

# 基于 Linux+DSP 的电能质量分析仪的研究

黄佳乐, 杨冠鲁

(华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 厦门 361021)

**摘要:** 针对目前电能质量分析仪存在的不足, 结合硬件与软件的优点, 提出采用 Linux+DSP 的设计方案, 不仅方便外围设备的扩展, 也利于算法及应用程序的移植, 可以根据实际的应用环境采用不同的算法及数据分析软件, 同时数据库也加强了对数据的组织与管理。此方案开放性、互操作性好, 整合了互联网技术, 极大地提高了电能质量分析仪的网络化、智能化、集成化水平。

**关键词:** Linux; DSP; 电能质量; HHT

中图分类号: TM930.9

文献标识码: B

文章编号: 1674-7720(2013)22-0023-03

## Research on power quality analyzer based on Linux and DSP

Huang Jiale, Yang Guanlu

(College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** For the drawbacks of current power quality analyzer, taking advantage of the combination of hardware and software, a plan based on Linux and DSP is proposed. It's not only convenient to extend peripherals, but also good to the transplanting of algorithms and applications. Different algorithms and data analyzing software can be selected depend on the practical application circumstance, and meanwhile database is used to strengthen the organization and management of data. This scheme has excellent performance of openness and operation, and multiple internet technology are integrated, so that it greatly improves the level of networking, intelligence and integration of the power quality analyzer.

**Key words:** Linux; DSP; power quality; HHT

伴随着智能电网的建设与发展, 新能源的开发与应用技术蓬勃发展导致更多的电力电子非线性设备接入电网, 如大规模电力电子整流器、逆变器等, 这些非线性、冲击性大功率负荷设备是电力系统谐波污染源, 电能质量问题日益严峻<sup>[1]</sup>; 数字技术的发展促进了自动化程度的提高及控制理论的发展, 越来越多的基于微处理器的精密数字化用电设备投入运行, 这些设备对电磁干扰较为敏感, 无疑对电能质量提出了更高的要求。可见, 对电能的各项指标进行监测、统计和分析并制定相应的调整措施以提高电能质量是十分必要的。

目前电能质量分析仪主要是基于 DSP 或者 DSP+MCU 构成<sup>[2-3]</sup>, 也有学者提出 DSP+CPLD<sup>[4]</sup>、DSP+PC 的组合方案。无论何种组合, 其实质都是双 CPU 结构, DSP 负责数字信号处理, 另一 CPU 负责外围设备接口的管理。但众多设计研究者陷入了比拼硬件的误区, 而忽略了电能质量分析仪的核心是算法。硬件是基础, 而算法才是灵魂。本文提出基于 Linux+DSP 的电能质量分析仪的研究方案, 该方案利用 Linux 操作系统的模块性、层次性,

可扩展性好, 可根据实际应用需要增减相应的外围设备。最为主要的是可以采用不同的算法对数据进行处理, 不同的算法对应于操作系统中不同的进程, 用户可根据需要选择相应的算法。

### 1 电能质量检测概述

电能质量监测主要是对电能的各项指标进行监测、数据实时处理、统计分析并制定相应决策。现代电能质量评价指标主要有: 可靠性、频率偏差、电压偏差、三相不平衡、短时电压中断、短时电压上升、短时电压下降、电压波动与闪变、谐波、间谐波、暂时过电压、瞬态过电压等, 不同的指标需采用不同的算法。电能质量检测要求能快速捕捉暂态干扰波形, 能测量各次谐波及间谐波的幅值、相位, 能建立有效的分析和自动辨识系统。在线监测、实时分析、网络化和智能化是电能质量分析仪的发展方向。

### 2 硬件设计

#### 2.1 数据采集及处理模块

整体硬件电路庞大, 限于篇幅, 本文只阐述设计的《微型机与应用》2013 年 第 32 卷 第 22 期

## 硬件纵横

Hardware Technique

大体框架及思路,一些小的电路模块不再详细说明。本设计方案核心 DSP 采用 TI 公司 C28x Delfino 浮点系列 TMS320F28335,该系列为实时控制应用带来了领先的浮点性能和集成度,可满足严苛的实时应用。TMS320F28335 是一款高性能 32 位 CPU,采用静态 CMOS 技术,高达 150 MHz 时钟速率,具备浮点单元,外设丰富。由于 TMS320F28335 具备采样保持、ADC 模块,电压、电流经电压互感器、电流互感器后的信号直接送入 ADC 接口,框图如图 1 所示。



图1 数据采集及处理模块框图

电源模块由变压器、压敏电阻、保险丝、三端稳压芯片、过压保护单元和滤波电容组成,可提供 3.3 V 和 1.8 V 两路电源。电压、电流互感器采用霍尔传感器,尽管传统的电磁式互感器具有价格低、技术成熟、可靠性高、工频特性好等优点,但由于电磁型互感器存在漏磁和线圈阻抗,其动态响应慢,通常要  $10\ \mu\text{s}\sim 20\ \mu\text{s}$ ,传递频带窄,无法真实反应一次侧待测电压和电流的谐波情况。霍尔传感器具有精度高、线性度好、响应快、频带宽、过载能力强的优点。TMS320F28335 的 BootLoader 支持多种启动方式,本方案采用 SPI 从 ARM 控制的外设存储器模块启动,以选择不同的算法。

## 2.2 外围设备模块

外围设备模块主要用于与用户交互,实时数据、图表显示,以及数据传输、网络通信等功能,主要由触摸屏液晶显示器、USB 接口、串口、以太网及存储器组成,这些设备受外围 CPU 控制。外围 CPU 采用 Samsung 公司的 S3C2440A 处理器,S3C2440A 采用 ARM920T 内核,低功耗、简单优雅的全静态设计为手持设备和一般应用提供了低功耗、高性能的解决方案。S3C2440A 采用增强 ARM 构架 MMU,具备 SDRAM、Nand Flash 控制器,支持 WinCE、Linux 等操作系统,同时具备 DMA、LCD、USB、RTC、触摸屏等接口,极大地方便了嵌入式系统的设计。外围设备主要模块图如图 2 所示。

电源由主控电源及电池组成,S3C2440A 的核心及外设电压也为 1.8 V、3.3 V,即 S3C2440A 和 TMS320F28335 可共同使用一个电源模块,减小了成本,也缩小了印刷板的面积,减小了电能质量分析的重量及体积。当



图2 外围设备模块框图

S3C2440 处于低功耗休眠状态及掉电时,电池为实时时钟模块提供电源。时钟采用外设晶振 12 MHz,触摸屏采用 TFT 触摸屏,以太网芯片采用 DM9000,RS232 接口采用 MAX232 芯片。电能质量分析仪采集的数据量大,加之算法及分析软件也较复杂,需要大量的存储空间,S3C2440A 具备 1 GB 的寻址空间,可以扩展 SROM、SRAM、SDRAM、Nand Flash、Nor Flash,鉴于 SDRAM、Nand Flash 存储容量大、速度快、价格相对便宜的特点,本方案采用 SDRAM、Nand Flash,即保证了性能,也降低了成本。

## 2.3 抗干扰设计

电能质量分析仪工作的环境范围广,可能处于各种恶劣的电磁辐射条件下,必须采取一些抗干扰设计措施以提高其抗干扰能力。抗干扰设计是硬件设计中非常值得重视的一个环节,没有抗干扰设计电路,仪器设备在现场可能无法工作。硬件设计上要注意强弱电隔离、数模信号分离、增加滤波电路及电磁屏蔽单元,设计 PCB 要顾全局,综合考虑各项因素。

## 3 软件设计

### 3.1 算法部分

目前电能质量分析仪采用的算法主要有快速傅里叶变换<sup>[5]</sup>、小波变换<sup>[6]</sup>、HHT(Hilbert-Huang Transform)变换<sup>[7]</sup>。傅里叶算法具有计算速度快、测量精度高的优点,但是需要一定时间的电流值,计算量大,计算时间长,检测结果实时性差。此外,傅里叶变换算法对非平稳信号的处理能力不足,对谐波检测的精度有限,且存在频谱泄漏和栅栏现象。小波分析具有时频局部化的特点,适合于突变信号和不平稳信号,具有多分辨能力,号称“数学显微镜”,但是存在频率混叠现象,同时小波基选取不同会导致结果差异较大。HHT 是一种全新的信号处理方法,HHT 变换首先采用 EMD(Empirical Mode Decomposition)方法将信号分解成若干个 IMF(Intrinsic Mode Function)分量之和,然后对每个 IMF 分量进行 Hilbert 变换得到瞬时频率和瞬时幅值,对于处理非线性、非平稳

## 硬件纵横

Hardware Technique

信号有清晰的物理意义,能够得到信号的时间-频率-能量分布特征,可以有效地处理非平稳信号。

对于一个时间序列  $x(t)$ ,其经验模态分解过程如下:

- (1) 确定原始信号  $x(t)$  的所有极大值点和极小值点;
- (2) 采用样条函数求出  $x(t)$  的上、下包络线,并计算均值  $m(t)$ ;
- (3) 作差  $h(t)=x(t)-m(t)$ ;
- (4) 判断  $h(t)$  是否满足终止条件,若不满足,则将  $h(t)$  作为新输入信号转至第(1)步,否则转为第(5)步;
- (5) 令  $c=h(t)$ ,  $c$  即为一个 IMF 分量,作差  $r=x(t)-c$ ;
- (6) 判断  $r$  是否满足终止条件,若不满足,则将其作为新的输入转至第(1)步,否则 EMD 分解过程结束,不能提取的为残余量。

## 3.2 内核部分

Linux 是一种自由和开放源码的类 Unix 操作系统,是一个基于 Posix 和 Unix 的多用户、多任务、支持多线程和多 CPU 的操作系统。Linux 以其稳定性、高效性和灵活性著称,模块化的设计结构使其可以运行于多种处理架构;支持丰富的网络协议,多种外设驱动接口;扩展性、定制性好,根据实际的应用需求可以对 Linux 内核进行裁剪。

本方案采用 Linux 内核 2.6.30 版本,根据硬件电路单元,编写触摸屏、DMA、USB、电源管理、以太网、存储单元驱动程序;应用层采用 Qt 实现 GUI,采用 MySQL 数据库组织管理数据。系统的层次结构图如图 3 所示。

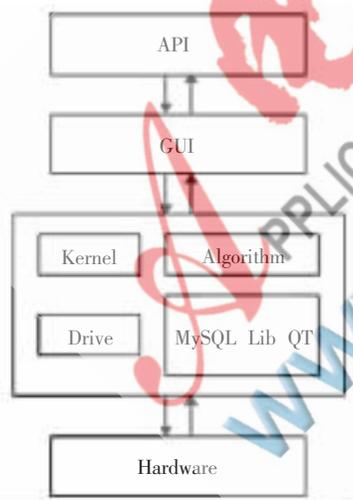


图 3 系统层次结构图

本方案将多种算法融合于操作系统中,根据用户的设定,操作系统调用相应的算法及数据分析工具对数据进行处理。系统运行流程图如图 4 所示。

本文提出了 Linux+DSP 的电能质量分析仪的设计方案。该方案结合软件与硬件的优点,整合互联网技术,电能质量分析仪不仅有多种算法可供选择,增广应用范围,同时操作系统的模块性、高效性、稳定性方便各种外围设备的扩展,提高了设备的网络化、智能化和集成化

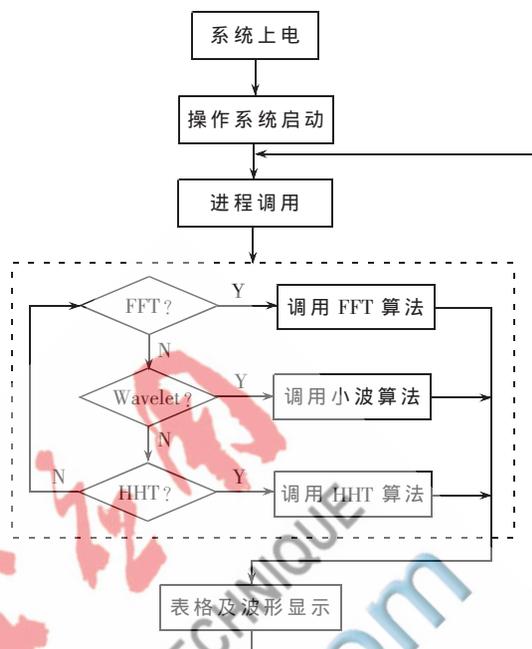


图 4 系统运行流程图

水平,这也是未来仪器与仪表的发展方向。由于当前技术的限制,本文没有加入云存储服务。

## 参考文献

- [1] 肖湘宁. 电能质量分析与控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [2] 时国平, 宛明高. 基于 DSP 的电能质量监测仪的研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2011, 30(2): 63-65.
- [3] 祝愿博, 刘振兴. 基于 DSP 和 430 单片机的电能质量分析仪设计[J]. 仪表技术与传感器, 2010, 48(11): 69-70.
- [4] 马志刚. 基于 DSP 和 CPLD 的电能质量分析仪的研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2005.
- [5] 荣海升, 粟时平, 逯培兵, 等. 一种改进型 FFT 谐波分析方法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2009, 21(1): 124-127.
- [6] 房国志, 杨超, 赵洪. 基于 FFT 和小波包变换的电力系统谐波检测方法[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(5): 75-78.
- [7] 李文帆, 刘志刚, 孙婉璐. 基于 HHT 的电能质量检测系统研制[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(23): 123-126.

(收稿日期: 2013-08-19)

## 作者简介:

黄佳乐, 男, 1988 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 智能仪器与仪表。