

Juergen Neuhaeusler, Minqiu Xie

**摘要**

本应用手册介绍了如何使用标准直流/直流转换器来驱动 LED。本文使用的电路示例基于 TPS63xxx 降压/升压转换器系列中的器件。降压/升压转换器在支持的输入电压范围或支持的电池配置方面，提供了高度的灵活性。通过使用针对特定 LED 正向电流进行优化后的相同电路，这些器件还能够支持多种 LED。

**1 引言**

如今，有许多应用会使用电池作为电源来驱动 LED，例如无线安防摄像头或电子标签。对于大多数类型的电池而言，电池的电压在放电过程中会发生变化。如果 LED 的正向压降最终处于电池电压范围的中间，则无论电池电压高于或低于 LED 正向电压，降压/升压转换器都可作为高效的 LED 驱动器工作。本报告将介绍使用 TPS63xxx 降压/升压转换器系列中的标准直流/直流转换器来驱动 LED 的几种解决方案。

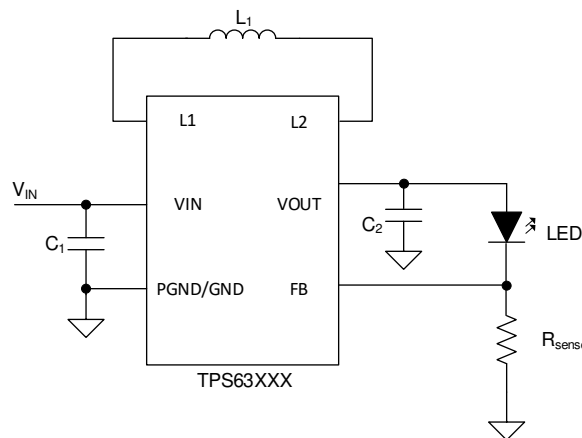
**2 包含用于电压反馈的感测电阻的简单配置****图 2-1. 通过单个感测电阻实现恒流**

图 2-1 中的基本原理图展示了最简单的配置。若要将直流/直流转换器从作为电压源运行配置为作为电流源运行，需要采用感测电阻来测量电流并反馈回控制环路。为此，将直接使用电压反馈输入端。感测电阻与 LED 串联。因此，LED 电流也会流过感测电阻。若要在给定 LED 电流  $I_{LED}$  的条件下计算  $R_{sense}$  所需的电阻值，请使用 [方程式 1](#)。 $V_{FB}$  为直流/直流转换器的反馈电压。对于 TPS63xxx 器件， $V_{FB}$  通常为 0.5V 或 0.8V。

$$R_{Sense} = \frac{V_{FB}}{I_{LED}} \quad (1)$$

根据 LED 电流的不同，功率耗散对电阻来说会变得至关重要。可能需要使用更大的电阻，或者并联或串联多个电阻，以分担耗散功率。必须由  $R_{sense}$  耗散的功率  $P_S$  可使用 [方程式 2](#) 计算得出。

$$P_S = I_{LED}^2 \times R_{Sense} \quad (2)$$

### 3 提高电源转换效率

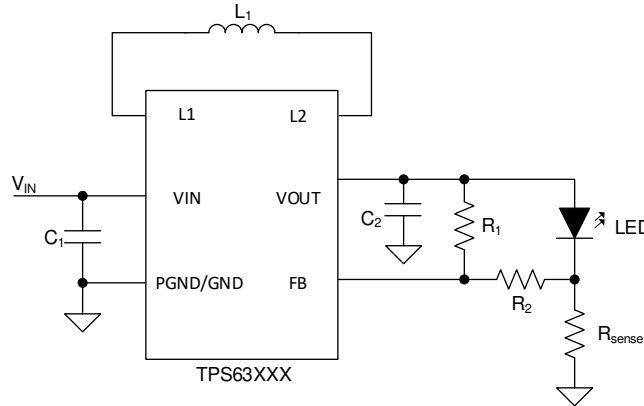


图 3-1. 通过电阻网实现恒流

节 2 中介绍的电路感测电阻中的功率损耗会显著降低电路的效率，这是一个主要缺点。尽管大多数 TPS63xxx 器件的反馈电压已经很低，只有 0.5V，但仍然会造成显著的功率损耗，尤其是在处理大 LED 电流时。

图 3-1 展示了如何改进这一点。用于测量 LED 电流的感测电阻  $R_{sense}$  仍与 LED 串联，但  $R_1$  采用的连接方式使得将偏置电流引入反馈网络。该偏置电流会导致  $R_2$  上的压降，这会增加感测电阻  $R_{sense}$  上的压降。由于反馈电压没有改变，对于给定的 LED 电流，与节 2 中所述的解决方案相比，感测电阻上所需的压降更低。方程式 3 给出了 LED 电流 ( $I_{LED}$ ) 的计算方法。 $V_{FB}$  是直流/直流转换器的反馈电压， $V_{LED}$  是 LED 的典型正向电压。

$$I_{LED} = \frac{V_{FB}}{R_{sense}} - \frac{V_{LED}}{R_1 + R_2} - \frac{V_{LED} \times R_2}{R_{sense} \times (R_1 + R_2)} \quad (3)$$

该电路中调节后的 LED 电流取决于 LED 的正向电压。LED 电流的变化量由 LED 的正向电压变化以及电阻  $R_1$  和  $R_2$  的值决定。通过将  $R_1$  的值设置得尽可能高，将  $R_2$  的值设置得尽可能低，电流变化可达到最小。当  $R_1$  不存在且  $R_2$  短路时，理论上的极端情况基本上就是节 2 中所述的电路，因此需要进行权衡。图 3-1 中所示电路的另一个优点是 LED 断开时的输出电压调节功能。如果使用的直流/直流转换器没有内置输出过压保护功能，则需要这种功能。在这种情况下，可使用数据表中用于计算相应器件的反馈分压器的公式通过电阻  $R_1$  和  $R_2 + R_{sense}$  对最大输出电压进行编程。 $R_{sense}$  的值明显低于  $R_1$  和  $R_2$ ，因此可忽略不计。

为  $R_{sense}$  选择适当的值即可完成对 LED 电流的编程。方程式 4 展示了如何计算  $R_{sense}$  的值，而方程式 5 展示了如何计算  $R_{sense}$  中的损耗  $P_S$ 。

$$R_{sense} = \frac{R_1 \times V_{FB} - R_2 \times (V_{LED} - V_{FB})}{I_{LED} \times (R_1 + R_2) + V_{LED}} \quad (4)$$

$$P_S = I_{LED}^2 \times R_{sense} \quad (5)$$

请参阅《PMP15037 测试结果》，了解详细的设计指导和计算方式。

## 4 提高 LED 电流控制精度

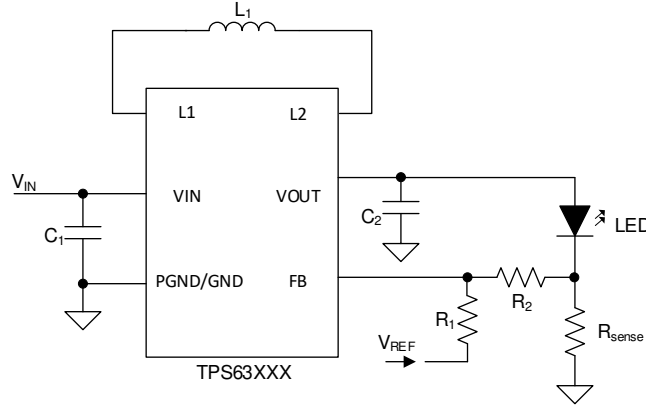


图 4-1. 采用电阻网的调光解决方案

为了解决 LED 电流随 LED 正向电压变化的问题，可将电阻 R1 连接到任何固定的基准电压；例如，图中的  $V_{REF}$  (图 4-1)。例如，该参考电压可通过来自微处理器的 RC 滤波 PWM 信号实现，或仅来自任何可用的直流电源。唯一的要求是它必须高于反馈电压。它与 R1 一同将恒定的偏置电流馈入反馈节点，从而在 R2 上产生恒定压降。该电压会增加感测电阻  $R_{sense}$  上的压降。两个电压的总和就是反馈电压。LED 电流的计算公式如方程式 6 所示。

$$I_{LED} = V_{FB} \times \frac{R_1 + R_2 + R_{sense}}{R_1 \times R_{sense}} - V_{REF} \times \frac{R_2 + R_{sense}}{R_1 \times R_{sense}} \quad (6)$$

根据方程式 6，基准电压  $V_{REF}$  的变化会改变 LED 电流，这在某些系统中可能成为一个优势。该基准电压的输出负载基本上取决于电阻 R1、R2 和  $R_{sense}$  的串联结果，这通常具有较高的阻抗。因此，几乎任何低功耗基准电压源都可以直接使用；例如，数模转换器的 PWM 控制输出。因为可通过为 R1 和 R2 选择适当的值来设定对于基准电压变化的敏感度，当然还可通过选择基准电压电平本身来进行此设定，所以如果必须校准 LED 电流，这也是一种理想的电路实现方案。例如，这对于需要确保发射光波长为正确值的投影仪等应用而言会非常有益。若要计算感测电阻中的损耗，请使用方程式 5。

## 5 改进 LED 组装选项

上述所有应用都使用感测电阻将 LED 的阴极连接到电源电路的 GND 返回路径。这会导致机械组装困难，因为阴极需要与地隔离，并且大多数 LED 使用阴极来散热。如果不需要隔离，为 LED 设计散热器会容易得多。图 5-1 所示为支持该功能的 LED 驱动器电路。此电路在直流/直流转换器的输出端与 LED 的阳极之间测量 LED 电流。与本应用报告中显示的所有其他电路一样，使用与 LED 串联的电阻来感测电流。该电阻上的差分电压连接到电流感测放大器（例如，INA180）的输入端。该电压经过放大并直接馈入反馈引脚。可使用方程式 7 来计算所需的感测电阻值。该公式中的 G 是指电流感测放大器的输入至输出电压增益。建议添加 100nF 电容 C3 来帮助启动。

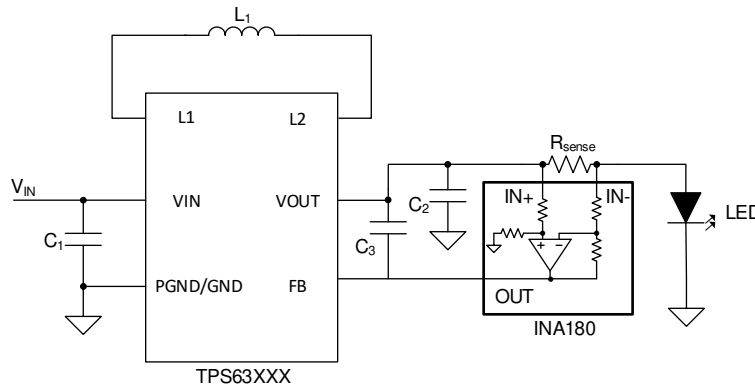


图 5-1. 采用 INA180 的高侧 LED 驱动器

$$R_{\text{Sense}} = \frac{V_{\text{FB}}}{I_{\text{LED}} \times G} \quad (7)$$

基于 INA180（电流感测放大器）的解决方案易于设计，只需几个外部组件即可。可灵活地在 LED 之前或之后设置感测电阻。得益于 INA 部件，该解决方案可实现高精度和高噪声容限。此外，对于串联的 LED，如果其中一个 LED 短路，电路仍然可以工作，因为该解决方案会控制电流。

$$P_{\text{Loss}} = I_{\text{LED}}^2 \times R_{\text{Sense}} \quad (8)$$

用户可用基于运算放大器的电路替换 INA180。但是这种解决方案需要更多的外部器件，这会损害精度并增加设计的复杂性。由于使用额外外部器件，这种解决方案尺寸稍大。

## 6 采用运算放大器的调光解决方案

有些应用需要调节 LED 亮度。在安防摄像头中，需要通过改变电流来对 LED 进行调光，避免在使用 PWM 调光时可能出现的滚动快门效应。否则，摄像头会捕捉到闪烁。为此，该解决方案通过来自 MCU 或处理器的信号控制通过 LED 的电流。一种常用的方法是使用基准电压来控制 LED 电流以实现调光功能。下面是一个使用 TPS63xxx 器件的原理图。

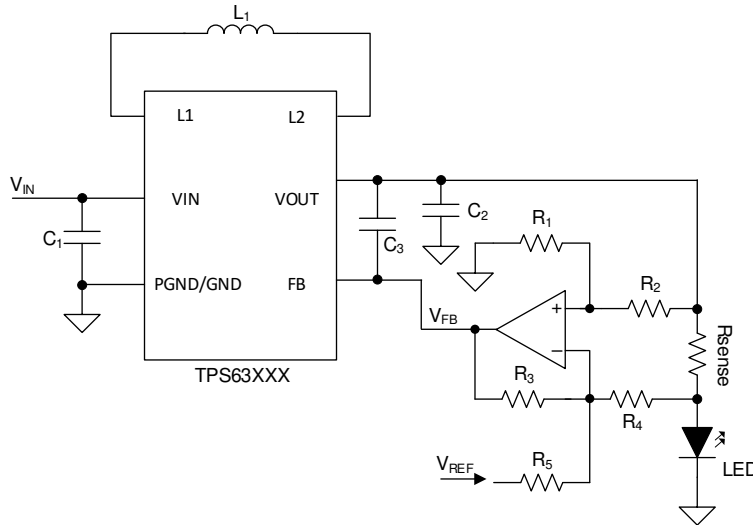


图 6-1. 采用运算放大器的调光解决方案

$$V_{R_{sense}} = \frac{R_4}{R_3} \times V_{FB} + \frac{R_4}{R_5} \times V_{REF} \quad (9)$$

$$P_{Loss} = I_{LED}^2 \times R_{Sense} \quad (10)$$

较大的感测电压可提供更好的信噪比。但是，功率损耗也会更大。这两个方面必须一起考虑并相互妥协。

在某些情况下，系统需要更精确地控制 LED 电流以提供更小的电流。此时需要更大的增益或更大的感测电阻来满足这一要求。更大的增益会导致放大器的失调电压和偏置电流产生较大的偏置失调。一个缺点是，较大的  $R_{sense}$  会增加损耗并降低效率。

在这种情况下，本应用报告推荐使用图 6-2 所示的电路。该电路是从先前的解决方案衍生出来的，并有一点小的变化。不同之处在于将  $R_5$  连接到运算放大器的正输入端。在这种情况下， $V_{REF}$  的增加会降低  $I_{LED}$ 。对于该电路，增益会大幅降低。当电流较小时，无需仅放大  $V_{sense}$  来达到目标  $V_{FB}$ ，因为  $V_{REF}$  有助于提升电压。

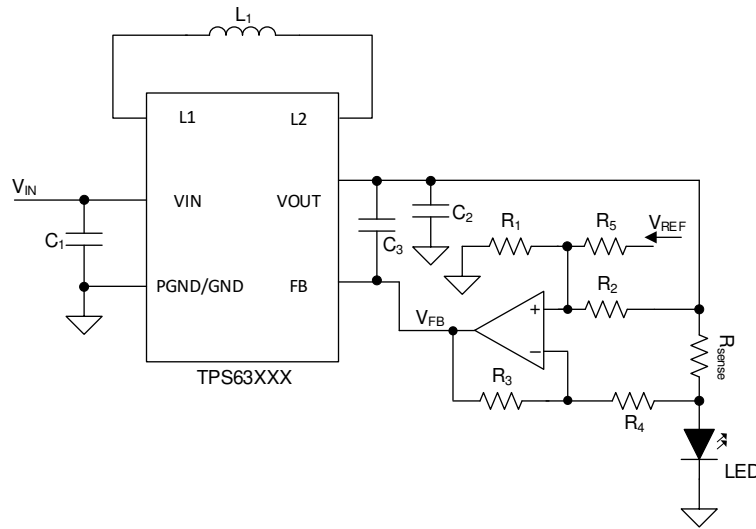


图 6-2. 另一种采用运算放大器的调光解决方案

计算方法类似于前一种解决方案。如果  $R_3 = R_1 || R_5$  且  $R_2 = R_4$ ，则：

$$V_{R_{\text{sense}}} = \frac{R_4}{R_3} \times V_{\text{FB}} - \frac{R_4}{R_5} \times V_{\text{REF}} \quad (11)$$

$$P_{\text{Loss}} = I_{\text{LED}}^2 \times R_{\text{Sense}} \quad (12)$$

两个电路都表现出了高效率，但第二种解决方案的效率略高。两者都能通过简单的电路设计和计算实现模拟调光。两者都能很好地控制 LED 的电流，因此即使其中一个串联的 LED 短路，它们也能正常工作。与仅调整 LED 占空比但保持  $V_{\text{out}}$  固定的非连续电流调光解决方案相比，这是另一个优点。

此外，对于最后一种调光解决方案，零  $V_{\text{REF}}$  会引起最大的 LED 电流。可能有必要在系统中考虑这一点，因为这可能导致风险增加。

## 7 总结

本应用报告介绍了使用 TPS63xxx 器件系列中的 IC 来驱动 LED 的几种解决方案。根据成本、效率或尺寸等设计要求，有些解决方案比其他解决方案更具优势。表 7-1 对此进行了总结。

表 7-1. 比较用于驱动 LED 的不同解决方案

	恒定电流	恒定电流	基于分辨率的调光	INA180 解决方案	采用运算放大器的调光解决方案
	图 2-1	图 3-1	图 4-1	图 5-1	图 6-1、图 6-2
调光	否	否	模拟调光	否	模拟调光
设计复杂性	简单	简单	中等	简单	复杂
其他组件	仅感测电阻	三个电阻	三个电阻	电流感测监控器	运算放大器和电阻
效率	低	中	中	高	高
成本	低	低	低	高	中
解决方案尺寸	小	小	小	中	大
LED 短路时的运行状态	保持良好	无法工作	保持良好	保持良好	保持良好
感测侧	低侧	低侧	低侧	高/低侧	高/低侧

### 参考文献

- 德州仪器 (TI), 《使用 TPS63000 的动态可调输出》应用报告
- 德州仪器 (TI), 《PMP15037 测试结果》
- 德州仪器 (TI), 《模拟工程师电路设计指导手册: 运算放大器》
- 德州仪器 (TI), 《具有小型解决方案尺寸的 TPS63802 2A、高效率、低 IQ 降压/升压转换器》数据表

## 8 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision C (July 2019) to Revision D (August 2021)	Page
更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式。.....	1

Changes from Revision * (June 2010) to Revision C (July 2019)	Page
更新了应用报告，使之清晰明了.....	1
重写了第 2 和 3 部分.....	1
添加了第 5、6 和 7 部分.....	4

## 重要声明和免责声明

TI 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安全、安保或其他要求。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 (<https://www.ti.com/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com](https://www.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。

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

Copyright © 2021, 德州仪器 (TI) 公司



## 重要声明和免责声明

TI 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安全、安保或其他要求。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 (<https://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com.cn](https://www.ti.com.cn) 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。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122

Copyright © 2021 德州仪器半导体技术（上海）有限公司