

便携式电网在线检测仪设计

廖建庆

(宁德师范学院物理与电气工程系, 福建 宁德 352100)

摘要: 提出一种以 TMS320F2812 DSP 芯片为核心的便携式电网在线检测仪的设计方案, 阐述了装置的基本结构及软硬件实现方法。对附加相位引起的功率测量误差采用了功率校正方法, 采用低功耗 16 位 ADS8320 芯片作为 A/D 采样来代替 TMS320F2812 的内部 A/D 采样, 克服了该 DSP 内部只有 12 位 A/D 的不足, 提高了电力参数的测量精度。给出了交流取样调理电路、准同步采样电路和主程序流程。实验表明该装置精度达到 0.2 级, 装置的功耗低、体积小, 满足便携式的要求。

关键词: 电力参数; 功率校正; TMS320F2812; 在线检测; 便携式; 准同步采样

Design of a portable on-line power network detecting instrument

LIAO Jian-qing

(Department of Physics & Electrical Engineering, Ningde Normal University, Ningde 352100, China)

Abstract: This paper presents a design method of portable electrical network detection based on DSP TMS320F2812, and expatiates on the basic structure and realization methods of the software and hardware of the device. Power correction method is used for the power measurement error caused by the additional phase. The low-power sampling device of 16 bit ADS8320 is adopted instead of DSP TMS320F2812's on-chip A/D sampling, which remedies the 12 bit A/D inner DSP and increases the precision of electric parameters. AC sampling circuit, the quasi-synchronous sampling circuit and the main program process are given. Experiments show that the device can get to 0.2. The device has low power consumption and small size, so it is portable.

Key words: electric parameters; power correction; TMS320F2812; on-line detecting; portable; quasi-synchronous sampling

中图分类号: TM93 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)19-0199-04

0 引言

电能已经成为当今社会应用最为广泛的能源, 随着电力电子技术的迅猛发展, 各种各样的非线性元件广泛应用, 特别是一些大功率整流设备的使用, 使电力系统供电波形畸变严重^[1-2], 在造成电能质量下降的同时对供电系统安全也构成也严重威胁。因此如何对电力系统谐波进行监测, 治理已经成为一个亟需解决的问题。目前市场上已经有成熟的电力参数检测装置, 虽然它们具有功能强, 精度高等优点, 但大部分产品体积大且笨重, 户外携带和现场操作都不是很方便, 无法满足当今市场的需求。基于此文章介绍了一种基于 DSP 芯片 TMS320F2812 的便携式电网在线检测仪系统, 该装置功能齐全, 精度高, 体积小, 携带方便, 为电力部门和电力工作者在野外等一些特殊场合对电能质量的监测提供了

方便。

1 交流电力参数算法原理

在三相四线制电路^[3]中, 设 u, i 分别表示任一相的相电压瞬时值和相电流瞬时值, U, I 分别为相电压有效值和相电流有效值, P, Q 分别为有功功率和无功功率, T 为测量时间, ϕ 为电压和电流的相位差, 由电工测量知识有:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt}, \quad I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}$$

采用 A/D 转换器, 分别对 u, i 进行同步采样, 将它们转换成数字量, 假设在一个周期内分别对 u, i 两个交流量均匀采样 N 个点, 并记 $u_n, i_n, n=0, 1, \dots, N-1$, 那么在一个周期内根据采样的 N 个电压值和电流值可得到离散的电压和电流的有效值:

基金项目: 宁德师专引进人才资助项目 (2009Y021)

$$U = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} u_m^2} \quad I = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} i_m^2}$$

同时，对采样的 N 个电压值和电流值进行离散傅里叶变换得：

$$U(k) = \sum_{n=0}^{N-1} u(n)e^{-j2k\pi/N}, \quad I(k) = \sum_{n=0}^{N-1} i(n)e^{-j2k\pi/N},$$

$k=0, 1, \dots, n-1$

这里可取 $k=1$ ，假设 $U(k) = U_R + jU_I$ ，则可以
得到电压的相位： $\alpha = \arctan \frac{U_I}{U_R}$ ，同理可以得到

电流的相位： $\beta = \arctan \frac{I_I}{I_R}$ ，令 $\phi = \alpha - \beta$ ，则可

以求出有功功率：

$$P = UI \cos \phi \tag{1}$$

将相位差 ϕ 移相 $\pi/4$ 后，式 (1) 变为
 $P = UI \cos(\phi - 90^\circ)$ ，也就变成了无功功率的公式：

$$Q = UI \sin \phi \tag{2}$$

2 功率校正方法

在交流电量检测过程中，由于电压、电流输入端有电压互感器和电流互感器造成附加相位及信号布线的差异带来附加相位，有功功率和无功功率的测量精确度则相应较低，影响整个检测装置的精确度等级^[4]，为此必须对功率进行有效地校正。

设电压、电流之间的附加相位为 $\Delta \phi$ 。则有有功功率和无功功率计算式分别为：

$$P = UI \cos(\phi + \Delta \phi) \tag{3}$$

$$Q = UI \sin(\phi + \Delta \phi) \tag{4}$$

式中， P 和 Q 分别是校正前由式 (1) 和式 (2) 计算出来的有功功率和无功功率。将式 (3)、式 (4) 展开得到：

$$P = UI \cos \phi \cos \Delta \phi - UI \sin \phi \sin \Delta \phi \tag{5}$$

$$Q = UI \sin \phi \cos \Delta \phi + UI \cos \phi \sin \Delta \phi \tag{6}$$

令实际有功 $P' = UI \cos \phi$ ，实际无功 $Q' = UI \sin \phi$ 整理得到实际功率计算式：

$$P' = P \cos \Delta \phi + Q \sin \Delta \phi \tag{7}$$

$$Q' = P \sin \Delta \phi + Q \cos \Delta \phi \tag{8}$$

在电力系统实际应用中，需事先用标准信号源给 $\cos \Delta \phi$ 、 $\sin \Delta \phi$ 定标，以获得相应的值。具体方法是：给电压、电流测量定完标后，分别使信号源输出电压、电流相位差为 0° 和 90° ，由标源示值 P' 、 Q' 和测量值 P 、 Q 计算即可。本系统在调试前需要对电压、电流等电力参数的量程定标，定标的过程就是给被测信号提供一个标准的参考值，

定标过程中系统的参数运算主要是通过软件来实现的，包括 $\cos \Delta \phi$ 、 $\sin \Delta \phi$ 值的计算和有功功率、无功功率的计算等。一旦定标完成，系统就可以在电力系统实际应用中通过采样、变换、运算得到相应的电力参数值。

3 系统硬件结构

由于该系统采用的是交流准同步采样，用快速傅里叶算法进行电力参数测量，其运算量相对较大，同时考虑便携式低功耗的特点，所以CPU选用了32位定点高性能低功耗TMS320F2812处理器^[5-6]，主频最高150 MHz。该装置的硬件部分主要由信号取样、A/D采样、DSP数据处理模块、通信模块、LCD显示以及操作键等部分组成，系统总体结构如图1所示。

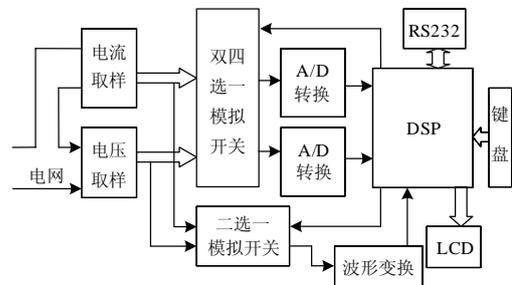


图1 系统总体结构图
Fig.1 Overall structure of system

3.1 电流取样调理电路

电流取样调理电路结构如图 2 所示。信号输入端采用 5 A/2 mA 钳形电流互感器，由钳形电流互感器得到电流信号后将电流信号通过具有自动校准功能的 TLC4501 运放组成的 I/V 转换电路进行信号转换，再经 AD620 将信号电平提高 V_{ref} (1.25 V)，以便于 A/D 转换。

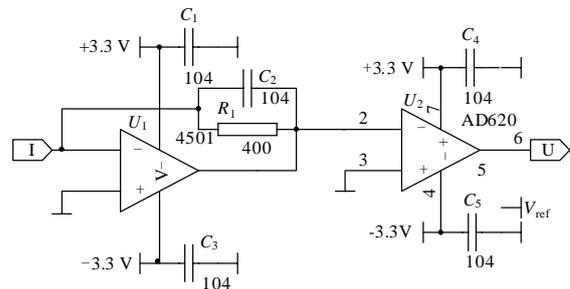


图2 电流取样调理电路
Fig.2 Electric current sampling circuit

3.2 交流准同步采样电路

为实现交流准同步采样，采用波形变换电路，将输入的工频信号经滤波、放大和比较后变成与输入信号同频率的脉冲信号，由 DSP 的外部中断

XINT1对其进行检测和周期计算后128分频产生A/D同步采样控制信号,实现128点准同步采样,电路如图3所示。

设计中选用了美国TI仪器公司研制生产的TLC4501精密型双运算放大器构成放大与整形电路,该芯片采用自动校准技术,在上电时将输入失调电压自动调整为零,克服了外接调零电位器调试带来不便,使用起来十分方便,其输入失调电压 $<50\ \mu\text{V}$,输入失调电压漂移 $<1\ \mu\text{V}/^\circ\text{C}$,开环增益 $>120\ \text{dB}$,共模抑制比达 $100\ \text{dB}$,输出幅度为轨至轨,性能优良。为提高抗干扰能力,滤除信号中较高次谐波,输入端采用了二阶低通滤波处理,比较器采用了迟滞比较器将输入信号整形,其门限电压为 $\pm 0.3\ \text{V}$,克服了信号过零噪声对测量精度的影响。

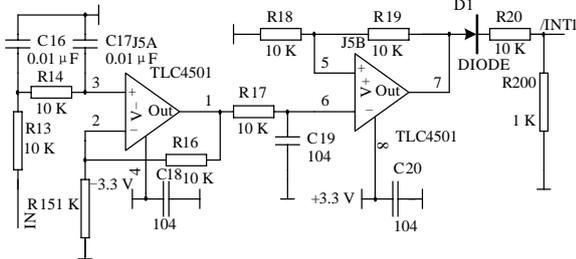


图3 波形变换电路
Fig.3 Waveform transforming circuit

3.3 AD采样电路

在便携式仪器设备中,往往要求其数据采集系统不仅具有速度快、精度高的特点,而且还要求其具有供电电压低、体积小以及功耗低等特性。ADS8320是一种逐次逼近式、单通道、16位、高速、低功耗A/D转换器,它的采样最高频率可达 $100\ \text{kHz}$ 。在 $2.7\ \text{V}$ 供电和 $100\ \text{kHz}$ 采样速率下,其功耗仅为 $1.8\ \text{mW}$ 。ADS8320具有同步串行SPI接口,因而占用微处理器的端口较少,其差动输入信号范围为 $500\ \text{mV}\sim\text{VCC}$ (工作电源);采用8引脚MSOP小体积封装。基于以上特点ADS8320非常适用于便携式电池供电系统。

为了保证三相工频信号之间的正确相位关系和有功功率、无功功率计算的准确性,必须同时采样三相电压和电流,因此使用二片ADS8320。接口电路如图4所示。

信号采样用准同步采样方法。根据准同步采样定理,同步信号获取模块动态跟随电网频率,定时刷新采样模块的采样间隔值。采样模块按采样间隔值定时对信号调理模块的输出进行整周期128点采样。在使用中,要确保AD采样频率和串行口传输速率的设置相互协调,以确保在下一个采样间隔里DSP有足够的读取当前采样数据。

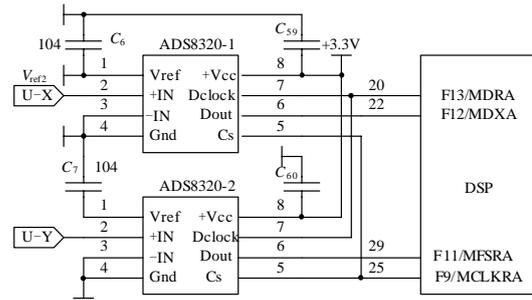


图4 A/D采样电路
Fig.4 A/D sampling circuit

4 系统的软件设计

系统软件设计的开发环境为CCS2000。CCS2000是TI公司提出的Windows下的集成开发环境,它提供了编程环境配置、汇编/C源文件编辑、程序调试、程序分析、程序跟踪、程序优化等工具,配以SEED-XDSUSB2.0仿真器实现在线仿真与程序下载,完成软件开发。系统的主程序流程图如图5所示。

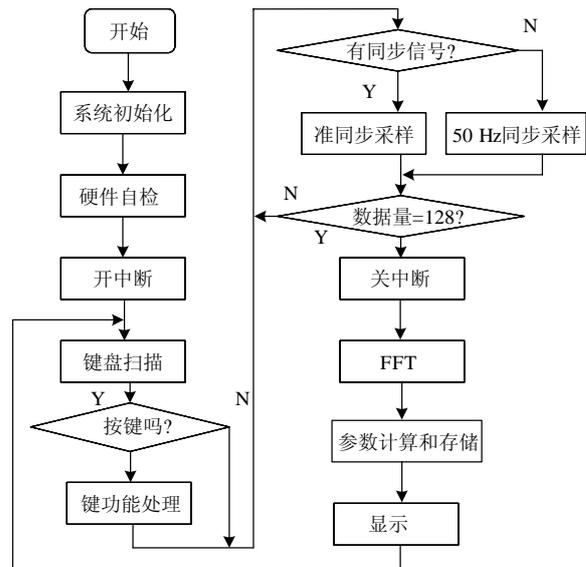


图5 主程序流程图
Fig.5 Main procedure flow chart

主要由系统的初始化程序、键盘处理子程序、数据采集子程序、数据处理与存储子程序、数据显示子程序以及数据采样中断服务子程序等几个中断服务子程序组成。其中,外部XINT1中断用于测量信号周期,采用定时器1进行计数,定时器0用于信号周期128等份后定时启动A/D,实现128点准同步采样。

在研制过程中采用相关技术措施,解决了以下

技术问题:

(1) 对有功、无功采用软件校正, 减少了附加相位引起的误差, 提高了测量精度。

(2) 采用准同步实现单周期128点的采样, 克服了锁相环噪声引起的测量误差。

(3) 采用滞回比较器替代过零比较器, 克服正弦波过零点漂移造成的误差。

5 实验结果分析

装置的测试由江西省新余市八达电子有限公司生产的BD-3H型多功能电源采样校验装置提供被测信号, BD-3H的电压和电流量程分别有25 V、100 V、250 V、400 V和200 mA、0.1 A、1 A、5 A等, 电压和电流精度均达到0.05级。部电参数测试结果如表1所示, 根据本系统设计的要求, 电压和电流各选择400 V档和5 A档。

表1 部分电参数测试数据

Tab.1 Parts of data for electric parameters

电压			电流			功率		
被测示值/ V	实测值/ V	相对误差/ %	被测示值/ A	实测值/ A	相对误差/ %	被测示值/ W	实测值/ W	相对误差/ %
40.0	40.08	0.20	0.50	0.501	0.17	400	400.78	0.20
200	200.17	0.09	2.50	2.495	-0.20	1600	1600.22	0.04
360	360.66	0.18	4.50	4.504	0.09	2400	2400.70	0.02

以上测量数据看, 电压电流的有效值以及功率的最大相对误差不超过0.2%, 功率的最大相对误差不超过0.2%, 精度可以达到0.2级, 满足设计要求。

6 结束语

随着社会对电能质量要求的不断提高, 如何对电能质量进行有效监测已经成为一个越来越紧迫的问题。本装置采用先进的 DSP 技术, 充分发挥 DPS 芯片的数字信号处理优势和控制功能, 不仅能完成对电能质量进行实时监测的目的, 而且运算速度快, 可以最大限度地提高整个系统的效率和性能。针对附加相位导致的功率测量精度低, 文章采用了功率校正方法, 提高了功率测量精度。该装置不仅速度快、精度高, 而且体积小、功耗低、携带和操作方

便, 适用于野外等分散场合在线监测。

参考文献

[1] 张有顺, 冯井岗. 电能计量基础[M]. 北京: 中国计量出版社, 2000.
ZHANG You-shun, FENG Jing-gang. Base of electric energy measuring[M]. Beijing: Chinese Measuring Press, 2000.

[2] 沈安文, 李自成, 杨薇薇, 等. DSP技术在电力参数测量中的应用[J]. 微计算机信息, 2005, 21(2): 115-116.
SHEN An-wen, LI Zi-cheng, YANG Wei-wei, et al. Application of DSP in the measuring of electric power parameters[J]. Microcomputer & Information, 2005, 21(2): 115-116.

[3] 孙志林. 基于DSP的电力谐波监测仪的设计[J]. 仪表技术, 2008(10): 22-25.
SUN Zhi-lin. Design of power harmonic monitoring instrument based on DSP[J]. Instrument Technique, 2008(10): 22-25.

[4] 贲树俊, 葛乃成, 沈晓钰. 基于相位差校正法的高精度电力谐波检测[J]. 电测与仪表, 2007, 44(494): 13-16.
BEN Shu-jun, GE Nai-cheng, SHEN Xiao-wang. A high accuracy harmonic measurement in power system based on phase difference correcting methods[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2007, 44(494): 13-16.

[5] 廖建庆, 陈琼. 便携式交流采样在线测试仪的设计[J]. 仪表技术与传感器, 2008(12): 28-30.
LIAO Jian-qing, CHEN Qiong. Design of portable AC sampling on-line testing instrument[J]. Instrument Technique and Sensor, 2008(12): 28-30.

[6] 苏奎峰, 吕强, 耿庆锋, 等. TMS320F2812原理与开发[M].北京: 电子工业出版社, 2005.
SU Kui-feng, Lü Qiang, DI Qing-feng, et al. Theory and development of TMS320F2812[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005.

收稿日期: 2009-08-03; 修回日期: 2009-09-26

作者简介:

廖建庆(1977-), 男, 讲师, 硕士, 主要研究方向为工业过程检测与自动化技术。E-mail: ljq-158@sohu.com