

一种新型的基于PSoC3的高精度位移测量仪

陈鹏杰, 陆玲霞, 李华明

(浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要: 为降低基于线性可调差动变压器(LVDT)的高精度位移测量仪的生产成本,并减小其产品体积,使产品更具市场竞争力,在分析其工作原理基础上,结合PSoC3“相比于传统单片机,更具系统单片化”的特点,提出了以CY8C3866AXI为核心的新型位移测量系统设计方案。该方案通过运用PSoC3内部的数字模块(DMA和LCD)与模拟模块(AD、DA、PGA等),自行设计了由整流电路、滤波电路和减法电路组成的信号调制电路,完全替代了目前市场上常用的AD698信号调制芯片和ARM控制器的产品组合结构,实现了位移高精度测量,测量精度可达到0.2 μm。研究结果表明,该方案具有集成度高、线性度好、成本低廉等优点。

关键词: 位移测量仪;线性可调差动变压器;PSoC3;信号调制

中图分类号: TH73; TH39; TM13

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)09-1032-04

High-precision displacement measuring instrument based on PSoC3

CHEN Peng-jie, LU ling-xia, LI Hua-ming

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: In order to reduce production costs and the volume of high-precision displacement measuring instrument based on the the linear variable differential transformer(LVDT), and to make the products more competitive, taking the advantage that the PSoC3 is more system monolithic than traditional single-chip, a new design for displacement measurement system was proposed based on CY8C3866AXI by analyzing its working principles. The displacement of high-precision measurements was achieved through the use of PSoC3 within the digital module (DMA and LCD), the analog modules (AD, DA, PGA, etc.), and the signal modulation circuit was designed by oneself which is consisted of the rectifier circuit, filter circuit, and the subtraction circuit. The combination of ARM and AD698 product in the past was replaced by this design which has accuracy of 0.2 μm. The results indicate that this program has advantages such as high integration, good linearity and a low disbursement.

Key words: displacement measuring instrument; linear variable differential transformer(LVDT); PSoC3; signal modulation

0 引 言

高精度位移测量仪(简称量仪)广泛应用于工业现场和测试领域,如过程检测、自动控制和形变测量等。作为其核心部件的高精度位移传感器包括接触式和非接触式两大类。该系统选用接触式位移传感器线性可变差动变压器(LVDT),具有灵敏度及分辨力高、线性度好、工作可靠、寿命长、易于实现监控等优点,但需提供正弦激励源和与其配套的将正弦信号转换为电平信号的调制模块才能正常工作^[1-2]。目前市场上常用AD698来实现该部分功能。传统的量仪

除AD698外,还包含复杂的外围电路和ARM为主的控制器,成本较高,集成度低,并且一块AD698信号调制芯片只能处理一路LVDT信号^[3]。由于目前市场上AD698的单价为140元左右,测量通道越多,产品成本将随着AD698片数的增加而提高很多。

量仪市场竞争激烈,因此在保证品质的同时降低成本、提高可靠性和集成度具有一定的现实意义。基于此,本研究以美国Cypress公司生产的混合信号可编程片上系统PSoC3芯片CY8C3866AXI替代原有的CPU和AD698提供激励源的功能,并自主研发信号调制电路,从而完全替代原有的量仪系统。

1 系统工作原理

1.1 系统结构图

该系统由 PSoC3、LVDT 测笔、信号调制模块与人机界面 LCD 组成,系统结构如图 1 所示。

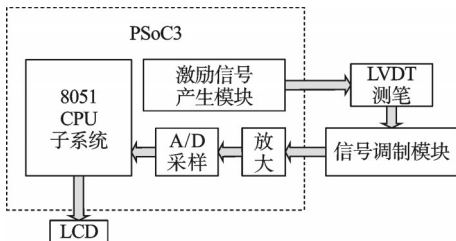


图 1 PSoC3 测量仪系统结构图

内部激励信号源生成 5 kHz 的正弦信号并通入位移传感器 LVDT 测笔,测笔将产生幅值与位移量成正比的正弦返回信号,信号调制模块将其转化为电平信号,并在 PSoC 内部放大后进行采样,CPU 对采样数据线性处理之后,实时显示在 LCD 上。

1.2 PSoC3

PSoC3 微处理器 CY8C3866AXI 集 8 位微控制器、可编程数字阵列与模拟阵列于一体,利用内部可编程互连模组,可以有效地配置芯片上的模拟和数字电路资源,达到可编程片上系统的目的^[4-5]。基于此,该设计充分利用 PSoC 内部 AD、DA 和 PGA 等模拟模块,以及 DMA 和 LCD 等数字模块,在 PSoC Creator 编程环境中实现正弦激励信号产生、信号放大、A/D 采样和 LCD 接口等应用。

1.3 LVDT 测笔

线性可变差动变压器(LVDT)主要由一个铁芯和两个线圈组成。其工作原理类似于变压器,不同的是变压器是闭合磁路,而 LVDT 是开磁路^[6]。LVDT 测量装置示意图如图 2 所示,设原线圈 L 的激励电压为 U_1 ,两个次级线圈 L_1, L_2 的感应电压分别为 U_{21}, U_{22} 。原线圈与两个次级线圈的互感系数分别为 M_1 与 M_2 ,忽略磁滞涡流和耦合电容,则 LVDT 的输出电压 U_{21}, U_{22}, U_2 的表达式如下:

$$\dot{U}_{21} = j\omega M_1 \dot{I}_1 \quad (1)$$

$$\dot{U}_{22} = j\omega M_2 \dot{I}_1 \quad (2)$$

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_{21} - \dot{U}_{22} = j\omega(M_1 - M_2)\dot{I}_1 \quad (3)$$

式中: I_1 —主线圈中的激励电流。

当铁芯处于中点附近时, M_1, M_2 与铁芯位置呈线性关系,因此铁芯的位移与 U_2 呈正比关系^[7]。该方案采用的是单通道输入、双通道返回的测笔接法。

1.4 信号调制模块

信号调制模块的主要作用是将测笔的双通道正

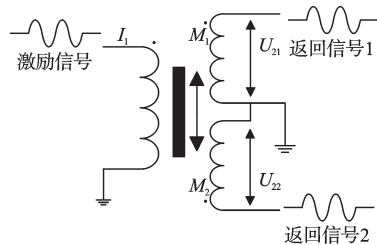


图 2 LVDT 原理图

弦返回信号转换为电平信号。传统意义上,一般采用 AD698 作为信号调制芯片,但 AD698 单价较高,只能同时调制一路电路,本研究自行设计正弦信号整流和滤波电路,完全替代 AD698 信号调制功能。信号调制模块原理图如图 3 所示。

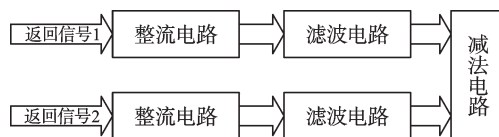
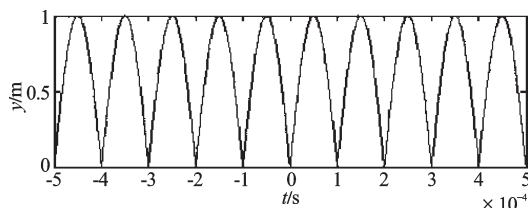


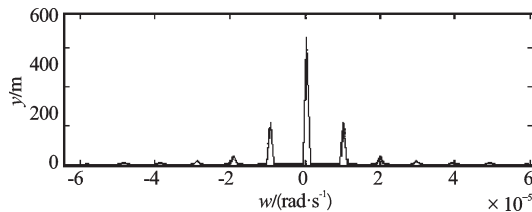
图 3 信号调制模块原理图

图 3 中,返回信号 1 和 2 分别通过整流电路和低通滤波电路,得到与其幅值成正比的电平信号,经过减法电路最终得到与铁芯位移量成比例关系的电压信号。

整流电路输出信号的时域图和经傅里叶展开所得频域图像如图 4 所示,该信号经过低通滤波,可滤除频率为零以外的所有谐波。



(a) 整流输出信号时域图



(b) 整流输出信号频域图

图 4 整流输出信号时域图像与频域图像

PSoC 提供的液晶显示驱动系统是一个可选配的外设,允许 PSoC 设备直接驱动板上 LCD。每个 LCD 驱动模块和所有 GPIO 相关,可将采集数据实时显示在 LCD 上。

2 硬件电路设计

2.1 测笔连接电路

在该设计中,测笔的连接方式采用的是单通道输入、双通道输出的方式。该方法与单通道输出相比,

有明显优势。因为在单通道输出情况下,测笔的铁芯处于中点位置附近时,返回信号的幅值极小,极易引起信号调制误差。而采用该方法时,铁芯位置居中,两个返回信号幅值相等,不会出现幅值很小的情况。测笔的连接结构如图 2 所示。

2.2 信号调制电路

信号调制电路由 3 部分组成:全波整流电路、滤波电路和减法电路。电路图如图 5 所示。

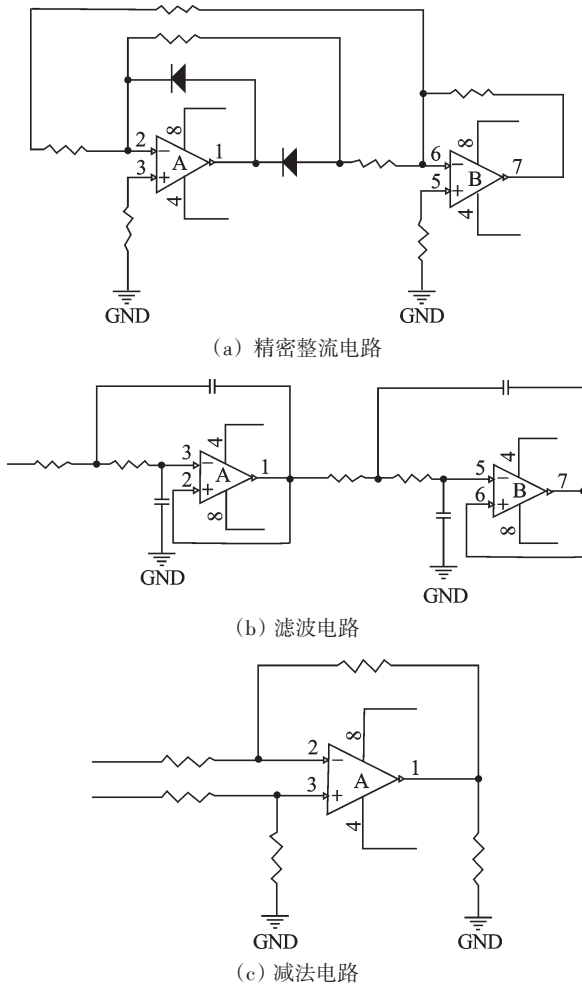


图 5 精密整流电路、滤波电路和减法电路

(1) 为了防止小信号带来的误差,整流电路采用精密整流电路。常规的整流电路由于二极管导通电压的原因,无法处理幅值过小的信号。而精密整流电路能弥补这一缺点。本研究中电路选用高速运放芯片 LM6172 和二极管 1N4148,该电路可以处理幅值小于 0.7 V 的正弦信号。

(2) 滤波电路采用截止频率为 1 kHz 的巴特沃斯低通四阶滤波电路。本研究中运放芯片同样选择 LM6172,使用高精度、低温飘的电容和电阻,以减少误差。

(3) 由于测笔采用的是双通道输出策略,减法电路将两个直流量相减,得到一个最终与测笔铁芯位移成正

比的电压信号。减法电路中的电阻必须使用精密电阻,否则会产生纹波较大、电压值不稳定、温飘严重等现象。

3 系统的软件设计

Cypress 的 PSoC Creator 集成开发环境存有几十个预先配置过的模拟和数字外设库,可方便地拖放进电路图设计界面并组成强大的系统^[8]。该项目使用 PSoC 内部模块,设计激励信号产生源、信号放大模块和 A/D 采样部分。

3.1 激励信号产生模块

正弦激励产生作为整个检测系统的信号源是最关键的环节之一,它的幅值、频率是否稳定将直接影响整个检测系统的稳定性和精度^[9]。为节省 CPU 资源,本研究使用 DMA 查表、D/A 输出的方式产生正弦波。利用 CyDmaTdSetConfiguration()、Clock_sine_Start()、CyDmaChEnable()、CyDmaChSetInitialTd() 等函数,完成正弦模块设置。PSoC 提供 4 个模数转换器 DAC。每个 DAC 为 8 位,能配置成电压或电流输出。本研究通过配置内部时钟信号 Clock_sine 触发 DMA,将正弦表格数据传输到 D/A 中,通过调整时钟信号的频率就可改变激励正弦频率。实验证明,该方法产生的激励信号源稳定性强,可以满足工业要求。

3.2 信号放大模块

信号调制电路输出的电平信号幅值偏小,虽可通过调节减法电路电阻值进行放大,但会引起纹波变大。因此,本研究在 A/D 采样前添加 PSoC3 自带的 PGA 模块,达到信号放大的目的。PGA 是一种放大倍数可配置的放大器功能模块,该模块在不增加 A/D 采样位数的前提下,提高采样的灵敏度^[10]。

3.3 A/D 采样

PSoC3 内置的 $\Delta-\Sigma$ 模数转换器具有精度高、稳定性强的特点,可以配置 8~20 位的分辨率,采样率在 10 sps~384 ksps 的 A/D 采样模块。在该方案中 A/D 采样配置为 16 位,采样率为 10 ksps。在实际生产应用中,外部干扰会带来 20 kHz 左右的谐波,如采样率高则采集到较多的干扰信号,给数据处理带来不便。另外系统需要响应时间在 5 ms 以内。因此该方案中 A/D 采样配置为 16 位,采样率为 10 ksps,每采样 20 个数据进行一次数据处理,响应时间为 2 ms。

3.4 采样数据处理

由于量仪工作的环境恶劣,干扰因素多,为了确保采样数据的精确性,本研究使用去极值平均滤波算法得到一个稳定性和精度都较高的电压值。经过线性拟合,本研究计算出测笔铁芯的位移量,达到高精度测量的目的。

4 实验结果

测试实验使用 Solartron Metrology 的 LVDT 测笔 AX1/S, 中原量仪股份有限公司的微动测量台架 BCT—5C, 该测试平台的测量范围为 0~0.4 mm, 最小刻度为 0.2 μm 。经实验测量, 该设计在 0~200 μm 的范围内电压变化线性度良好, 反应灵敏。实际转化为位移量后, 精度可以达到 0.2 μm , 实测 A/D 采样所得电压值与真实位移量的关系图如图 6 所示, 完全符合线性规律, 通过电压值能准确并快速计算位移量。

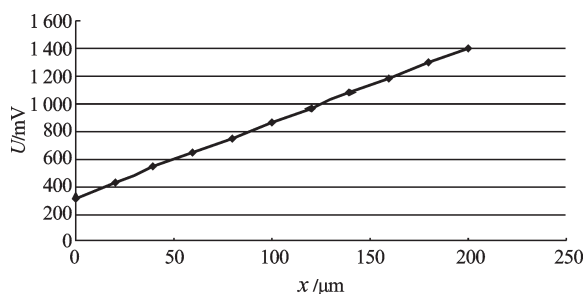


图6 实测电压值与真实位移量关系图

5 结束语

本研究设计了基于 PSoc 的新型高精度位移测量仪, 并给出了外部电路与 PSoc 内部软件架构。同时充分运用 PSoc 内部资源, 并设计了信号调制模块, 以简化外部电路, 取代传统量仪产品中价格昂贵的信号调

制芯片。

实验结果表明, 与传统量仪相比, 该测量仪具有测量精度高、线形度好、价格低廉等优点。

参考文献(References):

- [1] 白广新. 基于单片机的差动变压器位移测量装置的设计[J]. 船电技术, 2004, 24(2): 30-32.
- [2] 姚丹. 一种 LVDT 精密测长仪的仿真研究[D]. 大连: 大连理工大学机械工程学院, 2009.
- [3] 王敬亭, 廖力清, 凌玉华, 等. AD698 型 LVDT 信号调理电路的原理与应用[J]. 国外电子元器件, 2005(9): 63-64, 71.
- [4] 何宾. 可编程片上系统 PSoc 设计指南[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
- [5] 李兵. PSoc 结构及其应用研究[D]. 北京: 北京交通大学计算机与信息技术学院, 2006.
- [6] 刘萍. 差动变压器式位移传感器参数化仿真及优化[D]. 西安: 西安电子科技大学理学院, 2010.
- [7] 郭敏, 李月贞. 基于 LVDT 的微小位置测量系统设计[J]. 现代电子技术, 2010, 33(7): 151-153.
- [8] 王杨, 邵晓鹏, 林见杰, 等. 基于 PSoc3 的光功率计设计[C]//第九届全国信息获取与处理学术会议论文集. 丹东: [出版者不详], 2011: 366-369.
- [9] 洪小丽, 戴一帆. 改善电感测微仪二次测量电路精度的措施[J]. 国防科技大学学报, 2003, 25(3): 100-103.
- [10] 李军杰, 李斌, 杨永强, 等. PSoc 单芯片任意波形发生器的设计与实现[J]. 电子设计应用, 2009(5): 44-48.

[编辑: 张翔]

(上接第 1010 页)

虚拟装配中装配序列规划对模型的信息要求, 并通过工程实例证明了该建模方法的有效性。

混合设计方法不但可以满足产品的设计要求, 其装配模型还包含有产品的结构层次关系及零部件之间的约束关系, 为虚拟装配序列规划提供了必需的模型信息, 为虚拟装配仿真与分析打下了良好的基础。

参考文献(References):

- [1] 罗天龙. 基于 CATIA/CAA 平台的虚拟装配信息模型研究与应用[D]. 南京: 南京航空航天大学航空宇航学院, 2005.
- [2] 李健, 唐忠民, 王凯, 等. 基于特征的产品装配建模系统[J]. 制造业自动化, 2000, 22(12): 70-75.
- [3] 侯晓林, 张申生, 步丰林. 并行工程中的产品装配模型[J]. 计算机辅助设计与制造, 1995(11): 14-16.
- [4] 周晓明, 杜平安. 面向装配序列规划的装配建模方法研究[J]. 计算机集成制造系统, 2007, 13(12): 2365-2372.
- [5] ISHIR K. Life-cycle engineering design [J]. Transactions of the ASME, 1995, 117(6): 42-47.
- [6] GOTTIPOLU R B, GHOSH K. A simplified and efficient representation for evaluation and selection of assembly sequences [J]. Computer in Industry, 2003, 50(3): 251-264.
- [7] 曹磊, 王栓虎, 龚光容. 面向拆卸的装配序列规划算法的实现[J]. 现代制造工程, 2004(2): 47-49.
- [8] 李春书, 崔根群, 李迅, 等. 产品装配顺序规划方法的研究[J]. 机械设计, 2002, 19(7): 9-12.
- [9] 王长龙, 陈长征, 张幼军, 等. 基于混合设计法的广义零件设计及其计算机实现[J]. 沈阳工业大学学报, 2006, 28(3): 246-249.
- [10] 边欣, 杨光, 陈书军. 自顶向下的虚拟装配设计[J]. 机械管理开发, 2007(5): 72-73.
- [11] 郝理想, 韩文辉, 戴英敏. 基于 Pro/Engineer 的虚拟设计方法研究[J]. 计算机应用技术, 2010, 37(1): 46-48.
- [12] 刘晓超, 栗振. 基于 UG 减速器虚拟设计, 装配与 Solidwoks 的仿真运动[J]. 机电工程技术, 2011, 40(3): 74-75.

[编辑: 张翔]