

基于 DSP 的双处理器微机保护

刘 辉¹ 张桂枝² 乐秀 1

(1. 河海大学电气工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 福建省平和县水利水电局, 福建 平和 363700)

摘要: 介绍了数字信号处理器(DSP)的特点, 分析了微机保护系统的现状. 根据微机保护系统的发展趋势和 DSP 的特点, 设计了基于 DSP 的主从式双处理器微机保护系统. 该系统利用双端口 RAM (DPRAM) 实现两处理器的通信, 运用递推最小二乘法实现保护算法.

关键词: 微机保护, 数字信号处理器, 递推最小二乘法

中图分类号: TM77 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1980(2001)03-0060-05

在微机保护技术蓬勃发展的同时, 还存在一些问题. 首先, 现在的算法为数众多, 但是其中一些需要复杂计算的算法, 由于受到硬件的限制而得不到应用. 如卡尔曼滤波算法, 用在多变量的估计时, 需要进行矩阵运算, 而一般的微型计算机很难满足速度上的要求, 致使该算法在微机保护中未得到很好的应用. 在较长一段时间里处于理论研究阶段^[1]. 其次, 计算机网络通信技术的发展日新月异, 电力系统信息管理的自动化水平也逐步提高, 与网络的通信和前沿的监测任务都希望由保护来承担^①, 从而对处理器的能力提出了更高的要求.

目前, 微机保护系统多为单 CPU 结构, 全部的控制、监测和运算都由 CPU 来完成, CPU 只能串行地完成任务. 单 CPU 微机保护的运行速度在很大程度上取决于 CPU 的速度, CPU 成为系统性能提高的瓶颈, 则在要求高速采样的应用场合, 单 CPU 系统显得力不从心. 因此, 采用多 CPU 型的微机保护硬件结构是必然的.

高速数字信号处理芯片(DSP)技术的发展, 为开发一种速度快、处理能力强的微机保护系统奠定了基础. 近年来, 人们已经开始将 DSP 芯片用于某些电力系统产品的开发研究, 并获得了成功^[2].

为此, 我们采用 DSP 芯片和一个通用处理器, 设计了一个主从式双处理器微机保护系统. 该系统采用一个 DSP 芯片负责控制数据采集和执行数据滤波的任务, 并通过一个双端口 RAM 与另一个通用处理器实现数据通信. 而通用处理器主要负责控制逻辑运算、输入输出操作及与外部的通信等功能.

1 微机保护系统的现状

目前的微机保护系统多为单 CPU 结构, 来自 CT、PT 的信号经过采样保持、模/数转换后, 进入微处理器进行处理, 而数据处理的整个过程都需要 CPU 的参与控制. 在单 CPU 系统中, CPU 除了提供采样脉冲、发多路选通信号、启动模/数转换以外, 还负责对数字信号进行数字滤波和实现保护算法. 此外, 为确保系统运行的可靠性而定期执行的自检程序, 为方便运行人员的操作而设置的人机接口程序, 也都由 CPU 执行. 可见, 在单 CPU 系统中, 全部的控制、监测和运算都由 CPU 来完成, 致使 CPU 只能串行地完成任务, 这将造成两方面的结果: 一是保护的运行速度很大程度上取决于 CPU 的速度, CPU 成为系统性能提高的瓶颈, 对于要求高速采样的应用, 系统显得力不从心; 二是选择算法时必须放弃虽有较满意的性能, 但计算量大的方案.

传统的单处理器微机保护硬件结构如图 1 所示. 从运行和可靠性角度来分析, 该结构存在不足: 容错能力差, 可靠性低, 采样/保持器件之后的任一元件损坏都可能导致装置停止工作. 整套保护中各个保护功能全由一个 CPU 分时承担, 任何一处程序跑飞都可能使全套保护工作混乱; 由于单 CPU 系统软硬件采用串行工作方式, 任何新功能的增加都要对原装置作通盘的考虑和调整, 因此开发扩充新的功能困难; 系统故障的诊断不易定位, 维修困难.

收稿日期: 2000-06-02

作者简介: 刘辉(1965—), 女, 广西南宁人, 硕士, 电力系统及其自动化专业.

① Benmouyal G. 用于升压变压器的组合式数字综合差动和电压/频率继电器的设计. 电力系统继电保护论文译文集, 南京自动化设备总厂技术情报室, 1993.

因此,可以对单 CPU 系统进行一些改进:一种设计是选用高性能器件减少 S/H,MUX,ADC 各环节的响应时间,以改善整个系统的速度,但实际的芯片速度受到限制,而且将增加成本.另一种设计是利用模/数转换的时间,让 CPU 执行其它的任务,等模/数转换完成并发出中断申请时,CPU 再响应中断,读取转换的结果,并启动下一通道转换.这种设计提高了时间的利用率,但增加了 CPU 响应中断、保护现场和恢复现场的工作量,在 CPU 速度不高时有可能得不偿失.另外,本次的采样数据要到下一个采样周期才处理,增加了反映故障的时间.

在国内微机继电保护装置中,还广泛应用突变量启动的方法来捕获故障可能.采用该方法,在一个采样间隔内,正常运行时只要求完成相对较简单的运算,而只在判别有故障时,才中断正常采样,进行精确的控制逻辑运算,以识别故障,从而降低了对保护系统运算的要求.但在具体实践中,启动门槛值的整定较困难:过低会引起突变量频繁启动,从而降低计算效率,过高可能使保护在被保护对象轻微故障时无法启动,造成拒动.

因此,自 80 年代以来,国内外逐渐开始研制多 CPU 型微机保护硬件结构,各种方案总的来说可分为两类:一类是将保护功能和人机界面等功能分开,由不同的 CPU 分别承担电气量的采集与变换、控制逻辑运算、人机对话和打印输出、与上位机通信、数字量输入和处理等功能.这样的系统特点是模块化,能够实现故障定位到板,开发保护的新功能方便,但接线复杂,各板间联络线多,会影响系统的可靠性;CPU 数目多,使得装置体积大且成本也较高.另一类是多 CPU 并列处理式结构,不同保护功能(高频、距离等)由不同的 CPU 完成.该系统的特点是每个保护插件的硬件完全相同,只是 EPROM 中的运行程序不同,各板间的联络线很少,因而维护检修方便,抗干扰能力强.此外,也可以只将信号采集与处理的功能分离出来,由一个专用 CPU 承担,而保护的其余任务仍旧留给主 CPU 完成,如本文所介绍的主从式双处理器系统,该系统具有第一类方案的优点,但其 CPU 插件少,板间联络线少,维修方便,体积小成本也较低,是理想的微机保护硬件结构的设计方案.

在微机保护系统中,数据的采集与处理所占用的时间,较运行保护运算程序的时间要长得多.因此,在双处理器微机保护系统中,由于保护运算的速度已达到较高的水平,要提高保护运行的速度就必须提高数据采集与处理的速度.美国 Texas 公司的 DSP 芯片 TMS320C32 的指令周期为 33/40/50 ns,且大多数指令可在单周期内完成,而 MCS-96 系列的通用处理器,最高的主频也已达 20 MHz,相应的时钟周期为 100 ns,考虑到一条指令所需的周期数,其速度远不如 DSP 快.由于 DSP 系统中的数字部分高度的规范性,使大规模集成更为便利^[3].

在国外,已有将 DSP 用于继电保护系统的先例,如由加拿大魁北克水电局研制,1988 年投运于 Carillon 水电厂的发电机、升压变压器组数字保护,该装置以两片 TMS320 系列的 DSP 芯片构成两个计算插件,分别实现不同的保护算法,而主处理器则负责执行监控子程序.通过对该系统的运行情况的分析评价,认为由通用处理器和 DSP 构成的多处理器微机保护系统是理想的方案^[2].本文即介绍一种基于 DSP 的双处理器微机保护系统.

2 基于 DSP 的双处理器微机保护系统设计

2.1 DSP 芯片简介^[3]

DSP(Digital Signal Processor)即数字信号处理器,是一种特别适用于进行数字信号处理运算的微处理器,其主要的应用是实时快速地实现各种数字信号处理.为了快速地实现数字信号处理运算,DSP 芯片都采用特殊的软硬件结构.以下以美国 Texas 公司 TMS320 系列的 DSP 芯片为例,简要介绍 DSP 芯片的基本结构.

2.1.1 改进型哈佛结构

哈佛结构是不同于传统的冯-诺曼(Von Neuman)结构的并行体系结构,其主要特点是将程序和数据存储

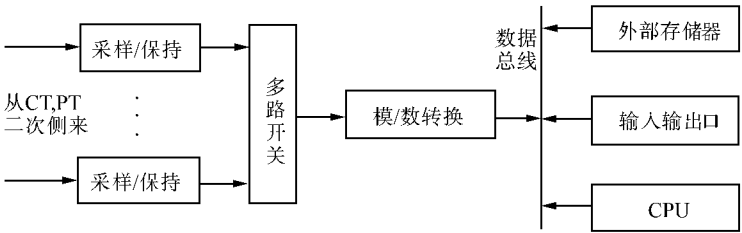


图 1 单处理器微机保护硬件结构

Fig.1 The hardware structure of microprocessor protection

在不同的存储空间,即程序存储器和数据存储器是两个相互独立的存储器,每个存储器独立编址,独立访问.与两个存储器相对应的是系统中设置了程序总线和数字总线两条总线,从而使数据的吞吐率提高了一倍.由于程序和数据存储器在两个分开的空间中,因此取指和执行能完全重叠运行.TMS320 芯片的硬件基本结构采用的是哈佛型结构,同时,为了兼顾灵活性的要求和进一步提高速度,对该结构作了适当改进,称为改进型哈佛结构,见图 2.

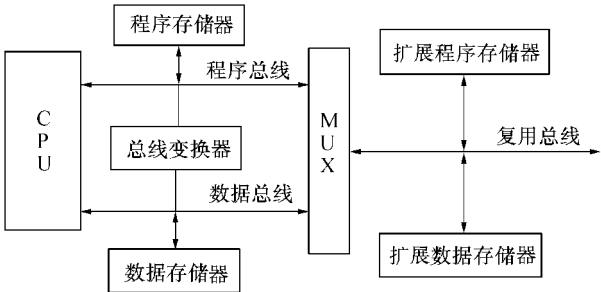


图 2 改进型哈佛结构示意图

Fig.2 Improved Harvard structure

2.1.2 流水线

与哈佛结构相关,DSP 芯片广泛采用流水线以减少指令执行时间,从而增强了处理器的处理能力.TMS320 系列处理器可以并行处理 2~4 条指令,每条指令处于流水线上的不同阶段.图 3 示出一个三级流水线操作的例子.

在三级流水线操作中,取指、译码和执行操作可以独立地处理,这可使指令执行能完全重叠.在每个指令周期内,三个不同的指令处于激活状态,每个指令处于不同的阶段.可见,使用并行指令能提高一个周期内完成的操作数量,当单条指令执行周期数相同时,整机运算速度将大大提高.

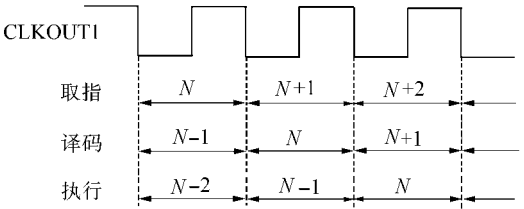


图 3 流水线工作方式

Fig.3 Assembly line mode

2.1.3 专用的硬件乘法器

在一般形式的 FIR 滤波器中,乘法是 DSP 的重要组成部分.对每个滤波器抽头,必须做一次乘法和一次加法.乘法速度越快,DSP 处理器的性能就越高.在通用处理器中,乘法指令是由一系列加法来实现的,故需许多个指令周期来完成.相比而言,DSP 芯片的特征是有一个专用的硬件乘法器,乘法可在一个指令周期内完成.可见,采用 DSP 可降低 FIR 抽头的计算时间.

2.1.4 特殊的 DSP 指令

为了适应实时数字信号处理的要求,DSP 芯片还设置了一些特殊的指令,如 TMS320C3X 系列的芯片为 FIR 滤波运算设置了乘法累加器,从硬件上实现了乘法器与累加器的并行工作,从而可以在一个指令周期内完成一次乘法,并将上一次的乘积求和.因此,对于 N 阶 FIR 滤波只要 N 个指令周期就能得到一点输出.另外,DSP 还专门设置了硬件数据指针的逆序寻址功能,以加快速度傅立叶变换过程中进行数组逆序寻址运算的速度.

2.2 系统设计

2.2.1 基于 DSP 的双处理器微机保护的优点

基于以上分析,硬件的特殊结构及集成电路的优化设计,使得 DSP 芯片具有很高的运行速度,将 DSP 芯片作为并行的处理器的设计,充分发挥 DSP 的数字信号处理能力,可缩短整个系统的运行时间.在基于 DSP 的双处理器微机保护系统中,将控制数据采集部分和执行数据滤波的任务都交给 DSP 承担,既可以利用 DSP 强大的数字运算能力来进行快速、高精度的滤波计算,又可以减轻主处理器的负担,使主处理器有充分的时间进行高精度的保护运算.

由于保护和监控数据采集处理的工作量很大,通用微处理器的数据处理速度达不到要求,在以往的系统中,保护和监控功能都是由两个相互独立的处理器分别实现的.基于 DSP 的强大的数据处理能力,保护和监控的数据采集处理操作由一个 DSP 处理器完成即可满足要求.从而,用基于 DSP 的双处理器系统可以构成

单机实现保护监控的保护系统,该系统只用一套微处理器系统及相应的数据预处理元件,硬件设计简化,装置体积小、成本低。

2.2.2 系统软件设计

基于 DSP 构成的微机保护系统,由于 DSP 处理器的特性和以往的通用处理器不同,计算能力有了很大的提高,使计算过程简单、计算量小不再是评价算法的首要指标,在算法的收敛速度和估计精度方面则提出了更高的要求。

基于以上所述,可在保护算法中引入最小二乘法(Least Error Squares)^[4],即将最小二乘法用于微机保护中,利用保护安装处的电压电流的采样值计算阻抗的方法,简称 LES 法。由于 LES 法的数据窗长度是固定的,而且是非递推的,每个新采样数据进入数据窗都会将最早的采样数据移出窗外,使数据长度不变,而相应的系数矩阵也要进行数更新,必须重新求解方程,因此 LES 法的计算量很大。为了减少计算量,可将 LES 法改进成递推最小二乘法(Recursive Least Error Squares algorithm)^[5],即 RLES 法。采用 RLES 法在增加一个新采样后,仅对原估计值进行某些修正,以满足实时计算的要求。RLES 法是变数据窗的,第一个采样数据到来之后就能算出结果,随着数据窗长度的增加,估计的精度逐渐改善。当采样数据远多于待估计的数据时,RLES 法的计算量较常规的非递推 LES 法的计算量显著减少。

基于 DSP 的主从式双处理器微机保护系统,DSP 与通用处理器各自的软件系统是相对独立的,它们只通过共享存储器实现数据信息的传递转换。

DSP 以中断方式实现对 n 路数据的采样,其中断服务程序框图如图 3 所示。为实现递推计算,DSP 所采集的数据采用环形存贮技术存贮,环形缓冲区的长度可容纳 n 个周波的数据。数据处理的内容包括各种电量的计算及标度变换等。而通用处理器则采用多任务操作系统的设计思想,设计了一个微型多任务调度内核,该调度内核将 CPU 时间资源划分为基本时间片,通过在不同的时间片分配给 CPU 不同的任务,实现多任务运行机制。

主从式双处理器系统中,两处理器可作为前后台处理。正常运行时,通用处理器(MPU)作为前台机,执行人机接口及管理通讯任务,并定时执行自检程序;DSP 作为后台机,执行数据采集及处理任务,也定时执行自检程序。通过程序设计,在 DSP 中设置一个较一般故障时的整定值 S_{MPU} 大的严重故障整定值 S_{DSP} ,并保留一个 I/O 口直接出口操作。当 DSP 自检错误或者严重故障时的故障值较整定值 S_{DSP} 大时,DSP 转为前台,直接出口操作;MPU 转为后台,继续执行其正常工作任务。

2.2.3 系统硬件设计

在由通用微处理器和 DSP 组成的主从式双处理器微机保护系统中,DSP 充当从属机,来自 CT、PT 的信号在经过采样/保持,多路转换,模/数转换后,进入 DSP 进行处理。该过程中,DSP 提供采样脉冲、发多路选通信号和启动模/数转换,对数字信号的数字滤波也由 DSP 完成。最后,DSP 将经过处理的数据传送给通用微处理器。通用微处理器是主机,负责对 DSP 送来的数据按保护算法进行计算,在加以判别后作为控制出口回路的依据,主机还负责管理人机接口和开关量读入。在系统正常工作时,两处理器只通过共享存储器实现数据的传递和转换。

基于 DSP 的主从式双处理器微机保护系统,其硬件结构采用了一个 DSP 芯片和一片 80C196 单片机双处理器并行处理的技术,如图 4 所示,两者通过双端口 RAM 实现高速数据通信。双端口 RAM 采用 IDT7005,该芯片具有两套独立的控制逻辑与数据存取端口,当同时操作同一存贮单元时,片内仲裁逻辑将只允许从一端口进行读写操作,而封锁另一端口。被封锁的端口有 BUSY 线被拉低,从而使连接在该端口的 CPU 处于指令保护状态,待 BUSY 变高后,CPU 可继续操作。每次采样,DSP 将启动 S/H、多路开关 MUX 和 A/D 转换器,分别将各路模拟通道的模拟信号转换成数字信号,进行各种数字信号处理计算后,将计算结果送入双端口 RAM 以供

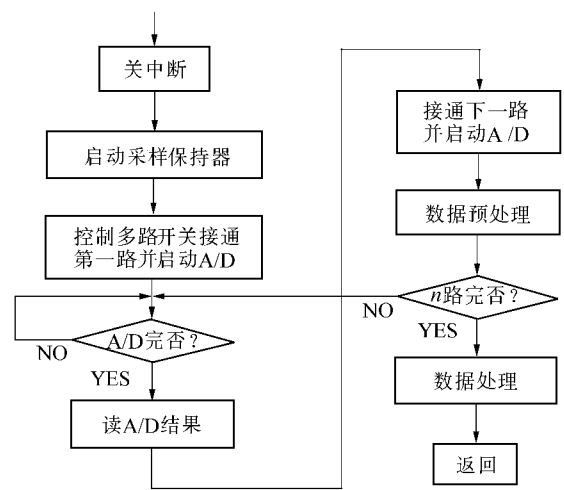


图 4 DSP 的采样中断处理程序框图

Fig. 4 DSP program of data-acquisition and interruption

待 BUSY 变高后,CPU 可继续操作。每次采样,DSP 将启动 S/H、多路开关 MUX 和 A/D 转换器,分别将各路模拟通道的模拟信号转换成数字信号,进行各种数字信号处理计算后,将计算结果送入双端口 RAM 以供

80C196 读取,80C196 负责出口控制操作,还负责管理人机接口的键盘显示器。

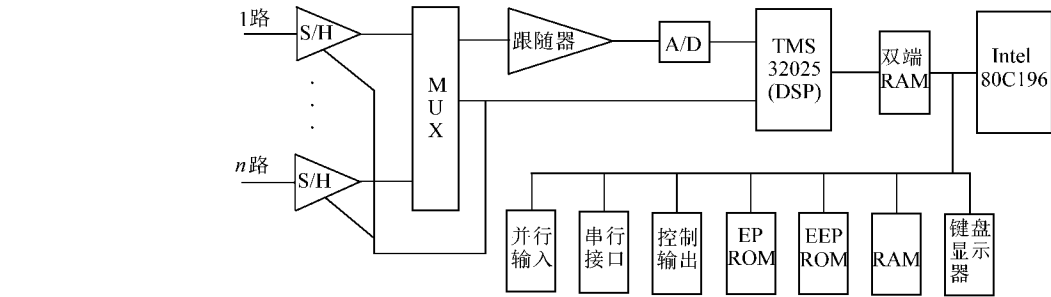


图 5 硬件结构

Fig.5 Hardware structure

3 结 论

本文提出的基于 DSP 芯片的双处理器微机保护系统,充分利用了 DSP 芯片强大的数字处理能力,使保护的整体运算速度得到提高,RLES 法的引用则使保护运算的精度也得到提高.该系统符合当前电力系统微机保护快速精确的发展趋势,使以往由于计算速度达不到要求而未能充分利用的有效算法得以应用。

参考文献：

[1] 于九祥.卡尔曼滤波技术在微机保护上的应用[J].继电器,1998(4) 20 ~ 24.

[2] 孟昭勇.一种多功能电力检测装置的研究[J].继电器,1998(3) 27 ~ 30.

[3] 张雄伟.DSP 芯片的原理与开发应用[M].北京:电子工业出版社,1997.75 ~ 83.

[4] Sachdev M S ,Nagpal M. A Recursive least error squares algorithm for power relaying and measurement application[J]. IEEE Transactions on Power Delivery ,1991 1(3) 54 ~ 62.

[5] 谭晓.基于数字信号处理器的微机保护研究[D].南京:河海大学,1999.

Dual-microprocessor Protection Based on DSP

LIU Hui¹ ,ZHANG Gui-zhi² ,LE Xiu-fan¹

(1. College of Electrical Engineering ,Hohai Univ. Nanjing 210098 ,China ;
2. Bureau of Water and Hydropower of Pinghe ,Pinghe 363700 ,China)

Abstract :Based on the development of conventional protection ,the developmet trend of power system protection and the characteristics of digital signal processors (DSP) ,a dual-processor protection system with DSP are described in this paper. This system uses Dual Port Random Access Memory (DPRAM) to realize the communication between two processors and chooses the recursive least error squares (RLES) algorithm.

Key words :microcomputer protection ;DSP ;RLES algorithm