

关于两种微机保护软硬件配置问题的探讨

潘军军,尹项根,张哲

(华中科技大学电气与电子工程学院,湖北 武汉 430074)

摘要: 为满足微机继电保护装置的“四统一”标准,我国研制的第三代微机保护装置多采用 MPU +DSP的结构。该文描述了目前常用的 MPU +两 DSP结构和 MPU +单 DSP结构两种微机保护结构,分别给出了其保护软件的实现方法。同时在分析其在软硬件配置上的优缺点的基础上,针对两种微机保护结构进行了对比,指出 MPU +高性能单 DSP的微机保护装置的优越性。

关键词: 微机保护装置; 硬件结构; 软件结构; 保护管理机

中图分类号: TM774 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)07-0078-05

0 引言

微机保护装置是以中央处理器 CPU为核心,根据数据采集系统采集到的电力系统的实时状态数据,按照给定算法来检测电力系统是否发生故障以及故障性质、范围等,并由此做出是否需要跳闸或报警等判断的一种安全装置。然而一台完整的微机保护装置不仅包括以上保护功能,还包括事件记录和人机接口等功能。即微机保护装置应在系统发生扰动时正确动作,并且记录事件报告或者录波。然后运行人员可以通过人机接口(键盘、液晶)管理维护和查看报告进行事故分析。

目前,我国研制的微机保护的硬件先后经历了三代,已经由单 CPU结构发展到今天的第三代多 CPU结构。多 CPU的微机保护装置中,按功能配置多个 CPU模块,分别完成不同保护原理的多重主保护、后备保护及人机接口等功能。多 CPU结构的组合方式有很多,其中 MPU +DSP的结构比较常用。MPU完成保护装置的总起动元件和人机界面及后台通信功能,DSP完成所有的保护算法和逻辑功能。这样,将保护功能和其他扩展功能分离,一方面可以使 DSP专注于完成保护算法,降低软件设计的复杂程度以减少不必要的失误;另一方面,扩展功能可由更擅长网络通信、人机接口等功能的 MPU来完成,做到各有所长^[1]。

1 MPU +多 DSP的微机保护软硬件配置方案

1.1 基于 DSP TMS320VC33的微机保护的硬件结构

在复杂的超高压输电线路保护中,为增加微机保护的可靠性,常用的方法是主后备保护分板实现,采用两块保护 DSP互锁出口。

以 DL500型超高压输电线路保护装置为例。该保护装置由三块 CPU完成,一块 MPU(选用 ARM9200T)两块 DSP(选用 TMS320VC33)。其中一块 DSP完成主保护功能,如高频保护;另一块 DSP实现距离保护、零序保护、自动重合闸等功能。MPU作为保护管理机,主要承担保护装置整定与调试的人机接口、故障数据收集整理以及显示打印、实时时钟对时与广播、各 DSP运行状态监视、通讯协议转换、本地以及远程调试维护通讯等任务。

该微机保护装置的硬件结构如图 1所示。

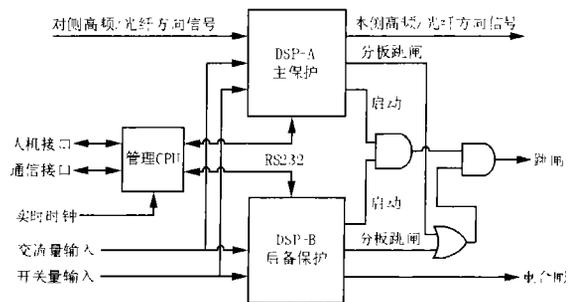


图 1 MPU + 2DSP微机保护装置硬件结构图

Fig 1 Hardware structure of MPU + 2DSP micro-computer protection

1.2 软件配置

1.2.1 保护 CPU的软件配置

在这种硬件方案里,由于保护功能由两块 DSP分板实现,管理 MPU无法同步收集两块 DSP的采样值和逻辑量等实时数据,所以该保护装置的事件记录和录波功能由各个保护 DSP单独完成。每块

DSP 都扩展有大容量的可保持存储器(如 NVRAM),以便于存放多份事件记录和录波文件。

微机保护 CPU 的软件一般由主程序和定时中断处理程序两个主要部分构成。

1)主程序主要包括上电过程硬件和软件的初始化和正常运行两部分。保护上电初始化时首先进行全面上电自检,包括定值、EPROM、E2PROM、RAM、开出通道以及 AD 回路等的自检。若自检发现异常,则闭锁保护并告警。反之,则初始化各变量,开放定时中断并填充采样缓冲区。最后置允许保护启动标志,进入保护正常流程。保护主程序的正常运行部分,主要进行通讯处理任务。

保护 DSP 程序结构如图 2 所示。

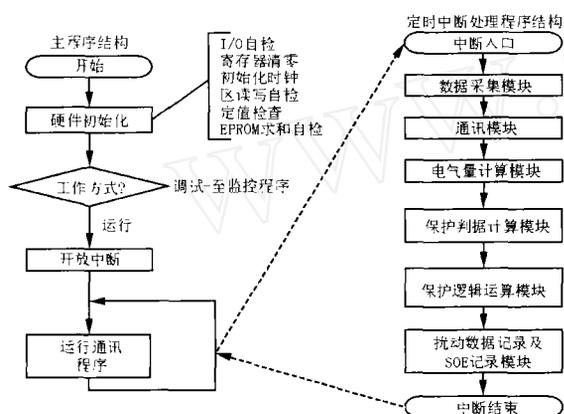


图 2 TMS320VC33 DSP 程序结构图

Fig 2 Structure diagram of TMS320VC33 DSP program

2)真正保护功能包括 A/D 转换、所有的保护需要的特征量以及保护判据的计算、保护逻辑的判断,均通过定时中断服务程序来实现的。

各模块的基本功能如下:

采样模块:通过 AD 转换依次采集各相电压、电流的瞬时值,经过前期处理后放在缓冲区内排队,以便后续计算。

通讯模块:主要完成物理层数据的收发。

电气量计算模块:根据采样所获得的瞬时值,经过差分滤波,利用富氏算法以及半周富氏算法计算各相电压、电流相量、序量及其突变量的实、虚部。

保护判据计算模块:利用前面计算出的各种相量、序量、突变量来计算启动元件、方向元件、阻抗元件、零序过流元件以及振荡闭锁元件等的判据。

保护逻辑运算模块:由前面算出的各种保护元件的结果,根据保护动作逻辑方案,进行逻辑运算,由最终结果决定是否发信、跳闸或给信号等等。

扰动数据记录以及 SOE 事件记录:当系统发

生扰动使保护启动,保护将保存启动前后的暂态数据;若保护动作如跳闸、重合或加速跳等也将保存这些事件前后的暂态数据以便于事故分析。

在上述各功能模块中,保护判据计算模块和保护逻辑运算模块是定时中断服务程序的核心。

1.2.2 管理 CPU 的软件配置

保护管理机主要承担保护装置整定与调试的人机接口、故障数据收集整理以及显示打印、实时时钟对时与广播、各 DSP 运行状态监视、通讯协议转换、本地以及远程调试维护通讯等任务。其功能可以分为两大部分,一是借助键盘、液晶显示实现的人机对话功能,运行人员可以通过人机对话接口进行整定值维护、开入开出调试、正常运行时电气参量监测、故障报告和 SOE 报告的上传等。二是通讯功能,实现管理机对各个保护 DSP 的通信任务,实现上层管理软件(如综自系统)和保护装置之间的通讯任务。保护管理机的绝大部分的功能的实现都需要依靠通讯规约与保护 CPU 进行数据交互。

保护管理机的通讯协议有两种,一是 IEC60870-5-103 标准,也就是 103 规约;另一种就是国际电工委员会 2003 年发布的 IEC61850 标准。IEC61850 的通讯协议实现需要 TCP/IP 协议的支持,考虑到在 DSP TMS320VC33 中实现 TCP/IP 协议比较困难,因此保护管理机的通讯协议仍然采用目前比较普遍的 103 规约。

1.3 MPU + 2DSP 结构的微机保护装置的优缺点

1.3.1 该微机保护配置的优点

1)两块 DSP 从数据采集系统开始就各自独立,并分别有各自独立的启动元件。两块 DSP 的启动元件的动作接点串联于出口继电器电源,只有在两者均动作的情况下才开放保护出口电源,有效地防止由于某 DSP 单元故障而导致保护误动,提高保护动作的可靠性。

2)在这种配置下,两块 DSP 分别完成主保护和后备保护功能,每块保护 DSP 的负荷都不会很重,也就是中断处理的最长时间可以有效地控制在 $T_s/2$ (T_s 为采样周期)内,这对软件地可靠性比较有利。采用 TMS320VC33 的 DSP 完成后备保护,20 点采样,一个中断处理的最长时间(一般指故障处理状态下的时间)达 $500 \mu s$,基本满足软件可靠性的指标。

3)当系统发生扰动时,扰动数据记录和 SOE 事件记录功能将有效地保存扰动前后的暂态数据,并记录保护动作信息以便于事故分析。

1.3.2 该微机保护配置的不足

1)在这种配置方案里,保护 DSP要扰动数据记录、SOE事件记录和通信等辅助功能。所以每块 DSP都必须扩展有大容量的非易失性存储器(如 NVRAM),以便于存放多份 SOE记录和录波文件。而保护管理机要管理两块 DSP的扰动数据记录和 SOE记录等,也必须有大容量的非易失性存储器。这将大大增加装置的成本。

2)两块保护 DSP分别实现主保护和后备保护功能,使得主后备保护之间的配合实现起来比较困难。

3)一般情况下,系统发生故障时主后备保护均会动作,两块 DSP就会形成两份录波文件,多份重复的 SOE记录,不仅增加了保护 DSP的负荷,也给运行人员做事故分析造成不便。

4)由于上层管理系统(如 SAS系统)与装置的通讯接口不易直接接两块保护 DSP的串口,一般是接管理 MPU的串口,通过管理 MPU转发通讯数据。这样以来,管理 MPU就需要和保护 DSP以及上层管理系统三方协调通信,使得保护管理机的通信协议变得比较复杂,而且这种结构也不利于实现 IEC61850标准。

5)MPU对两个 DSP以及上层管理系统(如 SAS系统)的通讯接口都是串行接口,通讯速率比较满,RS-232/485/422的最大通讯速率 115 200 bps,也就是 1 ms最多传送 11个 8 bit的字节数据,这将造成通讯瓶颈。如上层管理软件从 DSP上传一份 20K的录波文件平均耗时约 20 min。

2 MPU+单 DSP结构的微机保护硬软件配置方案

2.1 基于 DSP TMS320VC6713的微机保护硬件结构

随着 IT技术的不断进步,DSP的运算速度有了较大的提高,将复杂的主后备保护集中在一块 DSP实现已成为可能。但是考虑保护运行的可靠性,我们可以采纳 MPU+多 DSP结构的启动互锁形式,在管理 MPU中增加启动元件,用管理 MPU与保护 DSP实现启动互锁。

管理 MPU的功能:人机接口+通讯+启动闭锁,可选用 ATMEL公司的 AT91RM9200芯片。该芯片是基于 ARM920T内核,系统速度 220 MHz。保护 DSP的功能:主保护+后备保护(距离保护),选用 TI公司的高性能浮点 DSP TMS320C6713,它的时

钟频率达 300 MHz,浮点运算速度 1800MFLOPS。

结合 MPU+多 DSP结构中的软硬件不足,我们可以保护 DSP只做采样、保护相关的判据计算和逻辑判断以及跳闸等,而 SOE事件记录和录波文件则由管理 MPU形成。而管理 MPU要形成事件记录和扰动录波文件,就必须同步读取保护 DSP每个中断的所有逻辑量和采样值,不能掉点。也就是说,管理 CPU至少要能够获取保护 DSP每个中断的采样值和逻辑量,假设保护 DSP有 12个模拟量通道,400个逻辑量,逻辑量按位记录,则每个中断保护 DSP都要上传 $(12 * 2 + 400/8) = 74$ (BYTE)的数据给管理 MPU。由于普通串口的速度最大 115 200 bps,也就是 1ms最多传送 11个字节的数据,显然不能满足要求。因此在这种软件配置方案中,装置必须采用速度更高且可靠性更高的数据通信链路,如利用双口 RAM,或利用 TMS320C6713的 HPI口实现保护 DSP和管理 MPU之间的数据交互。至于同步的实现,可以把管理 MPU的某一外部中断信号引至保护 DSP,由保护 DSP触发管理 MPU的外部中断,管理 MPU可以在该外部中断的服务程序里实现读取采样值逻辑量,并根据这些数据进行事件记录和扰动录波等。

装置硬件结构图如图 3所示。

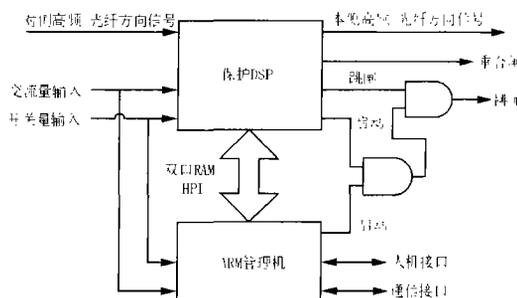


图 3 MPU+单 DSP微机保护装置结构图

Fig 3 Structure diagram of MPU+DSP micro-computer protection

DSP仅扩展 256K ×32位片外高速 RAM存贮器和做定值存放用的 EEPROM,其保护程序存储于 ARM的 FLASH存储器,ARM与 DSP之间通过 DSP的 HPI口连接,DSP启动方式选择从 HPI口启动。ARM不仅外扩大容量的 SDRAM,液晶,键盘,串口等实现人机对话功能,还外扩有大容量带电保持 NVRAM存贮器、串行 dataflash以及 10M/100M自适应以太网。ARM提供 Watchdog,负责在程序异常时复位 DSP程序。

2.2 软件配置

2.2.1 保护 CPU 的软件配置

在这种硬件结构里,保护 DSP 只做采样、保护相关的判据计算和逻辑判断以及跳闸等,而 SOE 事件记录和录波文件则由管理 MPU 形成。

保护 DSP 的程序流程如图 4 所示。

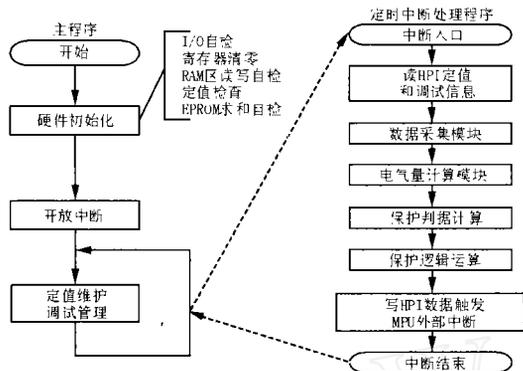


图 4 TMS320C6713 DSP 的程序结构图

Fig 4 Structure diagram of TMS320C6713 DSP program

每个中断里,保护 DSP 先进行采样、保护相关的相量计算和逻辑判断等,然后再把该点所有通道的采样值和所有逻辑量及辅助信息(自检状态信息)填入 HPI 缓冲区,并触发管理 MPU 的外部中断,让管理 MPU 读取这些数据。保护 DSP 的主程序在完成硬件初始化并开放中断后,不需要做复杂的通讯处理,仅做整定值修改以及开入开出调试管理。

至于保护 DSP 的整定值修改以及开入开出调试,我们可以在 DSP 的 HPI 缓冲区里预留一块区域,专门用于管理 MPU 下传定值和调试信息。

2.2.2 管理 CPU 的软件配置

管理 CPU 的软件可以分为三大部分:人机界面,通讯模块,中断处理模块。人机界面主要指整定值维护与开入开出调试的人机接口、故障数据显示打印、DSP 运行状态监视等。通讯模块主要承担通讯协议转换、扰动数据及 SOE 事件记录上传、本地与远程调试维护等通讯任务。中断处理模块则承担该硬件结构中管理 MPU 的主要任务:保护启动 + 扰动数据记录。

管理 MPU 上电后,进入人机界面前,首先要把 DSP 的程序从自己的 FLASH 中读出,通过 HPI 下传给保护 DSP,使 DSP 进入正常的保护程序。

进入外部中断处理程序后,管理 MPU 首先读取 DSP 的 HPI 缓冲区的数据,也就是保护 CPU 的上送数据,然后根据这些数据判断是否形成扰动报告。

管理 MPU 的软件结构如图 5 所示。

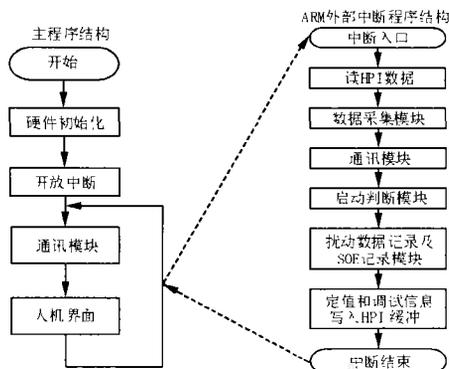


图 5 ARM 管理 MPU 的程序结构图

Fig 5 Structure diagram of ARM program

2.3 MPU + 单 DSP 结构的微机保护装置的优缺点

2.3.1 该微机保护配置的优点

1) 管理 MPU 和保护 DSP 有各自独立的数据采集系统,并分别有各自独立的启动元件。其启动元件的动作接点串联于出口继电器电源,只有在两者均动作的情况下才开放保护出口电源,有效地防止由于保护 DSP 单元故障而导致保护误动,提高保护动作的可靠性。

2) 由于保护 DSP 采用高性能的 DSP,且无扰动数据记录、SOE 记录以及通讯等任务,CPU 的负荷不会很重,中断处理的时间可以有效地控制在 $T_s/2$ (T_s 为采样周期)内,有利于保护软件的可靠运行。该装置的 DSP TMS320C6713 处理器完成主保护(光纤电流差动)、后备保护(距离保护、零序保护和自动重合闸),一个中断处理的最长时间(一般指故障处理状态下的时间)达 $400 \mu s$,满足软件可靠性的指标。

3) 主保护和后备保护功能集中在一块保护 DSP 中实现,使得主后备保护的配合比较容易实现。

4) 在这种配置方案里,保护 DSP 不需要扰动数据记录、SOE 事件记录和通信等辅助功能。所以只需要在管理 MPU 扩展大容量的非易失性存储器(如 NVRAM)即可,用于存放多份 SOE 记录和录波文件。这将大大降低装置的成本。

5) SOE 事件记录和录波文件直接由管理 MPU 形成,易于管理,且一次扰动形成一份录波文件,即节省了存储空间,也方便运行人员做事故分析。

6) 保护管理机和保护 CPU 之间无复杂的数据传送,可以不需要复杂的通信规约,保护管理机则可以方便的用嵌入式系统实现 IEC61850 通讯规约,或者采用简单的裸片编程实现 103 规约的被动通讯。

7) 管理 MPU 与保护 DSP 之间通过 HPI 传送数据,速度较快,满足实时性要求。在管理 MPU 采用

嵌入式操作系统的情况下,上层管理系统(如SAS系统)可以通过以太网接口,实现宽带高速通讯。

2.3.2 该微机保护配置的不足

1)由于硬件采用工业级控制芯片AT91RM9200和T的高性能浮点DSP TMS320C6713,价格比较昂贵。

2)由于AT91RM9200的浮点运算能力较差,所以为节省中断时间,其自身的AD数据采集,电气量计算和启动判断算法等模块不宜采用浮点算法实现,常采用定点算法。

3 结束语

通过对比两种微机保护软硬件配置方案的优缺点,不难发现,采用高性能MPU+高性能单片DSP结构的微机保护装置具有众多优点,其可以在保证装置硬件可靠性的前提下,提高微机保护软件的易实现性。这种管理MPU与保护DSP快速数据交互,集中管理数据文件的软件配置方法,使得管理MPU和保护DSP可以很方便兼容IEC61850标准。

Research on the hardware and software structure of two microprocessor-based protections

PAN Jun-jun, YN Xiang-gen, ZHANG Zhe

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: To meet the four principles of the microprocessor-based relay, the third generation microprocessor-based relay made in China always has the structure of MPU + DSP. This paper describes that two kinds of microcomputer-based protections structures which are based on MPU + 2DSP structure and MPU + 1DSP structure respectively, and gives their methods of programming. At the same time, through analyzing the advantages and disadvantages of these two relay structures, it is easily accepted the concept that the relay structure with one MPU and one high performance DSP has more superiority.

Key words: microprocessor-based protection; hardware structure; software structure; protection manage computer

(上接第77页 continued from page 77)
开关,将导致开关长时间非全相运行,进一步增加了事故处理的复杂性,因此建议适当采用第二组分闸线圈来实现手动分闸;

5)如果站内500kV开关大多具有重合闸功能,全部集中在一条直流母线上会使直流负荷在两条母线上失去平衡,由于35kV保护设备只有一套

参考文献:

- [1] 刘强. 微机保护装置中央处理器的选择探讨[J]. 江西电力职业技术学院学报, 2003, 16(3): 20-21.
LU Qiang. Research on Choosing the Processor of the Micro-computer Protection[J]. Journal of Jiangxi Electric Vocational and Technical College, 2003, 16(3): 20-21.
- [2] 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, 1991.
CHEN De-shu. Principle and Technology of Computer Relay Protection[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1991.

收稿日期: 2005-09-05; 修回日期: 2005-10-14

作者简介:

潘军军(1980-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统自动化和微机继电保护;E-mail: pjjlyx@sina.com

尹项根(1954-),男,教授,博士生导师,从事电力系统继电保护、变电站自动化控制及电力系统控制的研究工作;

张哲(1962-),男,教授,博士生导师,从事电力系统继电保护和自动化控制等方向的研究工作。

保护装置,且没有重合闸功能,可以通过它来调节直流负荷的平衡。

收稿日期: 2005-08-08

作者简介:

陈志军(1976-),男,硕士研究生,工程师,现从事变电运行工作。E-mail: laugher_007@sina.com

The influence of load distribution in 500 kV substation DC system on protector

CHEN Zhi-jun

(Suzhou Power Supply Company, Suzhou 215004, China)

Abstract: The connection scheme, special operation way and load of a representative DC system in 500 kV substation are introduced in this paper. And the different results caused by its different load distribution are detailed when fault occurred on both DC system and the grid. This paper puts forward some advice on improving the DC system reliability and stability different from traditional design mode.

Key words: substation; substation power supply; DC system; load distribution