

## ADAS1000-3/ADAS1000-4

### 特性

生物电信号输入, 数字信号输出  
3个采集(ECG)通道和1个驱动导联  
可利用主器件**ADAS1000**或**ADAS1000-1**实现8电极+RLD组合  
交流和直流导联脱落检测  
3个导联内置起搏信号检测算法  
支持使用者起搏信号  
胸阻抗测量(内部/外部路径)  
可选参考导联  
可调噪声与功耗控制, 关断模式  
低功耗  
11 mW(1导联), 15 mW(3导联)  
提供导联或电极数据  
支持以下标准: AAMI EC11:1991/(R)2001/(R)2007、AAMI EC38  
R2007、EC13:2002/(R)2007、IEC60601-1 ed. 3.0 b:2005、  
IEC60601-2-25 ed. 2.0 :2011、IEC60601-2-27 ed. 2.0  
b:2005、IEC60601-2-51 ed. 1.0 b:2005  
快速过载恢复  
低速或高速数据输出速率  
串行接口: SPI/QSPI™/DSP兼容  
56引脚LFCSP封装(9 mm × 9 mm)  
64引脚LQFP封装(主体尺寸10 mm × 10 mm)

### 应用

**ECG: 监护和诊断**  
床边病人监护、便携式遥测、动态心电图监护仪、自动体外  
除颤器(AED)、心脏除颤器、便携式监护仪、心脏起搏器  
编程器、病人运送、压力测试

### 概述

**ADAS1000-3/ADAS1000-4**能够测量心电图(ECG)信号、胸  
阻抗、起搏伪像及导联连接/脱落状态, 并将此信息以数据  
帧的形式输出, 以可编程数据速率提供导联/矢量或电极数  
据。它具有低功耗和小尺寸特性, 适合电池供电的便携式  
应用。它还是一款高性能器件, 因此适用于高端诊断设备。

**ADAS1000-4**是功能全面的3通道ECG, 集成了呼吸和起搏  
检测功能; 而**ADAS1000-3**仅提供ECG通道, 没有呼吸和起  
搏检测功能。

**ADAS1000-3/ADAS1000-4**旨在简化采集并确保高质量ECG  
信号的任务。这些器件针对生物电信号应用提供了一种低  
功耗、小型数据采集系统。它还具有一些有助于提高ECG  
信号的采集质量辅助特性, 包括: 多通道均值受驱导联、  
可选的参考驱动、快速过载恢复、返回幅度和相位信息的  
灵活呼吸电路、在三个导联上运行内置起搏信号检测算  
法, 以及交流或直流导联脱落检测选项。多个数字输出选  
项则确保监控和分析信号的灵活性。心脏后处理是一种增  
值功能, 可在外部DSP、微处理器或FPGA上执行。

由于ECG系统应用广泛, 因此**ADAS1000-3/ADAS1000-4**采  
用一种灵活的功耗/噪声调整结构, 以提高功耗为代价降低  
噪声。为了省电, 可以关闭信号采集通道, 也可以降低数  
据速率。

为了简化制造测试、开发以及提供整体上电测试,  
**ADAS1000-3/ADAS1000-4**具备许多特性, 例如: 通过校准  
DAC提供直流和交流测试激励、CRC冗余测试, 以及对所  
有相关寄存器地址空间的回读功能。

输入结构为差分放大器输入, 允许用户选择不同配置方  
案来实现最佳应用。

**ADAS1000-3/ADAS1000-4**提供两种封装选择: 56引脚  
LFCSP和64引脚LQFP; 额定温度范围为-40°C至+85°C。

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 ©2012–2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved.  
Technical Support [www.analog.com](http://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

特性.....	1
应用.....	1
概述.....	1
修订历史.....	2
功能框图.....	3
技术规格.....	4
噪声性能.....	9
时序特性.....	10
绝对最大额定值.....	13
热阻.....	13
ESD警告.....	13
引脚配置和功能描述.....	14
典型性能参数.....	17
应用信息.....	24
概述.....	24
ECG输入—电极/导联.....	26
ECG通道.....	27
电极/导联信息和输入级配置.....	28
除颤器保护.....	30
ESIS滤波.....	30
ECG路径输入复用.....	30
共模选择和均值.....	31
威尔逊中心电端(WCT).....	32
右腿驱动/参考驱动.....	32
校准DAC.....	33
增益校准.....	33
导联脱落检测.....	33
屏蔽驱动器.....	33
呼吸(仅限ADAS1000-4型号).....	34

评估呼吸性能.....	36
起搏伪像检测功能(仅限ADAS1000-4).....	36
双心室起搏器.....	39
起搏检测测量.....	39
评估起搏检测性能.....	40
起搏延迟.....	40
通过第二串行接口进行起搏检测.....	40
滤波.....	40
基准电压源.....	42
组合工作模式.....	42
组合模式下的接口.....	45
串行接口.....	46
标准串行接口.....	46
第二串行接口.....	50
RESET.....	50
PD功能.....	50
SPI输出帧结构(ECG和状态数据).....	51
SPI寄存器定义和存储器映射.....	52
控制寄存器详述.....	53
接口示例.....	69
软件流程图.....	72
电源、接地和去耦策略.....	73
AVDD.....	73
ADCVDD和DVDD电源.....	73
未用引脚/路径.....	73
布局建议.....	73
外形尺寸.....	74
订购指南.....	75

## 修订历史

### 2013年1月—修订版0至修订版A

更改表1的尾注2.....	3
更改“激励电流”参数的“测试条件/注释”栏.....	5
增加表3.....	9
更改图36、图37和图39.....	21
更改“呼吸(仅限ADAS1000-4型号)”部分和图63.....	34

更改图64.....	35
更改图65.....	36
增加“评估起搏检测性能”部分.....	40
更改时钟部分.....	49
更改表29的RESPAMP位功能描述.....	55

### 2012年11月—修订版0：初始版

## 功能框图

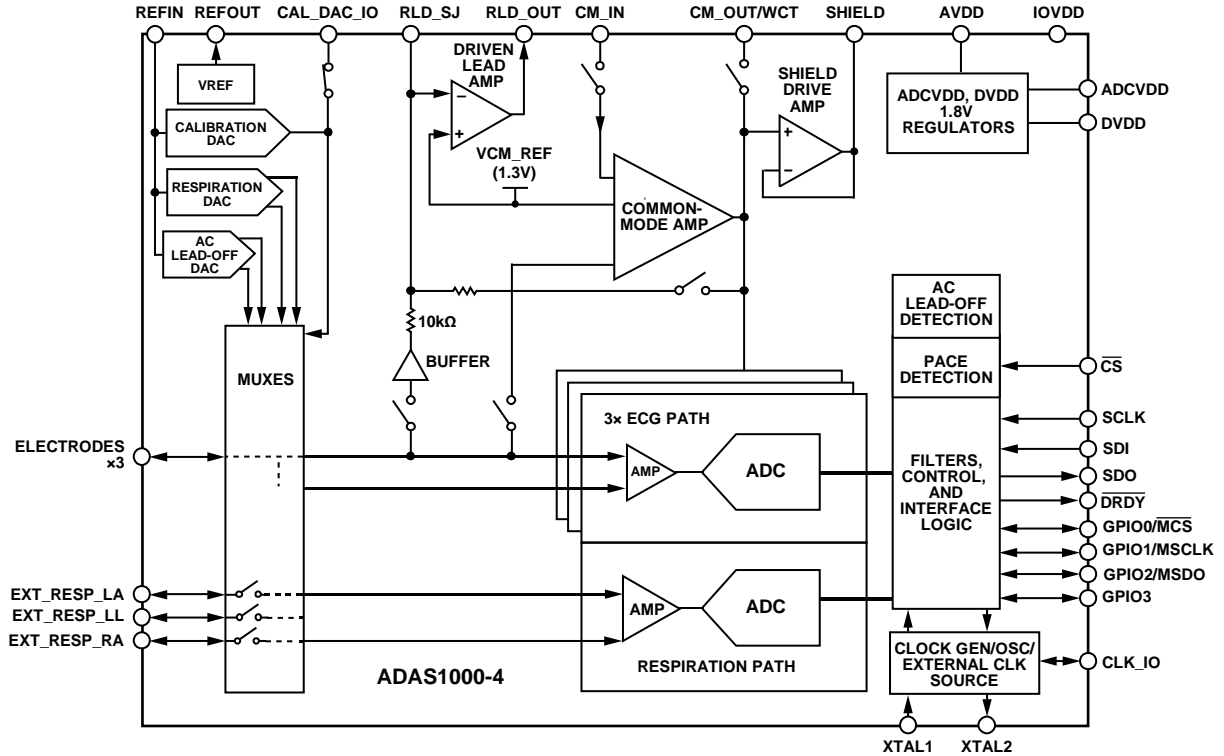


图1. ADAS1000-4 3通道全功能型号

10987-001

### 表1. ADAS1000系列特性概览

型号	ECG	操作	右腿驱动	呼吸	起搏检测	屏蔽驱动器	主接口 <sup>1</sup>	封装选项
ADAS1000	5个ECG通道	主/从	是	是	是	是	是	LFCSP, LQFP
ADAS1000-1	5个ECG通道	主/从	是			是	是	LFCSP
ADAS1000-2 <sup>2</sup>	5个ECG通道	从						LFCSP, LQFP
ADAS1000-3	3个ECG通道	主/从	是			是	是	LFCSP, LQFP
ADAS1000-4	3个ECG通道	主/从	是	是	是	是	是	LFCSP, LQFP

<sup>1</sup> 主接口针对希望使用自有数字起搏算法的用户而提供，参见“第二串行接口”部分。

<sup>2</sup> 这是一款补充器件，用于提供更多通道。它具有主器件的一部分特性，不能独立使用，可以与任何主器件一同使用。

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

## 技术规格

AVDD = 3.3 V ± 5%，IOVDD = 1.65 V至3.6 V，AGND = DGND = 0 V，REFIN连接到REFOUT，外部提供的晶体/时钟 = 8.192 MHz。按照“电源、接地和去耦策略”部分所述对基准电压源和电源进行去耦。除非另有说明， $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ 至 $+85^{\circ}\text{C}$ 。典型规格是 $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ 时的平均值。

为实现额定性能，使用内部ADCVDD和DVDD线性调节器。它们可以通过外部调节器供电。ADCVDD = 1.8 V ± 5%，DVDD = 1.8 V ± 5%。

前端增益设置：GAIN 0 = ×1.4，GAIN 1 = ×2.1，GAIN 2 = ×2.8，GAIN 3 = ×4.2。

表2.

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
ECG通道					这些规格适用于以下引脚：ECG1_LA、ECG2_LL、ECG3_RA、CM_IN(CE模式)、EXT_RESP_xx引脚 (用于扩展开关模式) 与电源无关
电极输入范围	0.3 0.63 0.8 0.97	1.3	2.3 1.97 1.8 1.63	V	GAIN 0(增益设置×1.4) GAIN 1(增益设置×2.1) GAIN 2(增益设置×2.8) GAIN 3(增益设置×4.2)
输入偏置电流	-40	±1	+40	nA	与各电极输入相关；整个工作范围内；直流和交流 导联脱落禁用
输入失调	-200	-7	+200	nA	AGND至AVDD
		-7		mV	电极/矢量模式，VCM = VCM_REF GAIN 3
		-7		mV	GAIN 2
		-15		mV	GAIN 1
		-22		mV	GAIN 0
输入失调温度系数 <sup>1</sup>		±2		μV/°C	
输入放大器输入阻抗 <sup>2</sup>		1  10		GΩ  pF	10 Hz时
共模抑制比(CMRR) <sup>2</sup>	105	110		dB	51 kΩ不平衡，60 Hz，±300 mV差分直流失调； 依据AAMI/IEC标准；受驱腿环路闭合
串扰 <sup>1</sup>		80		dB	通道间
分辨率 <sup>2</sup>		19		位	电极/矢量模式，2 kHz数据速率，24位数据字
		18		位	电极/矢量模式，16 kHz数据速率，24位数据字
		16		位	电极/模拟导联模式，128 kHz数据速率，16位数据字
积分非线性误差		30		ppm	GAIN 0；所有数据速率
差分非线性误差		5		ppm	GAIN 0
增益 <sup>2</sup>					折合到输入端； $(2 \times VREF)/\text{增益}/(2^N - 1)$ ； 工厂校准后适用。用户校准调整此数值。
GAIN 0(×1.4)		4.9		μV/LSB	19位水平，2 kHz数据速率
		9.81		μV/LSB	18位水平，16 kHz数据速率
		39.24		μV/LSB	16位水平，128 kHz数据速率
GAIN 1(×2.1)		3.27		μV/LSB	19位水平，2 kHz数据速率
		6.54		μV/LSB	18位水平，16 kHz数据速率
		26.15		μV/LSB	16位水平，128 kHz数据速率
GAIN 2(×2.8)		2.45		μV/LSB	19位水平，2 kHz数据速率
		4.9		μV/LSB	18位水平，16 kHz数据速率
		19.62		μV/LSB	16位水平，128 kHz数据速率
GAIN 3(×4.2)		1.63		μV/LSB	此增益设置无工厂校准
		3.27		μV/LSB	19位水平，2 kHz数据速率
		13.08		μV/LSB	18位水平，16 kHz数据速率
				μV/LSB	16位水平，128 kHz数据速率

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
增益误差	-1	+0.01	+1	%	GAIN 0至GAIN 2, 工厂校准; 可编程用户或工厂校准选项使能; 工厂增益校准仅适用于标准ECG接口
增益匹配	-2	+0.1	+2	%	GAIN 3设置, 此增益无工厂校准
增益温度系数 <sup>1</sup>	-0.1	+0.02	+0.1	%	GAIN 0至GAIN 2
折合到输入端噪声 <sup>1</sup>	-0.5	+0.1	+0.5	%	GAIN 3
模拟导联模式		25		ppm/°C	
电极模式		6		μV p-p	GAIN 2, 2 kHz数据速率, 见表4
		10		μV p-p	0.5 Hz至40 Hz; 高性能模式
		12		μV p-p	0.05 Hz至150 Hz; 高性能模式
		11		μV p-p	0.05 Hz至150 Hz; 低功耗模式
		12		μV p-p	0.05 Hz至150 Hz; 高性能模式
		12		μV p-p	0.05 Hz至150 Hz; 高性能模式
		14		μV p-p	0.05 Hz至150 Hz; 高性能模式
		16		μV p-p	0.05 Hz至150 Hz; 低功耗模式
电源灵敏度 <sup>2</sup>		100		dB	120 Hz时
模拟通道带宽 <sup>1</sup>		65		kHz	
动态范围 <sup>1</sup>		104		dB	GAIN 0, 2 kHz数据速率, -0.5 dBFS输入信号, 10 Hz
信噪比 <sup>1</sup>		100		dB	-0.5 dB FS输入信号
共模输入					CM_IN引脚
输入电压范围	0.3		2.3	V	
输入阻抗 <sup>2</sup>		1  10		GΩ  pF	
输入偏置电流	-40	±1	+40	nA	整个工作范围内; 直流和交流导联脱落禁用
	-200		+200	nA	AGND至AVDD
共模输出					CM_OUT引脚
VCM_REF	1.28	1.3	1.32	V	内部电压; 与电源无关
输出电压, VCM	0.3	1.3	2.3	V	无直流负载
输出阻抗 <sup>1</sup>		0.75		kΩ	非设计用于驱动电流
输出阻抗 <sup>1</sup>		4		mA	
电极求和权重误差 <sup>2</sup>		1		%	电阻匹配误差
呼吸功能 (仅限ADAS1000-4)					这些规格适用于以下引脚: EXT_RESP_LA、EXT_RESP_LL、EXT_RESP_RA和选定内部呼吸路径(导联I、导联II、导联III)
输入电压范围	0.3		2.3	V	交流耦合, 与电源无关
输入电压范围(线性工作)		1.8/增益		V p-p	可编程增益(10个状态)
输入偏置电流	-10	±1	+10	nA	适用于EXT_RESP_xx引脚, AGND至AVDD范围内
折合到输入端噪声 <sup>1</sup>		0.85		μV rms	
频率 <sup>2</sup>		46.5至64		kHz	可编程频率, 见表29
激励电流		64		μA p-p	呼吸驱动电流对应于RESPCTL寄存器的RESPAMP位设置的差分电压; 内部呼吸模式, 电缆5 kΩ/200 pF, 1.2 kΩ胸阻抗
		32		μA p-p	驱动范围A
		16		μA p-p	驱动范围B <sup>2</sup>
		8		μA p-p	驱动范围C <sup>2</sup>
		8		μA p-p	驱动范围D <sup>2</sup>
分辨率 <sup>2</sup>		24		位	更新速率125 Hz
测量分辨率 <sup>1</sup>		0.2		Ω	每电极电缆小于5 kΩ/200 pF; 体电阻建模为1.2 kΩ
		0.02		Ω	无电缆阻抗, 体电阻建模为1.2 kΩ
仪表放大器增益 <sup>1</sup>		1至10			数字编程, 步进为1
增益误差			1	%	GAIN 0设置的LSB权重
增益温度系数 <sup>1</sup>		25		ppm/C	

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
右腿驱动/受驱导联 输出电压范围 RLD_OUT短路电流	0.2 -5		AVDD - 0.2 +5	V mA	需要外部保护电阻以满足法定病人电流限制； 输出短接到AVDD/AGND
闭环增益范围 <sup>2</sup> 压摆率 <sup>2</sup> 折合到输入端噪声 <sup>1</sup> 放大器GBP <sup>2</sup>	25			V/V mV/ms $\mu$ V p-p MHz	
直流导联脱落 导联脱落电流精度 阈值上限 <sup>1</sup> 阈值下限 <sup>1</sup> 阈值精度		$\pm$ 10 2.4 0.2 25		% V V mV	
交流导联脱落 频率范围 导联脱落电流精度		2.031 $\pm$ 10		kHz %	
REFIN 输入范围 <sup>2</sup> 输入电流	1.76 450	1.8 113 675	1.84 950	V $\mu$ A $\mu$ A	
REFOUT 输出电压, VREF 基准电压温度系数 <sup>1</sup> 输出阻抗 <sup>2</sup> 短路电流 <sup>1</sup> 电压噪声 <sup>1</sup>	1.785	1.8 $\pm$ 10 0.1 4.5 33 17	1.815	V ppm/ $^{\circ}$ C $\Omega$ mA $\mu$ V p-p $\mu$ V p-p	ADC的片内基准电压, 非设计用于直接驱动 其它器件的基准输入, 必须外部缓冲  短路至地 0.05 Hz至150 Hz(ECG频段) 0.05 Hz至5 Hz(呼吸)
校准DAC DAC分辨率 满量程输出电压 零电平输出电压 差分非线性(DNL)误差: 输出串联电阻 <sup>2</sup> 输入电流	2.64 0.24 -1	10 2.7 0.3 10 $\pm$ 5	2.76 0.36 +1	位 V V LSB k $\Omega$ nA	通过CAL_DAC_IO提供(主器件输出, 从器件输入)  无负载, 标称FS输出为1.5 $\times$ REFOUT 空载  非设计用于驱动低阻抗负载, 用于配置为输入的从机CAL_DAC_IO 用作输入时
校准DAC测试音 输出电压 方波 低频正弦波 高频正弦波	0.9	1 1 10 150	1.1	mV p-p Hz Hz Hz	叠加于共模电压之上, VCM_REF = 1.3 V
屏蔽驱动器 输出电压范围 增益 失调电压 短路电流 稳定容性负载 <sup>2</sup>	0.3 -20	1 15	2.3 +20 25 10	V V/V mV $\mu$ A nF	叠加于共模电压(VCM)之上  输出电流受内部串联电阻限制
晶振 频率 <sup>2</sup> 启动时间 <sup>2</sup>		8.192 15		MHz ms	适用于XTAL1和XTAL2  内部启动

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
CLOCK_IO					外部时钟源提供给CLK_IO； 将器件设置为从机时，此引脚配置为输入
工作频率 <sup>2</sup>		8.192		MHz	
输入占空比 <sup>2</sup>	20		80	%	
输出占空比 <sup>2</sup>		50		%	
数字输入					适用于所有数字输入
输入低电压V <sub>IL</sub>			0.3 × IOVDD	V	
输入高电压V <sub>IH</sub>	0.7 × IOVDD			V	
输入电流, I <sub>IH</sub> , I <sub>IL</sub>	-1		+1	μA	
	-20		+20	μA	RESET 内置上拉电阻
引脚电容 <sup>2</sup>		3		pF	
数字输出					
输出低电压V <sub>OL</sub>			0.4	V	I <sub>SINK</sub> = 1 mA
输出高电压V <sub>OH</sub>	IOVDD - 0.4			V	I <sub>SOURCE</sub> = -1 mA
输出上升/下降时间		4		ns	容性负载 = 15 pF, 20%至80%
DVDD调节器					DVDD的内部1.8 V调节器
输出电压	1.75	1.8	1.85	V	
可用电流 <sup>1</sup>		1		mA	压降小于10 mV；用于外部器件加载目的
短路电流限值		40		mA	
ADCVDD调节器					ADCVDD的内部1.8 V调节器； 建议不要用作其它电路的电源
输出电压	1.75	1.8	1.85	V	
短路电流限值		40		mA	
电源范围 <sup>2</sup>					
AVDD	3.15	3.3	5.5	V	
IOVDD	1.65		3.6	V	
ADCVDD	1.71	1.8	1.89	V	若由外部1.8 V调节器施加
DVDD	1.71	1.8	1.89	V	若由外部1.8 V调节器施加
电源电流					
AVDD待机电流		785	975	μA	
IOVDD待机电流		1	60	μA	
外部提供的ADCVDD和DVDD					所有3个通道使能, RLD使能, 起搏使能
AVDD电流		2.4	4.1	mA	高性能模式
		2.2	4.1	mA	低性能模式
		3.2		mA	高性能模式, 呼吸使能
ADCVDD电流		4.5	6.5	mA	高性能模式
		3.3	5.5	mA	低性能模式
		5.4		mA	高性能模式, 呼吸使能
DVDD电流		2.0	4	mA	高性能模式
		1.1	3	mA	低性能模式
		2.0		mA	高性能模式, 呼吸使能
内部提供的ADCVDD和DVDD					所有3个通道使能, RLD使能, 起搏使能
AVDD电流		9	12.6	mA	高性能模式
		6.6	9.6	mA	低性能模式
		11	14.6	mA	高性能模式, 呼吸使能
功耗					所有3个通道使能, RLD使能, 起搏使能
外部提供的ADCVDD和DVDD <sup>3</sup>					
3个输入通道和RLD		19.6		mW	高性能(低噪声)
		15.2		mW	低功耗模式
内部提供的ADCVDD和DVDD					所有3个通道使能, RLD使能, 起搏使能
3个输入通道和RLD		29.7		mW	高性能(低噪声)
		21.8		mW	低功耗模式

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
其它功能 <sup>4</sup>					
功耗					
呼吸		7.6		mW	
屏蔽驱动器		150		μW	
外部提供的ADCVDD和DVDD					两个电极使能用于一个导联测量，RLD使能，起搏使能
AVDD电流		1.9	3.7	mA	高性能模式
		1.7	3.7	mA	低性能模式
ADCVDD电流		3.6	5.5	mA	高性能模式
		2.5	4.5	mA	低性能模式
DVDD电流		1.7	4	mA	高性能模式
		0.9	3	mA	低性能模式
内部提供的ADCVDD和DVDD					两个电极使能用于一个导联测量，RLD使能，起搏使能
AVDD电流		7.3	10.7	mA	高性能模式
		5.3	8.2	mA	低性能模式
功耗					两个电极使能用于一个导联测量，RLD使能，起搏使能
外部提供的ADCVDD和DVDD <sup>3</sup>					
2个输入通道和RLD		15.8		mW	高性能(低噪声)
		11.7		mW	低功耗模式
内部提供的ADCVDD和DVDD					
2个输入通道和RLD		24		mW	高性能(低噪声)
		17.5		mW	低功耗模式

<sup>1</sup> 通过特性保证，但未经生产测试。

<sup>2</sup> 通过设计保证，但未经生产测试。

<sup>3</sup> ADCVDD和DVDD可从内部LDO供电，或从外部1.8V电源轨供电，后一方式的功耗可能更低。

<sup>4</sup> 起搏是一个数字功能，不会引起功耗。



## 噪声性能

**表3. 0.5秒窗口内折合到输入端噪声典型值( $\mu\text{V p-p}$ )<sup>1</sup>**

模式	数据速率 <sup>2</sup>	增益0 ( $\times 1.4$ ) $\pm 1 \text{ VCM}$	增益1 ( $\times 2.1$ ) $\pm 0.67 \text{ VCM}$	增益2 ( $\times 2.8$ ) $\pm 0.5 \text{ VCM}$	增益3 ( $\times 4.2$ ) $\pm 0.3 \text{ VCM}$
模拟导联模式 <sup>3</sup> 高性能模式	2 kHz (0.5 Hz至40 Hz)	8	6	5	4
	2 kHz (0.05 Hz至150 Hz)	14	11	9	7.5

<sup>1</sup> 典型值在25°C下测量，未经生产测试。

<sup>2</sup> 使用2 kHz包/帧速率收集的数据是在0.5秒期间测得。ADAS1000-3/ADAS1000-4内置可编程低通滤波器的带宽配置为40 Hz或150 Hz。数据利用一个0.05 Hz或0.5 Hz的数字滤波器收集并后处理，以提供上述频段内的数据。

<sup>3</sup> 模拟导联模式，如图55和表11所示。

**表4. 折合到输入端噪声典型值( $\mu\text{V p-p}$ )<sup>1</sup>**

模式	数据速率 <sup>2</sup>	增益0 ( $\times 1.4$ ) $\pm 1 \text{ VCM}$	增益1 ( $\times 2.1$ ) $\pm 0.67 \text{ VCM}$	增益2 ( $\times 2.8$ ) $\pm 0.5 \text{ VCM}$	增益3 ( $\times 4.2$ ) $\pm 0.3 \text{ VCM}$	
模拟导联模式 <sup>3</sup> 高性能模式	2 kHz (0.5 Hz至40 Hz)	12	8.5	6	5	
	2 kHz (0.05 Hz至150 Hz)	20	14.5	10	8.5	
	16 kHz	95	65	50	39	
	128 kHz	180	130	105	80	
低功耗模式	2 kHz (0.5 Hz至40 Hz)	13	9.5	7.5	5.5	
	2 kHz (0.05 Hz至150 Hz)	22	15.5	12	9	
	16 kHz	110	75	59	45	
	128 kHz	215	145	116	85	
电极模式 <sup>4</sup>	高性能模式	2 kHz (0.5 Hz至40 Hz)	13	9.5	8	5.5
		2 kHz (0.05 Hz至150 Hz)	21	15	11	9
		16 kHz	100	70	57	41
		128 kHz	190	139	110	85
	低功耗模式	2 kHz (0.5 Hz至40 Hz)	14	9.5	7.5	5.5
		2 kHz (0.05 Hz至150 Hz)	22	15.5	12	9.5
		16 kHz	110	75	60	45
		128 kHz	218	145	120	88
数字导联模式 <sup>5,6</sup>	高性能模式	2 kHz (0.5 Hz至40 Hz)	16	11	9	6.5
		2 kHz (0.05 Hz至150 Hz)	25	19	15	10
		16 kHz	130	90	70	50
	低功耗模式	2 kHz (0.5 Hz至40 Hz)	18	12.5	10	7
		2 kHz (0.05 Hz至150 Hz)	30	21	16	11
		16 kHz	145	100	80	58

<sup>1</sup> 典型值在25°C下测量，未经生产测试。

<sup>2</sup> 使用2 kHz包/帧速率收集的数据是在20秒期间测得。ADAS1000-3/ADAS1000-4内置可编程低通滤波器的带宽配置为40 Hz或150 Hz。数据利用一个0.05 Hz或0.5 Hz的数字滤波器收集并后处理，以提供上述频段内的数据。

<sup>3</sup> 模拟导联模式，如图55和表11所示。

<sup>4</sup> 单端输入电极模式，如图56和表11所示。

<sup>5</sup> 数字导联模式，如表11所示。

<sup>6</sup> 数字导联模式提供2 kHz和16 kHz两种数据速率。

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

## 时序特性 标准串行接口

AVDD = 3.3 V ± 5%, IOVDD = 1.65 V至3.6 V, AGND = DGND = 0 V, REFIN连接到REFOUT, 外部提供的晶体/时钟 = 8.192 MHz。除非另有说明,  $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ 至 $+85^{\circ}\text{C}$ 。典型规格是 $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ 时的平均值。

表5.

参数 <sup>1</sup>	IOVDD			单位	描述
	3.3 V	2.5 V	1.8 V		
输出速率 <sup>2</sup>	2		128	kHz	额定IOVDD电源范围内; 三种可编程输出数据速率通过FRMCTL寄存器配置(见表36); 2 kHz、16 kHz、128 kHz; 较低速率使用跳过模式。
SCLK周期时间	25	40	50	ns(最小值)	关于SCLK频率与包数据/帧速率的关系的详细信息, 参见表20。
$t_{\text{CSSA}}$	8.5	9.5	12	ns(最小值)	$\overline{\text{CS}}$ 有效建立时间至上升SCLK。
$t_{\text{CSHA}}$	3	3	3	ns(最小值)	$\overline{\text{CS}}$ 有效保持时间至上升SCLK。
$t_{\text{CH}}$	8	8	8	ns(最小值)	SCLK高电平时间。
$t_{\text{CL}}$	8	8	8	ns(最小值)	SCLK低电平时间。
$t_{\text{DO}}$	8.5	11.5	20	ns(典型值)	SCLK下降沿至SDO有效延迟; SDO电容为15 pF。
	11	19	24	ns(最大值)	
$t_{\text{DS}}$	2	2	2	ns(最大值)	SCLK上升沿至SDI有效建立时间。
$t_{\text{DH}}$	2	2	2	ns(最大值)	SCLK上升沿至SDI有效保持时间。
$t_{\text{CSSD}}$	2	2	2	ns(最大值)	SCLK上升沿至 $\overline{\text{CS}}$ 有效建立时间。
$t_{\text{CSHD}}$	2	2	2	ns(最大值)	SCLK上升沿至 $\overline{\text{CS}}$ 有效保持时间。
$t_{\text{CSW}}$	25	40	50	ns(最大值)	两次写入(如使用)之间的 $\overline{\text{CS}}$ 高电平时间。注意, $\overline{\text{CS}}$ 为可选输入, 可以永久接至低电平。详情参见“串行接口”部分。
$t_{\text{DRDY\_CS}}^2$	0	0	0	ns(最大值)	$\overline{\text{DRDY}}$ 至 $\overline{\text{CS}}$ 建立时间。
$t_{\text{CSO}}$	6	7	9	ns(典型值)	从 $\overline{\text{CS}}$ 置位到SDO有效的延迟时间。
RESET低电平时间 <sup>2</sup>	20	20	20	ns(最大值)	最短脉冲宽度; RESET为边沿触发。

<sup>1</sup> 通过特性保证, 但未经生产测试。

<sup>2</sup> 通过设计保证, 但未经生产测试。

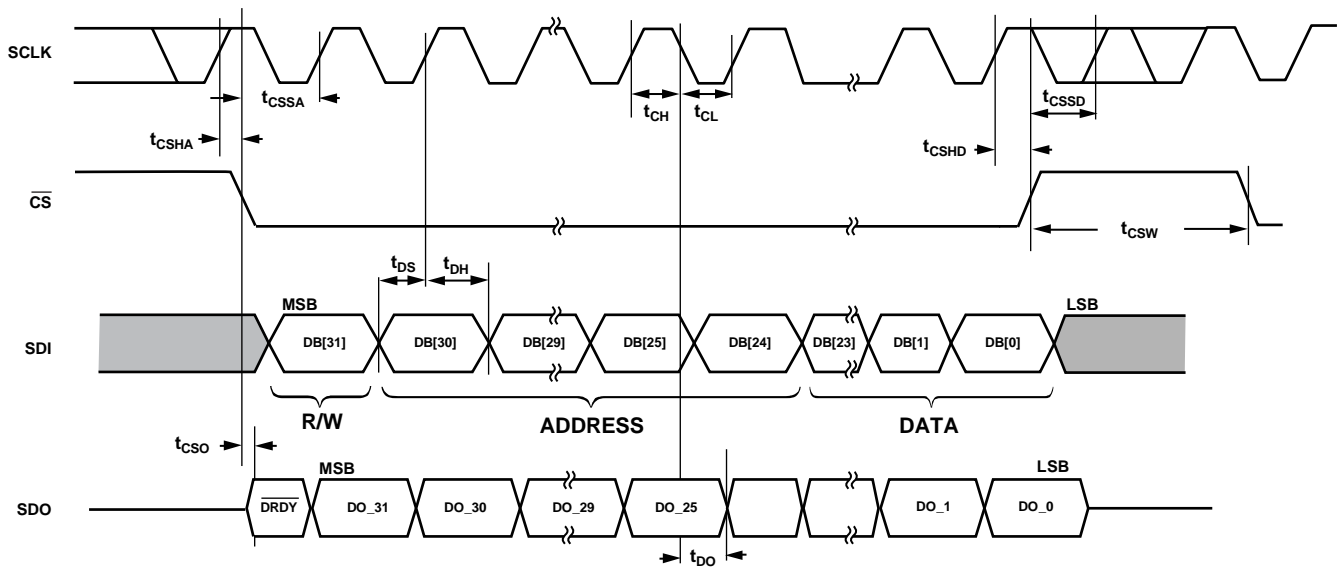


图2. 数据读取和写入时序图(CPHA = 1, CPOL = 1)

10997-002

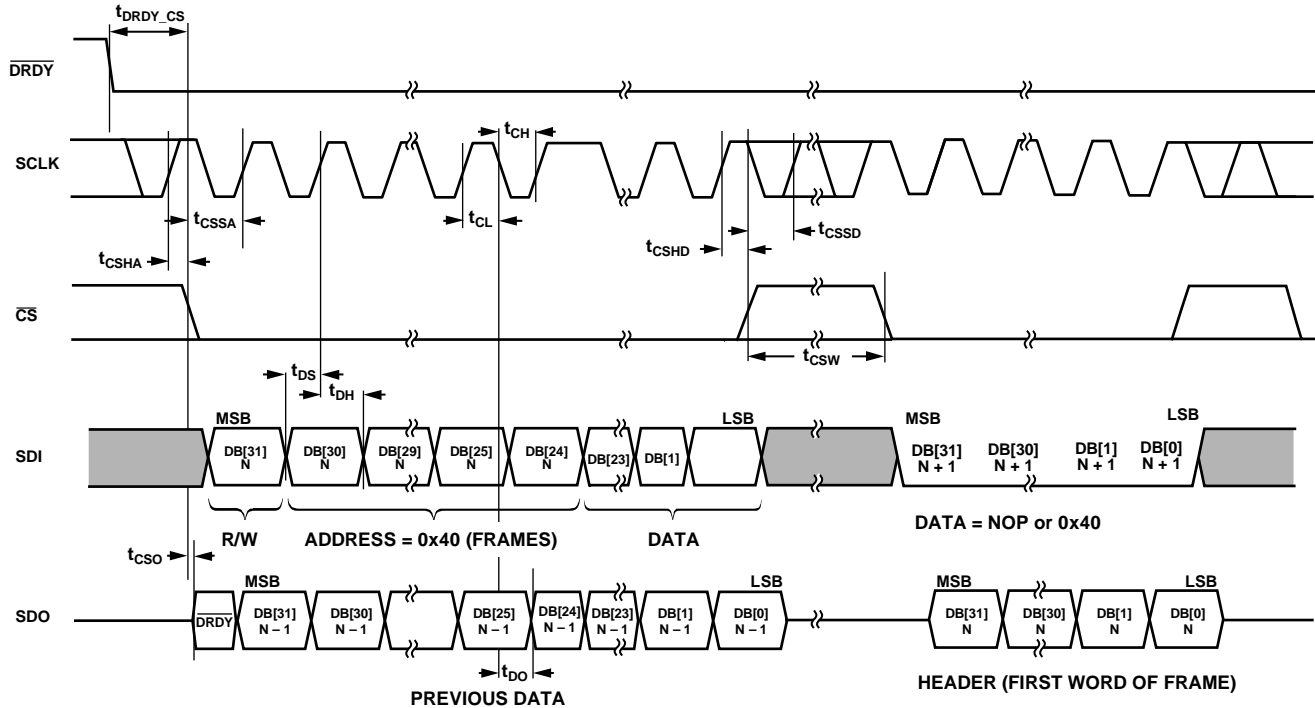


图3. 开始读取帧数据(CPHA = 1、CPOL = 1)

10997-003

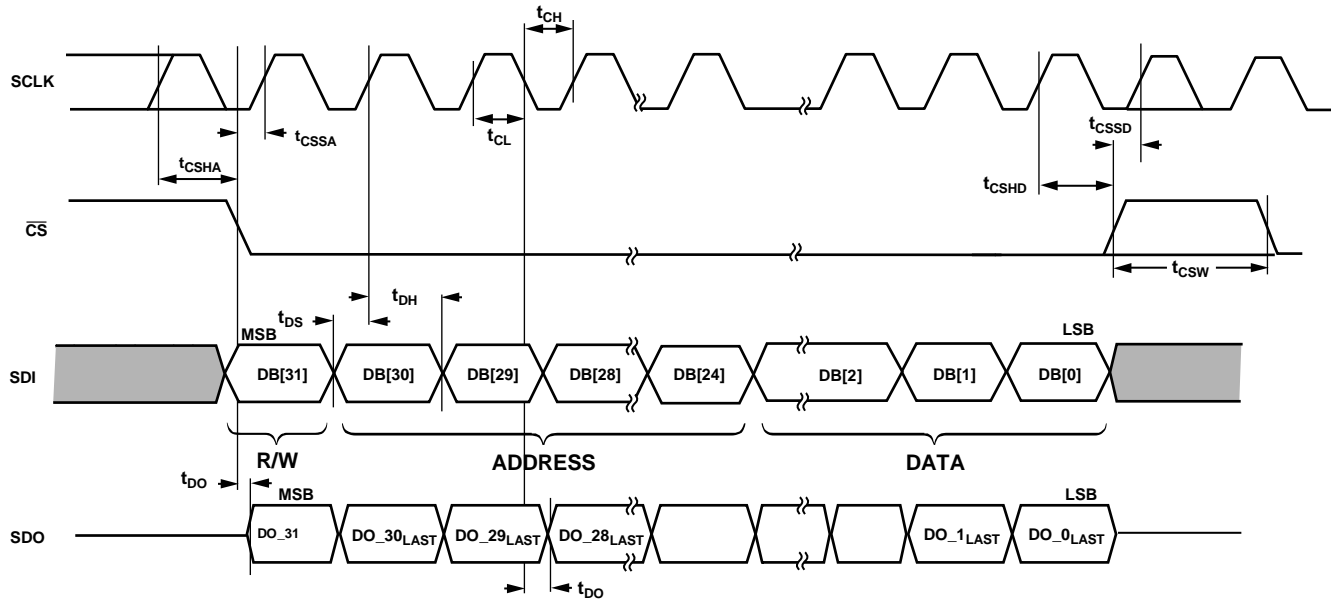


图4. 数据读取和写入时序图(CPHA = 0、CPOL = 0)

10997-004

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

## 第二串行接口(主接口用于客户的数字起搏算法)仅限ADAS1000-4

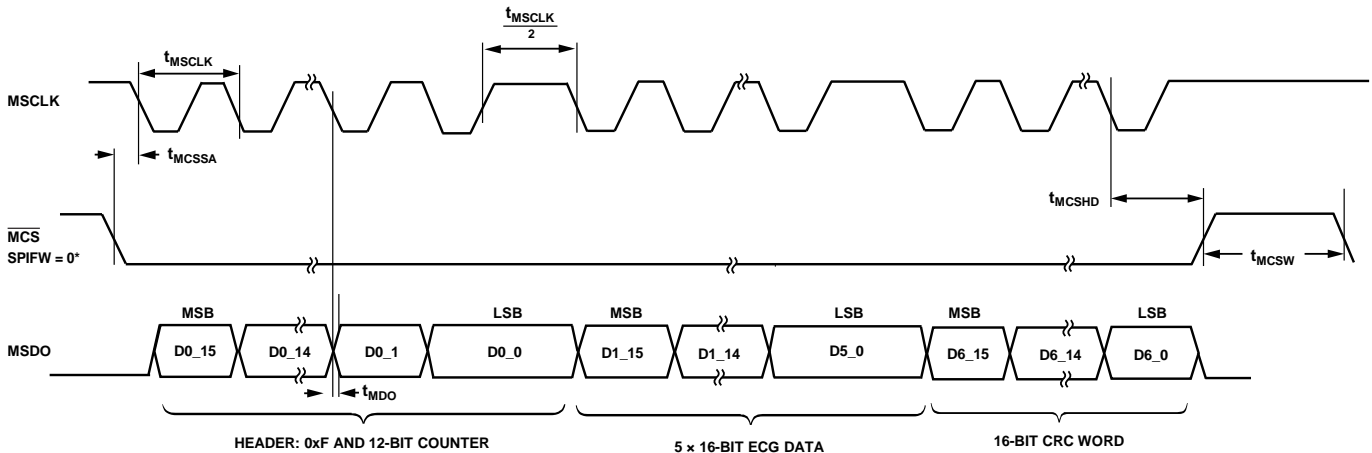
AVDD = 3.3 V ± 5%, IOVDD = 1.65 V至3.6 V, AGND = DGND = 0 V, REFIN连接到REFOUT, 外部提供的晶体/时钟 = 8.192 MHz。除非另有说明,  $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ 至 $+85^{\circ}\text{C}$ 。典型规格是 $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ 时的平均值。当ECGCTL寄存器配置为高性能模式时(ECGCTL[3] = 1, 见表27), 下列时序规格适用于主接口。

表6.

参数 <sup>1</sup>	最小值 典型值	最大值	单位	描述
输出帧速率 <sup>2</sup>	128		kHz	所有5个16位ECG数据字均仅以128 kHz的帧速率提供。
$f_{\text{SCLK}}^2$	$2.5 \times$ 晶体频率		MHz	晶体频率 = 8.192 MHz
$t_{\text{MCSSA}}$	24.4		ns	$\overline{\text{MCS}}$ 有效建立时间
MDO				MSCLK上升沿至MSDO有效延迟。
$t_{\text{MCSHD}}$	48.8		ns	MSCLK下降沿至MCS有效保持时间
$t_{\text{MCSW}}$	2173		ns	$\overline{\text{MCS}}$ 高电平时间, SPIFW = 0, $\overline{\text{MCS}}$ 在整个帧期间置位, 如图5所示, 配置见表32
	2026		ns	$\overline{\text{MCS}}$ 高电平时间, SPIFW = 1, $\overline{\text{MCS}}$ 在帧的每个字期间置位, 如图6所示, 配置见表32

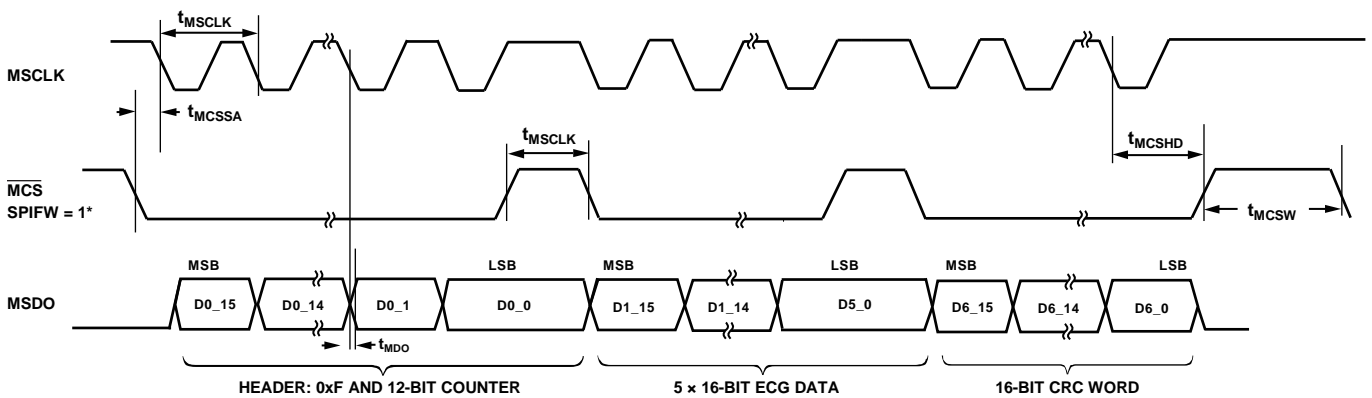
<sup>1</sup> 通过特性保证, 但未经生产测试。

<sup>2</sup> 通过设计保证, 但未经生产测试。



\*SPIFW = 0 PROVIDES  $\overline{\text{MCS}}$  FOR EACH FRAME, SCLK STAYS HIGH FOR 1/2 MSCLK CYCLE BETWEEN EACH WORD.

图5. SPIFW = 0时的数据读取和写入时序图, 显示整个包的数据(表头、5个ECG字[ECG1、ECG2、ECG3和2个零字]和CRC字)



\*SPIFW = 1 PROVIDES  $\overline{\text{MCS}}$  FOR EACH FRAME, SCLK STAYS HIGH FOR 1 MSCLK CYCLE BETWEEN EACH WORD.

图6. SPIFW = 1时的数据读取和写入时序图, 显示整个包的数据(表头、5个ECG字[ECG1、ECG2、ECG3和2个零字]和CRC字)

## 绝对最大额定值

表7.

参数	额定值
AVDD至AGND	-0.3 V至+6 V
IOVDD至DGND	-0.3 V至+6 V
ADCVDD至AGND	-0.3 V至+2.5 V
DVDD至DGND	-0.3 V至+2.5 V
REFIN/REFOUT至REFGND	-0.3 V至+2.1 V
ECG和模拟输入至AGND	-0.3 V至AVDD + 0.3 V
数字输入至DGND	-0.3 V至IOVDD + 0.3 V
REFIN至ADCVDD	ADCVDD +0.3 V
AGND至DGND	-0.3 V至+0.3 V
REFGND至AGND	-0.3 V至+0.3 V
ECG输入连续电流	±10 mA
存储温度范围	-65°C至+125°C
工作结温范围	-40°C至 +85°C
回流温度曲线	J-STD-20 (JEDEC)
结温	150°C(最大值)
ESD	
HBM	2500 V
FICDM	1000 V

注意，超出上述绝对最大额定值可能会导致器件永久性损坏。这只是额定最值，不表示在这些条件下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，器件能够正常工作。长期在绝对最大额定值条件下工作会影响器件的可靠性。

## 热阻

$\theta_{JA}$  针对最差条件，即器件焊接在电路板上以实现表贴封装。

表8. 热阻<sup>1</sup>

封装类型	$\theta_{JA}$	单位
56引脚 LFCSP	35	°C/W
64引脚 LQFP	42.5	°C/W

<sup>1</sup> 基于JEDEC标准4层(2S2P)高有效热导率测试板(JESD51-7)和自然对流。

## ESD警告

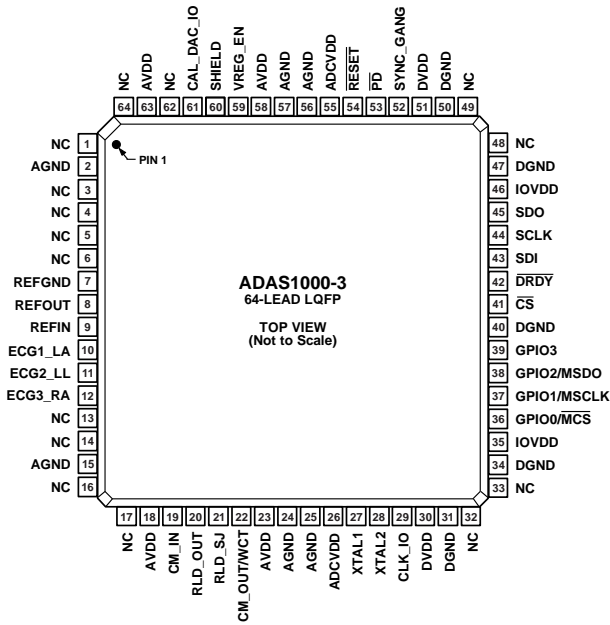


### ESD(静电放电)敏感器件。

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。

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

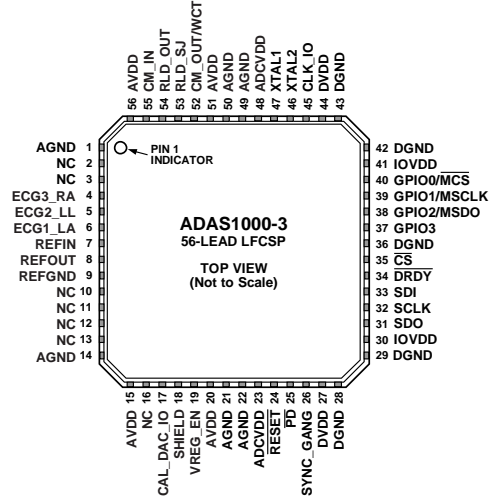
## 引脚配置和功能描述



NOTES  
1. PINS LABELED NC CAN BE ALLOWED TO FLOAT, BUT IT IS BETTER TO CONNECT THESE PINS TO GROUND. AVOID ROUTING HIGH SPEED SIGNALS THROUGH THESE PINS BECAUSE NOISE COUPLING MAY RESULT.

图7. ADAS1000-3 64引脚 LQFP引脚配置

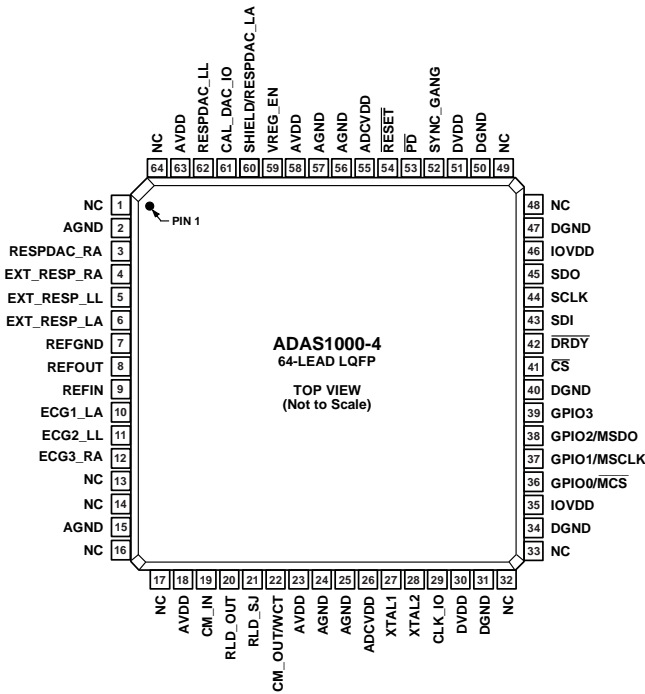
10997-007



NOTES  
1. PINS LABELED NC CAN BE ALLOWED TO FLOAT, BUT IT IS BETTER TO CONNECT THESE PINS TO GROUND. AVOID ROUTING HIGH SPEED SIGNALS THROUGH THESE PINS BECAUSE NOISE COUPLING MAY RESULT.  
2. THE EXPOSED PAD IS ON THE TOP OF THE PACKAGE; IT IS CONNECTED TO THE MOST NEGATIVE POTENTIAL, AGND.

图9. ADAS1000-4 64引脚 LQFP引脚配置

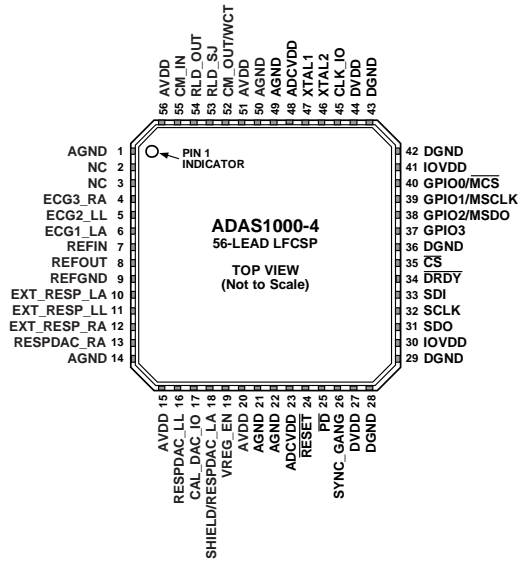
10997-006



NOTES  
1. PINS LABELED NC CAN BE ALLOWED TO FLOAT, BUT IT IS BETTER TO CONNECT THESE PINS TO GROUND. AVOID ROUTING HIGH SPEED SIGNALS THROUGH THESE PINS BECAUSE NOISE COUPLING MAY RESULT.

图8. ADAS1000-3 56引脚 LFCSP引脚配置

10997-005



NOTES  
1. PINS LABELED NC CAN BE ALLOWED TO FLOAT, BUT IT IS BETTER TO CONNECT THESE PINS TO GROUND. AVOID ROUTING HIGH SPEED SIGNALS THROUGH THESE PINS BECAUSE NOISE COUPLING MAY RESULT.  
2. THE EXPOSED PAD IS ON THE TOP OF THE PACKAGE; IT IS CONNECTED TO THE MOST NEGATIVE POTENTIAL, AGND.

图10. ADAS1000-4 56引脚 LFCSP引脚配置

10997-008

**表9. 引脚功能描述**

ADAS1000-3引脚编号		ADAS1000-4引脚编号		引脚名称	描述
LQFP	LFCSP	LQFP	LFCSP		
18, 23, 58, 63	15, 20, 51, 56	18, 23, 58, 63	15, 20, 51, 56	AVDD	模拟电源。关于旁路电容的建议, 参见“电源、接地和去耦策略”部分。
35, 46	30, 41	35, 46	30, 41	IOVDD	数字输入和输出电平的数字电源。关于旁路电容的建议, 参见“电源、接地和去耦策略”部分。
26, 55	23, 48	26, 55	23, 48	ADCVDD	ADC的模拟电源。一个片内线性调节器为ADC提供电源电压。这些引脚主要用于去耦目的, 但是, 如果用户希望使用一个效率更高的电源来降低功耗, 这些引脚也可以通过外部1.8 V电源供电。这种情况下, 应让VREG_EN引脚接地以禁用ADCVDD和DVDD调节器。ADCVDD引脚不能被用于为其它功能供电。关于旁路电容的建议, 参见“电源、接地和去耦策略”部分。
30, 51	27, 44	30, 51	27, 44	DVDD	数字电源。一个片内线性调节器为数字内核提供电源电压。这些引脚主要用于去耦目的, 但是, 如果用户希望使用一个效率更高的电源来降低功耗, 这些引脚也可以通过外部1.8 V电源过驱供电。这种情况下, 应让VREG_EN引脚接地以禁用ADCVDD和DVDD调节器。关于旁路电容的建议, 参见“电源、接地和去耦策略”部分。
2, 15, 24, 25, 56, 57	1, 14, 21, 22, 49, 50	2, 15, 24, 25, 56, 57	1, 14, 21, 22, 49, 50	AGND	模拟地。
31, 34, 40, 47, 50	28, 29, 36, 42, 43	31, 34, 40, 47, 50	28, 29, 36, 42, 43	DGND	数字地。
59	19	59	19	VREG_EN	使能或禁用内部用于ADCVDD和DVDD的电压调节器。此引脚接AVDD时, 使能内部电压调节器, 接地时禁用。
10	6	10	6	ECG1_LA	模拟输入, 左臂(LA)。
11	5	11	5	ECG2_LL	模拟输入, 左腿(LL)。
12	4	12	4	ECG3_RA	模拟输入, 右臂(RA)。
		4	12	EXT_RESP_RA	可选外部呼吸输入。
		5	11	EXT_RESP_LL	可选外部呼吸输入。
		6	10	EXT_RESP_LA	可选外部呼吸输入。
		62	16	RESPDAC_LL	更高性能呼吸分辨率的可选路径, 呼吸DAC驱动, 负侧0。
		60	18	SHIELD/ RESPDAC_LA	共用引脚(用户配置)。 屏蔽驱动器的输出(SHIELD)。 更高性能呼吸分辨率的可选路径, 呼吸DAC驱动, 负侧1 (RESPDAC_LA)。
60	18			SHIELD	屏蔽驱动器的输出。
		3	13	RESPDAC_RA	更高性能呼吸分辨率的可选路径, 呼吸DAC驱动, 正侧。
22	52	22	52	CM_OUT/WCT	共模输出电压(所选电极的平均值)。非设计用于驱动电流。
19	55	19	55	CM_IN	共模输入。
21	53	21	53	RLD_SJ	右腿驱动放大器的求和结。
20	54	20	54	RLD_OUT	右腿驱动放大器的输出和反馈结。
61	17	61	17	CAL_DAC_IO	校准DAC输入/输出。主器件的输出, 从器件的输入。非设计用于驱动电流。
9	7	9	7	REFIN	基准电压输入。对于独立模式, 将REFOUT连接到REFIN。需要ESR < 0.2 Ω的外部10 μF电容与0.1 μF接地旁路电容并联, 电容应尽可能靠近引脚。可以将外部基准电压连接到REFIN。
8	8	8	8	REFOUT	基准电压输出。
7	9	7	9	REFGND	基准电压地。连接到干净的地。
27, 28	47, 46	27, 28	47, 46	XTAL1, XTAL2	外部晶体连接在这两个引脚之间; 外部时钟驱动应施加于CLK_IO。每个XTAL引脚需要15 pF接地电容。
29	45	29	45	CLK_IO	缓冲时钟输入/输出。主器件的输出, 从器件的输入。上电进入高阻抗状态。
41	35	41	35	$\overline{CS}$	片选和帧同步, 低电平有效。在帧传输模式下, $\overline{CS}$ 可用于帧传输每个字或整套数据。

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

ADAS1000-3引脚编号		ADAS1000-4引脚编号		引脚名称	描述
LQFP	LFCSP	LQFP	LFCSP		
44	32	44	32	SCLK	时钟输入。数据在上升沿读入移位寄存器，在下降沿读出。
43	33	43	33	SDI	串行数据输入。
53	25	53	25	$\overline{PD}$	关断，低电平有效。
45	31	45	31	SDO	串行数据输出。此引脚用于回读寄存器配置数据和数据帧传输。
42	34	42	34	$\overline{DRDY}$	数字输出。此引脚为低电平时，表示转换数据可供读取，高电平时表示繁忙。读取包数据时，必须读取整个包后， $\overline{DRDY}$ 才能返回高电平状态。
54	24	54	24	$\overline{RESET}$	数字输入。此引脚内置上拉电阻。此引脚可将所有内部节点复位到其上电复位值。
52	26	52	26	SYNC_GANG	数字输入/输出(主器件的输出，从器件的输入)。多器件相连时，用于同步控制。上电进入高阻抗状态。
36	40	36	40	GPIO0/ $\overline{MCS}$	通用I/O或主器件128 kHz SPI $\overline{CS}$ 。
37	39	37	39	GPIO1/MSCLK	通用I/O或主器件128 kHz SPI SCLK。
38	38	38	38	GPIO2/MSDO	通用I/O或主器件128 kHz SPI SDO。
39	37	39	37	GPIO3	通用I/O。
1, 3, 4, 5, 6, 13, 14, 16, 17, 32, 33, 48, 49, 62, 64	2, 3, 10, 11, 12, 13, 16	1, 13, 14, 16, 17, 32, 33, 48, 49, 64	2, 3	NC	不连接。请勿连接到这些引脚(参见图7、图8、图9和图10)。
	57		57	EPAD	裸露焊盘。裸露焊盘位于封装之上，连接到最大负电位AGND。



典型工作特性

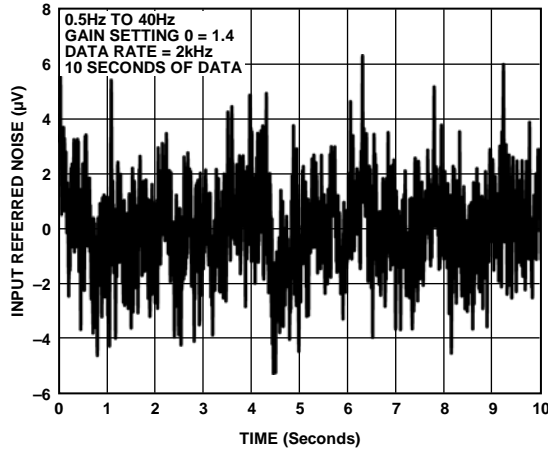


图11. 折合到输入端噪声：0.5 Hz至40 Hz带宽，2 kHz数据速率，GAIN 0 (1.4)

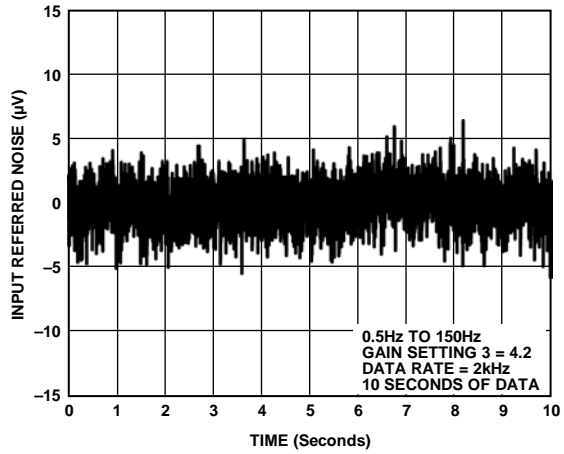


图14. 折合到输入端噪声：0.5 Hz至150 Hz带宽，2 kHz数据速率，GAIN 3 (4.2)

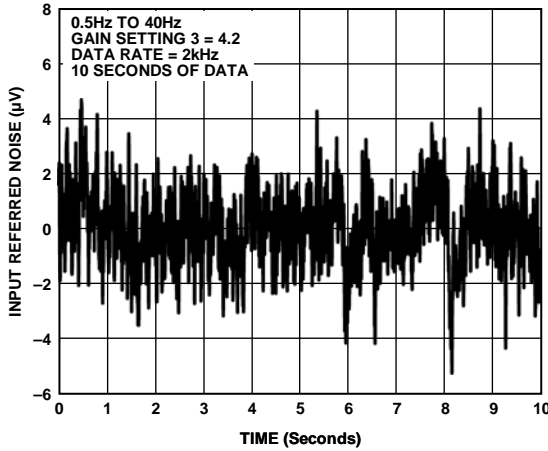


图12. 折合到输入端噪声：0.5 Hz至40 Hz带宽，2 kHz数据速率，GAIN 3 (4.2)

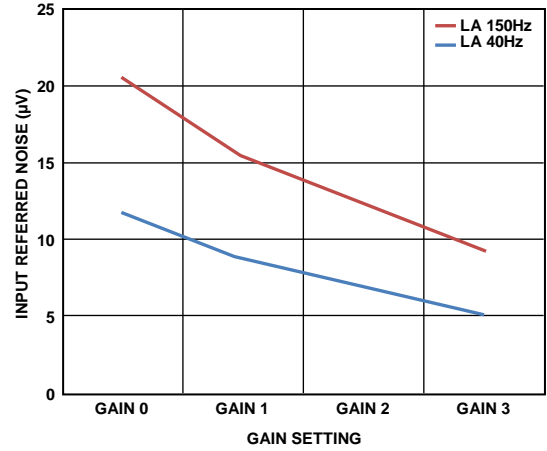


图15. ECG通道噪声性能(0.5 Hz至40 Hz或0.5 Hz至150 Hz带宽)与增益设置的关系

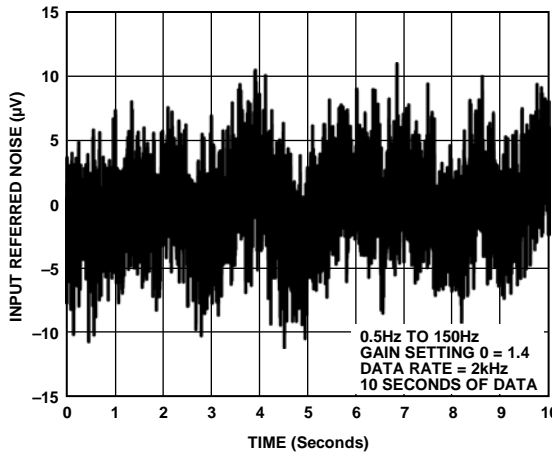


图13. 折合到输入端噪声：0.5 Hz至150 Hz带宽，2 kHz数据速率，GAIN 0 (1.4)

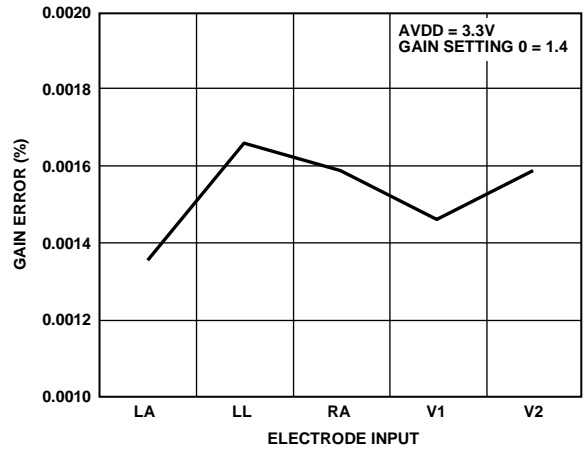


图16. 典型增益误差与通道的关系

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

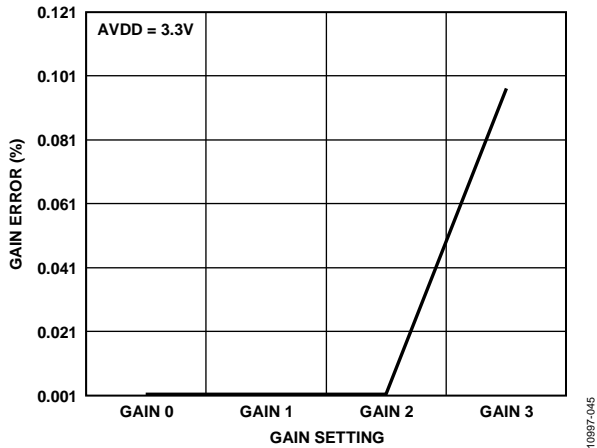


图17. 典型增益误差与增益的关系

10897-045

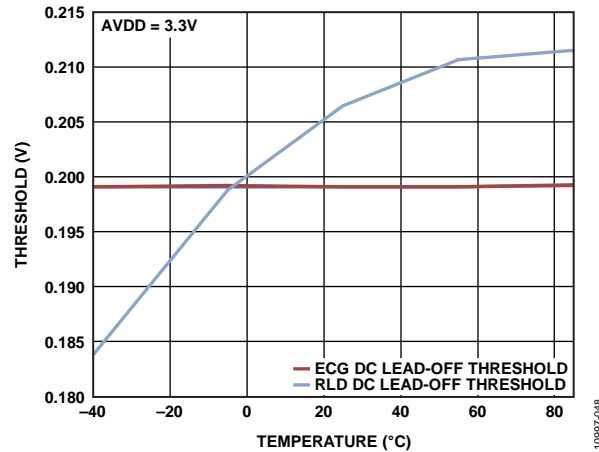


图20. 直流导联脱落比较器阈值下限与温度的关系

10897-048

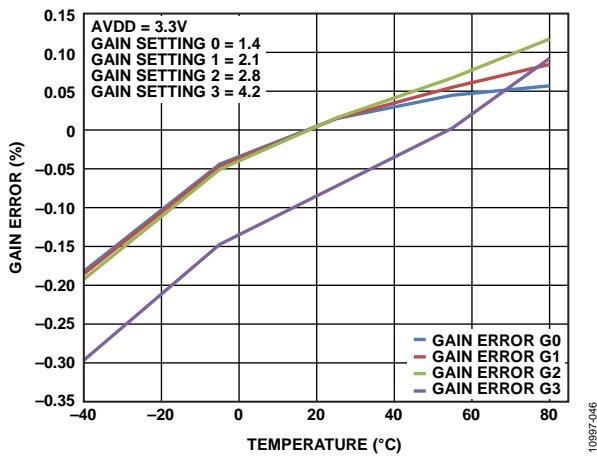


图18. 所有增益设置的典型增益误差与温度的关系

10897-046

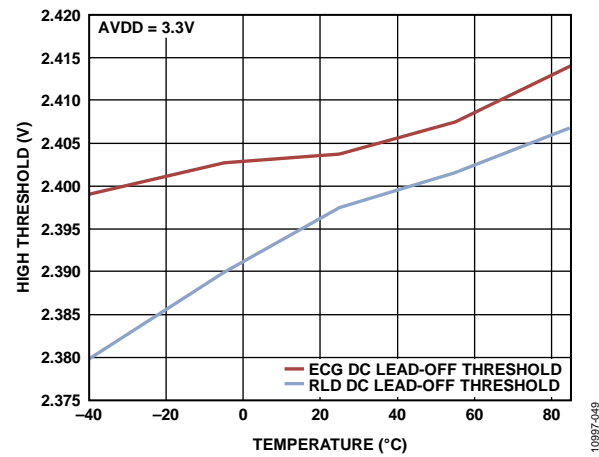


图21. 直流导联脱落比较器阈值上限与温度的关系

10897-049

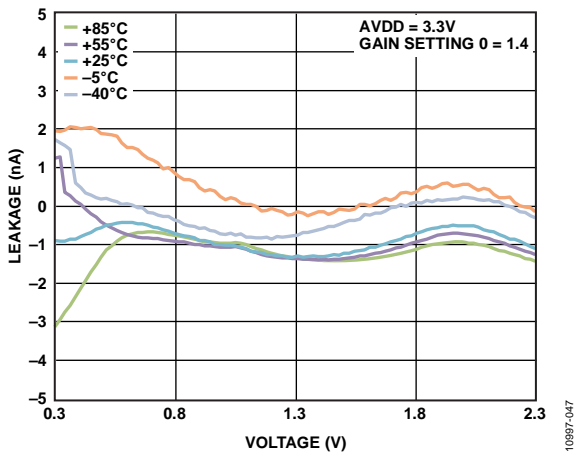


图19. 输入电压范围内的典型ECG通道漏电流与温度的关系

10897-047

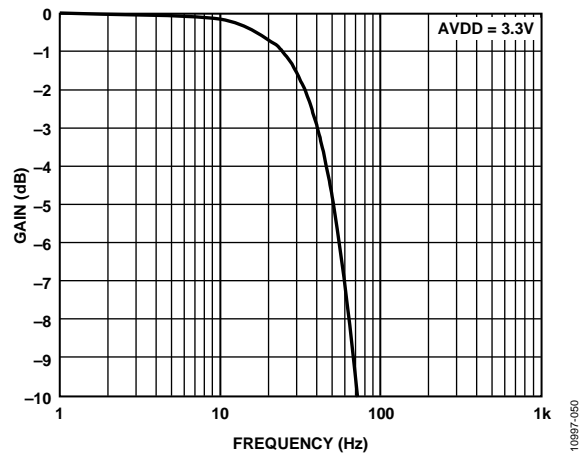


图22. 滤波器响应: 40 Hz滤波器使能、2 kHz数据速率; 数字滤波器概况见图68

10897-050

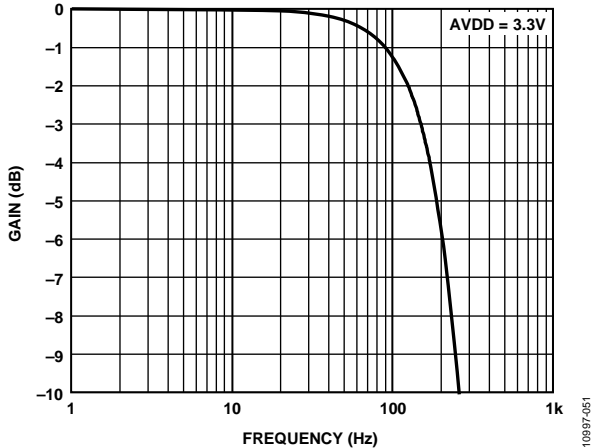


图23. 滤波器响应: 150 Hz滤波器使能、2 kHz数据速率; 数字滤波器概况见图68

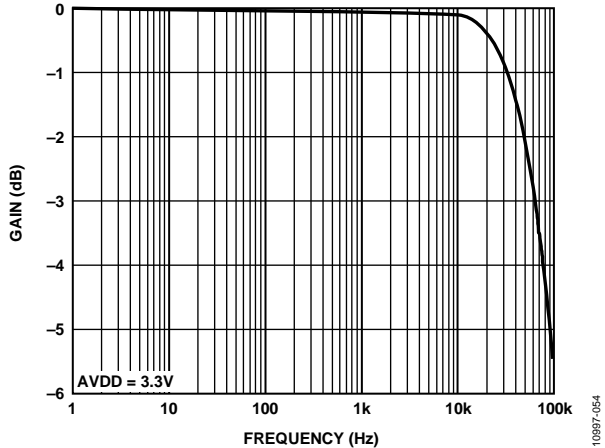


图26. 模拟通道带宽

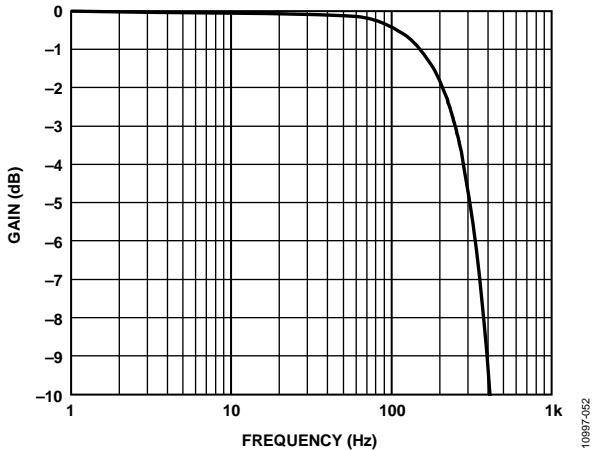


图24. 滤波器响应: 250 Hz滤波器使能、2 kHz数据速率; 数字滤波器概况见图68

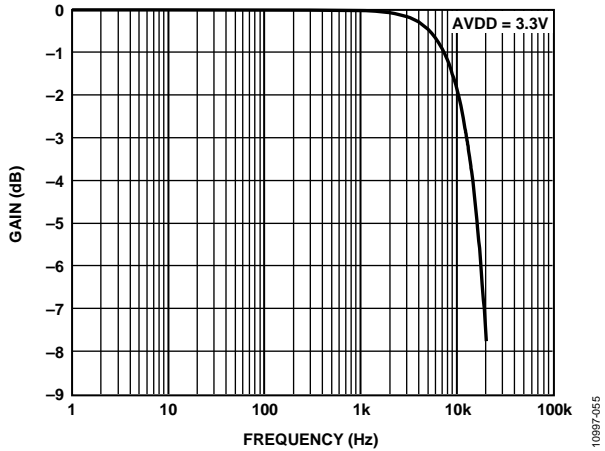


图27. 滤波器响应: 128 kHz数据速率; 数字滤波器概况见图68

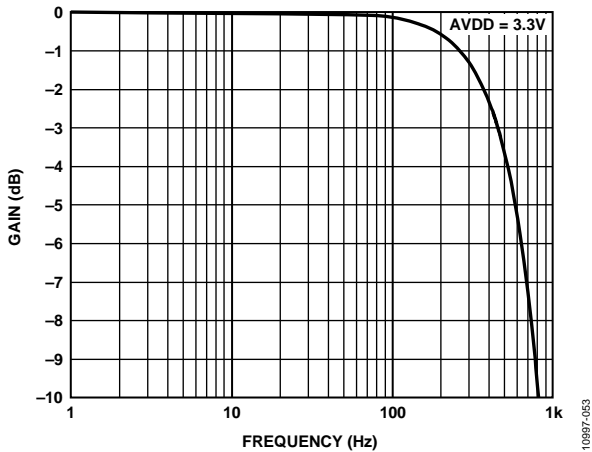


图25. 滤波器响应: 450 Hz滤波器使能、2 kHz数据速率; 数字滤波器概况见图68

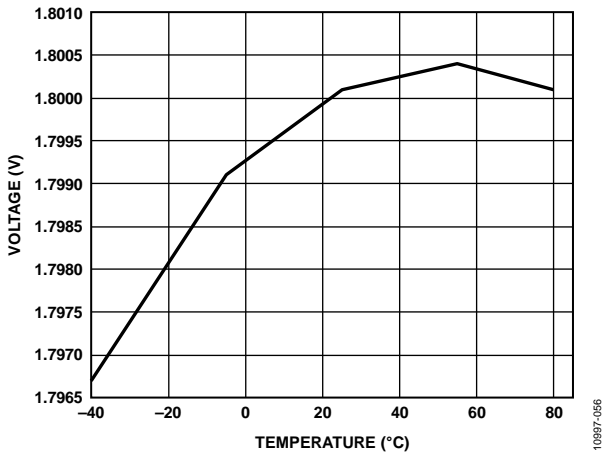


图28. 典型内部VREF与温度的关系

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

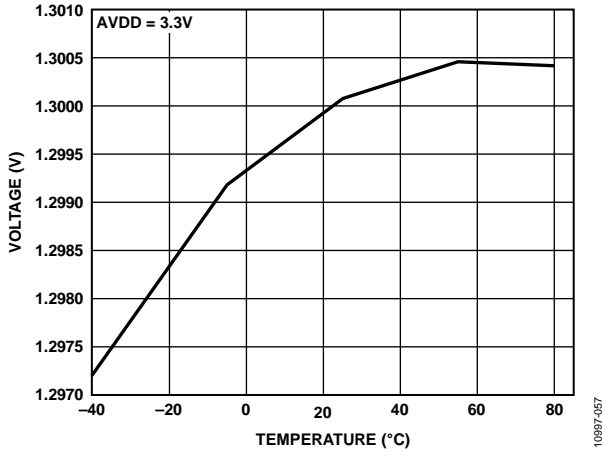


图29. VCM\_REF与温度的关系

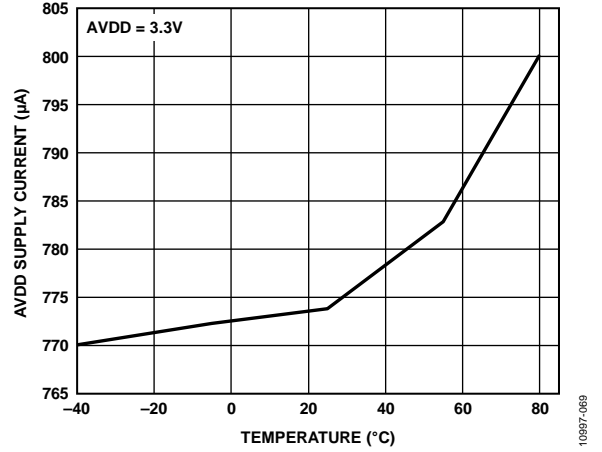


图32. 典型AVDD电源电流与温度的关系, 待机模式

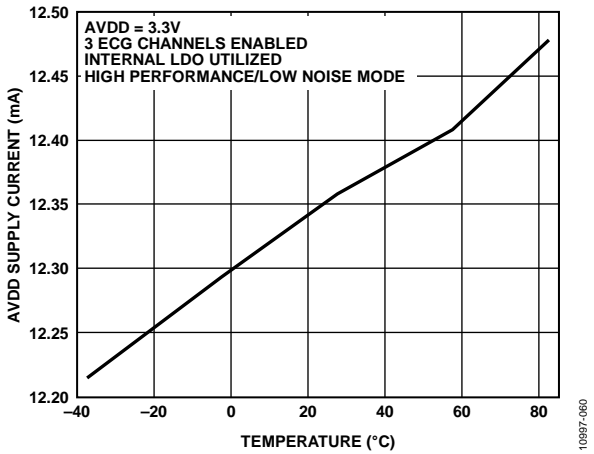


图30. 典型AVDD电源电流与温度的关系, 使用内部ADVDD/DVDD电源

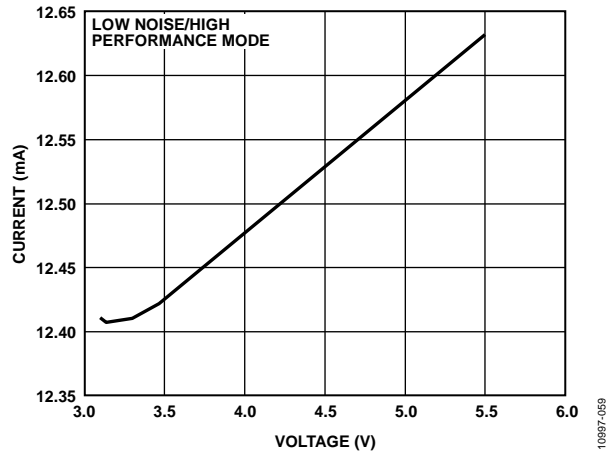


图33. 典型AVDD电源电流与AVDD电源电压的关系

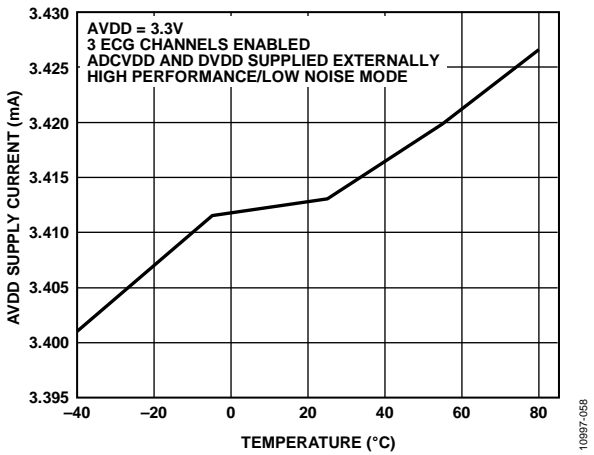


图31. 典型AVDD电源电流与温度的关系, 使用外部提供的ADVDD/DVDD

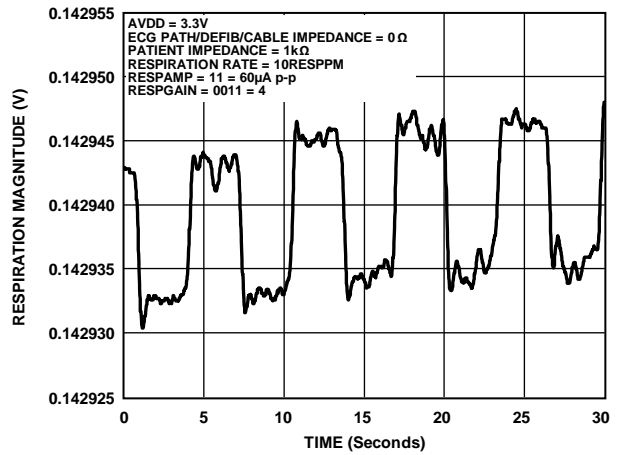


图34. 200 mΩ阻抗变化下的呼吸, 使用内部呼吸路径, 利用0 Ω病人电缆测量

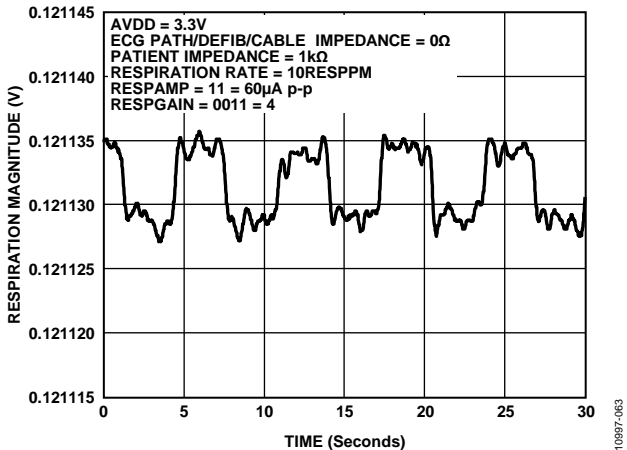


图35. 100 mΩ阻抗变化下的呼吸, 使用内部呼吸路径, 利用0 Ω病人电缆测量

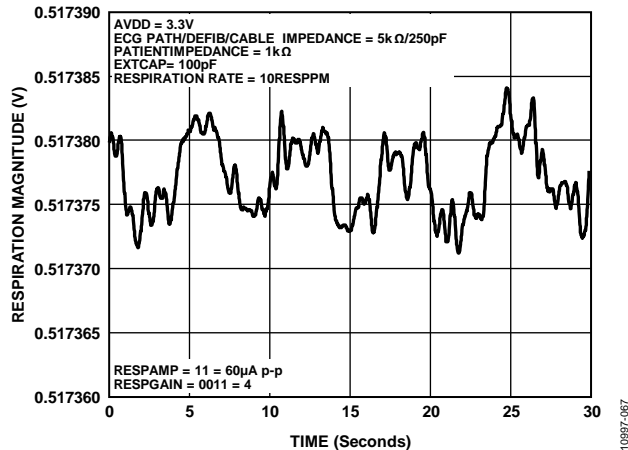


图38. 200 mΩ阻抗变化下的呼吸, 使用外部呼吸DAC驱动100 pF外部电容, 利用5 kΩ病人电缆测量

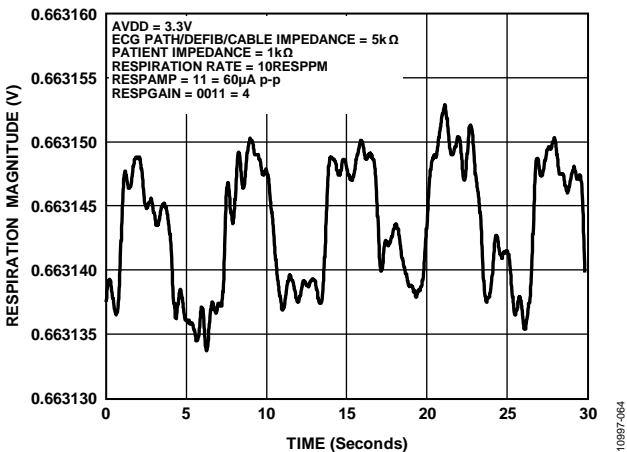


图36. 200 mΩ阻抗变化下的呼吸, 使用内部呼吸路径, 利用5 kΩ病人电缆测量

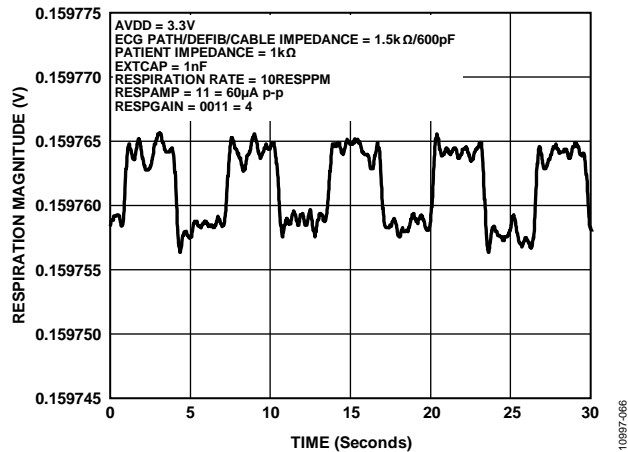


图39. 200 mΩ阻抗变化下的呼吸, 使用外部呼吸DAC驱动1 nF外部电容, 利用1.5 kΩ病人电缆测量

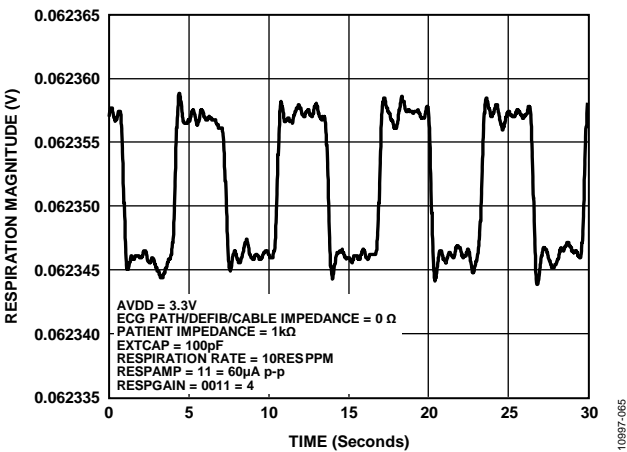


图37. 200 mΩ阻抗变化下的呼吸, 使用外部呼吸DAC驱动100 pF外部电容, 利用0 Ω病人电缆测量

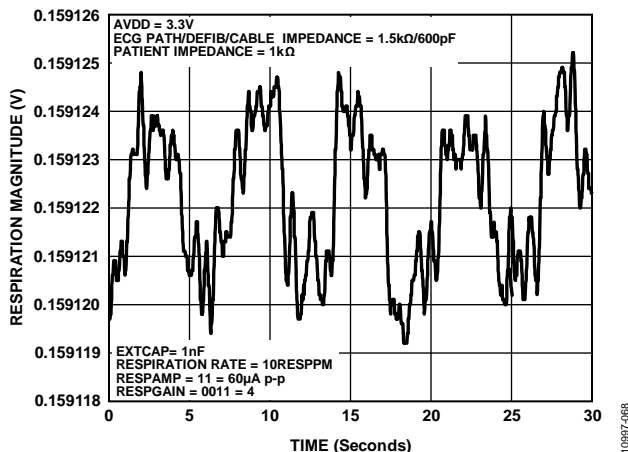


图40. 100 mΩ阻抗变化下的呼吸, 使用外部呼吸DAC驱动1 nF外部电容, 利用1.5 kΩ病人电缆测量

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

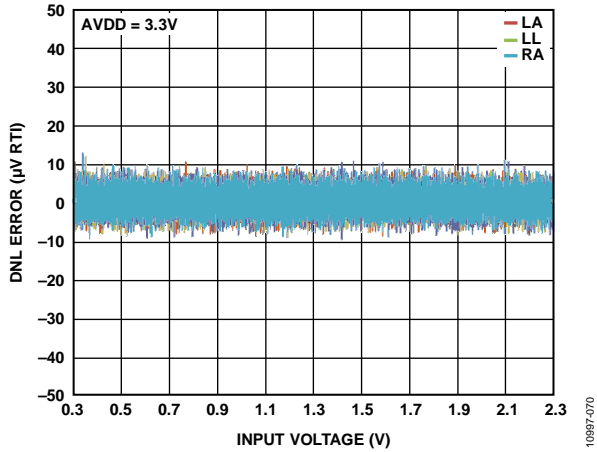


图41. 不同电极、25°C时的DNL误差与输入电压范围的关系

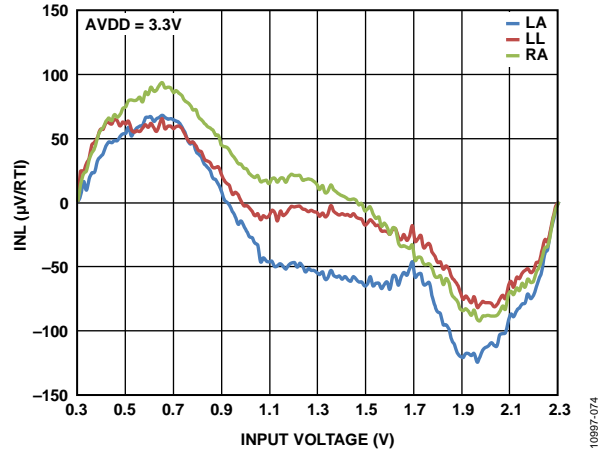


图44. 不同电极通道的INL与输入电压的关系, 2 kHz数据速率

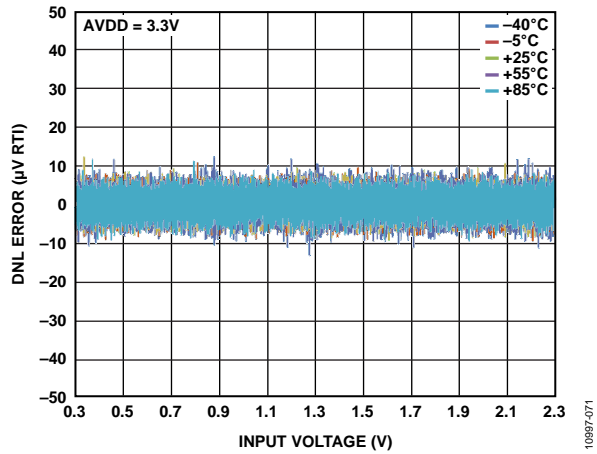


图42. 不同温度下的DNL误差与输入电压范围的关系

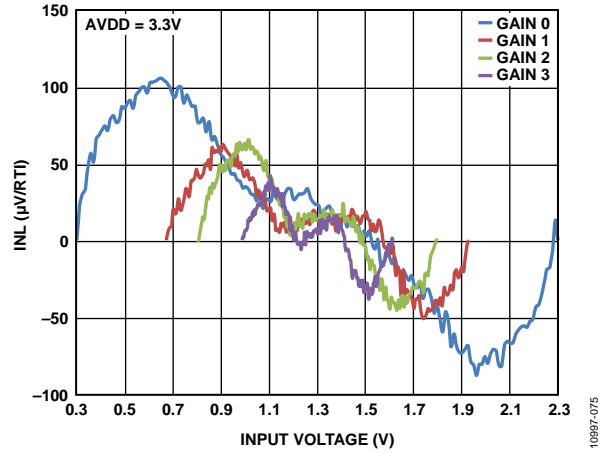


图45. 不同增益设置下的INL与输入电压的关系, 16 kHz数据速率

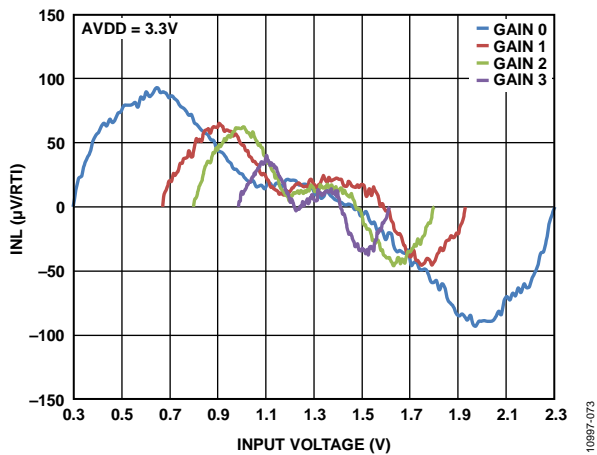


图43. 不同增益设置下的INL与输入电压的关系, 2 kHz数据速率

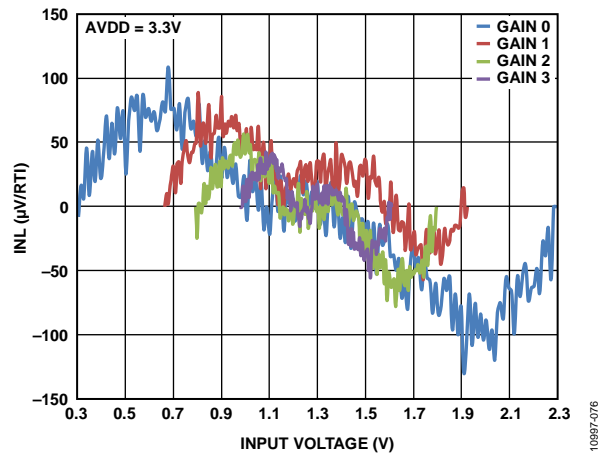


图46. 不同增益设置下的INL与输入电压的关系, 128 kHz数据速率

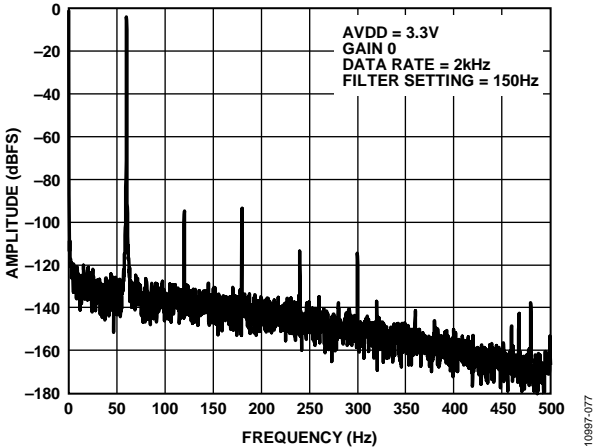


图47. 60 Hz输入信号下的FFT

10997-077

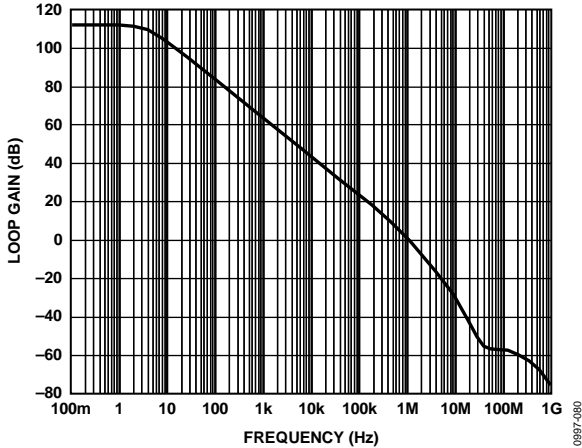


图50. 无负载时右腿驱动放大器的开环增益响应

10997-080

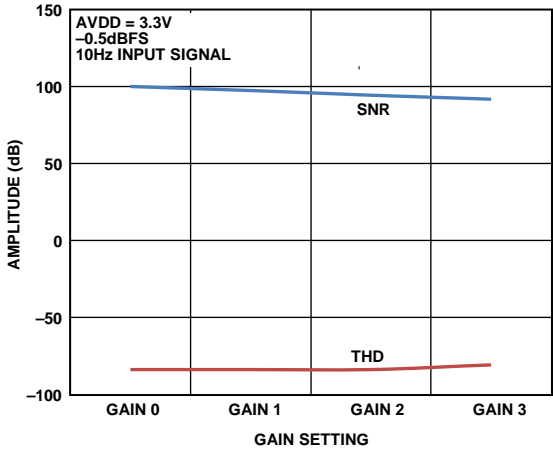


图48. 不同增益设置下的SNR和THD

10997-078

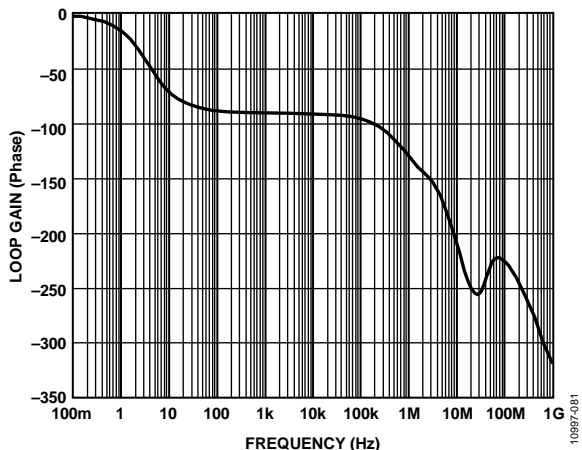


图51. 无负载时右腿驱动放大器的开环相位响应

10997-081

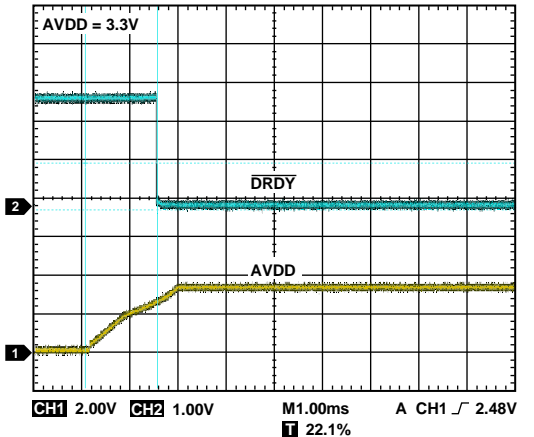


图49. AVDD线上电至DRDY变为低电平(就绪)

10997-079

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

## 应用信息

### 概述

ADAS1000-3/ADAS1000-4旨在为各种医疗应用提供心电图(ECG)前端解决方案。除ECG测量外, ADAS1000-3/ADAS1000-4还能测量胸阻抗(呼吸), 检测起搏伪像, 并将所有测量信息以数据帧的形式提供给主控制器, 以可编程数据速率提供导联/矢量或电极数据。ADAS1000-3/ADAS1000-4设计用于简化ECG信号采集任务, 适合监护和诊断应用。增加价值的心电信号后置处理功能, 可在外部

DSP、微处理器或FPGA上执行。ADAS1000-3/ADAS1000-4既适用于低功耗、便携式遥测应用, 也适用于线路供电系统, 其功耗与噪声性能可灵活地调整以适应不同的要求。

这些器件还通过校准DAC特性提供一套直流和交流测试激励、CRC冗余校验, 以及对所有相关寄存器地址空间的回读功能。

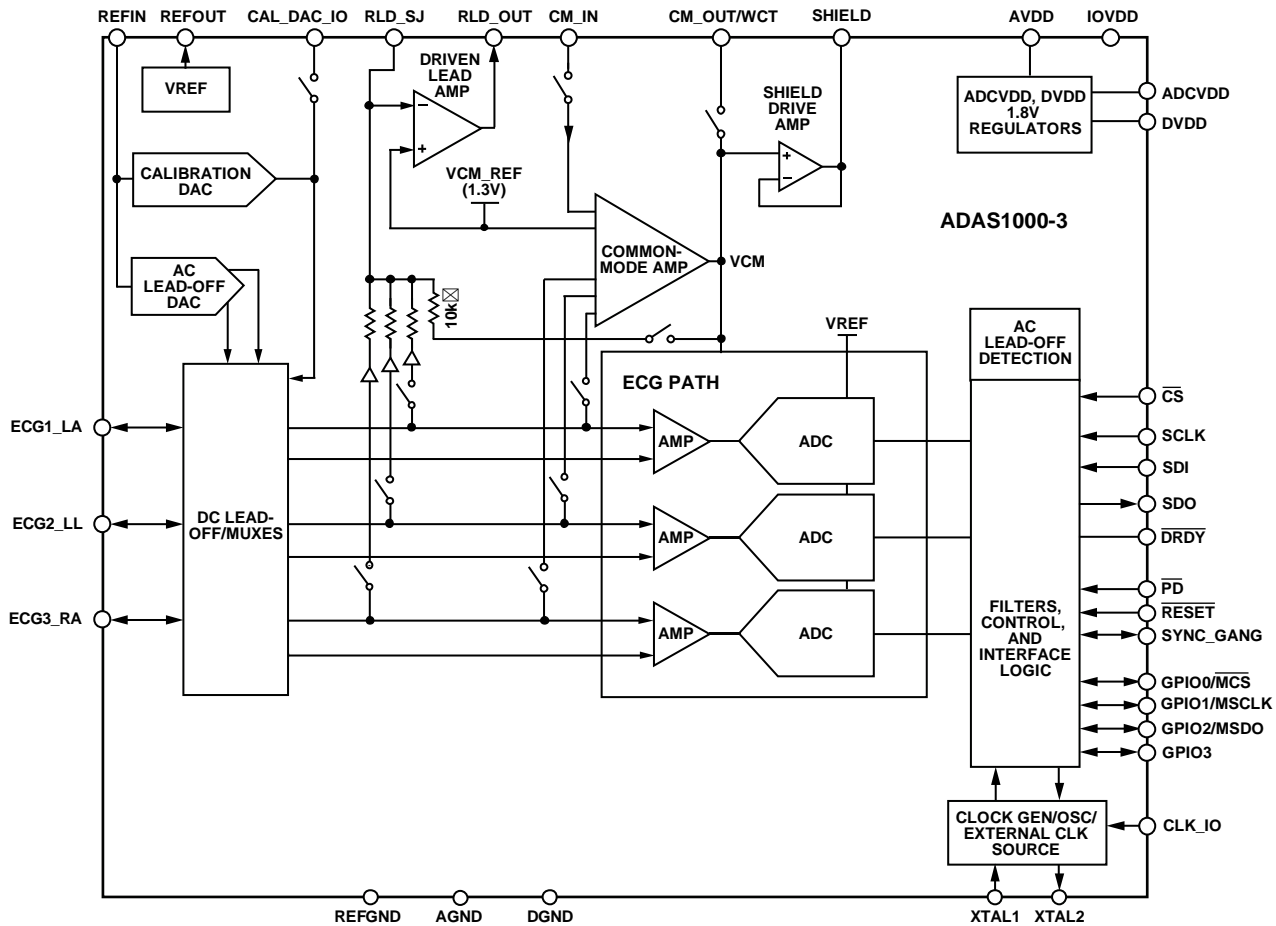


图52. ADAS1000-3简化功能框图

10897-012



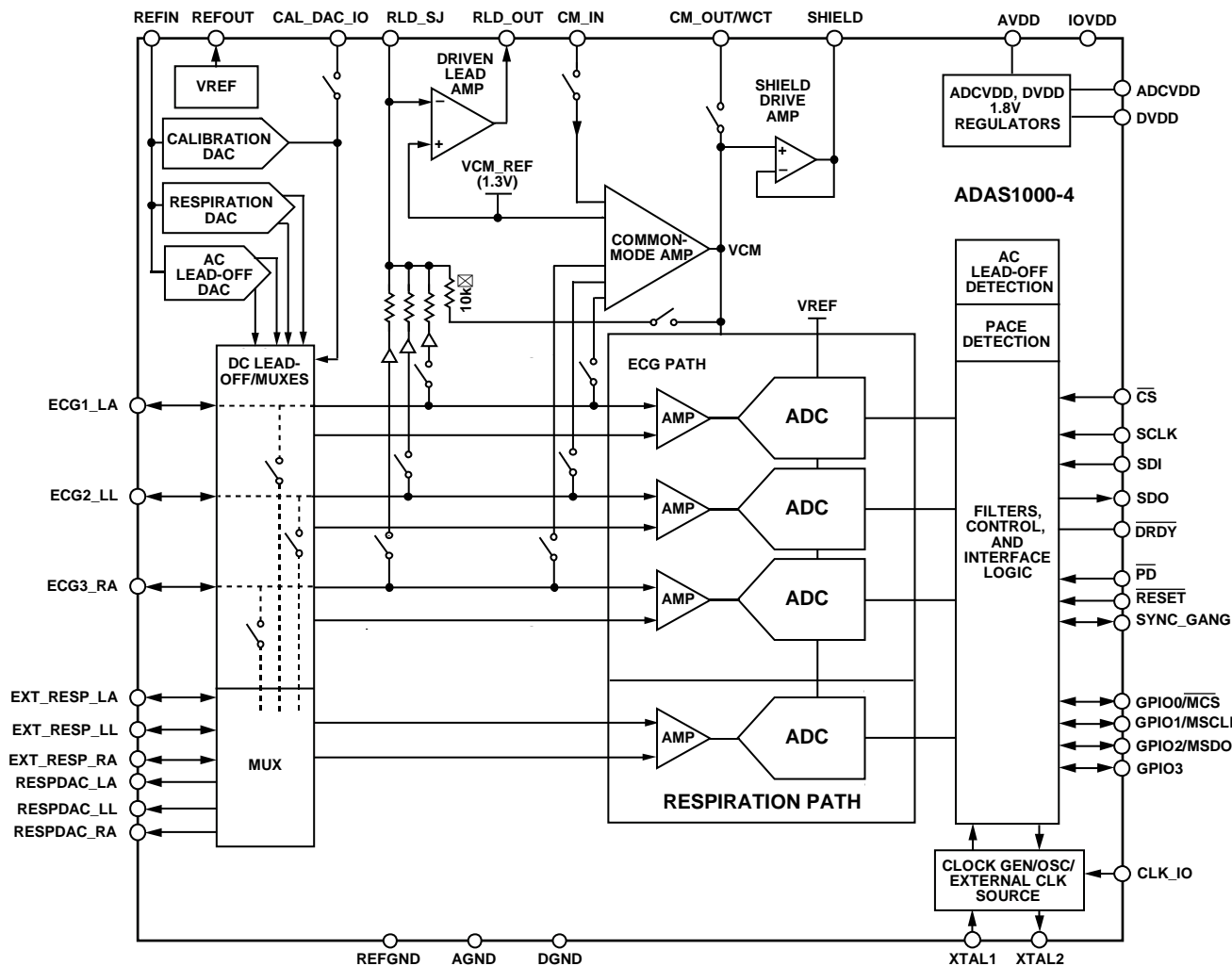


图53. ADAS1000-4简化功能框图

10897/011

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

## ECG输入—电极/导联

ADAS1000-3/ADAS1000-4 ECG产品由3路ECG输入和1个参考驱动RLD(右腿驱动)组成。典型的3导联/矢量应用使用3路ECG输入(ECG3\_RA、ECG1\_LA、ECG2\_LL)和RLD路径。

在3导联系统中，ADAS1000-3/ADAS1000-4可以直接通过串行接口以所有帧速率提供导联I、导联II、导联III数据或电极数据。注意，对于128 kHz数据速率，导联数据仅在模拟导联模式下可用，如表11所示。此数据速率无法使用数字导联模式。

如果用户需要更多数量的电极，可以使用ADAS1000系列

的其他产品。例如，将一个ADAS1000-3或ADAS1000-4器件与一个ADAS1000-2从器件组合使用，可以实现12导联(8电极)系统，如“组合工作模式”部分所述。类似地，将一个ADAS1000或ADAS1000-1器件与一个ADAS1000-2从器件组合使用，可以实现12导联(10电极)系统，如“组合工作模式”部分所述。此时，9个ECG电极和1个RLD电极实现10电极系统，同样留下一个备用ECG通道，它可用于上面提到的其它目的。这种系统中，具有9个专用电极的好处是根据电极测量和计算提供导联信息，而不是从其它导联测量得出导联。

表10列出了使用ADAS1000-3或ADAS1000-4时，从各电极测量结果计算导联(矢量)的方法。

表10. 导联组成

器件	导联名称	组成	等价公式
ADAS1000-3或ADAS1000-4	I	LA - RA	
	II	LL - RA	
	III	LL - LA	
	aVR <sup>1</sup>	RA - 0.5 × (LA + LL)	-0.5 × (I + II)
	aVL <sup>1</sup>	LA - 0.5 × (LL + RA)	0.5 × (I - III)
	aVF <sup>1</sup>	LL - 0.5 × (LA + RA)	0.5 × (II + III)

<sup>1</sup> 这些扩充导联不是在ADAS1000-3/ADAS1000-4内计算，而是从主机DSP/微控制器/FPGA导出。

## ECG通道

ECG通道由以下部分组成：一个可编程增益、低噪声、差分前置放大器，一个固定增益抗混叠滤波器，缓冲器，以及一个ADC(见图54)。每个电极输入路由至其PGA同相输入。内部开关允许PGA的反相输入连接到其它电极和/或威尔逊中心电端，以提供差分模拟处理(模拟导联模式)，计算某些或全部电极的平均值，或内部1.3 V共模基准电压(VCM\_REF)。后两种模式支持数字导联模式(导联在片内计算)和电极模式(导联在片外计算)。无论何种情况，内部基准电平都会从最终导联数据中扣除。

ADAS1000-3/ADAS1000-4采用直流耦合方法，要求前端偏置，以便在相对较低电源电压施加的动态范围限制以内工作。右腿驱动环路通过迫使所有选定电极的电气平均值达到内部1.3 V电平VCM\_REF来执行此功能，从而使各通道的可用信号范围最大化。

所有ECG通道放大器均利用斩波来最小化ECG频段中的1/f噪声贡献。斩波频率约为250 kHz，远大于任何目标信号的带宽。双极点抗混叠滤波器具有约65 kHz的带宽，支持数字起搏信号检测，同时仍能在ADC采样速率提供80 dB以上的衰减。ADC是一个14位、2 MHz SAR转换器，1024倍过采样有助于实现所需的系统性能。ADC的满量程输入范围为 $2 \times V_{REF}$ 或3.6 V，不过ECG通道的模拟部分会将有用信号摆幅限制在大约2.8 V。

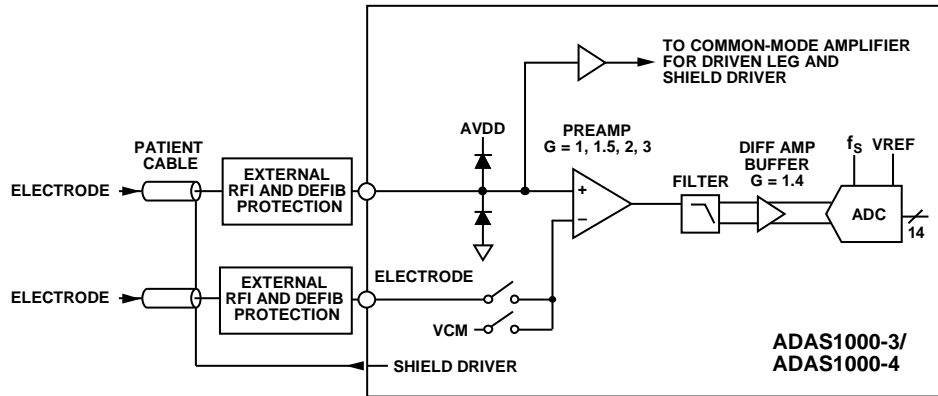


图54. 单个ECG通道的简化示意图

10997-014

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

## 电极/导联信息和输入级配置

ADAS1000-3/ADAS1000-4的输入级有多种不同配置方式。输入放大器是差分放大器，可配置为在模拟域产生导联信号，位于ADC之前。此外，在用户的控制下，数字数据可以配置为提供电极或导联格式，如表36所示。这使得输入级具有极大的灵活性，适合各种不同的应用。

### 模拟导联配置和计算

当CHCONFIG = 1时，导联在模拟输入级中配置，如图55所示。它使用传统的仪表放大器结构，导联信息先于数字化执行，WCT利用共模放大器创建。虽然这会导致模拟域中的导联II反转，但可以进行数字校正，使输出数据具有正确的极性。

## 数字导联配置和计算

当ADAS1000-3/ADAS1000-4配置为数字导联模式时(参见表36的FRMCTL寄存器0x0A[4])，数字内核将根据电极信号计算各导联。对于导联I/导联II/导联III，这非常简单。数字导联计算仅适用于2 kHz和16 kHz两种数据速率。

### 单端输入电极

这种模式下，电极数据相对于共模信号VCM进行数字化，它可以配置成相关ECG电极的任意组合。共模信号产生由CMREFCTL寄存器控制，如表31所示。

### 公共电极配置

这种模式下，所有电极均相对一个公共电极(CE)进行数字化，例如RA。这种配置会使能四条电极路径的输入：ECG1、ECG2、ECG3和CM\_IN。标准导联必须通过后处理ADAS1000-3/ADAS1000-4的输出数据来计算。参见图57。

表11. 电极和导联配置

0x0A [4] <sup>1</sup>	0x01 [10] <sup>2</sup>	0x05 [8] <sup>3</sup>	模式	字1	字2	字3
0	0	0	单端输入，数字计算导联	导联I (LA - RA)	导联II (LL - RA)	导联III (LL - LA)
0	0	1	公共电极(CE)导联(此时RA电极连接到CE电极(CM_IN)，V1位于ECG3输入端) <sup>4</sup>	导联I (LA - RA)	导联II (LL - RA)	$V1' = ((V1 - RA) - (LA - RA) - (LL - RA))/3$
0	1	0	模拟导联 <sup>5</sup>	导联I (LA - RA)	导联II (LL - RA)	导联III (LL - LA)
1	0	0	相对于VCM的单端输入电极 <sup>6</sup>	LA - VCM	LL - VCM	RA - VCM
1	0	1	相对于公共电极(CE4)形成的导联	LA - CE	LL - CE	V1 - CE

<sup>1</sup> 寄存器FRMCTL的DATAFMT位：0 = 数字导联/矢量格式；1 = 电极格式。

<sup>2</sup> 寄存器ECGCTL的CHCONFIG位：0 = 单端输入(数字导联模式或电极模式)；1 = 差分输入(模拟导联模式)。

<sup>3</sup> 寄存器CMREFCTL的CEREFEN位：0 = CE禁用；1 = CE使能。

<sup>4</sup> 公共电极模式如图57所示。

<sup>5</sup> 模拟导联模式如图55所示。

<sup>6</sup> 单端输入电极模式如图56所示。

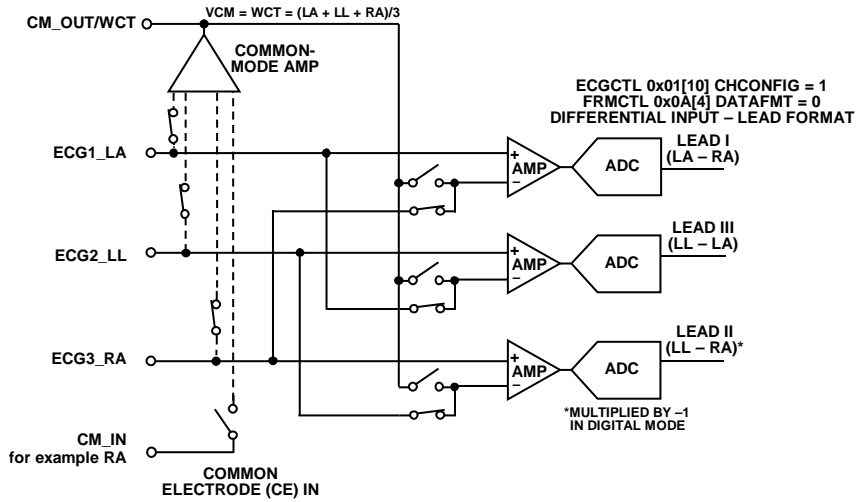


图55. 灵活的前端配置—相对于威尔逊中心电端(WCT)的模拟导联模式配置

10997-015

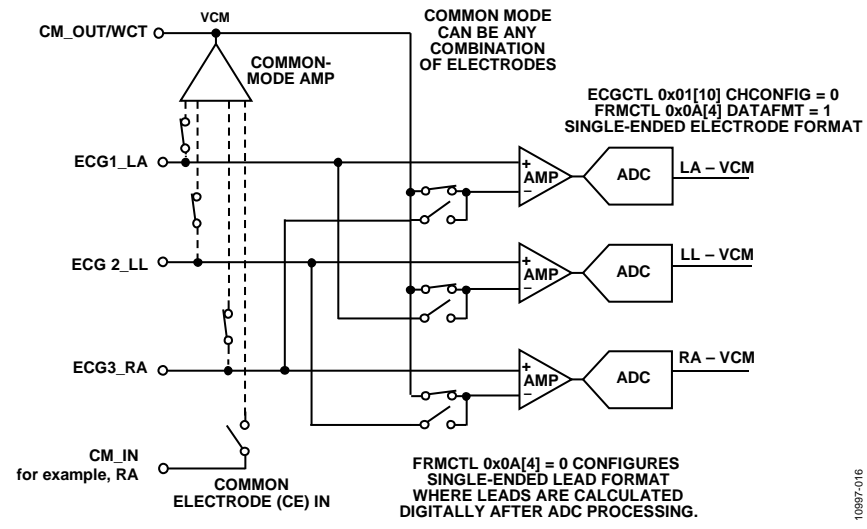


图56. 灵活的前端配置—单端电极配置

10997-016

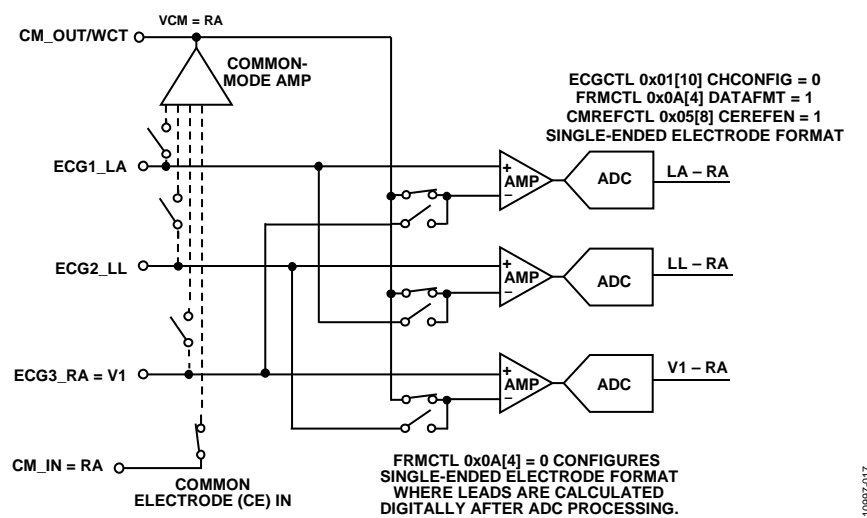


图57. 灵活的前端配置—公共电极配置

10997-017

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

## 除颤器保护

ADAS1000-3/ADAS1000-4片内无除颤保护功能。应用若需要除颤保护，必须使用外部器件。图58和图59给出了外部除颤保护的例子，每个ECG通道均需要，位于RLD路径和CM\_IN路径(若使用CE输入模式)。注意，两种情况下，ECG路径总电阻均假定为5 kΩ。图中连接到RLD的22 MΩ电阻是可选电阻，用于为开路ECG电极提供安全终端电压，其值可以更大。注意，如果使用这些电阻，直流导联脱落功能在最高电流设置下性能最佳。

## ESIS滤波

ADAS1000-3/ADAS1000-4片内无高频电刀干扰抑制(ESIS)功能。应用若需要ESIS保护，必须使用外部器件。

## ECG路径输入复用

如图60所示，各ECG通道都提供了许多功能的信号路径(呼吸除外，它仅连接到ECG1\_LA、ECG2\_LL和ECG3\_RA引脚)。注意，通道使能开关位于RLD放大器连接之后，从而允许连接RLD(重定向至任意一条ECG路径)。CM\_IN路径的处理方式与ECG信号相同。

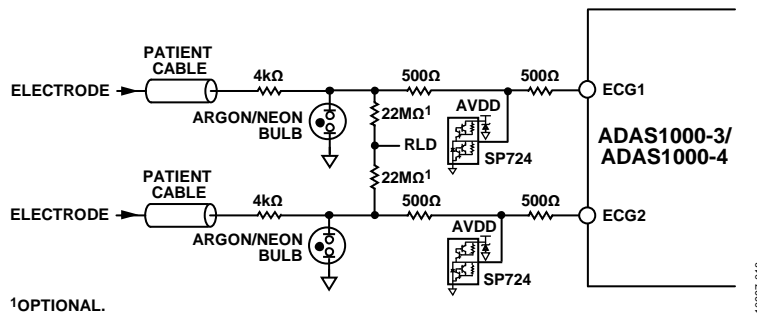


图58. ECG路径上的除颤保护示例——使用气泡

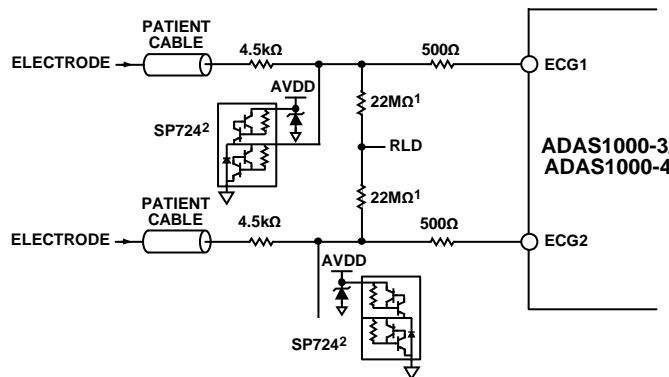


图59. ECG路径上的除颤保护示例——使用二极管保护

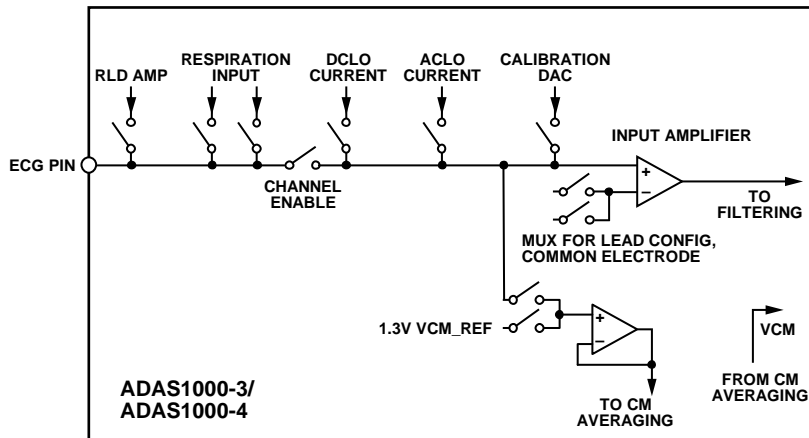


图60. 典型ECG通道输入复用

## 共模选择和均值

共模信号可以从一个或多个电极通道输入的任意组合、内部固定共模电压基准VCM\_REF或连接到CM\_IN引脚的外部源获得。后一配置可用于组合模式中，主器件为从器件创建威尔逊中心电端。测量校准DAC测试音信号或将电极与病人相连时，固定基准电压选项很有用，可用信号可以仅从两个电极获得。

灵活的共模产生方式使得用户能够完全控制相关通道。它与产生右腿驱动(RLD)信号的电路相似，但与后者无关。

图61显示了共模模块的简化示意图。各电极的物理连接可以采用缓冲，但为简明起见，图中未显示这些缓冲器。

开关的使用存在多项限制：

- 若SW1闭合，SW7必须断开。
- 若SW1断开，至少必须有一个电极开关(SW2至SW7)闭合。
- SW7只能在SW2到SW6断开时关闭，从而1.3 V VCM\_REF只能在所有ECG通道均断开时求和。

CM\_OUT输出非设计用于供应电流或驱动阻性负载，如果用于驱动ADAS1000-2从器件以外的任何器件，其精度会下降。如果CM\_OUT引脚上有任何负载，则需要使用外部缓冲器。

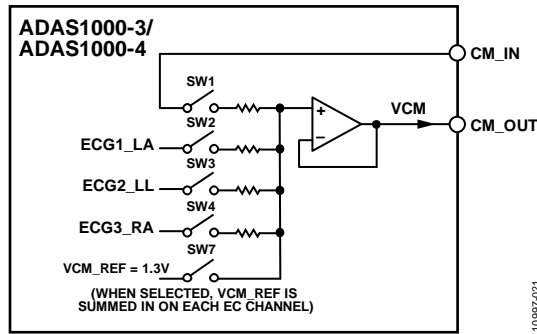


图61. 共模产生模块

表12. 共模选择的真值表

ECGCTL 地址0x01 <sup>1</sup>	CMREFCTL地址0x05 <sup>2</sup>						描述
PWREN	DRVCM	EXTCM	LACM	LLCM	RACM	导通开关	
0	X	X	X	X	X		关断，路径断开
1	X	0	0	0	0	SW7	选择内部VCM_REF = 1.3 V
1	0	0	1	0	0	SW2	内部CM选择：LA贡献给VCM
1	0	0	1	1	0	SW2, SW3	内部CM选择：LA和LL贡献给VCM
1	0	0	1	1	1	SW2, SW3, SW4	内部CM选择：LA、LL和RA贡献给VCM
.	.	.	.	.	.	.	.
1	X	1	X	X	X	SW1	选择外部VCM

<sup>1</sup> 参见表27。

<sup>2</sup> 参见表31。

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

## 威尔逊中心电端(WCT)

共模选择均值功能非常灵活，允许用户从ECG1\_LA、ECG2\_LL、ECG3\_RA电极实现威尔逊中心电端电压。

## 右腿驱动/参考驱动

右腿驱动放大器或参考放大器是反馈环路的一部分，用于迫使病人的共模电压接近ADAS1000-3/ADAS1000-4的内部1.3V基准电平(VCM\_REF)。这使得所有电极输入的中心位于输入范围的中心，从而提供最大输入动态范围。它还有助于抑制来自荧光灯或其它与病人相连仪器等外部来源的噪声和干扰，并吸收注入ECG电极的直流或交流导联脱落电流。

RLD放大器的使用方式有多种，如图62所示。其输入可以利用一个外部电阻从CM\_OUT信号获得。另外，也可以利用内部开关将某些或全部电极信号合并。

RLD放大器的直流增益由外部反馈电阻(RFB)与有效输入电阻之比设置，该比值可以通过外部电阻设置，或通过CMREFCTL寄存器配置的选定电极数量的函数设置(见表31)。通常情况下，RIN使用内部电阻，所有活动电极用于产生右腿驱动，导致有效输入电阻为2 kΩ。因此，实现40 dB的典型直流增益需要200 kΩ反馈电阻。

RLD环路的动态特性和稳定性取决于所选的直流增益以及病人电缆的电阻和电容。一般需要使用外部元件来提供环路补偿；对于具体仪器设计和电缆组件，必须根据实验确定如何补偿。

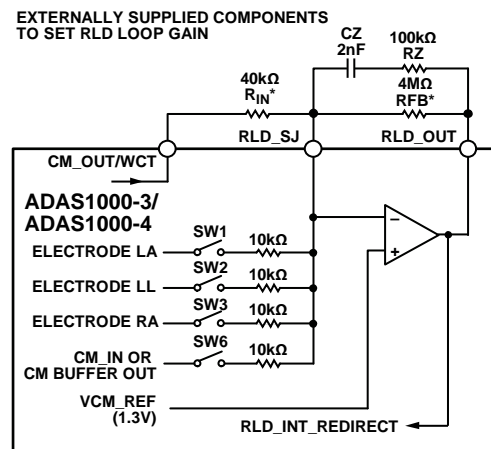
有些情况下，增加导联补偿是有必要的，但在另一些情况下，滞后补偿可能更恰当。RLD放大器的求和结引出一个封装引脚(RLD\_SJ)以方便补偿。

RLD放大器的短路电流能力超过法定限值，需要使用病人保护电阻来满足法定要求。

在RLD模块内有一个导联脱落比较器电路，它监控RLD放大器输出以确定病人反馈环路是否闭合。开环状态通常由右腿电极(RLD\_OUT)脱落引起，往往会将放大器的输出驱动到低电平。此类故障通过表头字反映(见表52)，从而系统软件可以采取措，通知用户以及/或者通过ADAS1000-3/ADAS1000-4的内部开关将参考驱动重定向到另一个电极。检测电路在RLD放大器本地，在重定向参考驱动下仍能工作。表31显示了有关参考驱动重定向的详细信息。

虽然参考驱动重定向在右腿电极无法重新连接的情况下可能有用，但必须采取一些防范措施。最重要的是需要一个病人保护电阻。这是一个外部电阻，因此它不跟随重定向参考驱动；ADAS1000-3/ADAS1000-4外部需要提供连续的病人保护。ECG路径中的任何附加电阻必定会干扰呼吸测量，还可能导致噪声增加和CMRR降低。

基于增益配置(见图62)并假设病人保护电阻为330 kΩ时，RLD放大器可以稳定地驱动最大5 nF的电容。



\*EXTERNAL RESISTOR  $R_{IN}$  IS OPTIONAL. IF DRIVING RLD FROM THE ELECTRODE PATHS, THEN THE SERIES RESISTANCE WILL CONTRIBUTE TO THE  $R_{IN}$  IMPEDANCE. WHERE SW1 TO SW5 ARE CLOSED,  $R_{IN} = 2k\Omega$ . RFB SHOULD BE CHOSEN ACCORDINGLY FOR DESIRED RLD LOOP GAIN.

10987-022

图62. 右腿驱动——可能的外部器件配置



## 校准DAC

ADAS1000-3/ADAS1000-4内部有多项校准特性。

10位校准DAC可用来校正通道增益误差(确保通道匹配)或提供多个测试音。选项如下:

- 直流电压输出(范围: 0.3 V至2.7 V)。直流电压输出的DAC传递函数为:

$$0.3 \text{ V} + \left( 2.4 \text{ V} \times \frac{\text{code}}{(2^{10} - 1)} \right)$$

- 10 Hz或150 Hz的1 mV p-p正弦波
- 1 mV 1 Hz方波

通过内部切换, 可将校准DAC信号路由至各ECG通道的输入(见图60)。另外, 也可以将其从CAL\_DAC\_IO引脚输出, 从而测量和校正整个ECG信号链中的外部误差。

为确保校准DAC成功更新(见表35), 写入新校准DAC寄存器字后, 主控制器必须再发出4个SCLK周期。

## 增益校准

各ECG通道的增益可以调整, 以便校正通道间的增益不匹配。GAIN 0、GAIN 1和GAIN 2的工厂调整增益校正系数存储在片内非易失性存储器中, GAIN 3无工厂校准。用户增益校正系数存储在易失性存储器中, 可以通过寻址适当的增益控制寄存器(见表49)来覆盖默认增益值。增益校准适用于标准接口提供的ECG数据以及所有数据速率。

## 导联脱落检测

ECG系统必须能够检测电极是否不再与病人相连。ADAS1000-3/ADAS1000-4支持两种导联脱落检测方法: 交流或直流导联脱落检测。两种方法彼此独立, 可以在串行接口的控制下单独使用或联合使用(见表28)。

交流和直流导联脱落检测的阈值电压上限和下限均通过表38和表39编程。注意, 这些编程阈值电压随ECG通道增益而变化, 但不受所设置的电流水平影响。

直流导联脱落检测采用与增益无关的固定上限和下限阈值电压。交流导联脱落检测提供用户可编程的阈值; 由于检测以数字方式执行, 可能需要根据所选的ECG通道增益调整阈值。无论何种情况, 所有活动通道均使用同样的检测阈值。

导联脱落事件会在帧表头字中设置一个标志(见表52)。哪一个电极脱落可以通过数据帧或对导联脱落状态寄存器(寄存器LOFF, 见表46)进行寄存器读取确定。对于交流导联脱落, 关于导联脱落信号幅度的信息可以通过串行接口回读(见表50)。

## 直流导联脱落检测

这种方法会将一个可编程的小直流电流注入各输入电极。电极妥善连接时, 电流流入右腿(RLD\_OUT), 产生一个极小的电压偏移。如果电极脱落, 电流就会对该引脚的电容充电, 导致该引脚处的电压正偏, 产生一个较大的电压变化, 从而被各通道中的比较器检测到。

直流导联脱落检测电流可以通过串行接口编程。典型电流范围为10 nA到70 nA, 步进为10 nA。

检测直流导联脱落事件的传播延迟取决于电缆电容和编程电流。近似计算如下:

$$\text{延迟} = \text{电压} \times \text{电缆电容} / \text{编程电流}$$

例如:

$$\text{延迟} = 1.2 \text{ V} \times (200 \text{ pF} / 70 \text{ nA}) = 3.43 \text{ ms}$$

## 交流导联脱落检测

检测电极是否连接到病人的另一种方法是将交流电流注入各通道, 测量由此产生的电压的幅度。系统使用略高于2 kHz的固定载波频率, 它高到足以被ADAS1000-3/ADAS1000-4片内数字滤波器滤除, 而不会在ECG信号中引入相位或幅度伪像。

交流导联脱落信号的极性可以针对各电极进行配置。所有电极可以同相驱动, 或者某些电极可以反相驱动以使总注入交流电流最小。驱动幅度也是可编程的。检测交流导联脱落事件的传播延迟小于10 ms。

注意, 当校准DAC使能时, 交流导联脱落检测功能禁用。

## 屏蔽驱动器

屏蔽驱动放大器是一个单位增益放大器, 其作用是驱动ECG电缆的屏蔽层。为节省功耗, 不用时可以将其禁用。注意, SHIELD引脚与呼吸引脚功能共用, 二者可以复用外部电容连接。如果该引脚用作呼吸功能, 屏蔽功能即不可用。这种情况下, 如果应用需要屏蔽驱动, 可以使用一个连接到CM\_OUT引脚的外部放大器。

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

## 呼吸(仅限ADAS1000-4型号)

呼吸的测量方法是将一个高频(可编程范围46.5 kHz至64 kHz)差分电流驱动到两个电极,由此产生的阻抗变化导致差分电压以呼吸速率变化。该信号交流耦合到病人。采集的信号为AM,载波在驱动频率,浅调制包络在呼吸频率。客户提供的RFI和ESIS保护滤波器的电阻,加上连接皮肤接口的电缆和电极的阻抗(见表13),大大降低了调制深度。目标是在有大串联电阻的环境下,以低于1 Ω的分辨率测量小阻抗变化。电路本身包括一个呼吸DAC,它以可编程频率将交流耦合电流驱动到选定的电极对。由此产生的电压变化经过放大、滤波后,在数字域中同步解调,结果是一个代表总胸阻抗或呼吸阻抗(包括电缆和电极贡献)的数字信号。虽然它在片内经过深度低通滤波,但用户需要进一步处理以提取包络,并执行峰值检测以确定呼吸情况(或是否无呼吸)。

呼吸测量可在一个导联(导联I、导联II或导联III)或外部路

径上执行,通过一对专用引脚(EXT\_RESP\_LA、EXT\_RESP\_RA或EXT\_RESP\_LL)提供结果。一次只能测量一个导联。呼吸测量路径不适合用于其它ECG测量,因为其内部配置和解调与ECG测量不一致。

## 内部呼吸电容

内部呼吸功能使用一个内部RC网络(5 kΩ/100 pF),此电路的分辨率为200 mΩ(路径和电缆总阻抗高达5 kΩ)。电流交流耦合到读回测量结果的引脚。图63显示了导联I上的测量,但类似的测量配置可用来测量导联II或导联III。通过RESPCTRL寄存器配置为最大幅度设置(±1 V)时(见表29),内部电容模式无需外部电容,并产生幅度约64 μA p-p的电流。

表13. 最大容许电缆和胸负载

电缆电阻	电缆电容
$R < 1 \text{ k}\Omega$	$C < 1200 \text{ pF}$
$1 \text{ k}\Omega < R < 2.5 \text{ k}\Omega$	$C < 400 \text{ pF}$
$2.5 \text{ k}\Omega < R < 5 \text{ k}\Omega$	$C < 200 \text{ pF}$
$R_{\text{THORACIC}} < 2 \text{ k}\Omega$	

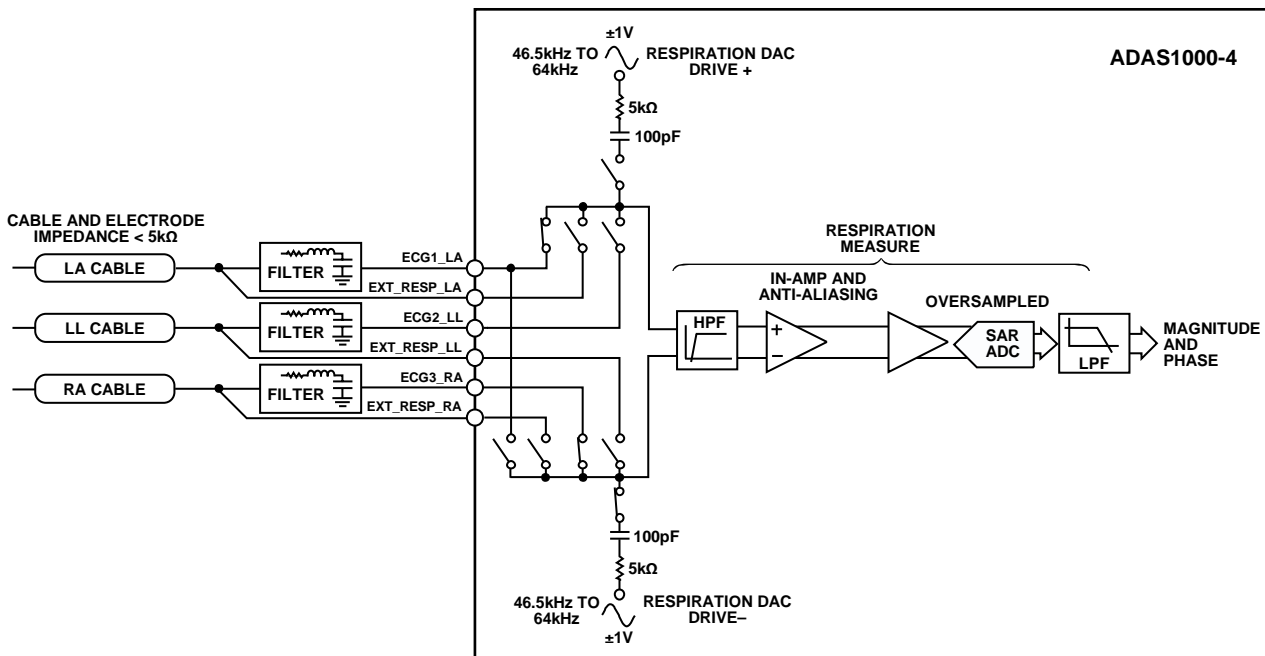


图63. 呼吸简化功能框图

## 外部呼吸路径

EXT\_RESP\_xx引脚既可配合ECG电极电缆使用，也可配合独立于ECG电极路径的专用外部传感器使用。此外，利用EXT\_RESP\_xx引脚，用户可以在RFI/ESIS保护滤波器的病人一侧测量呼吸信号。这种情况下，用户必须采取措施保护EXT\_RESP\_xx引脚，使其免受任何超过工作电压范围的信号影响。

## 外部呼吸电容

如果需要，ADAS1000-4允许用户将外部电容连接到呼吸电路，以便实现更高的分辨率( $<200 \text{ m}\Omega$ )。这种程度的分辨率要求电缆阻抗 $\leq 1 \text{ k}\Omega$ 。图64显示了扩展呼吸配置下RESPDAC\_xx路径的连接。同样，EXT\_RESP\_xx路径可以在任何滤波电路的病人一侧连接，但用户必须为这些引脚提供保护。虽然外部电容模式需要外部元件，但它能提供更高的信噪比。再次请注意，一次只能在一个导联上测量呼吸，因此，可能只需要一对外部呼吸路径(和外部电容)。

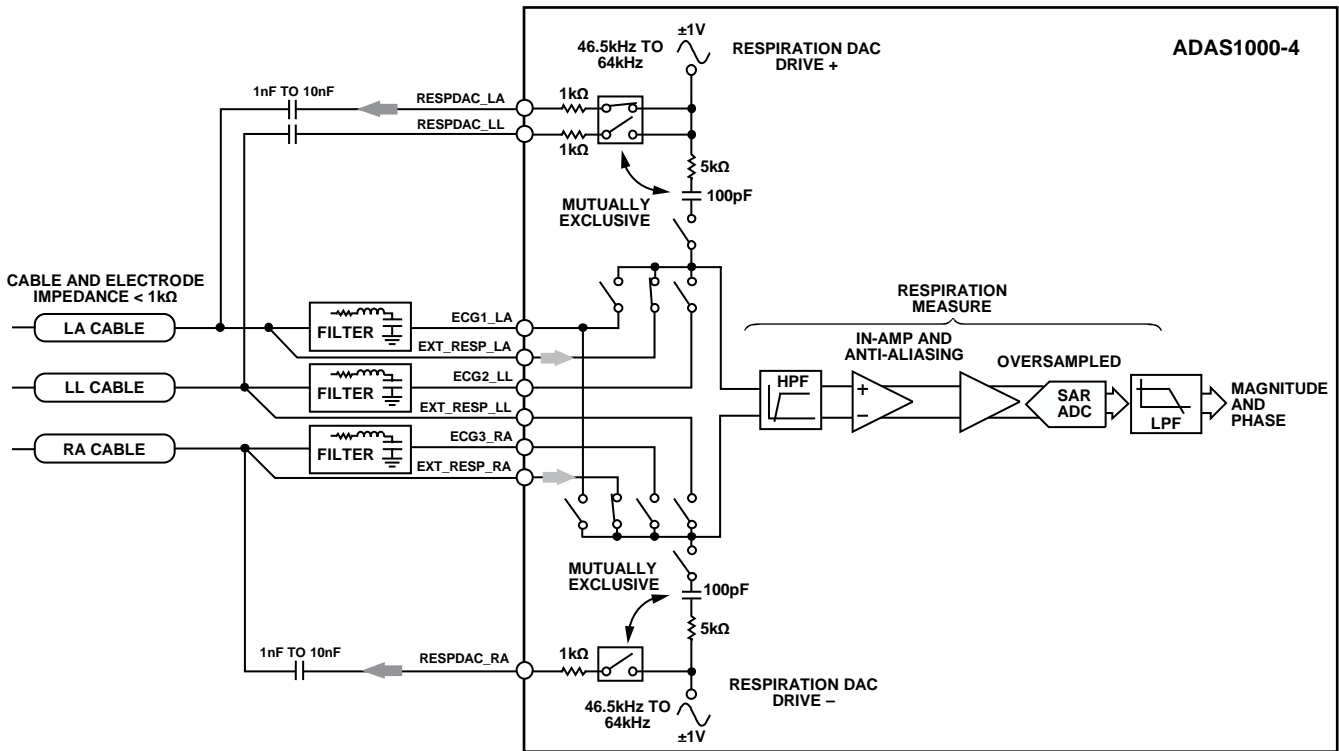


图64. 使用外部电容的呼吸测量

10997-024

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

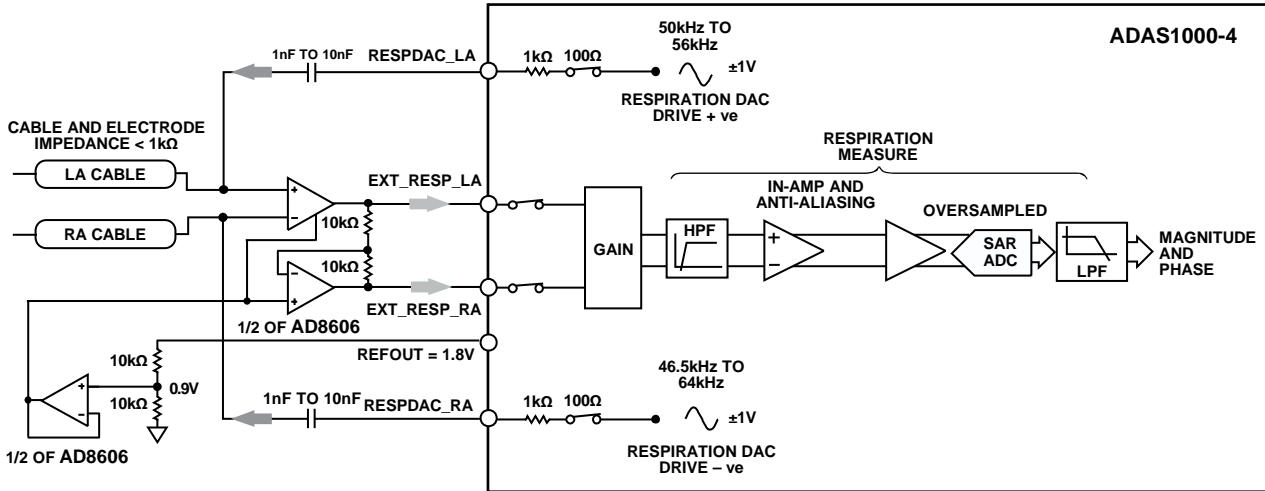


图65. 使用外部电容和外部放大器的呼吸测量

如果需要，在ADAS1000-4外部使用仪表放大器和运算放大器可以进一步提高其呼吸性能。为了达到目标性能水平，仪表放大器必须具有足够低的噪声性能。这种模式使用外部电容模式配置，如图65所示。使用外部仪表放大器时，RESPTL寄存器的位14(见表29)允许用户旁路片内放大器。

## 呼吸载波

在利用外部信号发生器产生呼吸载波信号的应用中，当呼吸控制寄存器的位7 RESPEXTSEL使能时(见表29)，可以利用GPIO3提供的信号使外部信号源与内部载波同步。

## 评估呼吸性能

利用ECG仿真器可以方便地研究ADAS1000-3/ADAS1000-4的性能。虽然许多仿真器提供可变电阻呼吸功能，但使用此功能时必须小心。

某些仿真器利用电可编程电阻(常被称为数字电位计)来产生随时间变化的电阻，以便由呼吸功能测量。数字电位计端子处的电容通常不相等且与代码相关，对于相同的编程电阻变化，这些不平衡电容可能会在不同导联上产生意外偏大或偏小的结果。利用特制配件精心平衡各ECG电极的电容，可以获得最佳结果。

## 起搏伪像检测功能(仅限ADAS1000-4)

起搏伪像验证功能对可能的起搏伪像进行鉴定，并测量有效起搏的宽度和幅度。这些参数存储在起搏数据寄存器(地址0x1A、地址0x3A至地址0x3C)中，可读取这些寄存器以了解有关参数。此功能与ECG通道并行运行。数字检测利用一个状态机执行，该状态机采用来自ECG抽取链的128 kHz 16位数据工作。主ECG信号经过进一步抽取后出现在2 kHz输出流中，因此检测到的起搏信号并不与经过充分滤波的ECG数据完全同步，此时间差是确定的且可以补偿。

起搏伪像验证功能可以检测并测量宽度从100 μs到2 ms、幅度从400 μV以下到1000 mV以上的起搏伪像，其滤波器可以抑制心跳、噪声和分钟通气起搏。起搏检测算法的流程图参见图66。

ADAS1000-4起搏算法可以在交流导联脱落和呼吸阻抗测量电路使能的情况下工作。

一旦在指定导联中检测到有效起搏，由ECG字组成的包的起始表头字(见表52)中就会出现检测到起搏标志。这些位表示起搏有效。关于起搏高度和宽度的信息可通过读取地址0x1A(寄存器PACEDATA，见表43)的内容来获得。通过配置帧控制寄存器(见表36)，可以将此字包括在ECG数据包/帧中。PACEDATA寄存器提供的数据总长为7位，包括宽度和高度信息。因此，如果起搏高度和宽度需要更高分辨率，可通过读取PACExDATA寄存器(地址0x3A至地址0x3C)实现，如表51所示。

某些用户可能不希望使用三个起搏导联进行检测。这种情况下，导联II是首选矢量，因为此导联最有可能显示最佳起搏伪像。其它两个起搏导联在不用时可以禁用。

片内滤波会给起搏信号带来一定的延迟(见“起搏延迟”部分)。

### 导联选择

有三个相同的状态机可用，可以在四个可能导联(导联I、导联II、导联III和aVF)中的三个上运行以检测起搏伪像。所有必要的导联计算都在内部执行，与EGG通道的输出数据速率、低通滤波器截止频率和模式(电极、模拟导联、公共电极)等设置无关。这些计算会考虑可用的前端配置，详情见表14。

起搏检测算法通过分析128 kHz ECG数据流中的样本来寻找起搏。该算法根据PACEEDGETH、PACEAMPTH和PACELVLTH寄存器中规定的值，以及固定宽度限定条件，寻找边沿、峰值和下降沿。复位后寄存器默认值可以通过SPI总线予以覆盖，三个起搏检测状态机可以使用不同的值。

起搏检测的第一步是寻找数据流中的有效前沿。一旦找到候选边沿，算法就会寻找另一个极性相反且满足起搏宽度标准并通过(可选)噪声滤波器的边沿。只有那些满足所有标准的起搏才会被标记为有效起搏。检测到有效起搏后，帧表头寄存器中的标志就会置位，幅度和宽度信息存储在PACEDATA寄存器中(地址0x1A；见表43)。起搏算法寻找负脉冲或正脉冲。

**表14. 起搏导联计算**

0x01 [10] <sup>1</sup>	0x05 [8] <sup>2</sup>	配置	0x04 [8:3] <sup>3</sup>			
			00	01	10	11
			导联 I (LA – RA) CH1 – CH3	导联 II (LL – RA) CH2 – CH3	导联 III (LL – LA) CH2 – CH1	aVF (导联 II + 导联 III)/2
0	0	数字导联	LA – RA CH1 – CH3	LL – RA CH2 – CH3	LL – LA CH2 – CH1	LL – (LA + RA)/2 CH2 – (CH1 + CH3)/2
0	1	公共电极导联	导联 I CH1	导联 II CH2	导联 II – 导联 I CH2 – CH1	导联 II – 0.5 × 导联 I CH2 – 0.5 × CH1
1	X	模拟导联	导联 I CH1	导联 II – CH3	导联 III CH2	导联 II – 0.5 × 导联 I – CH3 – 0.5 × CH1

<sup>1</sup> 寄存器ECGCTL的位CHCONFIG，见表27。

<sup>2</sup> 寄存器CMREFCTL的位CEREFEN，见表31。

<sup>3</sup> 寄存器PACECTL的位PACESEL [1:0]，见表30。

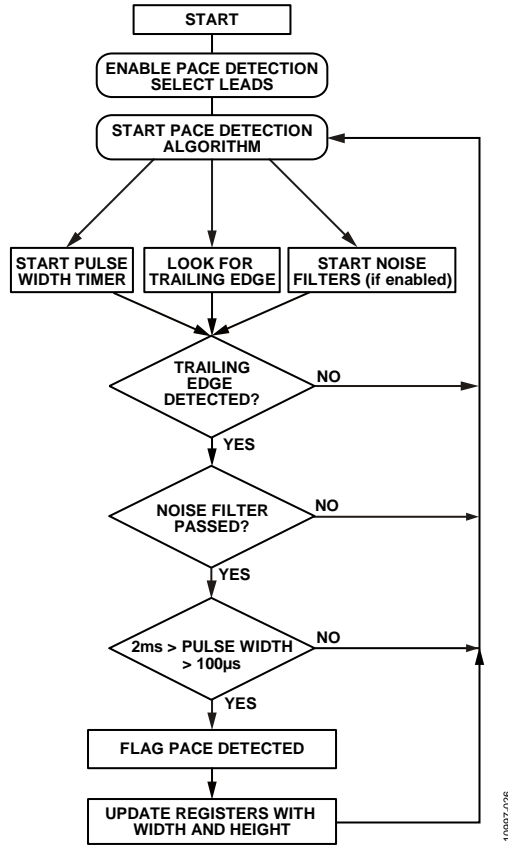


图66. 起搏算法概览

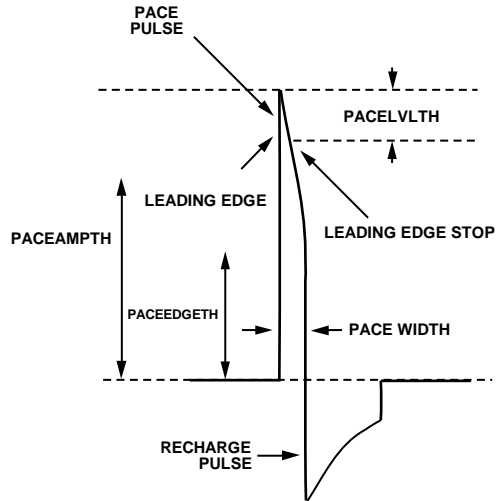


图67. 典型起搏信号

## 起搏幅度阈值

此寄存器(地址0x07, 见表33)可用于设置最小有效起搏脉冲幅度:

$$PACEAMPTH设置 = \frac{N \times VREF}{GAIN \times 2^{16}}, \text{ (对应于}$$

20  $\mu$ V到5 mV范围、1.4倍增益设置(GAIN 0))

$N = 0$ 至255(8位), 寄存器默认值 $N = 0x24$ , (1.4倍增益设置中 $PACEAMPTH = 706 \mu$ V)

$GAIN = 1.4$ 、2.1、2.8或4.2(可编程)。

$VREF = 1.8$  V。

此值通常被设置为预期最小起搏幅度。

对于双心室和单极性起搏, 为了在大多数工作条件下获得最佳结果, 建议将起搏幅度阈值设为约700  $\mu$ V到1 mV的值。为了避免来自病人的环境噪声影响, 该阈值应不低于250  $\mu$ V。当有其它医疗设备与病人相连时, 该幅度可以调整为远高于1 mV的值。

## 起搏边沿阈值

此编程值(地址0x0E, 见表40)用于寻找表示起搏脉冲开始的前沿:

$$PACEEDGE设置 = \frac{N \times VREF}{GAIN \times 2^{16}} \text{ (对应于}$$

20  $\mu$ V到5 mV范围、1.4倍增益设置)

其中:

如果 $N = 0$ ,  $PACEEDGE = PACEAMPTH/2$ , 则 $N = 0$ 至255(8位)。

$GAIN = 1.4$ 、2.1、2.8或4.2(可编程)。

$VREF = 1.8$  V。

## 起搏电平阈值

此编程值(地址0x0F, 见表41)用于寻找前沿峰值:

$$PACELVLTH设置 = \frac{N \times VREF}{GAIN \times 2^{16}}, \text{ 有符号(FF} = -1,$$

01 = +1), 默认值 = 0

其中:

$N = 0$ 至255(8位)。

$GAIN = 1.4$ 、2.1、2.8或4.2(可编程)。

$VREF = 1.8$  V。

## 起搏验证滤波器1

此滤波器用于抑制低于阈值的脉冲, 如分钟通气(MV)脉冲和电感耦合植入式遥测系统等。它通常使能, 通过PACECTL寄存器的位9(见表30)控制。滤波器1适用于所有使能且用于起搏检测的导联。

## 起搏验证滤波器2

此滤波器同样用于抑制低于阈值的脉冲, 如MV脉冲和电感植入式遥测系统等。它一般使能, 通过PACECTL寄存器的位10(见表30)控制。滤波器2适用于所有使能且用于起搏检测的导联。

## 起搏宽度滤波器

使能时, 此滤波器寻找与前沿极性相反且幅度至少为原始触发脉冲一半的边沿。第二沿必须与原边沿相距100  $\mu$ s到2 ms。检测到有效起搏宽度后, 就会存储该宽度。禁用时, 仅100  $\mu$ s的最短脉冲宽度禁用。此滤波器由PACECTL寄存器的位11(见表30)控制。

## 双心室起搏器

如上文所述, 起搏算法要求起搏脉冲宽度小于2 ms。在起搏双心室的起搏器中, 双心室可以同步起搏。当起搏宽度和高度在算法的编程限值以内时, 就会标记有效起搏, 但可能只有一个起搏脉冲可见。

起搏宽度滤波器使能时, 起搏算法寻找宽度在100  $\mu$ s到2 ms窗口以内的起搏脉冲。假设此滤波器使能, 如果两个心室起搏器脉冲在略有不同的时间发出, 导致脉冲在导联中显示为一个较大、较宽的脉冲, 那么只要总宽度不超过2 ms, 就会标记有效起搏。

## 起搏检测测量

ADAS1000-3/ADAS1000-4数字起搏算法的设计验证包括检测一系列仿真起搏信号, 使用ADAS1000-3/ADAS1000-4和评估板, 将一个起搏器连接到各种仿真负载(约200  $\Omega$ 至2 k $\Omega$ 以上), 并且涵盖以下4个波形拐角。

- 最短脉冲宽度(100  $\mu$ s), 最小高度(<300  $\mu$ V)
- 最短脉冲宽度(100  $\mu$ s), 最大高度(最大1.0 V)
- 最长脉冲宽度(2 ms), 最小高度(<300  $\mu$ V)
- 最长脉冲宽度(2 ms), 最大高度(最大1.0 V)

这些情形下的测试均获得了合理的结果。使用交流导联脱落功能对记录的起搏高度、宽度或起搏检测算法识别起搏脉冲的能力无明显影响。起搏算法也在呼吸载波使能的情况下进行了评估, 载波中同样没有观察到阈值或起搏器检测的差异。

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

这些实验虽然验证了起搏算法在有限的环境和条件下的有效性，但不能代替起搏器算法的最终系统验证。这只能在最终系统中执行，使用系统制造商指定的电缆和验证数据集。

## 评估起搏检测性能

ECG仿真器可以方便地研究ADAS1000捕捉各种法定标准规定的宽度和高度范围内的起搏信号的性能和能力。ADAS1000-3/ADAS1000-4的起搏检测算法按照医疗仪器标准进行设计，某些仿真器的输出信号比标准要求的要宽(或窄)，ADAS1000-3/ADAS1000-4的算法会将其视为无效信号而予以抑制。

ADAS1000-3/ADAS1000-4的起搏宽度接受窗口是最严格的，以2 ms为限。如果这有问题，可以通过降低主时钟频率来获得一些裕量。例如，用8.000 MHz晶振代替建议的8.192 MHz晶振，可以将起搏接受窗口的上限从2.000 ms提高到2.048 ms。下限也会提高，但这不会影响算法检测100  $\mu$ s起搏脉冲的能力。

更改时钟频率会影响ADAS1000-3/ADAS1000-4的所有其它频率相关功能。沿用8.000 MHz例子，ECG的-3 dB频率以8000/8192的系数缩小，40 Hz变为39.06 Hz，150 Hz变为146.5 Hz，二者仍然在法定要求以内。呼吸和交流导联脱落频率，以及输出数据速率，同样以8000/8192的系数缩小。

## 起搏延迟

无论选择何种帧速率和ECG滤波器设置，起搏算法都会检验128 kHz、16位ECG数据。检测到有效后沿时，起搏脉冲即被认定为有效，并在下一可用帧表头中予以标记。在128 kHz帧速率，起搏和ECG数据在时间上始终正确对齐，

但对于较慢的帧速率，其固有的额外滤波会使帧的ECG数据落后于起搏脉冲标志。表15总结了这些延迟，根据ECG数据正确定位起搏事件时必须考虑此延迟。

起搏后沿的确切位置存在一个帧周期的固有不确定性。

## 通过第二串行接口进行起搏检测

用户若想采用自己的起搏检测方案，可使用ADAS1000-3/ADAS1000-4提供的第二个串行接口。此接口配置为主器件接口，仅以128 kHz数据速率提供ECG数据。其作用是让用户能以足够高的速率访问ECG数据，以便运行自己的起搏算法，同时让ADAS1000-3/ADAS1000-4在标准串行接口(2 kHz和16 kHz数据速率)上提供的所有ECG数据滤波和抽取功能保持不变。即使第二串行接口使能，此专用起搏接口也只使用四个GPIO引脚中的三个，留下一个GPIO引脚以供他用。注意，确保通道增益匹配的片内数字校准不适用于此接口提供的数据。关于此接口的更多信息参见“第二串行接口”部分。

## 滤波

图68显示了ECG数字信号处理。ADC采样速率是可编程的。在高性能模式下，它是2.048 MHz；在低功耗模式下，采样速率降至1.024 MHz。用户可以用三种数据速率(128 kHz、16 kHz和2 kHz)中的一种传输帧数据。注意，虽然2 kHz和16 kHz数据速率的数据字宽度为24位，但可用位数分别为19位和18位。

抽取量取决于所选数据速率，数据速率越低，则抽取越多。

有4个可选低通滤波器拐角可用，其数据速率为2 kHz。

滤波器通过复位清零。表15列出了不同数据速率下的滤波器延迟。



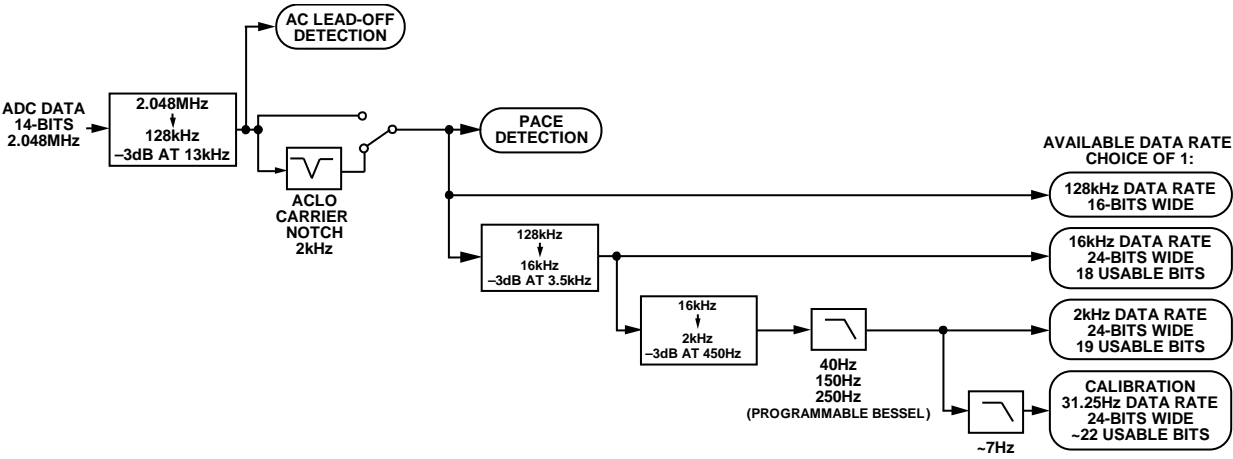


图68. ECG通道滤波器信号流

10957-028

表 15. ECG波形与起搏指示的关系<sup>1, 2, 3</sup>

数据速率	条件	ECG数据相对于起搏事件的视在延迟 <sup>4</sup>
2 kHz	450 Hz ECG带宽	0.984 ms
	250 Hz ECG带宽	1.915 ms
	150 Hz ECG带宽	2.695 ms
	40 Hz ECG带宽	7.641 ms
16 kHz		109 μs
128 kHz		0

<sup>1</sup> ECG波形延迟是指阶跃输入后达到最终值50%所需的时间。  
<sup>2</sup> 通过设计保证，但未经生产测试。  
<sup>3</sup> 确定起搏脉冲后沿时，存在无法避免的8 μs残余不确定性。  
<sup>4</sup> 增加38 μs以获得任何设置的绝对延迟。

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

## 基准电压源

ADAS1000-3/ADAS1000-4具有一个高性能、低噪声、片内1.8 V基准电压源，用于ADC和DAC电路。一个器件的REFOUT设计用于驱动同一器件的REFIN。内部基准电压源不能用于驱动较大外部电流；为了在多器件组合工作时实现最佳性能，各器件应使用自己的内部基准电压源。

可以利用一个外部1.8 V基准电压源来提供所需的VREF。这种情况下，一个内部缓冲器配合外部基准电压源使用。REFIN引脚是一个动态负载，每个使能通道的平均输入电流约为100  $\mu$ A，包括呼吸。使用内部基准电压源时，REFOUT引脚需要通过一个低ESR(最大0.2  $\Omega$ )的10  $\mu$ F电容与0.01  $\mu$ F电容的并联组合去耦至REFGND，这些电容应尽量靠近器件引脚放置，并且与器件位于PCB的同一侧。

## 组合工作模式

提高ECG通道数，用户便可测量更多数量的病人电极。12导联系统通常需要9个电极(以及1个右腿驱动参考电极)，但可以仅使用8个电极(以及1个右腿驱动参考电极)以实现导出配置。因此，将一个5电极ADAS1000、ADAS1000-1或ADAS1000-2与ADAS1000-3或ADAS1000-4器件配合使用，便可提供所需的8个电极。所用的方法为主从配置，一个器件是主器件，其它器件则是从器件。多个器件必须能很好地协同工作，因此，主器件和从器件之间应通过合适的输入/输出进行接口。

注意，使用多个器件时，用户必须直接从各器件收集ECG数据。如果使用传统的12导联配置，V<sub>x</sub>导联相对于WCT进行测量，则用户应将主器件配置为导联模式，并将从器件配置为电极模式。电极和导联数据的LSB大小不同(详情见表42)。

在组合模式中，所有器件必须以相同的功耗模式(高性能或低功耗)和相同的数据速率工作。

## 主/从

ADAS1000、ADAS1000-1、ADAS1000-3或ADAS1000-4可以配置为主器件或从器件，而ADAS1000-2只能配置为从器件。主/从器件通过ECGCTL寄存器的位5(主器件)配置(见表27)。组合模式通过将上述寄存器的位4(组合)置1来使能。

一个器件配置为主器件时，SYNC\_GANG引脚自动设为输出。

一个器件配置为从器件时(ADAS1000-2)，SYNC\_GANG和CLK\_IO引脚设为输入。

## 同步器件

组合器件需要共用一个时钟，确保转换同步进行。一种方法是用主器件CLK\_IO引脚驱动从器件CLK\_IO引脚。另外，也可以利用外部8.192 MHz时钟来驱动所有器件的CLK\_IO引脚。CLK\_IO上电进入高阻态，直到配置为组合模式。

此外，SYNC\_GANG引脚用来同步多个器件的ADC转换启动。SYNC\_GANG引脚自动由主器件驱动，是所有从器件的输入。在通过组合模式使能之前，SYNC\_GANG处于高阻态。

在组合模式下连接器件时，当主器件开始转换，SYNC\_GANG输出触发一次。因此，为确保从器件收到同步信号，首先应配置从器件并使能转换，然后向主器件的ECGCTL寄存器发送转换信号。

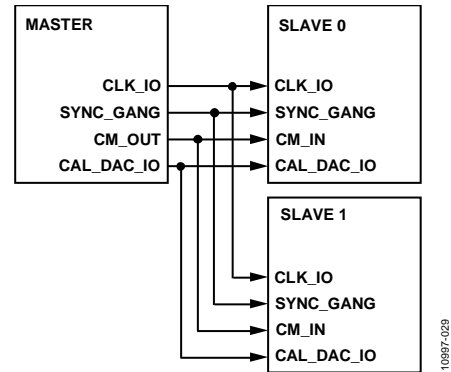


图69. 组合模式下的主从连接，使用多个器件

## 校准

在组合工作模式下，一个器件(主)的校准DAC信号可以通过CAL\_DAC\_IO引脚输出，并用作其它器件(从)的校准输入。这样可以确保所有器件采用同样的信号校准，从而提高通道间的匹配度。在组合模式下，这并不是自动发生的，必须按照表35进行配置。

## 共模

ADAS1000-3/ADAS1000-4具有一个专用CM\_OUT引脚用作输出，一个CM\_IN引脚用作输入。在组合模式下，主器件根据选定的输入电极决定共模电压。然后，此共模信号(CM\_OUT)可以被随后的从器件用作共模基准(施加于CM\_IN)。从器件内的所有电极均相对于主器件的CM\_IN信号进行测量。关于通过串行接口进行控制的更多信息，参见表31中的CMREFCTL寄存器。图70显示了使用多个器件时主从器件之间的连接。

## 右腿驱动

右腿驱动来自主器件。如果从器件的内部RLD电阻是RLD环路的一部分，应将主从器件的RLD\_SJ引脚连在一起。

## 组合模式中的器件时序

进入多器件组合模式时，主从器件均可以工作，但主器件的转换使能位(ECGCTL寄存器的位2，表27)应在从器件的转换使能位之后置1。主器件的转换信号置1后，就会在其SYNC\_GANG引脚上产生一个边沿，它将应用于所有从器件的SYNC\_GANG输入，使得器件的ADC转换能够同步。

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

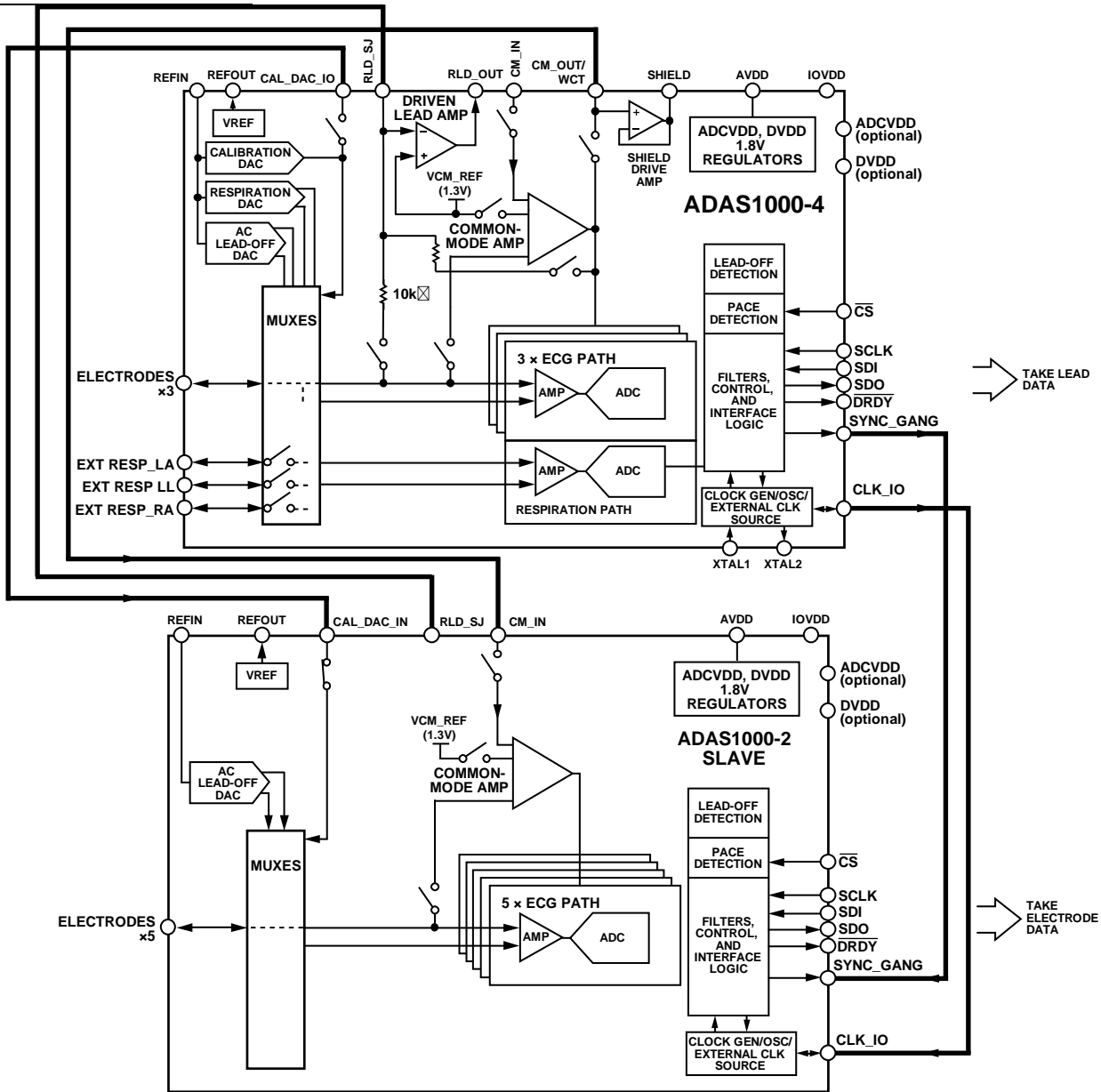


图70. 配置多个器件以扩大电极/导联数量  
(此例将ADAS1000-4用作主器件，ADAS1000-2用作从器件；其它配置也是可行的)

表16. 组合操作的一些可能配置

主器件	从器件1	从器件2	特性	电极数	导联数
ADAS1000	ADAS1000-2		ECG、呼吸、起搏	10 ECG、CM_IN、RLD	12导联 + 备用ADC通道
ADAS1000	ADAS1000-2	ADAS1000-2	ECG、呼吸、起搏	15 ECG、CM_IN、RLD	15导联 + 3个备用ADC通道
ADAS1000	ADAS1000-3		ECG、呼吸、起搏	8 ECG、CM_IN、RLD	12导联(导出的导联)
ADAS1000-3	ADAS1000-2		ECG	8 ECG, CM_IN, RLD	12导联(导出的导联)
ADAS1000-4	ADAS1000-2		ECG、呼吸、起搏	8 ECG、CM_IN、RLD	12导联(导出的导联)

组合模式下的接口

如图70所示，使用多个器件时，用户必须直接从各器件收集ECG数据。图71所示的例子说明了主从器件接口的一种可能性。

注意，这里共用SCLK、SDO和SDI，使用各自的CS线。这就要求用户以两倍的速度读取主从器件的数据，确保它们能捕捉到所有数据以保持选定的数据速率，并且具有相关

的同步数据。其它方法是使用控制器来控制各器件或单独的SDO路径。

某些应用中，主机与ADAS1000-3/ADAS1000-4之间需要数字隔离。所示的例子给出了一种确保需要隔离的线路数量最少的方法。

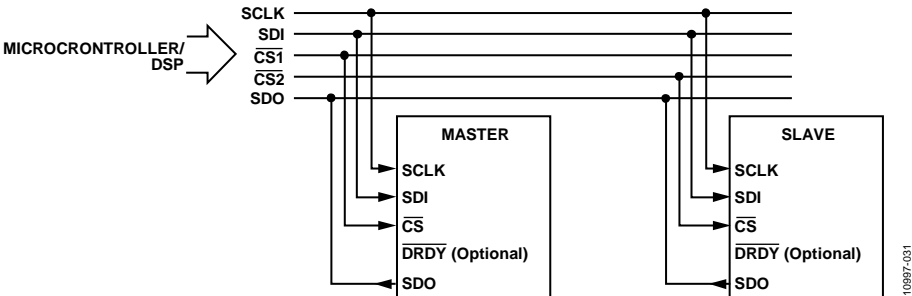


图71. 多个器件接口的一种方法

10697-031

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

## 串行接口

ADAS1000-3/ADAS1000-4通过标准串行接口进行控制，运行配置寄存器和回读ECG数据。这是一个SPI兼容型接口，采用最高达40 MHz的SCLK频率工作。

ADAS1000-3/ADAS1000-4还提供一个可选的第二串行接口，它能够以128 kHz数据速率提供ECG数据，适合想要采用其自有数字起搏检测算法的用户。这是一个主机接口，采用20.48 MHz的SCLK频率工作。

### 标准串行接口

采用2.3 V至3.6 V IOVDD电源工作时，标准串行接口兼容LVTTTL。这是主要接口，用于控制 ADAS1000-3/ADAS1000-4，读取和写入寄存器，以及读取包含所有ECG数据字和器件内其它状态功能的帧数据。

SPI由以下5个引脚控制：

- $\overline{CS}$  (帧同步输入)。 $\overline{CS}$ 置位低电平时选择器件。当 $\overline{CS}$ 为高电平时，忽略SDI引脚上的数据。如果 $\overline{CS}$ 无效，SDO输出驱动器会禁用，这样多个SPI器件就可以共用一个SDO引脚。 $\overline{CS}$ 引脚可以接低电平以减少需要隔离的路径数量。当 $\overline{CS}$ 接低电平时，数据字周围无帧，因此，用户必须知道其处于帧内何处。对于所有2 kHz和16 kHz数据速率的数据字，帧内各字的起始处是寄存器地址。用户可以让SDI保持64个SCLK周期的高电平来重新同步该接口，然后读取任意寄存器，从而在后续字的第一位时拉低SDI。
- SDI (串行数据输入引脚)。SDI上的数据在SCLK的上升沿输入器件。
- SCLK (将数据输入和输出器件)。当 $\overline{CS}$ 为高电平时，SCLK应为高电平空闲状态。
- SDO (用于数据回读的串行数据输出引脚)。数据在SCLK的下降沿通过SDO输出。The SDO output driver is high-Z when  $\overline{CS}$  is high.
- DRDY (数据就绪，可选)。低电平时表示数据就绪，高电平时表示繁忙。指示ADAS1000-3/ADAS1000-4数字逻辑的内部状态。复位期间，它变为高电平/繁忙状态。如果数据帧使能且帧缓冲器为空，此引脚将变为繁忙/高电平状态。如果帧缓冲器已填满，此引脚将变为低电平/就绪状态。如果数据帧未使能，此引脚将变为低电平，表示器件准备接收寄存器读取/写入命令。读取包数据时，必须读取整个包后，DRDY才能返回高电平状态。

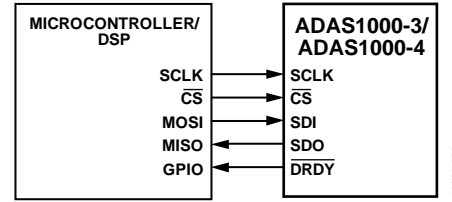


图72. 串行接口

### 写入模式

用于写操作的串行字为32位长，MSB优先。串行接口可以采用连续式和突发式(选通式)串行时钟工作。 $\overline{CS}$ 的第一个下降沿启动写周期。施加于SDI的串行数据在SCLK上升沿输入ADAS1000-3/ADAS1000-4。SCLK必须经过至少32个时钟上升沿以输入32位数据之后，才能将 $\overline{CS}$ 重新拉高。寻址的输入寄存器在 $\overline{CS}$ 的上升沿更新。若需进行其它串行传输，必须将 $\overline{CS}$ 再次拉低。寄存器写操作用于配置器件。器件配置就绪并使能转换后，就可以启动帧数据，开始以可编程数据速率通过SDO输出ECG数据。器件的正常操作是发送ECG数据帧。通常只有在启动配置过程中才需要执行寄存器读写操作。然而，在帧传输模式下，可能需要将新的配置数据写入器件。新写入命令在帧内接受，根据命令的性质不同，可能需要先清除内部滤波器(等待几个周期)，然后才能再次看到有用的帧数据。

### 读取/写入数据格式

地址、数据和读/写位全都位于同一个字中。数据在 $\overline{CS}$ 的上升沿或后续字的第一个周期更新。对于 ADAS1000-3/ADAS1000-4的所有写命令，数据字为32位，如表17所示。类似地，使用2 kHz和16 kHz的数据速率时，各字为32位(地址位和数据位)。

表17. 串行位分配 (适用于所有寄存器写操作、2 kHz和16 kHz读操作)

B31	[B30:B24]	[B23:B0]
R/W	地址位[6:0]	数据位[23:0](MSB优先)

对于寄存器读操作，数据在下一个字期间移出，如表18所示。

表18. 读/写数据流

数字引脚	命令1	命令2	命令2
SDI	读取地址1	读取地址2	写入地址3
SDO		地址1 读取数据1	地址2 读取数据2

对于128 kHz数据速率，所有写入字仍为32位，但数据包中的读取字为16位(寄存器的高16位)。不存在地址位，仅有数据位。大于16位的寄存器空间占2个16位字(例如，起搏和呼吸)。

### 数据帧/包

通用数据包结构如表18所示。数据可以通过两种不同的帧格式接收。对于2 kHz和16 kHz数据速率，使用32位数据格式(寄存器地址封装在高位字节，识别帧内的字)(见表21)。对于128 kHz数据速率，字以16位数据格式提供(见表22)。

配置完成后，用户就可以向帧表头寄存器(见表52)发出一个读取命令，以便开始读取帧。[ADAS1000-3/ADAS1000-4](#)继续提供帧，直到写入另一个寄存器地址(读取或写入命令)。要继续读取帧数据，应继续通过SDI写入全0，它表示对NOP寄存器(地址0x00)的写操作。只有发出另一个读取或写入命令才能中断一个帧。

每个帧可以包含大量数据和状态字。 $\overline{CS}$ 可以在帧内的各数据字之间切换，也可以在整帧期间保持低电平不变。

以2 kHz或16 kHz数据速率读取时，读取所有数据字将产生一个包含 $10 \times 32$ 位字的帧；以128 kHz数据速率读取时，一帧包含 $13 \times 16$ 位字。此外，任何不需要的字都可以从帧中排除。要使用需要的字配置帧，应在帧控制寄存器(见表36)中配置适当的位。每帧的完整字集是 $10 \times 32$ 位字(2 kHz或16 kHz数据速率)或 $13 \times 16$ 位字(128 kHz数据速率)。

帧内未提供的数据可以在帧间读取。读取寄存器会中断帧传输，用户必须发出新的读取命令(地址0x40，见表52)才能重新开始帧传输。

### 读取模式

虽然[ADAS1000-3/ADAS1000-4](#)的主要读取功能是输出ECG帧数据，但器件也允许读取所有配置寄存器。要读取一个寄存器，用户首先必须用一个包含特定寄存器地址的读取命令寻址器件。如果器件已经处于数据帧传输模式，可以在帧数据的最后一个字期间发出读取寄存器命令，从而将读取寄存器命令穿插在帧之间。下一个字期间输出的数据是寄存器读取数据。要返回帧传输模式，用户必须读取帧表头寄存器(地址0x40，见表52)以重新使能帧传输。此寄存器写操作可以用来清除上一读取命令产生的寄存器内容。

**表19. 读取寄存器和帧示例**

SDI	.....	无操作(NOP)	读取地址N	读取帧	无操作(NOP)	无操作(NOP)	.....
SDO	.....	帧数据	帧CRC	寄存器数据N	帧表头	帧数据	.....

常规寄存器读操作总是32位长且MSB优先。

### 串行时钟速率

SCLK最高可达40 MHz，具体取决于IOVDD电平，如表5所示。最小SCLK频率必须满足如下要求：所有帧数据都在下一帧可用前输出。

$$SCLK(\text{最小}) = \text{帧速率} \times \text{帧速率} \times \text{位数/字}$$

不同帧速率下的最小SCLK如表20所示。

**表20. SCLK时钟频率与包数据/帧速率的关系**

帧速率	字大小	最多字数/帧 <sup>1</sup>	最小SCLK
128 kHz	16位	13字	26.62 MHz
16 kHz	32位	10字	5.12 MHz
2 kHz	32位	10字	640 kHz

<sup>1</sup> 这是一帧包含的完整字集。它是可编程的，可以配置为只提供需要的字。参见表36。

**表21. 默认2 kHz和16 kHz数据速率：32位帧字格式**

寄存器	接头	导联I/LA	导联II/LL	导联III/RA	起搏	RESPM	RESPPH	LOFF	GPIO	CRC
地址	0x40	0x11	0x12	0x13	0x1A	0x1B	0x1C	0x1D	0x06	0x41

**表22. 默认128 kHz数据速率：16位帧字格式**

寄存器	接头	导联I/LA	导联II/LL	导联III/RA	起搏1	起搏2	RESPM1	RESPM2	RESPH1	RESPH2	LOFF	GPIO	CRC
地址	0x40	0x11	0x12	0x13	0x1A		0x1B		0x1C		0x1D	0x06	0x41

## ADAS1000-3/ADAS1000-4

内部操作与内部2.048 MHz或1.024 MHz主时钟同步(EGCTL[3]: HP = 1和HP = 0, 见表27)。由于内部时钟与SPI的SCLK信号之间并无可靠的关系, 因此使用一个内部握手方案来确保数据在两个时钟域之间安全传输。完整的握手需要3个内部时钟周期, 当读取较少字数的帧时, 须限制SCLK频率的速度上限。这对所有数据帧速率均是如此。

$SCLK(\text{最大}) = (1.024 \text{ MHz} \times (1 + \text{HP}) \times \text{字数/帧} \times \text{位数/字})/3$ , 或40 MHz, 以较低者为准。

超过特定工作模式的最大SCLK频率, 会引起 $\overline{\text{DRDY}}$ 信号行为错乱, 导致数据丢失。

### 数据速率和跳过模式

虽然可用的标准帧速率为2 kHz、16 kHz和128 kHz, 但用户可以跳过帧, 从而进一步降低数据速率。这可以在帧控制寄存器(见表36)中配置。

### 数据就绪( $\overline{\text{DRDY}}$ )

$\overline{\text{DRDY}}$ 引脚用于指示由选定数据速率的抽取数据组成的帧可供读取。繁忙时, 它为高电平; 就绪时, 它为低电平。只能在 $\overline{\text{DRDY}}$ 的状态为低电平或就绪时发送命令。上电期间,  $\overline{\text{DRDY}}$ 的状态为高电平(繁忙), 器件自身初始化。完成初始化后,  $\overline{\text{DRDY}}$ 变为低电平, 用户可以开始配置器件进行工作。器件配置完成并使能转换时(通过写入EGCTL寄存器的转换位(CNVEN)), ADC开始转换, 数字接口开始提供数据, 就绪时将其加载到缓冲器。如果转换已使能而缓冲器为空, 则器件未就绪,  $\overline{\text{DRDY}}$ 变为高电平。一旦缓冲器填满,  $\overline{\text{DRDY}}$ 即变为低电平, 表示可以将数据读出器件。如果器件未使能转换,  $\overline{\text{DRDY}}$ 会忽略缓冲器填满状态。

读取数据包时, 必须读取整个数据包, 否则 $\overline{\text{DRDY}}$ 将保持低电平。

有三种方法可检测 $\overline{\text{DRDY}}$ 状态。

- $\overline{\text{DRDY}}$ 引脚。这是ADAS1000-3/ADAS1000-4的输出引脚, 指示器件读取或繁忙状态。此引脚为高电平时, 无有效数据。 $\overline{\text{DRDY}}$ 变为低电平时, 表示数据可供读取, 并且保持低电平到整个帧读取完毕。当帧中最后一个字的最后一位通过SDO输出时, 它变为高电平。此引脚是选用引脚。
- SDO引脚。用户可以通过拉低CS来监控SDO引脚的电平。如果SDO为低电平, 则数据就绪; 如果为高电平, 则器件繁忙。这不需要驱动SCLK输入。(仅CPHA = CPOL = 1)。
- 在SDO提供的表头字中, 有效数据前几位中的某一位是数据就绪状态位(见表42)。在ADAS1000-3/ADAS1000-4的配置中, 用户可以设置表头重复, 直到数据就绪为止。参见表36中帧控制寄存器的位6 (RDYRPT)。

### 检测遗失的转换数据

为确保当前数据有效, 整帧必须以选定的数据速率读取。如果读取整帧的时间超过选定数据速率允许的时间, 内部寄存器就不会加载最新的转换数据。帧表头寄存器(见表52)提供4个设置来指示帧数据溢出。位[29:28]的设置报告自上次有效帧读取以来, 遗失了多少帧。遗失帧可能是因为上次读取耗时过长。当前帧中的数据有效, 但不是最新数据。它是上次有效读取后立即进行的计算。

要清除这种溢出, 用户必须读取整帧。



## CRC字

帧数据完整性由CRC提供。对于128 kHz帧速率，使用16位CRC-CCITT多项式。对于2 kHz和16 kHz帧速率，使用24位CRC多项式。

两种情况下，CRC残余值均预设设为全1，传输前反转。表23总结了CRC参数。要验证数据是否正确接收，软件应当对数据和接收的校验和计算CRC。如果数据和校验和接收正确，相应的CRC残余值应等于表23所示的校验常数。注意，数据以MSB优先的方式通过发生器多项式，与其串行移出的顺序相同。附加到帧的CRC的位和字节应有适当的顺序，使得CRC的MSB首先通过发生器多项式，与数据顺序一样；CRC残余值与反转CRC在帧结束时进行“异或”运算的结果应为全1(这正是所有消息的校验常数均相同的原因)。CRC仅基于送出的数据。

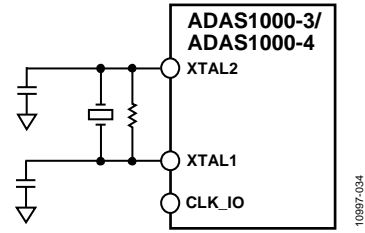


图73. 输入时钟

## 时钟

ADAS1000-3/ADAS1000-4采用8.192 MHz的外部晶体或时钟输入频率工作。外部时钟输入用于组合模式，使得两个器件之间的转换同步。这种模式下，CLK\_IO引脚是主器件的输出和从器件的输入。为降低功耗，非组合模式下应禁用CLK\_IO。

ADAS1000-3/ADAS1000-4的所有特性都是外部提供的时钟频率的函数。如上所述，使用非8.192 MHz的频率会相应地缩放数据速率、滤波器转折频率、交流导联脱落频率、呼吸频率和起搏算法拐角。

表23. CRC多项式

帧速率	CRC大小	多项式	多项式 (十六进制)	校验常数
2 kHz, 16 kHz	24位	$x^{24} + x^{22} + x^{20} + x^{19} + x^{18} + x^{16} + x^{14} + x^{13} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^6 + x^3 + x^1 + x^0$	0x15D6DCB	0x15A0BA
128 kHz	16位	$x^{16} + x^{12} + x^5 + x^0$	0x11021	0x1D0F

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

## 第二串行接口

此第二串行接口是一个可选接口，用于用户自己的起搏检测。此接口仅包含128 kHz数据速率的ECG数据。如果使用此接口，ECG数据仍可通过上述标准接口以较低的速率提供，所有抽取和滤波仍然适用。此接口无效时不消耗功率。

数据以16位字形式载入，MSB优先。

此接口是主接口，ADAS1000-3/ADAS1000-4提供SCLK、CS、SDO。它与现有GPIO引脚的共用情况如下：

- GPIO1/MSCLK
- GPIO0/MCS
- GPIO2/MSDO

此接口可以通过GPIO寄存器使能(见表32)。

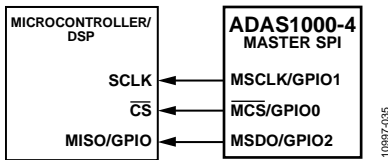


图74. 用于外部起搏检测的主器件SPI接口

帧的数据格式包括：表头字、3个ECG数据字、2个零填充字，最后是CRC字(如表23针对128 kHz速率所示)。所有字都是16位。MSCLK以大约20 MHz的速率运行，MCS功能在

整帧期间置位，数据在MSCLK的下降沿通过MSDO输出。当MCS解除置位时，MSCLK为高电平空闲状态。

表 24. 主器件SPI帧格式；所有字都是16位

字	1	2	3	4	5	6
接头	导联I/LA	导联II/LL	导联III/RA	全部为0	全部为0	CRC

表头字由4个全1位和一个12位序列计数器组成。每发送一帧，此序列计数器就会递增1，从而让用户知道是否遗失帧以及遗失多少帧。

## RESET

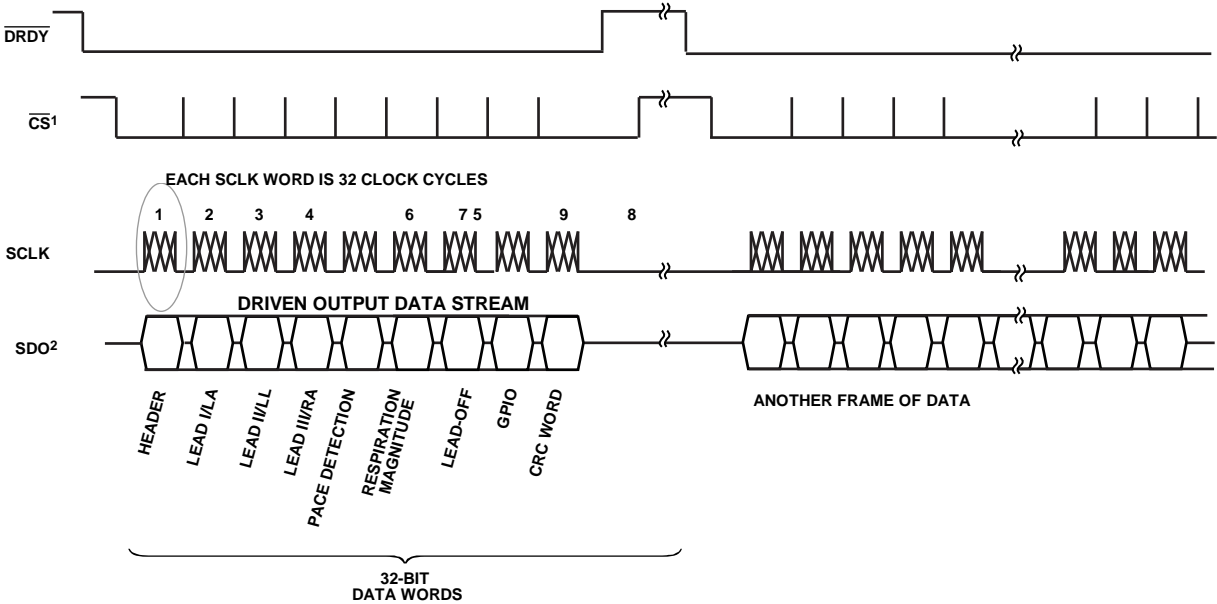
有两种方法可将ADAS1000-3/ADAS1000-4复位到上电默认状态。通过将RESET线置为低电平，或将ECGCTL寄存器(表27)中的SWRST位置1，可以将所有内部寄存器的内容复位到其上电复位状态。RESET引脚的下降沿将启动复位过程。在此期间，DRDY变为高电平，并在RESET完成后返回低电平。此序列最长耗时1.5 ms。当DRDY处于高电平以处理RESET命令时，不要写入串行接口。当DRDY返回低电平时，器件恢复正常操作，并忽略RESET引脚的状态，直至它再次变为低电平。使用SWRST位(见表27)的软件复位要求发出一个NOP(无操作)命令以完成复位周期。

## PD 功能

PD引脚可将所有功能置于低功耗模式。数字寄存器的内容保持不变。关断功能也可以通过串行接口执行(ECG控制寄存器，见表27)。

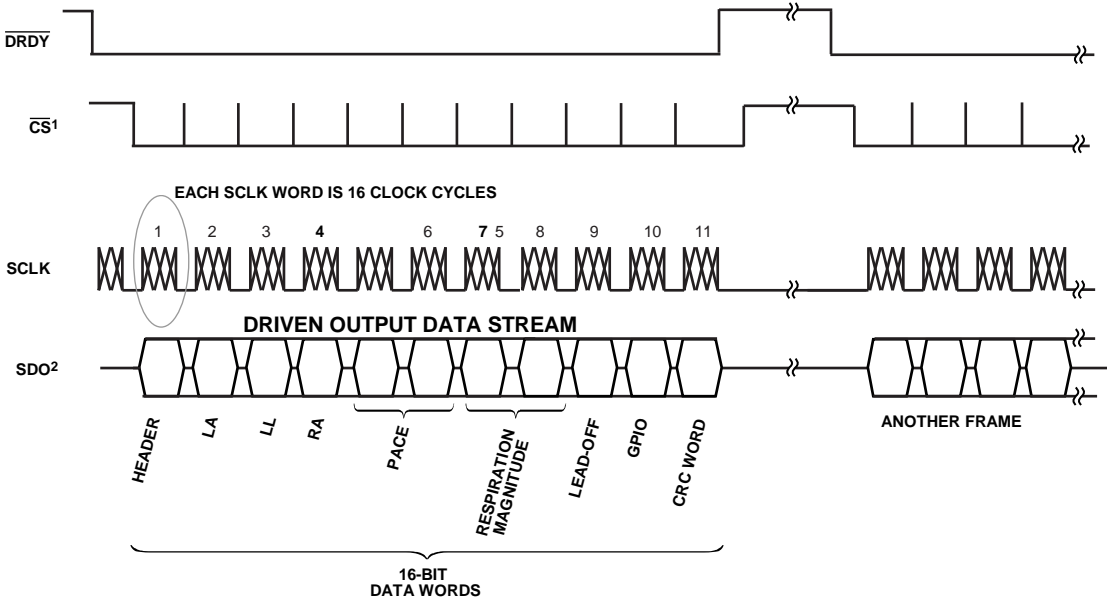
### SPI输出帧结构(ECG和状态数据)

读取ECG数据可以使用三种数据速率：低速2 kHz/16 kHz速率用于电极/导联数据(32位字)，高速128 kHz用于电极/导联数据(16位字)。



- 1 CS MAY BE USED IN ONE OF THE FOLLOWING WAYS:
  - A) HELD LOW ALL THE TIME.
  - B) USED TO FRAME THE ENTIRE PACKET OF DATA.
  - C) USED TO FRAME EACH INDIVIDUAL 32-BIT WORD.
- 2 FULL WORD COUNT = 10 (RESPIRATION PHASE EXCLUDED HERE). WORDS MAY BE EXCLUDED, SEE THE FRMCTL REGISTER.

图75. 2 kHz和16 kHz数据速率的输出帧结构，SDO数据配置为电极或导联数据



- 1 CS MAY BE USED IN ONE OF THE FOLLOWING WAYS:
  - A) HELD LOW ALL THE TIME.
  - B) USED TO FRAME THE ENTIRE PACKET OF DATA.
  - C) USED TO FRAME EACH INDIVIDUAL 16-BIT WORD.
- 2 FULL WORD COUNT = 13 (RESPIRATION PHASE EXCLUDED HERE). WORDS MAY BE EXCLUDED, SEE THE FRMCTL REGISTER.

图76. 128 kHz数据速率的输出帧结构，SDO数据配置为电极数据 (128 kHz数据速率仅可提供单端电极数据或模拟导联模式数据。数字导联模式在128 kHz数据速率时不可用。)

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

## SPI寄存器定义和存储器映射

2 kHz和16 kHz数据速率时，数据形式为32位字。位A6至位A0用作字识别符。每个32位字具有24位数据。此外还有第三种高速数据速率：128 kHz，数据新式为16位字(所有16位均为数据)。

**表25. SPI寄存器存储器映射**

R/W <sup>1</sup>	A[6:0]	D[23:0]	寄存器名称	表	寄存器描述	复位值
读	0x00	XXXXXX	无操作(NOP)		NOP(无操作)	0x000000
读/写	0x01	dddddd	ECGCTL	表27	ECG控制	0x000000
读/写	0x02	dddddd	LOFFCTL	表28	导联脱落控制	0x000000
读/写	0x03	dddddd	RESPCTL	表29	呼吸控制 <sup>2</sup>	0x000000
读/写	0x04	dddddd	PACECTL	表30	起搏检测控制	0x000F88
读/写	0x05	dddddd	CMREFCTL	表31	共模、参考和屏蔽驱动控制	0xE00000
读/写	0x06	dddddd	GPIOCTL	表32	GPIO控制	0x000000
读/写	0x07	dddddd	PACEAMPTH	表33	起搏幅度阈值 <sup>2</sup>	0x242424
读/写	0x08	dddddd	TESTTONE	表34	测试音	0x000000
读/写	0x09	dddddd	CALDAC	表35	校准DAC	0x002000
读/写	0x0A	dddddd	FRMCTL	表36	帧控制	0x079000
读/写	0x0B	dddddd	FILTCTL	表37	滤波器控制	0x000000
读/写	0x0C	dddddd	LOFFUTH	表38	交流导联脱落阈值上限	0x00FFFF
读/写	0x0D	dddddd	LOFFLTH	表39	交流导联脱落阈值下限	0x000000
读/写	0x0E	dddddd	PACEEDGETH	表40	起搏边沿阈值 <sup>2</sup>	0x000000
读/写	0x0F	dddddd	PACELVLTH	表41	起搏电平阈值 <sup>2</sup>	0x000000
读	0x11	XXXXXX	LADATA	表42	LA或导联I数据	0x000000
读	0x12	XXXXXX	LLDATA	表42	LL或导联II数据	0x000000
读	0x13	XXXXXX	RADATA	表42	RA或导联III数据	0x000000
读	0x1A	XXXXXX	PACEDATA	表43	读取起搏检测数据/状态 <sup>2</sup>	0x000000
读	0x1B	XXXXXX	RESPMAG	表44	读取呼吸数据—幅度 <sup>2</sup>	0x000000
读	0x1C	XXXXXX	RESPPH	表45	读取呼吸数据—相位 <sup>2</sup>	0x000000
读	0x1D	XXXXXX	LOFF	表46	导联脱落状态	0x000000
读	0x1E	XXXXXX	DCLEAD-OFF	表47	直流导联脱落	0x000000
读	0x1F	XXXXXX	OPSTAT	表48	工作状态	0x000000
读/写	0x21	dddddd	CALLA	表49	用户增益校准LA	0x000000
读/写	0x22	dddddd	CALLL	表49	用户增益校准LL	0x000000
读/写	0x23	dddddd	CALRA	表49	用户增益校准RA	0x000000
读	0x31	dddddd	LOAMLA	表50	LA的导联脱落幅度	0x000000
读	0x32	dddddd	LOAMLL	表50	LL的导联脱落幅度	0x000000
读	0x33	dddddd	LOAMRA	表50	RA的导联脱落幅度	0x000000
读	0x3A	dddddd	PACE1DATA	表51	起搏1宽度和幅度 <sup>2</sup>	0x000000
读	0x3B	dddddd	PACE2DATA	表51	起搏2宽度和幅度 <sup>2</sup>	0x000000
读	0x3C	dddddd	PACE3DATA	表51	起搏3宽度和幅度 <sup>2</sup>	0x000000
读	0x40	dddddd	FRAMES	表52	帧表头	0x800000
读	0x41	XXXXXX	CRC	表53	帧CRC	0xFFFFFFFF
x	其它	XXXXXX	保留 <sup>3</sup>		保留	XXXXXX

<sup>1</sup> R/W = 寄存器可读可写；R = 只读。

<sup>2</sup> 仅限ADAS1000-4，ADAS1000-3不包含这些特性。

<sup>3</sup> 所有寄存器中的保留位都未定义。有时候可能存在实际(但未用)的存储器位，有时候则不存在。不要向保留寄存器/空间发出命令。未定义对未分配位的读操作。

## 控制寄存器详解

每个寄存器地址的默认设置标注在“默认值”栏中，此外还会通过“(默认值)”的形式标注在“功能”栏中，这种格式适用于所有寄存器映射。

表26. 串行位分配

<b>B31</b>	<b>[B30:B24]</b>	<b>[B23:B0]</b>
R/W	地址位	数据位(MSB优先)

表27. ECG控制寄存器(ECGCTL)地址0x01，复位值 = 0x000000

R/W	默认值	位	名称	功能
读/写	0	23	LAEN	ECG通道使能；关断通道电源；输入变为高阻态。
读/写	0	22	LLEN	0(默认值)= 禁用ECG通道。禁用时，整个ECG通道关断，功耗极低。
读/写	0	21	RAEN	1 = 使能ECG通道。
读/写	0	[20:11]	保留	保留，置0。
读/写	0	10	CHCONFIG	此位置1，选择差分模拟前端(AFE)输入。参见表11。 0(默认值)= 单端输入(数字导联模式或电极模式)。 1 = 差分输入(模拟导联模式)。
读/写	00	[9:8]	GAIN [1:0]	前置放大器和抗混叠滤波器总增益。 00(默认值)= GAIN 0 = ×1.4。 01 = GAIN 1 = ×2.1。 10 = GAIN 2 = ×2.8。 11 = GAIN 3 = ×4.2(此增益设置需要用户增益校准)。
读/写	0	7	VREFBUF	VREF缓冲器使能。 0(默认值)= 禁用。 1 = 使能(使用内部VREF时，VREFBUF必须使能)。
读/写	0	6	CLKEXT	使用外部时钟，而不使用晶体振荡器。在组合模式下，如果配置为从器件，晶体振荡器自动禁用；从器件应从主器件接收时钟。 0(默认值)= XTAL为时钟源。 1 = CLK_IO为时钟源。
读/写	0	5	主器件	在组合模式下，此位选择主器件(SYNC_GANG引脚配置为输出)。单通道模式下(gang = 0)，忽略此位。 0(默认值)= 从器件。 1 = 主器件。
读/写	0	4	Gang	使能组合模式。此位置1会激活CLK_IO和SYNC_GANG。 0(默认值)= 单通道模式。 1 = 组合模式。
读/写	0	3	HP	选择噪声/功耗性能。此位控制ADC采样频率。详情参见“技术规格”部分。 0(默认值)= 1 MSPS、低功耗。 1 = 2 MSPS、高性能/低噪声。
读/写	0	2	CNVEN	转换使能。此位置1会使能ADC转换和滤波器。 0(默认值)= 空闲。 1 = 转换使能。
读/写	0	1	PWREN	电源使能。通过将该位清0，可关断器件。所有模拟时钟都关断，外部晶体禁用。关断期间，只要未切断DVDD，寄存器内容就会得到保留。 0(默认值)= 关断。 1 = 电源使能。
读/写	0	0	SWRST	软件复位。此位置1，所有寄存器恢复其复位值。此位自动清0。软件复位要求发送一个NOP命令以完成复位。 0(默认值)= NOP。 1 = 复位。

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

表28. 导联脱落控制寄存器(LOFFCTL)地址0x02, 复位值 = 0x000000

R/W	默认值	位	名称	功能
读/写	0	23	LAPH	交流导联脱落相位。 0(默认值)= 同相。
读/写	0	22	LLPH	0(默认值)= 同相。
读/写	0	21	RAPH	1 = 180°错相。
读/写	0	[20:19]	保留	保留, 置0。
读/写	0	18	CEPH	交流导联脱落相位。 0(默认值)= 同相。 1 = 180°错相。
读/写	0	17	LAACLOEN	各电极交流导联脱落使能。交流导联脱落使能是ACSEL与各交流导联脱落通道使能的“或”运算结果。 0(默认值)= 交流导联脱落禁用。 1 = 交流导联脱落使能。
读/写	0	16	LLACLOEN	
读/写	0	15	RAACLOEN	
读/写	0	[14:13]	保留	保留, 置0。
读/写	0	12	CEACLOEN	各电极交流导联脱落使能。交流导联脱落使能是ACSEL与各交流导联脱落通道使能的“或”运算结果。 0(默认值)= 交流导联脱落禁用。 1 = 交流导联脱落使能。
读/写	0	[11:9]	保留	保留, 置0。
读/写	00	[8:7]	ACCURRENT	设置交流导联脱落的电流水平。 00(默认值)= 12.5 nA rms。 01 = 25 nA rms。 10 = 50 nA rms。 11 = 100 nA rms。
读/写	00	[6:5]	保留	保留, 置0。
读/写	000	[4:2]	DCCURRENT	设置直流导联脱落的电流水平(仅对ACSEL = 0有效)。 000(默认值)= 0 nA。 001 = 10 nA。 010 = 20 nA。 011 = 30 nA。 100 = 40 nA。 101 = 50 nA。 110 = 60 nA。 111 = 70 nA。
读/写	0	1	ACSEL	直流或交流(带外)导联脱落检测。 ACSEL用作RA、LL、LA电极的全局交流导联脱落使能(使用ACSEL时, CE交流导联脱落不使能)。交流导联脱落使能是ACSEL与各交流导联脱落通道使能的“或”运算结果。 如果LOFFEN = 0, 此位为无关位。 如果LOFFEN = 1, 0(默认值)= 直流导联脱落检测使能。(各交流导联脱落可通过位[17:12]使能。) 1 = 直流导联脱落检测禁用。交流导联脱落检测使能(CE电极除外的所有电极)。 校准DAC使能时, 交流导联脱落禁用。
读/写	0	0	LOFFEN	使能导联脱落检测。 0(默认值)= 导联脱落禁用。 1 = 导联脱落使能。

**表29. 呼吸控制寄存器(RESPECTL)地址0x03, 复位值 = 0x000000<sup>1</sup>**

R/W	默认值	位	名称	功能															
		[23:17]	保留	保留, 置0。															
读/写	0	16	RESPALTFREQ	此位置1, GPIO3引脚上的呼吸波形每周期出现一次。与RESFREQ一起使用以选择驱动频率。 0(默认值)= 每N个周期出现一次。 1 = 每周期出现一次。															
读/写	0	15	RESPEXTSYNC	此位置1, 呼吸DAC的MSB输出到GPIO3引脚。此信号可用于使外部发生器与呼吸载波同步。 仅当RESPALTFREQ = 1时, 它才是一个恒定的周期。 0(默认值)= GPIO3正常工作。 1 = RESPDAC的MSB输出到GPIO3引脚。															
读/写	0	14	RESPEXTAMP	与呼吸电路的外部仪表放大器一起使用。旁路片内放大器级, 直接输入ADC。参见图65。 0(默认值)= 禁用。 1 = 使能。															
读/写	0	13	RESPOUT	选择外部呼吸驱动输出。当RESPCAP = 1时, 自动选择RESPDAC_RA。 0(默认值)= RESPDAC_LL和RESPDAC_RA。 1 = RESPDAC_LA和RESPDAC_RA。															
读/写	0	12	RESPCAP	选择呼吸电容的来源。 0(默认值)= 使用内部电容。 1 = 使用外部电容。															
读/写	0000	[11:8]	RESPGAIN [3:0]	呼吸仪表放大器增益(10倍时饱和)。 0000(默认值)= 1倍增益。 0001 = 2倍增益。 0010 = 3倍增益。 ... 1000 = 9倍增益。 1001 = 10倍增益。 11xx = 10倍增益。															
读/写	0	7	RESPEXTSEL	选择EXT_RESP_LA或EXT_RESP_LL路径。仅当RESPSEL中选择外部呼吸时适用。 EXT_RESP_RA自动使能。 0(默认值)= EXT_RESP_LL。 1 = EXT_RESP_LA。															
读/写	00	[6:5]	RESPSEL [1:0]	设置进行呼吸测量的导联。 00(默认值)= 导联I。 01 = 导联II。 10 = 导联III。 11 = 外部呼吸路径。															
读/写	00	[4:3]	RESPAMP	设置呼吸驱动信号的测试音幅度。 00(默认值)= 幅度/8。 01 = 幅度/4。 10 = 幅度/2。 11 = 幅度。															
读/写	00	[2:1]	RESPFREQ	设置呼吸频率。 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>RESPFREQ</th> <th>RESPALTFREQ = 0</th> <th>RESPALTFREQ = 1(周期性)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>00 (默认值)</td> <td>56 kHz</td> <td>64 kHz</td> </tr> <tr> <td>01</td> <td>54 kHz</td> <td>56.9 kHz</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>52 kHz</td> <td>51.2 kHz</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>50 kHz</td> <td>46.5 kHz</td> </tr> </tbody> </table>	RESPFREQ	RESPALTFREQ = 0	RESPALTFREQ = 1(周期性)	00 (默认值)	56 kHz	64 kHz	01	54 kHz	56.9 kHz	10	52 kHz	51.2 kHz	11	50 kHz	46.5 kHz
RESPFREQ	RESPALTFREQ = 0	RESPALTFREQ = 1(周期性)																	
00 (默认值)	56 kHz	64 kHz																	
01	54 kHz	56.9 kHz																	
10	52 kHz	51.2 kHz																	
11	50 kHz	46.5 kHz																	
读/写	0	0	RESPEN	使能呼吸。 0(默认值)= 呼吸禁用。 1 = 呼吸使能。															

<sup>1</sup> 仅限ADAS1000-4, ADAS1000-3不包含此特性。

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

表30. 起搏检测控制寄存器(PACECTL)地址0x04, 复位值 = 0x000F88<sup>1</sup>

R/W	默认值	位	名称	功能
		[23:12]	保留	保留, 置0
读/写	1	11	PACEFILTW	起搏宽度滤波器 0 = 滤波器禁用 1(默认值)= 滤波器使能
读/写	1	10	PACETFILT2	起搏验证滤波器2 0 = 滤波器禁用 1(默认值)= 滤波器使能
读/写	1	9	PACETFILT1	起搏验证滤波器1 0 = 滤波器禁用 1(默认值)= 滤波器使能
读/写	11	[8:7]	PACE3SEL [1:0]	设置进行起搏检测测量的导联 00 = 导联I 01 = 导联II 10 = 导联III 11 = 导联aVF
读/写	00	[6:5]	PACE2SEL [1:0]	
读/写	01	[4:3]	PACE1SEL [1:0]	
读/写	0	2	PACE3EN	使能起搏检测算法
读/写	0	1	PACE2EN	0(默认值)= 起搏检测禁用
读/写	0	0	PACE1EN	1 = 起搏检测使能

<sup>1</sup> 仅限ADAS1000-4, ADAS1000-3不包含此特性。



**表31. 共模、参考和屏蔽驱动控制寄存器(CMREFCTL)地址0x05, 复位值 = 0xE00000**

R/W	默认值	位	名称	功能
读/写	1	23	LACM	共模电极选择。
读/写	1	22	LLCM	5个输入电极可以任意组合以产生共模信号VCM。选择Bit 2时, 忽略Bits[23:19]。
读/写	1	21	RACM	共模电压是所选电极的平均值。选择单个电极时, 共模电压是该电极的信号电平。 当Bits[23:19] = 0时, 共模信号可以从内部VCM_REF (1.3 V)驱动。 0 = 不参与构成共模。 1 = 参与构成共模。
读/写	0	[20:15]	保留	保留, 置0。
读/写	0	14	LARLD	RLD求和结。
读/写	0	13	LLRLD	0(默认值)= 不参与构成RLD输入。
读/写	0	12	RARLD	1 = 参与构成RLD输入。
读/写	0	[11:10]	保留	保留, 置0。
读/写	0	9	CERLD	RLD求和结。 0(默认值)= 不参与构成RLD输入。 1 = 参与构成RLD输入。
读/写	0	8	CEREFEN	公共电极(CE)参考, 参见表11。 0(默认值)= 公共电极禁用。 1 = 公共电极使能。
读/写	0000	[7:4]	RLDSEL [3:0]	选择参考驱动的电极。 0000(默认值)= RLD_OUT。 0001 = LA。 0010 = LL。 0011 = RA。 0100至1111 = 保留。
读/写	0	3	DRVCM	共模输出。置1时, 内部产生的共模信号通过共模引脚输出。如果选择外部共模, 此位不起作用。 0(默认值)= 不输出共模。 1 = 共模从外部共模引脚输出。
读/写	0	2	EXTCM	选择共模的来源(多个器件一起工作时使用)。 0(默认值)= 选择内部共模。 1 = 选择外部共模(所有内部共模开关断开)。
读/写	0	1	RLDSEL	使能右腿驱动参考电极。 0(默认值)= 禁用。 1 = 使能。
读/写	0	0	SHLDEN	使能屏蔽驱动。 0(默认值)= 屏蔽驱动禁用。 1 = 屏蔽驱动使能。

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

表32. GPIO控制寄存器(GPIOCTL)地址0x06, 复位值 = 0x000000

R/W	默认值	位	名称	功能
	0	[23:19]	保留	保留, 置0
读/写	0	18	SPIFW	与片选一起帧传输第二SPI字 0(默认值)= MCS在整帧期间置位 1 = MCS 在各字期间置位
读/写	0	17	保留	保留, 置0
读/写	0	16	SPIEN	第二SPI使能; SPI接口以128 kHz数据速率提供ECG数据用于外部数字起搏算法检测, 使用GPIO0、GPIO1、GPIO2引脚 0(默认值)= 禁用 1 = 使能; 忽略GPIO0、GPIO1、GPIO2的各控制位; GPIO3不受SPIEN影响
读/写	00	[15:14]	G3CTL [1:0]	GPIO3引脚的状态 00(默认值)= 高阻态 01 = 输入 10 = 输出 11 = 开漏
读/写	0	13	G3OUT	配置为输出或开漏时, 写入GPIO3的输出值 0(默认值)= 低电平值 1 = 高电平值
读	0	12	G3IN	只读; 配置为输入时, 从GPIO3读取的输入值 0(默认值)= 低电平值 1 = 高电平值
读/写	00	[11:10]	G2CTL [1:0]	GPIO2引脚的状态 00(默认值)= 高阻态 01 = 输入 10 = 输出 11 = 开漏
读/写	0	9	G2OUT	配置为输出或开漏时, 写入GPIO2的输出值 0(默认值)= 低电平值 1 = 高电平值
读	0	8	G2IN	只读; 配置为输入时, 从GPIO2读取的输入值 0(默认值)= 低电平值 1 = 高电平值
读/写	00	[7:6]	G1CTL [1:0]	GPIO1引脚的状态 00(默认值)= 高阻态 01 = 输入 10 = 输出 11 = 开漏
读/写	0	5	G1OUT	配置为输出或开漏时, 写入GPIO1的输出值 0(默认值)= 低电平值 1 = 高电平值
读	0	4	G1IN	只读; 配置为输入时, 从GPIO1读取的输入值 0(默认值)= 低电平值 1 = 高电平值
读/写	00	[3:2]	G0CTL [1:0]	GPIO0引脚的状态 00(默认值)= 高阻态 01 = 输入 10 = 输出 11 = 开漏
读/写	0	1	G0OUT	配置为输出或开漏时, 写入GPIO0的输出值 0(默认值)= 低电平值 1 = 高电平值
读	0	0	G0IN	只读; 配置为输入时, 从GPIO0读取的输入值 0(默认值)= 低电平值 1 = 高电平值

**表33. 起搏幅度阈值寄存器(PACEAMPTH)地址0x07, 复位值 = 0x242424<sup>1</sup>**

R/W	默认值	位	名称	功能
读/写	0010 0100	[23:16]	PACE3AMPTH	起搏幅度阈值
读/写	0010 0100	[15:8]	PACE2AMPTH	阈值 = $N \times 2 \times VREF/GAIN/2^{16}$
读/写	0010 0100	[7:0]	PACE1AMPTH	

<sup>1</sup> 仅限ADAS1000-4, ADAS1000-3不包含这些特性。

**表34. 测试音寄存器(TESTTONE)地址0x08, 复位值 = 0x000000**

R/W	默认值	位	名称	功能
读/写	0	23	TONLA	测试音选择
读/写	0	22	TONLL	0(默认值)= 1.3 V VCM_REF
读/写	0	21	TONRA	1 = 1 mV正弦波或方波(TONINT = 1), 不连接(TONINT = 0)
读/写	0	[20:5]	保留	保留, 置0
读/写	00	[4:3]	TONTYPE	00(默认值)= 10 Hz正弦波 01 = 150 Hz正弦波 1x = 1 Hz、1 mV正弦波
读/写	0	2	TONINT	内部或外部测试音 0(默认值)= 外部测试音; 测试音通过CAL_DAC_IO送出, 外加于使能的通道 1 = 内部测试音; 断开所有ECG通道的外部开关, 将校准DAC测试音内部连接到所有ECG通道; 组合模式下, CAL_DAC_IO连接, 从器件禁用校准DAC
读/写	0	1	TONOUT	测试音输出使能 0(默认值)= 仅在内部模式下, 断开测试音与CAL_DAC_IO的连接 1 = 内部模式下, 将CAL_DAC_IO连接到测试音
读/写	0	0	TONEN	使能内部测试音以驱动整个信号链, 从前置放大器到SPI接口; 此音来自校准DAC, 通过内部多路复用器进入前置放大器; TONEN(校准DAC)使能时, 交流导联脱落禁用 0(默认值)= 禁用测试音 1 = 使能1 mV正弦波测试音(校准模式优先)

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

表35. 校准DAC寄存器(CALDAC)地址0x09, 复位值 = 0x002000<sup>1</sup>

R/W	默认值	位	名称	功能
	0	[23:14]	保留	保留, 置0。
读/写	1	13	CALCHPEN	校准斩波时钟使能。校准DAC输出(CAL_DAC_IO)可以进行斩波以降低1/f噪声。 斩波频率为256 kHz。 0 = 禁用。 1(默认值)= 使能。
读/写	0	12	CALMODEEN	校准模式使能。 0(默认值)= 禁用校准模式。 1 = 使能校准模式; 连接CAL_DAC_IO, 开始在ECG通道上采集数据。
读/写	0	11	CALINT	内部或外部校准。 0(默认值)= 将CAL_DAC_IO回环到ECG通道以执行外部校准。 1 = 内部校准; 断开所有ECG通道的外部开关, 将校准DAC内部连接到所有ECG通道。
读/写	0	10	CALDACEN	使能10位校准DAC用于校准模式或供外部使用。 0(默认值)= 禁用校准DAC。 1 = 使能校准DAC。如果是主器件且不在校准模式, 还应将校准DAC信号接出到CAL_DAC_IO引脚以供外部使用。在从模式下, 校准DAC禁用, 主器件驱动从器件CAL_DAC_IO引脚。校准DAC使能时, 交流导联脱落禁用。
读/写	0000000000	[9:0]	CALDATA[9:0]	设置校准DAC值。

<sup>1</sup> 为确保校准DAC成功更新, 写入新校准DAC寄存器字后, 串行接口必须再发出4个SCLK周期。

**表36. 帧控制寄存器(FRMCTL)地址0x0A, 复位值 = 0x079000**

R/W	默认值	位	名称	功能
读/写	0	23	LEAD I/LADIS	将字包括/排除于ECG数据帧。如果电极/导联包括在数据字中, 而电极脱落, 则数据字为未定义。
读/写	0	22	LEADII/LLDIS	0(默认值)= 包括于帧中。
读/写	0	21	LEADIII/RADIS	1 = 从帧中排除。
读/写	1111	[20:15]	保留	保留, 置111111。
读/写	0	14	PACEDIS <sup>1</sup>	起搏检测。 0(默认值)= 包括于帧中。
				1 = 从帧中排除。
读/写	0	13	RESPMDIS <sup>1</sup>	呼吸幅度。 0(默认值)= 包括于帧中。
				1 = 从帧中排除。
读/写	1	12	RESPPHDIS <sup>1</sup>	呼吸相位。 0 = 包括于帧中。
				1(默认值)= 从帧中排除。
读/写	0	11	LOFFDIS	导联脱落状态。 0(默认值)= 包括于帧中。
				1 = 从帧中排除。
读/写	0	10	GPIODIS	GPIO字禁用。 0(默认值)= 包括于帧中。
				1 = 从帧中排除。
读/写	0	9	CRCDIS	CRC字禁用。 0(默认值)= 包括于帧中。
				1 = 从帧中排除。
读/写	0	8	保留	保留, 置0。
读/写	0	7	ADIS	如果表头中未设置其标志, 则自动排除PACEDIS[14]、RESPMDIS[13]、LOFFDIS[11]字。 0(默认值)= 固定帧格式。
				1 = 自动禁用字(每帧的字数改变)。
读/写	0	6	RDYRPT	就绪重复。如果此位置1, 但帧表头显示数据未就绪, 则连续发送帧表头, 直到数据就绪。 0(默认值)= 始终发送整帧。
				1 = 重复帧表头直到就绪。
读/写	0	5	保留	保留, 置0。
读/写	0	4	DATAFMT	设置输出数据格式, 参见表11。 0(默认值)= 数字导联/矢量格式(仅在2 kHz和16 kHz数据速率时可用)。
				1 = 电极格式。
读/写	00	[3:2]	SKIP[1:0]	跳过间隔。此域提供一种抽取数据的途径。 00(默认值)= 每帧输出。
				01 = 每隔一帧输出。
				1x = 每隔3帧输出。
读/写	00	[1:0]	FRMRATE[1:0]	设置输出数据速率。 00(默认值)= 2 kHz输出数据速率。
				01 = 16 kHz输出数据速率。
				10 = 128 kHz输出数据速率(DATAFMT必须置1)。
				11 = 31.25 Hz。

<sup>1</sup> 仅限ADAS1000-4, ADAS1000-3不包含这些特性。

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

**表37. 滤波器控制寄存器(FILTCTL)地址0x0B, 复位值 = 0x000000**

R/W	默认值	位	名称	功能
读/写	0	[23:6]	保留	保留, 置0
读/写	0	5	MN2K	SPI主器件的2 kHz陷波旁路 0(默认值)= 旁路陷波滤波器 1 = 陷波滤波器存在
读/写	0	4	N2KBP	2 kHz陷波旁路 0(默认值)= 陷波滤波器存在 1 = 旁路陷波滤波器
读/写	00	[3:2]	LPF[1:0]	00(默认值)= 40 Hz 01 = 150 Hz 10 = 250 Hz 11 = 450 Hz
读/写	00	[1:0]	保留	保留, 置0

**表38. 交流导联脱落阈值上限寄存器(LOFFUTH)地址0x0C, 复位值 = 0x00FFFF**

R/W	默认值	位	名称	功能
	0	[23:20]	保留	保留, 置0
读/写	0	[19:16]	ADCOVER[3:0]	ADC超量程阈值 如果ADC输出大于该超量程阈值, 就会设置ADC超范围错误; 该超量程阈值是最大值的偏移值。 $\text{阈值} = \text{最大值} - \text{ADCOVER}[3:0] \times 2^6$ 0000 = 最大值(禁用) 0001 = 最大值 - 64 0010 = 最大值 - 128 ... 1111 = 最大值 - 960
读/写	0xFFFF	[15:0]	LOFFUTH[15:0]	仅适用于交流导联脱落阈值上限; 如果输出 $\geq N \times 2 \times VREF/GAIN/2^{16}$ , 则检测到导联脱落。 0 = 0 V

**表39. 交流导联脱落阈值下限寄存器(LOFFLTH)地址0x0D, 复位值 = 0x000000**

R/W	默认值	位	名称	功能
	0	[23:20]	保留	保留, 置0
读/写	0	[19:16]	ADCUNDR[3:0]	ADC欠量程阈值 如果ADC输出小于该欠量程阈值, 就会设置ADC超范围错误。 $\text{阈值} = \text{最小值} + \text{ADCUNDR}[3:0] \times 2^6$ 0000 = 最小值(禁用) 0001 = 最小值 + 64 0010 = 最小值 + 128 ... 1111 = 最小值 + 960
读/写	0	[15:0]	LOFFLTH[15:0]	仅适用于交流导联脱落阈值下限; 如果输出 $\leq N \times 2 \times VREF/GAIN/2^{16}$ , 则检测到导联脱落。 0 = 0 V

**表40. 起搏边沿阈值寄存器(PACEEDGETH)地址0x0E, 复位值 = 0x0000001**

R/W	默认值	位	名称	功能
读/写	0	[23:16]	PACE3EDGTH	起搏边沿触发阈值 0 = PACEAMPTH/2 1 = VREF/gain/2 <sup>16</sup> N = N × VREF/gain/2 <sup>16</sup>
读/写	0	[15:8]	PACE2EDGTH	
读/写	0	[7:0]	PACE1EDGTH	

<sup>1</sup> 仅限ADAS1000-4, ADAS1000-3不包含这些特性。

**表41. 起搏电平阈值寄存器(PACEVLTH)地址0x0F, 复位值 = 0x000000<sup>1</sup>**

R/W	默认值	位	名称	功能
读/写	0	[23:16]	PACE3VLTH[7:0]	起搏电平阈值; 这是一个带符号值 -1 = 0xFF = -VREF/gain/2 <sup>16</sup> 0 = 0x00 = 0 V +1 = 0x01 = +VREF/gain/2 <sup>16</sup> N = N × VREF/gain/2 <sup>16</sup>
读/写	0	[15:8]	PACE2VLTH[7:0]	
读/写	0	[7:0]	PACE1VLTH[7:0]	

<sup>1</sup> 仅限ADAS1000-4, ADAS1000-3不包含这些特性。

**表42. 读取电极/导联数据寄存器(电极/导联)地址0x11至0x13, 复位值 = 0x000000<sup>1</sup>**

R/W	默认值	位	名称	功能
		[31:24]	地址[7:0]	0x11: LA或导联I。 0x12: LL或导联II。 0x13: RA或导联III。
读	0	[23:0]	ECG数据	通道数据值。数据左对齐(MSB), 无论数据速率为何值。 电极格式中, 该值是一个无符号整数。 矢量格式中, 该值是一个带符号二进制补码整数。 与电极格式相比, 导联/矢量格式有2倍的范围, 因为其摆幅为+VREF至-VREF。 因此, LSB大小加倍。 电极格式和模拟导联格式: 最小值(000...) = 0 V 最大值(1111...) = VREF/gain LSB = (2 × VREF/gain)/(2 <sup>N</sup> - 1) 数字导联格式: 最小值(1000...) = -(VREF/gain) 最大值(0111...) = +VREF/gain LSB = 4 × (VREF/gain)/(2 <sup>N</sup> - 1) 其中, N = 数据位数: 128 kHz数据速率为16位, 2 kHz/16 kHz数据速率为24位。

<sup>1</sup> 如果在帧模式下使用128 kHz数据速率, 只会发送16个高位。如果在常规读写模式下使用128 kHz数据速率, 所有32位都会发送。

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

**表43. 读取起搏检测数据/状态寄存器(PACEDATA)地址0x1A, 复位值 = 0x000000<sup>1,2,3</sup>**

R/W	默认值	位	名称	功能
读	0	23	检测到起搏3	检测到起搏3。一旦检测到起搏脉冲, 此位就会置1。此位在起搏脉冲的后沿置1。 0 = 当前帧中未检测到起搏脉冲。 1 = 当前帧中检测到起搏脉冲。
读	000	[22:20]	起搏通道3宽度	此位是起搏脉冲的 $\log_2(\text{宽度}) - 1$ 。 宽度 = $2^{N+1}/128$ kHz。
读	0000	[19:16]	起搏通道3高度	此位是起搏脉冲的 $\log_2(\text{高度})$ 。 高度 = $2^N \times \text{VREF}/\text{gain}/2^{16}$ 。
读	0	15	检测到起搏2	检测到起搏2。一旦检测到起搏脉冲, 此位就会置1。此位在起搏脉冲的后沿置1。 0 = 当前帧中未检测到起搏脉冲。 1 = 当前帧中检测到起搏脉冲。
读	000	[14:12]	起搏通道2宽度	此位是起搏脉冲的 $\log_2(\text{宽度}) - 1$ 。 宽度 = $2^{N+1}/128$ kHz。
读	0000	[11:8]	起搏通道2高度	此位是起搏脉冲的 $\log_2(\text{高度})$ 。 高度 = $2^N \times \text{VREF}/\text{gain}/2^{16}$ 。
读	0	7	检测到起搏1	检测到起搏1。一旦检测到起搏脉冲, 此位就会置1。此位在起搏脉冲的后沿置1。 0 = 当前帧中未检测到起搏脉冲。 1 = 当前帧中检测到起搏脉冲。
读	000	[6:4]	起搏通道1宽度	此位是起搏脉冲的 $\log_2(\text{宽度}) - 1$ 。 宽度 = $2^{N+1}/128$ kHz。
读	0000	[3:0]	起搏通道1高度	此位是起搏脉冲的 $\log_2(\text{高度})$ 。 高度 = $2^N \times \text{VREF}/\text{gain}/2^{16}$ 。

<sup>1</sup> 如果在帧模式下使用128 kHz数据速率, 此字将延展为两个16位字。如果在常规读写模式下使用128 kHz数据速率, 所有32位都会发送。

<sup>2</sup> 此处提供宽度和高度的对数数据是为了确保它能放入一个完整的32位数据字中。因此, 所得值中可能存在一定的误差。要获得更精确的读数, 应该取寄存器0x3A、0x3B、0x3C(见表51)。

<sup>3</sup> 仅限ADAS1000-4, ADAS1000-3不包含这些特性。

**表44. 读取呼吸数据—幅度寄存器(RESPMAG)地址0x1B, 复位值 = 0x000000<sup>1,2</sup>**

R/W	默认值	位	名称	功能
读	0	[23:0]	呼吸幅度[23:0]	呼吸信号的幅度。这是一个带符号值。 $2 \times \text{VREF} \times (2^{24} - 1)/(1.6468 \times \text{呼吸增益})$ 。

<sup>1</sup> 如果在帧模式下使用128 kHz数据速率, 此字将延展为两个16位字。如果在常规读写模式下使用128 kHz数据速率, 所有32位都会发送。

<sup>2</sup> 仅限ADAS1000-4, ADAS1000-3不包含这些特性。

**表45. 读取呼吸数据—相位寄存器(RESPPH)地址0x1C, 复位值 = 0x000000<sup>1,2</sup>**

R/W	默认值	位	名称	功能
读	0	[23:0]	呼吸相位[23:0]	呼吸信号的相位。可以解读为带符号或无符号值。如果无符号, 则范围是0到 $2\pi$ 。 如果带符号, 则范围是 $-\pi$ 到 $+\pi$ 。 0x000000 = 0。 0x000001 = $2\pi/2^{24}$ 。 0x400000 = $\pi/2$ 。 0x800000 = $+\pi = -\pi$ 。 0xC00000 = $+3\pi/2 = -\pi/2$ 。 0xFFFFF = $+2\pi(1 - 2^{-24}) = -2\pi/2^{24}$ 。

<sup>1</sup> 此寄存器不是帧数据的一部分, 但可以通过寄存器读取命令读取。

<sup>2</sup> 仅限ADAS1000-4, ADAS1000-3不包含这些特性。



表46. 导联脱落状态寄存器(LOFF)地址0x1D, 复位值 = 0x000000

R/W	默认值	位	名称	功能
读	0	23	RLD导联脱落状态	电极连接状态。
		22	LA导联脱落状态	如果直流或交流导联脱落检测使能, 则这些位反映对应的导联脱落状态。
		21	LL导联脱落状态	如果直流和交流导联脱落检测均使能, 则这些位仅反映交流导联脱落状态。
		20	RA导联脱落状态	直流导联脱落状态通过DCLEAD-OFF寄存器提供(见表47)。
读	0	13	CELO	公共电极仅有直流导联脱落检测。
				交流导联脱落信号可以注入公共电极, 但没有ADC输入用来测量其幅度。 如果公共电极关闭, 它仅影响其它电极的交流导联脱落幅度。 这些位在帧缓冲器中累积, 将帧缓冲器加载到SPI缓冲器时清零。 0 = 电极连接。 1 = 电极断开。
读	0	[19:14]	保留	保留。
读	0	12	LAADCOR	ADC超范围错误。
		11	LLADCOR	这些状态位指示所得ADC代码超出范围。
		10	RAADCOR	这些位在帧缓冲器中累积, 将帧缓冲器加载到SPI缓冲器时清零。
读	0	[9:0]	保留	保留。

表47. 直流导联脱落寄存器(DCLEAD-OFF)地址0x1E, 复位值 = 0x000000<sup>1</sup>

R/W	默认值	位	名称	功能
读	0	23	RLD输入超量程	直流导联脱落检测基于比较器, 与一个固定电平进行比较。各电极位指示是否超过直流导联脱落比较器阈值电平。 0 = 电极 < 超范围阈值, 2.4 V。 1 = 电极 > 超范围阈值, 2.4 V。
		22	LA输入超量程	
		21	LL输入超量程	
		20	RA输入超量程	
		13	CE输入超量程	
读	0	[19:14] [8:3]	保留	保留。
读	0	12	RLD输入欠量程	直流导联脱落检测基于比较器, 与一个固定电平进行比较。 各电极位标志指示是否超过直流导联脱落比较器阈值电平。 0 = 电极 > 欠范围阈值, 0.2 V。 1 = 电极 < 欠范围阈值, 0.2 V。
		11	LA输入欠量程	
		10	LL输入欠量程	
		9	RA输入欠量程	
		2	CE输入欠量程	
读	0	[1:0]	保留	

<sup>1</sup> 此寄存器不是帧数据的一部分, 但可以通过寄存器读取命令读取。

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

**表48. 工作状态寄存器(OPSTAT)地址0x1F, 复位值 = 0x000000<sup>1</sup>**

R/W	默认值	位	名称	功能
读	0	[23:4]	保留	保留。
读	0	3	内部错误	内部数字故障。如果数字内核中检测到错误, 此位置1。
读	0	2	配置状态	此位在复位后置1, 表示尚未读取配置。一旦设定配置, 此位就会变为就绪状态。 0 = 就绪。 1 = 繁忙。
读	0	1	PLL锁定	PLL失锁。内部PLL使能并锁定后, 如果失锁, 此位置1。 一旦读取此寄存器或PWREN位(地址0x01[1])清零, 此位即清零。 0 = PLL锁定。 1 = PLL失锁。
读	0	0	PLL锁定状态	此位表示PLL的当前锁定状态。 0 = PLL未锁定。 1 = PLL锁定。

<sup>1</sup> 此寄存器不是帧数据的一部分, 但可以通过寄存器读取命令读取。此寄存器可帮助判断失效器件内故障的可能位置。

**表49. 用户增益校准寄存器(CALxx)地址0x21至地址0x23, 复位值 = 0x000000**

R/W	默认值	位	名称	功能
		[31:24]	地址[7:0]	0x21: 校准LA。 0x22: 校准LL。 0x23: 校准RA。
读/写	0	23	USRCAL	对于GAIN 0、GAIN 1、GAIN 2, 用户可以选择默认校准值或用户校准值。 注意, GAIN 3无工厂校准。 0 = 默认校准值(工厂校准)。 1 = 用户校准值。
读/写	0	[22:12]	保留	保留, 置0。
读/写	0	[11:0]	CALVALUE	增益校准值。 结果 = 数据 × (1 + 增益 × 2 <sup>-17</sup> )。 从该寄存器读取的值为当前增益校准值。如果USRCAL位置0, 此寄存器返回当前增益设置的默认值。 0x7FF (+2047) = ×1.0000001111111111b。 0x001 (+1) = ×1.00000000000000001b。 0x000 (0) = ×1.0000000000000000b。 0xFFF (-1) = ×0.1111111111111111b。 0x800 (-2048) = ×0.1111110000000000b。

**表50. 读取交流导联脱落幅度寄存器(LOAMxx)地址0x31至地址0x33，复位值 = 0x000000<sup>1</sup>**

R/W	默认值	位	名称	功能
		[31:24]	地址[7:0]	0x31: LA交流导联脱落幅度。 0x32: LL交流导联脱落幅度。 0x33: RA交流导联脱落幅度。
R/W	0	[23:16]	保留	保留。
R	0	[15:0]	LOFFAM	实测幅度。 选择交流导联脱落时，该数据为整流2 kHz带通滤波器的平均值，更新速率为8 Hz，截止频率为2 Hz。输出为2 kHz信号的幅度乘以 $2/\pi$ (约0.6，整流正弦波的平均值)。要转换为RMS值，请将输出乘以 $\pi/(2\sqrt{2})$ 。 导联脱落(无符号)。 最小值0x0000 = 0 V。 LSB 0x0001 = VREF/GAIN/2 <sup>16</sup> 。 最大值0xFFFF = VREF/GAIN。

<sup>1</sup> 此寄存器不是帧数据的一部分，但可以通过寄存器读取命令读取。

**表51. 起搏宽度和幅度寄存器(PACExDATA)地址0x3A至地址0x3C，复位值 = 0x000000<sup>1,2</sup>**

R/W	默认值	位	名称	功能
		[31:24]	地址[7:0]	0x3A: PACE1DATA 0x3B: PACE2DATA 0x3C: PACE3DATA
R	0	[23:8]	起搏高度	实测起搏高度，带符号二进制补码值 0 = 0 1 = VREF/gain/2 <sup>16</sup> N = N × VREF/gain/2 <sup>16</sup>
R	0	[7:0]	起搏宽度	实测起搏宽度，128 kHz采样 N: N/128 kHz = 宽度 12: 12/128 kHz = 93 μs 255: 255/128 kHz = 2.0 ms

<sup>1</sup> 这些寄存器不是帧数据的一部分，但可以通过寄存器读取命令读取。

<sup>2</sup> 仅限ADAS1000-4，ADAS1000-3不包含这些特性。

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

表52. 帧表头(FRAMES)地址0x40, 复位值 = 0x800000<sup>1</sup>

R/W	默认值	位	名称	功能
读	1	31	标志	表头标志, 设为1表示表头。
读	0	30	就绪位	就绪位, 指示ECG帧数据是否计算完成且可供读取。 0 = 就绪, 随后是数据帧。 1 = 繁忙。
读	0	[29:28]	溢出[1:0]	溢出位, 指示自上次帧读取以来, 遗失了多个帧。计数达到最大值时, 此域饱和。如果溢出位大于0, 则帧中的数据(包括此表头字)有效但非最新。使用跳过模式时(FRMCTL寄存器(0x0A)的位[3:2]), 溢出位用作标志, 非零值表示溢出。 00 = 遗失0帧。 01 = 遗失1帧。 10 = 遗失2帧。 11 = 遗失3帧或更多帧。
读	0	27	故障	检测到器件内部错误。 0 = 正常工作。 1 = 错误状态。
读	0	26	检测到起搏3	起搏3表示起搏伪像在最近的点得到认定。 0 = 无起搏伪像。 1 = 起搏伪像存在。
读	0	25	检测到起搏2	起搏2表示起搏伪像在最近的点得到认定。 0 = 无起搏伪像。 1 = 起搏伪像存在。
读	0	24	检测到起搏1	起搏1表示起搏伪像在最近的点得到认定。 0 = 无起搏伪像。 1 = 起搏伪像存在。
读	0	23	呼吸	0 = 无新的呼吸数据。 1 = 呼吸数据已更新。
读	0	22	检测到导联脱落	如果直流和交流导联脱落检测均使能, 则此位是所有交流导联脱落检测标志的“或”运算结果。如果仅直流或交流导联脱落检测使能, 则此位是所有直流或交流导联脱落检测标志的“或”运算结果。 0 = 所有导联均已连接。 1 = 检测到一个或多个导联脱落。
读	0	21	检测到直流导联脱落	0 = 所有导联均已连接。 1 = 检测到一个或多个导联脱落。
读	0	20	ADC超出范围	0 = ADC在范围以内。 1 = ADC超出范围。
	0	[19:0]	保留	保留。

<sup>1</sup> 如果在帧模式下使用128 kHz数据速率, 只会发送16个高位。如果在常规读写模式下使用128 kHz数据速率, 所有32位都会发送。

表53. 帧CRC寄存器(CRC)地址0x41, 复位值 = 0xFFFFFFFF<sup>1</sup>

R/W	位	名称	功能
读	[23:0]	CRC	循环冗余校验

<sup>1</sup> CRC寄存器为32位字(2 kHz和16 kHz数据速率)或16位字(128 kHz速率)。详情参见表23。

## 接口示例

以下例子显示了将ADAS1000-3/ADAS1000-4配置为特定工作模式并开始帧传输ECG数据所需的寄存器命令。

### 示例1：初始化器件<http://www.analog.com/ADAS1000>以执行ECG捕捉并开始数据流传输

1. 第一个写操作配置CMREFCTL寄存器：CM = WCT = (LA + LL + RA)/3；使能RLD以通过RLD\_OUT电极输出。使能屏蔽放大器。
2. 第二个写操作配置FRMCTL寄存器以输出7字/帧或包。字帧/包由表头、3个ECG字、起搏、呼吸幅度和导联脱落组成。帧配置为始终发送，无论就绪与否。器件处于矢量格式模式，数据速率为2 kHz。
3. 第三个写操作寻址ECGCTL寄存器，使能所有通道并设置1.4倍的增益、低噪声模式和差分输入，从而将器件配置为模拟导联模式。此寄存器还会将器件配置为主器件，使用外部晶体作为XTALx引脚的输入源。这个写操作同时将器件置于转换模式。
4. 第四个写操作发出读取命令，以便开始将转换数据通过SDO引脚输出。
5. 继续发出SCLK周期，以配置的包数据速率(2 kHz)读取转换数据。回读转换数据时，SDI输入应保持低电平，因为任何在读取帧/包期间发送至接口的命令都会被理解配置数据发生变化，从而停止ADC转换，以便接口处理新命令。

### 示例2：使能呼吸并传输转换数据流(仅适用于ADAS1000-4)

1. 第一个写操作配置RESPCTL寄存器：56 kHz呼吸驱动信号，增益 = 1，通过呼吸电容驱动输出并在导联I上测量。
2. 第二个写操作发出读取命令，以便开始将转换数据通过SDO引脚输出。
3. 继续发出SCLK周期，以配置的包数据速率读取转换数据。
4. 注意，本例假设FRMCTL寄存器已按照示例1的第二个写操作进行配置，数据帧中包括呼吸幅度。

### 示例3：直流导联脱落和传输转换数据流

1. 第一个写操作配置LOFFCTL寄存器：使能直流导联脱落，导联脱落电流为50 nA。
2. 第二个写操作发出读取命令，以便开始将转换数据通过SDO引脚输出。
3. 继续发出SCLK周期，以配置的包数据速率读取转换数据。
4. 注意，本例假设FRMCTL寄存器已按照示例1的第二个写操作进行配置，数据帧中包括直流导联脱落字。

**表54. 示例1：初始化器件<http://www.analog.com/ADAS1000>以执行ECG捕捉并开始数据流传输**

写命令	寻址的寄存器	读/写位	寄存器地址	数据	32位写命令
写命令1	CMREFCTL	1	000 0101	1110 0000 0000 0000 0000 1011	0x85E0000B
写命令2	FRMCTL	1	000 1010	0001 1111 1001 0110 0000 0000	0x8A1F9600
写命令3	ECGCTL	1	000 0001	1110 0000 0000 0100 1010 1110	0x81E004AE
写命令4	FRAMES	0	100 0000	0000 0000 0000 0000 0000 0000	0x40000000

**表55. 示例2：使能呼吸并传输转换数据流(仅适用于ADAS1000-4)**

写命令	寻址的寄存器	读/写位	寄存器地址	数据	32位写命令
写命令1	RESPCTL	1	000 0011	0000 0000 0010 0000 1001 1001	0x83002099
写命令2	FRAMES	0	100 0000	0000 0000 0000 0000 0000 0000	0x40000000

**表56. 示例3：使能直流导联脱落并传输转换数据流**

写命令	寻址的寄存器	读/写位	寄存器地址	数据	32位写命令
写命令1	LOFFCTL	1	000 0010	0000 0000 0000 0000 0001 0101	0x82000015
写命令2	FRAMES	0	100 0000	0000 0000 0000 0000 0000 0000	0x40000000

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

## 示例4：在各ECG通道上配置150 Hz测试音正弦波并传输转换数据流

1. 第一个写操作配置CMREFCTL寄存器：VCM\_REF = 1.3 V (无电极参与构成VCM)。使能RLD输出至RLD\_OUT，使能屏蔽放大器。
2. 第二个写操作寻址TESTTONE寄存器，以使能所有电极通道的150 Hz正弦波。
3. 第三个写操作寻址FILTCTL寄存器，以将内部低通滤波器更改为250 Hz，确保150 Hz正弦波能够通过。
4. 第四个写操作配置FRMCTL寄存器以输出9字/帧或包。字帧/包由表头、3个ECG字、起搏、呼吸幅度和导联脱落组成。帧配置为始终发送，无论就绪与否。器件处于电极格式模式，数据速率为2 kHz。为在各电极通道上看到正确的测试音信号，必须使用电极格式。
5. 第五个写操作寻址ECGCTL寄存器，使能所有通道并设置1.4倍的增益、低噪声模式。它将器件配置为主器件，并从XTAL输入源驱动。这个写操作同时将器件置于转换模式。
6. 第六个写操作发出读取命令，以便开始将转换数据通过SDO引脚输出。
7. 继续发出SCLK周期，以配置的包数据速率读取转换数据。

## 示例5：使能起搏检测并传输转换数据流(仅适用于ADAS1000-4)

1. 第一个写操作配置PACECTL寄存器，所有三个起搏检测实例均使能：PACE1EN在导联II上检测，PACE2EN在导联I上检测，PACE3EN在导联aVF上检测。同时使能起搏宽度滤波器和验证滤波器。
2. 第二个写操作发出读取命令，以便开始将转换数据通过SDO引脚输出。
3. 继续发出SCLK周期，以配置的包数据速率读取转换数据。检测到有效起搏时，检测标志在表头字中确认，PACEDATA寄存器包含有关各测量导联的实测脉冲宽度和高度的信息。
4. 注意，PACEAMPTH寄存器默认设置为0x242424，它将各起搏实例的幅度设置为1.98 mV/增益。
5. 注意，本例假设FRMCTL寄存器已按照示例1的第二个写操作进行配置，数据帧中包括PACEDATA字。

表57. 示例4：在各ECG通道上配置150 Hz测试音正弦波并传输转换数据流

写命令	寻址的寄存器	读/写位	寄存器地址	数据	32位写命令
写命令1	CMREFCTL	1	000 0101	0000 0000 0000 0000 0000 1011	0x8500000B
写命令2	TESTTONE	1	000 1000	1110 0000 0000 0000 0000 1101	0x88E0000D
写命令3	FILTCTL	1	000 1011	0000 0000 0000 0000 0000 1000	0x8B000008
写命令4	FRMCTL	1	000 1010	0001 1111 1001 0110 0001 0000	0x8A1F9610
写命令5	ECGCTL	1	000 0001	1110 0000 0000 0000 1010 1110	0x81E000AE
写命令6	FRAMES	0	100 0000	0000 0000 0000 0000 0000 0000	0x40000000

表58. 示例5：使能起搏检测并传输转换数据流(仅适用于ADAS1000-4)

写命令	寻址的寄存器	读/写位	寄存器地址	数据	32位写命令
写命令1	PACECTL	1	000 0100	0000 0000 0000 1111 1000 1111	0x84000F8F
写命令2	FRAMES	0	100 0000	0000 0000 0000 0000 0000 0000	0x40000000

### 示例6：写入主从器件并传输转换数据流

此示例采用ADAS1000-3作为从器件，ADAS1000作为主器件，实现一种具有8个输入电极和1个右腿驱动的配置。

#### 从器件配置(ADAS1000-3)

1. 第一个写操作配置FRMCTL寄存器以输出5字/帧或包。  
字帧/包由表头、3个ECG字和导联脱落组成。帧配置为始终发送，无论就绪与否。从器件ADAS1000-3处于电极格式模式，数据速率为2 kHz。
2. 第二个写操作配置CMREFCTL寄存器以接收来自主器件的外部共模。
3. 第三个写操作寻址ECGCTL寄存器，使能所有通道并设置1.4倍的增益、低噪声模式。它将器件配置为从器件、组合模式，并从CLK\_IN输入源(从主器件ADAS1000获得)驱动。此写操作还将ADAS1000-3置于转换模式，但开始转换前，须等待主器件的SYNC\_GANG信号。

#### 主器件配置(ADAS1000)

1. 第四个写操作配置FRMCTL寄存器以输出7字/帧或包(注意，这与从器件的帧字数不同)。字帧/包由表头、5个ECG字、起搏、呼吸幅度和导联脱落组成。本例中，帧配置为始终发送，无论就绪与否。主器件ADAS1000处于矢量格式模式，数据速率为2 kHz。与从器件相似，主器件也可以配置为电极模式，不过这将需要主控制器进行导联计算。
2. 第五个写操作配置CMREFCTL寄存器： $CM = WCT = (LA + LL + RA)/3$ ；使能RLD以通过RLD\_OUT电极输出。使能屏蔽放大器。CM = WCT信号从主器件(CM\_OUT)驱动至从器件(CM\_IN)。
3. 第六个写操作寻址ECGCTL寄存器，使能所有通道并设置1.4倍的增益、低噪声模式。它将器件配置为组合模式中的主器件，并从XTAL输入源驱动。ADAS1000主器件设置为差分输入，从而处于模拟导联模式。此ECGCTL寄存器写操作将主器件置于转换模式，主器件通过SYNC\_GANG引脚发送一个边沿到从器件，以触发两个器件同步转换。
4. 第七个写操作向两个器件发出读取命令，以便开始将转换并抽取的数据通过相应的SDO引脚输出。
5. 继续发出SCLK周期，以配置的包数据速率读取转换数据。

**表59. 示例6：写入主从器件并传输转换数据流**

器件	写命令	寻址的寄存器	读/写	寄存器地址	数据	32位写命令
从	写命令1	FRMCTL	1	000 1010	0001 1111 1111 0110 0001 0000	0x8A1FF610
	写命令2	CMREFCTL	1	000 0101	0000 0000 0000 0000 0000 0100	0x85000004
	写命令3	ECGCTL	1	000 0001	1110 0000 0000 0000 1101 1110	0x81E000DE
主器件	写命令4	FRMCTL	1	000 1010	0001 1111 1001 0110 0000 0000	0x8A1F9600
	写命令5	CMREFCTL	1	000 0101	1110 0000 0000 0000 0000 1011	0x85E0000B
	写命令6	ECGCTL	1	000 0001	1110 0000 0000 0100 1011 1110	0x81E004BE
主器件和从器件	写命令7	FRAMES	0	100 0000	0000 0000 0000 0000 0000 0000	0x40000000

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

## 软件流程图

图77显示了与多个器件接口建议采取的步骤顺序。

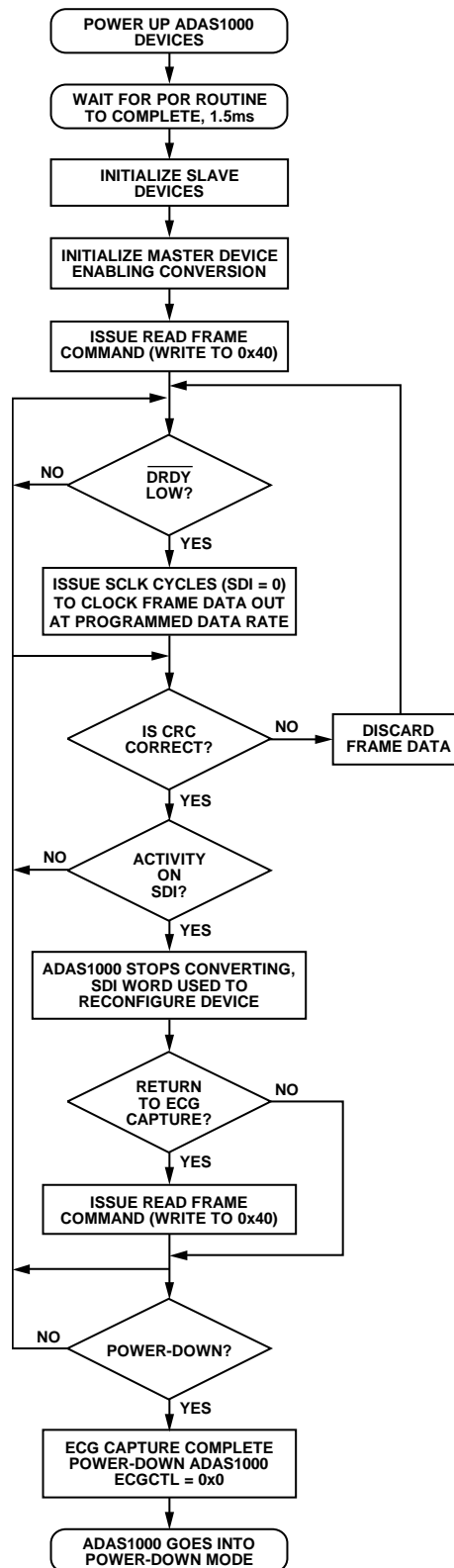


图77. 与多个器件接口的建议软件流程图

10997-038



## 电源、接地和去耦策略

ADAS1000-3/ADAS1000-4的各电源引脚应当具有足够大的0.01  $\mu\text{F}$ 电源去耦电容，电容应尽可能靠近器件引脚，最好是正对着该器件。此外，每个电源域(AVDD和IOVDD)还应有一个4.7  $\mu\text{F}$ 电容，它同样应尽可能靠近器件。IOVDD噪声较高，最好与AVDD分离。

类似地，ADCVDD和DVDD电源域各自需要一个2.2  $\mu\text{F}$ 电容，其ESR应在0.5  $\Omega$ 至2  $\Omega$ 范围。各2.2  $\mu\text{F}$ 电容的理想位置取决于封装类型。对于LQFP封装和DVDD去耦，2.2  $\mu\text{F}$ 电容最好放在引脚30与引脚31之间，而对于ADCVDD，2.2  $\mu\text{F}$ 电容应放在引脚55与引脚56之间。LFCSP封装类似，DVDD 2.2  $\mu\text{F}$ 电容最好放在引脚43与引脚44之间，ADCVDD电容则应放在引脚22与引脚23之间。各引脚建议使用一个0.01  $\mu\text{F}$ 电容进行高频去耦。0.01  $\mu\text{F}$ 电容应具有低有效串联电阻(ESR)和低有效串联电感(ESL)，如高频时提供低阻抗接地路径的普通陶瓷电容，以便处理内部逻辑开关所引起的瞬态电流。

应避免在器件下方布设数字线路，否则会将噪声耦合至器件。应允许模拟接地层布设在器件下方，以避免噪声耦合。电源线路应采用尽可能宽的走线，以提供低阻抗路径，并减小电源线路上的毛刺噪声影响。快速开关数字信号应利用数字地屏蔽起来，以免向电路板上的其它器件辐射噪声，并且绝不应靠近参考输入。必须将VREF线路上的噪声降至最低。避免数字信号与模拟信号交叠。电路板相对两侧上的走线应当彼此垂直，这样做有助于减小电路板上的馈通效应。像所有薄型封装一样，应避免弯曲封装，并且在组装过程中必须避免封装表面上出现点负载。

电路板布局时，确保旁路电容尽可能靠近相关引脚，并使用短而宽的走线，最好位于上侧。

### AVDD

ADAS1000-3/ADAS1000-4设计采用3.15 V至5.5 V的宽电源轨供电，其性能在整个范围内相似，但总功耗随着电压提高而提高。

## ADCVDD AND DVDD SUPPLIES

### ADCVDD和DVDD电源

AVDD电源轨不仅为模拟模块供电，也为用于ADC和数字内核的内部1.8 V调节器供电。使用内部调节器时，应将VREG\_EN引脚连接到AVDD，然后使用ADCVDD和DVDD引脚进行去耦。

需要时，DVDD调节器可用于驱动其它外部数字电路，但ADCVDD引脚纯粹是为旁路而提供，不能为其它元件提供电流。

如果必须将总功耗降至最低，ADCVDD和DVDD使用外部1.8 V电源轨可实现更高效率的解决方案。ADCVDD和DVDD输入设计由外部驱动，内部调节器可以通过将VREG\_EN引脚直接接地而禁用。

### 未用引脚/路径

在不使用全部ECG路径或功能的应用中，旁路不同功能的最佳方法如下：

- 未用ECG路径上电时禁用。为实现低功耗运行，应将其全程禁用。理想情况下，这些引脚在不使用时应连接到RLD\_OUT。
- 未用外部呼吸输入可以接地。
- 未用屏蔽驱动器可以禁用，输出悬空。
- CM\_OUT、CAL\_DAC\_IO、 $\overline{\text{DRDY}}$ 、GPIOx、CLK\_IO、SYNC\_GANG可以断开。

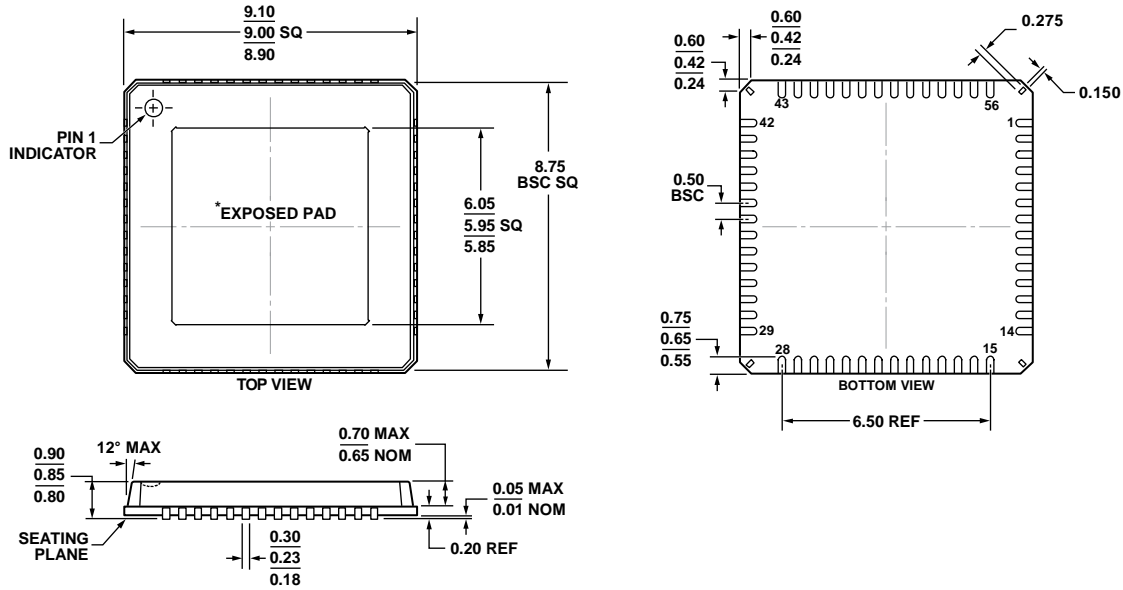
### 布局布线建议

为获得最高CMRR性能，应格外注意各通道的ECG路径布局。所有通道都应相同，使不同路径的电容差异最小。

所有去耦电容应尽可能靠近ADAS1000-3/ADAS1000-4，VREF去耦应予以优先考虑，VREF去耦电容应尽量与ADAS1000-3/ADAS1000-4位于同一侧。

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

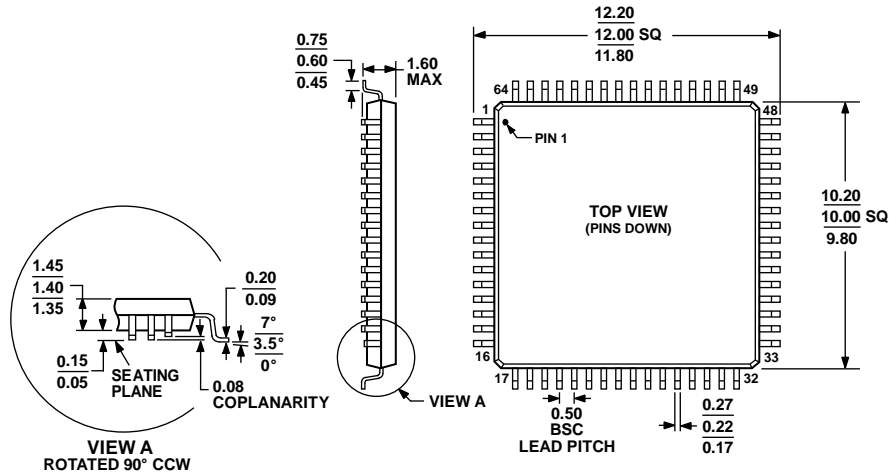
## 外形尺寸



\*FOR PROPER CONNECTION OF THE EXPOSED PAD, REFER TO THE PIN CONFIGURATION AND FUNCTION DESCRIPTIONS SECTION OF THIS DATA SHEET.

图78. 56引脚引脚架芯片级封装[LFCSP\_VQ]  
9 mm x 9 mm, 超薄体  
(CP-56-7)  
尺寸单位: mm

06-20-2012-A



COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS MS-026-BCD

图79. 64引脚薄型四方扁平封装[LQFP]  
(ST-64-2)  
尺寸单位: mm

061706-A

# ADAS1000-3/ADAS1000-4

## 订购指南

型号 <sup>1</sup>	选项	描述	温度范围	封装描述	封装选项
ADAS1000-3BSTZ	卷盘	3个ECG通道	-40°C至+85°C	64引脚 LQFP	ST-64-2
ADAS1000-3BSTZ-RL	卷盘, 1000		-40°C至+85°C	64引脚 LQFP	ST-64-2
ADAS1000-3BCPZ	卷盘		-40°C至+85°C	56引脚 LFCSP_VQ	CP-56-7
ADAS1000-3BCPZ-RL	卷盘, 2500		-40°C至+85°C	56引脚 LFCSP_VQ	CP-56-7
ADAS1000-4BSTZ	卷盘	3个ECG通道、起搏算法、呼吸电路	-40°C至+85°C	64引脚 LQFP	ST-64-2
ADAS1000-4BSTZ-RL	卷盘, 1000		-40°C至+85°C	64引脚 LQFP	ST-64-2
ADAS1000-4BCPZ	卷盘		-40°C至+85°C	56引脚 LFCSP_VQ	CP-56-7
ADAS1000-4BCPZ-RL	卷盘, 2500		-40°C至+85°C	56引脚 LFCSP_VQ	CP-56-7
EVAL-ADAS1000SDZ EVAL-SDP-CB1Z		ADAS1000评估板 系统演示板(SDP), 通过USB与PC接口, 用作数据传输控制板		评估套件 <sup>2</sup> 控制板 <sup>3</sup>	

<sup>1</sup> Z = 符合RoHS标准的器件。

<sup>2</sup> 此评估套件包括2片ADAS1000BSTZ, 可实现最多12导联配置。由于ADAS1000包含全部特性, 因此它是ADAS1000所有版本的评估工具。

<sup>3</sup> 此板允许PC对所有带SD标志后缀的ADI评估板进行控制并与之通信。

**注释**