维普资讯 http://www.cqvip.com

DSP 在电机功率测量中的应用

DSP Based Single - Phase Power Metering System for Electric Engines

叶国欣 刘永章 李居峰
(上海大学机电工程及自动化学院,上海 200072)

摘 要: 该文介绍了 DSP 芯片 TMS320F2812 在电机的功率测量系统中的应用。该系统采样频率高,实时处理速度快,充分利用了 TMS320F2812 芯片的高价格性能比,有较大的应用前景。

关键词: DSP 功率 数字滤波

Abstract: Application of digital signal processor(DSP)(TMS320F2812) in the power metering system for electric engines is described. This meter has the high sampling rate and high dealing speed on time. It takes full advantage of high capability/price rate of TMS320F2812, and has extensive future of application.

Key words: DSP power digital filte

0 引言

在传统的电机参数测量系统中,一般采用 8051、80C196 等普通单片机作为核心部件。由于其指令周期较长,在高速采样和实时处理方面受到了一定的限制,因此,在实际测量中采样点数受到限制。由于电网电压波形存在畸变,电机负载的变化引起电流波形的畸变,所测量的电压和电流信号并非标准的正弦信号,因此采样点数的多少对精度有相当大的影响。一般来说,采样点数过少,会导致测量精度下降。

美国 TI 公司推出的高性能 16 位定点 DSP 的 TMS320C2000 系列,是针对电机控制和其他控制系统而设计的。它采用先进的哈佛结构,将程序指令和数据的存储空间分开,并有各自的地址和数据总线,从而极大地缩短了指令处理周期,使得增加采样点数和进行复杂数字运算变得简单易行。在系统中,选用 TMS320F2812 芯片作为 CPU。

1 TMS320F2812 芯片

TMS320F2812 芯片采用高性能静态 COMS 技术,32 位 CPU,低功率设计,最高 150MIPS 的执行速度使得指令周期缩短到 6.6ns,从而提高了控制器的实时控制能力。TMS320F2812 芯片内有高达 128K 字节 FLASH、18K RAM、1K OTP ROM,这些资源在一般场合已完全够用。

该芯片代码与 TMS320F24x/LF240x 源代码兼容,可采用高效率的 C/C++编程,简化了编程过程,提高了编程效率。芯片带有 3 个外部中断,外围设备扩展模块可支持 45 个外设中断。还有与 TMS320LF240x 处理器兼容的 2 个事件管理器(EVA,EVB)。

TMS320F2812 芯片带有 16 个通道的 12 位 A/D 转换器,最小转换速率可达 80ns/12.5MIPS。它有 2 个采样保持器,可选择多种方式来触发 2 个 8 通道输入 A/D 转换器或是 1 个 16 通道输入的 A/D 转换器;有 3 个 32 位通用定时器,高达 56 个可单独编程或复用的通用输入/输出引脚(GPI 0)。

2 硬件设计

硬件系统总体结构图如图 1 所示。由 CPU、电流电压输入模块、锁相环模块(锁相倍频)、LCD 显示、键盘和与上位机通信等模块组成。本系统充分利用 TMS320F2812 高速运算优势,采用单 CPU 结构。CPU 主要完成数据采集、数据滤波、数据计算、数据传输、键盘响应、LCD 显示、与上位机通信等工作。为了使 DSP 达到最大工作效率,CUP 主频采用 150MHz。

考虑到测量过程中,电网三相供电不均衡的实

维普资讯 http://www.cqvip.com

际问题,如果只是测量单相电参数,难以保证测量精度,故本系统采用两瓦特计法对电机的功率进行测量,被测量值包括 U_{AC}、U_{BC}、i_A 与 i_B(A、B、C 分别代表电机所接的电源三相)。所测电流、电压经过电流电压输入模块,输入 CPU 的 A/D 转换通道。电流电压输入模块包括交流互感器,放大电路,电压提升电路(由于 TMS320F2812 的 A/D 转换电压为 0 ~ 3.3V,在前端模拟电路中对交流信号必须进行适当的提升)等。由于有 4 路信号,需要使用 4 个 A/D 转换口。如图 1 所示,ADCINA0 ~ ADCINA3 分别采样 U_{AC}、i_A、U_{BC}、i_B 等电压与电流信号。

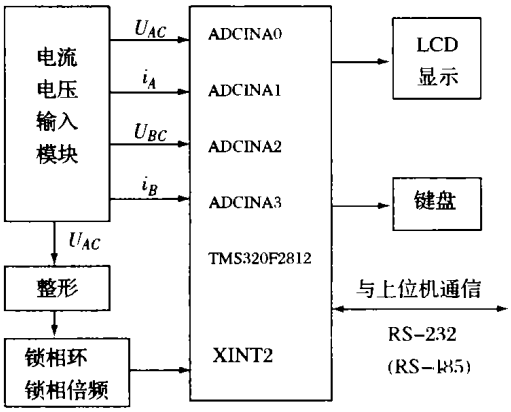

图 1 硬件结构图

由于在实际应用中,电网频率存在不稳定的现象(一般是在 49 ~ 51Hz 之间波动)如对被测信号采用常用的定时采样分析的方法(即每两个相邻的采样点间的时间间隔是固定的),虽然采样电路在设计中比较容易实现,但会对结果产生较大的不确定性,难以满足测量仪器高精度的要求。

在这里应用锁相环的倍频功能来实现同步定点数采样[1]。所谓同步定点数采样是指在采样周期内,不是以固定的时间间隔来决定采样点数,而是在每个周期内采样固定点数,并且在同一个周期内这些采样点之间的时间间隔相等,在被测信号由负转正(过零点)时开始第一次采样。这也是所说的同步的含义。这样在测量过程中就是以被测信号的零点作为采样的起始点,当被测信号频率波动时,在一个完整的信号周期内,采样点数固定,只是采样的时间间隔发生了相应的变化。

在实际应用中先将 U_{AC} 信号由正弦信号整形成方波,作为锁相环的输入信号。然后由锁相环模块锁相倍频 256 倍,锁相环输出波形的上升沿触发 CPU 的 XINT2 中断信号,启动电流、电压的 A/D 转换。这样可以精确保证各输入信号每周期采样 256 点。

在对一周期的信号进行数字滤波、计算完成后,将电流、电压的有效值和功率计算值发送至 LCD 显示,并传送至上位机。与上位机的通信采用 RS - 232 接口,为了保证通信快速可靠,可外接 RS - 485 通信模块。

由于 TMS320F2812 内部资源丰富,不用额外增加外部的 ROM 与 RAM,简化了硬件电路的设计。

3 软件设计

系统软件的主要任务是完成所需电流、电压的实时检测、计算和算法处理以及功率值的计算工作。主程序流程图如图 2 所示。首先系统初始化,查询通信接受缓冲区有无上位机的指令,如有则调用相应的子程序进行处理。然后查询键盘指令,如有键盘命令,进入键盘子程序进行处理。每完成一周期的采样,将电压、电流的采样值初始化,然后数字滤波,进行有效值和功率值的计算。最后将计算结果在 LCD 上显示,并上传至上位机。上位机和键盘都可以发出采样计算结束指令。

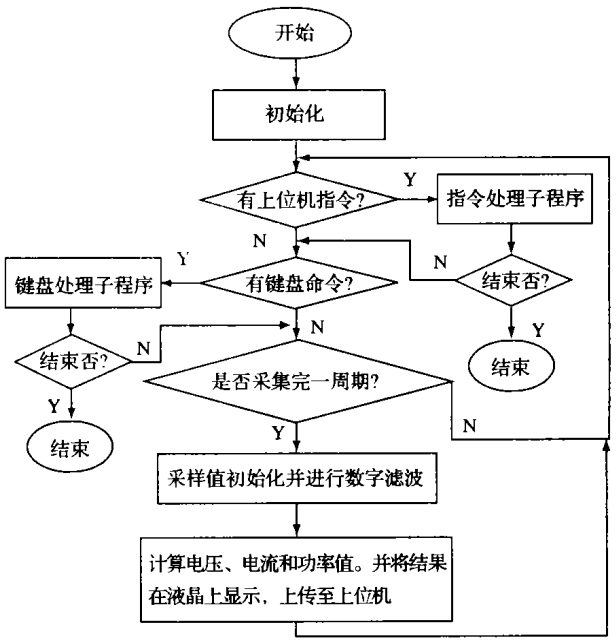

图 2 主程序流程图

CPU 在响应外部 XINT2 采样中断后,进入采样中断程序。中断程序主要完成对电压和电流的采样过程,并将结果保存在相应的 RAM 中。当每周期采样点数大于 248 点时,开始对采样值按顺序逐步进行备份,以免被下个周期的采样值覆盖。中断采样程序流程图如图 3 所示。

程序中 U_{AC}、U_{BC} 电压有效值和 i_A、i_B 电流有效值的计算分别如式(1)和式(2)所示。

维普资讯 http://www.cqvip.com

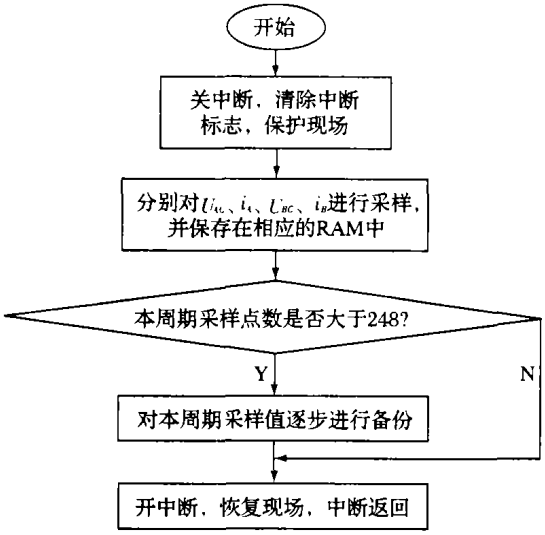

图 3 中断采样程序

$$U' = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T u^2(t)\,\mathrm{d}t} \approx \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} u^2(n)} \quad (1)$$

$$I' = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2(t)\,\mathrm{d}t} \approx \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} i^2(n)} \quad (2)$$

当用两瓦特计法对电机功率进行测量时，功率值的计算如式(3) 所示。

$$p = \frac{1}{T}\left[\int_0^T (U_{AC}(t)i_A(t) + U_{BC}(t)i_B(t))\,\mathrm{d}t\right] \quad (3)$$

由于在采样周期内采样点为偶数，于是可以推出式(3) 的 Simpson 算式：

$$p = \frac{2}{3n}\left\{\left[\sum_{n=1}^{N} P_1(n) + \sum_{n=2k}^{N} P_1(n)\right] + \left[\sum_{n=1}^{N} P_2(n) + \sum_{n=2k}^{N} P_2(n)\right]\right\}(k = 1,2,3\cdots) \quad (4)$$

式中：$P_1(n) = U_{AC}(n)i_A(n)$；

$P_2(n) = U_{BC}(n)i_B(n)$。

以上各式中 T 即为采样周期，$i(n)$、$U(n)$、$U_{AC}(n)$、$U_{BC}(n)$、$i_A(n)$、$i_B(n)$ 均为一周期内第 n 个采样点的采样值。电流和电压的计算根据 Nyquist 采样定理，采样频率应大于输入信号最高频率的 2 倍。而实际应用中，通常取输入信号最高频率的 5 倍以上。功率计算需在工频周期内均匀采样数大于电流和电压最高谐波次数的代数和[2]，为了减少 Simpson 算式的理论误差，应选择 $n = 8K(K = 1, 2, \cdots)$。实际采样点数已经对应 32 次以上谐波，故满足需要。

数字滤波器若按冲击响应时间特性可分为有限冲击响应(FIR)滤波器和无限冲击响应(IIR)滤波器。从相频特性来说，FIR 数字滤波器能够很容易获得严格的线性相频特性。但是在相同的阶次下，IIR 型滤波器性能比 FIR 型更优越。前者具有较小的过度带，高频幅值衰减更强，因而在相同的信噪比的要求下，IIR 数字滤波器能更好地减少低频有用信息的损失。

程序中数字滤波采用一种零相位数字低通滤波器 FRR[3]。FRR 数字滤波器可在 IIR 数字滤波器的基础上实现零相移，以解决其在滤波中相频特性的非线形。如图 4 所示，基于 IIR 数字低通滤波器的 FRR 数字低通滤波器，可完全确保滤波后的电压与电流的计算参数点之间零相移失真。在图 4 中，$H(z)$ 为 IIR 数字低通滤波器的传递函数，$X(z)$ 是序列 $x(n)$ 的 Z 变换，$X(1/z)$ 的序列 $x(n)$ 时反转的 Z 变换。

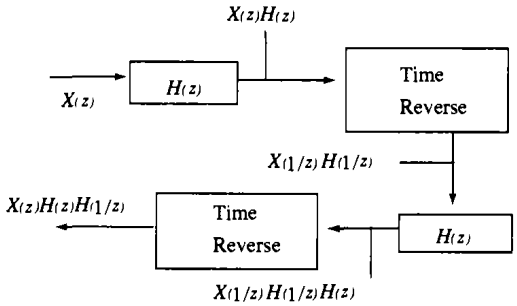

图 4 零相位滤波过程

4 结束语

该系统充分利用 TMS320F2812 芯片自带的 12 位 A/D 转换，简化了硬件电路的设计，实时处理速度快，稳定性高。同时采用同步定点数采样，实现了对电机交流信号每周期精确高速采样 256 点。并采用基于 IIR 数字低通滤波器的 FRR 数字低通滤波器，使电流和电压计算参数点之间实现零相移失真。系统的电流和电压测量误差在 0.3% 以内，功率值的测量误差在 0.6% 左右。由于能够对电机电参数的精确测量，在程序中可以很方便地实现三相功率因数的计算。在该系统中，DSP 单元的测量精度已经比较高，应着重提高前端电流电压输入模块的精度。

参 考 文 献

1 陈亚男. MATLAB 信号处理详解. 北京：人民邮电出版社，2001
2 刘和平. TMS320LF240xDSP 结构、原理和应用. 北京：航空航天大学出版社，2002
3 范承志，江传桂，孙士乾. 电路原理. 北京：机械工业出版社，2001