

基于 LPC2138 的嵌入式综合电力仪表设计与实现

李炳祥, 李航, 张兴波, 郑曦

(北京国际系统控制有限公司, 北京 100083)

摘要: 采用微处理器和嵌入式技术, 基于 LPC2138 处理器和 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 嵌入式操作系统设计并实现了综合电力仪表。利用 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 嵌入式操作系统的可移植性、可固化、可模块化、多任务性等特点实现了数据采集、FFT 计算、实时通信、人机交互界面等功能, 达到了较为满意的测量精度和人性化操作。

关键词: LPC2138; $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$; FFT

中图分类号: TP23

文献标识码: B

文章编号: 1674-7720(2013)13-0094-03

Design and realization of power instrument based on LPC2138 microcontroller

Li Bingxiang, Li Hang, Zhang Xingbo, Zheng Xi

(Beijing Systems Control International, Inc., Beijing 100083, China)

Abstract: With the technology of microcontroller and embedded systems, the power instrument based on LPC2138 microcontroller and $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ system is designed. With the $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ system's advantage of portability, solidify, modularity, multitask, the functions of data acquisition, FFT, real-time communication and human-computer interaction are realized, ideal precision and humanized operation are achieved.

Key words: LPC2138; $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$; FFT

伴随着我国电力调度自动化系统由运动化、数字化向自动化阶段发展, 大量的模拟仪表逐步被综合型和智能型仪表所替代。向着标准化、网络化、小型化方向发展的综合智能型仪表, 具有数据采集量大、采集数据实时性、实时显示、远距离数据实时传输、远程控制、高精度等特点^[1]。

1 技术背景

在微电子和集成电路高度发达的今天, 技术的发展带来了电力设备的高度集成化和智能化。微处理器与数字信号处理技术在电力仪表上的应用已经有了不少成功的例子。但是, 嵌入式系统的异军突起, 带来了进一步的技术革新。将嵌入式系统与微处理器、数字信号处理技术相结合, 设计并实现带有嵌入式系统的综合电力仪表是本文的主要目的。

1.1 嵌入式系统的基本概念

嵌入式系统通常由硬件层、中间层、系统软件层和应用软件层 4 部分组成^[2], 如图 1 所示。

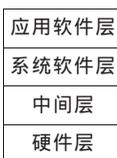


图 1 嵌入式系统组成

硬件层是以嵌入式处理器为核心, 由存储器、通用接口设备、IO 扩展芯片、通信扩展芯片、电源时钟芯片等组成的集成电路, 是嵌入式系统运行的基础。

中间层也称为硬件抽象层 HAL 或板级支持包 BSP, 它将系统上层软件和底层硬件分离开来, 该层一般包含相关底层硬件的初始化、数据的输入/输出操作和硬件设备的配置功能。硬件抽象层的引入大大推动了嵌入式操作系统的通用性。

系统软件层, 顾名思义, 就是一个嵌入式系统最基本的应用环境。要想实现所需要的功能, 需要在这一层安装相应的应用程序。这一层是由实时多任务操作系统 RTOS (Real-time Operation System)、网络系统、图形用户接口 GUI (Graphic User Interface) 及通用组件模块组成。

应用软件层由基于 RTOS 开发的应用程序组成, 用来完成对被控对象的控制功能。这些功能是面向被控对象和用户的。为方便用户操作, 往往需要提供一个友好的人机界面。

1.2 数字信号处理技术—快速傅里叶变换

快速傅里叶变换(FFT)因计算高效性,已经在谐波分析中得到了广泛的应用。但采用FFT算法进行电力系统谐波分析时,存在泄漏现象和栅栏效应,使算出的信号参数不准,尤其是相位误差很大,无法满足准确的谐波测量要求。

通过加窗插值算法可以消除栅栏效应引起的误差,提高电力系统基波与各次谐波的分析精度。在实际测量中,由于Hanning窗的窗口在边界处平滑衰减到0,可有效减小谐波间泄漏;幅值分辨率和频率分辨率精度较高,因此由本文采用。

Hanning窗的时域表达式为:

$$w(n)=[0.5-0.5\cos(\frac{2\pi n}{N-1})]\cdot R_N(n) \quad (\text{其中 } n=0,1,\dots,N) \quad (1)$$

设在一段连续时间内,对电压(或电流)进行均匀同步采样得到采样序列 $x(n)$,信号 $x(n)$ 经过Hanning窗 $w(n)$ 截断为 N 点序列,即:

$$x_w(n)=x(n)\cdot w(n) \quad (2)$$

对上式进行离散傅里叶变换(DFT),得到 $x(n)$ 的频域显示 $X(k)$:

$$X(k)=\text{DFT}[x_w(n)]=\sum_{n=0}^{N-1} x_w(n)W_N^{nk}, k=0,1,\dots,N-1 \quad (3)$$

其中 $W_N^{nk}=e^{-j\frac{2\pi}{N}nk}$ 。因为 W_N^{nk} 和 $x_w(n)$ 均为复数,所以计算一个 N 点DFT共需 N^2 次复乘,计算量大。FFT算法应运而生,FFT是对DFT的改进,它利用 W_N^{nk} 的周期性、可约性和对称性,进行蝶形运算,从而降低运算量。当序列长度为 $N=2^M$ (M 为整数)时,称为基-2FFT算法。

FFT运算非常有规律,一般由两部分构成:二进制倒序重排和三层嵌套循环完成 $M=\log_2 N$ 次迭代。三层循环的功能是:最里的一层循环完成相同因子 W_N^p 的蝶形运算;中间的一层循环完成因子 W_N^p 的变化;而最外的一层循环则是完成 M 次迭代过程。

FFT算法流程图如图2所示:

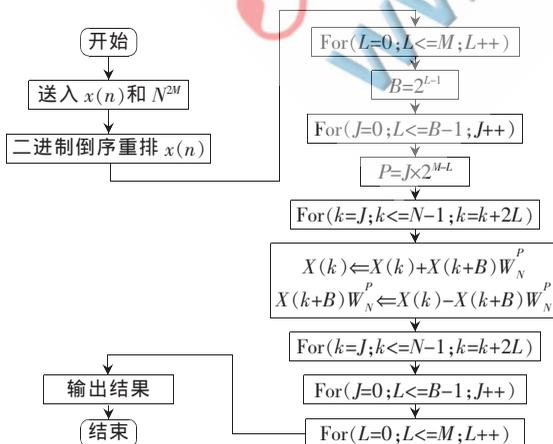


图2 FFT运算流程图

2 综合电力仪表硬件设计

2.1 LPC2138 处理器简介

LPC2138是Philips公司基于ARM7TDMI类型微控制器LPC2100系列芯片中的一种,是基于一个支持实时仿真和嵌入式跟踪的32位ARM7TDMI-STM CPU的微控制器,内部集成了一个512KB的Flash存储器系统,该存储器可用作代码和数据的存储。对Flash存储器的编程可通过串口进行在系统编程。片内静态RAM可用作代码和数据的存储,支持8位、16位和32位的访问。采用数据线和指令线分离的哈佛结构,取指令和取数据可以同时进行,丰富的外设接口,128位宽度接口可实现高达60MHz的工作频率,可实现在线系统烧写(ISP),2个UART、2个高速PC总线,使其可以提供强大的通信功能。超小的LQFP64封装、低功耗、多达9个外部中断,使其十分适合工业控制领域。

2.2 总体设计

综合电力仪表主要由4部分组成:电源板、数据采集通信主板、微处理器板(CPU板)和液晶显示及按键控制板,如图3所示。



图3 综合电力仪表硬件总体设计图

除液晶显示及按键控制板外,其余3个都是彼此用插针直接相连,电信号以及机械结构稳定可靠。液晶显示及按键控制板与微处理器板利用排线连接,实现实时显示和按键控制等功能。

2.2.1 电源板

电源是否稳定可靠是整个仪表系统能够稳定工作的前提保证。因此,电源板的设计要充分考虑输入电压、电流、整个仪表系统所需要的功率、安全因素和电磁兼容性等。同时,为了减少噪声对系统的影响,在电源进入PCB板的地方和各器件的电源和地之间加上了大量的滤波电容;在电路设计上,采用了电源总线的方式来进行电源的供给。

2.2.2 数据采集通信主板

数据采集通信主板主要实现3部分功能,分别是:外部电网信号转换、模拟量/数字量转换、与上位机通信功能。电网信号的转换,主要是将电网的三相电压、三相电流转换为弱电信号,提供给A/D转换芯片。本仪表所采集的电网电压范围为,用分压电阻的方法,把三相电压信号转化成3个最大为400mV的电压信号,经过阻容滤波送入A/D转换芯片。如图4所示。

三相电流的采集,是利用电流互感器将0~5A的电流转换为0~2.5mA直流电流信号,再通过阻容电路,将

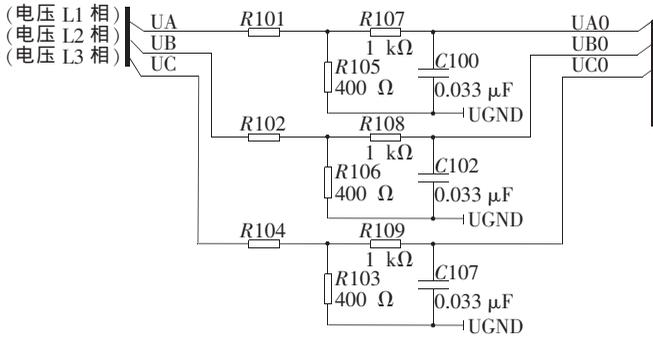


图4 电阻分压

电流信号转换成电压信号送入 A/D 转换芯片。如图 5 所示,为 A 相电流转换电路。

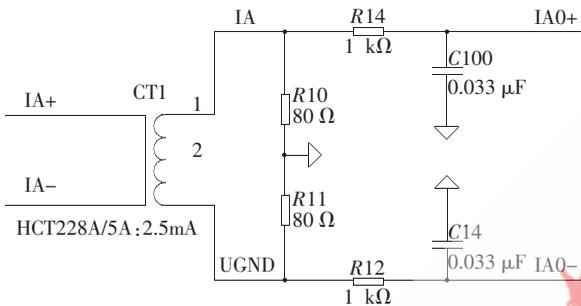


图5 A相电流转换电路

数模转换功能是利用高精度 6 通道双极性 16 位的 A/D 转换芯片 CS5451A 实现多路同步数模转换,利用 CS5451A 芯片的 I²C 总线与 LPC2138 进行通信,将完成模数转换后的数字信号上传给 LPC2138 来进行储存、计算、显示等。如图 6 所示。



图6 CS5451A与LPC2138连接示意图

与上位机的通信功能,利用了 LPC2138 芯片的 UART 扩展的 RS485 收发器,完成上下位机呼叫、应答的通信模式。

2.2.3 微处理器(CPU)板

微处理器板,也就是 CPU 板,是完全围绕着 LPC2138 芯片设计的电路板。包括晶体振荡电路、外部存储器电路、与数据采集通信板对接口和液晶按键接线端子等。根据微控制器内部的振荡电路所支持的外部晶体范围,选择 11.059 2 MHz 无源晶振,经内部 PLL 倍频后最高可达 60 MHz,PLL 电路不仅有倍频作用,还能起到降噪作用。电路如图 7 所示。

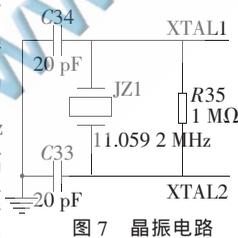


图7 晶振电路

数据存储是单片机系统中不可缺少的部分,用来对采集的数据进行保存及对系统中用到的一些参数进行存取等。利用 LPC2138 集成了标准的 I²C 总线接口,设计中采用此接口连接具有外部标准 I²C 接口的串行 FRAM 存储器。本文选用非易失性铁电存储器 FM24CL64。

FM24CL64 具有标准的 I²C 接口,是常用的 FRAM 外部存储器模块。FM24CL64 的容量为 64 Kb,由 I²C 总线和 FRAM 实现,硬件电路简单,数据保存时间长,稳定可靠。具体接口电路原理图如图 8 所示。FM24CL64 主要作用是保存系统运行过程中产生的重要参数,如电压、电流、功率和继电器状态等数值。

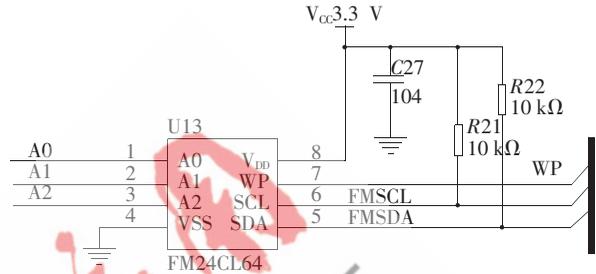


图8 FM24CL64接口原理图

3 综合电力仪表软件设计

软件设计是系统的重要组成部分,系统几乎所有的功能都依靠应用软件实现。利用 μC/OS-II 操作系统环境,按照仪表的功能划分任务,然后按系统中的各个任务进行程序设计和调试,最后将任务连接起来进行总体的调试。这样不仅结构简单明了,而且方便系统功能的扩展和程序的修改。

μC/OS-II 系统是一种开源的嵌入式系统,具有可移植性强、可固化、可裁剪性、多任务性等特点,是较为常用的嵌入式操作系统^[1]。基于 μC/OS-II 的嵌入式应用系统,首先需针对目标硬件平台对 μC/OS-II 进行移植,这里不再详述。如图 9 所示,为综合电力仪表软件设计框图。

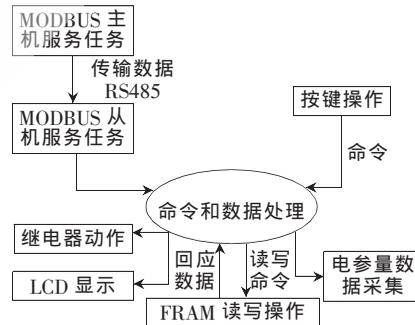


图9 综合电力仪表软件设计框图

μC/OS-II 操作系统中的每一个任务可称作一个线程,是一个无限的循环程序,该程序运行时可以认为独占 CPU。实时应用程序的设计过程中的首要问题是如何根据系统功能分割成不同的任务。每个任务都是整个应用的一部分,被赋予一定的优先级,具有独立的一套 CPU 寄存器和栈空间。每个任务的优先级由用户决定,任务越重要,赋予的优先级越高。而本设备所划分的任务分别为数据读取、人机交互、数据采集、通信任务等。

其中通信任务中,使用了工业上较为简洁、有效的 Modbus 通信规约,完成与上位机的通信。

基于 LPC2138 微处理器的嵌入式综合电力仪表,通过一系列的调试、测试,达到了所要满足的各项要求,测量精度达到了 0.2%。利用 LPC2138 片内丰富的硬件资源和高速处理能力,植入嵌入式实时操作系统,实现功能模块化,易于功能的扩展和软件的升级,对同类仪器有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 虞礼贵.综合电力监测装置的设计研究[D].江苏:江苏大学,2009.
- [2] 任哲.嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 原理及应用(第二

版)[M].北京:北京航空航天大学出版社,2009.

- [3] 周立功.ARM 嵌入式系统基础教程[M].北京:北京航空航天大学出版社,2008.

(收稿日期:2013-04-15)

作者简介:

李炳祥,男,1963年生,工程师,主要研究方向:计算机应用。

李航,男,1982年生,硕士,主要研究方向:计算机测控技术。

张兴波,男,1964年生,硕士,高级工程师,主要研究方向:计算机应用。

