

连接/参考器件

ADAS1000	集成呼吸与起搏检测的心电图(ECG)前端
ADP151	超低噪声、200 mA CMOS线性稳压器

电池供电病人监护应用中ECG前端的供电

评估和设计支持

电路评估板

评估板(EVAL-ADAS1000SDZ)

系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)

设计和集成文件

原理图、布局文件、物料清单

电路功能与优势

本电路是高度集成的心电图(ECG)前端，用于电池供电式病人监护应用。

图1显示典型5导联(4个肢体导联和1个前胸导联)ECG测量系统物理连接的顶层框图，该系统集成了呼吸与起搏检测功能。这种配置通常用于便携式遥测ECG测量或线路供电式床边仪器的最小导联设置。

在皮肤表面测量时，ECG信号幅度较小，通常为1 mV。有关病人的健康及其它参数的重要信息都蕴藏在那个小小信号之中，因此要求器件具有 μV 级的测量灵敏度。就系统而言，许多医疗标准都要求最大噪声不超过 $30\mu\text{V p-p}$ ；然而，设计人员通常把这一数值定的更低。因此，设计满足系统层面需求的解决方案时，必须考虑所有的噪声源。

ADAS1000的额定噪声性能针对多种不同的工作环境。电源须经过设计，确保不会降低整体性能。选择ADP151线性稳压器是由于它的超低噪声性能($9\mu\text{V rms}$ 典型值，10 Hz至100 kHz)，配合ADAS1000的电源抑制性能，可确保ADP151产生的噪声不影响整体噪声性能。

电路描述

ADAS1000五电极ECG模拟前端(AFE)解决新一代低功耗、低噪声、高性能、系留式和便携式ECG系统带来的挑战。

ADAS1000是一款高度集成的芯片，由五个电极输入和一个专用右腿驱动(RLD)输出参考电极组成，专为监控与诊断级ECG测量而设计。

除了支持监控ECG信号的基本元件，ADAS1000还配备了呼吸测量(胸阻抗测量)、起搏伪像检测、导联/电极连接状态以及内部校准等功能。

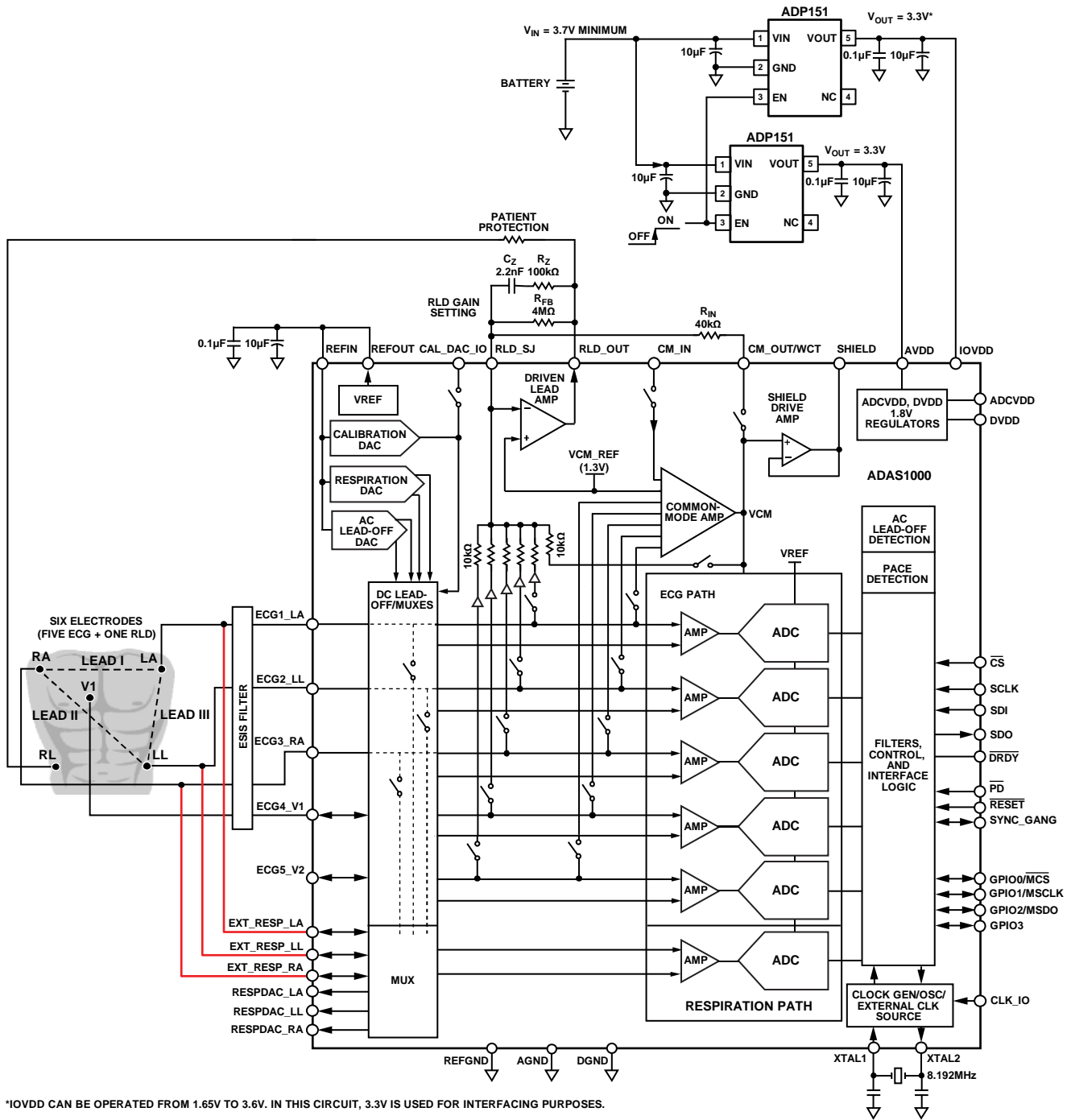
单个ADAS1000支持5个电极输入，轻松进行传统的6导联ECG测量。并联第二个ADAS1000从机设备便可将系统调节到真正的12导联测量(由9个电极和1个RLD组成)，若加入多个从机设备(3个或更多)，便可将系统调节到15导联测量甚至更多。

呼吸

ADAS1000集成用于在46 kHz至64 kHz的可编程频率下进行呼吸驱动的数模转换器(DAC)，以及用于简化这一复杂测量过程的模数转换器(ADC)。测量信号经解调，转换为幅度和相位信息，可据此确定相应的呼吸信息，从而得到具体的线缆参数。本电路使用内部电容时分辨率为 $200\text{ m}\Omega$ ，使用外部电容时具有较高的分辨率($<200\text{ m}\Omega$)。电路具有灵活的开关方案，允许测量三个导联中的一个(I、II或III)。

Rev. 0

Circuits from the Lab™ circuits from Analog Devices have been designed and built by Analog Devices engineers. Standard engineering practices have been employed in the design and construction of each circuit, and their function and performance have been tested and verified in a lab environment at room temperature. However, you are solely responsible for testing the circuit and determining its suitability and applicability for your use and application. Accordingly, in no event shall Analog Devices be liable for direct, indirect, special, incidental, consequential or punitive damages due to any cause whatsoever connected to the use of any Circuits from the Lab circuits. (Continued on last page)



*IOVDD CAN BE OPERATED FROM 1.65V TO 3.6V. IN THIS CIRCUIT, 3.3V IS USED FOR INTERFACING PURPOSES.

NOTES

1. IN THIS CIRCUIT, THE AGND, DGND AND REFGND ARE ALL TIED INTO ONE GROUND PLANE. THE DIGITAL GROUND AND DIGITAL CIRCUITRY CAN BE SPLIT INTO A SEPARATE GROUND, WITH CONNECTION MADE TO AGND AT THE ADAS1000 DEVICE. THE CONFIGURATION SHOWN HERE USES RA, LA, LL, V1 AND RLD, LEAVING 1 SPARE ADC PATH THAT CAN BE USED FOR OTHER MEASUREMENTS. ALTERNATIVELY, THIS CAN BE GANGED WITH A SLAVE ADAS1000 DEVICE TO ACHIEVE A NINE ECG + ONE RLD OR 12-LEAD MEASUREMENT.

图1. 用于典型4电极 + RLD或5导联配置的ADAS1000简化功能框图(未显示所有连接和去耦)

11108-001

起搏检测算法

起搏检测算法在四根可能的导联线(I、II、III或aVF)中的三根上运行三个数字算法实例。它与内部抽取和滤波并行针对高频心电图数据运行。该算法设计用于检测并测量宽度范围从100 μ s到2 ms、幅度从400 μ V到1000 mV的起搏伪像。[ADAS1000](#)返回一个标志,用以表示是在一根还是多根导联线上检测到起搏信号,同时返回检测到信号的高度和宽度。当用户希望运行自己的数字起搏算法时,[ADAS1000](#)提供了一个高速起搏接口,以极快的数据速率(128 kHz)提供ECG数据,与此同时,标准接口上经过滤波和抽取的ECG数据保持不变。

低功耗

[ADAS1000](#)针对低功耗设计,仅需21 mW便可进行5个ECG电极的测量。若需进一步降低电池供电式动态心电和遥测仪等应用的整体功耗,所有未用到的通道和特性都可轻松禁用,以便进一步将单个ECG导联的功耗降低至11 mW。

低噪声

若需在不同条件下进行正确诊断,则低噪声性能至关重要。终端设备需要借助于[ADAS1000](#)的噪声性能,以符合监管标准。[ADAS1000](#)允许在噪声性能、功耗以及数据速率之间进行权衡取舍,适合用于多种产品之中。在功耗并非主要问题的线路供电式ECG系统中,[ADAS1000](#)的性能同样非常出色。

使用器件的高性能模式可优化其噪声性能,该模式下片上SAR ADC的采样速率上升至2 MSPS,因此具有更高的信噪比(SNR)。

灵活的数据速率

标准串行接口可输出所有ECG相关信息,包括导联脱落状态、起搏、呼吸和其它辅助功能。统称“包”或“帧”的大量32位或16位数据字通过数据总线的串行SDO引脚输出。提供不同的数据帧速率(2 kHz、16 kHz或128 kHz),确保最终简化数据采集任务。最低的数据速率(2 kHz)可实现更多抽取功能,并且针对低噪声性能优化了帧数据速率。还可在跳跃模式下读取数据,该模式每次都在第二或第三个字时从设备读取包或帧。数据速率最低为500 Hz。

[ADAS1000](#)评估板连接SDP板的照片见图2。

评估板设计为提供1导联至12导联ECG测量。

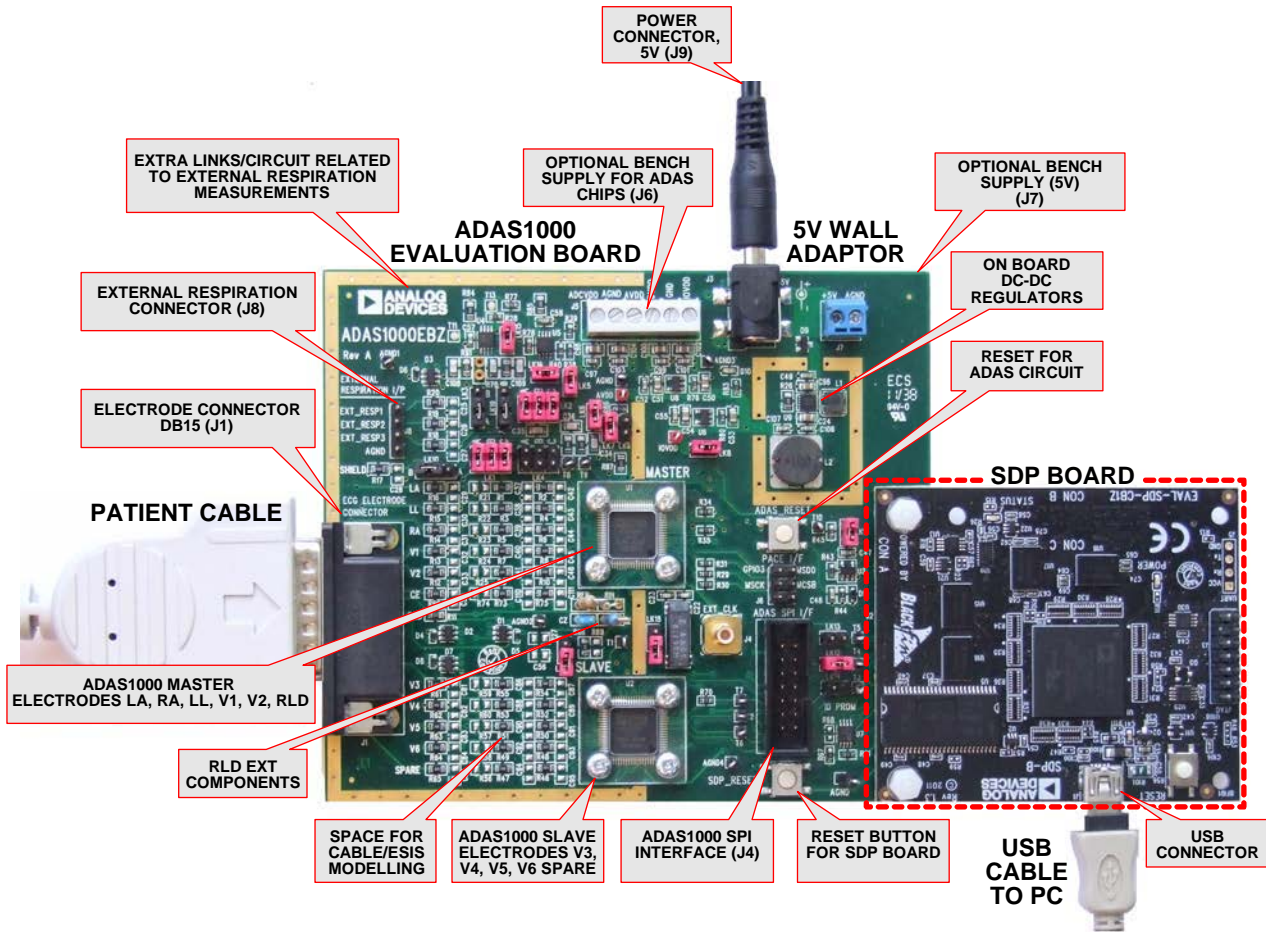


图2. ADAS1000评估板/SDP板(EVAL-SDP-CB1Z)

用于便携式ECG应用中的电池

用于便携式ECG设备中的电池种类各异，在某些情况下可能会用AA或AAA电池，方便更换或充电。

电池增加了仪表的整体重量。由于病人的舒适度非常重要，因此减少整体解决方案的尺寸和重量并保持电池寿命就成了便携式ECG应用的首要考量因素。

最新产品倾向于使用化学电池，如锂离子电池，并且电池供电时间可从几小时到几天，具体时间视产品而定。

电池电压范围取决于系统中元件的电源范围。**ADAS1000**需要3.3 V的AVDD。因此，若使用了**ADP151**稳压器，则电池必须供应至少3.7 V的电源，所需裕量为400 mV。锂离子或锂聚合物电池的标称电压为3.7 V；然而，放电电压大约为3.2 V。因此，需要两个堆栈确保**ADP151**达到3.7 V的最小电压。

选择合适的电源解决方案

ADAS1000至少需要两条供电轨——AVDD和IOVDD。如表1所示，ADCVDD和DVDD供电轨是可选的；使用**ADAS1000**集成的片上LDO，可分别从AVDD或IOVDD供电轨获取电源。

表1. ADAS1000所需的电源

供电轨	电压范围	功能
AVDD	3.3 V ± 5%	模拟供电轨
IOVDD	1.65 V至3.6 V	数字接口供电轨
ADCVDD (可选)	1.8 V ± 5%	ADC供电轨；可通过内部LDO从AVDD获取
DVDD (可选)	1.8 V ± 5%	数字供电轨；可通过内部LDO从IOVDD获取

AVDD和IOVDD在评估板上由3.3 V电源供电。为IOVDD供电轨选择3.3 V，以保持与**EVAL-SDP-CB1Z**上的SPORT接口兼容。若需要与工作较低电源电压下的微控制器接口，则IOVDD电源电压可低至1.65 V。

或者，如果需要电源效率更高的解决方案，可通过 [ADAS1000](#) 上的硬件引脚 (VREG_EN) 禁用 ADCVDD 和 DVDD 内部供电轨，以便通过外部电源驱动 ADCVDD 和 DVDD 供电轨。由于 ADCVDD 供电轨在片上为 ADC 供电，必须尽量保持其干净，并且一定不能与含有噪声的数字电源一同使用。

根据具体的工作模式，为单个 [ADAS1000](#) 供电的 AVDD 供电轨电源电流通常在 8 mA 和 15 mA 之间，并使能所有 5 路通道；可禁用不工作的通道以降低功耗。

专用的 [ADP151](#) 同时作用于评估板上的 AVDD 和 IOVDD 电源。注意每个 [ADP151](#) 都可驱动 200 mA 电流，因此可为系统内的其它元器件供电。[ADP151](#) 稳压器的输入来自电路板上供其它用途的 5 V 供电轨。

加入适当的滤波后，单个 [ADP151](#) 即可同时提供 AVDD 和 IOVDD 供电轨的电源，确保 AVDD 供电轨不受 IOVDD 供电轨上的任何数字噪声影响。

[EVAL-ADAS1000SDZ](#) 评估板设计成能够以大约 250 mA 为 [EVAL-SDP-CB1Z](#) 板提供所需的 5 V 电源。[ADP2503](#) 降压/升压 DC-DC 转换器可由连接板卡的 4.5 V 至 5.5 V 输入电源产生 5 V 供电轨。

若该硬件连接 SDP 板并由电池供电，则总功耗将很快耗尽电池的电量。

常见变化

[ADAS1000](#) 系列中的其它引脚兼容型 ECG 前端提供的功能较少。例如，[ADAS1000-4](#) 是 3 通道版本，带起搏与呼吸检测功能；[ADAS1000-3](#) 提供 3 路 ECG 通道但不带起搏或呼吸检测功能。[ADAS1000-2](#) 是配套器件，具有 5 路 ECG 通道，适用于组合配置模式，支持 12 导联 ECG 测量 (9 个 ECG 电极和 1 个 RLD)。表 2 列出了该系列各产品间的差异。这些产品系列确保了灵活的配置，可从较少的导联数一路扩展至 15 导联测量，甚至更多。

可将 DC-DC 转换器用于电源以获得更高的效率，但需谨慎布局布线并避免纹波噪声。

表 2. ADAS1000 系列不同产品的功能概览

产品型号	ECG	操作	右腿驱动	呼吸	起搏检测	屏蔽驱动器	主接口 ¹	封装选项
ADAS1000	5 路 ECG 通道	主/从	是	是	是	是	是	LFCSF, LQFP
ADAS1000-1	5 路 ECG 通道	主/从	是			是	是	LFCSF
ADAS1000-2	5 路 ECG 通道	从						LFCSF, LQFP
ADAS1000-3	3 路 ECG 通道	主/从	是			是	是	LFCSF, LQFP
ADAS1000-4	3 路 ECG 通道	主/从	是	是	是	是	是	LFCSF, LQFP

¹ 主接口针对希望使用自有数字起搏算法的用户而提供，参见 [ADAS1000](#) 数据手册中的“第二串行接口”部分。

电路评估与测试

设备列表

需要以下设备：

- [EVAL-ADAS1000SDZ](#) 套件，包括 [EVALADAS1000SDZ](#) 评估板、5 V 壁式电源、含有 [ADAS1000](#) 评估软件的 CD
- [EVAL-SDP-CB1Z](#) 系统演示板
- 集成 USB 端口的 PC，且已安装 [ADAS1000](#) 评估软件
- 可用于信号捕捉的病人仿真器或函数发生器

有关如何使用 [ADAS1000](#) 评估板的详细说明，请参考 [ADAS1000SDZ 用户指南](#)。图 3 显示使用评估板软件的典型屏幕截图，评估板连接病人仿真器。



图 3. 连接病人仿真器的 [ADAS1000](#) 屏幕截图，心率 = 70 BPM

11108-003

噪声测量

评估板软件用于捕获采用ADAS1000评估板时ECG导联路径的峰峰值噪声性能。结果如图4所示。

器件配置条件如下：

- 增益设置为1.4
- ADC采样速率为2 MSPS(高性能模式)
- 数据速率为2 kHz
- 在数字导联模式下配置(数字计算型导联)
- ECG通道连接1.3 V内部测试音

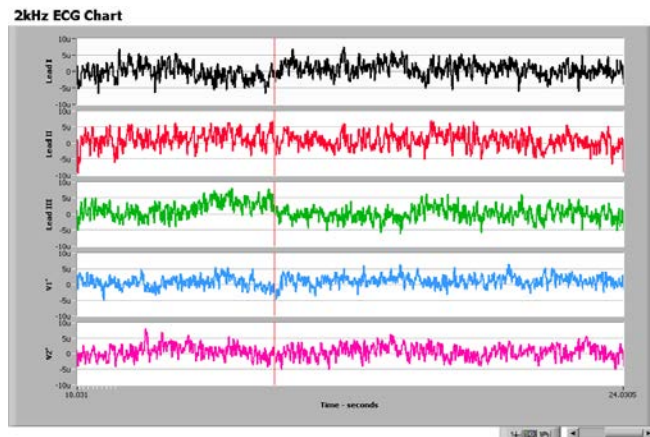


图4. 使用ADAS1000评估板和评估软件时导联模式下ADAS1000噪声测量的屏幕截图

x轴表示时间，显示几秒内的信号捕获；y轴的单位为 μV ，表示这些条件下，信号在 $\pm 7 \mu\text{V}$ 范围内变化的噪声性能。这与预期的ADAS1000性能一致，并且与使用低噪声线性台式电源时相同硬件上的性能相当。它证明了评估板上的ADP151电源电路并未导致ADAS1000整体噪声的显著增加。

使用本评估板和电路笔记的条件

有关完整的免责声明，请参考ADAS1000SDZ用户指南。

本评估板设计基于“原状”提供，无任何形式的明示或暗示性担保，ADI公司及其附属机构、员工、董事、管理层、委托人和代理人不承担使用本板卡或设计造成的任何法律责任。除此之外，双方了解并同意：评估板或设计不允许用于预料产品发生故障或失效可能会导致人身伤害或死亡的安全至关重要的医疗应用中(如生命支持等)。不允许使

用本板卡作为诊断目的，不允许将其连接到人类或动物身上。不可在除颤器或其它设备中使用本评估板，因为它们产生的高压将超过板卡上的供电轨电压。

本评估板仅限评估和开发使用，不可用作最终产品，或作为最终产品的一部分使用。在这些应用中以任何方式使用本评估板或设计，则由使用者自行承担相关风险；由于未经授权使用而给ADI公司、其附属机构、员工、董事、管理层、委托人和代理人带来的全部责任和费用，应由使用方赔偿全部损失。使用方全权负责遵守与此类使用相关的所有法律和法规要求。

了解详情

CN-0308-Design Support Package:

<http://www.analog.com/CN0308-DesignSupport>

MS-2160 Technical Article, *Mitigation Strategies for ECG Design Challenges*, Analog Devices

MS-2125 Technical Article, *Common-Mode Rejection: How It Relates to ECG Subsystems and the Techniques Used to Provide Superior Performance*, Analog Devices

MS-2126 Technical Article, *Multiphysiological Parameter Patient Monitoring*, Analog Devices

MS-2066 Technical Article, *Low Noise Signal Conditioning for Sensor-Based Circuits*, Analog Devices

Video AFE for Diagnostic-Quality ECG Applications

MT-021 Tutorial, *Successive Approximation ADCs*, Analog Devices.

MT-031 Tutorial, *Grounding Data Converters and Solving the Mystery of "AGND" and "DGND,"* Analog Devices.

MT-101 Tutorial, *Decoupling Techniques*, Analog Devices.

数据手册和评估板

[ADAS1000 Data Sheet](#)

[ADAS1000-1 Data Sheet](#)

[ADAS1000-2 Data Sheet](#)

[ADAS1000-3 Data Sheet](#)

[ADAS1000-4 Data Sheet](#)

[ADP151 Data Sheet](#)

修订历史

2012年10月—修订版0：初始版

(Continued from first page) Circuits from the Lab circuits are intended only for use with Analog Devices products and are the intellectual property of Analog Devices or its licensors. While you may use the Circuits from the Lab circuits in the design of your product, no other license is granted by implication or otherwise under any patents or other intellectual property by application or use of the Circuits from the Lab circuits. Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, Circuits from the Lab circuits are supplied "as is" and without warranties of any kind, express, implied, or statutory including, but not limited to, any implied warranty of merchantability, noninfringement or fitness for a particular purpose and no responsibility is assumed by Analog Devices for their use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from their use. Analog Devices reserves the right to change any Circuits from the Lab circuits at any time without notice but is under no obligation to do so.