

## Application Note

## 高电流应用中 TPS92633-Q1 并行通道的典型设计指南



Hailee Xu

## 摘要

TPS92633-Q1 是一款线性三通道恒流 LED 驱动器，专为汽车尾灯应用中的高亮度 LED 而设计。随着尾灯市场的要求不断演变，LED 驱动器有望实现更大的灵活性和更全面的功能。本应用手册提供了一些设计指南，说明如何使用 TPS92633-Q1 器件通过并联输出通道来实现更高的输出电流，并确保在正常运行的同时保持诊断功能。

## 内容

1 引言.....	2
2 TPS92633-Q1 设计注意事项.....	3
2.1 设置输出电流.....	3
2.2 单 LED 短路诊断.....	4
2.2.1 单 LED 短路检测.....	4
2.2.2 单 LED 短路自动恢复.....	4
3 总结.....	9
4 参考资料.....	9

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

TPS92633-Q1 三通道 LED 驱动器采用独特的热管理设计，可减少器件温升。此器件可为每个通道输出高达 150mA 的满电流负载，并且可以独立控制每个通道。外部分流电阻器用于共享器件的输出电流和功率耗散。该器件支持 SUPPLY 控制和 EN/PWM 控制以打开或关闭 LED。TPS92633-Q1 还具有完整的诊断功能，包括 LED 接地短路、LED 开路、单 LED 短路和自动恢复功能。请参阅图 1-1。

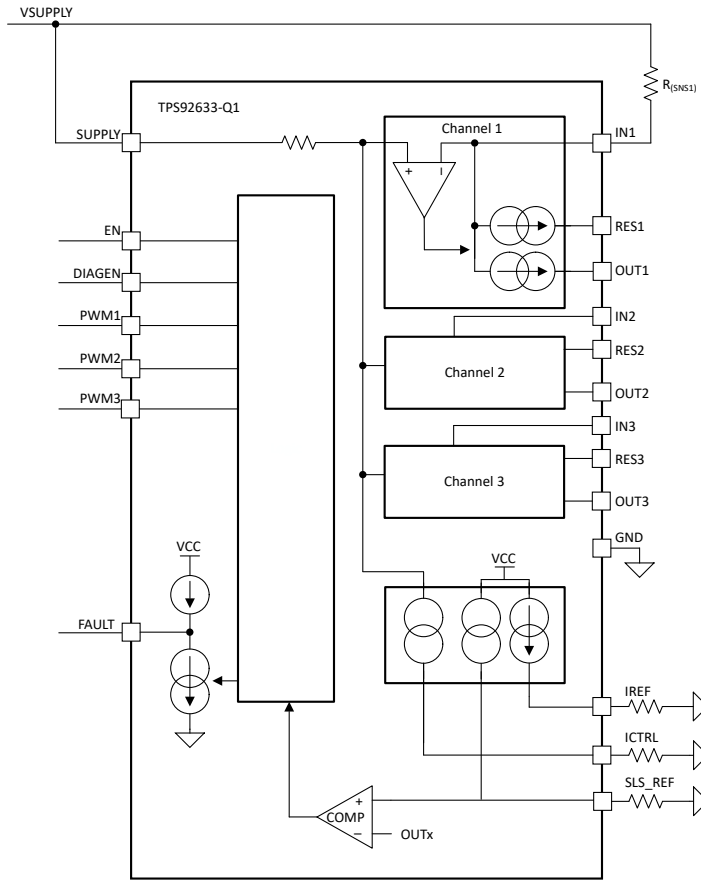


图 1-1. 功能方框图

此器件可为每个通道输出高达 150mA 的满电流负载，并且可以独立控制每个通道。如果对 LED 灯串有较高的电流要求，通过将所有输出通道连接在一起并使所有通道执行相同的信号，很容易实现这一目的。请参阅图 1-2

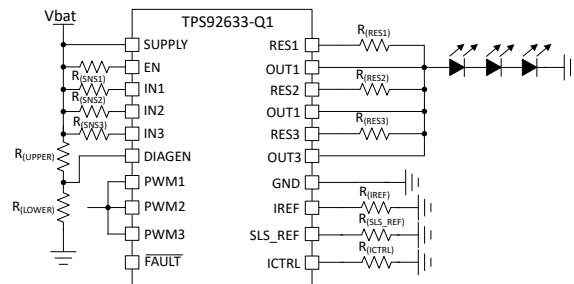


图 1-2. TPS92633-Q1 实现更高输出电流的典型原理图

## 2 TPS92633-Q1 设计注意事项

### 2.1 设置输出电流

TPS92633-Q1 可通过调节外部高侧电流检测电阻  $R_{(SNSx)}$  上的压降  $V_{(CS\_REG)}$  来独立设置每个通道的输出电流  $I_{(OUTx\_Tot)}$ 。当输出电流处于调节状态时，可以通过[方程式 1](#) 计算电流值。

$$I_{(OUTx\_Tot)} = \frac{V_{(CS\_REG)}}{R_{(SNSx)}} \quad (1)$$

其中

- $V_{CS\_REG}$  根据[方程式 2](#) 而变。
- 对于输出通道 1、2 或 3， $x = 1、2$  或 3。

TPS92633-Q1 通过调整  $V_{(CS\_REG)}$  来支持所有三个通道的模拟恒定电流。如[图 2-1](#) 所示。此器件在 ICTRL 引脚上输出恒定电流  $I_{(ICTRL)}$ ，并测量 ICTRL 引脚上的电压  $V_{(ICTRL)}$  以确定  $V_{(CS\_REG)}$ 。 $I_{(ICTRL)}$  电流是 IREF 引脚上电流  $I_{(IREF)}$  的 10 倍。

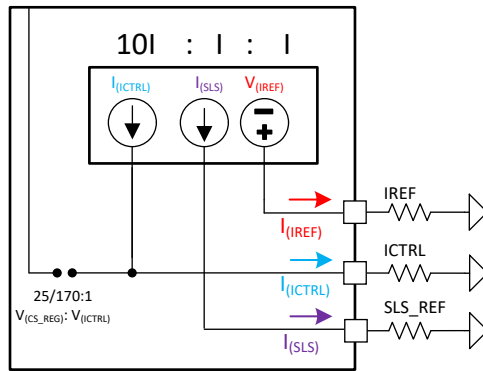


图 2-1. IREF、ICTRL 和 SLS\_REF 引脚的内部方框图

可以按照[方程式 2](#) 更改  $V_{(CS\_REG)}$  值

$$V_{(CS\_REG)} = \frac{V_{(IREF)} \times R_{(ICTRL)} \times 25}{R_{(IREF)} \times 17} \quad (2)$$

其中

- $V_{(IREF)} = 1.235V$
- $R_{(IREF)}$  的单位为  $k\Omega$
- $R_{(ICTRL)}$  的单位为  $\Omega$

每个通道所需的输出电流可根据[方程式 3](#) ( [方程式 1](#) 和 [方程式 2](#) 的组合 ) 计算得出

$$I_{(OUTx\_Tot)} = \frac{V_{(IREF)} \times R_{(ICTRL)} \times 75}{R_{(IREF)} \times R_{(SNSx)} \times 17} \quad (3)$$

其中

- $V_{(IREF)} = 1.235V$
- $R_{(ICTRL)}$  的单位为  $\Omega$
- $R_{(IREF)}$  的单位为  $k\Omega$
- $R_{(SNSx)}$  的单位为  $\Omega$

查看三个通道是如何并联的，然后总输出电流可根据[方程式 4](#) 计算得出。

$$I_{(OUT\_Parallel\_Tot)} = I_{(OUT1\_Tot)} + I_{(OUT2\_Tot)} + I_{(OUT3\_Tot)} \quad (4)$$

可以借助 [TPS92633-Q1 外部元件计算工具](#) 来完成之前的计算和外设元件参数的值选择。

## 2.2 单 LED 短路诊断

TPS92633-Q1 能够提供全面的诊断和保护，以保持系统可靠运行，包括 LED 接地短路、LED 开路和热关断保护，特别是该器件支持单 LED 短路 (SLS) 诊断，从而灵活适应不同的诊断要求。故障消除后，该器件可以自动恢复正常运行。该器件支持连带失效功能，可满足系统设计的要求。可以通过设置 DIAGEN 引脚的精确阈值来禁用 LED 开路和单 LED 短路功能。一旦 TPS92633-Q1 确定 LED 灯串上出现 LED 故障，该器件就会关闭有故障的通道，并以重试电流自动重试。

在高电流应用中，如果所有三个通道都连接在一起，则每个通道的重试电流会组合在一起。对于 LED 灯串接地短路和 LED 开路故障，该器件保持相同的故障行为。但是，单 LED 短路功能的诊断机制不同于其他机制且更复杂，因此需要考虑一些特殊的设计注意事项，来确保器件按预期正常工作。

### 2.2.1 单 LED 短路检测

TPS92633-Q1 可在启用输出电流且 DIAGEN 输入信号为高电平时监控输出电压，从而支持单 LED 短路检测。每个通道的降低输出电压  $V_{(OUTx)}$  在内部与 SLS\_REF 引脚上的  $R_{(SLS\_REF)}$  设置的可编程基准电压  $V_{(SLS\_th\_falling)}$  进行比较，以检测 SLS 故障。当  $V_{(OUTx)}$  降至低于  $V_{(SLS\_th\_falling)}$  的时间长于抗尖峰脉冲时间时，器件会出现故障并将 FAULT 引脚拉至低电平。结合图 2-1， $V_{(SLS\_th\_falling)}$  可以根据方程式 5 计算得出。

$$V_{(SLS\_th\_falling)} = \frac{N_{(OUT)} \times R_{(SLS\_REF)} \times V_{(IREF)} \times N_{(SLS\_REF)}}{R_{(IREF)}} \quad (5)$$

其中：

- $V_{(IREF)} = 1.235$  (典型值)
- $R_{(IREF)} = 12.3k\Omega$  (建议)
- $R_{(SLS\_REF)}$  的单位为  $k\Omega$
- $N_{(OUT)} = 4$  (典型值)
- $N_{(OUT)} = 1$  (典型值)

更多信息，请参阅 [TPS92633-Q1 具有热共享和非板载分级功能的汽车级三通道高侧 LED 驱动器](#) 中的详细说明。

当所有通道连接在一起时，TPS92633-Q1 可支持 450mA 的最大输出电流， $V_{(SLS\_th\_falling)}$  可根据 LED 的数量和总输出电流进行调整。通常，要实现单 LED 短路检测， $V_{(SLS\_th\_rising)}$  需要保持在以下方程式 6 关系的限制范围内。

$$V_{F\_max} \times (N - 1) < V_{(SLS\_th\_falling)} < V_{F\_min} \times N \quad (6)$$

其中：

- N 是 LED 灯串中的 LED 数量。
- $V_{F\_max}$  是在给定电流下使用的 LED 的最大正向电压。
- $V_{F\_min}$  是在给定电流下使用的 LED 的最小正向电压。

### 2.2.2 单 LED 短路自动恢复

在出现单 LED 短路故障且器件启动后，将执行自动恢复过程。在重试期间，当故障通道的 PWM 输入为逻辑高电平时，该器件会在 300us 周期内每 10ms 拉取一次从 IN 至 OUT 的满电流，从而上拉 LED 负载。一旦器件检测到  $V_{(OUTx)}$  升至高于  $V_{(SLS\_th\_rising)}$ ，就会清除单 LED 短路故障，器件自动恢复正常运行。 $V_{(SLS\_th\_rising)}$  比  $V_{(SLS\_th\_falling)}$  高 2.5%，因此，可根据方程式 5 轻松获得。总重试电流  $I_{(Retry\_Tot)}$  是并联通道重试电流的总和，可通过方程式 7 计算得出。

$$I_{(Retry\_Tot)} = I_{(Retry\_Out1)} + I_{(Retry\_Out2)} + I_{(Retry\_Out3)} \quad (7)$$

其中

- $I_{(\text{Retry\_Out1})}$  是通道 1 的重试电流。
- $I_{(\text{Retry\_Out2})}$  是通道 2 的重试电流。
- $I_{(\text{Retry\_Out3})}$  是通道 3 的重试电流。

在这种高电流应用中，如果需要 PWM 调光功能，会出现特殊情况。由于每个通道的故障检测和自动重试过程是独立的，如果所有三个通道都在 PWM 模式下工作，则每个通道的时间差可以随着 PWM 周期的增加而累积，最终导致当 PWM 以高 PWM 频率长时间运行时，每个通道的重试电流可能会不同步，如图 2-2 所示。由这种不同步重试电流触发的输出电压不能上升至高于所设计的  $V_{(\text{SLS\_th\_rising})}$ ，在这种情况下，即使单 LED 短路故障被消除，器件也无法恢复。为了确保所需的自动恢复行为，需要同步所有通道的重试电流以保持满重试电流并满足阈值设置，在设计过程中需要考虑一些步骤。



图 2-2. 不同步的重试电流

### 第 1 步：评估 $V_{(\text{SLS\_th\_rising})}$

将  $V_{(\text{SLS\_th\_rising})}$  设置为器件在不同步重试电流的情况下能够恢复的电平。

考虑到最坏的情况，三个通道的重试电流完全分离。在这种情况下，需要在计算中使用单通道的重试电流。除了满足方程式 6， $V_{(\text{SLS\_th\_rising})}$  还需要符合下面方程式 8 的限制范围。

$$V_{\text{IF}} = I_{\text{Retry\_Tot}} \times (N - 1) < V_{(\text{SLS\_th\_rising})} < V_{\text{IF}} = I_{\text{Retry\_Outx}} \times N \quad (8)$$

该公式意味着，在单通道给定的重试电流下，阈值必须低于 LED 灯串的正向电压。如果可以在任何情况下应用此计算，则器件能够正常工作。但是，如果评估结果显示目标范围很难实现，则需要遵循第 2 步。

### 第 2 步：用于同步所有重试电流的推荐外部电路

根据自动恢复机制，器件每 10ms 重试一次 LED 负载，持续 300us，直到故障消除。为了避免累积时间差，设计了一个不低于 10ms 的等待同步间隔来同步不同通道的重试电流。

可通过控制 PWM 引脚和 FAULT 引脚轻松实现同步。在报告单个 LED 短路故障后，PWM 引脚会在特定的时间间隔内被拉至低电平，然后 PWM 输入可以保持高电平，直到故障消除且 FAULT 引脚被释放为止。设计的波形如图 2-3 所示。这样，在故障状态下，不会随 PWM 周期引入时间差。

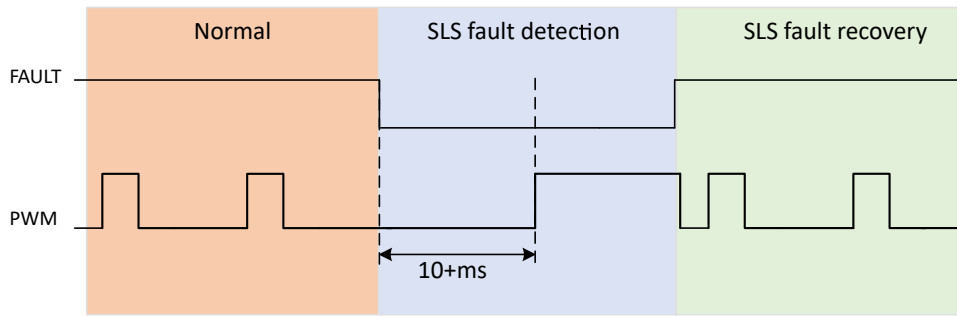


图 2-3. 用于同步所有重试电流的设计波形

用于同步所有重试电流的推荐同步电路如图 2-4 所示。

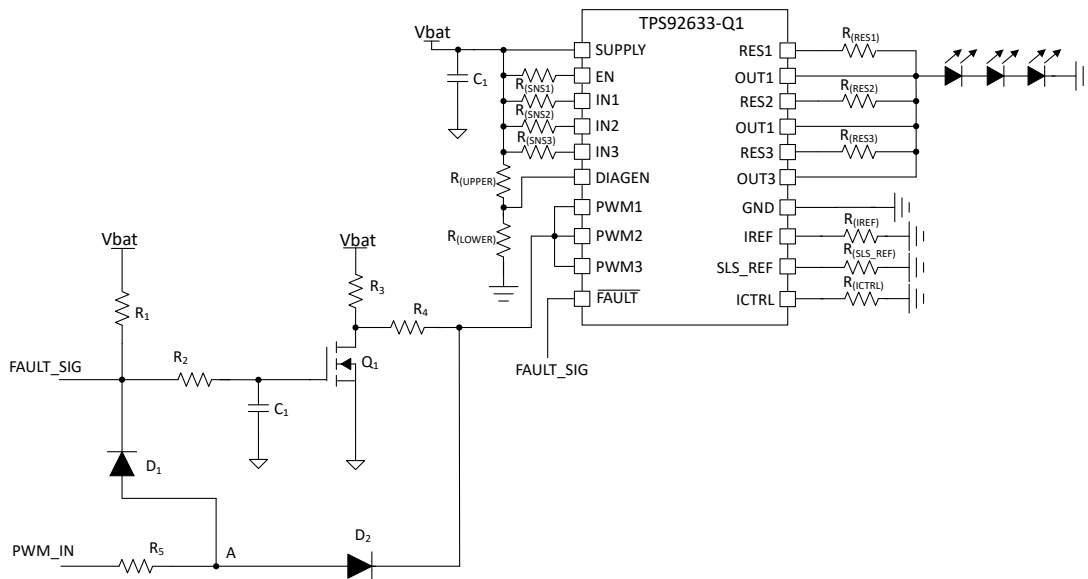


图 2-4. TPS92633-Q1 并联通道的推荐同步电路

当器件检测到单 LED 短路故障时，FAULT 引脚在内部被拉至低电平，由于存在二极管，PWM 引脚可被钳位至低电压电平，直到 Q1 关断，而 PWM 引脚在设计的放电时间后恢复至恒定的高电压电平。一旦此故障被清除，器件就会检测到输出电压上升至高于  $V_{(SLS\_th\_rising)}$ ，FAULT 引脚被释放，器件恢复正常运行。

为了确保电路可以按预期工作，上拉电阻  $R_1$  必须足够大，以便能够覆盖 Vbat 范围并在触发故障时保持 FAULT 引脚始终低于 0.4V，否则无法正确下拉 FAULT 引脚。此外，需要针对给定的  $Q_1$  阈值电压和设计的 PWM 拉低时间间隔选择适当的  $R_2$  和  $C_1$ 。

### 2.2.2.1 实现结果

图 2-5 和图 2-6 展示了实施推荐电路后的应用结果。表 2-1 展示了元件值。

表 2-1. 元件值

$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$C_1$
100k $\Omega$	10k $\Omega$	100k $\Omega$	100k $\Omega$	100k $\Omega$	1uF

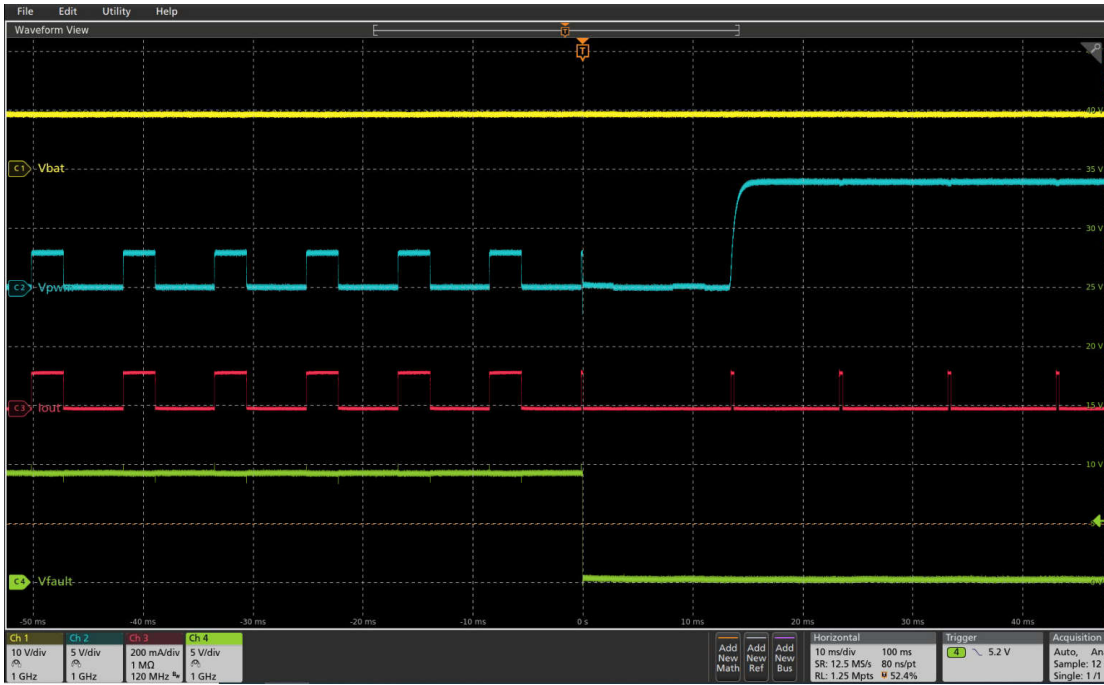


图 2-5. 承受单 LED 短路条件检测的并行通道

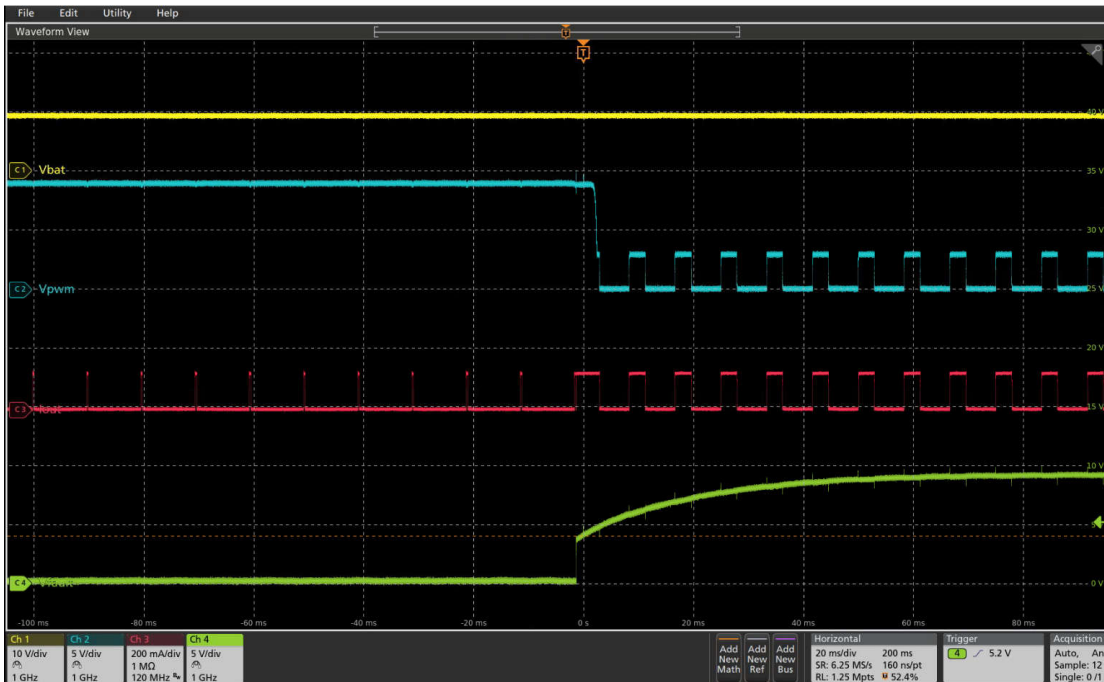


图 2-6. 承受单 LED 短路条件自动恢复的并行通道

对于 10V 的电源电压以及 120Hz 的 5V PWM 脉冲（占空比为 35%），如果发生单 LED 短路故障，FAULT 引脚会在内部下拉，然后 PWM 引脚会被拉低。经过 13ms 的时间间隔后，PWM 引脚被上拉，直到故障消除。FAULT 引脚被释放，输出电流可以恢复到正常运行状态。

### 第 3 步：使用 MCU 同步所有重试电流

如果该系统有一个 MCU 可用，并且可用于控制 PWM 引脚和 FAULT 引脚，就能轻松实现此重试电流同步，如图 2-7 所示。可实现与上述重试电流同步电路相同的功能。

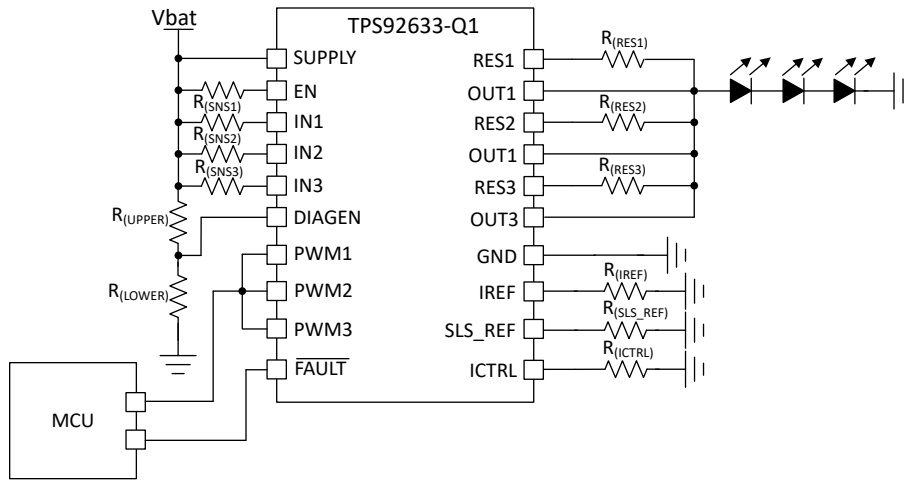


图 2-7. TPS92633-Q1 并行通道的 MCU 连接



### 3 总结

本应用手册介绍了 TPS92633-Q1 并行通道在汽车尾灯应用中的典型设计要求和注意事项，以便实现预期的高性能和更灵活的电流能力。

### 4 参考资料

- 德州仪器 (TI) , [TPS92633-Q1 具有热共享和非板载分级功能的汽车级三通道高侧 LED 驱动器](#) 数据表。

## 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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司