

# 电子式电流互感器数据采集系统的研究

陈继煌, 陈明军\*

(浙江工业大学 信息工程学院, 浙江 杭州 310014)

**摘要:**为了更好地适应电力计量系统数字化发展的趋势,设计了一种新型的电子式电流互感器数据采集系统。采用高速数字信号处理器(DSP) TMS320F2812 芯片,外接 14 位的 AD7894 和信号调理电路,为了更好、更快地进行信号传送,DSP 和 AD7894 之间采用光纤传输。给出了 A/D 控制程序流程图、仿真波形,并分析了测试结果。该系统具有强大功能的芯片和效率更高的软件使系统增强了数据采集和数据传输的速度和精度。该数据采集系统具有低功耗、高性能及良好的电隔离性。试验结果表明,测量精度符合 IEC0.2 级标准。

**关键词:**电子式电流互感器;数据采集;数字信号处理器;TMS320F2812;AD7894

中图分类号:TH86

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2010)08-0081-04

## Research for data acquisition system of electronic current transformer

CHEN Ji-huang, CHEN Ming-jun

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

**Abstract:** Aiming at adapting the digital technological development trends of power measurement system better, a design of data acquisition system of new electronic current transformer was introduced. Using the high-speed digital signal processor(DSP) TMS320F2812, external connected with AD7894, signal conditioning circuit, optical transmission was used between DSP and AD7894 in order to transmit signal better and faster. The flowchart and simulation waveforms of A/D control programs were given and the results were analyzed. The functional chips and more efficient software improve the speed and accuracy of data acquisition and transmission in the system. This system features with low power consumption, excellent performance and good electric isolation. The test results indicate that the precision of this system can meet the IEC0.2 standards.

**Key words:** electronic current transformer; data acquisition; digital signal processor(DSP); TMS320F2812; AD7894

## 0 引言

随着电力系统中电压等级的不断提高以及传输容量的不断增大,传统的电磁式电流互感器的一些问题也就日益暴露出来,如:体积大、动态范围小、使用频带窄,而且存在铁磁谐振,二次侧不能开路等,因此寻求更理想的新型电流互感器势在必行。新型的电子式电流互感器较传统的电流互感器做了很多改进之处,在结构上用光纤把高低压两端隔离开来,具有很好的绝缘效果;在硬件上采用洛夫斯基线圈作为传感头,14

位的 AD7894 和新型的具有强大的控制功能、高速的数据处理能力的 DSP2812 芯片结合的软件设计使传统互感器暴露出来的问题得到了很好的解决。而且电子式电流互感器也适应了电力计量和保护数字化、微机化和自动化发展的潮流。电子式电流互感器主要包括数据采集系统和数据处理系统,整个系统的精度主要取决于设计的数据采集系统的精度。

本研究给出一种基于 DSP TMS320F2812 为核心的数据采集系统的设计方案。

收稿日期:2010-01-05

作者简介:陈继煌(1984-),男,浙江东阳人,硕士研究生,主要从事 DSP 在电力系统应用方面的研究. E-mail: chenjihuang2007@163.com

通信联系人:陈明军,男,副教授,硕士生导师. E-mail: cmj654321@163.com

## 1 系统框图及框图

电子式电流互感器数据采集系统主要包括信号调理电路、模/数转换单元、光纤传输系统 3 部分。首先通过 Rogowski 线圈传感器从电网中感应出电流模拟信号, Rogowski 线圈是电子式电流互感器最常用的传感元件, 通常采用空芯线圈和 LPCT 作为电流传感元件, 具有良好的线性度和准确度。再经过信号调理电路对信号的抗混叠滤波、放大、反相积分等处理, 模/数转换单元负责把调理电路输出的符合 A/D 采样电压范围的模拟信号按 A/D 变换时序转换为数字信号。为保证传输速度和质量, 采用光纤进行传输, 光纤两端分别配备电/光转换器和光/电转换器。低压端的 DSP 一方面对一路光纤传过来的数字信号进行处理, 另一方面提供时钟信号, 通过另一路光纤传输, 并经分频电路分频后产生 A/D 转换器所需的时序, 从而达到信号同步采样的效果。数据采集系统设计原理图如图 1 所示。

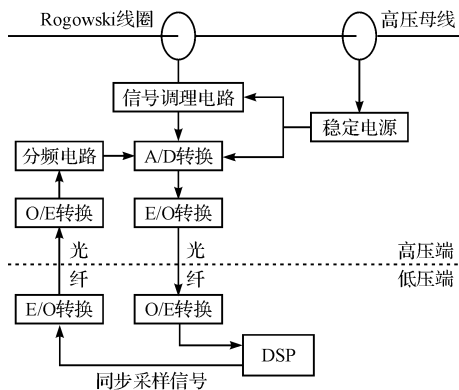


图 1 系统总体结构框图

## 2 数据采集系统的设计

### 2.1 信号调理电路

当被测电流  $i(t)$  通过 Rogowski 线圈时, 线圈输出电压  $U_1(t)$  和被测电流  $i(t)$  的关系为:

$$U_1(t) = -\frac{R_1 M}{R + R_1} \frac{di(t)}{dt} \quad (1)$$

式中  $R$ —线圈绕组和引线的总电阻;  $R_1$ —采样电阻;  $M$ —线圈互感系数。

从式中可以看出输出电压与被测电流成微分关系, 而且由于传感头 Rogowski 线圈的互感系数低, 感应出的电压很小, 为防止其经过积分器后被衰减掉, 因此信号处理部分需加入放大积分环节。信号调理电路图<sup>[1]</sup>如图 2 所示。设计中  $U_1(t)$  和  $U_2(t)$  之间是放大

电路, 放大倍数主要由  $R_3$  和  $R_4$  的比值所决定的。 $U_2(t)$  和  $U_0(t)$  之间是反相积分电路, 考虑到积分漂移问题, 所以在理想积分器的基础上, 在积分电容  $C_3$  两端并联一个兆欧级的反馈电阻  $R_8$ , 而且在放大和反相积分之间加了一个简单的 RC 低通滤波器, 对于信噪比的改善起到了很大的作用<sup>[2]</sup>。

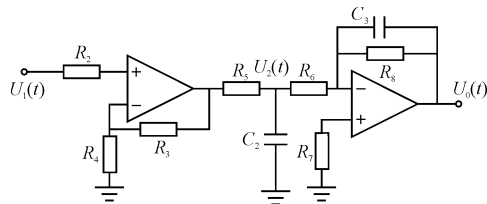


图 2 信号调理电路图

由图 2 可得:

$$U_2(t) = \frac{R_3 + R_4 + R_5}{R_4} U_1(t) \quad (2)$$

$$-U_2(t) = R_6 C_3 \frac{dU_0(t)}{dt} + \frac{R_6}{R_8} U_0(t) \quad (3)$$

所以:

$$-\frac{R_3 + R_4 + R_5}{R_4} U_1(t) = R_6 C_3 \frac{dU_0(t)}{dt} + \frac{R_6}{R_8} U_0(t) \quad (4)$$

当  $R_8 \gg R_6$  时,  $\frac{R_6}{R_8} \approx 0$ 。式(4)则变成:

$$-\frac{R_3 + R_4 + R_5}{R_4} U_1(t) = R_6 C_3 \frac{dU_0(t)}{dt} \quad (5)$$

即:

$$U_0(t) = -\frac{R_3 + R_4 + R_5}{R_4 R_6 C_3} \int U_1(t) dt \quad (6)$$

把式(1)代入到式(5)中, 得:

$$U_0(t) = -\frac{R_3 + R_4 + R_5}{R_4 R_6 C_3} \times \left( -\frac{R_1 M}{R + R_1} \right) i(t) = \frac{(R_3 + R_4 + R_5) R_1 M}{(R + R_1) R_4 R_6 C_3} i(t) \quad (7)$$

从式(7)中可以看出  $U_0(t)$  和  $i(t)$  是同相位且成比例的。

### 2.2 模/数转换单元

#### 2.2.1 硬件设计

模/数转换单元主要由模/数转换器、时序控制等部分组成, 通过低压端的 DSP TMS320F2812 器件来实现同步检测并控制 A/D 的采样、转换和校验。

根据电子式电流互感器的精度要求(达到 0.2 级)以及设定的采样频率, 应该选用精度比较高的模/数转换器。此外, 为了保证信号中的 7 次以下谐波分量不失真, 模/数转换器的转换速度也要求比较快且转换精度受温度影响小。综合以上考虑本研究选用

AD7894AR-10 模/数转换芯片。AD7894AR-10 是一款低功耗、低成本、高性能的快速 14 位模/数转换器,采用 5 V 单电源供电,转换时间为 5  $\mu\text{s}$ ,内置 1 个逐次逼近型模/数转换器、1 个片内采样保持放大器、1 个片内时钟和 1 个高速串行接口。

控制模/数转换的方法有很多,本研究采用由 CD4020 计数/分频器等组成的分频电路来控制模/数转换的进行,CD4020 是一款 14 位二进制串行计数/分频器。分频电路图如图 3 所示。

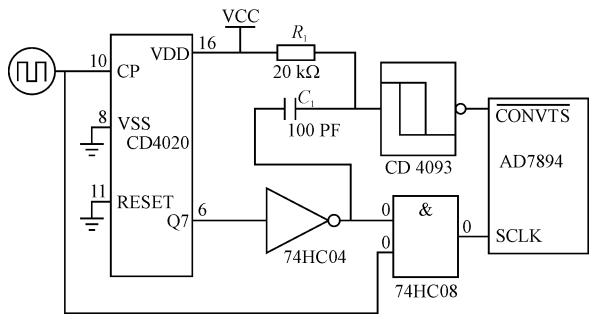


图 3 分频电路图

图 3 中 CD4020 的 10 脚接收连续时钟信号 CLK,此时钟信号由低压端 DSP 中的定时器产生,CD4020 对其进行 32 分频,从 6 脚输出周期为 32 倍于 CLK 的方波信号,该方波信号反向后同 CLK 相与,作为 AD7894 的读数据时钟信号。同样 CD4020 的 6 脚输出经过电阻电容电路产生短时脉冲信号,驱动施密特触发器 CD4093,CD4093 的输出可以作为 AD7894 的转换开始信号 CONVST。用 Multisim 软件对此分频电路的功能进行仿真得到仿真波形,如图 4 所示(其中 1 为上图中 CD4020 的输入波形,3 为上图中非门 74HC04 的输出波形,4 为上图中 74HC08 输出的 SCLK 波形,Term4 为上图中 CD4093 输出的 CONVST 波形)。根据这些输出波形可以看出,当 AD7894 的 CONVST 引脚接收到 Term4 的低电平触发信号时开始转换,经过 5  $\mu\text{s}$  的转换后,跟随 SCLK 时钟波形读取转换数据。数据格式为 16 位,包括 2 个起始零和 14 位的转换数据,这样就完成了一次转换。

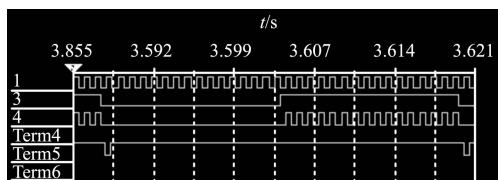


图 4 分频电路仿真波形

### 2.2.2 软件设计

AD7894 的采样时钟和使能信号由 DSP TMS320F-2812 的通用定时器产生并经分频电路来提供<sup>[3]</sup>。DSP

TMS320F2812 芯片是 TI 公司的一款高性能、多功能、高性价比的 32 位定点 DSP 芯片,具有强大的事件管理能力和嵌入式控制功能。能在 1 个周期内完成  $32 \times 32$  位的乘法累加运算,时钟频率最高可达 150 MHz<sup>[4]</sup>。带有 3 个定时器,2 个事件管理器,2 路 SCI,1 路 SPI、56 个独立配置的通用多功能 I/O<sup>[5]</sup>。由采样定理可知,A/D 的采样频率  $f_s$  应大于抗混叠滤波器截止频率  $f_c$  的 2 倍。电力系统信号频率为 50 Hz,每周期采 256 个点,而 AD7894 完成一次转换的时间设定为 10  $\mu\text{s}$ ,所以设定 DSP 的通用定时器每隔 68  $\mu\text{s}$  发送一串频率为 3.2 MHz 的连续时钟信号。当 A/D 接收到分频器产生的转换开始信号即开始转换,当采满 256 个点后,DSP 进入中断,将 AD7894 输出寄存器中的数字信号输入到 DSP 中。DSP 的编程工具采用 C 语言和汇编语言混合编程的方法,把 C 语言的优点和汇编语言的高效率有机结合起来。控制程序流程图<sup>[6]</sup>如图 5 所示。

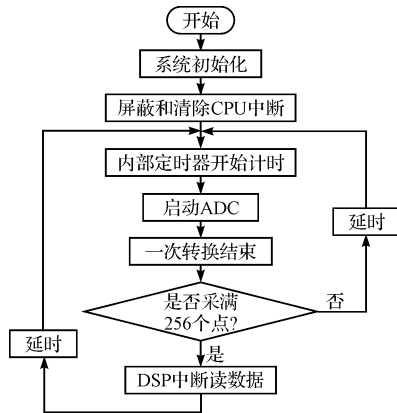


图 5 控制程序流程图

### 2.3 光纤传输单元

光纤传输系统原理为:一个 LED 发射器将电信号转变成光信号,并将其耦合进入传输光纤中,光信号通过光纤到达光接收器,它把接收到的光信号恢复成原来的电信号输出。光纤传输系统主要包括 E/O 转换器及驱动电路、O/E 转换器及接收电路、光纤等。光纤收发电路图如图 6 所示。

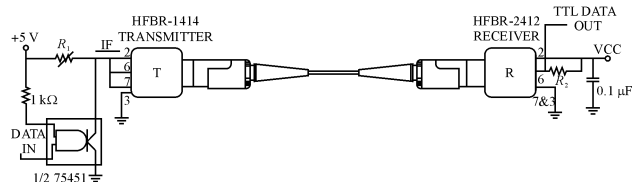


图 6 光纤收发电路图

E/O 转换的光发送器选用 Agilent 公司的低功耗 LED 型发送器 HFBR1414,其外围驱动电路采用 3 路与非门 74F3037 并联输出驱动光发射器 HFBR1414, (下转第 96 页)

参考文献 (References) :

[1] 汪成为,高文,王行仁. 灵境(虚拟现实)技术的理论、实现及应用[M]. 北京:清华大学出版社,1996.

[2] BOWMAN D, KRUIJFF E. 3D user interfaces; theory and practice[M]. USA Boston: Addison-Wesley,2004.

[3] KELA J, KORPIA P, MANTYJARVI J. Accelerometer based gesture control for a design environment[J]. **Personal and Ubiquitous Computing**,2006,10(5):285-299.

[4] RODRIGUEZ P, GONZALEZ O S. Development of a 3D Real Time Gesture Recognition Methodology for Virtual Environment Control[C]//The 17th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication. Munich, Germany: [s. n. ],2008:279-284.

[5] HOFMANN F, HEYER P. Velocity Profile Based Recognition of Dynamic Gestures with Discrete Hidden Markov Models[C]//Proceedings of the International Gesture Workshop on Gesture and Sign Language in Human-Computer Interaction. Bielefeld, Germany: [s. n. ],1997:81-95.

[6] SCHLOMER T, POPPINGA B. Gesture Recognition with a Wii Controller [C]//Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interaction. Bonn, Germany: [s. n. ],2008:11-14.

[7] NG R T, HAN J. Efficient and Effective Clustering Methods for Spatial Data Mining[C]//Proceedings of the 20th VLDB Conference. Santiago de Chile, Chile: [s. n. ],1994:144-155.

[8] RABINER L R. A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition[J]. **Proceedings of the IEEE**,1989,77(2):257-285.

[9] LEE H, KIM J H. An HMM-based threshold model approach for gesture recognition[J]. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, 1999, 21(10):961-973.

[10] PAN Zhi-geng, CHEN Wen-zhi, ZHANG Ming-min, et al. Virtual reality in the digital olympic museum[J]. **IEEE Computer Graphics and Applications**,2009,29(5):91-95. [编辑:李辉]

(上接第 83 页)

以产生足够大的光功率。O/E 转换的光接收器采用 Agilent 公司的 HFBR2412,以实现数字光通信时 HFBR2412 后需加一接收电路。接收电路中,在 VCC 与电源之间接了 1 个 10 Ω 的限流电阻和 1 个 0.1 μF 的旁路电容以去除噪声<sup>[7]</sup>。

本研究用光发送/接收单元传输模/数转换器的移位时钟来测试光纤数字传输系统,移位时钟是频率为 1 MHz 的方波。从测得的整个光纤传输系统的输入/输出波形图中可以得到该光纤数字传输系统的输出延迟时间约为 150 ns,符合电子式电流互感器系统所允许的误差范围之内。

3 实验验证

本研究用准确度为 0.01 级的常规电磁式标准互感器对上述设计的电子式电流互感器数据采集系统进行了测试,测量通道实验结果如表 1 所示。从表 1 中看出实验结果中数据的线性度很好,通过示波器的观察发现,采样时钟信号中参杂了很多的高频干扰信号,A/D 转换结束后信号振荡现象比较严重,但是通过一个低通滤波器,很好地解决了上述问题,得到了一个稳定的输出<sup>[8]</sup>。

表 1 测量通道实验结果

一次电流/kA	A/D 输出折合值/V	比差/(%)	角差/(′)
0.25	0.510 3	0.192	10
0.4	0.809 7	0.169	7
0.5	1.100 3	0.16	7
1	1.820 5	0.117	6

4 结束语

基于 TMS320F2812 的数据采集系统已经设计并调试完成,实验结果表明,该数据采集系统抗干扰性好,测量精度高,符合 IEC60044-8 的 0.2 级精度标准,能很好地完成信号的采集,满足电子式电流互感器对信号采集的实时性、可靠性、准确性的要求,同时该设计降低了系统的功耗,提高了系统的性能。

参考文献 (References) :

[1] 贾春荣,邸志刚. 一种新型电子式电流互感器模拟信号号处理系统设计[J]. 电气应用,2007,26(1):108-110.

[2] 龙忠琪. 模拟集成电路教程[M]. 北京:科学出版社,2004.

[3] 苏奎峰,吕强. TMS320F2812 原理与开发[M]. 北京:电子工业出版社,2005.

[4] Texas Instrument. TMS320F2812 Digital Signal Processors Data Manual[M]. Texas Instrument,2003.

[5] Texas Instrument. TMS320F28x Event Manager (EV) Peripheral Reference Guide[M]. Texas Instrument,2002.

[6] 刘田豹,方春恩,李伟,等. 混合式光电电流互感器数据采集系统的设计[J]. 智能电器及计算机应用,2009(1):25-28.

[7] 丁全响,周有庆,吴桂清. 混合式光电电流互感器数据采集系统的研究[J]. 电力科学与工程,2006(1):34-40.

[8] 季小林,高晓蓉. 基于 TMS320F2812 的数据采集系统[J]. DSP 开发与应用,2007,23(8):169-171. [编辑:张翔]