

## Application Note

## 减少基于摄像头的驾驶员监控系统 (DMS) 的布线量



Geraldine Baret, Johannes Kargl

## 摘要

随着具有自动驾驶功能的汽车数量不断增加以及新立法的出台，对驾驶员监控系统 (DMS) 的需求正显著增加。在车辆中添加新系统会带来空间、成本和重量增加的难题。由于线束已经是车辆中最重且更昂贵的组件之一，添加新系统将进一步增加额外布线需求所带来的成本和重量影响。本应用手册介绍了一种使用同轴电缆供电 (PoC) 减少驾驶员监控系统所需电缆数量的设计方法。

## 内容

1 引言.....	2
2 系统说明.....	2
2.1 双电缆概念.....	3
2.2 单电缆概念.....	3
3 采用单同轴电缆连接的摄像头模块设计.....	3
3.1 同轴电缆供电滤波器.....	4
3.2 升压转换器.....	4
3.3 高侧开关.....	4
3.4 缓冲电容器.....	4
3.5 LED 驱动器.....	4
3.6 串行器.....	5
3.7 设计步骤.....	5
4 测试结果.....	5
4.1 LED 和 PoC 电压波形.....	6
4.2 裕度分析程序结果.....	6
4.3 差分电源噪声水平.....	8
4.4 测试情况.....	8
5 总结.....	9
6 参考资料.....	10

## 插图清单

图 2-1. 带远程摄像头模块的 DMS 架构.....	2
图 2-2. DMS ECU 和摄像头双电缆实现.....	3
图 2-3. DMS ECU 和摄像头单电缆实现.....	3
图 3-1. 具有单同轴电缆连接的 DMS 摄像头模块方框图.....	4
图 4-1. LED 和 PoC 电压波形.....	6
图 4-2. 不具有脉冲 LED 的 MAP 结果.....	7
图 4-3. 具有脉冲 LED 的 MAP 结果.....	7
图 4-4. 差分电源噪声.....	8

## 表格清单

表 4-1. 测试案例列表.....	8
--------------------	---

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

在美国，90% 的车祸死亡是由人为失误造成的，其中 10% 是由于驾驶员困倦或分心造成的。驾驶员监控系统 (DMS) 以及乘员状态监控 (OSM) 系统可以跟踪驾驶员或乘客状况和位置。当今的实现方案主要使用基于摄像头的系统，其中通过红外 LED (IR LED) 照亮驾驶员，避免光线耀眼使驾驶员眩目。然后，由图像传感器捕获反射并对图片进行处理。处理过程中，系统会识别面部位置、眼球运动、重复眨眼、眼睛放大以及驾驶员在座椅上的位置（如斜躺）。利用这些数据并经常应用 AI 机制，可以定义驾驶员的警觉程度，从而判断驾驶员是否足够专心，或者是否可能因其健康状况而无法对道路和路况给予足够的关注。根据警觉程度，系统会发出视觉或听觉警告信号，或震动方向盘，或最终减慢车速，以再次提高驾驶员的专注程度。

随着全球汽车安全机构正在定义和部署驾驶员监控系统的指导性和强制性要求，基于摄像头的 DMS 和 OMS 系统市场预计在未来五年中每年增长到 5000 多万。

## 2 系统说明

图 2-1 所示为具备 DMS 电子控制单元 (ECU) 和远程摄像头模块（包括近红外 (NIR) 照明）的汽车基本架构。

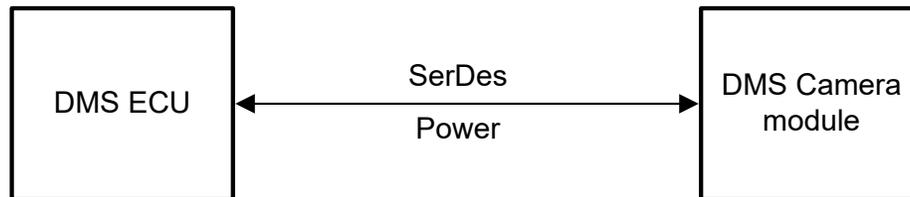


图 2-1. 带远程摄像头模块的 DMS 架构

ECU 模块为摄像头模块供电，并通过高速串行器/解串器 (SerDes) 链路接收来自摄像头模块的图像数据。NIR 照明通常通过使用具有成本效益的 IR LED 来实现，以便在光照条件不断变化的不同驾驶条件下保持稳定运行。使用红外光谱光的另一个好处是，这种光人眼不可见，不会分散驾驶员的注意力，但在功率较高和暴露较长的情况下，会对眼睛视网膜造成损害。摄像头模块可以放置在车内的各个位置，例如仪表组、仪表板、车内后视镜或 A 柱中。

下面的两个图说明了两种不同的概念，阐述如何将摄像头模块连接到 ECU。

## 2.1 双电缆概念

第一种实现方式如图 2-2 所示，是车辆中带有远程摄像头模块的 DMS 系统的常见实现方式之一。ECU 通过两根电缆连接到摄像头模块。一根电缆用于为成像子系统供电并将图像数据传输到 ECU。这通常是通过使用同轴电缆供电 (PoC) 实现的。另一根电缆为摄像头板上的红外照明供电，LED 驱动器位于 ECU 或摄像头模块上。

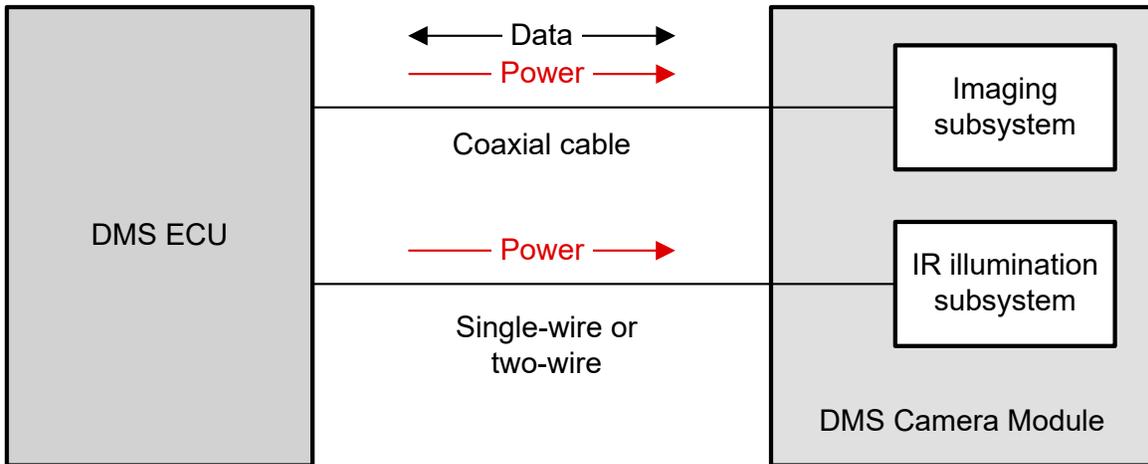


图 2-2. DMS ECU 和摄像头双电缆实现

## 2.2 单电缆概念

图 2-3 展示了一种将摄像头模块连接到 ECU 的不同实现概念。在此概念中，红外照明和成像子系统的电源由一根同轴电缆提供，该电缆也用于将图像数据传输到 ECU。此概念有助于减少布线成本和重量。使用 PoC 实现数据和电源的分离。

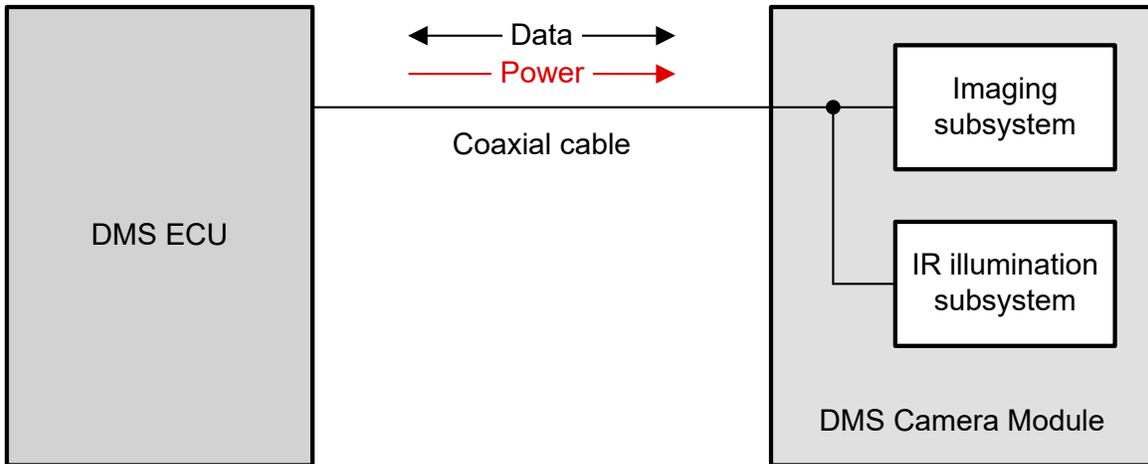


图 2-3. DMS ECU 和摄像头单电缆实现

下一部分介绍了具有红外照明的 DMS 摄像头模块单电缆概念的设计实现。

## 3 采用单同轴电缆连接的摄像头模块设计

图 3-1 展示了具有红外照明功能和单同轴电缆连接的远程摄像头模块参考测试设计。该模块可分为两个子系统：成像仪子系统和红外照明子系统。成像仪子系统包括串行器和串行器的 1.8V 电源。两个子系统都经由 PoC 滤波器通过同轴电缆供电。由于 IR LED 由大电流脉冲驱动，照明子系统在 LED 驱动器旁边包含额外的元件，以减少脉冲 LED 对系统其他部分的影响，尤其是高速 FPD-Link 通信。

驱动 IR LED 的高峰值电流脉冲被转换为输入端的较低峰值电流。这样即可控制同轴电缆上的峰值电流。

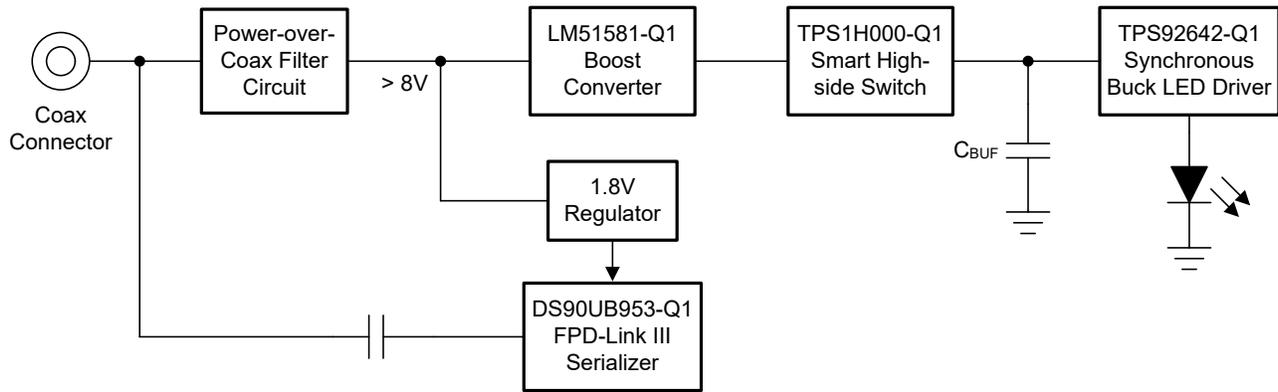


图 3-1. 具有单同轴电缆连接的 DMS 摄像头模块方框图

以下各节讨论了各个功能块和设计注意事项。

### 3.1 同轴电缆供电滤波器

同轴电缆供电 (PoC) 网络可将高速数据信号与同轴电缆上的直流电源分开。高速数据包括一个将视频和控制数据传送到解串行器的高速正向通道和一个将控制数据传送到串行器的低速反向通道。串行器和解串行器网络通过 TI 的 FPD-Link 技术实现。

有关 PoC 的详细信息，请参阅 [DS90UB953-Q1 的同轴电缆供电设计准则](#)。

使用 PoC 后，由于电源路径中不同元件（如连接器、同轴电缆和 PoC 电感器）的电流等级，进入摄像头模块的最大电流会受到限制。这些元件的最大电流等级通常在 1A 范围内，不得超过该值，以便更最大限度地减少电缆损耗并防止 PoC 电感器产生饱和效应。

[设计步骤](#)部分介绍了确定给定 LED 配置所需电流等级的过程。

### 3.2 升压转换器

如图 3-1 所示，升压转换器直接放置在 PoC 滤波器之后。升压转换器的用途是为缓冲电容器充电至恒定电压电平，通常在 18V 至 35V 的范围内。升压转换器允许照明在 8V 至 16V 或更高的典型 PoC 电压范围内运行。

该设计采用了 [LM51581-Q1](#) 升压转换器，其输入和输出电压范围大，总体解决方案尺寸小。

### 3.3 高侧开关

高侧开关位于升压转换器和 LED 驱动器以及缓冲电容器之间。高侧开关限制了升压转换器的输出电流，因此也限制了输入侧的 PoC 电流。这样可以确保不会超过 PoC 侧元件的电流等级。

[设计步骤](#)部分介绍了确定给定 LED 配置最小电流限值的过程。

由于电流限值可调且尺寸较小，因此该设计采用 [TPS1H000-Q1](#) 高侧开关。

### 3.4 缓冲电容器

缓冲电容器存储高电流 LED 脉冲所需的能量，并放置在 LED 驱动器的输入端。电容器在 IR LED 处于打开状态时放电，并在 IR LED 处于关闭状态时充电。缓冲电容器需要存储足够的能量来驱动 LED 达到指定的脉冲持续时间和功率。

要计算所需的最小电容器尺寸，请按照[设计步骤](#)部分中的步骤操作。

计算出最小电容器尺寸后，可以选择合适的电容器并检查是否能够满足所需的 PCB 尺寸，因为电容器尺寸对整体解决方案尺寸具有重大影响。

### 3.5 LED 驱动器

LED 驱动器采用降压转换器拓扑，并在导通期间向连接的 IR LED 灯串提供恒定电流。LED 电流脉冲的大部分能量来自缓冲电容器。

该设计使用 **TPS92642-Q1** 同步降压 IR LED 驱动器，具有眼睛安全保护、5A 高输出电流能力和高效率等诊断功能。

### 3.6 串行器

该设计使用 **DS90UB953-Q1** FPD-Link III 串行器与 **DS90UB954-Q1EVM** 等解串器链路伙伴电路板建立高速连接。FPD-Link III 器件的诊断特性用于确定脉冲 LED 对高速 FPD-Link 通道性能的影响。

### 3.7 设计步骤

以下公式为计算设计配置所需的参数提供了指南。

第一步是使用 [方程式 1](#) 计算单个 LED 脉冲需要存储在缓冲电容器中的能量。

$$E_{LED} = \frac{V_{F(MAX)} \times I_{LED} \times N \times t_{ON}}{\eta} \quad (1)$$

其中

- $V_{F(MAX)}$  是一个 IR LED 的最大正向电压
- $I_{LED}$  是所需的峰值 LED 电流
- $N$  是串联 LED 的数量
- $t_{ON}$  是所需的 LED 电流脉冲导通时间
- $\eta$  是 LED 驱动器的估算效率

在下一步中，可以使用 [方程式 2](#) 计算所需的高侧开关电流限值。

$$I_{LIM(MIN)} = \frac{E_{LED}}{V_{Boost} \times t_{OFF}} \quad (2)$$

其中

- $V_{Boost}$  是升压转换器级所配置的输出电压
- $t_{off}$  规定了缓冲电容器的再充电时间，可根据 LED 脉冲频率和导通时间来选择

计算得出的值代表在下一个 LED 脉冲出现前对缓冲电容器完全再充电所需的最小再充电电流。

一旦选择了适当的再充电电流，便可通过 [方程式 3](#) 确定产生的流经同轴电缆和 PoC 滤波电感器的输入电流。

$$I_{PoC} = I_{LIM} \times \frac{V_{Boost}}{V_{PoC}} \times \frac{1}{\eta} + \frac{\Delta I}{2} \quad (3)$$

其中

- $I_{LIM}$  是选择的再充电电流限制
- $V_{PoC}$  是同轴电缆上的电压
- $\eta$  是升压转换器的估算效率
- $\Delta I$  是峰峰值电感器纹波电流， $\Delta I$  为输出电流的 20% 至 40%

在最后一步中，可通过 [方程式 4](#) 计算所需的缓冲电容大小。

$$C_{BUF(MIN)} = \frac{2 \times E_{LED} - I_{LIM(MIN)} \times V_{Boost}}{V_{Boost}^2 - V_{BUF(MIN)}^2} \quad (4)$$

$V_{BUF(MIN)}$  表示放电周期结束时缓冲电容器中的最小电压电平。最小电压电平必须大于 LED 驱动器的最大预期输出电压。

## 4 测试结果

本节给出了上一节所述系统的测试结果。已根据 [节 4.4](#) 部分中的说明设置了系统配置，PoC 电压为 12V，高侧开关电流限制为 250mA，缓冲电容器大小为 330  $\mu$ F。

## 4.1 LED 和 PoC 电压波形

图 4-1 以黄色显示 LED 驱动器输出的电压波形，以绿色显示同轴电缆上的相应电压。该图显示 LED 发出正确的脉冲，同轴电缆上的电压波形符合预期。图中显示了 2.5A LED 电流、4ms 脉宽和 250mA 高侧开关电流限制条件下的波形。



图 4-1. LED 和 PoC 电压波形

## 4.2 裕度分析程序结果

裕度分析程序 (MAP) 用于评估 FPD-Link 高速通道在脉冲 LED 电流期间的性能。在 MAP 中，自适应均衡过程被禁用。可手动设置选通位置和均衡 (EQ) 电平，以创建可用于系统评估的信号眼图表示。以下两个图展示了具有和不具有脉冲 LED 的 MAP 结果。

绿色区域表示在给定的 EQ 电平和选通位置组合下未检测到位错误。红色区域表示在何处检测到位错误。

图 4-2 展示了不具有脉冲 LED 的 MAP 结果，图 4-2 展示了具有脉冲 LED 的 MAP 结果。通过对两个图进行比较，可以看出结果之间的差异微不足道，因此脉冲 LED 对 FPD-Link 通信的影响可以忽略不计。

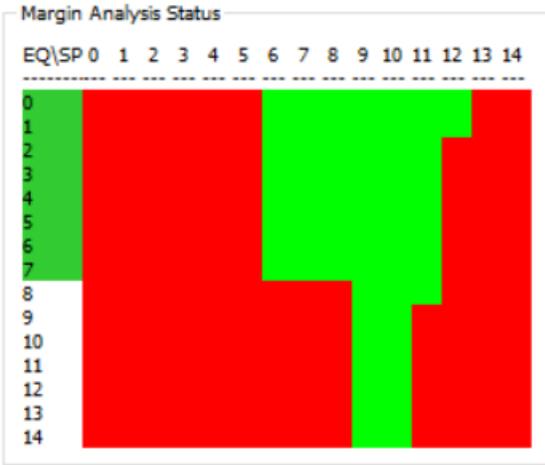


图 4-2. 不具有脉冲 LED 的 MAP 结果

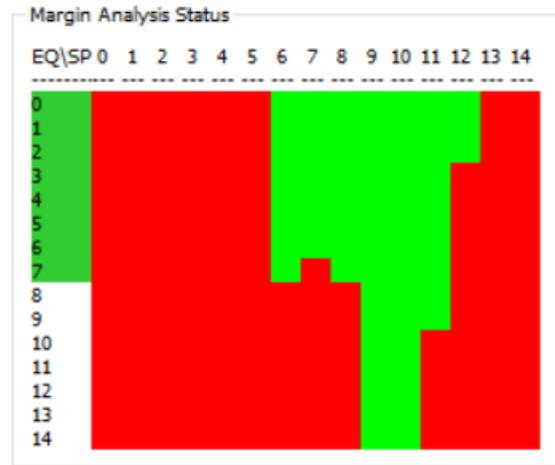


图 4-3. 具有脉冲 LED 的 MAP 结果

有关 MAP 的详细信息，请参阅 [DS90UB954-Q1](#) 和 [DS90UB960-Q1](#) 的裕度分析程序 (MAP) 和选通位置。

### 4.3 差分电源噪声水平

差分电源噪声水平直接在串行器的 **Dout+** 和 **Dout-** 引脚之间测量，这对 FPD-Link 反向通道性能产生直接影响。在 0MHz 至 50MHz 的频率范围内，FPD-Link III 的噪声限制是 25mVpp。为了正确测量差分电源噪声，需要通过将两个器件上的 PDB 引脚拉低而将串行器和解串器断电。图 4-4 显示了脉冲 LED 的噪声水平。

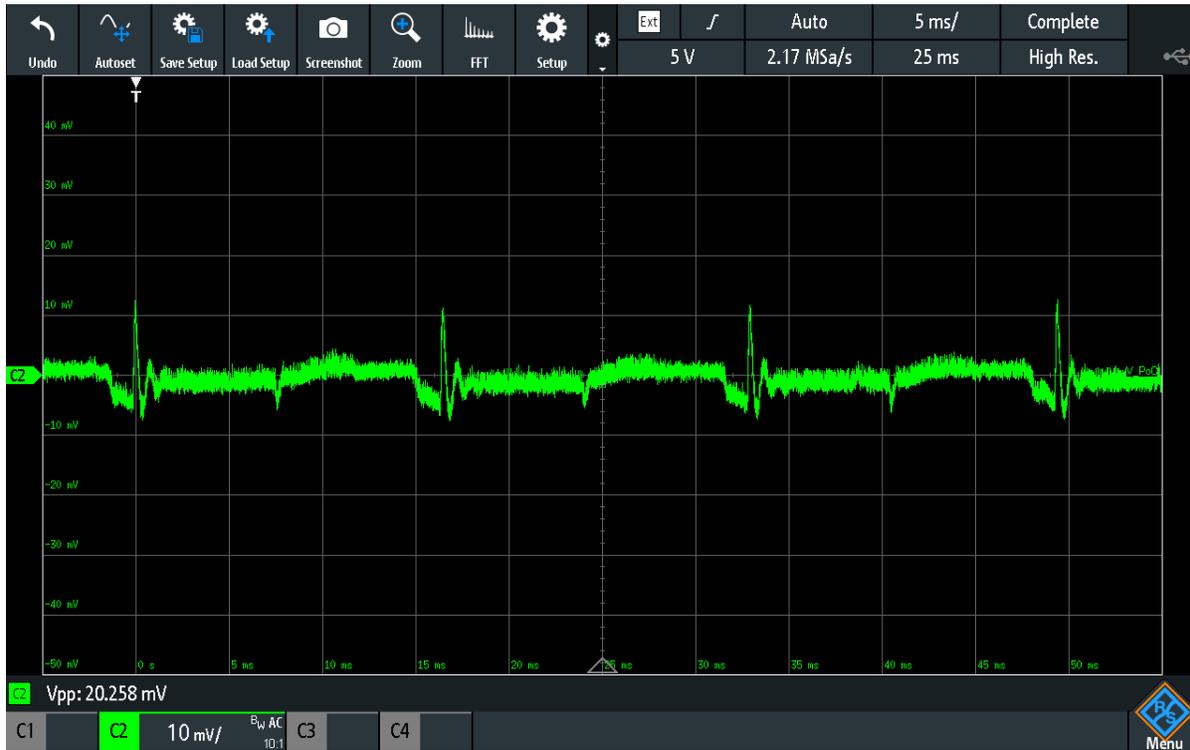


图 4-4. 差分电源噪声

测得的噪声水平为 20mVpp，低于上述为 FPD-Link III 规定的 25mVpp 限值。

### 4.4 测试情况

表 4-1 显示了具有不同测试参数（例如 LED 脉冲持续时间和频率、LED 峰值功率、PoC 电压和高侧开关电流限制）的测试用例。所有显示的测试用例都通过了 MAP 测试，影响可以忽略不计。所有测试的升压转换器输出电压均设为 24V。

表 4-1. 测试案例列表

测试案例	PoC 电压 <sup>(1)</sup> (V)	HSS 电流限制 (mA)	电容器尺寸 (μF)	LED 峰值电流 (A)	LED 峰值功率 <sup>(2)</sup> (W)	LED 脉冲宽度 (ms)	LED 脉冲频率 (Hz)
1	12	400	560	3	18	4	30
2	12	200	330	3	18	3	30
3	12	200	330	3	18	2	60
4	12	100	220	3	18	3	30
5	9	200	330	3	18	2	60
6	12	250	330	2.5	15	4	60
7	8	250	330	2.5	15	4	60

- (1) PoC 电压值指示 ECU 侧的电压电平，不考虑同轴电缆上的压降。  
 (2) 所有测试均采用两个串联连接的 OSRAM SFH 4728AS A01 IR LED 的 LED 灯串配置来执行。

## 5 总结

本文介绍的采用同轴电缆供电的单电缆实现方案有助于减少具有远程摄像头模块的 DMS 系统所需的布线量。通过将红外照明的电源连接与摄像头子系统的 PoC 连接相结合，可以降低摄像头模块布线的成本和重量。该应用手册还讨论了如何为所选的 LED 灯串配置计算基本参数。所提供的测试结果证明，在正确的配置下，高速 FPD-Link 正向和反向通道上 IR LED 脉冲产生的噪声影响在指定的限值内。

## 6 参考资料

1. 德州仪器 (TI), [DS90UB953-Q1](#) 的同轴电缆供电设计准则 应用报告。
2. 德州仪器 (TI), [DS90UB954-Q1](#) 和 [DS90UB960-Q1](#) 的裕度分析程序 (MAP) 和选通位置 应用报告。

## 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