

*Application Note***如何让 UCC33420-Q1 通过 CISPR25 5 级认证**

Manuel Alva

摘要

UCC33xx0-Q1 是一款工作频率为 64MHz 的集成隔离式偏置 (IIB)、DC/DC 模块系列产品。由于其高频率，若未采用合适的布局和 EMI 元件，实现低 EMI 将面临挑战。本应用手册旨在阐述如何让 UCC33xx0-Q1 系列产品通过 CISPR25 5 级认证。文中提供了满足 CISPR 25 标准要求的正确设置、EMI 滤波器元件选型及 PCB 布局指南，以实现传导发射 (CE) 和辐射发射 (RE) 的双重控制。汽车应用需要满足 CISPR25 限制要求，例如牵引逆变器、HEV/EV 充电、电池管理系统 (BMS) 和车载充电器 (OBC)。本文适用于现场应用、系统和应用工程师、以及对 DC/DC 转换器 EMI 感兴趣的任何工程师。

内容

1 简介	2
2 设置、EMI 滤波器及布局	3
2.1 设置.....	3
2.2 EMI 滤波器.....	5
2.3 PCB 布局.....	8
2.4 法拉第屏蔽层.....	9
2.5 原理图.....	9
2.6 布局.....	10
2.7 EMI 结果.....	11
2.8 物料清单 : BOM.....	13
3 总结	14
4 参考资料	14

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

小型 DC/DC 偏置电源 (如具有小元件占位面积和高功率密度的 IIB 模块) 在众多应用中的需求日益增长。采用高频功率转换、具有卓越隔离技术的 IC 级变压器是实现更小 IC 封装尺寸和更高功率密度的主要推动技术。

UCC33xx0-Q1 系列器件正是这一趋势的体现，其采用超小 $4 \times 5 \times 1 \text{mm}^3$ 封装，开关频率达 64MHz。

为实现能量从初级侧到次级侧的传输，UCC33xx0-Q1 会根据负载条件采用 100-500kHz 范围内的突发频率。突发频率可理解为一些低频率区间，在这些区间内器件仍以 64MHz 的高频率进行开关操作。

正确设置 CE 和 RE 对于将发射水平保持在限值以下至关重要。必须通过紧密耦合的连接将 LISN 连接到 DUT。由于开关频率 64MHz 靠近 CISPR25 CE 和 RE 的 VHF 频带，为了抑制该频率下的辐射，我们设计了一个使用 2xDM 电感器的 HF π 型滤波器。使用对数周期天线 (LPA) 时，基频 64MHz 的 HF 谐波存在于 30-200MHz RE 中。在这里，选择了两个铁氧体磁珠 (FB) 来抑制这些频率。最后，使用 PCB 法拉第屏蔽层的正确布局、排除区域 (KOZ)、DM 电感器和 FB 下方的铜切口，以及接地平面的正确分布有助于将开关频率及其谐波保持在限值以下。

CISPR25 5 类是汽车应用领域非常严格的 EMI 标准。

2 设置、EMI 滤波器及布局

2.1 设置

为避免 UCC33xx0-Q1 集成变压器产生的 H 场耦合至 LISN，建议在开关环路的正极与回流路径之间建立紧密耦合连接。开关环路始于 12V 电池电源。开关环路经由 LISN，最终连接到 DUT PCB 的输入端。以下图片展示了 CE 和 RE 的整个开关环路的紧密连接示例。



图 2-1. CISPR 25 CE 设置

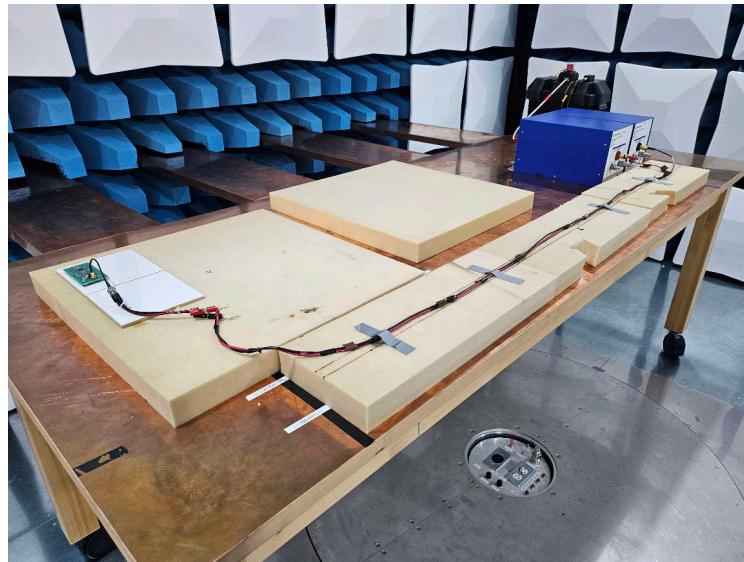


图 2-2. CISPR 25 RE 设置

紧密耦合连接与开环连接的比较；以下图片展示了 UCC33420-Q1 CE $P_{out}=0.5W$ 时紧密耦合连接与开环连接之间的差异。

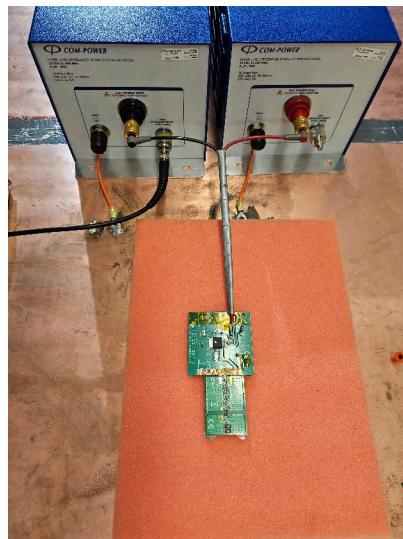


图 2-3. 紧密耦合引线

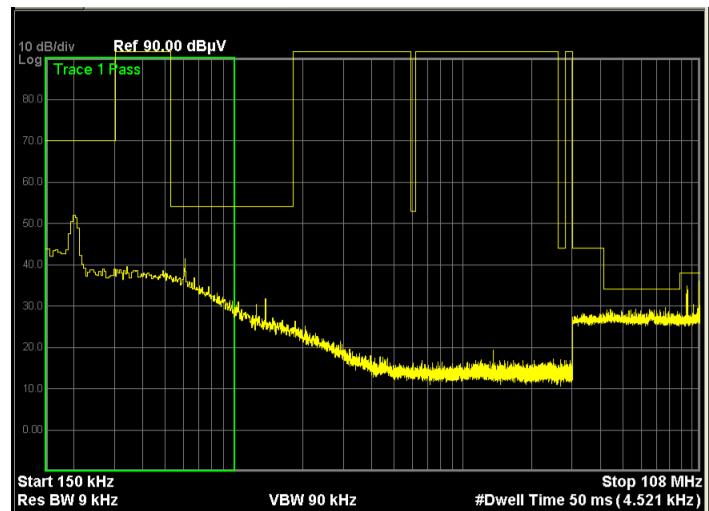

 图 2-4. CISPR 25 CE 紧密耦合引线， $P_{out}=0.5W$


图 2-5. 开环引线

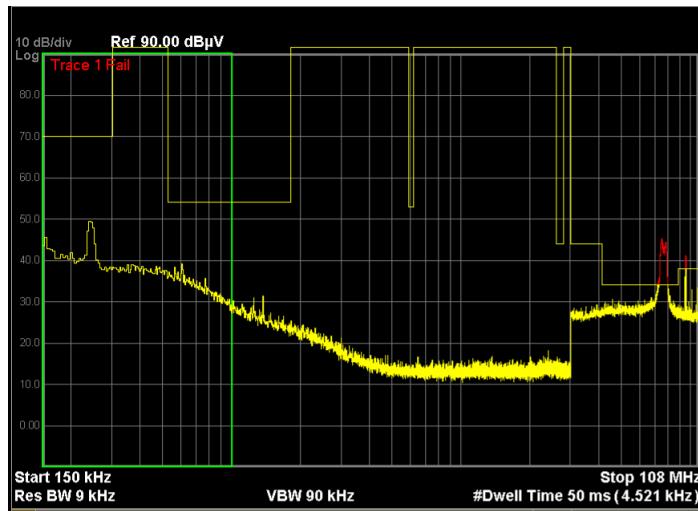


图 2-6. CISPR 25 CE 开环引线， $P_{out}=0.5W$

2.2 EMI 滤波器

为了抑制来自开关频率 64MHz 的噪声，我们使用了配备双 DM 电感器的 π 型滤波器（顶部和底部）。采用双电感器旨在实现开关环路的阻抗匹配，从而避免产生高 CM 噪声。电感器的选型基于阻抗与频率间的关系图、屏蔽性能、尺寸和电流额定值。这里选择了 $2.2 \mu H$ 高 SRF (自谐振频率) 全屏蔽 0806 模压电感器。表 2-1 展示了根据功率级别选择的 DM 电感器。

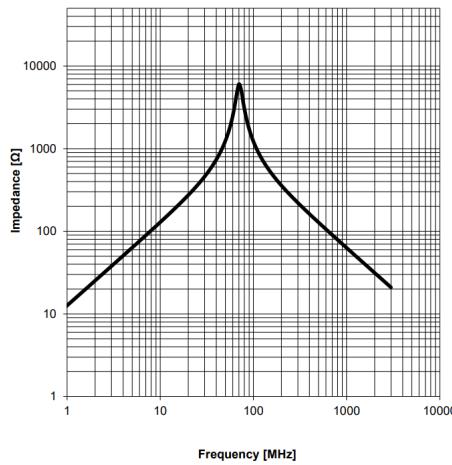


图 2-7. 阻抗与频率间的关系 — DM 电感器

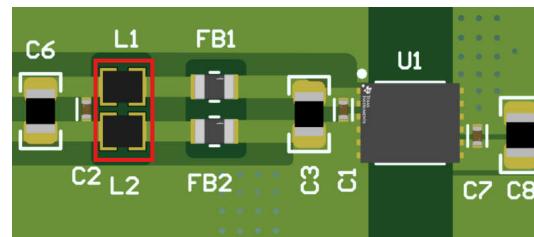


图 2-8. PCB 中的双 DM 电感器

表 2-1. DM 电感器选型

功率级别	DM 电感器
0.5W	PN : 74479763222 ; $2.2 \mu H$, 0603 , 800mA

表 2-1. DM 电感器选型 (续)

功率级别	DM 电感器
1W	PN : 74438343022 ; 2.2 μ H , 2mmx1.6mm , 1.65A

将一个具有高 SRF 的 0402 50V 15nF 电容器置于电感器左侧。该电容器用于与电感器以及输入引脚旁的 15nF 构成 π 型滤波器。



图 2-9. 阻抗与频率间的关系 — 0402 15nF

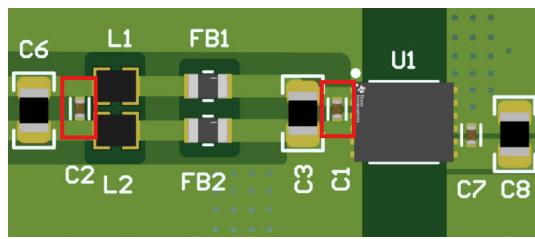


图 2-10. PCB 中的 0402 15nF 电容器

需要使用 FB 来抑制 200MHz-1GHz 范围内存在的 HF 电流谐波。选用了 0603、800mA 全屏蔽铁氧体磁珠，其在 600MHz 频率下阻抗为 925Ω ，以在该频段实现低 EMI。这些铁氧体磁珠置于 DUT 旁，以更有效地抑制高频下的 H 场。

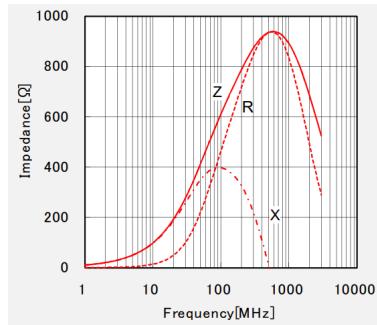


图 2-11. 阻抗与频率间的关系 — FB

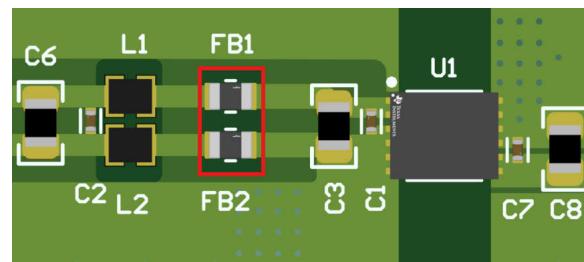


图 2-12. PCB 中的 FB

采用和不采用 FB 的比较：图 2-13 和图 2-14 展示了 UCC33420-Q1 RE Pout=0.5W 时采用和不采用 FB 的比较情况。



图 2-13. 采用 FB 的 CISPR25 RE LPA , Pout=0.5W

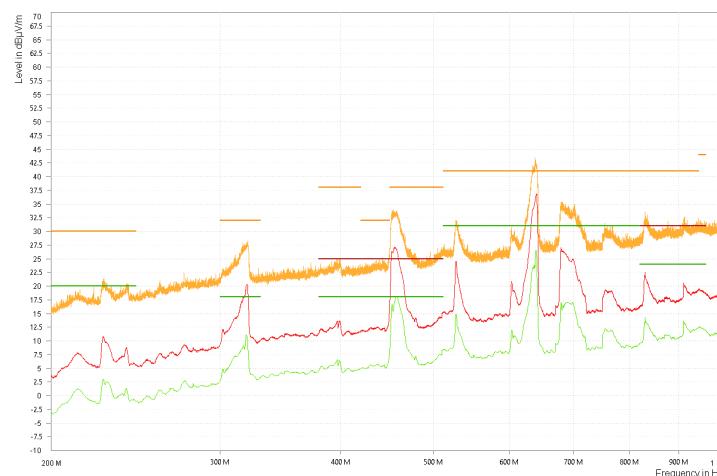


图 2-14. 不采用 FB 的 CISPR25 RE LPA , Pout=0.5W

最后，将一个 0805 10 μ H 旁路电容器置于开关环路左侧，与 DM 电感器一起形成低频 π 型滤波器，并将一个 10 μ F 旁路电容器置于器件的输入引脚旁。目标频率是器件的突发频率，范围为 100-500kHz，具体取决于负载。

2.3 PCB 布局

在初级和次级侧布置接地平面，可在连接器件的接地引脚时为开关环路提供低阻抗回流路径。此外，这些平面还可充当法拉第屏蔽层，抑制来自变压器的 H 场。在设计允许范围内尽可能扩大覆铜面积。

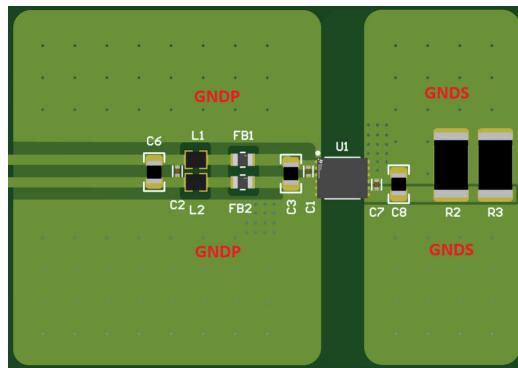


图 2-15. PCB 中的接地平面

为了防止 HF 电流通过布局寄生电容形成旁路，建议去除 DM 电感器和 FB 下方的覆铜。出于同样的原因，我们建议在 EMI 滤波器区域周围设置 1mm KOZ。

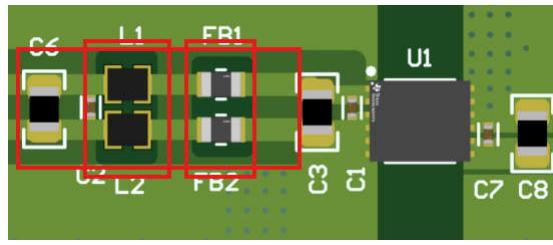


图 2-16. DM 电感器和 FB 下方的 KOZ 和铜切口

由于开关环路两侧（正极和回流）的阻抗匹配，CM 噪声得以最小化，而且开关环路距离不会影响 LISN 上的 EMI。因此，建议保持开关环路尽可能短，从而保持小尺寸设计。在这里，为开关环路选择了 1.5mm 的距离。

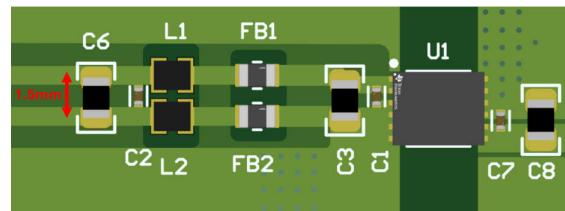


图 2-17. 开关环路距离

2.4 法拉第屏蔽层

PCB 法拉第屏蔽层是一种用于抑制集成变压器产生的 H 场的技术。该技术通过在器件下方的内层或底层布置导电铜层来实现。这种法拉第屏蔽层会通过感应产生电流，生成与原始 H 场方向相反的 H 场。为了防止这些感应电流形成旁路，我们还建议在初级和次级接地平面之间留出大约 4mm 间隙。这是通过将初级接地平面从延伸的次级接地平面后撤 4mm 来实现的。在 2 层 PCB 中，需要该间隙才能满足隔离要求。在 4 层 PCB 中，可以将法拉第屏蔽层放置在内层，但仍需要留出 4mm 间隙。该屏蔽层的目标频段为 500MHz-1GHz。

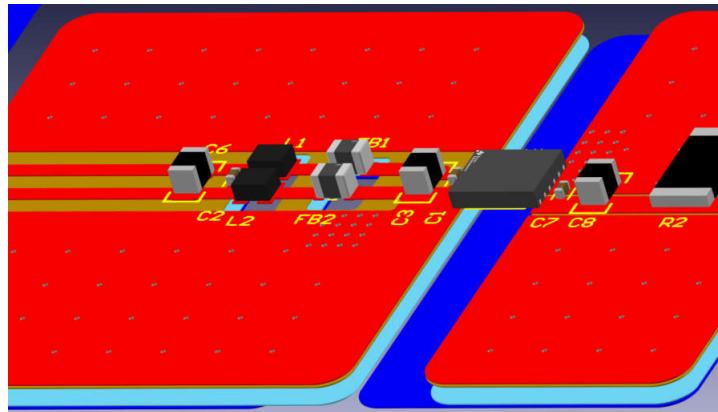


图 2-18. 法拉第屏蔽层的 3D 视图

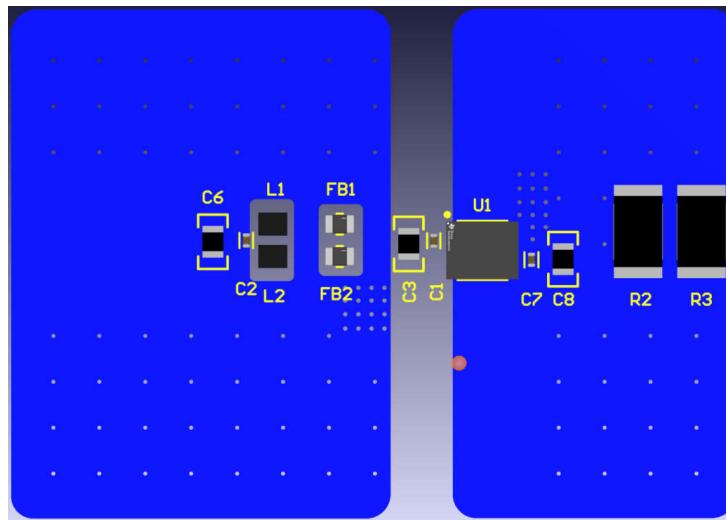
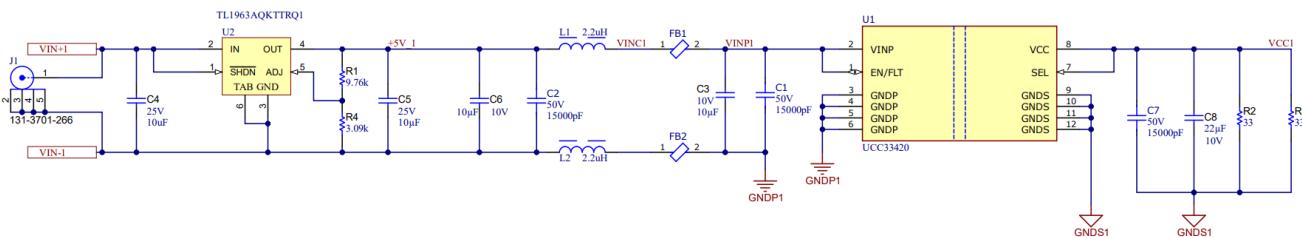


图 2-19. 法拉第屏蔽层的 2D 视图

2.5 原理图



2.6 布局

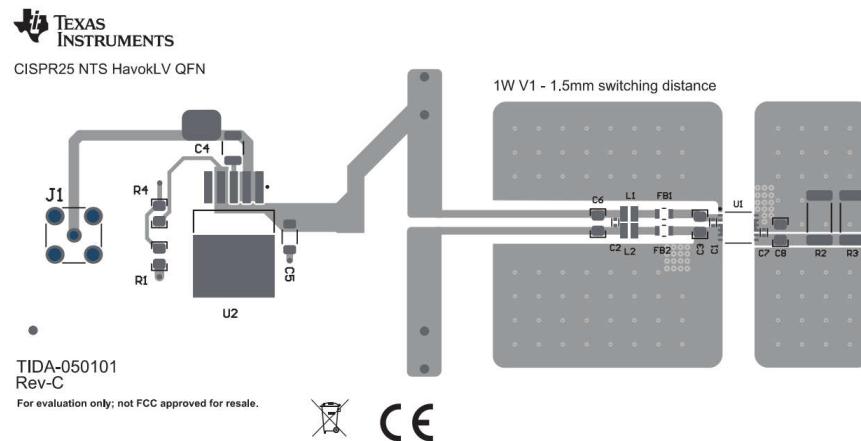


图 2-21. 顶层 CISPR 25

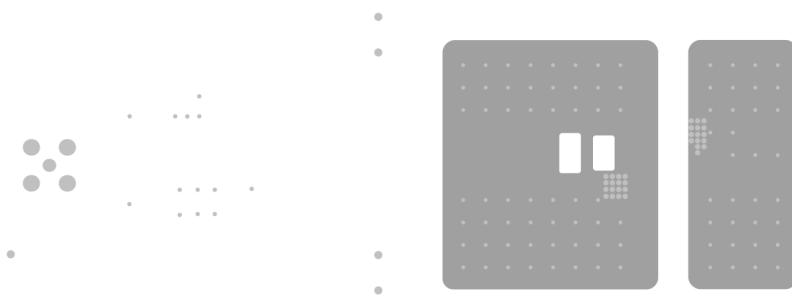


图 2-22. 内层 CISPR 25

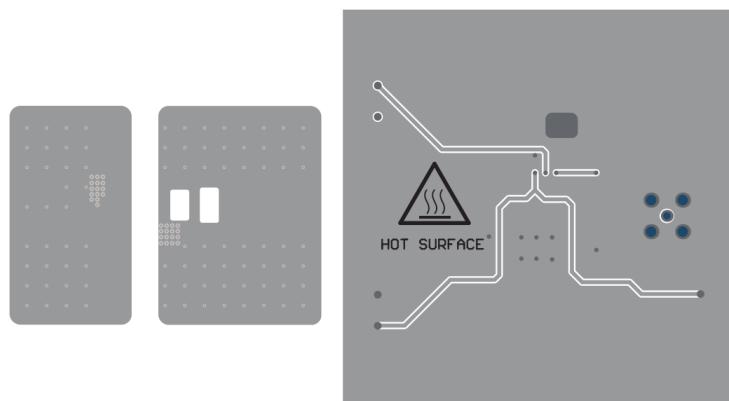


图 2-23. 底层 CISPR 25

2.7 EMI 结果

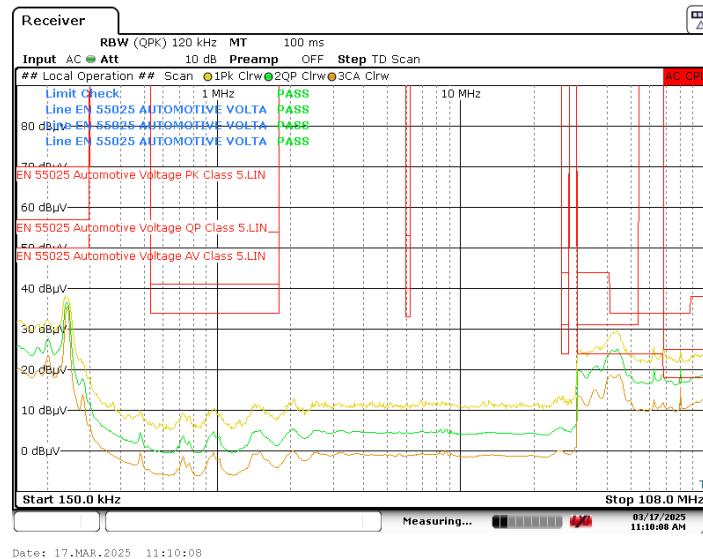


图 2-24. CISPR 25 CE Pout=1W

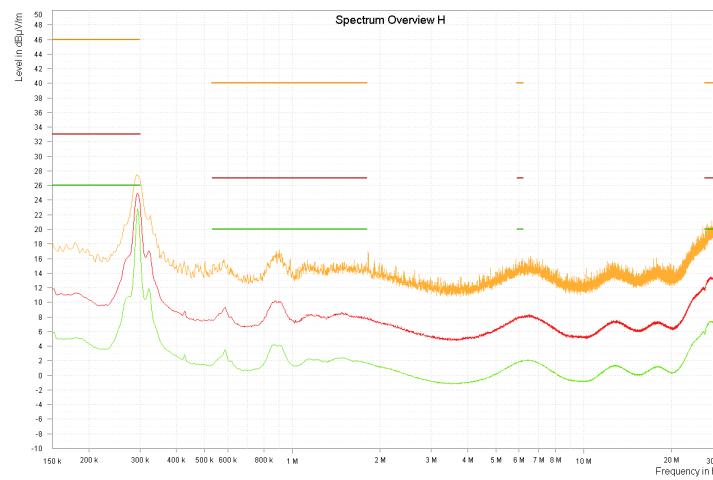


图 2-25. CISPR 25 RE 单极天线 Pout=1W

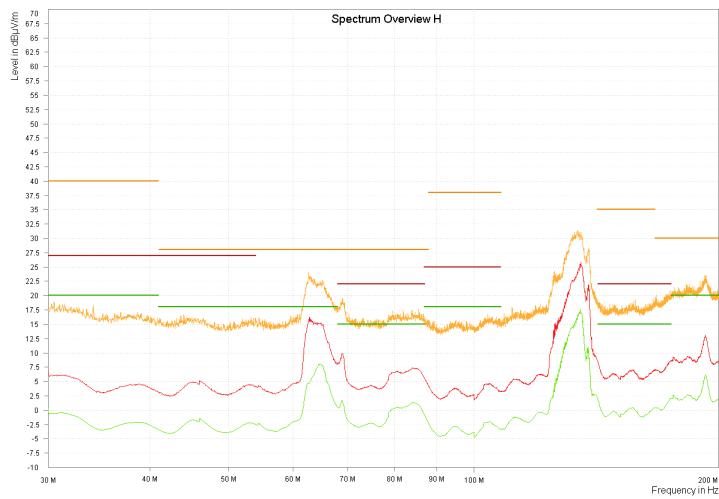


图 2-26. CISPR 25 RE 双锥天线 $P_{out}=1W$

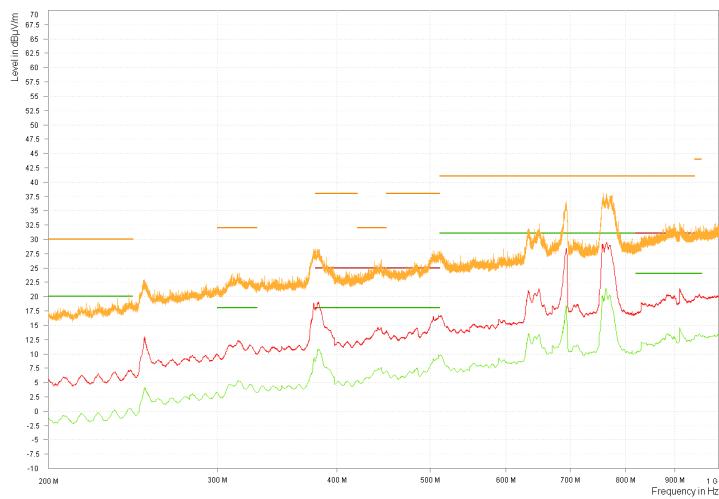


图 2-27. CISPR 25 RE LPA $P_{out}=1W$

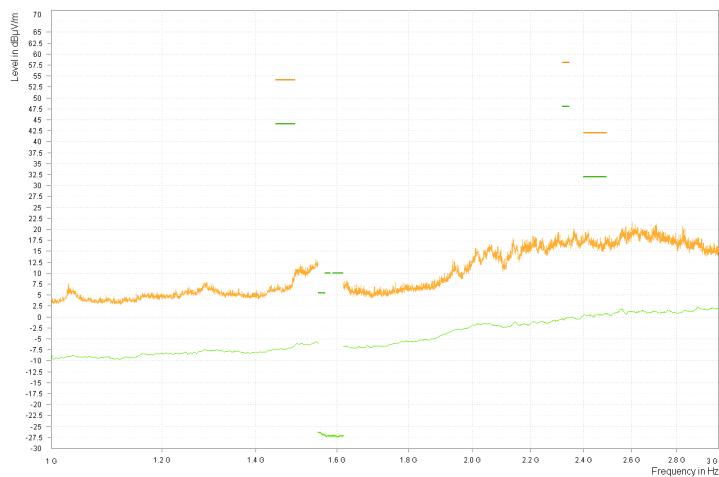


图 2-28. CISPR 25 RE 喇叭天线 $P_{out}=1W$

2.8 物料清单 : BOM

表 2-2. 物料清单 : BOM

位号	数量	器件型号	制造商	说明
PCB1	1	TIDA-050101	不限	印刷电路板
C1、C2、C7	3	GCM155R71H153KA55D	Murata	电容, 陶瓷, 0.015μF, 50V, ±10%, X7R, 0402 (公制 1005)
C3、C6	2	GCJ21BR71A106KE01L	MuRata	电容, 陶瓷, 10μF, 10V, +/-10%, X7R, AEC-Q200 1 级, 0805
C4	1	GCM32ER71E106KA57L	MuRata	电容, 陶瓷, 10μF, 25V, +/-10%, X7R, AEC-Q200 1 级, 1210
C5	1	GRM31CR61E106MA12L	MuRata	电容, 陶瓷, 10μF, 25V, +/- 20%, X5R, 1206
C8	1	GRM21BZ71A226ME15L	MuRata	电容, 陶瓷, 22μF, 10V, +/-20%, X7R, 0805
FB1、FB2	2	LCMGA160808T601RG	Murata	600Ω、100MHz、1 颗电源线铁氧体磁珠 0603 (公制 1608) 900mA 170mΩ
J1	1	131-3701-266	Cinch Connectivity	连接器, SMB, 插孔, 50Ω, TH
L1、L2	2	74438343022	Wurth Elektronik	WE-MAPI SMT 功率电感器, 尺寸 2010, 2.2uH, 1.1A, 270mOhm
R1	1	RT0805BRD079K76L	Yageo America	电阻, 9.76k, 0.1%, 0.125W, 0805
R2、R3	2	CRCW251233R0JNEG	Vishay-Dale	电阻, 33, 5%, 1W, AEC-Q200 0 级, 2512
R4	1	RT0805BRD073K09L	Yageo America	电阻, 3.09k, 0.1%, 0.125W, 0805
U1	1	UCC33420QRAQRQ1	德州仪器 (TI)	1.5W、高密度, >3kVRMS 隔离式直流/直流转换器
U2	1	TL1963AQKTRQ1	德州仪器 (TI)	单路输出快速瞬态响应 LDO, 1.5A, 可调 1.21V 至 20V 输出, 2.1V 至 20V 输入, 5 引脚 DDPAK (KTT), -40°C 至 125°C, 绿色环保 (符合 RoHS 标准, 无锑/溴)

3 总结

UCC33xx0-Q1 系列凭借正确的 EMI 滤波器选型和 PCB 布局而通过了 CISPR25 5 类认证。CE 的通过得益于采用“T 型”电缆实现的紧密耦合连接，以及选用配备双 DM 电感器的 HF π 型滤波器。RE 的通过得益于 EMI 滤波器中 FB 的应用，以及法拉第屏蔽层、接地平面、KOZ 以及 DM 电感器和 FB 下方铜切口等 PCB 布局技术。

4 参考资料

1. 国际电工委员会，[CISPR25 - 国际标准](#)，标准。
2. 德州仪器 (TI)，[电源的传导 EMI 规格概述](#)，营销白皮书。
3. 德州仪器 (TI)，[UCC33420-Q1 产品页面](#)。
4. 德州仪器 (TI)，[如何让 UCC33420-Q1 通过 CISPR 32 B 类认证](#) 应用手册。

重要通知和免责声明

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出任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途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安全、安保法规或其他要求。

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月