

基于 DSP 控制的智能电表设计

马瑞¹ 陈晨²

(1.河北省电力研究院热控所,河北石家庄 054000 2.河南省电力勘测设计院,河南郑州 450000)

摘要 传统交流电表大多采用模拟乘法器或数字乘法器实现功率变换,不能同时完成三相电压、电流和功率的测量,且在测量的准确度、稳定性和设计成本上都有其不足。基于此,现提出了一种具有 DSP 控制的新型智能电表的设计原理和实现方法,所设计的智能电表具有高速、实时和抗干扰能力强等优点。

关键词 智能电表;数字信号处理;傅里叶变换;谐波

随着我国对城市和农村电网的大规模建设和改造,三相多功能电表的应用越来越广泛。目前,国内使用的传统电表多采用模拟乘法器或者硬件数字乘法器实现功率变换,在测量精度、稳定性和成本方面都有各自的不足之处,且不能同时测量三相电压、电流和功率^[1]。市场上的一些智能电能测量仪多采用普通单片机控制,在实时性、测量精度和准确度方面无法实现较高的性能^[2]。

此外,随着电力系统中大量非线性功率变换设备的应用,给电网造成了严重的谐波污染^[3]。这使电网的电压和电流波形发生严重畸变,传统的电表大多是按照工频正弦量来设计的,当测量信号中谐波含量较大时,会出现较大的测量误差^[4]。对非正弦电压、电流信号的准确测量也是电力部门迫切需要解决的问题。

本文提出了一种具有 DSP 控制的新型智能电表的设计原理和实现方法,采用数字信号处理器完成采集数据的处理,实现了高速采样、大量采集数据的实时计算,有效减小了谐波对测量精度的影响。所设计的智能电表具有高速、实时和抗干扰能力强等优点。

1 设计方案

本文设计的智能电表采用数字信号处理器 TMS320VC5402 DSP 作为核心数据采集、处理和功率变换器。该电表具有数字功率乘法器高精度、高稳定性的特点,能够同时测量出同一时刻三相电压、电流和功率的瞬时值。DSP 处理器同时完成对结果数据的处理、显示、键盘等管理和控制。DSP 的优势在于数据计算,因此对于电压、电流、功率和谐波分析等功能都可以通过 DSP 实现,保证了电

表的测量准确度。设计的总体框图如图 1 所示。

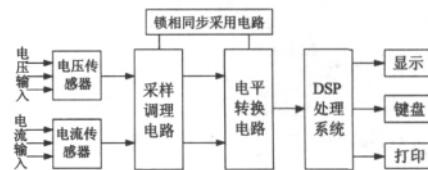


图 1 系统整体框图

2 谐波功率分析

傅里叶变换是将信号从时域变换到频域,是信号处理中的重要工具。离散傅里叶变换(DFT)是将连续的傅里叶形式转换为离散形式。通过快速傅里叶变换(FFT)可以实现对 DFT 的快速计算,使 DFT 可以在实际生产、生活中得到广泛的应用。本设计中通过 DSP 数字信号处理器完成对采集数据的 FFT 变换,从而使测量的电信号变成基波和各次谐波的形式,完成对功率和电能的分析 and 计算。

含有谐波的电网的电压和电流波形可以表示为:

$$u = \sum_{k=1}^N U_k \sin(k\omega t + \theta_k) \quad (1)$$

$$i = \sum_{k=1}^N I_k \sin(k\omega t + \gamma_k) \quad (2)$$

式中 U_k 和 I_k 为第 k 次谐波的峰值, θ_k 和 γ_k 为初始相位角。

作环境,缓解了疲劳,提高了作业效率。

其次,自动加脂装置和集中润滑系统的配置也有了提高。传统的手动加注润滑脂费时费力,而且经常会有多余的油液溢出来污染周边环境。目前环保型工程机械已有各种形式的自动定时润滑设备,如液控随动式润滑脂泵能自动定时给油,保证了润滑效果且润滑脂消耗量低,既环保又方便。

第三,外观美学设计。传统的工程机械产品的外观基本上都是笨重的,目前新型环保节能型产品比较注重外观,达到了机器与环境的和谐,从视觉上给人以一种美感,使得人们更愿意去使用它。例如,汽车驾驶室带有优美曲线的“玻璃罩”,与之相匹配的是具有几何形态的车体,格外赏心悦目。

第四,系统的可靠性和舒适性设计。工程机械技术的发展趋势已充分体现在控制技术的电子化上,采用计算机控制技术可让机器一直保持良好的工作状态,并能实现自动诊断功能,不仅减少了发动机的燃油消耗,还能使工程机械保持较高的可靠性,同时也大大提高了作业的舒适性,操纵控制更加方便、简单。

5 结语

综上所述,把握行业先机,在工程机械的设计源头注重节能环保,必将带动工程机械行业的技术升级,从而延长整个行业的景气

周期,是一项利国利民的重要举措。

[参考文献]

- [1] 张奕,龙水根.工程机械节能的新途径[J].液压与气动,2006(9)
- [2] 杨永亮.对环保节能工程机械产品设计与趋势研究[J].消费导刊,2008(1)
- [3] 江琳.当前工程机械行业经济运行情况及汇率变动影响分析[J].建设机械技术与管理,2005(10)
- [4] 杨宝德.我国工程机械现状及今后发展趋势[J].中国橡胶,2008(24)
- [5] 刘伟.建筑机械环保与节能[J].建筑机械化,2005(6)
- [6] Choopar Tan, Yahya H Zweiri, Kaspar Althoefer. On-line Soil Property Estimation for Autonomous Excavator Vehicles [C]. Proceeding of the 2003 IEEE International Conference on Robotics & Automation, 2003

收稿日期:2011-06-09

作者简介:段新虎(1971—),男,山西省洪洞县人,工程师,研究方向:机械。

三相功率的计算可以表示为：

$$\sum P = P_A + P_B + P_C = \frac{1}{T} \int_0^T i_A u_A dt + \frac{1}{T} \int_0^T i_B u_B dt + \frac{1}{T} \int_0^T i_C u_C dt \quad (3)$$

$$\text{即：} \sum P = \frac{1}{M} \sum_{s=1}^M [i_A(s)u_A(s) + i_B(s)u_B(s) + i_C(s)u_C(s)] \quad (4)$$

由于 FFT 算法是基于复数运算的，而 A/D 采样值均为实数。因此我们可以利用 FFT 的性质将 2N 个点实数输入序列组成 N 点的复序列，进行 N 点的 FFT 运算，最后将 N 点复数输出拆分成 2N 点的复数序列，这与 2N 点的实数序列的 DFT 的输出相同。

$x(n) \quad n=0, 1, \dots, 2N-1$ 为 2N 点的实数输入，则令：

$$h(n) = x(2n) \quad g(n) = x(2n+1) \quad n=0, 1, \dots, N-1$$

由 FFT 变换有：

$$\begin{aligned} X(k) &= \sum_{n=0}^{2N-1} x(n)e^{-j2k\pi n/2N} \\ &= \sum_{n=0}^{N-1} x(2n)e^{-j2k\pi(2n)/2N} + \sum_{n=0}^{N-1} x(2n+1)e^{-j2k\pi(2n+1)/2N} \\ &= \sum_{n=0}^{N-1} h(n)e^{-j2k\pi n/N} + e^{-jk\pi/N} \sum_{n=0}^{N-1} g(n)e^{-j2k\pi n/N} \\ &= H(k) + e^{-jk\pi/N} G(k) \end{aligned} \quad (5)$$

式中 $H(k)$ 和 $G(k)$ 为 $h(n)$ 和 $g(n)$ 的傅里叶变换。

$$\text{令 } y(n) = h(n) + jg(n)$$

则这 N 点复序列的傅里叶变换为：

$$Y(k) = H(k) + jG(k) = [H(k) - G(k)] + j[H(k) + G(k)] = Y_1(k) + jY_2(k) \quad (6)$$

则 $X(k)$ 的实部和虚部为：

$$\begin{cases} X_1(k) = \left[\frac{Y_1(k)}{2} - \frac{Y_2(N-k)}{2} \right] + \cos \frac{k\pi}{N} \left[\frac{Y_1(k)}{2} + \frac{Y_2(N-k)}{2} \right] - \sin \frac{k\pi}{N} \left[\frac{Y_1(k)}{2} + \frac{Y_2(N-k)}{2} \right] \\ X_2(k) = \left[\frac{Y_1(k)}{2} - \frac{Y_2(N-k)}{2} \right] + \sin \frac{k\pi}{N} \left[\frac{Y_1(k)}{2} + \frac{Y_2(N-k)}{2} \right] - \cos \frac{k\pi}{N} \left[\frac{Y_1(k)}{2} + \frac{Y_2(N-k)}{2} \right] \end{cases} \quad (7)$$

3 硬件电路设计

3.1 采样调理电路

采样调理电路主要由电压、电流传感器和运算放大器组成。主要是将所测量的电压、电流信号按照比例进行缩小，再由加法电路将信号变为 DSP 可以接收的 0~3.3 V 的信号，用于 DSP 采样。采样得到的为离散的数字量，用于测量的计算。电压和电流的采样调理电路如图 2 所示。

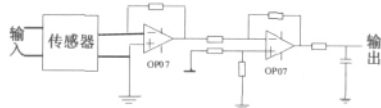


图 2 采样调理电路

3.2 电平转换电路

在 TMS320VC5402 低压工作时，内核电压为 1.8 V，I/O 口管脚电压为 3.3 V。由于 AD 转换器的电压为 5 V，因此为了保证工作，在 ADS7805 和 DSP 之间需要进行电平转换。设计中，在 ADS7805 和 DSP 之间加入 74LVC4245，该芯片可实现 8 路的双向转换，工作模式由 DAR 引脚控制。

3.3 锁相同步采样电路

在智能电表的设计中，需要知道测量信号的大小，同时需要知道各信号间彼此的相位关系，需要使用同步采样技术得到相位信息，这也是分析测量信号频谱的前提。对于周期性测量信号进行同步采样是测量信号的关键技术。同步采样是将信号的一个周期进行均匀离散，取每个离散点处的瞬时值。在智能电表设计中，采用了集成锁相环 CD4046 实现锁相同步信号采样。锁相环的基本结构如图 3 所示。



图 3 锁相环的基本构成

4 软件设计

软件部分主要是包括采样模块、FFT 计算模块等。通过主程序对各个功能模块进行调用，实现需要测量的功能。

采样模块是整个系统的重要环节，它的精度和速度直接决定了测量结果。在对 50 Hz 的信号进行测量时，每周采样 128 个点，时间间隔为 156 μs。将采样数据直接送到 FFT 计算模块进行下一阶段的计算分析。采样模块的程序流程图如图 4 所示。

FFT 计算模块主要是进行电网谐波分析。由于 DSP 为定点计算，因此输入数据或中间结果可能出现溢出的问题，因此将每级的运行结果除以 2，最后的输出结果为 0.5 的 N 次方。程序流程图如图 5 所示。

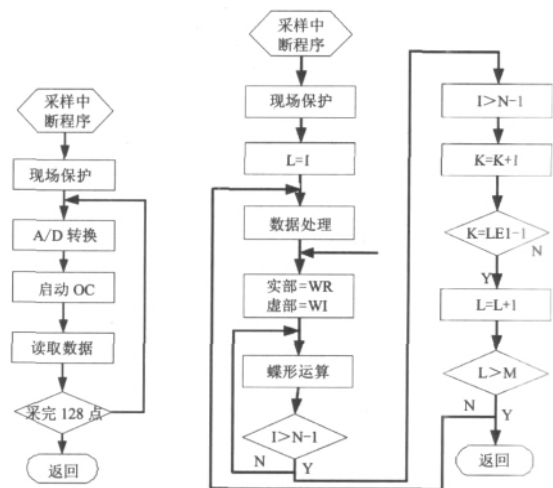


图 4 采样程序

图 5 FFT 程序流程图

5 结语

随着电力电子技术的不断发展，采用数字信号处理技术对电网中的电信号进行谐波分析已经成为可能。本文利用傅里叶变换技术和数字信号处理器(DSP)实现了智能电表的设计。该电表可以完成对三相电压、电流、功率以及谐波的测量和分析，具有高速、实时和抗干扰能力强等优点。

[参考文献]

[1] 尤佳宁, 方禹之, 刘中元. 用 AVRMEG16 单片机控制实现的数据采集系统[J]. 化工自动化及仪表, 2006, 33(3): 35~38
 [2] 汪安民. TMS320C54XX DSP 实用技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002
 [3] 倪修建. 一种新型智能电表的研制[J]. 国外电子元器件, 2001, 23(6): 63~65
 [4] 董昕, 杨继勋. 电能采集及计费自动化系统设计[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(7): 55~57

收稿日期: 2011-06-15

作者简介: 马瑞(1982—), 男, 河北邢台人, 硕士, 工程师, 主要从事电厂自动化及电网科研和生产工作。