

基于 MSP430F449 的低功耗采样电力表

方伟林, 于 泉

(黑龙江大学 计算机学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘 要: MSP430F449 超低功耗单片机具有丰富的内部资源和强大的信号处理能力, 将该单片机结合交流采样测量算法可实现交流信号的测量与处理, 使设计的电力表具有低功耗、多功能、高精度、可靠性高等特点。

关键词: 交流采样; 电力表; 单片机

中图分类号: TM933.3

文献标识码: B

文章编号: 1672-0946(2003)04-0447-03

Study on low power consumption wattmeter based on MSP430F449

FANG Wei-lin, YU Quan

(School of Computer Science, Heilongjiang University, Harbin 150080, China)

Abstract: MSP430F449 mixed signal micro-controller with low power consumption is rich in internal resources and has strong ability in signal processing. This micro-controller can be used in AC signal measuring and processing when combined with method of AC sampling. The signed wattmeter has the features of low power consumption, multi-functions, high accuracy and reliability.

Key words: AC sampling; wattmeter; MSP430 mixed signal micro-controller

基于交流采样测量原理、内置微处理器的采样式电力表以其硬件简洁、智能化、多功能、谐波处理能力等特点在电力测量领域得到了广泛应用。采样式电力表的核心部件是单片机, 国内目前使用较多的是 Intel 公司的 51、196 系列。由于该系列单片机的功耗较大, 内部资源有限, 采用其设计的电力表不仅需要多种外围模块的支持(如: A/D 转换器、EEPROM、RAM、NVRAM、EPROM、接口芯片、显示驱动器等), 还需要交流稳压电源。为此, 本文提出一个基于 MSP430F449 超低功耗十六位单片机的采样式电力表的设计方案。该方案使用 MSP430F449 单片机内十二位 A/D 完成交流信号的采样, 利用其丰富的内部资源和强大的信号处理能力完成数字信号处理, 通过机内 LCD 驱动及 Flash 存储器实现测量的显示与存储, 使设计的电力表具有低成

本、低功耗、智能化、测量精度高、存储数据多、可靠性高等特点, 适用于野外及非固定场所对电力设备进行测试时使用。

MSP430F449 是 TI(德州仪器)公司于 2002 年推出的超低功耗单片机, 是目前 MSP430 系列中的最新产品^[1, 2]。该单片机的特点之一是低功耗。它的工作电压为 1.6~3.6 V, 在 2.2 伏电压、时钟频率 1MHz 下工作电流仅为 280 μ A; 特点之二是集成度高。它将大量的外围模块整合到片内, 内部集成有 16 位精简指令结构 CPU、16 \times 16 带累加功能的硬件乘法器、60 KB Flash 程序数据存储、2 KB RAM、12 位 A/D(8 通道输入, 带内部参考电压及采样保持器, 转换时间小于 10 μ s)、一个温度传感器、驱动能力达 160 段的 LCD 驱动器、一个基本定时器、二个带捕获比较功能的 16 位定时器、一个模

拟比较器、2 个 UART/SPI 模式的串行口、6 个并行口、一个看门狗定时器和频率锁相环时钟电路等。由于这些特点,采用该单片机设计的电池供电的手持式电力表具有硬件结构简单,系统功能强大,性能价格比高等特点。

1 硬件设计

本系统的硬件原理见图 1,它分为模拟、数字两部分。其中,模拟部分由互感器、限幅电路、抗混叠低通滤波器组成,数字部分由 MSP430F449 单片机、LCD 显示器、键盘、232 电平转换器组成。整个系统由 3 V 电池供电,当内部时钟设定为 4 MHz 时,工作电流小于 3 mA。下面,分别介绍系统各部件的工作原理。

电压互感器 PT、电流互感器 CT 的作用是将交流电压、电流信号变换成与之成比例的交流小信号,实现系统内外部之间的高压隔离。其中,PT、CT 二次端的可调电阻用于调节输出信号的大小以适应 A/D 输入范围。由于本系统 A/D 的输入范围为

$0 - V_{ref}$ (V_{ref} 可由软件设定为 2.5 V 和 1.5 V),交流信号不能直接输入,这就需要将交流信号的参考零点从 0 V 抬高到 $V_{ref}/2$ 。这里采用的方法是,将 A/D 的参考电压 V_{ref} 用分压电路进行分压得到 $V_{ref}/2$,再将分得的电压经过电压跟随器驱动得到交流信号的新零点,将这个新零点连接到 PT、CT 输出端的一侧,就可从输出端的另一侧得到相对于直流地,范围在 $0 - V_{ref}$ 之间的电压、电流信号。

抗混叠低通滤波器的作用是滤除仪表中不能处理的高频信号分量。根据采样定理,采样式电力表能处理的最高信号频率是采样频率 f_s 的 $1/2$ 。如果现场中的电力信号存在着谐波污染,当信号中的最高频率分量超过采样频率 $f_s/2$ 时,就会带来采样信号的频谱混叠,引起测量误差。因此,在前级通道中串进了一阶有源抗混叠低通滤波器。该滤波器由 RC 电路和运算放大器组成。它的通带电压增益为 1,截止频率为 $f_n = 1/2\pi RC$ 。设计时可取 $f_n = 0.4f_s$,并应该尽量选用大阻值电阻以减少互感器二次端的可调电阻对滤波器截止频率产生影响。

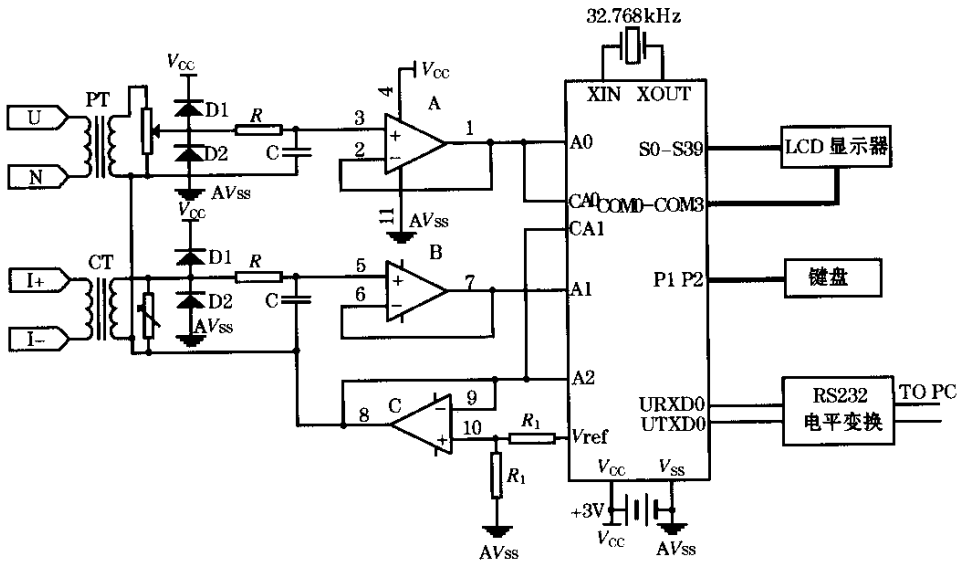


图 1 采样式电力表硬件原理图

Figure 1 Principle chart of hardware of sampling wattmeter

原理图中的 MSP430F449 单片机是整个系统的核心,其作用是完成 A/D 转换、数据处理、输入输出等。它的内部集成了多种外围模块,具有强大的信号处理能力。本系统仅用到其中部分模块,下面将对此分别介绍。

A/D 模块使用了 A0、A1、A2 三个模拟输入通道,它们分别与电压、电流和交流零点相连接。将交

流零点引入机内是为了从转换的电压、电流数字量中扣除 $V_{ref}/2$ 的影响,同时也为了及时跟踪交流零点的变化,避免零点漂移对测量结果产生影响。在该模块中,转换顺序、采样保持时间及转换结果的存储都可以预先设定好并由硬件自动完成,每一组转换完成后才需要软件处理,这就能实现的采集与 的处理同时并行工作。

仪表键盘直接连接到单片机的 P1、P2 口模块。选择这两个口是因为它们都具有外中断及中断事件挂号功能。利用该功能监测开关的闭合,可以省去键盘分析程序中的软件延时时间(开关去抖动),为仪表分配更多的时间进行数据采集处理。

显示模块由单片机内 LCD 驱动器、外配 LCD 显示器组成。该驱动器有 40 个段极(S0-S39)4 个公共级(COM0-COM3)输出,在 4MUX-1/3 偏压驱动模式下可驱动 160 段 LCD。使用该模块可以简化显示程序的设计,由于显示数字的位置、字型分别与显示内存的地址和该地址单元中的数字编码相对应,在程序中只需将译码后的字型数据送入到相关显示内存单元,就能方便地在 LCD 上实现数字显示。

通信模块是将现场测量后存储的数据传送到上位 PC 机。这里采用了串口 0,波特率设定为 9600,通过 232 电平转换器与 PC 机的串行口相连完成串行通信。本系统在使用中,还需要存储大量的现场测量数据,这些数据将存储在单片机内的 Flash 存储器中。由于程序与测量数据都在同一 Flash 存储器,设计时需注意将程序区与数据区分开,这样才不会影响程序的运行和测量数据的存储。应注意的是:Flash 存储器的写入是字节或是字,但擦除却是分段(每段 512 字节)或整片进行的。因此,程序设计时就不能使用整片擦除功能,也不能擦写程序存储区段,否则,系统将处于瘫痪。

时钟模块由 32 768 Hz 的石英晶体与内部的低频振荡器组成。该低频信号在内部经过锁相倍频电路可得到频率可调、最高频率不超过 8 MHz 的主时钟。在设计时应尽量减少主时钟频率,这样可以有效地减少系统的功耗。

2 软件设计

系统软件采用了模块化设计方法,共分为 5 个模块:初始化、数据采集、数据处理、显示、键分析处理。其中,初始化模块完成对单片机内部各部件工作方式的设定,显示及键分析处理模块完成对测量值的显示与系统的人工管理。这里将着重介绍数据采集与数据处理模块。

数据采集模块负责交流信号的采样。其中,采样周期由单片机内部定时器设定以保证每个交流周波采样 128 点。由于电网频率的随机波动,使采样周期与电网周期之间不能保证整倍同步关系,

理论上测量结果将存在误差。为此,本系统将交流电压信号引入单片机内的模拟比较器进行整型,将整型后的方波信号从单片机内部直接送到定时器 A 的捕获单元,利用捕获方波信号的上跳沿来测试电网周期,再根据电网周期调整采样周期,以实现交流信号的同步采样。

数据处理模块完成采样后数据的处理。根据同步采样算法,交流参数的测量数学模型为 $U =$

$$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N u_k^2}, I = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N i_k^2}, P = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N u_k i_k. \text{ 式中: } U、I、$$

P 分别为交流电压、电流和功率,为整数倍交流周波内的采样点数, $u_k、i_k$ 分别为交流电压、电流的采样瞬时值。交流参数的导出量数学模型为 $S = UI、$

$$Q = \pm \sqrt{(UI)^2 - P^2}, PF = \frac{P}{S}. \text{ 式中: } S、Q、PF \text{ 分别为视在功率、无功功率和功率因数。其中 } Q \text{ 的符号}$$

将根据电压、电流之间的相位关系来判断。当电压正向过零时电流采样瞬时值如果为负, Q 取正号,否则,取负号。在数据处理时还应该注意:输入端电压、电流互感器存在着角差,前级电压、电流通道抗混叠模拟低通滤波器的相频特性不一致存在着角差,无外部取样保持器使用单 A/D 分时转换也存在着角差。这些角差会引起电压、电流之间相位差的改变,直接影响到功率测量的准确度。为此,本系统采用了数字移相法^[3],即根据电流的大小对一路信号完成 A/D 转换后,对另一路信号的 A/D 转换进行延时来补偿角差。

3 结语

基于 MSP430F449 超低功耗单片机结合交流采样测量算法设计的低功耗电力表已经获得成功。由于该单片机具有丰富的内部资源和良好的稳定性,使设计的仪表外围电路得到了最简化,从而降低了成本,提高了可靠性。目前,该仪表已经应用于野外电力设备的电力测量,在恶劣的高低温条件下仪表工作可靠,实际应用取得了很好的效果。

参考文献:

- [1] 胡大可. MSP430 系列 FLASH 型超低功耗 16 位单片机[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2001.
- [2] 魏小龙. MSP430 系列单片机接口技术及系统设计实例[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2002.
- [3] 伟林,王立功,杨娟. 取样式功率表附加相移的字补偿法[J]. 电测与仪表,1997,34(1):33-35.