LTD2113/LTD2114/LTD2115

16 位高精度低功耗模数转换器(ADC)

1. 产品描述

LTD2113、LTD2114 和 LTD2115(LTD211x)是接口兼容 I² C 协议的 16 位低功耗精密模数转换器(ADC)，该系列器件内部集成了低漂移电压基准、振荡器和温度传感器，同时 LTD2114 和 LTD2115 还集成可编程增益放大器(PGA)和数字比较器。

LTD211x 数据转换速率最高可达 4kSPS，内部 PGA(LTD2114 和 LTD2115)可提供从±256mV 到±6.144V 的输入范围，从而实现精准的大小信号测量；内部数字比较器(LTD2114 和 LTD2115)可用于欠压和过压检测，同时内部高精度温度传感器可用于系统级温度监控或对热电偶进行冷结点补偿；LTD2115 内部还具有一个输入多路复用器(MUX)，可实现双路差分输入或四路单端输入测量。

LTD211x 系列均采用 MSOP-10 封装，且支持宽工作电源电压范围，非常适用于功率受限型和空间受限型传感器测量应用，其额定工作温度范围为-40°C 至+125°C。

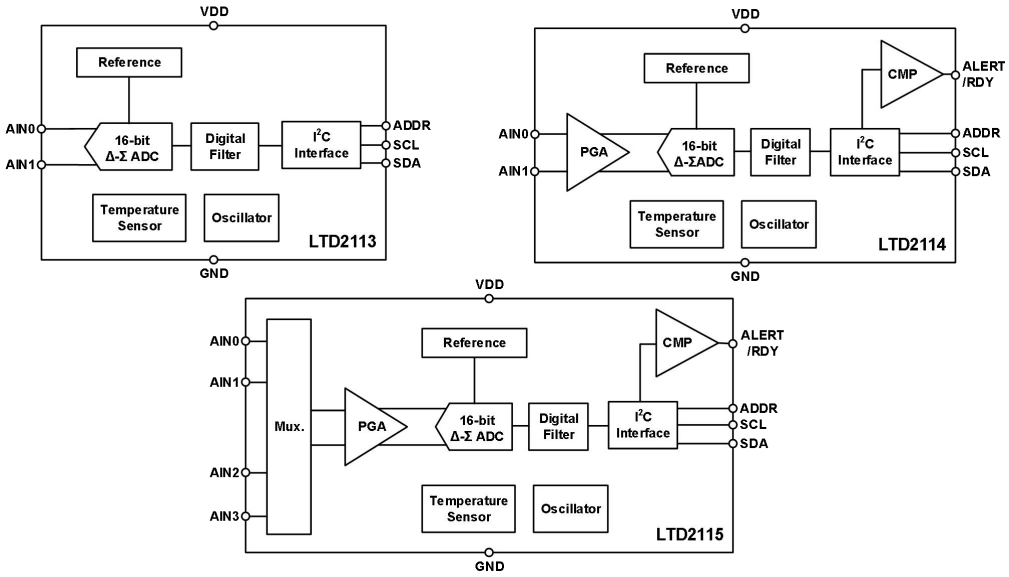
2. 特点与优势

- 宽电源电压：2V 至 5.5V
- 低流耗：150μA (连续转换模式)
- 可编程数据传输速率：8SPS 至 4kSPS
- 单周期稳定
- 内部低漂移电压基准
- 内部振荡器
- 内部温度传感器
- I² C 接口：四个引脚可选地址
- 四路单端或两路差分输入 (LTD2115)
- 可编程比较器 (LTD2114 和 LTD2115)
- 工作温度范围：-40°C 至+125°C

3. 应用场景

- 便携式仪表
- 电池电压和电流监控
- 温度测量系统
- 消费类电子产品
- 工厂自动化和过程控制

4. 器件框图



CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

目录

1. 产品描述 1
2. 特点与优势 1
3. 应用场景 1
4. 器件框图 1
5. 器件比较 4
6. 订购信息 4
7. 引脚定义(Top View) 4
8. 性能 5
8.1. 极限值 5
8.2. ESD 等级 5
8.3. 推荐工作条件 5
8.4. 电性能 6
8.5. 串行接口时序要求 7
9. 典型特征 8
10. 噪声性能 9
11. 特点描述 10
11.1. 概述 10
11.2. 功能描述 10
11.2.1. 多路复用器 10
11.2.2. 模拟输入 10
11.2.3. 满量程范围(FSR)与 LSB 大小 11
11.2.4. 基准电压 11
11.2.5. 振荡器 11
11.2.6. 输出数据速率与转换时间 12
11.2.7. 数字比较器(LTD2114 与 LTD2115) 12
11.2.8. 转换就绪引脚(LTD2114 与 LTD2115) 12
11.2.9. SMBus Alert 响应 13
11.2.10. 温度传感器 14
11.2.10.1. 温度转数字码 14
11.2.10.2. 数字码转温度 14
11.3. 器件功能模式 15
11.3.1. 复位与上电 15
11.3.2. 工作模式 15
11.3.3. 单次转换模式 15
11.3.4. 连续转换模式 15
11.3.5. 低功耗间歇采样模式 15
11.3.6. 校准 15
11.3.6.1. 偏移和满量程增益寄存器 15
11.3.6.2. 偏移校准寄存器 15
11.3.6.3. 满量程校准寄存器 16
11.4. 编程 16
11.4.1. I² C 接口 16
11.4.1.1. I² C 地址选择 16
11.4.1.2. I² C 通用呼叫复位 17
11.4.1.3. I² C 速率模式 17
11.4.2. 从设备操作 17
11.4.3. 接收模式 17
11.4.4. 发送模式 17
11.4.5. 寄存器读写 17
11.4.6. 数据格式 19
11.5. 寄存器映射 19
11.5.1. Address Pointer 寄存器 19
11.5.2. Conversion 寄存器 20
11.5.3. Config 寄存器 20
11.5.4. Lo_thresh 与 Hi_thresh 寄存器 22
11.5.5. OFC 寄存器 23
11.5.6. FSC 寄存器 23
11.5.7. Turbo 寄存器 23
12. 应用与实现 25
12.1. 应用信息 25
12.1.1. 基本连接 25
12.1.2. 单端输入 25
12.1.3. 输入保护 26
12.1.4. 未用引脚处理 26
12.1.5. 模拟输入滤波 26
12.1.6. 多器件连接 27
12.1.7. 快速上手指南 28
12.2. 典型应用 29
12.2.1. 设计需求 29
12.2.2. 详细设计步骤 30
12.2.2.1. 分流电阻选择 30
12.2.2.2. 运算放大器考虑 30
12.2.2.3. ADC 输入共模电压 30
12.2.2.4. 电阻(R1/R2/R3/R4)的选择 30
12.2.2.5. 噪声与输入阻抗考虑 30
12.2.2.6. 一阶 RC 滤波器考虑 31
12.2.2.7. 电路实现 31
13. 编带和卷轴信息 32
14. 封装信息 33
15. 说明 34

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

图目录

图 1.引脚定义 4
图 2.I² C 接口时序图 7
图 3.工作电流与温度的关系 8
图 4.待机电流与温度的关系 8
图 5.INL 与输入信号的关系 8
图 6.增益误差直方图(差分输入) 8
图 7.偏移误差直方图(差分输入) 8
图 8.数字滤波器频率响应 8
图 9.模拟输入电路示意图 10
图 10.简化模拟输入电路 11
图 11.S1 与 S2 开关时序 11
图 12.阈值寄存器写入时序 12
图 13.ALERT 引脚时序图(传统与窗口比较器模式) 13
图 14.连续转换模式下的转换就绪脉冲 13
图 15.SMBus Alert 响应时序 13
图 16.LTD211x 读时序 18
图 17.LTD211x 写时序 18
图 18.输出码转换曲线 19
图 19.LTD2115 典型连接示例 25
图 20.单端输入测量示例 26
图 21.混叠效应示意图 27
图 22.多颗 LTD211x 器件连接示例图 28
图 23.基本硬件配置示例图 29
图 24.低侧电流分流监测电路图 29

表目录

表 1.不同 FSR 下的噪声μV_{RMS}(μV_{PP}) 9
表 2.有效分辨率(无噪声分辨率) 9
表 3.各 FSR 对应的 LSB 11
表 4.14 位温度数据格式 14
表 5.偏移校准寄存器 15
表 6.偏移校准寄存器值 16
表 7.满量程校准寄存器 16
表 8.满量程校准寄存器值 16
表 9.地址引脚与目标地址的对应关系 17
表 10.输入信号与理想输出码 19
表 11.Address Pointer 寄存器结构 19
表 12.Address Pointer 寄存器描述 20
表 13.Conversion 寄存器结构 20
表 14.Conversion 寄存器描述 20
表 15.Config 寄存器结构 20
表 16.Config 寄存器描述 21
表 17.Lo_thresh 寄存器结构 22
表 18.Hi_thresh 寄存器结构 22
表 19.Hi_thresh/Lo_thresh 寄存器描述 22
表 20.OFC 寄存器结构 23
表 21.OFC 寄存器描述 23
表 22.FSC 寄存器结构 23
表 23.FSC 寄存器描述 23
表 24.Turbo 寄存器结构 23
表 25.Turbo 寄存器描述 24
表 26.设计参数 29
表 27.器件参数 31

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

5. 器件比较

型号	分辨率(Bits)	最大采样速率(SPS)	输入通道数 差分(单端)	增益 PGA	接口	特殊功能
LTD2115	16	4k	2(4)	Yes	I² C	Comparator
LTD2114	16	4k	1(1)	Yes	I² C	Comparator
LTD2113	16	4k	1(1)	No	I² C	None

6. 订购信息

器件型号	封装	数量	丝印
LTD2113XV10/R6	MSOP-10	Tape and Reel, 3000	D2113
LTD2114XV10/R6	MSOP-10	Tape and Reel, 3000	D2114
LTD2115XV10/R6	MSOP-10	Tape and Reel, 3000	D2115

7. 引脚定义(Top View)

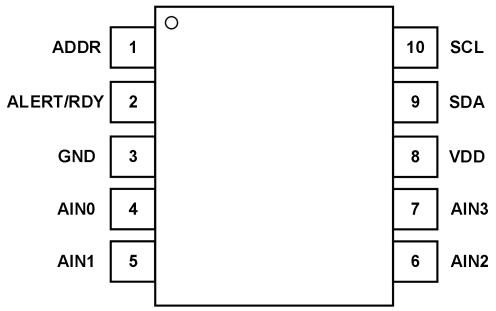


图 1.引脚定义

名称	LTD2113	LTD2114	LTD2115	TYPE	类型/描述
ADDR	1	1	1	Digital input	数字输入：I²C 从机地址选择
AIN0	4	4	4	Analog input	模拟输入 0
AIN1	5	5	5	Analog input	模拟输入 1
AIN2	—	—	6	Analog input	模拟输入 2 (仅 LTD2115)
AIN3	—	—	7	Analog input	模拟输入 3 (仅 LTD2115)
ALERT/RDY	—	2	2	Digital output	数字输出(开漏)：比较器输出或转换完成指示
GND	3	3	3	Analog	模拟：地
NC	2,6,7	6,7	—	No Connect	未连接
SCL	10	10	10	Digital input	数字输入：串行时钟输入，锁存 SDA
SDA	9	9	9	Digital I/O	数字 I/O：串行数据线，发送与接收数据
VDD	8	8	8	Analog	模拟：电源。VDD 与 GND 之间需并联 0.1 µF 去耦电容

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

8. 性能

8.1. 极限值

参数	最小值	最大值	单位
电源电压 VDD 与 GND 之间	-0.3	7	V
模拟输入电压(AIN0,AIN1,AIN2,AIN3)	GND-0.3	VDD+0.3	V
数字输入电压(SDA,SCL,ADDR,ALERT/RDY)	GND-0.3	5.5	V
任意引脚输入电流(连续)	-10	10	mA
工作环境温度 T_A	-40	125	°C
结温 T_J	-40	150	°C
存储温度 T_{stg}	-60	150	°C

注：超过这些极限条件可能导致器件永久损坏。这些仅为应力额定值，不代表推荐工作条件。

8.2. ESD 等级

Parameter	Level	UNIT
Human body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001,	±6000	V
Charged device model (CDM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-002	±1000	V

8.3. 推荐工作条件

类别/参数	说明	最小值	典型值	最大值	单位
电源	电源电压(VDD 到 GND)	2		5.5	V
模拟输入	满量程输入电压范围(VIN=V_{AINP}-V_{AINN})	±0.256		±6.144(1)	V
模拟输入	绝对输入电压范围(AINx)	GND		VDD	V
数字输入	数字输入电压 V_{DIG}	GND		5.5	V
温度	工作环境温度 T_A	-40		125	°C

(1) 此参数表示 ADC 的满量程范围，模拟输入不应超过 VDD+0.3V。

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

8.4. 电性能

测试条件：VDD=3.3V、数据速率=8SPS、满量程输入电压范围(FSR) =±2.048V(除非另有说明)；最大和最小工作温度范围为-40°C 至+125°C；典型工作温度为 25°C，电性能最大值和最小值在-40°C 到+125°C 温度范围内测得，典型值在室温下测得(除非另有说明)。

参数类别	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
模拟输入					
共模输入阻抗	FSR=±6.144V(1)		12.3		MΩ
	FSR=±4.096V(1)		7.0		
	FSR=±2.048V		1.432		
	FSR=±1.024V		1.02		
	FSR=±0.512V，±0.256V		0.69		
差分输入阻抗	FSR=±6.144V(1)		18.9		MΩ
	FSR=±4.096V(1)		11.9		
	FSR=±2.048V		3.1		
	FSR=±1.024V		1.6		
	FSR=±0.512V，±0.256V		892		kΩ
系统性能					
无遗漏码的分辨率		16			Bits
数据速率 DR		8,16,32,64,128,250,475,860,2k,4k			SPS
数据速率变化范围	所有速率	-10		10	%
积分非线性 INL	DR=8SPS, FSR=±2.048V(2)			1	LSB
偏移误差	FSR=±2.048V，差分输入			3	LSB
	FSR=±2.048V，单端输入		±3		LSB
偏移随温度变化	FSR=±2.048V		0.005		LSB/°C
电源变化引起的偏移	FSR=±2.048V，电源变化		1		LSB/V
通道匹配偏移	任意两个输入通道		3		LSB
增益误差	FSR=±2.048V, T_A=25°C		0.025%	0.15%	
增益温漂	FSR=±0.256V		8	30	ppm/°C
	FSR=±2.048V		5	20	
	FSR=±6.144V(1)		5	30	
电源变化引起的增益误差			80		ppm/V
增益匹配误差	任意两个增益设置		0.04%		%
通道增益匹配误差	任意两个通道		0.08%		%
共模抑制比	DC, FSR=±0.256V		105		dB
	DC, FSR=±2.048V		105		dB
	DC, FSR=±6.144V(1)		105		dB
	f_{CM}=60Hz, DR=128SPS		87		dB
	f_{CM}=50Hz, DR=128SPS		87		dB
温度传感器					
温度范围		-40		125	°C
温度分辨率			0.03125		°C/LSB
精度	T_A=0°C~70°C		1		°C
	T_A=-40°C~125°C		2		°C
数字输入输出					

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

参数类别	测试条件		最小值	典型值	最大值	单位
高电平输入电压 V_{IH}			0.7VDD		5.5	V
低电平输入电压 V_{IL}			GND		0.3VDD	V
低电平输出电压 V_{OL}	I_{OL}=3mA		GND	0.15	0.4	V
输入漏电流	GND<V_{DIG}<VDD		-10		10	μA
电源						
电流	Power-down	T_A=25°C		0.6	1.23	μA
		ALL-temperature			17.2	
	工作模式	T_A=25°C		150		
		ALL-temperature			189	
功耗	VDD=5.0V			0.88		mW
	VDD=3.3V			0.48		
	VDD=2.0V			0.22		

(1) 输入信号幅度不能超过 VDD+0.3V。

(2) 采用 Best-fit INL。

8.5. 串行接口时序要求

适用于工作环境温度范围，且 VDD 在 2.0V 至 5.5V 之间 (除非另有说明)。

参数	说明	快速模式最小值	快速模式最大值	单位
f_{SCL}	SCL 时钟频率	0.01	0.4	MHz
t_{BUF}	START 与 STOP 之间的总线空闲时间	600		ns
t_{HDSTA}	重复 START 条件后的保持时间	600		ns
t_{SUSTA}	重复 START 条件的建立时间	600		ns
t_{SUSTO}	STOP 条件的建立时间	600		ns
t_{HDDAT}	数据保持时间	0		ns
t_{SUDAT}	数据建立时间	100		ns
t_{LOW}	SCL 时钟低电平时间	1300		ns
t_{HIGH}	SCL 时钟高电平时间	600		ns
t_F	SDA 与 SCL 信号的下降时间(1)		300	ns
t_R	SDA 与 SCL 信号的上升时间(1)		300	ns

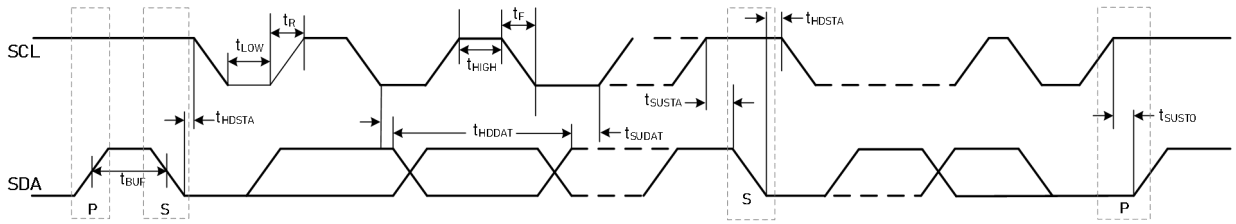


图 2.I² C 接口时序图

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

9. 典型特征

T_A=25°C，VDD=3.3V，FSR=±2.048V，DR=8SPS (除非另有说明)。

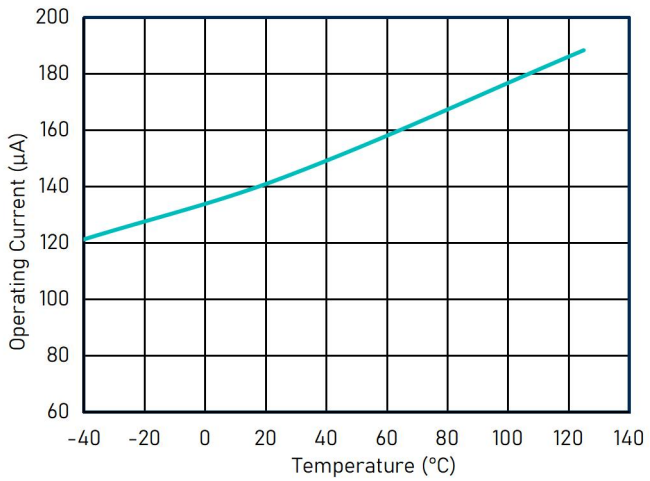


图 3.工作电流与温度的关系

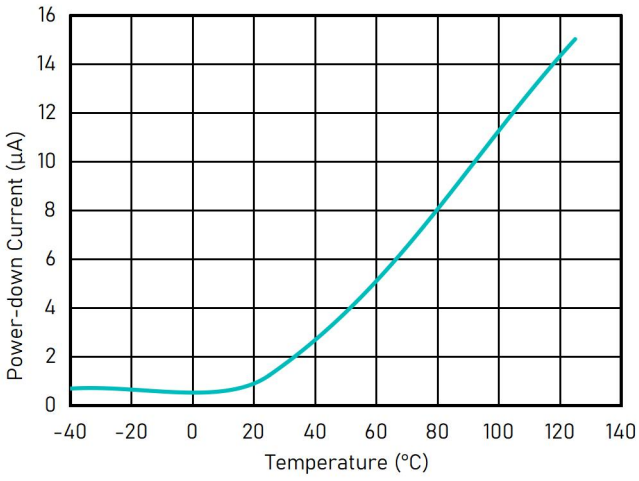


图 4.待机电流与温度的关系

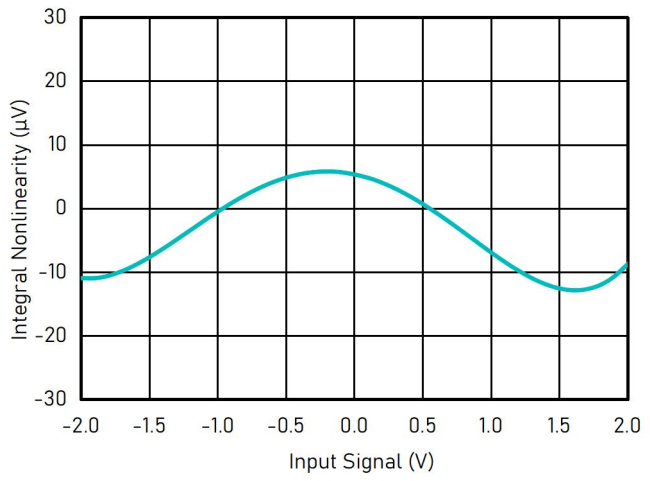


图 5.INL 与输入信号的关系

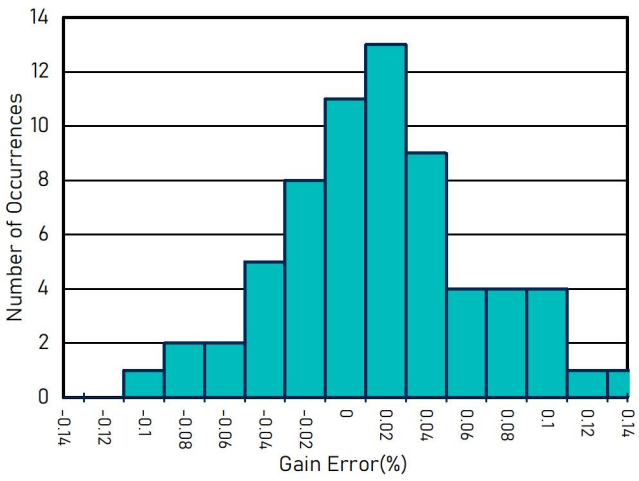


图 6.增益误差直方图(差分输入)

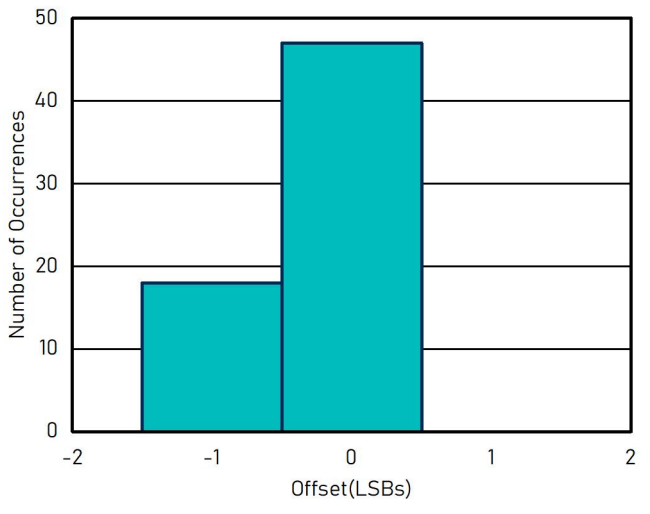


图 7.偏移误差直方图(差分输入)

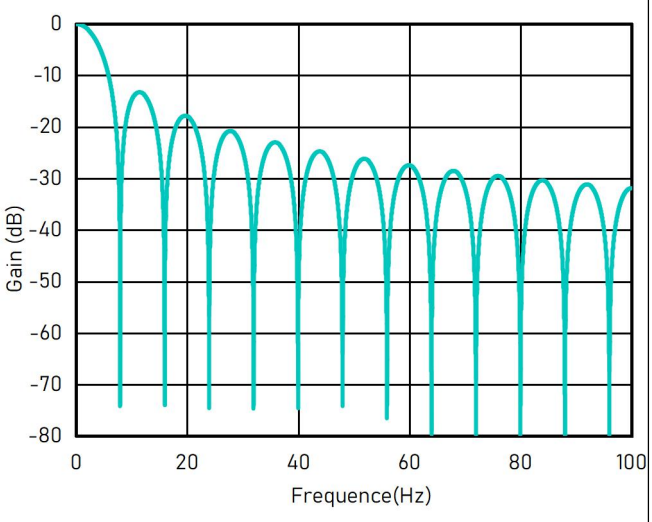


图 8.数字滤波器频率响应

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

10. 噪声性能

ΔΣ(Delta-Sigma)型模数转换器(ADC)的基本原理是过采样。ΔΣ ADC 的输入信号以很高的调制器频率采样，随后在数字域中进行滤波与抽取(decimate)，最终以所设定的输出数据速率(Data Rate)得到一次转换结果。调制器频率与输出数据速率之比称为过采样比(Oversampling Ratio，OSR)。通过增大 OSR、降低输出数据速率，可以优化 ADC 的噪声性能。换言之，当降低输出数据速率时，输入参考的均方根噪声(RMS Noise)会下降，因为调制器的更多采样被平均到同一次转换。增大增益同样能够降低输入参考噪声，对测量微小低电平信号尤其有利。

表 1 和表 2 总结了 LTD211x 的噪声性能数据，测试条件为 T_A=25°C，所有输入短接在一起。其中：

表 1 给出了在不同满量程范围(FSR)下的输入参考噪声，单位为μV_{RMS}(括号内为μV_{PP})；

表 2 根据公式(1)由μV_{RMS}计算得到有效分辨率，并在括号中给出了根据公式(2)由μV_{PP}噪声计算的无噪声分辨率。

$$有效分辨率 = \ln(FSR/V_{RMS,Noise})/\ln(2) \quad (1)$$

$$无噪声分辨率 = \ln(FSR/V_{PP,Noise})/\ln(2) \quad (2)$$

表 1.不同 FSR 下的噪声μV_{RMS}(μV_{PP})

DATARATE (SPS)	±6.144 V	±4.096 V	±2.048 V	±1.024 V	±0.512 V	±0.256 V
8	187.5(187.5)	125(125)	62.5(62.5)	31.25(31.25)	15.625(15.625)	7.81(7.81)
16	187.5(187.5)	125(125)	62.5(62.5)	31.25(31.25)	15.625(15.625)	7.81(7.81)
32	187.5(187.5)	125(125)	62.5(62.5)	31.25(31.25)	15.625(15.625)	7.81(7.81)
64	187.5(187.5)	125(125)	62.5(62.5)	31.25(31.25)	15.625(15.625)	7.81(7.81)
128	187.5(187.5)	125(125)	62.5(62.5)	31.25(31.25)	15.625(15.625)	7.81(15.625)
250	187.5(375)	125(125)	62.5(62.5)	31.25(62.5)	15.625(31.25)	7.81(23.43)
475	187.5(750)	125(375)	62.5(125)	31.25(93.75)	15.625(46.875)	7.81(39.06)
860	187.5(937.5)	125(375)	62.5(250)	31.25(125)	15.625(62.5)	7.81(62.5)
2000	375(1500)	125(750)	62.5(375)	31.25(187.5)	15.625(125)	15.625(125)
4000	375(1875)	250(875)	125(437.5)	62.5(218.5)	31.25(125)	31.25(125)

表 2.有效分辨率(无噪声分辨率)

DATARATE (SPS)	±6.144 V	±4.096 V	±2.048 V	±1.024 V	±0.512 V	±0.256 V
8	16(16)	16(16)	16(16)	16(16)	16(16)	16(16)
16	16(16)	16(16)	16(16)	16(16)	16(16)	16(16)
32	16(16)	16(16)	16(16)	16(16)	16(16)	16(16)
64	16(16)	16(16)	16(16)	16(16)	16(16)	16(16)
128	16(16)	16(16)	16(16)	16(15)	16(16)	16(15)
250	16(15)	16(16)	16(16)	16(15)	16(15)	16(14.4)
475	16(14)	16(14.4)	16(15)	16(14.4)	16(14.4)	16(13.7)
860	16(13.7)	16(14.4)	16(14)	16(14)	16(14)	16(13)
2000	15(13)	16(13.4)	16(13.4)	16(13.4)	16(13)	15(12)
4000	15(12.7)	15(13.2)	15(13.2)	15(13.2)	15(13)	14(12)

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

11. 特点描述

11.1. 概述

LTD211x 是接口兼容 I2C 协议的小型(MSOP-10)、低功耗及高精度的 16 位ΔΣ(Delta-Sigma)模数转换器(ADC)。器件内部集成 ΔΣ ADC 核心、内部基准电压源、片上振荡器以及高精度温度传感器，其中 LTD2114 与 LTD2115 还集成可编程增益放大器(PGA)和可编程数字比较器。

LTD211x 测量差分信号 VIN，即 V_{AINP} 与 V_{AINN} 之间的电压差。转换器由差分开关电容ΔΣ调制器和数字滤波器组成，该架构可对共模信号实现极高的抑制。输入信号与内部基准电压进行比较，数字滤波器接收来自调制器的高速比特流，并输出与输入电压成比例的数字码。

LTD211x 支持两种转换模式：单次转换(single-shot)模式和连续转换(continuous-conversion)模式。在单次转换模式下，ADC 在收到启动指令后仅对输入信号进行一次转换，将结果存入内部转换寄存器，随后进入待机状态。该模式适用于只需周期性转换或转换间隔较长的低功耗应用。在连续转换模式下，ADC 会在上一次转换完成后自动启动下一次转换；连续转换速率等于所设定的数据速率。任何时刻读取数据寄存器都会获得最近一次完成的转换结果。

11.2. 功能描述

11.2.1. 多路复用器

LTD2115 内置输入多路复用器(MUX)，如图 9 所示，该 MUX 可测量四路单端或两路差分输入信号。此外，AIN0 与 AIN1 也可分别与 AIN3 组成差分对，MUX 的通道选择由 Config 寄存器中的 MUX[2:0]位设置。当执行单端测量时，ADC 的负输入端可通过多路复用器内部开关自动接地。

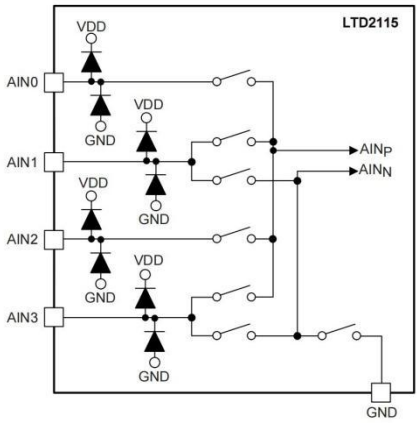


图 9.模拟输入电路示意图

LTD2113 与 LTD2114 不含输入多路复用器，仅可测量一路单端或一路差分信号。若进行单端测量，需在外部将 AIN1 引脚接地。在本文后续章节中，若无特殊说明，AINP 对应 AIN0，AINN 对应 AIN1(针对 LTD2113/LTD2114)。

连接 VDD 和 GND 的静电放电(ESD)二极管可保护 LTD211x 的模拟输入。为避免二极管导通，应确保任一输入电压满足式(3)：

$$GND-0.3\ V < V_{(AINx)} < VDD+0.3\ V \quad (3)$$

若输入电压可能超出上述范围，请在输入端外接肖特基二极管并串联限流电阻，以将输入电流限制在安全值内(参见“极限值”表)。

11.2.2. 模拟输入

LTD211x 采用开关电容输入级，电容器持续充放电以测量 AINP 与 AINN 之间的电压。输入信号被采样的频率称为采样频率，亦即调制器频率 f_{MOD}。LTD211x 内部 1 MHz 振荡器经四分频后得到 f_{MOD} = 250 kHz。由于电容值较小，从外部看来，其平均负载呈电阻性。图 10 给出了输入级结构，图 11 给出了 S_1、S_2 开关时序。采样相位内，开关 S_1 闭合，使 C_{A1} 充至(V_{AINP})，C_{A2} 充至(V_{AINN})，同时 C_B 充至差分电压(V_{AINP}–V_{AINN})。放电相位中，先断开 S_1，随后闭合 S_2，C_{A1} 与 C_{A2} 放电至约 0.7 V，C_B 放电至 0 V。此充放电循环在 f_{MOD} 速率下产生平均电流，可用来计算等效输入阻抗 Z_{eff}，其中 $Z_{eff}=V_{IN}/I_{AVERAGE}$。

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

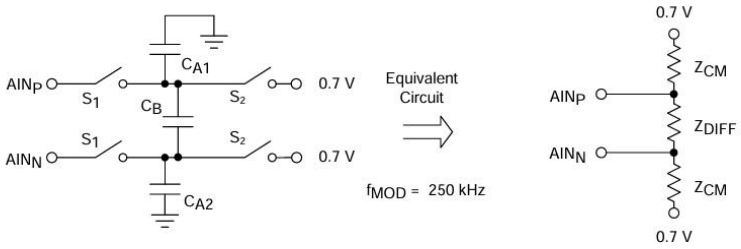


图 10.简化模拟输入电路

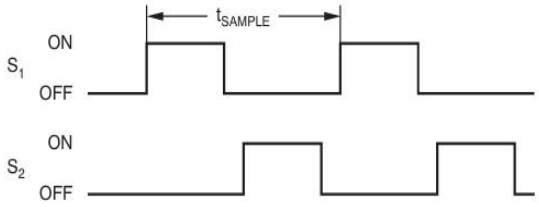


图 11.S1 与 S2 开关时序

对短接的 AIN_P、AIN_N 施加共模信号并测量引脚平均电流，可得到共模输入阻抗 Z_{CM}。典型值随满量程范围而变，默认 FSR 下约为 1.4MΩ。

差分输入阻抗 Z_{DIFF} 则通过在 AIN_P 和 AIN_N 之间施加差分信号、并将其中一个引脚固定在 0.7 V 来测量流经该引脚的电流。Z_{DIFF} 与满量程范围成比例。

输入阻抗的典型值应被纳入精度考量。若信号源阻抗较高，可能需要缓冲器件，有源缓冲会带来噪声、失调及增益误差，需在高精度应用中予以评估。此外，时钟振荡器频率随温度轻微漂移，因此输入阻抗也随之漂移，在大多数应用中该漂移可忽略。

11.2.3. 满量程范围(FSR)与 LSB 大小

LTD211x 在ΔΣ ADC 之前集成了可编程增益放大器(PGA)，LTD2114 与 LTD2115 可通过 Config 寄存器中的 PGA[2:0]位设置满量程范围，支持±6.144 V、±4.096 V、±2.048 V、±1.024 V、±0.512 V 及±0.256 V，LTD2113 的满量程范围固定为±2.048 V。

表 3 给出了各 FSR(例如在 FSR=±6.144V 时，公式中的 FSR 取值为 6.144V)对应的 LSB 大小，LSB 的计算公式如下：

$$LSB = FSR/2^{15}$$

表 3.各 FSR 对应的 LSB

FSR	LSB 大小
±6.144 V(1)	187.5 μV
±4.096 V(1)	125 μV
±2.048 V	62.5 μV
±1.024 V	31.25 μV
±0.512 V	15.625 μV
±0.256 V	7.8125 μV

(1) 此值表示 ADC 缩放前的满量程范围，请勿向模拟输入施加超过 VDD+0.3 V 的电压。

模拟输入电压不得超出“极限值”表中的限值。若 VDD 大于 4 V，可使用±6.144 V 满量程以扩展输入范围；当 VDD=3.3 V 且设置 FSR=±4.096 V 时，ADC 码只能覆盖|VIN|≤3.3 V，超出部分将被截断。

11.2.4. 基准电压

LTD211x 集成片内基准，无法外接参考电压，其初始精度与温漂已包含在电气特性表中的增益与失调规格里。

11.2.5. 振荡器

LTD211x 内部集成 1 MHz 振荡器，无需外接时钟即可工作。其频率随温度与时间轻微漂移，输出数据速率与振荡器频率成比例变化。

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

11.2.6. 输出数据速率与转换时间

LTD211x 允许通过设置 Config 寄存器的 DR[2:0]位与 Turbo 寄存器的 DR4 位选择 8SPS 至 4kSPS 共十种输出速率。在单次转换模式下，转换时间等于 1/DR。

11.2.7. 数字比较器(LTD2114 与 LTD2115)

LTD2114 和 LTD2115 内部集成可编程数字比较器，可通过 ALERT/RDY 引脚输出告警信号。配置寄存器(Config)中的 COMP_MODE 位可将比较器配置为传统比较器或窗口比较器两种工作模式。

在传统比较器模式下，当转换结果超出高阈值寄存器(Hi_thresh)设定的限值时，ALERT/RDY 引脚将置位(默认低电平有效)；仅当转换数据回落至低阈值寄存器(Lo_thresh)设定的限值以下时，比较器才会解除置位状态。

在窗口比较器模式下，只要转换结果超出高阈值寄存器(Hi_thresh)的设定值，或是低于低阈值寄存器(Lo_thresh)的设定值，ALERT/RDY 引脚均会触发置位动作。

无论是窗口比较器模式还是传统比较器模式，均可通过配置寄存器(Config)中的 COMP_LAT 位将比较器设置为置位后锁存的工作状态。在该配置下，即使后续输入信号回到阈值寄存器设定的限值区间内，ALERT/RDY 引脚的置位状态也会持续保持。该锁存的置位状态仅能通过触发 SMBus 告警响应流程，或读取转换寄存器(Conversion)的操作来清除。

此外，可通过配置寄存器(Config)中的 COMP_POL 位，将 ALERT/RDY 引脚配置为高电平有效或低电平有效。两种比较器模式的工作时序示意见图 13。

该比较器还可配置为仅当连续多组转换结果均超出阈值寄存器(Hi_thresh 与 Lo_thresh)设定的阈值范围后，才激活 ALERT/RDY 引脚。配置寄存器(Config)中的 COMP_QUE[1:0]位用于设置比较器的触发判定逻辑：可选择连续 1 次、2 次或 4 次转换结果超出阈值后，才激活 ALERT/RDY 引脚，此外 COMP_QUE[1:0]位还可直接禁用/关闭比较器功能，并将 ALERT/RDY 引脚固定为高电平状态(开漏输出，外部上拉)。

为防止误操作阈值寄存器引发警报异常，写入 Hi_thresh 与 Lo_thresh 寄存器时需遵循特定顺序：必须先完成 Hi_thresh 和 Lo_thresh 的写入操作，随后再次写入 Config 寄存器，否则阈值寄存器的值将无法生效。具体操作时序如图 12 所示。

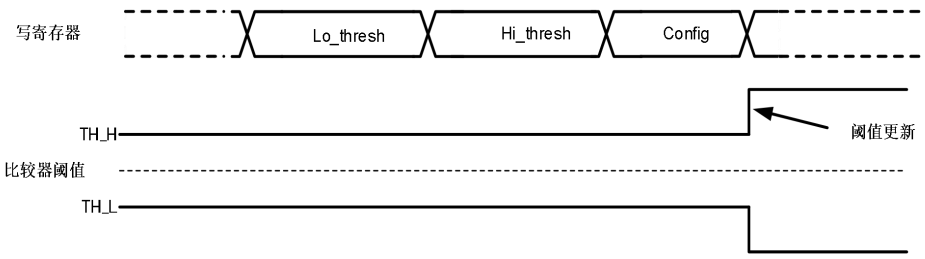


图 12.阈值寄存器写入时序

由于 LTD2114/5 支持 ADC 测量和温度测量两种工作模式，不同模式下需分别配置对应的阈值寄存器值。以比较器模式为例：在 ADC 测量模式下，将 Hi_thresh 寄存器设置为 3000h(仅作示例)；当切换至温度测量模式时，若需将阈值设为 50°C(0640h)，由于温度转换结果为 14 位左对齐格式，应该 Hi_thresh 寄存器值设置为 1900h(即将表 4 中 HEX 栏的数值乘以 4 后写入)。

11.2.8. 转换就绪引脚(LTD2114 与 LTD2115)

ALERT/RDY 引脚亦可配置为转换就绪引脚功能：将高阈值寄存器(Hi_thresh)最高位设为 1b，低阈值寄存器(Lo_thresh)最高位设为 0b，即可启用该引脚的转换就绪功能，此时 COMP_POL 位仍正常生效。将 COMP_QUE[1:0]位设置为除 0b11 之外的任意值，以保持 ALERT/RDY 引脚处于激活状态，转换就绪信号可正常从该引脚输出，此时 COMP_MODE 和 COMP_LAT 控制位将失效。

即便配置为转换就绪功能，ALERT/RDY 引脚仍需外接上拉电阻。LTD211x 在连续转换模式下，每次转换结束后会在该引脚输出约 8μs 的转换就绪脉冲，时序逻辑如图；在单次采样模式下，若 COMP_POL=0，ALERT/RDY 引脚会在单次转换完成后拉低，标记转换就绪状态。

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

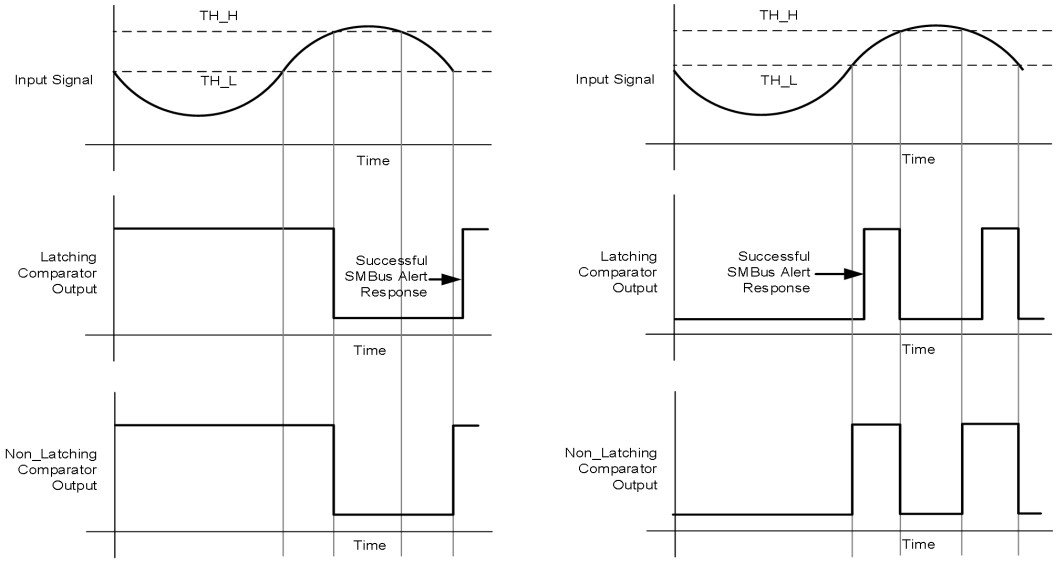


图 13.ALERT 引脚时序图(传统与窗口比较器模式)

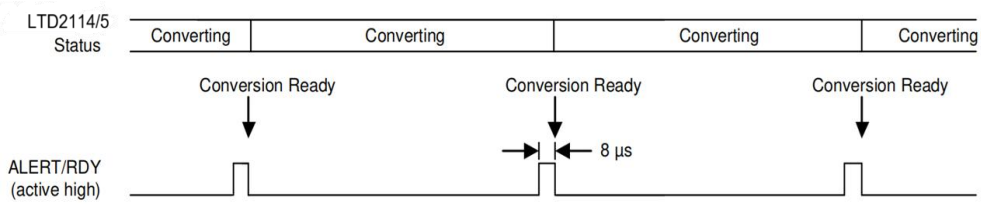


图 14.连续转换模式下的转换就绪脉冲

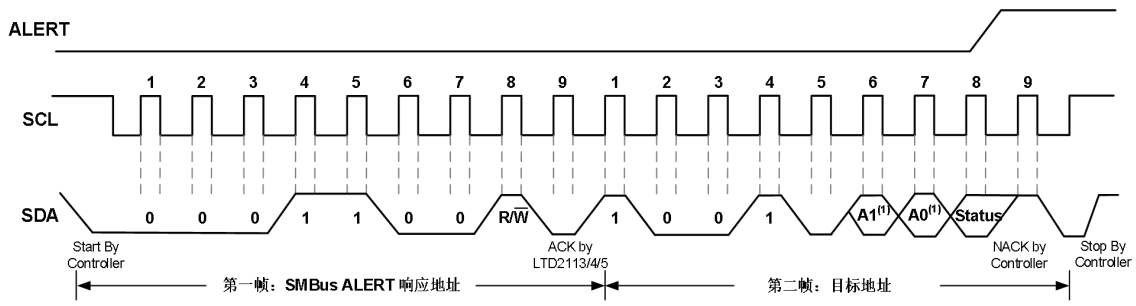
11.2.9. SMBus Alert 响应

在锁存比较器模式下(COMP_LAT=1b)，当比较器检测到转换结果超出设定的上下限阈值时，ALERT/RDY 引脚将会触发报警电平(默认低电平有效)。该报警状态将会被硬件锁存，只能通过两种方式进行清除：主机读取转换数据寄存器或主机成功发送 SMBus 警报响应指令并读取触发该报警的器件 I²C 地址。如果转换数据在报警状态清除后再次超过设定的上下限阈值，则 ALERT/RDY 引脚将被重新触发，该过程不会影响正在进行的 ADC 转换。

ALERT/RDY 引脚为开漏输出结构，支持多个器件共享同一个 I²C 总线；关闭报警功能时，该引脚会保持高电平，不会干扰总线上其他设备的正常通信。当控制器检测到 ALERT/RDY 引脚已锁存拉低后，控制器会向 I² C 总线发送 SMBus 警报命令(00011001b)。总线上所有触发了报警的 LTD2114/LTD2115 都会回传自身的 I2C 地址以响应该条指令，具体时序请参考图 15。

如果 I²C 总线上的多个器件同时触发报警，SMBus 警报响应阶段的总线仲裁将会决定哪台设备先清除报警状态，具有最低 I²C 地址的器件始终会在仲裁中优先胜出。未在仲裁中胜出的器件不会解除引脚的报警锁存，主控只需要重复发送 SMBus 警报命令，就能依次把所有触发报警的设备状态全部清除。

在窗口比较器模式下，SMBus 警报状态位在信号超过阈值上限时指示 1b，在信号超过阈值下限时指示 0b。



(1) A0/A1由ADDR PIN脚设置，参考表9

图 15.SMBus Alert 响应时序

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

11.2.10. 温度传感器

LTD211x 内部集成了精密的温度传感器。通过将 Turbo 寄存器中 TS_MODE 位设置为 1b 来启用温度测量模式。启用温度测量模式后，芯片内部将自动切换 FSR 到±0.256V，数据速率受 Config 寄存器 DR[2:0]位和 Turbo 寄存器 DR4 位控制。

温度转换数据有效位数为 14 位，在 16 位转换结果中保持左对齐，串行输出采用最高有效字节(MSB)优先模式。读取双字节转换数据时，仅前 14 位用于表征温度测量结果，最高位为符号位，后两位无效，负数以二进制补码格式表示。14 位温度转换数据的 1 LSB 等于 0.03125°C，详请参考下表 4。

表 4.14 位温度数据格式

温度 (°C)	输出码(BINARY)(1)	HEX
128	01000000000000	1000
127.96875	00111111111111	0FFF
100	00110010000000	0C80
75	00100101100000	0960
50	00011001000000	0640
25	00001100100000	0320
0.25	00000000001000	0008
0.03125	00000000000001	0001
0	00000000000000	0000
–0.25	11111111111000	3FF8
-25	11110011100000	3CE0
-40	11101100000000	3B00

(1) 输出码值的高 14bits，后两位无效，最高位为符号位，负数以二进制补码格式表示

11.2.10.1. 温度转数字码

正温度值时：

正温度值时无需补码，只需将数字转换为 14 位左对齐格式的二进制码值(高 14bits)，其中 MSB=0 表示正号。

例如：50°C/(0.03125°C/count) = 1600 = 0640h = 00 0110 0100 0000b

负温度值时：

通过将温度绝对值的二进制数取反后加 1 来生成负数的二进制补码(高 14bits)，然后用 MSB=1 表示负号。

例如：|–25°C|/(0.03125°C/count) = 800 = 0320h = 00 0011 0010 0000b

二进制补码形式：00 0011 0010 0000b → 11 1100 1101 1111b + 1b = 11 1100 1110 0000b = 3CE0h

11.2.10.2. 数字码转温度

要从数字码(右移两位后码值，低 14bits)转换为温度，请首先检查 MSB(符号位)是 0 还是 1：

如果 MSB=0b，表示结果是正数，只需将十进制码乘以 0.03125°C 即可得到结果；

如果 MSB=1b，表示结果是负数，需先将数字码值取反后加 1，再将对应的十进制码乘以–0.03125°C 即可得到结果。

例如：器件读回 0960h：0960h = 00 1001 0110 0000b，MSB = 0(正数)

十进制码乘以 0.03125°C：0960h×0.03125°C = 2400×0.03125°C = 75°C

例如：器件读回 3CE0h：3CE0h = 11 1100 1110 0000b，MSB = 1(负数)

对应码值取反后加 1：3CE0h = 11 1100 1110 0000b →00 0011 0001 1111b + 1b = 00 0011 0010 0000b = 0320h

十进制码乘以–0.03125°C：0320h×(–0.03125°C) = 800×(–0.03125°C) = –25°C

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

11.3. 器件功能模式

11.3.1. 复位与上电

LTD211x 在上电时自动复位，并将所有寄存器设为默认值。复位过程结束后，器件进入待机状态，此时设备接口及数字模块均处于激活状态，但不会执行任何数据转换。该初始复位/待机状态可有效降低系统在上电电源稳定过程中的浪涌冲击。

LTD211x 还可响应 I²C 总线的 general-call(通用呼叫)复位命令(06h)。当收到该命令时，内部复位与重新上电效果相同。

11.3.2. 工作模式

LTD211x 具有两种工作模式：连续转换模式与单次转换模式，由配置寄存器(Config)中的 MODE 位选择。

11.3.3. 单次转换模式

当配置寄存器中的 MODE 位设置为 1b 时，LTD211x 将会进入掉电状态(待机模式)，并以单次采样模式运行。这种掉电状态是设备首次通电时的默认状态，即使处于掉电状态，设备仍能响应指令。LTD211x 将保持此掉电状态，直至配置寄存器中的操作状态位(OS)被写入 1b。

当 OS 位被激活时(写入 1b)，设备将会在约 25µs 内重新通电、自动将 OS 位重置为 0b 并启动单次数据转换；待转换数据准备就绪，设备将再次掉电。在转换过程中向 OS 位写入 1b 不会产生任何影响。

若需切换至连续转换模式，需将配置寄存器中的 MODE 位写入 0b。

11.3.4. 连续转换模式

在连续转换模式下(配置寄存器中的 MODE 位设置为 0b)，LTD211x 会持续执行数据转换。每次转换完成后，会将结果存在 Conversion 寄存器中，随后立即开始下一次转换。当写入新的配置时，当前转换先用旧配置完成转换，然后再按新配置继续连续转换。要返回单次模式，可将 MODE 位写 1b 或复位器件。

11.3.5. 低功耗间歇采样模式

ΔΣ模数转换器的噪声性能通常会随输出数据速率降低而提升，因为此时的输出结果是内部调制器通过更多次采样值进行平均所生成。在功耗至关重要的应用场景中，低数据速率下的优异噪声性能可能并非必需。针对此类应用，LTD211x 支持间歇采样模式，即通过以较低的等效输出速率周期性地触发高速率采样的方式，实现显著的功耗降低。

例如，当 LTD211x 处于掉电状态且数据转换速率设置为 860 SPS 时，微控制器可设置其每 125 毫秒执行一次单次转换(即 8 SPS)。每次(860 SPS)转换仅需约 1.2 毫秒，此时 LTD211x 将在剩余的 123.8 毫秒内进入掉电状态。在此配置下，其功耗约为连续转换模式下的 1%。间歇采样率完全由主控制器自主设定，LTD211x 还提供了不启用间歇采样模式的低数据转换速率档位，可在有需要时实现更优的噪声性能。

11.3.6. 校准

11.3.6.1. 偏移和满量程增益寄存器

使用偏移和满量程增益寄存器分别校正偏移误差及满量程误差。在将输出数据乘以满量程寄存器之前，需先减去偏移校准寄存器的值，然后除以 4000h。校准完成后，最终输出数据将被限制为 16 位范围。

11.3.6.2. 偏移校准寄存器

偏移校准寄存器由一个 16 位寄存器组成，如表 5 所示。转换结果中会减去偏移值。该偏移值以二进制补码格式表示，其最大正值为 7FFFh，最大负值为 8000h。当寄存器值为 0000h 时，不进行偏移校正。尽管偏移校准寄存器提供了广泛的偏移值选择范围，但校准后的输入信号不得超过预校准范围的±106%；否则 ADC 将超出其工作范围。表 6 列出了偏移校准寄存器的示例值。

表 5.偏移校准寄存器

寄存器	地址	位															
OFC	04h	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

表 6.偏移校准寄存器值

寄存器值	理想输出值
0001h	FFFFh
0000h	0000h
FFFFh	0001h

11.3.6.3. 满量程校准寄存器

满量程校准寄存器是一个 16 位寄存器组成，如表 7 所示。满量程校准值采用二进制格式，归一化为值为 4000h 的单位增益因子。表 8 列出了所选增益因子的寄存器值。大于归一化值的增益误差通过使用小于 4000h 的满量程值来校正。尽管满量程寄存器提供了广泛的可能值，但校准后的输入信号不得超过预校准输入范围的±106%，否则 ADC 将超出其工作范围。

表 7.满量程校准寄存器

寄存器	地址	位															
FSC	05h	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

表 8.满量程校准寄存器值

寄存器值	增益系数
4333h	1.05
4000h	1.00
3CCCh	0.95

11.4. 编程

11.4.1. I² C 接口

LTD211x 通过 I² C 接口实现通信。I² C 为两线制开漏总线，支持单条总线上挂载多主(主机)多从(设备)节点。总线上的所有设备仅通过下拉接地驱动总线低电平，总线高电平需由外部上拉电阻上拉，无节点驱动时总线始终保持高电平状态，因此多节点同时驱动总线时不会出现驱动冲突。

I² C 通信总由一主一从两个节点参与；主设备负责产生时钟并发起通信，从设备仅在被寻址后响应。LTD211x 仅能作为从设备。总线包含 SDA(数据线)与 SCL(时钟线)，所有数据以 8bits 为一组在 SDA 上传输，SCL 低电平期间完成 SDA 电平的建立，待 SDA 稳定后，将 SCL 拉高再拉低，将数据锁存入接收移位寄存器，若 SDA 低电平保持时间超过 25 ms，将会触发总线超时复位。

I2C 总线为双向传输架构，SDA 同时承担收发数据的功能：主机读取从机数据时，由从机驱动 SDA；主机向从机写入数据时，由主机驱动 SDA。时钟线 SCL 始终由主机驱动，LTD211x 无法作为主机，因此永远不会驱动 SCL。

总线空闲时 SDA 和 SCL 均为高电平，仅主机可发起通信，正常传输中 SDA 仅能在 SCL 低电平时切换电平，若 SCL 为高电平时 SDA 跳变，就会生成起始(START)/停止(STOP)条件。

寻址特定器件时，须先发起 START 条件：当 SCL 为高电平时，将数据线 (SDA) 从高电平拉至低电平，即为 START 条件。总线上所有从机均在时钟的上升沿同步接收从机地址字节，其中最后一位指示是读操作还是写操作。在第 9 个时钟脉冲期间，被寻址的从机将会拉低 SDA，生成应答位 (ACK)。主机读完 1 字节后，会主动拉低 SDA 向从机发送应答，再发时钟脉冲。

若主机在数据阶段或地址阶段未收到 ACK，即产生 NACK：主机在 NACK 位期间保持 SDA 高电平。若设备不存在或未准备好，就会出现 NACK。

所有数据传输完成后，主机会生成 STOP 条件：当 SCL 为高电平时，将 SDA 从低电平拉至高电平，即为 STOP 条件。主机也可在总线保持忙状态时发起重复 START 条件，而不先发送 STOP。

11.4.1.1. I² C 地址选择

LTD211x 有一个地址引脚 ADDR，用于配置器件的 I² C 从机地址。ADDR 可接 GND、VDD、SDA 或 SCL，从而实现四种不同的地址配置(见表 9)。ADDR 引脚状态在 SCL 的高电平期间会被持续采样；若选用 ADDR 连接 SDA 的配置作为从机地址，需在 SCL 拉低后，额外将 SDA 保持低电平至少 100ns，确保器件地址能被正确识别。

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

表 9.地址引脚与目标地址的对应关系

ADDR 连接	目标地址(7 位)
GND	1001000
VDD	1001001
SDA	1001010
SCL	1001011

11.4.1.2. I² C 通用呼叫复位

LTD211x 支持通过两线通用呼叫地址 00h (0000 0000b) 执行复位。LTD211x 会应答通用呼叫地址，并响应第二字节。若第二字节为 06h (0000 0110b)，LTD211x 将执行软件复位，该复位将所有寄存器恢复至上电复位状态，并中止任何正在进行的转换。若第二字节为其他值，LTD211x 将不执行任何操作。

11.4.1.3. I² C 速率模式

I² C 支持两种速率：标准模式(≤100 kHz)和快速模式(≤400 kHz)。LTD211x 兼容全部两种模式，标准或快速模式无需特殊设置。

11.4.2. 从设备操作

LTD211x 既可作为从接收器也可作为从发送器，但作为从设备时永远不驱动 SCL。

11.4.3. 接收模式

在从机接收模式中，主机首先发送 7 位器件地址与写位(R/W=0)。LTD211x 在 ACK 后，主机发送寄存器指针寄存器 Address Pointer 值，LTD211x 再次 ACK，然后主机写入两个字节数据，按高字节在前、低字节在后的顺序，LTD211x 对每个字节都应答。

11.4.4. 发送模式

在从发送模式中，主机发送 7 位地址并置读位(R/W=1)，LTD211x 在 ACK 后进入发送模式。随后，LTD211x 发送出指针寄存器所指寄存器的高字节，主机 ACK；再送出低字节，主机可通过 NACK 或发送 START/STOP 来结束读取。

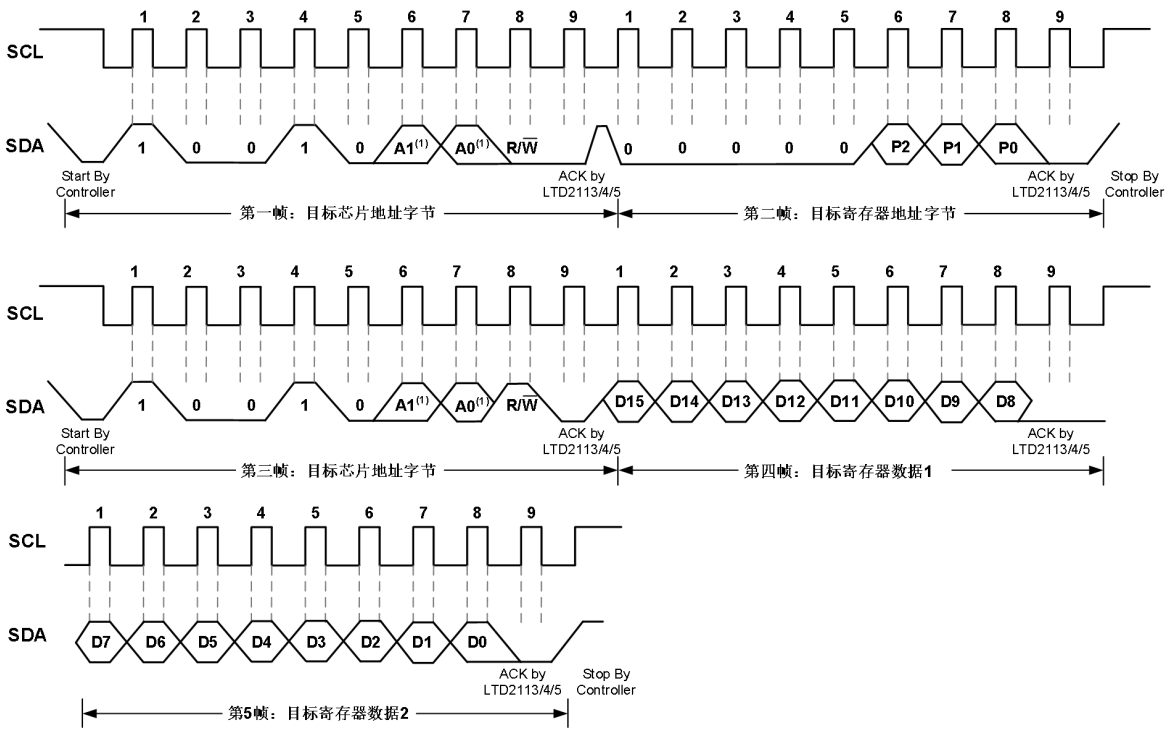
11.4.5. 寄存器读写

要访问 LTD211x 的特定寄存器，主机必须先将特定寄存器的地址指针写入指针寄存器(Address Pointer)的 P[2:0]位。该写操作包从机地址字节、写位以及从机应答。完成指针寄存器的写操作后，主机可发送 STOP 或重复 START。

读操作时，P[2:0]位中的先前值决定从读取哪个寄存器的值；若需要读取其他寄存器，必须重新对指针寄存器进行写操作。要写新值到 P[2:0]位，可在 START 后发送地址字节(写操作，R/W=0)与指针寄存器字节，不需数据字节即可 STOP。随后主机可发起新的 START，发送地址字节(读操作，R/W=1)开始读取，如所示图 16。

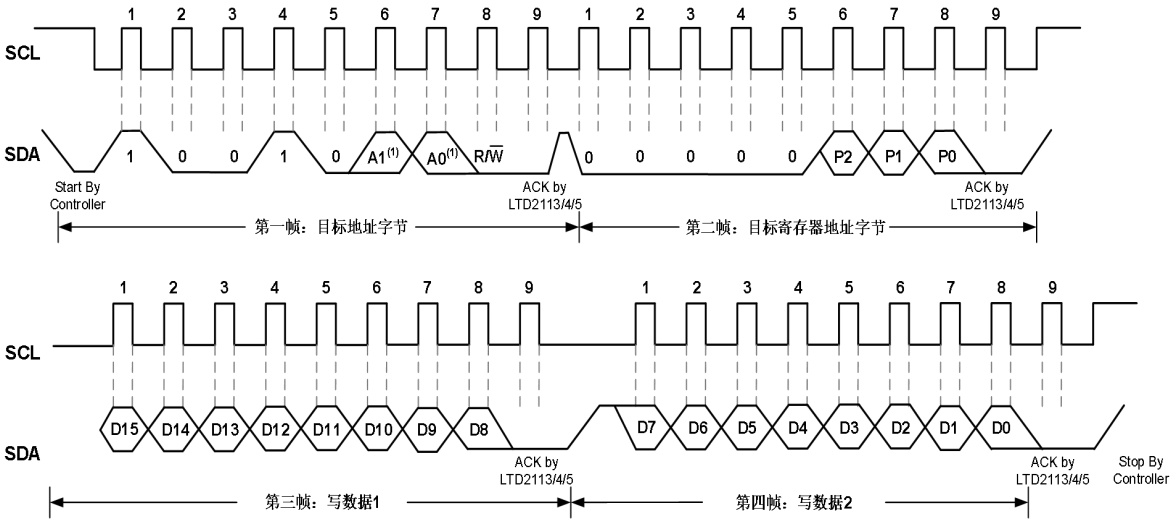
当连续从同一寄存器读取时，无需重复写指针寄存器；LTD211x 会保留 P[2:0]的值。然而，每次写操作都必须包含正确的寄存器指针值。

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.



(1) A0/A1由ADDR PIN脚设置，参考表9

图 16.LTD211x 读时序



(1) A0/A1由ADDR PIN脚设置，参考表9

图 17.LTD211x 写时序

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

11.4.6. 数据格式

LTD211x 以 16 位二进制补码格式输出转换结果。正满量程(+FS)输入对应输出码 7FFFh，负满量程(-FS)输入对应输出码 8000h。超过满量程的输入会被钳位至这两个码值。表 10 总结了不同输入信号的理想输出码，图 18 给出了输入电压与输出码的阶梯关系。

表 10.输入信号与理想输出码

输入信号 VIN=(V_{AINP}–V_{AINN})	理想输出码
≥+FS·(2^{15}–1)/2^{15}	7FFFh
+FS/2^{15}	0001h
0	0000h
–FS/2^{15}	FFFFh
≤–FS	8000h

(1) 不包含噪声、积分/微分非线性、失调及增益误差影响。

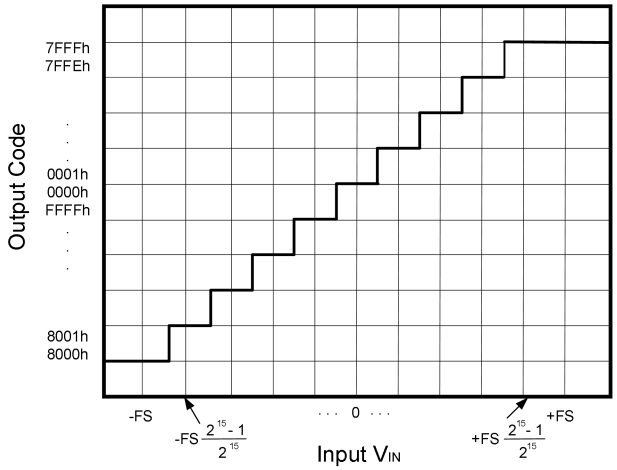


图 18.输出码转换曲线

11.5. 寄存器映射

LTD211X 共有 8 个寄存器，可通过 I² C 接口访问：Address Pointer、Conversion、Config、Turbo 以及用于比较器功能的 Lo_thresh 与 Hi_thresh(LTD2113 不含比较器，因此无阈值寄存器)和用于校准功能的 OFC 与 FSC。

在下述表格中：R/W=Read/Write；R=Read only；W=Write only；-n=value after reset。

为降低器件的待机功耗，不同工作模式下各寄存器的访问权限有所不同：

- 在单次转换/掉电模式(MODE = 1b)：Config、Lo_thresh 和 Hi_thresh 寄存器支持读写操作；OFC、FSC 和 Turbo 寄存器仅支持读取操作，写入操作将无效；
- 如需配置 OFC、FSC 或 Turbo 寄存器，应先将器件切换至连续转换模式(MODE = 0b)，再执行寄存器写入操作；
- OFC、FSC 和 Turbo 寄存器写入后，其数据会被保持；器件切换至单次转换/掉电模式后，已写入的数据不会丢失。

注意： 建议在器件初始化阶段进入连续转换模式，完成 OFC、FSC 和 Turbo 寄存器的配置后，再根据实际应用需求切换至单次转换/掉电模式。

11.5.1. Address Pointer 寄存器

通过写入 Address Pointer 寄存器来选择后续访问的寄存器，读写时序详见图 16 和图 17。

表 11.Address Pointer 寄存器结构

7	6	5	4	3	2	1	0
0	0	0	0	0	P[2:0]		
W-0h		W-0h	W-0h	W-0h	W-0h	W-0h	W-0h

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

表 12.Address Pointer 寄存器描述

位	字段	类型	复位	说明
7:3	保留	W	0h	必须写 0h
2:0	P[2:0]	W	0h	**寄存器地址指针：** 000b : Conversion 寄存器 001b : Config 寄存器 010b : Lo_thresh 寄存器 011b : Hi_thresh 寄存器 100b : OFC 寄存器 101b : FSC 寄存器 110b : Turbo 寄存器 111b : Reserved

11.5.2. Conversion 寄存器

16 位 Conversion 寄存器以二进制补码格式存储最近一次转换结果。上电后寄存器清零，直到第一次转换完成。

表 13.Conversion 寄存器结构

15	14	13	12	11	10	9	8
D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
R-0h	R-0h	R-0h	R-0h	R-0h	R-0h	R-0h	R-0h
7	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
R-0h	R-0h	R-0h	R-0h	R-0h	R-0h	R-0h	R-0h

表 14.Conversion 寄存器描述

位	字段	类型	复位	描述
15:0	D[15:0]	R	0000h	16 位转换结果

11.5.3. Config 寄存器

16 位 Config 寄存器用于设置工作模式、输入通道、数据速率、满量程以及比较器功能等。

表 15.Config 寄存器结构

15	14	13	12	11	10	9	8
OS	MUX[2:0]				PGA[2:0]		MODE
R/W-1h	R/W-0h				R/W-2h		R/W-1h
7	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
DR[2:0]			COMP_MODE	COMP_POL	COMP_LAT	COMP_QUE[1:0]	
R/W-4h			R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-3h	

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

表 16.Config 寄存器描述

位	字段	类型	复位	说明
15	OS	R/W	1h	**单次转换启动/状态：**用于指示并控制器件的工作状态。 仅可在掉电(待机)状态下写入，在器件转换期间写入将无效。 写入时： 0b：无操作 1b：启动一次单次转换（仅在掉电状态下有效） 读取时： 0b：器件当前正在进行转换 1b：器件当前未进行转换
14:12	MUX[2:0]	R/W	0h	**输入多路复用器配置：**仅适用于 LTD2115；对于 LTD2113 和 LTD2114，这些位不起作用。 000b : AINP = AIN0 and AINN = AIN1 (默认) 001b : AINP = AIN0 and AINN = AIN3 010b : AINP = AIN1 and AINN = AIN3 011b : AINP = AIN2 and AINN = AIN3 100b : AINP = AIN0 and AINN = GND 101b : AINP = AIN1 and AINN = GND 110b : AINP = AIN2 and AINN = GND 111b : AINP = AIN3 and AINN = GND
11:9	PGA[2:0]	R/W	2h	**可编程增益放大器配置：**用于设置可编程增益放大器(PGA)的满量程范围(FSR)；对于 LTD2113，这些位不起作用。 000b : FSR = ±6.144 V(1) 001b : FSR = ±4.096 V(1) 010b : FSR = ±2.048 V (默认) 011b : FSR = ±1.024 V 100b : FSR = ±0.512 V 101b : FSR = ±0.256 V 110b : FSR = ±0.256 V 111b : FSR = ±0.256 V
8	MODE	R/W	1h	**转换模式设置：** 0b：连续转换 1b：单次转换/掉电（默认）
7:5	DR[2:0]	R/W	4h	**数据转换速率设置：**可与 Turbo 寄存器 DR4 位共同设置 000b : 8 SPS 001b : 16 SPS 010b : 32 SPS 011b : 64 SPS 100b : 128 SPS (默认) 101b : 250 SPS 110b : 475 SPS 111b : 860 SPS
4	COMP_MODE	R/W	0h	**比较器模式：**用于配置比较器的工作模式 0b：传统比较器（默认） 1b：窗口比较器

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

位	字段	类型	复位	说明
3	COMP_POL	R/W	0h	**比较器极性：**用于控制 ALERT/RDY 引脚的极性 0b：低电平有效（默认） 1b：高电平有效
2	COMP_LAT	R/W	0h	**比较器锁存：**用于控制 ALERT/RDY 引脚被激活后是否保持锁存状态，或在转换结果处于上下阈值范围时是否清除锁存状态。 0b：比较器不锁存。ALERT/RDY 引脚激活时不会锁存(默认)。 1b：比较器锁存。激活的 ALERT/RDY 引脚将持续保持锁存状态，直至控制器读取转换数据或发送相应的 SMBus 警报响应；此时设备将返回器件地址(该地址即为当前激活 ALERT/RDY 总线线路的最低地址)。
1:0	COMP_QUE[1:0]	R/W	3h	**比较器触发计数及禁用功能：**该两位具有双重功能。 当设置为 11b：比较器被禁用且 ALERT/RDY 引脚处于高阻态； 当设置为其他值：ALERT/RDY 引脚与比较器功能均启用，该设定值设置需要连续超过上下限阈值的转换次数后才会触发 ALERT/RDY 引脚。 00b：每次转换后触发 01b：两次转换后触发 10b：四次转换后触发 11b：禁用比较器并将 ALERT/RDY 引脚设为高阻态（默认）

(1) 该参数定义了 ADC 的满量程范围。请勿向器件模拟输入端施加超过 VDD + 0.3 V 的电压。

11.5.4. Lo_thresh 与 Hi_thresh 寄存器

比较器的上下限阈值以二进制补码的格式存储在两个 16 位寄存器中。由于比较器位于 PGA 之后，当 PGA 设置改变时，应同步更新两个阈值寄存器的数值。

若要将 ALERT/RDY 引脚设置为转换就绪引脚功能，应将 Hi_thresh 的 MSB 置 1b，Lo_thresh 的 MSB 置 0b。若要启用比较器功能，则 Hi_thresh 必须恒大于 Lo_thresh。

表 17.Lo_thresh 寄存器结构

15	14	13	12	11	10	9	8
Lo_thresh15	Lo_thresh14	Lo_thresh13	Lo_thresh12	Lo_thresh11	Lo_thresh10	Lo_thresh9	Lo_thresh8
R/W-1h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h
7	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
Lo_thresh7	Lo_thresh6	Lo_thresh5	Lo_thresh4	Lo_thresh3	Lo_thresh2	Lo_thresh1	Lo_thresh0
R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h

表 18.Hi_thresh 寄存器结构

15	14	13	12	11	10	9	8
Hi_thresh15	Hi_thresh14	Hi_thresh13	Hi_thresh12	Hi_thresh11	Hi_thresh10	Hi_thresh9	Hi_thresh8
R/W-0h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h
7	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
Hi_thresh7	Hi_thresh6	Hi_thresh5	Hi_thresh4	Hi_thresh3	Hi_thresh2	Hi_thresh1	Hi_thresh0
R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h	R/W-1h

表 19.Hi_thresh/Lo_thresh 寄存器描述

位	字段	类型	复位	说明
15:0	Lo_thresh[15:0]	R/W	8000h	低阈值
15:0	Hi_thresh[15:0]	R/W	7FFFh	高阈值

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

11.5.5. OFC 寄存器

16 位 OFC 寄存器用于输出偏移校准。

表 20.OFC 寄存器结构

15	14	13	12	11	10	9	8
OFC[15:8]							
R/W-00h							
7	6	5	4	3	2	1	0
OFC[7:0]							
R/W-00h							

表 21.OFC 寄存器描述

位	字段	类型	复位	说明
15:0	OFC[15:0]	R/W	0000h	**偏移校准：** 二进制补码格式的 16 位字偏移校准。ADC 在满量程作之前从转换结果中减去偏移值。

11.5.6. FSC 寄存器

16 位 FSC 寄存器用于输出增益校准。

表 22.FSC 寄存器结构

15	14	13	12	11	10	9	8
FSC[15:8]							
R/W-40h							
7	6	5	4	3	2	1	0
FSC[7:0]							
R/W-00h							

表 23.FSC 寄存器描述

位	字段	类型	复位	说明
15:0	FSC[15:0]	R/W	4000h	**满量程增益校准：** 直接二进制格式的 16 位字满量程增益校准。ADC 将寄存器值除以 4000h，然后将结果乘以转换数据。缩放作用发生在 offset 作之后

11.5.7. Turbo 寄存器

16 位 Turbo 寄存器用于器件更多配置功能。

表 24.Turbo 寄存器结构

15	14	13	12	11	10	9	8
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
7	6	5	4	3	2	1	0
-	-	-	-	-	DR4	-	TS_MODE
-	-	-	-	-	R/W-0h	-	R/W-0h

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

表 25.Turbo 寄存器描述

位	字段	类型	复位	说明
15:3	-	-	0h	-
2	DR4	R/W	0h	**数据转换速率设置：**与 Config 寄存器 DR[2:0]配合共同设置数据转换速率 {DR4,DR[2:0]} DR4,DR[2:0] : 1000b (DR4=1/DR[2:0]=000) DR=2kSPS DR4,DR[2:0] : 1001b (DR4=1/DR[2:0]=001) DR=4kSPS DR4,DR[2:0] : 1010b~1111b / Reserved
1	-	-	0h	-
0	TS_MODE	R/W	0h	**温度测量模式开启/使能：** 0b : ADC 模式 (默认) 1 b : 温度测量模式

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

12. 应用与实现

12.1. 应用信息

以下小节给出 LTD211x 在不同场景下的示例电路与设计建议。

12.1.1. 基本连接

LTD2115 的典型 I² C 连接如图 19 所示。

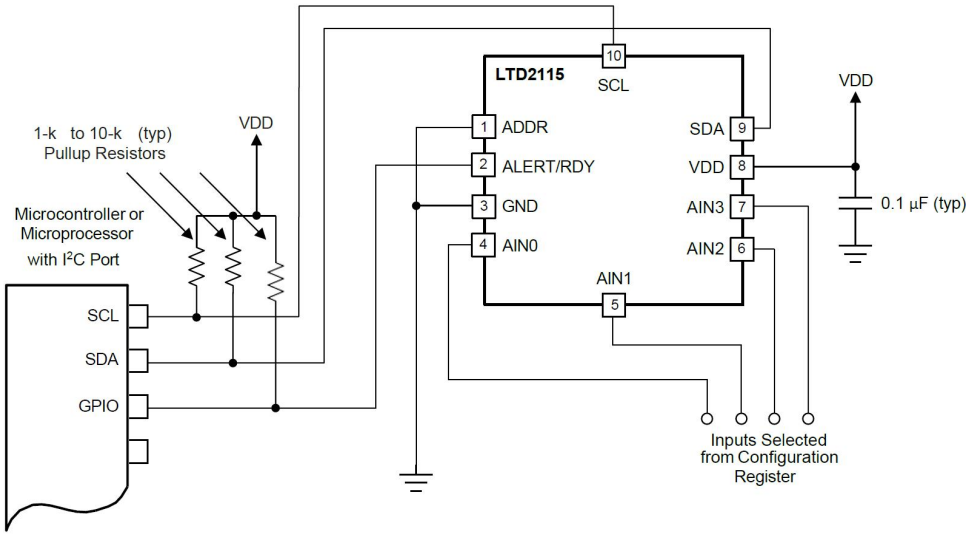


图 19.LTD2115 典型连接示例

LTD211x 的全差分输入非常适合与热电偶、热敏电阻等源阻抗适中偏低的差分信号源连接。虽然 LTD211x 能采集双极性差分信号，但两个输入端均不能接入负电压。在转换期间 LTD211x 会产生瞬时电流，推荐 0.1 µF 的电源去耦电容以提供瞬时电流。

LTD211x 接口兼容 I² C 标准及快速速率模式，但不支持时钟拉伸，永远不会主动拉低 SCL 线，仅当同总线上挂载其他带时钟拉伸功能的设备时，主机才需开启该功能。

I² C 为两线制开漏总线，SDA 和 SCL 信号线必须外接上拉电阻，上拉电阻值需结合总线容性与目标速率确定：较大阻值功耗低但限制上升沿、降低总线速率；较小阻值可支持更高速率，但功耗更高；长总线因电容较大，通常需选用较小的上拉电阻。

12.1.2. 单端输入

LTD2113 和 LTD2114 仅支持 1 路单端信号测量，需将 AIN1 接 GND 实现；LTD2115 可支持最多 4 路单端测量，通过配置寄存器的 MUX[2:0]位完成通道切换，对应单端连接方案如图 20。单端输入信号范围为 0 V 至正电源或+FS(二者较小值)，所有输入引脚对地仅支持正电压，不可接入负电压，LTD211x 在整个输入量程范围内均可保持良好的线性度。

LTD211x 的差分输入量程为±FSR，单端模式仅使用其一半动态范围。差分模式可最大化 ADC 动态范围，且相比单端模式具有更好的共模噪声抑制能力。

通过设置 MUX[2:0]位，LTD2115 还可将 AIN3 设为测量公共参考端，使 AIN0、AIN1、AIN2 以 AIN3 为参考点完成测量。该模式下允许输入负差分电压(满足 GND < V_{AIN3} < VDD 时)，相比普通单端模式拓展了可用量程，但不具备共模噪声抑制能力。

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

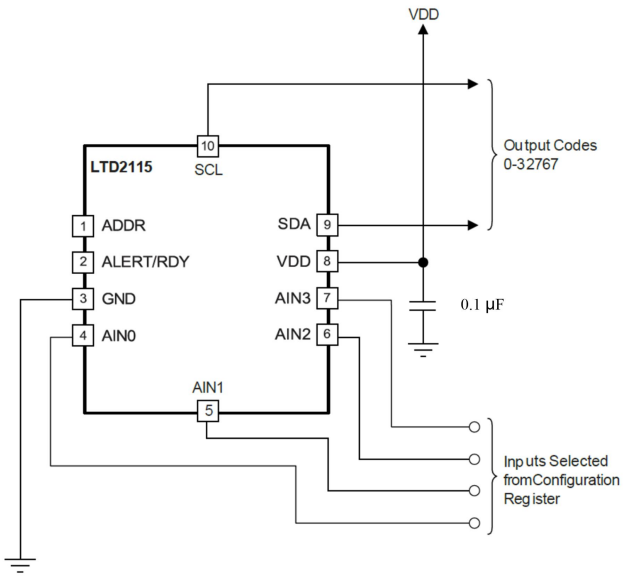


图 20.单端输入测量示例

12.1.3. 输入保护

LTD211x 采用低电压 CMOS 工艺，模拟输入端内置连接至电源轨的保护二极管。但该二极管的电流承载能力有限，若模拟输入电压长期超出电源轨约 300mV 以上，器件可能会发生永久性损坏。输入线路串联限流电阻是常用的过压防护方案，LTD211x 的模拟输入可承受最高 10mA 的持续电流。

12.1.4. 未用引脚处理

未使用的模拟输入可悬空，也可通过电阻接地或接 VDD；接地通常可降低泄漏电流。对 NC(未连接)引脚，可保留悬空或弱上拉至 VDD。若未使用 ALERT/RDY 引脚，可悬空或通过上拉电阻拉至 VDD。

12.1.5. 模拟输入滤波

模拟前端滤波可实现两点目的：

1. 在采样过程中限制混叠(Aliasing)现象；
2. 降低外部噪声参与测量结果。

当输入信号中包含高于采样频率一半(奈奎斯特频率)的分量时，这些分量会折叠回较低频率并落入感兴趣带宽，造成混叠。数字滤波器的幅频响应会在调制器频率 f_{MOD} 及其整数倍处周期性重复，如图 21 所示。若输入信号在这些重复点附近具有频率成分，这些成分将仅按数字滤波器衰减量削减，再次折入通带。因此，在模数转换器前加入外部模拟抗混叠滤波器十分必要。

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

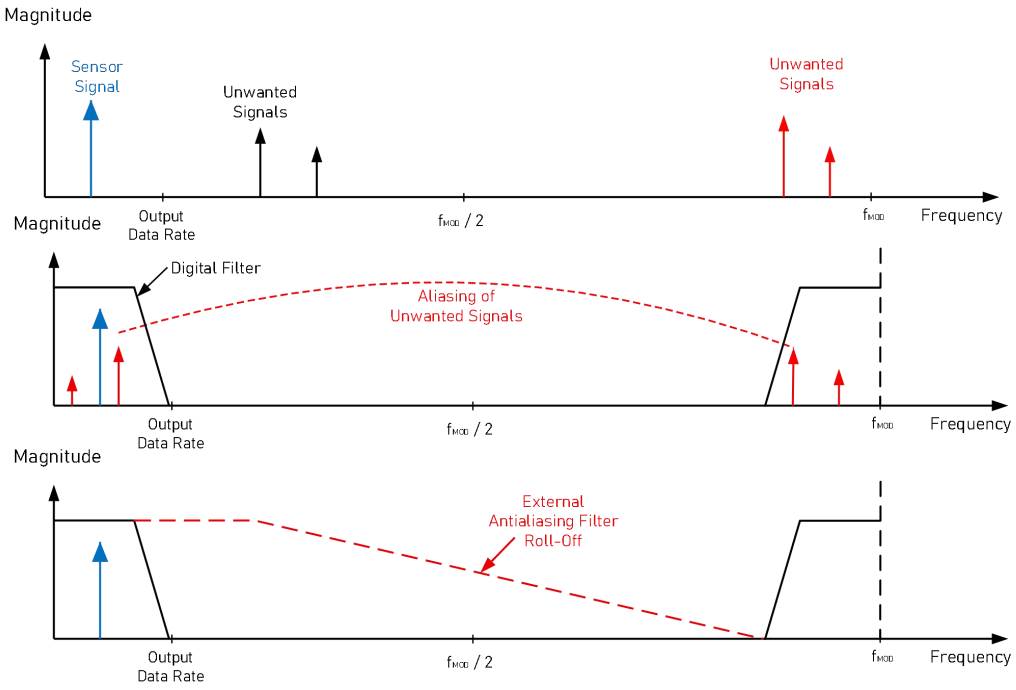


图 21.混叠效应示意图

许多传感器本身频率带宽有限，例如热电偶输出变化速率低，故本身不会混叠。然而，沿传感器连线的噪声可能折叠入通带，例如工频及其谐波、旁路电机、手机等产生的 EMI/RFI，或 PCB 上的时钟信号。模拟输入滤波可抑制这些非目标信号。

在大多数应用中，使用一阶 RC 滤波器即可显著抑制混叠：其截止频率一般选在输出数据速率或 10×输出数据速率。理论上任何高于 $f_{MOD}/2$ 的信号都会被 LTD211x 的数字滤波器衰减至噪底以下；因此 RC 滤波器主要用于抑制 $f_{MOD}/2$ 以内的外部噪声。

12.1.6. 多器件连接

在同一 I²C 总线上最多可挂载四颗 LTD211x 器件，每颗器件可通过 ADDR 引脚配置不同的 I²C 地址。优先选用 ADDR 接 GND、VDD 或 SCL 的地址方案，若选用 SDA 配置地址，I²C 通信时需在 SCL 拉低后，将 SDA 保持低电平至少 100 ns，以确保器件在通信期间被正确识别地址。

图 22 展示了四颗 LTD2115 并联在一条 I²C 总线的示例，单条总线上仅需一组上拉电阻，不过随着器件数量增加及走线变长，总线电容上升，可适当降低上拉电阻阻值以维持所需的信号上升沿速度。

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

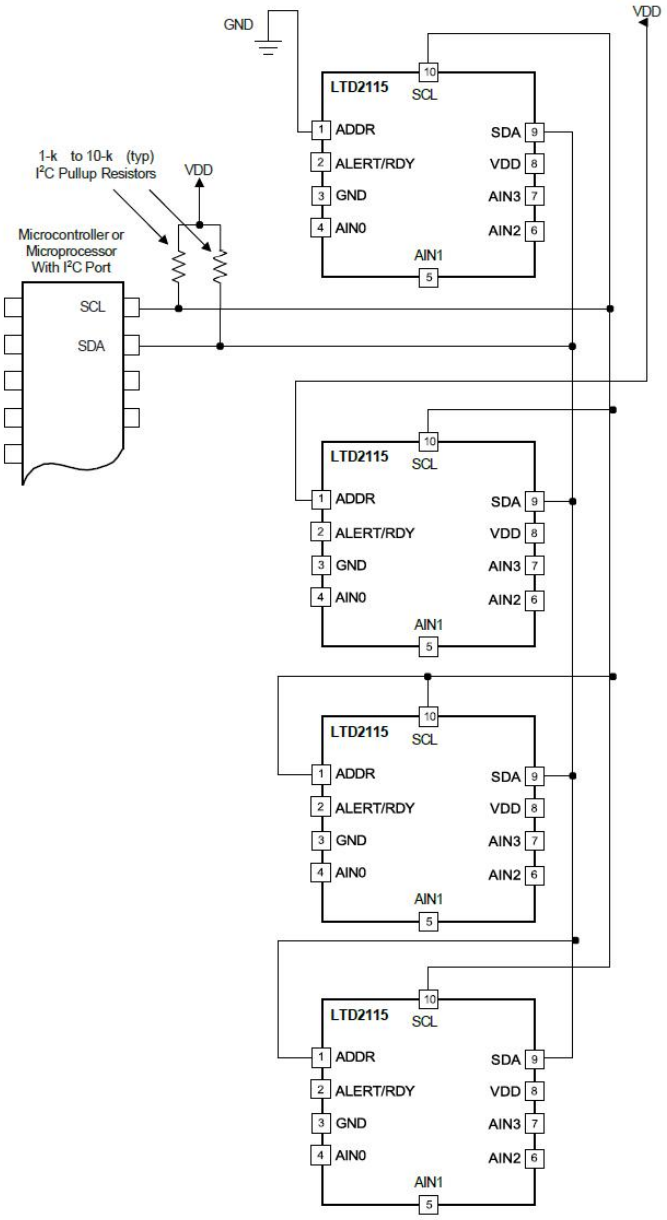


图 22.多颗 LTD211x 器件连接示例图

注：为简洁起见，图中省略了 LTD211x 的电源及输入连接；ADDR 引脚决定 I²C 地址。

12.1.7. 快速上手指南

本节给出 LTD211x 通信的简要示例。硬件包含：一颗 LTD211x(I² C 地址 1001000b)、带 I² C 接口的微控制器，以及若干分立元件(电阻、电容、串口连接器等)和 2 V ~ 5 V 供电，基本硬件连接如下图 23 所示。

LTD211x 通过 I² C 与主机(微控制器)通信。主机提供 SCL 时钟，SDA 用于数据传输；LTD211x 全程不会主动驱动 SCL。详细 MCU 编程与调试请参阅对应 MCU 数据手册。

通信流程：

1. 写 Config 寄存器(将器件设为连续转换模式)：
   - 第 1 字节：0b10010000 (7 位地址+写位 0)
   - 第 2 字节：0b00000001 (指针寄存器指向 Config)
   - 第 3 字节：0b10000100 (Config 高字节)
   - 第 4 字节：0b00000011 (Config 低字节)

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

2. 写 Address Pointer 寄存器(指向 Conversion)：
   -第 1 字节：0b10010000 (7 位地址+写位 0)
   -第 2 字节：0b00000000 (指针寄存器指向 Conversion)
3. 读 Conversion 寄存器：
   -第 1 字节：0b10010001 (7 位地址+读位 1)
   -第 2 字节：LTD211x 返回转换结果高字节
   -第 3 字节：LTD211x 返回转换结果低字节

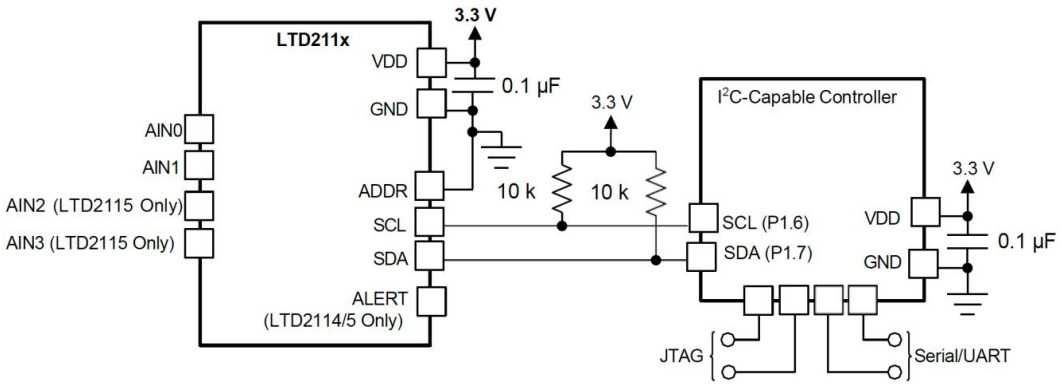


图 23.基本硬件配置示例图

注：图中省略 LTD211x 电源/输入连接，为简化示意；ADDR 引脚决定 I²C 地址。

12.2. 典型应用

基于分流电阻的电流检测方案被广泛用于监测负载电流。在低侧检流架构中，分流电阻的共模电压接近地，因此测量结果不受总线电压波动影响。图 24 展示了一个双向低侧电流检测系统的典型电路示例：通过采集分流电阻两端电压，并经过低漂移运算放大器进行放大与电压偏移后，送入 LTD2115 完成模数转换，并通过 I² C 接口传输至微控制器。该方案能够高精度测量流经分流电阻的双向电流。

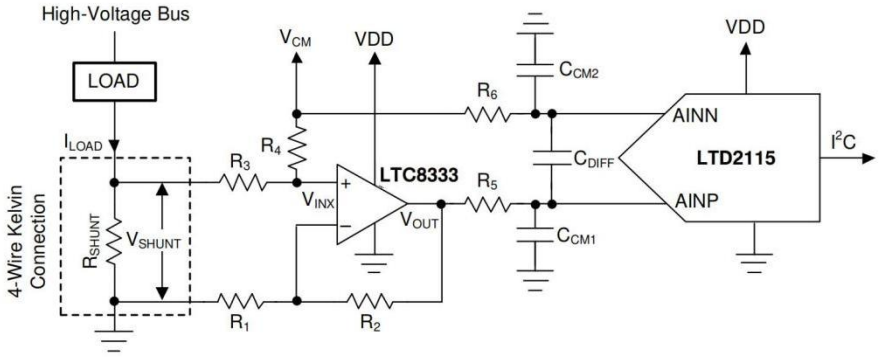


图 24.低侧电流分流监测电路图

12.2.1. 设计需求

表 26 给出了该应用的设计参数。

表 26.设计参数

设计参数	数值	单位
电源电压(VDD)	5	V
分流电阻电压(V_{SHUNT})	±50	mV
输出数据速率(DR)	≥200	次读数/秒
典型测量精度(T_A=25 °C)	±0.2	%

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

12.2.2. 详细设计步骤

电路第一级采用低漂移运算放大器构成非反相求和放大器，目的：

1. 将分流电阻两端的电压 V_{SHUNT}，通过共模电压 V_{CM} 完成电平偏移，实现单电源供电条件下的双向电流测量。运放同相输入端经偏移后的电压 V_{INX} 表达式如下：

$$V_{INX} = (V_{CM}*R_3 + V_{SHUNT}*R_4)/(R_3 + R_4)$$

2. 完成电平偏移后的电压信号 V_{INX}，由该电路实现增益$(1+R_2/R_1)$的同相放大，输出电压 V_{OUT} 表达式如下：

$$V_{OUT} = V_{INX}*(1+R_2/R_1)$$

若在图 24 中取 $R_1=R_3$，$R_2=R_4$，可将上述公式简化为：

$$V_{OUT} - V_{CM} = V_{SHUNT}*R_2/R_1 = V_{SHUNT}*R_4/R_3$$

RC 滤波器之后的 ADC 差分输入电压如上式所示，可根据所选电阻及共模电压计算。

12.2.2.1. 分流电阻选择

如图 24 所示，分流电阻 R_{SHUNT} 为串联接入负载回路的高精度采样电阻，若分流电阻两端的压降$|V_{SHUNT}|$占总线电压的比例过高，则会拉低系统整体效率；若$|V_{SHUNT}|$取值过低，则将对 ADC、运放及高精度电阻的选型提出更高的要求，同时需确保分流电阻两端的绝对电压不会超出运算放大器的输入共模电压范围的要求。

分流电阻的功耗会随回路电流上升而导致温升，为降低增益误差及温漂引入的测量误差，应选择低阻值低温漂高精度的分流电阻，并按图 24 所示采用四线制开尔文连接以消除走线电阻影响。

12.2.2.2. 运算放大器考虑

本设计示例对运放的要求：

- 单电源 5 V 供电
- 低输入失调电压(< 10 μV)与低漂移(< 0.5 μV/°C)
- 轨到轨输入/输出能力
- 低热噪声与 1/f 噪声
- 高共模抑制比(≥ 100 dB)

12.2.2.3. ADC 输入共模电压

共模电压 V_{CM} 由精密电阻 R_1、R_2、R_3、R_4 设定。当 $R_1=R_3$，$R_2=R_4$ 且 $V_{SHUNT}=0$ V 时，可得 $V_{OUT}=V_{CM}$。若将 V_{OUT} 连接至 ADC 正输入(A_{INP})，V_{CM} 接 ADC 负输入(A_{INN})，则 V_{CM} 作为 ADC 的共模电压。为充分利用 ADC 动态范围，可将 V_{CM} 置于 VDD/2 处；V_{CM} 可由分压器或缓冲运放产生。

12.2.2.4. 电阻(R1/R2/R3/R4)的选择

电阻 R_1~R_4 的比例与精度直接决定系统整体精度。忽略一阶 RC 滤波器影响时，差分 ADC 输入的失调项 $V_{OUT,OS}$ 与增益 A_{OUT} 分别由下式给出：

$$V_{OUT,OS} = V_{CM}\cdot(R_2/R_1-R_4/R_3)/(1+R_4/R_3)$$

$$A_{OUT} = (1+R_2/R_1)/(1+R_3/R_4)$$

若 $R_1=R_3$ 且 $R_2=R_4$，则 $V_{OUT,OS}=0$，共模电压仅用于抬升 V_{SHUNT} 而不会在 ADC 差分端引入误差。高精度电阻可获得更佳的共模抑制与增益精度。

12.2.2.5. 噪声与输入阻抗考虑

若 $v_{n,RS}$ 为所有电阻的输入参考均方根噪声，$v_{n,OP}$ 为运算放大器的输入参考噪声，$v_{n,ADC}$ 为 LTD2115 的输入参考噪声，则整个系统的等效输入噪声 Vn 可由如下公式估算：

$$V_n^2 = V_{n,RS}^2+V_{n,OP}^2+V_{n,ADC}^2/(1+R_2/R_1)^2$$

注意，运放增益级会抑制 ADC 自身噪声贡献 $v_{n,ADC}$。

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

12.2.2.6. 一阶 RC 滤波器考虑

尽管器件的数字滤波器可衰减高频噪声，但在 ADC 输入端使用一阶低通 RC 滤波器可进一步抑制带外噪声并避免混叠。R_5、R_6 与差分电容 C_{DIFF} 形成的差分 RC 滤波器，其−3 dB 截止频率 f_C 由下式给出：

$$f_C = 1/[2\pi*(R_5+R_6)*C_{DIFF}]$$

应限制滤波电阻总值低于 1 kΩ，以免输入电流在 R 上产生额外误差电压。

此外，在每条共模线上并联电容 C_{CM1} 与 C_{CM2}，用于抑制高频共模噪声；应选择一个差分电容 C_{DIFF}，其值至少比 C_{CM} 大一个数量级(10×)，以防共模噪声由于电容不匹配转换为差分噪声。

12.2.2.7. 电路实现

表 27 列出了本设计选择的器件参数。

表 27.器件参数

参数	数值
V_{CM}	2.5 V
ADC 满量程(FSR)	±0.256 V
输出数据速率	250 SPS
R1,R3	1 kΩ(1 %精密电阻)
R2,R4	5 kΩ(1 %)
R5,R6	100 Ω(1 %)
C_{DIFF}	0.22 µF
C_{CM1},C_{CM2}	0.022 µF

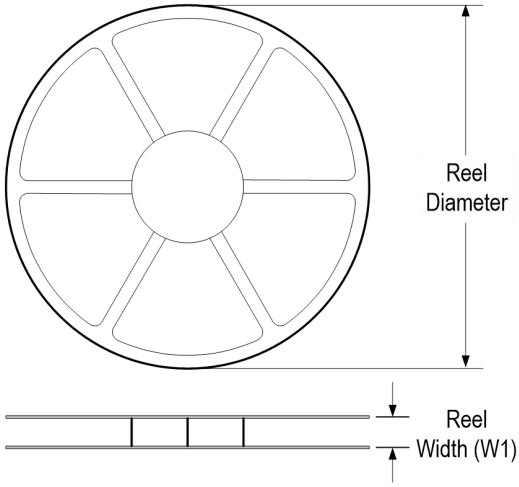
当 V_{SHUNT} 在−50 mV 至+50 mV 范围内变化时，ADC 输入端将得到−0.250 V 至+0.250 V 的差分电压，因此 FSR 设为±0.256 V 以最大化利用 ADC 动态测量范围。差分 RC 滤波器及共模 RC 滤波器的−3 dB 截止频率分别约为 3.6 kHz 与 0.36 kHz。

R_{SHUNT} 通常取 0.01 mΩ至 100 mΩ。若 R1=R3=1 kΩ，可在电路输入阻抗与电阻噪声之间取得良好折中，其等效输入噪声与前述噪声/输入阻抗分析一致。共模电压 V_{CM} 由一个简单分压网络并经缓冲运放产生，值为 2.5 V(5 V 电源的一半)。

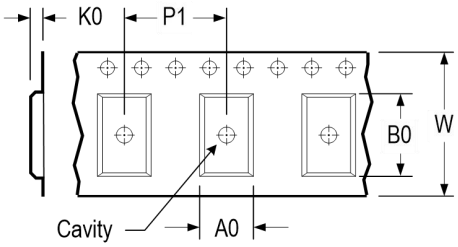
CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

13. 编带和卷轴信息

REEL DIMENSIONS

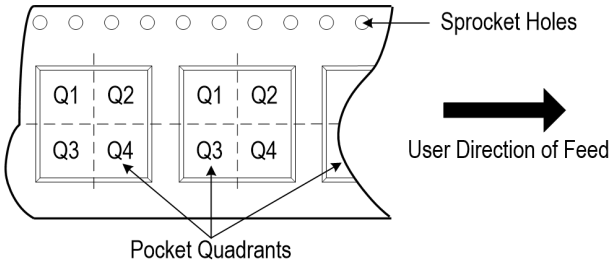


TAPE DIMENSIONS



A0	Dimension designed to accommodate the component width
B0	Dimension designed to accommodate the component length
K0	Dimension designed to accommodate the component thickness
W	Overall width of the carrier tape
P1	Pitch between successive cavity centers

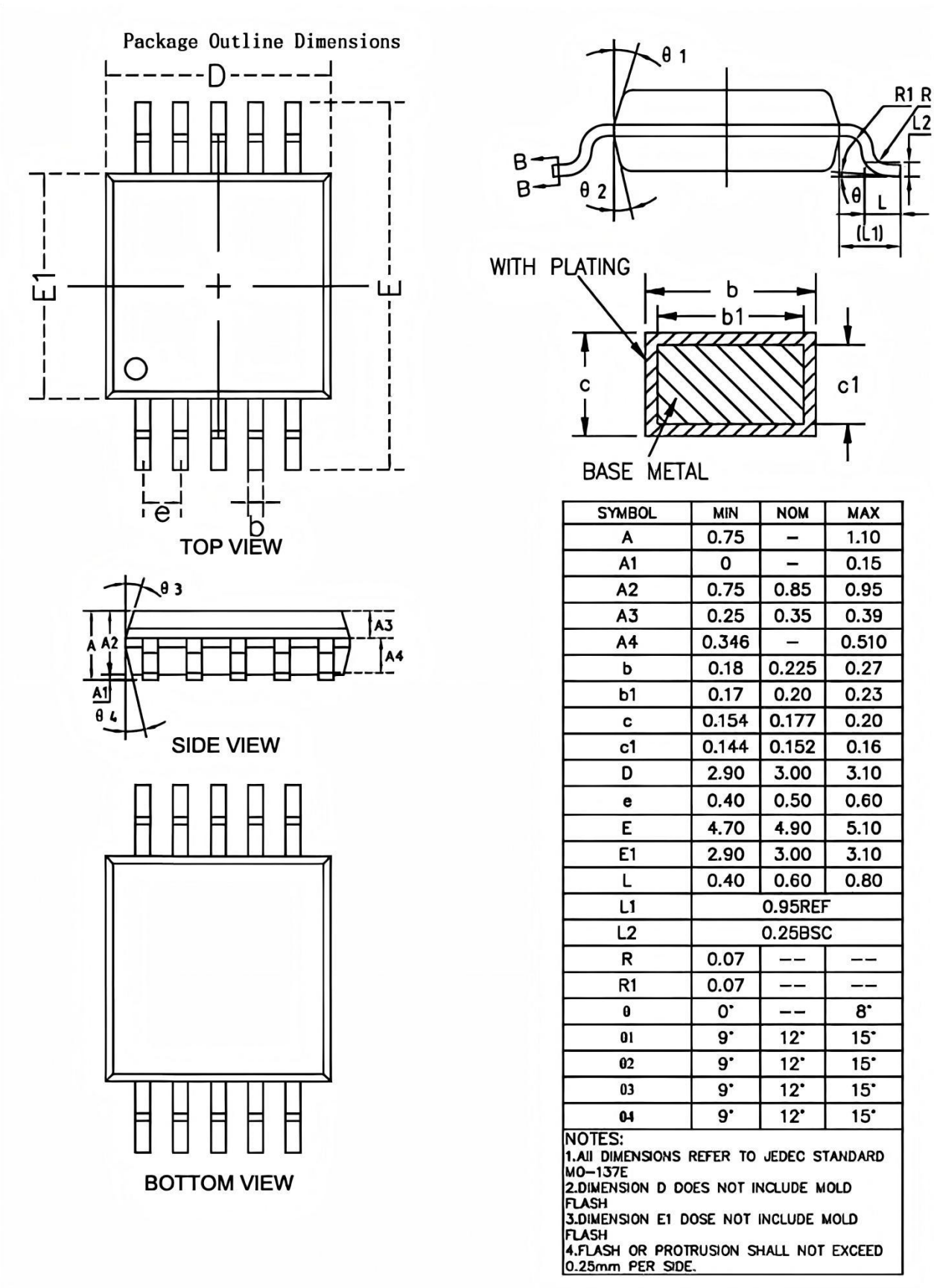
QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIETATION IN TAPE



Device	Package Type	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin 1 Quadrant
LTD2113XV10/R6	MSOP	10	3000	330	12.5	6.6	5.3	2.0	8.0	12.0	Q1
LTD2114XV10/R6	MSOP	10	3000	330	12.5	6.6	5.3	2.0	8.0	12.0	Q1
LTD2115XV10/R6	MSOP	10	3000	330	12.5	6.6	5.3	2.0	8.0	12.0	Q1

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

14. 封装信息



SYMBOL	MIN	NOM	MAX
A	0.75	–	1.10
A1	0	–	0.15
A2	0.75	0.85	0.95
A3	0.25	0.35	0.39
A4	0.346	–	0.510
b	0.18	0.225	0.27
b1	0.17	0.20	0.23
c	0.154	0.177	0.20
c1	0.144	0.152	0.16
D	2.90	3.00	3.10
e	0.40	0.50	0.60
E	4.70	4.90	5.10
E1	2.90	3.00	3.10
L	0.40	0.60	0.80
L1	0.95REF		
L2	0.25BSC		
R	0.07	--	--
R1	0.07	--	--
θ	0°	--	8°
θ1	9°	12°	15°
θ2	9°	12°	15°
θ3	9°	12°	15°
θ4	9°	12°	15°

NOTES:
1.All DIMENSIONS REFER TO JEDEC STANDARD MO-137E
2.DIMENSION D DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH
3.DIMENSION E1 DOSE NOT INCLUDE MOLD FLASH
4.FLASH OR PROTRUSION SHALL NOT EXCEED 0.25mm PER SIDE.

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

15. 说明

Linearin 是一家全球性的无晶圆厂半导体公司，专注于先进的高性能高质量模拟/混合信号 IC 产品及传感器解决方案。公司致力于创新高性能、模拟密集型传感器前端产品及模块化传感器解决方案，应用于医疗与可穿戴设备、智能家居、物联网传感、智能工业与智能工厂(工业 4.0)以及汽车等多个市场。Linearin 的产品系列包括广泛使用的标准目录产品、基于解决方案的应用特定标准产品(ASSP)以及传感器模块，这些产品能够帮助客户实现更快的产品上市速度。欲了解 Linearin 产品系列的完整清单，请访问：http://www.linearin.com。

欲获取更详细的产品信息或完整数据表，敬请与 Linearin 的销售部或代表联系。

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.Linearin and designs are registered trademarks of Linearin Technology Corporation.© Copyright Linearin Technology Corporation. All Rights Reserved.All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.