

基于 MS3110 的微小电容读取电路设计*

李文涛, 李少帅, 李忠虎, 岳晓鸽

(内蒙古科技大学 信息工程学院, 内蒙古 包头 014010)

摘要: MS3110 具有良好的微电容测量性能, 可以满足电容法在气/固两相流测量中的应用。提供一种基于通用电容读取芯片 MS3110 的微小电容读取电路, 并对 MS3110 的可编程参数设置做详细介绍。电路设计中使用 89S52 单片机对 MS3110 芯片进行编程控制和数据读取, 最终实现对静态电容和动态电容的测量, 并通过串口传输至上位机实时显示。

关键词: 电容传感器; 微小电容测量; MS3110; 气/固两相流

中图分类号: TP212.1

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)08-0022-03

Capacitance readout circuit design based on the MS3110

Li Wentao, Li Shaoshuai, Li Zhonghu, Yue Xiaoge

(Department of Information Engineering, Inner Mongolia University of Science & Technology, Baotou 014010, China)

Abstract: MS3110 has superior performance on the high resolution capacitive readout; it could satisfy the needs of the capacitance method in gas/solid two-phase flow measurement. This paper proposes a micro capacitance readout circuit design based on the MS3110IC. The parameter setting, key point of the design, is introduced in detail. The parameters write in and the measured value readout are worked by the 89C52 IC. The measured value will be displayed on the computer, the value will be got through the serial port which connect the computer and the 89C52.

Key words: capacitance sensor; micro capacitance measurement; MS3110IC; gas & solid two-phase flow

在粉尘颗粒检测的各种方法中, 由于电容传感技术进行两相流离散相浓度检测具有简单、非侵入性、低成本、实时性佳等优点, 成为目前研究的热点^[1]。但气/固两相流中粉尘体积比非常小, 为极稀相(固相体积比约 0.05%)^[2]。电容式传感器输出的电容信号往往很小(1 fF~10 pF), 且传感器及其连接导线存在杂散电容和寄生电容的影响, 这对电容信号的测量电路提出了非常高的要求, 如此微小的电容信号的测量成为电容式传感器技术发展的瓶颈。目前, 国内外在测量 10 pF 以下的电容方面都存在很大的困难, 分离元件电容测量电路的方式早已淘汰, 电容检测电路的研究主要集中在高度集成化方向^[3]。本文将介绍一种通用电容读取芯片 MS3110, 它使用方便, 功能强大, 适用于具有高分辨电容读取接口的 MEMS 传感器^[4]。

1 MS3110 芯片介绍

MS3110 芯片是美国 Irvine 传感器公司生产的一款通用电容读取芯片, 是专为 MEMS 传感器的电容读取接口而设计的、具有超低噪声和 4.0 aF/rtHz 的分辨率、适

合高性能要求的电容传感器^[5], 具体介绍如下。

1.1 引脚定义说明

MS3110 引脚定义如图 1 所示, MS3110 的电源使用 +5 V 电压驱动, 由 +V(15Pin) 施加给芯片, 允许供电电压在 -0.25 V~+0.25 V 之间波动。-V(13Pin) 为芯片的接地引脚。V2P25(2Pin) 为芯片的参考电压输入端, 需要一个平稳的 2.25 V 的直流电压源提供, 否则将影响到测量精度。HV16(10Pin) 为芯片内置 EEPROM 的上拉电压源, 在不使用 EEPROM 时可以不接。

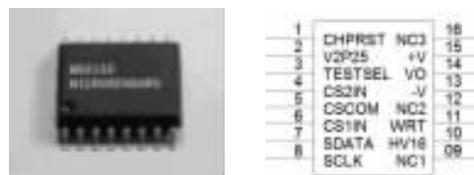


图 1 MS3110 引脚定义

MS3110 芯片支持双差分变量输入和单变量输入, 当被测变量为差分电容时电容的两极分别接芯片的 CS2IN(4Pin) 和 CS1IN(6Pin), 差分电容的公共端接 CSCOM(5Pin); 做单变量输入时, 可将被测电容接到 CS2IN 和

《微型机与应用》2012 年 第 31 卷 第 8 期

* 基金项目: 强噪声背景下微弱信号检测与提取技术研究(2011MS0917)

硬件纵横

Hardware Technique

CSCOM 引脚之间。

芯片的输出引脚是 VO 引脚(14Pin),输出为模拟量,输出电压与被测电容值的关系如下:

$$V_o = G_{AIN} \times V_{2P25} \times 1.14 \times (CS2_T - CS1_T) / CF + V_{REF} \quad (1)$$

其中: V_o 输出电压; G_{AIN} 为增益系数,一般为 2 或者 4 V/V; V_{2P25} 为参考电压,一般为 $2.25 V_{DC}$; $CS2_T = CS2_{IN} + CS2$, $CS1_T = CS1_{IN} + CS1$ ($CS1_{IN}, CS2_{IN}$ 为外部输入电容, $CS1, CS2$ 为芯片内置的可编程平衡电容器); CF 为电荷积分电路的积分电容, CF 的大小决定芯片测量范围的大小; V_{REF} 可以被设置成 $0.5 V_{DC}$ 或 $2.25 V_{DC}$,一般在单变量输入时为 $0.5 V_{DC}$,在差分变量输入时为 $2.25 V_{DC}$ 。

MS3110 芯片具有一个 60 bit 的内部寄存器与一个 100 bit 的 EEPROM,所以一般情况下可以直接使用芯片的内部寄存器来设置芯片的参数,可以通过 TESTSEL (3Pin)来选择是否使用 EEPROM。当 TESTSEL 拉低即可旁路掉片内的 EEPROM;当 TESTSEL 拉高时,也可以通过 WRT (11Pin)来选择对 EEPROM 编程(WRT=1)还是对片内寄存器编程(WRT=0)。

SDATA (7Pin)与 SCLK (8Pin)是芯片的通讯接口,SDATA 是对芯片编程的串行数据输入口,SCLK 为此提供时钟周期。CHPRST (1Pin)为芯片的复位引脚,3 个 NC 端为芯片的保留端。

MS3110 只有 13 个需要连接的引脚,使它在使用中只需要很简单的周边电路即可,而它的大多数设置是通过编程实现的,以适应不同的需求。下面介绍具体参数设置。

1.2 参数设置详解

MS3110 主要由电容补偿电路、电荷积分电路、低通滤波器以及运算放大器组成。

如图 2 所示, $CS1$ 和 $CS2$ 为补偿电容,它们的容值可以通过寄存器中 $CS1$ (8:0)和 $CS2$ (5:0)两个数组来调节,其中 $CS1$ 调节范围为 $0 \sim 9.70 \text{ pF}$, $CS2$ 为 $0 \sim 1.197 \text{ pF}$,步进都为 0.019 pF , $CS1$ 和 $CS2$ 的真值表分别见表 1 和表 2。本设计中被测变量选取为单变量的情况下,被测电容需要接在 CSCOM 与 $CS2_{IN}$ 之间,这时 $CS1$ 值的选择将影响到电容值的测量范围。

电荷积分电路中的积分电容 CF 容值也可以通过寄存器中 CF (9:0)来设置, CF 参数真值表如表 3,同样该参数的选择也将影响到芯片的测量范围。

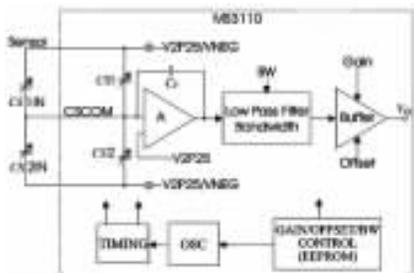


图 2 MS3110 功能框图

表 1 CS1 真值表

CS1_8	CS1_7	CS1_6	CS1_5	CS1_4	CS1_3	CS1_2	CS1_1	CS1_0	Cap (pF)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.019
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.038
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0.057
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0.076
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0.095
0	0	0	0	0	1	0	1	0	0.114
0	0	0	0	0	1	1	0	0	0.133
0	0	0	0	0	1	1	1	0	0.152
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0.171
0	0	0	0	1	0	0	0	1	0.190
0	0	0	0	1	0	1	0	0	0.209
0	0	0	0	1	0	1	1	0	0.228
0	0	0	0	1	1	0	0	0	0.247
0	0	0	0	1	1	0	1	0	0.266
0	0	0	0	1	1	1	0	0	0.285
0	0	0	0	1	1	1	1	0	0.304
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0.323
0	0	0	1	0	0	0	0	1	0.342
0	0	0	1	0	0	1	0	0	0.361
0	0	0	1	0	0	1	1	0	0.380
0	0	0	1	0	1	0	0	0	0.399
0	0	0	1	0	1	0	1	0	0.418
0	0	0	1	0	1	1	0	0	0.437
0	0	0	1	0	1	1	1	0	0.456
0	0	0	1	1	0	0	0	0	0.475
0	0	0	1	1	0	0	0	1	0.494
0	0	0	1	1	0	1	0	0	0.513
0	0	0	1	1	0	1	1	0	0.532
0	0	0	1	1	1	0	0	0	0.551
0	0	0	1	1	1	0	1	0	0.570
0	0	0	1	1	1	1	0	0	0.589
0	0	0	1	1	1	1	1	0	0.608
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0.627
0	0	1	0	0	0	0	0	1	0.646
0	0	1	0	0	0	1	0	0	0.665
0	0	1	0	0	0	1	1	0	0.684
0	0	1	0	0	1	0	0	0	0.703
0	0	1	0	0	1	0	1	0	0.722
0	0	1	0	0	1	1	0	0	0.741
0	0	1	0	0	1	1	1	0	0.760
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0.779
0	0	1	0	1	0	0	0	1	0.798
0	0	1	0	1	0	1	0	0	0.817
0	0	1	0	1	0	1	1	0	0.836
0	0	1	0	1	1	0	0	0	0.855
0	0	1	0	1	1	0	1	0	0.874
0	0	1	0	1	1	1	0	0	0.893
0	0	1	0	1	1	1	1	0	0.912
0	0	1	1	0	0	0	0	0	0.931
0	0	1	1	0	0	0	0	1	0.950
0	0	1	1	0	0	1	0	0	0.969
0	0	1	1	0	0	1	1	0	0.988
0	0	1	1	0	1	0	0	0	1.007
0	0	1	1	0	1	0	1	0	1.026
0	0	1	1	0	1	1	0	0	1.045
0	0	1	1	0	1	1	1	0	1.064
0	0	1	1	1	0	0	0	0	1.083
0	0	1	1	1	0	0	0	1	1.102
0	0	1	1	1	0	1	0	0	1.121
0	0	1	1	1	0	1	1	0	1.140
0	0	1	1	1	1	0	0	0	1.159
0	0	1	1	1	1	0	1	0	1.178
0	0	1	1	1	1	1	0	0	1.197

表 2 CS2 真值表

CS2_5	CS2_4	CS2_3	CS2_2	CS2_1	CS2_0	Cap (pF)
0	0	0	0	0	0	0.019
0	0	0	0	0	1	0.038
0	0	0	0	1	0	0.057
0	0	0	0	1	1	0.076
0	0	0	1	0	0	0.095
0	0	0	1	0	1	0.114
0	0	0	1	1	0	0.133
0	0	0	1	1	1	0.152
0	0	1	0	0	0	0.171
0	0	1	0	0	1	0.190
0	0	1	0	1	0	0.209
0	0	1	0	1	1	0.228
0	0	1	1	0	0	0.247
0	0	1	1	0	1	0.266
0	0	1	1	1	0	0.285
0	0	1	1	1	1	0.304
0	1	0	0	0	0	0.323
0	1	0	0	0	1	0.342
0	1	0	0	1	0	0.361
0	1	0	0	1	1	0.380
0	1	0	1	0	0	0.399
0	1	0	1	0	1	0.418
0	1	0	1	1	0	0.437
0	1	0	1	1	1	0.456
0	1	1	0	0	0	0.475
0	1	1	0	0	1	0.494
0	1	1	0	1	0	0.513
0	1	1	0	1	1	0.532
0	1	1	1	0	0	0.551
0	1	1	1	0	1	0.570
0	1	1	1	1	0	0.589
0	1	1	1	1	1	0.608
1	0	0	0	0	0	0.627
1	0	0	0	0	1	0.646
1	0	0	0	1	0	0.665
1	0	0	0	1	1	0.684
1	0	0	1	0	0	0.703
1	0	0	1	0	1	0.722
1	0	0	1	1	0	0.741
1	0	0	1	1	1	0.760
1	0	1	0	0	0	0.779
1	0	1	0	0	1	0.798
1	0	1	0	1	0	0.817
1	0	1	0	1	1	0.836
1	0	1	1	0	0	0.855
1	0	1	1	0	1	0.874
1	0	1	1	1	0	0.893
1	0	1	1	1	1	0.912
1	1	0	0	0	0	0.931
1	1	0	0	0	1	0.950
1	1	0	0	1	0	0.969
1	1	0	0	1	1	0.988
1	1	0	1	0	0	1.007
1	1	0	1	0	1	1.026
1	1	0	1	1	0	1.045
1	1	0	1	1	1	1.064
1	1	1	0	0	0	1.083
1	1	1	0	0	1	1.102
1	1	1	0	1	0	1.121
1	1	1	0	1	1	1.140
1	1	1	1	0	0	1.159
1	1	1	1	0	1	1.178
1	1	1	1	1	0	1.197

表 3 CF 参数真值表

CF_9	CF_8	CF_7	CF_6	CF_5	CF_4	CF_3	CF_2	CF_1	CF_0	Cap (pF)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.019
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.038
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0.057
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0.076
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0.095
0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0.114
0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0.133
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0.152
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0.171
0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0.190
0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0.209
0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0.228
0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0.247
0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0.266
0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0.285
0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0.304
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0.323
0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0.342
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0.361
0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0.380
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0.399
0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0.418
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0.437
0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0.456
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0.475
0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0.494
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0.513
0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0.532
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0.551
0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0.570
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0.589
0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0.608
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0.627
0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0.646
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0.665
0	0	0	0							

[1,0,0,0,0]。

1.3 参数的写入

参数按照设计需求设定完毕后,需要写入芯片的寄存器中,数据由SDATA口以串行通讯的形式写入,通讯时钟周期要求为 $2\mu\text{s}$,需要写入的数据为60bit。MS3110芯片的内部寄存器数据分布以及串行数据的写入顺序要求见表5。

表5 参数写入顺序

DX	CNTL_NAME	DX	CNTL_NAME	DX	CNTL_NAME	DX	CNTL_NAME
D0	Don't Care	D15	CS1_7	D30	Don't Care	D45	B3
D1	Don't Care	D16	CS1_8	D31	CSELECT0	D46	B2
D2	CS2_5	D17	CF0	D32	CSELECT1	D47	B1
D3	CS2_4	D18	CF1	D33	CSELECT2	D48	B0
D4	CS2_3	D19	CF2	D34	CSELECT3	D49	Don't Care
D5	CS2_2	D20	CF3	D35	SOFF	D50	D2
D6	CS2_1	D21	CF4	D36	OFF4	D51	D1
D7	CS2_0	D22	CF5	D37	OFF3	D52	D0
D8	CS1_0	D23	CF6	D38	OFF2	D53	T9
D9	CS1_1	D24	CF7	D39	OFF1	D54	T8
D10	CS1_2	D25	CF8	D40	OFF0	D55	T7
D11	CS1_3	D26	CF9	D41	B7	D56	T3
D12	CS1_4	D27	Don't Care	D42	B6	D57	B0
D13	CS1_5	D28	GAINSEL	D43	B5	D58	B1
D14	CS1_6	D29	Don't Care	D44	B4	D59	B2

如果使用EPPROM的话,写入的顺序正好和上面的顺序相反,这样寄存器从EPPROM中读取时才能保持上表中的数据顺序。

2 系统设计

2.1 硬件电路设计

本设计中采用89C52单片机来完成MS3110的初始化、数据读取以及和上位机的通讯工作。当测量范围为 5pF ,分辨率为 0.019pF 时,AD0809的8bit分辨率足够胜任系统中的数/模转换工作。具体硬件设计框图如图3所示。



图3 硬件设计框图

电源模块必须要做好整流和稳压设计,特别是为V2P25提供 2.25V 电压的电源一定要保持波动范围在 $-10\text{mV}\sim+10\text{mV}$ 以内。上位机使用普通的微机即可,当单片机采集到数据以后,以串口通讯的方式将数据上传给上位机得到实时显示和保存。

2.2 软件设计

软件方面,单片机初始化需要使用单片机的定时器来产生一个周期 $2\mu\text{s}$ 的时钟信号用作与MS3110芯片通讯,完成对芯片的初始化,开始采样后,单片机负责将采样到的数据传送给上位机,直到采样结束,上位机

将接收到的数据进行显示和存储。图4为其程序设计流程图。

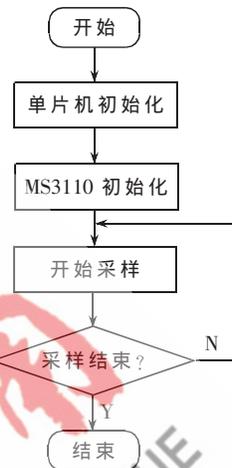


图4 程序设计流程图

MS3110芯片将电荷积分电路、滤波电路以及放大电路集成在一起,而其又不要求复杂的外部电路,大大降低了测量电路的噪声。配合对内部的诸多参数寄存器的设置,也可以满足许多场合的电容值读取需要。本文对该芯片的引脚和内部寄存器设置进行了详细介绍,该芯片在MEMS电容传感器的设计中具有更广泛的应用前景。

参考文献

- [1] 燕芳,李文涛.气/液两相流相关法测速系统的仿真研究[J].微计算机信息,2010(13):42-44.
- [2] 胡红利,周屈兰,徐通模,等.电容式气固两相流浓度测量系统[J].仪器仪表学报,2007,28(11):1947-1952.
- [3] 刘浪,马铁华,李新娥.基于TDC的微小电容测量电路设计[J].电子技术应用,2010,36(1):71-74.
- [4] Huang Shusen, Tao Hu, Zhang Xin. Development of double-cantilever infrared detectors: Fabrication, curvature control and demonstration of thermal detection[J]. Sensors and Actuators, 2008,145(1):231-240.
- [5] 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.

(收稿日期:2012-01-14)

作者简介:

李文涛,女,1961年生,教授,硕士生导师,主要研究方向:自动化仪表、两相流测量技术。

李少帅,男,1986年生,硕士研究生,主要研究方向:电容传感器开发及应用。

李忠虎,男,1969年生,教授,硕士生导师,主要研究方向:过程参数检测与控制、智能仪器及应用。