



Phil Yi, Gerard Copeland

## 摘要

本应用手册总结了使用 TPS650350-Q1 电源管理集成电路 (PMIC) 针对汽车摄像头应用进行 CISPR-25 传导和辐射发射测试的结果。该器件符合 CISPR-25 和其他汽车电磁兼容性 (EMC) 测试规格。使用 TPS65035x-Q1 系列中的其他器件可以实现类似的结果。由于先进的展频时钟 (SSC) 功能，这些器件无需全面优化的布局即可通过 EMC 测试，从而可以根据摄像头应用的要求实现更灵活的元件放置和布线。

## 内容

1 引言.....	2
2 展频.....	2
3 原理图和印刷电路板 (PCB) 说明.....	3
4 设计注意事项.....	8
5 总结.....	9
6 传导和辐射发射平均值和峰值图.....	10
7 参考文献.....	14

## 插图清单

图 2-1. 调制方波信号中谐波的展带.....	2
图 2-2. TPS650350-Q1 SSC 传导发射比较.....	3
图 3-1. CISPR-25 EMC 测试设置.....	3
图 3-2. DUT 原理图.....	4
图 3-3. 印刷电路板顶层.....	6
图 3-4. 印刷电路板第 2 层 ( 接地平面 ) .....	6
图 3-5. 印刷电路板第 3 层.....	7
图 3-6. 印刷电路板第 4 层.....	7
图 3-7. 印刷电路板第 5 层.....	8
图 3-8. 印刷电路板底层.....	8
图 4-1. 顶层 - 缩放.....	9
图 6-1. 传导发射 0.15MHz 至 108MHz.....	10
图 6-2. 辐射发射 - 杆状天线 0.15MHz 至 30MHz.....	11
图 6-3. 辐射发射 - 双锥水平天线 30MHz 至 200MHz.....	11
图 6-4. 辐射发射 - 双锥垂直天线 30MHz 至 200MHz.....	12
图 6-5. 辐射发射 - 对数水平天线 200MHz 至 1000MHz.....	12
图 6-6. 辐射发射 - 对数垂直天线 200MHz 至 1000MHz.....	13
图 6-7. 辐射发射 - 喇叭天线测量 1 至 2.5GHz.....	13

## 表格清单

表 3-1. 物料清单.....	4
表 5-1. 发射测试运行条件.....	9

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

本应用报告使用示例原理图和布局设计说明了汽车应用中 TPS650350-Q1 和相关电路的 EMI/EMC 性能。在该示例中，TPS650350-Q1 和相关元件通过了 CISPR-25 [车辆、船只和内燃机 - 无线电干扰特性 - 车载接收器保护的测量限值和方法](#) 0.15MHz 至 108MHz 频率范围内的传导发射测试以及 0.15MHz 至 1000MHz 频率范围内的辐射发射测试。

## 2 展频

TPS650350-Q1、TPS650351-Q1、TPS650352-Q1 和 TPS650353-Q1 是用于摄像头应用的 PMIC 系列。每个器件包含三个降压转换器和一个低压降 (LDO) 稳压器。三个降压转换器能够进行实现展频时钟 (SSC)，这是一种调制每个转换器的开关频率以分散可能导致 EMI 的功耗的功能。该内部调制将工作频率从 2.0MHz 扩展到 2.5MHz，中心频率为 2.25MHz，可以通过 I2C 通信使用单次寄存器写入来启用或禁用该内部调制。

展频架构的目标是将发射的射频能量分散到更大的频率范围中。扩展降压转换器的工作频率会产生峰值振幅更低、更连续的功率谱，如图 2-1 所示。这种峰值降低是可能的，因为无论是启用还是禁用展频，曲线的时间积分（电路发射的 EMI 能量）都保持不变。

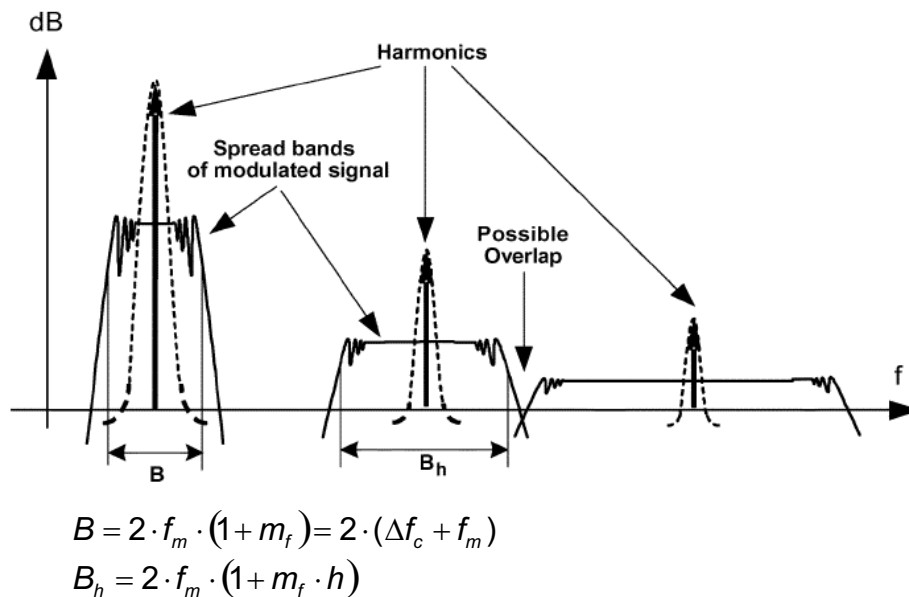


图 2-1. 调制方波信号中谐波的展带

图 2-2 比较了在启用和禁用 SSC 时使用 TPS650350-Q1 和本应用报告中讨论的示例布局的传导发射性能。

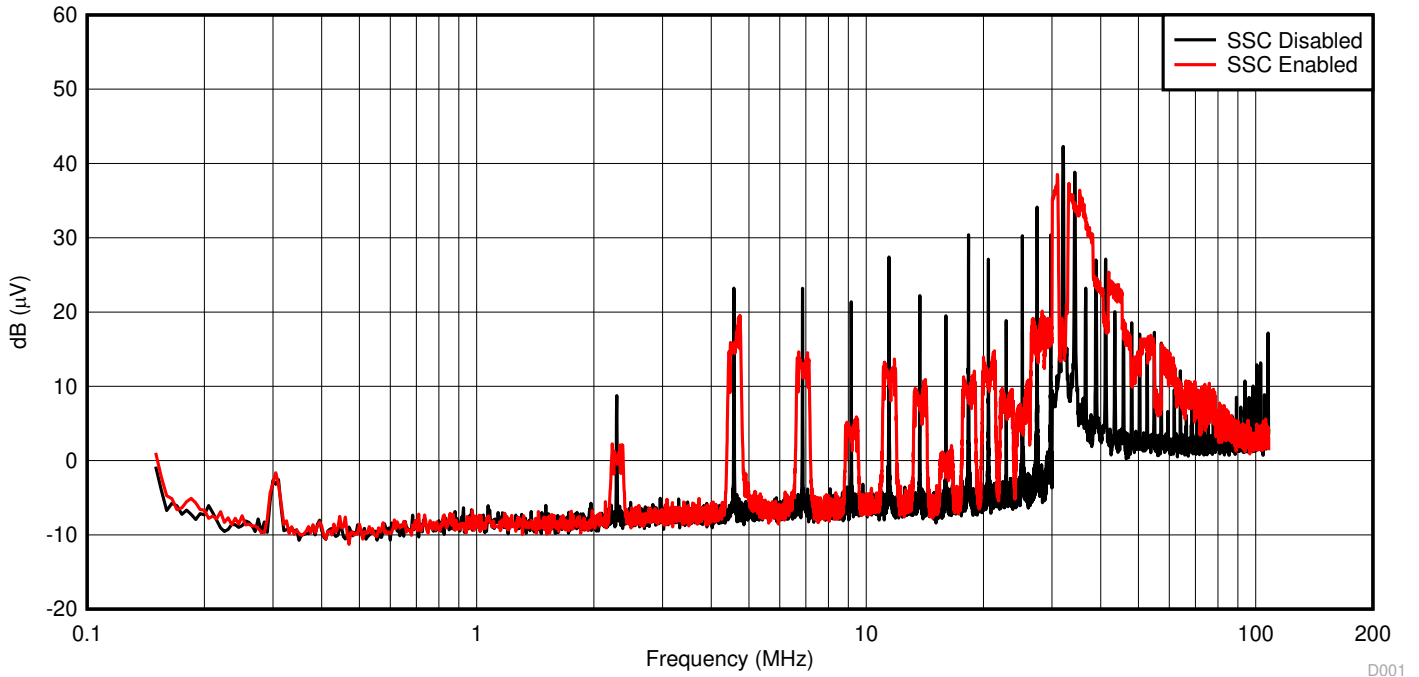


图 2-2. TPS650350-Q1 SSC 传导发射比较

### 3 原理图和印刷电路板 (PCB) 说明

该布局源自紧凑型摄像头模块参考设计。所有非电源相关元件已从原始设计中移除，其余电源解决方案已根据 CISPR-25 汽车规格进行测试。线束 ( FPD-Link 同轴电缆 ) 的两端均包含同轴电缆供电 (POC) 滤波器，可复制典型汽车摄像头应用中的预期 EMI。接收器侧 POC 滤波器的原理图和布局取自 [具有同轴电缆供电滤波器的汽车摄像头 PMIC 电源参考设计](#)。图 3-2 展示了 DUT 侧 POC 滤波器地原理图和布局。在摄像头模块参考设计中，布局平衡了 PCB 面积和 EMI 性能之间的权衡。例如，低电压降压转换器的一些元件位于与 PMIC 相对的层上，以便尽可能减小电源解决方案占用的总面积。与中电压降压转换器相比，这些元件对 EMI 性能的影响较小。

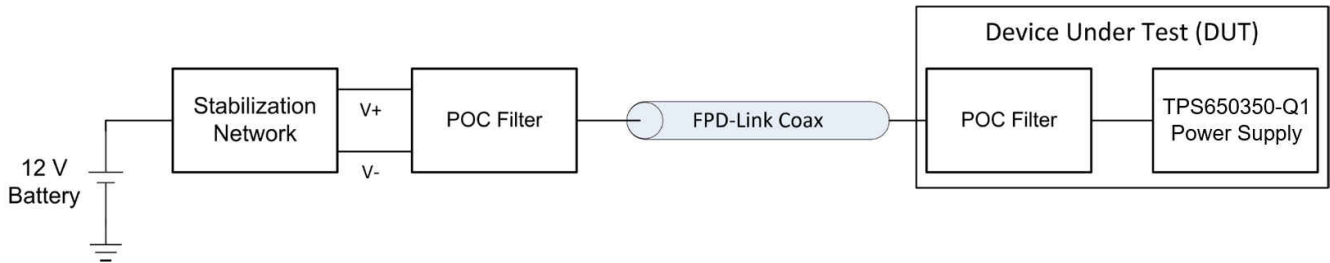


图 3-1. CISPR-25 EMC 测试设置

### 3.1 原理图

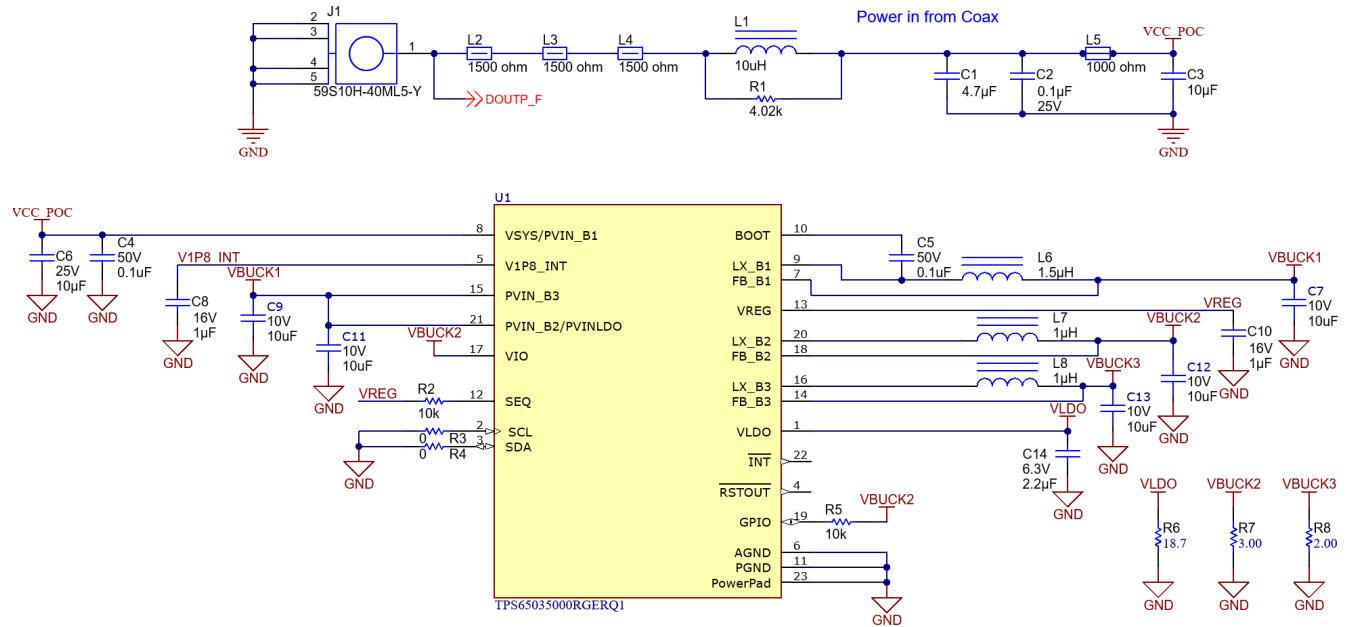


图 3-2. DUT 原理图

### 3.2 物料清单

表 3-1. 物料清单

项目	标识符	数量	器件型号	制造商	说明
1	!PCB1	1	TIDA-050062	不限	印刷电路板
2	C1	1	CGA4J1X7R1E475M125AC	TDK Corporation	电容, 陶瓷, 4.7 $\mu$ F, 25V, $\pm$ 20%, X7R, 0805
3	C2	1	C1005X7R1E104K050BB	TDK Corporation	电容, 陶瓷, 0.1 $\mu$ F, 25V, $\pm$ 10%, X7R, 0402
4	C3, C6	2	GRM21BZ71E106KE15L	Murata	电容, 陶瓷, 10 $\mu$ F, 25V, $\pm$ 10%, X7R, 0805
5	C4	1	CGA2B3X7R1H104M050BB	TDK	0.1 $\mu$ F, $\pm$ 20%, 50V, 陶瓷电容器, X7R, 0402
6	C7、C9、C10、C11、C12。	5	GRM188Z71A106MA73D	MuRata	电容, 陶瓷, 10 $\mu$ F, 16V, $\pm$ 20%, X7R, 0603
7	C7, C9	2	CGA3E1X7R1C105K080AC	TDK	1 $\mu$ F, $\pm$ 10%, 16V, 陶瓷电容器, X7R, 0603
8	J1	1	59S10H-40ML5-Z	Rosenberger	连接器, HF, 50 $\Omega$ , TH
9	L1	1	LQH3NPZ100MJRL	MuRata ( 村田 )	10 $\mu$ H, 屏蔽鼓芯, 绕线电感器, 1.2A, 最大 288m $\Omega$ , 1212 ( 公制 3030 )
10	L2、L3、L4	3	BLM18HE152SN1D	MuRata ( 村田 )	铁氧体磁珠, 1500 $\Omega$ ( 在 100MHz 时 ), 0.5A, 0603
11	L5	1	BLM18AG102SN1D	MuRata ( 村田 )	铁氧体磁珠, 1000 $\Omega$ @ 100MHz, 0.4A, 0603
12	L6	1	TFM201610ALMA1R5MTAA	TDK	电感器, 屏蔽, 金属复合物, 1.5 $\mu$ H, 3.1A, 0.06 $\Omega$ , AEC-Q200 0 级, SMD
13	L7、L8	2	TFM201610ALMA1R0MTAA	TDK	电感器, 屏蔽, 金属复合物, 1 $\mu$ H, 3.1A, 0.06 $\Omega$ , AEC-Q200 0 级, SMD

**表 3-1. 物料清单 (continued)**

项目	标识符	数量	器件型号	制造商	说明
14	R1	1	CRCW06034K02FKEA	Vishay-Dale (威世达勒)	电阻, 4.02k $\Omega$ , 1%, 0.1W, 0603
15	U1	1	TPS650350QRGEQ1	德州仪器 (TI)	汽车摄像头 PMIC, RGE0024K (VQFN -22)
16	R5	1	CRCW040210K0JNED	Vishay-Dale (威世达勒)	电阻, 10k, 5%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402
17	R2、R3、R6、R7	4	CRM2512-FX-1R00ELF	Bourns	电阻, 1.00, 1%, 2W, 6.3 x 3.1mm

### 3.3 电路板布局

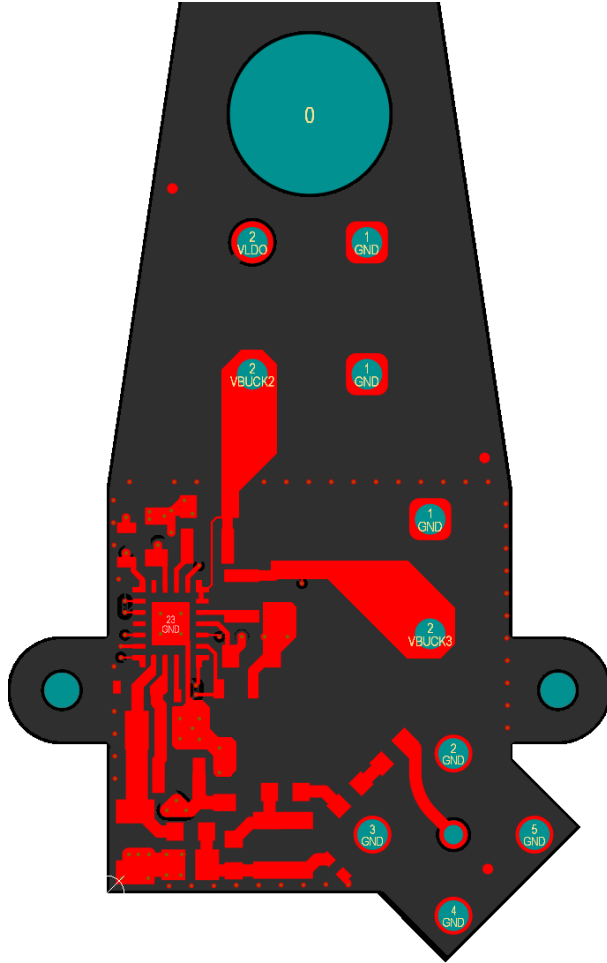


图 3-3. 印刷电路板顶层

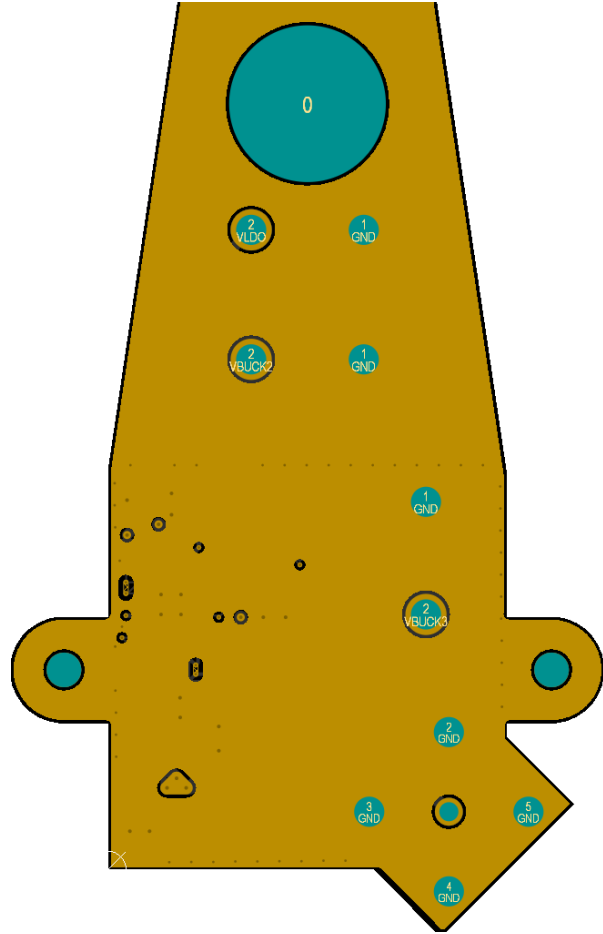


图 3-4. 印刷电路板第 2 层 ( 接地平面 )

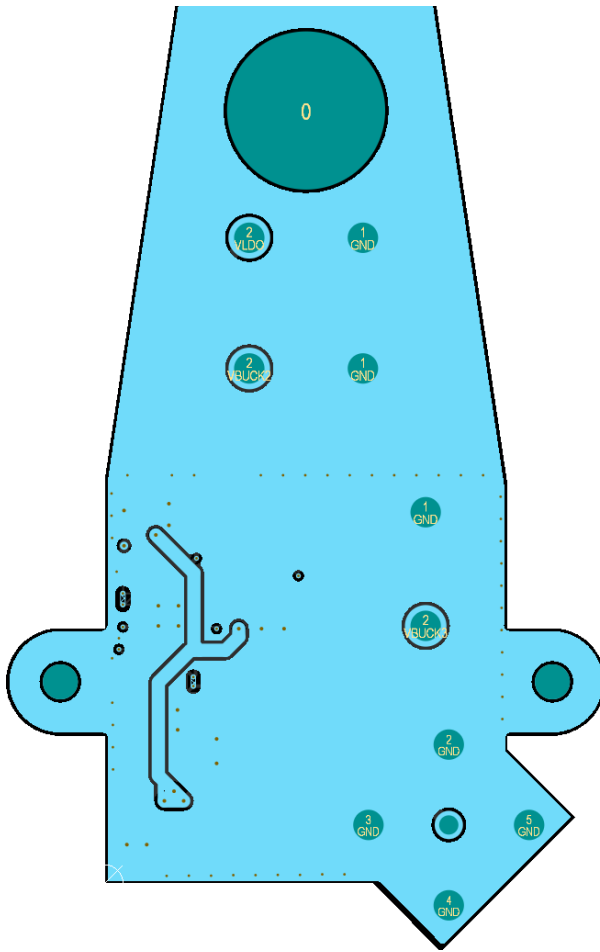


图 3-5. 印刷电路板第 3 层

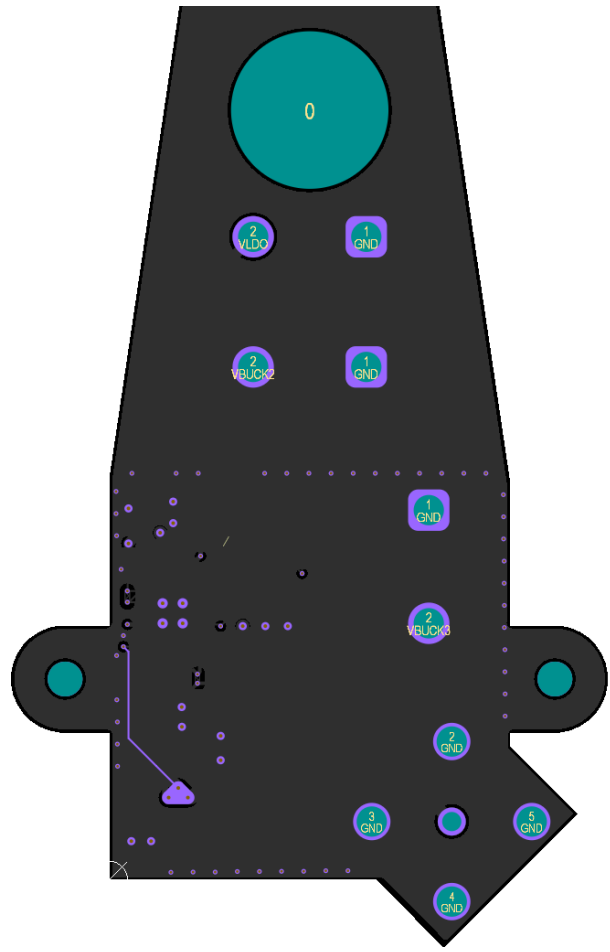


图 3-6. 印刷电路板第 4 层

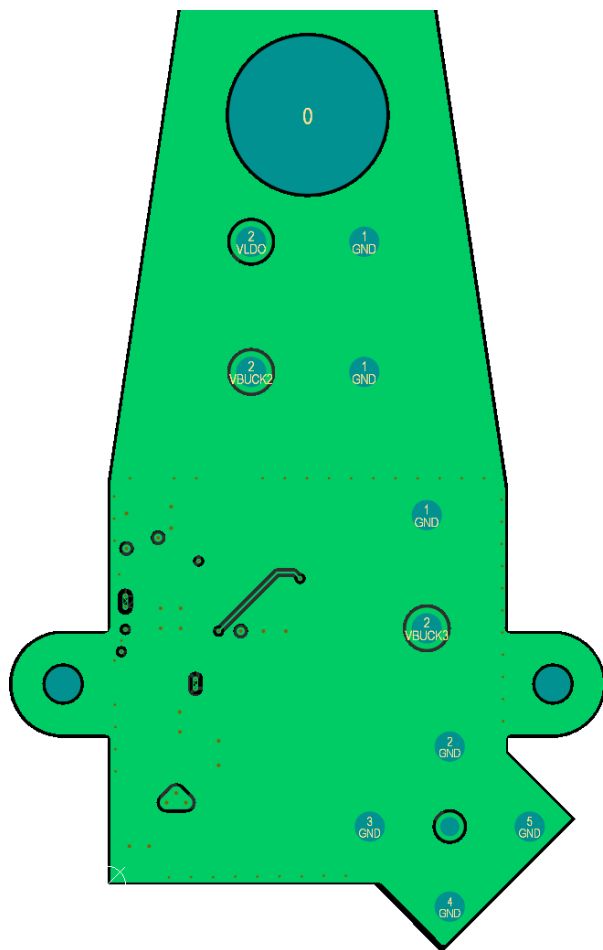


图 3-7. 印刷电路板第 5 层

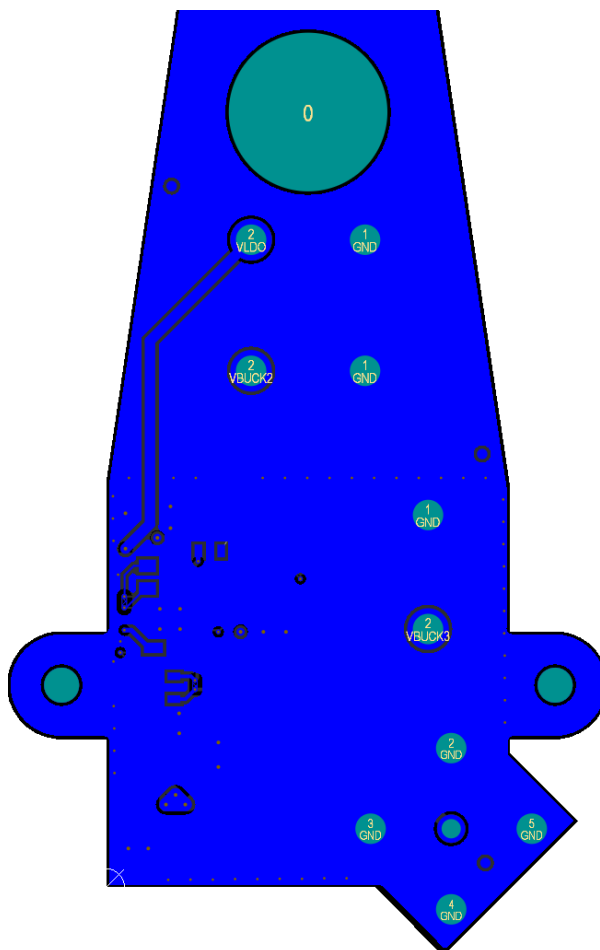


图 3-8. 印刷电路板底层

## 4 设计注意事项

汽车摄像头模块通常尽可能小，以便支持放置在车辆的较远区域。设计人员可能需要在传导和辐射发射方面牺牲一些布局最佳实践，以便满足严格的尺寸限制。TPS650350-Q1 的 SSC 功能允许实现次优布局，同时仍符合 CISPR-25 发射测试规格。

该布局有关减少发射的设计注意事项包括：

1. 尽可能减小降压转换器输入电容器和 PMIC 散热焊盘之间的环路区域。将较小的去耦电容器放置在靠近器件引脚的位置。
2. 尽可能减小每个降压转换器的输入电容器、输出电感器和输出电容器之间的环路区域。
3. 就在 PCB 上放置外部元件而言，中压降压转换器（降压转换器 1）具有最高的优先级。
4. 低电压降压转换器（降压转换器 2 和降压转换器 3）的输入电容器具有次高的放置优先级。
5. 可以将对 EMI 要求较低的转换器的外部元件放置在另一侧。在这种情况下，不太重要的转换器是降压转换器 2，因为它具有更高的输出电压 (1.8V)。
6. 包含多个实心接地平面，这些平面具有与外部元件层上的接地覆铜的低阻抗连接。



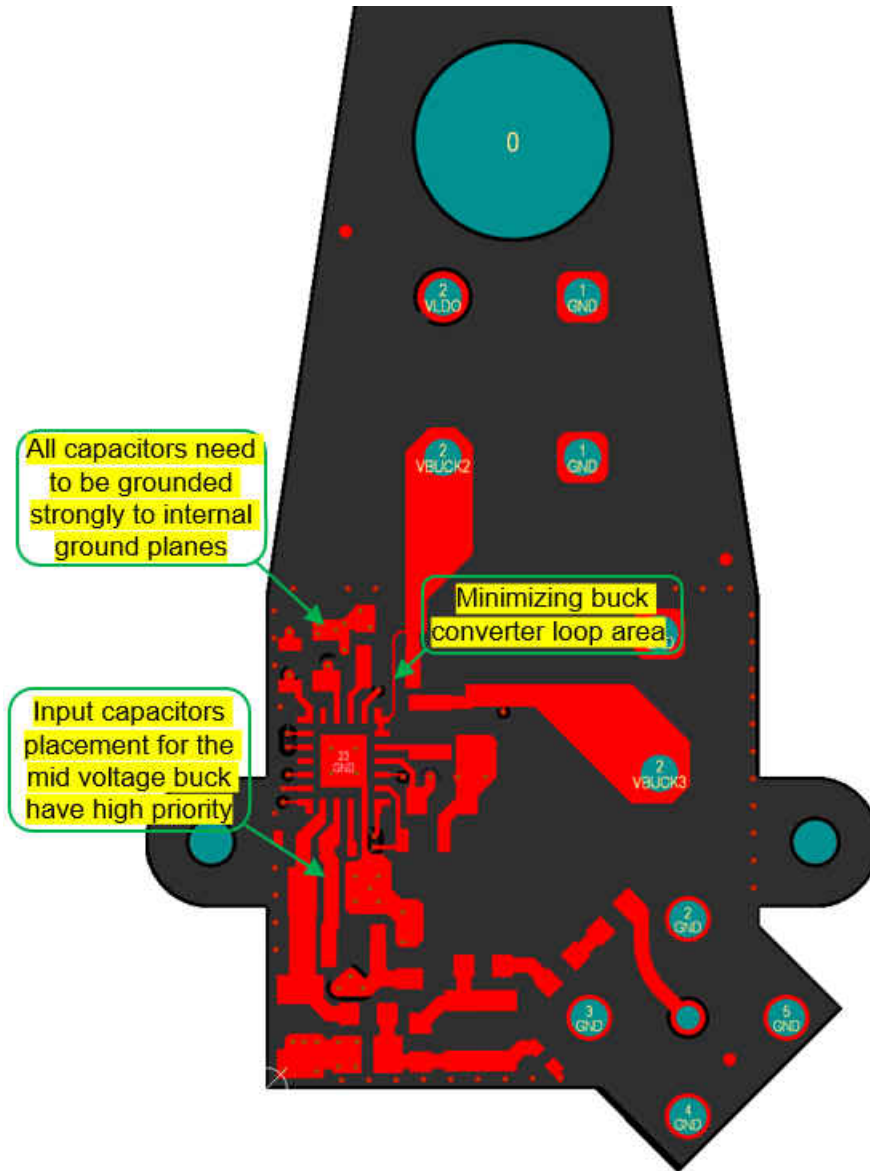


图 4-1. 顶层 - 缩放

## 5 总结

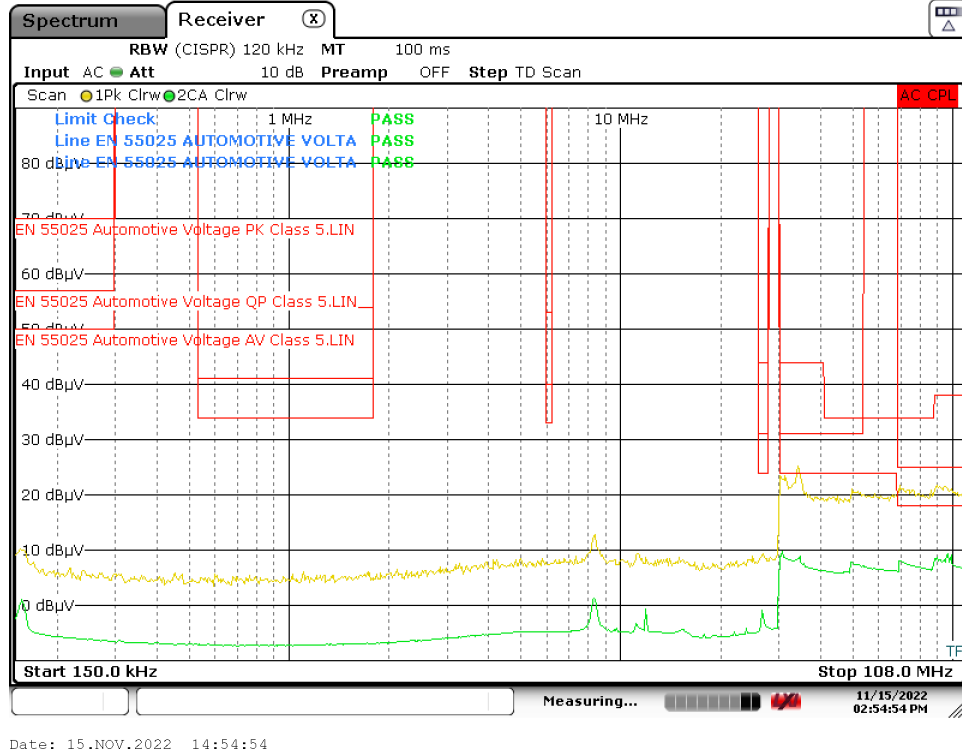
TPS65035x-Q1 器件系列通过了汽车应用所需的 CISPR25 5 类传导和辐射发射测试。使用集成的 SSC 功能并结合节 3 和节 4 中介绍的设计和布局注意事项，可以实现通过结果。表 5-1 中给出了运行条件。

表 5-1. 发射测试运行条件

稳压器	输出电压 (V)	输出电流 (mA)
降压稳压器 1	3.3	770 <sup>(1)</sup>
降压稳压器 2	1.8	600
降压稳压器 3	1.2	600
LDO	2.8	150

- (1) 降压转换器 1 的输出电流由降压转换器 2、降压转换器 3 和 LDO 的输入电流组成。3.3V 电源轨上没有额外的负载。

## 6 传导和辐射发射平均值和峰值图



黄色迹线 - PK  
绿色迹线 - AVG

图 6-1. 传导发射 0.15MHz 至 108MHz



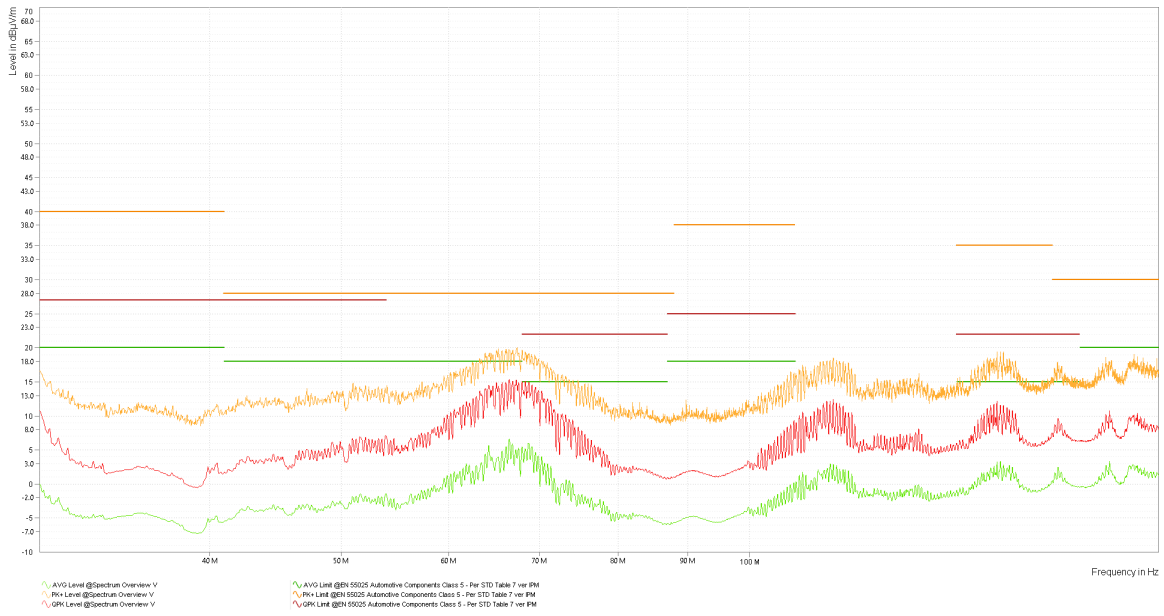
绿色迹线 : AVG  
 黄色迹线 : PK  
 红色迹线 : QPK

图 6-2. 辐射发射 - 杆状天线 0.15MHz 至 30MHz



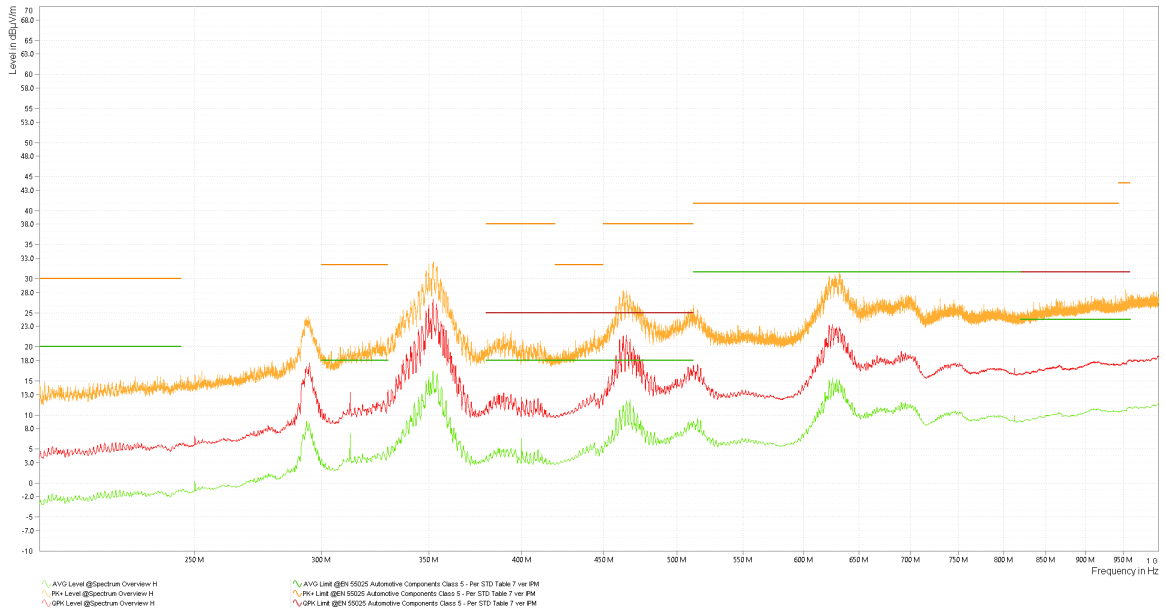
绿色迹线 : AVG  
 黄色迹线 : PK  
 红色迹线 : QPK

图 6-3. 辐射发射 - 双锥水平天线 30MHz 至 200MHz



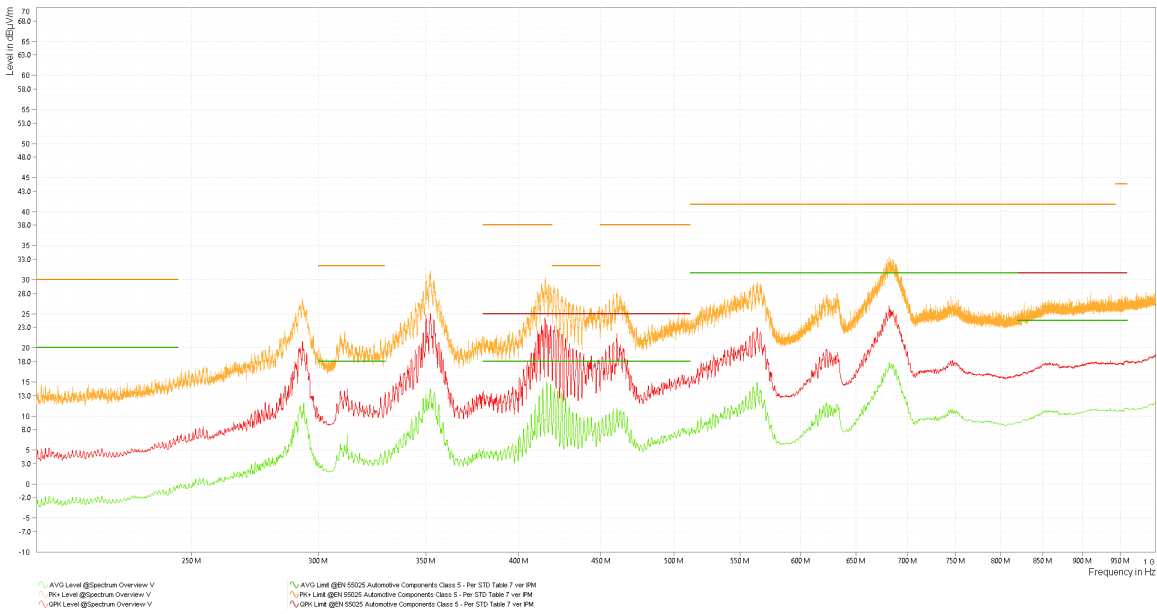
绿色迹线 : AVG  
黄色迹线 : PK  
红色迹线 : QPK

图 6-4. 辐射发射 - 双锥垂直天线 30MHz 至 200MHz



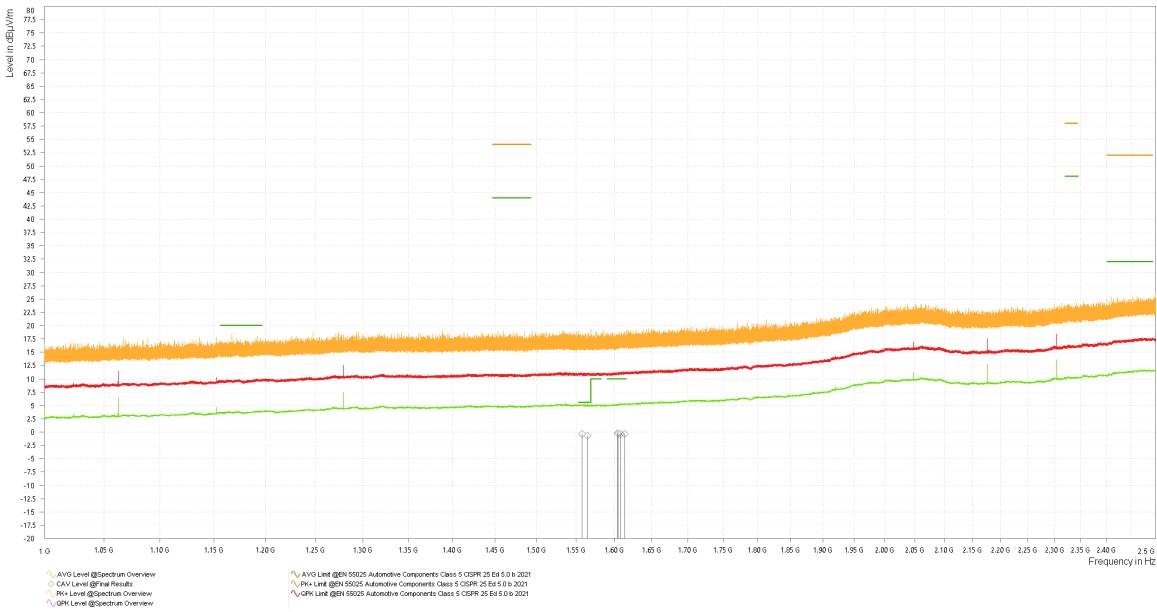
绿色迹线 : AVG  
黄色迹线 : PK  
红色迹线 : QPK

图 6-5. 辐射发射 - 对数水平天线 200MHz 至 1000MHz



绿色迹线 : AVG  
 黄色迹线 : PK  
 红色迹线 : QPK

图 6-6. 辐射发射 - 对数垂直天线 200MHz 至 100MHz



绿色迹线 : AVG  
 黄色迹线 : PK  
 红色迹线 : QPK

图 6-7. 辐射发射 - 喇叭天线测量 1 至 2.5GHz

## 7 参考文献

1. CISPR, *Vehicles, boats and internal combustion engines - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement for the protection of on-board receivers*, CISPR 25:2021, fourth edition (or EN IEC 55025:2022).
2. IEEE Xplore® *EMI Reduction in Switched Power Converters Using Frequency Modulation Techniques*, in IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 4, No. 3, August 2005, pp 569-576 by Josep Balcells, Alfonso Santolaria, Antonio Orlandi, David González, Javier Gago.
3. 德州仪器 (TI), *具有同轴电缆供电滤波器的汽车摄像头 PMIC 电源参考设计*。

## 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