

文章编号:1004—289X(2007)01—0046—03

基于 MSP430 在三相交流电监测系统中的应用

罗松涛¹ 曾兴赠² 彭侠夫²

(厦门大学信息科学与技术学院,福建 厦门 361005)

摘要:介绍了以 MSP430F149 单片机为核心,一种实现电力参数交流采样技术的基本算法,并对其硬件和软件的结构进行了详细地阐述。该监测设备结构简单、误差小、测量精确、价格低,可以作为测试仪器使用,也可以作为监控装置。

关键词:电力参数;交流采样;MSP430

中图分类号:TM764

文献标识码:B

Application of MSP430—based on Three—phase Electric Power Monitor System

LUO Song—tao¹ ZENG Xing—zeng² PENG Xia—fu²

(College of Information Science and Technology, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: A basic calculating method used in AC sampling for electric parameters with MSP430F149 single chip microcomputer are introduced in the paper, and interpreted the structure of hardware and software detailedly. The equipment is simple in construction, small errors, measure in precise and low price, which can be used as a testing equipment or a monitor device.

Key words: electric parameter; AC sampling; MSP430

1 引言

为了了解电网的运行状况并保证电网安全运行,需要对电能参数进行测量、监控。随着计算机技术,尤其是单片机技术大规模集成电路及各种新型传感元件的迅速发展和日臻成熟,微机技术在电力系统中的普及应用,使电力系统的测量和监控技术得到了快速的发展。用微机进行交流采样,实现了对交流电压、电流、有功功率、无功功率、功率因数等电力参数的测量,不但提高了测量的精度,而且提高了变电站的自动化水平。所谓交流采样就是将取自变压器二次侧电压互感器、电流互感器的交流信号经高精度的小 PT、小 CT 变成 A/D 转换器可处理的交流小信号,然后送入计算机进行处理。由于交流采样方式减少了硬件电路的非线性环节,且当电网周波不断变化时,采用计算机可方便地实现跟踪电网周波采样,因此消除了因周波变化对测量所产生的误差,提高了采样精度^{[1][2]}。

文中设计了一套三相交流电监测系统,采用多通道 A/D 转换器、快速离散测量法避免了以上的缺点。

2 三相交流电参量

2.1 电压电流的交流采样方法的测量

交流电压、电流采样在三相四线制低压配电系统中计算有功功率和无功功率的公式如下:

$$P = U_a I_a \cos \varphi_a + U_b I_b \cos \varphi_b + U_c I_c \cos \varphi_c \quad (1)$$

$$Q = U_a I_a \sin \varphi_a + U_b I_b \sin \varphi_b + U_c I_c \sin \varphi_c \quad (2)$$

理论上,式(1)、(2)中每相电压、电流有效值和功率因数数值应是同一时刻的量,但因为电网正常运行时,这些量在 1s 内不会有明显变化,所以只要完整的采样和处理周期 ΔT 不大于 1s,就可认为各相电流、电压及功率因数是同一时刻的值。

基于上述思想,将三相有功电量和无功电量的计算公式离散化便可写成如下形式:

$$W_p = \sum_{n=1}^{n=T/\Delta T} (U_a I_a \cos \varphi_a + U_b I_b \cos \varphi_b + U_c I_c \cos \varphi_c) \Delta T$$

$$= \sum_{n=1}^{n=T} (U_a I_a \cos \varphi_a + U_b I_b \cos \varphi_b + U_c I_c \cos \varphi_c) \quad (3)$$

同理可得:

$$W_q = \sum_{n=1}^{n=T} (U_a I_a \sin \varphi_a + U_b I_b \sin \varphi_b + U_c I_c \sin \varphi_c) \quad (4)$$

在式(3)、(4)中, T 是以 s 为单位的统计电量的时间。由以上计算公式可看出,要想求出上述几个参数,关键在于电压、电流和相位差角的采样。交流电压和交流电流采用离散化处理方法求取。根据一个周期内采

样瞬时值及每周期采样点数计算电压、电流有效值的公式为:

$$U = \left(\frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} u_m^2 \right)^{1/2}, I = \left(\frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} i_m^2 \right)^{1/2} \quad (5)$$

式中, U_m 、 I_m 分别为第 m 个时间间隔的电压、电流采样瞬时值; N 为一个周期内采样点数, 在本设计中取为 32。

基于采样模型设计的交流电压和交流电流采样电路, 如图 1 所示。由变压器 380 V 侧取自电压母线、电流互感器的交流信号经限幅电路后选通多路模拟开关直接送到 MCU 片内的 A/D 转换器接口^{[3][4]}。

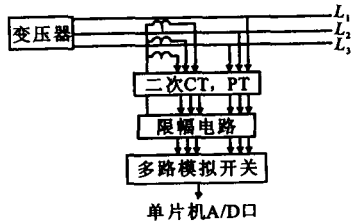


图 1 交流电压和交流电流采样电路

2.2 频率的测量

三相正弦交流电经过电压互感器耦合, 经过低通滤波器, 再经过零比较器后产生的波形如图 2 所示。其中 U_A 为 A 相波形。

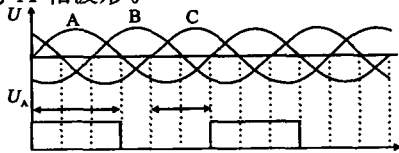


图 2 经过零比较后的电压波形

对于频率的测量, 如图 2 中的 A 相电压的频率 f_a , 只要测出 A 相电压半个周期的时间 t_A , 那么 A 相电压的周期 $T = 2t_A$, 得出 A 相电压的频率 $f_a = 1/T$ 。同样的方法, 可以测量其他两相的频率 f_b 及 f_c ^[5]。

3 系统设计

3.1 硬件系统设计

本设计使用 MSP430F149 单片机。MSP430FLASH 可实现在线写入, 擦写次数高达 10 万次, 有 60KB 的 FLASH ROM 和 2KB 的 RAM。FLASH 可以整个擦除也可以分段擦除, 强力抗干扰。微控制器可使用电池长期工作, 电压范围 1.8~3.6V。由于具有 16 位 RISC 结构, 16 位寄存器和常数寄存器, MSP430 达到了最大代码效率。数字控制的振荡器提供从所有低功耗模式苏醒到活动模式的能力时间少于 $6\mu s$ 。MSP430 带有两个 16 位定时器(带看门狗功能)、速度极快的 8 通道 12 位 A/D 转换器(ADC)(带

内部参考电压、采样保持和自动扫描功能)、一个内部比较器和两个通用同步/异步发射接收器、48 个 I/O 口(均可独立控制)的微处理器结构。硬件乘法器提高了单片机的性能并使单片机在编码和硬件上可兼容。MSP430F149 的 A/D 转换器 ADC12 采用逐次逼近原理, 12 位分辨率, 高 2 位由电阻网络获得, 低 10 位由电容网络获得, 最高采样速率达 2×10^5 次/s。ADC12 有内置的采样保持电路, 8 个内部模拟输入通道, 每个通道可独立选择内外正负参考电压源。片内有 16 组采样寄存器, 其中一个 16 位寄存器存放转换结果, 一个 8 位寄存器存放采样通道号、参考电压选择及序列标志。用户可以预先设置好通道顺序及参数, 并用序列标志指明序列的结束位置, 这一结构可以大大降低采样控制软件的成本。系统结构框图见图 3。

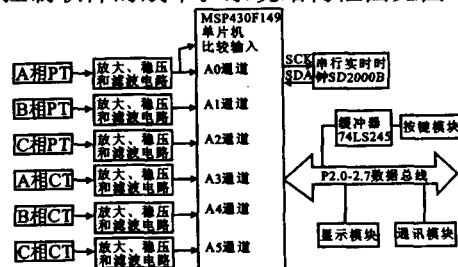


图 3 系统硬件结构框图

鉴于 MSP430F149 单片机的以上特点, 测频率电路选用内部模拟比较器, 采样选择内部 ADC, 并且外部不用扩展存储器和 I/O 口。图 3 为系统硬件框图, 可以看出外围设备得到了简化。设计中需要注意的是 MSP430F149 的工作电压是 3.3V, 因此其 I/O 电平也是 3.3V 逻辑电平, 并且与 5V TTL 电平兼容。但与 5V CMOS 的标准电平不一样, 所以不能直接与 5V 的 CMOS 标准器件相接。在这种情况下, 可以采用双电压(一边是 3V 供电, 一边是 5V 供电)供电的驱动器, 如 TI 的 SN74ALVC164245、SN74LVC4245。

由于单片机内部 ADC 为单极性而且参考电压为 2.5V, 因此输入信号电平应为 0~2.5V。本装置利用单片机 ADC 参考信号的输出, 取其 1/2 即 1.25V 作为基准, 将交流信号的零点提高到基准电压, 然后使用运放作电平变换, 即可将信号电平变为 0~2.5V。对于低通滤波器, 应选用精度为 1% 的电阻, 并计算出滤波网络的相位误差, 确保其在允许范围内。在设置 ADC 采样通道顺序时, 交替采集电压和电流, 可以减少各相的相位误差。测周期单元交流信号的周期检测一般利用整形二分频电路, 本设计将经过调理的交流小信号和基准电压信号输入单片机的内部比较器, 得到的方波信号直接由单片机内部送到定时器 A 的捕获单元,

实际上也是利用整形二分频电路的原理。在使用定时器 A 的捕获功能测量周期时,由于比较器输出信号前后沿产生抖动,需要利用软件避让法,即设置一个时间间隔,当捕获的时间间隔大于设置的时间间隔时才认为有效。而且不论捕获上跳沿还是下跳沿,最后所得的时间间隔的两倍才等于交流信号的周期。

时钟电路,采用 SD2000B 型高精度实时时钟。SD2000B 是一种具有内置晶振的高精度实时时钟。该时钟可保证精度达到 4ppm,即年误差小于 2min,可内置电池,串行 NVRAM。NVRAM 为非易失性 RAM,擦写次数可达到 100 亿次。

USB 接口,采用飞利浦公司的 PDUSB12 芯片的 USB 接口技术,使装置与电脑通讯更加可靠,可以存储报表到 U 盘,PDUSB12 芯片的频率输入可以由单片机内部提供。单片机与上位机之间的数据传送经过 RS485 收发器 MAX485,由单片机的 USART0 发送和接收。通信方式为半双工,由单片机的 P1.0 口控制数据发送和接收^{[6][7][8]}。

3.2 软件设计

对于该系统,除硬件电路外,软件设计是系统重要组成部分。软件应适应响应迅速、算法简单的特点。该系统交流电量的测量分为频率、电压及电流的测量。

定时器 A 带有 3 个捕获/比较寄存器,相对应的有三个中断源和两种中断模式。定时器 A 捕获中断源为捕获/比较 1,在其服务程序中主要完成信号周期的检测。定时器 A 比较中断源为捕获/比较 0,在其服务程序中主要完成三相交流电压、电流的采集,数字滤波,采样数据存储,标度变换以及超限报警等。软件抗干扰采用算术平均值滤波的方法。其中断程序流程如图 4 所示。

3.3 测量误差分析

系统中单片机的时钟频率为 8MHz,因此定时器的定时时间单位为 $4\mu\text{s}$,而我国 50Hz 电力网信号的周期为 $1/50 = 20000\mu\text{s}$,所以所测得的频率的精度为 $(4\mu\text{s}/20000\mu\text{s}) \times 100\% = 0.02\%$ 。对于电压参量的测量误差,根据国家《电力系统谐波管理暂行规定》,要求千伏级电网谐波幅值小于 4% 基波幅值,该系统采用多通道快速采集,采样前先通过低通滤波器,使谐波幅值仅为基波的 0.4%;然后通过数字滤波器,滤除三次谐波。因此电压参量的精度完全可以满足实际要求。

4 结论

随着电力系统自动化水平的不断提高,微机交流

采样技术在电力系统已经得到了广泛的应用。MSP430 单片机所具有的丰富指令系统和硬件资源完全能够满足交流采样方式所需要的精度和测量速度的要求。现场运行结果表明,该系统运行情况良好,数据测量精度达到了预期的设计要求。

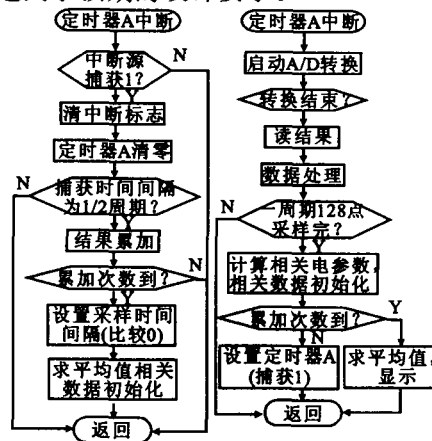


图 4 中断程序流程图

参考文献

- [1] 吴道虎,李玉华. 新型多功能电能质量监测仪的研制[J]. 电测与仪表. 1997,34(6): 27-29.
- [2] 潘贞存,陈青,王慧等. 电气量测量误差的软件校正与测量结果的平滑滤波技术[J]. 电力系统自动化. 1997.21(8):76-78.
- [3] 刘峻峰,李雪铃. 基于单片机的电力监控系统交流采样技术的实现[J]. 单片机与嵌入式系统应用. 2001(6)
- [4] 王慎林,郑国莘. 电网参数快速测量法及其在矿用电网参数监测中的应用[J]. 太原理工大学学报. 1999
- [6] 崔广新. 工频频率和相位的高精度测量[J]. 工业计量. 2001.01
- [7] 王翼南. 智能电参数测量仪原理与设计[J]. 电测与仪表. 1997. 34(11):37-38.
- [8] 潘卫江,胡大可. 新一代超低功耗单片机: MSP430F13X/F14X 系列单片机与嵌入式系统应用[J]. 2001(3)
- [9] 罗安. 电力参数新型微机测试仪表的研制[J]. 电力系统自动化. 1996,20(1):47-49.

收稿日期:2006-06-03

作者简介:罗松涛(1977-),男,硕士研究生,研究方向为计算机控制;彭侠夫:(1963-),男,教授,博士生导师,工学博士,主要研究方向为计算机控制及检测技术。