

产品特性

生物电信号输入；数字信号输出

5个采集(ECG)通道和1个驱动导联

多个IC并联可用于10个或更多电极的测量

主器件 **ADAS1000** 或 **ADAS1000-1** 与从器件 **ADAS1000-2**
一起使用

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)，21 mW (所有电极)

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：监控与诊断

床边病人监护、便携式遥测、动态心电监护仪、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/ADAS1000-1/ADAS1000-2 能够测量心电图(ECG)信号、胸阻抗、起搏钉信息及导联连接/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 是功能全面的5通道 ECG，集成了呼吸和脉搏检测功能；而 **ADAS1000-1** 仅提供 ECG 通道，没有呼吸和脉搏检测功能。类似地，**ADAS1000-2** 仅可作为从片使用，提供了 ECG 通道，但无呼吸、起搏及右腿驱动等功能。

ADAS1000/ADAS1000-1/ADAS1000-2 旨在简化采集和确保高质量 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、小信号数据采集系统。它还具有一些有助于提高 ECG 信号采集质量的辅助特性，包括：多通道导联驱动选择、可选的参考驱动、快速过载恢复、直接输出幅度和相位信息的呼吸电路、三导联起搏检测算法，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。附加功能如高采样输出可在外部 DSP、微处理器或 FPGA 上执行，满足高端客户的需求。

由于 ECG 系统应用广泛，**ADAS1000/ADAS1000-1/ADAS1000-2** 采用一种功耗/噪声调整结构，以提高功耗为代价降低噪声。可以关闭某些不用的信号采集通道，或者降低数据速率以达到省电的目的。

为了简化产线测试、开发以及提供整体上电测试，**ADAS1000/ADAS1000-1/ADAS1000-2** 提供了许多特性。例如：通过校准 DAC 提供直流和交流测试激励、循环冗余校验(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/ADAS1000-1/ADAS1000-2 提供两种封装选项：56引脚 LFCSP 和 64引脚 LQFP；额定温度范围均为-40°C 至 +85°C。

Rev. B

[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 ©2012–2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved.
[Technical Support](#) www.analog.com/cn

目录

产品特性	1	起搏脉冲检测功能（仅限 ADAS1000）	42
应用	1	双心室起搏器	45
概述	1	起搏检测测量	45
修订历史	3	评估起搏检测性能	45
功能框图	4	起搏宽度	45
技术规格	5	起搏延迟	45
噪声性能	9	通过第二串行接口进行起搏检测（仅限 ADAS1000 和 ADAS1000-1）	45
时序特性	10	滤波	46
绝对最大额定值	13	基准电压源	47
热阻	13	组合工作模式	47
ESD 警告	13	组合模式下的接口	49
引脚配置和功能描述	14	串行接口	50
典型性能参数	18	标准串行接口	50
应用信息	25	第二串行接口	54
概述	25	RESET	54
ECG 输入—电极/导联	28	PD 功能	54
ECG 通道	29	SPI 输出帧结构（ECG 和状态数据）	55
电极/导联信息和输入级配置	30	SPI 寄存器定义和存储器映射	56
除颤器保护	34	控制寄存器详解	57
ESIS 滤波	34	与 ADAS1000 接口示例	74
ECG 路径输入复用	34	软件流程图	77
共模选择和均值	35	电源、接地和去耦策略	78
威尔逊中心电端(WCT)	36	AVDD	78
右腿驱动/参考驱动	36	ADCVDD 和 DVDD 电源	78
校准 DAC	37	未用引脚/路径	78
增益校准	37	布局布线建议	78
导联脱落检测	37	外形尺寸	79
屏蔽驱动器	38	订购指南	80
呼吸（仅限 ADAS1000 型号）	38		
评估呼吸性能	41		
扩展开关导通呼吸路径	41		

修订历史

2014年6月—修订版A至修订版B

移动“修订历史” 3

更改表 2 的交流导联脱落的频率范围参数 7

更改图 17 18

更改图 40 和图 41 22

更改“ECG 通道”部分 29

更换图 57 30

增加图 58、图 59、图 60、图 61 和图 62；重新排序 31

删除图 63、图 64 和图 65；重新排序 35

更改图 65、图 66 和图 67 35

更改“导联脱落检测”部分，增加图 68；重新排序 37

更改“呼吸（仅限 ADAS1000 型号）”部分和图 69、图 70、图 71；增加表 13 和表 14；重新排序 39

更改“起搏脉冲检测功能（仅限 ADAS1000）”部分 42

更改“评估起搏检测性能”部分 45

增加“起搏宽度”部分 45

更改“标准串行接口”部分 50

更改“数据就绪(DRDY)”部分 52

更改“第二串行接口”部分和表 25 54

更改表 28 的位 3 57

更改表 43 67

更改表 45 68

更改表 50 70

更改表 52 71

更改表 53 72

2013年1月—修订版0至修订版A

更改“产品特性”部分 1

更改表 1 3

更改表 2 “激励电流”参数的“测试条件/注释”栏 5

增加表 3；重新排序 9

更改“呼吸（仅限 ADAS1000 型号）”部分、图 66 和“内部呼吸电容”部分 37

更改图 67 38

更改图 68 39

增加“评估起搏检测性能”部分 43

增加表 15 47

更改“时钟”部分 51

更改表 28 的 RESPAMP 名称、功能 57

更改表 30 中的位[14:9]、功能 59

更改“订购指南”部分 78

12年8月—修订版0：初始版

功能框图

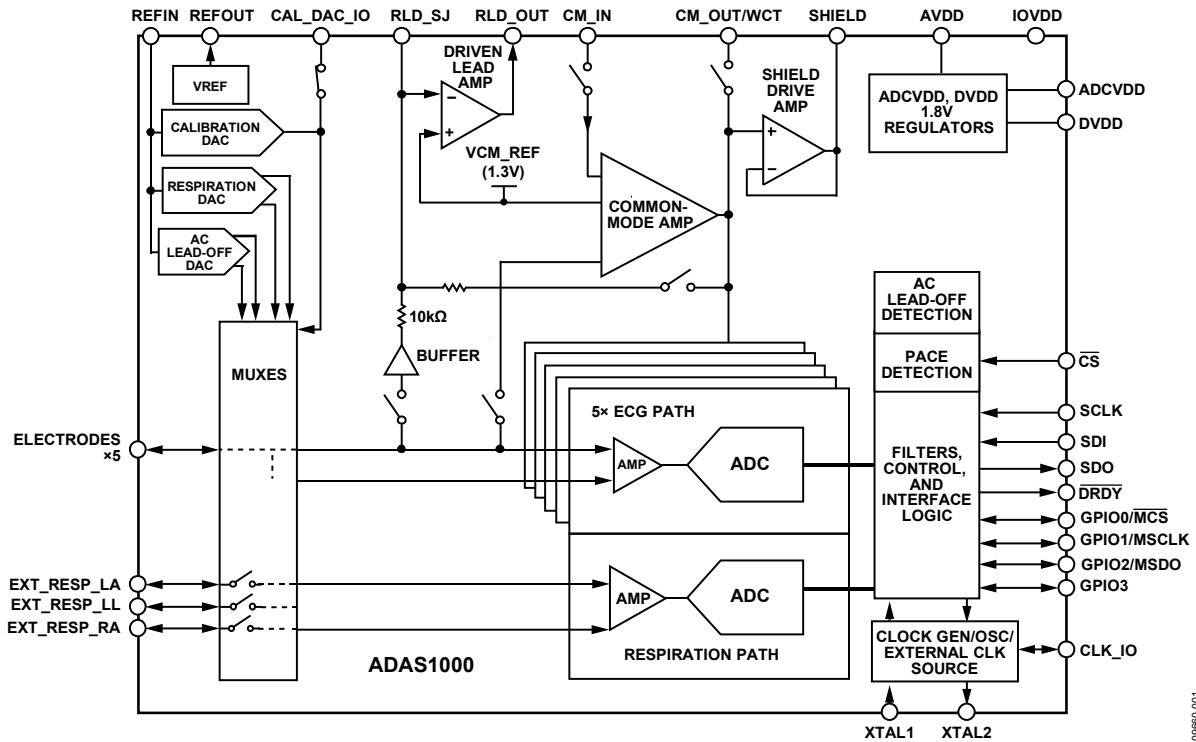


图 1. ADAS1000 全功能型号

09860-001

表 1. ADAS1000 系列特性概览

型号 ¹	ECG	操作	右腿驱动	呼吸	起搏检测	屏蔽驱动器	主接口 ²	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	5个ECG通道	从机						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

¹ ADAS1000-2是一款通道补充器件，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。

² 主接口针对自有数字起搏算法的用户，参见“第二串行接口”部分。

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。它们可以通过外部电源供电。ADCVDD = 1.8 V ± 5%, DVDD = 1.8 V ± 5%。

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

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、ECG4_V1、ECG5_V2、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	1.3	2.3	V	GAIN 0 (增益设置 $\times 1.4$)
	0.63	1.3	1.97	V	GAIN 1 (增益设置 $\times 2.1$)
	0.8	1.3	1.8	V	GAIN 2 (增益设置 $\times 2.8$)
	0.97	1.3	1.63	V	GAIN 3 (增益设置 $\times 4.2$)
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
	-200		+200	nA	AGND至AVDD
输入失调		-7		mV	电极/矢量模式, $V_{CM} = V_{CM_REF}$ GAIN 3
		-7		mV	GAIN 2
		-15		mV	GAIN 1
		-22		mV	GAIN 0
输入失调温度系数 ¹		± 2		$\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$	
输入放大器输入阻抗 ²		1||10		$\text{G}\Omega||\text{pF}$	10 Hz时
CMRR ²	105	110		dB	51 k Ω 输入不平衡, 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 ¹		80		dB	通道间
分辨率 ²		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
差分非线性误差增益 ²		5		ppm	GAIN 0
					折合到输入端。 $(2 \times V_{REF})/\text{增益}/(2^N - 1)$; 工厂校准后适用; 用户校准调整此数值
GAIN 0 ($\times 1.4$)		4.9		$\mu\text{V}/\text{LSB}$	19位水平, 2 kHz数据速率
		9.81		$\mu\text{V}/\text{LSB}$	18位水平, 16 kHz数据速率
		39.24		$\mu\text{V}/\text{LSB}$	16位水平, 128 kHz数据速率
GAIN 1 ($\times 2.1$)		3.27		$\mu\text{V}/\text{LSB}$	19位水平, 2 kHz数据速率
		6.54		$\mu\text{V}/\text{LSB}$	18位水平, 16 kHz数据速率
		26.15		$\mu\text{V}/\text{LSB}$	16位水平, 128 kHz数据速率
GAIN 2 ($\times 2.8$)		2.45		$\mu\text{V}/\text{LSB}$	19位水平, 2 kHz数据速率
		4.9		$\mu\text{V}/\text{LSB}$	18位水平, 16 kHz数据速率
		19.62		$\mu\text{V}/\text{LSB}$	16位水平, 128 kHz数据速率
GAIN 3 ($\times 4.2$)		1.63		$\mu\text{V}/\text{LSB}$	此增益设置无工厂校准
		3.27		$\mu\text{V}/\text{LSB}$	19位水平, 2 kHz数据速率
		13.08		$\mu\text{V}/\text{LSB}$	18位水平, 16 kHz数据速率
增益误差	-1	+0.01	+1	%	16位水平, 128 kHz数据速率
	-2	+0.1	+2	%	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
					GAIN 3设置, 此增益无工厂校准

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
增益匹配	-0.1	+0.02	+0.1	%	GAIN 0至GAIN 2
	-0.5	+0.1	+0.5	%	GAIN 3
增益温度系数 ¹		25		ppm/°C	
折合到输入端噪声 ¹					GAIN 2, 2 kHz数据速率, 见表4
模拟导联模式		6		μV p-p	0.5 Hz至40 Hz; 高性能模式
		10		μV p-p	0.05 Hz至150 Hz; 高性能模式
		12		μV p-p	0.05 Hz至150 Hz; 低功耗模式
电极模式		11		μV p-p	0.05 Hz至150 Hz; 高性能模式
		12		μV p-p	0.05 Hz至150 Hz; 低功耗模式
数字导联模式		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 ²		100		dB	120 Hz时
模拟通道带宽 ¹		65		kHz	
动态范围 ¹		104		dB	GAIN 0, 2 kHz数据速率, -0.5 dB满量程输入信号, 10 Hz
信噪比 ¹		100		dB	-0.5 dB 满量程输入信号
共模输入					CM_IN引脚
输入电压范围	0.3		2.3	V	
输入阻抗 ²		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 ¹		0.75		kΩ	非设计用于驱动电流
短路电流 ¹		4		mA	
电极求和权重误差 ²		1		%	电阻匹配误差
呼吸功能 (仅限ADAS1000)					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/gain		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 ¹		0.85		μV rms	
频率 ²		46.5至 64		kHz	可编程频率, 见表30
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 ²
		8		μA p-p	驱动范围C ²
		8		μA p-p	驱动范围D ²
分辨率 ²		24		bits	更新速率125 Hz
测量分辨率 ¹		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 ¹		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 ¹		25		ppm/C	
右腿驱动/受驱导联 (仅限 ADAS1000/ADAS1000-1)					
输出电压范围	0.2		AVDD - 0.2	V	
RLD_OUT短路电流	-5	±2	+5	mA	需要外部保护电阻以限制流入患者的电流; 输出短接到 AVDD/AGND
闭环增益范围 ²	25			V/V	
压摆率 ²		200		mV/ms	
折合到输入端噪声 ¹		8		μV p-p	0.05 Hz至150 Hz
放大器GBP ²		1.5		MHz	

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
直流导联脱落					内部电流源，上拉开路ECG引脚； 以10 nA步长编程：10 nA至70 nA
导联脱落电流精度		±10		%	编程值的百分比
阈值上限 ¹		2.4		V	输入与阈值进行比较；如果输入超过阈值，导联脱落标志就会置位
阈值下限 ¹		0.2		V	
阈值精度		25		mV	
交流导联脱落					可分4个阶跃编程：12.5 nA rms、25 nA rms、50 nA rms、100 nA rms
频率范围		2.039		kHz	固定频率
导联脱落电流精度		±10		%	编程值的百分比，低阻抗下测量
REFIN					
输入范围 ²	1.76	1.8	1.84	V	通道增益与REFIN成正比
输入电流		113		μA	每个活动ADC
	450	675	950	μA	5个ECG通道和呼吸使能
REFOUT					ADC的片内基准电压；非设计用于直接驱动其他器件的基准输入， 必须外部缓冲
输出电压，VREF	1.785	1.8	1.815	V	
基准电压温度系数 ¹		±10		ppm/°C	
输出阻抗 ²		0.1		Ω	
短路电流 ¹		4.5		mA	短路至地
电压噪声 ¹		33		μV p-p	0.05 Hz至150 Hz (ECG频段)
		17		μV p-p	0.05 Hz至5 Hz (呼吸)
校准DAC					通过CAL_DAC_IO提供 (主器件输出，从器件输入)
DAC分辨率		10		位	
满量程输出电压	2.64	2.7	2.76	V	无负载，标称满量程输出为1.5 × REFOUT
零电平输出电压	0.24	0.3	0.36	V	空载
DNL	-1		+1	LSB	
输出串联电阻 ²		10		kΩ	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
输入电流		±5		nA	
校准DAC测试音					
输出电压	0.9	1	1.1	mV p-p	叠加于共模电压之上，VCM_REF = 1.3 V
方波		1		Hz	
低频正弦波		10		Hz	
高频正弦波		150		Hz	
屏蔽驱动器 (仅限 ADAS1000/ADAS1000-1)					
输出电压范围	0.3		2.3	V	叠加于共模电压之上，VCM
增益		1		V/V	
失调电压	-20		+20	mV	
短路电流		15	25	μA	输出电流受内部串联电阻限制
稳定容性负载 ²			10	nF	
晶振					适用于XTAL1和XTAL2
频率 ²		8.192		MHz	
启动时间 ²		15		ms	内部启动
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 ²		8.192		MHz	
输入占空比 ²	20		80	%	
输出占空比 ²		50		%	
数字输入					适用于所有数字输入
输入低电压，V _{IL}			0.3 × IOVDD	V	
输入高电压，V _{IH}	0.7 × IOVDD			V	
输入电流，I _{IH} 、I _{IL}	-1		+1	μA	
	-20		+20	μA	RESET内置上拉电阻
引脚电容 ²		3		pF	

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
数字输出					
输出低电压, V_{OL}			0.4	V	$I_{SINK} = 1 \text{ mA}$
输出高电压, V_{OH}	IOVDD - 0.4			V	$I_{SOURCE} = -1 \text{ mA}$
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 ¹		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; 建议不要用作其他电路的电源
输出电压	1.75	1.8	1.85	V	
短路电流限值		40		mA	
电源范围 ²					
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5个通道使能, RLD使能, 起搏使能
AVDD电流		3.4	6.25	mA	高性能模式
		3.1	5.3	mA	低性能模式
		4.25	6.3	mA	高性能模式, 呼吸使能
ADCVDD电流		6.2	9	mA	高性能模式
		4.7	6.5	mA	低性能模式
		7	9	mA	高性能模式, 呼吸使能
DVDD电流		2.7	5	mA	高性能模式
		1.4	3.5	mA	低性能模式
		3.4	5.5	mA	高性能模式, 呼吸使能
内部提供的ADCVDD和DVDD					所有5个通道使能, RLD使能, 起搏使能
AVDD电流		12.5	15.3	mA	高性能模式
		9.4	12.4	mA	低性能模式
		14.8	17.3	mA	高性能模式, 呼吸使能
功耗					
外部提供的ADCVDD和DVDD ³					所有5个通道使能, RLD使能, 起搏使能
所有5个输入通道和RLD		27		mW	高性能 (低噪声)
		21		mW	低功耗模式
内部提供的ADCVDD和DVDD					所有5个通道使能, RLD使能, 起搏使能
所有5个输入通道和RLD		41		mW	高性能 (低噪声)
		31		mW	低功耗模式
其他功能 ⁴					
功耗					
呼吸		7.6		mW	
屏蔽驱动器		150		μW	

¹ 通过特性保证, 但未经生产测试。

² 通过设计保证, 但未经生产测试。

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

⁴ 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($\mu\text{V p-p}$)¹

模式	数据速率 ²	GAIN 0 ($\times 1.4$) $\pm 1 \text{ VCM}$	GAIN 1 ($\times 2.1$) $\pm 0.67 \text{ VCM}$	GAIN 2 ($\times 2.8$) $\pm 0.5 \text{ VCM}$	GAIN 3 ($\times 4.2$) $\pm 0.3 \text{ VCM}$
模拟导联模式 ³ 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

¹ 典型值在25°C下测量，未经生产测试。

² 使用2 kHz包/帧速率收集的数据是在0.5秒期间测得。ADAS1000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。

³ 模拟导联模式如图58所示。

表 4. 折合到输入端噪声典型值($\mu\text{V p-p}$)¹

模式	数据速率 ²	GAIN 0 ($\times 1.4$) $\pm 1 \text{ VCM}$	GAIN 1 ($\times 2.1$) $\pm 0.67 \text{ VCM}$	GAIN 2 ($\times 2.8$) $\pm 0.5 \text{ VCM}$	GAIN 3 ($\times 4.2$) $\pm 0.3 \text{ VCM}$		
模拟导联模式 ³ 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		
	2 kHz (0.05 Hz至250 Hz)	27	18	14.5	10.5		
	2 kHz (0.05 Hz至450 Hz)	33.5	24	19	13.5		
	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 ⁴ 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		
	2 kHz (0.05 Hz至250 Hz)	26	19	15.5	11.5		
	2 kHz (0.05 Hz至450 Hz)	34.5	25	20.5	14.5		
	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 ^{5,6} 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
	2 kHz (0.05 Hz至250 Hz)		34	23	18	13	
	2 kHz (0.05 Hz至450 Hz)		46	31	24	17.5	
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	

¹ 典型值在25°C下测量，未经生产测试。

² 使用2 kHz包/帧速率收集的数据是在20秒期间测得。ADAS1000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。

³ 模拟导联模式如图58所示。

⁴ 单端输入电极模式如图61所示。电极模式指公共电极A、公共电极B和单端输入电极配置。参见“电极/导联信息和输入级配置”部分。

⁵ 数字导联模式如图59所示。

⁶ 数字导联模式提供2 kHz和16 kHz两种数据速率。

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 ¹	IOVDD			单位	描述
	3.3 V	2.5 V	1.8 V		
输出速率 ²	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37): 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与包数据速率的关系的详细信息, 参见表21
t_{CSSA}	8.5	9.5	12	ns (最小值)	$\overline{\text{CS}}$ 有效建立时间至上升SCLK
t_{CSHA}	3	3	3	ns (最小值)	$\overline{\text{CS}}$ 有效保持时间至上升SCLK
t_{CH}	8	8	8	ns (最小值)	SCLK高电平时间
t_{CL}	8	8	8	ns (最小值)	SCLK低电平时间
t_{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_{DS}	2	2	2	ns (最小值)	SCLK上升沿至SDI有效建立时间
t_{DH}	2	2	2	ns (最小值)	SCLK上升沿至SDI有效保持时间
t_{CSSD}	2	2	2	ns (最小值)	SCLK上升沿至 $\overline{\text{CS}}$ 有效建立时间
t_{CSHD}	2	2	2	ns (最小值)	SCLK上升沿至 $\overline{\text{CS}}$ 有效保持时间
t_{CSW}	25	40	50	ns (最小值)	$\overline{\text{CS}}$ 两次写入(如使用)之间的高电平时间。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。
$t_{\text{DRDY}_{\overline{\text{CS}}}}$ ²	0	0	0	ns (最小值)	DRDY至 $\overline{\text{CS}}$ 建立时间
t_{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 ²	20	20	20	ns (最小值)	最小脉冲宽度; RESET为边沿触发

¹ 通过特性保证, 但未经生产测试。

² 通过设计保证, 但未经生产测试。

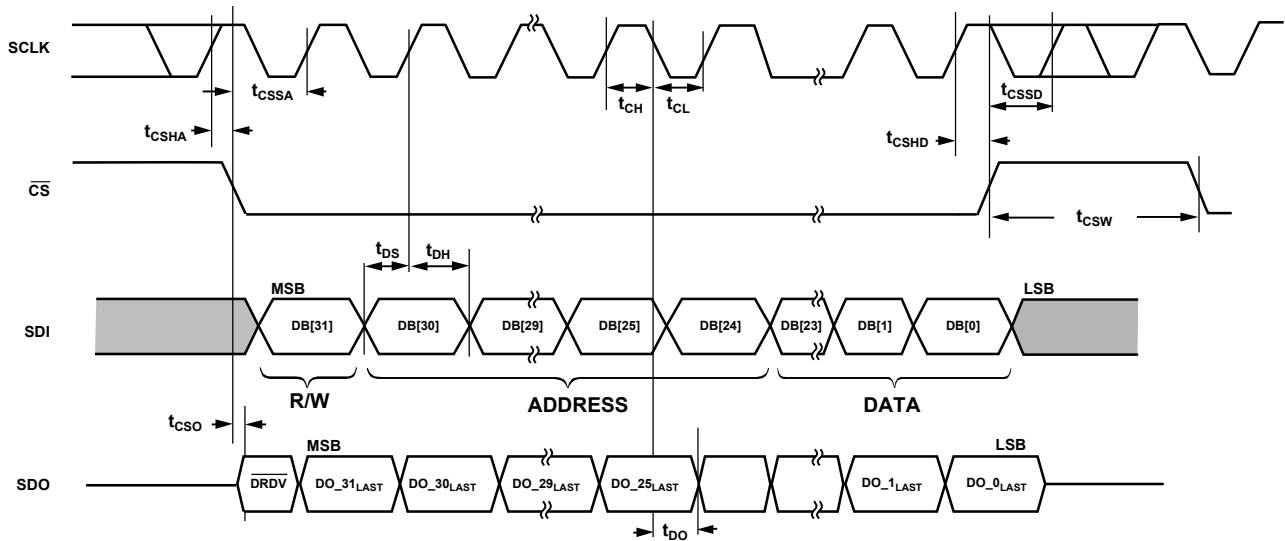


图 2. 数据读取和写入时序图 (CPHA = 1, CPOL = 1)

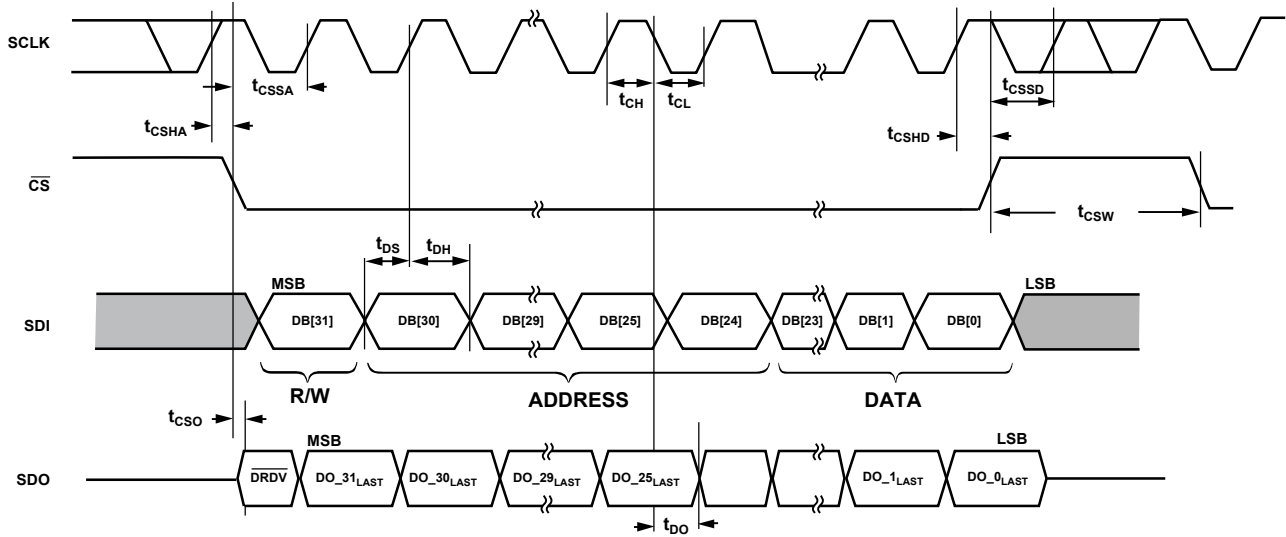


图 3. 开始读取帧数据 (CPHA = 1, CPOL = 1)

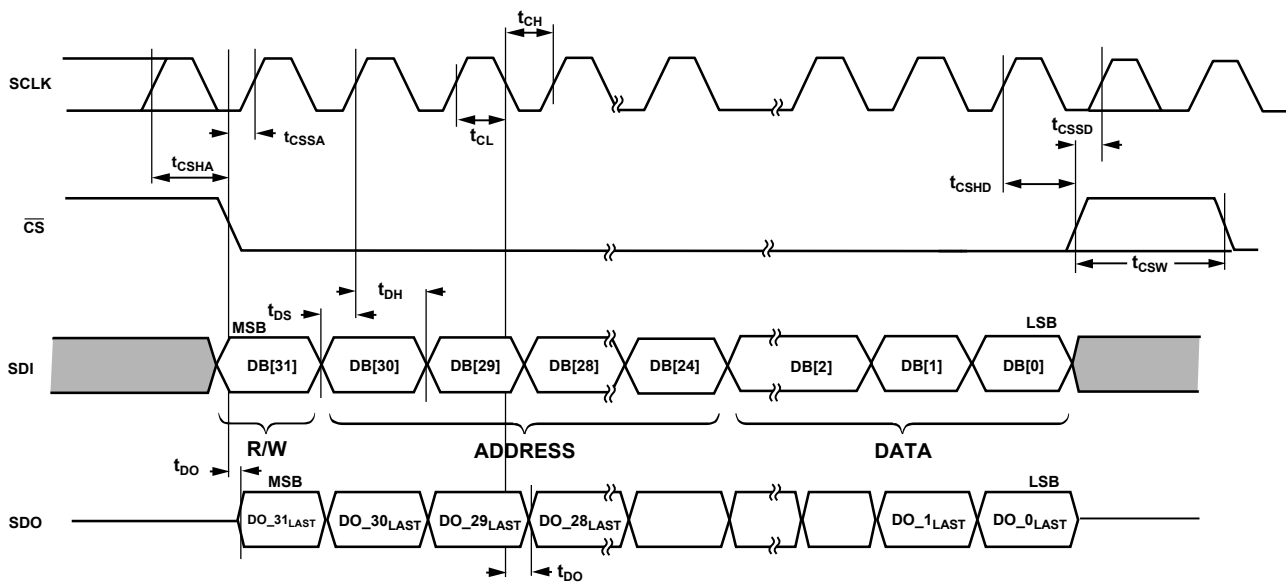


图 4. 数据读取和写入时序图 (CPHA = 0, CPOL = 0)

第二串行接口（主接口用于客户的数字起搏算法）仅限 ADAS1000/ADAS1000-1

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 28), 下列时序规格适用于主接口。

表 6.

参数 ¹	最小值	典型值	最大值	单位	描述
输出数据速率 ²		128		kHz	所有5个16位ECG数据字均以128 kHz的帧速率提供。
f_{SCLK}^2		$2.5 \times$ 晶体频率		MHz	晶体频率 = 8.192 MHz
t_{MCSSA}		24.4		ns	MCS有效建立时间
t_{MDO}		0		ns	MSCLK上升沿至MSDO有效延迟。
$t_{\text{MC SHD}}$		48.8		ns	MSCLK下降沿至MCS有效保持时间
t_{MCSW}		2173		ns	MCS高电平时间, SPIFW = 0, MCS在整个帧期间置位, 如图5所示, 配置见表33
		2026		ns	MCS高电平时间, SPIFW = 1, MCS在帧的每个字期间置位, 如图6所示, 配置见表33

¹ 通过特性保证, 但未经生产测试。

² 通过设计保证, 但未经生产测试。

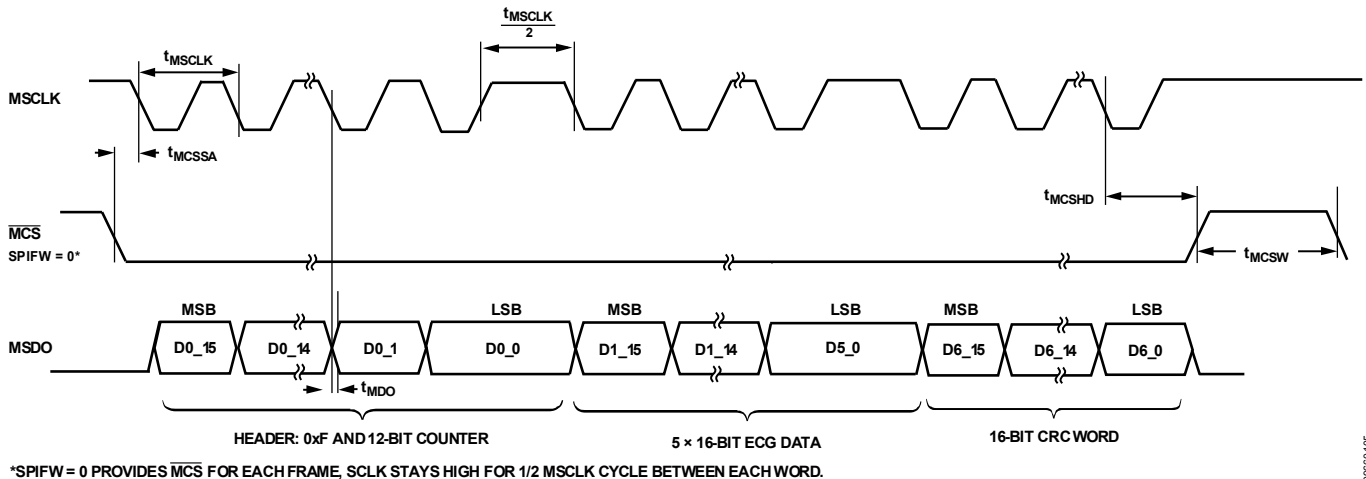


图 5. SPIFW = 0 时的数据读取和写入时序图, 显示整个包的数据 (表头、5 个 ECG 字和 CRC 字)

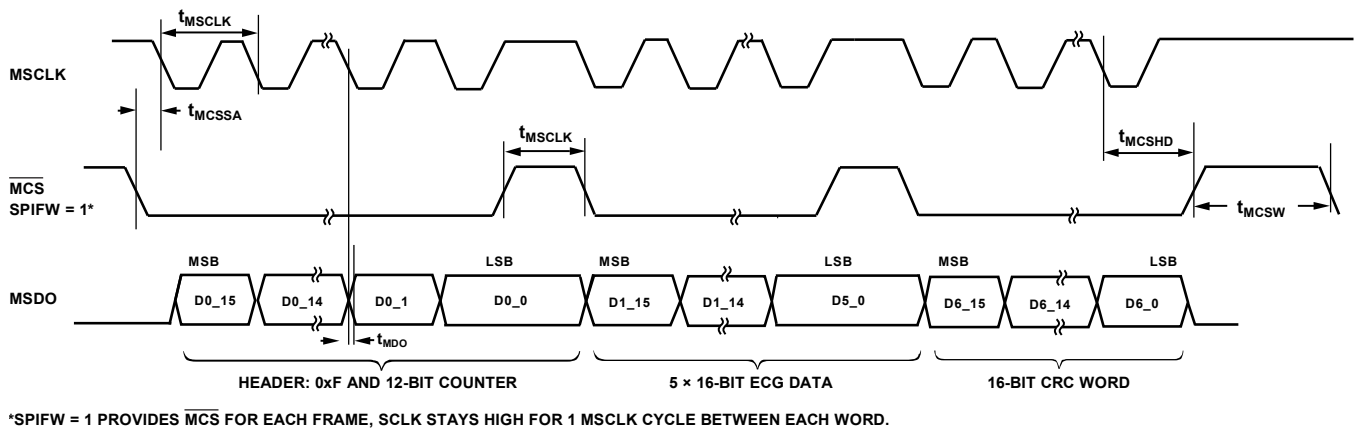


图 6. SPIFW = 1 时的数据读取和写入时序图, 显示整个包的数据 (表头、5 个 ECG 字和 CRC 字)

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他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

θ_{JA} 针对最差条件，即焊接在电路板上的器件为表贴封装。

表 8. 热阻¹

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

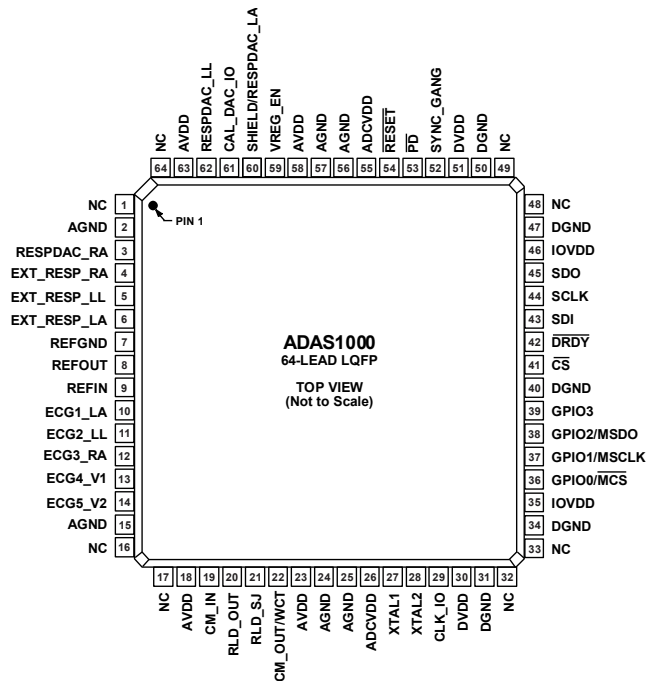
¹ 基于JEDEC标准4层(2S2P)高有效热导率测试板(JESD51-7)和自然对流。

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。

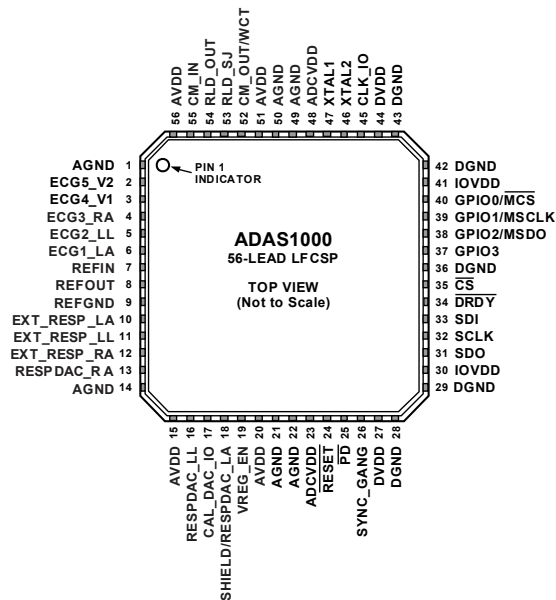
引脚配置和功能描述



NOTES
1. NC = NO CONNECT. DO NOT CONNECT TO THIS PIN.

09660-007

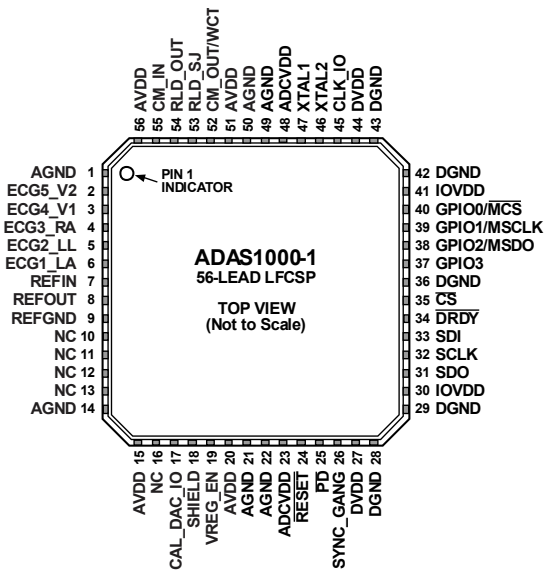
图 7. ADAS1000 64 引脚 LQFP 引脚配置



NOTES
1. THE EXPOSED PADDLE IS ON THE TOP OF THE PACKAGE; IT IS CONNECTED TO THE MOST NEGATIVE POTENTIAL, AGND.

09660-008

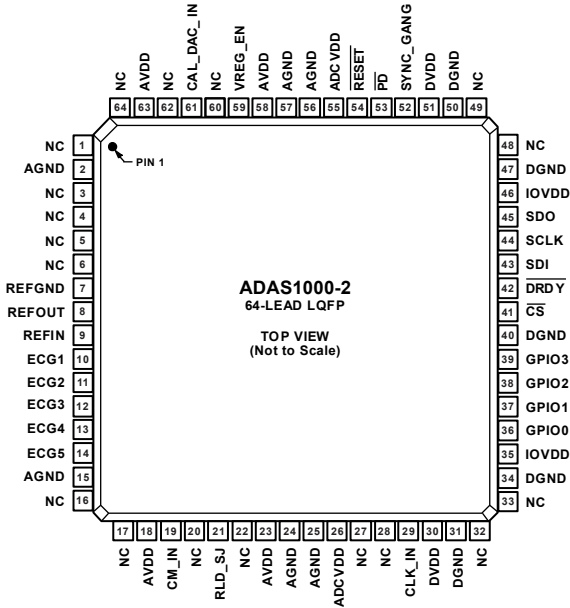
图 8. ADAS1000 56 引脚 LFCSP 引脚配置



NOTES
1. THE EXPOSED PADDLE IS ON THE TOP OF THE PACKAGE; IT IS CONNECTED TO THE MOST NEGATIVE POTENTIAL, AGND.

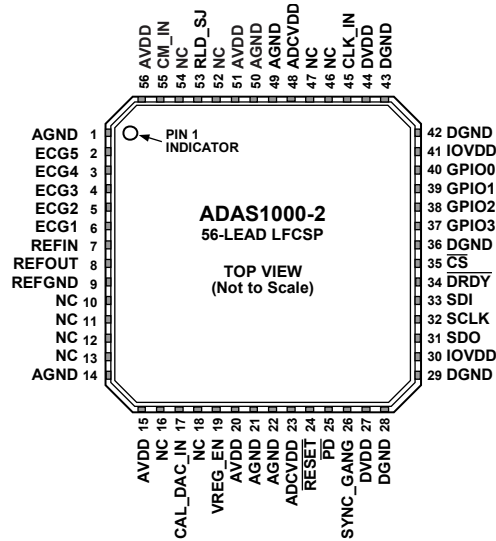
09660-008

图 9. ADAS1000-1 56 引脚 LFCSP 引脚配置



NOTES
1. NC = NO CONNECT. DO NOT CONNECT TO THIS PIN.

图 10. ADAS1000-2 配套 64 引脚 LQFP 引脚配置



NOTES
1. THE EXPOSED PADDLE IS ON THE TOP OF THE PACKAGE; IT IS CONNECTED TO THE MOST NEGATIVE POTENTIAL, AGND.
2. NC = NO CONNECT. DO NOT CONNECT TO THIS PIN.

图 11. ADAS1000-2 配套 56 引脚 LFCSP 引脚配置

表 9. 引脚功能描述

ADAS1000		ADAS1000-1	ADAS1000-2		引脚名称	描述
LQFP	LFCSP	LFCSP	LQFP	LFCSP		
18, 23, 58, 63	15, 20, 51, 56	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	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	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。此引脚主要用于去耦目的，但如果用户希望使用一个效率更高的电源来降低功耗，此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引脚不能用于为其他功能供电。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	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。此引脚主要用于去耦目的，但如果用户希望使用一个效率更高的电源来降低功耗，此引脚也可以过驱，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。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	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	28, 29, 36, 42, 43	31, 34, 40, 47, 50	28, 29, 36, 42, 43	DGND	数字地。
59	19	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	6			ECG1_LA	模拟输入，左臂(LA)。
11	5	5			ECG2_LL	模拟输入，左腿(LL)。
12	4	4			ECG3_RA	模拟输入，右臂(RA)。
13	3	3			ECG4_V1	模拟输入，胸电极1或辅助生物电输入(V1)。
14	2	2			ECG5_V2	模拟输入，胸电极2或辅助生物电输入(V2)。

ADAS1000		ADAS1000-1	ADAS1000-2		引脚名称	描述
LQFP	LFCSP	LFCSP	LQFP	LFCSP		
			10	6	ECG1	模拟输入1。
			11	5	ECG2	模拟输入2。
			12	4	ECG3	模拟输入3。
			13	3	ECG4	模拟输入4。
			14	2	ECG5	模拟输入5。
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	更高性能呼吸分辨率的可选路径，呼吸DAC驱动，负侧1 (RESPDAC_LA)。
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	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	55	19	55	CM_IN	共模输入。
21	53	53	21	53	RLD_SJ	右腿驱动放大器的求和结。
20	54	54			RLD_OUT	右腿驱动放大器的输出和反馈结。
61	17	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	7	9	7	REFIN	基准电压输入。对于独立模式，将REFOUT连接到REFIN。要求ESR < 0.2 Ω的外部10 μF电容与0.1 μF旁路电容并联接GND，这些电容必须尽可能靠近该引脚。可以将外部基准电压连接到REFIN。
8	8	8	8	8	REFOUT	基准电压输出。
7	9	9	7	9	REFGND	基准电压地。连接到干净的地。
27, 28	47, 46	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	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	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。
44	32	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	33	43	33	\overline{SDI}	串行数据输入。
53	25	25	53	25	\overline{PD}	关断，低电平有效。
45	31	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	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	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	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	40			$\overline{GPIO0/MCS}$	通用I/O或主器件128 kHz SPI \overline{CS} 。
37	39	39			$\overline{GPIO1/MSCLK}$	通用I/O或主器件128 kHz SPI SCLK。
38	38	38			$\overline{GPIO2/MSDO}$	通用I/O或主器件128 kHz SPI SDO。
39	37	37			$\overline{GPIO3}$	通用I/O。

ADAS1000		ADAS1000-1	ADAS1000-2		引脚名称	描述
LQFP	LFCSP	LFCSP	LQFP	LFCSP		
1, 16, 17, 32, 33, 48, 49, 64		10, 11, 12, 13, 16	1, 3, 4, 5, 6, 16, 17, 20, 22, 27, 28, 32, 33, 48, 49, 60, 62, 64	10, 11, 12, 13, 16, 18, 46, 47, 52, 54	NC	不连接。请勿连接到这些引脚（参见图7、图9、图10和图11）。
			36	40	GPIO0	通用I/O。
			37	39	GPIO1	通用I/O。
			38	38	GPIO2	通用I/O。
			39	37	GPIO3	通用I/O。
		18			SHIELD	屏蔽驱动器的输出。
			61	17	CAL_DAC_IN	校准DAC输入。配套器件的输入。校准信号来自主器件。
			29	45	CLK_IN	缓冲时钟输入。此引脚应通过主器件CLK_IO引脚驱动。
57	57	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。

典型性能参数

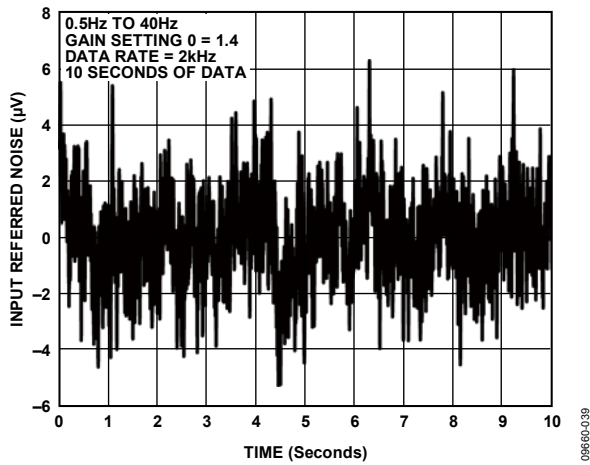


图 12. 折合到输入端噪声: 0.5 Hz 至 40 Hz 带宽, 2 kHz 数据速率, GAIN 0 (1.4)

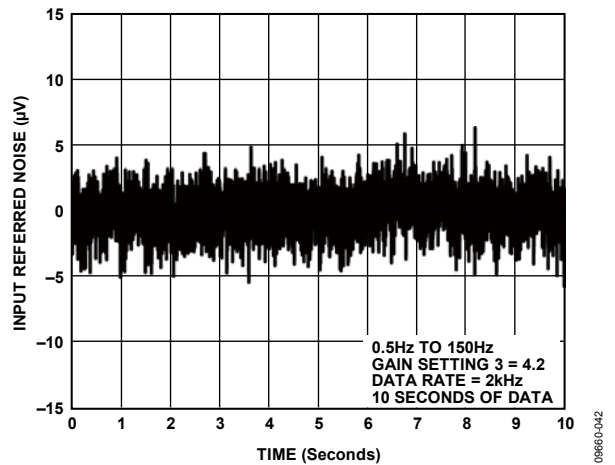


图 15. 折合到输入端噪声: 0.5 Hz 至 150 Hz 带宽, 2 kHz 数据速率, GAIN 3 (4.2)

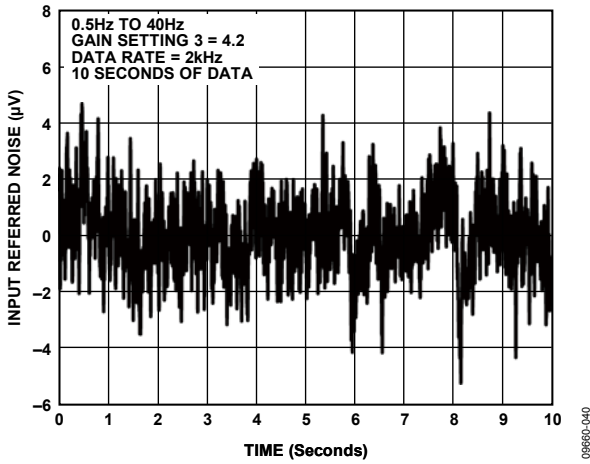


图 13. 折合到输入端噪声: 0.5 Hz 至 40 Hz 带宽, 2 kHz 数据速率, GAIN 3 (4.2)

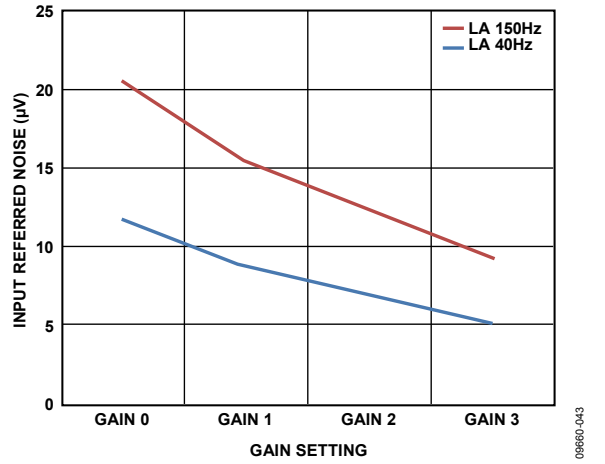


图 16. ECG 通道噪声性能 (0.5 Hz 至 40 Hz 或 0.5 Hz 至 150 Hz 带宽) 与增益设置的关系

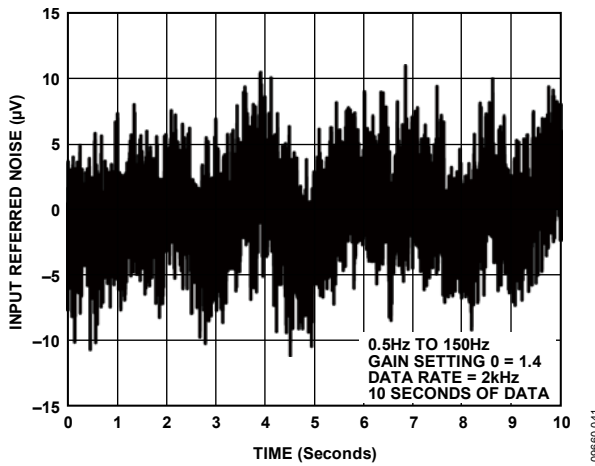


图 14. 折合到输入端噪声: 0.5 Hz 至 150 Hz 带宽, 2 kHz 数据速率, GAIN 0 (1.4)

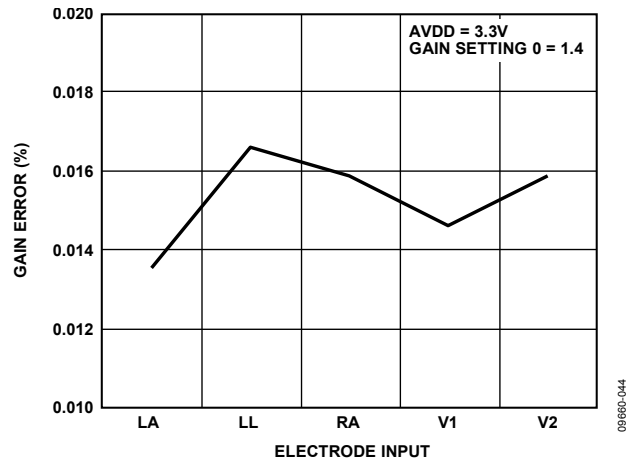


图 17. 典型增益误差与通道的关系

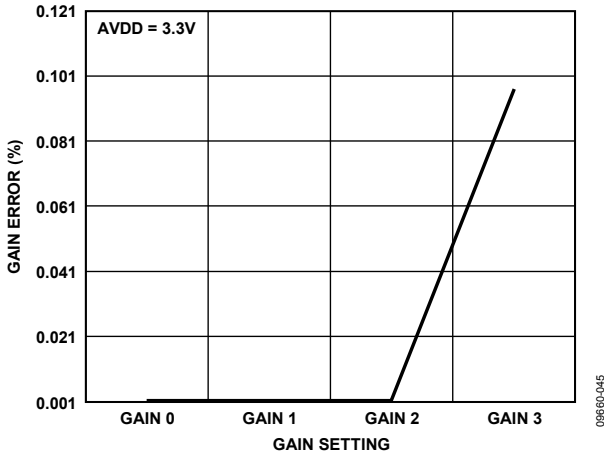


图 18. 典型增益误差与增益的关系

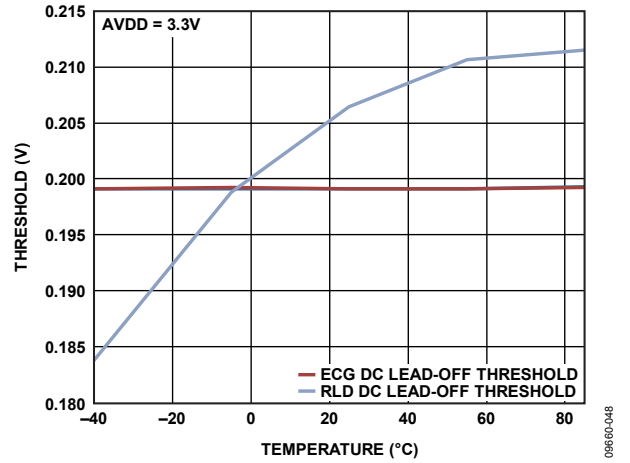


图 21. 直流导联脱落比较器阈值下限与温度的关系

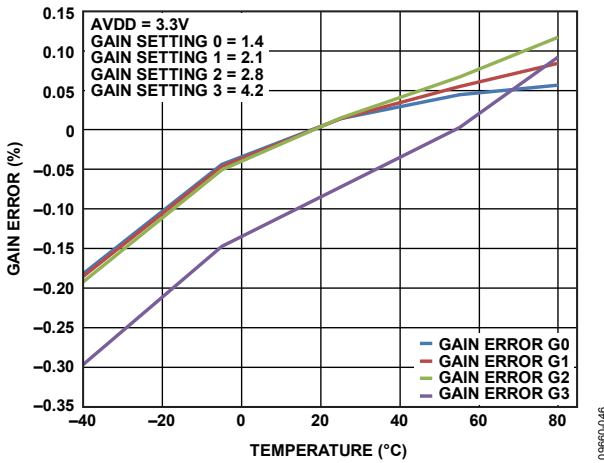


图 19. 所有增益设置的典型增益误差与温度的关系

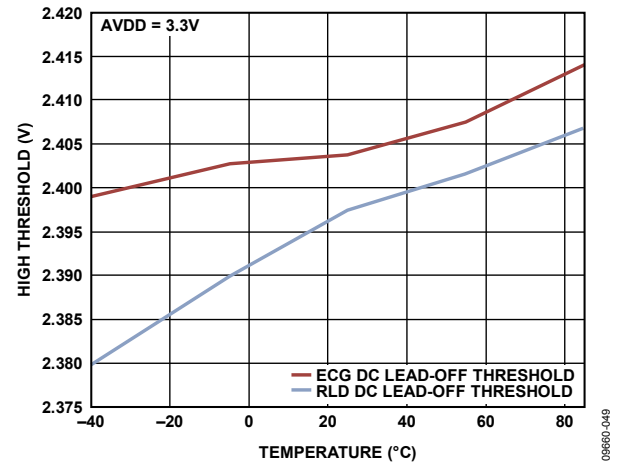


图 22. 直流导联脱落比较器阈值上限与温度的关系

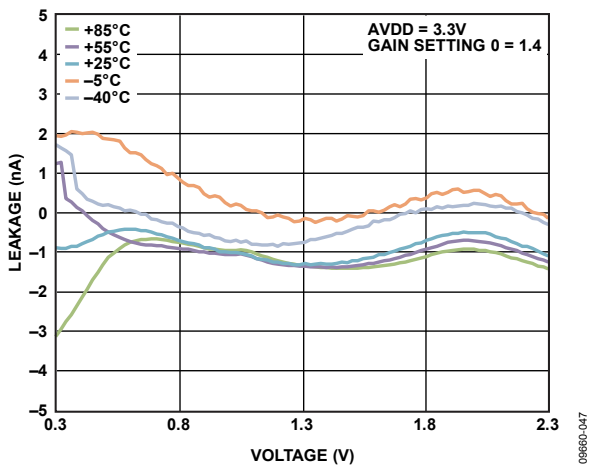


图 20. 输入电压范围内的典型 ECG 通道漏电流与温度的关系

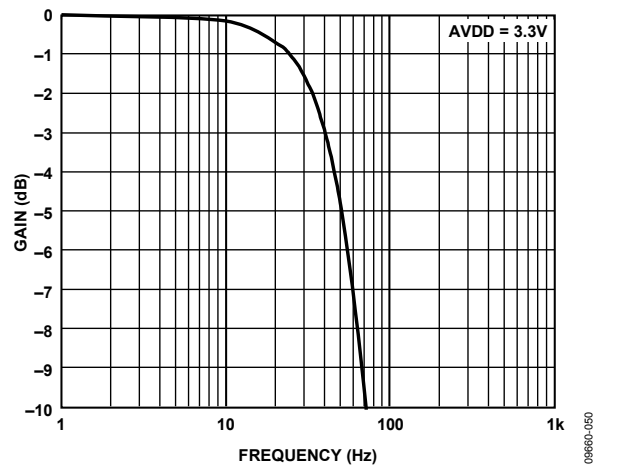


图 23. 滤波器响应：40 Hz 滤波器使能，2 kHz 数据速率；数字滤波器概况见图 75

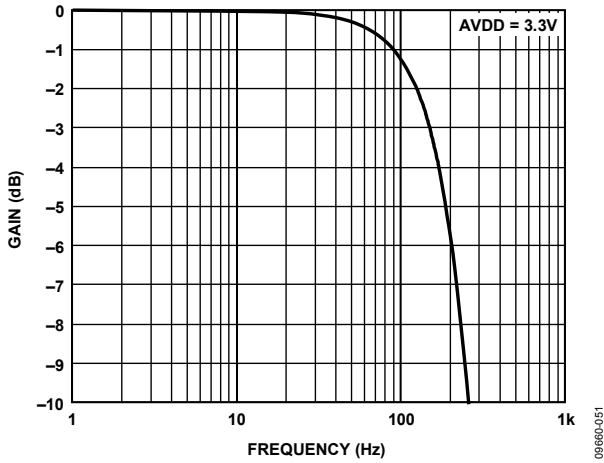


图 24. 滤波器响应: 150 Hz 滤波器使能、2 kHz 数据速率; 数字滤波器概况见图 75

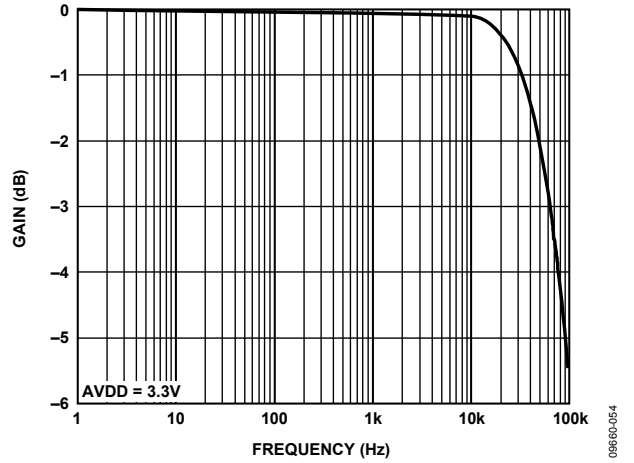


图 27. 模拟通道带宽

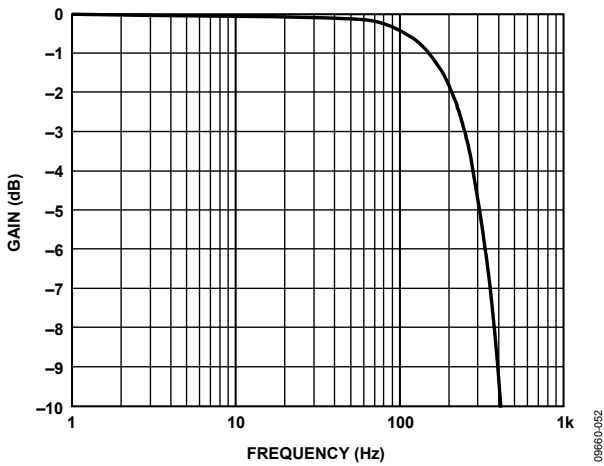


图 25. 滤波器响应: 250 Hz 滤波器使能、2 kHz 数据速率; 数字滤波器概况见图 75

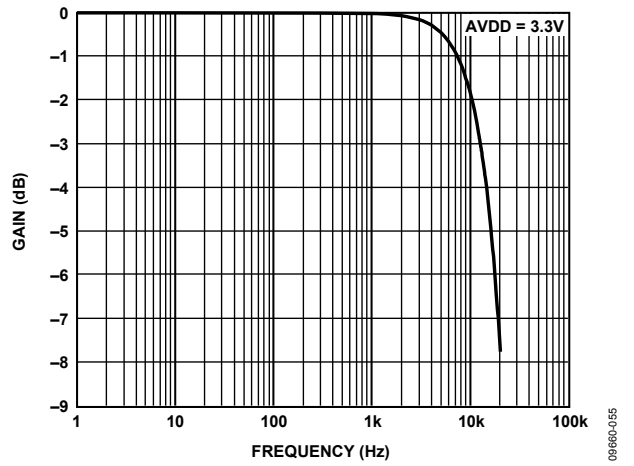


图 28. 滤波器响应: 128 kHz 数据速率; 数字滤波器概况见图 75

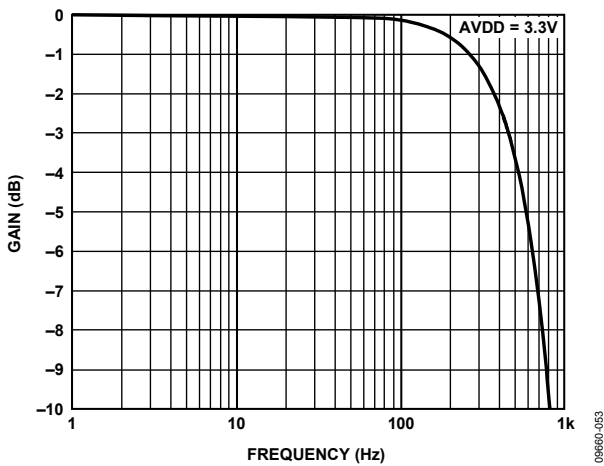


图 26. 滤波器响应: 450 Hz 滤波器使能、2 kHz 数据速率; 数字滤波器概况见图 75

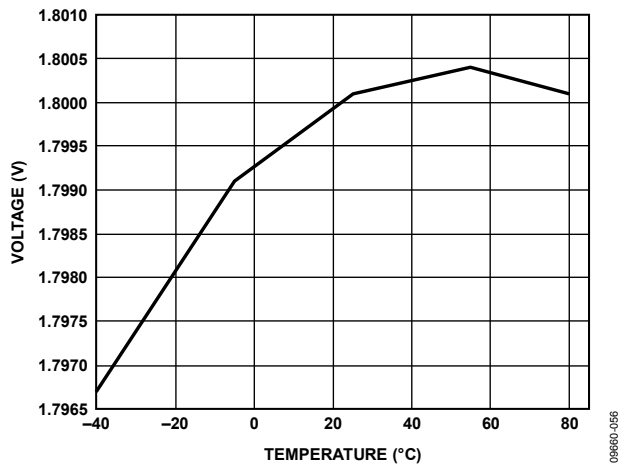


图 29. 典型内部 VREF 与温度的关系

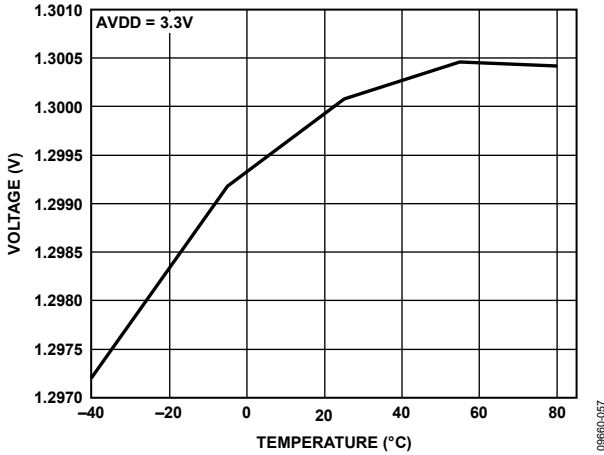


图 30. VCM_REF 与温度的关系

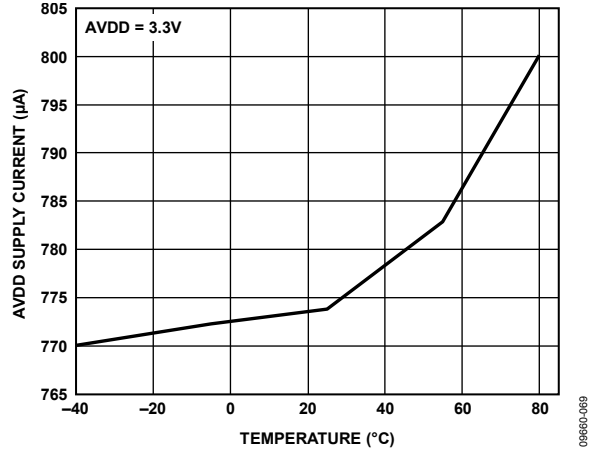


图 33. 典型 AVDD 电源电流与温度的关系, 待机模式

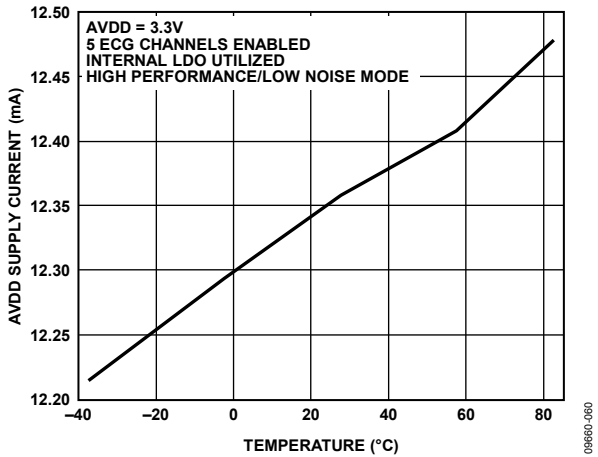


图 31. 典型 AVDD 电源电流与温度的关系, 使用内部 ADCVDD/DVDD 电源

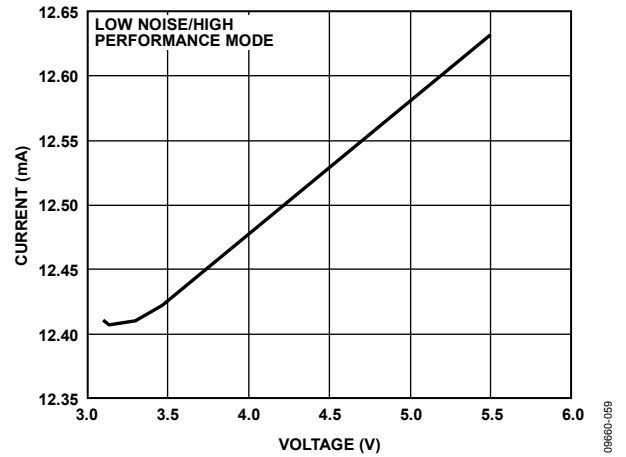


图 34. 典型 AVDD 电源电流与 AVDD 电源电压的关系

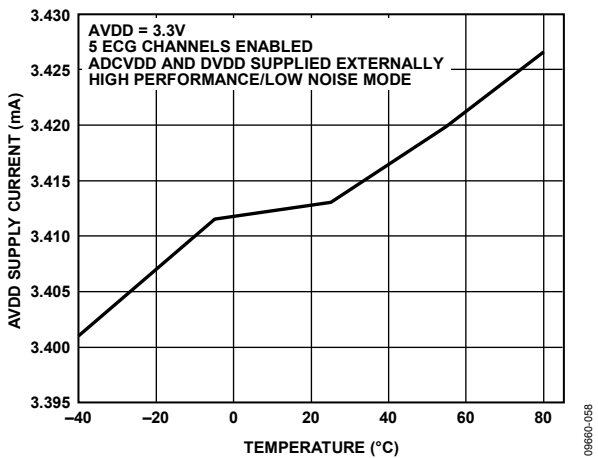


图 32. 典型 AVDD 电源电流与温度的关系, 使用外部提供的 ADCVDD/DVDD

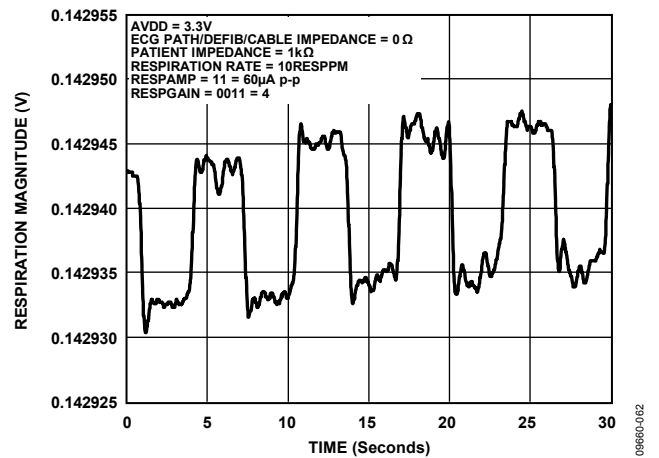


图 35. 200 mΩ 阻抗变化下的呼吸, 使用内部呼吸路径, 利用 0 Ω 病人电缆测量

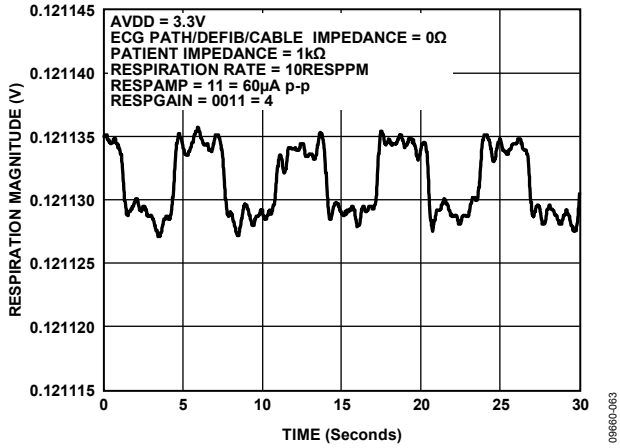


图 36. 100 mΩ 阻抗变化下的呼吸, 使用内部呼吸路径, 利用 0 Ω 病人电缆测量

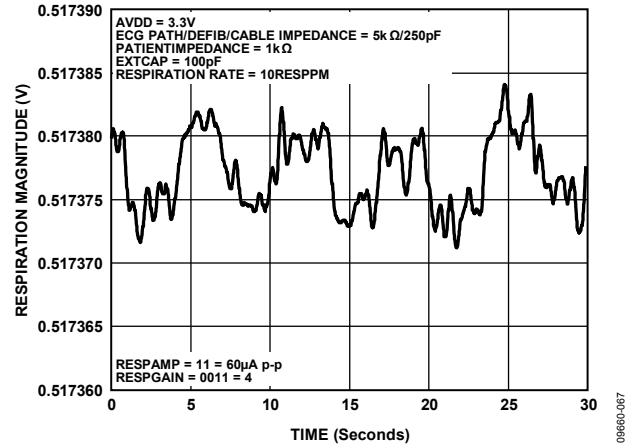


图 39. 200 mΩ 阻抗变化下的呼吸, 使用外部呼吸 DAC 驱动 100 pF 外部电容, 利用 5 kΩ 病人电缆测量

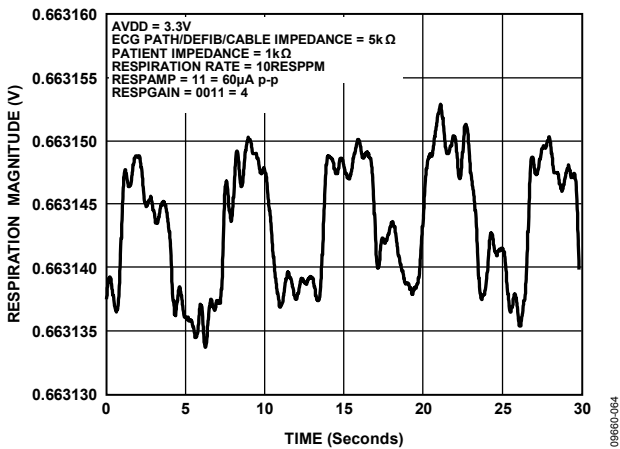


图 37. 200 mΩ 阻抗变化下的呼吸, 使用内部呼吸路径, 利用 5 kΩ 病人电缆测量

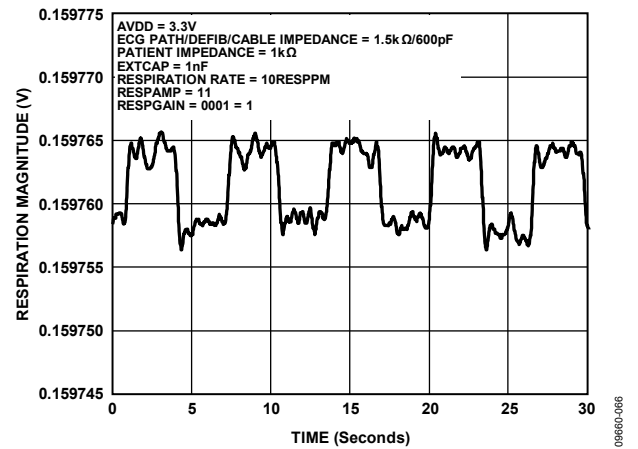


图 40. 200 mΩ 阻抗变化下的呼吸, 使用外部呼吸 DAC 驱动 1 nF 外部电容, 利用 1.5 kΩ 病人电缆测量

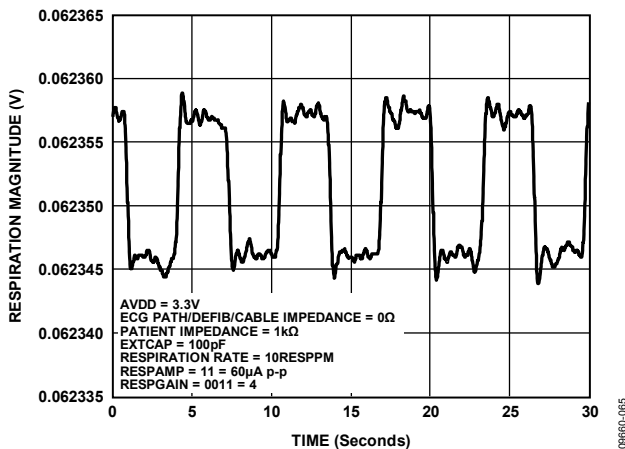


图 38. 200 mΩ 阻抗变化下的呼吸, 使用外部呼吸 DAC 驱动 100 pF 外部电容, 利用 0 Ω 病人电缆测量

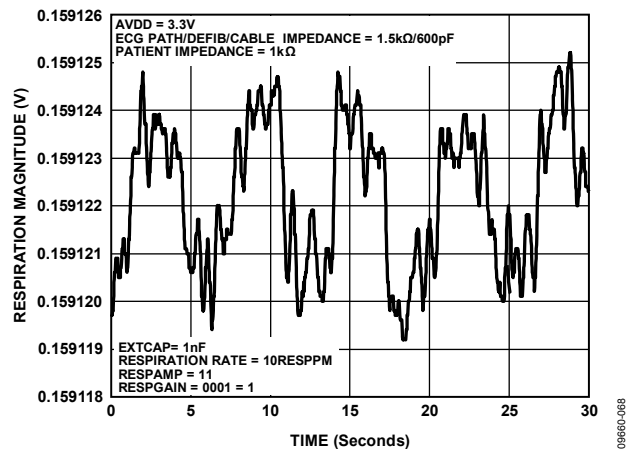


图 41. 100 mΩ 阻抗变化下的呼吸, 使用外部呼吸 DAC 驱动 1 nF 外部电容, 利用 1.5 kΩ 病人电缆测量

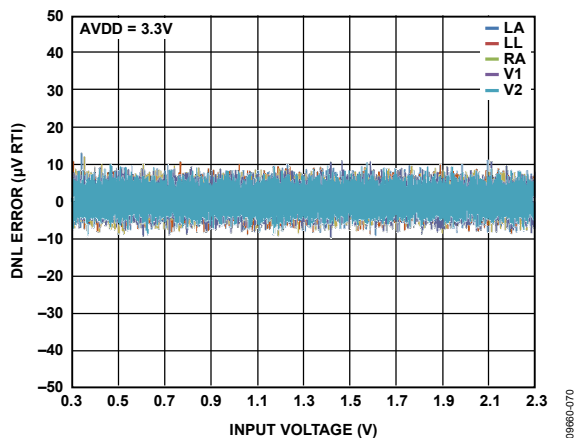


图 42. 不同电极、25°C 时的 DNL 与输入电压范围的关系

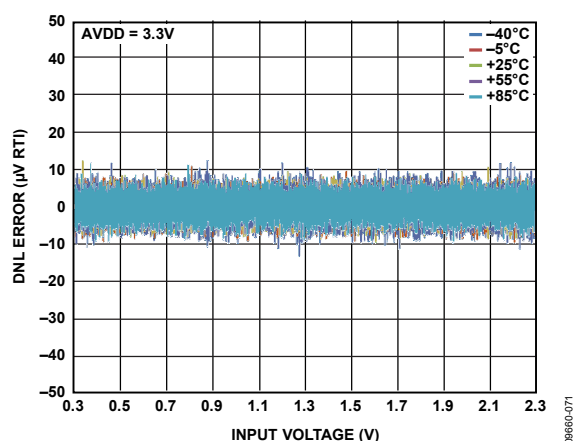


图 43. 不同温度下的 DNL 与输入电压范围的关系

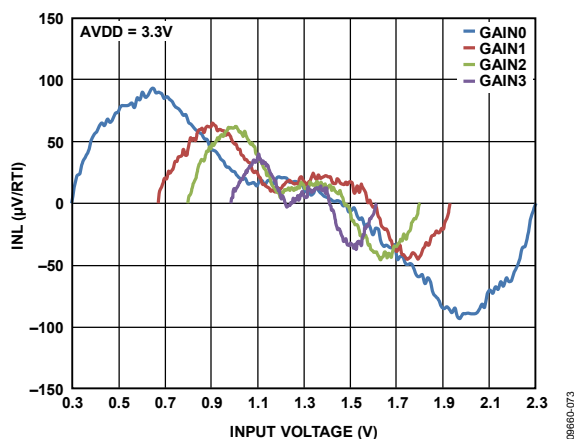


图 44. 不同增益设置下的 INL 与输入电压的关系，2 kHz 数据速率

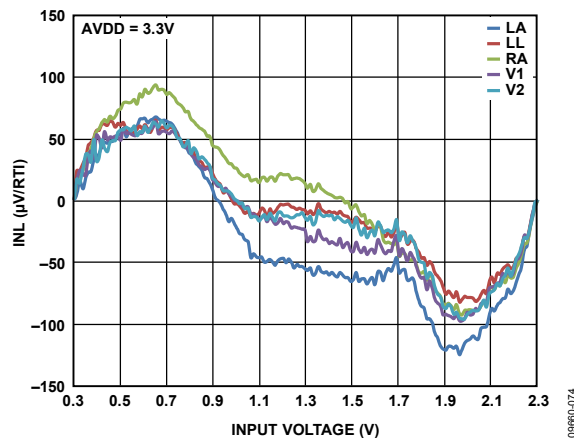


图 45. 不同电极通道的 INL 与输入电压的关系，2 kHz 数据速率

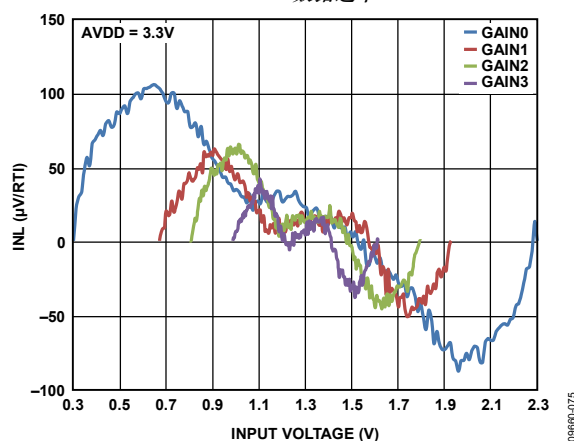


图 46. 不同增益设置下的 INL 与输入电压的关系，16 kHz 数据速率

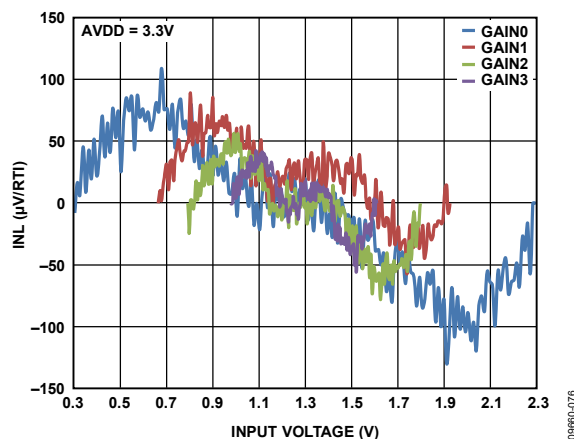


图 47. 不同增益设置下的 INL 与输入电压的关系，128 kHz 数据速率

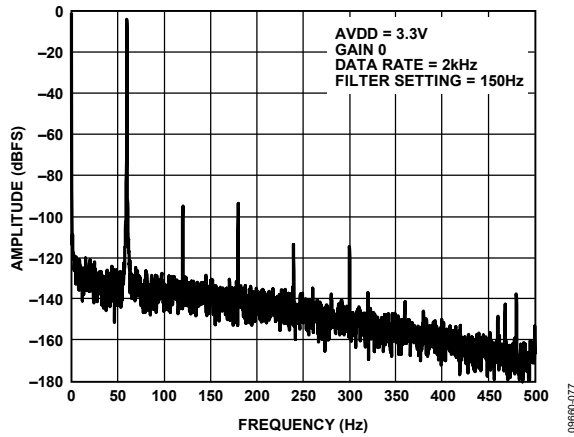


图 48. 60 Hz 输入信号下的 FFT

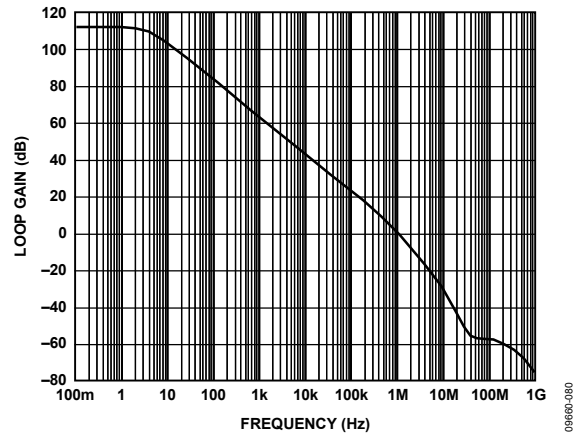


图 51. ADAS1000 无负载时右腿驱动放大器的开环增益响应

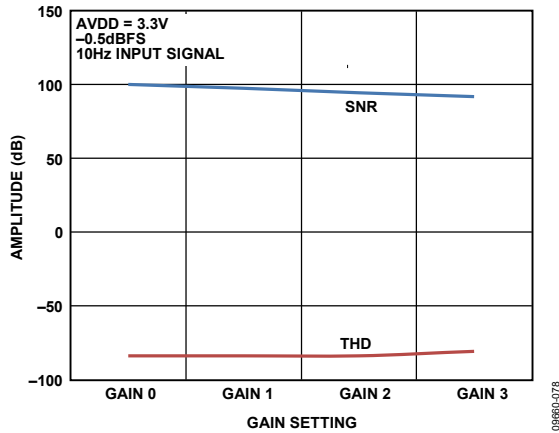


图 49. 不同增益设置下的 SNR 和 THD

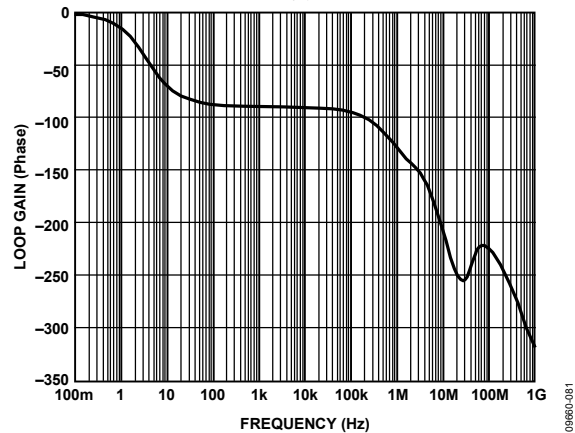


图 52. ADAS1000 无负载时右腿驱动放大器的开环相位响应

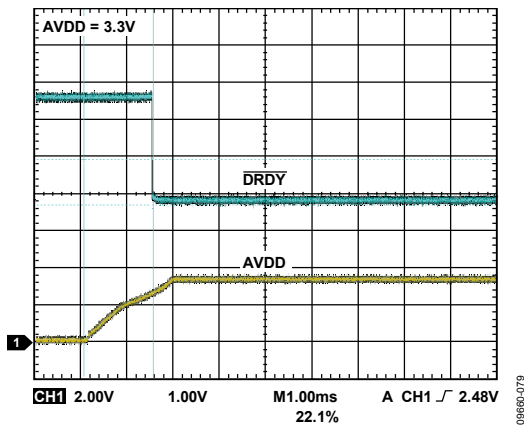


图 50. AVDD 线上电至DRDY变为低电平 (就绪)

应用信息

概述

ADAS1000/ADAS1000-1/ADAS1000-2 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 还能测量胸阻抗(呼吸), 检测起搏脉冲, 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/ADAS1000-1/ADAS1000-2 设计用于简化 ECG 信号采集任务, 适合监护和诊断应用。利用其提供的数据, 可以在外部 DSP、微处

理器或 FPGA 上执行后端处理。ADAS1000/ADAS1000-1/ADAS1000-2 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。

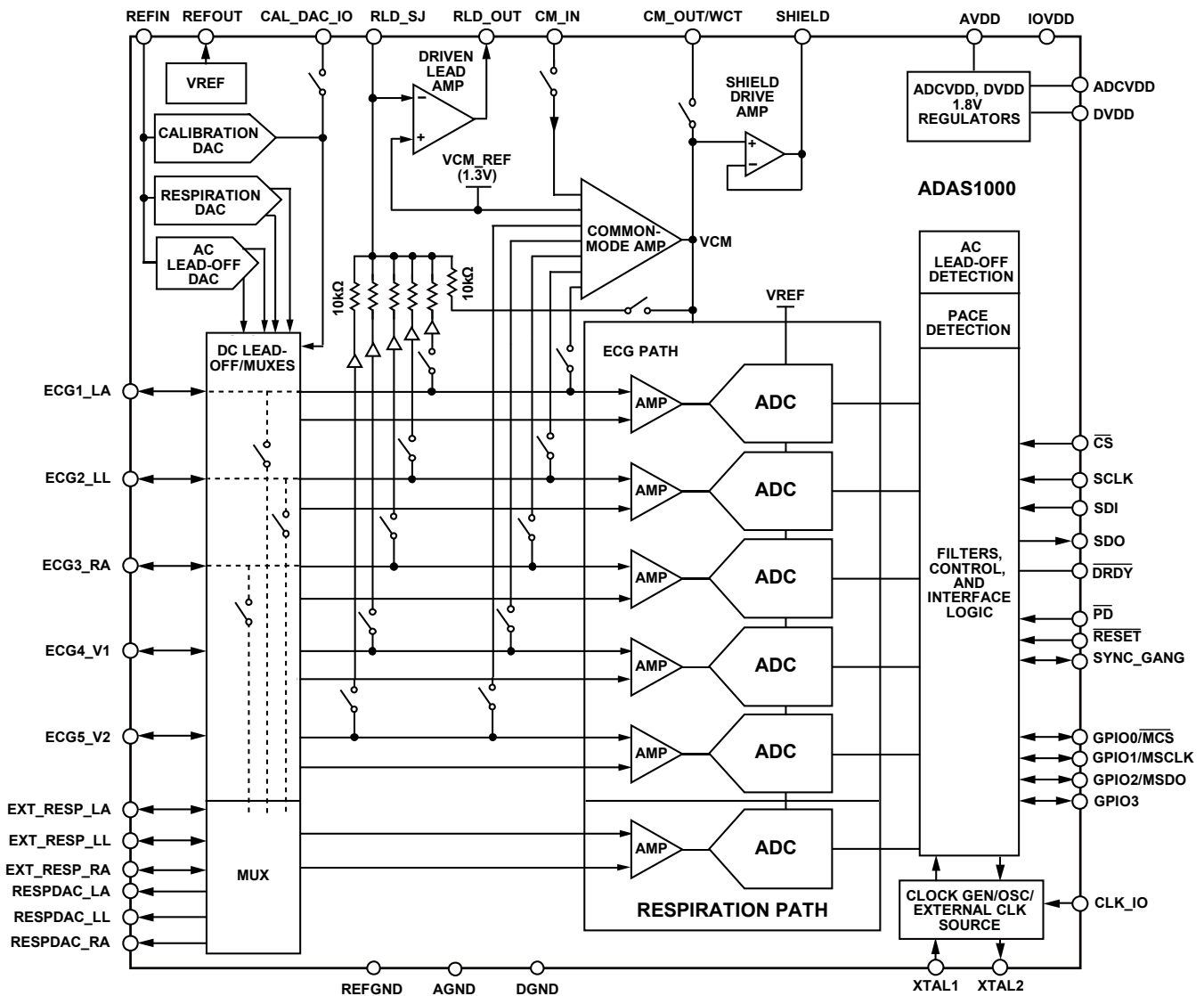


图 53. ADAS1000 简化功能框图

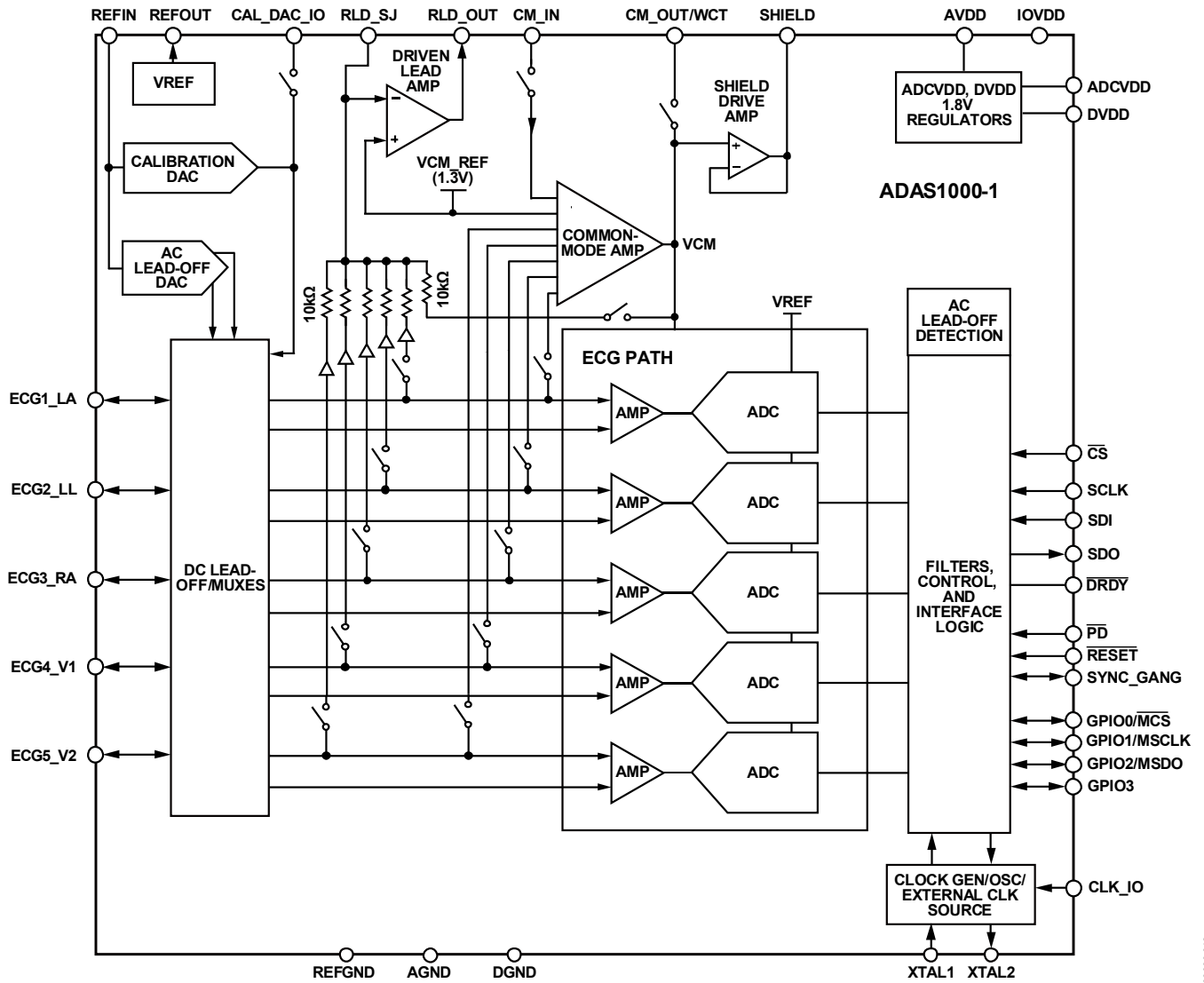


图 54. ADAS1000-1 简化功能框图

08660-012

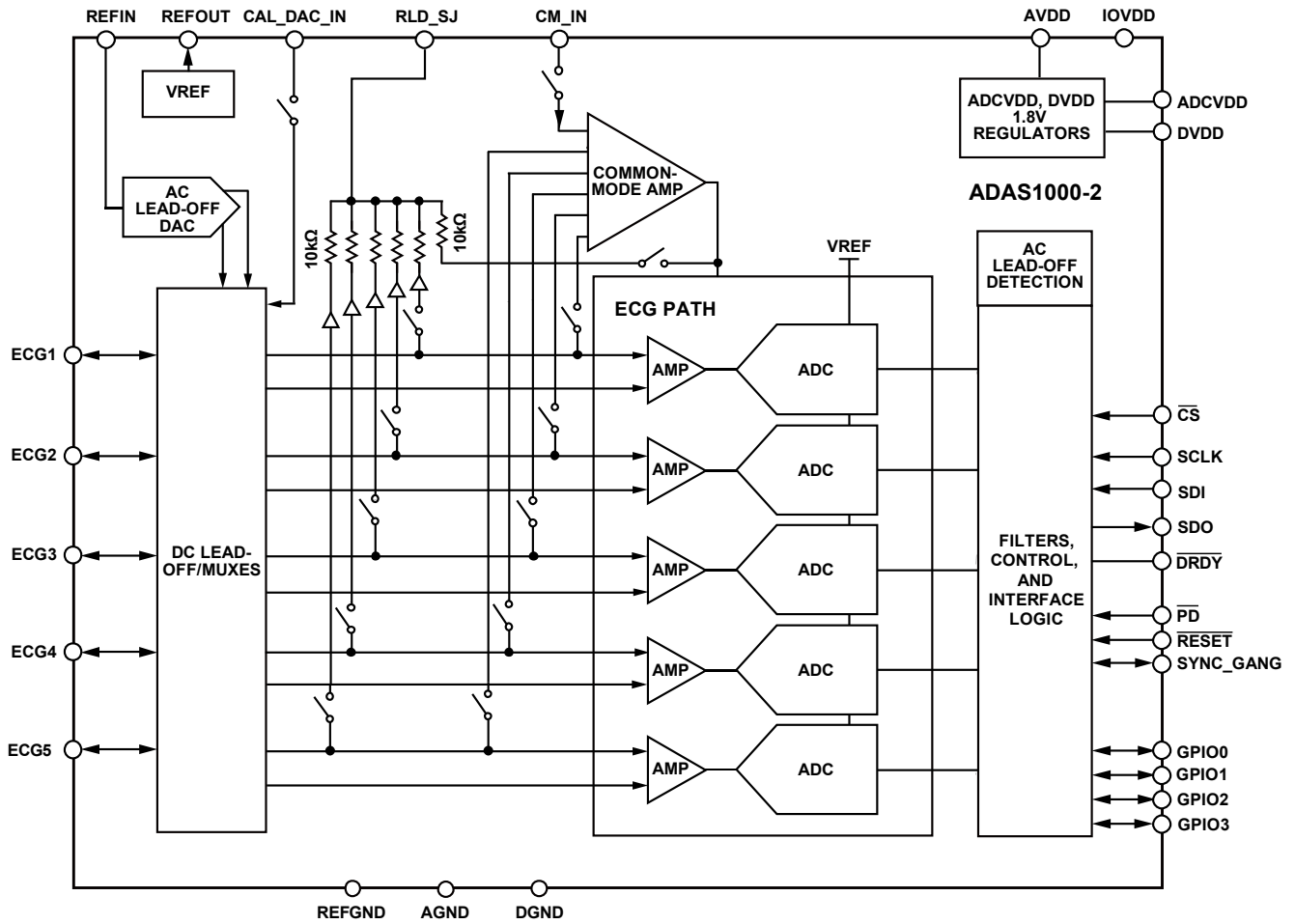


图 55. ADAS1000-2 从器件简化功能框图

09F60-013

ECG 输入—电极/导联

ADAS1000/ADAS1000-1/ADAS1000-2 ECG 产品由 5 路 ECG 输入和 1 个参考驱动 RLD（右腿驱动）组成。典型的 5 导联/矢量应用使用其中的 4 路 ECG 输入（ECG3_RA、ECG1_LA、ECG2_LL、ECG4_V1）和 RLD 路径，留下一路 ECG 备用（可用于其它目的，如校准或温度测量等）。需要时，V1 和 V2 输入通道均可用于其他测量。如此使用时，输入级的负端可以切换到内部固定 VCM_REF = 1.3 V，详情见表 50。

在 5 导联系统中，ADAS1000/ADAS1000-1/ADAS1000-2 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。其他 ECG 导联可以通过用户软件

从 ADAS1000/ADAS1000-1/ADAS1000-2 提供的导联数据或电极数据计算。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，如图 58 所示。此数据速率无法使用数字导联模式。

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可以根据电极测量和计算提供导联信息，而不是从其他导联数字换算得出导联。

表 10 列出了从各电极测量结果计算导联（矢量）的方法。

表 10. 道路组成¹

	引脚名称	组成	等价公式
ADAS1000或ADAS1000-1	I	LA – RA	$-0.5 \times (I + II)$ $0.5 \times (I - III)$ $0.5 \times (II + III)$
	II	LL – RA	
	III	LL – LA	
	aVR ²	RA – 0.5 × (LA + LL)	
	aVL ²	LA – 0.5 × (LL + RA)	
	aVF ²	LL – 0.5 × (LA + RA)	
	V1'	V1 – 0.333 × (LA + RA + LL)	
	V2'	V2 – 0.333 × (LA + RA + LL)	
增加ADAS1000-2从器件后实现的12导联	V3'	V3 – 0.333 × (LA + RA + LL)	
	V4'	V4 – 0.333 × (LA + RA + LL)	
	V5'	V5 – 0.333 × (LA + RA + LL)	
	V6'	V6 – 0.333 × (LA + RA + LL)	

¹ 这些导联组成适用于ADAS1000主器件配置为导联模式（模拟或数字导联模式）且VCM = WCT = (RA + LA + LL)/3的场合。利用主从器件配置12导联时，从主器件(CM_OUT)获得的VCM信号施加于从器件的CM_IN。为使从器件正确工作，从器件必须配置为电极模式（参见表37中的FRMCTL寄存器）。

² 这些扩充导联不是在ADAS1000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，一个固定增益的抗混叠滤波器，缓冲器，以及一个 ADC（见图 56）。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他电极和/或威尔逊中心电端(WCT)，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/ADAS1000-1/ADAS1000-2 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 本身是一个 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 $2 \times VREF$ 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。ADAS1000 含有指示 ADC 数据是否超出范围（意味着硬电极脱落状态）的标志。可编程超量程和欠量程阈值在 LOFFUTH 和 LOFFLTH 寄存器中显示（分别参见表 39 和表 40）。ADC 超范围标志包含在表头字中（参见表 54）。

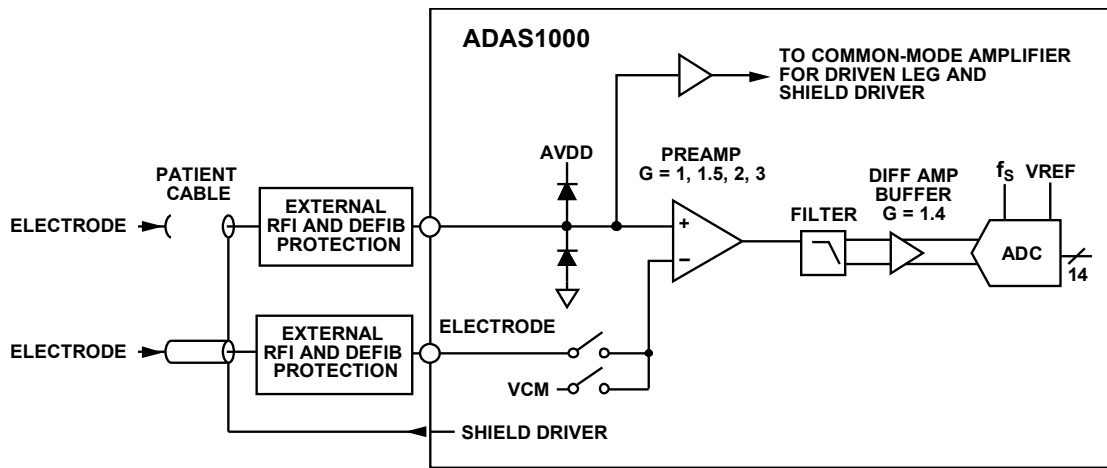


图 56. 单个 ECG 通道的简化示意图

电极/导联信息和输入级配置

ADAS1000/ADAS1000-1/ADAS1000-2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，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37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。

模拟导联模式和计算

当CHCONFIG = 1时，导联在模拟输入级中配置，如图58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。

数字导联模式和计算

当ADAS1000/ADAS1000-1/ADAS1000-2配置为数字导联模式时（参见表37的FRMCTL寄存器0x0A[4]），数字内核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。计算V1'和V2'需要WCT，用于此目的的WCT也是在内部计算。这种模式会忽略CMREFCTL寄存器（寄存器0x05）指定的共模配置。数字导联计算仅适用于2 kHz和16 kHz两种数据速率（参见图59）。

电极模式：单端输入电极配置

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32所示（参见图61）。

电极模式：公共电极A和电极B配置

这种模式下，所有电极均相对一个公共电极进行数字化，例如RA。标准导联必须通过后处理 ADAS1000/ADAS1000-1/ADAS1000-2的输出数据来计算（参见图60和图62）。

MODE	COMMENT	WORD1	WORD2	WORD3	WORD4	WORD5	0x0A [4] ¹	0x01 [10] ²	0x05 [8] ³
ANALOG LEAD	ANALOG LEAD	LEAD I (LA - RA)	LEAD II (LL - RA)	LEAD III (LL - LA)	V1' (V1 - VCM)	V2' (V2 - VCM)	0	1	0
DIGITAL LEAD	SINGLE-ENDED INPUT, DIGITALLY CALCULATED LEADS	LEAD I (LA - RA)	LEAD II (LL - RA)	LEAD III (LL - LA)	V1' (V1 - WCT ⁴)	V2' (V2 - WCT ⁴)	0	0	0
COMMON ELECTRODE A	COMMON ELECTRODE (CE) LEADS (HERE RA ELECTRODE IS CONNECTED TO THE CE ELECTRODE (CM_IN) AND V3 IS ON ECG3 INPUT)	LEAD I (LA - RA)	LEAD II (LL - RA)	V3' (V3 - RA) - (LA - RA) - (LL - RA) 3	V1' (V1 - RA) - (LA - RA) + (LL - RA) 3	V2' (V2 - RA) - (LA - RA) + (LL - RA) 3	0	0	1
SINGLE-ENDED INPUT ELECTRODE	SINGLE-ENDED INPUT ELECTRODE RELATIVE TO VCM	LA - VCM	LL - VCM	RA - VCM	V1 - VCM	V2 - VCM	1	0	0
COMMON ELECTRODE B	LEADS FORMED RELATIVE TO A COMMON ELECTRODE (CE)	LA - CE	LL - CE	V1 - CE	V2 - CE	V3 - CE	1	0	1

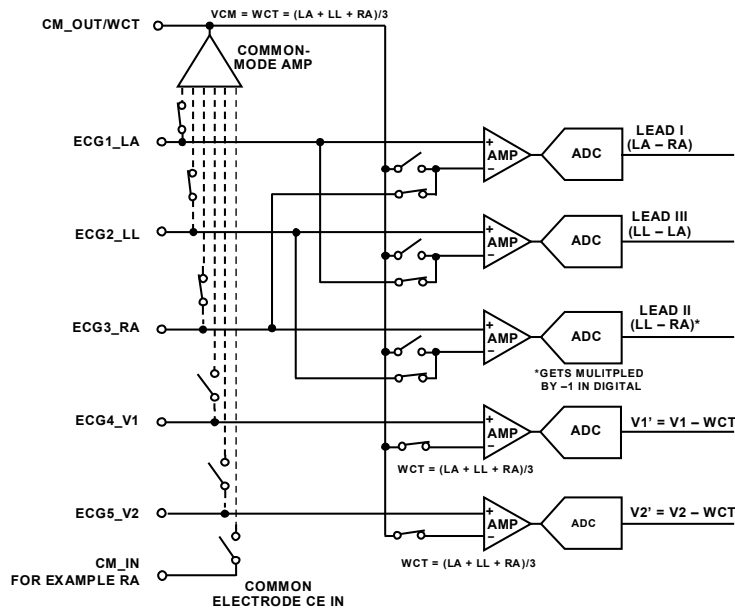
¹REGISTER FRMCTL, BIT DATAFMT: 0 = LEAD/VECTOR MODE; 1 = ELECTRODE MODE.

²REGISTER ECGCTL, BIT CHCONFIG: 0 = SINGLE ENDED INPUT (DIGITAL LEAD MODE OR ELECTRODE MODE); 1 = DIFFERENTIAL INPUT (ANALOG LEAD MODE).

³REGISTER CMREFCTL, BIT CEREFEN: 0 = CE DISABLED; 1 = CE ENABLED.

⁴WILSON CENTRAL TERMINAL (WCT) = (RA + LA + LL)/3, THIS IS A DIGITALLY CALCULATED WCT BASED ON THE RA, LA, LL MEASUREMENTS.

图 57. 电极和导联配置

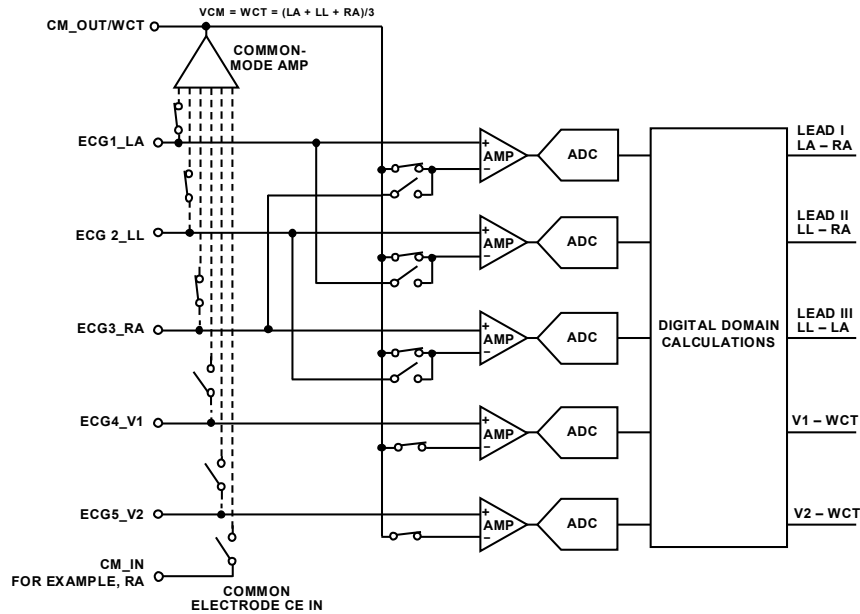


MODE	COMMENT	WORD1	WORD2	WORD3	WORD4	WORD5	0x0A [4] ¹	0x01 [10] ²	0x05 [8] ³
ANALOG LEAD	ANALOG LEAD	LEAD I (LA - RA)	LEAD II (LL - RA)	LEAD III (LL - LA)	V1' (V1 - VCM)	V2' (V2 - VCM)	0	1	0

¹REGISTER FRMCTL, BIT DATAFMT: 0 = LEAD/VECTOR MODE; 1 = ELECTRODE MODE.
²REGISTER ECGCTL, BIT CHCONFIG: 0 = SINGLE ENDED INPUT (DIGITAL LEAD MODE OR ELECTRODE MODE); 1 = DIFFERENTIAL INPUT (ANALOG LEAD MODE).
³REGISTER CMREFCTL, BIT CEREFEN: 0 = CE DISABLED; 1 = CE ENABLED.

09660016

图 58. 电极和导联配置，模拟导联模式

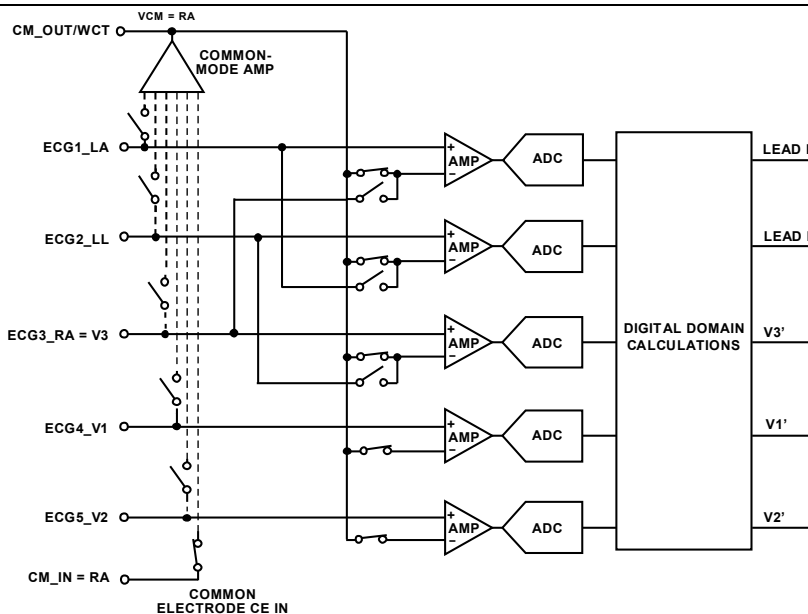


MODE	COMMENT	WORD1	WORD2	WORD3	WORD4	WORD5	0x0A [4] ¹	0x01 [10] ²	0x05 [8] ³
DIGITAL LEAD	SINGLE-ENDED INPUT, DIGITALLY CALCULATED LEADS	LEAD I (LA - RA)	LEAD II (LL - RA)	LEAD III (LL - LA)	V1' (V1 - WCT ⁴)	V2' (V2 - WCT ⁴)	0	0	0

¹REGISTER FRMCTL, BIT DATAFMT: 0 = LEAD/VECTOR MODE; 1 = ELECTRODE MODE.
²REGISTER ECGCTL, BIT CHCONFIG: 0 = SINGLE ENDED INPUT (DIGITAL LEAD MODE OR ELECTRODE MODE); 1 = DIFFERENTIAL INPUT (ANALOG LEAD MODE).
³REGISTER CMREFCTL, BIT CEREFEN: 0 = CE DISABLED; 1 = CE ENABLED.
⁴WILSON CENTRAL TERMINAL (WCT) = (RA + LA + LL)/3, THIS IS A DIGITALLY CALCULATED WCT BASED ON THE RA, LA, LL MEASUREMENTS.

09660016

图 59. 电极和导联配置，数字导联模式



MODE	COMMENT	WORD1	WORD2	WORD3	WORD4	WORD5	0x0A [4] ¹	0x01 [10] ²	0x05 [8] ³
COMMON ELECTRODE A	COMMON ELECTRODE (CE) LEADS (HERE RA ELECTRODE IS CONNECTED TO THE CE ELECTRODE (CM_IN) AND V3 IS ON ECG3 INPUT)	LEAD I (LA - RA)	LEAD II (LL - RA)	V3' (V3 - RA) - (LA - RA) - (LL - RA) 3	V1' (V1 - RA) - (LA - RA) + (LL - RA) 3	V2' (V2 - RA) - (LA - RA) + (LL - RA) 3	0	0	1

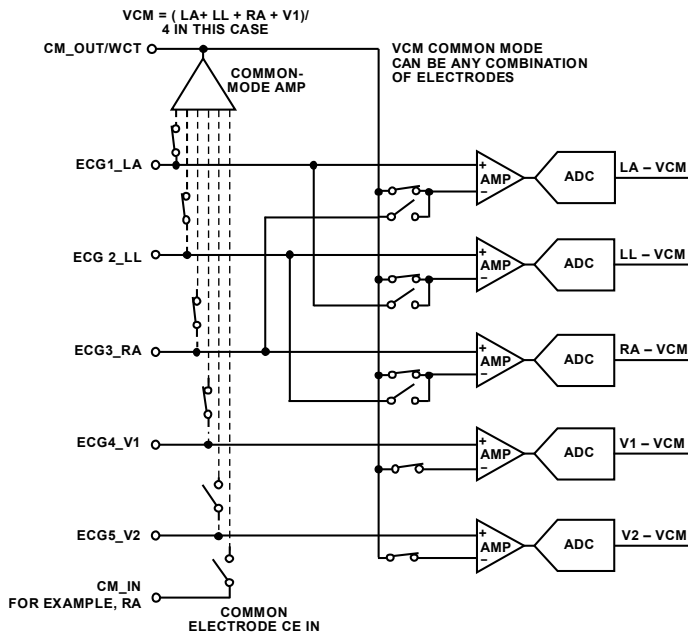
¹REGISTER FRMCTL, BIT DATAFMT: 0 = LEAD/VECTOR MODE; 1 = ELECTRODE MODE.

²REGISTER ECGCTL, BIT CHCONFIG: 0 = SINGLE ENDED INPUT (DIGITAL LEAD MODE OR ELECTRODE MODE); 1 = DIFFERENTIAL INPUT (ANALOG LEAD MODE).

³REGISTER CMREFCTL, BIT CEREFEN: 0 = CE DISABLED; 1 = CE ENABLED.

09660-017

图 60. 电极和导联配置，公共电极 A



MODE	COMMENT	WORD1	WORD2	WORD3	WORD4	WORD5	0x0A [4] ¹	0x01 [10] ²	0x05 [8] ³
SINGLE-ENDED INPUT ELECTRODE	SINGLE-ENDED INPUT ELECTRODE RELATIVE TO VCM	LA - VCM	LL - VCM	RA - VCM	V1 - VCM	V2 - VCM	1	0	0

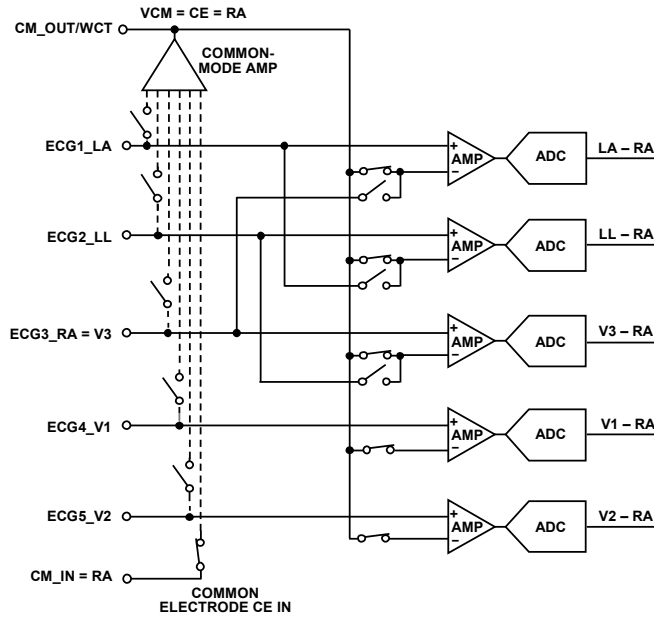
¹REGISTER FRMCTL, BIT DATAFMT: 0 = LEAD/VECTOR MODE; 1 = ELECTRODE MODE.

²REGISTER ECGCTL, BIT CHCONFIG: 0 = SINGLE ENDED INPUT (DIGITAL LEAD MODE OR ELECTRODE MODE); 1 = DIFFERENTIAL INPUT (ANALOG LEAD MODE).

³REGISTER CMREFCTL, BIT CEREFEN: 0 = CE DISABLED; 1 = CE ENABLED.

09660118

图 61. 电极和导联配置，单端输入电极



MODE	COMMENT	WORD1	WORD2	WORD3	WORD4	WORD5	0x0A [4]	0x01 [10] ²	0x05 [8] ³
COMMON ELECTRODE B	LEADS FORMED RELATIVE TO A COMMON ELECTRODE (CE)	LA - CE	LL - CE	V1 - CE	V2 - CE	V3 - CE	1	0	1

¹REGISTER FRMCTL, BIT DATAFMT: 0 = LEAD/VECTOR MODE; 1 = ELECTRODE MODE.

²REGISTER ECGCTL, BIT CHCONFIG: 0 = SINGLE ENDED INPUT (DIGITAL LEAD MODE OR ELECTRODE MODE); 1 = DIFFERENTIAL INPUT (ANALOG LEAD MODE).

³REGISTER CMREFCTL, BIT CEREFEN: 0 = CE DISABLED; 1 = CE ENABLED.

06960-119

图 62. 电极和导联配置，公共电极 B

除颤器保护

ADAS1000/ADAS1000-1/ADAS1000-2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63和图64给出了外部除颤保护的例子，每个ECG通道都需要，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/ADAS1000-1/ADAS1000-2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65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。

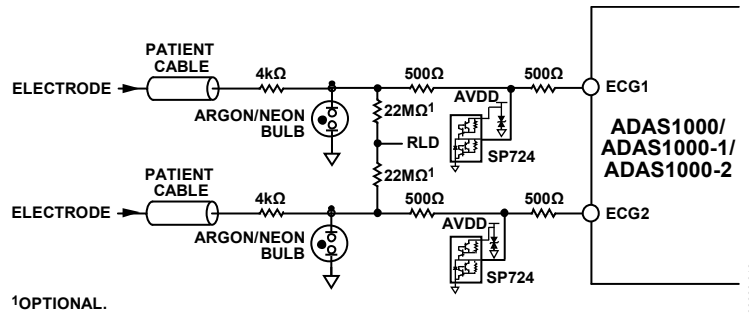


图 63. ECG 路径上的除颤保护示例—使用霓虹灯

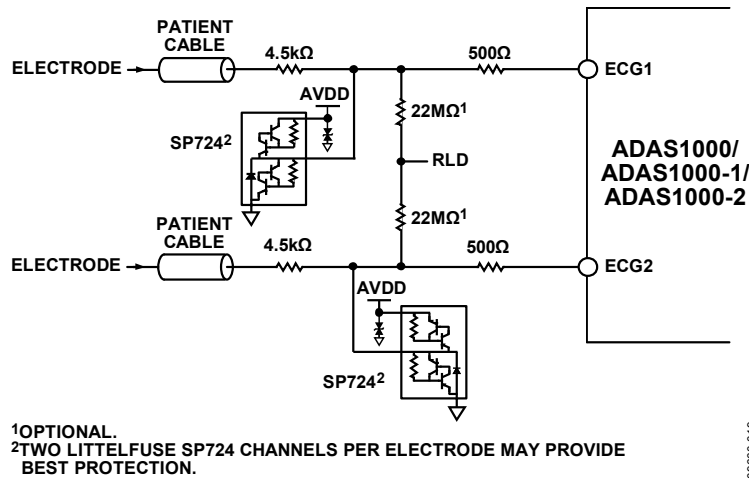


图 64. ECG 路径上的除颤保护示例—使用二极管保护

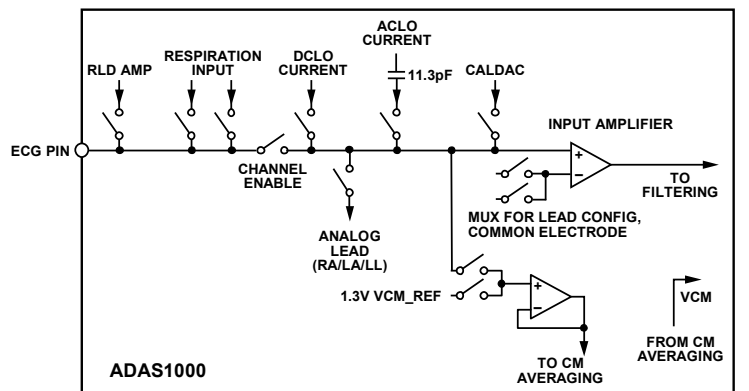


图 65. 典型 ECG 通道输入复用

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，主器件为一个或多个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66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。

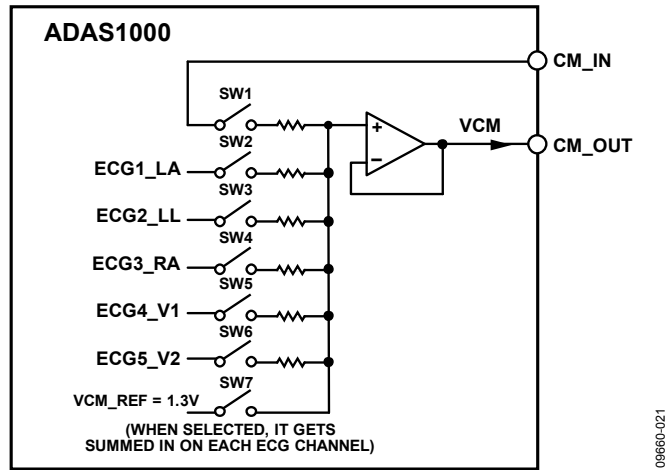


图 66. 共模产生模块

表 11. 共模选择的真值表

ECGCTL 地址 0x01 ¹	CMREFCTL地址0x05 ²								描述	
	PWREN	DRVCM	EXTCM	LACM	LLCM	RACM	V1CM	V2CM		导通开关
0	X	X	X	X	X	X	X	X		关断，路径断开
1	X	0	0	0	0	0	0	0	SW7	选择内部VCM_REF = 1.3 V
1	0	0	1	0	0	0	0	0	SW2	内部CM选择：LA贡献给VCM
1	0	0	1	1	0	0	0	0	SW2、SW3	内部CM选择：LA和LL贡献给VCM
1	0	0	1	1	1	0	0	0	SW2、SW3、SW4	内部CM选择：LA、LL和RA贡献给VCM
.
1	X	1	X	X	X	X	X	X	SW1	选择外部VCM

¹ 参见表28。

² 参见表32。

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电极实现威尔逊中断电端电压。

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/ADAS1000-1/ADAS1000-2的内部1.3 V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他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67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32）。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

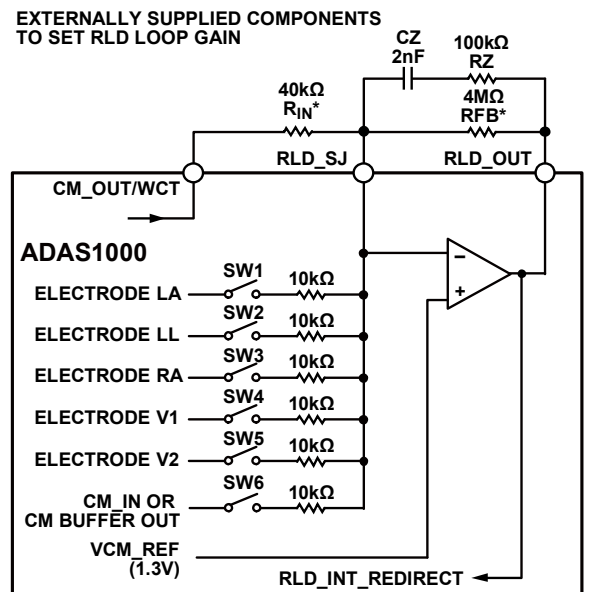
路补偿；对于具体仪器设计和电缆组件，必须根据实验确定如何补偿。有些情况下，增加导联补偿是有必要的，但在另一些情况下，腿补偿会更恰当。RLD放大器的求和结果引出到一个封装引脚(RLD_SJ)以方便补偿。

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54），从而系统软件可以采取的措施，通知用户以及/或者通过 ADAS1000/ADAS1000-1/ADAS1000-2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32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/ADAS1000-1/ADAS1000-2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67）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} = 2kΩ. RFB SHOULD BE CHOSEN ACCORDINGLY FOR DESIRED RLD LOOP GAIN.

09660-022

图 67. 右腿驱动—可能的外部器件配置

校准 DAC

ADAS1000/ADAS1000-1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65）。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源，以及/或者用作ADAS1000-2辅助芯片校准的输入。

为确保校准DAC成功更新（见表36），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51）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/ADAS1000-1/ADAS1000-2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29）。

导联脱落事件会在帧表头字中设置一个标志（见表54）。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47）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52）。

在典型ECG配置中，电极RA、LA和LL用于产生威尔逊中心电端(WCT)的共模电压。如果其中一个电极脱落，将会影响WCT信号及与其相关的任何导联测量。结果，对这些信号的ECG测量精度预计会下降。用户拥有对共模放大器的全面控制权，可以调整共模配置以消除该电极对共模产生的影响。这样，用户便可继续在其他连接的导联上进行测量。

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。这些比较器使用的阈值电压上限和下限是固定的，与增益无关，分别为2.4 V和0.2 V。如果输入超出其中之一，导联脱落标志就会置位。阈值下限用在某种原因导致电极被下拉至地的事件中。

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。全部输入引脚（RA、LA、LL、V1、V2和CM_IN）使用相同的直流导联脱落检测电路。

不过，检测右腿电极是否脱落则使用不同的电路，因为RLD_OUT是一个低阻抗放大器输出。一对固定阈值比较器监测输出电压以判断放大器是否饱和，若饱和则表示导联脱落。此信息通过DCLEAD-OFF寄存器（寄存器0x1E）提供，同时还会给出所有输入引脚的导联脱落状态。

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：

$$\text{延迟} = \text{电压} \times \text{电缆电容} / \text{编程设置的电流}$$

例如：

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

直流导联脱落和高增益

在高增益时使用直流导联脱落可能导致电路故障，进而置位导联脱落状态标志。输入放大器级的斩波特性是产生这种情况的原因之一。当电极脱落时，电极被拉高；但在此增益设置下，第一级放大器进入饱和状态，然后输入信号跨过DCLO阈值上限，导致无导联脱落标志置位。这会影响到增益设置GAIN 3 (4.2)，并且部分影响GAIN 2 (2.8)。

提高AVDD电压会提升输入放大器的饱和电压，从而允许脱落电极电压上升到足以触发DCLO比较器（其固定阈值上限为2.4 V）的水平。ADAS1000的工作电压范围是3.15 V至5.5 V。如果使用GAIN 2/GAIN 3和直流导联脱落，提高AVDD电源电压（最低3.6 V）可让直流导联脱落标志在较高增益时正确置位。

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2.039 kHz的固定载波频率，它高到足以被ADAS1000/ADAS1000-1/ADAS1000-2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。

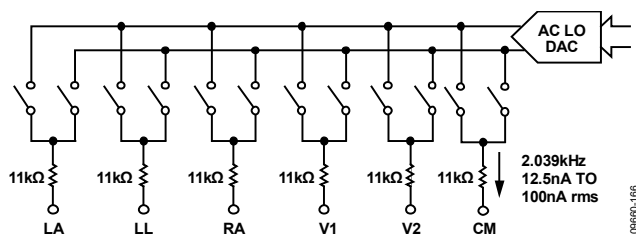


图 68. 简化交流导联脱落配置

此信号的幅度标称值为2 V p-p，中心电压为相对于芯片AGND电平的1.3 V。它交流耦合到各电极。交流导联脱落信号的极性可以通过LOFFCTL寄存器的位[23:18]，针对各电极进行配置（参见表29）。所有电极都可以同相驱动，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。仅输入引脚（LA、LL、RA、V1、V2和CM_IN）支持交流导联脱落检测，RLD_OUT引脚则不支持。

产生的模拟输入信号施加于ECG通道，经过I/Q解调后检测其幅度。得到的幅度经低通滤波后送至数字阈值检波器。

交流导联脱落检测提供用户可编程的专用阈值电压上限和下限（见表39和表40）。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。所有活动通道均使用同样的检测阈值。

当驱动电流流入右腿(RL)时，正确连接的电极会有一个非常小的信号，而断开的电极则有一个较大信号（由信号源和电缆电容构成的容性分压器决定）。

如果测得的信号大于阈值上限，则阻抗很高，导线很可能已断开。合适的阈值设置取决于具体电缆/电极/保护方案，因为对于不同的使用情形，这些参数通常是独一无二的。可从高阈值开始，然后逐渐降低，直至检测到导联脱落，然后提高该阈值以提供一定的安全裕量。

由此得到简单的动态阈值，它会自动补偿很多电路变量的影响。

阈值下限是针对仅使用交流导联脱落和电极电缆长时间断开的情况而增加的。此时，直流电压已饱和到供电轨，或者电极电缆因故短接到电源。无论何种情况，交流信号均不存在，但电极可能未连接。阈值下限检查最小信号电平。

除导联脱落标志外，用户还可以回读每通道提供的电压测量结果。测得的各电极幅度通过寄存器0x31至寄存器0x35（LOAMxx寄存器，见表52）提供。

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。

ADC 超出范围

当多个导联脱落时，输入放大器可能处于饱和状态。这会导致ADC输出超范围数据，且无载波送至导联脱落算法。因此，交流导联脱落算法报告的交流幅度非常小或没有。ADAS1000含有指示ADC数据是否超出范围（意味着硬电极脱落状态）的标志。可编程超量程和欠量程阈值可在LOFFUTH和LOFFLTH寄存器中看到（分别参见表39和表40）。ADC超范围标志包含在表头字中（参见表54）。

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，二者可以复用在一个外部电容连接。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。

呼吸（仅限 ADAS1000 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12），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。然而，EXT_RESP_LA、EXT_RESP_RA或EXT_RESP_LL路径可根据需要复用到一个ECG ADC路径，如“扩展开关导通呼吸路径”部分所述。

对ECG测量来说，呼吸信号处理路径无法重新配置，因为它是专门针对呼吸信号测量而设计的。

表 12. 最大容许电缆和胸负载

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

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69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30），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。

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，用户可以在前端任一输入滤波的病人一侧测量呼吸信号。这种情况下，用户必须继续采取措施保护EXT_RESP_xx引脚，使其免受任何超过工作电压范围的信号（如ESIS或除颤器信号）影响。

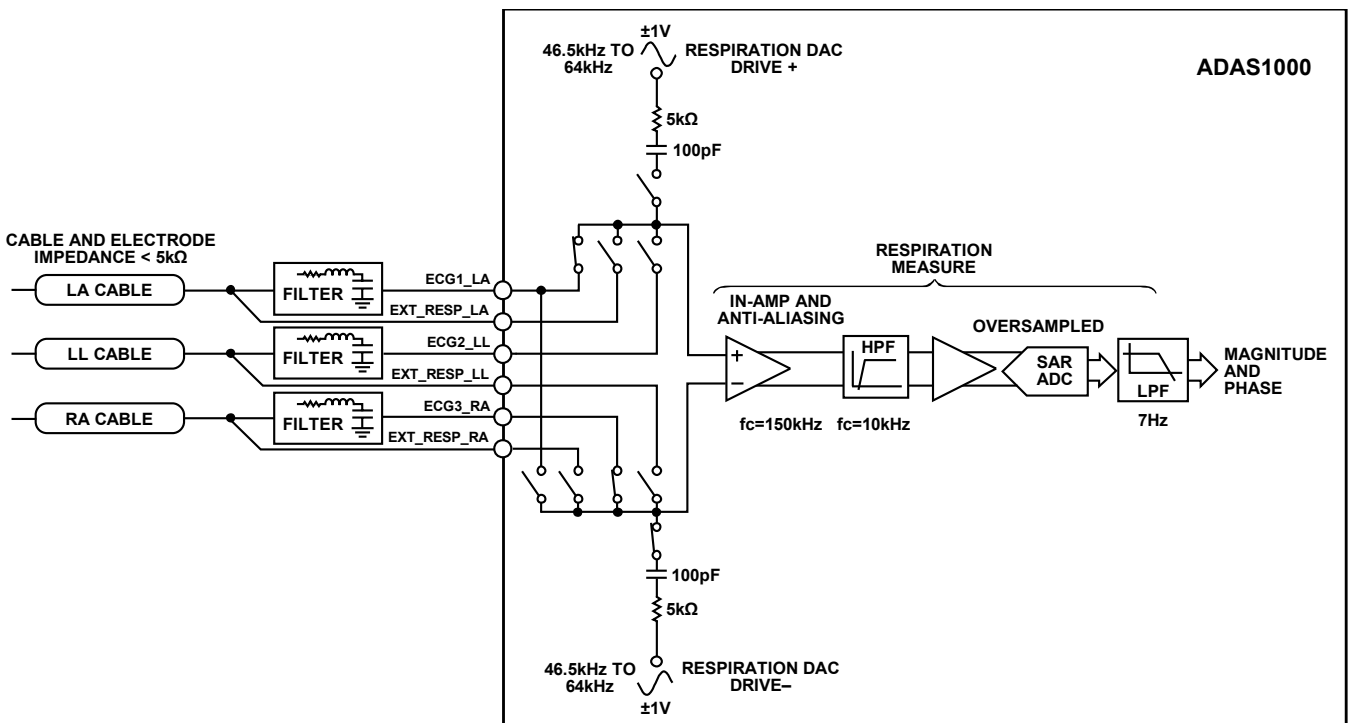


图 69. 简化呼吸框图

外部呼吸电容

如果需要，**ADAS1000**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70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。还要注意，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）。

如果需要，在**ADAS1000**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71所示。使用外部仪表放大器时，RESPCTL寄存器的位14（地址0x03，见表30）允许用户旁路片内放大器。

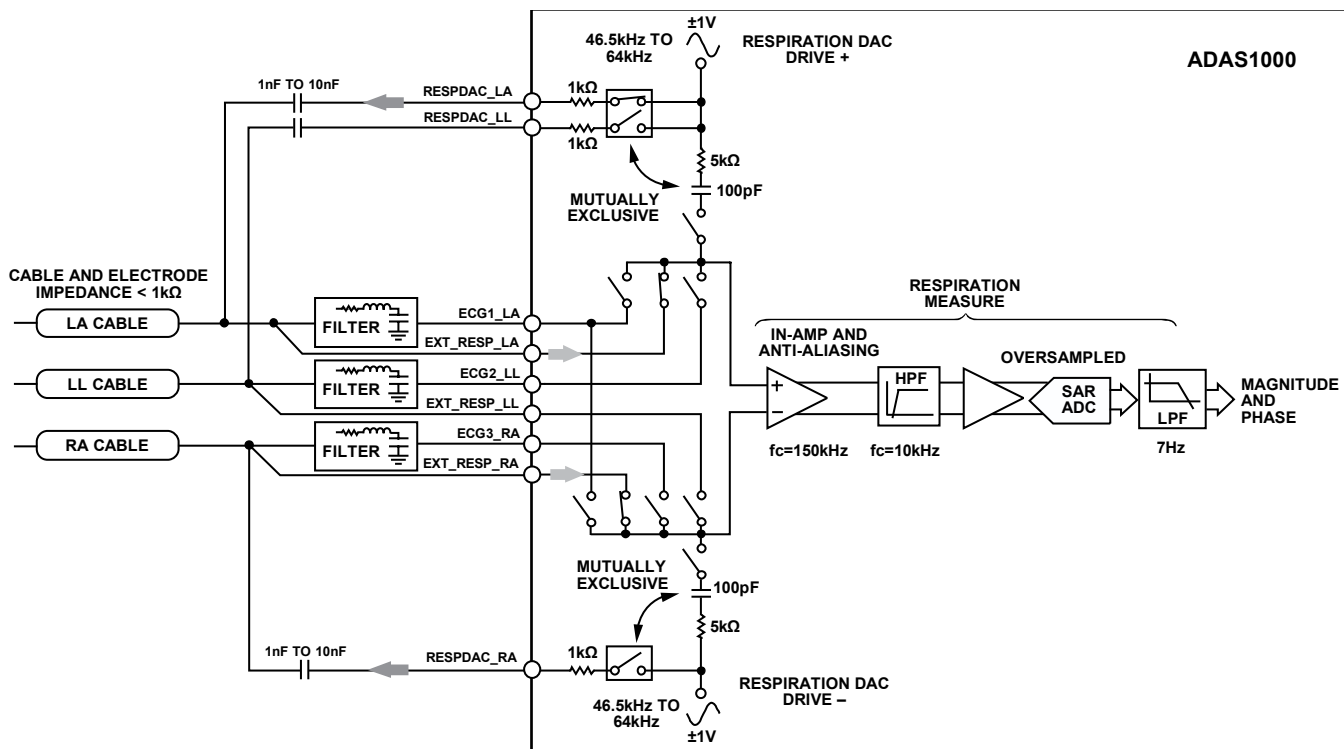


图 70. 使用外部电容的呼吸测量

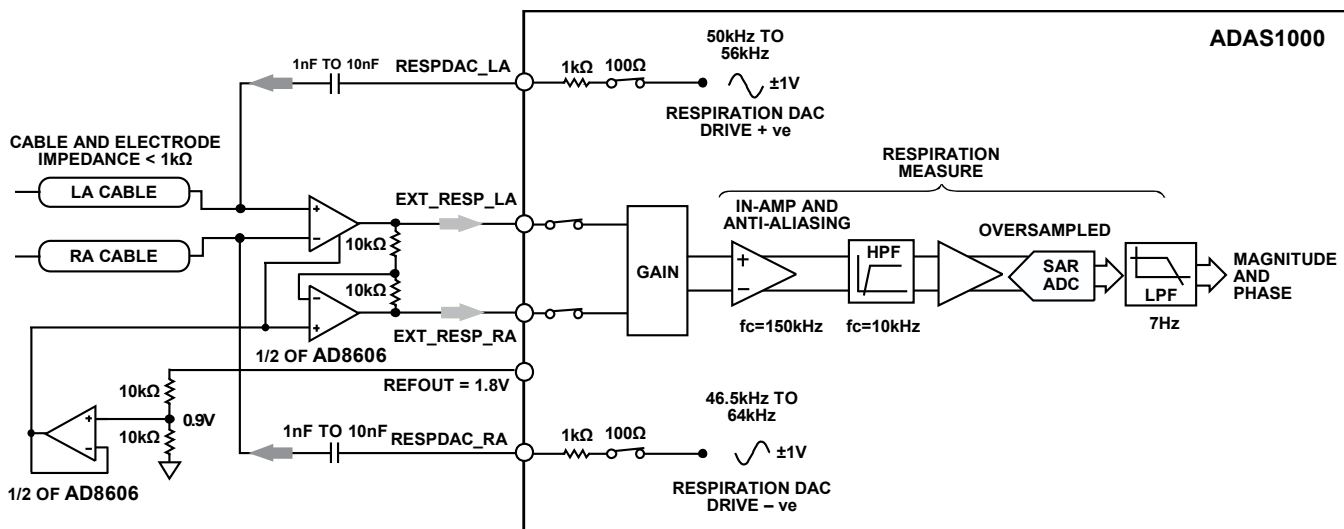


图 71. 使用外部电容和外部放大器的呼吸测量

呼吸载波频率

呼吸载波频率是可编程的，可通过RESPCTL寄存器（地址0x03，见表30）加以改变。ECGCTL寄存器中HP位的状态对载波频率也有影响，如表13所示。

表 13. 呼吸载波频率控制

RESPALTFREQ ¹	RESPEXTSYNC ¹	HP ²	RESP-FREQ ¹	呼吸载波频率
0	0	1	00	56
0	0	1	01	54
0	0	1	10	52
0	0	1	11	50
0	0	0	00	56
0	0	0	01	54
0	0	0	10	52
0	0	0	11	50
1	0	1	00	64
1	0	1	01	56.9
1	0	1	10	51.2
1	0	1	11	46.5
1	0	0	00	32
1	0	0	01	28
1	0	0	10	25.5
1	0	0	11	23

¹ RESPCTL（寄存器0x03）中的控制位。

² ECGCTL（寄存器0x01）中的控制位。

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30），可以利用GPIO3提供的信号使外部信号源与内部载波同步。

表 14. GPIO3 提供的呼吸载波频率控制

RESPALT-FREQ ¹	RESPEXT-SYNC ¹	HP ²	RESP-FREQ ¹	GPIO3上的呼吸载波频率
0	X ³	X ³	XX ³	64
1	1	1	00	64
1	1	1	01	56
1	1	1	10	51.2
1	1	1	11	46.5
1	1	0	00	32
1	1	0	01	28
1	1	0	10	25.5
1	1	0	11	23

¹ RESPCTL（寄存器0x03）中的控制位。

² ECGCTL（寄存器0x01）中的控制位。

³ X = 无关。

评估呼吸性能

利用ECG仿真器可以方便地研究ADAS1000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。

扩展开关导通呼吸路径

外部呼吸输入具有额外的复用功能，可以用作现有5个ECG ADC通道的附加电极输入。这一方法允许用户配置8路电极输入，但它不是真正的8通道/12导联解决方案。除了表16所示的滤波器延迟以外，利用串行接口重新配置多路复用器也需要时间。

用户对SW1/SW2/SW3配置具有完全的控制权，如表50所示。

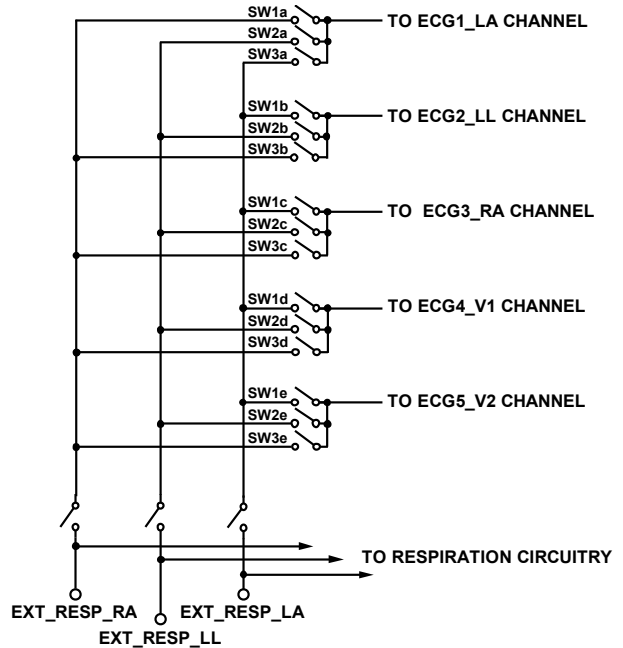


图 72. 呼吸路径的其他用途

230-0960

起搏脉冲检测功能（仅限 ADAS1000）

起搏脉冲验证功能对可能的起搏脉冲进行鉴定，并测量有效脉搏的宽度和幅度。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。

起搏脉冲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以上的起搏脉冲，其滤波器可以抑制心跳、噪声和分钟通气脉搏。起搏检测算法的流程图参见图74。

ADAS1000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54）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44）的内容来获得。通过配置帧控制寄存器（见表37），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53所示。

表 15. 起搏导联计算

0x01 [10] ¹	0x05 [8] ²	配置	0x04 [8:3] ³			
			00 导联 I (LA - RA)	01 导联 II (LL - RA)	10 导联 III (LL - LA)	11 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A	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

¹ 寄存器ECGCTL的位CHCONFIG，见表28。

² 寄存器CMREFCTL的位CEREFEN，见表32。

³ 寄存器PACECTL的位PACESEL [1:0]，见表31。

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

有三个相同且独立的状态机可用，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脉冲。所有必要的导联计算都在内部执行，与ECG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15。

起搏检测算法通过分析128 kHz ECG数据流中的样本来寻找脉搏。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，寻找前沿、峰值和后沿。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。

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脉冲。其他两个起搏导联在不用时可以禁用。

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脉搏宽度标准并通过（可选）噪声滤波器的边沿。只有那些满足所有标准的脉搏才会被标记为有效脉搏。检测到有效脉搏后，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44）。起搏算法寻找负脉搏或正脉搏。

检测算法概述

起搏脉冲幅度和宽度有很大的变化范围，同时其形状既受抽取过程中的内部滤波影响，也受电极、电缆以及用于除颤和ESIS保护的器件的低通特性影响。考虑到所有这些限制因素，ADAS1000提供用户可编程的变量来优化ECG系统内部算法的性能。对于任何特定系统设计，默认参数值可能不是最优的，需要通过试验和评估来确保获得鲁棒的性能。

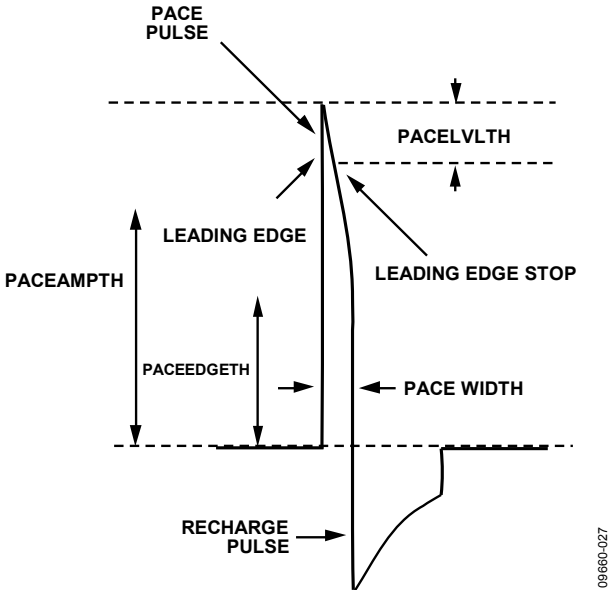


图 73. 典型起搏信号

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，算法就会核实该信号看起来是否像一个脉冲，然后开始寻找另一个极性相反且满足脉搏宽度和幅度标准并通过可选噪声滤波器的边沿。只有那些满足所有要求的脉搏才会被标记为有效脉搏。检测到有效脉搏后，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34）。

起搏算法利用一组参数，通过跟踪前沿的斜率并对内部参数符号做必要的调整，来检测正负极性的脉冲。这样，用户就可以专注于根据脉冲形状确定适当的阈值，而无需担心脉冲极性。

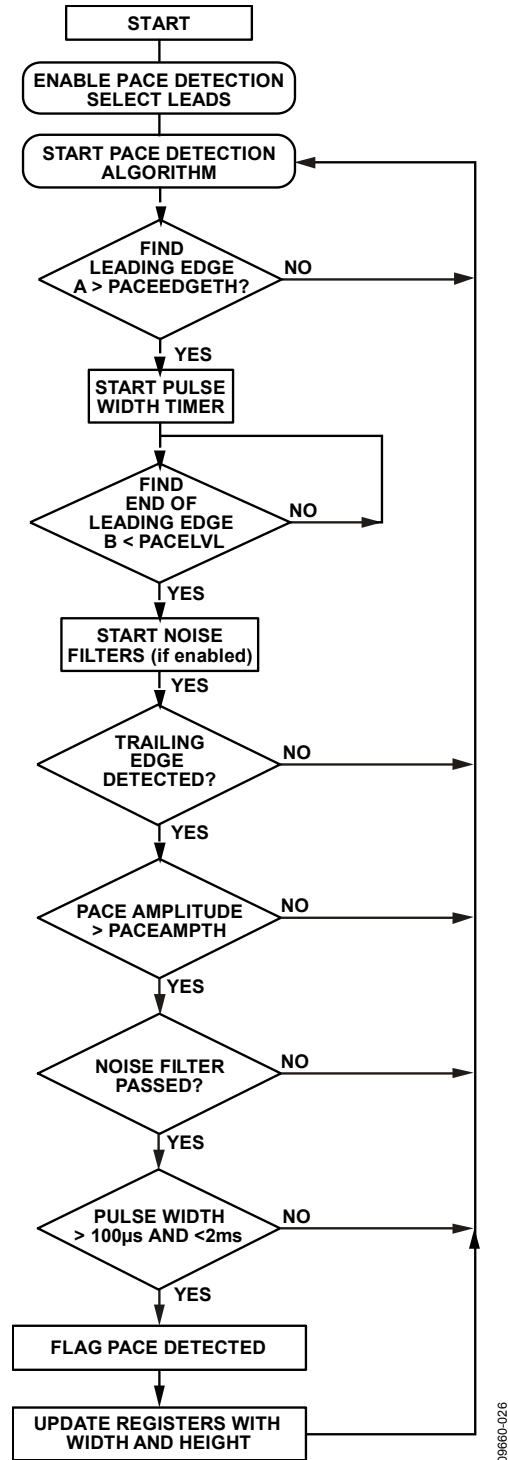


图 74. 起搏算法概览

起搏检测算法有三个用户控制的参数，分别为起搏幅度阈值(PACEAMPLTH)、起搏电平阈值(PACELVLTH)和起搏边沿阈值(PACEEDGE)。

起搏边沿阈值

此编程值（地址0x0E，见表41）用于寻找表示潜在起搏脉冲开始的前沿。候选边沿是这样的边沿：其前沿从最近的基准线跨过阈值PACEEDGETH。PACEEDGETH可以是0到255的任意值。PACEEDGETH设为0时，对应的值为PACEAMPTH/2（参见公式）。非零值对应的阈值通过下式计算：

$$PACEEDGETH \text{ 设置} = \frac{N \times VREF}{GAIN \times 2^{16}}$$

其中：

N为编程设置的8位PACEEDGETH值(1 ≤ N ≤ 255)。

VREF为ADAS1000基准电压1.8 V。

GAIN为编程设置的ECG通道增益。

1.4倍增益对应的最小阈值为19.6 μV，最大阈值为5.00 mV。

起搏电平阈值

此编程值（地址0x0F，见表42）用于检测候选脉冲的前沿何时结束。一般而言，起搏脉冲不是标准正方形，其顶部（即前沿之后的部分）可能会继续略微提高或向基线回落。PACELVLTH为候选脉冲的此部分定义一个容许斜率，即起搏边沿合格后，其值在内部固定的时间间隔上的变化。

PACELVLTH是一个8位二进制补码数。正值表示离开基线（脉冲宽度仍在增加），负值表示向基线回落。

$$PACELVLTH \text{ 设置} = \frac{N \times VREF}{GAIN \times 2^{16}}$$

其中：

N为编程设置的8位PACELVLTH值(-128 ≤ N ≤ 127)。

VREF为ADAS1000基准电压1.8 V。

GAIN为编程设置的ECG通道增益。

1.4倍增益对应的最小值为9.8 μV，最大值为2.50 mV。

还有一个验证步骤，在满足PACELVLTH条件之后执行，即拒绝前沿过渡时间大于约156 μs的脉冲。此滤波器可改善对运动和其他伪像的抗扰性能，不能禁用。过于激进的ESIS滤波会导致此滤波器视有效起搏脉冲为不合格。这种情况下，提高PACEEDGETH值可实现更鲁棒的起搏脉冲检测。虽然违反常理，但此变化要求一个相对于最近基线的较大初始偏差，然后起搏检测算法才会启动，从而减少等待PACELVLTH发挥作用的时间，并缩短视在前沿过渡时间。提高PACEEDGETH值可能需要降低PACEAMPTH值。

起搏幅度阈值

此寄存器（地址0x07，见表34）用来设置最小有效起搏脉冲幅度。PACEAMPTH是一个无符号8位数。编程设置的高度计算如下：

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

其中：

N为编程设置的8位PACEAMPTH值(1 ≤ N ≤ 255)。

VREF为ADAS1000基准电压1.8 V。

GAIN为编程设置的ECG通道增益。

1.4倍增益对应的最小阈值为19.6 μV，最大阈值为5.00 mV。PACEAMPTH通常设置为预期最小起搏幅度，必须大于PACEEDGETH值。

对于增益 = 1设置，默认寄存器设置N = 0x24对应于706 μV。位于700 μV和1 mV之间的初始PACEAMPTH设置为单极性和双心室起搏检测提供了一个很好的出发点。不建议使用250 μV以下的值，因为这会大大提高检测对来自病人的环境噪声的敏感度。当有其他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。

起搏验证滤波器

成功通过PACEEDGETH、PACELVLTH和PACEAMPTH组合测试的候选脉冲随后被送至两个可选验证滤波器。这些滤波器用于抑制低于阈值的脉冲，如分钟通气(MV)脉冲和来自电感耦合植入式遥测系统的信号等。这些滤波器利用数个样本对脉冲形状执行不同测试。两个滤波器均默认使能。滤波器1由PACECTL寄存器的位9控制（见表31），滤波器2由该寄存器的位10控制。这些滤波器不是针对各导单独适用的；一旦使能，它们就会适用于起搏检测所用的全部导联。

起搏宽度滤波器

候选脉冲成功通过边沿、幅度和噪声滤波器之后，最后还要检查其宽度。当这个最后的滤波器使能时，它检查候选脉冲的宽度是否在100 μs到2 ms之间。检测到有效起搏宽度后，就会存储该宽度。禁用此滤波器仅影响最小宽度(100 μs)确定，此滤波器的最大宽度检测部分始终有效。此滤波器由PACECTL寄存器的位11（见表31）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 μ 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和评估板，将一个起搏器连接到各种仿真负载（约200 Ω 至2 k Ω 以上），并且涵盖以下4个波形拐角。

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

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的起搏检测算法是按照医疗仪器标准进行设计（起搏宽度为100 μ s到2.00 ms，幅度为<400 μ V到>1000 mV），而一些仿真器输出的信号比标准要求的要宽或窄。为了支持仿真器变化范围，起搏检测算法可测量的最大起搏宽度为2 ms，裕量为0.25 ms。

起搏宽度

ADAS1000能够测量的起搏宽度是100 μ s到2.00 ms。实测起搏宽度通过PACExDATA寄存器提供。这些寄存器的分辨率有限。最小起搏宽度为101.56 μ s，最大起搏宽度为2.00 ms。起搏检测算法总是返回一个比在50%点时测得的值要大的宽度，确保算法能够测量较窄的100 μ s脉冲。100 μ s的有效脉冲宽度报告为101.56 μ s。任何 ≥ 2.00 ms和 ≤ 2.25 ms的起搏脉冲都报告为2.00 ms。

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16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（仅限 ADAS1000 和 ADAS1000-1）

用户若想采用自己的起搏检测方案，可使用ADAS1000/ADAS1000-1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/ADAS1000-1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应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 75 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 16 列出了不同数据速率下的滤波器延迟。

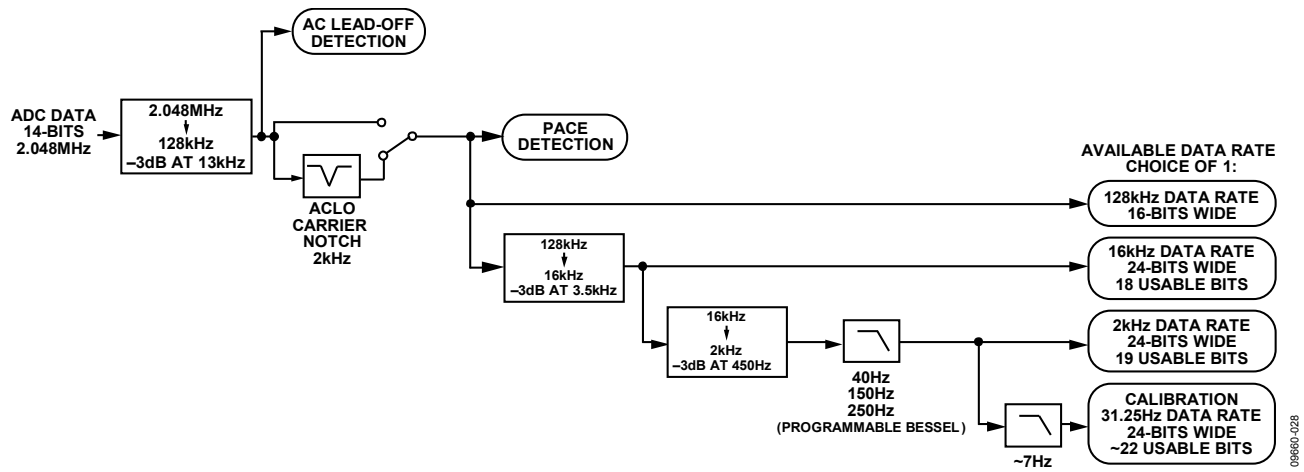


图 75. ECG 通道滤波器信号流

表 16. 起搏导联计算

数据速率	条件	ECG数据相对于起搏事件的视在延迟 ⁴
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

¹ ECG波形延迟是指阶跃输入后达到最终值50%所需的时间。

² 通过设计保证，但未经生产测试。

³ 确定起搏脉冲后沿时，存在无法避免的8 μs残余不确定性。

⁴ 增加38 μs以获得任何设置的绝对延迟。

基准电压源

ADAS1000/ADAS1000-1/ADAS1000-2 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 μ 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 Ω ）的 10 μ F 电容与 0.01 μ 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

虽然单个 ADAS1000 或 ADAS1000-1 提供的 ECG 通道能够支持一个 5 电极和单 RLD 电极（或最多 8 导联）系统，但也可以将多个器件并联，从而轻松扩展为更大的系统。这种工作模式下，一个 ADAS1000 或 ADAS1000-1 主器件可以轻松地与一个或多个 ADAS1000-2 从器件一起工作。这种配置中，一个器件（ADAS1000 或 ADAS1000-1）是主器件，其他器件是从器件。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_x 导联相对于 WCT 进行测量，则用户必须将 ADAS1000 或 ADAS1000-1 主器件配置为导联模式，并将 ADAS1000-2 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 43）。

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 或 ADAS1000-1 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 28）。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。

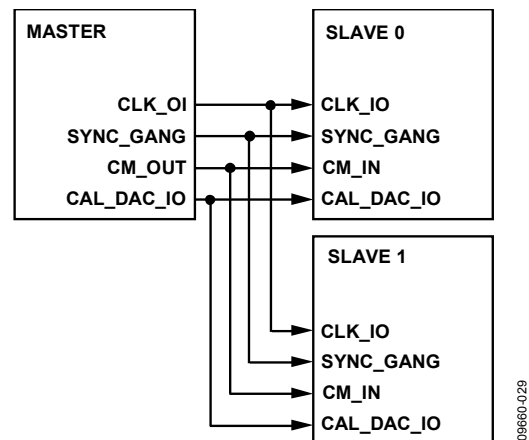


图 76. 组合模式下的主/从连接，使用多个 ADAS1000/ADAS1000-1/ADAS1000-2 器件

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，并用作其他器件（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 36 进行配置。

共模

ADAS1000/ADAS1000-1 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 32 中的 CMREFCTL 寄存器。图 77 显示了使用多个 ADAS1000/ADAS1000-2 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 28) 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。

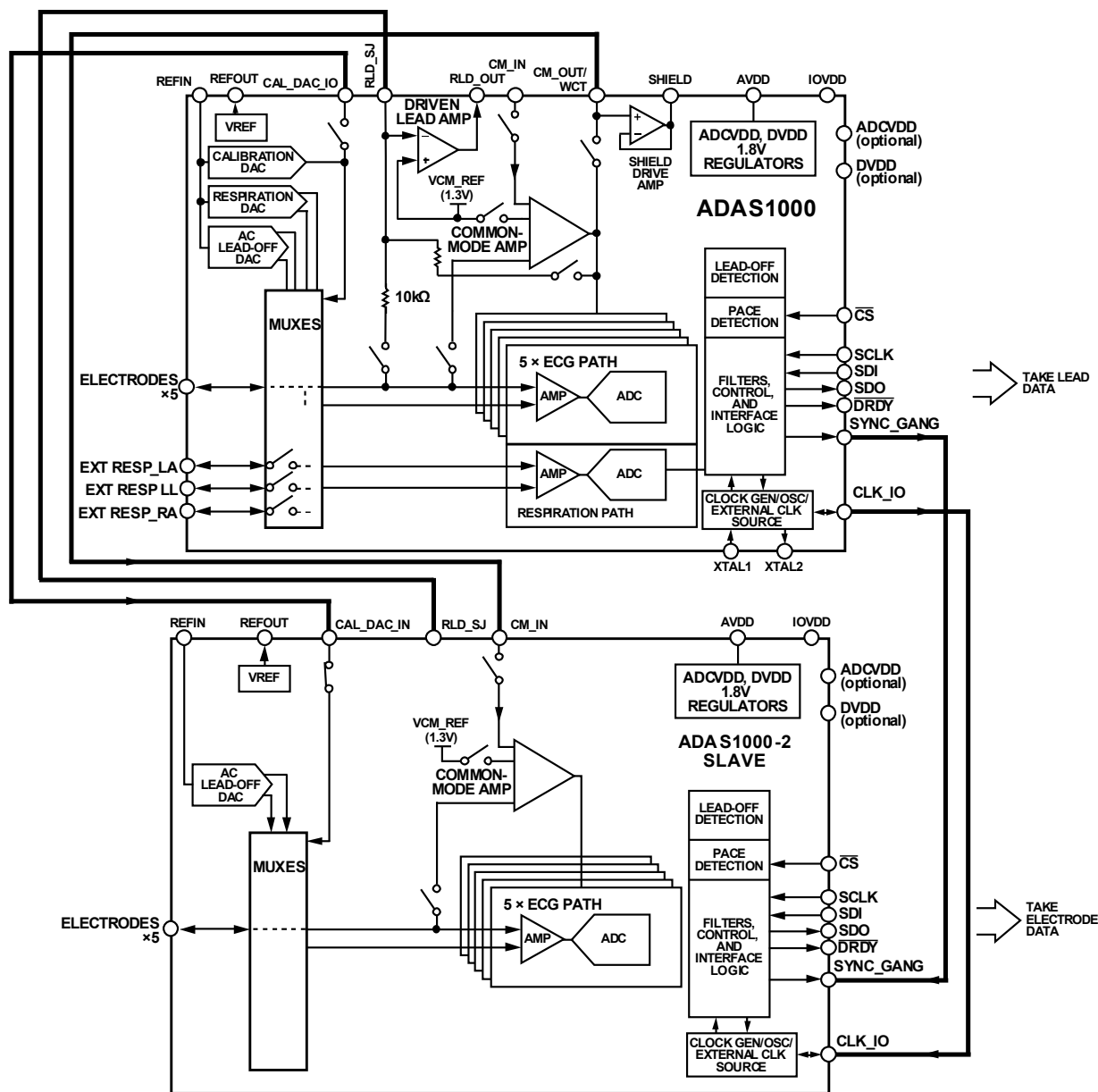


图 77. 配置多个器件以扩大电极/导联数量
(此例将 ADAS1000 用作主器件，ADAS1000-2 用作从器件。类似地，ADAS1000-1 也可用作主器件。)

组合模式下的接口

如图 77 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 78 所示的例子说明了主从器件接口的一种可能性。

注意，这里的SCLK、SDO和SDI与各CS线共用。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。其他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 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。

表 17. 组合操作的一些可能配置

主器件	从器件 ¹	从器件 ²	产品特性	电极数	导联数
ADAS1000	ADAS1000-2	ADAS1000-2	ECG、呼吸、起搏	10 ECG, CM_IN, RLD	12导联 + 备用ADC通道
ADAS1000	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)
ADAS1000-1	ADAS1000-2		ECG	10 ECG, CM_IN, RLD	12导联 + 备用ADC通道
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)

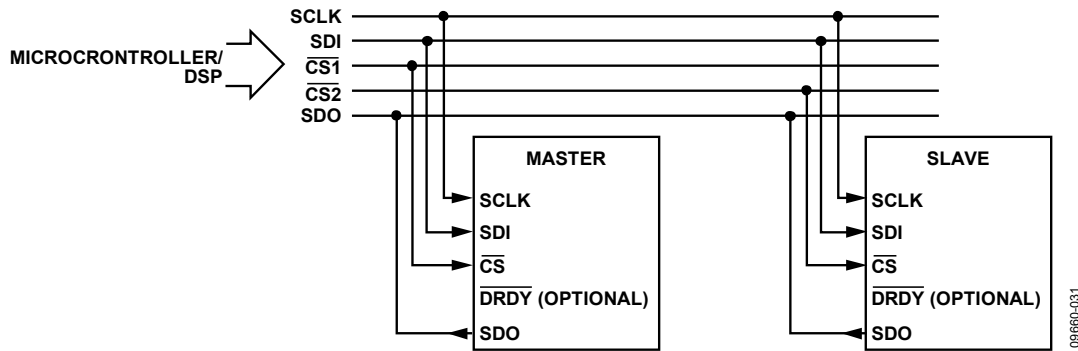


图 78. 与多个器件接口的一种方法

串行接口

ADAS1000/ADAS1000-1/ADAS1000-2 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/ADAS1000-1 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/ADAS1000-1/ADAS1000-2，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：

- CS (帧同步输入)。CS 置位低电平时选择器件。当 CS 为高电平时，忽略 SDI 引脚上的数据。如果 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。CS 引脚可以接低电平以减少需要隔离的路径数量。当 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。用户可以令 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 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。当 CS 为高电平时，SDO 输出驱动器处于高阻态。
- 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/ADAS1000-1/ADAS1000-2 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。主机控制器须将 DRDY 信号当作电平敏感输入进行处理。

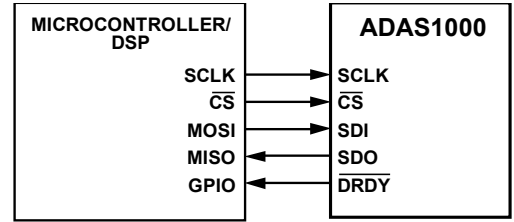


图 79. 串行接口

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。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/ADAS1000-1/ADAS1000-2。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 CS 重新拉高。寻址的输入寄存器在 CS 的上升沿更新。若需进行其它串行传输，必须将 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 CS 的上升沿或后续字的第一个周期更新。对于 ADAS1000/ADAS1000-1/ADAS1000-2 的所有写命令，数据字为 32 位，如表 18 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 18. 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 19 所示。

表 19. 写/读数据流

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	表头	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 22）。对于 128 kHz 数据速率，字以 16 位数据格式提供（见表 23）。

配置完成后，用户就可以向帧表头寄存器（见表 54）发出一个读取命令，以便开始读取帧。ADAS1000/ADAS1000-1/ADAS1000-2 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。

默认情况下，以 2 kHz 或 16 kHz 数据速率读取时，一帧包含 11 × 32 位字；以 128 kHz 数据速率读取时，一帧包含 13 × 16 位字。默认帧配置不包括可选呼吸相位字，但需要时可以包括此字。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 37）中配置适当的位。每帧的完整字集是 12 × 32 位字（2 kHz 或 16 kHz 数据速率）或 15 × 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 54）才能重新开始帧传输。

表 22. 默认 2 kHz 和 16 kHz 数据速率：32 位帧字格式

寄存器	表头	导联I/LA	导联II/LL	导联III/RA	V1'/V1	V2'/V2	起搏	RESPM	RESPPH	LOFF	GPIO	CRC
地址	0x40	0x11	0x12	0x13	0x14	0x15	0x1A	0x1B	0x1C	0x1D	0x06	0x41

表 23. 默认 128 kHz 数据速率：16 位帧字格式¹

寄存器	表头	导联I/LA	导联II/LL	导联III/RA	V1'/V1	V2'/V2	PACE1	PACE2	RESPM1	RESPM2	LOFF	GPIO	CRC
地址	0x40	0x11	0x12	0x13	0x14	0x15	0x1A		0x1B		0x1D	0x06	0x41

¹ 此帧未显示呼吸相位字（2 × 16位字），但可以包括。

读取模式

虽然 ADAS1000/ADAS1000-1/ADAS1000-2 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 54）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 20. 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。

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

不同帧速率下的最小 SCLK 如表 21 所示。

表 21. 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 ¹	最小SCLK
128 kHz	16位	15字	30.72 MHz
16 kHz	32位	12字	6.14 MHz
2 kHz	32位	12字	768 kHz

¹ 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37。

内部操作与内部 2.048 MHz 或 1.024 MHz 主时钟同步 (ECGCTL[3]; HP = 1 和 HP = 0, 见表 28)。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。

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

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 37) 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 ECGCTL 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/ADAS1000-1/ADAS1000-2 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 $\overline{\text{CS}}$ 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 43)。在 ADAS1000/ADAS1000-1/ADAS1000-2 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 37 中帧控制寄存器的位 6 (RDYRPT)。

主机控制器必须读取整帧以确保 $\overline{\text{DRDY}}$ 返回到低电平并就绪。如果主机控制器将 $\overline{\text{DRDY}}$ 当作边沿触发信号处理, 并且错失一帧或下溢, 则 $\overline{\text{DRDY}}$ 会保持高电平, 因为仍有数据可供读取。主机控制器必须将 $\overline{\text{DRDY}}$ 当作电平触发信号处理, 确保它不论在什么时候变为低电平, 都会产生一个中断以启动SPI帧传输。传输完成时, $\overline{\text{DRDY}}$ 变回高电平。

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 54) 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 残余值均预设为全 1，传输前反转。表 24 总结了 CRC 参数。要验证数据是否正确接收，软件应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 24 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。

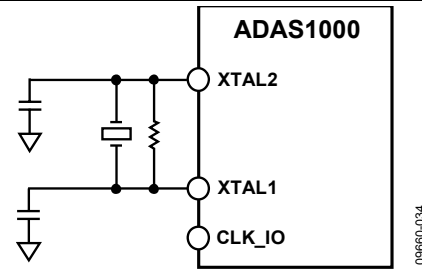


图 80. 输入时钟

时钟

ADAS1000/ADAS1000-1/ADAS1000-2 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 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 24. 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

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 位字形式提供，MSB 优先。

此接口是主接口，**ADAS1000/ADAS1000-1** 提供 SCLK、 $\overline{\text{CS}}$ 、SDO。它与现有 GPIO 引脚的共用情况如下：

- GPIO1/MSCLK
- GPIO0/ $\overline{\text{MCS}}$
- GPIO2/MSDO

此接口可以通过 GPIO 寄存器使能（见表 33）。

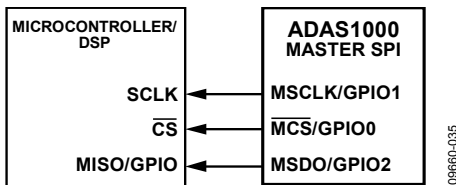


图 81. 用于外部起搏检测的主器件 SPI 接口

帧的数据格式包括：表头字、5 个 ECG 数据字（如表 25 所示），最后是 CRC 字（如表 24 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， $\overline{\text{MCS}}$ 在整帧期间置位，数据在 MSCLK 的下降沿通过 MSDO 输出。当 $\overline{\text{MCS}}$ 解除置位时，MSCLK 为高电平空闲状态。

表 25. 主器件 SPI 帧格式；所有字都是 16 位

模式/字	1	2	3	4	5	6	7
电极模式 ¹	表头	ECG1_LA	ECG2_LL	ECG3_RA	ECG4_V1	ECG5_V2	CRC
模拟导联模式 ¹	表头	导联 I	导联 III	-导联 II (RA-LL)	V1'	V2'	CRC

¹ 由 FRMCTL 寄存器数据 DATAFMT 的位 [4] 设置，参见表 37。

此接口的数据格式是固定的，不受 FRMCTL 寄存器设置影响。即使个别通道未使能，也会输出全部 7 个字。

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

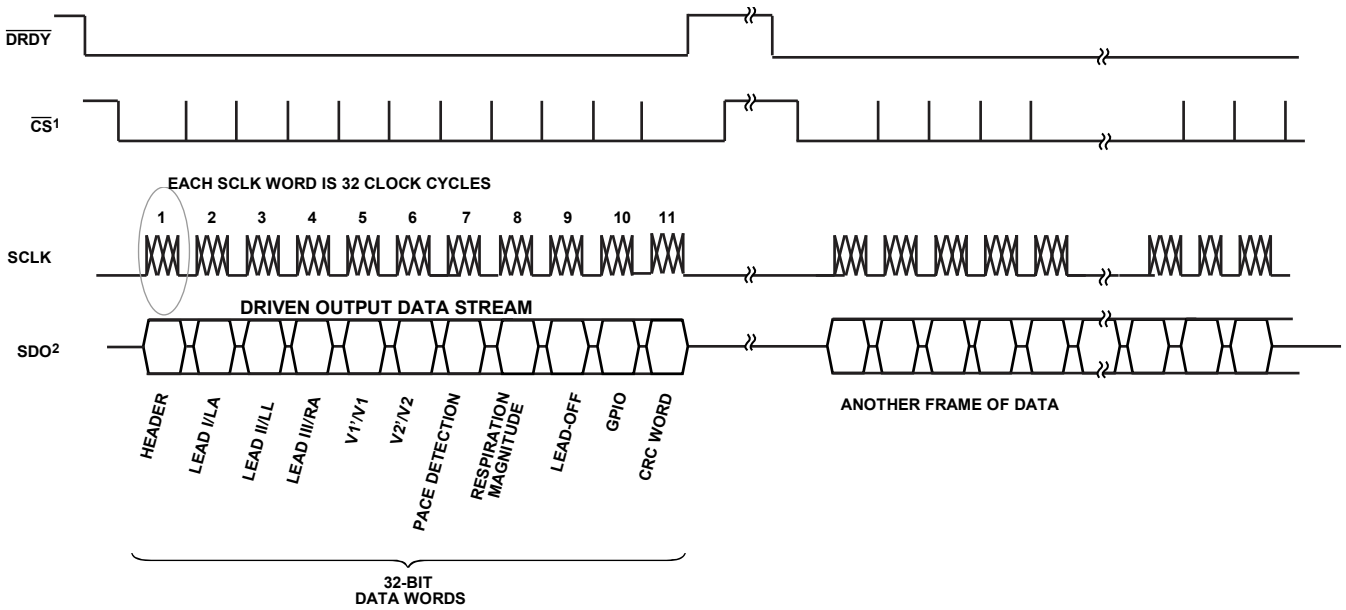
有两种方法可将 **ADAS1000/ADAS1000-1/ADAS1000-2** 复位到上电默认状态。通过将 $\overline{\text{RESET}}$ 线置为低电平，或将 ECGCTL 寄存器（表 28）中的 SWRST 位置 1，可以将所有内部寄存器的内容复位到其上电复位状态。 $\overline{\text{RESET}}$ 引脚的下降沿将启动复位过程；在此期间， $\overline{\text{DRDY}}$ 变为高电平，并在 $\overline{\text{RESET}}$ 过程完成后返回低电平。此序列最长耗时 1.5 ms。当 $\overline{\text{DRDY}}$ 处于高电平以处理 $\overline{\text{RESET}}$ 命令时，不要写入串行接口。当 $\overline{\text{DRDY}}$ 返回低电平时，器件恢复正常操作，并忽略 $\overline{\text{RESET}}$ 引脚的状态，直至它再次变为低电平。使用 SWRST 位（见表 28）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

$\overline{\text{PD}}$ 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 28）。

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)。

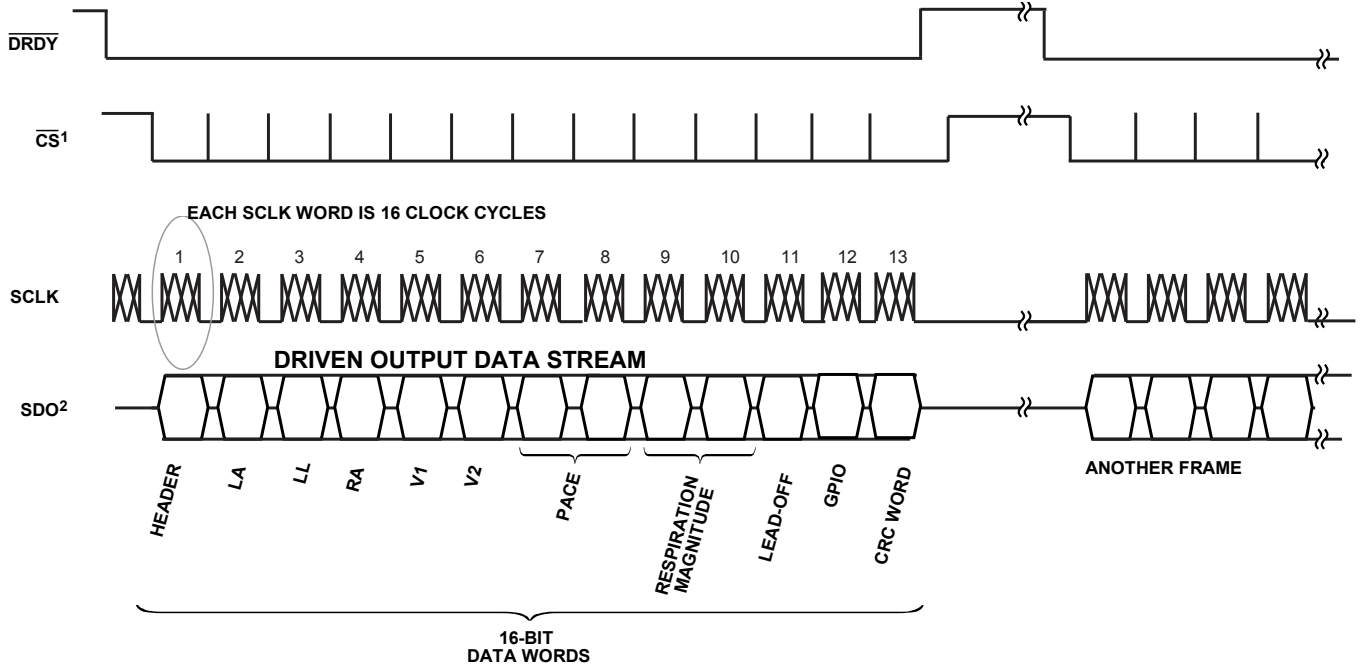


¹ CS MAY BE USED IN ONE OF THE FOLLOWING WAYS:

- 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 SUPER SET OF FRAME DATA, WORDS MAY BE EXCLUDED.

图 82. 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 SUPER SET OF FRAME DATA, WORDS MAY BE EXCLUDED.

图 83. 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。)

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，数据形式为 16 位字（所有 16 位均为数据）。

表 26. SPI 寄存器存储器映射

R/W ¹	A[6:0]	D[23:0]	寄存器名称	表	寄存器描述	复位值
R	0x00	XXXXXX	NOP		NOP（无操作）	0x000000
R/W	0x01	dddddd	ECGCTL	表28	ECG控制	0x000000
R/W	0x02	dddddd	LOFFCTL	表29	导联脱落控制	0x000000
R/W	0x03	dddddd	RESPCTL	表30	呼吸控制 ²	0x000000
R/W	0x04	dddddd	PACECTL	表31	起搏检测控制	0x000F88
R/W	0x05	dddddd	CMREFCTL	表32	共模、参考和屏蔽驱动控制	0xE00000
R/W	0x06	dddddd	GPIOCTL	表33	GPIO控制	0x000000
R/W	0x07	dddddd	PACEAMPTH	表34	起搏幅度阈值 ²	0x242424
R/W	0x08	dddddd	TESTTONE	表35	测试音	0x000000
R/W	0x09	dddddd	CALDAC	表36	校准DAC	0x002000
R/W	0x0A	dddddd	FRMCTL	表37	帧控制	0x079000
R/W	0x0B	dddddd	FILTCTL	表38	滤波器控制	0x000000
R/W	0x0C	dddddd	LOFFUTH	表39	交流导联脱落阈值上限	0x00FFFF
R/W	0x0D	dddddd	LOFFLTH	表40	交流导联脱落阈值下限	0x000000
R/W	0x0E	dddddd	PACEEDGE	表41	起搏边沿阈值 ²	0x000000
R/W	0x0F	dddddd	PACELVLTH	表42	起搏电平阈值 ²	0x000000
R	0x11	XXXXXX	LADATA	表43	LA或导联I数据	0x000000
R	0x12	XXXXXX	LLDATA	表43	LL或导联II数据	0x000000
R	0x13	XXXXXX	RADATA	表43	RA或导联III数据	0x000000
R	0x14	XXXXXX	V1DATA	表43	V1或V1'数据	0x000000
R	0x15	XXXXXX	V2DATA	表43	V2或V2'数据	0x000000
R	0x1A	XXXXXX	PACEDATA	表44	读取起搏检测数据/状态 ²	0x000000
R	0x1B	XXXXXX	RESPMAG	表45	读取呼吸数据—幅度 ²	0x000000
R	0x1C	XXXXXX	RESPPH	表46	读取呼吸数据—相位 ²	0x000000
R	0x1D	XXXXXX	LOFF	表47	导联脱落状态	0x000000
R	0x1E	XXXXXX	DCLEAD-OFF	表48	直流导联脱落	0x000000
R	0x1F	XXXXXX	OPSTAT	表49	工作状态	0x000000
R/W	0x20	dddddd	EXTENDSW	表50	呼吸输入的扩展开关	0x000000
R/W	0x21	dddddd	CALLA	表51	用户增益校准LA	0x000000
R/W	0x22	dddddd	CALLL	表51	用户增益校准LL	0x000000
R/W	0x23	dddddd	CALRA	表51	用户增益校准RA	0x000000
R/W	0x24	dddddd	CALV1	表51	用户增益校准V1	0x000000
R/W	0x25	dddddd	CALV2	表51	用户增益校准V2	0x000000
R	0x31	dddddd	LOAMLA	表52	LA的导联脱落幅度	0x000000
R	0x32	dddddd	LOAMLL	表52	LL的导联脱落幅度	0x000000
R	0x33	dddddd	LOAMRA	表52	RA的导联脱落幅度	0x000000
R	0x34	dddddd	LOAMV1	表52	V1的导联脱落幅度	0x000000
R	0x35	dddddd	LOAMV2	表52	V2的导联脱落幅度	0x000000
R	0x3A	dddddd	PACE1DATA	表53	起搏1宽度和幅度 ²	0x000000
R	0x3B	dddddd	PACE2DATA	表53	起搏2宽度和幅度 ²	0x000000
R	0x3C	dddddd	PACE3DATA	表53	起搏3宽度和幅度 ²	0x000000
R	0x40	dddddd	FRAMES	表54	帧表头	0x800000
R	0x41	XXXXXX	CRC	表55	帧CRC	0xFFFFFFFF
x	其他	XXXXXX	保留 ³		保留	XXXXXX

¹ R/W = 寄存器可读可写；R = 只读。

² 仅限 ADAS1000 型号，ADAS1000-1/ADAS1000-2 型号不包含这些特性。

³ 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 27. 串行位分配

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

表 28. ECG 控制寄存器(ECGCTL)地址 0x01, 复位值 = 0x000000

R/W	默认值	位	名称	功能
R/W	0	23	LAEN	ECG通道使能；关断通道电源；输入变为高阻态。
R/W	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。
R/W	0	21	RAEN	
R/W	0	20	V1EN	1 = 使能ECG通道。
R/W	0	19	V2EN	
R	0	[18:11]	保留	保留，置0。
R/W	0	10	CHCONFIG	此位置1，选择差分模拟前端(AFE)输入。参见图58。 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)。
R/W	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 = $\times 1.4$ 。 01 = GAIN 1 = $\times 2.1$ 。 10 = GAIN 2 = $\times 2.8$ 。 11 = GAIN 3 = $\times 4.2$ (此增益设置需要用户增益校准)。
R/W	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)。
R/W	0	6	CLKEXT	使用外部时钟，而不使用晶振。在组合模式下，如果配置为从器件，晶振自动禁用，从器件从主器件接收时钟。 0 (默认值) = XTAL为时钟源。 1 = CLK_IO为时钟源。
R/W	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。ADAS1000-2无法配置为主器件。 0 (默认值) = 从器件。 1 = 主器件。
R/W	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。
R/W	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。此位也会影响呼吸载波频率，参见“呼吸载波频率”部分所述。 0 (默认值) = 1 MSPS、低功耗。 1 = 2 MSPS、高性能/低噪声。
R/W	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。
R/W	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。
R/W	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。

表 29. 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
R/W	0	23	LAPH	交流导联脱落相位。
R/W	0	22	LLPH	0 (默认值) = 同相。
R/W	0	21	RAPH	1 = 180°错相。
R/W	0	20	V1PH	
R/W	0	19	V2PH	
R/W	0	18	CEPH	
R/W	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。
R/W	0	16	LLACLOEN	
R/W	0	15	RAACLOEN	
R/W	0	14	V1ACLOEN	
R/W	0	13	V2ACLOEN	
R/W	0	12	CEACLOEN	
R	0	[11:9]	保留	保留, 置0。
R/W	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。
	00	[6:5]	保留	保留, 置0。
R/W	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。
R/W	0	1	ACSEL	直流或交流 (带外) 导联脱落检测。 ACSEL用作RA、LL、LA、V1、V2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。
R/W	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 30. 呼吸控制寄存器(RESPECTL)地址 0x03, 复位值 = 0x000000¹

R/W	默认值	位	名称	功能															
		[23:17]	保留	保留, 置0。															
R/W	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。															
R/W	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。															
R/W	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71。 0 (默认值) = 禁用。 1 = 使能。															
R/W	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。															
R/W	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。															
R/W	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。															
R/W	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。															
R/W	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。															
R/W	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。															
R/W	00	[2:1]	RESPFREQ	设置呼吸频率。 <table border="1" data-bbox="625 1591 1518 1745"> <thead> <tr> <th>RESPFREQ</th> <th>RESPALTFREQ = 0</th> <th>RESPALTFREQ = 1 (周期性)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>00 (默认)</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)	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)	56 kHz	64 kHz																	
01	54 kHz	56.9 kHz																	
10	52 kHz	51.2 kHz																	
11	50 kHz	46.5 kHz																	
R/W	0	0	RESPEN	使能呼吸。 0 (默认值) = 呼吸禁用。 1 = 呼吸使能。															

¹ 仅限ADAS1000型号, ADAS1000-1/ADAS1000-2型号不包含这些特性。

表 31. 起搏检测控制寄存器(PACECTL)地址 0x04, 复位值 = 0x000F88¹

R/W	默认值	位	名称	功能
		[23:12]	保留	保留, 置0
R/W	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
R/W	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
R/W	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
R/W	11	[8:7]	PACE3SEL [1:0]	设置进行起搏检测测量的导联
R/W	00	[6:5]	PACE2SEL [1:0]	00 = 导联I
R/W	01	[4:3]	PACE1SEL [1:0]	01 = 导联II 10 = 导联III 11 = 导联aVF
R/W	0	2	PACE3EN	使能起搏检测算法
R/W	0	1	PACE2EN	0 (默认值) = 起搏检测禁用
R/W	0	0	PACE1EN	1 = 起搏检测使能

¹ 仅限ADAS1000型号, ADAS1000-1/ADAS1000-2型号不包含这些特性。

表 32. 共模、参考和屏蔽驱动控制寄存器(CMREFCTL)地址 0x05, 复位值 = 0xE0000

R/W	默认值	位	名称	功能
R/W	1	23	LACM	共模电极选择。 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]。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。
R/W	1	22	LLCM	
R/W	1	21	RACM	
R/W	0	20	V1CM	
R/W	0	19	V2CM	
	0	[18:15]	保留	保留, 置0。
R/W	0	14	LARLD	RLD求和结。注意, 如果禁用RLD放大器 (利用RLDSEL), 这些开关不会自动断开, 用户必须通过位[9:14]禁用开关。 0 (默认值) = 不参与构成RLD输入。 1 = 参与构成RLD输入。
R/W	0	13	LLRLD	
R/W	0	12	RARLD	
R/W	0	11	V1RLD	
R/W	0	10	V2RLD	
R/W	0	9	CERLD	
R/W	0	8	CEREFEN	公共电极(CE)参考, 参见图58。 0 (默认值) = 公共电极禁用。 1 = 公共电极使能。
R/W	0000	[7:4]	RLDSEL [3:0] ¹	选择参考驱动的电极。 0000 (默认值) = RLD_OUT。 0001 = LA。 0010 = LL。 0011 = RA。 0100 = V1。 0101 = V2。 0110至1111 = 保留。
R/W	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。
R/W	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)。
R/W	0	1	RLDSEL ¹	使能右腿驱动参考电极。 0 (默认值) = 禁用。 1 = 使能。
R/W	0	0	SHLDEN ¹	使能屏蔽驱动。 0 (默认值) = 屏蔽驱动禁用。 1 = 屏蔽驱动使能。

¹ 仅限ADAS1000型号, ADAS1000-1/ADAS1000-2型号不包含这些特性。

表 33. 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
R/W	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
R/W	0	17	保留	保留, 置0
R/W	0	16	SPIEN	第二SPI使能 (仅限ADAS1000和ADAS1000-1); 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
R/W	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
R/W	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
R	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
R/W	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
R/W	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
R	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
R/W	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
R/W	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
R	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
R/W	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
R/W	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
R	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 34. 起搏幅度阈值寄存器(PACEAMPTH)地址 0x07, 复位值 = 0x242424¹

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

¹ 仅限ADAS1000型号, ADAS1000-1/ADAS1000-2型号不包含这些特性。

表 35. 测试音寄存器(TESTTONE)地址 0x08, 复位值 = 0x000000

R/W	默认值	位	名称	功能
R/W	0	23	TONLA	测试音选择
R/W	0	22	TONLL	0 (默认值) = 1.3 V VCM_REF
R/W	0	21	TONRA	1 = 1 mV正弦波或方波 (TONINT = 1), 不连接 (TONINT = 0)
R/W	0	20	TONV1	
R/W	0	19	TONV2	
R/W	0	[18:5]	保留	保留, 置0
R/W	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
R/W	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
R/W	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
R/W	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)

表 36. 校准 DAC 寄存器(CALDAC)地址 0x09, 复位值 = 0x002000¹

R/W	默认值	位	名称	功能
	0	[23:14]	保留	保留, 置0。
R/W	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。
R/W	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。
R/W	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。
R/W	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。
R/W	0000000000	[9:0]	CALDATA[9:0]	设置校准DAC值。

¹ 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 37. 帧控制寄存器(FRMCTL)地址 0x0A, 复位值 = 0x079000

R/W	默认值	位	名称	功能
R/W	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。 0 (默认值) = 包括于帧中。 1 = 从帧中排除。
R/W	0	22	LEAD II/LLDIS	
R/W	0	21	LEAD III/RADIS	
R/W	0	20	V1DIS	
R/W	0	19	V2DIS	
R/W	1111	[18:15]	保留	保留, 置1111。
R/W	0	14	PACEDIS ¹	起搏检测。 0 (默认值) = 包括于帧中。 1 = 从帧中排除。
R/W	0	13	RESPMDIS ¹	呼吸幅度。 0 (默认值) = 包括于帧中。 1 = 从帧中排除。
R/W	1	12	RESPPHDIS ¹	呼吸相位。 0 = 包括于帧中。 1 (默认值) = 从帧中排除。
R/W	0	11	LOFFDIS	导联脱落状态。 0 (默认值) = 包括于帧中。 1 = 从帧中排除。
R/W	0	10	GPIODIS	GPIO字禁用。 0 (默认值) = 包括于帧中。 1 = 从帧中排除。
R/W	0	9	CRCDIS	CRC字禁用。 0 (默认值) = 包括于帧中。 1 = 从帧中排除。
R/W	0	8	保留	保留, 置0。
R/W	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)。
R/W	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。
R/W	0	5	保留	保留, 置0。
R/W	0	4	DATAFMT	设置输出数据格式, 参见图58。 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。
R/W	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。
R/W	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。

¹ 仅限ADAS1000型号, ADAS1000-1/ADAS1000-2型号不包含这些特性。

表 38. 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
R/W	0	[23:6]	保留	保留, 置0
R/W	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
R/W	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
R/W	00	[3:2]	LPF[1:0]	00 (默认值) = 40 Hz 01 = 150 Hz 10 = 250 Hz 11 = 450 Hz
R/W	00	[1:0]	保留	保留, 置0

表 39. 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
R/W	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。 $阈值 = 最大值 - ADCOVER \times 2^6$ 0000 = 最大值 (禁用) 0001 = 最大值 - 64 0010 = 最大值 - 128 ... 1111 = 最大值 - 960
R/W	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 40. 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
R/W	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。 $阈值 = 最小值 + ADCUNDR \times 2^6$ 0000 = 最小值 (禁用) 0001 = 最小值 + 64 0010 = 最小值 + 128 ... 1111 = 最小值 + 960
R/W	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 41. 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
R/W	0	[23:16]	PACE3EDGTH	起搏边沿触发阈值 0 = PACEAMPTH/2 1 = VREF/GAIN/2 ¹⁶ N = N × VREF/GAIN/2 ¹⁶
R/W	0	[15:8]	PACE2EDGTH	
R/W	0	[7:0]	PACE1EDGTH	

¹ 仅限ADAS1000型号, ADAS1000-1/ADAS1000-2型号不包含这些特性。

表 42. 起搏电平阈值寄存器(PACELVLTH)地址 0x0F, 复位值 = 0x000000¹

R/W	默认值	位	名称	功能
R/W	0	[23:16]	PACE3LVLTH[7:0]	起搏电平阈值; 这是一个带符号值 -1 = 0xFF = -VREF/GAIN/2 ¹⁶ 0 = 0x00 = 0 V +1 = 0x01 = +VREF/GAIN/2 ¹⁶ N = N × VREF/GAIN/2 ¹⁶
R/W	0	[15:8]	PACE2LVLTH[7:0]	
R/W	0	[7:0]	PACE1LVLTH[7:0]	

¹ 仅限ADAS1000型号, ADAS1000-1/ADAS1000-2型号不包含这些特性。

表 43. 读取电极/导联数据寄存器 (电极/导联) 地址 0x11 至 0x15, 复位值 = 0x000000¹

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。 0x14: V1或V1'。 0x15: V2或V2'。
R	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。 输入级可配置为不同模式 (电极、模拟导联或数字导联), 如表11所示。在电极模式和模拟导联模式下, 数字结果值为无符号整数。 在数字导联/矢量模式下, 值为带符号二进制补码整数格式, 范围是电极格式的2倍, 因为它能从+VREF摆动到-VREF; 因此, LSB大小加倍。 电极模式和模拟导联模式: 最小值(000...) = 0 V 最大值(1111...) = VREF/GAIN $LSB = (2 \times VREF/GAIN)/(2N - 1)$ $ECG (电压) = ECG数据 \times (2 \times VREF/GAIN)/(2N - 1)$ 数字导联模式: 最小值(1000...) = -(VREF/GAIN) 最大值(0111...) = +VREF/GAIN $LSB = (4 \times VREF/GAIN)/(2N - 1)$ $ECG (电压) = ECG数据 \times (4 \times VREF/GAIN)/(2N - 1)$ 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。

¹ 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 44. 读取起搏检测数据/状态寄存器(PACEDATA)地址 0x1A, 复位值 = 0x000000^{1,2,3}

R/W	默认值	位	名称	功能
R	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。
R	000	[22:20]	起搏通道3宽度	此位是起搏脉冲的 \log_2 (宽度) - 1。 宽度 = $2^{N+1}/128$ kHz。
R	0000	[19:16]	起搏通道3高度	此位是起搏脉冲的 \log_2 (高度)。 高度 = $2^N \times VREF/GAIN/2^{16}$ 。
R	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。
R	000	[14:12]	起搏通道2宽度	此位是起搏脉冲的 \log_2 (宽度) - 1。 宽度 = $2^{N+1}/128$ kHz。
R	0000	[11:8]	起搏通道2高度	此位是起搏脉冲的 \log_2 (高度)。 高度 = $2^N \times VREF/GAIN/2^{16}$ 。
R	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。
R	000	[6:4]	起搏通道1宽度	此位是起搏脉冲的 \log_2 (宽度) - 1。 宽度 = $2^{N+1}/128$ kHz。
R	0000	[3:0]	起搏通道1高度	此位是起搏脉冲的 \log_2 (高度)。 高度 = $2^N \times VREF/GAIN/2^{16}$ 。

¹ 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。

² 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，应读取寄存器0x3A、寄存器0x3B和寄存器0x3C（见表53）。

³ 仅限ADAS1000型号，ADAS1000-1/ADAS1000-2型号不包含这些特性。

表 45. 读取呼吸数据—幅度寄存器(RESPMAG)地址 0x1B, 复位值 = 0x000000^{1,2}

R/W	默认值	位	名称	功能
R	0	[23:0]	Respiration magnitude[23:0]	呼吸信号的幅度。这是一个带符号值。 $4 \times (VREF / (1.6468 \times \text{呼吸增益})) / (2^{24} - 1)$ 。

¹ 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。

² 仅限ADAS1000型号，ADAS1000-1/ADAS1000-2型号不包含这些特性。

表 46. 读取呼吸数据—相位寄存器(RESPPH)地址 0x1C, 复位值 = 0x000000^{1,2}

R/W	默认值	位	名称	功能
R	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 2π 。 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 = $+2\pi(1 - 2^{-24}) = -2\pi/2^{24}$ 。

¹ 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。

² 仅限ADAS1000型号，ADAS1000-1/ADAS1000-2型号不包含这些特性。

表 47. 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
R	0	23 22 21 20 19 18 13	RLD导联脱落状态 LA导联脱落状态 LL导联脱落状态 RA导联脱落状态 V1导联脱落状态 V2导联脱落状态 CELO	电极连接状态。 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。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。直流导联脱落状态通过DCLEAD-OFF寄存器提供(见表48)。 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, 它仅影响其他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。 在交流导联脱落检测中不检测RLD导联脱落。
R	0	[17:14]	保留	保留。
R	0	12 11 10 9 8	LAADCOR LLADCOR RAADCOR V1ADCOR V2ADCOR	ADC超范围错误。 这些状态位指示所得ADC代码超出范围。 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。
R	0	[7:0]	保留	保留。

表 48. 直流导联脱落寄存器(DCLEAD-OFF)地址 0x1E, 复位值 = 0x000000¹

R/W	默认值	位	名称	功能
R	0	23 22 21 20 19 18 13	RLD输入超量程 LA输入超量程 LL输入超量程 RA输入超量程 V1输入超量程 V2输入超量程 CE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。各电极位标志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。
R	0	[17:14] [6:3]	保留	保留。
R	0	12 11 10 9 8 7 2	RLD输入欠量程 LA输入欠量程 LL输入欠量程 RA输入欠量程 V1输入超量程 V2输入超量程 CE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。
R	0	[1:0]	保留	

¹ 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 49. 工作状态寄存器(OPSTAT)地址 0x1F, 复位值 = 0x000000¹

R/W	默认值	位	名称	功能
R	0	[23:4]	保留	保留。
R	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。
R	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。
R	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。
R	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。

¹ 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 50. 呼吸输入扩展开关寄存器(EXTENDSW)地址 0x20, 复位值 = 0x000000

R/W	默认值	位	名称	开关	功能
R/W	0	23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9	EXT_RESP_RA to ECG1_LA EXT_RESP_RA to ECG2_LL EXT_RESP_RA to ECG3_RA EXT_RESP_RA to ECG4_V1 EXT_RESP_RA to ECG5_V2 EXT_RESP_LL to ECG1_LA EXT_RESP_LL to ECG2_LL EXT_RESP_LL to ECG3_RA EXT_RESP_LL to ECG4_V1 EXT_RESP_LL to ECG5_V2 EXT_RESP_LA to ECG1_LA EXT_RESP_LA to ECG2_LL EXT_RESP_LA to ECG3_RA EXT_RESP_LA to ECG4_V1 EXT_RESP_LA to ECG5_V2	SW1a SW1b SW1c SW1d SW1e SW2a SW2b SW2c SW2d SW2e SW3a SW3b SW3c SW3d SW3e	通道电极输入的外部呼吸电极输入开关 (见图72) ¹ 0 = 开关断开。 1 = 开关闭合。
R/W R/W	0 0	8 7	AUX_V1 AUX_V2		V1和V2电极可以用于ECG之外的测量。 为此, 必须将其与内部共模缓冲器提供病人VCM电压断开, 而将其连接到1.3 V的内部VCM_REF电平。 AUX_Vx位设为高电平时, V1和V2通道放大器的负输入连接到内部VCM_REF电平。用户可以相对于VCM_REF电平在V1和V2上进行其他测量。 注意, V1和V2测量现在是在右腿驱动环路之外进行, 因此测量噪声有所增加。
R/W	0	[6:0]	保留		保留, 置0。

¹ 仅限ADAS1000型号, ADAS1000-1/ADAS1000-2型号不包含这些EXT_RESP_xx引脚。

表 51. 用户增益校准寄存器(CALxx)地址 0x21 至地址 0x25, 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。 0x24: 校准V1。 0x25: 校准V2。
R/W	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。
R/W	0	[22:12]	保留	保留, 置0
R/W	0	[11:0]	CALVALUE	增益校准值。 结果 = 数据 $\times (1 + \text{GAIN} \times 2^{-17})$ 。 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) = $\times 1.0000001111111111\text{b}$ 。 0x001 (+1) = $\times 1.000000000000000001\text{b}$ 。 0x000 (0) = $\times 1.000000000000000000\text{b}$ 。 0xFFF (-1) = $\times 0.1111111111111111\text{b}$ 。 0x800 (-2048) = $\times 0.111111000000000000\text{b}$ 。

表 52. 读取交流导联脱落幅度寄存器(LOAMxx)地址 0x31 至地址 0x35, 复位值 = 0x000000¹

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。 0x34: V1交流导联脱落幅度。 0x35: V2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, 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 = $V_{REF}/\text{GAIN}/2^{16}$ 。 最大值0xFFFF = V_{REF}/GAIN 。 $\text{RMS} = [\pi/(2\sqrt{2})] \times [(\text{Code} \times V_{REF})/(\text{GAIN} \times 2^{16})]$ 峰峰值 = $\pi \times [(\text{Code} \times V_{REF})/(\text{GAIN} \times 2^{16})]$

¹ 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 53. 起搏宽度和幅度寄存器(PACExDATA)地址 0x3A 至地址 0x3C, 复位值 = 0x000000^{1,2}

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 = 相对于数据边沿为0 1 = $VREF/GAIN/2^{16}$ $N = 2 \times N \times VREF/GAIN/2^{16}$
R	0	[7:0]	起搏宽度	实测起搏宽度, 128 kHz采样 $N: (N + 1)/128 \text{ kHz} = \text{宽度}$ 12: $(12 + 1)/128 \text{ kHz} = 101.56 \mu\text{s}$ (起搏宽度滤波器使能时的最小值) 255: $(255 + 1)/128 \text{ kHz} = 2.0 \text{ ms}$ 禁用起搏宽度滤波器时, 起搏测量系统可以返回 $N < 12$ 的值, 即脉冲比 $101.56 \mu\text{s}$ 还窄。

¹ 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。

² 仅限ADAS1000型号, ADAS1000-1/ADAS1000-2型号不包含这些特性。

表 54. 帧表头(FRAMES)地址 0x40, 复位值 = 0x800000¹

R/W	默认值	位	名称	功能
R	1	31	标志	表头标志, 设为1表示表头。
R	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。
R	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。
R	0	27	故障	检测到器件内部错误。 0 = 正常工作。 1 = 错误状态。
R	0	26	检测到起搏3	起搏3表示起搏脉冲在最近的点得到认定。 0 = 无起搏脉冲。 1 = 起搏脉冲存在。
R	0	25	检测到起搏2	起搏2表示起搏脉冲在最近的点得到认定。 0 = 无起搏脉冲。 1 = 起搏脉冲存在。
R	0	24	检测到起搏1	起搏1表示起搏脉冲在最近的点得到认定。 0 = 无起搏脉冲。 1 = 起搏脉冲存在。
R	0	23	呼吸	0 = 无新的呼吸数据。 1 = 呼吸数据已更新。
R	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。
R	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。
R	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

¹ 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 55. 帧 CRC 寄存器(CRC)地址 0x41, 复位值 = 0xFFFFF¹

R/W	位	名称	功能
R	[23:0]	CRC	循环冗余校验

¹ 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24。

与 ADAS1000 接口示例

以下例子显示了将 ADAS1000 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 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 9 字/帧或包。字帧/包由表头、5 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。ADAS1000 处于模拟导联模式，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 ADAS1000 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 输入必须保持低电平，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

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 56. 示例 1：初始化 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	0000 0111 1001 0110 0000 0000	0x8A079600
写命令3	ECGCTL	1	000 0001	1111 1000 0000 0100 1010 1110	0x81F804AE
写命令4	FRAMES	0	100 0000	0000 0000 0000 0000 0000 0000	0x40000000

表 57. 示例 2：使能呼吸并传输转换数据流

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	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 58. 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

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、5 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。[ADAS1000](#) 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 [ADAS1000](#) 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

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 59. 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	1111 1000 0000 0000 0000 1101	0x88F8000D
写命令3	FILTCTL	1	000 1011	0000 0000 0000 0000 0000 1000	0x8B000008
写命令4	FRMCTL	1	000 1010	0000 0111 1001 0110 0001 0000	0x8A079610
写命令5	ECGCTL	1	000 0001	1111 1000 0000 0000 1010 1110	0x81F800AE
写命令6	FRAMES	0	100 0000	0000 0000 0000 0000 0000 0000	0x40000000

表 60. 示例 5：使能起搏检测并传输转换数据流

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	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

从器件配置

1. 第一个写操作配置 FRMCTL 寄存器以输出 7 字/帧或包。字帧/包由表头、5 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 ADAS1000-2 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。此写操作还将从器件 ADAS1000-2 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

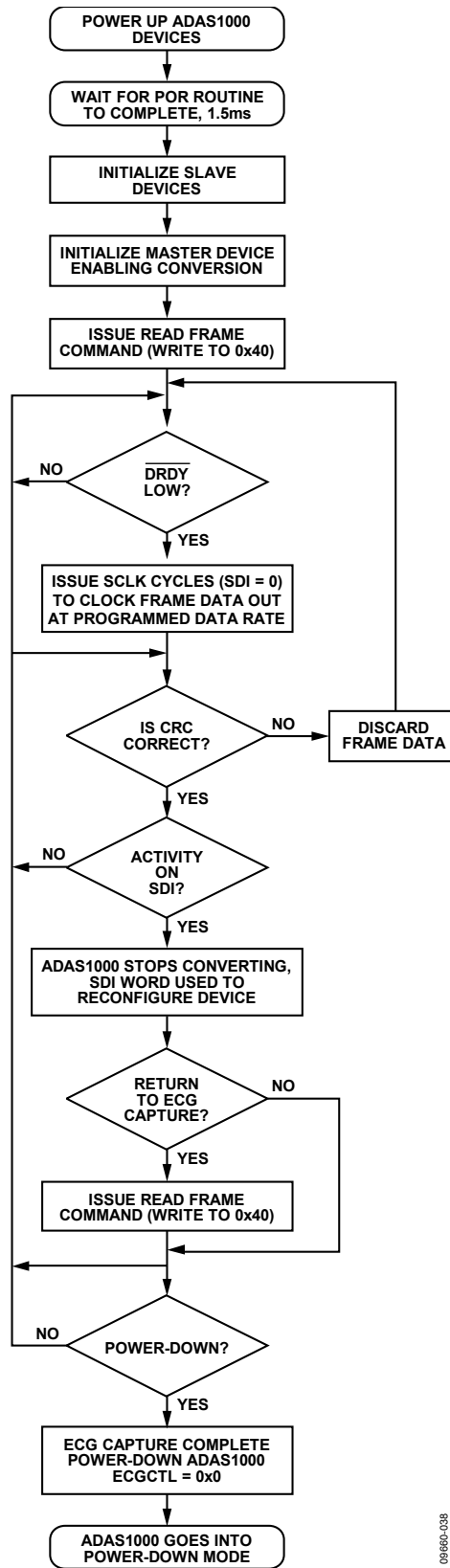
1. 第四个写操作配置 FRMCTL 寄存器以输出 9 字/帧或包（注意，这与从器件的帧字数不同）。字帧/包由表头、5 个 ECG 字、起搏、呼吸幅度和导联脱落组成。本例中，帧配置为始终发送，无论就绪与否。主器件 ADAS1000 处于矢量格式模式，数据速率为 2 kHz。与从器件相似，主器件也可以配置为电极模式，不过这将需要主控制器进行导联计算。
2. 第五个写操作配置 CMREFCTL 寄存器：CM = WCT = (LA + LL + RA)/3；使能 RLD 以通过 RLD_OUT 电极输出。使能屏蔽放大器。CM = WCT 信号从主器件 (CM_OUT) 驱动至从器件 (CM_IN)。
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。主器件 ADAS1000 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. 第七个写操作发出读取命令，以便开始将转换并抽取的数据通过 SDO 引脚输出。
5. 继续发出 SCLK 周期，以配置的包数据速率读取转换数据。

表 61. 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	R/W	寄存器地址	数据	32位写命令
从机	写命令1	FRMCTL	1	000 1010	0000 0111 1111 0110 0001 0000	0x8A07F610
	写命令2	CMREFCTL	1	000 0101	0000 0000 0000 0000 0000 0100	0x85000004
	写命令3	ECGCTL	1	000 0001	1111 1000 0000 0000 1101 1110	0x81F800DE
主器件	写命令4	FRMCTL	1	000 1010	0000 0111 1001 0110 0000 0000	0x8A079600
	写命令5	CMREFCTL	1	000 0101	1110 0000 0000 0000 0000 1011	0x85E0000B
	写命令6	ECGCTL	1	000 0001	1111 1000 0000 0100 1011 1110	0x81F804BE
	写命令7	FRAMES	0	100 0000	0000 0000 0000 0000 0000 0000	0x40000000

软件流程图

图 84 显示了与多个 ADAS1000/ADAS1000-1/ADAS1000-2 器件接口建议采取的步骤顺序。



091660-038

图 84. 与多个 ADAS1000/ADAS1000-1/ADAS1000-2 器件接口的建议软件流程图

电源、接地和去耦策略

ADAS1000/ADAS1000-1/ADAS1000-2 的各电源引脚必须具有充分的 0.01 μF 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）还必须有一个 4.7 μF 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 μF 电容，其 ESR 应在 0.5 Ω 至 2 Ω 范围。各 2.2 μF 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 μF 电容最好放在引脚 30 与引脚 31 之间，而对于 ADCVDD，2.2 μF 电容应放在引脚 55 与引脚 56 之间。LFCSP 封装类似，DVDD 2.2 μF 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 μF 电容进行高频去耦。0.01 μF 电容须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。电源线路须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。将快速切换的数字信号用数字地屏蔽起来，以免向电路板上的其他器件辐射噪声，并且绝不靠近基准输入。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必须彼此垂直。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

虽然 ADAS1000/ADAS1000-1/ADAS1000-2 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 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：

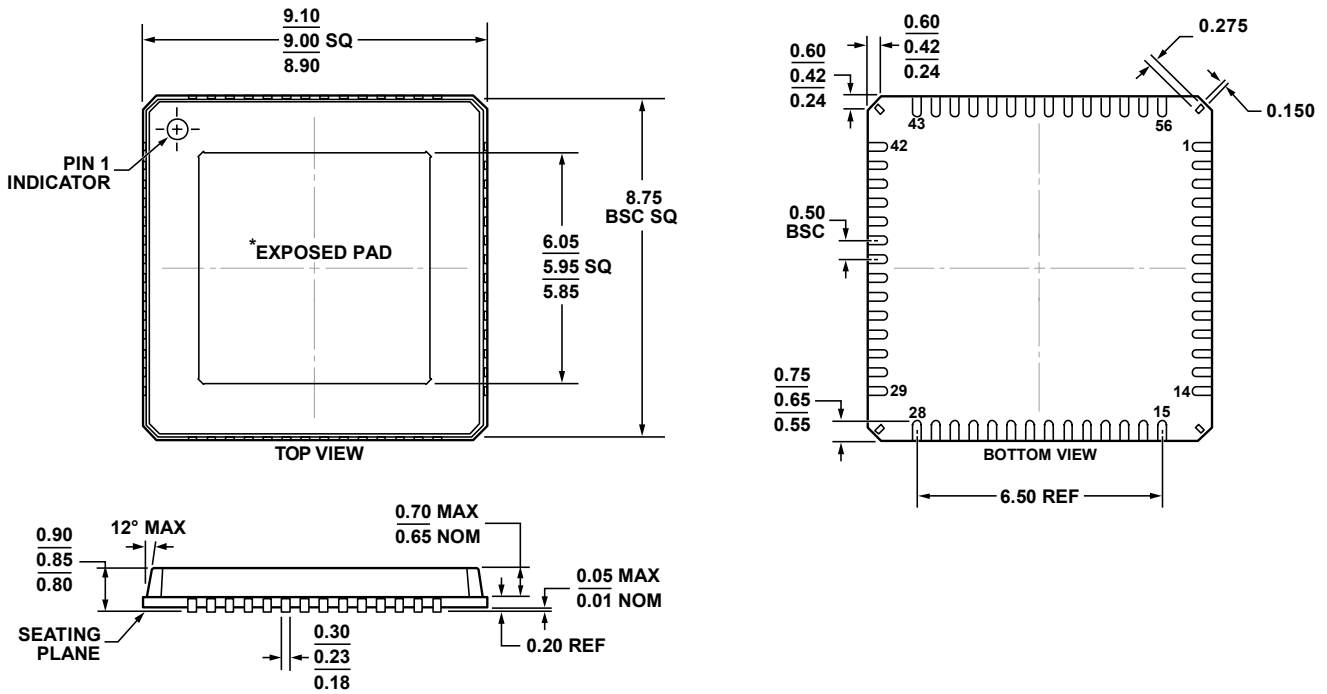
- 未用 ECG 路径上电时禁用。为实现低功耗运行，应将其全程禁用。理想情况下，这些引脚在不使用时应连接到 RLD_OUT。
- 未用外部呼吸输入可以接地。
- 未用屏蔽驱动器可以禁用，输出悬空。
- CM_OUT、CAL_DAC_IO、 $\overline{\text{DRDY}}$ 、GPIOx、CLK_IO、SYNC_GANG 可以断开。

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。所有通道都必须相同，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/ADAS1000-1/ADAS1000-2，VREF 去耦应予以优先考虑，VREF 去耦电容应尽量与 ADAS1000/ADAS1000-1/ADAS1000-2 位于同一侧。

外形尺寸



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

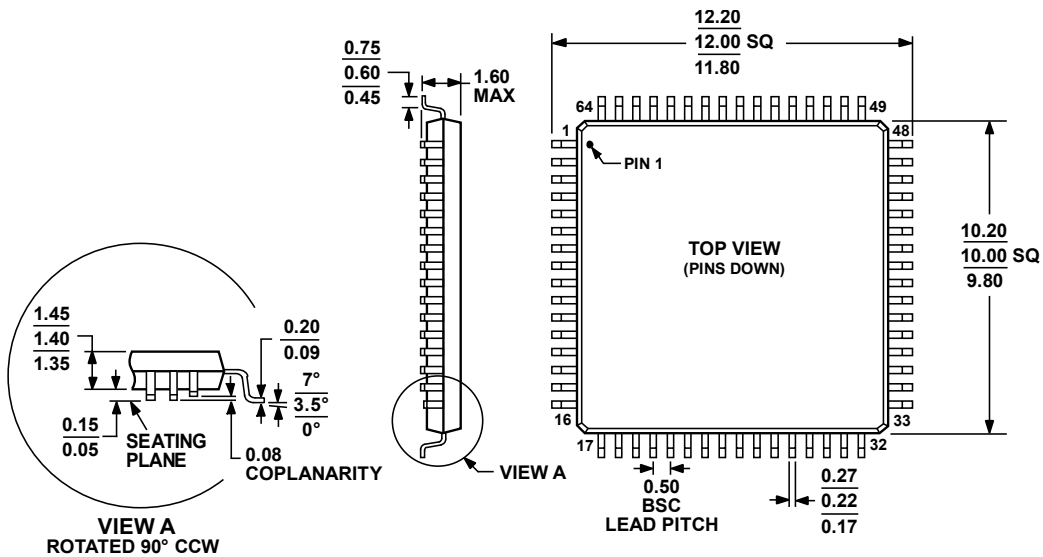
图 85. 56 引脚引线框芯片级封装[LFCSP_VQ]

9 mm × 9 mm, 超薄体

(CP-56-7)

图示尺寸单位: mm

06-20-2012-A



COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS MS-026-BCD

图 86. 64 引脚薄型四方扁平封装[LQFP]

(ST-64-2)

图示尺寸单位: mm

051706-A

订购指南

型号 ¹	描述	温度范围	封装描述	封装选项
ADAS1000BSTZ	5个ECG通道、起搏算法、呼吸电路	-40°C至+85°C	64引脚LQFP	ST-64-2
ADAS1000BSTZ-RL	5个ECG通道、起搏算法、呼吸电路	-40°C至+85°C	64引脚LQFP	ST-64-2
ADAS1000BCPZ	5个ECG通道、起搏算法、呼吸电路	-40°C至+85°C	56引脚LFCSP_VQ	CP-56-7
ADAS1000BCPZ-RL	5个ECG通道、起搏算法、呼吸电路	-40°C至+85°C	56引脚LFCSP_VQ	CP-56-7
ADAS1000-1BCPZ	5个ECG通道	-40°C至+85°C	56引脚LFCSP_VQ	CP-56-7
ADAS1000-1BCPZ-RL	5个ECG通道	-40°C至+85°C	56引脚LFCSP_VQ	CP-56-7
ADAS1000-2BSTZ	组合模式配套产品	-40°C至+85°C	64引脚LQFP	ST-64-2
ADAS1000-2BSTZ-RL	组合模式配套产品	-40°C至+85°C	64引脚LQFP	ST-64-2
ADAS1000-2BCPZ	组合模式配套产品	-40°C至+85°C	56引脚LFCSP_VQ	CP-56-7
ADAS1000-2BCPZ-RL	组合模式配套产品	-40°C至+85°C	56引脚LFCSP_VQ	CP-56-7
EVAL-ADAS1000SDZ	ADAS1000评估板		评估套件 ²	
EVAL-SDP-CB1Z	系统演示板(SDP), 通过USB与PC接口, 用作数据传输控制板		控制板 ³	

¹ Z= 符合RoHS标准的器件。

² 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, 因此它是所有ADAS1000版本的评估工具。

³ 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。