

基于 DSP 和 ARM 便携式电能质量监测系统的设计与实现

舒双宝, 罗家融, 王勤湧, 孙滨璇

(东华大学理学院, 上海 201620)

摘要: 介绍一种基于 DSP 和 ARM 架构的便携式电能质量监测系统的软硬件设计方案。利用 TI TMS320F2812 DSP 和高精度数据采集芯片 AD7656 完成对现场电信号的同步采集和分析计算, DSP 通过串口和 FIFO 与嵌有 Linux 系统的 ARM S3C2440 芯片通信, 完成分析数据和原始数据的传输, 采用大容量存储设备记录存储采样波形和分析结果, 通过网络接口上传数据并设置监测终端的运行参数。实验测试结果表明该设计的可行性, 该系统满足实时在线监测电能质量的各项指标。

关键词: 电能质量; DSP; 嵌入式系统; ARM; Linux

Design and implementation of a portable power quality monitoring device based on DSP and ARM

SHU Shuang-bao, LUO Jia-rong, WANG Qin-yong, SUN Bin-xuan

(College of Science, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract: A new design of DSP + ARM portable power quality monitoring device is proposed in this paper. TMS320F2812 DSP and high precision AD7656 are used for power quality data synchronous acquisition. Monitoring values are computed in the DSP, which communicates with ARM S3C2440 embedded with Linux system via serial port and FIFO and transfers power data and computed values. The data are stored in large capacity storage device and displayed in the LCD. The data transmission between PC and ARM is fulfilled by network and the operating parameter of monitoring terminal is set. Feasibility and reliability of the device are validated by experimental test, and the results show that the device is in accord with the electric power quality monitoring standard.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China(No.10875027).

Key words: power quality; DSP; embedded system; ARM; Linux

中图分类号: TM714 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)24-0185-05

0 引言

随着科学技术和国民经济的发展, 对电能的需求量日益增加, 同时对电能质量的要求也越来越高, 电力部门和用户对电能质量也越来越关注。由于不对称性、冲击性、非线性负荷容量的不断增长, 电能质量问题日益突出; 同时, 越来越多的敏感负载对电能质量有着更高的要求。如何提高和保证电能质量已经成为电力系统面临的重要问题, 为改善电能质量和制定相关的治理措施, 电力部门需对电能质量进行连续的测量, 使得开发和新型的高性能、适用性强的电能质量监测系统成为一种必然^[1-2]。

目前国内大部分地区采用的电能质量监测仪由于其测量指标单一, 不能够连续监测, 测量劳动强

度大等原因, 不能够很好地适应电能质量管理的需要^[3]。本系统采用 DSP 和 ARM 技术研制高精度多通道电能质量监测系统, 作为网络型电能质量监测系统的一部分, 以分布式电能质量监测终端为研究对象, 立足于目前国内外电能质量监测系统的现状, 研制出一套功能完备的电能质量实时监测终端系统。

1 系统总体结构及功能

本系统采用数字信号处理器 DSP 和高速高精度数字采样芯片 (以下简称 AD) 并配合 LCD 显示各通道波形和计算分析结果, 采用大容量存储设备记录存储采样波形和分析结果, 通过网络接口上传采样和分析数据并对监测终端进行运行参数设置。本监测设备具有小型化、便携式、多功能的特点, 可用于电网中电力线路的电能质量实时监测, 也可用于安装到电网中的某一节点执行长期的在线监测任

基金项目: 国家自然科学基金 (10875027)

务。系统的硬件结构如图 1 所示，主要包括前端信号调理电路、DSP 数据采集与处理电路、ARM 数据保存与传输电路。

前端信号调理电路使用电压互感器和电流互感器将三相电压和三相电流转换到合适 AD 采集的电压信号，并进行相关处理。DSP 数据采集与处理电路主要完成控制 AD 对信号的多路同步采集并进行电能质量相关测量参数的运算，再将参数运算结果通过串口传给 ARM，同时 DSP 和 ARM 协同完成对 FIFO 的控制和传输，并将采集的电压、电流的

原始数据保存存到 SD 卡中，ARM 通过结果分析进行故障判断，如果有故障则 SD 卡保存故障前后 3 s 的原始数据以备分析。ARM 端将测量结果通过 LCD 进行显示，同时上位机通过网络接收 ARM 传输的电能质量监测实时数据，方便工作人员分析及进行故障的判断。本电能质量监测系统测量的参数有：基波到 50 次的谐波分量，包括 2~50 次谐波有效值、各次谐波相角、谐波总畸变率、偶次谐波总畸变率、奇次谐波总畸变率、谐波含有率，电压波动与闪变，功率及功率因数，三相不平衡度等。

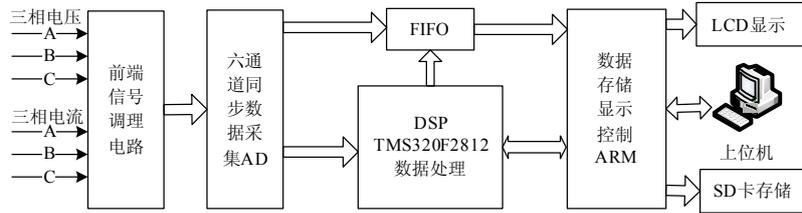


图 1 系统硬件系统结构图

Fig.1 Hardware structure of device

2 系统硬件设计

2.1 前端信号调理电路

2.1.1 电压互感电路

本电能质量监测系统可测量的相电压峰值可达到 320 V，可以满足日常民用和工业用电的范围需要，这样就需要电压互感器将原信号转化为 AD 可以采集的范围内（如 ±5 V）。图 2 所示为本系统中电压互感电路原理图，采用 VSM025A 型霍尔电流型互感器来获取电压通道的信号，在电路的最前端加上双极性 TVS（瞬态电压抑制二极管）来钳制浪涌，以保护互感器，滤波电路是滤除 50 次谐波频率以上的信号。

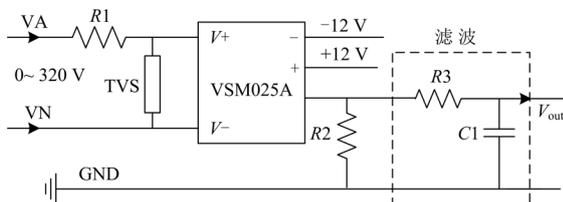


图 2 电压互感电路示意图

Fig.2 Sketch map of voltage mutual inductance circuit

2.1.2 电流互感电路

电流互感电路原理图如图 3 所示。采用哈尔滨三达德电力技术有限公司 MG8 Q13 钳型电流互感器，此种互感器精度 0.1 级，匝数比为 2 000:1，原边最大输入电流为 10 A，副边最大电流为 5 mA。从钳形互感器输出的电流信号，经比例放大电路，放大 2 000 倍，电容 C 起滤波的作用。

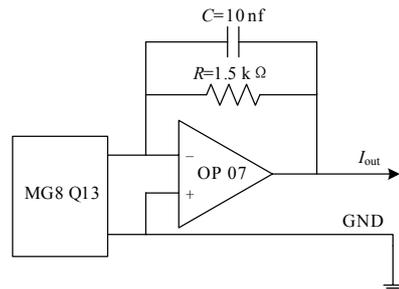


图 3 电流互感电路示意图

Fig.3 Sketch map of current mutual inductance circuit

2.2 DSP 数据采集与处理电路设计

DSP 主要作为计算各项电能质量参数的平台，采用 TMS320F2812 作为主芯片，它是美国 TI 公司推出的 C2000 平台上的定点 32 位 DSP 芯片，主频最高可达 150 MHz，处理性能可达 150 MIPS，每条指令周期 6.67 ns，能很好地满足实时性需求^[4]。在 DSP 中主要完成电信号的采集、各个监测量的计算，同时完成与 ARM 之间计算结果和实时数据的同步传输。

AD7656 是美国 ADI 公司研制的 6 通道 16 位高精度、快速、低功耗、逐次逼近型 ADC，具有 6 通道同步采样功能^[5]。图 4 所示为 DSP 数据采集电路。AD 的控制信号由 DSP 芯片的一个 I/O 口（定时器）产生，在 CONVST 信号的上升沿触发 AD 的采样信号，在 AD 转换完成后 BUSY 信号产生 F2812 的外部中断信号，引起 INT1 中断，在中断程序中连续读取 6 次 AD 的地址，就可以将 6 通道的数据读取

出来。同时 DSP 控制 FIFO 将数据保存到 FIFO 中 (关于 FIFO 将在下节叙述)。

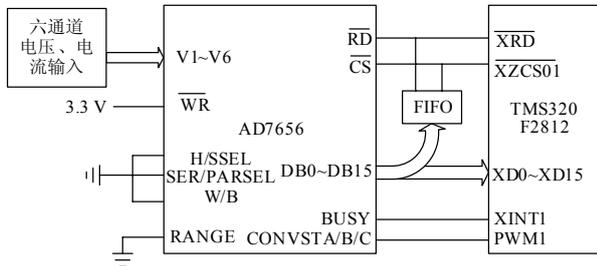


图 4 DSP 数据采集电路

Fig.4 DSP data acquisition circuit

2.3 ARM 数据保存与传输电路

ARM 相关电路主要实现对电能质量参数结果进行存储和管理。主芯片采用 S3C2440, 它是三星公司出品的具有 ARM920T 核的 32 位多功能、低功耗的 ARM 芯片, 最高频率可达 400 MHz^[6]。硬件电路包括电源模块, 存储模块, SD 卡模块, USB 模块, 网络模块等, 采用 linux2.6 内核, 稳定可靠, 多任务的机制可对各项功能进行有效管理^[7]。在 ARM 中主要实现如下功能: 接收并保存前端处理器计算的数据; 分析接收到的数据, 进行报警设置, 使用 LED 来进行相应的设置; 当报警时, 保存前端采集到的裸数据; 将处理的数据和原始数据格式化成 PQDIF 形式的文件; 可以通过键盘、触摸屏或者网络来修改系统参数; 定时将 PQDIF 文件上传至上位机服务器端。

2.3.1 DSP 和 ARM 的数据传输电路

DSP 和 ARM 的数据传输采用两种方式, 一是串口 SPI 传输, 二是 FIFO 存储器缓冲方式。经 DSP 运算后得出的参数结果由于数据量不多 (只有 3 通道电压和电流的各项参数等), 传输不频繁 (每 3 s 传输 1 次), 主要通过串口方式传输给 ARM。在 AD 采样率为 12.8 k/s 情况下 (信号基频 50 Hz 下每周采样点 256 个), 3 通道电压数据加 3 通道电流数据的数据量为 76.8 k/s, 数据量较大, 所以在 DSP 和 ARM 当中采用 FIFO 作为缓存。

电路如图 5 所示。FIFO 型号为 SN74V235, 2 k 容量, 3.3 V 供电, 可同步读写, 读写周期为 7.5 ns。FIFO 的左侧是 AD 和 DSP 设备, 由 DSP 控制对 AD 操作的同时也对 FIFO 进行操作, DSP 的片选信号 XZCS01 连接 WEN 写时钟使能信号, 由 DSP 的读操作信号 XRD 给 FIFO 的 WCLK 写时钟信号, 这样完成对读取 AD 采集数据的同时也完成了 FIFO 对数据的存储。由 ARM 的 nRESET 给出 FIFO 的 RS 复位信号, 数据输出引脚 D0~D15 接 ARM 数

据线 D0~D15; ARM 片选信号 nGCS4 接 FIFO 的 REN 读使能信号; CLKOUT 接读时钟 RCLK 信号; 由 ARM 的 nOE 给出 FIFO 的 OE 输出总线使能信号; FIFO 的 HF 接 ARM 的 EINT2 外部中断引脚, 用于申请中断。当存储数据达到 1 k 时, FIFO 将发出半满信号, ARM 将把这个信号作为中断信号, 读取这 1 k 数据, 在发生越限判断后再决定是否对这些原始数据进行非易失性存储。

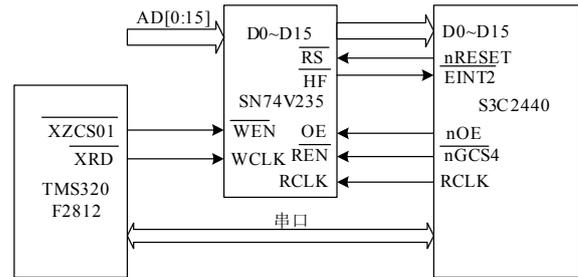


图 5 DSP 与 ARM 数据传输电路

Fig.5 Data transmission circuit between DSP and ARM

2.3.2 ARM 的网络连接

SD 卡是一个新的大容量存储设备, 它可以完成对电压、电流的原始数据的保存, 本系统中采用 2 G 容量的 SD 卡, 如果有故障则 SD 卡保存故障前后 3 s 的原始数据以备分析。如果要长时间永久的保存数据可以采用连接大容量的 IDE 硬盘。ARM 端将测量结果通过网络传给上位机, 本系统采用 DAVIDCOM 公司 10/100 Mb/s 的 DM9000A 自适应以太网芯片, 它是完全综合的、成本较低的单一快速以太网控制器芯片, 具有通用的处理器接口。图 6 所示的是 ARM 与 SD 卡和网络电路示意图。对 SD 的信号在 ARM 中有专门的引脚对其进行控制。实现 DM9000A 与 S3C2440 连接, 必须对两者间的数据、地址、控制三大总线进行连接和转换。由 S3C2440 的 nGCS3 发出网络芯片 CS 的片选信号, SA4~SA9 是地址总线 4~9 位, 当 CS 为低且 SA9 和 SA8 高, 而 SA7、SA6、SA5、SA4 为低时, 则 DM9000 被选中。DM9000 默认 I/O 基地址为 300 H。CMD 引脚用于设置 COMMAND 模式, CMD 为高时, 选择数据端口; CMD 为低时, 选地址端口。数据端口和地址端口的地址码由下式决定: DM9000 地址端口=高位片选地址+300H+0H, DM9000 数据端口=高位片选地址+300H+4H, 其中, 高位片选地址由 S3C2440 的 nGCS3 提供, 即为: 0X10000000H。由于在 S3C2440 中以太网的中断为 9 号中断, 所以 EINT9_ETHERNET 为中断信号。PWRST 为网卡芯片重启信号, 25 MHz 晶振为芯片提供 25 MHz 的工作频率。

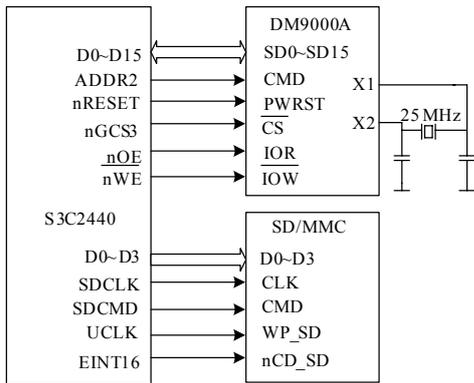


图 6 ARM 与 SD 卡和网路电路示意图

Fig.6 Sketch map of interface circuits between ARM and SD card & network

3 系统软件设计

3.1 DSP 电路软件设计

在 DSP 中程序流程图如图 7 所示，分为主程序和中断采集程序两部分。在主程序中由上位机通过 ARM 传控制命令给 DSP 来控制 DSP 的启动和停止，在 DSP 的运行中主要完成每 3 s 计算一些待测的电能质量参数^[8-10]，并将采集结果传递给 ARM。在中断程序中完成对电压和电流信号的 AD 数据采集。

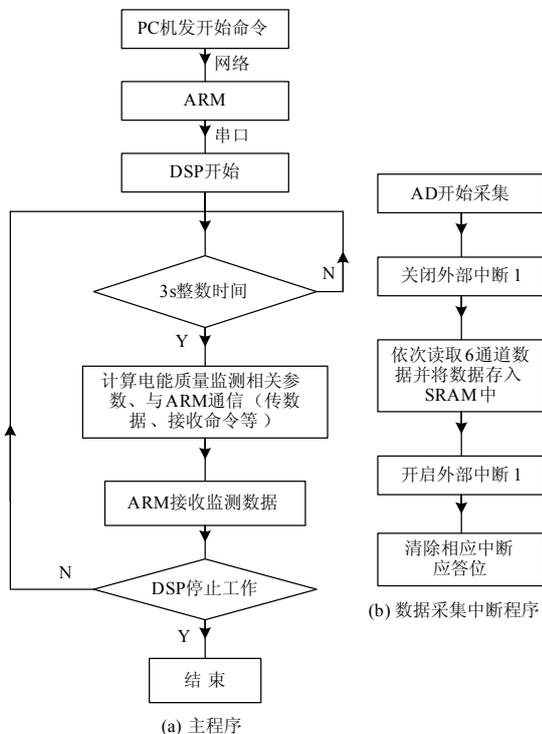


图 7 DSP 程序流程图

Fig.7 Flow chart of data calculation procedure on DSP

3.2 ARM 电路软件设计

在 ARM 中嵌入了 Linux 操作系统，整个软件在嵌入式系统中运行，与 PC 机中运行软件有了很多区别。在本系统开发中，采用 Fedora10 Linux 操作系统版本，arm-linux-3.4.1 交叉编译环境，整个软件系统包括三个线程，分别是：主界面线程，数据接受线程和服务器监听线程。

(1) 主线程：主线程执行后监听数据接收程序，每收到一个消息，保存接受的数据，分析数据，当产生的值超过警戒值时，发出警报，点亮 led 来显示报警，并保存从 FIFO 接受的裸数据。同时将计算数据和原始数据保存在 PQDIF 格式的文件中，归档到 SD 卡中。等待一定时间后，发送到服务器端。

(2) 数据接受线程：不断监听串口，从串口接受数据，当接受完数据，向主线程发送消息。

(3) 服务器监听线程：监听特定的端口，接受上位机发送的命令，分析并执行，命令包括系统参数配置命令，系统状态监控命令和数据传送命令。

3.3 上位机程序设计

上位机也就是用户的电脑，它可通过 VC 程序编写界面，完成 ARM 通过以太网传给上位机的电能质量监测结果的数据，并可向 ARM 传送数据以完成相关的参数设置（如系统的开启与关闭，采样率的设置等）。

4 系统性能测试

按照本文介绍的方案设计的电能质量监测装置使用美国福禄克公司的 FLUKE6140 标准测试仪对系统进行测试，谐波测量精度引自 GB/T14549-1993，其中谐波部分：各次谐波有效值，各次谐波相角与基波的差值，各次谐波含有率，通道总的有效值，总畸变率，偶次畸变率，奇次畸变率，有功功率，无功功率，功率因数；本监测系统均能满足《电能质量 公用电网谐波》标准中 A 级仪器标准，测试结果限于篇幅不再一一列出，在表 1 给出了本系统电压三相不平衡度和闪变的测试结果。

表 1 电压三相不平衡度测试结果

Tab.1 Result of voltage three-phase unbalanced factor

A 相 (V%)	B 相 (V%)	C 相 (V%)	标准值	监测值	绝对误差
63.6/0.0	60.0/240.0	60.0/120.0	2.0	2.085 8	0.085 8
67.5/0.0	60.0/240.0	60.0/120.0	4.0	4.116 8	0.116 8
60.0/0.0	60.0/235.0	60.0/120.0	3.0	3.192 4	0.192 4
106.1/0.0	100.0/240.0	100.0/120.0	2.0	2.164 4	0.164 4
112.5/0.0	100.0/240.0	100.0/120.0	4.0	3.099 5	0.099 5

对闪变的测试采用 Fluke 6100A 功率标准源校准电能表作为标准源,6 100 A 可通过用户设定的调制深度和频率对电压进行调幅来模拟闪变,表 2 中使用了高频、中频和低频区域中的几个较有代表性的频率进行测量,闪变测试值较理论值 1.0 的相对误差都在 5% 的上限要求之内,较好地满足了闪变国家标准。

表 2 电压闪变测试结果

Tab.2 The result of voltage flicker

电压变动频率 / Hz	电压变动幅度 / %	监测值	相对误差 / %
13.5	0.402	0.973 0	2.70
0.916 67	0.725	0.962 4	3.76
0.325	0.906	0.965 5	3.45
0.058 333	1.459	0.956 9	4.31

从对系统的测试结果可以看出,本方案设计的电能质量监测装置具有很高的精度,可以满足电能质量在线监测的要求。

5 总结

本系统设计立足于目前国内外电能质量监测系统的现状,基于 DSP 和 ARM 架构,研制出了一整套功能完备的电能质量实时监测终端。测试结果表明,电能质量监测结果满足国家 A 级标准,系统设计方案稳定可靠,系统性能稳定。本电能质量监测装置为电能质量实时监测服务,可以满足用户的多种需求,具有一整套完善的功能,与目前市场上特定的功能的仪器不同,它同时具有便携式、小型化的特点。

参考文献

- [1] 林广明,黄义锋,欧阳森,等.基于 DSP 和 CPLD 电能质量监测装置的设计[J].电力系统保护与控制,2009,37(18):97-101.
LIN Guang-ming, HUANG Yi-feng, OUYANG Sen, et al. Design of a power quality monitoring device based on DSP and CPLD[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(18): 97-101.
- [2] Carnovale D, Ellis D. The evolution of power quality data acquisition system-triggering to capture power quality events[R]. Canada: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2002.
- [3] 冯红岩,赵双喜,张建成,等.基于双 CPU 的电能质量监测系统设计与实现[J].继电器,2006,34(7):61-64.
FENG Hong-yan, ZHAO Shuang-xi, ZHANG Jian-cheng, et al. Design and implementation of a power quality monitoring system based on dual CPUs[J]. Relay, 2006, 34(7): 61-64.
- [4] TMS320x281x data sheet[S]. TEXAS Instruments, 2001.
- [5] 陈国磊,舒双宝,季振山.电能质量监测数据采集系统的设计和实现[J].电力系统保护与控制,2009,37(3):69-72.
CHEN Guo-lei, SHU Shuang-bao, JI Zhen-shan. Design and implementation of data acquisition system for power monitoring[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(3): 69-72.
- [6] S3C2440 data sheet[S]. SAMSUNG Electronics, 2004.
- [7] 杨水清,张剑,施云飞,等.ARM 嵌入式 Linux 系统开发技术详解[M].北京:电子工业出版社,2008.
YANG Shui-qing, ZHANG Jian, SHI Yun-fei, et al. Embedded Linux system development for ARM[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2008.
- [8] 陈君,赵伟,初仁欣.测算电网频率和谐波的新方法[J].清华大学学报:自然科学版,2000,40(1):25-27.
CHEN Jun, ZHAO Wei, CHU Ren-xin. New method for measuring actual frequency and harmonic contents of power systems[J]. Journal of Tsinghua University: Natural Science, 2000, 40(1): 25-27.
- [9] 邵如平,韩正伟,林锦国.三相不平衡度数字检测系统设计[J].电力自动化设备,2007,27(11):98-101.
SHAO Ru-ping, HAN Zheng-wei, LIN Jin-guo. Design of three-phase imbalance degree tester[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(11): 98-101.
- [10] 赵刚,施围,林海雪.闪变值计算方法的研究[J].电网技术,2001,25(11):15-18.
ZHAO Gang, SHI Wei, LIN Hai-xue. A study on calculation of short term flicker severity[J]. Power System Technology, 2001, 25(11): 15-18.

收稿日期:2009-12-16; 修回日期:2010-03-09

作者简介:

舒双宝(1981-),男,博士后,工学博士,主要研究方向为电能质量分析与监测、计算机数据采集与控制;E-mail:shu@dhu.edu.cn

罗家融(1948-),男,研究员,博士生导师,主要研究方向为计算机数据采集与控制、等离子体物理实验研究;

王勤湧(1985-),男,硕士研究生,主要研究方向为电能质量在线监测系统。