

Circuits from the Lab™ 参考电路是经过测试的参考电路，有助于加速设计，同时简化系统集成，帮助并解决当今模拟、混合信号和 RF 设计挑战。如需更多信息和/或技术支持，请访问：www.analog.com/cn/CN0537。

连接/参考器件

ADPD188BI	用于烟雾检测的集成光学模块
ADP151	超低噪声、200 mA CMOS 线性稳压器
LT8410	集成输出断开功能的超低功耗升压转换器

带干扰检测功能的 UL-217 烟雾探测器模块

评估和设计支持

电路评估板

[CN-0537 参考设计板\(EVAL-CN0537-ARDZ\) ADICUP3029](#)

[Arduino 尺寸开发板\(EVAL-ADICUP3029\)](#)

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

从20世纪70年代开始，烟雾探测器已被广泛用于商用和住宅建筑中。如今，探测器主要分为两类，一是电离类型，使用放射性物质来电离空气，然后检测电荷不平衡；二是光电类型，使用光电探测器对某个角度发射的光源，并检测从大气尘粒反射到光电二极管的光所引起的光电探测器电流。尽管推荐使用这两种类型的解决方案的组合，但人们更愿意使用光电烟雾探测器，因为它在探测常见的房屋火灾时更可靠，且能够更快处理阴燃火。

遗憾的是，自20世纪70年代以来，电子和常用的家居建材取得了长足发展，但烟雾探测器技术和规范几乎未发生任何变化。对标准的新修订，例如由美国保险人实验室(UL)发布的

ANSI/UL-217和ANSI/UL-268，或者由国家消防机构(NFPA)发布的NFPA® 72 国家火灾报警规范，都旨在通过对现代烟雾探测器设计提出更复杂的要求来解决这些差距。

例如，除了传统的火灾和烟雾探测灵敏度测试之外，更新版的UL-217标准现在还要求烟雾探测器不会在发生干扰事件时发出误警报，比如在做饭时。所以，现代的烟雾探测器必须能够区分烹饪干扰事件和火灾事件。

这些新标准的目标是：通过减少日常活动中产生的误警报次数来提高安全性和减少火灾死亡人数。传统上，这需要使用采用多项传感器技术且具备一定的人工智能水平的复杂解决方案；但是，使用ADPD188BI大大降低了该解决方案的实施难度。

图1所示的电路是基于ADPD188BI光学模块的UL-217烟雾探测器参考设计。为了简单、快速实施开发，设计需要兼容Arduino尺寸控制器平台，并包含烟雾探测自定义算法，以对新发布的ANSI/UL-217第8版标准指定的烟雾和火灾测试实施评估。

Rev. 0

Circuits from the Lab® reference designs 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)

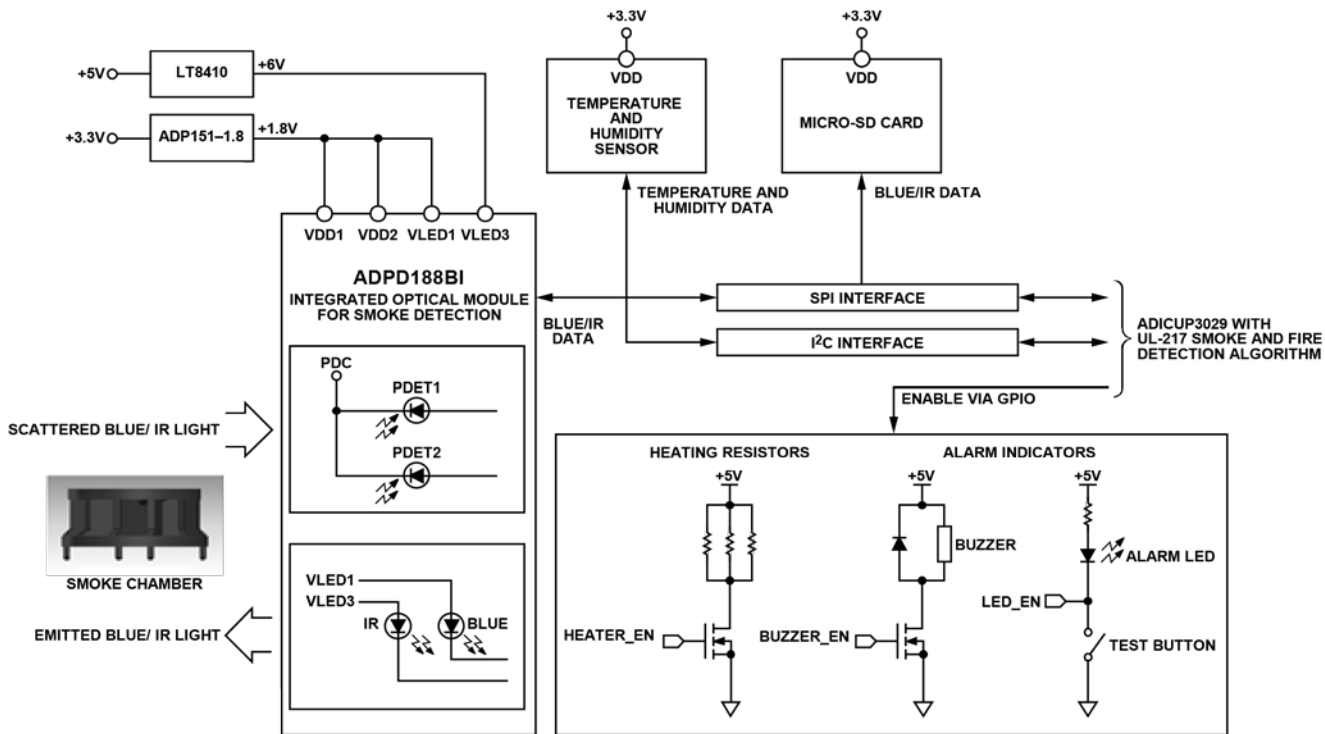


图1. CN-0537 功能框图

电路描述

使用 ADPD188BI 进行烟雾检测

ADPD188BI 光学模块是专为烟雾检测应用而设计的完整光电式测量系统。用 ADPD188BI 代替传统的分立式烟雾检测器电路可大大简化设计，因为光电子器件（由两个 LED 和两个光电检测器组成）和模拟前端 (AFE) 已集成到同一个封装中。

为了进行烟雾检测，ADPD188BI 采用双波长技术，两个集成 LED 发出两种不同波长的光：一种为 470 nm（蓝光），另一种为 850 nm（红外光）。这些 LED 在两个独立的时隙中发出光脉冲，发射的光被空气中的颗粒物散射回器件上。

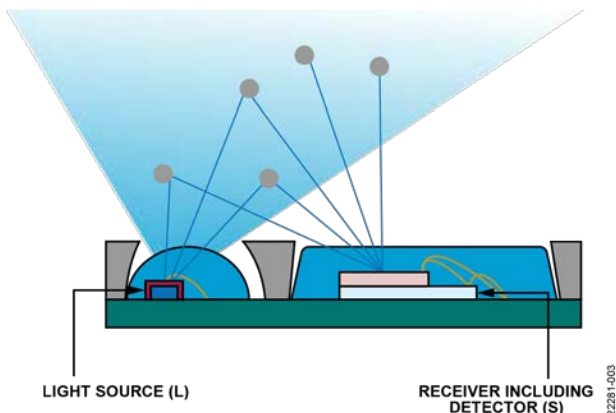


图2. ADPD188BI LED 光的反向散射

然后，两个集成的光电检测器接收散射的光并产生成比例的输出电流，该电流在内部由 AFE 转换成数字码。假设 LED 光功率保持恒定，如果 ADPD188BI 输出值随时间而增大，则表明空气中的颗粒物在增加或聚积。

UL-217 烟雾和火灾测试算法

UL-217 标准要求检测器在特定的时间窗口和遮蔽范围内对不同类型的火灾和烟雾做出响应。表 1 列出了每种 UL-217 测试的灵敏度和响应时间要求。

表1. 火灾情况和要求

火灾情况	报警时间要求 ¹	报警遮蔽要求 ¹
木火	<4分钟	N/A
纸火	<4分钟	N/A
聚氨酯火	<4分钟	每英尺<5%
阴燃聚氨酯火	N/A	每英尺<5%
阴燃木头	N/A	每英尺<5%
汉堡包干扰测试	N/A	非在每英尺<1.5%之前

¹ N/A 表示不适用。

CN-0537 参考设计通过烟雾检测算法分析 ADPD188BI 的蓝光和红外光 (IR) 输出数据，从而满足上述要求。

此算法是为ADPD188BI传感器阵列专门设计的，旨在根据UL-217规范的规定检测火灾状况，同时尽可能地减少功耗。算法本身通过一个大数据集进行了调整和验证，该数据集是在表1定义的所有测试场景中从许多ADPD188BI器件捕获到的。测试是在经过认证的专门提供UL-217测试环境的设施进行的。这些数据包括参考测量结果，以便了解不同烟雾源下的传感器性能和报警条件。图3给出了一个烟雾曲线例子，在汉堡包烟干扰场景下将IR和蓝光传感器测量值与参考烟雾遮蔽数据进行了比较。

烟雾检测器常常使用电池供电，因此该算法尽可能地减少了传感器需要提供的数据以及每次报警判断所需的计算量。此算法支持ADPD188BI输出较少的数据，从而节省电力并减少微控制器的功耗周期，但仍符合严格的UL-217规范。

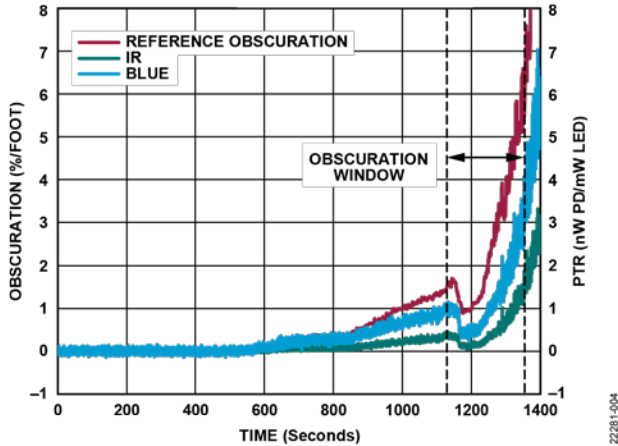


图3. 汉堡包聚氨酯测试的烟雾曲线

计算功率传输比

ADPD188BI的烟雾响应接收光功率与发射光功率之比来表示较好。此参数称为功率传输比(PTR)，比原始输出码有意义得多，因为它与所使用的实际硬件设置无关。此外，遮蔽水平(烟雾探测器的标准测量单位)与PTR直接相关，如式1所示。

$$PTR = \gamma\beta \tag{1}$$

其中：

PTR为功率传输比，单位为nW/mW。

γ 为ADPD188BI比例因子(蓝光典型值为0.64，红外光典型值为0.24)。

β 为遮蔽水平，单位为 ft^{-1} 。

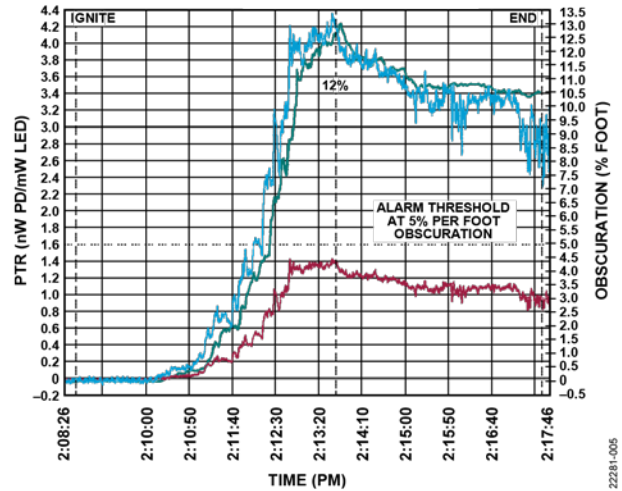


图4. 蓝光LED PTR、IR LED PTR和遮蔽水平

每个LED的PTR可以利用式2计算。

$$PTR = \frac{P_{PD}}{P_{LEDx}} = \frac{I_{PD}}{I_{LEDx_PK}} \times \frac{1}{R_{PD}} \times \frac{1}{\eta_{LED}} \tag{2}$$

其中：

PTR为LED的功率传输比，单位为nW/mW。

I_{PD} 为光电检测器电流，单位为nA。

I_{LEDx_PK} 为峰值LED电流，单位为mA。

R_{PD} 为光电检测器响应度，单位为A/W(蓝光典型值为0.26，红外光典型值为0.41)。

η_{LEDx} 为LED效率，单位为W/A。

计算 I_{LED} 和 I_{PD}

ADPD188BI允许通过粗调和微调寄存器的组合及电流比例因子来配置每个LED的峰值电流。峰值LED电流可利用式3至式6计算。

$$I_{LEDx_PK} = I_{LEDx(COURSE)} + I_{LEDx(FINE)} + I_{LEDx(SCALE)} \tag{3}$$

$$I_{LEDx(COURSE)} = 50.3 + 19.8 \times I_{LEDx_COURSE} \tag{4}$$

$$I_{LEDx(FINE)} = 0.74 + 0.022 \times I_{LEDx_FINE} \tag{5}$$

$$I_{LEDx(SCALE)} = 0.1 + 0.9 \times I_{LEDx_SCALE} \tag{6}$$

其中：

I_{LEDx_PK} 为峰值LED电流，单位为mA。

$I_{LEDx(COURSE)}$ 为LED粗调电流，单位为mA。

$I_{LEDx(FINE)}$ 为LED精调电流，单位为mA。

$I_{LEDx(SCALE)}$ 为LED电流调整，单位为mA。

I_{LEDx_COURSE} 、 I_{LEDx_FINE} 和 I_{LEDx_SCALE} 是每个LED的控制寄存器的值。对于集成的蓝光LED，这些值可以在寄存器地址0x23和寄存器地址0x25中设置；对于集成的红外LED，这些值可以在寄存器地址0x22和寄存器地址0x25中设置。请注意，在ADPD188BI寄存器中，蓝光LED对应LEDX1，红外LED对应LEDX3。

光电检测器电流利用ADPD188BI数字输出计算，如式7所示。

$$I_{PD} = Code \times Q \times \frac{1}{PULSE_COUNT} \quad (7)$$

其中:

I_{PD} 为光电检测器电流, 单位为nA。

$Code$ 为32位输出码, 单位为LSB。

Q 为ADC分辨率, 单位为nA/LSB。

$PULSE_COUNT$ 为该时隙的LED脉冲数。

ADPD188BI的ADC分辨率取决于LED脉冲宽度的设置(时隙A为寄存器0x30; 时隙B为寄存器0x35)和内部跨阻放大器(TIA)增益的设置(寄存器0x55); 使用不同TIA增益值时的ADC分辨率参见ADPD188BI数据手册。

计算LED效率

集成LED的效率(η_{LEDx})可利用式3计算。

$$\eta_{LED} = \eta_N \times k \times C \quad (8)$$

其中:

η_N 为标称LED效率, 单位为W/A (蓝光LED为0.38; 红外LED为0.22)。

k 为LED降额因数(对于蓝光LED, 此值利用式4计算得出; 对于红外LED, $k = 1.0$)。

C 为补偿器件之间差异的标量值。

与红外LED不同, 蓝光LED的效率随着驱动电流的增加而非线性降低。因此, 必须首先使用式4计算降额因数。

$$k = A_0 + A_1 I_{LED} + A_2 (I_{LED})^2 + A_3 (I_{LED})^3 \quad (9)$$

其中:

$$A_0 = 9.8976 \times 10^{-1}$$

$$A_1 = -5.1448 \times 10^{-3}$$

$$A_2 = 2.0287 \times 10^{-5}$$

$$A_3 = -2.9645 \times 10^{-8}$$

读取ADPD188BI增益校准值

如式8所示, ADPD188BI有一个补偿器件差异的标量值, 这是针对每个LED的增益校准, 可利用式10至式16计算得出。

$$C = \frac{Gain \times I_{LED} + INTER}{NOMINAL_SCALAR} \quad (10)$$

对于蓝光LED

$$Gain = \frac{17 \times (GAIN_COEFFICIENT - 112)}{256} - 17 \quad (11)$$

$$INTER = 8 \times (INTER_COEFFICIENT - 128) \quad (12)$$

$$NOMINAL_SCALAR = 17 \times I_{LED} + 622 \quad (13)$$

对于红外LED

$$Gain = \frac{34 \times (GAIN_COEFFICIENT - 112)}{256} + 34 \quad (14)$$

$$INTER = 5 \times (INTER_COEFFICIENT - 128) \quad (15)$$

$$NOMINAL_SCALAR = 34 \times I_{LED} + 128 \quad (16)$$

LED温度补偿

ADPD188BI的全环响应受环境温度影响。对于蓝光通道, 这更加复杂, 因为温度响应曲线的形状也会根据所使用的LED电流不同而变化。图5说明了温度对ADPD188BI工作温度范围内的相对输出响应的的影响, 蓝光LED使用100 mA和175 mA的常见 I_{LED} 设置。对于红外通道, 温度响应曲线与LED电流无关。

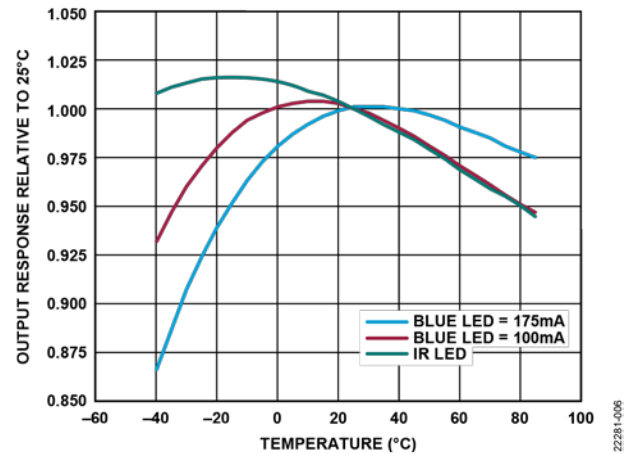


图5. 温度对相对于25°C的ADPD188BI输出响应的的影响

为了确定相对响应的值, 需要有实时测量环境温度的能力。在CN-0537电路上, 温度和湿度传感器监视腔室内ADPD188BI旁边的状况。然后可以将ADPD188BI输出除以当前环境温度的相对响应(取自图5中的适当曲线), 以补偿温度影响。

$$Code_{25^\circ C} = \frac{Code_T}{RelativeResponse_T} \quad (17)$$

其中:

$RelativeResponse_T$ 为当前环境温度下的相对响应。

$Code_T$ 为当前环境温度下的输出码。

$Code_{25^\circ C}$ 为25°C温度下的输出码。

选择传感器时, 元件尺寸是主要考虑因素, 因为腔室内的空间非常宝贵。在该参考设计中, 默认传感器的温度和湿度精度额定值分别为 $\pm 0.2^\circ C$ 和 $\pm 2\%$ 相对湿度。

烟室配合 ADPD188BI 使用

市面上的大多数烟雾检测器解决方案使用烟室来帮助抑制环境光，减少内部光污染，并使昆虫或蜘蛛干扰读数的风险尽可能降低。对于ADPD188BI，使用烟室会引起一个恒定的背景信号出现在读数中，这是由烟室表面的光散射所致。至关重要的是，背景信号水平必须接近或低于报警阈值，以避免读数出现重大误差。

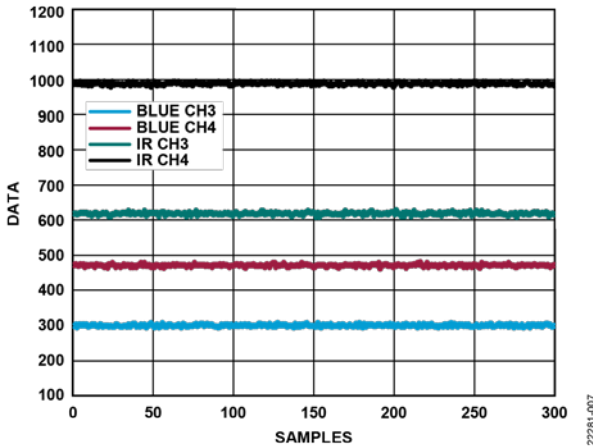


图6. 背景信号出现在ADPD188BI 读数上

ADPD188BI对腔室的响应也可以用功率传输比(PTR)表示，加到烟雾响应上，当解读器件的PTR数据时必须予以考虑。

$$PTR_{TOTAL} = PTR_{CHAMBER} + PTR_{SMOKE} \quad (17)$$

其中：

PTR_{TOTAL} 为总功率传输比，单位为nW/mW。

$PTR_{CHAMBER}$ 为从腔室表面内部接收的光功率与发射的光功率之比，单位为nW/mW。

PTR_{SMOKE} 为烟尘颗粒散射而导致的接收光功率与发射光功率之比，单位为nW/mW。

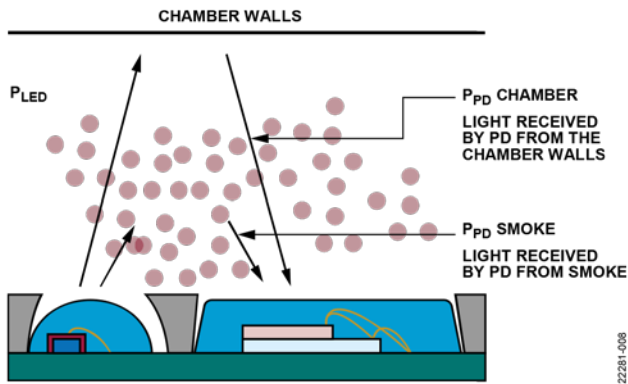


图7. 室壁和烟雾对光的反向散射

ADPD188BI使用ADI公司专有烟室，该烟室专门设计用于满足器件和行业要求。此烟室的内部几何形状支持获得更高信噪比(SNR)读数，从而获得ADPD188BI的更优PTR值。

机械设计利用行业标准(例如JESD22-A101、JESD22-A103、JESD22-A104、UL-217、UL-268、EN-54和AEC-Q100)规定的压力测试进行鉴定。由于ADPD188BI的尺寸比分立式烟雾检测器要小，因此该烟室也比大多数现有解决方案小得多。设计的两个大法兰端部距离为36 mm，其下方的内部面积为109.36 mm²。

常规烟室设计与ADPD188BI不兼容，因为传统烟雾检测器使用前向散射系统，而ADPD188BI的集成光电器件使用反向散射系统。

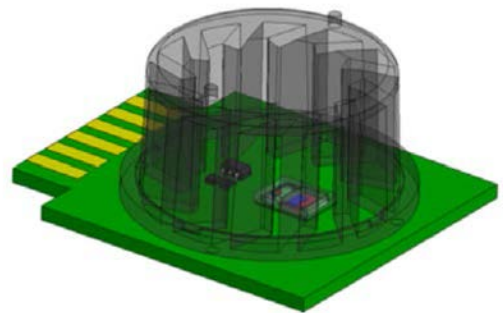


图8. ADPD188BI和烟室

防冷凝加热

电路设计的另一个考虑因素是冷凝对ADPD188BI读数的影响。腔室内表面可能会形成露水和冷凝水，从而导致光散射。对系统而言，这种光散射表现为烟雾。在较湿润的热带地区，经常有冷凝水形成，这种光散射的问题尤其严重。

为了减轻冷凝的影响，光模块周围放置有加热电阻，其会散发足够的热量，在需要时可抑制露水的形成。为此目的选择电阻时，需要在期望温升与从电源汲取的电流之间折衷。

请注意，此加热模块会显著增加设计所需的总系统功耗。使用较低电阻值会产生更多热量，但会消耗更多的电源电流。对于电池供电系统，它还会导致电池寿命缩短，设计时必须作为额外因素加以考虑。

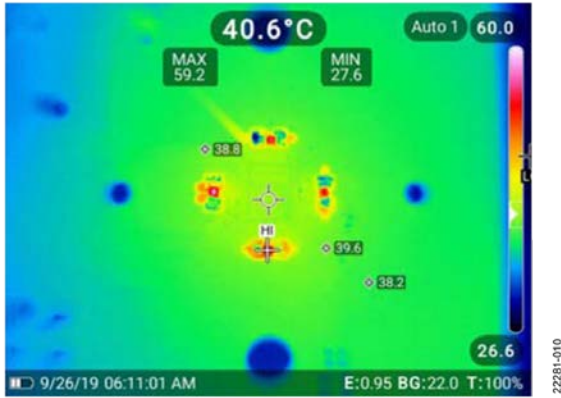


图9. CN-0537加热电阻的红外图像

CN-0537参考设计使用三个25 Ω电阻的并联组合, 由此会导致温度升高10°C至20°C。晶体管开关允许微控制器板通过脉冲宽度调制(PWM)输出或通用输入/输出(GPIO)引脚激活加热电路模块。

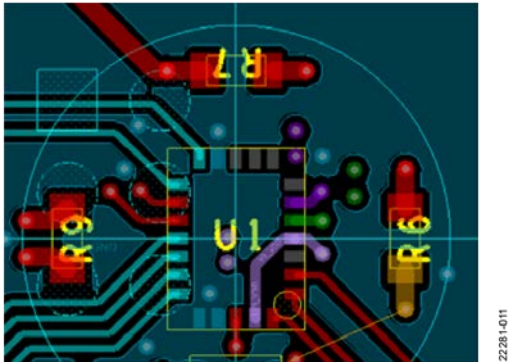


图10. 加热电阻的布置

系统电源管理

CN-0537的电源通过Arduino尺寸连接器从控制器板提供, 电路中较为活跃的器件直接由3.3 V和5 V电源供电。但是, ADPD188BI需要1.8 V和6 V的电源电压才能正常工作。

要产生为ADPD188BI供电所需的1.8 V电压, 须将3.3 V稳压电源馈入ADP151。该CMOS线性稳压器的输入电压范围为2.2 V至5.5 V, 最大输出电流为200 mA。ADP151的输出电压在器件生产过程中固定为1.8 V, 仅需输入和输出电容即可工作, 从而大大简化电路设计。

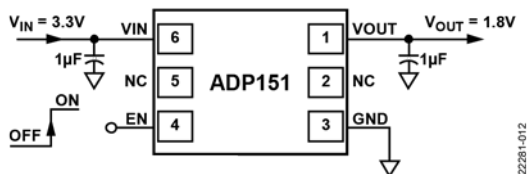


图11. ADP151基本连接

类似地, 要产生为ADPD188BI的集成蓝光LED供电所需的6 V电压, 须将5 V电源馈入LT8410超低功耗升压转换器, 如图12所示。

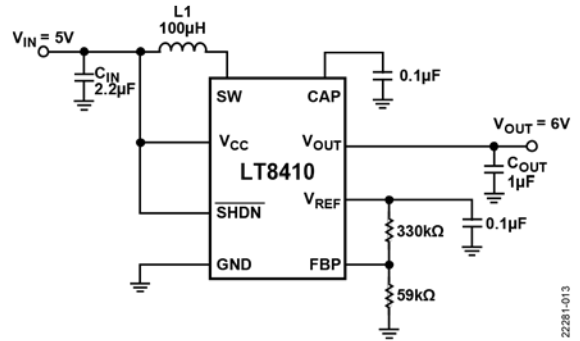


图12. LT8410基本连接

LT8410的稳压输出与其正反馈引脚(FBP)上的电压电平直接相关。为了产生期望的V_{OUT}电平, 可使用式18计算所需的V_{FBP}电平。

$$V_{FBP} = V_{OUT} \div 31.85 \quad (18)$$

其中:

V_{FBP}为FBP引脚和GND之间的电压, 单位为V。

V_{OUT}为期望输出电压, 单位为V。

对于6 V输出电压, 式18得出V_{FBP}约为0.1884 V。为达到该电压电平, 可使用一个简单的分压器和LT8410的集成1.235 V基准电压, 如图12所示。为分压器选择电阻时, 须确保串联电阻大于200 kΩ, 以避免负载降低V_{REF}电压。

按照LT8410数据手册的建议, 用于输入和输出引脚的电容的值分别为2.2 µF和1 µF; CAP和VREF引脚使用0.1 µF电容。

选择电感时, LT8410数据手册建议使用至少45 µH且饱和电流额定值高于峰值电感电流的电感。使用式19计算最大电感峰值电流。

$$I_{PK} = I_{LIMIT} + \frac{V_{IN} \times 150 \times 10^{-6}}{L} \quad (19)$$

其中:

I_{PK}为峰值电感电流, 单位为mA。

I_{LIMIT}为开关电流限值, 单位为mA。

V_{IN}为输入电压, 单位为V。

L为电感, 单位为H。

此设计使用了一个100 µH电感; 将此值代入公式中, 对于5 V的输入电压和30 mA的最大开关电流限值, 电感峰值电流为37.5 mA。

使用式 20 至式 23 确定 LT8410 电路的最大输出电流。

$$I_{RIPPLE} = \frac{(V_{OUT} + 1 - V_{IN}) \times 200 \times 10^{-6}}{L} \quad (20)$$

$$I_{IN(AVG)} = I_{PK} - \frac{I_{RIPPLE}}{2} \quad (21)$$

$$I_{OUT(NOM)} = \frac{I_{IN(AVG)} \times V_{IN} \times 0.7}{V_{OUT}} \quad (22)$$

$$I_{OUT} = I_{OUT(NOM)} \times 0.8 \quad (23)$$

其中:

I_{RIPPLE} 为电感纹波电流, 单位为mA。

$I_{IN(AVG)}$ 为LT8410平均输入电流, 单位为mA。

$I_{OUT(NOM)}$ 为标称输出电流, 单位为mA。

I_{OUT} 为最大输出电流, 单位为mA。

将100 μ H的电感和37.5 mA的峰值电感电流代入这些公式, 对于5 V的输入电压和25 mA的典型开关电流限值, 最大输出电流为14.23 mA。对于整个负载电流范围, 在LTspice®中对LT8410电路进行仿真, 得出的效率曲线如图13所示。

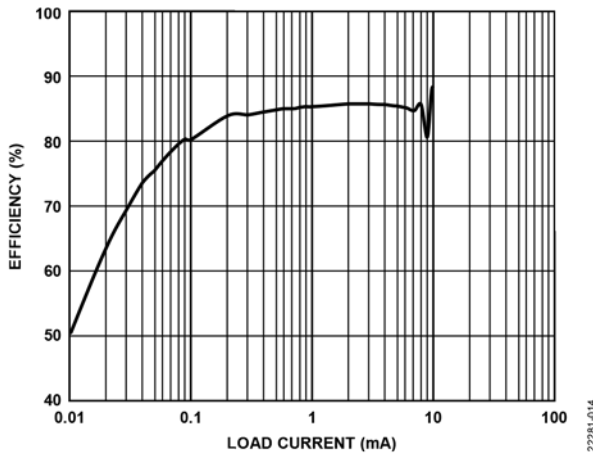


图13. LT8410效率与负载电流的曲线

使用式24计算ADPD188BI需要从ADP151和LT8410电路为每个LED提供的电流量。

$$I_{LED_AVE_x} = \frac{SLOTx_LED_WIDTH \times I_{LED1_PK} \times DR \times PULSE_COUNT}{2} \quad (24)$$

其中:

$I_{LED_AVE_x}$ 为时隙A或时隙B的平均LED电源电流, 单位为mA。

$SLOTx_LED_WIDTH$ 为时隙A或时隙B的蓝光LED脉冲宽度, 单位为秒。

I_{LEDx_PK} 为峰值电流, 单位为mA (使用式3至式6计算)。

DR 为输出数据速率, 单位为Hz。

$PULSE_COUNT$ 为时隙A或时隙B中的LED脉冲数。

常见变化

如果烟雾检测算法不需要湿度检测, 则可以用ADT7302数字温度传感器代替ADPD188BI。ADT7302的尺寸很小, 可以放在腔室下方, 精度为2°C, 分辨率为0.03125°C, 价格只是默认传感器(ADPD188BI)的一个零头。

电路评估与测试

以下部分概述评估CN-0537的一般设置。有关完整设置和其他详细说明, 参见EVAL-CN0537-ARDZ硬件用户指南。

设备要求

EVAL-CN0537-ARDZ

EVAL-ADICUP3029

Micro SD卡

Micro USB转USB A型线

带USB端口的PC或笔记本电脑

串行终端应用

CN0537.hex文件

设置与测试

为了进行系统评估, CN-0537包含演示应用软件, 该软件支持用户使用 EVAL-ADICUP3029 开发平台与板载 ADPD188BI进行通信。请按照以下步骤使用此软件:

1. 从EVAL-CN0537-ARDZ硬件用户指南中下载更新版本的CN-0537演示应用软件(*.hex)文件。
2. 将EVAL-ADICUP3029连接到计算机。该板应作为计算机的外部DAPLINK驱动器出现。
3. 将十六进制文件拖放到DAPLINK驱动器中, 从而将CN-0537演示应用软件上载到EVAL-ADICUP3029。
4. 在计算机上运行串行终端程序。
 - a. 将串行端口设置为分配给EVAL-ADICUP3029的端口。
5. 将micro-SD卡插入EVAL-CN0537-ARDZ的端口P5中。
6. 通过Arduino尺寸连接器将EVAL-CN0537-ARDZ连接到EVAL-ADICUP3029。
7. 按下 EVAL-ADICUP3029 上的按钮 S1 (标记为 3029_RESET)。串行终端显示欢迎横幅并等待用户输入。
8. 键入命令s以启动数据流。
 - a. 软件开始捕获蓝光和红外响应, 并以PTR值将其显示在串行终端上。
9. 键入命令i以停止数据流。

要获得打印到串行终端的文件的副本，请从[EVAL-CN0537-ARDZ](#)中取出micro SD卡，然后使用计算机读取其内容。数据流的内容另存为.csv文件。

有关完整设置和其他详细说明，参见[EVAL-CN0537-ARDZ](#)硬件用户指南。

更多资料

[LTspice® SPICE仿真软件](#)

[LTpowerCAD®设计工具](#)

应用笔记AN-1567, [使用ADPD188BI光学烟雾和气溶胶探测模块进行烟雾测试](#), ADI公司。

[UL烟雾报警安全标准](#), 第8版, ANSI/UL 217, 保险商实验室, 2015年10月。

[UL火灾报警系统烟雾探测器标准](#), 第7版, ANSI/UL 268, 保险商实验室, 2016年1月。

[国家火灾报警和信号代码](#), 2019年版, NFPA 72, 美国国家消防局, 2019年。

T. Clearly, “A Study on the Performance of Current Smoke Alarms to the New Dire and Nuisance Tests Prescribed in ANSI/UL 217-2015.” Nat. Inst.Sci. and Technol., U.S. Dept. of Commerce, MD, USA, NIST.TN.1947, 2016.

A. Lee and T. Clearly.(Sep. 2017).Smoke Alarms – Where Are We Now and the Outlook for the Future.Presented at the 2017 Suppression, Detection, and Signaling Res. and Appl.Conf.(SUPDET 2017), College Park, MD, USA.[在线]。

数据手册和评估板

[CN-0537参考设计板\(EVAL-CN0537-ARDZ\)](#)

[ADICUP3029开发平台\(EVAL-ADICUP3029\)](#)

[ADPD188BI数据手册](#)

[ADPD188BI评估板\(EVAL-ADPD188BIZ-S2\)](#)

[ADP151数据手册](#)

[ADP151评估板\(EVAL-ADP151\)](#)

[LT8410/LT8410-1数据手册](#)

[LT8410演示板\(DC1387A-A\)](#)

修订历史

2020年7月—修订版0：初始版



(Continued from first page) Circuits from the Lab reference designs 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 reference designs 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 reference designs. Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, Circuits from the Lab reference designs 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 reference designs at any time without notice but is under no obligation to do so.