 is designed. With the consideration of various microcomputer protection hardware structures,a general hardware platform is designed. Protective functions are software-configured by on-line refreshing and boot load. Different protection programs and corresponding monitoring and control programs are remotely downloaded with personal computer to carry out different protection functions including line protection,bus protection,transformer protection and so on for different voltage levels. Practices prove its good practicability.

Key words: microcomputer protection; DSP; on-line refreshing; integrative experimental device