

# 基于 MCU+DSP 多处理器构架的微机保护硬件平台设计

刘益青<sup>1,2</sup>, 高伟聪<sup>3</sup>, 魏鹏<sup>2</sup>, 滕兆宏<sup>2</sup>

(1. 山东大学电气工程学院, 山东 济南 250061; 2. 积成电子股份有限公司, 山东 济南 250100;  
3. 山东外事翻译职业学院经管学院, 山东 济南 250100)

**摘要:** 微机保护硬件平台直接决定了微机保护的整体性能, 总结了目前广泛采用的四种硬件平台构架模式, 分析了多处理器之间的数据交互方式, 得出多处理器构架模式具有较好的应用前景这一结论。在此基础上设计了一种通用性好、开放灵活的新型微机保护的硬件平台, 采用微控制器 (MCU) 和数字信号处理器 (DSP) 协同工作的多处理器构架, 实现了对外 3 路嵌入式以太网通信接口, 微处理器之间的数据交互采用 DSP 的主机接口 (HPI) 进行, 详细介绍了 MCU 模块、DSP 模块、输入输出模块和数据交互模块的功能分配和实现方法。

**关键词:** 微机保护; 硬件平台; 微控制器; 数字信号处理器; 主机接口

## Design of hardware platform for microprocessor-based protection based on MCU & DSP architecture

LIU Yi-qing<sup>1,2</sup>, GAO Wei-cong<sup>3</sup>, WEI Peng<sup>2</sup>, TENG Zhao-hong<sup>2</sup>

(1. School of Electrical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China; 2. Integrated Electronic Systems Lab Co., Ltd, Jinan 250100, China; 3. Shandong International Institute of Translation, Jinan 250100, China)

**Abstract:** The performance of microprocessor-based protection is decided directly by its hardware platform. By summing up the four kinds of architecture widely used in digital relays at present and analyzing the form of exchanging data between the microprocessor, this paper draws the conclusion that multi-processor architecture is promising. With the characteristic of opening and universality, a new hardware platform based on MCU & DSP architecture is designed. The platform achieves three embedded Ethernet, exchanging data by host-port interface. The function and realization of MCU module, DSP module, input & output module and data exchanging module are also introduced.

**Key words:** microprocessor-based protection; hardware platform; MCU; DSP; host-port interface

中图分类号: TM69; TM774 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)10-0089-03

## 0 引言

继电保护新原理的应用有赖于硬件性能的进一步提高, 暂态量保护、间断角涌流闭锁和 CT 饱和的准确判断都有需要较高的采样速率, 势必出现运算复杂度与数据实时处理之间的矛盾。解决这一矛盾要么寻找更优的算法, 要么开发高性能的微机保护新硬件平台。微机保护处于强电磁干扰环境下工作, 要求有高性能的基础硬件保证微机保护装置的可靠性和可信赖性。实现微机保护的硬件平台化不仅可以减少新产品开发的重复工作, 而且有效降低了硬件生产成本和维护费用。结合微机保护通用硬件平台的基本要求和发展方向 (即: 模块化, 开放性, 通用性, 灵活性, 可扩展性和高可靠性), 开发具有一定先进性的微机保护硬件平台有极其重要的

现实意义。

## 1 微机保护硬件平台设计的一般问题

### 1.1 硬件平台通用架构模式

微机保护历经三十年的发展, 硬件构架模式不断创新, 出现了各种各具特色的构架模式, 目前广泛采用的有以下几种: 多MCU模式; 单MCU (或 DSP) 模式; MCU+FPGA模式; MCU+DSP模式。

在微机保护发展初期由于单个MCU的处理能力有限, 为了实现成套保护的复杂功能采用了多MCU模式, 将保护功能分散成相对独立的功能模块 (如高频、距离、零序、重合闸等), 每个功能模块由单个MCU完成。随着微处理器处理能力的提高, 使单片MCU (DSP) 完成复杂保护功能成为可能, 简化了硬件设计, 在一定程度上提高了可靠性,

并具有成本优势。随着可编程逻辑器件的发展，FPGA越来越多地用在了微机保护的开中<sup>[1]</sup>，起初仅用于扩展微处理器的控制逻辑，后来将数字滤波模块以IP核的形式封装到FPGA中<sup>[2]</sup>，这种MCU+FPGA模式可极大提高系统的数据处理性能。为了能同时利用DSP的数据计算能力和MCU的控制和通信功能，将二者充分结合优势互补的MCU+DSP模式将成为目前乃至今后一段时间内的微机保护主流构架模式<sup>[3]</sup>。

### 1.2 多处理器之间数据交互方式

对于MCU+DSP模式而言，多个处理器之间协同工作必须要解决好数据交互的问题，目前使用的交互方式，主要有：串口通信；通过CAN、Lonworks等现场总线通信；利用双口RAM进行数据交互；多DSP构架下的CPCI总线数据交互。

微处理器间的串口通信是最简单的通信方式也是早期应用最广泛的，但是其缺点显而易见，速度慢，不适于大量数据的交互，应用越来越少<sup>[4]</sup>。虽然现场总线应用在间隔层与站控层之间通信的场合越来越少，但是作为微机保护内部多处理器间的通信方式应用还是很广泛的，其优点是传输速度快，抗干扰能力强。应用双口RAM进行数据交互也是较为常见的方式<sup>[4]</sup>，可以实现高速的数据交换，而控制模式较现场总线简单；利用CPCI总线的数据交换方式是最近出现的高端硬件平台的尝试，其运行性能和可靠性还有待于实践检验<sup>[5]</sup>。

## 2 新型微机保护硬件平台设计方案

### 2.1 设计概述

设计实现了新型MCU+DSP架构模式的微机保护通用硬件平台。整体结构见图1。新硬件平台的功能特点如下：(1) 可以实现MCU+DSP的多处理并行工作，在单个DSP模块不能达到所需性能要求时，可以灵活配置多个DSP模块；(2) 多处理器之间的数据交换通过主控MCU与各DSP的HPI接口实现，简化了硬件设计；(3) 实现了3路以太网接口，既提供冗余双以太网对外通信信道又可满足保护信息传输

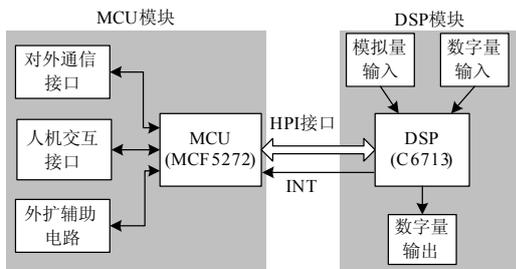


图1 硬件平台整体方案

Fig.1 Overall structure of the hardware platform

子网单独组网的要求；(4) 运算能力极大提高，I/O控制模块极大丰富并可根据需求灵活配置；(5) 模拟量采集的前向调理电路采用全差分输入更好地抑制共模干扰。

### 2.2 MCU模块设计

MCU模块的详细框图见图2，主要完成管理和通信功能，选用Freescape公司的32位ColdFire系列微处理器MCF5272作为主处理器芯片，内核总线频率可达66 MHz，外围接口十分丰富，集成了快速以太网控制器，通用串口控制器，USB接口控制器及SPI总线控制器等部件，为完成复杂的控制功能和快速以太网通信功能提供了硬件保证。本模块外扩了大容量的FLASH用于存放程序代码和形成VxWorks操作系统下的文件系统，方便通过网络访问装置存储器中的内容；SDRAM芯片用于程序运行空间，上电启动时将程序代码拷贝到SDRAM中运行；SRAM芯片用于存放掉电保持的记录，例如保护事项、运行记录、自检事项、录波数据等；EEPROM用于存放通道校准系数。通过FPGA对接收到的IRIG-B码进行解码，实现全站GPS对时。人机交互模块包括液晶显示和键盘操作两个部分。

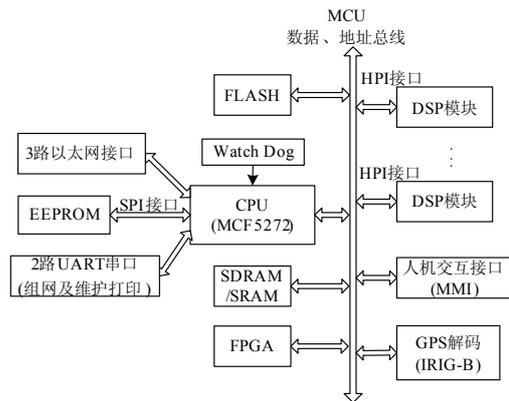


图2 MCU模块框图

Fig.2 Diagram of MCU module

MCF5272自带了一路自适应快速以太网控制器，另外增加了两片AX88796以太网控制器，构成独立的3路以太网结构。通过使用以太网物理层芯片LXT971A，实现了物理层双绞线接口和光纤接口的自适应。其中前2路以太网可以实现与站控层通信控制器的冗余网络联接，第3路以太网可以单独组网构成故障信息传输专网。

### 2.3 DSP模块设计

TMS320C6713数字信号处理器在电力系统自动化设备中已有成功应用案例，但作为微机保护的应用还不多见。该芯片是TI公司推出的面向中高端信号处理应用领域的浮点DSP，片内总线频率198 MHz，外

部总线频率66 MHz, 具备了大量适用于数字信号处理的优良特性, 指令执行的8级流水线结构; 两组共8个独立的功能单元每组包含1个乘法器和3个算术逻辑单元, 可同时工作, 并有交叉数据通路; 256位宽的甚长指令字结构可同时取出8条32位宽的指令。

DSP模块的详细框图见图3, C6713的启动可以有多种形式, 为了保持其工作的相对独立, 将程序代码存放在独立的FLASH中, 启动后将代码搬移到片内RAM中运行, 所有软件代码都运行在片内RAM, 经测试用C语言编写的24点全周傅立叶算法执行时间仅3  $\mu\text{s}$ , 完全可以保证在每个采样间隔内处理完所有模拟量的计算和保护逻辑判断。外扩的SRAM用于存放掉电保持的记录和配置信息。

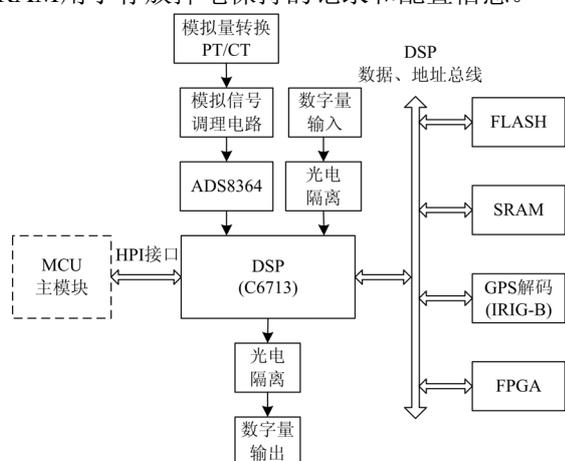


图3 DSP模块框图

Fig.3 Diagram of DSP module

## 2.4 输入输出模块设计

作为数据采集系统的核心, A/D转换芯片采用TI公司的ADS8364, 该芯片是独立6通道同步16位高速模数转换器, 转换时间仅4  $\mu\text{s}$ , 支持的最大信号频率250 kHz, 完全满足微机保护的高速高精度采样要求。

模拟信号前向调理电路的主要功能是将一次PT/CT输出的100 V/5 A信号通过小互感器转换为模拟电路可以处理的5 V电压信号, 同时通过差分电阻网络将单端信号转化成差分信号, 以利用ADS8364的全差分输入模式, 这样具有更高的抗共模干扰能力。调理电路通过施密特触发器将正弦信号处理成同频方波, 供给后续频率采集使用。为了适应不同保护对象的模拟量采集需求, 模拟量模块具有多种选配方式, 可灵活配置, 增强微机保护硬件平台的通用性。

数字量输入经光电隔离可以适应110 V或220 V电平, SOE记录的时间分辨率可到1 ms。对于复杂的

控制出口逻辑及闭锁功能利用FPGA实现, 同时完成地址译码、频率采集、采样定时和GPS (IRIG-B) 解码等工作, 这样可以大大简化外围电路的设计, 提高可靠性。出口控制采用编程校核模式, 并由启动继电器开放电源, 保证在干扰情况下可靠闭锁跳闸出口, 防止保护装置的误动作, 并可实现自检出错的自动闭锁。出口可灵活设置, 方便了现场的各种应用要求。

## 2.5 数据交互设计

正如引言中所述, 在多处理器构架的微机保护硬件平台中使用双口RAM进行数据交互应用非常广泛, 但是双口RAM存在一些缺陷, 采用双口RAM硬件设计数据线多, 控制线复杂, 需要占用大量的控制器件和I/O端口, 并且高速双口RAM价格昂贵。双口RAM适用于大量的高速数据交互的场合, 但是如果MCU和DSP的分工合理的话, 可将二者的数据交互量减少, 只保证最基本的保护定值、通道系数和各种事项的传递, 这类数据的实时性要求不高, 而传输的可靠性可以用CRC校验和软件措施保证。如果采取采样值直接交换的方式那么数据量巨大而且实时性和可靠性要求极高, 这样并不利于模块内聚性提高和相互之间耦合性的降低。综合考虑, 采用DSP的主机HPI接口进行数据交互。

HPI接口最大的特点就是硬件连接十分简单, 可以使主处理器MCU像访问自己的一个外设一样方便地访问DSP的任何存储空间(包括片内RAM, EMIF接口等), 且对该接口有主动控制权。在使用上, 开辟专门的DSP片内RAM区作为数据交互缓存, 使用软件实现访问的互斥功能, 并保证MCU享有访问优先权。

HPI接口提供固定地址模式和自动增量模式进行交互, 使用前首先将地址寄存器、控制寄存器初始化, 进行数据交互时, 根据采用的模式不同, 先将地址寄存器写入访问地址, 然后向数据寄存器写入数据即可完成, 操作十分方便。

## 3 结语

微机保护的硬件平台建设是一项极具挑战性的工作, 既要保证实用性和可靠性, 又需要有一定的前瞻性, 同时还要兼顾成本约束。在总结现有硬件平台成功经验的基础上, 综合考虑先进性、实用性、可靠性和成本因素设计了新型的多处理器构架的微机保护平台, 在此硬件平台上已经成功开发完成线路距离保护和变压器成套保护装置。

(下转第95页 continued on page 95)

务到多个 MMS 服务的映射,文中分别对上面情况进行了说明。最后,通过一个例子来说明 ACSI 服务和 MMS 服务之间的映射。

### 参考文献

- [1] 鲁国刚,任洛卿,等. 变电站自动化技术的发展综述. LU Guo-gang, REN Luo-qing, et al. A summary of the development of substation automation technology.
- [2] 谭文恕. 远动的无缝通信系统体系结构[J]. 电网技术, 2001, 25 (8): 7-10.  
TAN Wen-shu. Seamless telecontrol communication architecture[J]. Power System Technology, 2001, 25 (8): 7-10.
- [3] 何为. IEC61850 与中国变电站自动化[C]. 全国电力系统自动化学术交流研讨会论文集. 桂林: 2004. 264-268.  
HE Wei. IEC61850 and Chinese substation automation[C].//National electric power system automation conference this academic exchanges essays. Guilin: 2004. 264-268.

- [4] SONG Un Sik, KIM Sang Sik, Jang Buang Tea, et al. IEC61850-based models for power system quality/security data exchange[C].//Proceedings of CIGRE/IEEE PES International Conference on Electrical Engineering. Yongpyong(Korea): 2006.
- [5] Apostolov A, Brunner C, Chard K. Use of IEC61850 object models for power system quality/security data exchange[C].//Proceedings of CIGRE/IEEE PES International Symposium on Quality&Security of electric power delivery systems. Montreal(Canada). Piscataway (USA): 2003.155-164.

收稿日期: 2009-06-19; 修回日期: 2009-08-20

### 作者简介:

董科(1980-),男,硕士研究生,主要研究方向为数字化变电站的站控层; E-mail: wingsing111@163.com

关彬(1978-),女,硕士研究生,主要研究方向为信息系统。

(上接第 91 页 continued from page 91)

### 参考文献

- [1] 成敬周,张举,康怡,等. 基于可编程芯片及数字信号处理器的微机保护硬件平台设计方案[J]. 电气应用, 2004, 27 (10): 78-82.  
CHENG Jing-zhou, ZHANG Ju, KANG Yi, et al. PLD and DSP based hardware platform for digital protective relay[J]. Electrotechnical Application, 2004, 27 (10): 78-82.
- [2] 张桂青,冯涛,王建华,等. 基于片上系统的可配置微机保护硬件平台设计与实现[J]. 电力系统自动化, 2003, 27 (10): 81-84.  
ZHANG Gui-qing, FENG Tao, WANG Jian-hua, et al. Design and implementation of reconfigurable hardware platform based on SOC design for digital protective relay[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27 (10): 81-84.
- [3] 樊江涛,陈剑云,韦宝泉. ARM 处理器+DSP 构架的微机馈线保护装置的研制[J]. 电力系统自动化, 2005, 29 (2): 77-80.  
FAN Jiang-tao, CHEN Jian-yun, WEI Bao-quan. Microcomputer-based feeder protection an ARM & DSP architecture[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29 (2): 77-80.

- [4] 潘军军,尹项根,张哲. 关于两种微机保护软硬件配置问题的探讨[J]. 继电器, 2006, 34 (7): 78-82.  
PAN Jun-jun, YIN Xiang-gen, ZHANG Zhe. Research on the hardware and software structure of two microprocessor-based protections[J]. Relay, 2006, 34 (7): 78-82.
- [5] 张敬安,王若醒,吴述超,等. 基于 CPCI 总线的多 DSP 处理模块的设计及实现[J]. 继电器, 2007, 35 (14): 42-44.  
ZHANG Jing-an, WANG Ruo-xing, WU Shu-chao, et al. Design and implementation of multi-DSP module based on CPCI bus[J]. Relay, 2007, 35 (14): 42-44.

收稿日期: 2009-06-17

### 作者简介:

刘益青(1977-),男,工程师,博士研究生,主要研究方向为电力系统微机保护与自动装置;

高伟聪(1977-),女,讲师,本科,主要研究方向为嵌入式微处理器技术在微机保护中的应用; E-mail: my\_pikaqu@163.com

魏鹏(1980-),男,工程师,本科,主要从事电力系统微机保护与自动装置的研究与开发。