

高精度模数转换器 ADS1256 的原理和应用*

孙沁梅 卢益民

(华中科技大学电子信息工程系 武汉 430074)

摘 要

$\Sigma - \Delta$ 模数转换器可实现高分辨率模数转换 , 而且价格低 , 使用方便 , 因而近年来应用广泛。在简单介绍了 ADS1256 的结构特点和工作原理的基础上 , 阐明如何应用该器件以及应用过程中需要注意的问题 , 为 ADS1256 或类似器件的使用者提供参考。

关键词 : $\Sigma - \Delta$ ADC 过采样 失调偏差 SPI 串行数字接口

中图分类号 : TN915.19

Principle and Application of High - Accuracy A/D Convertor ADS1256

Sun Qinmei Lu Yimin

(Dept. of Electronics & Information Engineering , HUST , Wuhan 430074)

Abstract : $\Sigma - \Delta$ ADC can realize high accuracy A/D conversion , and because of its low cost and simple way of application it is used widely in these years. Based on the configuration and principle of ADS1256 , this article illustrates how to use ADS1256 and the problems that need some attention when using it in order to provide some references to ADS1256 's or the similar chips 'users.

Key words : $\Sigma - \Delta$ ADC over - sampling offset errors SPI serial digital interface

Class number : TN915.19

0 引言

ADS1256 是 TI(Texas Instruments) 公司推出的一款低噪声高分辨率的 24 位 Sigma - Delta ($\Sigma - \Delta$) 模数转换器(ADC)。 $\Sigma - \Delta$ ADC 与传统的逐次逼近型和积分型 ADC 相比有转换误差小而价格低廉的优点 , 但由于受带宽和有效采样率的限制 , $\Sigma - \Delta$ ADC 不适用于高频数据采集的场合。该款 ADS1256 可适合于采集最高频率只有几千赫兹的模拟数据的系统中 , 数据输出速率最高可为 30K 采样点/秒(SPS) , 有完善的自校正和系统校正系统 , SPI 串行数据传输接口。本文结合笔者自己的应用经验 , 对该 ADC 的基本原理以及应用做简要介绍。

1 ADS1256 的结构和性能

该 ADC 主要由多路开关、内部可编程增益放

大器(PGA)、四阶 $\Sigma - \Delta$ 调制器、可编程数字滤波器和数字单元等部分组成 , 如图 1 所示。

图 1 中的 8 路输入控制开关使得 ADS1256 支持 4 路差分信号输入 , 8 路单端信号输入或者差分 and 单端信号混合输入。在测量差分信号的时候成对的使用模拟输入端(如使用 AIN0 和 AIN1) , 不使用 AINCOM ; 在测量单端信号的时候则使用 AINCOM 作为输入信号的公共端 , AIN0 ~ AIN7 为单端信号输入端。

在多路开关之后是一个模拟输入缓冲器(BUFFER) , 该 BUFFER 可由控制部分来选择是否被使用 , 一旦 BUFFER 被使用 , ADS1256 的输入阻抗将被大幅提高。其输入阻抗值根据数据输出速率和主时钟频率的不同而变化 , 输出速率要求越高输入阻抗越低 , 主时钟频率越低 , 输入阻抗则越高。而且要注意是否使能 BUFFER , 将影响该 ADC 的模拟输入电压范围 , 对于其影响的结果在下面介绍

* 收到本文时间 2004 年 7 月 15 日

ADS1256 的总体电气特性的时候会指出来。

为了在测量小信号的时候能得到尽量高的分辨率 ADS1256 使用了一个低噪声的可编程增益放大器 (PGA) ,放大的倍数可以是 1、2、4、8、16、32 或 64 ,具体选择哪一个倍数跟要测量信号的最大幅值

有关 ,只要选择使 $2V_{REF}/PGA$ 最接近于输入信号最大幅值的 PGA 的值就可以了 ,比如 , V_{REF} 为 2.5V ,被测量信号的最大幅值不超过且很接近 1.25V ,则 PGA 的值选应为 4 ,这时候可获得较高分辨率。

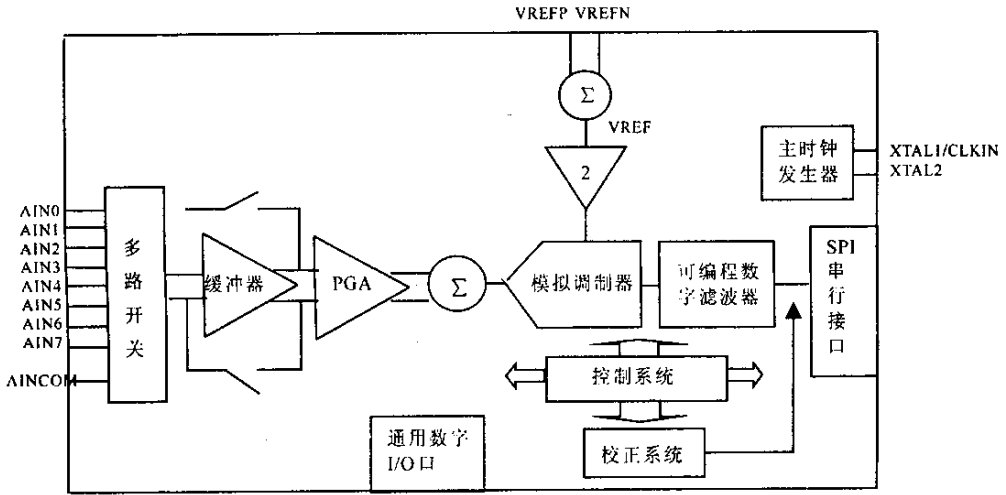


图 1 ADS1256 内部结构图

ADC 的模拟调制器用比奈圭斯特采样频率(2 倍于模拟信号最高频率)高得多的频率对模拟信号进行过采样 ,利用 $\Sigma - \Delta$ AD 的原理实现对模拟信号的数字化。其过程就是被采样的模拟信号和“反馈信号”之差送入积分器(Σ) ,积分器的输出送入一个比较器(Δ) ,比较器输出由参考电压确定幅度的矩形波 ,该矩形波的占空比是和输入的模拟信号有关的 ,实际上它就成为了反映原模拟采样信号的数字化输出 ,同时该输出也作为前面所提到的“反馈信号” ,这样实际上形成了一个 $\Sigma - \Delta$ 环路。ADS1256 模拟调制器的数字输出速率为主时钟频率的四分之一($f_{CLKIN}/4$)。

模拟调制器输出的是采样速率很高但分辨率很低的数字信号 ,紧跟在它后面的是数字低通滤波器 ,用来提高 AD 转换的有效分辨率。ADS1256 内部的数字滤波器有两个部分 ,一个是 5 阶的 sinc 低通滤波器 ,另一个是数据输出速率可调的 1 阶 sinc 低通滤波器 ,数据输出速率(Data Rate)随一个可由用户控制的参数 Num_Ave 决定(Num_Ave 的取值是 1 到 12000 之间的若干整数) ,该参数实际上是对 AD 转换数据的采样抽取率 ,用来降低 AD 输出的有效采样速率。ADS1256 数据输出速率为 $(f_{CLKIN}/256) * (1/Num_Ave)$,当 f_{CLKIN} 为 7.68MHz 时 ,Num_Ave 取 1 可得到最高数据速率 30KSPS ,Num_Ave 取 120000 得到最低数据速率 2.5SPS ,当 f_{CLKIN} 取不同值时对应的各种 Data

Rate 依照 7.68MHz 时钟频率时的数值呈线性变化 ,比如 f_{CLKIN} 降低一半最高 Data Rate 则由 30KSPS 变为 15KSPS。

ADS1256 内部数字滤波器总体频率响应函数 $H(f)$ 下式给出 :

$$|H(f)| = \left| \frac{\sin\left(\frac{256\pi \times f}{f_{CLKIN}}\right)}{64 \times \sin\left(\frac{4\pi \times f}{f_{CLKIN}}\right)} \right|^5 \cdot \left| \frac{\sin\left(\frac{256\pi \times Num_Ave \times f}{f_{CLKIN}}\right)}{Num_Ave \times \sin\left(\frac{256\pi \times f}{f_{CLKIN}}\right)} \right|$$

该数字滤波器消减了模拟调制器的输出噪声。从上式我们可以看出 $H(f)$ 和 Num_Ave 参数也有关系 ,实际上改变 Num_Ave 就改变了数字滤波器的输出带宽 ,Num_Ave 值越大 ,滤波器带宽越小 ,因而被消减的噪声也越多。该低通滤波器的第一个零点位于数值等于 Data Rate 的频率点上 ,其它零点均位于 Data Rate 整数倍的频率点上 ,这种特性在要除去某些特定频率的干扰信号的时候非常有用 ,比如要除去 50Hz 的干扰信号噪声及其谐波信号噪声 ,可选择 Data Rate 的值为 2.5SPS ,5SPS ,10SPS ,25SPS 或者 50SPS。而且该数字滤波器的频率特性在低于 f_{CLKIN} 的频域范围内 ,以 $f_{CLKIN}/4$ 为间隔重复出现 ,这样某些较高频率的噪声也可以被滤掉 ,但如果想要滤掉高于 f_{CLKIN}

频率的干扰噪声,则要在 ADC 的模拟输入端添加适当参数的 RC 滤波器了。

2 ADS1256 的总体电气特性

下面介绍在使用 ADS1256 的过程中要注意的一些电气方面的具体参数:

模拟电源($AVDD$)输入范围 $+4.75V \sim +5.25V$,使用的典型值为 $+5.00V$;

数字电源($DVDD$)输入范围 $+1.8V \sim +3.6V$,使用的典型值 $+3.3V$;

参考电压值($VREF = VREFP - VREFN$)的范围 $+0.5V \sim +2.6V$,使用的典型值为 $+2.5V$;

功耗功率最大为 $57mW$;

每个模拟输入端($AIN0 \sim 7$ 和 $AINCOM$)相对于模拟地($AGND$)的绝对电压值范围在输入缓冲器($BUFFER$)关闭的时候为 $AGND - 0.1 \sim AVDD + 0.1$,在输入缓冲器打开的时候为 $AGND \sim AVDD - 2.0$;

满刻度差分模拟输入电压值($VIN = AINP - AINN$)为 $+/- (2VREF/PGA)$;

数字输入逻辑高电平范围 $0.8DVDD \sim 5.25V$ (除 $D0 \sim D3$ 的输入点平不可超过 $DVDD$ 外),逻辑低电平范围 $DGND \sim 0.2DVDD$;

数字输出逻辑高电平下限为 $0.8DVDD$,逻辑低电平上限为 $0.2DVDD$,输出电流典型值为 $5mA$;

主时钟频率由外部晶体振荡器提供给 $XTAL1$ 和 $XTAL2$ 时,要求范围为 $2M \sim 10MHz$,仅由 $CLKIN$ 输入提供时,范围为 $0.1M \sim 10MHz$ 。

3 ADS1256 的转换模式和校正方式

ADS1256 主要的转换模式有两种,第一种是由外同步引起的转换,当外同步信号引脚($/SYNC$)上产生一个同步信号或者 ADC 接收到一个同步转换的外部命令时,ADC 便开始新的转换,转换好后更新数据结果寄存器里的值,等待输出,此转换-输出的过程可以看作一个单独的完整的转换循环,第二种是边转换边读数据的模式,这种模式通常用于需要采集多通道输入信号的情况,为了提高数据的吞吐量,在上一次数据转换好的时候,首先改变当前的输入通道,即先开始下一轮的转换,随后再读出前一轮转换得到的数据,这种模式也称多路转换模式。另外,ADS1256 还有休眠-唤醒和连续转换模式,这里不详细介绍了。

在文章开头我们介绍过 ADS1256 具有完善的校正系统,其校正分为自校正和系统校正两种,都可用来校正内部失调偏差和增益误差,两者不同的

是系统校正还可以用来校正外部失调和增益误差,另外一点不同就是在使用自校正时 ADC 自己会完成一切校正工作,而使用系统校正时则需要用户自己在不同的情况下提供适当的校准输入信号。ADS1256 的校正系统是由内部的一个位于数字滤波器之后的校正电路来完成的,该校正电路可以在需要的任何时候启动一次,或者设定为自动连续的运行。ADS1256 在上电后系统电路会自动进行一次自校正,但在此之后通常推荐再运行一次自校正命令,而且在 ADC 的工作参数(如 $Data Rate$ 、 PGA 和 $BUFFER$ 等设置)发生改变的时候也要立即进行一次校正,在校正完成之后,校正结果被保存在失调量校准寄存器(OFC)和满刻度校准寄存器(FSC)里以备随时读取。

4 ADS1256 的数字接口

ADS1256 提供了一个 SPI 串行数字接口,可以灵活方便地和单片机(MCU)进行通信。图 2 给出了 ADS1256 与 MCU 相连的三种不同方式,a 图表示利用 MCU 的通用 I/O 口和 ADC 的 SPI 接口相连,b 图表示某 MCU 中自带的标准 SPI 接口单元和 ADC 的 SPI 接口相连,c 图表示利用某 MCU 中的 UART 单元与 ADC 的 SPI 接口相连,可以看到只有 c 图中 ADC 的数据输入/输出口连接在一起,在这种方式下要注意的就是不能使用连续读取命令($RDATA C$)。

ADS1256 的 SPI 串行接口工作在从模式下,SPI 的串行时钟($SCLK$)由 MCU 供给,即 MCU 的 SPI 为主模式,片选信号($/CS$)为低时 SPI 通信才有效。数据有效信号($/DRDY$)用来指示数据转换是否完成,它在数据转换过程中为高电平,一旦数据结果有效则变成低电平,所以该信号常与 MCU 的某中断输入($/INT$)相连,以便让 MCU 及时响应来读取转换好的数据。值得一提的是 $/DRDY$ 信号在 ADC 的工作参数发生改变或正在进行校正的时候以及复位之后也会处于高电平状态,直到转换数据再次有效。

MCU 控制 ADS1256 的所有命令都是通过这个 SPI 串行接口的数据输入端(DIN)输送到 ADS1256 里去的。在 ADS1256 内部有一系列寄存器,这些寄存器控制着 ADC 具体的工作参数,由 SPI 接口传来的各种命令就是通过控制和更改相应的寄存器的值来间接控制 ADS1256 的工作状态。当然,是有一些特定的字符来作为命令字的。具体命令字的内容和用法在此就不赘述了,在

ADS1256 的数据手册里会有较详细的说明。

在此 ,依据图 b 的接口方式给出 MCU 控制 ADS1256 进行一次单独转换循环的一个例程的流程图 ,见图 3。

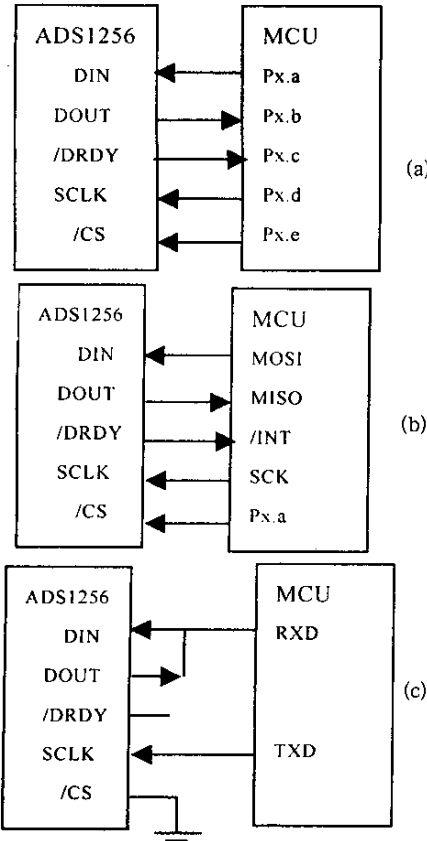


图 2 ADS1256 的 SPI 接口与 MCU 连接图

5 ADS1256 的数据输出格式

ADS1256 的输出是用 24 位比特表示的双极性的输出 ,低 23 位表示转换数据的有效值 ,最高位为符号位 ,符号位为 0 表示输入为正 ,其正的满量程输出为 7FFFFFFh ,负的满量程输出为 800000h。在量程范围内 ,测量的输入电压值和转换的数据之间的关系是 :

数据输出为正时 ,测量值 = $\frac{2VREF}{PGA(2^{23}-1)}$ · 输出数据

数据输出为负时 ,测量值 = $\frac{2VREF}{PGA(2^{23}-1)}$ · [7FFFFFFh - (输出数据 - 800000h) + 1] 输出数据

注意这里等号后面的以 h 结尾的数和“ 输出数据 ”是十六进制表示的数 ,都应先转换为十进制数再参与计算。可以看到当输出为 000001h 的时候 ,表示此时的输入是可测的最小正电压

$$\frac{2VREF}{PGA(2^{23}-1)}$$

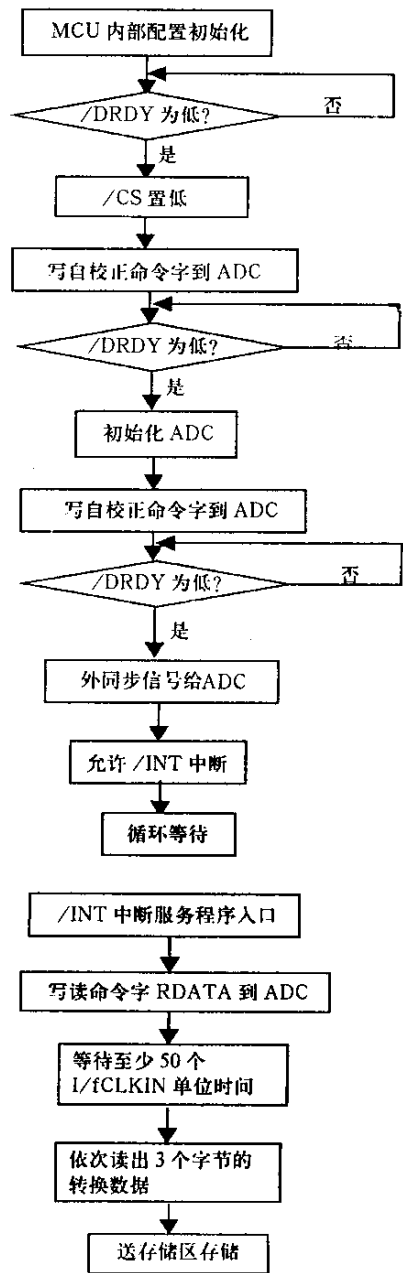



图 3 进程的泳道
参考文献

[1] ADS1255 , ADS1256 : Very Low Noise , 24 - Bit Analog - to - Digital Converter. <http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/ads1256.html#applicationnotes>
[2] 谢瑞和. 串行技术大全[M]. 北京 :清华大学出版社 , 2003 : 84 - 123
[3] Principles of Data Acquisition and Conversion. <http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/ads1256.html#applicationnotes>
[4] 阙大顺 , 高勇等. $\Sigma - \Delta$ 模数转换器工作原理及应用[J]. 武汉理工大学学报 (交通科学与工程版) , Vol. 27 No. 6

作者: 孙沁梅, 卢益民, [Sun Qinmei](#), [Lu Yimin](#)
作者单位: 华中科技大学电子信息工程系, 武汉, 430074
刊名: [计算机与数字工程](#) 
英文刊名: [COMPUTER AND DIGITAL ENGINEERING](#)
年, 卷(期): 2005, 33(3)
被引用次数: 7次

参考文献(4条)

1. [ADS1255, ADS1256: Very Low Noise, 24-Bit Analog-to-Digital Converter](#)
2. [谢瑞和 串行技术大全](#) 2003
3. [Principles of Data Acquisition and Conversion](#)
4. [阙大顺;高勇 \$\Sigma\$ - \$\Delta\$ 模数转换器工作原理及应用](#)

本文读者也读过(8条)

1. [周超, 李春茂. Zhou Chao. LI Chun-mao 新型8通道24位 \$\Delta\$ - \$\Sigma\$ 型模数转换器ADS1256 的原理及应用\[期刊论文\]-国外电子元器件2005\(6\)](#)
2. [韩巍, 陈刚, 王伟, 郭家齐, 宿建乐, 卢宪雨. Han Wei. Chen Gang. Wang Wei. Guo Jiaqi. Su Jianle. Lu Xianyu 基于ADS1256的静态试验数据采集板卡开发\[期刊论文\]-工程与试验2010, 50\(2\)](#)
3. [涂书学. Tu Shuxue ADS1256在高精度数据采集系统的应用\[期刊论文\]-中国水运\(理论版\)2007, 5\(3\)](#)
4. [徐盛友, 蒙建波, 陈清洪 高精度ADS1256转换器及其在捷联惯导系统中的运用\[期刊论文\]-自动化与仪器仪表2006\(2\)](#)
5. [李素芬, 李刚, 孙景发 高精度模数转换器的接口技术\[期刊论文\]-半导体技术2003, 28\(3\)](#)
6. [邓勇, 施文康. Deng Yong. Shi Wenkang 串行A/D转换器TLC2543与TMS320C25的接口及编程\[期刊论文\]-测控技术2000, 19\(4\)](#)
7. [周海涛, 董全林, 周卫宁. ZHOU Hai-tao. DONG Quan-lin. ZHOU Wei-ning ADS1256在多路高精度加速度计数据采集中的应用\[期刊论文\]-航空电子技术2009, 40\(4\)](#)
8. [焦振宇, JIAO Zhenyu 12-Bit ADC MCP3201及其接口实现\[期刊论文\]-现代电子技术2006, 29\(22\)](#)

引证文献(7条)

1. [肖前军 基于STM32和MODBUS协议的多参数数据采集卡设计\[期刊论文\]-制造业自动化 2010\(12\)](#)
2. [颜丽 基于FPGA的ADS1256芯片控制器设计\[期刊论文\]-萍乡高等专科学校学报 2012\(3\)](#)
3. [柳晓见, 莫嘉嗣, 刘洪山 基于DAC1220与ADS1255的低漂移精密DAC设计\[期刊论文\]-科技创新导报 2012\(19\)](#)
4. [樊季林, 谈宏华 ADS1255同LPC2138的接口设计\[期刊论文\]-武汉工程大学学报 2009\(5\)](#)
5. [牛徐明, 王田苗, 梁建宏 基于ARM与MEMS器件的微惯性测量装置设计\[期刊论文\]-单片机与嵌入式系统应用2007\(3\)](#)
6. [胡海平, 朱宁西 一种新型的高速铁路桥梁监测系统\[期刊论文\]-电子产品世界 2010\(12\)](#)
7. [陈润明, 秦辉, 韩超 一种高精度温度检测方案\[期刊论文\]-科技传播 2011\(13\)](#)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_jsjyszgc200503026.aspx