



David Stout, JD Crutchfield

## 摘要

目前基于阈值的烟雾报警器无法将某些类型的烟雾颗粒（例如，聚氨酯燃烧烟雾）与烹饪油烟、淋浴蒸汽等干扰源区分开来。本应用报告介绍了一种双芯片设计，该设计使用了 [TPS8802](#) 模拟前端 (AFE) ASIC 和 [Arm Cortex-M0+ MSPM0L1306](#) 微控制器，其中前者是经 UL 认证的 [UTGT2.S36499](#) 烟雾报警器元件。该设计能够区分真正的烟雾源和干扰源，从而满足 UL217 对烟雾报警器的新要求。本文档还包括一些测试数据，展示了模拟烟雾和水蒸汽条件下的测量结果。

最新的 [MSPM0 SDK](#) 中提供了该设计的[演示源代码](#)。可选的图形用户界面 (GUI) 使开发人员可以实时配置 AFE 并观察系统响应。该 GUI 已在 [TI 云工具库](#) 中发布。

## 内容

1 简介.....	2
2 演示硬件.....	4
3 演示软件.....	7
3.1 双射线测量和警报检测.....	7
3.2 其他演示功能.....	9
4 演示 GUI.....	10
5 测试结果.....	12
6 总结.....	15
7 参考文献.....	15

## 插图清单

图 1-1. TPS8802 + MSPM0 演示硬件方框图.....	3
图 2-1. 备选 LED 和 PD 配置的 PCB 位置和角度信息.....	4
图 2-2. TPS8802 LED 驱动器.....	5
图 2-3. TPS8802 光电接收器跨阻放大器.....	6
图 3-1. 软件架构.....	7
图 3-2. 软件流程图.....	8
图 3-3. AFE 测量例程.....	9
图 4-1. 烟雾探测器演示 GUI - 基本设置和实时测量.....	10
图 4-2. 烟雾探测器演示 GUI - 高级设置.....	11
图 5-1. 用于演示测试的烟箱.....	12
图 5-2. 水蒸气测试结果.....	13
图 5-3. 模拟烟雾测试.....	13

## 商标

LaunchPad™ is a trademark of Texas Instruments.

Arm® and Cortex® are registered trademarks of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 简介

UL217 标准的最新变更 ( 第 8 版和第 9 版 ) 规定, 烟雾报警器必须能够区分真实火灾中的烟雾与烹饪、淋浴蒸汽等干扰源的烟雾。与真实火灾中的烟雾相比, 这些干扰源产生的烟雾往往含有尺寸小得多的颗粒。但是, 聚氨酯燃烧烟雾是一个例外, 在这种类型的烟雾中, 颗粒的大小与那些干扰源中的较大颗粒相当。这就需要更改基于阈值的典型单波长检测算法, 以实现可靠的烟雾探测并减少误报。

在估算颗粒大小和确定烟雾类型方面, 两种常见的光电传感技术为 LED 波长和散射角。烟雾探测中光散射配置的信号响应遵循米氏散射物理学。因此, 使用波长较小 ( 例如蓝光 ) 的 LED 可以增加信号响应, 因此具有更高的信噪比 (SNR), 可用于检测干扰源中常见的较小颗粒。为了检测平均直径为 50nm 至约 1 $\mu$ m 或更大范围内的颗粒, 最好使用不同波长的 LED 来覆盖预期的颗粒大小范围, 通常为红外和蓝光。通过测量不同散射角的散射反应, 例如反向散射 ( 散射角小于 90° ) 和正向散射 ( 散射角大于 100° ), 可以估算颗粒大小。这两种技术相结合, 提供了一种稳健的多标准方法来区分真实的烟雾源和干扰源。

图 1-1 展示了一种解决方案, 其中包括区分真实烟雾源和干扰源所需的硬件。这两个 LED 驱动器支持根据光室设计使用具有不同波长以及不同散射角的 LED。

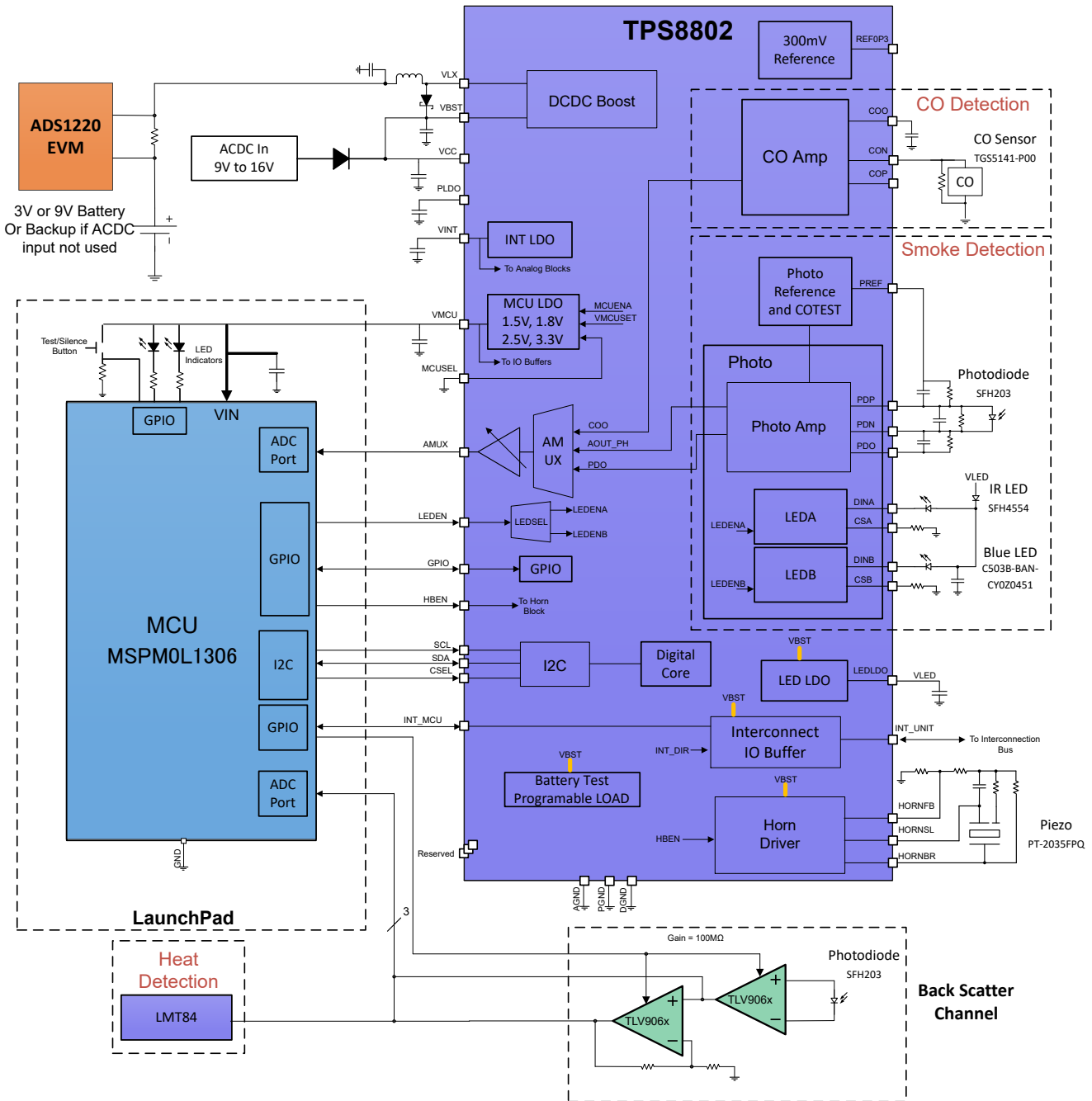


图 1-1. TPS8802 + MSPM0 演示硬件方框图

此设计中使用的光室配置为使用单个广谱光电二极管 (PD) 对两个 LED 进行正向散射测量。但是，TPS8802 PCB 能够适应不同的光室设计，因此相同的硬件条件下可以使用不同的散射角和波长组合。

在出于演示目的进行设置时，硬件旨在展示 TPS8802 和 MSPM0 微控制器的功能。因此，本演示的固件和 GUI 不包括使用图 1-1 所示的分立式反向散射光电二极管通道。但是，这些都可以针对更先进的检测和算法实现进行定制。

除了烟雾探测之外，TPS8802 AFE 还包含用于检测一氧化碳 (CO) 的电路，该电路是住宅安装所需组合探测器中必不可少的，也可以作为多标准烟雾检测算法与光电检测的一部分使用。

## 2 演示硬件

图 1-1 展示了基于 TPS8802 和 LP-MSPM0L1306 的演示板方框图。此演示板包括一个钮扣电池—一氧化碳传感器、一个基本的 3D 打印烟腔、一个用于报警通知的 3 端子压电元件，以及状态 LED 和按压测试/静音按钮等常见功能。该硬件板还包含用于测量环境空气温度的 LMT84，该 LMT84 可与 Launchpad 上 MSPM0L1306 的内部温度传感器结合使用，以实现基本的感温探测。在最简单的用例中，该演示硬件使用 2 节 AA 电池供电，并使用 USB 电缆将 LaunchPad 插入 PC，以便使用本报告中所述的 GUI 进行数据采集或显示。

虽然基本的 3D 打印烟腔设计用于仅测量多波长正向散射，但 PCB 包括 LED 和 PD 的替代位置，如图 2-1 所示。这些替代位置支持使用 3 个 LED 和 1 个 PD 或 2 个 LED 加上 2 个 PD 实现（但不限于）以下腔室设计：仅正向散射（单波长或多波长）、多角度（单波长或多波长）。这样一来，客户便可以将此硬件与他们自己的腔室和光学设计结合使用，或评估多个设计。

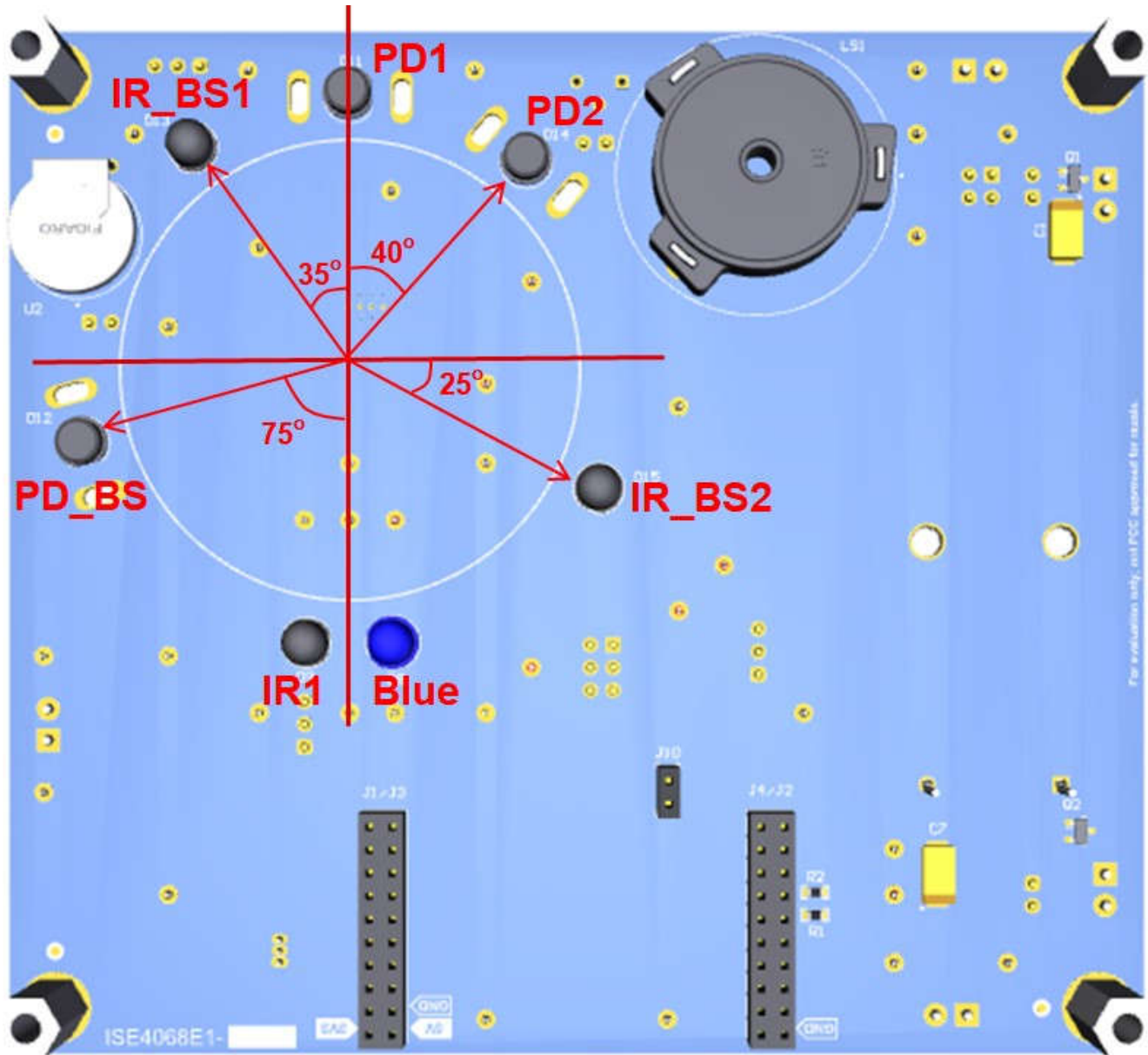


图 2-1. 备选 LED 和 PD 配置的 PCB 位置和角度信息

图 2-2 和图 2-3 分别详细展示了 LED 驱动器和 2 级跨阻放大器接收器的光电前端实现。演示软件和 GUI 允许动态修改 LED 驱动强度和温度系数设置。LED 驱动强度由 8 位 DAC 并使用 TPS8802 中的 PDACx 寄存器来控制。CSA 和 CSB 引脚连接到 MCU 的 ADC 通道，结果显示在 GUI 中。通过将这些信息与 GUI 中用于 LED DAC

设置的滑块相结合，可以根据温度系数设置、外部电流设置电阻器和编程的 LED DAC 值，获得实际 LED 驱动强度的即时反馈。同样，对于跨阻放大器，可以使用 GUI 来动态修改 PGAIN 寄存器。每个 LED 均具备单独的 PGAIN 设置，因此接收器增益会根据具体是哪个 LED 闪烁而不同。这是针对不同波长 LED 或具有不同散射角配置的 LED 调整响应所必需的。TPS8802 的输入放大器级是一种超低输入失调（电压和电流）、宽带宽设计，旨在用于放大低电平光电二极管电流。借助完全可通过软件进行配置的光电前端，可以轻松测量和分析硬件中的不同配置和优化。最后，由于 TPS8802 不包含 ADC，模数转换发生在 MCU 中，在这里，可以进行信号处理或立即存储数据，而不是使用额外的串行接口和延迟来从 TPS8802 获取数据。这样可以同时节省子系统的功耗和成本。在此演示中，对于每个 LED 闪光灯，ADC 会对光电接收器进行 5 次采样。该演示会对这些 ADC 样本取平均值，以降低测量的噪声。

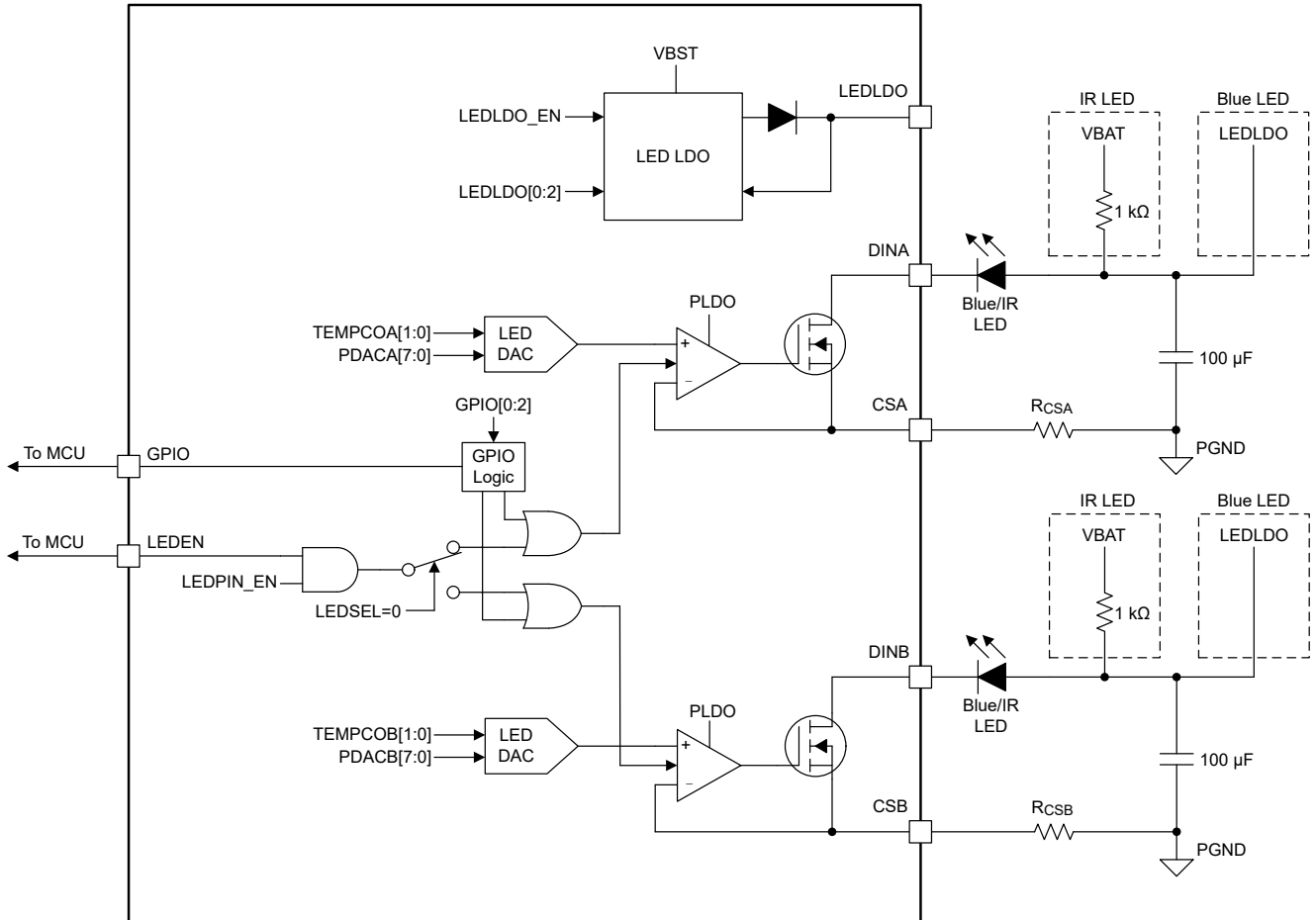


图 2-2. TPS8802 LED 驱动器

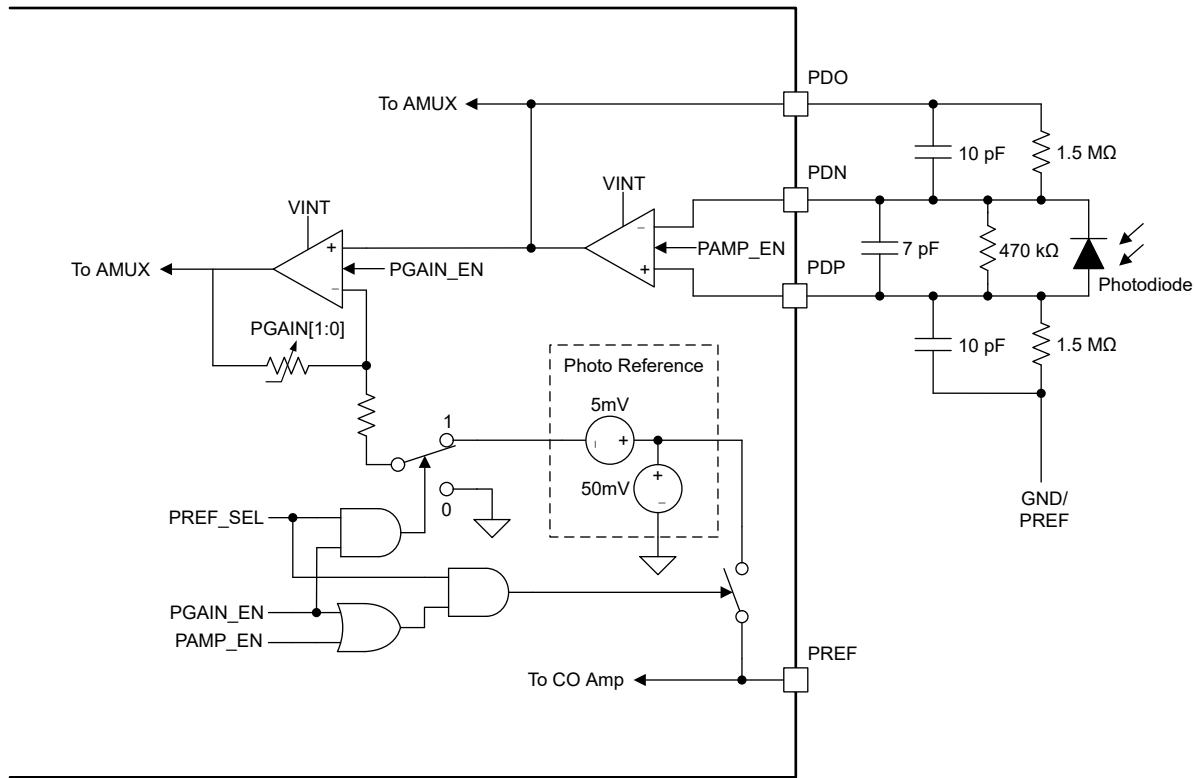


图 2-3. TPS8802 光电接收器跨阻放大器

此外，[TPS8802](#) 还集成了升压转换器、模拟电源 LDO、微控制器电源 LDO、光电室模拟前端 (AFE)、一氧化碳传感器 AFE、互连驱动器、压电喇叭驱动器、模拟多路复用器和数字内核。高集成度大大减少了烟雾报警器和一氧化碳报警器中的元件数量。[TPS8802](#) 可由各种电源供电：

- 9V 电池
- 3V 电池
- 2V 至 15V 直流电源
- 具有备用电池的直流电源

两个 LED 驱动器具有高度可配置的温度补偿功能，可在宽电流范围内支持红外和蓝光 LED。光电放大器的高带宽可缩短 LED 导通时间，从而实现节能。CO 放大器集成了增益电阻器。喇叭驱动器与两端或三端压电喇叭兼容，并且三端自谐振模式可调，以更大程度地提高电压响度。有线互连驱动器允许多个烟雾报警装置进行通信来交换报警状况。每个模块都高度可以通过数字内核 I2C 接口进行配置，支持动态调整放大器增益、稳压器电压和驱动器电流。睡眠模式、欠压升压使能和一次性升压充电等数字功能旨在降低功耗，从而在电池供电情况下实现 10 年报警器寿命。可配置的状态和中断信号寄存器会向 MCU 发出故障情况警报，例如欠压、过温和互连警报。

[MSPM0 微控制器](#) 属于 MSP 高度集成的超低功耗 32 位 MSPM0 MCU 系列，该系列基于增强型 Arm® Cortex®-M0+ 内核平台，工作频率最高可达 32MHz。这些成本优化型 MCU 提供高性能模拟外设集成，支持 -40°C 至 125°C 的扩展工作温度范围，并在 1.62V 至 3.6V 的电源电压下运行。MSPM0L 器件提供高达 64KB 且具有高达 4KB SRAM 的嵌入式闪存程序存储器。这些 MCU 包含精度高达 ±1.2% 的高速片上振荡器，无需外部晶体。其他特性包括 3 通道 DMA、16 位和 32 位 CRC 加速器，以及各种适用于烟雾探测器应用的高性能模拟外设，例如：

- 一个具有可配置内部电压基准 ( 1.4V 或 2.5V ) 的 12 位 1.68MSPS ADC
- 一个具有内置基准 DAC 的高速比较器
- 两个具有可编程增益的零漂移零交叉运算放大器
- 一个通用放大器
- 一个片上温度传感器，用于感温探测或用于补偿 LED 电流强度和光电二极管温漂。

这些器件还提供智能数字外设，例如四个 16 位通用计时器、一个窗口化看门狗计时器和各种通信外设 ( 包括两个 UART、一个 SPI 和两个 I<sup>2</sup>C )。

### 3 演示软件

本应用手册包括库的源代码和旨在加速烟雾探测器应用开发的演示应用。该软件只是完整系统的一部分，仅供参考。

图 3-1 展示了演示软件的架构。

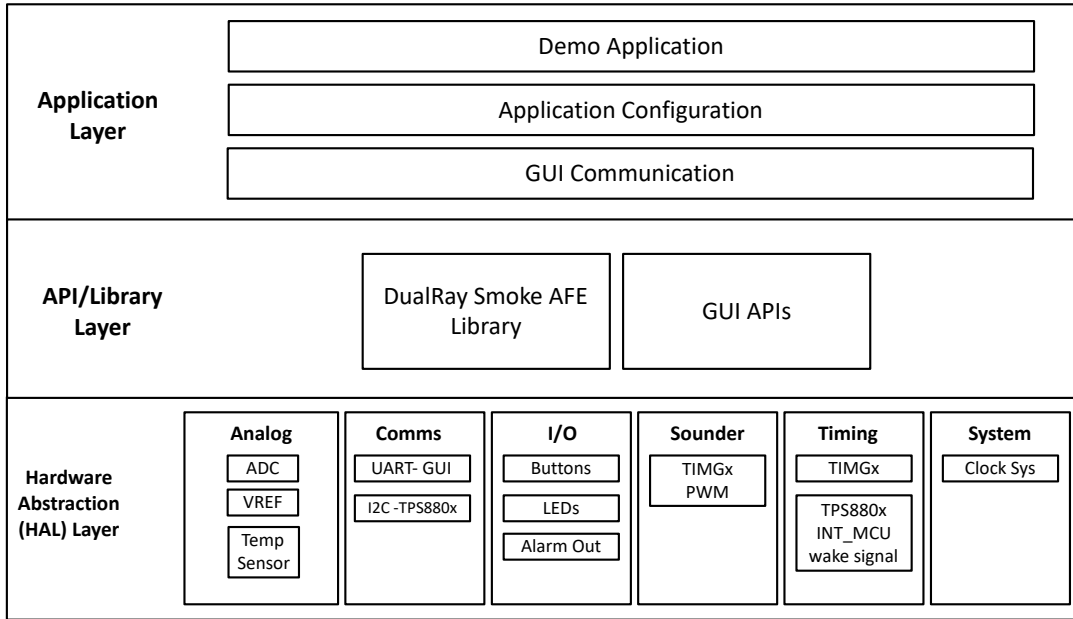


图 3-1. 软件架构

该软件分为三层设计：

- 应用层实现演示功能、定义默认配置，并处理与 GUI 之间的命令。
- API/库层定义一组 API 来进行 AFE 测量、执行计算，以及与 GUI 连接。
- HAL 层提供硬件抽象以连接不同的外设，并支持灵活的模块化便携式设计。

#### 3.1 双射线测量和警报检测

该演示应用会对双射线 AFE 执行定期测量并实现简单的阈值算法，以检测是否可以触发警报。SysConfig 用于生成 ti\_msp\_dl\_config.c 和 .h 文件，这些文件可以完全配置 MSPM0 的所有外设。主时钟配置为从内部 SYSOSC 运行，运行频率为 32MHz。此示例中未实现 RTC，而是在 TPS880x 中配置了低功耗计时器，用于使用外部 GPIO 将 MSPM0 从睡眠状态唤醒。这些文件还配置应用的 GPIO、计时器、通信和电源策略。

主循环包括采样例程、平均例程、确定是否已达到红外或蓝光 LED 阈值、如果已启用则从 GUI 发送和接收信息，以及进入低功耗模式。该循环要求红外或蓝光反射连续三次超过设定的阈值，然后才会发出警报（请参阅图 3-2）。随着警告级别升高，测量间隔时间会缩短。

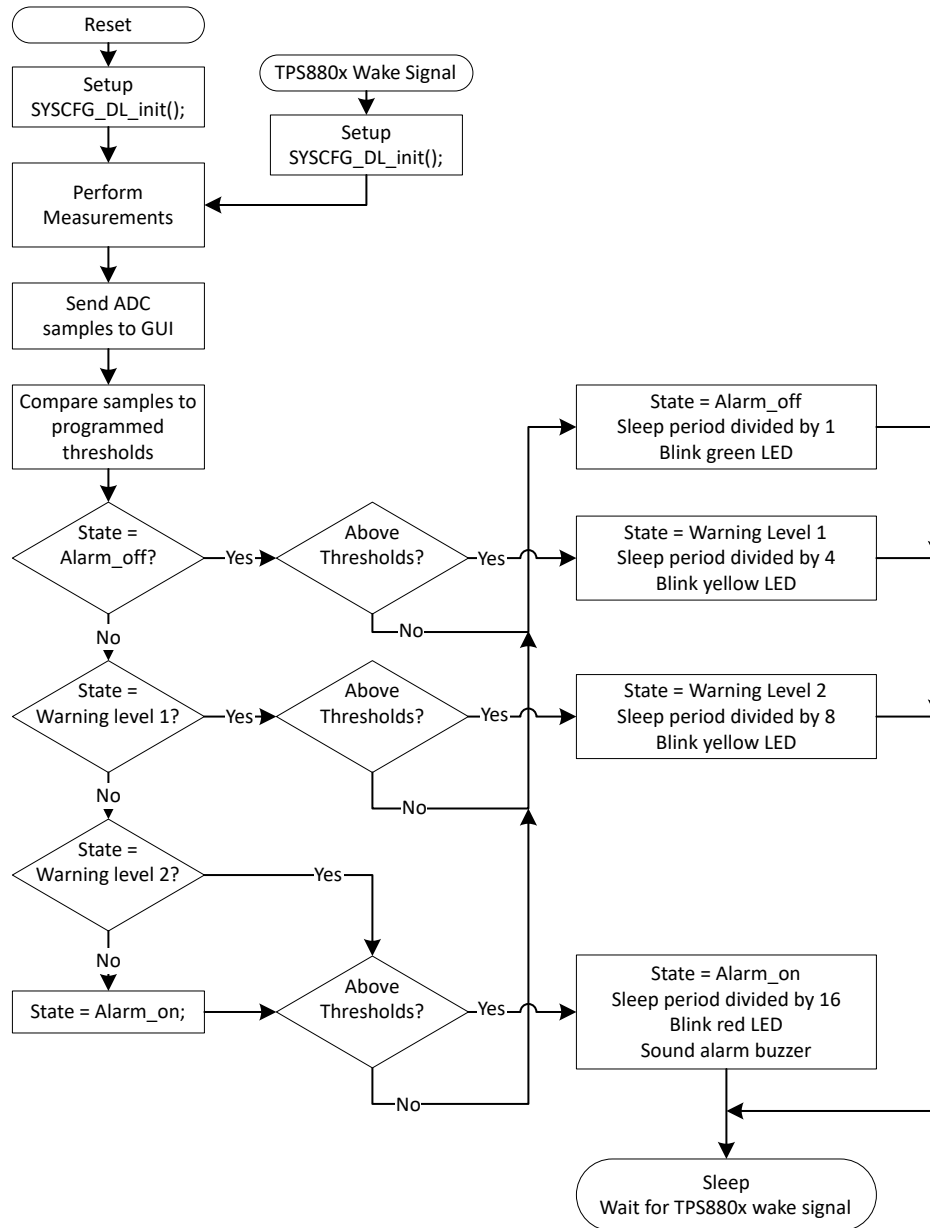


图 3-2. 软件流程图

如图 3-3 所示，测量例程会首先启用 TPS880x AFE，配置其内部电源稳压器和模拟多路复用器以测量光电二极管，并确保 LED 关闭。内部 ADC12 配置为进行 4 次重复测量。经过一段稳定时间后，在不打开 LED 的情况下进行这些测量，以获取暗基线。然后，系统会通知 TPS880x 打开 IR LED 并测量其打开时的反射量。然后会使用蓝光 LED 重复此过程。测量两个 LED 后，如果代码中启用了一氧化碳检测，MCU 会重新配置 TPS880x，并也会读取该传感器。

所有测量都完成后，TPS880x 会进入低功耗模式，然后对样本取平均值并根据已完成的任何校准进行补偿。应用会将这些数据与 GUI 设定的阈值进行比较，以执行基本的双射线检测，最终如果超过这些阈值，就会发出警报。



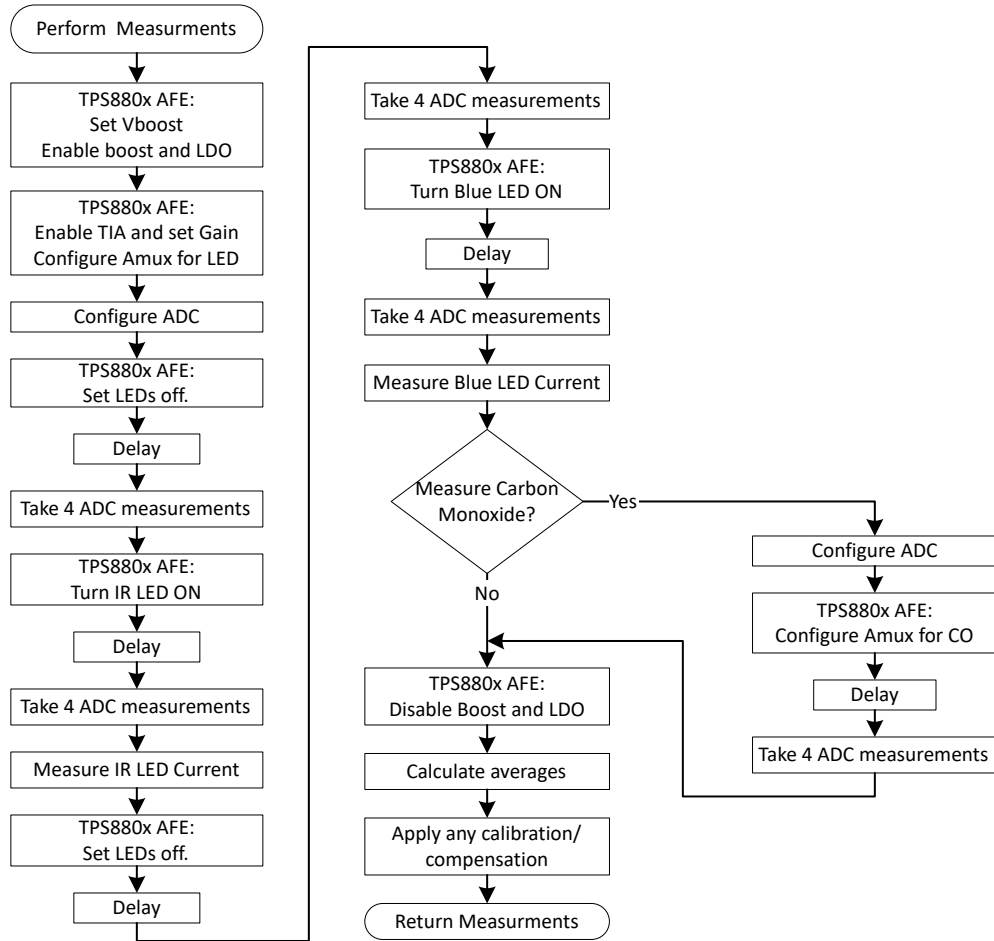


图 3-3. AFE 测量例程

### 3.2 其他演示功能

除了双射线 AFE 测量和基本的烟雾探测演示算法，该软件还包括以下特性：

- **测试按钮**：报警激活后短按可关闭报警，长按则可在自检模式下激活报警。
- **温度检测**：定期测量外部温度传感器，并将信息发送到 GUI。开发人员可以使用这些信息来执行 LED 驱动电流和光电二极管的温度校准。
- **GUI 通信**：直观地显示测量数据，并允许开发人员实时调整各种参数，例如 PGA 增益、LED 驱动强度、采样周期和警报阈值。

为本设计实现的软件只是完整系统的一部分，仅供参考。完整的双射线反射检测器将需要更多功能，例如：用于改进烟雾探测和干扰抑制的算法、监控电压和温度、系统校准等。

## 4 演示 GUI

为了改进双射线烟雾探测系统的评估效果，本应用手册中包含了通过 TI GUI Composer 开发的图形用户界面 (GUI)。

TI GUI Composer 是一款用于快速开发客户用户界面以与目标应用交互的工具。有关 GUID 计算机的更多信息，请访问 [TI 开发人员专区](#)。

要使用双射线烟雾探测器演示 GUI，请按照以下步骤操作：

1. 访问 [TI 云工具库](#)。
2. 点击 DualRaySmoke\_FR2355\_MSP\_TPS Version 2.6.1 GUI。
3. 使用 UART 桥接器 (例如 XDS110 或 LP-MSPM0L1306 LaunchPad™ 中包含的反向通道 UART) 将 PC 连接到 MSPM0 设计。
4. 选择 9600 波特下的相应 COM 端口。
5. 从设备接收到数据后，GUI Composer 自动检测硬件何时连接。

图 4-1 和图 4-2 展示了双射线烟雾探测器演示 GUI 和功能：

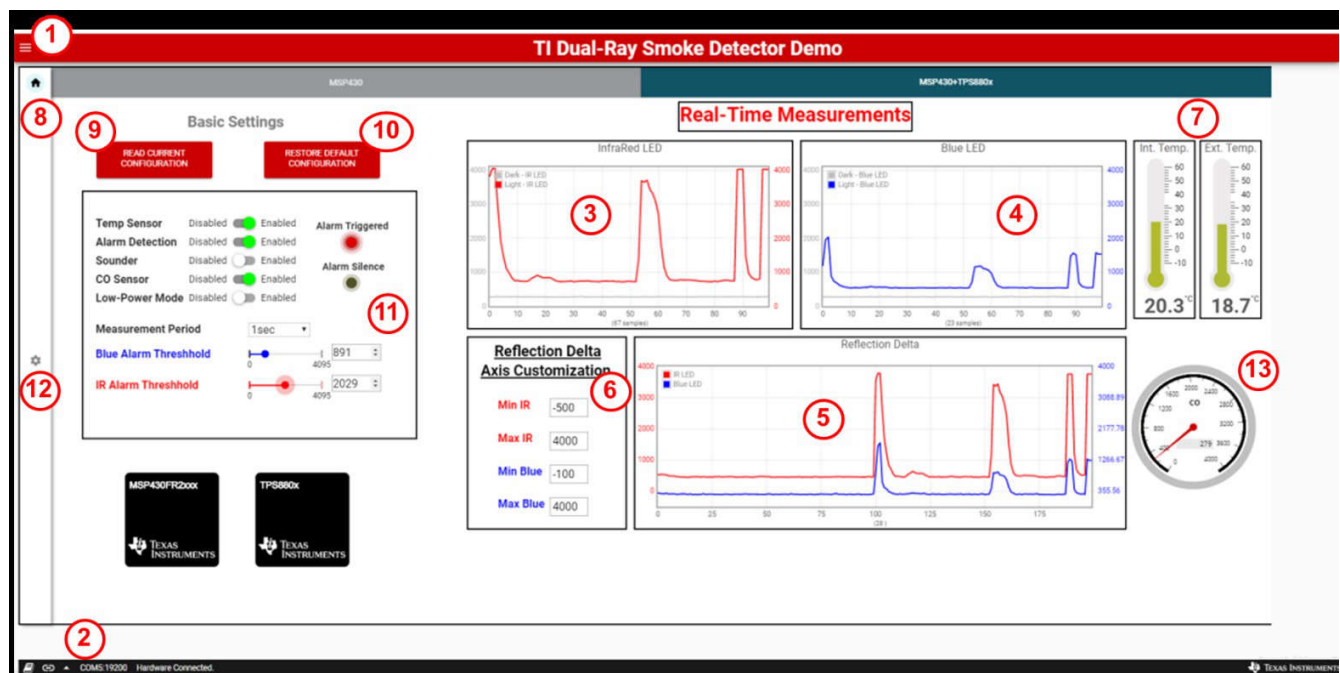


图 4-1. 烟雾探测器演示 GUI - 基本设置和实时测量

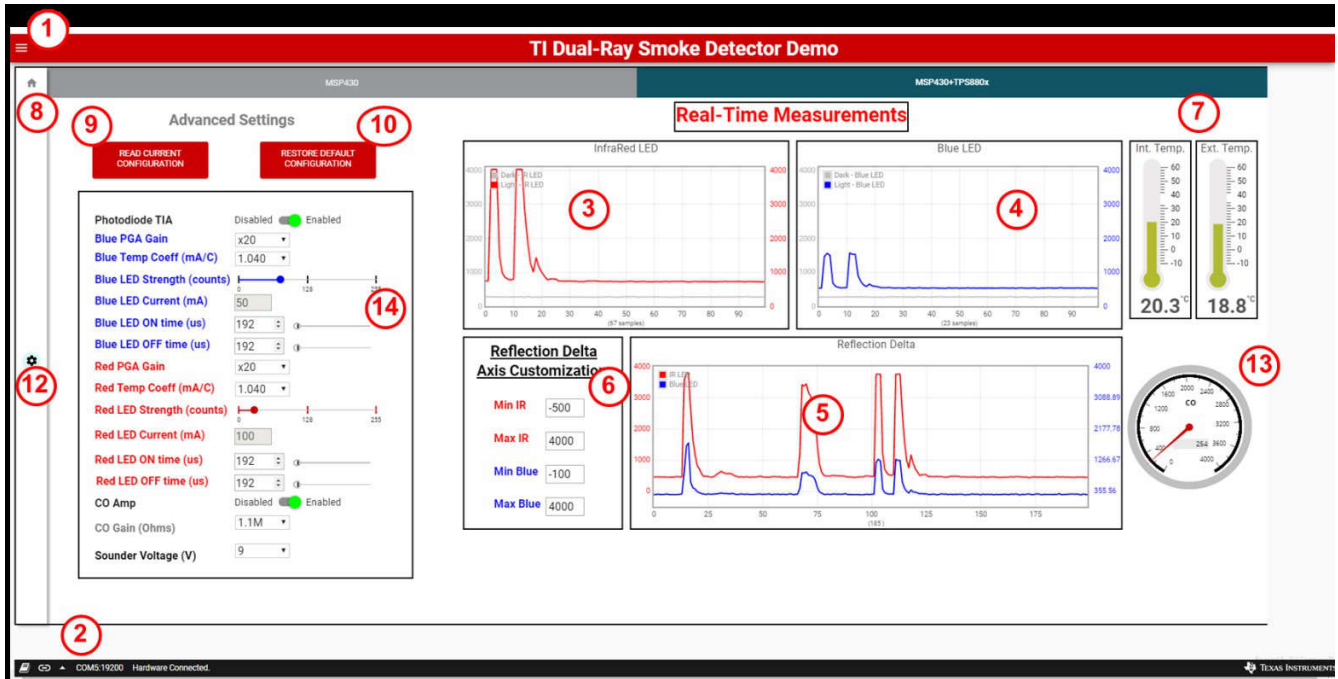


图 4-2. 烟雾探测器演示 GUI - 高级设置

GUI 中包含的功能包括：

1. 菜单：用于配置端口和波特率。
2. 连接状态：显示当前硬件连接和状态。
3. 红外 LED 图：显示红外 LED 的实时 ADC 数据。暗红外 ADC 数据（红外 LED 熄灭时的测量数据）以灰色显示，而亮红外 ADC 光（红外 LED 点亮时的测量数据）以红色显示。
4. 蓝光 LED 图：显示蓝光 LED 的实时数据，其中亮数据以蓝色显示，而暗数据以灰色显示。
5. 反射增量图：显示蓝光和红外 LED 的暗测量数据和亮测量数据之间的差异。通过绘制这些增量图，可轻松评估侵入式物质对系统的影响。
6. 反射增量轴自定义：调整反射增量图的轴。
7. 温度传感器：显示使用 MCU 内部传感器和外部 LMT84 温度传感器测量的温度。
8. 选择“Basic Settings”窗口（默认）。
9. “Read Current Configuration”按钮：按下此按钮可使用器件的当前配置更新 GUI。
10. “Restore Default Configuration”按钮：按下此按钮可恢复设备的默认配置。
11. “Basic Settings”面板，包括：
  - a. Temp Sensor：启用或禁用温度传感器的读取。
  - b. Alarm Detection：启用或禁用警报检测功能。禁用以在不触发警报的情况下进行测量。
  - c. Sounder：启用或禁用喇叭或发声器。
  - d. CO Sensor：启用或禁用 CO 传感器测量。
  - e. Low-Power Mode：启用或禁用低功耗模式以进行电源电流测量。启用模式会停止 UART 对 GUI 的写入。
  - f. Alarm Triggered LED：显示警报是否已激活。
  - g. Alarm Silence LED：显示警报是否已通过静音按钮静音。
  - h. 采样周期：调整 AFE 测量的周期。
  - i. 蓝色/红色警报阈值：调整蓝光/红外 LED 反射增量触发警报的阈值。
12. “Advanced Settings”选项卡：选择以查看图 4-2 中所示的高级设置。
13. CO 传感器：以模拟仪表盘和数字显示形式和十进制格式显示 CO 信号链输出的 ADC 结果。可以使用电路板上所装传感器提供的校准代码将 ADC 结果转换为 PPM 电平。
14. “Advanced Settings”面板，包括：
  - a. Photodiode TIA：启用或禁用 TPS8802 光电接收器。
  - b. Blue PGA Gain/Red PGA Gain：调整测量每个 LED 时的 PGA 增益。

- c. Blue LED Strength/Red LED Strength : 调整每个 LED 的驱动强度。
- d. Blue LED current/Red LED current : 用 CSx 检测电压除以 CSx 电阻值所得的 ADC 测量结果。为由 LED 强度滑块设置的 LED 电流驱动提供反馈。
- e. Blue LED On time/Blue LED Off time/Red LED On time/Red LED Off time : 设置光电接收器输出稳定所需的时间与进行测量所需的时间之和。
- f. CO Amp : 启用或禁用 TPS8802 中的 CO 放大器。
- g. CO Gain : 设置 TPS8802 中 CO 放大器电路的增益。
- h. Sounder Voltage : 在警报激活时设置 TPS8802 升压转换器的输出电压。

## 5 测试结果

烟雾报警器机构认证所需的烟雾测试中规定了一些阈值，要求报警器在超过阈值后的特定时间段内触发警报。这些阈值以每英尺的遮光百分比来指定，这意味着测量空气中的烟雾密度，以及该特定烟雾的颗粒降低了房间内的多少能见度。光电烟雾探测器中将信号测量与遮光相关联的一种方法是计算 LED 和光电二极管对的电流传输比 (CTR) (例如，光电二极管电流除以 LED 驱动电流，单位为 nA/mA)。

此演示在按照 UL 规范构建的烟箱内进行了测试，如图 5-1 所示。遮光度使用经校准的参考表进行测量。



图 5-1. 用于演示测试的烟箱

这里执行了两个单独的测试。第一个测试使用了水蒸汽来模拟干扰源。第二个测试添加了盐晶，以在烟箱生成模拟烟雾特征。在这两个测试中，红外 LED 驱动电流均设为 100mA，蓝光 LED 驱动电流设为 50mA。在这两个测试中，红外信号的 PGA 增益都设置为 11，蓝光信号的 PGA 增益都设置为 35。图 5-2 和图 5-3 分别展示了这两个测试的测量结果。

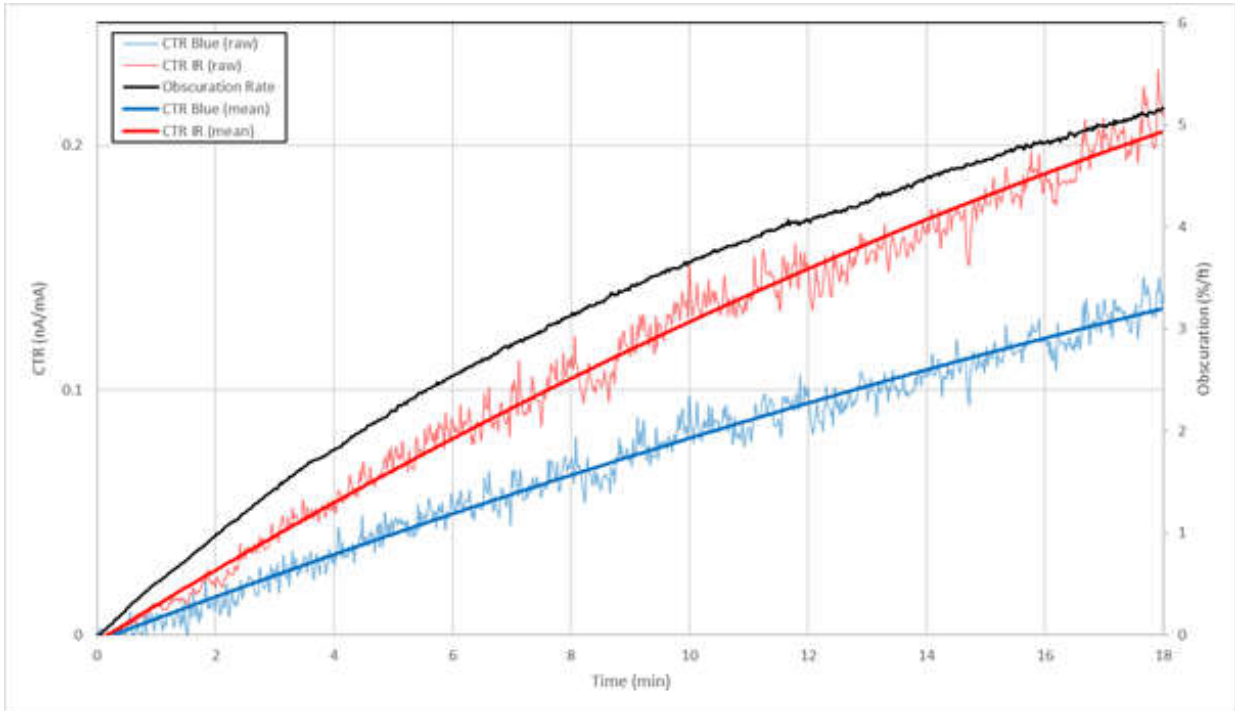


图 5-2. 水蒸气测试结果

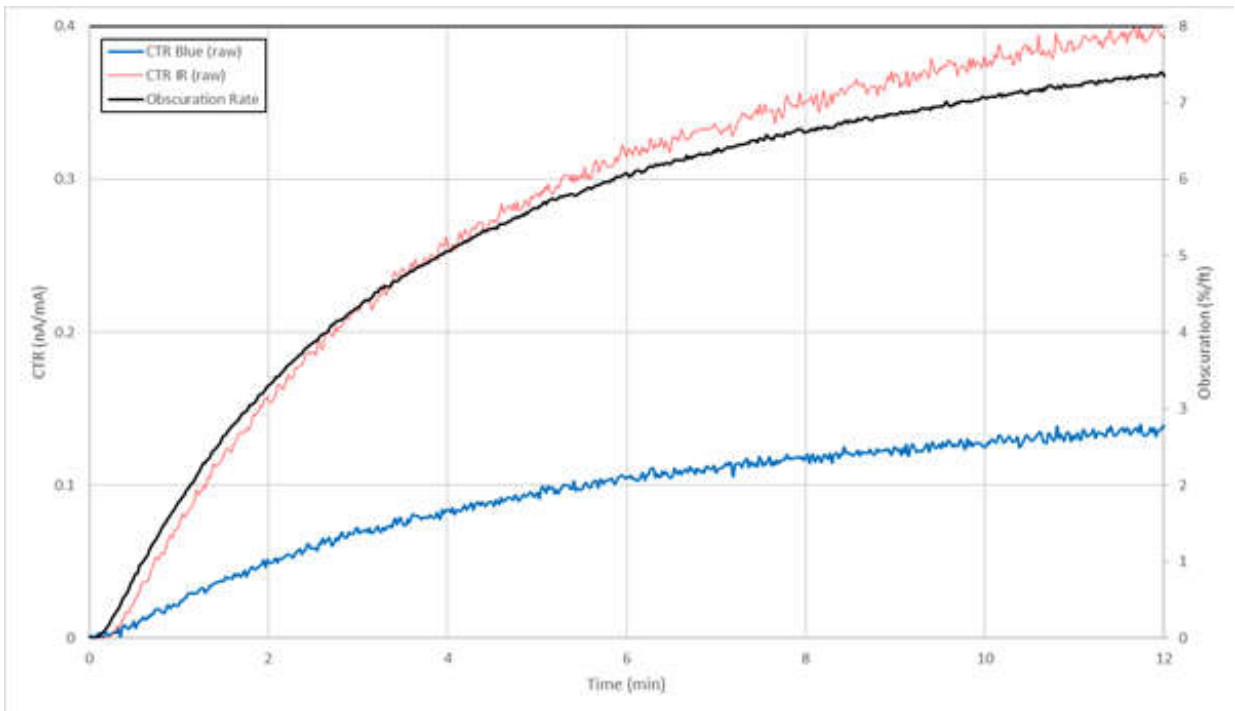


图 5-3. 模拟烟雾测试

正如这些结果所示，本演示能够测量不同类型的烟雾。预计红外二极管测量值与蓝光二极管测量值的比率将为区分模拟烟雾源和水蒸汽源（被视为干扰源，例如淋浴蒸汽）的方法提供基础，如 [使用 MSP430FR235x MCU 设计双射线烟雾探测器模拟前端](#) 应用手册所述。实际上，图 5-2 和图 5-3 中 2%/英尺和 4%/英尺的遮光率观察结果表明，水蒸气的比率为 1.59 和 1.71，而模拟烟雾的比率为 2.93 和 3.08。

这些图还表明，在比较给定遮光率下的 CTR 数值时，仿真烟雾测试中的红外 CTR 比水蒸汽测试高得多，而蓝光 CTR 则相反。这与理论相符，即仿真烟雾中较大的颗粒将对红外波长产生较大的散射响应，而水蒸气中较小的颗粒将在蓝光波长下产生较大的散射响应。

## 6 总结

本应用手册介绍了一种经济高效的低功耗双芯片设计，可用于加快开发符合新 UL 标准要求的烟雾报警器设计。测试结果展示了该设计的检测能力以及区分真实烟雾源和干扰源的可能性。

虽然本报告中介绍的设计用于演示目的，但本应用手册在基本软件例程、配置和硬件方面提供了基础，以便开发者能够实现专为光电室配置而设计的更复杂算法以及完全达到机构认证标准所需的信号链参数。

该双芯片设计的其他注意事项是 MCU 选择的灵活性，因为唯一的要求是具有所需分辨率和采样率的 ADC、I2C 接口、应用所需的适当数量 GPIO，以及运行算法所需的存储空间。虽然报告中所示的设计使用了 [MSPM0L1306](#)，但也可以使用成本更低的 MSPM0C 器件。此外，如果对 GPIO 的需求较低，MSPM0L 系列还提供了尺寸仅为 3mm×2mm 的小型封装 16WQFN。这些只是几个示例，说明了 TI [基于 Arm 的全新微控制器系列 MSPM0](#) 的灵活性。

## 7 参考文献

- 德州仪器 (TI)，[使用 MSP430FR235x MCU 设计双射线烟雾探测器模拟前端](#) 应用手册。

## 重要声明和免责声明

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、某特定用途方面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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/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。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司