

# Technical White Paper

## 如何为汽车显示系统设计系统级功能安全特性



Andy Ye, Gracie Guo, Michael Yeh, and Zack Liu

### 摘要

汽车显示屏已成为车辆内部的一个关键特性。显示屏可以显示各种各样信息，从行驶速度、实时导航到安全通知等等，这意味着显示屏必须符合功能安全标准。本白皮书讨论了如何借助 TI 解决方案来满足汽车 TFT-LCD 的系统级功能安全要求。

### 内容

|                          |   |
|--------------------------|---|
| 1 引言.....                | 2 |
| 2 典型的局部调光系统.....         | 2 |
| 3 LED 电源的 ASIL-B 设计..... | 3 |
| 4 LED 驱动器的功能安全设计.....    | 5 |
| 5 总结.....                | 6 |
| 6 参考资料.....              | 6 |

### 插图清单

|  |   |
|--|---|
| 图 2-1. 典型局部调光系统的方框图.....                       | 2 |
| 图 3-1. 典型的冷启动曲线.....                           | 3 |
| 图 3-2. TPS552892-Q1 典型应用电路.....                | 3 |
| 图 3-3. 通过 MCU 机制检测 TPS552892-Q1 输出.....        | 4 |
| 图 3-4. 通过监控器 TPS37A-Q1 检测 TPS552892-Q1 输出..... | 5 |
| 图 4-1. 局部调光典型应用以菊花链方式连接的 TLC6C5748-Q1 器件.....  | 5 |
| 图 4-2. TLC6C5748-Q1 LOD 和 LSD 电路.....          | 6 |

### 表格清单

|  |   |
|--|---|
| 表 3-1. ISO26262 中的电源安全机制.....          | 4 |
| 表 4-1. TLC6C5748-Q1 LOD 和 LSD 真值表..... | 6 |

### 商标

FPD-Link™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

如今，最新款的车辆都实行旋钮/按钮少量化，改为在触摸屏上轻触和轻扫来控制各种功能。您可以调节后视镜和车灯、打开挡风玻璃雨刮器以及设置导航。随着此类功能增加，汽车显示面板的尺寸越来越大。到 2025 年，4K 分辨率（约 4000 水平像素）的 37 英寸车载屏幕可能会十分普遍，最终会达到 8K 分辨率。传统的汽车显示屏使用全局调光边缘照明背光解决方案，但 LCD 面板的漏光导致黑色区域不是真正的黑色，这可能会导致观看体验下降，尤其是在黑暗中行驶时。局部调光 LCD 背光技术可帮助解决这个问题。

大多数此类汽车显示系统通过高级驾驶辅助系统 (ADAS) 和数字仪表组提供安全相关信息，因此它们必须符合功能安全标准。汽车电子/电气系统的功能安全遵循 ISO 26262 标准。汽车安全完整性等级 (ASIL) 对汽车系统中固有的安全风险进行了分类，是该标准不可或缺的一部分。有四个 ASIL 等级：ASIL-A、ASIL-B、ASIL-C 和 ASIL-D，其中 ASIL-D 的完整性要求最高。

汽车显示系统（例如包含多个块的仪表组显示系统）应满足 ASIL-B 规定的标准。本文档介绍了如何使用 TI 局部调光 LED 驱动器和 LED 电源子系统来满足系统级 ASIL-B 要求。

## 2 典型的局部调光系统

图 2-1 是一个典型的信息娱乐局部调光系统方框图，其中包含系统板和 LED 背光板。

- 系统板通常含有一个解串器、TCON（时序控制器）、微控制器 (MCU) 和一些电源电路。解串器通过 FPD-Link™ 从驾驶舱或音响主机上的串行器接收视频信号，然后将该信号传输到 TCON。TCON 接受图像数据流，计算每个背光区域的亮度数据并输出。MCU（通常用于电源管理）接收温度传感器信号。
- LED 板通常含有 LED 驱动器、LED 矩阵和温度传感器。使用 FFC 电缆通过非板载方式连接系统板和 LED 板。

图 2-1 显示了应满足功能安全标准的每个块。下面我们来讨论一下如何设计 LED 功率和发光二极管 (LED) 背光驱动器以满足 ASIL-B 标准。

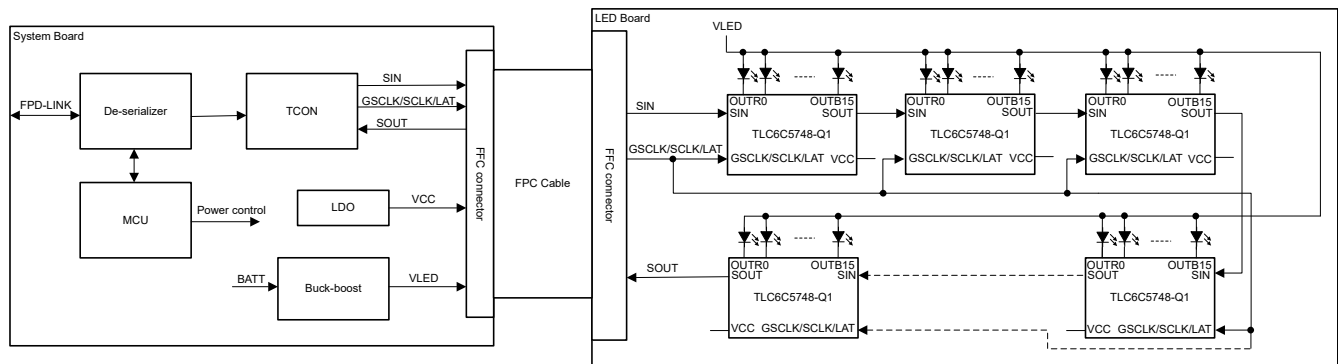


图 2-1. 典型局部调光系统的方框图

### 3 LED 电源的 ASIL-B 设计

对于局部调光 LCD 应用，LED 阳极连接到 LED 驱动器，LED 阴极连接到 LED 电源，如图 2-1 所示。对于 LED 电源，输入端通常直接连接到汽车电池。当您上车时，显示屏已经打开欢迎您。寒冷天气下启动发动机时，冷启动期间  $V_{IN}$  可能会下降至 3V，如图 3-1 所示。但是，在冷启动期间，显示屏仍需要亮起或不闪烁，以提供出色的用户体验。您可以在 LED 电源前放置预升压，但这会增加成本并降低效率。在没有外部预升压或额外电源的情况下，在启动后，TI 的降压/升压 TPS552892-Q1 转换器可以处理低至  $3V_{IN}$  的电源。

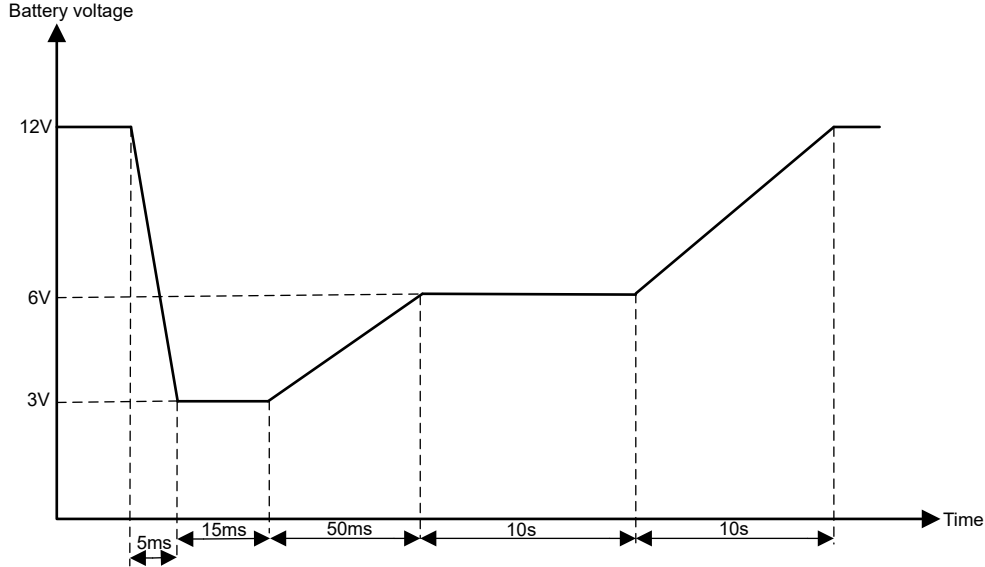


图 3-1. 典型的冷启动曲线

TPS552892-Q1 同步降压/升压转换器经优化，可将电池电压或适配器电压转换为电源轨。TPS552892-Q1 转换器集成了四个 MOSFET 开关，此开关可在 3.0V 至 36V 的宽输入电压范围内运行。对于 6V LED 电源应用，TPS552892-Q1 转换器可以用  $12V_{IN}$  的输入电压提供高达 36W 的输出功率。

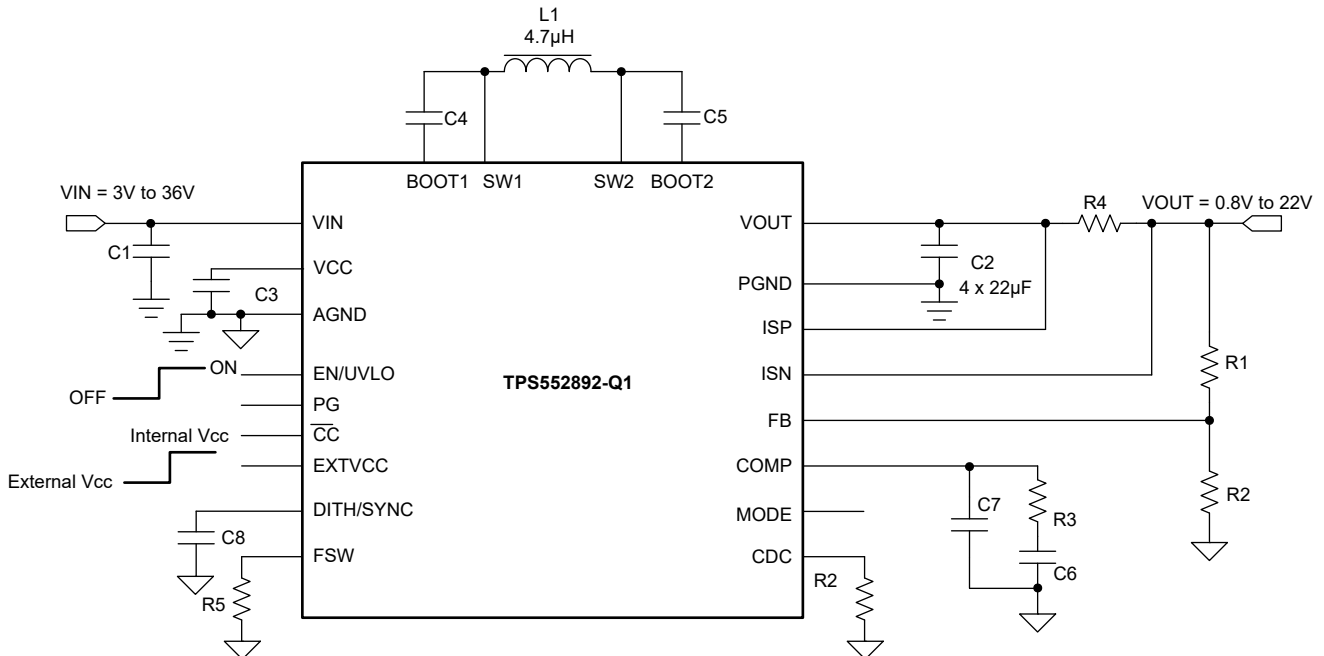


图 3-2. TPS552892-Q1 典型应用电路

如何为 LED 电源设计功能安全特性？根据表 3-1 中列出的 ISO26262-5 D.2.6 说明，有两种方法可实现电源诊断安全机制。第一种方法是检测来自输入侧的电压或电流。这种方法的诊断覆盖率较低 (60%)。另一种方法是检测输出侧的电压或电流。这种方法的诊断覆盖率很高 (99%)。

表 3-1. ISO26262 中的电源安全机制

| 安全机制/措施      | 参阅技术概述      | 被认为可实现的典型诊断 | 注释 |
|--------------|-------------|-------------|----|
| 电压或电流控制 (输入) | D.2.6.1 (1) | 低           | -  |
| 电压或电流控制 (输出) | D.2.6.2 (2) | 高           | -  |

- (1) **目的：**尽快检测输入电流或电压值的错误行为。  
**说明：**监控输出电压或电流。
- (2) **目的：**尽快检测输入电流或电压值的错误行为。  
**说明：**监控输出电压或电流。

对于 LED 电源，符合 ASIL-B 设计要求的 TPS552892-Q1 转换器系统设计有两种常见的输出检测方法：

• 使用安全 MCU ADC 引脚监控 TPS552892-Q1 输出。

MCU ADC 引脚独立于 TPS552892-Q1 转换器输出。这意味着诊断覆盖率相对较高，而不会增加额外的 BOM 成本。从图 3-3 中，可以看到 TPS552892-Q1 的 VOUT 引脚连接至 MCU ADC 引脚以用于监控输出电压，CDC 引脚连接至 MCU ADC 引脚以用于监控输出电流。TPS552892-Q1 转换器使用 ISP/ISN 引脚来检测输出电流，并且  $CDC \text{ 引脚电压} = 20 \times (V_{ISP} - V_{ISN})$ ， $I_{OUT} = (V_{ISP} - V_{ISN}) / R_4$ 。MCU 可以使用 ADC 监控 CDC 引脚电压，然后计算降压/升压  $I_{OUT}$ 。PG (电源正常) 引脚连接至 MCU GPIO 引脚以监控功率。PG 充当辅助安全机制，可帮助提高诊断覆盖率。如果发生 TPS552892-Q1 转换器过压 (OV) 或欠压 (UV) 故障，MCU ADC 引脚将检测到此故障，然后由 MCU GPIO 切断 (将 EN 引脚拉至低电平) TPS552892-Q1 转换器输出，使显示屏能够实现黑屏安全状态。

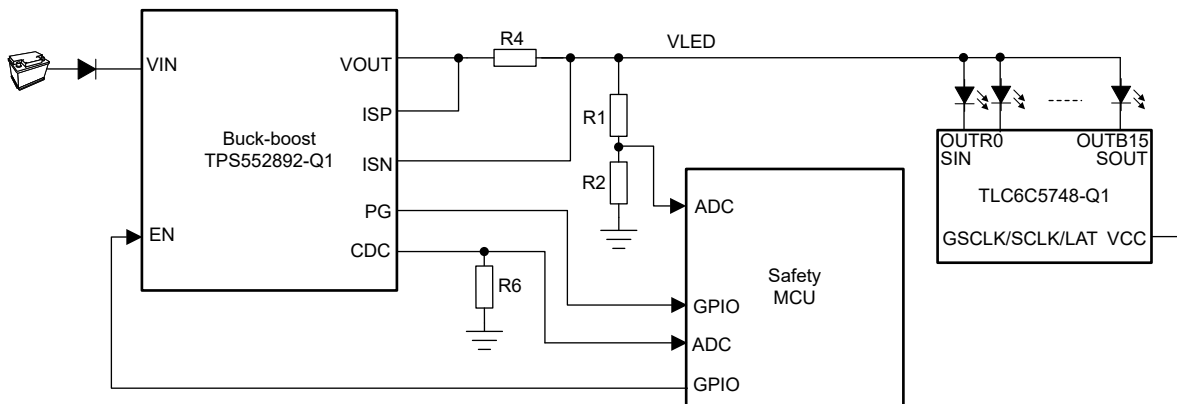


图 3-3. 通过 MCU 机制检测 TPS552892-Q1 输出

• 使用外部电源监控器监控 TPS552892-Q1 输出。

如果显示 MCU 没有足够的 ADC 引脚，可以使用外部电源监控器来监控 TPS552892-Q1 转换器的输出 OV 和 UV。监控器与电源输出无关，因此不会出现共因失效，而高性能和高精度检测意味着诊断覆盖率很高。

TI 有各式各样的电压监控器，可以监控 1 个通道到多个通道，并且支持从 5.5V 到 65V 的输入电压。对于 LED 电源， $V_{LED}$  等于  $V_F$  (LED 正向电压) +  $V_H$  (LED 驱动器余量电压)，通常在 6V 左右。在本白皮书中，以 TPS37A-Q1 高输入电压监控器为例来实现电压监控，如图 3-4 所示。

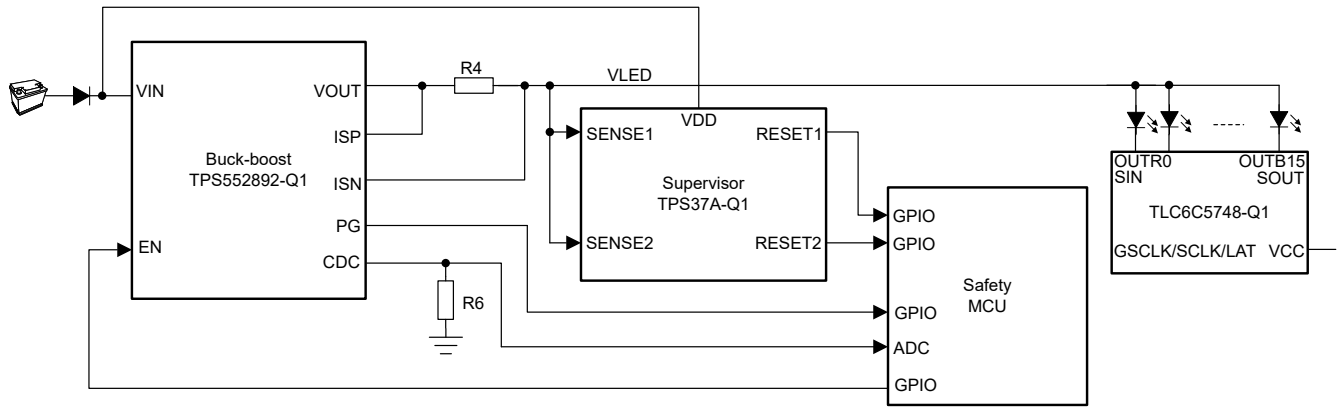


图 3-4. 通过监控器 TPS37A-Q1 检测 TPS552892-Q1 输出

TPS552892-Q1：输入 3V 至 36V，输出 6.0V

TPS37A：充当安全机制来监控 TPS552892-Q1 ( $V_{LED}$ ) 电源输出。如果发生 TPS552892-Q1 OV (过压 > 6.5V) 或 UV (欠压 < 5.8V) 故障，TPS37A-Q1 会使用 SENSE1 (OV) 或 SENSE2 (UV) 引脚检测此故障，并通过 RESET1(OV) 或 RESET2(UV) 信号向 MCU 发送警报。MCU 会响应此信号并执行相应的安全操作 (具体操作取决于安全目标要求)。例如，为了切断降压/升压输出，允许黑屏并将其视为安全状态。

#### 4 LED 驱动器的功能安全设计

为了满足系统级 ASIL-B 要求，车辆制造商通常要求汽车显示屏信息是可以看到的。对于局部调光 LCD 显示屏背光单元，在理想情况下，LED 驱动器应具有以下功能：

- 用于器件设置和监控的通信界面
- 针对每个 LED 通道 LED 的故障检测

TLC6C5748-Q1 驱动器可满足此要求。在图 4-1 中，可以看到显示控制器 (TCON) 可以通过 SPI 接口 (SIN、SCLK、LAT、GSCLK) 及时控制和调整 TLC6C5748-Q1 每个通道的 LED 灰度，同时 TCON 还可以通过 SOUT 接口使用 LED 开路检测 (LOD) 和 LED 短路检测 (LSD) 功能来检测 TLC6C5748-Q1 驱动器的通道 LED 故障。

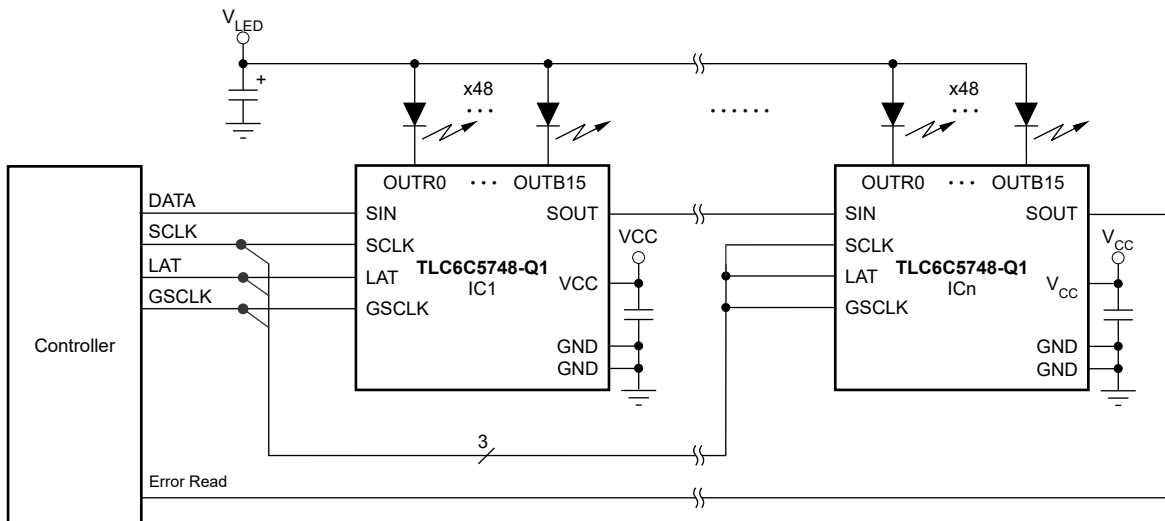


图 4-1. 局部调光典型应用以菊花链方式连接的 TLC6C5748-Q1 器件

TLC6C5748-Q1 驱动器具有内部 LED 开路检测 (LOD) 和 LED 短路检测 (LSD) 功能，图 4-2 和表 4-1 显示了真值表。LOD 通过比较  $OUTX_n$  电压与 LOD 检测阈值电压 (通常为 0.3V)，检测由 LED 开路或  $OUTX_n$  接地短路引起的故障。LSD 数据通过比较  $OUTX_n$  电压与通过器件中的内部寄存器 LSDVLT 设置的 LSD 检测阈值电压电平来检测由 LED 端子之间的短路 LED 引起的故障。

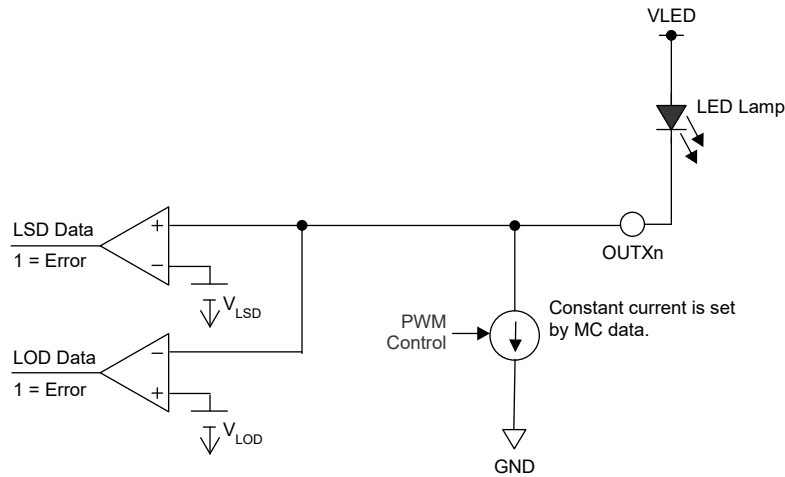


图 4-2. TLC6C5748-Q1 LOD 和 LSD 电路

表 4-1. TLC6C5748-Q1 LOD 和 LSD 真值表

| SID 数据 | 条件                                       |  |
|--------|--|--|
|        | LOD                                      | LSD  |
| 0      | LED 未开路 ( $V_{OUTXn} > V_{LOD}$ )        | LED 未短路 ( $V_{OUTXn} > V_{LOD}$ )                  |
| 1      | LED 开路或短接至 GND ( $V_{OUTXn} > V_{LOD}$ ) | LED 在阴极和阳极之间短路，或短接至较高电压侧 ( $V_{OUTXn} > V_{LOD}$ ) |

详细的安全机制如下所示：

- 对于 LOD，当 OUTXn 开启时，如果 OUTXn 电压低于阈值电压，则输出 LOD 位会设置为 1，以指示 LED 开路。TCON 从 SPI 接口 (SOUT) 获取此信息，以执行相应的安全操作（取决于安全目标要求）。通常，如果发生一定百分比的 LED LOD，TCON 会停止发送到 GSCLK，并提醒 MCU 切断 VCC 和 VLED、关闭显示屏背光并让显示屏进入黑屏安全状态。
- 对于 LSD，当 OUTXn 开启时，如果 OUTXn 电压高于编程的阈值，则相应的输出 LSD 位会设置为 1，以指示 LED 短路。TCON 从 SPI 接口 (SOUT) 获取此信息，以执行相应的安全操作（取决于安全目标要求）。通常，如果发生一定百分比的 LED LSD，TCON 会停止发送到 GSCLK，并提醒 MCU 切断 VCC 和 VLED、关闭显示屏背光并让显示屏进入黑屏安全状态。

## 5 总结

对于仪表盘、抬头显示系统或电子后视镜等汽车显示器，ASIL-B 功能安全通常是强制要求。仪表盘显示屏中含有多个块，这些块应符合 ASIL-B 标准。在本白皮书中，我们列出了如何为局部调光背光单元子系统 LED 电源和 LED 驱动器设计系统级 ASIL-B 的方法。此方法还可以扩展到其他模块，包括电源模块、FPD-Link 和 MCU 子系统。

## 6 参考资料

- 德州仪器 (TI)：[TPS552892-Q1 功能安全时基故障率、失效模式分布和引脚 FMA](#)
- 德州仪器 (TI)：[TLC6C5748-Q1 功能安全时基故障率、FMD 和引脚 FMA](#)
- 德州仪器 (TI)：[TPS3x-Q1 功能安全时基故障率、失效模式分布和引脚 FMA](#)

## 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