

Roy Chou, Jin Lin, Gracie Guo, and Michael Yeh

摘要

局部调光背光可以实现更高的图像对比度，因此它越来越多地应用于汽车显示屏中。TLC6C5748-Q1 是一款专为汽车局部调光应用而设计的 LED 驱动器。由于局部调光的系统级架构，EMC 性能（包括低 EMI 和稳健的 EMS）有时会面临挑战。本应用手册介绍了使用 TLC6C5748-Q1 实现良好 EMC 性能的几个重要注意事项。还提供了测试结果来证明有效性。所有讨论均基于 336 区面板局部调光背光模块的演示设计。

内容

1 引言.....	2
2 低 EMI 的设计注意事项.....	3
2.1 设计注意事项概述.....	3
2.2 详细的注意事项.....	4
3 总结.....	12
4 参考文献.....	12

插图清单

图 1-1. 典型的局部调光系统.....	2
图 2-1. PWM 信号图.....	4
图 2-2. 频域中的傅里叶级数.....	4
图 2-3. 从 45MHz 到 439MHz 的原始设置（垂直方向）的测试结果.....	5
图 2-4. 使用 3.3V IO 电压设置（垂直方向）从 45MHz 到 439MHz 的测试结果.....	5
图 2-5. 使用 3.3V IO 电压设置、带 SSC 的 GSCLK 并在 45MHz 到 439MHz 范围内移除缓冲器（垂直方向）的测试结果.....	6
图 2-6. 使用 3.3V IO 电压设置、带 SSC 的 GSCLK 并在 45MHz 到 439MHz 范围内移除缓冲器（垂直方向）的测试结果.....	6
图 2-7. 使用 3.3V IO 电压设置、带 SSC 的 GSCLK 并在 45MHz 至 439MHz 范围内在 GCLK 上添加缓冲器（垂直方向）的测试结果.....	7
图 2-8. 100kHz 至 150kHz 原始设置的近场测试结果.....	8
图 2-9. 100kHz 至 150kHz 优化设置的近场测试结果.....	8
图 2-10. PCB 布局的底层.....	9
图 2-11. PCB 布局的顶层.....	9
图 2-12. 测试设置.....	10
图 2-13. 第一个 TLC6C5748-Q1 GSCLK 波形.....	11
图 2-14. 最后一个 TLC6C5748-Q1 GSCLK 波形.....	11

表格清单

表 2-1. TLC6C5748-Q1 的低 EMI 设计注意事项.....	3
表 2-2. 基本参数.....	10

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

图像对比度一直是进一步改进汽车 LCD 显示屏的限制因素。同时，随着汽车显示面板的尺寸越来越大，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。为了解决这些问题，局部调光 LCD 背光技术已推向市场。在局部调光系统中，LED 矩阵用于替代全局调光 LCD 背光中的 LED 灯串。每个 LED 覆盖一个小的背光区域。每个区域的亮度可以根据图像内容独立调节。

与传统的 LCD 面板全局调光背光相比，局部调光背光可以显著提高图像对比度，并通过关闭黑色显示区域下的背光 LED 来消除 LCD 漏光。

如图 1-1 所示，典型的局部调光系统包含系统板和 LED 板。

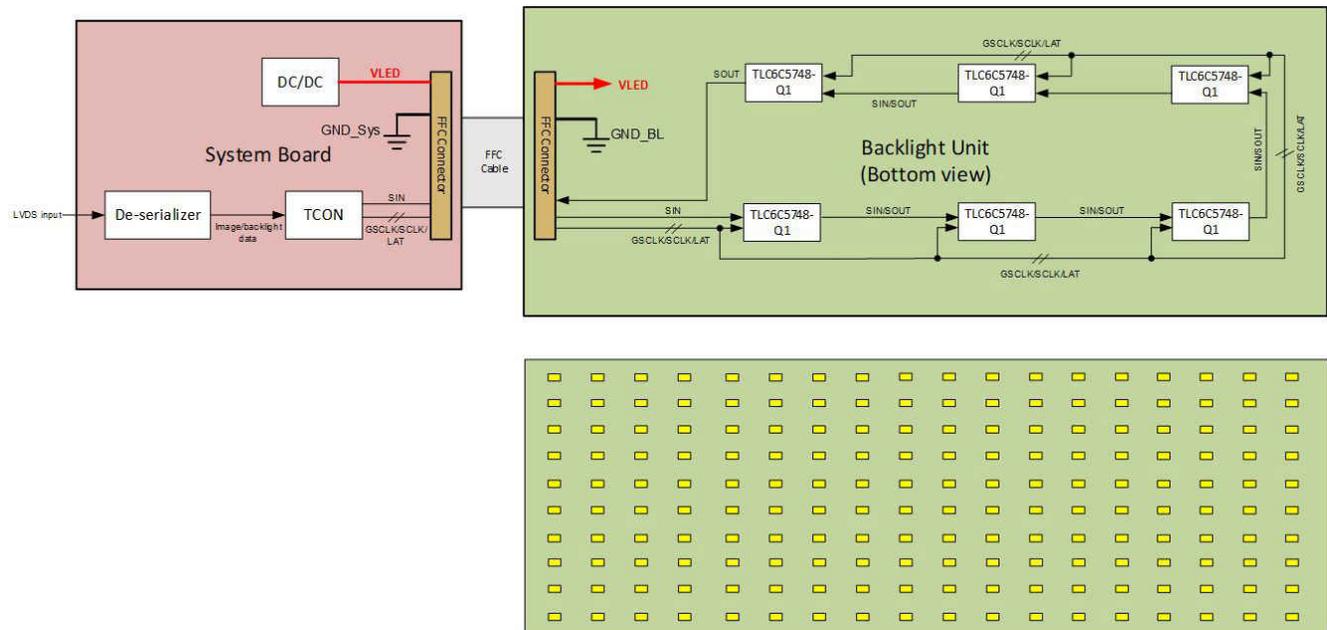


图 1-1. 典型的局部调光系统

系统板通常有一个时序控制器 (TCON) 和一些电源电路。TCON 接受图像数据流进行显示，以及计算和输出每个背光区域的亮度数据。LED 板通常有 LED 矩阵和 LED 驱动器。系统板和 LED 板之间使用 FFC 电缆进行板外连接。

从 EMC 设计的角度来看，这种架构会带来以下挑战，

- 带板外连接的高频接口，
- 两层 LED 板上的高频信号走线，

LED 板上的电源完整性和信号完整性。

2 低 EMI 的设计注意事项

2.1 设计注意事项概述

作为处理 EMC 问题的一般方法，首先需要确定噪声源和耦合路径（或辐射发射天线）。

在局部调光系统中，噪声主要来自四个来源：

1. 接口中的时钟和数据信号。TLC6C5748-Q1 支持高达 25MHz 的 SCLK/SIN/SOUT 频率和高达 33MHz 的 GSCLK 频率。这些脉冲包含高次谐波，需要小心处理。
2. 来自直流/直流转换器和 PWM 调光的开关噪声。这种噪声的频谱范围相对较窄，但能量较高。
3. LED PWM 调光频率。与前两个来源相比，这个频率达到千赫水平。有关 TLC6C5748-Q1 频率的计算公式如 [方程式 1](#) 中所示
4. 电路板互连的阻抗（例如连接器金属触点的寄生电感）会在信号电流通过时产生高频交流电压源

$$f_{LED} = \frac{GSCLK}{2^{16}} \quad (1)$$

在许多局部调光设计中，LED 板是大尺寸的两层 PCB。LED 板上的布线会非常复杂，无法为承载高频信号的迹线保持良好的“返回路径”。这会导致高 di/dt 环路面积扩大，从而增加辐射发射。承载高频信号的长迹线也可以是等效天线。

[表 2-1](#) 总结了 TLC6C5748-Q1 的低 EMI 设计注意事项。

表 2-1. TLC6C5748-Q1 的低 EMI 设计注意事项

项目	方法	用途
顶层架构	屏蔽电缆或连接器；尽量减少 PCB 数量；尽量减少电缆长度。	减少高频噪声和天线
高频信号	使用 3.3V I/O 电压。	降低或减弱高频能量
	选择刚好足够的接口频率以减少高频范围内的谐波能量。	
	降低数据和时钟信号的驱动强度； 添加 R-C 滤波器或铁氧体磁珠以使上升/下降沿变平滑。	
	扩频	抑制频谱中的峰值
	优化 GSCLK	降低或减弱高频能量
PCB 布局	为高频信号提供低阻抗返回路径；沿高频信号布线放置过孔等	减少高频噪声和天线

2.2 详细的注意事项

2.2.1 顶层架构

大多数情况下，局部调光系统由至少两块 PCB 板组成，一块是系统板，另一块是用于背光的 LED 板。有些设计甚至有更多的 PCB 板。这种架构会导致电缆很长（主要是 FPC 或 FFC）和使用多个连接器触点，从而在信号路径上引入相对较高的寄生电感。当高频通信信号的驱动电流流过时，寄生电感相当于交流噪声源。这是辐射发射过多的主要原因之一。

在顶层架构布局规划期间，应考虑尽量减少 PCB 数量和连接器数量。此外，还建议使用带屏蔽的电缆和连接器以减少辐射发射。

2.2.2 高频信号

如前几节所述，接口上的脉冲信号可能是 EMI 的噪声源。从理论上来说，压摆率有限的 PWM 信号（如图 2-1 所示）可以写成傅里叶级数格式，

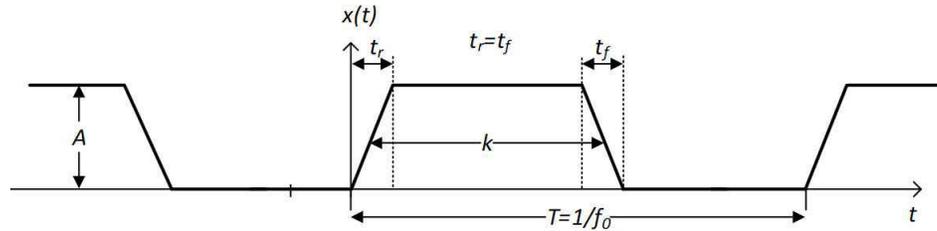


图 2-1. PWM 信号图

$$x(t) = A \frac{k}{T} + 2A \frac{k}{T} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\sin(n\pi f_0 k)}{n\pi f_0 k} + \frac{\sin(n\pi f_0 t_r)}{n\pi f_0 t_r} \right) \cos[2\pi n f_0 t - \pi n f_0 (k - t_r) \theta] \quad (2)$$

为了减轻噪声源的 EMI 问题，E.Q 2 指出了几种降低高频范围能量的方法。图 2-2 展示了频域中的频谱。

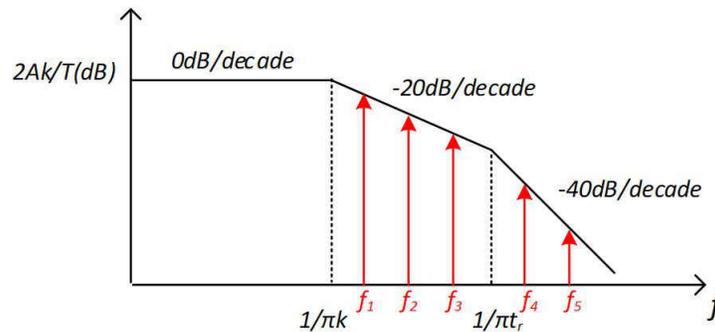


图 2-2. 频域中的傅里叶级数

2.2.2.1 原始设置

在不使用任何 EMC 对策的情况下，电路板设计通常使用微控制器来提供 TLC6C5748-Q1 所需的信号、5V I/O 电压电平和不带 RC 缓冲电路的缓冲器。图 2-3 展示了上述设置依照 GMW3097 规范在 45MHz 至 400MHz 垂直方向上的测试结果。在下面的测试中，我们将测量相同的频段来进行比较

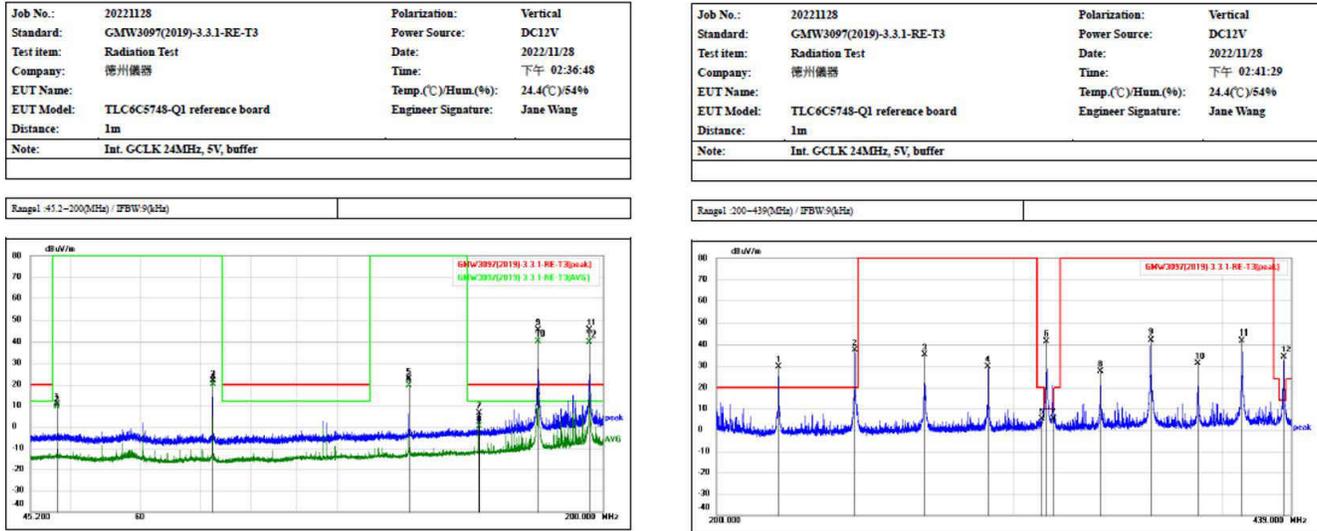


图 2-3. 从 45MHz 到 439MHz 的原始设置 (垂直方向) 的测试结果

2.2.2.2 3.3V I/O 电压，而非 5V

尽管 TLC6C5748-Q1 与接口 (LAT、SIN、SCLK、GSCLK) 上的 3.3V 或 5V I/O 电压兼容，但 3.3V I/O 电压会导致整个频率范围内的能量较低。图 2-4 展示了 3.3V I/O 测试结果。

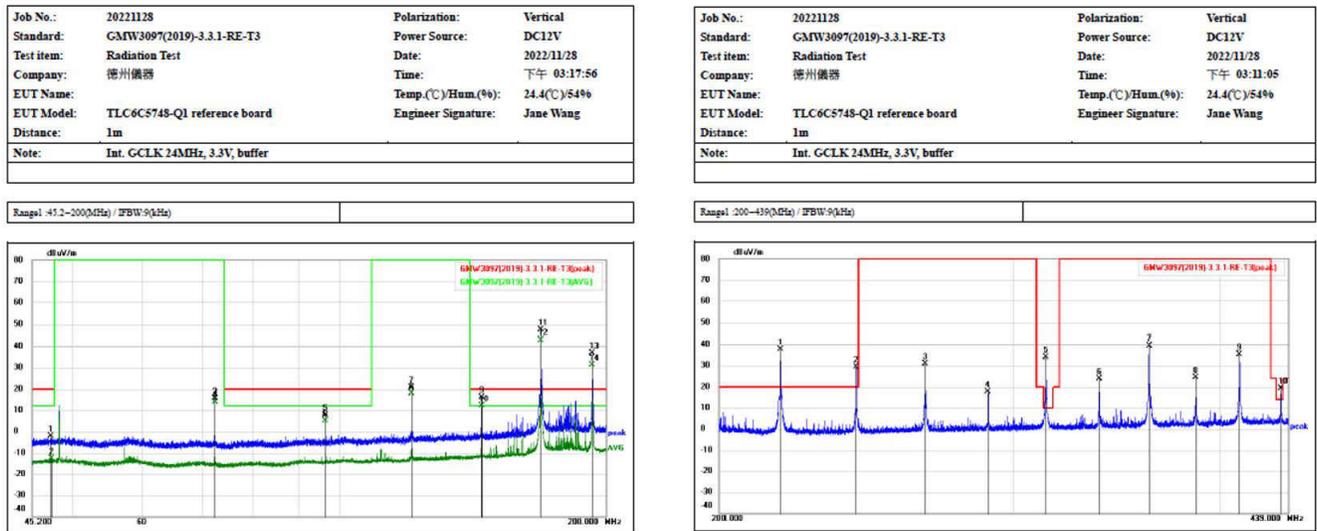


图 2-4. 使用 3.3V IO 电压设置 (垂直方向) 从 45MHz 到 439MHz 的测试结果

2.2.2.3 为具有展频的 GSCLK 使用独立 OSC

图 2-4 展示了从 GSCLK 生成的高 EMI 噪声峰值。为避免出现 EMI 噪声峰值，常用的方法是使用与频谱无关的 OSC。通常，微控制器可以产生展频时钟信号，但与振荡器相比，它通常具有较高的 EMI 噪声。独立 OSC 可以放置在最靠近第一个 LED 驱动器的位置，从而可缩短信号路径。图 2-5 展示了为具有展频的 GSCLK 使用独立 OSC 时的测试结果。

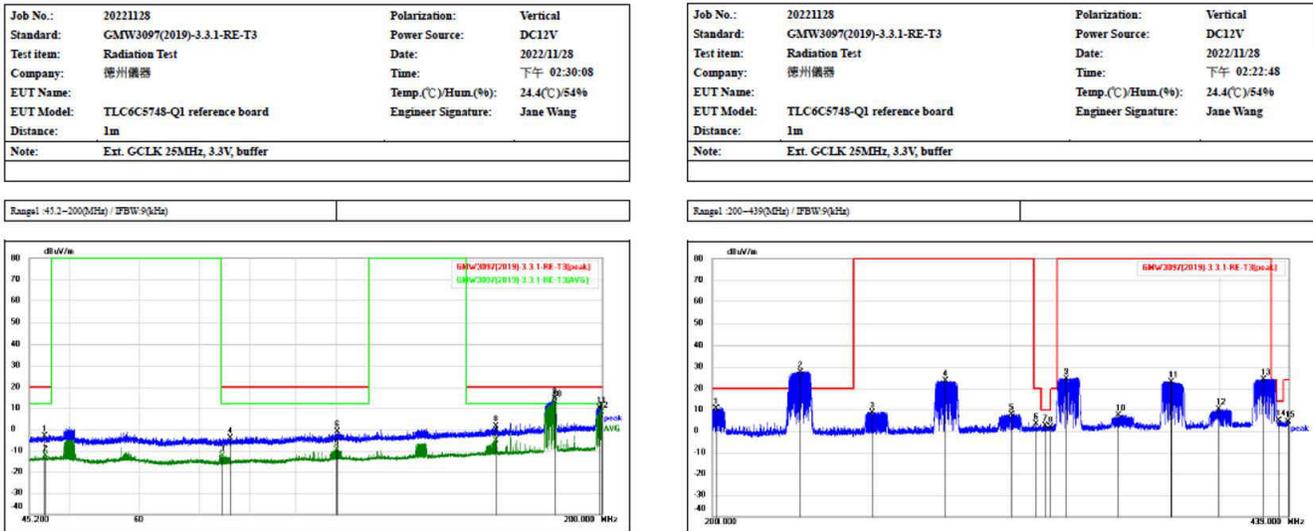


图 2-5. 使用 3.3V IO 电压设置、带 SSC 的 GSCLK 并在 45MHz 到 439MHz 范围内移除缓冲器 (垂直方向) 的测试结果

2.2.2.4 不在 GSCLK 上使用缓冲器

虽然使用具有展频功能的 OSC 作为 GSCLK 可以大大降低 EMI 噪声，但在某些频段仍然超出规格。可以通过降低 GSCLK 能量来降低 EMI。降低 EMI 能量的常用方法是在系统正常运行、信号波形符合规范并留有足够余量的前提下不使用缓冲器。图 2-6 展示了不为 GSCLK 使用缓冲器时的测试结果。

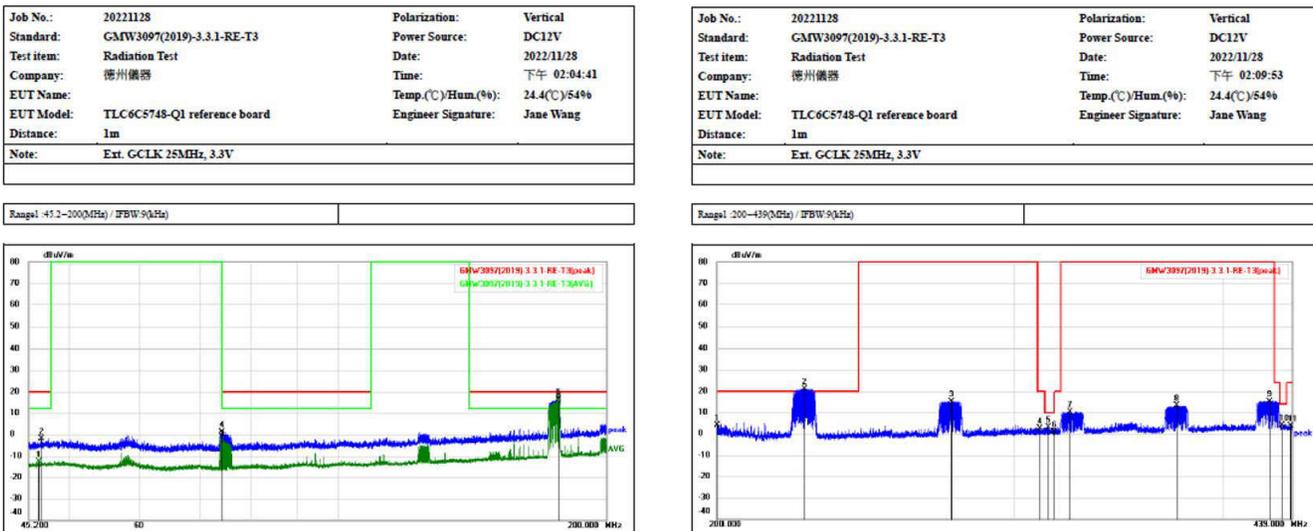


图 2-6. 使用 3.3V IO 电压设置、带 SSC 的 GSCLK 并在 45MHz 到 439MHz 范围内移除缓冲器 (垂直方向) 的测试结果

2.2.2.5 在 GSCLK 上使用缓冲器

在上一节的基础上，图 2-7 展示了在 GSCLK 上添加缓冲器之后的测试结果。

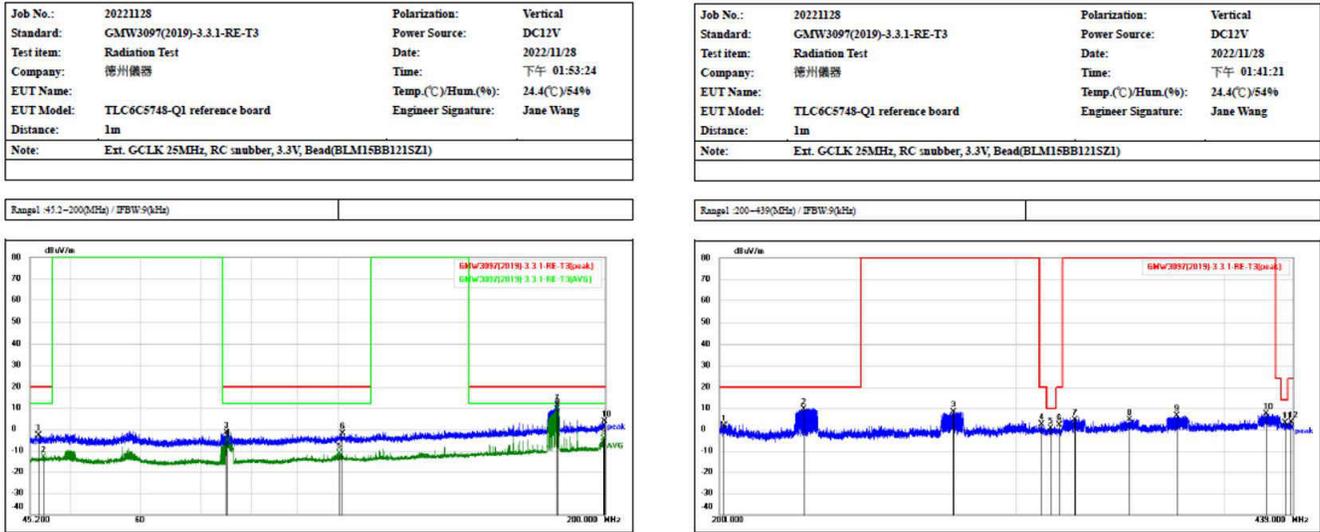


图 2-7. 使用 3.3V IO 电压设置、带 SSC 的 GSCLK 并在 45MHz 至 439MHz 范围内在 GCLK 上添加缓冲器 (垂直方向) 的测试结果

2.2.2.6 降低信号频率

特别是对于 TLC6C5748-Q1，方程式 3 中计算了局部调光 SPI 接口 (SIN, SCLK) 的数据吞吐量。例如，具有 60Hz 帧速率的 336 区设计需要大约 0.32MHz 的 SCLK/SIN。TLC6C5748-Q1 仅在 LAT 脉冲到达时更新亮度，因此整个帧周期可用于亮度数据传输。

$$Data\ rate = Deive\ counts \times 769bit \times frame\ rate \quad (3)$$

此外，GSCLK 是 PWM 调光计数器的独立时钟。在某些应用中，需要使用高 PWM (例如，>20kHz) 调光频率以避免出现可闻噪声和莫列波纹。在 TLC6C5748-Q1 上，当需要高 PWM 调光频率时，建议设置 ESPWM 的控制位。方程式 4 展示了启用 ESPWM 的情况下，PWM 调光频率和 GSCLK 之间的关系。

$$f_{LED} = \frac{GSCLK}{2^{16}} \times 128 \quad (4)$$

例如，要实现超过 20kHz 的 PWM 调光频率，至少需要 10.24MHz 的 GSCLK 频率。某些 OEM 可能对特定低频段的近场磁场发射有限制。大多数情况下，这种低频磁辐射发射直接来自 PWM 调光操作期间的电流环路。频谱上的辐射尖峰与 GSCLK 频率直接相关，因为 PWM 调光频率从 GSCLK 分频。因此，还必须仔细选择 GSCLK 频率以避免尖峰位于敏感频带，这一点也很重要。对于可闻噪声，除了提升 PWM 调光频率外，我们还可以使用钽聚合物电容器。与 MLCC (多层陶瓷电容器) 相比，钽聚合物电容器不会产生振动噪声。通过近场磁场发射的常用方法是降低 GSCLK。例如，GMW3097 规范限制了 100kHz 至 150kHz 的近场磁场发射。根据方程式 4，当 GSCLK 为 4MHz 和 14.3MHz 时，PWM 调光频率为 7.8kHz 和 48.8kHz。信号频率越低，在高频范围内振幅就越低，如图 2-8 所示。

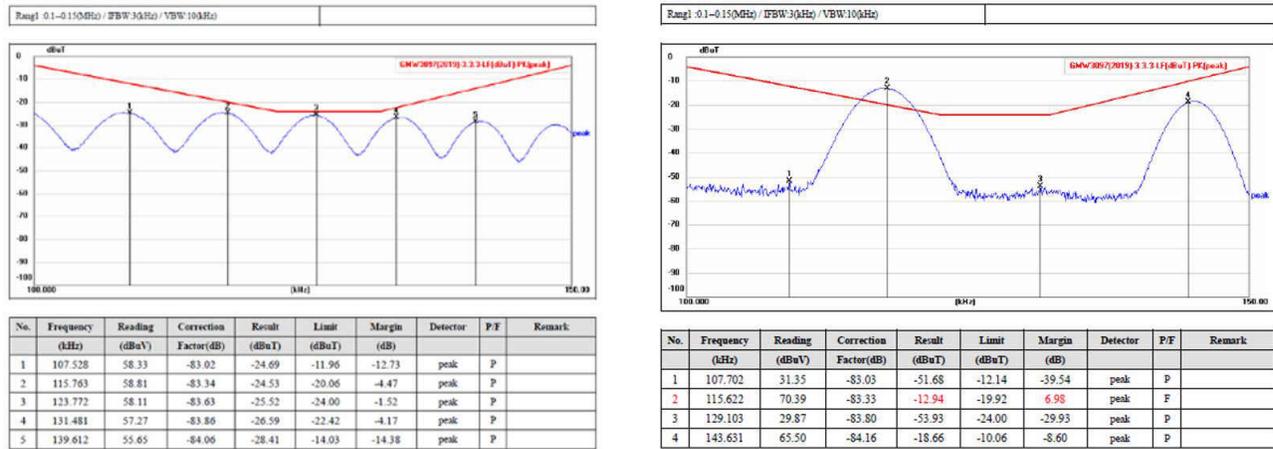


图 2-8. 100kHz 至 150kHz 原始设置的近场测试结果

根据方程 4，设计合适的 LED 调光频率也是符合规范的好方法。例如，50kHz LED 调光频率是合适的，因为在 50kHz、100kHz、150kHz 等处具有 EMI 噪声峰值，这意味着可以避免对 100kHz 至 150kHz 的严格限制。图 2-9 展示了当 GSClk 为 25MHz 且开启 ESPWM 时的近场测试结果。此外，将稳压电容器分布在 LED 板上还可以降低 LED 调光频率带来的 EMI 噪声。

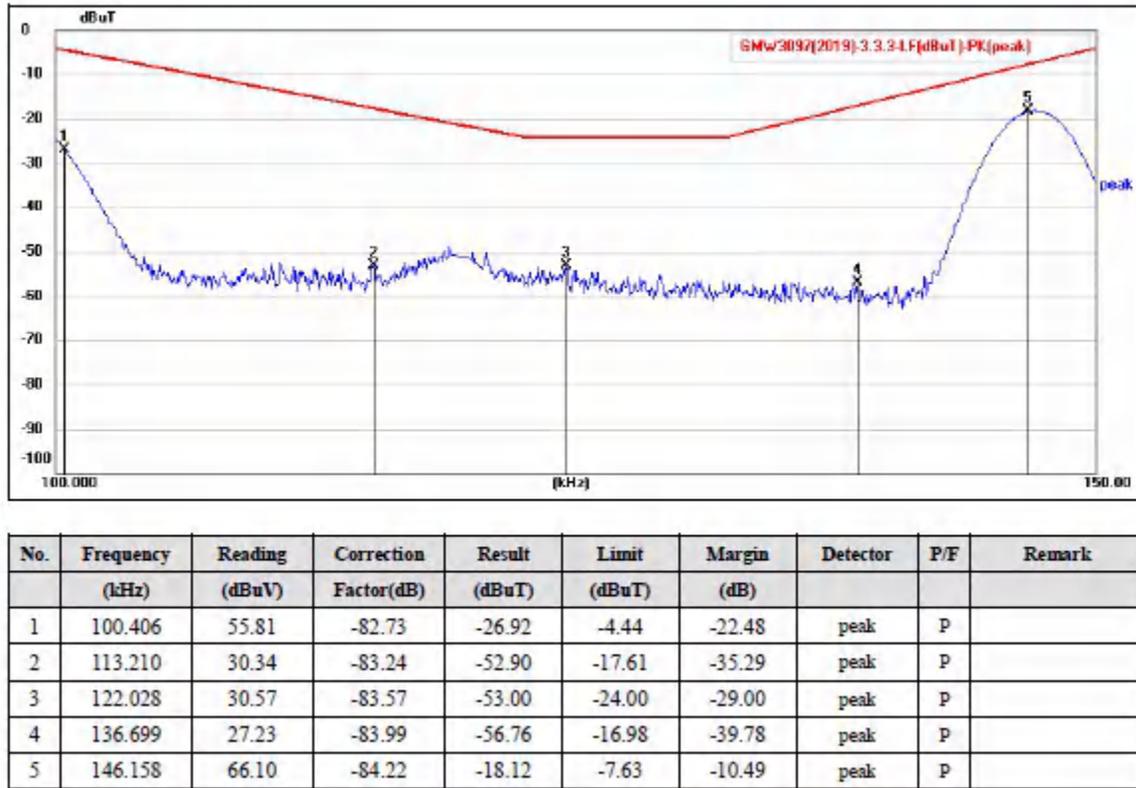


图 2-9. 100kHz 至 150kHz 优化设置的近场测试结果

2.2.2.7 放置和 PCB 布局

如前所述，R-C 或 FB-C 滤波器可用于消除高频谐波。建议将 R-C 滤波器放置在系统板上。还建议在 LED 板上放置另一个滤波器，来实现更多衰减，并且滤波器需要放置在尽可能靠近连接器的地方。

除了 TLC6C5748-Q1 上的通用 PCB 布局指导原则外，为信号布线提供低阻抗返回路径也很重要。对于 2 层 PCB 板来说，集成的连续 GND 平面可能并不容易实现，但需要尽可能做到。对于信号布线，GSCLK、SIN、SCLK 只能放在底层。最好不要在这些布线上使用过孔。虽然信号布线是平行的，但需要在它们之间放置均匀间隔的过孔以集成 GND 平面。

图 2-10 展示了参考布局的底层（蓝色）和顶层（红色）。

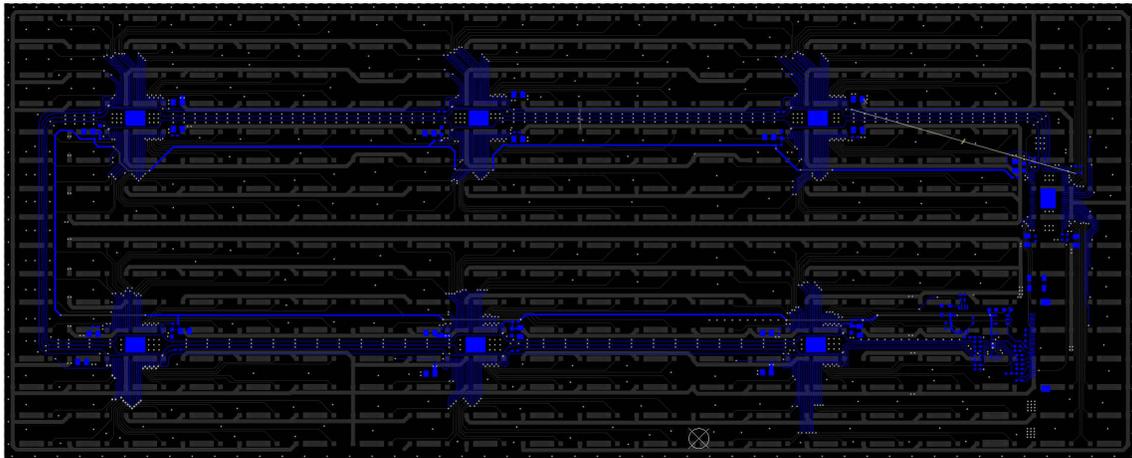


图 2-10. PCB 布局的底层

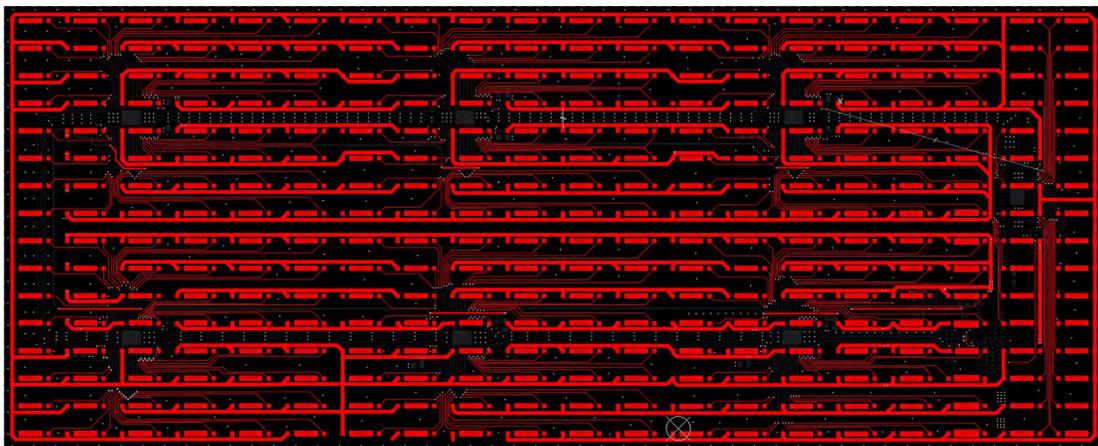


图 2-11. PCB 布局的顶层

2.2.2.8 ESD 增强

系统级 ESD 是 EMC 规范中的另一个关键主题。可能的路径通常从三个路径影响 LED，即 LED 电压、LED 驱动器 Vcc 电压和 GND。在 LED 电压轨和 LED 驱动器 Vcc 电压轨上选择适当的 ESD 位置是通过系统级 ESD 的好方法。对于 LED 电压轨，建议使用 TPD1E10B09-Q1 (9V, VBR)，对于 LED 驱动器 Vcc (3.5V, VBR)，建议使用 TPD1E01B04-Q1。更多详细信息，请参见参考板电路。

2.2.2.9 演示和测试结果

我们设计了演示并进行测试，来证明节 2 中分享的信息。测试设置如图 2-12 所示。



图 2-12. 测试设置

此演示中有两块 PCB 板。系统板有一个 MCU，用于生成和发送背光数据。还集成了一个 TPS552882-Q1 作为 LED 板电源的降压/升压转换器。LED 板有 336 个 LED。每个区域有 1 个 LED。

表 2-2 列出了演示的一些基本参数。

表 2-2. 基本参数

参数	值
面板尺寸	12.3 英寸
区域	320
LED 配置	每个区域 1 个
典型 LED 电流	15mA
Maxim 背光电源	30W
VLED 电源电压	6V

2.2.2.10 基准测试结果

添加对策后，检查信号完整性是否必不可少，尤其是 GSCLK。有时，添加缓冲器时 GSCLK 波形会受到影响。根据数据表，应检查 GSCLK 是否满足芯片标准高/低脉冲大于 10us。对于 TLC6C5748-Q1 结构，检查第一个 TLC6C5748-Q1 和最后一个 TLC6C5748-Q1 GSCLK 引脚，确认是否符合数据表。

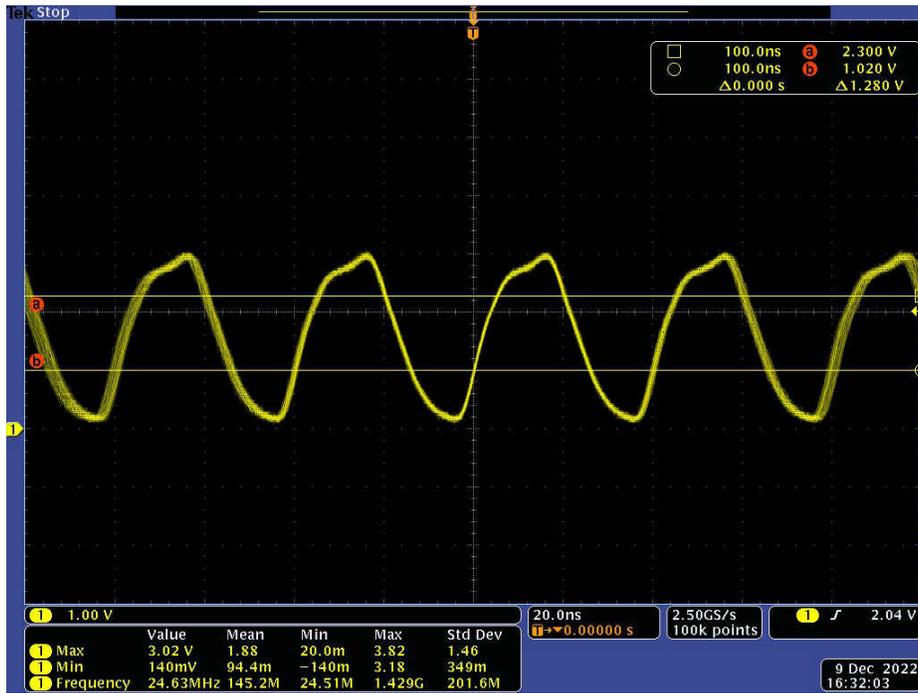


图 2-13. 第一个 TLC6C5748-Q1 GSCLK 波形

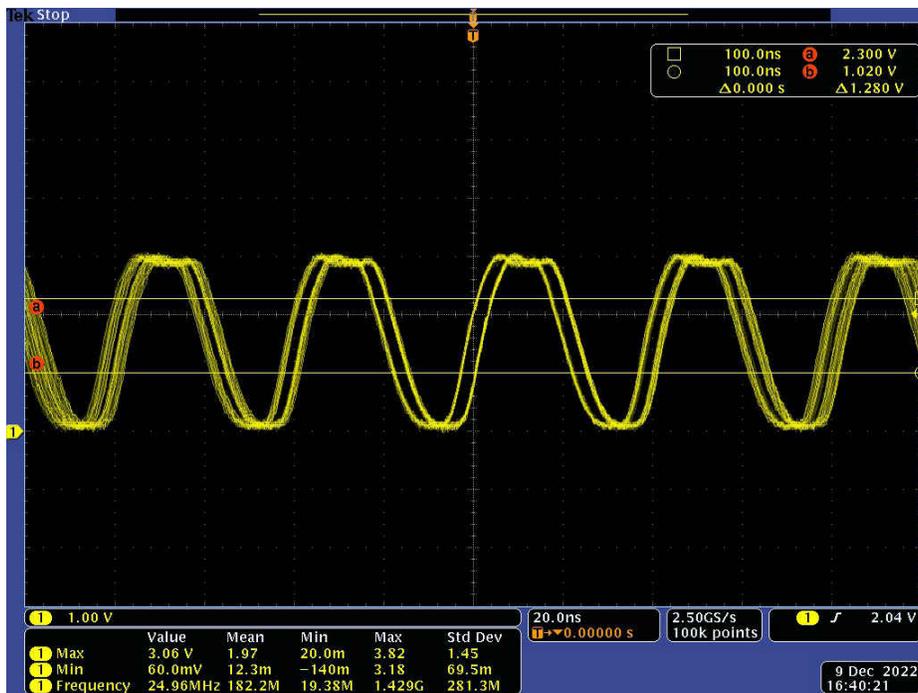


图 2-14. 最后一个 TLC6C5748-Q1 GSCLK 波形

3 总结

本应用手册介绍了如何降低局部调光 LED 驱动器电路板上的 EMI 噪声。该过程从识别 EMI 噪声源开始。通过添加缓冲器、外部振荡器和调整 I/O 电压电平可以提高 EMI 性能。最后，在完成所有对策后，请仔细检查信号波形是否符合数据表的要求。

4 参考文献

- 德州仪器 (TI) , [TLC6C5748-Q1 具有内部电流设置的 48 通道、16 位 PWM 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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司