

### 功能特性

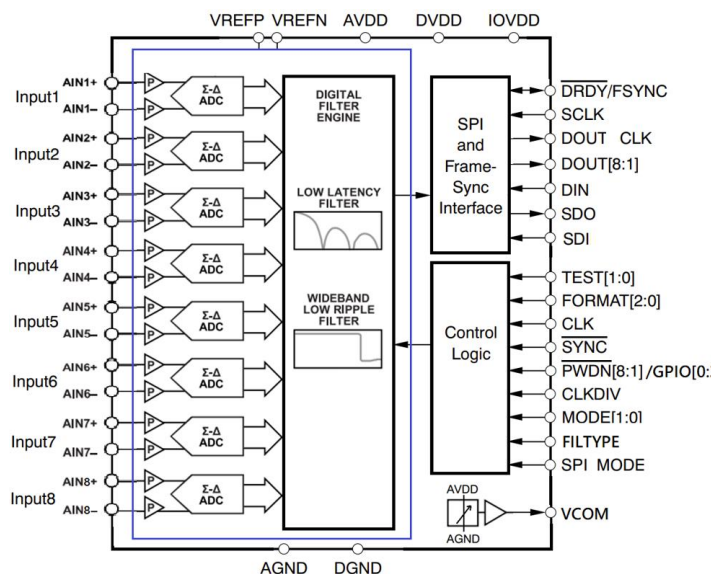
- 工作电压范围：3~5.5V
- 工作电流：
  - 256KHz快速模式下8路ADC全开时·65mA
  - @AVDD·9.6mA@DVDD·<100uA@IOVDD
- 内置ADC与滤波器
  - 八通道ADC
  - 高精度Delta-Sigma ADC
  - 支持5种降采样率·在不同模式下的数据率为：
    - 快速模式：16K/32K/64K/128K/256KHz
    - 中速模式：8K/16K/32K/64K/128KHz
    - 经济模式：2K/4K/8K/16K/32KHz
- 支持连续数据转换
- 系统功能
  - 支持引脚控制模式
  - 16.38MHz外部输入时钟
  - 支持上电自动复位
  - 支持低电监测
- SPI 界面：
  - 支援标准 4 线或 3 线 SPI 界面
  - 支持最高 27MHz 通信时钟
  - 支持daisy-chain串接模式
  - 支持命令帧奇校验保护
  - 支持主动时钟输出模式
  - 支持写入及读取操作的 CRC 校验保护

- 工作温度范围：-40~+105°C
- 存储温度范围：-40~+125°C
- 封装样式：LQFP-64 10x10 mm

### 应用场合

- 机床/飞机振动监测
- 音频/声呐/电网质量分析
- 液体/气体化学分析
- 医疗设备
- 工业过程控采集

### 功能方块图



### 概述

CS5278为一款 SPI 接口的八通道 ADC 芯片·内置 8 路独立的 24BIT 高精度、中高速 ADC 芯片速度最高可达 256kHz。可用于各类设备、机床、飞机等的振动检测、音频分析、声呐、电网质量分析、医疗设备等各类需要高精度和高速测量的应用场合。

## 目录 TABLE OF CONTENTS

功能特性 .....	1	5 寄存器描述.....	17
功能方块图.....	1	5.1 寄存器地址.....	17
应用场合.....	1	5.2 CONV_CONF0 寄存器.....	27
概述.....	1	5.3 CONV_CONF1 寄存器.....	19
修订追踪 .....	2	5.5 CONV_CONF2 寄存器.....	19
1 电器规格特性.....	3	5.6 SYS_CONF0 寄存器.....	20
1.1 极限参数.....	3	5.7 SYS_CONF1 寄存器.....	20
1.2 工作参数.....	3	5.8 VERSION_ID 寄存器.....	21
1.3 GPIO 参数.....	3	6 滤波器特性.....	21
1.4 ADC 性能指标.....	4	6.1 宽带滤波器特性.....	21
1.4.1. 快速模式ADC 噪声和有效位.....	5	6.2 CIC 滤波器特性.....	22
1.4.2. 中速模式ADC 噪声和有效位.....	6	7 ADC 测试图表.....	23
1.4.3. 经济模式ADC 噪声和有效位.....	7	7.1 快速模式下的信号频谱和噪声分布.....	23
2 芯片引脚.....	8	7.2 增益和 Offset 的温漂.....	25
2.1 引脚定义.....	8	7.3 共模抑制比(CMRR ) .....	26
3 功能模块描述 .....	10	8 应用辅助线路.....	27
3.1 电源管理模块.....	10	9 PACKAGING 封装尺寸图.....	28
3.2 时钟模块.....	10	10 参考 DEMO 程序.....	29
3.3 SPI 模块.....	10		
3.4 ADC 和滤波器模块.....	11		
3.5 VCOM 偏置输出模块.....	11		
3.6 控制模块.....	11		
4 SPI 界面协定.....	11		
4.1 读写命令帧.....	11		
4.2 SPI CRC 校验.....	12		
4.3 ADC 转换输出格式.....	12		
4.4 SPI 接口复位.....	16		
4.5 SPI 界面时序.....	16		

修订追踪 V2.0

2022/12/20 初稿

2023/07/30 Noise Free Bits/SNR 修正

## 1 电器规格特性

### 1.1 极限参数

当外部输入或是环境参数超过下面条件时，很可能会对于芯片造成损坏或是缩短其使用寿命。下表只代表会造成损坏的范围，不代表可以正常工作的范围。

Table 1-1 极限参数表

Symbol	Ratings	Min	Max	Unit
AV+/DV+	电源电压	-0.3	+5.8	V
IOVDD-DGND	IO 口电压	-0.3	+5.8	V
DVDD-DGND	数字核电源电压	-0.3	+2.1	V
Vsig	信号输入信号	-0.3	+5.8	V
TS	存储温度	-50	+150	°C
TJ	工作温度	-40	+125	°C

### 1.2 工作参数

Table 1-2 工作参数表

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
AVDD	模拟电源电压		4.5	5	5.5	V
AV+/DV+	IO 口电压		2.5	3.3	5.5	v
DVDD	识字核电源电压		1.62	1.8	1.98	V
IACTIVE1	快速模式工作电流	AVDD 电流，8 路 ADC 全开		6.5		mA
		DVDD 电流，8 路 ADC 全开		9.6		mA
		IOVDD 电流		0.05		mA
IACTIVE2	中速模式工作电流	AVDD 电流，8 路 ADC 全开		33		mA
		DVDD 电流，8 路 ADC 全开		4.9		mA
		IOVDD 电流		0.05		mA
IACTIVE3	经济模式工作电流	AVDD 电流，8 路 ADC 全开		14.6		mA
		DVDD 电流，8 路 ADC 全开		1.35		mA
		IOVDD 电流		0.05		mA
IPD	休眠电流	AVDD 电流		0.6		uA
		DVDD 电流		2		uA
		IOVDD 电流		1		uA
TA	温度范围		-40	25	105	°C

### 1.3 GPIO 参数

Table 1-3 GPIO 参数表

Symbol	Parameter	DV+	Min	Typ	Max	Unit
VIH	输入信号高阈值	5V	4		5.5	V
VIL	输入信号低阈值	5V	-0.3		1	V
VT+	施密特由低变高电压的阈值	5V	2.72	2.92	3.17	V
VT-	施密特由高变低电压的阈值	5V	1.85	2	2.17	V
IIH	输入高电平的电流	5V			+1	uA
IIL	输入低电平的电流	5V	-1			uA
VOL	输出低电平 ( @IOL 电流条件 )	5V			0.4	V
VOH	输出高电平 ( @IOH 电流条件 )	5V	4			V
IOL	输出低电平电流@VOL (max )	5V	4.9	8.8	13.9	mA
IOH	输出高电平电流@VOH (min )	5V	5.5	15.6	29.9	mA

## 1.4 ADC 性能指标

Table 1-4 ADC 性能指标表

AV+=5V DV+=1.8V IOVDD=3.3V fclk=16.384KHz VREF+=2.5V 条件条件下测试

Parameter	Min	Typ	Max	Unit
精度				
SNR		见 1.4.X 章节		dB
有效位数 ( ENOB )		见 1.4.X 章节		BIT
SFDR		110		dB
零漂 ( Offset )		2		mV
零漂温漂 ( Offset drift )		0.5		uV/°C
增益误差(Gain error )		0.1		%
增益温漂 ( Gain drift )		1	4	ppm/°C
通道隔离度		100		dB
信号输入				
输入信号共模范围		2.5		V
输入信号幅度	-REF		+REF	REF=REFP-REFN
差分输入电流		1@开启信号 20@关闭信号		nA
信号输入阻抗		1M@开启信号 50K@关闭信号		Ω
输入共模抑制比 ( CMRR )		85		dB
基准电压				
VREF+ -VREF-	0.5	2.5	3.1	V
宽带滤波器				
通带纹波		0.003		dB
通带带宽		0.43*f (f 为 ADC 数据率 )		Hz
-3dBd 带宽		0.47*f (f 为 ADC 数据率 )		Hz
群延时		38		数据点
完美建立时间		76		数据点
CIC 滤波器				
-3dBd 带宽		0.17*f (f 为 ADC 数据率 )		Hz
完美建立时间		6		数据点
时钟				
ADC 转换速率 ( Data Rate )		256	312.5	KHz
输入时钟频率		16.384	20	MHz
电源				
AV+ 电源范围	4.5	5	5.5	V
DV+ 电源范围	1.65	1.8	1.95	V
IOVDD电源范围	1.65	3.3/5	5.5	V
电源抑制比 ( PSRR )		85		dB

## 1.4.1 快速模式ADC 噪声和有效位

Table 1-5 等效输入 RMS RMS 噪声(nV)

AVDD=5V DVDD=1.8V IOVDD=3.3V REFP=2.5V 件下测得条件条件下测试

试

数据码率 (Hz)	ENOB@滤波器类型	
	宽带滤波器	CIC 滤波器
16000	4.15	2.9
32000	5.87	4.11
64000	8.29	5.81
128000 (对应引脚控制模式下 MODE=00)	11.73	8.21
256000 (对应引脚控制模式下 MODE=00)	16.59	11.61

Table 1-6 ENOB

AVDD=5V DVDD=1.8V IOVDD=3.3V REFP=2.5V 件下测得条件条件下测试

数据码率 (Hz)	ENOB@滤波器类型	
	宽带滤波器	CIC 滤波器
16000	19.7	20.2
32000	19.2	19.7
64000	18.7	19.2
128000 (对应引脚控制模式下 MODE=00)	18.2	18.7
256000 (对应引脚控制模式下 MODE=00)	17.7	18.2

Table 1-7 Noise Free Bits

AVDD=5V DVDD=1.8V IOVDD=3.3V REFP=2.5V 件下测得条件条件下测试

数据码率 (Hz)	ENOB 滤波器类型	
	宽带滤波器	CIC 滤波器
16000	17.2	17.7
32000	16.7	17.2
64000	16.2	16.7
128000 (对应引脚控制模式下 MODE=00)	15.7	16.2
256000 (对应引脚控制模式下 MODE=00)	15.2	15.7

Table 1-8 SNR

AVDD=5V DVDD=1.8V IOVDD=3.3V REFP=2.5V 件下测得条件条件下测试

数据码率 (Hz)	ENOB 滤波器类型	
	宽带滤波器	CIC 滤波器
16000	115.3	118.4
32000	112.3	115.4
64000	109.3	112.4
128000 (对应引脚控制模式下 MODE=00)	106.2	109.3
256000 (对应引脚控制模式下 MODE=00)	103.2	106.3

## 1.4.2 中速模式ADC 噪声和有效位

Table 1-9 等效输入 RMS RMS 噪声(nV)

AVDD=5V DVDD=1.8V IOVDD=3.3V REFP=2.5V 件下测得条件条件下测试

数据码率 ( Hz )	ENOB@滤波器类型	
	宽带滤波器	CIC 滤波器
8000	3.96	2.77
16000	5.6	3.92
32000	7.92	5.54
64000 ( 对应引脚控制模式下 MODE=10 )	11.2	57.84
128000	15.84	11.09

Table 1-10 ENOB

AVDD=5V DVDD=1.8V IOVDD=3.3V REFP=2.5V 件下测得条件条件下测试

数据码率 ( Hz )	ENOB@滤波器类型	
	宽带滤波器	CIC 滤波器
8000	19.8	20.3
16000	19.3	19.8
32000	18.8	19.3
64000 ( 对应引脚控制模式下 MODE=10 )	18.3	18.8
128000	17.8	18.3

Table 1-11 Noise Free Bits

AVDD=5V DVDD=1.8V IOVDD=3.3V REFP=2.5V 件下测得条件条件下测试

数据码率 ( Hz )	ENOB@滤波器类型	
	宽带滤波器	CIC 滤波器
8000	17.3	17.8
16000	16.8	17.3
32000	16.3	16.8
64000 ( 对应引脚控制模式下 MODE=10 )	15.8	16.3
128000	15.3	15.8

Table 1-12 SNR

AVDD=5V DVDD=1.8V IOVDD=3.3V REFP=2.5V 件下测得条件条件下测试

数据码率 ( Hz )	ENOB@滤波器类型	
	宽带滤波器	CIC 滤波器
8000	115.7	118.8
16000	112.7	115.8
32000	109.7	112.8
64000 ( 对应引脚控制模式下 MODE=10 )	106.6	109.7
128000	103.6	106.7

## 1.5.3. 经济模式ADC 噪声和有效位

Table 1-13 等效输入 RMS RMS 噪声(nV)

AVDD=5V DVDD=1.8V IOVDD=3.3V REFP=2.5V 件下测得条件条件下测试

数据码率 ( Hz )	ENOB@滤波器类型	
	宽带滤波器	CIC 滤波器
2000	3.76	2.63
4000	5.32	3.72
8000	7.52	5.27
16000 ( 对应引脚控制模式下 MODE=11 )	10.64	7.45
32000	15.04	10.53

Table 1-14ENOB

AVDD=5V DVDD=1.8V IOVDD=3.3V REFP=2.5V 件下测得条件条件下测试

数据码率 ( Hz )	ENOB@滤波器类型	
	宽带滤波器	CIC 滤波器
2000	19.8	20.3
4000	19.3	19.8
8000	18.8	19.3
16000 ( 对应引脚控制模式下 MODE=11 )	18.3	18.8
32000	17.8	18.3

Table 1-15 Noise Free Bits

AVDD=5V DVDD=1.8V IOVDD=3.3V REFP=2.5V 件下测得条件条件下测试

数据码率 ( Hz )	ENOB@滤波器类型	
	宽带滤波器	CIC 滤波器
2000	17.3	17.8
4000	16.8	17.3
8000	16.3	16.8
16000 ( 对应引脚控制模式下 MODE=11 )	15.8	16.3
32000	15.3	15.8

Table 1-16 SNR

AVDD=5V DVDD=1.8V IOVDD=3.3V REFP=2.5V 件下测得条件条件下测试

数据码率 ( Hz )	ENOB@滤波器类型	
	宽带滤波器	CIC 滤波器
2000	116.1	119.2
4000	113.1	116.2
8000	110.1	113.2
16000 ( 对应引脚控制模式下 MODE=11 )	107.1	110.2
32000	104.1	107.2

2 芯片引脚

2.1 引脚定义

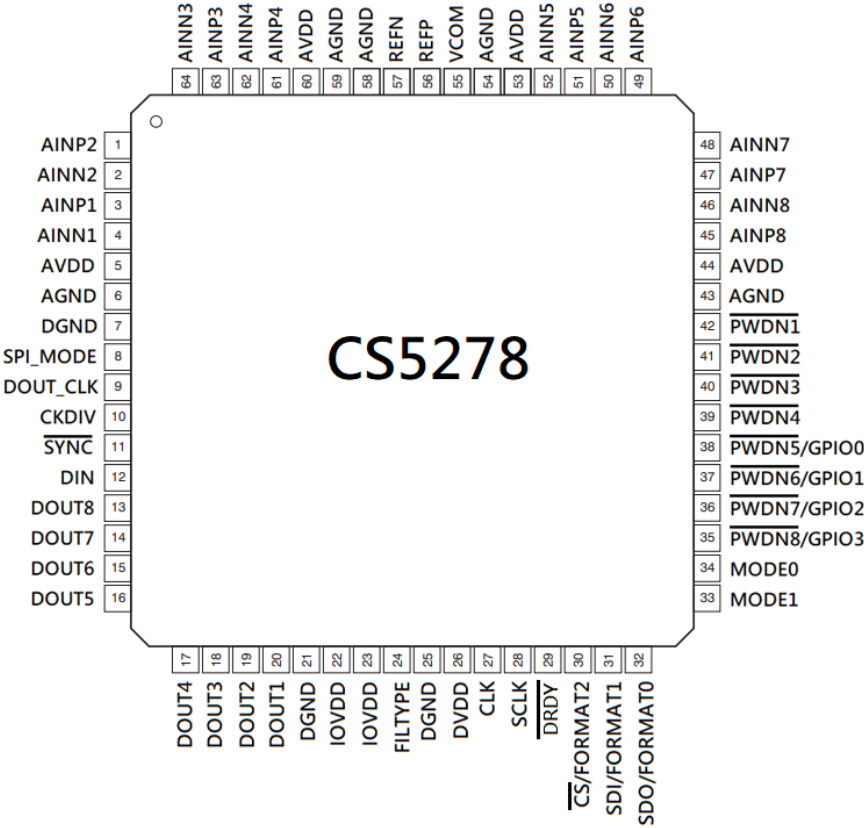


Figure 2-1 CS5278 -LQFP64(10X10 )

Table 2-1

Pin Number	名称	类型	描述
1	AINP2	输入	Input2 ADC 的正端输入信号
2	AINN2	输入	Input2 ADC 的负端输入信号
3	AINP1	输入	Input1 ADC 的正端输入信号
4	AINN1	输入	Input1 ADC 的负端输入信号
5、44、53、60	AVDD	电源	模拟电源，AVDD 和 AGND 之间接一个 10uF 的瓷片电容
6、43、54、58、59	AGND	GND	模拟地
7、21、25	DGND	GND	数字地
8	SPI_MODE	输入	SPI 模式选择 0：引脚控制模式 1：SPI 控制模式
9	DOUT_CLK	输出	主动输出模式下 DOUT 的同步时钟，仅在 FORMAT=110or111 状态下作为输出数据的同步时钟，其他 FORMAT 下为高阻状态。此时钟信号的频率由 DOUT_CKSEL[1:0]选择，在引脚控制模式下，DOUT_CKSEL[1:0]为默认值，DOUT_CLK 频率固定为 ADC 时钟频率*2
10	CKDIV	输入	该引脚接高电平时，CLK 输入的工作时钟将除以 2 倍后再采用，一般情况下接地
11	SYNC	输入	同步信号输入，低电平有效。每次有更改控制 IO 状态（引脚控制模式）或更改内部控制寄存器设置（SPI 控制模式）后都需要将 SYNC 拉低一次
12	DIN	输入	Daisy-chain 串接模式输入信号
13 ~ 20	DOUT 8 ~ 1	输出	ADC 数据转换输出
22、23	IOVDD	电源	数字 IO 电源，DVDD 和 DGND 之间接一个 10uF 的瓷片电容。数字 IO 电源需与 MCU 的 IO 电源一致，但可以和 AVDD 电源不一致
24	FILTYPE	输入	滤波器模式选择，此引脚仅在引脚控制模式下有效。SPI 模式时，滤波器模式通过配置寄存器实现。0：宽带滤波器 1：CIC 滤波器



Pin Number	名称	类型	描述
26	DVDD	电源	数字内核电源，由外部输入一个 1.8V 的电源 DVDD 和 DGND 之间接一个 10uF 瓷片电容。
27	CLK	输入	片外工作时钟输入 CLK 输入 16.384MHz 的时钟，也可以输入 16.384MHz+/-50% 的其他时钟频率，此时输出的 ADC 数据率也做相应的比例变化
28	SCLK	输入	SPI 输入时钟
29	DRDY	输出	数据转换完成指示。当数据转换完成后此信号会拉低，当第一个时钟上升沿后会拉高，片外不需接上拉电阻
30	FORMAT2/CSN	输出	引脚控制模式下为 FORMAT[2].FORMAT[2:0] 的模式帮助见 FORMAT 寄存器部分的帮助。SPI 控制模式下： FORMAT 引脚失效，工作模式通过 SPI 设置；FORMAT[2:0] 寄存器的方式实现；SPI 控制模式为 SPI 片选
31	FORMAT1/SDI	输入/输出	引脚控制模式下为 FORMAT[1]；SPI 控制模式为 SPI 数据输入
32	FORMAT0/SDO	输入/输出	引脚控制模式下为 FORMAT[0]；SPI 控制模式为 SPI 数据输出，片外需接 10K OHM 上拉电阻
33 ~ 34	MODE 1 ~ 0	输入	引脚控制模式下的 ADC 转换数据率选择，该引脚会控制 CONV_CONF0 寄存器里的 CKSEL 和 DR 位，具体如下：00：CKSEL=00，DR=000；对应 8.912MADC 工作频率，256KHz 数据率，对应快速模式 01：CKSEL=00，DR=001；对应 8.912M ADC 工作频率，128KHz 数据率，对应快速模式 10：CKSEL=01，DR=001；对应 4.096M ADC 工作频率，64KHz 数据率，对应中速模式 11：CKSEL=10，DR=001；对应 1.024M ADC 工作频率，16KHz 数据率，对应经济模式 SPI 控制模式下该引脚无作用，通过 SPI 接口配置 CKSEL 和 DR 寄存器可实现更灵活的数据选择
35	PWDN8/GPIO3	输入/输出	引脚控制模式下，为 ADC8 使能控制输入；0=不使能，1=使能；SPI 控制模式下，为 GPIO3 的输出。ADC8 使能控制通用 SPI 配置 CH8PDN 寄存器实现
36	PWDN7/GPIO2	输入/输出	引脚控制模式下，为 ADC7 使能控制输入；0=不使能，1=使能；SPI 控制模式下，为 GPIO2 的输出。ADC7 使能控制通用 SPI 配置 CH7PDN 寄存器实现
37	PWDN6/GPIO1	输入/输出	引脚控制模式下，为 ADC6 使能控制输入；0=不使能，1=使能；SPI 控制模式下，为 GPIO1 的输出。ADC6 使能控制通用 SPI 配置 CH6PDN 寄存器实现
38	PWDN5/GPIO0	输入/输出	引脚控制模式下，为 ADC5 使能控制输入；0=不使能，1=使能；SPI 控制模式下，为 GPIO0 的输出。ADC5 使能控制通用 SPI 配置 CH5PDN 寄存器实现
39	PWDN4	输入/输出	引脚控制模式下，为 ADC4 使能控制输入；0=不使能，1=使能；SPI 控制模式下，此引脚无功能。ADC4 使能控制通过 SPI 配置 CH4PDN 寄存器实现
40	PWDN3	输入/输出	引脚控制模式下，为 ADC3 使能控制输入；0=不使能，1=使能；SPI 控制模式下，此引脚无功能。ADC3 使能控制通过 SPI 配置 CH3PDN 寄存器实现
41	PWDN2	输入/输出	引脚控制模式下，为 ADC2 使能控制输入；0=不使能，1=使能；SPI 控制模式下，此引脚无功能。ADC2 使能控制通过 SPI 配置 CH2PDN 寄存器实现
42	PWDN1	输入/输出	引脚控制模式下，为 ADC1 使能控制输入；0=不使能，1=使能；SPI 控制模式下，此引脚无功能。ADC1 使能控制通过 SPI 配置 CH1PDN 寄存器实现
45	AINP8	输入	Input8 ADC 的正端输入信号
46	AINN8	输入	Input8 ADC 的负端输入信号
47	AINP7	输入	Input7 ADC 的正端输入信号
48	AINN7	输入	Input7 ADC 的负端输入信号
49	AINP6	输入	Input6 ADC 的正端输入信号
50	AINN6	输入	Input6 ADC 的负端输入信号
51	AINP5	输入	Input5 ADC 的正端输入信号
52	AINN5	输入	Input 5ADC 的负端输入信号
55	VCOM	输出	AVDD/2 偏置电压输出，内部集成驱动电路，可提供 +/-5mA 的驱动能力。外部接一个 0.1uF 的去耦电容到 AGND
56	REFP	输入/输出	基准电压源正输入端，REFP 和 REFN 之间接 10uF+0.1uF 关联的瓷片电容

Pin Number	名称	类型	描述
57	REFN	输入/输出	基准电压源负端输入端，一般情况接 AGND
61	AINP4	输入	Input4 ADC 的正端输入信号
62	AINN4	输入	Input4 ADC 的负端输入信号
63	AINP3	输入	Input3 ADC 的正端输入信号
64	AINN3	输入	Input3 ADC 的负端输入信号

3 功能模块描述

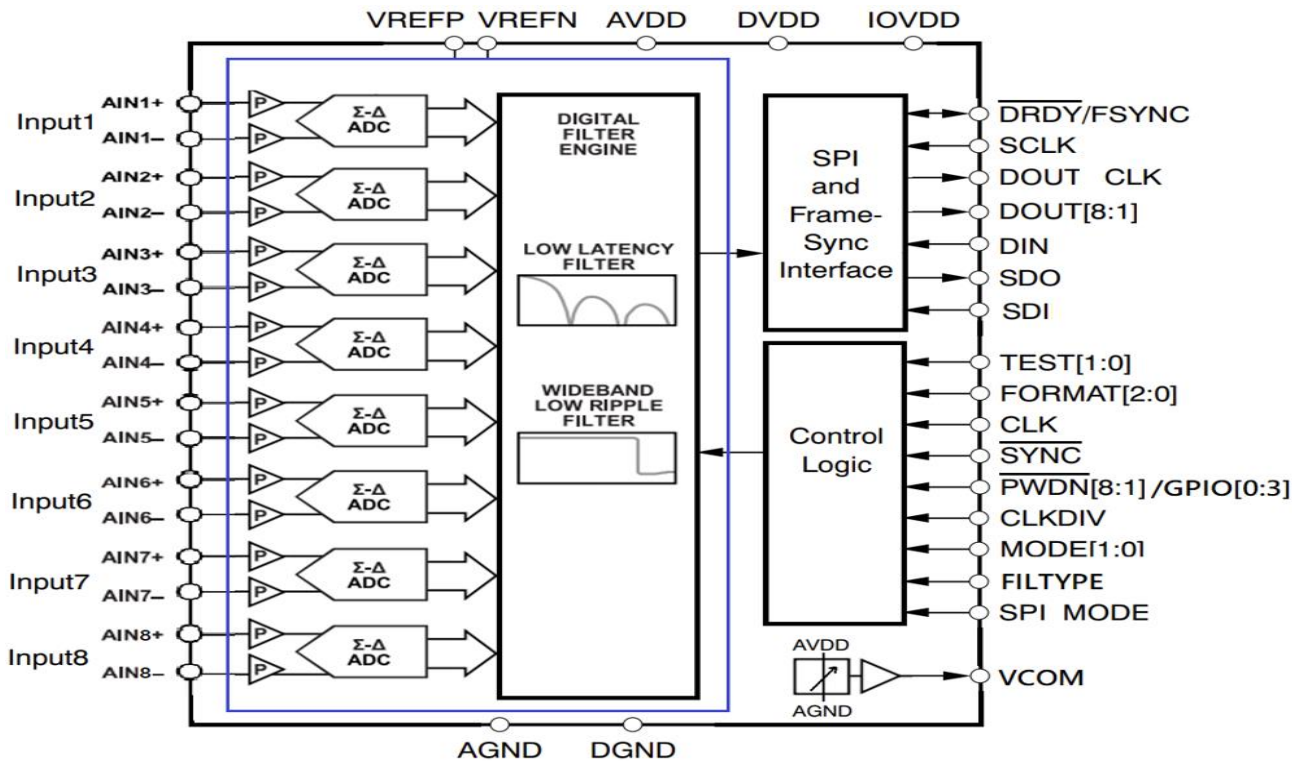


Figure 3-1 CS5278 模块功能图

3.1 电源管理模块

芯片由 IOVDD/DVDD/DGND、AVDD/AGND 三组电源供电，其中 DVDD 为数字内核电源，电压 1.8V，IOVDD 为数字 IO 电源，AVDD 为模拟电源，IOVDD 和 AVDD 可以加不同的电压。

3.2 时钟模块

芯片工作时钟由 CLK 引脚提供，默认为 16.384MHz 输入时钟。也可以输入基准频率 +/-50% 的其他时钟频率，此时输出的 ADC 数据率也做相应的比例变化。

3.3 SPI 模块

在引脚 SPI\_MODE=0（引脚控制模式）时，SPI 接口只用来读取 AD 转换数据。此时用到 SCLK、DRDY、DOUTx、DIN（仅在 daisy-chain 时）引脚。读取 AD 转换数据还有个主动发送模式，此模式与常见的 SPI 模式有所区别，新增一个主动的输出时钟 DOUT\_CLK。

在引脚 SPI\_MODE=1（SPI 控制模式）时，SPI 接口除用来读取 AD 转换数据外，还可用于存取内部控制寄存器，此时 FILTYPE/FORMATx/MODEx/PWDNx 引脚的控制作用无效。

### 3.4 ADC 和滤波器模块

CS5278 芯片内置 8 路独立的高性能 Delta-Sigma ADC 和滤波器模块，CS5278 芯片内置 4 路。ADC 模块的基准电压由外部 REFP 和 REFN 提供。REFP 和 REFN 可开启 BUFFER，默认关闭。ADC 输入信号端有 2 个信号 Buffer，默认开启，可通过 SPI 设置关闭。

滤波器有两种，宽带滤波器和 CIC 滤波器，引脚控制模式下通过 FILTYPE 引脚选择，SPI 模块下通过设置寄存器选择。

### 3.5 VCOM 偏置输出模块

芯片内置 AVDD/2 的 VCOM 偏置电压输出模块，该电压内部已有 Buffer，外部可不用再加运放构成的 Buffer。该电压可为外部信号或差分输出的运放提供偏置电压。

### 3.6 控制模块

用于实现 SPI 控制模式和引脚控制模式的切换，包括 FORMATx 和 PWDNx 引脚的切换复用等功能的实现。

## 4. SPI 界面协定

在引脚的 SPI\_MODE=0（引脚控制模式）时，SPI 接口只用来读取 AD 转换数据。此时用到 SCLK、DRDY、DOUTx、DIN（尽在 daisy-chain 时）引脚。读取 AD 数据时的波形和协议与 SPI 模式下读取 AD 数据时一致。可参考下面 4.3 章节；读取 AD 转换数据还有主动发送模式，此模式与常见的 SPI 模式有所区别，新增一个主动输出时钟 DOUT\_CLK，可用于 FPGA 等形式的主动读取数据。

在引脚 SPI\_MODE=1（SPI 控制模式）时，SPI 接口除用来读取 AD 转换数据外，还可用于存取内部控制寄存器，此时 FILTYPE/FORMATx/MODEx/PWDNx 引脚的控制作用无效。

相比引脚控制模式，SPI 控制模式可提供更多选择：

- （1）可提供 8 个 ADC 通道信号的相位校正；
- （2）提供 4 个 GPIO 用于控制外部器件；
- （3）更灵活的 ADC 工作频率和过采样率选择；

### 4.1 读写命令帧

读写命令帧的第一帧为命令帧，格式如下

Table 4-1 读写命令帧结构

Bit							
7	6	5	4	3	2	1	0
0	ADDR					R/W	PC

Table 4-2 读写命令帧各位组意义

BIT	名称	描述
7	起始位	必须为 0
6:2	ADDR	请参考 Table 4-2
1	R/W	读写类型选择 0：写    1：读
0	PC	Bit7 到 Bit1 之奇数位检查位，当 Bit7~Bit1 有奇数个 1 时，PC 应为 0，当 Bit7~Bit1 有偶数个 1 时，PC 应为 1。若此奇数位检查位错误，则该命令不被执行，且 SYS_CONF0 中的 ERR_CKS 位置会被置 1。

Table 4-3 读写命令帧地址字节汇总

ADDR	寄存器名称
0x00	CONV_CONF0
0x01	CONV_CONF1
0x02	CONV_CONF2
0x03	SYS_CONF0
0x04	SYS_CONF1
0x05~0x0D	保留
0x0E	VERSION_ID
0x0F	保留

## 4.2.SPI CRC 校验

所有的 SPI 读写命令均包含 CRC 校验，CRC 校验帧是针对写入或是读出数据做保护，每个 32bits 数据都需计算其 CRC8 的结果，CRC8 是参考公式进行运算： $X^8+X^2+X+1$

CRC8 的运算公式可以参考下面的范例程序

```
Shift reg =data;
crc8 = 0x0;
for(i=0 ; i<32;i=i+1 ) {
If((crc8>>7 ) !=(shif reg>>31 ))
Crc8=((crc8<<1^0x07 ) &0xFF;
else
crc8=(crc8<<1 ) &0xFF;
Shif reg <<=1; }
```

举例来说，当数据为 0x87654321 的情况，其 CRC8 的结果是 0xD5

在每个 32bits 数据后面，都需要加上和校验帧，若和校验不符合，则该命令会被忽略或是该数据为无效数据

下图为单一寄存器写命令在包含和校验的时序

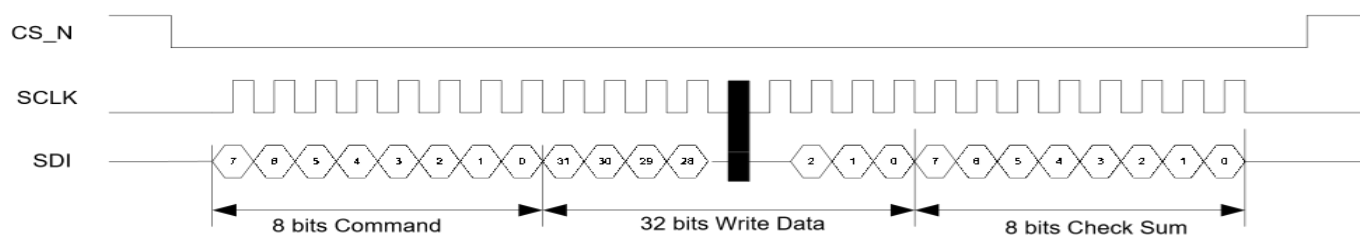


Figure 4-1 SPI寄存器写帧时序 (包含 CRC 校验)

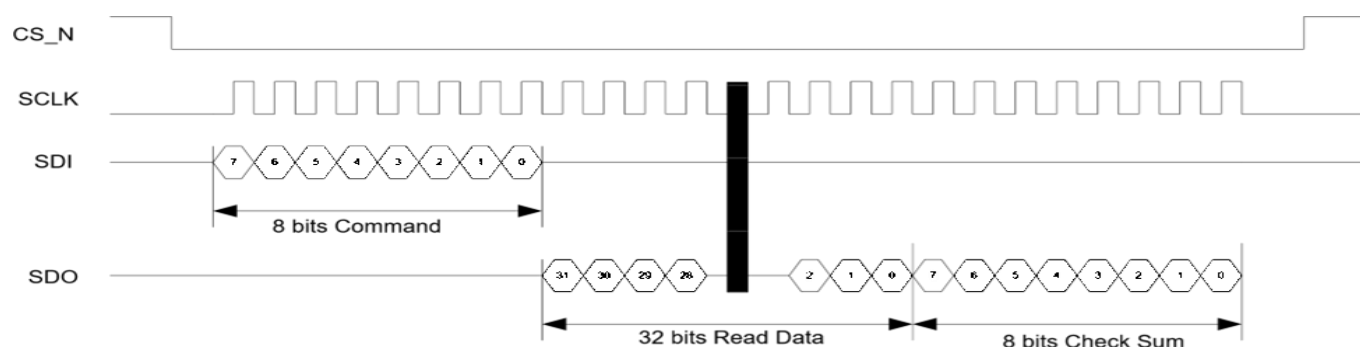


Figure 4-2 SPI寄存器读帧时序 (包含 CRC 校验)

### 4.3.ADC转换输出格式

在开始 ADC 转换之前，需要先通过引脚控制或是 SPI 设置寄存器完成对 ADC 的设置，然后将 SYNC 拉低一个CLK Cycle后，设置才会更新进入ADC内。

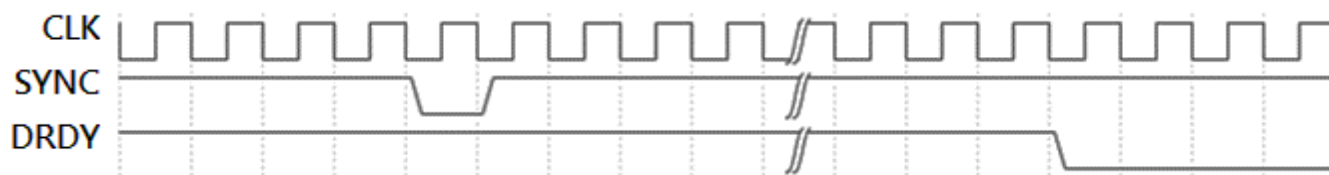


Figure 4-3 SYNC更新时序

在 SYNC 拉低一个 Cycle 后，内部滤波器会重新开始计算，因为滤波器有稳定时间，因此从 SYNC 拉低至第一次数据开始输出，会有一段延时，在不同的 FILTYPE 下会有不同的延时长度。

FILTYPE	延时时间
0 ( 宽带滤波器 )	78个数据周期
1 ( CIC滤波器 )	6个数据周期

ADC转换输出五种格式，由FORMAT[2:0]来决定

FORMAT[2:0]	格式
0	SPI 单信道动态模式，由DOUT1输出所有ADC数据，未使能的ADC通道不输出数据，支持daisy-chain串联
1	SPI 单信道动态模式，由DOUT1输出所有ADC数据，未使能的ADC通道输出低电平，支持daisy-chain串联
2	SPI 多信道模式，由DOUT1~DOUT8输出ADC1~ADC8通道数据
3	同FORMAT=0
4	同FORMAT=1
5	同FORMAT=2
6	主动多通道魔兽，由DOUT1~DOUT8输出ADC1~ADC8通道数据
7	主动单通道魔兽，由DOUT1输出所有ADC数据，未使能的ADC通道不输出数据

SPI 单信道动态模式如下图，仅会输出已使能的 ADC 数据，可串接多颗芯片，在 SCLK 足够快的情况，在两次转换完成闲可以持续传送DIN数据，数据均由MAB(bit ) 开始传送。

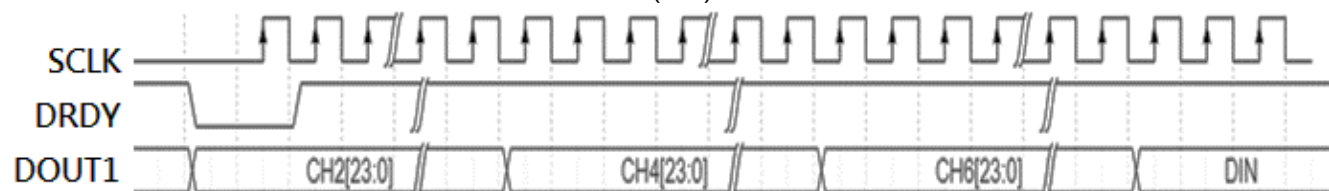


Figure4-4 SPI 单信道动态模式 ( CRC\_EN=0，使能ADC2/4/6 )

当开启 CRC 校验后，每笔数据后都会加上 8 bits CRC 组合成 32 bits 数据，请注意，当芯片 daisy-chain 串接时，每颗芯片的CRC使能状态需要相同。



Figure4-5 SPI 单信道动态模式 ( CRC\_EN=1，使能ADC2/4/6 )

SPI 单信道固定模式如下图，所有 ADC通道数据均会输出，未使能的ADC输出0，可串接多颗芯片，在 SCLK 足够快的情况，在两次转换完成闲可以持续传送DIN数据。

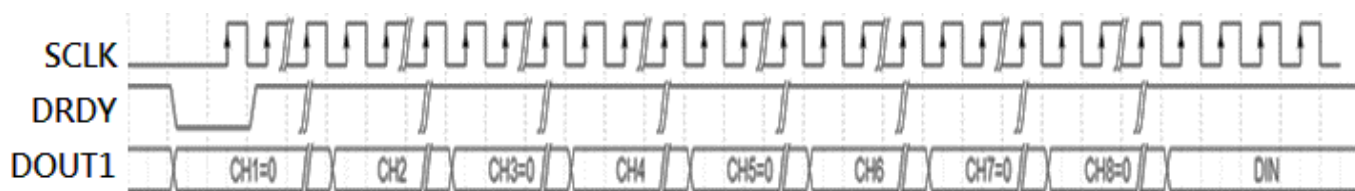


Figure 4-6 SPI 单信道固定模式 (CRC\_EN=0, 使能ADC2/4/6)

SPI多信道模式如下图，所有ADC输出均会输出，未使能的ADC输出0，不可daisy-chain串联芯片。

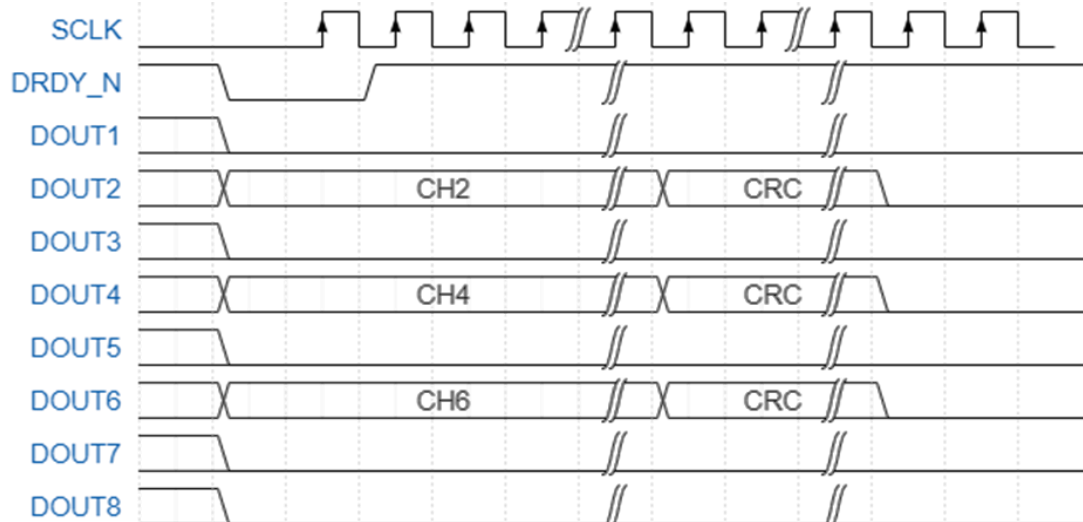


Figure 4-7 SPI 多信道模式 (CRC\_EN=0, 使能ADC2/4/6)

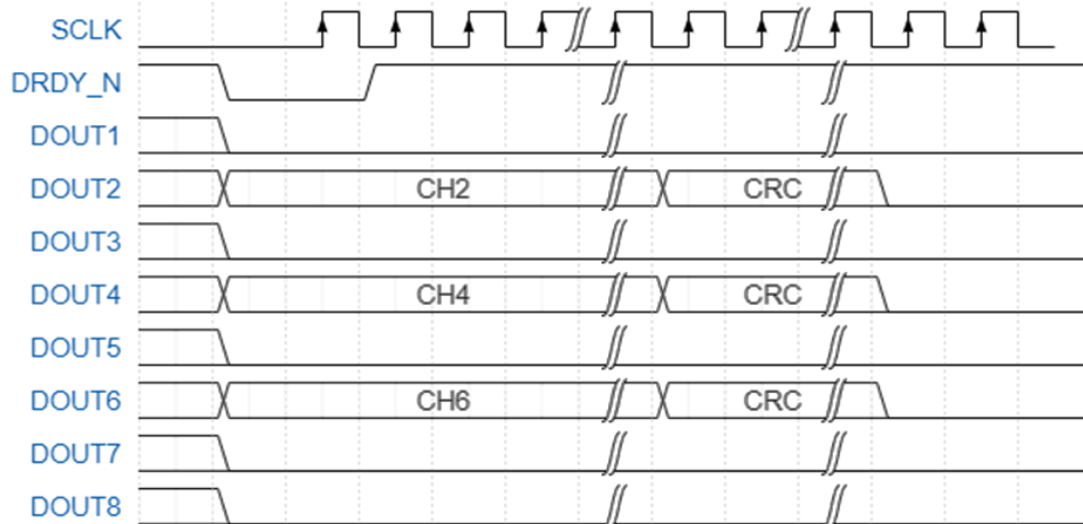


Figure 4-8 SPI 多信道模式 (CRC\_EN=1, 使能ADC2/4/6)

在SPI模式下，若SCLK持续为0，在下笔数据转换完成后DRDY仍会周期性拉高在拉低，拉高频率为转换率。

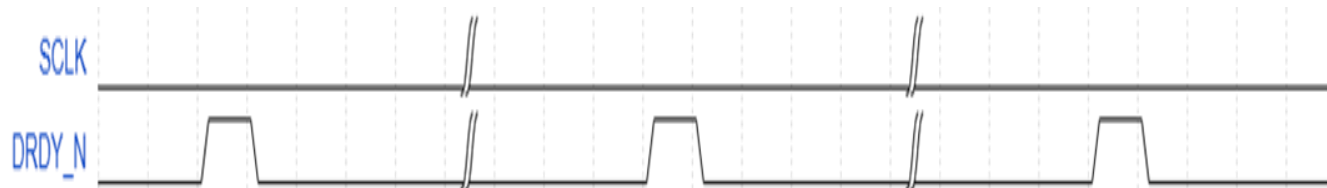


Figure 4-9 SPI 模式下SCLK为0状况

主动多信道模式如下图，此模式下芯片会输出 DOUT\_CLK，所有 ADC 数据输出与 DOUT\_CLK 同步，当 DRDY-拉高后下个时钟开始输出ADC数据的MSB，未使能的ADC输出0，不可daisy-chain串联芯片。



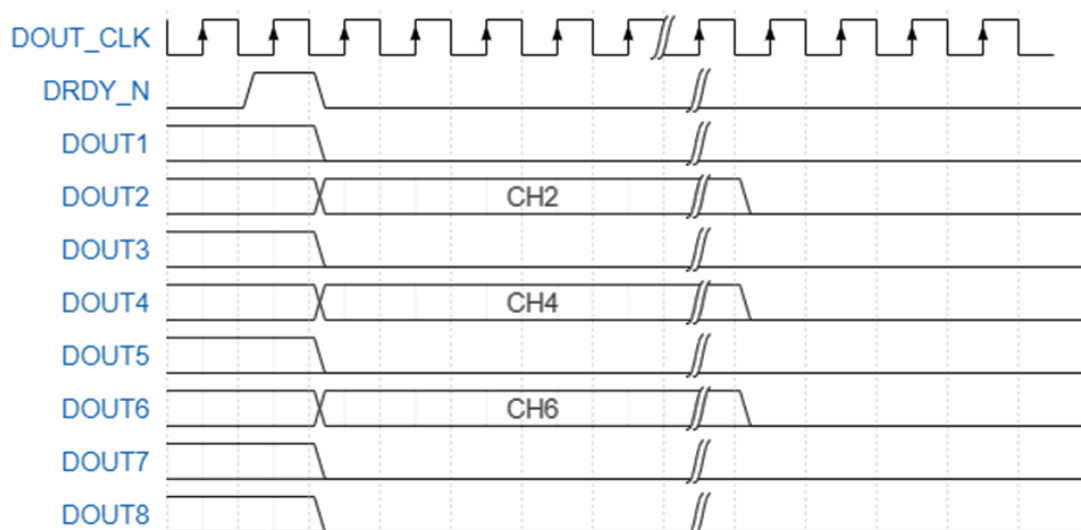


Figure 4-10 SPI 主动多信道模式 (CRC\_EN=0 · 使能ADC2/4/6)

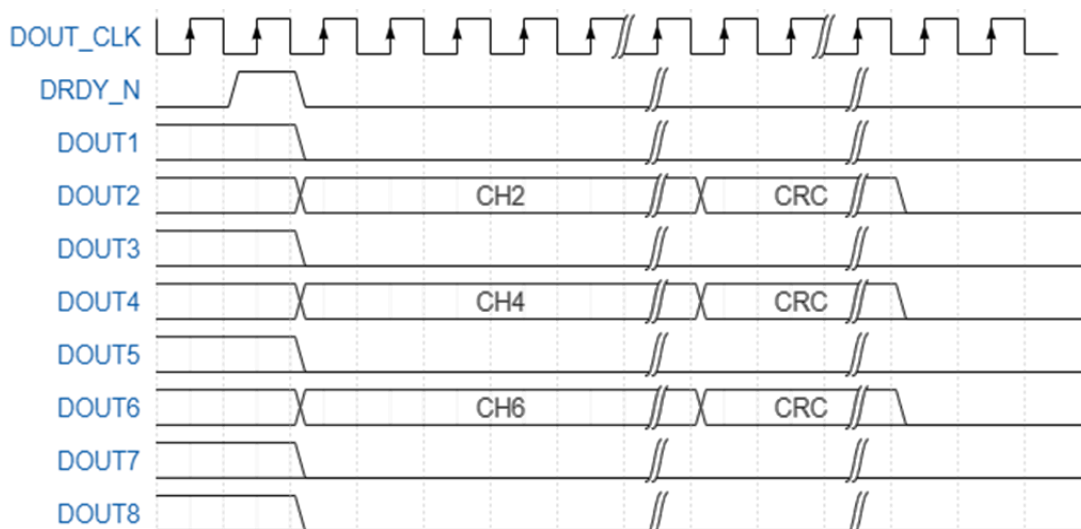


Figure 4-11 SPI 主动多信道模式 (CRC\_EN=1 · 使能ADC2/4/6)

主动单信道动态模式如下图，仅会输出已使能的 ADC 数据，此模式下芯片会输出 DOUT\_CLK，所有 ADC 数据输出与 DOUT\_CLK 同步，当 DRDY 拉高后的下个时钟开始输出最前面 ADC 数据的 MSB，不可串接芯片，DOU\_CLK需过快需要的时钟，否则在下次转换完成后会造成数据丢失。

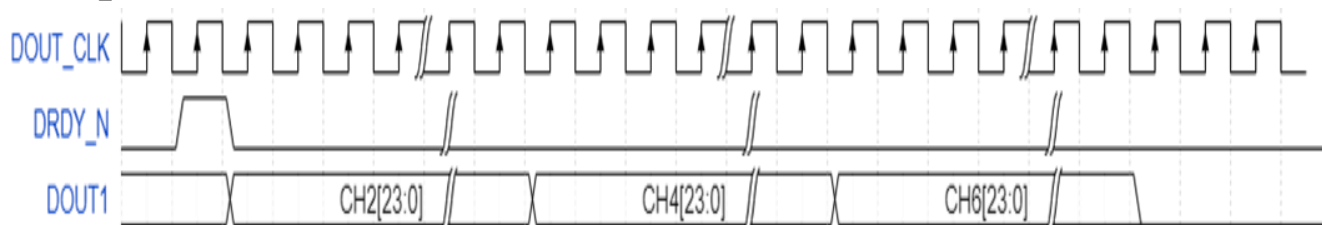


Figure 4-12 SPI 单信道模式 (CRC\_EN=0 · 使能ADC2/4/6)

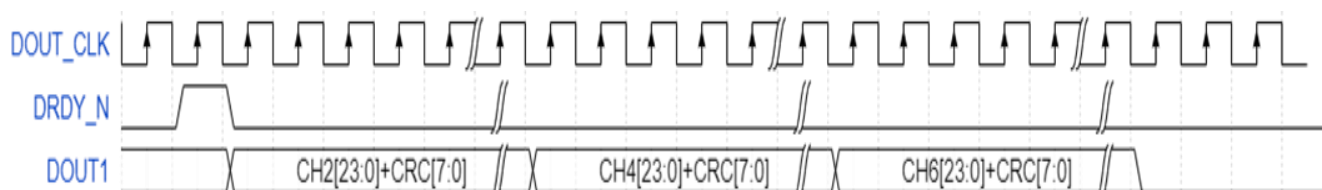


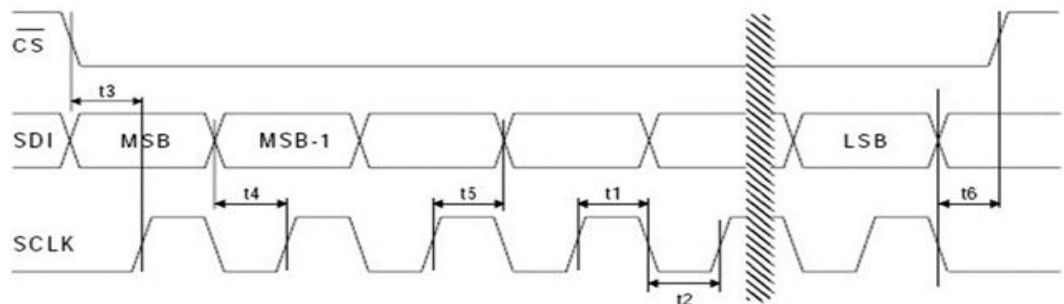
Figure 4-13 SPI 单信道模式 (CRC\_EN=1 · 使能ADC2/4/6)

4.4. SPI 接口复位

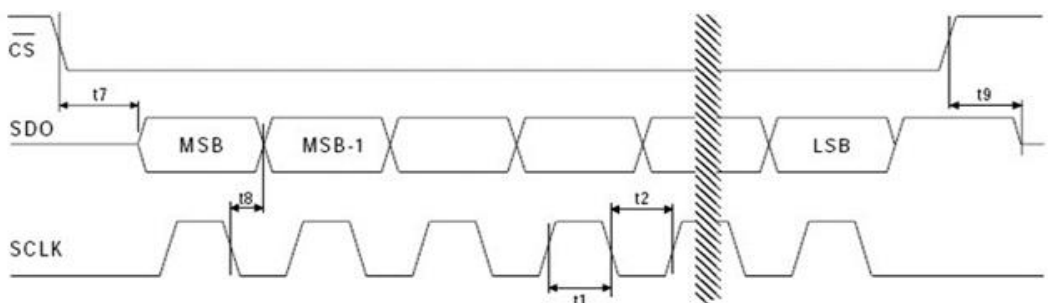
在四线模式下，也就是 SPI 片选(FORMAT2 ) 是存在的状况，只要片选被置 1，SPI 接口会回到接收指令状态，所以不需复位指令来做SPI接口复位。

在三线模式下，SPI片选(FORMAT2 ) 永远接地，首先板子上需要确定SCLK不受干扰，建议在板子上对SCLK做10Kohm下拉，第一次上电完成后，原则上内部POR会将SPI接口复位，但是建议在SDI上打入Byte0=0x00，Byte1=0xA5，Byte2=0xFF，Byte2=0x5A，连续32个时钟的信号强制SPI接口复位后再开始使用。0x00A5FF5A指令可在任何时候生效。复位完成后等待1us后可以重新开始操作SPI指令。

4.5. SPI 接口时序



SPI 写时序



SPI 读时序

	标识	最小	典型	最大	单位
SPI时序					
SPI 时钟频率	SCK	0		27	MHz
SPI 时钟脉宽	t1(高 )	17			ns
	t2(低 )	17			ns
SDI写时序					
CS片选到第一个时钟延时	t3	17			ns
DATA领先时钟上升沿的建立时间	t4	10			ns
DATA在时钟沿后的稳定时间	t5	10			ns
时钟下降沿后到CS上升的延时	t6	17			ns
SDO读时序					
CS信号变低到有效数据	t7			17	ns
SCK下降沿到新数据输出延时	t8			10	ns
CS信号变高到SDO进高阻态的延时	t9			10	ns

SPI 写入数据的时候，SDI 的数据是在 SCK 的下降沿变化，以便在芯片写入寄存器的时候有足够的建立和保持时间。芯片内部电路在SCK上升沿去读取SDI数据，并填入相应的内部寄存器中。

SPI 读出数据的时候，CS下降之后即通过SDO送出数据，由MCU产生SCK去读。SDO的数据变化是在SCK下降沿之后变化。



## 5 寄存器描述

### 5.1 寄存器地址

CS5278内共有7个32 bits寄存器，可以通过读写帧的ADDR，来选择要读取或是写入的位置，下表列出各个寄存器对应的地址与初始值。

Table 5-1 寄存器地址表

地址	名称	类型	描述	初始值
0x00	CONV_CONF0	R/W	CONF0设置寄存器	0x00000000
0x01	CONV_CONF1	R/W	CONF1设置寄存器	0x00000000
0x02	CONV_CONF2	R/W	CONF2设置寄存器	0x00000000
0x03	SYS_CONF0	R/W	系统设置寄存器0	0x00000000
0x04	SYS_CONF0	R/W	系统设置寄存器1	0x00000000
0x0E	VERSION_ID	R	芯片版号寄存器	0x22012201
0x0F	保留	R/W	保留	0x00000000

### 5.2 CONV\_CONF0 寄存器

此寄存器用来控制 SPI 模式下的转换参数

D31	D30	D29	D28	D27	D26	D25	D24
CH8_PDN	CH7_PDN	CH6_PDN	CH5_PDN	CH4_PDN	CH3_PDN	CH2_PDN	CH1_PDN
D23	D22	D21	D20	D19	D18	D17	D16
		SHARE_EN	CRC_EN		REFBUF_EN	SIGBUF_ENN	FILTYPE
D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
		DOUT_CKSEL			FORMAT		
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
		CKSEL			DR		

Table 5-2 CONV\_CONF0 定义

位置	名称	类型	描述	Default
31 : 24	CHx_PDN	R/W	ADC通道始能控制，bit24对应ADC1，bit31对应ADC8 0：关闭 ADC 通道 x 1：使能 ADC 通道 x	0x00
23 : 22			保留	
21	SHARE_EN	R/W	SPI SDO(FORMATO) 与 DOUT1 共享选择 0：关闭 SPI SDO ( FORMATO ) 与 DOUT1 共享 1：开启 SPI SDO ( FORMATO ) 与 DOUT1 共享，在 SPI_MODE 下，若没有在进行 SPI 存取时，SPI SDO (FORMATO) 会输出 DOUT1 的值	0x0
20	CRC_EN	R/W	CRC校验控制，此控制位控制SPI输出与主动输出模式下的CRC校验码输出 0：关闭CRC校验输出 1：使能CRC校验码输出，每个24bits ADC数据输出后会带8bits CRC校验码	0x0
19			保留	
18	REFBUF_EN	R/W	REF Buffer控制 0：关闭 1：开启	0x0
17	SIGBUF_ENN	R/W	输入信号BUFFER使能 0：打开 1：关闭	0x0

位置	名称	类型	描述	Default
16	FILTYPE	R/W	滤波器模式选择 0：宽带滤波器 1：CIC滤波器	0x0
15 : 14			保留	
13 : 12	DOUT_CKSEL	R/W	主动数据输出模式时钟频率选择，仅在FORMAT选择主动输出模式时有输出 0：ADC时钟*2 1：ADC时钟*1 2：ADC时钟/2 3：ADC时钟/4	0x0
11			保留	
10 : 8	FORMAT	R/W	输出数据格式选择 0：SPI 单路输出动态模式 1：SPI 单路输出固定模式 2：SPI 平行输出模式 3：SPI 单路输出动态模式（同模式0） 4：SPI 单路输出固定模式（同模式1） 5：SPI 平行输出模式（同模式2） 6：主动输出平行模式 7：主动输出单路动态模式	0x0
7 : 6			保留	
5 : 4	CKSEL	R/W	ADC工作时钟频率选择，不同的ADC工作时钟频率对应不同的ADC低功耗水平。 0：对应快速模式，ADC时钟8.192MHz； 1：对应中速模式，ADC时钟4.096MHz 2：对应经济模式，ADC时钟1.024MHz 3：对应经济模式，ADC时钟1.024MHz	0x0
3			保留	0x0
2 : 0	DR	R/W	降采样率设置，ADC输出的数据率等于ADC工作频率除以降采样率。两种寄存器组合起来，可以设置不同的ADC数据率。如果ADC时钟8.192MHz，降采样率64，对应128KHz的数据率。ADC时钟4.096MHz，降采样率32，也是对应128KHz的数据率。前者ADC时钟频率高，因此ADC功耗更高，但精度也跟高。如选定数据率之后，可从功耗和精度角度进行选择，想要精度更高，则选更高的ADC工作时钟，更高的降采样率。如需功耗更低，则反之。 0：32(ADC 8.192MHz时对应256KHz) 1：64(ADC 8.192MHz时对应128KHz) 2：128(ADC 8.192MHz时对应64KHz) 3：256(ADC 8.192MHz时对应32KHz) 4：512(ADC 8.192MHz时对应16KHz) 5~7：1/512	0x0

### 5.3 CONV\_CONF1 寄存器

CONV\_CONF1 用来设置ADC1~ADC4输入信号的相位延时，目的是用于校正因外滤波等因素导致的8个ADC的信号延时差异，可延时的最大范围是DR-2，其中DR是设置的降采样率。寄存器的数值表示延时的ADC工作时钟数。如ADC工作时钟为8.192M，则1个延时等于122.07ns。

即使设置了不同的相位延时，所有ADC最后仍会在同一个时间输出数据。

D31	D30	D29	D28	D27	D26	D25	D24
ADC4_SYNC_DLY							
D23	D22	D21	D20	D19	D18	D17	D16
ADC3_SYNC_DLY							
D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
ADC2_SYNC_DLY							
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
ADC1_SYNC_DLY							

Table 5-3 CONV\_CONF1 定义

位置	名称	类型	描述	Default
31 : 24	ADC4_SYNC_DLY	R/W	ADC4同步延时，延时的ADC时钟个数与降采样率DR有关。 DR=0：只允许设置0~30 DR=1：只允许设置0~64 DR=2：只允许设置0~126 DR=3：只允许设置0~254 DR=4~7：只允许设置0~254	0x00
23 : 16	ADC3_SYNC_DLY	R/W	ADC3 同步延时	0x00
15 : 8	ADC2_SYNC_DLY	R/W	ADC2 同步延时	0x00
7 : 0	ADC1_SYNC_DLY	R/W	ADC1 同步延时	0x00

### 5.4 CONV\_CONF2 寄存器

CONV\_CONF2 是用来控制 ADC5~ADC8 输入信号的相位延时，说明同上。

D31	D30	D29	D28	D27	D26	D25	D24
ADC8_SYNC_DLY							
D23	D22	D21	D20	D19	D18	D17	D16
ADC7_SYNC_DLY							
D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
ADC6_SYNC_DLY							
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
ADC5_SYNC_DLY							

Table 5-4 CONV\_CONF1 定义

位置	名称	类型	描述	初始值
31 : 24	ADC8_SYNC_DLY	R/W	ADC8 同步延时	0x00
23 : 16	ADC7_SYNC_DLY	R/W	ADC7 同步延时	0x00
15 : 8	ADC6_SYNC_DLY	R/W	ADC6 同步延时	0x00
7 : 0	ADC5_SYNC_DLY	R/W	ADC5 同步延时	0x00

## 5.5 SYS\_CONF0 寄存器

### 5.5.1 SYS\_CONF0

D31	D30	D29	D28	D27	D26	D25	D24
GPIO_DATA				GPIO_EN			
D23	D22	D21	D20	D19	D18	D17	D16
Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved
D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
SHORT	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved

Table 5-5.2 SYS\_CONF0 定义

位置	名称	类型	描述	Default
31 : 28	GPIO_DATA	R/W	GPIOx 输出电平选择 Bit28 对应 GPIO(PWDN5_N) · Bit31 对应 GPIO3(PWDN8_N) 此寄存器在 GPIO_EN 为 1 时生效 0 : 输出低电平 1 : 输出高电平	0x0
27 : 24	GPIO_EN	R/W	GPIO 使能控制 · Bit24 对应 GPIO0 ( PWDN5_N ) · Bit27 对应 GPIO3(PWDN8_N) 0 : 关闭 GPIO 功能 1 : 使能 GPIO 功能 ( 输出模式 · 输出电平由 GPIO_DATA 控制 )	0x0
23 : 8	Reserved	R/W	保留位 · 必须保持默认 0	0x0
7	SHORT	R/W	ADC 内部短路使能 1 : 使能内部短路	0x0
24	Reserved	R/W	保留位 · 必须保持默认0	0x0

## 5.6 SYS\_CONF1 寄存器

SYS\_CONF1 寄存器为 SPI 寄存器 CRC 保证寄存器，当主控设置完 CONV\_CONFx 与 SYS\_CONF0 后，需计算 CRC 校验码写入此寄存器，硬件会自动检验是否符合预期，若不符合预期，ADC 输出数据会强制为低电平。

D31	D30	D29	D28	D27	D26	D25	D24
D23	D22	D21	D20	D19	D18	D17	D16
D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
CRC8							

Table 5-6 SYS\_CONF1 定义

位置	名称	类型	描述	Default
31 : 8				
7 : 0	CRC8	R/W	主控端计算的 CRC 校验码由 ( CONV_CONF0 · CONV_CONF1 · CONV_CONF2 · SYS_CONF0 ) 总共 128bits 计算出来	0x0

CRC是参考下面的公式进行运算：

$$X8+X2+X+1$$

可以参考SPI读写命令帧的计算方式，不同点在与输入数据为128bits，由CONV\_CONF0[31]开始输入，最后一个bit为SYS\_CONF0[0]

## 5.7 VERSION\_ID 寄存器

VERSION\_ID寄存器是用来显示芯片版本号

Table 5-7 VERSION\_ID 定义

位置	名称	类型	描述	Default
31 : 0	VERSION_ID	R	芯片版本号	0x22012201

## 6. 滤波器特性

芯片内置两种滤波器，宽带滤波器和 CIC 滤波器。宽带滤波器提供通带范围内优良的增益平坦度，但功耗相比 CIC 滤波器高，且延时较长。如对阶跃响应要求高，但信号频率较低（或对信号增益平坦度要求不高）的应用，可使用CIC滤波器

### 6.1 宽带滤波器

宽带滤波器的幅频曲线如图 6.1、6.2 所示，图 6.2 为通带部分的放大图。0.003dB 纹波的通带范围是 $0.43 \times f_{\text{data rate}}$ 。

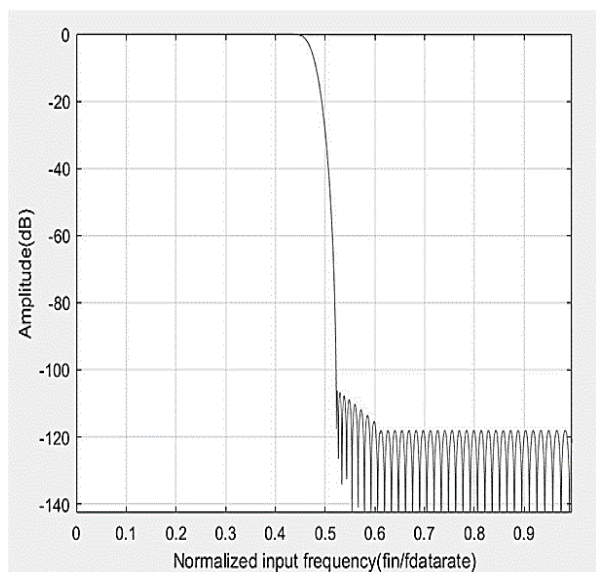


Figure 6-1 宽带滤波器幅频曲线

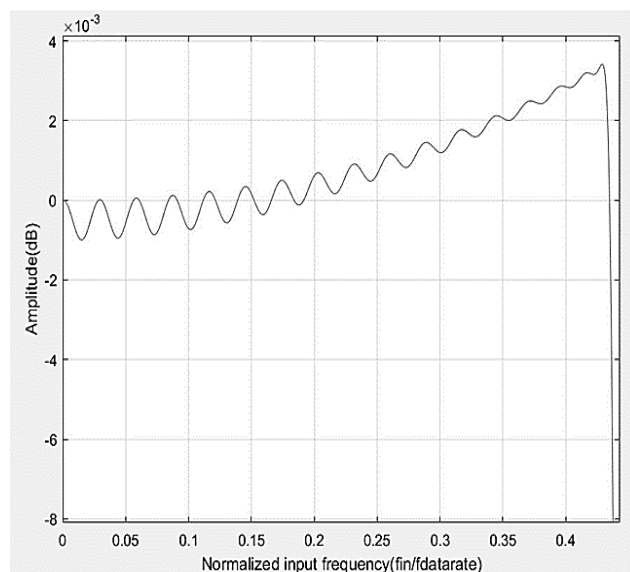


Figure 6-2 宽带滤波器幅频曲线

宽带滤波器的阶跃响应曲线如图 6.3 所示，群延时为 38 个数据点，完全精度的建立时间是 76 个数据点。

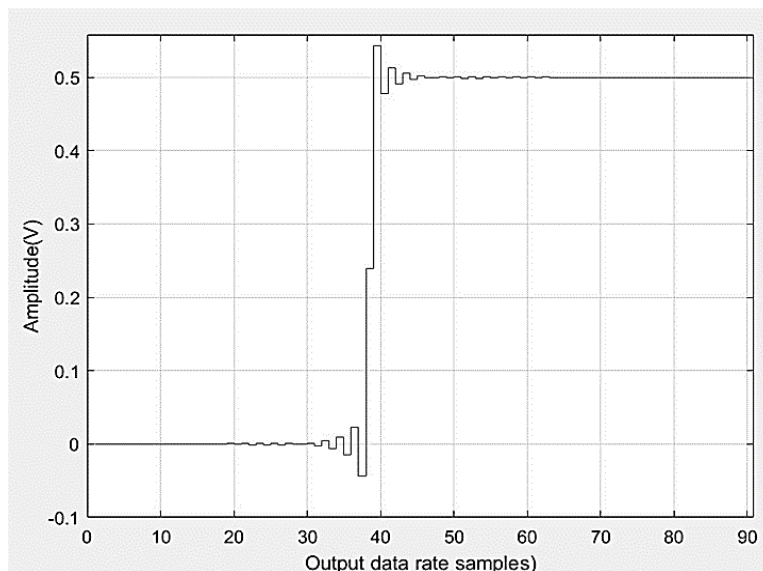


Figure 6-3 宽带滤波器阶段响应

## 6.2 CIC 滤波器

CIC 滤波器的幅频曲线如图 6.4 ~6.5 所示，图 6.5 为通带部分的放大图。-3dB 的频率带宽是  $0.17 \cdot f_{\text{data rate}}$ ，-0.1dB 的频率带宽是  $0.034 \cdot f_{\text{data rate}}$ 。

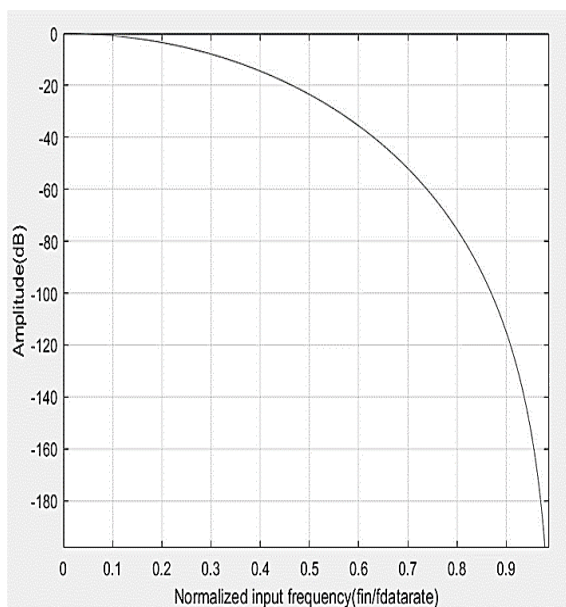


Figure 6-4 CIC 滤波器幅频曲线

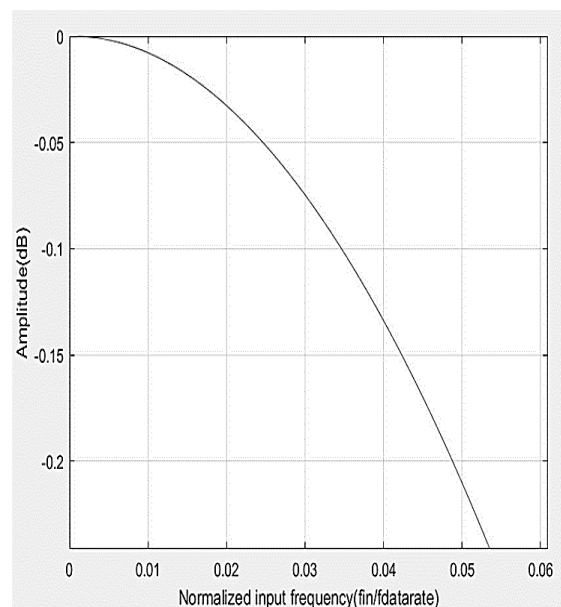


Figure 6-5 CIC 滤波器幅频曲线

CIC 滤波器的阶跃响应曲线如图 6.6 所示，完全精度的建立时间是 6 个数据点。

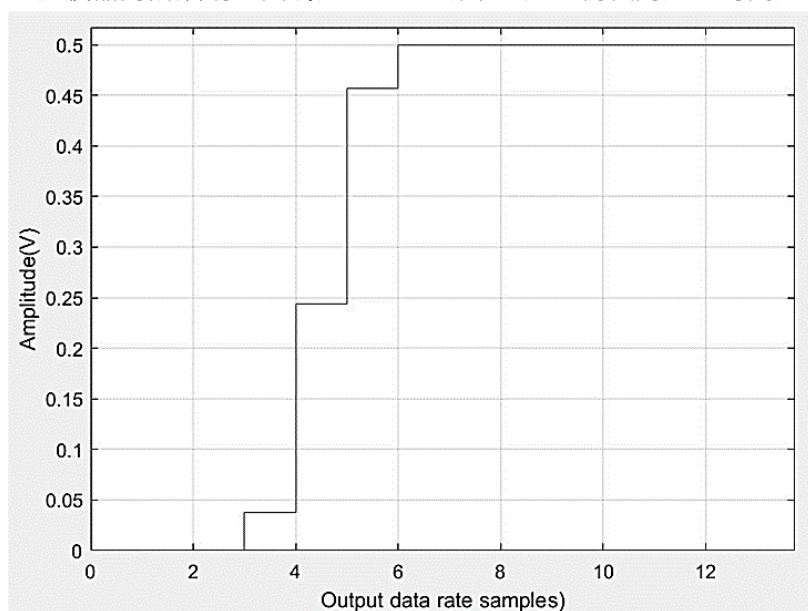


Figure 6-6 CIC滤波器阶段响应

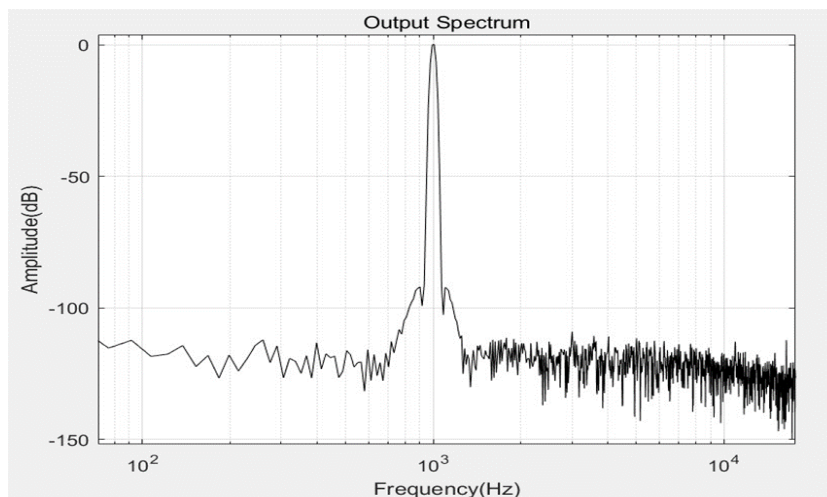


## 7.ADC 测试图表

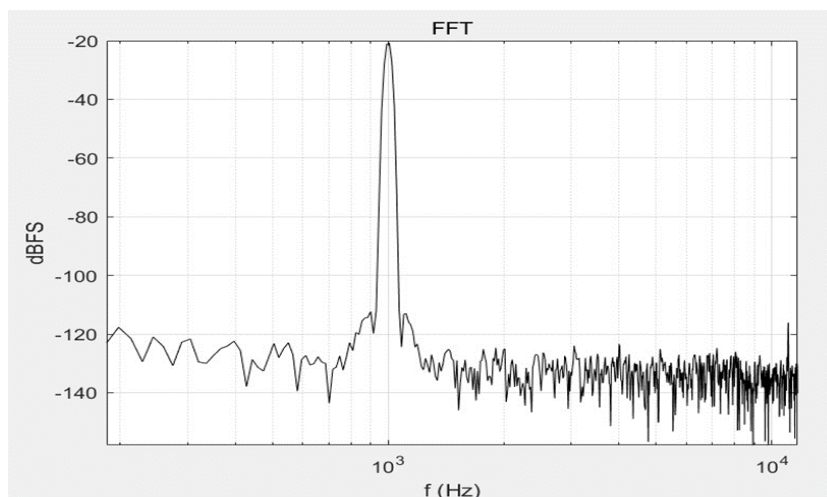
### 7.1 快速模式下的信号频谱和噪声分布

测试条件：AVDD=DVDD=5V，IOVDD=3.3V，DVDD-1.8V，REFP=2.5V

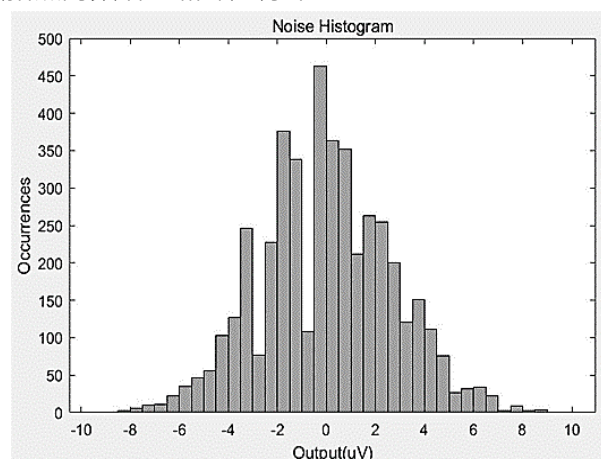
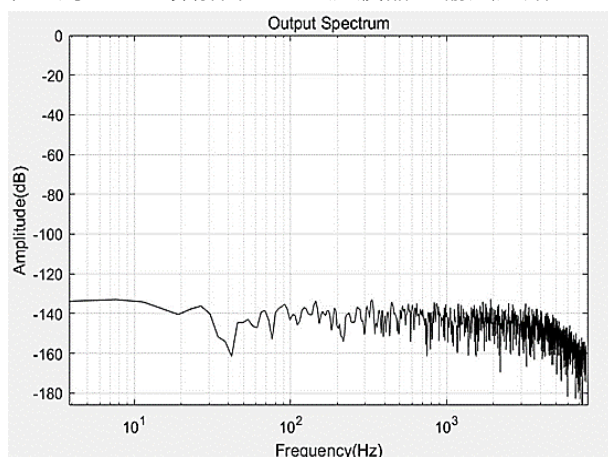
下图为 64kHz 数据率，输入 1kHz、-0.5dBFS 信号，4096 个数据点的频谱图。



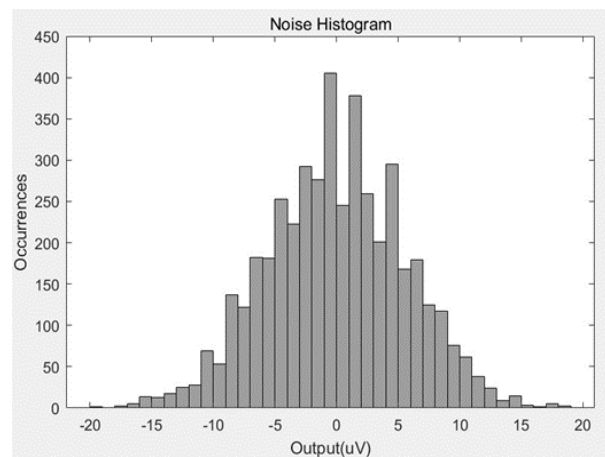
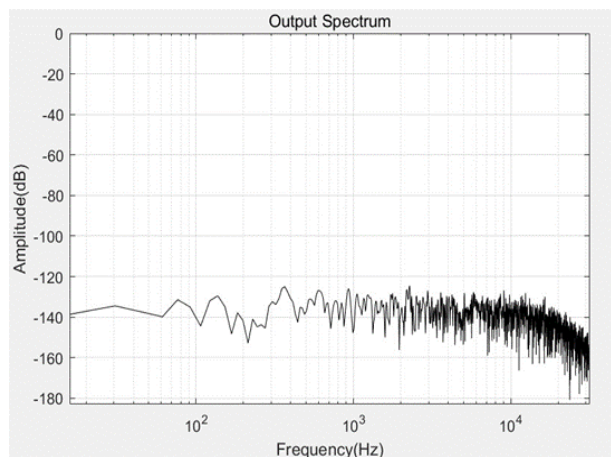
下图为 64kHz 数据率，输入 1kHz、-20dBFS 信号，4096 个数据点的频谱图。



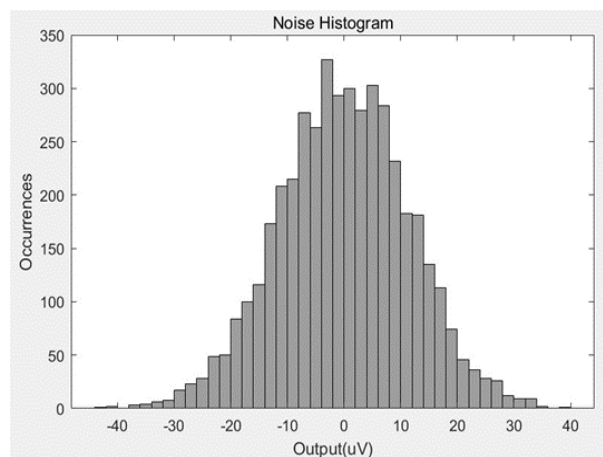
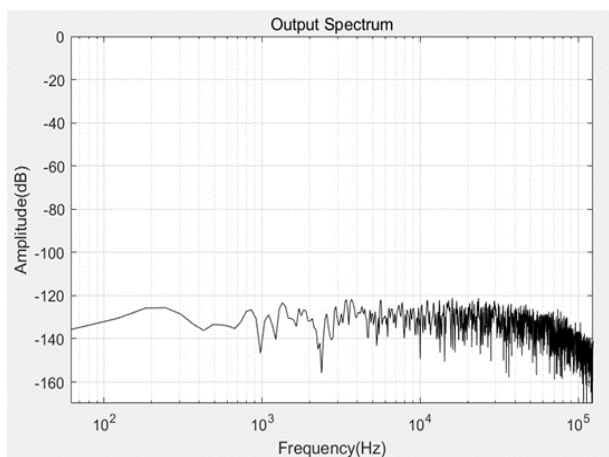
下图为16KHz数据率，CIC滤波器，输入短路，4096个数据点的频谱图和噪声分布图。



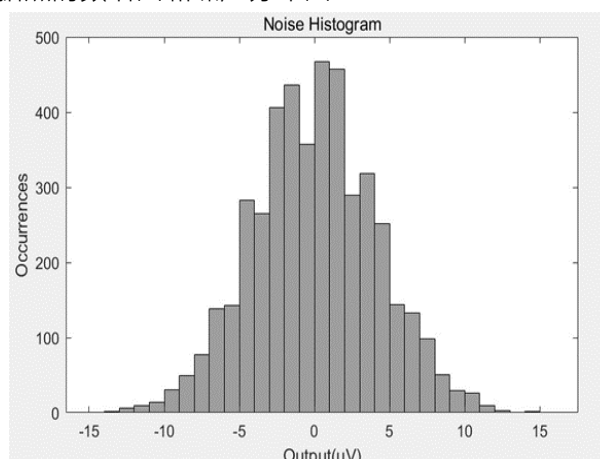
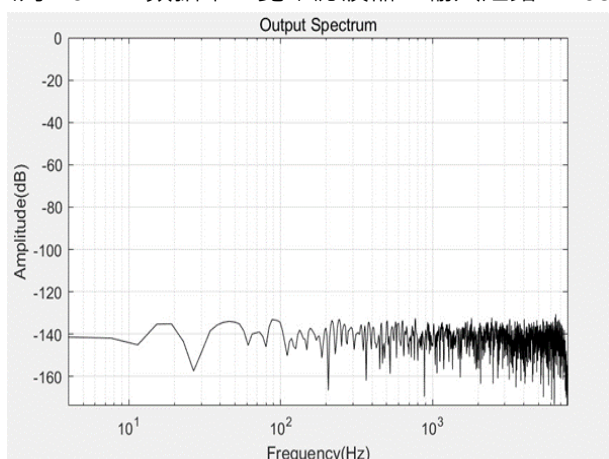
下图为64KHz数据率，CIC滤波器，输入短路，4096个数据点的频谱图和噪声分布图。



下图为256KHz数据率，CIC滤波器，输入短路，4096个数据点的频谱图和噪声分布图。

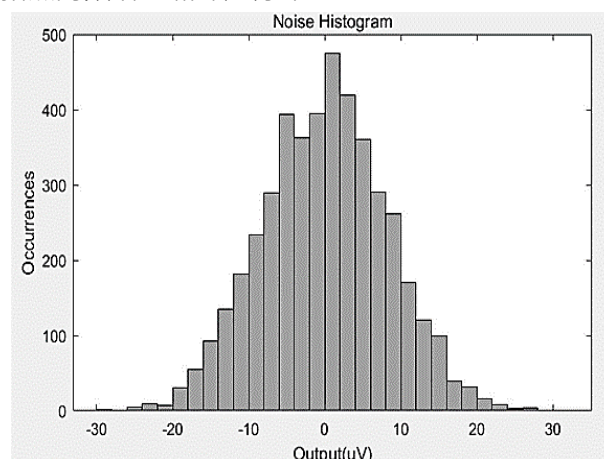
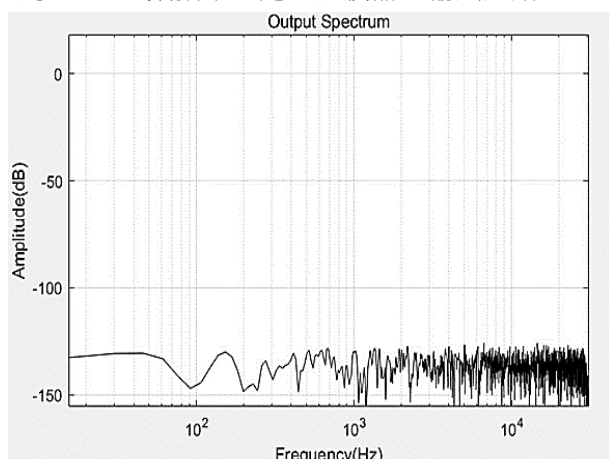


下图为 16KHz 数据率，宽带滤波器，输入短路，4096 个数据点的频谱图和噪声分布图。

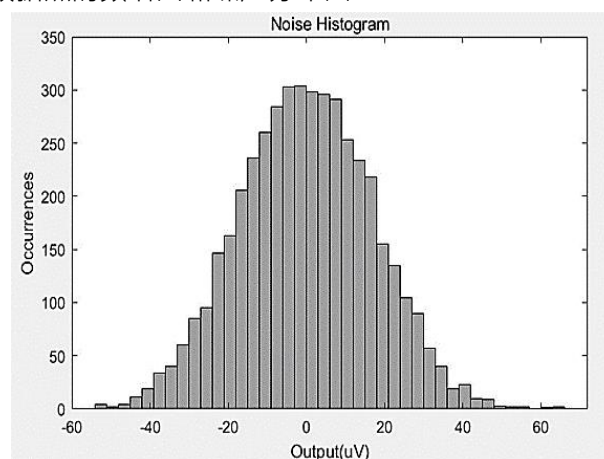
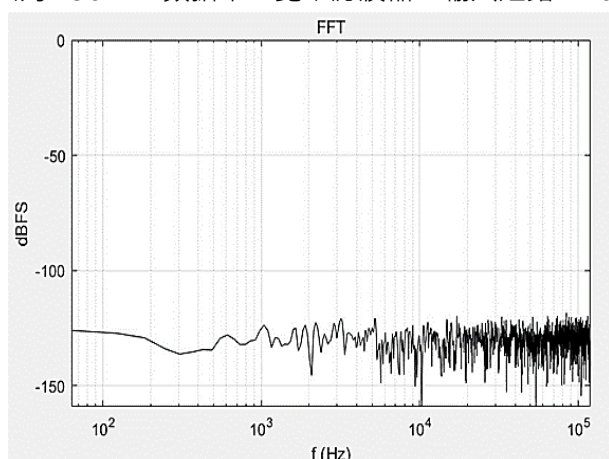




下图为 64KHz 数据率，宽带滤波器，输入短路，4096 个数据点的频谱图和噪声分布图。

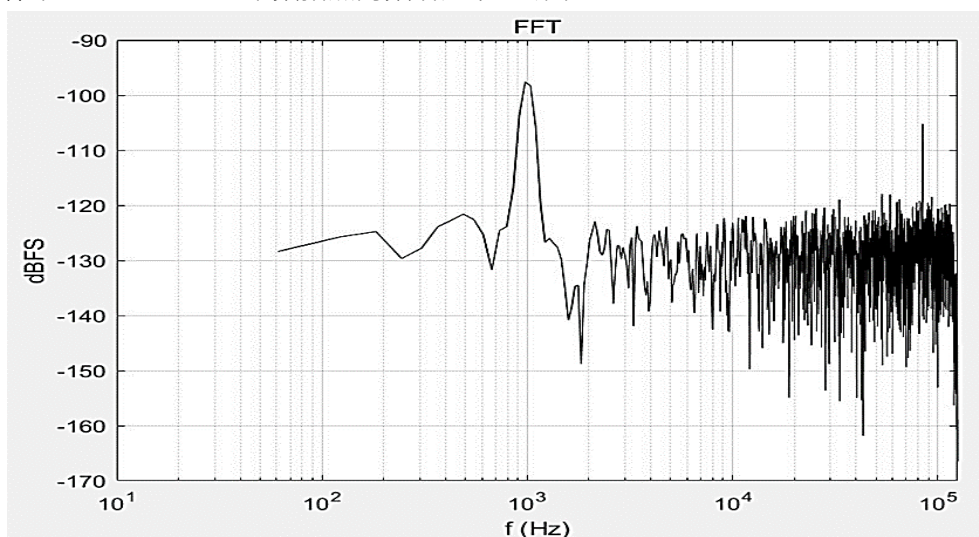


下图为 256KHz 数据率，宽带滤波器，输入短路，4096 个数据点的频谱图和噪声分布图。



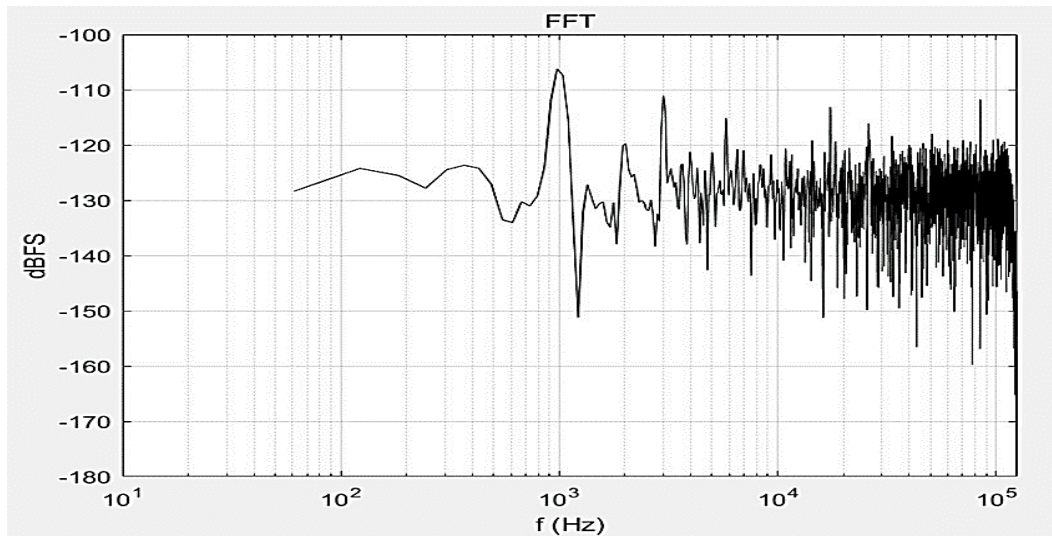
## 7.2 增益和 offset 的温漂

增益温漂测试条件：在输入信号上迭加 1V 峰峰值、1KHz 的正弦信号， $AVDD=5V$ ， $IOVDD=3.3V$ ， $DVDD=1.8V$ ， $REFP=2.5V$ ，采样率 256KHz.4096 个数据点的频谱如下图所示。



### 7.3 共模抑制比 ( CMRR )

测试条件 :在输入信号上迭加 1V 峰峰值、1KHz 的正弦信号  $AVDD=5V$   $IOVDD=3.3V$   $DVDD=1.8V$   $REFP=2.5V$  ·  
采样率 256KHz.4096 个数据点的频谱如下图所示。



## 8 参考应用电路



## 10.参考 DEMO 程序