

基于 ARM 技术的三相数字电表设计

黎洪生, 张 虎

(武汉理工大学 自动化学院, 湖北 武汉 430070)

摘 要:传统的机械电表因其固有的技术限制在原理和应用中存在各种各样无法克服的困难,如精度无法达到更高的标准,功能单一,无法适应现在监控管理系统等等。为了解决这一系列问题,将采样、DSP、ARM、嵌入式等先进技术应用到电表,不仅改变电表的原理和内部结构,其电表具有强大的数字功能,而且在精度上有很大的提高,能适应现代监控系统,因此这项技术正日益引起人们的注意。从应用角度详细地介绍了三相数字电表的设计应用。

关键词:采样;DSP;ARM;三相数字电表

中图分类号:TM932

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2007)10-0192-03

Design on Three - Phase Digital Electric Instrument Based on ARM Technology

LI Hong-sheng, ZHANG Hu

(Sch. of Automation, Wuhan Univ. of Tech., Wuhan 430070, China)

Abstract:Existence is all kinds of in restricting in principle and applying the traditional machinery electricity meter because of whose inherent technology the difficulty having no way to overcome, unitary, having no way to adapt to now if accuracy has no way to reach higher standard, function to monitor management system and so on. And for the problems, in applying advanced technologies such as sampling, DSP, ARM, embedded systems to the electricity meter, not only changing electricity meter principle and inner structure, whose electricity meter has the figure function big and powerful, have very big rise on accuracy, the energy adapts to modern supervisory control manage system, this technology arouses people's attention. This article in detail introduced the three - phase digital electric instrument design and application from the application angle.

Key words: sampling; DSP; ARM; three - phase digital electric instrument

0 前 言

传统的电表为机械式电表,因其固有的技术限制,在精度上无法达到更高的标准,在功能上也非常单一,测量参数非常有限。三相数字电表是通过使用嵌入式系统,将采样、DSP、ARM 等技术集成在一起,实现复费率、多种参数的测量显示、接口丰富、易于扩展的数字电表。

1 三相数字电表原理

通过前端采样电路,对 220V 工频交流电进行采样,将其电流和电压转换成 0 到 5V 的交流采样信号,然后对采样信号进行相关的数字信号处理,得到基波或者谐波的有功、无功电能,有功、无功功率,功率因数等参数,MCU 根据所得的结果做出相应的控制,比如

显示、储存等。

有两套方案来实现:第一套方案是用专用计量芯片来实现数字信号处理功能,将采样信号输入给专用计量芯片,通过专用计量芯片的内部运算后,将所得参数存入其相应寄存器,MCU 通过相关接口将相应的所需参数读到 MCU 内,根据所得参数进行相应的控制算法处理,做出相应的控制。第二套方案是用软件来实现高速数字信号处理功能,将采样信号输入给 MCU 进行运算,然后将所得参数存入相应寄存器,做出相应的控制。本次设计采用第二套方案,使用软件来实现高速数字信号处理功能,根据所得参数进行相应的控制算法处理,做出相应的控制。三相数字电表系统的整体结构框如图 1 所示。

2 硬 件

2.1 硬件设计方案

整个硬件设计关键的部分就是信号采集。信号采

收稿日期:2007-01-04

作者简介:黎洪生(1961-),男,湖北洪湖人,教授,博士生导师,研究方向为智能诊断与远程控制。

集是将 220V 工频交流电转换成相对应的 0 到 3V 的交流信号,这是关系到整个系统精度的问题,如果采集失真,不仅导致精度下降,还有可能产生严重的错误。

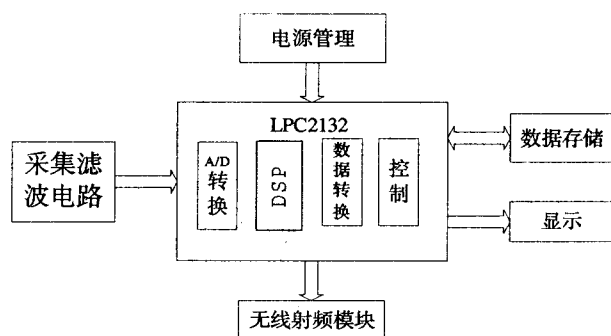


图 1 三相数字电表系统的整体结构框图

信号采集分为 2 部分:变压和滤波。

变压的目的是把 220V 工频交流电转换成适合 A/D 转换的交流信号。一般采用 2 种方式:一种利用电路的传递函数把输入的 220V 工频交流电进行分压,然后再传给 MCU 的 A/D 接口^[1];另一种是利用专用变压器器件互感器直接进行变压,得到所需的交流信号后,直接输出给 MCU 的 A/D 接口^[2]。这 2 种方式各有优缺点,第一种方式成本很低,但因为是直接接到 220V 工频交流电,无法对交流电干扰进行隔离,且电路中所选元件均为大功率元件,又因为利用电路的传递函数进行分压,并且所选元件的精度一定很高;第二种方式,利用互感器不仅可以对交流电进行隔离,而且输出稳定,电路设计比第一种方式要简单,但成本略高于第一种方式。基于实际情况考虑,本次设计选用第二种方式。

在对信号采样时为避免高于折叠频率的杂散频谱进入采样器造成频谱混淆,采样器前常常加一个保护性的前置低通滤波,阻止高频分量进入^[3]。在这里采用的是 RC 低通滤波电路。

2.2 MCU 选择

本次设计 MCU 采用的是 PHILIPS 半导体公司的 LPC2132 这款芯片。LPC2132 微控制器是基于一个支持实时仿真和嵌入式跟踪的 16/32 位 ARM7TDMI-S 的 CPU,并带有 64kB 嵌入的高速 Flash 存储器。128 位宽度的存储器接口和独特的加速结构使 32 位代码能够在最大时钟速率下运行。

为对代码规模有严格控制的应用可使用 16 位 Thumb 模式将代码规模降低超过 30%,而性能的损失却很小。8 路 10 位的 A/D 转换器,每个通道的转换时间低至 2.44μs,满足对三相工频交流电进行不失真的采样。多个串行接口,包括 2 个 16C550 工业标准 UART、2 个高速 I²C 总线(400kbit/s)、SPI 和具有缓冲

作用和数据长度可变功能的 SSP,可方便地进行接口扩展^[4]。

2.3 采样滤波电路硬件参数选择

根据设计方案,选用的是利用专用变压器器件互感器直接进行变压,得到所需的交流信号后,经过滤波电路,直接输出给 MCU 的 A/D 接口进行采样。而 LPC2132 这款芯片的 A/D 输入电压为 0 到 3V,故必须把原有交流信号加上直流偏置电压,将其调制到第一象限区域。图 2 为采样滤波电路。

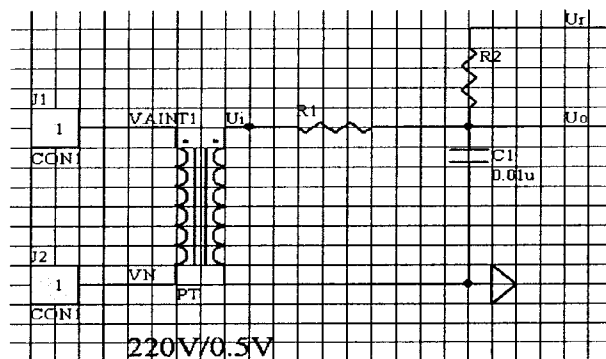


图 2 采样滤波电路

图 2 中,PT 为专用变压器器件互感器,将 220V 工频交流电转换成相对应的 0.5V 的交流信号; R_1 、 C_1 组成低通滤波电路,起滤波作用; U_r 为增加的 3V 直流偏量。因为 A/D 输入电压为 0 到 3V,故 U_o 的输入电压为 0 到 3V。

根据基尔霍夫原理^[5]可以得到:

$$I = (U_i - U_r) / (R_1 + R_2) \quad (1)$$

$$U_o = U_i - IR_1 \quad (2)$$

由方程(1)、(2)可得:

$$U_o = U_i - (U_i - U_r) * R_1 / (R_1 + R_2) = R_1 * U_r / (R_1 + R_2) + R_2 * U_i / (R_1 + R_2) \quad (3)$$

因为 U_i 的输入范围为 $-0.5\sqrt{2}V$ 到 $0.5\sqrt{2}V$,故 $-0.707V \leq R_2 * U_i / (R_1 + R_2) \leq 0.707V$,如果需要 $0 \leq U_o < 3V$,则 $R_1 * U_r / (R_1 + R_2) \leq 1V$ 即可,故

$$R_1 / (R_1 + R_2) \leq 1/3 \quad (4)$$

根据方程(4)可以很方便地选择 R_1 、 R_2 的参数。

在本次设计中,根据方程(4),选择 R_1 为 1.2kΩ, R_2 为 4.7kΩ,满足采样滤波电路的输入需求。

3 软件

根据三相数字电表的整体设计,通过 MCU 对三相电源的各相电流电压采集后,进行模数转换,利用软件套用公式实现包括加减乘除、积分等数学运算,将电压、电流、有功/无功/视在功率、功率因数、有功电能、无功电能等参数在规定时间内计算出,根据所取得结

果作相应的处理和控制。

3.1 模数转换

利用 LPC2132 的 A/D 转换模块对采集到的交流信号进行模数转换。在这部分的软件设计中,最关键的是确定采样频率。

输入到 LPC2132 的 A/D 转换模块的电信号是一个频率为 50Hz 到 60Hz 的正弦波。根据奈奎斯特采样定理:要使实信号采样后能够不失真还原,采样频率必须大于信号最高频率的两倍,即 $\Omega_s \geq 2\Omega_{\max}$ 。但在实际工作中,为避免频谱混淆,采样频率总是选的比两倍信号最高频率更大些。对于一个正弦波的采样点一般是使用 $N = 100 * 2 * \pi = 628$,理论上采样频率 $f = 2 * f_{\max} * N = 2 * 60 * 628 = 75360\text{Hz}$,在本次设计中选择的采样频率为 100kHz,可以保证不失真的采样。下面是相关程序代码^[4]。

```
AD0CR = (1 << 3) | //SEL = 8, 选择通道 3
((Fpclk/1000000 - 1) << 8) | //CLKDIV = Fpclk/1000000
- 1, 转换时钟为 1MHz
(0 << 16) | //BURST = 0, 软件控制转换操作
(1 << 17) | //CLKS = 1, 使用 10clock 转换, 采样频率
100kHz
(1 << 21) | //PDN = 1, 正常工作模式
(0 << 22) | //TEST1:0 = 00, 正常工作模式
(1 << 24) | //START = 1, 直接启动 ADC 转换
(0 << 27); | //直接启动 ADC 转换时, 此位无效
DelayNS(10);
ADC_Data = AD0DR; //读取 ADC 结果, 并清除 DONE 标志
位
while (1)
{
    AD0CR |= 1 << 24; //进行第一次转换
    while ((ADDR & 0x80000000) == 0); //等待转换结束
    ADC_Data = AD0DR; //读取 ADC 结果
}
```

3.2 DSP

在对 U, I 采集和转换后, 还需要根据相关公式计

算出电压、电流、有功 / 无功 / 视在功率、功率因数、有功电能、无功电能等参数。在进行数学计算的过程中, 积分比较复杂。例如电能 $W = \int_0^t UI dt$, 根据积分的定义将其转换成累加, 则电能公式就转换为 $W = \sum_{n=0}^N U(n)I(n)$, 如果取 $N = 100k$, 通过循环累加 100k 次就可以很方便地计算出 1 秒钟的电能。

3.3 数据转换

所需计量参数计算出来后, 需要根据其结果作出相应的处理和控制, 如显示、存储、通讯。但是每一种处理所需要的数据结构不太一样, 如存储的数据结构为时间 + 参数, 而显示的数据结构为控制 + 参数, 因此需要对数据进行各种格式结构的转换。在这里分了三种格式结构: 显示格式、存储格式、通讯格式。

4 结束语

在本次设计中, 充分利用了 LPC2132 芯片内的各个模块, 克服了传统机械式电表的固有问題, 从而使其在稳定性和精度上达到了新的高度, 并且很方便地进行功能扩展, 能高精度测量多种三相 / 单相电量: 电压、电流、有功 / 无功 / 视在功率、功率因数、有功电能、无功电能等, 在变电站综合自动化系统、低压智能配电系统中有很好的运用, 具有良好的推广前景。

参考文献:

- [1] 方彦军, 程继红. 检测技术与系统[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [2] 蔡萍, 赵辉. 现代检测技术与系统[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [3] 樊昌信, 詹道庸. 通信原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.
- [4] 周立功. 深入浅出 ARM7-LPC213x/214x[M]. 广州: 广州周立功单片机发展有限公司, 2005.
- [5] 邱关源. 电路[M]. 北京: 高等教育出版社, 1989.

参考文献:

- [1] Sahni S. 数据结构、算法与应用——C++ 语言描述[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004: 95-96.
- [2] 唐发根. 数据结构教程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
- [3] 钟玉琢, 蔡莲红, 李树青, 等. 多媒体计算机技术基础及应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [4] Steinmetz R, Nahrstedt K. 多媒体技术: 计算、通信和应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [5] Allen J A. Maintaining Knowledge about Temporal Intervals[J]. Communications of the ACM, 1983, 26(11): 832-843.

(上接第 191 页)

3 结束语

文中介绍的网络多媒体课件开发平台以新颖的、人性化的面向对象的原理为基础, 结合层次结构实现了多功能的课件制作, 并且合成的课件可以在单机上运行, 也可以在网络上浏览, 且具有良好的交互性, 适合各种教学使用, 该平台虽已经开发并在全军投入使用, 但在功能和技术上还有很多不完善之处, 将有待进一步研究。