

# 基于 DSP + GPRS 的远程在线电能质量监测系统设计

周 勇<sup>1</sup>, 朱明丽<sup>1</sup>, 杜 霞<sup>2</sup>, 王洪林<sup>2</sup>

(1. 郑州大学 电气工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 兰考县供电有限责任公司, 河南 兰考 475300)

**摘 要:** 为了实现对电能质量的远程在线监测, 采用 TMS320F28335 32 位浮点型数字信号处理器, 对现场的电压电流数据进行采集, 通过无线数据传输单元传到上位机, 并在 LabVIEW 环境下实现了对电能质量的远程实时监测与分析. 测试结果表明, 该系统具有工作稳定、不受地域限制等优点, 能够较好地满足监测电能质量和记录暂态事件的要求.

**关键词:** 电能质量; 在线监测; 数字信号处理器; 通用分组无线服务技术

**中图分类号:** TM711 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2014.05.006

## 0 引言

所谓电能质量是指“导致用户设备故障或不能正常工作的电压、电流或频率偏差”<sup>[1]</sup>. 随着科学技术的不断发展, 现代工业、商业及居民用户的用电设备对电能的质量提出了更高的要求. 然而, 由于配电网中整流器、变频调速装置、电弧炉、电气化铁路以及各种电力电子设备不断增加, 对供电系统的电能质量造成了不同程度的影响.

要想解决这些问题, 首先就需要对供电系统的电能质量进行长时间的在线监测, 进而掌握其变化规律, 找出某些指标超标的原因, 为改善电能质量提供依据. 随着计算机技术和无线通讯技术的普及和应用, 基于网络技术的分布式长时间连续在线监测将是供电系统电能质量监测技术的发展趋势<sup>[2]</sup>. 笔者将介绍基于数字信号处理器 (DSP) 和通用分组无线服务技术 (GPRS) 的远程在线电能质量监测系统的结构和功能, 并对其测试结果进行讨论.

## 1 系统总体设计

### 1.1 设计目标

按照国家相关标准对所有监测点 (尤其是偏远地区节点) 的电能质量指标实施在线监测, 通过 GPRS 网络以远程网络服务器监测分析界面进行呈现, 并能够按照需要对有关数据进行存储和查询, 以帮助技术人员掌握当前或过去某段时间

的电能质量信息.

### 1.2 系统工作模式

系统工作模式分为现场监测模式和远程监测模式两种. 现场监测模式可以使用普通计算机与监测装置 RS232 串行口连接, 通过上位机软件对所监测节点的电能质量进行实时分析处理以及历史数据查询. 远程监测模式可以在远程实现现场监测并对不同节点的电能质量进行对比分析.

## 2 系统硬件设计

硬件设计主要分为基于 TMS320F28335 的下位机控制运算平台设计、同步采样触发单元设计、16 位高精度八通道 A/D 采样单元设计、基于 GSM 网络的 GPRS 无线数据传输单元设计、USB 大容量数据存储单元及和配套供电电源设计共 7 个主要部分. 其基本结构如图 1 所示.

### 2.1 基于 TMS320F28335 的控制单元设计

现场数据采集装置采用 TMS320F28335 32 位浮点 DSP 芯片作为装置的控制计算核心, 与以往的定点 DSP 相比, 该器件具有精度高、成本低、功耗小、性能高、外设集成度高以及存储量大等优点. 在保持时钟速率 150 MHz 不变的情况下, TMS320F28335 浮点控制器与 TI 前代数字信号控制器相比, 性能平均提高 50%, 在进行快速傅立叶变换等复杂计算时, 与作用相当的 32 位定点技术相比, 性能提升了一倍多<sup>[3]</sup>.

由于 DSP 不仅要承担数据采集、存储和传输

收稿日期:2014-05-30; 修订日期:2014-07-19

作者简介:周勇 (1957-), 男, 河南信阳人, 郑州大学教授, 研究方向为电能质量分析与控制, E-mail: zhouy@zzu.edu.cn.

的控制任务,还要进行电压、电流、功率、谐波等电能质量基本参数的计算,需要占用较多的随机存储器空间.因此,在片内  $34\text{ k} \times 16\text{-bit}$  SRAM 的基础上,外扩  $256\text{ k} \times 16\text{-bit}$  SRAM,型号选用 IS61LV25616AL.

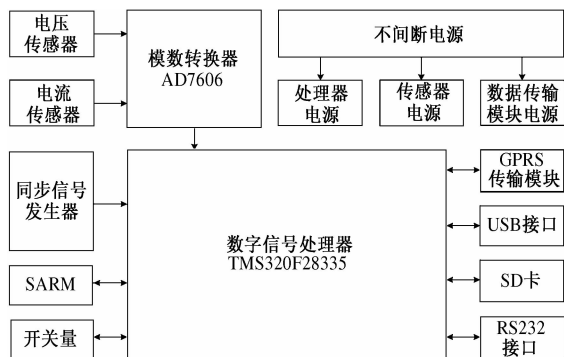


图1 硬件结构框图

Fig.1 Hardware block diagram

## 2.2 同步采样触发单元设计

根据相关标准的要求,监测系统需要检测  $2 \sim 50$  次谐波分量.由香农采样定理可知,采样单元应对 PT 和 CT 的二次侧信号进行每周期不少于 100 点的等间隔采样.然而,实际电网的频率并非绝对标准的  $50\text{ Hz}$ .因此,为了避免由于频谱泄漏引起的谐波分量测量误差,在采样的触发单元采用了集成锁相环芯片 CD4046,它将依据实时电压信号产生 128 倍频触发信号.

## 2.3 A/D 转换单元设计

对于三相四线系统,需要同时测量三相电压、电流及中线电流,另外为了监测中线故障,还要测量中线电压,这样共有 8 个电量信号需要测量.这些信号都通过电压变换器或电流变换器转换成  $\pm 5\text{ V}$  的电压,然后进入 A/D 转换单元.

根据功率计算的要求,各相的电压和电流必须进行同步采样.为保证测量的精度达到设计要求,采用 ADI 公司的 AD7606 芯片,它是 ADI 公司推出的新一代 16 位、8 通道、同步采样、双极性输入、单电源供电的模拟数字转换器.该芯片集成包括模拟输入箝位保护、二阶抗混叠滤波器、跟踪保持放大器、16 位电荷再分配逐次逼近型 ADC 内核、数字滤波器、 $2.5\text{ V}$  基准电压源及缓冲、高速串行及并行接口. AD7606 采用  $5\text{ V}$  单电源供电,不再需要正负双电源,并支持  $\pm 10\text{ V}$  或  $\pm 5\text{ V}$  双极性信号输入.所有通道均能以高达  $200\text{ k}$  sps 的速率进行采样,同时输入端箝位保护电路可以承受最高达  $\pm 16.5\text{ V}$  的电压.另外,AD7606 内部的信号调理电路中已经包含了低噪声、高输入阻抗

的信号调理电路,其等效输入阻抗完全独立于采样率且固定为  $1\text{ M}\Omega$ .同时输入端集成了具有  $40\text{ dBd}$  的抗混叠抑制特性滤波器,不再需要外部驱动和滤波电路.电压(电流)变换器的输出信号无需再经过运放来缓冲就可以直接接入 AD7606.

## 2.4 GPRS 无线数据传输单元设计

本系统中的无线数据传输单元采用了 WG-8010 GPRS DTU 无线数据传输模块,它以无线分组交换技术为基础,采用 IP 数据网络协议,提高了现有的 GSM 网的数据业务传输速率,最高可达  $170\text{ kb/s}$ ,具有“实时在线”、“高速传输”、“按量收费”等特点,能够较好地满足监测系统远程、实时、在线等方面的要求<sup>[4]</sup>. WG-8010 GPRS DTU 无线数据传输模块提供了标准的 RS232 数据接口,可以与通过 232 接口电平转换芯片与 DSP 的 SCI 接口相连来完成与远程监测系统的数据传输.

## 2.5 USB 大容量数据存储单元设计

监测系统的历史数据查询与分析都依赖于日常的监测数据,然而高精度、高采样率的数据采集必然带来庞大数据量,因此大容量的储存单元设计是非常必要的.考虑到 USB 接口的高速性能以及 U 盘、移动硬盘等大容量存储器接口的兼容性,设计中采用了 CH376 USB 文件管理芯片,该芯片支持 USB 设备方式和 USB 主机方式,并且内置了 USB 通讯协议的基本固件、处理 Mass-Storage 海量存储设备的专用通讯协议的固件、SD 卡的通讯接口固件、FAT16 和 FAT32 以及 FAT12 文件系统的管理固件,支持常用的 USB 存储设备(包括 U 盘/USB 硬盘/USB 闪存盘/USB 读卡器)和 SD 卡(包括标准容量 SD 卡和高容量 HC-SD 卡以及协议兼容的 MMC 卡和 TF 卡).通讯接口支持 8 位并口、SPI 接口或者异步串口,与 DSP 的通讯非常方便.

## 2.6 监测装置电源设计

为了保障监测系统能够连续稳定的运行,该装置采用后备式 UPS(Uninterrupted Power Supply)作为基本电源.装置内部的电源设计包含  $1.8\text{ V}$  DSP 核心电源设计、 $3.3\text{ V}$  I/O 口数字电源设计、 $5\text{ V}$  模拟电源设计和  $\pm 15\text{ V}$  传感器电源设计及其接口设计.将以上各单元模块封装在一个标准的 4U 机箱内,整个装置的外观如图 2 所示.

# 3 系统软件设计

## 3.1 DSP 下位机程序设计

基于 TMS320F28335 的 DSP 下位机程序采用

TI 公司研发的集成开发环境 CCS v4( Code Composer Studio version 4. 12) 进行编译、调试和下载, 主要包括 DSP 初始化程序、数据采集程序、数据处理程序、越限检测程序、数据存储程序和传输程序等, 程序流程图如图 3 所示。



图 2 监测装置外观图  
Fig.2 Monitoring device appearance

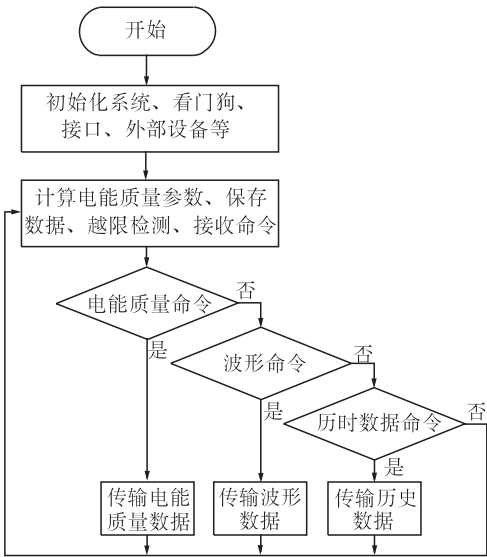


图 3 DSP 程序流程图  
Fig.3 Program flow chart of DSP

装置上电后, 首先运行初始化程序, 对 DSP 系统时钟、I/O 接口、定时器、SCI 接口、SPI 接口、外部设备、看门狗等进行初始化, 然后循环运行数据采集、电能质量参数运算、越限检测和存储程序, 在收到上位机指令后, 根据指令分别运行相应子程序, 并向上位机发送数据。

3.2 上位机监测分析软件设计

上位机监测分析软件采用美国国家仪器 (NI) 公司的 LabVIEW 进行开发. 该开发环境以图形化编辑语言 G 编写程序, 具有许多强大的模块节点和计算能力, 能进行各种电能质量指标的分析 and 计算, 同时还具有强大的网络功能, 能进行远程设备控制和数据传输, 非常适合电能质量监测分析软件的开发<sup>[5]</sup>. 客户端监测分析软件主要包括上位机通信程序、数据库程序、电能质量分析

程序、暂态事件记录程序和 Web 发布程序等. 图 4 ~ 图 6 分别给出了 3 个监测界面。

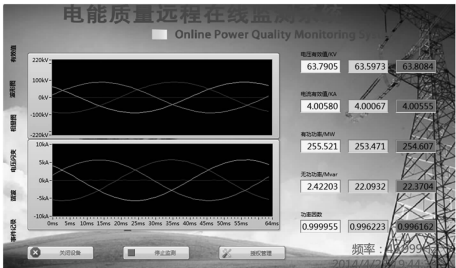


图 4 电压/电流实时波形与有效值  
Fig.4 Real-time waveform of voltage and current and RMS



图 5 实时谐波分析与频谱  
Fig.5 Real-time harmonic analysis and frequency spectrum



图 6 三相不平衡实时分析  
Fig.6 Real-time analysis of three phase imbalance

该系统能够完成基波电压、电流、有功功率、无功功率、功率因数、2 ~ 50 次稳态谐波分量的有效值和含有率、总谐波含有率、三相电压及电流不平衡度、三相电压及电流量序分量、电压偏差等稳态指标的测量; 根据检测数据, 可绘制出三相电压和电流的波形图、基波有效值曲线、频率图谱和电压电流矢量图; 当出现电压偏差越限、谐波越限、三相不平衡越限、电压骤降、电压骤升和短时电压中断时, 可将检测数据记录在对应的数据文件里, 以便在需要时查阅。

4 实验及分析

为了验证该系统的测量精度和性能, 采用 JCD4060 三相精密测试电源对该系统进行了测试

实验. 由于篇幅所限,只给出部分电压测量结果如 表 1 所示.

表 1 三相电压精度测试数据  
Tab.1 Test data of three-phase voltage accuracy

输入电压 电源	测量值/V			相对误差/%		
	A 相	B 相	C 相	A 相	B 相	C 相
120	120.16	119.99	120.18	0.13	-0.01	0.15
110	110.13	109.95	110.15	0.11	-0.05	0.05
100	100.09	99.99	100.12	0.09	-0.01	0.12
90	90.07	89.96	90.08	0.07	-0.04	0.09
80	80.02	79.87	80.09	0.02	-0.04	0.11
60	60.07	60.00	60.05	0.11	0	0.08
40	40.05	39.95	40.04	0.12	-0.13	0.10
20	19.98	19.97	20.02	-0.10	-0.10	0.10

由表 1 可以看出,三相电压有效值的相对测量误差分布在  $-0.10\% \sim 0.15\%$  之间. 从其他测量结果可以看出,该系统电流有效值的测量精度为  $0.17\%$ , 功率测量精度为  $0.51\%$ , 谐波电压的测量精度为  $1.6\%$ , 谐波电流的测量精度为  $1.8\%$ , 负序电压的测量精度为  $1.4\%$ , 负序电流的测量精度为  $1.6\%$ . 由此可见,测量精度满足国家标准要求.

5 结论

实测结果表明,笔者所设计的基于 DSP + GPRS 的远程在线电能质量监测系统设计方案合理,系统工作稳定,响应速度快,能够满足监测电能质量和记录暂态事件的要求;采用 GPRS 通讯,实现了远程数据传输,大大降低了监测成本和人

工投入;基于 LabVIEW 平台开发的上位机监测分析软件不仅功能丰富,而且界面友好,使监测人员可以很快地掌握系统的操作方法.

参考文献:

[1] 王宪磊. 电能质量与在线监测方法研究[J]. 科技创新导报,2012,10 (10):1-4.

[2] 许丽霞. 电能质量监测技术的发展[J]. 电气工程应用,2014,29(1):27-29.

[3] 孙攀,张广明. 基于 DSP 的电能质量监测系统设 计[J]. 自动化仪表,2012,33(1):82-86.

[4] 谢奕,欧阳森,黄义峰,等. 基于 GPRS 的电能质量 监测系统的开发 [J]. 低压电器, 2009 (21):37-40.

[5] 张达润. 电能质量在线监测系统在供电网的应 用[J]. 电气技术, 2014,14(3):103-105.

Design of an Online Power Quality Monitoring Equitment Based on DSP and GPRS

ZHOU Yong<sup>1</sup>, ZHU Ming-li<sup>1</sup>, DU Xia<sup>2</sup>, WANG Hong-lin<sup>2</sup>

(1. School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Lankao Power Supply Co., Ltd, Lankao 475300, China)

**Abstract:** In order to realize the online remote monitoring of power quality, the 32-bit TMS320F28335 float-ing-point digital signal processor is applied to collect on-site voltage and current data, which is uploaded to the host computer through the wireless transmission unit, and the real-time power quality monitoring and analysis is realized in LabVIEW environment. Test results show that the system have advantages such as stability of op-eration and geographical adaptability, and can thus well meet the requirements of power quality monitoring and transient event recording.

**Key words:** power quality, online monitoring; digital signal processor (DSP); general packet radio service (GPRS)