第 27卷第 2期 河 北 科 技 大 学 学 报 Vol 27, No 2
2006年 6月 Journal of Hebei University of Science and Technology June 2006

文章编号: 1008-1542(2006)02-0165-04

数字信号处理器 TMS320F2812 在智能脱扣器设计中的应用

张 华[1], 王震洲[2], 刘教民[1]

(1. 河北工业大学计算机科学与软件学院, 天津 300130; 2. 华北电力大学电气工程学院, 河北保定 071003)

摘 要: 介绍了以 TMS320F2812 DSP处理器为核心的智能脱扣器的功能和工作原理, 以及硬件和软件设计的关键技术, 设计采用 FFT算法对电网谐波进行了分析和处理, 利用 CAN总线和 DeviceNet协议实现电网系统运行的遥测、遥信、遥调和遥控功能。

关键词: TMS320F2812; 智能脱扣器; FFT; CAN总线

中图分类号: TP273.5 文献标识码: A

Application of digital signal processor TMS320F2812 in design of intelligent release

ZHANG Hua[1], WANG Zhen-zhou[2], LIU Jiao-min[1]

(1. School of Computer Science and Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China; 2. School of Electrical Engineering, North China Electric Power University, Baoding Hebei 071003, China)

Abstract: In this paper, the function and working principle of intelligent release based on key processor TMS320F2812DSP is introduced. And the key design technology of hardware and software are also given, employing FFT arithmetic to deal with and analyse the harmonic. The utilizing of CAN BUS and protocol of DeviceNet can realize such functions in electricity system, as telemetry, remote communication, teleadjusting and remote control.

Key words: TMS320F2812; intelligent release; FFT; CAN bus

智能脱扣器的功能就是在电网不正常的情况下(如过载、过压、欠压和短路等)能自动地把负载从电网上断开。为满足中国电力系统发展需求, 新一代智能脱扣器不仅要有传统断路器的分合控制和线路过载、短路、接地等故障发生时能瞬时跳闸或延时跳闸保护的基本功能, 还能实时检测和显示电网中的各种参数[1], 实现软硬件自检、通过键盘修改保护整定值, 通过现场总线通信接口实现遥测、遥控、遥调、遥信等功能。

1 智能脱扣器的硬件设计

本系统以 TMS320F2812 DSP[2]处理器为核心, 由数据采集[3]和信号调理电路、A/D转换单元、CAN通信单元、时序和可编程逻辑控制单元、控制设定值和数据显示的人机交互模块、电源模块、扩展的存储采集电网参量的 FLASH存储器等单元组成。

硬件设计的总体思路是: 该智能脱扣器采用霍尔传感器将主电路的电压、电流信号转换成模拟电路可以处理的电平信号, 再经由运算放大器和线性光耦组成的信号调理电路, 将此信号转换成符合 A/D转换芯片

收稿日期: 2005-10-24; 修回日期: 2006-02-16; 责任编辑: 李 穆

基金项目: 河北省自然科学基金资助项目(F2005000077)

作者简介: 张 华(1977-), 男, 山西忻洲人, 硕士研究生, 主要从事多媒体融合技术方面的研究。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

要求的信号; DSP对这些信号进行模数转换, 并运行 FFT运算和处理, 运算结果和整定值比较后输出符合预设保护特性的信号, 这些信号经放大后可直接驱动脱扣器的执行机构动作; 在此过程中 DSP还完成电网参量的显示, 通过 CAN总线接口和其他节点实现网络通信, 与中央计算机连接, 实现远程网络监控和控制, 硬件电路原理图见图 1。

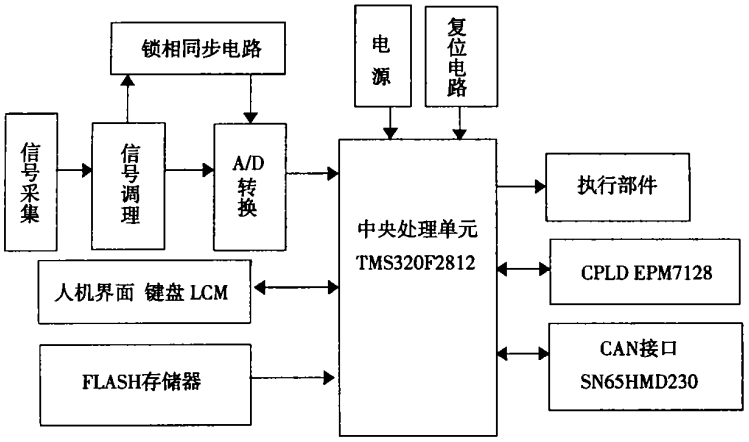

图 1 硬件电路原理图

Fig. 1 Schematic diagram of hardware circuit

图 1中: A/D采样部分选用 TI公司可与 F2812 DSP实现无缝连接的 6路、高速、16位、250 kSPS同步采样率的模数转换器 ADS 8364, 并配置 2片 A/D, 1片用于三相电压、电流的定时采样, 另 1片通过锁相同步电路, 对电信号进行等间隔采样, 减少因频谱泄漏和栅栏效应带来的测量误差, 提高准确度。为保证系统设计的灵活性和可靠性, 减小电路板面积, 选用单片可编程的 EPM 7128器件作为 DSP的外围控制接口, 采用 VHDL行为级设计实现内外同步逻辑控制、各单元地址译码控制、时序控制、片选控制等功能。

2 TMS320F2812在信号处理中的应用

设计中选用德州仪器 (TI)公司控制专用 DSP芯片 TMS320F2812, 该芯片是工业控制领域性能最优的 32位 DSP, 集控制和运算处理能力于一体。其主要性能是: 采用高性能静态 CMOS技术, 低功率设计, 核心电压为 1.8 V, I/O工作电压为 3.3 V, 最高达 150 MIPS的执行速度, 指令周期为 6.6 ns, 大大提高了控制器的实时控制能力, 并带有 18 kB等待周期的片上 SRAM和 128 kB片上 FLASH (存取时间为 36 ns)及 1K OTP ROM, 具有密码保护机制, 可采用高效率的 C/C++编程, 简化了编程过程, 提高了编程效率; 其片上外设主要包括 12位 ADC(最大为 80 ns的转换时间)、SCI, SPI, McBSP, eCAN等, 并带有 2个事件管理模块 (EVA, EVB), 另外, 该器件还有 3个独立的 32位 CPU定时器, 以及多达 56个独立编程的 GPIO引脚, 可扩展到 1 MB的程序和数据存储器, TMS320F2812采用哈佛总线结构, 可兼顾控制和快速运算的双重功能。

TMS320F2812是整个系统的核心部件, 其功能是对电网信号采样、A/D转换、电量谐波的 FFT计算和处理、控制系统外围器件工作、保证键盘控制、系统运行状态和电量参数显示等诸多任务按时、有序地完成; 并在运行中实现 CAN总线通信功能, 实现脱扣器过载长延时反时限、短延时反时限, 短延时定时限和瞬时动作 3段保护功能。

根据 IEC60947.2《低压开关设备和控制设备、第二部分断路器》规定, 为了使智能脱扣器能正确地发出脱扣信号, 不致使脱扣器产生误动作, 必须对输入的电压、电流信号进行预处理, 尽可能地滤除那些非周期分量和高频谐波。快速傅里叶算法 FFT不但具有较强的滤波功能, 而且通过该算法还可获得信号的实部和虚部, 为确定短路电流、电压的大小、性质及功率的计算提供了极大的方便, 因而被广泛采用。

目前快速傅里叶算法发展比较成熟, 有多种算法实现 FFT变换, 如基 2FFT算法、分裂基 FFT算法 (SR-FFT)、素因子算法 (PFA)、Winograd变换 (WFTA)等, 但在实际应用中, FFT算法的选择应考虑结构的复杂性和实现的难易程度。本脱扣器采用基 2FFT算法, 首先对电流、电压进行谐波分析, 然后在进行衰减直流分量的补偿计算后计算各次谐波的有效值和相角等。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

基 2FFT算法是在 DFT算法的基础上进行优化得来的, 该 FFT算法的基本原理如下。

把 N 点采样序列 $x(n)$按 N 为偶数和奇数分为 2个长为 $N/2$的序列 $x(2r)$和 $x(2r+1)$, $(r=0, 1, 2, \cdots, N/2-1)$, 其 DFT为

$$X(k)=\sum_{r=0}^{N/2-1}x(2r)W_N^{2rk}+\sum_{r=0}^{N/2-1}x(2r+1)W_N^{(2r+1)k}=\sum_{r=0}^{N/2-1}x_1(r)W_{N/2}^{rk}+\sum_{r=0}^{N/2-1}x_2(r)W_{N/2}^{rk}W_N^k,$$

$$X\left(k+\frac{N}{2}\right)=X_1(k)-W_N^kX_2(k),\ k=0, 1, \cdots, N/2-1。$$

考虑到系数的周期性,

有　$$W_N^2=e^{-\frac{j2\pi}{N/2}}=W_{N/2}\text{和}\ W_N^{(N/2+k)}=W_N^{N/2}W_N^k=-W_N^k,$$

所以当 $k=N/2, N/2+1, \cdots, N$ 时,

$$X\left(\frac{N}{2}+k\right)=\sum_{r=0}^{N/2-1}x_1(r)W_{N/2}^{r(N/2+k)}+W_N^k\sum_{r=0}^{N/2-1}x_2(r)W_{N/2}^{(N/2+k)}=X_1(k)-W_N^kX_2(k)。$$

按上面的方法 $N/2$点序列再分解成 $N/4$点来计算, 这样不断分解直到 2点 DFT计算为止, 即 N 个采样序列的 FFT可逐步简化为下式表示的碟形运算[5] 来求解:

$$\begin{cases}X(k)=X_1(k)+W_N^kX_2(k),\\ X\left(k+\frac{N}{2}\right)=X_1(k)-W_N^kX_2(k),\end{cases}\quad \text{其中}\ k=0, 1, \cdots, N/2-1。$$

以上是 FFT算法的核心思想, 其设计需求 2的整数次幂个采样点数组成的碟形运算, 需要进行大量的加法和乘法运算。应用 DSP对碟形运算优化设计出高效的 FFT算法是本设计的关键。

程序设计充分利用 TMS320F2812的软硬件资源和可编程技巧来提高 FFT运算速度。编程时采用 TMS320F2812提供的数学库函数、适合 FFT运算的指令和位反寻址模式, 采用汇编语言指令编写, 尽可能使用并行指令、寄存器, 将要进行 FFT计算的采样序列和每个碟形因子分别存放于片内置成数据区的 RAM中, 使 FFT以最佳速度运行。

程序设计中在进行碟形运算时, 利用采样数据的对称特性进行适当的组合减少运算量, 并设置了数据存储器指针, 将循环数据存放于段内同一地址, 输出的 FFT运算结果放置在输入数据的地址空间中, 节省了数据存储空间, 使程序简单有效; 为防止计算溢出错误, 适当地进行了归一化处理。

3　CAN通信模块和系统软件的设计

CAN总线是一种先进的串行通信协议[5], 它支持分布式控制及实时控制, 具有很高的位速率和高抗电磁干扰性, 当信号传输距离达到 10 km时, CAN总线的通信速率仍可高达 5 kbps。由于采用了带优先级的 CSMA/CD协议对总线进行仲裁, 允许多站点同时发送, 既保证了信息处理的实时性, 又使得 CAN总线网络可以构成多主结构的系统, 从而保证了系统的可靠性。CAN报文采用短帧结构, 且每帧信息都有校验及其他检错措施, 保证了数据的低传输出错率, 而且能够检测出总线产生的任何错误。DeviceNet是一种基于 CAN协议的现场总线, 它在 CAN协议基础上加入了自己的应用层协议, 既结合了 CAN总线的优点, 同时也满足了更为复杂的应用要求。其特点是无带宽损失, 传输效率高, 支持即插即用, 网络可靠性高。

TMS320F2812中的 eCAN控制器集成 CAN总线的物理层和数据链路层功能, 支持 CAN总线的 2.0A与 2.0B规范。CAN总线可靠的错误检测与处理功能都是由控制器的链路层自动完成, 其最大优点就是有 32个可以逐位屏蔽并带有超时监视和传送动态优先级的邮箱。这 32个邮箱共有 512字节的存储空间来存放要发送或接收到的数据。

DeviceNet定义了 2种类型的报文: I/O信息报文和显式报文。I/O信息报文使用高优先级的报文标识符, 每个报文使用 1个 CAN标识符; 显式报文使用低优先级的报文标识符和 2个 CAN标识符, 采用典型的请求/响应通信模式, 显式报文请求指明了对象、实例、属性和设备特定分类服务, 并由报文路由算法传递到相应的对象。

本设计选用 TI公司的 CAN收发器 SN65HVD230和 TMS320F2812直接连接便可接入 CAN总线网络。CAN总线模块驱动程序软件设计时, 网络层通信协议遵循 CAN协议; 应用层实现 DeviceNet国际标准。

CAN总线的驱动程序分为 3个层次: 硬件抽象层、功能函数层和应用程序接口层。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1)硬件抽象层文件 CANREG.H 定义了各 CAN 控制器的寄存器数据格式及读写访问的方法。

2)功能函数层文件 CANFUNC.C 和 CANFUNC.H 包括 CAN控制器各种控制功能的实现函数和 CAN 总线异常中断处理函数。

3)应用程序接口层的文件有 CANAPP.H 和 CANAPP.C, 包括如下 3个函数。

①初始化 CAN 控制器 包括使能 CAN 模块, CAN 时钟设置、配置 CAN 管脚、初始化 CANMC 寄存器、清除中断标志位、使 CAN 控制器工作在标准方式、设置总线波特率、验收过滤器等, 以便让 CAN 控制器的各个功能与 DeviceNet规约相符。

②DeviceNet总线初始化 初始化 DeviceNet定义的各种对象, 如标识对象、消息路由对象、DeviceNet对象、连接对象以及其他对象的初始化和选择 DeviceNet的通信模式。

③发送和接收数据 使发送和接收的报文按协议打包或解析后在总线上传输, 可通过本节点把本地脱扣器检测参数和状态向 CAN 网络上其他节点或上位机发送, 实现远程网络监控和管理, 也可接收上位机发送的与本节点标识符相匹配的报文来对本节点检测和运行控制。

本系统的软件设计遵循模块化设计思想, 采用结构化程序设计方案和实时性强的程序如 FFT 算法, CAN 通信错误中断用汇编语言实现, 而主程序、数据处理和数据显示、各模块的初始化等实时性不强的程序用 C 语言实现。系统的主程序流程图见图 2。

4 结 论

本智能脱扣器的设计在充分利用 TMS320F2812硬件资源的基础上通过软件处理不仅实现传统智能脱扣器的所有功能, 而且由于采用了先进的 DSP处理器和现场总线技术, 整个系统具有以下特点。

1)选用 TI公司高性能 32位 DSP芯片 TMS320F2812和高速 16位 A/D模块 ADS8364实现大量数据的快速检测和处理, DSP与外围器件接口的控制逻辑选用单片高速可编程的 EPM 7128器件。

2)外置 CAN 总线接口模块, 可方便地通过 DeviceNet网络实现各节点的通信, 支持 CAN2.0A 协议, 符合 ISO/DIS 11898规范, 模块化的程序设计支持硬件节点即插即用和通信纠正功能, 电网故障节点界定方便, 故障节点自动关闭不影响网络其他节点。

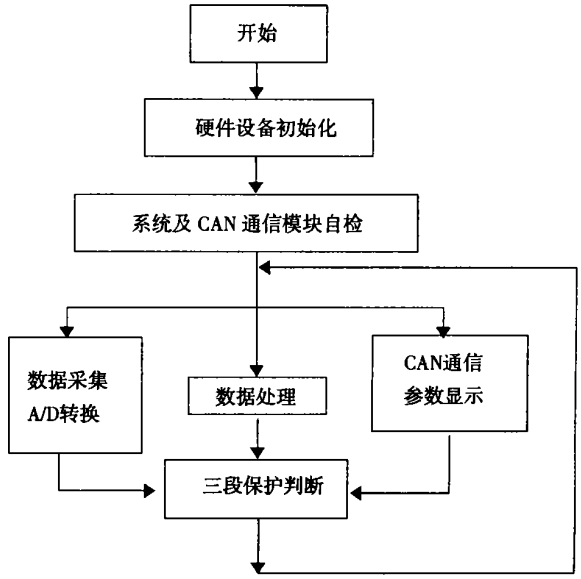

图 2 主程序流程图

Fig 2 Flow chart of main program

3)整个脱扣器体积小、成本低、动作实时性好、保护功能强、精度高、可靠性高和抗干扰能力强, 有广阔的应用前景。如将 CAN 总线接口通过嵌入 TCP/IP协议的网关连接至以太网, 可真正实现电力系统的远程网络监控和管理。

参考文献:

[1] 刘教民, 李新福. 开关电弧图像增强算法研究 [J]. 电工技术学报, 2005, 20(5): 20-23.

[2] 苏奎峰. TMS320F2812原理与开发 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005. 228-275.

[3] 刘教民, 赵小英, 魏世泽, 等. TMS320C40实现图像高速采集与处理系统 [J]. 河北科技大学学报, 2001, 22(3): 1-5.

[4] 贺代春, 刘教民, 王震洲. 基于 DSP的高速数据采集系统的研制 [J]. 河北科技大学学报, 2004, 25(4): 48-50.

[5] 胡广书. 数字信号处理——理论、算法与实现 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003. 169-214.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net