

基于 32 位数字信号处理器和 16 位同步串行模数转换器的配用电监控终端设计

施 慧¹, 徐琳茜², 田世明³

(1. 长春工程学院 电气与信息工程学院, 吉林省 长春市 130012; 2. 华北电力大学 计算机科学与技术学院, 北京市 昌平区 102206; 3. 中国电力科学研究院, 北京市 海淀区 100085)

Design of Distribution and Utilization Monitoring Terminal Based on 32-bit Digital Signal Processor and 16-bit Synchronous Serial A/D Converter

SHI Hui¹, XU Lin-qian², TIAN Shi-ming³

(1. School of Electrical and Information Engineering, Changchun Institute of Technology, Changchun 130012, Jilin Province, China; 2. School of Computer Science and Technology, North China Electric Power University, Changping District, Beijing 102206, China; 3. China Electric Power Research Institute, Haidian District, Beijing 100085, China)

ABSTRACT: By using of 32-bit digital signal processor (DSP), embedded Advanced RISC Machine (ARM) and 16-bit synchronous serial A/D converter, a full isolated distribution and utilization monitoring terminal is designed and implemented. In this design multiple anti-interference measures realized by hardware and software are adopted to improve the reliability of this device; the buffer technique based on hardware and software as well as the optimized query algorithm for historical data are applied to improve system efficiency. The General Packet Radio Service (GPRS) module is taken as communication means and the reliability of its application is further researched and practiced. For fixed-point DSP, the C language programming is adopted, thus both reliability and maintainability of the system are enhanced.

KEY WORDS: distribution and utilization; monitor and control unit; 32-bit DSP; embedded advanced RISC machine (ARM); 16-bit synchronous serial A/D; anti-interference; reliability; buffer technology; general packet radio service (GPRS)

摘要: 采用 32 位控制型数字信号处理器、32 位嵌入式先进精简指令集处理器和具有 16 位精度的同步采样串行接口模数转换器, 设计并实现了全隔离的配用电监控终端。在设计中使用多重软硬件抗干扰措施, 提高了装置的可靠性; 应用软硬件缓冲技术和优化的历史数据查询算法提高了系统效率。采用 GPRS 作为通信手段, 并对其应用可靠性进行了深入研究和实践。在定点数字信号处理器中采用 C 语言编程, 提高了系统的可靠性和可维护性。

关键词: 配用电; 监控终端; 32 位数字信号处理器; 嵌入式先进精简指令集处理器; 16 位同步串行模数转换器; 抗干扰; 可靠性; 缓冲技术; 通用分组无线业务(GPRS)

0 引言

近年来, 配电系统监测、控制、微机保护及自动抄表等技术有了较大发展, 先进的电子技术、信号处理技术、通信技术在配电系统中得到了广泛应用。文献[1]介绍了将无线通信技术应用于负荷控制的过程。文献[2-5]介绍了通用分组无线业务(general packet radio service, GPRS)在负荷控制及远程监控中的应用。文献[6-8]介绍了 GPRS 在配电自动化和提高电能质量方面的应用。文献[9-13]介绍了 32 位控制型数字信号处理器(digital signal processor, DSP)和先进精简指令集处理器(advanced RISC machines, ARM)芯片在电力系统微机保护、防窃电、故障录波和配变监测等方面的应用。随着电子技术的飞速发展, 性能优越、价格便宜、适合测控的 32 位控制型数字信号处理器 TMS320F2812^[14]应运而生。ARM 技术具有性能高、价格低、通用性好的优势, 加上芯片开发厂家的先进设计, 内部带有大容量 FLASH 的嵌入式 ARM 芯片受到广大用户的欢迎。近年来, 模数采样技术得到了快速发展, 出现了专门为电力测量而设计的高精度、廉价的模数转换器 AD73360。本文着重介绍采用 GPRS 通信方式以及先进的 32 位 DSP、32 位 ARM 和 16 位高速

同步串行模数采样技术,使用C语言设计开发的配用电监控终端。

1 硬件设计原理与实现

1.1 设计思想

在开发配用电监控终端的过程中借鉴了高压输电保护的设计思路并加以继承和创新。在高压电力系统保护装置设计中,大量使用总线不出CPU(central process unit)的方案。本文采用32位具有大容量内存的ARM STR710FZ2来实现数据管理和通信任务处理;数据采集和计算采用控制型32位数字信号处理器TMS320F2812来实现。关键程序存储在CPU内部,这样做的好处是大大降低了装置的可靠性设计难度。高压保护系统已经大量使用了并行模数转换器(A/D converter)和电压频率转换器(voltage frequency converter, VFC)来实现交流数据采集。为实现交流采样前置通道的隔离,提高系统可靠性,有的厂家使用了VFC。在考虑了性能和价格后本文选用同步串行模数转换器AD73360实现交流数据采集,该模数转换器具有内部采样保持功能,并且有16位精度,而且采用 $\Sigma\Delta$ 模数转换技术。 $\Sigma\Delta$ 模数转换器的主要优点是转换的精度高,由于采用了过采样调制、噪声成形和数字滤波等关键技术,因此能充分发挥数字和模拟集成技术的长处,使用很少的模拟元件和高度复杂的数字信号处理电路即可满足高精度的要求。在上述设计思想的指导下,所设计的装置硬件可靠性高且成本低廉。

在设计终端时首先完成了短信服务(short message service, SMS)和GPRS通信方式的开发^[5]。因为GPRS的使用更为广泛,故本文的通信方式主要采用GPRS。GPRS是以GSM系统为基础构建的分组数据网,采用分组交换技术高效传输高速或低速数据和信令,优化了对网络资源和无线资源的利用。在设计中,本文选用摩托罗拉公司(Motorola)的G20/24,该产品是一款高速的GSM/GPRS/EDGE模块,支持4种频率:850/900/1800/1900MHz,能够以先进的技术和稳定的性能实现高速无缝连接。它内置TCP/IP、UDP/IP协议,支持JAVA语言,使开发过程更便捷。该模块适应恶劣的工作环境,宽温版模块工作温度范围可达到 $-30^{\circ}\text{C}\sim 85^{\circ}\text{C}$ 。另外,它还支持GPRS Class 10规范及最大85.6 kbps/Class B GSM 07.10多路协议。

一般而言,在设计测控装置时大多使用汇编语言来实现软件编程。汇编语言具有速度快、运行效

率高的优点,但其可移植性及可维护性较差。在开发设计配用电监控终端的过程中,笔者有意适当提高CPU性能,尽量使用C语言进行软件编程,这在以往的定点DSP应用中是较少使用的。

1.2 设计目标

本文所研究的配用电监控的终端设计目标是:

- ①实现基于32位处理器的分布式处理及较大容量的数据存储,同时具有多个独立物理数据通信接口;
- ②支持多种通信方式;
- ③具有工业级液晶显示器(liquid crystal display, LCD),用于显示汉字、测量值及状态;
- ④多路隔离电源供电,4级电磁兼容设计;
- ⑤满足 $-40\sim 85^{\circ}\text{C}$ 户外运行条件。

1.3 设计原理

本文所研究的配用电监控终端采用分布式结构,在模块间采用一个RS485总线实现互联,各模块独立隔离供电。单个模块具有交流采样、开入开出、脉冲计数、远程抄表、远程通信、异常用电检测、当地显示等功能。基本配置为6路交流输入、4路开入、4路脉冲输入、4路开出、1个上传通信口、2个当地通信口、1个当地人机通信口、1024 KB程序存储器、512 KB并行随机存储器、1MB串行永久数据存储器。

配用电监控终端通过模拟量输入及变换单元采集电压、电流,并通过计算这些采样信息获得电流及电压的有效值、有功功率、无功功率、功率因数、电能量、电网频率等数据。遥信及脉冲采集单元完成对脉冲量的采集,还可实现门开/关等状态位置的采集。主处理单元对实时数据进行统计分析,形成各种统计量,同时以多种通信方式将所采集的各种实时数据及历史数据传送到主站。

主处理单元根据设定的时间间隔通过RS-485总线抄收多功能电能表计及交流采样装置的电量、电压、电流、功率、功率因数等数据。在数据处理及通信单元留出1个RS-485口,用以连接低压抄表集中器。该单元还配备了RS-232通信接口,用于连接GSM/GPRS等通信模块。主处理单元可整定所配置的通道、采样装置类型、通信参数和采样数据项。

配用电监控终端的控制命令(当地分析/判断、接收主站发来、接受当地发出等)通过控制输出单元输出执行对无功补偿电容器的投切、监控对象开关的分/合控制以及变压器分接头位置调节控制。基于此原理设计的配用电监控终端结构如图1所示。

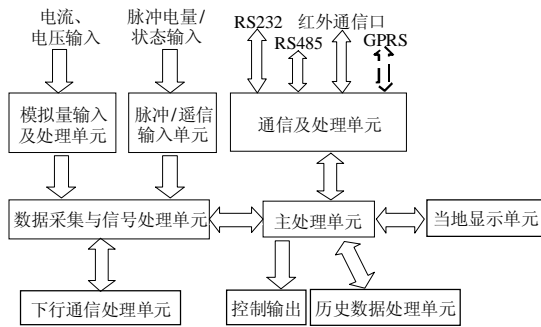


图 1 基于 32 位 DSP 的配用电监控终端结构
Fig.1 Configuration of distribution and utilization monitoring unit based on 32 bits DSP

1.4 硬件设计及实现

数据采集与处理单元 DSP 采用控制型数字信号处理器 TMS320F2812。该数字信号处理器内置 256KB Flash 和 36KB SRAM，内部 Flash 可加密，可外扩 SRAM，具有 1 个高速同步串行通信口，两个异步串行通信口。运行环境为 $-40\sim 85^{\circ}\text{C}$ ，低功耗。选择该芯片的主要原因是其速度较高，在主频为 150MHz 时指令周期为 6.67 ns，具有较大容量的内部程序和数据存储器，在不扩展程序存储器的条件下可满足重要程序的运行要求。另外它还具有带缓冲的同步通信口并支持优化的高级语言编程，这使得实现数据采集单元硬件设计的工作大为简化，也便于实现前置通道的隔离。在软件编程方面，主程序、中断程序可以使用高级语言来实现，从而大大提高编程效率及软件的可移植性。

主处理单元 MCU(micro controller unit)采用意法半导体公司(STMicroelectronics)的 STR710FZ2 型 32 位 ARM 处理器，片内集成最高达 256+16 KB 的 Flash 存储器，可加密保护；其 CPU 运行速度可达 50 MHz 时钟频率；内部具有 4 个通用异步串行口(universal asynchronous receiver transmitter, UART)；运行环境为 $-40\sim 85^{\circ}\text{C}$ ，低功耗。MCU 外部配置 102 4 KB 程序存储器和 512 KB 数据存储器，程序存储器采用 SST39VF1601，并行数据存储器采用低功耗 ST62WV5128，串行数据存储器采用 AT45DB081。该 CPU 的突出优点是具有很强的存储管理能力和通信处理能力以及较高的运行效率，便于使用 C 语言来开发软件。

模拟量输入处理单元完成数据采集与信号变换功能。模数转换器采用美国 AD 公司(Analog Devices)的 16 位同步串行模数转换器 AD73360。该模数转换器具有 16 位精度、6 通道、可同步采样、

采样速率范围为 8~64 kbps 且可调、内部参考、增益可调整、可同步串行通信、可多级级联、单 5V 供电。模数转换器经高速光藕 6N137 光电隔离后与 DSP 带缓冲的同步通信口连接，同步通信需要的同步时钟信号由 DSP 提供，AD73360 完成转换发出中断并送出数据。在本单元通过电压回路形成电压过零信号，接入 DSP 的中断端口，结合软件实现测频。数据采集 DSP 与主处理单元 MCU 通过内部串行通信口实现交互，通信速度范围为 9600~57200bps。

脉冲信号和状态输入处理单元实现脉冲量和开关量的采集，包括 4 路开关量输入、4 路脉冲量输入、4 路开关量输出以及光电隔离。脉冲量和开关量的采集通过定时中断来得到最基本的信息，通过软件滤波滤出干扰信息。在脉冲量处理过程中通过周期处理方法对慢脉冲信号进行处理。

通信单元具有 GSM/GPRS 通信、电话通信、230 MHz 无线电台通信、当地红外通信等通信方式，所有通道加光电隔离与过流保护。从主处理单元通信口引出 4 个独立通信口，1 个支持上行通信，即与控制中心联系；1 个支持当地红外通信；2 个支持下行级联。通信单元是独立模块，可带电拔插。

控制输出单元实现输出控制，具有控制输出、隔离、硬件自检功能。该单元外接信号继电器，并提供规范接口。

显示单元选用工业级 LCD，可显示汉字、电流、电压、有功、无功、电量以及通信状态等。通过软件可实现延时关闭显示器。

数据采集 DSP 设计外接通信口，以实现同级控制信号传输。

历史数据处理单元具有历史数据采集、数据存储、物理数据管理、安全管理等功能，并采用串行数据存储器。

2 软件设计原理及实现

根据分层管理、结构化设计的原则设计开发软件，主处理单元中的 MCU 全部采用 C 语言实现；数据采集 CPU 主要采用 C 语言实现，对速度影响较大的环节采用嵌入式汇编进行优化。软件主要功能包括系统初始化、任务管理、模拟量采集与计算、抄表、开入开出、对时、历史数据管理、主动上报、远方参数管理、当地红外通信、远方 GPRS 通信、短信通信、自诊断等。

3 装置的技术特点

3.1 硬件抗干扰设计

干扰源包括高压回路中操作断路器、隔离开关引起的电磁暂态干扰,高压设备产生的工频电场和大电流导体附近的磁场,接地系统中的短路电流引起的电位升高,雷电引起的暂态干扰,低压设备开合操作引起的电快速瞬变,静电放电,无线电发射装置产生的高频场,供电线路传来的低频传导骚扰,高频传导和辐射干扰。由于干扰源多种多样,干扰电压可达千伏级,一次干扰电流数千安甚至更高,干扰的波形上升时间从几纳秒到几十或几百纳秒,振荡频率在几十千赫兹到数百兆赫兹,并以暂态电磁场的形式向外辐射,通过一些耦合设备(如TV、TA、载波模块等)直接耦合到二次设备上,所以干扰频带宽、电压高、能量大。硬件设计的重要任务之一是抗干扰设计,为此可采取以下技术措施:①对电源进行重点处理,核心电路与外部电路全部实现光电隔离。首先用隔离变压器实现工频隔离。由于隔离变压器源副边存在分布电容,高频干扰仍会传递到低压侧,所以在隔离变压器前端加铁氧体磁环以便对高频干扰进行滤波。在隔离变压器和铁氧体线圈之间加压敏电阻以吸收高压脉冲,在整流电路后侧加电感滤波,在电源回路的最后环节采用宽温低纹波具有500/1000V隔离电压的DC-DC变换器,后端加电容滤波和暂态电压抑制器(transient voltage suppressor, TVS)保护。②交流信号首先经电压、电流互感器变换,把高电压、大电流的信号变换为低电压、小电流的信号。在交流采样回路与DSP通信电路中采用10Mbps的6N137实现光电隔离,有效保护DSP。③开出回路在拉合继电器时会产生脉冲干扰,所以在输出回路中加光电隔离和电源滤波。④开入回路采用光电隔离,两侧均加滤波电容,外侧加过流过压保护。⑤在RS485的外侧设计3级保护。最外侧布置防雷管TED485,然后串接热敏电阻实现大电流保护,布置TVS管P6KE62CA实现较低能量干扰的快速保护。

3.2 软件容错及抗干扰设计

主要采取以下措施保证软件的可靠性:①数据保护。在软件设计中,对重要数据区采取的主要保护措施是在每个重要数据区头尾加2字节的标志,尾部放1字节校验码及1字节校验码的反码。②原始采样数据的检查。依据模拟采样数据的不能突变性,对数据进行检查与校验。③中断管理。开入及脉冲的采集用定时器实现,不用边缘触发型中断。

④智能外设及I/O管理。智能外设及I/O长期工作可能会自行改变状态或配置字,所以需要对其进行监视,一旦发现异常就重新进行配置。

3.3 交流采样数据的采集

本文所选TMS320F2812是一个具有同步串行通信口的智能外设,具有缓冲能力。为提高通信效率,控制DSP采样数据的接收采用外设数据满中断来实现,这比逐字中断的效率要高很多。笔者在开发该环节时建立了双数据缓冲区并交替使用之。

3.4 DSP采用高级语言与汇编语言混合编程

DSP中的主程序、I/O操作、中断程序、计算程序等用C语言实现。为提高计算效率,信号处理程序核心计算循环中的数据相乘使用嵌入式汇编指令来优化。

3.5 历史数据处理部分进行独立优化

按分层原则设计历史数据管理系统。物理存储方法是统一设计的,可提供系统级支持,并具有数据保护算法。在历史查询中,采用分类逻辑查询、优化查询等方法,大大提高了历史数据处理子系统的可靠性和效率。

3.6 GPRS通信子系统的可靠性设计

在实验室测试和现场试运行基础上,在以GPRS为通信方式的通信子系统设计开发中主要完成以下工作:①GPRS模块的选型。选择宽温、高可靠的Motorola工业级GPRS模块G20/G24。②通信电源设计,特别是高低温时的电源设计。在高低温时,电源性能下降,GPRS通信时瞬间需要约2.5A的大电流,故应提高隔离电源的带载能力并附以电容支撑;同时GPRS通信电源独立于其它电源以避免干扰。③GPRS死机处理。因为GPRS模块G20/G24是智能模块,在设计GPRS外围硬件电路时,必须考虑GPRS模块死机情况。开始时只设计了一套死机恢复电路,主要是通过MCU检测GPRS状态,经过设定重试不成功次数通过IO口线关闭GPRS模块,待设定时间过后再激活GPRS模块。这样做的好处是对GPRS模块损害小。但是实践证明这样做不能彻底解决死机问题,于是选择带关断功能的电源芯片,在一定条件下单独关闭GPRS通信电源。这样可大大地提高通信子系统的可靠性。④MCU对通信单元进行监控。主要采用两种方法实现,一种是定时测试,另一种是在模块所有回答命令中分析错误报告。其实现原理是:定时发测试命令并判断回答信息;在GPRS所有回答报文中检查是否有报警和错误报告;一个通信过程完成后控

制 GPRS 模块处于接收状态。这样即可把 GPRS 模块置于可控状态下, 为装置的可靠运行提供保证。

4 测试和试验

2005 年对第一套样机进行了全面功能测试和性能测试, 结果证明其满足国家 4 级电磁兼容标准。该装置于 2005 年底在北京郊区进行实际挂网试验, 一年多试运行情况表明其具有较高的稳定可靠性。

5 装置存在的问题及可能的解决办法

GPRS 通信网络本身具有加密功能, 但是信道加密不能完全保证应用层数据的安全性, 因此在设计中仍然使用口令和初步加密技术。理想的解决办法是在终端的开发设计中采用满足二次安全防护技术要求的嵌入式解决办法。由于该问题已经超出本文的研究范围, 在此不再赘述。

6 结论

(1) 本文以先进的 32 位 DSP 和 16 位高速同步串行 AD 采样技术为核心研制了配用电监控终端, 实现了前向、后向、相互通道的光电隔离和过流保护, 对软硬件可靠性技术在配电系统中的应用进行了初步研究与设计。

(2) 在定点数字信号处理器及主处理单元 CPU 中使用 C 语言为编程语言, 提高了软件开发效率, 为保证应用软件的可靠性、可移植性、可维护性奠定了较好的基础。

(3) 对 GPRS 通信方式在配电系统中的应用可靠性进行了深入研究和实践。基于分层原则设计实现了历史数据管理子系统, 并对历史数据管理的可靠性和查询优化等问题进行了初步研究。

参考文献

- [1] 卓华捷, 杨海新. 基于无线系统的负控供电运营管理平台[J]. 电力系统通信, 2006, 27(7): 57-60.
Zhuo Huajie, Yang Haixin. Design of power supply operation management platform based on wireless system[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2006, 27(7): 57-60(in Chinese).
- [2] 刘翔宇, 杨仁刚. 基于 GPRS 的负控终端远程 Web 监控系统[J]. 电网技术, 2006, 30(3): 76-79.
Liu Xiangyu, Yang Rengang. A remote web monitoring system for load control terminal based on general packet radio service network [J]. Power System Technology, 2006, 30(3): 76-79(in Chinese).
- [3] 狄振强. 基于平台的 GPRS 行业应用开发技术研究[J]. 计算机科学, 2007, 34(2): 292-294.
Di ZhenQiang. PRS Technology platform-based application development study[J]. Computer Science, 2007, 34(2): 292-294(in Chinese).
- [4] 王晟, 颜文俊, 于冲波. 嵌入式工业现场 GPRS 远程监控系统[J]. 机电工程, 2006, 23(10): 44-45.
Wang Sheng, Yan Wenjun, Yu Chongbo. Embedded industrial GPRS

- remote monitoring system[J]. Mechanical & Electrical Engineering Magazine, 2006, 23(10): 44-45(in Chinese).
- [5] 张春荣, 范寒柏. 基于 GPRS 远程监控系统数据终端的研究[J]. 现代电子技术, 2006, 29(15): 110-112.
Zhang Chunrong, Fan Hanbai. Research of data terminal in remote monitoring system based on GPRS[J]. Modern Electronic Technique, 2006, 29(15): 110-112(in Chinese).
- [6] 郎兵, 赵晓荣. 基于 GPRS 网络的配电网远程监控系统的实现方法[J]. 电气应用, 2007, 26(1): 38-41.
Lang Bing, Zhao Xiaorong. The realization of power distribution network long-distance monitor & control system based on GPRS [J]. Electrotechnical Application, 2007, 26(1): 38-41(in Chinese).
- [7] 孙鹤林, 吕元龙, 田跃军. 基于 GPRS 与虚拟仪器的远程电能质量监测系统[J]. 继电器, 2007, 35(1): 59-62.
Sun Helin, Lü Yuanlong, Tian Yuejun. Remote power quality monitoring system based on GPRS and virtual instruments[J]. Relay, 2007, 35(1): 59-62(in Chinese).
- [8] 唐海军. 基于 GPRS 的配电网馈线自动化模式的探讨[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(7): 104-107.
Tang Haijun. Mode research of feeder automation of distribution grid based on GPRS[J]. Automation of Power Systems, 2006, 30(7): 104-107(in Chinese).
- [9] 韦文祥, 刘晓莉, 曾位发. 基于 ARM 和 GPRS 的嵌入式远程 IAP 在配变监控终端上的实现[J]. 电气应用, 2006, 25(9): 88-92.
Wei Wenxiang, Liu Xiaoli, Zeng Weifa. The embedded remote IAP in application of monitoring of power distribution terminal based on ARM and GPRS[J]. Electrotechnical Application, 2006, 25(9): 88-92(in Chinese).
- [10] 蔺祥宇, 陈后金, 刘志佳, 等. 基于 DSP 的电力系统故障录波装置设计与实现[J]. 仪器仪表用户, 2007, 14(1): 22-24.
Lin Xiangyu, Chen Houjin, Liu Zhijia, et al. Design and implementation of power system fault recorder based on DSP [J]. Electronic Instrumentation Customer, 2007, 14(1): 22-24(in Chinese).
- [11] 孙佐. 基于 DSP 和 μC / OS-II 多功能电力参数智能检测仪设计[J]. 中国仪器仪表, 2006, (12): 58-61.
Sun Zuo. Design of a multifunctional intelligent detection instrument for power parameters based on DSP and μC /OS-II [J]. China Instrumentation, 2006, (12): 58-61(in Chinese).
- [12] 陈永强, 钱玮, 汪方斌. ARM 的电力计量箱防窃电控制器[J]. 仪表技术, 2007, (1): 46-47.
Chen Yongqiang, Qian Wei, Wang Fangbin. Anti-stealing controller of power gauge based on ARM[J]. Instrumentation Technology, 2007, (1): 46-47(in Chinese).
- [13] 王明俊, 于尔铿, 刘广一. 配电系统自动化及其发展[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
- [14] Texas Instruments Incorporated. TMS320C28X 系列 DSP 的 CPU 与外设[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [15] 格斯里. 田敏, 黄翊, 译. 移动应用开发[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.

收稿日期: 2007-06-30.

作者简介:

施慧(1966—), 女, 硕士, 副教授, 从事电力系统及配电自动化教学与科研工作;

徐琳茜(1967—), 女, 硕士, 讲师, 从事计算机软件教学与开发工作;

田世明(1965—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事配用电自动化、应急管理研究及开发工作, E-mail: Laotian@epri.ac.cn.

(责任编辑 王金芝)