

基于 TMS 320F 2812 的电力系统谐波分析装置

李红伟,王洪诚

(西南石油大学 电气信息工程学院,四川 成都 610500)

摘要: 所开发的谐波分析装置用 TMS 320F 2812 作为整个系统的 CPU,完成采样、数据处理、对外接口和通信等。对模数转换(AD)采样结果进行校正,利用某 AD 的 2 个采样通道采样已知的 2 个参考电压,通过与准确值对比计算出增益和偏移,再校准该 AD 其他通道的采样数据,降低了增益误差和偏移误差,采样误差降低到 0.5 % 以下。基于 DSP/BIOS 实现整个软件系统的编写和调试,缩短了软件开发周期。仿真结果表明,该装置实现了高精度、高可靠性的谐波测量。

关键词: TMS 320F 2812; 谐波分析; AD 校准; DSP/BIOS

中图分类号: TM 935

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2006)08-0089-03

1 硬件系统结构

谐波干扰具有随机性,为了提高电力系统的供电质量,确保系统安全运行,需要对系统中的谐波污染进行长期监视^[1]。

所开发的谐波分析装置用单片 TMS 320F 2812^[2] 芯片作为整个系统的 CPU,完成采样、数据处理、对外接口、通信等一系列工作。硬件系统框图见图 1,系统结构简单,可大大降低系统软、硬件的开发成本和调试难度,缩短开发周期,提高性价比。

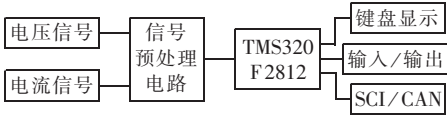


图 1 硬件系统框图

Fig.1 Block diagram of hardware system

2 AD 采样校准

理想的 12 位 AD(无增益误差和偏移误差)转换结果如式(1)所示,而实际的 AD 转换可以用式(2)描述,即存在增益误差和偏移误差。两者对比可参考图 2。

$$y = x \times K_i, \quad K_i = 1 \quad (1)$$

$$x = v_{in} \times 4\,095 / 3$$

$$y = x \times K_a + b \quad (2)$$

式中 K_i 为理想增益; K_a 为实际增益; b 为对零偏差。

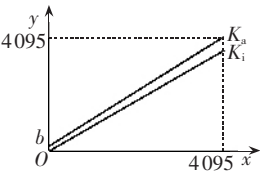


图 2 AD 采样增益图

Fig.2 AD gain

多数 F281X 芯片增益误差小于最大值的 $\pm 3.0\%$, 偏移误差小于最大值的 $\pm 1.0\%$, 最差的情况下两者分别达到最大值的 $\pm 5.0\%$ 和 $\pm 2.0\%$ ^①。增益误差和偏移误差对结果误差有很大影响。例如, $K_a=1.05$, $b=4\,095 \times (-0.02) \approx -82$, 输入电压 $x=1.431\,5\text{ V}$, 理

想值为 $y_i=1.431\,5 \times 4\,095 / 3=1\,954$, 而实际值为 $y_a=1\,954 \times 1.05 + 82=2\,134$, 偏差为 $y_a-y_i=180$, 相对误差达 9.2% 。

为了对 AD 采样结果进行校正,利用 2 个 AD 采样通道采样已知的 2 个参考电压,通过与准确值对比计算出增益和偏移,然后再校准其他通道的采样数据。基于通道之间的误差是相当小的(同一组 8 个通道之间的误差典型值小于 0.2% , 采样转换频率低于 8 MHz 时小于 0.1%)^②, 所以这时可获取的精度就主要依赖于提供的参考电压的精度,设计硬件电路必须保证这点。

设 2 路参考电压的准确 AD 转换值为 x_L 和 x_H , 其相应的 AD 转换的结果分别为 y_L 和 y_H , 则代入式(2)联立求解方程组可得:

$$K_a = (y_H - y_L) / (x_H - x_L), \quad b = y_L - x_L K_a \quad (3)$$

校准其他通道的值得得:

$$x = (y - b) / K_a = y G_c - O_c \quad (4)$$

$$G_c = 1 / K_a = (x_H - x_L) / (y_H - y_L)$$

$$O_c = y_L / K_a - x_L = y_L G_c - x_L$$

式中 x 为校准后的值; y 为 AD 采样值。

要注意的是:当采用双极性输入信号时,要把偏置电压 U_{ref} 作为校准电压的一个输入,这样将更好地降低单极输入的偏移误差。同时,尽可能地降低采样频率,因为随着采样频率提高,通道之间的误差将增大。

实际设计中,谐波分析装置共处理 6 路信号,采用 A 组的 8 个采样通道,ADCINA0 到 ADCINA5 接 3 路电压和 3 路电流采样信号,ADCIN 6 接 U_{ref} , ADCINT 7 接 0.5 V 。如图 3 所示。

基于以上 AD 采样校准,可把 AD 采样误差降低到 0.5% 以下(一般数为 0.3%),提高了采样精度。

① Texas Instruments Inc, TMS 320F 28x analog-to-digital converter (A/D) peripheral reference guide (SPRU060). June, 2002.

② Texas Instruments Inc, F2810, F2811, and F2812 ADC calibration. June, 2004.

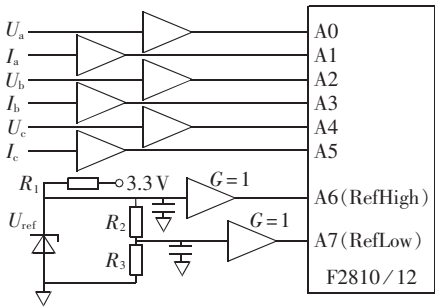


图 3 AD 校准采样示意图
Fig.3 AD calibration

3 软件系统设计

3.1 DSP/BIOS

TMS 320F 281x 支持 DSP/BIOS,DSP/BIOS 是集成在 TI 公司的系统开发软件 CCS 中的辅助开发工具,是一个相对简单的实时操作系统,它提供了一套组件使开发者可以实现 2 个基本功能。

- a. 实时监控:监视和控制变量和程序的执行。
- b. 实时进程安排:实时多线程进程调度和通信。

其包括 3 个组件:DSP/BIOS 实时库;API、DSP/BIOS 配置工具;DSP/BIOS 插件。DSP/BIOS 实时库和 API 用于编程,DSP/BIOS 配置工具用于定义程序中用到的对象,程序编译链接后,DSP/BIOS 插件用于监控它在目标芯片上的运行情况,包括 CPU 的负荷、指令执行时间等,从而保证程序最后可以满足实时要求^{①②}。

3.2 软件系统实现

谐波测试软件采用模块化设计,软件系统构成如图 4 所示。谐波分析要求计算 2~61 次谐波,采样频率取为 10 240 Hz,采样 5 周期(100 ms)长度,共 1 024 点。所有程序采取 C 语言和汇编语言混合编程实现,主程序采用 C 语言编写,而对时间要求高的模块如数字采集和处理模块采用汇编语言编写,从而保证系统的实时性^[3]。

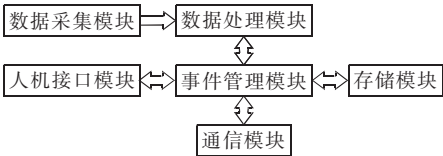


图 4 软件系统结构示意图
Fig.4 Block diagram of software system

事件管理模块是整个程序的核心,基于 DSP/BIOS 实现整个软件系统的管理。谐波分析程序中采用 3 个硬件中断(AD 采样结束中断、SCI 接收中断、1 个外部引脚中断)、2 个周期事件(周期存储采样数据(定时)、周期更新新数据显示(每分钟刷新一次))和 6 个软件中断。外部中断服务子程序入口地址直接添加到 HWI 中的 PIE 中断表中,几个主要的 PRD 对象和 SWI 对象块如表 1 所示。表中所有对象的执行函数可利用 DSP/BIOS 配置工具直接添加。

表 1 软件系统的 DSP/BIOS 对象			
Tab.1 DSP/BIOS modules of software system			
创建对象	隶属模块	属 性	说 明
PRD_CLK	CLK	中断周期为 10ms	
display_PRD	PRD 周期中断对象	实时时钟驱动,周期调用 displayData() 函数显示数据,刷新显示周期设置为 1 min	
store_PRD	PRD 周期中断对象	实时时钟驱动,周期调用 storeData 函数存储数据,周期为计数器初始值乘 10 ms	
adc_SWI	SWI 软件中断	AD 硬件中断发生触发此中断,执行子程序 readADC 读 AD 数据,优先级 4(最高)	
fft_SWI	SWI 软件中断	采 1024 点后,调用函数 calcuHarmoni 进行数据处理,优先级 3	
PRD_SWI	SWI 软件中断	管理 PRD 对象,优先级 1	
rx_SWI	SWI 软件中断	SCI 接收中断,当 SCI 硬件接收中断发生,触发此中断执行子程序 receive,优先级 2	
tx_SWI	SWI 软件中断	当 rx_SWI 软件中断发生触发此软件中断后,执行子程序 transmit,优先级 2	
keyb_SWI	SWI	外部引脚中断,执行键盘中断程序 keyboard,优先级 1	

基于 DSP/BIOS 编制的主程序,首先进行程序初始化。但完成对系统时钟、外设等的初始化后,不需要设置死循环等待中断,而是直接把程序的控制权交给 BIOS,由其完成对各种线程的管理,响应各种线程的中断和优先级判断^[4]。

由于程序中各线程、中断的控制权在 DSP/BIOS,所以开发者设置好中断的优先级和线程的优先级后,不用编程响应,可交由 DSP/BIOS 完成,这在方便开发者的同时,极大地提高了程序的可靠性。

谐波分析算法是完成谐波测量的关键之一^[5],本文中的谐波分析装置,采用 4 项 Blackman-Harris 窗实现谐波加窗测量,该窗大大减少整数次谐波和非整数次谐波的相互干扰误差,同时采用一种基于 FFT 的双插值计算谐波参数。基于 4 项 Blackman-Harris 窗采取 2 次插值计算谐波参数无论从理论分析还是实际仿真计算,都达到了较为精确的结果。而且此谐波分析方法不需要采样同步,采样时间短(一般 5 个基波周期就达到很高的精度,见下面仿真),简化了硬件设计,增强了系统的可靠性。关于此方法的详细论述见文献^[6-9]。

4 仿真分析

采用 AD 校准,并基于 4 项 Blackman-Harris 窗采取 2 次插值计算谐波参数,无论从理论分析还是实际仿真计算,都达到了较为精确的结果,而且在

① Texas Instruments Inc,TMS 320 DSP / BIOS User's guide (SPRU423C).April,2003.
② Texas Instruments Inc,TMS 320C 28x DSP / BIOS Application Programming Interface(API) Reference Guide (SPRU625 A). April, 2003.

150 MHz 主频下,整个 6 路信号数据处理时间不超过 20 ms,满足谐波实时测量的要求,完全达到了国家标准的规定。

假设 AD 采样无误差,软件模拟生成 AD 采样数据结果,并把结果作为常量数据存于 F 2812 的内存中,由谐波分析装置进行计算,并通过上位机测试软件读取数据并进行误差分析。输入信号含有 1~9 次谐波,叠加几个高次(65 次以上)谐波,在输入幅值误差为 $\pm 1\%$ 时,装置计算的结果误差比较见表 2^[10]。

表 2 $\pm 1\%$ 幅值输入偏差计算结果误差比较
Tab.2 Computed errors for $\pm 1\%$ input deviations

谐波 次数	$\varepsilon=-1\%$		$\varepsilon=1\%$	
	$e_1/\%$	$e_2/\%$	$e_1/\%$	$e_2/\%$
基波	1.0135		0.9872	
2	0.9180	0.0046	0.4225	0.0021
3	0.9242	0.0277	1.0920	0.0328
4	0.8501	0.0034	1.1200	0.0045
5	1.0708	0.0038	0.9389	0.0469

注: e_1 为幅值相对误差; e_2 为相对基波幅值误差; ε 为输入偏差。

基于实际信号的系统测试,利用信号发生器和示波表进行模拟采集和校对,当输入波形是三角波时,观测到当测试频率显示为 50.34 Hz 时,示波表显示频率为 50.29 Hz,多次测试后,以示波表测试值作为精确值时,平均相对误差低于 0.1%^[10]。

5 结语

选用 TMS 320F 2812 作为电力系统谐波分析装置的 CPU,完全能满足谐波分析处理的需要,基于其强大的数字信号处理能力和丰富的片上外设,大大降低了系统的设计难度。DSP/BIOS 可以认为是一个简化的嵌入操作系统,基于 DSP/BIOS 完成系统的软件设计,不但方便了整套软件设计,缩短了开发周期,而且提高了软件系统的可靠性。

参考文献:

[1] 吴竟昌. 供电系统谐波[M]. 北京:中国电力出版社,1998.
[2] 彭花. 变频调速系统功率分析仪的研究[D]. 成都:西南交通大学,2004.
PENG Hua. The research of power analysis for variable fre-

quency adjustable speed system[D]. Chengdu:Southwest Jiaotong University,2004.
[3] 王璐刚,陈林航. DSPC2000 程序员高手进阶[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
[4] 彭启琮,管庆. DSP 集成开发环境[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
[5] 肖雁鸿,毛筱,周靖林,等. 电力系统谐波测量方法综述[J]. 电网技术,2002,26(6):61-64.
XIAO Yan - hong,MAO Xiao,ZHOU Jing - lin,et al. A survey measuring method for harmonics in power system[J]. Power System Technology,2002,26(6):61-64.
[6] 潘文,钱俞寿. 基于加窗插值 FFT 的电力谐波测量理论(I)窗函数研究[J]. 电工技术学报,1994(1):50-54.
PAN Wen,QIAN Yu-shou. Power harmonics measurement based on windows and interpolated FFT (I) study of windows[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,1994(1):50-54.
[7] 潘文,钱俞寿. 基于加窗插值 FFT 的电力谐波测量理论(II)双插值 FFT 理论[J]. 电工技术学报,1994(5):53-56.
PAN Wen,QIAN Yu-shou. Power harmonics measurement based on windows and interpolated FFT (II) dual interpolated FFT algorithms[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,1994(5):53-56.
[8] 张伏生,耿中行,葛耀中. 电力系统谐波分析的高精度 FFT 算法[J]. 中国电机工程学报,1999,19(3):63-66.
ZHANG Fu-sheng,GENG Zhong-xing,GE Yao-zhong. FFT algorithm with high accuracy for harmonic analysis in power system[J]. Proceedings of the CSEE,1999,19(3):63-66.
[9] 庞浩,李东霞,俎云霄,等. 应用 FFT 进行电力系统谐波分析的改进算法[J]. 中国电机工程学报,2003,23(6):50-54.
PANG Hao,LI Dong-xia,ZU Yun-xiao,et al. An improved algorithm for harmonic analysis of power system using FFT technique[J]. Proceedings of the CSEE,2003,23(6):50-54.
[10] 李红伟. 基于 DSP 的电力系统谐波检测的研究[D]. 成都:西南交通大学,2005.
LI Hong-wei. The research of harmonic measurement for power system based on DSP [D]. Chengdu:Southwest Jiaotong University,2005.

(责任编辑:李育燕)

作者简介:

李红伟(1977-),男,河南安阳人,讲师,硕士,主要研究方向为电力系统继电保护及数据采集与信号处理(E-mail:lhwwmail@sohu.com);
王洪诚(1955-),男,四川阆中人,高级工程师,主要研究方向为电力与电力传动(E-mail:whc@swpi.edu.cn)。

Power system harmonic analysis device based on TMS320F2812

LI Hong-wei,WANG Hong-cheng

(Southwest Petroleum University,Chengdu 610500,China)

Abstract: The developed harmonic analysis device uses the chip TMS 320F 2812 as the CPU of the whole system for sampling, data processing, interface and communication. By sampling two known reference voltages through two channels of an AD(Analog-to-Digital) converter,its gain and offset are calculated and then applied to the samples from other channels of this AD converter to lower the gain error and the offset error. The sampling error is less than 0.5%. The software development and debugging is based on DSP/BIOS to shorten the development period. Simulation results indicate that the device has higher measurement precision and reliability.

Key words: TMS 320F 2812; harmonic analysis; AD calibration; DSP/BIOS