

Application Brief

可穿戴设备血氧饱和度 (SpO₂) 测量

Anand Udupa

Wearable Bio-Sensing Series

应用

长期以来，氧饱和度 (SpO₂) 一直被视为临床患者护理的重要监测参数。自 20 世纪 70 年代起，人们便开始使用脉搏血氧仪设备对其进行测量。临床 SpO₂ 监测通常在手指上进行，将发光二极管 (LED) 放置在手指一侧，光电二极管 (PD) 放置在手指另一侧。由于 LED 发出的光会穿透手指，所以这种方法称为透射式脉搏血氧测定法。光经过不同组织成分 (皮肤、血液、组织等) 不同程度的吸收，最终入射到 PD 上。

SpO₂ 监测也可应用于智能手表等腕戴式可穿戴设备，用作评估和监测用户在运动期间身体状况的参数。腕部 SpO₂ 监测采用反射式脉搏血氧测定法，其中 LED 和 PD 均朝向腕部，LED 发出的光经皮肤和皮下各层组织反射后，入射到 PD 上。腕部 SpO₂ 监测也用于跟踪睡眠质量，并且可检测睡眠呼吸暂停等疾病。目前，SpO₂ 已成为一个重要参数，其数值降低可作为新冠病毒感染诱发缺氧的早期指标。

图 1 显示了可穿戴设备上 SpO₂ 监测系统的示意图。

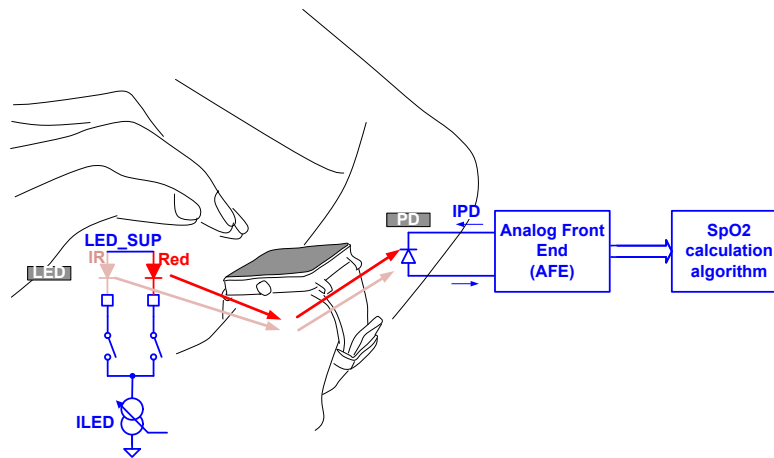


图 1. 在可穿戴设备上实现 SpO₂ 测量

AFE4432 概述

AFE4432 是 TI 的一款低功耗、高性能模拟前端 (AFE)，可在可穿戴设备上实现精确的 SpO₂ 监测。

- 接口：SPI™、I²C 接口：可通过引脚进行选择
- 封装：1.9mm × 1.8mm DSBGA 封装，0.35mm 间距
- 供电：RX：1.7V - 1.9V，IO：3.0V - 5.5V
- 特性：
 - 先进先出 (FIFO)，深度为 160 个样本
 - 内部振荡器、外部时钟选项

AFE4432 的差异化特性

- 信号链具有广泛的适应性 (LED 电流、跨阻放大器 (TIA) 增益、偏移数模转换器 (DAC) 范围)，适用于高环境光干扰和运动等各种使用场景
- 高信噪比 (SNR) 可实现出色的 SpO₂ 精度，即使在极具挑战性的使用场景中也毫不逊色
- 通过单独测量光电容积脉搏波 (PPG) 信号的直流和交流分量，可在极低的灌注指数条件下实现精确的 SpO₂ 监测

图 2 显示了使用 AFE4432 实现 SpO₂ 监测系统的参考原理图。

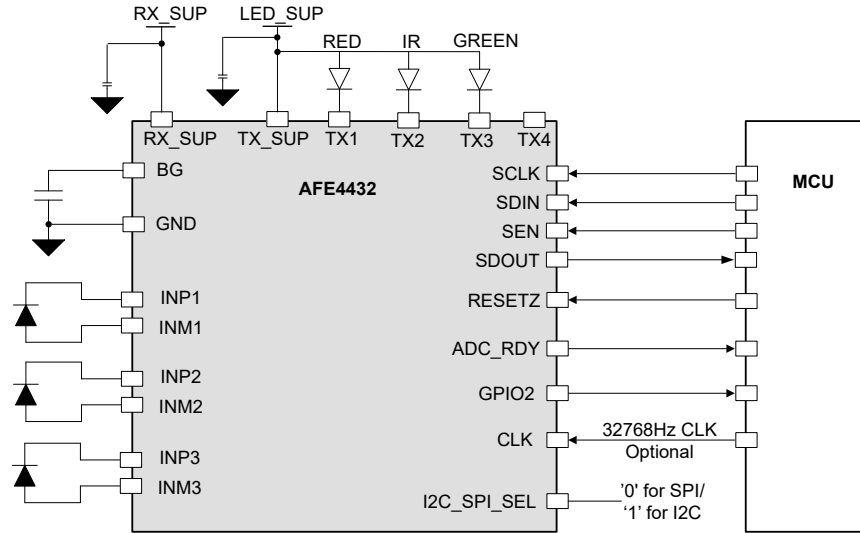


图 2. 使用 AFE4432 实现 SpO₂ 监测系统的参考原理图

表 1 列出了 SpO₂ 测量系统的主要规格。

表 1. 可穿戴设备上 SpO₂ 测量系统的规格

系统规格	AFE4432	注释
支持多传感器实现 SpO ₂ 和心率监测	4 个 LED、3 个 PD	除红色和红外 (IR) LED 外，典型的 SpO ₂ 系统还可增配一个绿色 LED。红色和 IR 波长采用同一个 PD，绿色波长则采用另一个 PD。
采样速率	1Hz-1kHz	在典型的 SpO ₂ 应用中，采样速率可达数百赫兹
峰值 SNR	10Hz 带宽内为 115dB	在低灌注情况下实现良好精度的重要考虑因素
环境光抑制	在 160Hz 带宽内大于 70dB	良好的环境光抑制有助于消除由室内照明等环境光源引起的杂散信号。

图 3 显示了 AFE4432 中的 PPG 信号链以及与外部 LED 和 PD 的连接。

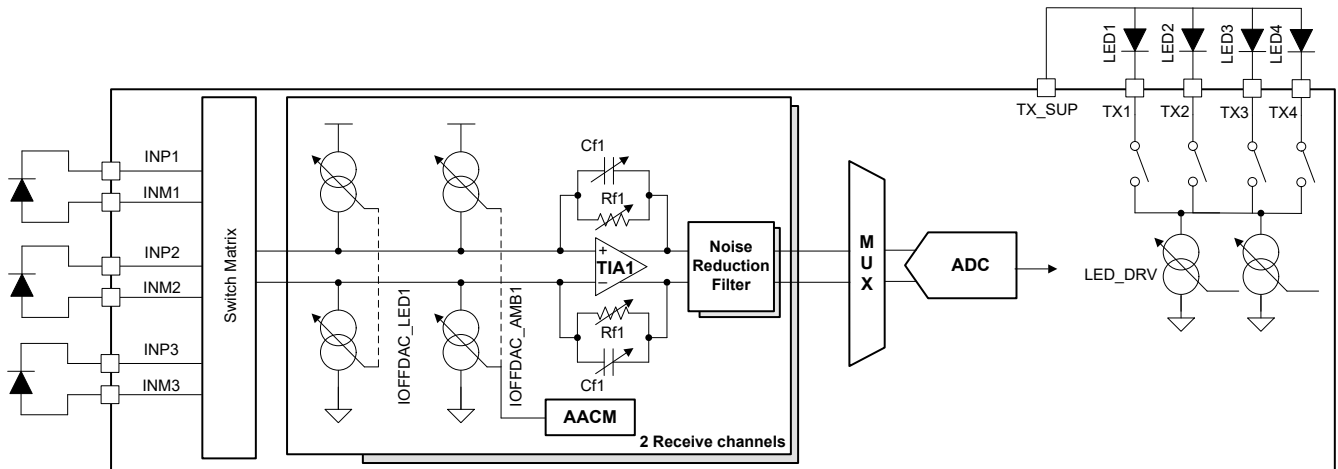


图 3. AFE4432 中的 PPG 信号链

LED 驱动器能够通过可编程电流驱动多达 4 个 LED。每个接收器可连接多达 3 个 PD，并且内部集成一个 TIA、多个输入直流偏移消除 DAC (用于环境光和 LED 光) 和一个具有可编程带宽的降噪滤波器。两个接收器共用一个模数转换器 (ADC)。德州仪器 (TI) 的多款其他 AFE 也支持在可穿戴设备上实现 SpO₂ 监测功能。最新产品包括 AFE4950、AFE4960P 和 AFE4500。

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