

基于 MS3110 的微电容读出电路设计

郑雨薇, 朱蕴璞

(南京理工大学 机械工程学院, 江苏 南京 210094)

摘要: 电容式 MEMS 加速度计是 MEMS 加速度计的一种主要的形式。通过对 MS3110 的应用研究, 了解其使用性能和参数设置方法, 在此基础上将该芯片用作电容式 MEMS 加速度计的电容输出接口, 实现对该类传感器的高分辨率微电容检测。实验结果表明, 设计的基于 MS3110 的微电容读出电路有良好的稳定性和线性度。

关键词: 微电容读出电路; MS3110; ADS1255; AVR 单片机

中图分类号: TN451 文献标志码: B 文章编号: 1671-5276(2017)02-0174-03

Design of Micro-capacitor Readout Circuit Based on MS3110

ZHENG Yuwei ZHU Yunpu

(School of mechanical engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: Capacitive MEMS accelerometer is a main format in of MEMS accelerometers. This paper makes a study of the MS3110 chip, knows the performance and the method of setting parameters and uses the MS3110 chip as the interface circuit of the the capacitive MEMS sensor to detect the high-resolution micro-capacitance in this kind of sensors. The test results show that the micro-capacitor readout circuit based on MS3110 has good stability and linearity.

Keywords: micro-capacitor readout circuit; MS3110; ADS1255; AVR

0 引言

MEMS 电容传感器结合了 MEMS 传感器和电容传感器 2 类传感器的优势, 具有微型化、集成度高、功耗低、灵敏度高、受温度影响小等优点。同时, 它也受到 2 类传感器缺点的制约^[1-2]。MEMS 工艺有 2 个与生俱来的缺点: 1) MEMS 器件受工艺的影响较大, 参数的不确定性高, 容易产生非线性; 2) 由于 MEMS 传感器的结构微小, 输出信号微弱, 容易受到各种噪声和环境的干扰, 因此其输出信号的信噪比低, 动态范围低。其次, 电容式传感器的处理电路较复杂。MEMS 传感器体积小特点决定了其电容值小, 一般为 pF 量级; 而由此被测量引起的微电容的变化则更微小, 一般为 fF 量级甚至更小^[3-5]。如果将它连接到外部电路, 寄生电容、分布参数等会对有用信号产生很大的影响。因此电容读出电路的设计成为提高 MEMS 电容传感器检测结果准确度及分辨率的关键。

国内外目前有 2 条解决途径: 1) SOC 方式的专用电容检测集成电路^[6]; 2) 通用电容检测集成电路。采用第 1 种解决方式, 电容检测电路的干扰因素减少, 但由于涉及 MEMS 传感器结构与电容读出电路设计, 且两部分在同一块芯片上实现, 因此对设计及加工制造的要求极高。第 2 种解决方式只将检测电路制作成芯片, 芯片可以用于不同种类传感器的检测, 传感芯片设计难度降低, 芯片的通用性加大, 但是体积增大, 干扰增强。^[7-9]

本设计采用第 2 条解决途径, 选用 Irvine-Micro sen-

sors 公司的通用电容检测芯片 MS3110, 设计内容包含微电容检测电路及其上位机数据采集软件。

1 总体方案设计

基于 MS3110 的微电容读出电路总体框图如图 1 所示。



图 1 基于 MS3110 的微电容读出电路结构

电路主要组成部分有 MS3110、ADC、微控制器。由 MS3110 进行微电容信号检测, MS3110 输出的电压信号由 ADC 完成模/数转换, A/D 转换的控制、转换结果的读取及对 MS3110 的编程等由微控制器实现。微控制器将转换结果通过串口输出至上位机, 由上位机进行相应的数据处理、显示及存储。

由于 MS3110 实现 C/V 转换时的分辨率高, 采样频率 ≤ 8 kHz, 因此, 为保证数据精度, 选择 $\Delta-\Sigma$ ADC, 经调研具体选择了 TI 公司的 24 位 AD 芯片 ADS1255。由 ADR441A 芯片输出 2.5 V 作为 ADS1255 的工作时的基准电压。

微控制器的主要功能是对 MS3110 进行编程、对 ADC 进行控制以及通过串口与上位机进行通信等, 因此其主要任务是对 I/O 设备的控制, 数据处理方面的性能要求不

高,再考虑到方便调试,选择基于增强的 AVR RISC 结构的低功耗 8 位 CMOS 微控制器 Atmega16 作为微控制器。ATmega16 与 MS3110 芯片通过 PA 口模拟 I2C 通信,与 ADS1255 通过 SPI 口通信[10,11],PC 口的 JTAG 接口能用于从上位机下载程序,ATmega16 与上位机的通信由 USART 完成^[10-11]。

1.1 MS3110 模块设计

MS3110 主要由电容补偿电路、电荷积分电路、采样保持器、低通滤波以及放大器组成,采用调制解调的电容读取方法。MS3110 芯片内部可以输出 2 路幅值相等、相位相反的方波作为待读取电容的激励信号,实现对电容变化的调制。调制信号经过电荷积分放大器将电容变化转换为电压变化,再经过低通滤波、增益放大就得到了与电容变化成正比的电压信号。

MS3110 的理论传输函数如下:

$$VO = GAIN \times V2P25 \times 1.14 \times (CS2T - CS1T) / CF + VREF \quad (1)$$

$$CS2T = CS2IN + CS2 \quad (2)$$

$$CS1T = CS1IN + CS1 \quad (3)$$

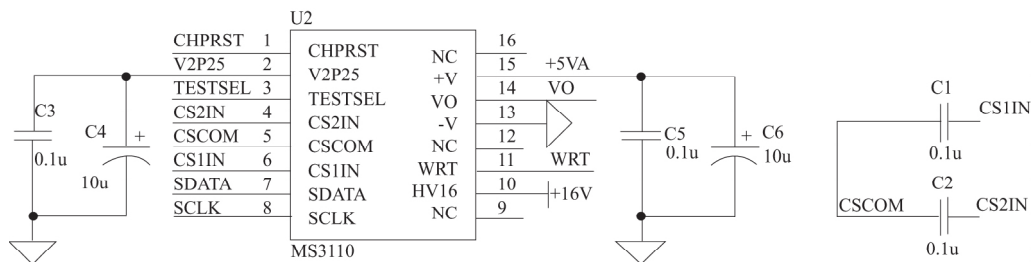


图 2 MS3110 电路连接原理图

1.2 软件模块设计

软件设计采用模块化设计,完成了对微控制器初始化、MS3110 配置、ADC 配置和数据采集与输出的功能。包括微控制器的初始化(I/O 口初始化、USART 的初始化、中断初始化和 SPI 的初始化)、MS3110 的配置(MS3110 引脚的初始化和 MS3110 中寄存器的配置)以及 ADC 的配置(ADS1255 引脚的初始化和 ADS1255 中寄存器的配置)。

FLAG 为中断标志,其初始值为 0,当 INT0 中断发生时置 1,表示有中断发生,数据转换完成。

软件按如图 3 所示的流程图来设计。

2 实践结果及分析

1) 通过改变内部平衡电容阵列 CS2、CS1 的值来改变 CS1T、CS2T 的差值,测量相应的输出,观察 MS3110 的工作稳定性和线性度。

设置 ADS1255 的采样频率为 2.5SPS,MS3110 的参数设置为: $GAIN = 2$, $CF = 14.592\text{pF}$, $VREF = 2.25\text{V}$ 。测量 MS3110 的 V2P25 引脚,测得此时的 $V2P25 = 2.252\text{VDC}$ 。

由于 ADS1255 的基准电压为 VREF,故实际的采样电

其中 VO 是输出电压,GAIN 的标称值为 2 或 4V/V,V2P25 的标称值为 2.25VDC。CF 为电荷放大器的可调积分电容,通过调节可以设置前级积分器的增益,调节 CF 可优化输入被测电容的范围, $CF \geq 1.5\text{pF}$ 。CS1、CS2 为 MS3110 芯片内部的可调补偿电容阵列,用于调节由于输入电容的不对称而引起的偏置。

MS3110 的应用电路简洁,只需提供 5V 的模拟供电电源并匹配相应的电容即可。MS3110 有 2 种工作方式:对 EEPROM 编程或直接写控制寄存器。本设计设计采用直接写控制寄存器进行编程,故只需用到 2 个引脚,分别是 SDATA 和 SCLK。未使用的 WRT 与 HV16 引脚可以用接插件引出,留作调试使用。CS1IN、CS2IN 经 C1、C2 两个去耦电容与输入端相连,减少引入噪声。电路连接如图 2 所示。

MS3110 与微控制器要进行简单通信,由微控制器通过串行数据流向 MS3110 的控制寄存器写入各个参数设置。编程时,通过 I/O 端口的置位或清零来选通或关闭 MS3110 芯片的引脚。

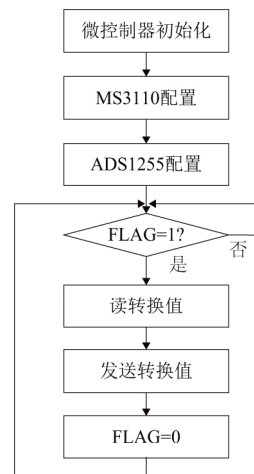


图 3 主函数流程图

压为:

$$V_{\text{采}} = V_o - VREF \quad (4)$$

由式 (1) 和式 (4) 可得:

$$V_{\text{采}} = GAIN \times V2P25 \times 1.14 \times (CS2T - CS1T) / CF \quad (5)$$

代入上述参数值,可求得理论上工作曲线的斜率为 0.3519。

每改变一次 CS1T、CS2T 的差值,采样一组数据,采样时间为 1 min。将采样值求平均后作为其实测值,用 Excel

画出 MS3110 的实际工作曲线并进行线性拟合,如图 4 所示。

从图 4 可以看出,系统的线性度比较理想。采用最小二乘法拟合,求得拟合后的灵敏度为 0.349 8,零偏为 0.001 4。

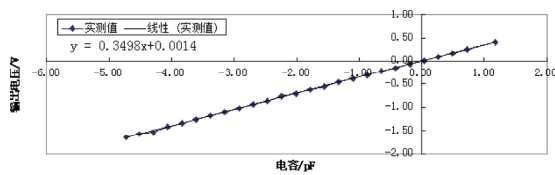


图 4 MS3110 实测曲线

实际工作函数为:

$$V_{\text{采}} = 0.3498(CS2T - CS1T) + 0.0014 \quad (6)$$

灵敏度接近理论计算值,虽然存在一定的零偏,但是可以通过进一步调节 MS3110 的线性度和灵敏度,减小零偏。

2) 外接固定电容,检测系统的稳定性。

测试时,MS3110 及 ADS1255 的基本参数设置不变,将 CS1、CS2 均调节为 0 pF。

采用单端输入,由 CS2IN 端输入标称电容值分别为 1 pF、3.3 pF 的固定电容。采样频率不变,每组数据的采样时间为 8 min。测量结果见表 1、表 2。

表 1 MS3110 单端输入 1 pF 时的测量结果

	均值	标准差
MS3110 输出电压值/V	0.422 762	1.55E-3
对应电容值/pF	1.201 455	4.41E-3

表 2 MS3110 单端输入 3.3 pF 时的测量结果

	均值	标准差
MS3110 输出电压值/V	1.291 763	1.66E-4
对应电容值/pF	3.671 084	4.70E-4

采用差分输入,由 CS2IN 端输入标称电容值为 3.3 pF 的固定电容,CS2IN 端输入 1 pF 的标准电容。采样频率不变,每组数据的采样时间为 8 min。检测结果见表 3。

表 3 MS3110 差分输入 3.3 pF 时的检测结果

	均值	标准差
MS3110 输出电压值/V	0.855 753	1.69E-4
对应电容值/pF	2.431 981	4.81E-4

由表 1 至表 3 可见:

- 1) 对应电容值是根据式(5)转换而得的。
- 2) 不论采用单端输入或是差分输入,所得实测值的标准差小,说明系统的稳定性好。
- 3) 虽然每组数据的实测值都较固定电容的标称值偏大,但是实测值与固定电容的标称值相差很小。这主要是由于固定电容的标称值并非准确电容值,本身有一定的偏差。要更精确测试可以通过选用标准电容来进行。

3 结语

设计实现了一个微电容读出电路,通过 MS3110 芯片、AD 模块、微处理器控制模块之间相互配合,可以有效地得出所测电容的电容值。由最后测试所得数据结果来看,本电路可以实现微小电容值的检测,并且具有稳定性好、线性度高等优点。

参考文献:

- [1] 徐小波. MEMS 传感器弱信号检测电路及集成设计[D]. 西安:西安电子科技大学,2009.
- [2] 江儒龙. MEMS 电容传感器信号处理 ASIC 研究与设计[D]. 合肥:中国科学技术大学,2009.
- [3] 蒋庆华,苑伟政,谢建兵. 电容式微机械陀螺接口电路噪声分析[J]. 电子测量技术,2012,35(5):25-28.
- [4] 尹韬,杨海钢. MEMS 高精度电容读出电路的单芯片集成研究[J]. 电子器件,2007,30(4):1188-1193.
- [5] 马文英. 新型 MEMS 电容式加速度传感器检测电路的设计与研究[D]. 长春:吉林大学,2007.
- [6] Wu Jiangfeng, Fedder Gary K and Richard Carley L. A Low-Noise Low-Offset Capacitive Sensing Amplifier for a $50\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ Monolithic CMOS MEMS Accelerometer [J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, MAY 2004, 39(5):722-730.
- [7] 刘民杰,刘云峰,董景新,等. 基于 MS3110 电容读取芯片的 MEMS 加速度计[J]. 中国惯性技术学报,2010,18(2):236-239.
- [8] 张小勇,陈颖鸣,郭禹姬. 基于电容检测芯片的电容检测系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2010(6):35-37.
- [9] 徐平,张勇,侯占强,等. 基于 MS3110 的差分电容检测方法研究及其电磁兼容性设计[J]. 仪表技术与传感器,2008(5):60-61,71.
- [10] 杨美刚,李小文. SPI 接口及其在数据交换中的应用[J]. 通信技术,2007,40(11):385-387.
- [11] 王红亮,杨晓. AVR 单片机与串行 A/D 的 SPI 接口设计[J]. 电测与仪表,2008,45(9):46-48.

收稿日期:2015-06-23