

# Application Brief

## 远程患者监测



Anand Udupa

Wearable Bio-Sensing Series

### 应用

远程患者监测 (RPM) 指的是使用可远程访问的传感器来监测患者的生命体征，无论是在传统的临床环境中还是在临床环境之外，例如在家中。例如，使用皮肤贴片（请参阅图 1）来持续且长期（通常为数天）监测心电图 (ECG)，以检测心律失常，如心房颤动。此类监测器件所需具备的功能可以包括以下任意组合：单导联或多导联 ECG、通过胸部阻抗测量实现的呼吸监测、体温监测、血压监测或 SpO<sub>2</sub> 监测。AFE4960 器件为远程患者监测应用带来了前所未有的高度集成度，并能够实现单芯片的三导联 ECG 系统的构建。该器件支持双通道 ECG、呼吸监测，以及自动起搏器检测功能。图 2 展示了 AFE4960 引脚与三导联 ECG 电极的连接。标有 LA、RA、LL 和 RL 的电极分别代表左肢（手臂）电极和右肢（腿部）电极。这些电极的标注信息来源于临床 ECG 系统，不过在 RPM 器件中其位置可能会有所不同。图 3 展示了使用 AFE4960 的三导联 ECG 系统的参考原理图。AFE4960P 还集成了一个光电容积脉搏波描记 (PPG) 信号链，可实现高精度 SpO<sub>2</sub> 测量。图 4 所示为使用 AFE4960P 的三导联 ECG + SpO<sub>2</sub> 系统的参考原理图。AFE4960 和 AFE4960P 是具有低功耗的小型器件。这些功能使这些设备成为各种 RPM 设备（如可穿戴式动态心电图监测仪和生物贴片）的理想选择。

### AFE4960、AFE4960P

- AFE4960：双通道 ECG、呼吸、脉搏检测
- AFE4960P：AFE4960 + PPG 信号链
- 封装：2.6mm x 2.6mm DSBGA 封装，间距为 0.4mm
- 电源：RX：1.7V 至 1.9V；TX：3V 至 5.5V（适用于 PPG）
- 接口：SPI™、I<sup>2</sup>C 接口，先入先出 (FIFO)，采样深度为 128 个样本

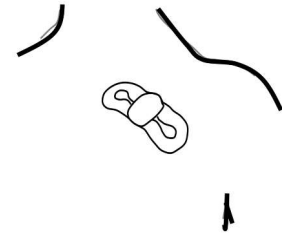


图 1. 生物贴片，RPM 器件的示例

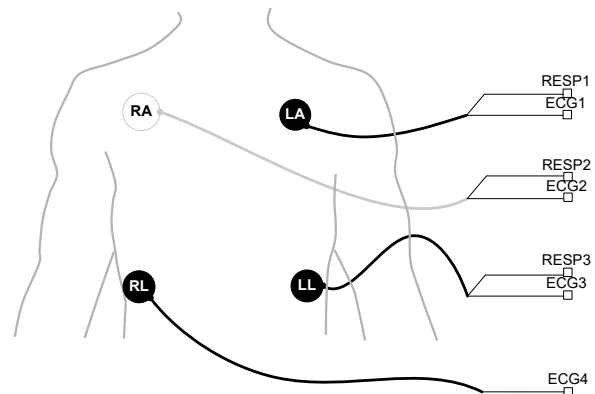


图 2. AFE4960 引脚与三导联 ECG 电极的连接

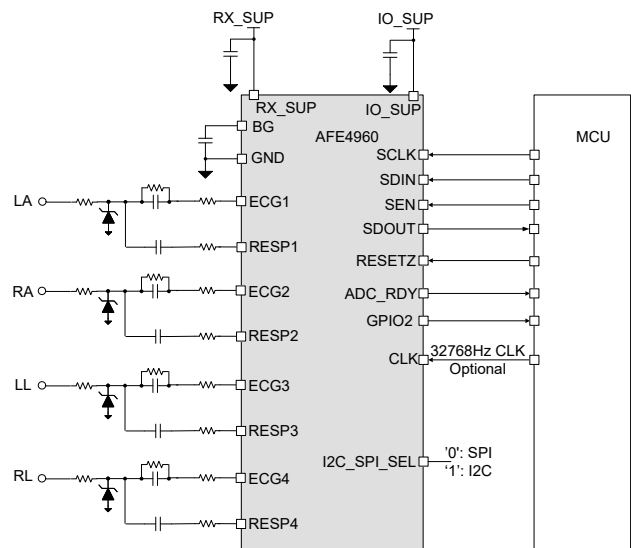


图 3. 采用 AFE4960 的三导联 ECG 参考原理图

## 优势

- 采用高接触阻抗的小型封装电极实现双通道 ECG 信号采集：具有高输入阻抗，右腿驱动 (RLD) 电极用于提高共模抑制比 (CMRR)
- 集成型低通滤波器 (LPF) 可滤除高频噪声
- 交流、直流导联检测和导联阻抗测量
- 低噪声呼吸信号链
- 在 20- $\mu$ A 额外电流下自动进行脉搏检测
- AFE4960P : PPG 采集可启用 SpO<sub>2</sub>。同步采集 PPG 和 ECG 信号可实现基于脉冲传输时间 (PTT) 的血压估算

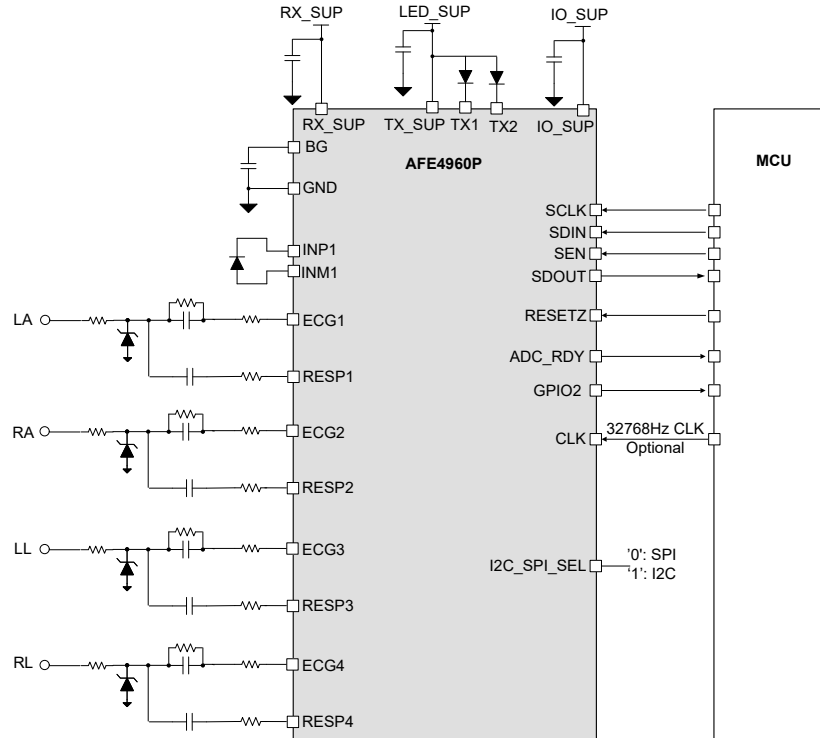


图 4. 使用 AFE4960P 实现三导联 ECG + SpO<sub>2</sub> 的参考原理图

表 1 列出了三导联 ECG + SpO<sub>2</sub> 系统的主要规格。

表 1. 三导联 ECG + SpO<sub>2</sub> 系统的主要规格

参数	AFE4960P	注释
电极数量   ECG 通道	4 个电极   2 个 ECG 通道	实现三导联 ECG 的单芯片设计
ECG 输入参考噪声	5 $\mu$ V <sub>pp</sub>	150Hz 带宽
ECG 通道 CMRR	130dB	通过反馈环路驱动 RLD 电极
电流消耗	每通道 222 $\mu$ A	每 ECG 通道在 500Hz 采样率下的表现
呼吸阻抗精度	40m $\Omega$ <sub>pp</sub>	在 0.05Hz 至 2Hz 的带宽上测量 2k $\Omega$ 基线
脉搏检测 - 最小振幅   宽度	2mV   100 $\mu$ s	无
PPG 信号链的 SNR	110dB	高 SNR 可实现高精度 SpO <sub>2</sub> 监测，即使在灌注指数低的情况下也是如此

图 5 展示了 AFE4960 信号链与三导联 ECG 系统的四个电极的连接。通道 2 可配置为第二个 ECG 通道或呼吸阻抗通道。也可以在连接到通道 2 的导联上启用自动脉搏检测。

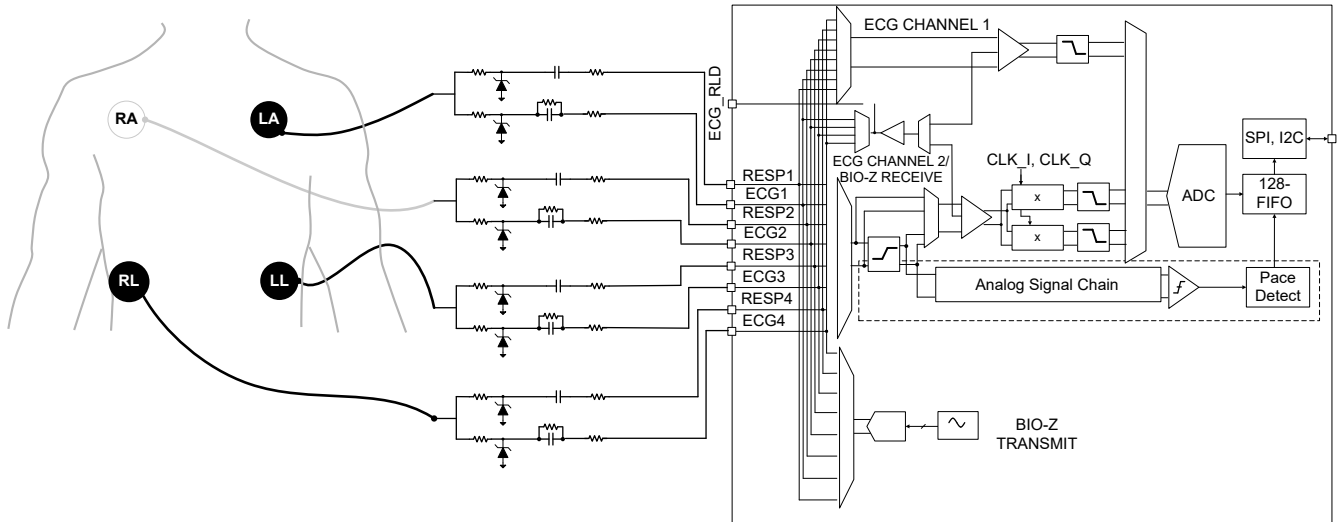


图 5. AFE4960 信号链与三导联 ECG 系统的四个电极的连接

## 重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月