

产品特性

模拟性能

160 kSPS、16位、精密模数转换器(ADC)

4条专用电压测量通道

8条电流测量通道

阻抗测量引擎

高精度基准电压源

电源噪声抑制滤波

超低泄漏可配置开关矩阵

12位数模转换器(DAC)

精密仪表放大器控制环路

6通道CapTouch控制器

温度传感器

模拟硬件加速器

自带模拟前端(AFE)控制器

用于AFE功能的独立序列器

直接数字频率合成器(DDS)/任意波形发生器

接收滤波器

复阻抗测量(DFT)引擎

处理

16 MHz ARM Cortex-M3处理器

384 kB嵌入式Flash存储器

32 kB系统SRAM

16 kB Flash配置为EEPROM

集成式全速USB2.0控制器和PHY

多层高级微控制器总线结构

(AMBA)总线矩阵

中央直接存储器访问(DMA)控制器

实时时钟(RTC)

通用、唤醒和看门狗定时器

通信

输入/输出

I²S和蜂鸣器接口

LCD显示控制器(并行和串行)

LCD分段控制器

SPI、I²C和UART外设接口

可编程GPIO

电源

兼容纽扣电池

有源测量范围: 2.5 V至3.6 V

电源管理单元(PMU)

上电复位(POR)和电源监控器(PSM)

封装和温度范围

工作温度范围: -40°C 至+85°C

封装: 120引脚、8 mm × 8 mm CSP_BGA

应用

护理诊断

用于监护生命体征的穿戴式设备

电流、电压、阻抗测量

功能框图

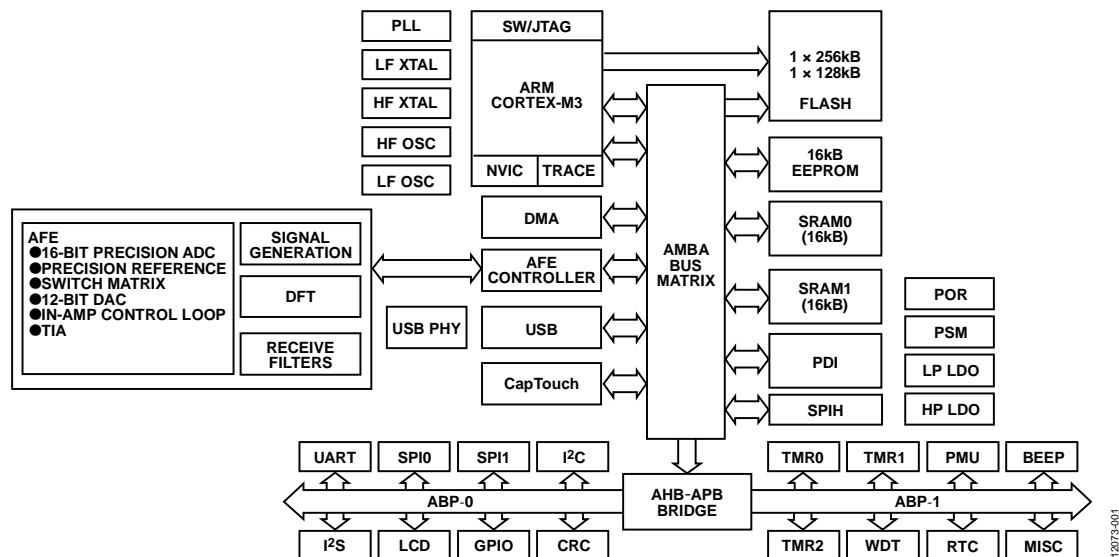


图1.

Rev. A

Document Feedback

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 ©2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved.
Technical Support www.analog.com

ADI中文版数据手册是英文版数据手册的译文，敬请谅解翻译中可能存在的语言组织或翻译错误，ADI不对翻译中存在的差异或由此产生的错误负责。如需确认任何词语的准确性，请参考ADI提供的最新英文版数据手册。

目录

产品特性	1	典型性能参数	25
应用	1	模拟前端	30
功能框图	1	激励级	30
修订历史	2	测量级	32
概述	3	AFE控制	33
规格	4	CapTouch特性	33
模拟前端规格	4	微型子系统	34
开关矩阵规格	5	存储器	34
跨阻放大器规格	6	调试能力	34
ADC规格	6	可编程GPIO	34
温度传感器规格	6	定时器	34
CapTouch	6	USB	34
基于DFT的阻抗测量	7	电源管理和时钟	35
数字平台	7	显示选项	35
系统时钟/定时器	10	音频选项	36
电源管理规格	12	开发支持	37
涓流充电器	12	文档	37
时序特性	13	硬件	37
绝对最大额定值	19	软件	37
热阻	19	封装和订购信息	38
ESD警告	19	外形尺寸	38
引脚配置和功能描述	20	订购指南	38

修订历史

2014年5月 — 修订版A：初始版

概述

ADuCM350是一款完整的、纽扣电池供电的、高精密片上计量仪，适合便携式设备应用，例如护理点诊断和用于监护生命体征的穿戴式设备。ADuCM350针对高精密电流测量、电压测量和阻抗测量功能而设计。

ADuCM350模拟前端(AFE)集成下列元件：16位、精密、160 kSPS模数转换器(ADC)；0.17%精密基准电压源；12位无失码数模转换器(DAC)；以及可重配置超低泄漏开关矩阵。ADuCM350还内置一个基于ARM® Cortex-M3的处理器、

存储器 and 所有I/O连接，因而可支持带显示器、USB通信和有源传感器的便携式计量仪。ADuCM350采用120引脚、8 mm × 8 mm CSP_BGA封装，工作温度范围为-40°C至+85°C。

为支持极低的动态和休眠电源管理，ADuCM350提供一系列电源模式和功能，例如动态和软件控制时钟门控与电源门控。

AFE通过高级微控制器总线架构(AMBA)矩阵上的高级高性能总线(AHB)从机接口以及直接存储器访问(DMA)和中断连接，实现与ARM Cortex-M3的连接。

ADuCM350

规格

所有特性表征在VCCM = 2.5 V至3.6 V下完成，低于2.5 V的规格数据仅针对功能性而言；除非另有说明，所有最小值和最大值规格均针对-40°C至+85°C温度范围。

模拟前端规格 AFE LDO规格

表1. AFE LDO规格

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
电压					
输出电压	1.71	1.8	1.89	V	在负载电容(C_{LOAD}) = 0.47 μ F的情况下测量；在AVDD_RX/TX上具有1 mA负载电流的情况下测量；所有AFE模块掉电
压差		150	200	mV	施加10 mA负载；未使能AFE模块
调整率					
线路		1080		μ V/V	施加10 mA负载
负载		0.65		mV/mA	施加10 mA负载
上电					
上电时间		500		μ s	在 C_{LOAD} = 0.47 μ F的情况下测量；限流使能

高精度内部基准电压源规格

表2. 高精度内部基准电压源规格

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
ADC V_{REF}					
基准电压源初始精度 ¹	1.797	1.8	1.803	V	0°C至50°C温度范围
	1.79	1.8	1.803	V	-40°C至+85°C温度范围
输出阻抗			570	m Ω	LDO和基准电压源使能；所有其他AFE模块禁用；在基准电压源的VREF引脚上施加50 μ A
温度系数 ²	-52		+90	ppm/°C	在-40°C至+85°C温度范围内，最大额定值的温度范围为-40°C至+25°C，以及+25°C至+85°C
	-45		+48	ppm/°C	在0°C至50°C温度范围内，最大额定值的温度范围为-40°C至+25°C，以及25°C至85°C
VREF热滞		50		ppm	
REF_EXCITE开关负载	1.789	1.793	1.797	V	I_{LOAD} = 200 μ A；内部ADC测量值
电压调整率		50		μ V/V	V_{CCM1} = 2.5 V， V_{CCM2} = 3.6 V；基准电压源上施加300 μ A
短路电流至地		10		mA	限流关
DAC V_{REF}					
基准电压	1.77	1.8	1.83	V	
VBIAS					
VBIAS电压	1.095	1.1	1.102	V	在 C_{LOAD} = 0.47 μ F的情况下测量；无负载电流

¹ 基准电压经调整，未加载。在 C_{LOAD} = 4.7 μ F的情况下测量。在25°C时测量。

² 通过设计和/或特性保证。

DAC/RCF/PGA规格

表3. DAC/PGA/RCF规格

参数 ¹	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
DAC					
输出范围	-600		+600	mV	对传感器而言
分辨率			12	位	
积分非线性(INL)		±0.85		LSB	在激励环路的输出端测得，使用增益为1和默认DAC时钟(16 MHz ÷ 49 DAC时钟速度)
差分非线性(DNL)	-1		+1	LSB	在激励环路的输出端测得，使用增益为1和默认DAC时钟(16 MHz ÷ 49 DAC时钟速度)
满量程误差					
正		±0.2		% FSR	PGA(增益 = 1)，在激励环路的输出端测得，DAC代码 = 0xE00
		±1		% FSR	PGA(增益 = 0.025)，在激励环路的输出端测得，DAC代码 = 0xE00
负		±0.2		% FSR	PGA(增益 = 1)，在激励环路的输出端测得，DAC代码 = 0x200
		±1		% FSR	PGA(增益 = 0.025)，在激励环路的输出端测得，DAC代码 = 0x200
失调误差，中间电平		±1		mV	PGA(增益 = 1或增益 = 0.025)，在RCAL两端的激励环路输出端测得
时钟频率	280.7	320	380.95	kHz	
可编程增益放大器(PGA)					
状态0下的PGA增益		1			包含在DAC满量程误差内，在激励环路的输出端测得
状态1下的PGA增益		0.025			包含在DAC满量程误差内，在激励环路的输出端测得
重构滤波器(RCF)					
3 dB转折频率		50		kHz	

¹ 某些系统失调和增益误差可在系统级校准，以改善直流精度。因此，DAC输出端的电压摆幅为±800 mV，以保证传感器上的摆幅为±600 mV。

开关矩阵规格

表4. 开关矩阵规格

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
R _{ON} ¹					
载流开关					
Dx、DR1、Tx和TR2		40	50	Ω	
IVS		40	75	Ω	
非载流开关					
P	600		900	Ω	
PR1	600		950	Ω	
NL	260		350	Ω	
PL	210		260	Ω	
直流关断泄漏 ²					
T和N开关		370		pA	四个T开关和四个N开关之和
P开关		340		pA	四个P开关之和
D开关		350		pA	四个D开关之和

ADuCM350

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
直流开启泄漏 ²					
T、N和P开关		530		pA	25个开关之和，包括NL
D开关		340		pA	八个开关之和

¹ R_{ON} 采用0V至VCCM的电压扫描进行特性表征。在1.8V电压下执行生产测试。

² 参考图38。AFE x引脚驱动至0.2V。

跨阻放大器规格

表5. 跨阻放大器规格

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
跨阻放大器					
最大吸电流/源电流		±5		mA	确保选择R _{TIA} ，以产生±750 mV摆幅，实现最优线性度性能
短路保护功能		10		mA	

ADC规格

表6. ADC规格¹

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
模数转换器					
输入范围	0.35		1.85	V	内部基准电压源
无失码		16		位	
DNL		±0.9		LSB	160 kSPS，相对于±750 mV最优电压范围，从0°C到50°C
INL		±0.7		LSB	
		±1		LSB	
抽取后的采样速率		160		kSPS	
3 dB带宽		54		kHz	

¹ R_{TIA} = 7.5 kΩ, C_{TIA} = 220 pF; ±100 μA电流测量。

温度传感器规格

表7. 温度传感器规格

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
温度传感器					
精度		±1		°C	0°C
		±2		°C	-40°C

CapTouch

表8. CapTouch规格

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
CapTouch™特性					
内核分辨率		14		位	1 kHz测试音，ADC输入范围 = 1.8 V
内核SNR	60			dB	
CAPT_x		±10		nA	GPIO泄漏测试
更新速率	7.5		1E6	μs	可编程，与配置有关
每个传感器更新速率	7.5			μs	未使能滤波，时钟 = 16 MHz
CAPT_x输入范围		±8		pF	ΔC _{IN} 可通过寄存器编程，范围为0.5 pF至9.3 pF
CAPT_x失调(CapDAC)范围		75		pF	

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
CapDAC分辨率		0.1		pF	
输出噪声					
峰峰值		8		代码	
有效值		1.3		代码	

基于DFT的阻抗测量

表9. 基于DFT的阻抗测量¹

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
阻抗					
精度 ²					
幅度			0.33	%	与Z百分比的标准偏差
相位			0.17	度	与Z的标准偏差
精度 ³					
幅度			0.17	%	与Z百分比的标准偏差
相位			0.08	度	与Z的标准偏差

¹ Z为181 Ω(0.02%容差电阻)。激励频率 = 20 kHz, 正弦幅度 = 9 mV_{RMS}, R_{CAL} = 1 kΩ, R_{TIA} = 7.5 kΩ, C_{TIA} = 220 pF。25°C时测量。单DFT测量。

² 1000个器件的器件间可重复性。

³ 单个器件, 可重复测量。

数字平台

数字LDO

表10. 数字LDO规格

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
输出电压	1.71	1.8	1.89	V	在C _{LOAD} = 0.47 μF的情况下测量; 在DVDD上施加10 mA负载电流的情况下测量
压差		150	200	mV	施加10 mA负载; 未使能AFE模块
调整率					
线路		1.4		mV/V	DVDD上的负载电流为10 mA
负载		0.41		mV/mA	负载电流: 0 mA至10 mA
上电时间		42		μs	从LDO使能到LDO电压处于规格内的时间, C _{LOAD} = 0.47 μF, 调节器无负载

低功耗LDO

表11. 低功耗LDO规格

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
输出电压	1.71	1.8	1.89	V	
调整率					
线路		0.45		mV/V	VCCM = 2.0 V至3.6 V
负载		28.5		mV/mA	0 μA至100 μA负载

ADuCM350

Flash/通用Flash

表12. Flash/通用Flash规格

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
FLASH/GP FLASH					
耐久性 ¹	20,000			周期	
擦除时间		20		ms	1.8 V时
编程时间		20		μs	1.8 V时
数据保持 ²		100		年	低于室温

¹ 耐久性是根据JEDEC标准22方法A117认定为10,000个周期，并分别在-40°C、+25°C和+125°C测得。在25°C时的典型耐久性为170,000个周期。

² 根据JEDEC标准22方法A117，保持期限相当于结温(T_j) = 85°C时的寿命。保持期限会随着结温递减。

数字输入/输出：额定温度

引脚电源电压额定值范围为2.5 V至3.6 V。

表13. 数字输入和输出¹规格

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
引脚电源	2.5	3	3.6	V	
阻抗					
下拉		20		kΩ	I _{SINK} < 10 μA
上拉		15		kΩ	I _{SOURCE} < 10 μA
内部上拉/下拉使能泄漏 ²		200		μA	
数字I/O漏电流		.01	1	μA	
输入电容		10		pF	
输入电压					
低电平(V _{INL})			0.3 × 引脚电源	V	
高电平(V _{INH})	0.7 × 引脚电源			V	
输出电压					
低电平(V _{OL})			0.4	V	I _{SINK} = 1.0 mA
V _{OL} 高电平驱动		0.4		V	I _{SINK} = 1.6 mA
高电平(V _{OH}) ³	引脚电源 - 0.4			V	I _{SOURCE} = 1.0 mA
V _{OH} 高电平驱动		2.4		V	I _{SOURCE} = 1.6 mA

¹ 包括GPIO、调试、SPI、I²C、PDI、LCD、I²S和蜂鸣器。

² 带上拉电阻的凸点/引脚详情见表35。

³ I²C不输出高电压；它使用外部上拉电阻。

数字输入/输出：功能型

功能引脚电源电压范围为1.65 V至2.5 V。

表14. 数字输入/输出：功能规格

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
引脚电源	1.65		2.5	V	
输入电压					
低电平(V _{INL})		0.3 × 引脚电源		V	
高电平(V _{INH})		0.7 × 引脚电源		V	
输出电压					
低电平(V _{OL})		0.45		V	I _{SINK} = 1.0 mA
高电平(V _{OH}) ¹		引脚电源 - 0.5		V	I _{SOURCE} = 1.0 mA

¹ I²C不输出高电压；它使用外部上拉电阻。

通用串行总线调节器规格

表15. 通用串行总线调节器规格

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
串行总线调节器					
输入电压范围	3.6		5.25	V	
调节输出电压	3.2		3.4	V	
压差		440		mV	连续电流: 40 mA
调整率					
线路		0.0043		%/V	4.5 V至5.5 V
负载		0.0093		%/mA	5 V时, 220 nF陶瓷去耦电容
上电时间		37		μs	

通用串行总线直流规格

表16. 通用串行总线直流规格

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
接收器					
单端输入电压(驱动)					
高电平	2.0			V	
低电平			0.8	V	
差分接收器输入					
共模	0.8		2.5	V	
灵敏度	0.2			V	V(USB DP) – V(USB DM)
发射器					
输出电压					
低电平(V_{OL})	0		0.3	V	上拉电阻置位USB引脚, USB DP, R_{PU} 至AVDD
高电平(V_{OH})	2.8		3.6	V	下拉电阻置位USB DP和USB DM(15 kΩ至GND)
驱动器输出阻抗	28		44	Ω	$R_{DRIVER} + R_{SERIES}$
串联电阻		40		Ω	
上拉电阻(D+ 高电平)	1.425	1.5	3.095	kΩ	终端电压 = USB调节器电压
上拉电阻(D+ 低电平)	0.9		1.575	kΩ	终端电压 = USB调节器电压
下拉电阻	14.25	15	24.8	kΩ	

通用串行总线交流规格

符合USB 2.0兼容性电气测试标准。

表17. 通用串行总线交流规格

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
全速驱动器时序					$C_{LOAD} = 50$ pF
采样速率	11.988	12		MHz	
输出时间					
上升	4		20	ns	$V_{OH} - V_{OL}$ (10%至90%), $C_{LOAD} = 50$ pF
下降	4		20	ns	$V_{OH} - V_{OL}$ (10%至90%), $C_{LOAD} = 50$ pF
上升和下降匹配	90		111.1	%	不包括空闲状态的转换
输出电压交越	1.3		2.0	V	不包括空闲状态的转换
全速抖动					$C_{LOAD} = 50$ pF
驱动器抖动已生成	-2		+2	ns	下一转换
	-1		+1	ns	成对转换
负载电容			50	pF	测试压摆率

ADuCM350

LCD、电荷泵

表18. LCD、电荷泵规格

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
电容					
VLCDVDD和VLCD_GND之间的 储能电容	0.47	1		μF	
飞跨电容	2.2		4.7	nF	VLCD FLY1和VLCD FLY2之间
VLCD					
开关电压					
VLCD FLY1	-0.7		VLCD + 0.2	V	飞跨电容顶端
VLCD FLY2	0		VCCM	V	飞跨电容底端
VLCD电荷泵开关频率		32		kHz	
相对VCCM_ANA和VCCM_DIG的 最小VLCD	2.1			V	若在62.5 ms后小于2.1 V，则表示故障条件
VLCDVDD					
VLCDVDD电压范围	2.4		3.65	V	5位可编程，步进为40 mV
VLCDVDD引脚泄漏		3		nA	至VCCM
		0.2		nA	至GND
VLCDVDD启动时间		5		ms	VLCDVDD = 0 V至3.6 V，电阻 = 1 μF， 飞跨电容 = 2.2 nF(最小值)和4.7 nF(最大值)
VLCDVDD电压调整率		0.32		%	
V_LCD_xx电压范围					
V_LCD_13电压范围	VLCD ÷ 3 - 10		VLCD ÷ 3 + 10	mV	
V_LCD_23电压范围	2/3 VLCD - 13		2/3 VLCD + 13	mV	
COMx引脚					
段和COMx引脚上的直流电压			50	mV	
引脚输出阻抗					
段		2000		Ω	
一般		130		Ω	

系统时钟/定时器

下表记录了ADuCM350的系统时钟规格。

平台外部晶振

表19. 平台外部晶振规格

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
低频					
C _{EXT1} = C _{EXT2}	12	15	18	pF	外部电容，C1 = C2(对称负载)
频率		32,768		Hz	
高频					
C _{EXT1} = C _{EXT2}	10	12	15	pF	外部电容
频率		8或16		MHz	

片内RC振荡器

表20. 片内RC振荡器规格

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
高频RC振荡器					
频率		16		MHz	
精度	-5		+5	%	
启动时间		35		μs	
低频RC振荡器					
频率		32,768		Hz	
精度	-20		+20	%	
启动时间		980		μs	

PLLs

表21. PLL规格

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
系统PLL					
输入频率	8	16		MHz	
输出频率		16	32	MHz	
频率误差			2500	ppm	
RMS抖动			92	ps	32 MHz时, 外部XTAL
USB PLL					
输入频率	8	16		MHz	
输出频率	16		60	MHz	16 MHz输入
频率误差			2500	ppm	
周期抖动			68	ps	60 MHz时, 外部XTAL

看门狗、唤醒和通用定时器

表22. 看门狗、唤醒和通用定时器规格

参数 ¹	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
看门狗定时器					
超时时间					
最短		0.03		ms	32,768 Hz时钟, 预分频 = 1
最长		8191		sec	32,768 Hz时钟, 预分频 = 4096
唤醒定时器					
超时时间					
最短		62.5		ns	16 MHz时钟, 预分频 = 1
最长		136		年	32,768 Hz时钟, 预分频 = 32,768
通用定时器 × 3					
超时时间					
最短		62.5		ns	16 MHz时钟, 预分频 = 1
最长		65,535		sec	32,768 Hz时钟, 预分频 = 32,768
定时器输出PWM频率	1		16	MHz	

¹ 通过设计保证。

ADuCM350

电源管理规格

下表涵盖ADuCM350的电源管理部分规格。

电源

表23. 电源规格

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
电源					
VCCM_ANA/VCCM_DIG	2		3.6	V	VCCM_x引脚连接CR2032电池，即ADuCM350的主电源
VCCM_ANA/VCCM_DIG	2.5		3.6	V	电池工作范围
VBACK	1.62		3.6	V	超级电容引脚，备用模式电源
VBUS	4.75	5	5.25	V	USB 5 V电源
VDD_IO	1.8		3.6	V	部分数字I/O焊盘电源；详情参见表35中的I/O电源列
VLCDVDD	1.8		3.6	V	LCD I/O电源

电源监控

表24. 电源监控规格

参数 ¹	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
VCCM PSM					
电压检测范围	1.7		3.2	V	100 mV步长
迟滞	±10		±100	mV	
跳变点检测精度			迟滞 + 70	mV	
VRTC PSM					
电压检测范围	1.55		1.7	V	100 mV步长
迟滞	±25		±100	mV	
跳变点检测精度			迟滞 + 70	mV	
VBACK PSM					
电压检测范围	1.7		3.2	V	100 mV步长
迟滞			±100	mV	
跳变点检测精度			迟滞 + 70	mV	

¹ 有关这些参数的详情，参见UG-587硬件参考手册。

涓流充电器

表25. 涓流充电器规格

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
电流					
电荷电流		0.48		mA	限制上电时纽扣电池的负载
反向电流			1	μA	
电压					
正向电压		40	120	mV	正向电流下降至零

时序特性

LCD段/一般时序规格

表26. LCD段/一般时序规格^{1,2}

FRAMESEL[3]	FRAMESEL[2]	FRAMESEL[1]	FRAMESEL[0]	静态多路复用器		4×多路复用器	
				f _{LCD} (Hz)	帧速率(Hz)	f _{LCD} (Hz)	帧速率(Hz)
0	0	0	0	256	128	1024	128
0	0	0	1	204.8	102.4	819.2	102.4
0	0	1	0	170.7	85.3	682.7	85.3
0	0	1	1	146.3	73.1	585.1	73.1
0	1	0	0	128	64	512	64
0	1	0	1	113.8	56.9	455.1	56.9
0	1	1	0	102.4	51.2	409.6	51.2
0	1	1	1	93.1	46.5	372.4	46.5
1	0	0	0	85.3	42.7	341.3	42.7
1	0	0	1	78.8	39.4	315.1	39.4
1	0	1	0	73.1	36.6	292.6	36.6
1	0	1	1	68.3	34.1	273.1	34.1
1	1	0	0	64	32	256	32
1	1	0	1	60.2	30.1	240.9	30.1
1	1	1	0	56.9	28.4	227.6	28.4
1	1	1	1	53.9	26.9	215.6	26.9

¹ $f_{LCD} = f_{BCLK} / (FRAMESEL + 4)$. 详情参见UG-587硬件参考手册。

² FRAMESEL[3]、FRAMESEL[2]、FRAMESEL[1]和FRAMESEL[0]表示LCD_COM寄存器中的位数。

I²C时序

根据I²C总线规范，每条I²C总线线路的容性负载(C_B)最大值为400 pF；通过设计保证I²C时序，但未经生产测试。

表27. 快速模式下I²C时序(400 kHz)

参数	说明	最小值	最大值	单位
t _L	时钟低电平脉冲宽度	1300		ns
t _H	时钟高电平脉冲宽度	600		ns
t _{SHD}	起始条件保持时间	600		ns
t _{DSU}	数据建立时间	100		ns
t _{DHD} ¹	数据保持时间	0		ns
t _{RSU}	重复起始建立时间	600		ns
t _{PSU}	停止条件的建立时间	600		ns
t _{BUF}	一个结束条件和起始条件之间的总线空闲时间	1.3		μs
t _R	一个结束条件和起始条件之间的总线空闲时间	20 + 0.1 C _B	300	ns
t _F	时钟和数据的下降时间	20 + 0.1 C _B	300	ns
t _{SUP}	尖峰抑制脉宽	0	50	ns

¹ 器件必须为SDA信号(相对于SCL信号的V_{NH}最小值)内部提供至少300 ns保持时间，以便桥接SCL下降沿的未定义区域。

表28. 标准模式下I²C时序(100 kHz)

参数	说明	最小值	最大值	单位
t _L	时钟低电平脉冲宽度	4.7		μs
t _H	时钟高电平脉冲宽度	4.0		ns
t _{SHD}	起始条件保持时间	4.7		μs
t _{DSU}	数据建立时间	250		ns
t _{DHD} ¹	数据保持时间	0		μs
t _{RSU}	重复起始建立时间	4.0		μs

ADuCM350

参数	说明	说明	最大值	单位
t_{PSU}	停止条件的建立时间		4.0	μs
t_{BUF}	一个结束条件和起始条件之间的总线空闲时间		4.7	μs
t_R	时钟和数据的上升时间		1	μs
t_F	时钟和数据的下降时间		300	ns

¹ 器件必须为SDA信号(相对于SCL信号的 V_{INH} 最小值)内部提供至少300 ns保持时间, 以便桥接SCL下降沿的未定义区域。

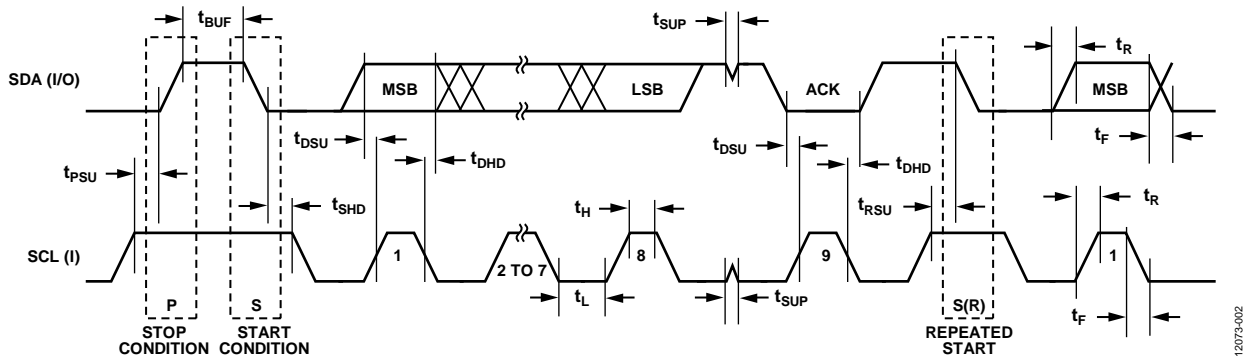


图2. PC兼容接口时序

12073-002

I²S时序规格

通过设计保证I²S时序，但未经生产测试；时序规格在2.5 MHz标准I²S数据速率下指定；I²S总线工作频率高达25 MHz。

表29. I²S时序：主机发送器

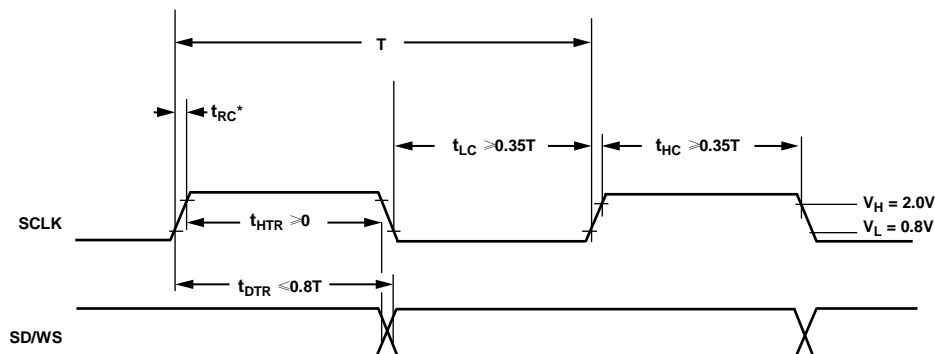
参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/备注 ¹
I ² S主机发送时序						
SCLK周期	T	360	400	440	ns	
最小时钟周期	T _{TR}	360			ns	T _{TR} 是发送器允许的最小时钟周期， T > T _{TR}
时钟高电平周期	t _{HC}	160			ns	最小值 > 0.35 × T = 140 ns
时钟低电平周期	t _{LC}	160			ns	最小值 > 0.35 × T = 140 ns
延迟	t _{DTR}			300	ns	最小值 < 0.80 × T = 320 ns
数据保持时间	t _{HTR}	100			ns	最小值 > 0 ns
时钟上升时间	t _{RC}			60	ns	最小值 > 0.15 × T _{TR} = 54 ns(仅从机模式)

¹ T参考SCLK周期典型值；因此，本例中T = 400 ns。

表30. I²S时序：从机接收器

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/备注 ¹
I ² S从机接收器时序						
SCLK周期	T	360	400	440	ns	T _{TR} = 360 ns
时钟高电平周期	t _{HC}	110			ns	最小值 < 0.35 × T = 126 ns
时钟低电平周期	t _{LC}	160			ns	最小值 < 0.35 × T = 126 ns
数据建立时间	t _{SR}			300	ns	最小值 < 0.20 × T = 72 ns
数据保持时间	t _{HTR}	100			ns	最小值 < 0 ns

¹ T参考SCLK周期典型值；因此，本例中T = 400 ns。



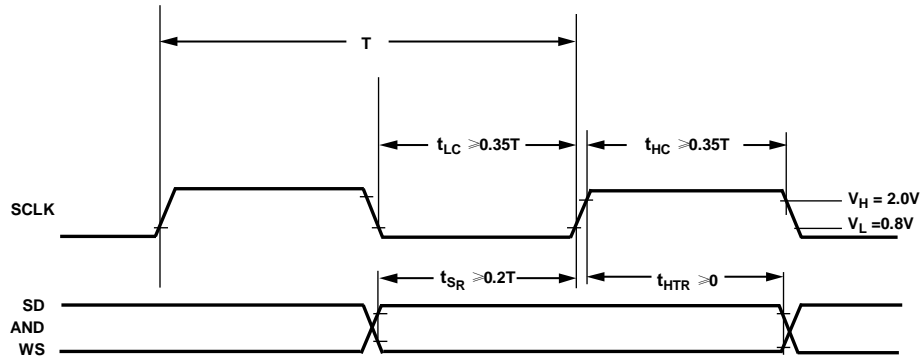
*t_{RC} IS ONLY RELEVANT FOR TRANSMITTERS IN SLAVE MODE.

NOTES

1. SD = SERIAL DATA, WS = WORD SELECT, WS = 0: CHANNEL 1 (LEFT), WS = 1: CHANNEL 2 (RIGHT).

图3. I²S兼容接口发送器时序

12073-003



NOTES
1. SD = SERIAL DATA, WS = WORD SELECT, WS = 0: CHANNEL 1 (LEFT), WS = 1: CHANNEL 2 (RIGHT).

图4. PS兼容接口接收器时序

SPI时序

SPIH可用于高数据速率外设。

表31. SPI主机模式时序¹

参数	说明	最小值	典型值	最大值	单位
t_{SL}	SCLK低电平脉宽 ²		$(SPIXDIV[5:0] + 1) \times t_{UCLK}$		ns
t_{SH}	SCLK高电平脉宽 ²		$(SPIXDIV[5:0] + 1) \times t_{UCLK}$		ns
t_{DAV}	SCLK边沿之后数据输出有效时间		0	35.5	ns
t_{DOSU}	SCLK边沿之前数据输出建立时间 ²	$(SPIDIV + 1) \times t_{UCLK}$			ns
t_{DSU}	SCLK边沿之前数据输入建立时间	58.7			ns
t_{DHD}	SCLK边沿之后数据输入保持时间	16			ns
t_{DF}	数据输出下降时间		12	35.5	ns
t_{DR}	数据输出上升时间		12	35.5	ns
t_{SR}	SCLK上升时间		12	35.5	ns
t_{SF}	SCLK下降时间		12	35.5	ns

¹ 通过设计保证。

² $t_{UCLK} = 62.5$ ns。它对应于时钟分频器之前的最大内部时钟频率。

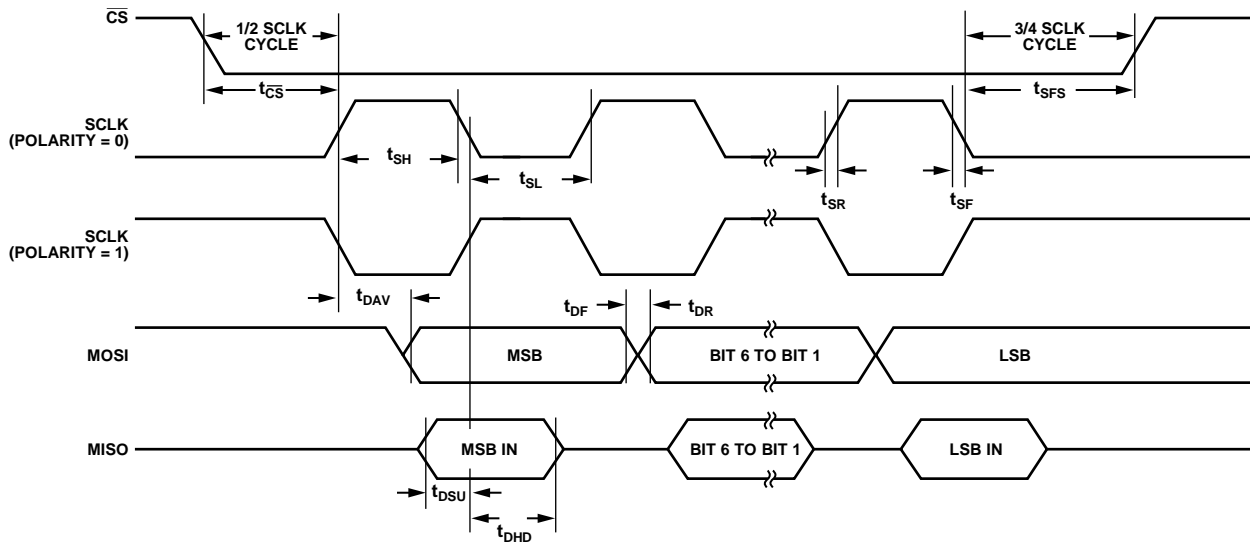


图5. SPI主机模式时序(相位模式 = 1)

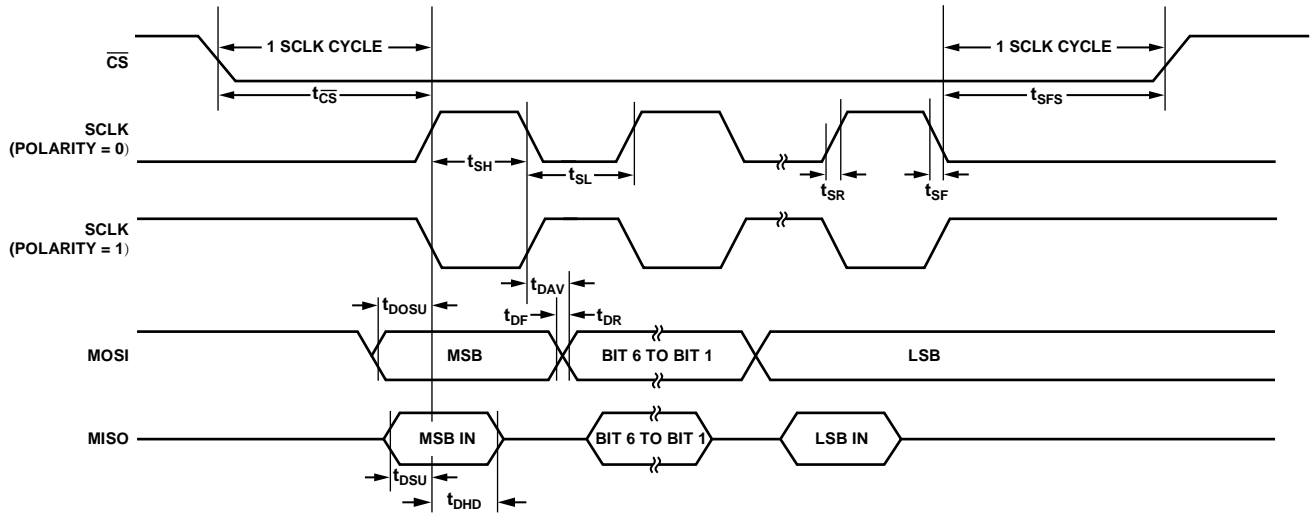


图6. SPI主机模式时序(相位模式 = 0)

表32. SPI从机模式时序

参数	说明	最小值	典型值	最大值	单位
$t_{\overline{CS}}$	\overline{CS} 至SCLK边沿	38			ns
t_{SL}	SCLK低电平脉宽 ¹		$(SPXDIV[5:0] + 1) \times t_{UCLK}$		ns
t_{SH}	SCLK高电平脉宽 ¹	62.5	$(SPIDIV[5:0] + 1) \times t_{UCLK}$		ns
t_{DAV}	SCLK边沿之后数据输出有效时间			49.1	ns
t_{DSU}	SCLK边沿之前数据输入建立时间	20.2			ns
t_{DHD}	SCLK边沿之后数据输入保持时间	10.1			ns
t_{DF}	数据输出下降时间		12	35.5	ns
t_{DR}	数据输出上升时间		12	35.5	ns
t_{SR}	SCLK上升时间		12	35.5	ns
t_{SF}	SCLK下降时间		12	35.5	ns
t_{DOCS}	\overline{CS} 边沿之后数据输出有效			25	ns
t_{SFS}	SCLK边沿之后 \overline{CS} 高电平时间	0			ns

¹ $t_{UCLK} = 62.5$ ns。它对应于时钟分频器之前的最大内部时钟频率。

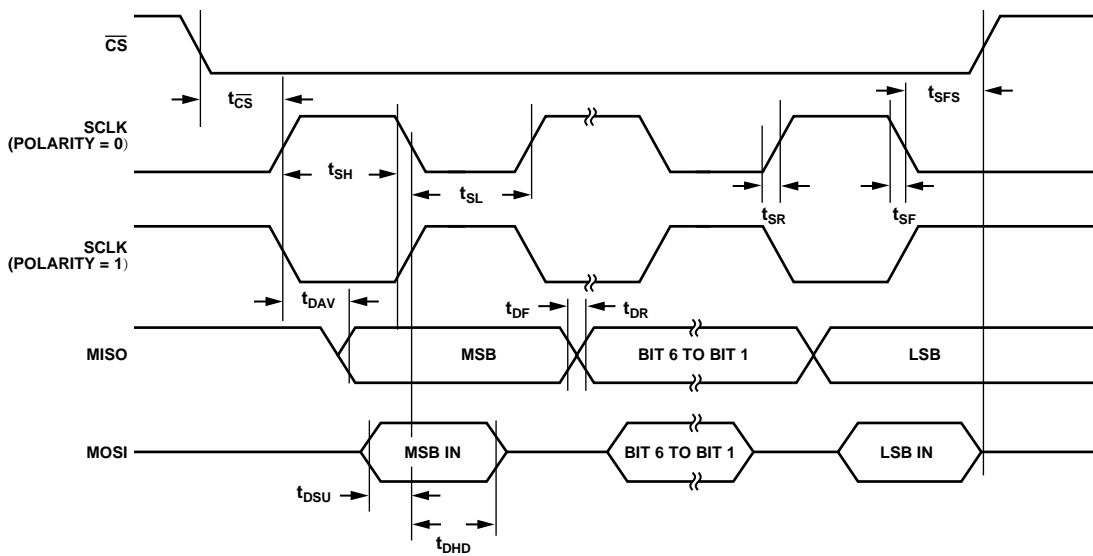


图7. SPI从机模式时序(相位模式 = 1)

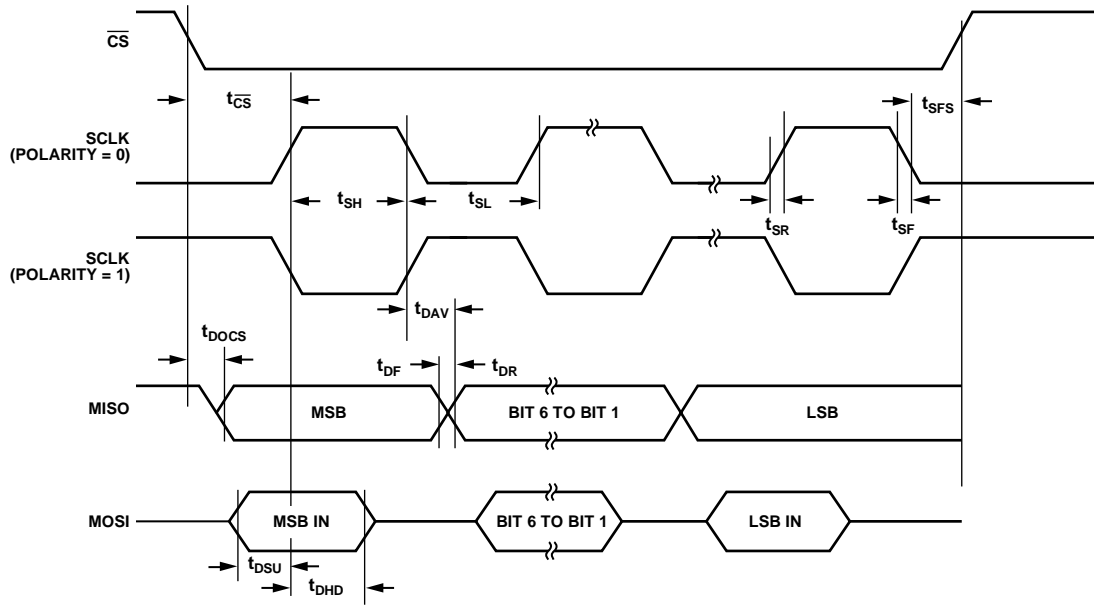


图8. SPI从机模式时序(相位模式 = 0)

12073-008

绝对最大额定值除非另有说明， $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。**表33.**

参数	额定值
电源 VCCM_ANA, VCCM_DIG, VLCDVDD, VDD_IO, VBACK至AGND_x/DGNDx	-0.3 V至+3.6 V
去耦 DVDD, AVDD_RX/TX, VBIAS, VREF, VUSB	-0.3 V至+2.0 V
数字输入/输出 P0.x, P1.x, P2.x, P3.x, P4.x, BOOT, RESETX TRACEx	-0.3 V至+3.6 V -0.3 V至+3.6 V
开关矩阵(RCAL 1、RCAL 2、AFE x)	-0.3 V至+3.6 V
TIA (TIA_I, TIA_O)	-0.3 V至+3.6 V
模拟输入(AN_x)	-0.3 V至+3.6 V
REF_EXCITE	-0.3 V至+1.98 V
VLCD FLY1、VLCD FLY2	-0.3 V至+3.6 V
V_LCD_13、V_LCD_23	-0.3 V至+3.6 V
VBUS至DGND	-0.3 V至+5.25 V
USB DM、USB DP至DGND	-0.3 V至+3.6 V
HF_XTALx、LF_XTALx	-0.3 V至+1.98 V
模拟地至数字地 AGND_CTOUCH、AGND_RX/TX、 AGND_REF至DGND、DGND1、DGND2、 DGND_USB	-0.3 V至+0.3 V

注意，等于或超出上述绝对最大额定值可能会导致产品永久性损坏。这只是额定最值，并不能以这些条件或者在任何其它超出本技术规范操作章节中所示规格的条件下，推断产品能否正常工作。长期在超出最大额定值条件下工作会影响产品的可靠性。

热阻

θ_{JA} 针对最差条件，即假设利用4层JEDEC板，将器件焊接在电路板上以实现表贴封装。

表34. 热阻

封装类型	θ_{JA}	单位
CSP_BGA	35	$^\circ\text{C}/\text{W}$

ESD警告**ESD(静电放电)敏感器件。**

带电器件和电路板可能会在没有察觉的情况下放电。尽管本产品具有专利或专有保护电路，但在遇到高能量ESD时，器件可能会损坏。因此，应当采取适当的ESD防范措施，以避免器件性能下降或功能丧失。

引脚配置和功能描述

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	DNC	P2.1/COM1/RESX	P2.3/COM3/DCX	P2.5/S2/ECLOCK-WRX	P1.0/S3/D0/SCL	P1.2/S5/D2/DIN	P1.4/S7/D4	P1.6/S9/D6	P1.8/S11/D8	P1.10/S13/D10	P1.12/S15/D12	P1.14/S17/D14	P2.10/S23	P2.9/S22	P2.15/S28
B	V_LCD_23	P2.0/COM0	P2.2/COM2/CSX	P2.4/S1/RWX-RDX	P1.1/S4/D1/DOOUT	P1.3/S6/D3	P1.5/S8/D5	P1.7/S10/D7	P1.9/S12/D9	P1.11/S14/D11	P1.13/S16/D13	P1.15/S18/D15	P2.11/S24	P2.12/S25	P2.8/S21
C	HF_XTAL2	V_LCD_13												P3.10/S31	P2.7/S20/TOUTA
D	HF_XTAL1	VLCDVDD												P2.13/S26	P2.6/S19/TE
E	VUSB	VLCD FLY1												P3.11/S32	P2.14/S27
F	USB DM	VLCD FLY2				DGND USB	DGND2/LCD_GND	P3.8/S29	P3.9/S30	P3.3/SPI0_CS				P3.0/SPI0_SCLK	P3.2/SPI0_MOSI
G	USB DP	VBUS				DGND1				P3.4/I2CSCL/SPI1_SCLK				P3.1/SPI0_MISO	P3.6/UTX/TOUTB/SPI1_MOSI
H	TMS-SWDIO/P0.8	TCK-SWCLK/P0.9				VCCM_DIG				P3.5/I2CSCL/SPI1_MISO				DGND	VDD_IO
J	TDO-SWO/P0.6/UTX	TDI/P0.7/URX				P3.14/LRCLK				P3.7/URX/TOUTC/SPI1_CS				P0.4/CAPT_E	P0.1/CAPT_B
K	DVDD	P0.11				P3.12/BEEP/BMCLK	P3.13/BEEPX/SDATA	RESETX	AGND_RX/AGND_TX	AGND_REF				P0.3/CAPT_D	P0.0/CAPT_A
L	P4.0/I2CSCL	P4.1/I2CSD												P0.5/CAPT_F	P0.2/CAPT_C
M	VBACK	P0.15/SPIH_CS												TRACE0	TRACECLK
N	LF_XTAL2	BOOT												TRACE2	TRACE1
P	LF_XTAL1	P0.13/SPIH_MISO	P0.14/SPIH_MOSI	VCCM_ANA	RCAL 1	AFE 2	AFE 4	AFE 6	AFE 8	VBIAS	TIA_I	AN_A	AN_B	AGND CTOUCH	TRACE3
R	P4.2/TOUTB	P0.10/TOUTC	P0.12/SPIH_SCLK	AVDD_RX/AVDD_TX	RCAL 2	AFE 1	AFE 3	AFE 5	AFE 7	VREF	TIA_O	REF_EXCITE	AN_C	AN_D	TRST

图9. 凸点位置(器件顶视图, 凸点未按比例显示)

表35. 引脚功能描述

引脚编号	引脚名称	I/O ¹	I/O电源 ²	GPIO上拉/下拉 ²	说明
电源和接地					
P4	VCCM_ANA	S	VCCM_ANA	不适用	电池连接和模拟电路电源。将VCCM_ANA连接至CR2032电池。VCCM_ANA为模拟电路供电。此引脚内部连接VCCM_DIG。
H6	VCCM_DIG	S	VCCM_DIG	不适用	电池连接和数字电路电源。将VCCM_DIG连接至CR2032电池。VCCM_DIG为数字电路供电。此引脚内部连接VCCM_ANA。
G2	VBUS	S	VBUS	不适用	5 V USB电源电压。
M1	VBACK	S	VBACK	不适用	RTC电源。将VBACK连接至超级电容。
H15	VDD_IO	S	VDD_IO	不适用	VDD_IO电源。
E1	VUSB	A	VUSB	不适用	USB 3.6 V调节电源。
R10	VREF	A	不适用	不适用	1.8 V基准电压去耦电容引脚。
P10	VBIAS	A	不适用	不适用	1.1 V偏置电压去耦电容引脚。

引脚编号	引脚名称	I/O ¹	I/O电源 ²	GPIO上拉/下拉 ²	说明
K1	DVDD	A	不适用	不适用	1.8V数字调节器去耦电容引脚。
R4	AVDD_RX/AVDD_TX	A	AVDD TX/RX	不适用	用于接收器(Rx)/发送器(Tx)电路的1.8V模拟调节器去耦电容引脚。
K9	AGND_RX/AGND_TX	G	不适用	不适用	Rx/Tx模拟地。
K10	AGND_REF	G	不适用	不适用	参考地。
H14	DGND	G	不适用	不适用	数字地。
G6	DGND1	G	不适用	不适用	数字地。
F7	DGND2/LCD_GND	G	不适用	不适用	数字地/LCD地。
F6	DGND USB	G	不适用	不适用	USB地。将DGND USB连接到数字接地层。
AFE引脚					
P12	AN_A	A	VCCM_ANA	不适用	ADC多路复用器输入。
P13	AN_B	A	VCCM_ANA	不适用	ADC多路复用器输入。
R13	AN_C	A	VCCM_ANA	不适用	ADC多路复用器输入。
R14	AN_D	A	VCCM_ANA	不适用	ADC多路复用器输入。
P5	RCAL 1	A	VCCM_ANA	不适用	校准电阻的A端。将RCAL 1连接至开关矩阵。
R5	RCAL 2	A	VCCM_ANA	不适用	校准电阻的B端。将RCAL 2连接至开关矩阵。
R6	AFE 1	A	VCCM_ANA	不适用	非专用AFE引脚1。
P6	AFE 2	A	VCCM_ANA	不适用	非专用AFE引脚1。
R7	AFE 3	A	VCCM_ANA	不适用	非专用AFE引脚3。
P7	AFE 4	A	VCCM_ANA	不适用	非专用AFE引脚4。
R8	AFE 5	A	VCCM_ANA	不适用	非专用AFE引脚5。
P8	AFE 6	A	VCCM_ANA	不适用	非专用AFE引脚6。
R9	AFE 7	A	VCCM_ANA	不适用	非专用AFE引脚7。
P9	AFE 8	A	VCCM_ANA	不适用	非专用AFE引脚8。
P11	TIA_I	A	VCCM_ANA	不适用	跨阻放大器输入。将IV电阻连接至此引脚。
R11	TIA_O	A	VCCM_ANA	不适用	跨阻放大器输出。将IV电阻连接至此引脚。
R12	REF_EXCITE	A	VCCM_ANA	不适用	选通精密基准电压源。
调试接口					
J1	TDO-SWO/P0.6/UTX	I/O	VCCM_DIG	上拉	JTAG串行数据输出或串行线跟踪输出/GPIO/UART_TX。这是一个多功能引脚。
J2	TDI/P0.7/URX	I/O	VCCM_DIG	上拉	JTAG串行数据输入/GPIO/UART_RX。这是一个多功能引脚。
H1	TMS-SWDIO/P0.8	I/O	VCCM_DIG	上拉	JTAG测试模式选择或串行线数据/GPIO。这是一个多功能引脚。
H2	TCK-SWCLK/P0.9	I/O	VCCM_DIG	下拉	JTAG测试时钟或串行线时钟/GPIO。这是一个多功能引脚。
R15	TRST	I	VCCM	不适用	跟踪复位。
M15	TRACECLK	O	VCCM	不适用	跟踪时钟。
M14	TRACE0	O	VCCM	不适用	跟踪数据0。
N15	TRACE1	O	VCCM	不适用	跟踪数据1。
N14	TRACE2	O	VCCM	不适用	跟踪数据2。
P15	TRACE3	O	VCCM	不适用	跟踪数据3。

ADuCM350

引脚编号	引脚名称	I/O ¹	I/O电源 ²	GPIO上拉/ 下拉 ²	说明
SPI H					
R3	P0.12/SPIH_SCLK	I/O	VCCM_DIG	上拉	GPIO/串行端口H时钟。这是双功能引脚。 GPIO/串行端口H MISO。这是双功能引脚。 GPIO/串行端口H MOSI。这是双功能引脚。 GPIO/串行端口H片选(低电平有效)。这是双功能引脚。
P2	P0.13/SPIH_MISO	I/O	VCCM_DIG	上拉	
P3	P0.14/SPIH_MOSI	I/O	VCCM_DIG	上拉	
M2	P0.15/SPIH_CS	I/O	VCCM_DIG	上拉	
其他串行端口					
F14	P3.0/SPI0_SCLK	I/O	VDD_IO	上拉	GPIO/SPI 0 SCLK。这是双功能引脚。 GPIO/SPI 0 MISO。这是双功能引脚。 GPIO/SPI 0 MOSI。这是双功能引脚。 GPIO/SPI 0片选(低电平有效)。这是双功能引脚。
G14	P3.1/SPI0_MISO	I/O	VDD_IO	上拉	
F15	P3.2/SPI0_MOSI	I/O	VDD_IO	上拉	
F10	P3.3/SPI0_CS	I/O	VDD_IO	上拉	
G10	P3.4/I2CSCL/SPI1_SCLK	I/O	VDD_IO	上拉	GPIO(外部中断7)/I ² C时钟/SPI 1 SCLK。这是一个多功能引脚。
H10	P3.5/I2CSD/SPI1_MISO	I/O	VDD_IO	上拉	
G15	P3.6/UTX/TOUTB/SPI1_MOSI	I/O	VDD_IO	上拉	GPIO/I ² C数据/SPI 1 MISO。这是一个多功能引脚。 GPIO/UART Tx/定时器B输出/SPI 1 MOSI。这是一个多功能引脚。
J10	P3.7/URX/TOUTC/SPI1_CS	I/O	VDD_IO	上拉	
USB					
F1	USB DM	I/O	VCCM_DIG	不适用	USB数据(-)。
G1	USB DP	I/O	VCCM_DIG	不适用	USB数据(-)。
CapTouch接口					
K15	P0.0/CAPT_A	A	VCCM_DIG	上拉	GPIO(外部中断1)/CapTouch A。 这是双功能引脚。 GPIO(外部中断2)/CapTouch B。 这是双功能引脚。 GPIO(外部中断3)/CapTouch C。 这是双功能引脚。 GPIO(外部中断4)/CapTouch D。 这是双功能引脚。 GPIO(外部中断5)/CapTouch E。 这是双功能引脚。 GPIO(外部中断6)/CapTouch F。 这是双功能引脚。 电容数字转换器交流屏蔽。
J15	P0.1/CAPT_B	A	VCCM_DIG	上拉	
L15	P0.2/CAPT_C	A	VCCM_DIG	上拉	
K14	P0.3/CAPT_D	A	VCCM_DIG	上拉	
J14	P0.4/CAPT_E	A	VCCM_DIG	上拉	
L14	P0.5/CAPT_F	A	VCCM_DIG	上拉	
P14	AGND CTOUCH	G	不适用	不适用	
系统时钟					
P1	LF_XTAL1	A	RTC_VBACK	不适用	32 kHz XTAL引脚。
N1	LF_XTAL2	A	RTC_VBACK	不适用	32 kHz XTAL引脚。
D1	HF_XTAL1	A	DVDD	不适用	16 MHz XTAL引脚。
C1	HF_XTAL2	A	DVDD	不适用	16 MHz XTAL引脚。
显示器					
E2	VLCD FLY1	A	VLCD VDD	不适用	LCD飞跨电容顶板。
F2	VLCD FLY2	A	VLCD VDD	不适用	LCD飞跨电容底板。
D2	VLCDVDD	S	不适用	不适用	满量程LCD电压输出或VLCD电源。
C2	V_LCD_13	A	VLCD VDD	不适用	三分之一(1/3) LCD电压。保持该引脚不连接。 三分之二(2/3) LCD电压。保持该引脚不连接。
B1	V_LCD_23	A	VLCD VDD	不适用	

引脚编号	引脚名称	I/O ¹	I/O电源 ²	GPIO上拉/ 下拉 ²	说明
B2	P2.0/COM0	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/LCD背板公共输出0 (COM 0)。这是双功能引脚。
A2	P2.1/COM1/RESX	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/COM 1/并行显示接口(PDI)复位。这是一个多功能引脚。
B3	P2.2/COM2/CSX	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/COM 2/PDI片选。这是一个多功能引脚。
A3	P2.3/COM3/DCX	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/COM 3/PDI数据选择。这是一个多功能引脚。
B4	P2.4/S1/RWX-RDX	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/段驱动器1 (SEG 1)/PDI R/WX或RDX。这是一个多功能引脚。
A4	P2.5/S2/ECLOCK-WRX	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 2/PDI E时钟输出(Motorola总线模式)或PD写选择(Intel®总线模式)。这是一个多功能引脚。
A5	P1.0/S3/D0/SCL	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 3/PDI D0/PDI串行端口时钟。这是一个多功能引脚。
B5	P1.1/S4/D1/DOUT	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 4/PDI D1/PDI串行端口数据输出。这是一个多功能引脚。
A6	P1.2/S5/D2/DIN	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 5/PDI D2/PDI串行端口数据输入。这是一个多功能引脚。
B6	P1.3/S6/D3	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 6/PDI D3。这是一个多功能引脚。
A7	P1.4/S7/D4	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 7/PDI D4。这是一个多功能引脚。
B7	P1.5/S8/D5	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 8/PDI D5。这是一个多功能引脚。
A8	P1.6/S9/D6	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 9/PDI D6。这是一个多功能引脚。
B8	P1.7/S10/D7	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 10/PDI D7/系统时钟输出。这是一个多功能引脚。
A9	P1.8/S11/D8	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 11/PDI D8。这是一个多功能引脚。
B9	P1.9/S12/D9	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 12/PDI D9。这是一个多功能引脚。
A10	P1.10/S13/D10	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 13/PDI D10。这是一个多功能引脚。
B10	P1.11/S14/D11	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 14/PDI D11。这是一个多功能引脚。
A11	P1.12/S15/D12	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 15/PDI D12。这是一个多功能引脚。
B11	P1.13/S16/D13	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 16/PDI D13。这是一个多功能引脚。
A12	P1.14/S17/D14	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 17/PDI D14。这是一个多功能引脚。
B12	P1.15/S18/D15	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 18/PDI D15。这是一个多功能引脚。
D15	P2.6/S19/TE	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 19/TE。这是一个多功能引脚。
C15	P2.7/S20/TOUTA	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 20/定时器A输出。这是多功能引脚。
B15	P2.8/S21	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 21。这是双功能引脚。
A14	P2.9/S22	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 22。这是双功能引脚。
A13	P2.10/S23	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 23。这是双功能引脚。
B13	P2.11/S24	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 24。这是双功能引脚。
B14	P2.12/S25	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 25。这是双功能引脚。
D14	P2.13/S26	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 26。这是双功能引脚。
E15	P2.14/S27	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 27。这是双功能引脚。
A15	P2.15/S28	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 28。这是双功能引脚。
F8	P3.8/S29	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 29。这是双功能引脚。
F9	P3.9/S30	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 30。这是双功能引脚。
C14	P3.10/S31	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 31。这是双功能引脚。
E14	P3.11/S32	I/O	VLCD VDD	上拉	GPIO/SEG 32。这是双功能引脚。

ADuCM350

引脚编号	引脚名称	I/O ¹	I/O电源 ²	GPIO上拉/下拉 ²	说明
其他数字输入/输出					
K8	RESETX	I	VCCM_DIG	上拉	复位引脚(低电平有效)。
L1	P4.0/I2CSCL	I/O	VCCM_DIG	上拉	GPIO(外部中断0)/I ² C时钟。这是双功能引脚。
L2	P4.1/I2CSD	I/O	VCCM_DIG	上拉	GPIO/I ² C数据。这是双功能引脚。
R1	P4.2/TOUTB	I/O	VCCM_DIG	上拉	GPIO/定时器B输出。这是双功能引脚。
R2	P0.10/TOUTC	I/O	VCCM_DIG	上拉	GPIO(外部中断8)/定时器C输出。这是双功能引脚。
K2	P0.11	I/O	VCCM_DIG	上拉	GPIO(外部时钟输入引脚)。
N2	BOOT	I	VCCM_DIG	下拉	如果此引脚在复位期间,以及在复位之后的短时间内保持高电平,则器件进入串行下载模式。它在任意复位事件之后以及引脚为低电平时执行用户代码。
A1	DNC		不适用	不适用	不连接。此引脚悬空。
音频					
K6	P3.12/BEEP/BMCLK	I/O	VCCM_DIG	下拉	GPIO/蜂鸣器输出(+)/I ² S位时钟。这是一个多功能引脚。
K7	P3.13/BEEPX/SDATA	I/O	VCCM_DIG	下拉	GPIO/蜂鸣器输出(-)/I ² S串行数据输出。这是一个多功能引脚。
J6	P3.14/LRCLK	I/O	VCCM_DIG	下拉	GPIO/I ² S帧时钟。这是双功能引脚。

¹ S表示电源, A表示模拟输入, I表示数字输入, O表示数字输出, I/O表示数字输入/输出, G表示地。

² N/A表示不适用。

典型性能参数

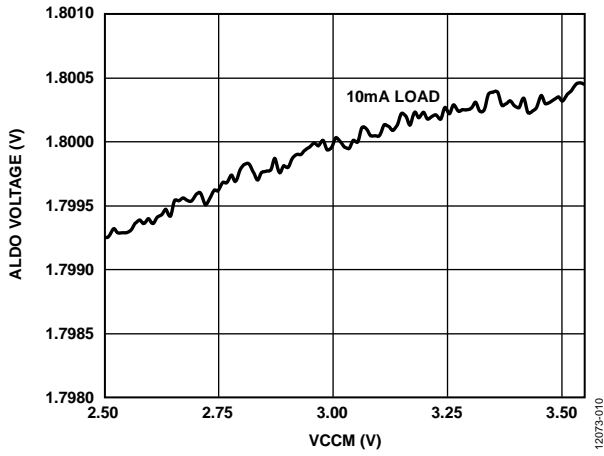


图10. ALDO电压调整率

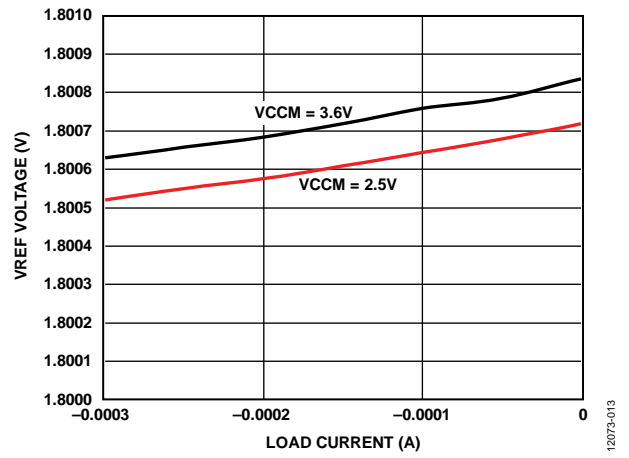


图13. VREF负载调整率

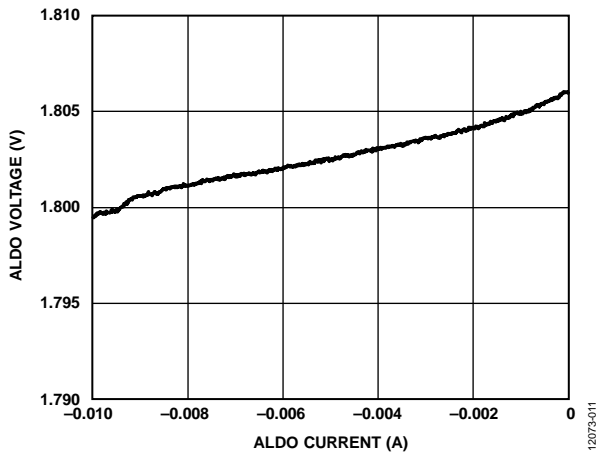


图11. ALDO负载调整率

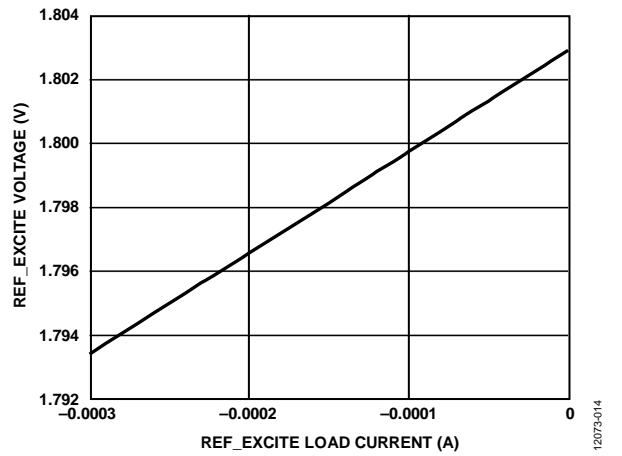


图14. REF_EXCITE负载调整率

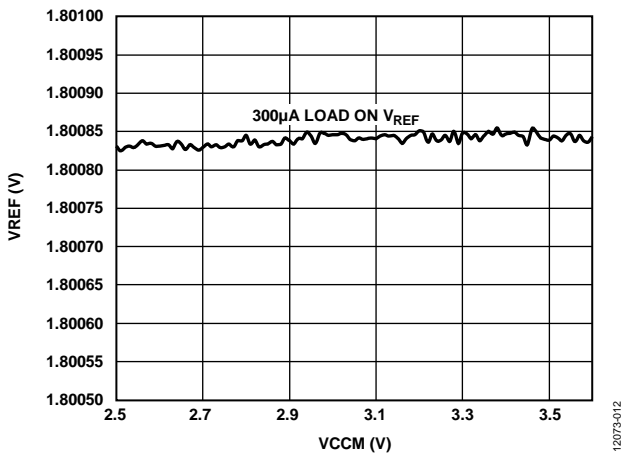


图12. VREF电压调整率

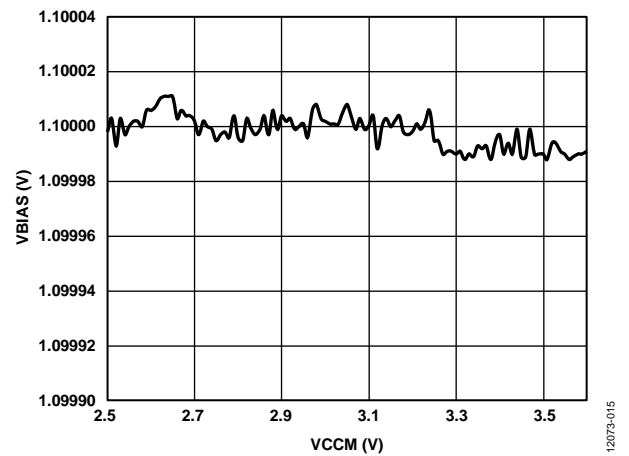


图15. VBIAS电压调整率

ADuCM350

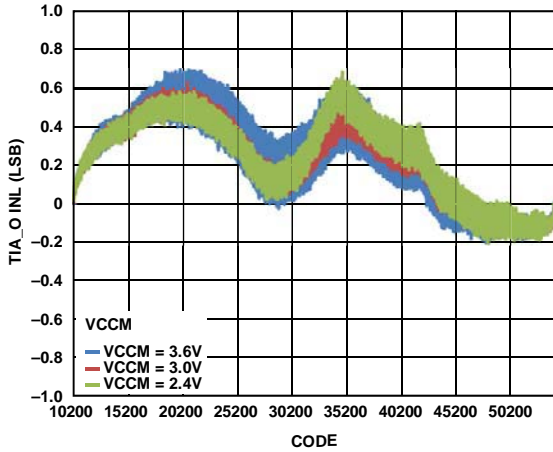


图16. ADC TIA_O INL(16位)与代码的关系($\pm 150 \mu\text{A}$)

12073-016

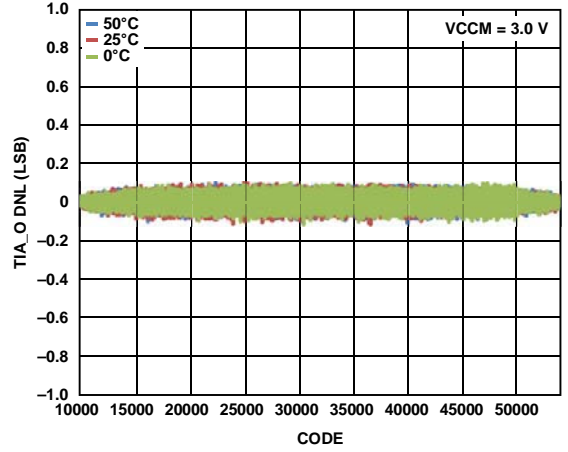


图19. ADC TIA_O DNL(16位)与代码的关系(温度)

12073-019

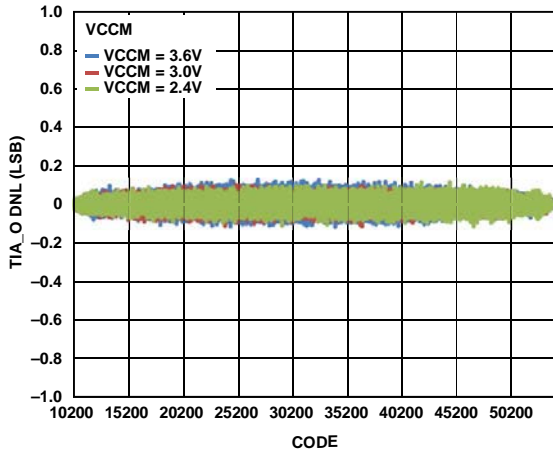


图17. ADC ADC TIA_O DNL(16位)与代码的关系

12073-017

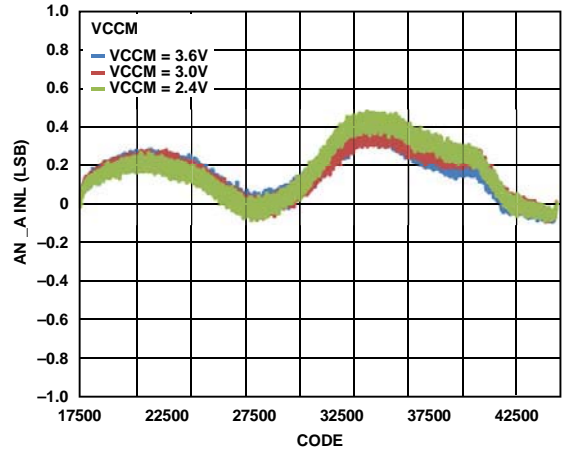


图20. ADC AN_A INL(16位)与代码的关系

12073-020

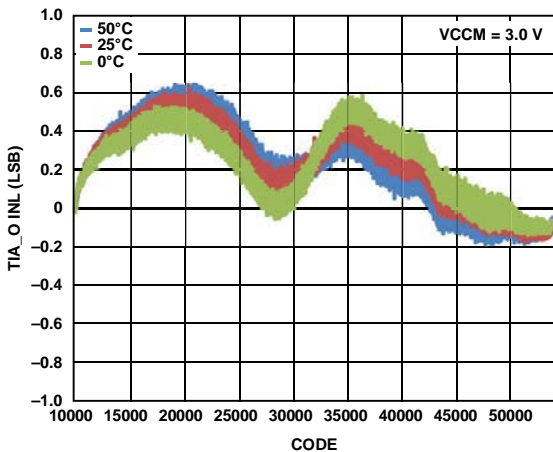


图18. ADC ADC TIA_O INL(16位)与代码的关系(温度)

12073-018

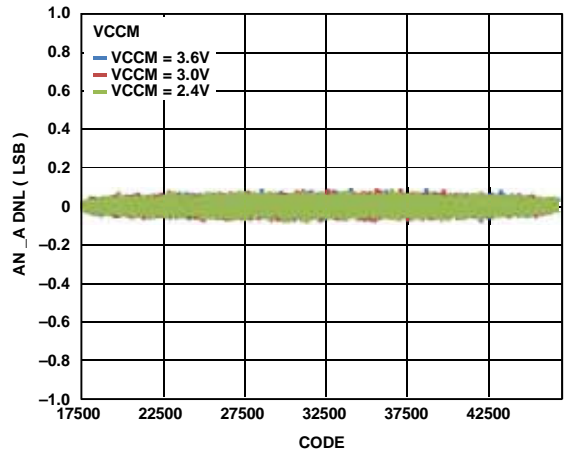


图21. ADC AN_A DNL(16位)与代码的关系

12073-021

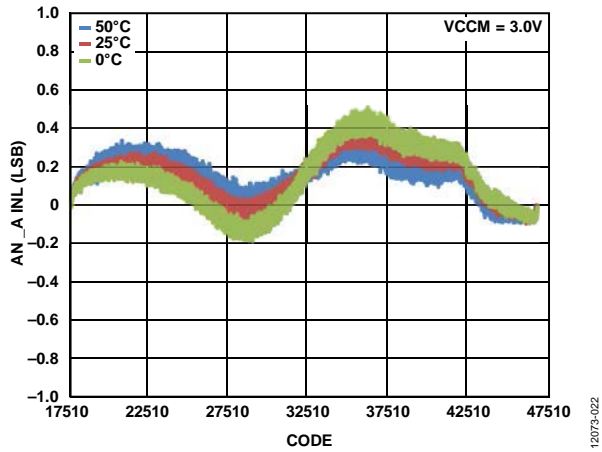


图22. ADC AN_A INL(16位)与代码的关系(温度)

12073-022

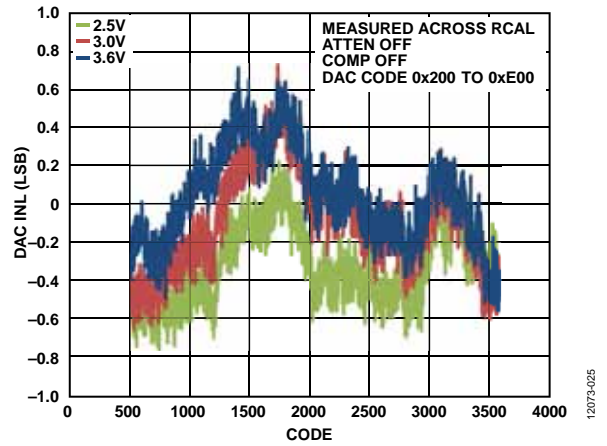


图25. DAC INL(12位)与代码的关系

12073-025

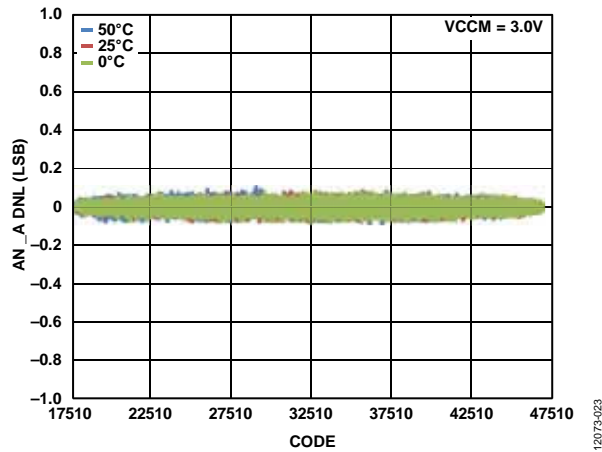


图23. ADC AN_A DNL(16位)与代码的关系(温度)

12073-023

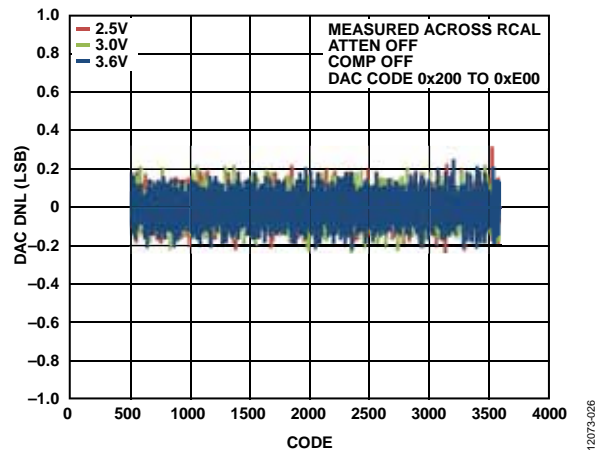


图26. DAC DNL(12位)与代码的关系

12073-026

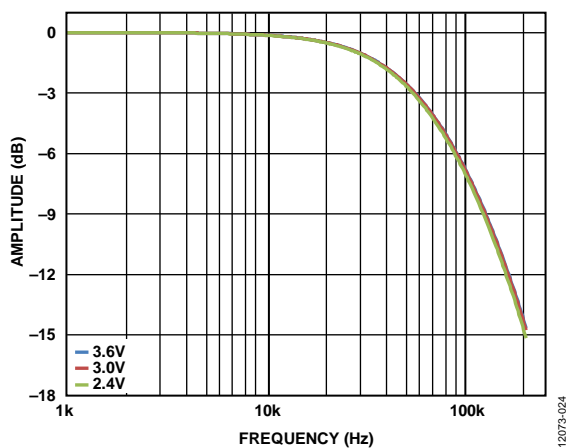


图24. 接收通道抗混叠滤波器滚降

12073-024

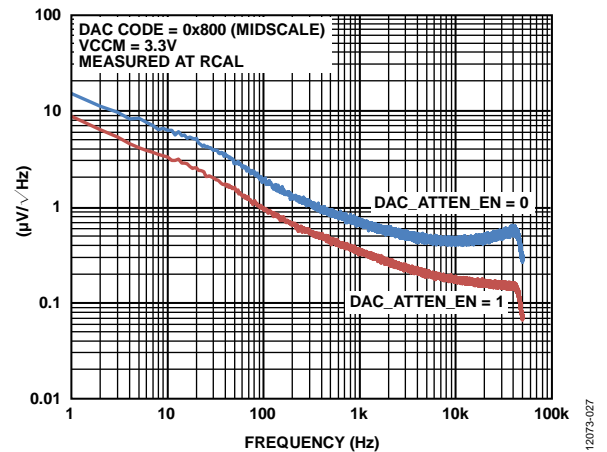


图27. 噪声频谱密度

12073-027

ADuCM350

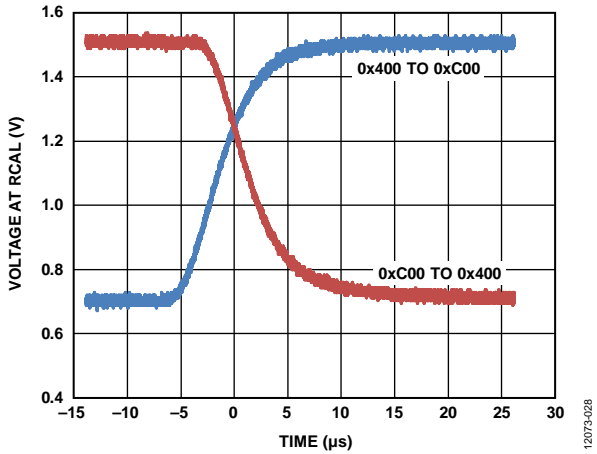


图28. RCAL处的DAC建立时间

12073-028

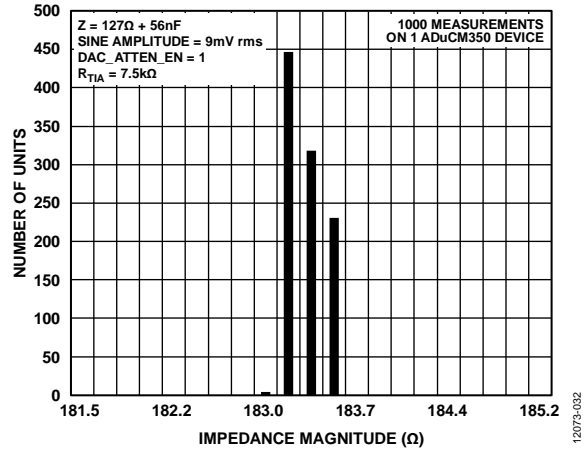


图31. 阻抗测量幅度精度

12073-032

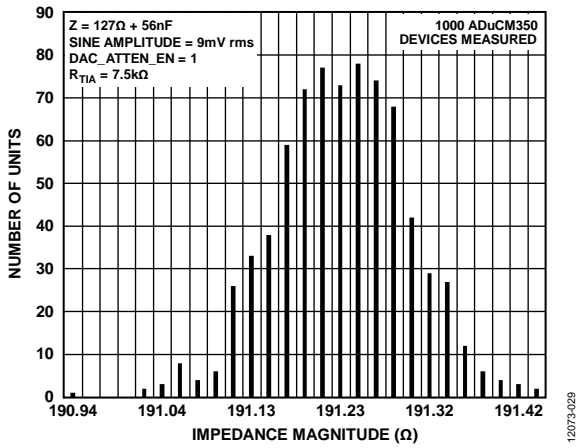


图29. 阻抗测量幅度精度

12073-029

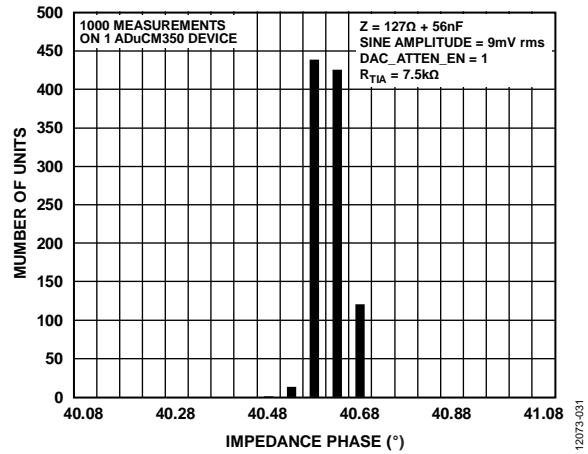


图32. 阻抗测量相位精度

12073-031

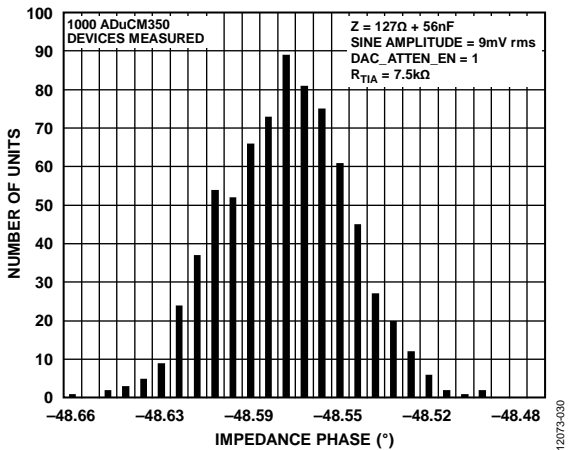


图30. 阻抗测量相位精度

12073-030

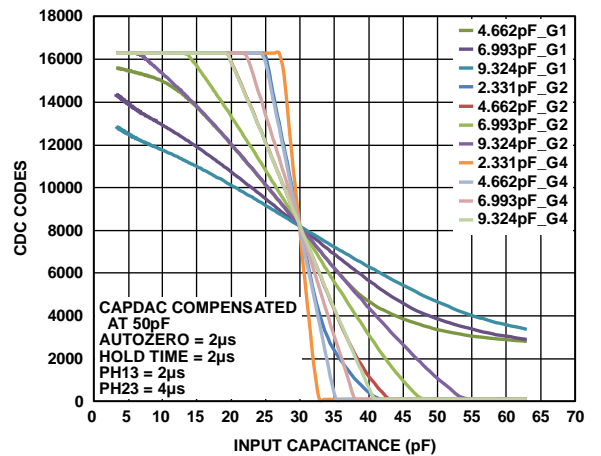


图33. CapTouch线性度

12073-033

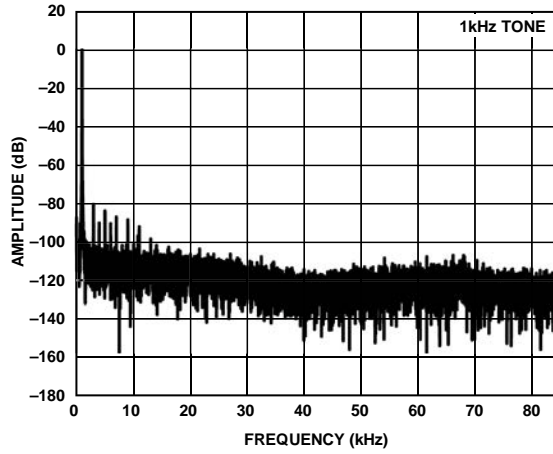


图34. CapTouch SNR

12073-034

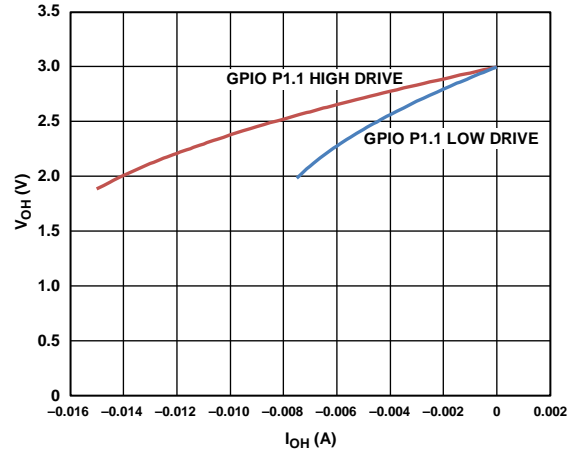


图36. GPIO V_{OH} 与 I_{OH} 的关系

12073-036

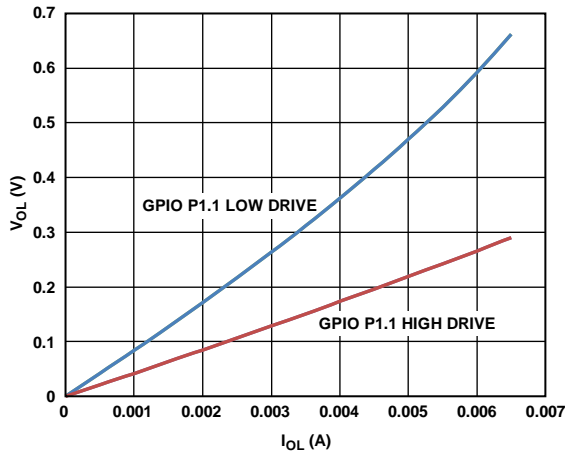


图35. GPIO V_{OL} 与 I_{OL} 的关系

12073-035

模拟前端

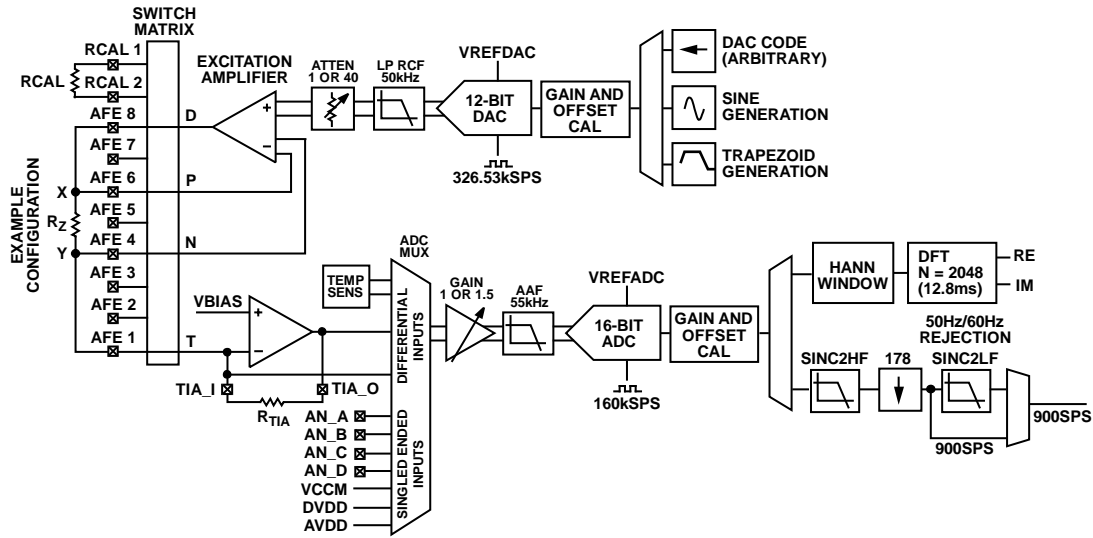


图37. AFE系统框图

有关ADuCM350的详情，请参考UG-587硬件参考手册。

ADuCM350是一款高精度、可配置AFE，集成低功耗且外设丰富的微控制器子系统。

激励级

激励级/发送级由带有激励缓冲器的12位DAC以及通过反馈路径连接DAC的仪表放大器组成，可强制测量阻抗上的精确电压，从而去除测量系统中的寄生现象。

所有测量数据均参考精密外部电阻，该电阻用于内部校准环路，确保未知阻抗上不会出现直流偏置。

可测量各种阻抗，具体取决于应用。用户可以优化校准电阻(RCAL)、激励波形的交流幅度以及电流转电压(IV)电阻，以便针对应用要求进行系统定制。阻抗测量范围为80 Hz至大约75 kHz。

开关矩阵集成34个用户可选开关，具有完全可配置能力。激励缓冲器输出和跨阻输入端的载流开关均针对电流负载进行优化调节。开关矩阵允许器件测量并存储失调和增益结果。ADuCM350可自校准Rx失调和增益、Tx失调和增益，以及开关泄漏。这样便能降低全面的工厂校准流程要求，并去除测量结果中温度和老化引起的误差。

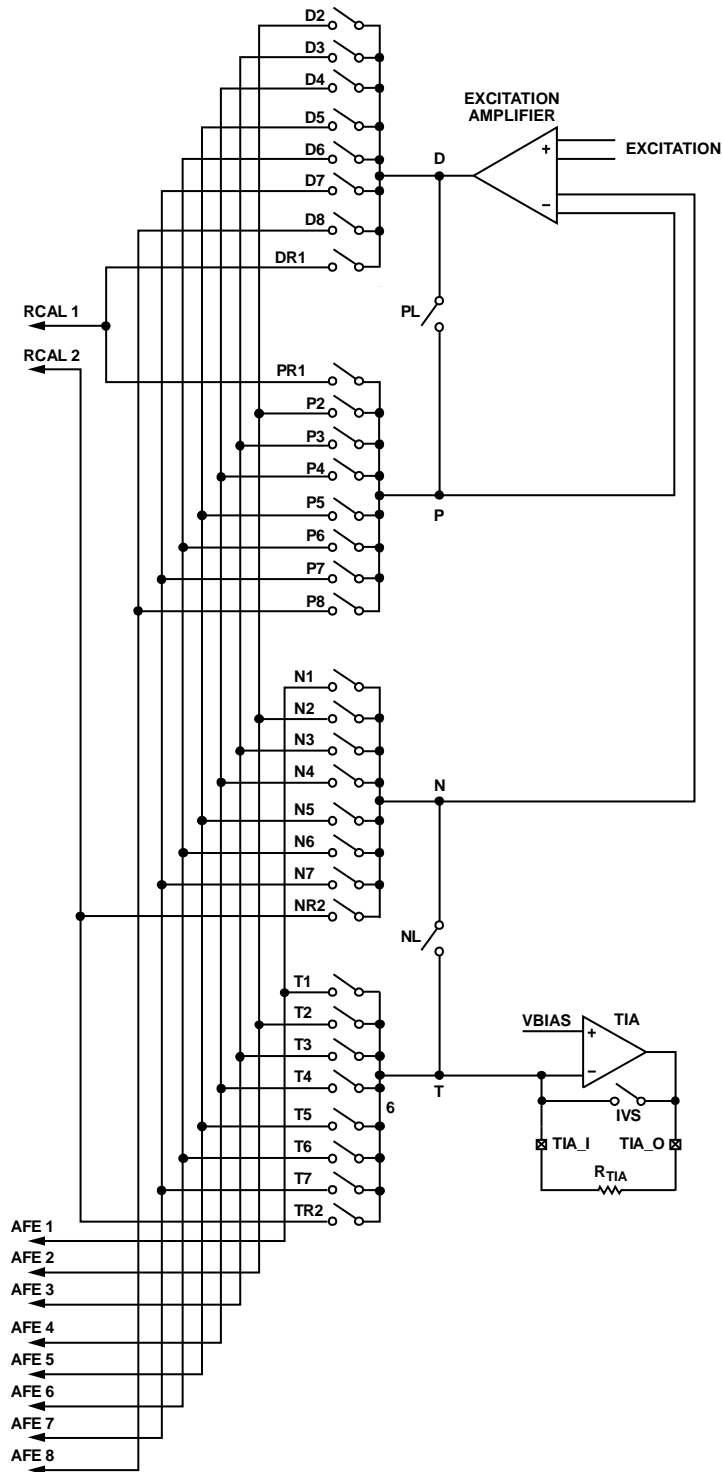


图38. 开关矩阵

12073-038

ADuCM350

测量级

该AFE集成一个多路复用输入、160 kSPS、16位ADC，该ADC具有四条专用的电压测量通道以及多达八条多路复用电流测量通道，采用片内跨阻放大器。多路复用通道在数据转换之前便进行滤波以及差分缓冲处理。

可通过三种方法查询ADC数据。

- 采用160 kSPS的原始数据。
- 900 SPS时的50 Hz/60 Hz滤波器输出端。
- 采用离散傅里叶变换(DFT)引擎。

电源线滤波器针对快速建立优化，建立时间仅36.6 ms。无需额外滤波，用户便可进一步对900 SPS数据速率进行抽取。

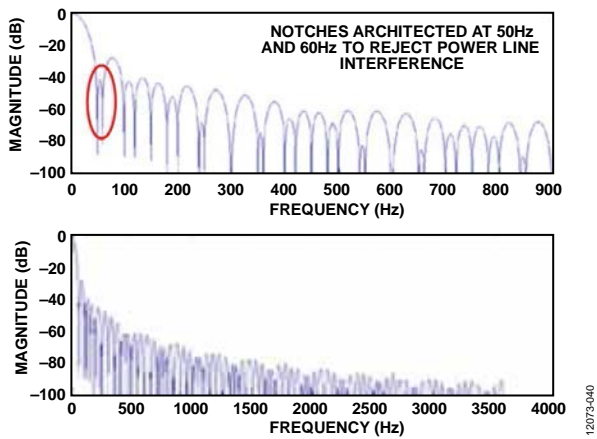


图39. 电源线抑制建模

DFT引擎执行2048点单频离散傅里叶变换。它获取16位ADC输出，并将其转换为带有实部和虚部的复阻抗。由于ADC采样速率为160 kSPS，因此允许的信号能量带宽为79.5 Hz，具有出色的抗干扰特性。

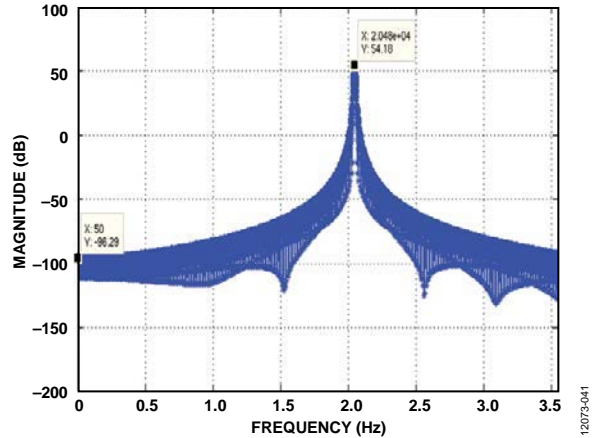


图40. 频率响应，20 kHz时的2048点DFT

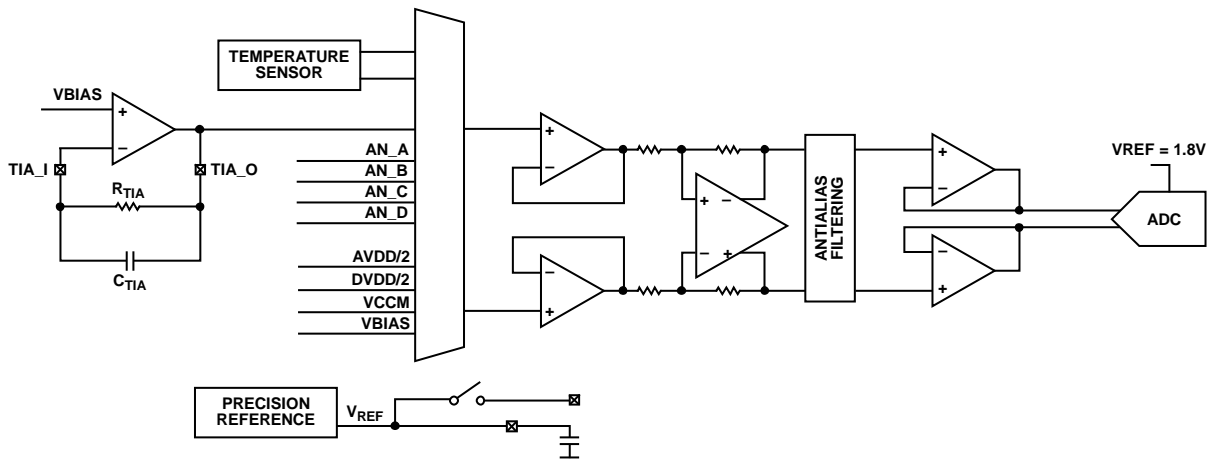


图41. Rx级

AFE控制

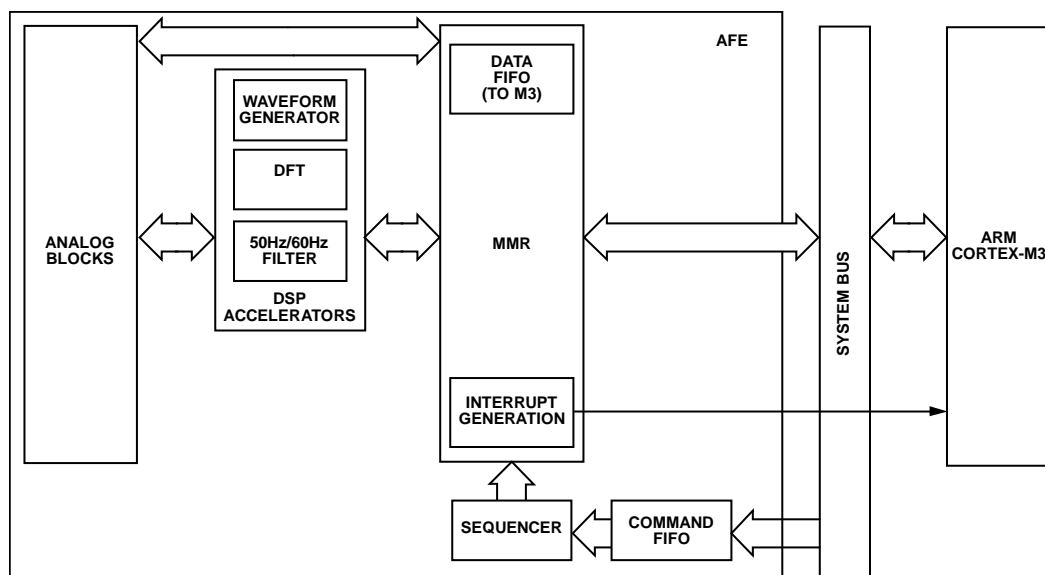


图42. AFE控制

可使用ARM Cortex-M3并通过MMR控制AFE。使用MMR寄存器，可以完全控制并观察AFE中的所有模块。通过AHB总线访问MMR，或者通过可编程序列器间接访问MMR。有两条专用DMA通道，减轻ARM Cortex-M3管理数据并控制FIFO的负担。

序列器处理低级AFE操作，允许AFE独立执行其功能。它以与内核异步的方式执行周期精确AFE测量。

序列器允许用户通过波形发生器模块创建参数化的波形。波形可以是梯形的，也可以是正弦的。使用AFE序列器和DMADMA传输可以产生任意波形。

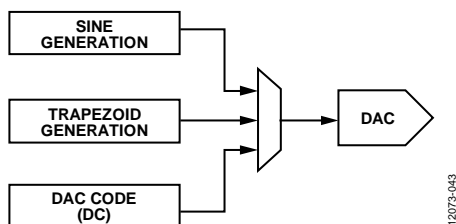


图43. 波形产生

CAPTOUCH特性

ADuCM350集成电容触摸子系统，在自电容模式下最多能与六条电容触摸通道实现接口，另外还集成高性能电容检测电路，无需外部元器件。

传感器输入配置极为灵活，并采用多种技术确保外部传感器无假接触事件(即环境变化不会导致对接触事件的寄存操作)。为了最大程度降低系统拾取噪声，ADuCM350 CapTouch内核集成多种算法，比如中值和均值滤波测量，以及可配置激励频率和占空比。子系统包括自定时器和接触-释放例程，以便优化功耗并减轻ARM Cortex-M3的计算负担。

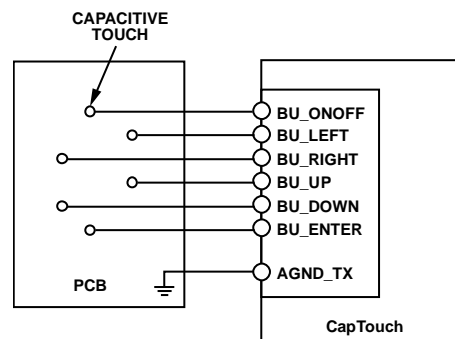


图44. CapTouch外部接口

微型子系统 存储器

ADuCM350提供下列存储器：

- 384 kB Flash。
- 16 kB Flash配置为EEPROM仿真。
- 2 kB用户信息。
- 32 kB SRAM。
- 2 kB USB端点专用SRAM。

Flash

ADuCM350集成384 kB嵌入式Flash存储器，可通过Flash控制器访问。Flash控制器作为从机器件与总线矩阵相连，以实现内核和DMA访问，而32位AHB用于MMR访问。

Flash控制器支持384 kB用户空间和2 kB信息空间。只能通过AHB读取和写入Flash。384 kB Flash存储器由一个256 kB Flash阵列和一个128 kB Flash阵列组成。256 kB Flash存储器阵列和128 kB Flash阵列分别由两个独立的Flash控制器控制，具有独立的寄存器控制能力。

就Flash完整性而言，器件支持：

- 复位时自动检查信息空间的签名
- 用于应用码的用户签名
- 每次访问执行奇偶校验
- 20,000次周期耐久性(20 ms擦除，20 μ s编程)
- 室温下数据保存期限为100年

通用Flash

该器件集成16 kB嵌入式Flash存储器用作一般用途，比如EEPROM仿真。

SRAM

片上集成32 kB SRAM；其中，16 kB将在休眠模式下予以保留，另外在此模式下还可额外保留16 kB，以便降低漏电流。

调试能力

ADuCM350支持两种类型的调试主机接口：四线式JTAG调试(JTAG)接口，以及串行双线式调试(SWD)接口。

ADuCM350集成针对ARM Cortex-M3特性的完整嵌入式跟踪，可最大化代码分析、系统配置以及调试能力。

可编程GPIO

ADuCM350集成66个GPIO引脚，其中大部分引脚都具有通过用户代码定义的多项可配置功能。它们可配置为输入/输出，具有可编程上拉或下拉电阻。所有I/O引脚都在全电源电压范围内可用(VBAT = 1.8 V至3.6 V)。

在节能模式下，GPIO引脚保持其状态；它们在复位时是三态的，防止总线刺激。GPIO需注意以下几点：

- 通过LCD段公共引脚实现32个引脚的多路复用
- 通过CapTouch实现6个引脚的多路复用
- 专用VDDIO提供9个引脚，便于外设接口

定时器

通用定时器

ADuCM350集成三个相同的通用定时器，每个定时器都具有16位递增/递减计数器。递增/递减计数器可采用四个用户可选时钟源之一提供时钟信息。可通过16/256/32,768预分频器对选定的时钟源进行向下分频处理。

看门狗定时器(WDT)

看门狗定时器是16位递减定时器，带可编程预分频器。可选择预分频器的时钟源，分频系数为1/16/256/4096。看门狗定时器采用32 kHz晶振(LFXTAL)或32 kHz片内振荡器(LFOSC)作为时钟源。看门狗定时器(WDT)用于从非法软件状态恢复。通过用户代码使能WUT后，它需要周期性服务来防止强制执行处理器复位或中断操作。WDT超时可以产生复位或中断。

唤醒定时器

唤醒定时器(WUT)由32位计数器组成，该计数器采用32 kHz外部晶振(LFXTAL)、32 kHz内部振荡器(LFOSC)或者外设时钟(PCLK)作为其时钟源。可对所选时钟源进行分频。

USB

ADuCM350上的USB端口是一个USB 2.0全速兼容型端口。该模块由USB控制器、USB PHY、USB RAM和双通道DMA组成。集成式稳压器由VBUS供电，并为USB PHY提供电源。具有60 MHz时钟能力的专用PLL用于时钟生成。

USB支持批量、同步、中断和控制模式。它具有7个硬件端点和专用的双通道DMA。它支持挂起和唤醒。

控制器硬件包含一组完整的USB器件类驱动程序，可通过定义的Micrium堆栈提供完整的USB功能。USB堆栈要求系统上存在RTOS。ADI公司使用Micrium μ C/OS-II开发了系统。

电源管理和时钟 功耗模式

PMU提供针对ADuCM350功率模式的控制，允许ARM Cortex-M3控制时钟和电源选通，以便降低动态功耗和休眠功耗。

提供四种功率模式；每种模式均提供额外的低功耗优势，但相应功能性有所下降。

- 主动模式——所有外设均可使能。通过优化时钟管理来管理主动功耗。
- 内核休眠——内核通过时钟选通，但系统其余部分处于活跃状态。此模式下无法执行任何指令，但可在外设和存储器之间继续进行DMA传输。
- 系统休眠——系统休眠时，大部分外设为时钟选通，用户不可对其编程；中断控制器保持活跃状态，NVIC针对有限的源数量处理唤醒事件。
- 休眠模式——某些限制状态保留、有限数量的唤醒中断以及RTC处于活跃状态。

器件还提供备用模式，能利用超级电容向RTC和相关电路提供最低功耗。采用80 mF电容后，RTC可以运行12个小时以上。

电源管理

ADuCM350集成电源管理系统，可优化性能，并延长器件的电池寿命。更多详情请参见UG-587硬件参考手册。

电源管理系统含有：

- 集成式模拟和数字LDO，调节至1.8 V。
- 休眠模式，从2.0 V到3.6 V。
- 高性能AFE测量，从2.5 V到3.6 V。
- 集成式电源开关，实现休眠模式下的低待机电流。
- 用于超级电容的集成式智能二极管涓流充电器，超级电容可在备用模式下使用。
- 通过9个GPIO引脚可提供VDDIO专用电压，实现外设互操作性。
- 用于USB收发器和总线的专用稳压器，通过VUSB引脚供电。
- 可实现故障安全操作的专用监控电路，包括Flash读/写期间的DVDD电源监控器、VCCM的PSM，用来监控AFE测量期间的电源，以及LFXTAL模块上的PSM，用来监控RTC的时钟源。

时钟

ADuCM350集成两个片内振荡器，以及用于两个外部晶体的驱动器电路。LFOSC是一个32 kHz内部振荡器，HFOSC是一个16 MHz内部振荡器，LFXTAL是一个32 kHz外部晶振，而HFXTAL是一个16 MHz外部晶振。

ADuCM350支持8 MHz或16 MHz谐振电路。HF RC振荡器精度为±5%。低抖动时钟源用于精密AFE测量。

USB的频率精度要求为±200 ppm。USB控制逻辑必须在30 MHz以上的时钟频率下工作。还提供USBPHYCLK，用作USB PHY的时钟，且该时钟必须等于60 MHz。

低频时钟针对超低功耗应用优化。RTC要求激活32.768 kHz XTAL，以便采用完全充电的0.08 F超级电容工作12小时。

实时时钟

RTC包含低功耗晶振电路，搭配32768 Hz外部晶振使用。与10 ppm晶振级负载电容一同使用时，它能实现25°C下25 ppm的保持时间性能。

RTC特性包括：

- 32位时间计数寄存器，单位为秒，可从已知参考点开始计数。
- 预分频器将32,768 Hz晶体输入频率向下分频至1 Hz，推进秒计数。
- RTC报警和中断标志。
- 具有数字调整能力，允许以固定间隔正向或反向调节RTC计数。

显示选项

LCD段显示驱动器和控制器

ADuCM350包含片内LCD控制器，可直接驱动LCD面板。器件提供36个引脚用于LCD功能。

LCD控制器支持驱动最多128段，以及可选多路复用选项。静态选项由一个背板×32个面板组成；4×多路复用选项由四个背板×32个面板组成。LCD控制器还支持利用内部电荷泵电路生成的LCD波形电压(支持的电平从2.4 V至3.6 V LCD)、可编程帧速率、帧边界中断生成(用于更新LCD数据)以及LCD帧时钟(使用板载32 kHz晶振生成)。

LCD显示控制器选项

LCD控制器同样具备驱动外部LCD显示模块的能力。它提供25个引脚用于显示接口，支持高达16位的数据传输。

显示控制器支持MIPI DBI规范(版本2.0)的A类、B类和C类。具体而言，支持A类接口的固定E模式和时钟E模式选项、A类和B类的全部总线宽度选项(8/9/16位数据)，以及C类的9位(选项1)和8位(选项3)串行接口。

ADuCM350

使用显示控制器后，各接口的深度如下所示：

- 8位接口为每像素8/12/16位(不是18或24)。
- 9位接口为每像素18位(不是8/12/16/24)。
- 16位接口为每像素8/12/16位(不是18或24)。

音频选项

ADuCM350集成用于蜂鸣器的音频驱动器以及I²S端口。

蜂鸣器

ADuCM350中的蜂鸣器驱动器模块生成具有可编程频率的差分方波。它驱动外部压电声音元件；该元件的两个端点与差分方波输出端相连。

蜂鸣器驱动器由可输出8 kHz至大约0.25 kHz频率的模块组成。它采用独立的固定32 kHz (32,768 Hz)时钟源，该时钟源不受系统时钟变化的影响。

定时器允许4 ms至1.02 s的可编程音持续时间，增量为4 ms。单音(脉冲)和多音(序列)模式提供多样化的回放选项。

在序列模式下，蜂鸣器可编程设置为播放从1到254(2到508音)的任意数量音对，或者编程设置为持续播放(直到用户停止)。提供中断，以便指示任何蜂鸣的起始与终止、序列终止或序列接近完成。

I²S

该器件支持I²S。I²S端口的用途是向放大器提供音频数据，该放大器驱动小型扬声器。ADuCM350上的I²S特性包括：

- 高达24位数据样本。
- 帧时钟范围为8 kHz至192 kHz。
- 主机/从机模式。
- 8位深度Tx FIFO。
- 地址自动递增的DMA模式。
- 中断模式。
- 降采样传输。

开发支持

文档

ADuCM350硬件参考手册详细描述了ADuCM350上每一模块的功能。它包含电源管理、时钟、存储器、外设和AFE。

硬件

提供EVAL-ADuCM350EBZ评估套件，能通过ADuCM350构建用户的传感器配置原型。可选择子卡，查询外设性能，包括CapTouch、PDI、LCD段、蜂鸣器和I²S。

软件

EVAL-ADuCM350EBZ包含面向ADuCM350的完整开发和调试环境。ADuCM350的软件开发套件(SDK)采用针对ARM的IAR Embedded Workbench作为其开发环境。

该SDK由完全可工作的AFE实例组成，包括：上电序列、校准序列和测量例程。这些AFE实例例程的说明可参见UG-587硬件参考手册；该手册还提供支持的时序图。

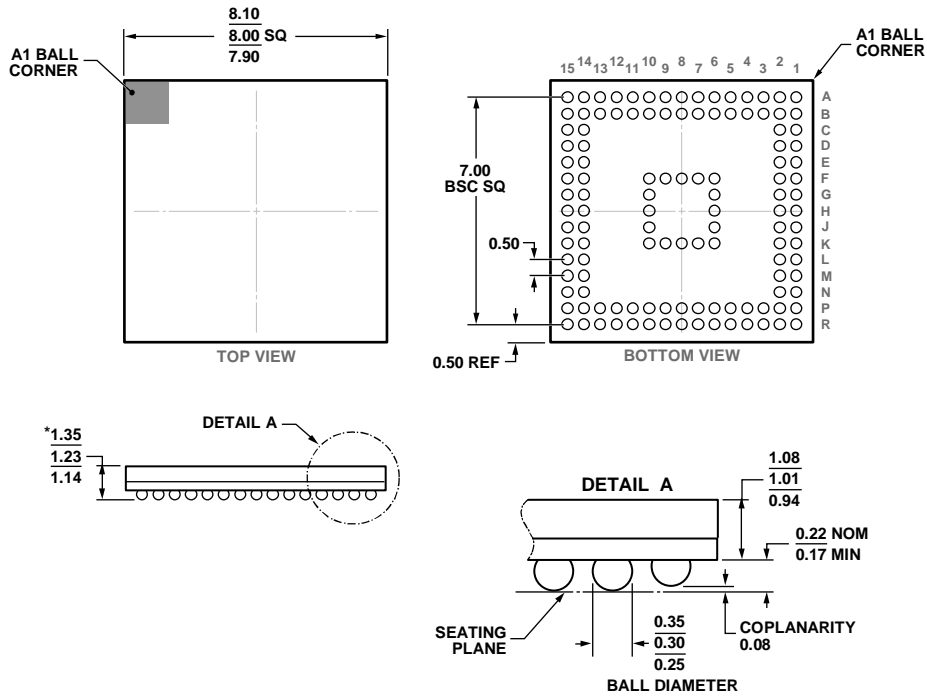
该SDK还包括兼容操作系统(OS)的驱动程序和实例代码，用于器件上的全部外设，包括SPI、I²C、CapTouch、PDI等。

支持包内还提供ADuCM350 AFE开发GUI，可在National Instruments LabVIEW®环境下工作。该GUI允许用户采用ADuCM350 AFE对各种传感器进行快速原型制作，以便评估它的高精度性能。

ADuCM350

封装和订购信息

外形尺寸



*COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS MO-275-CCCE-1 WITH EXCEPTION TO PACKAGE HEIGHT.

04-02-2015-A

图45. 120引脚芯片级球栅阵列 [CSP_BGA] 封装 (BC-120-3)

图示尺寸单位: mm

订购指南

型号 ¹	温度范围	封装描述	封装选项
ADuCM350BBCZ	-40°C至+85°C	120引脚 CSP_BGA封装	BC-120-3
ADuCM350BBCZ-RL	-40°C至+85°C	120引脚 CSP_BGA封装	BC-120-3

¹ Z = 符合RoHS标准的器件。

注释

注释

I²C指最初由Philips Semiconductors(现为NXP Semiconductors)开发的一种通信协议。