

电源 EMI规格 概述



Timothy Hegarty
应用工程师，
亚利桑那州，菲尼克斯，德州仪器 (TI)

许多管理机构均对允许最终产品产生的辐射发射等级进行了规定，以保持电磁兼容性（EMC）。

开关电源的辐射电磁干扰（EMI）是一个动态变化的情境性问题，与电源本身的寄生效应、电路布局和元件放置，以及电源所在的整个系统有关。因此，从设计工程师的角度来看，辐射 EMI 问题相当具有挑战性，必须在设计阶段尽早解决。了解与应用相关的 EMI 标准也就变得至关重要。

简介

辐射发射会影响电源转换器在高频下的 EMI 信号 [1]。根据规格不同，辐射测试的测试频率上限可扩大至 1GHz 或更高，远高于传导发射的测试频率 [2]。执行辐射 EMI 测量，虽然不像进行传导发射测试那么简单，但是对于合规性测试来说是必要的，并且很容易成为产品开发周期中的瓶颈。在本白皮书中，我将提供一些有关辐射发射标准的观点，特别是那些与汽车、多媒体和工业应用有关的标准。

适用于汽车系统的辐射 EMI 标准

当今的汽车应用了更多的电子元件，其中包括许多微处理器、各种射频发射器和接收器、电机驱动系统以及相关的电源管理元件。因此，对可能会导致辐射 EMI 问题的所有可能影响因素进行跟踪是一项艰巨的任务，尤其是考虑到车辆的体积相对较小，电缆线束中的电源和信号线排列密集。然而，为了满足汽车 EMC 要求，可以对元件和系统进行测试。同样，评估 EMI 性能也是参与汽车设计和测试的工程师们高度关注的问题 [3]。

UNECE 第 10 号法规

联合国欧洲经济委员会（UNECE）第 10 号法规第 5 版（R10.05）题为“关于车辆电磁兼容性认证的统一规定”，要求汽车制造商获得所有车辆、电子组合件（ESA）、元件和独立技术单元的型式认证 [4]。经型式认证的系统继而将用大写的 E 标志进行

标记。

从监管的角度来看，R10.05 包含两组辐射 EMI 的测试：由（例如）点火系统、有刷直流电机和车载电池充电单元引起的宽带（BB）辐射发射，以及来自开关电源、时钟谐波等的窄带（NB）辐射发射。这些限值是针对整车和 ESA/元件级测试定义的，并假设测量分辨率带宽（RBW）为 120kHz。

图 1 提供了分别使用准峰值（QPK）和平均（AVG）检波器（由国际无线电干扰特别委员会（CISPR）16 定义）进行测量的 30MHz 至 1GHz 适用频率范围内的 BB 和 NB 辐射发射限值。在 120kHz RBW 下，QPK 和 AVG 测量值之间的相关系数为 10dB。对于车辆测试，测量天线距离为 10m，对于 ESA 测试，测量天线距离为 1m。如果将天线放置在 3m 处进行车辆测试，则允许额外增加 10dB。

CISPR 12 和 CISPR 25

R10.05 广泛引用了 CISPR 12 [5] 和 CISPR 25 [6]，这两个国际标准分别包含测量无线电干扰的限值和程序，

以保护外接和车载接收器。与 CISPR 12 相比，CISPR 25 的起源较晚，它通常是一种工程类标准，经常被汽车制造商及其供应商视为内部产品规格的依据，但不是符合性评估和监管合规性的依据。由于欧盟汽车 EMC 指令 [7] 的废止，这种区别更多地体现在 CISPR 12 上，尤其是 R10.05。

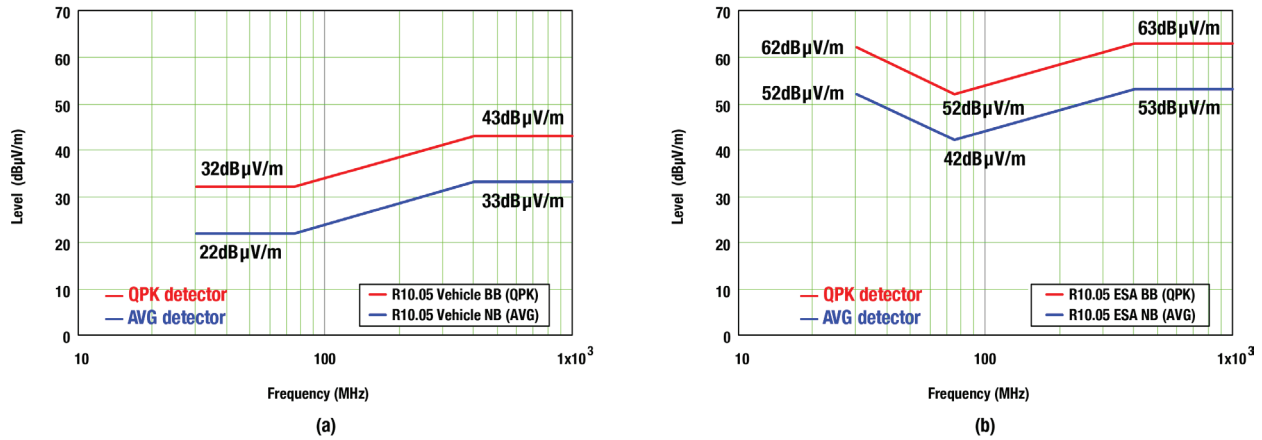


图 1. UNECE 第 10 号法规规定的车辆在 10m 处的辐射 EMI 限值 (a); 及 ESA/组件在 1m 处的限值 (b)。

CISPR 12 用于保护车外的无线电接收，其针对整车测试，而不应用于组合件。相比之下，CISPR 25 用于保护车辆内的无线电接收，因此针对各种无线电服务定义了各频段的各类限值。CISPR 25 包括元件或模块发射测量以及使用车辆随附天线进行的整车发射测试。

图 2 显示了使用峰值 (PK) 和 AVG 检波器检测元件/模块的 5 类辐射发射限值。测量是在车辆的广播和移动服务频段下对适当接收器进行的。最低的测量频率与 150kHz 至 300kHz 的欧洲长波 (LW) 广播频段有关，考虑到 Bluetooth® 和 Wi-Fi® 传输，最高频率为 2.5GHz。因为汽车中使用的元件通常同时具有 BB 和 NB 辐射发射，所以 CISPR 12/25 中的限值不再参考“宽带”和“窄带”，而是参考这两者的检波器类型。

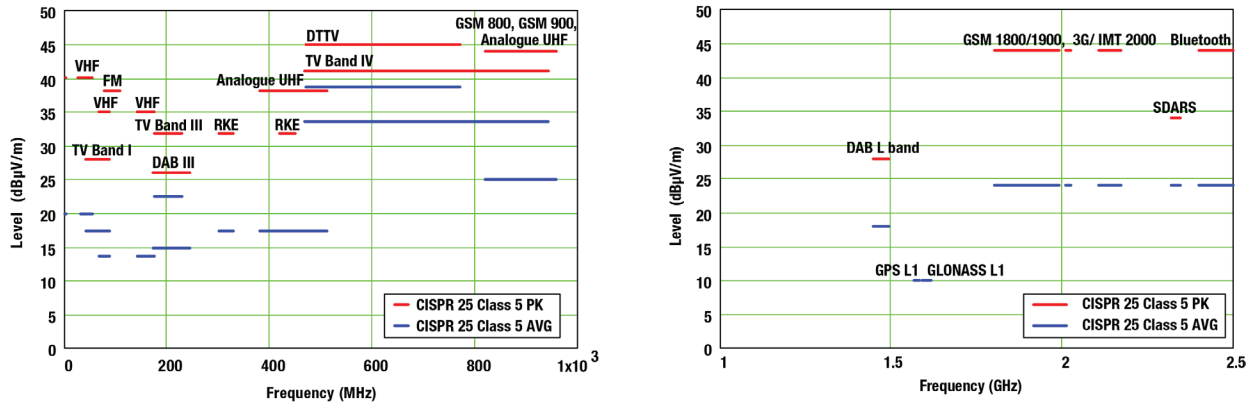


图 2. 使用吸波屏蔽外壳 (ALSE) 测试方法、在天线距离为 1m 时元件/模块的 CISPR 25 5 类辐射限值。

CISPR 25 天线系统

测量使用的是具有标称 50 Ω 输出阻抗的线性极化电场天线。表 1 和图 3 显示了 CISPR 25 建议使用的天线，以提高实验室之间测量结果的一致性。

一个垂直安装的有源单极杆状天线（带虚接地）用于低频测量。双锥和对数周期偶极子阵列 (LPDA) 天线的频率范围通常分别为 30MHz 至 200MHz 和 200MHz 至 1GHz。双脊喇叭天线 (DRHA) 的使用频率通常为 1GHz 至 2.5GHz。宽带（混合双锥/对数

或“双对数”）天线的格式比双锥或对数周期天线更多，有时用于方便地覆盖 30MHz 至 1GHz 的较大频率范围。

频率范围	推荐天线	测量极化
150kHz 至 30MHz	1m 垂直单极天线，带虚接地	仅垂直
30MHz 至 300MHz	双锥	水平和垂直
200MHz 到 1GHz	对数周期	
30MHz 到 1GHz	宽带（双锥 + 对数 “双对数”）	
1GHz 到 2.5GHz	喇叭或对数周期	

表 1. 符合 CISPR 25 的推荐天线；双锥天线和对数周期天线在频率上重叠，而双对数天线是两者频率范围的累积。

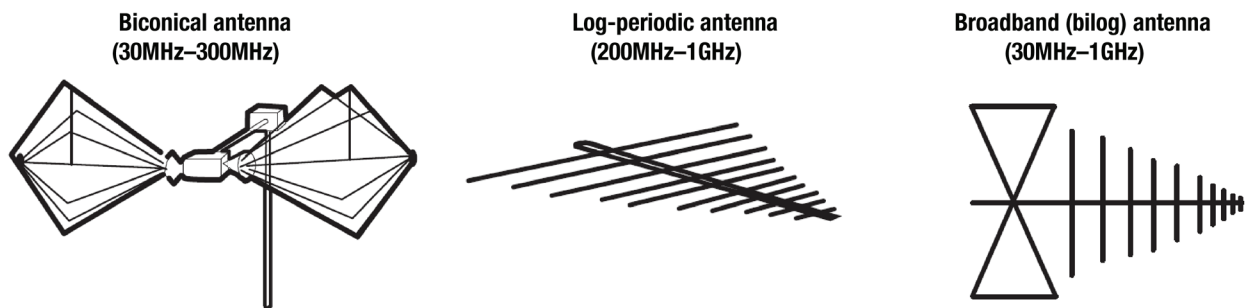


图 3. CISPR 25 规范中引用的测量天线。

使用 ALSE 的辐射 EMI 测试

图 4、5 和 6 描述了 CISPR 25 中定义的 ALSE 测试设置，用于在表 1 规定的频率范围内测量元件和模块的辐射发射。

受试设备 (EUT) 和线束放置在不导电、相对介电常数较低 ($\epsilon_r \leq 1.4$) 的材料上，距离接地层 50mm。平行于接地层前部的线束长度为 1.5m，EUT 和负载模拟器之间的测试线束总长度不超过 2m。测试线束的长段平行于面向天线的接地层的边缘，且与边缘的距离为 100mm。接地层的最小宽度和长度分别为 1m 和 2m，或在整个设备下方加 200mm，以较大者为准。

喇叭天线与 EUT 对齐，而其他天线则位于线束的中

点。所有测量均在 1m 天线距离处进行。仅在天线配置为垂直极化时进行 150kHz 至 30MHz 频率范围内的测量。在水平和垂直极化下进行 30MHz 以上的扫描。

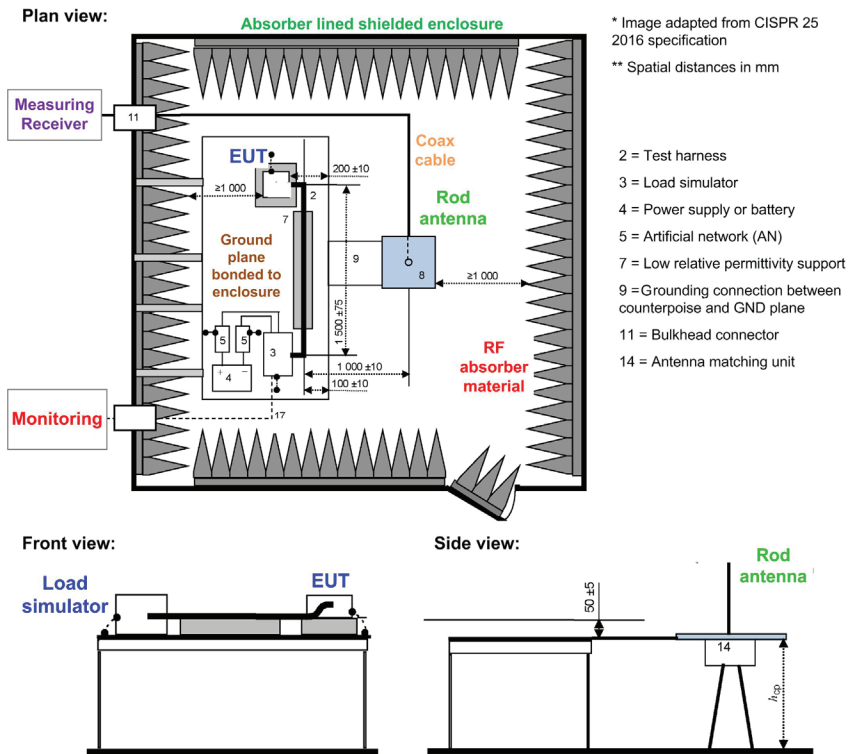


图 4. 带有有源杆状天线 (150kHz 至 30MHz) 的 CISPR 25 辐射发射测量设置。

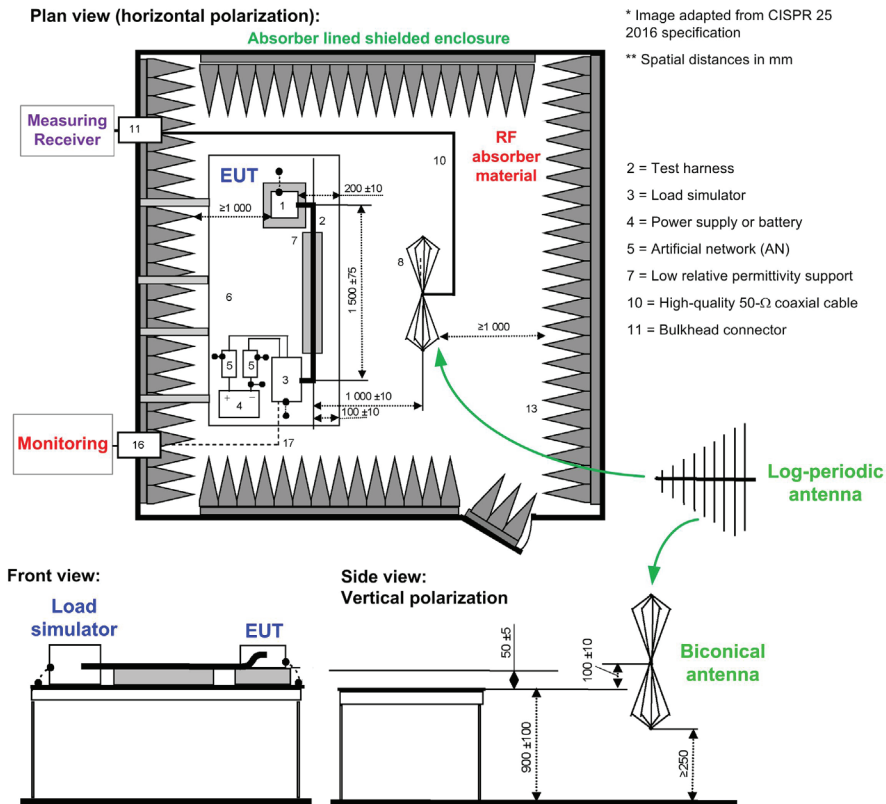


图 5. 带有双锥天线（30MHz 至 300MHz）或对数周期天线（200MHz 至 1GHz）的 CISPR 25 辐射发射测量设置。

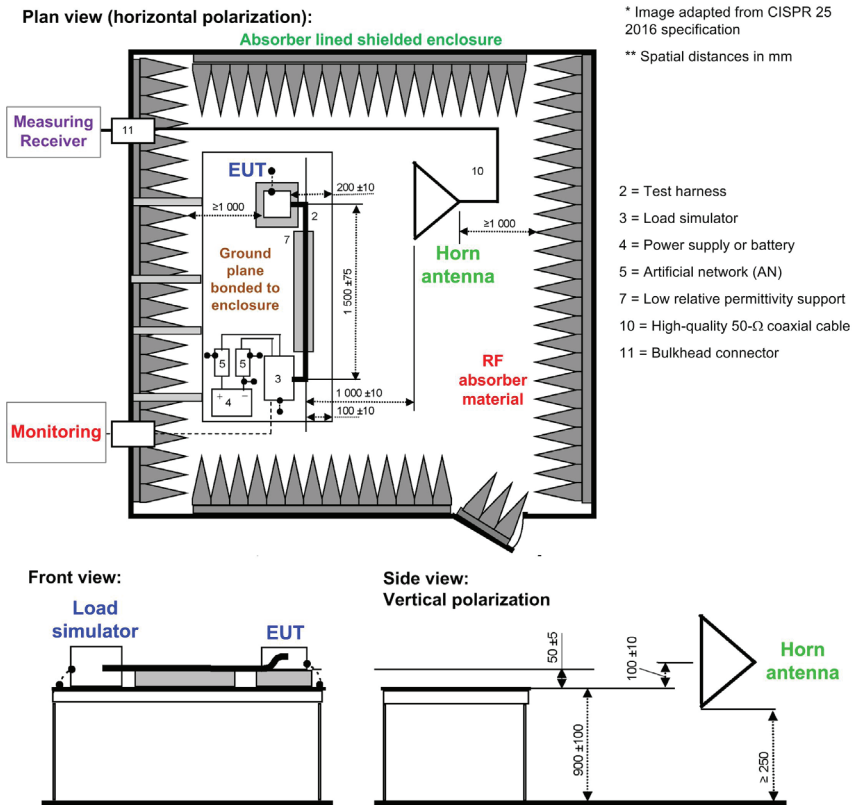


图 6. 带有喇叭天线（1GHz 以上）的 CISPR 25 辐射发射测量设置。

多媒体设备的辐射 EMI 标准

多年来，电源电压不超过 600V 的信息技术 (IT) 设备一直采用知名的欧洲标准 EN 55022，该标准主要源自 CISPR 22 [8] 产品标准，外部电源的 CE 符合性声明 (DoC) 参考了 EN 55022，以证明其符合欧盟 EMC 指令 2014/30/EU [9] 的基本要求。

然而，CISPR 22/EN 55022 最近被纳入了 CISPR 32/EN 55032 [10]，这是一种新的多媒体设备 (MME) 产品系列标准，可用作符合 EMC 指令的协调标准。主要用于居住环境的设备必须符合 B 类限值，所有其他设备均必须符合 A 类限值。同时，为北美市场设计的产品符合联邦通信委员会 (FCC) 第 15 部分 B 子部分第 15.109 节中针对无意辐射器设定的限值 [11]。

CISPR 22/32 和 FCC 第 15 部分

表 2 列出了 FCC 第 15 部分中针对无意辐射器规定的 A 类和 B 类辐射发射限值。此外，该规范的第 15.109(g) 条允许使用表 3 中给出的 CISPR 22 辐射发射限值。两个表格中的限值针对频率低于 1GHz 的情况，均假设使用 QPK 检波器，RBW 为 120kHz。表 4 和表 5 针对频率大于 1GHz 的情

况，给出了使用 PK 和 AVG 检波器以及接收器 RBW 为 1MHz 时的限值。

对于给定的测量距离，住宅或家庭应用的 B 类限值通常比商业用途的 A 类限值更为严格，具有 6dB 至 10dB 的裕度。表 2 和表 3 还包括 20dB/十倍频程的反向线性距离 (1/d) 比例系数，按 15.31(f)(1) 的规定使用，以规范 3m 和 10m 天线测量距离的限值，从而确定合规性。例如，由于测试设备的限制，将天线放置在 3m 而不是 10m 处时，需要将限值振幅调整大约 10.5dB。图 7 绘制了在 3m 天线距离处 A 类和 B 类的相关限值线。

频率范围 (MHz)	3m 距离		10m 距离	
	A 类 (dB μ V/m)	B 类 ¹ (dB μ V/m)	A 类 ² (dB μ V/m)	B 类 (dB μ V/m)
30-88	49.6	40	39.1	29.5
88-216	54	43.5	43.5	33
216-960	56.9	46	46.4	35.5

注：
¹ 3m 处的 B 类限值由 FCC 指定，此处通过减去 10.5dB 外推得出 10m 处的限值。
² 10m 处的 A 类限值由 FCC 指定，此处通过增加 10.5dB 外推得出 3m 处的限值。

表 2.47 CFR 15.109(a) 和 (b) 规定、在 30MHz 至 960kHz 范围内的辐射发射场强 QPK 限值。

频率范围 (MHz)	3m 距离		10m 距离	
	A 类 (dB μ V/m)	B 类 (dB μ V/m)	A 类 (dB μ V/m)	B 类 (dB μ V/m)
30-230	50.5	40.5	40	30
230-1,000	57.5	47.5	47	37

注: CISPR 22 规定了 10m 处的限值, 并通过增加 10.5dB 外推得出了 3m 处的限值。

表 3.47 CFR 15.109(g)/CISPR 22/32 规定、在 30MHz 至 1GHz 范围内的辐射发射场强 QPK 限值。

频率范围 (GHz)	A 类 (dB μ V/m)		B 类 (dB μ V/m)	
	AVG	PK	AVG	PK
0.96-40	60	80	54	74

注: CISPR 22 规定了 10m 处的限值, 并通过增加 10.5dB 外推得出了 3m 处的限值。

表 4.47 CFR 15.109(a) 和 (b) 规定、在 960kHz 至 40GHz 范围内的 3m 处辐射发射场强限值。

频率范围 (GHz)	A 类 (dB μ V/m)		B 类 (dB μ V/m)	
	AVG	PK	AVG	PK
1-3	56	76	50	70
3-6	60	80	54	74

注: CISPR 22 规定了 10m 处的限值, 并通过增加 10.5dB 外推得出了 3m 处的限值。

表 5.47 CFR 15.109(g)/CISPR 22/32 规定、在 1GHz 至 6GHz 范围内的 3m 处辐射发射场强限值。

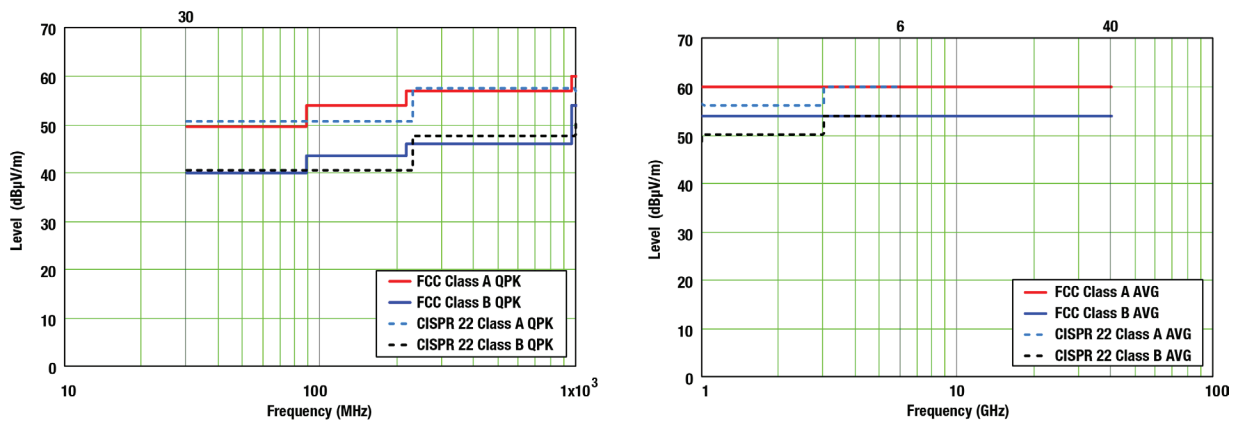


图 7. FCC 第 15 部分和 CISPR 22/32 规定、分别在低于 1GHz 和高于 1GHz 频率下使用 QPK 和 AVG 检波器得出的 A 类和 B 类辐射限值。

如图 8 所示, 辐射 EMI 测试程序涉及将 EUT 和支撑设备放置在半电波暗室 (SAC) 或开阔试验场地 (OATS) 中参考接地层上方 0.8m 的非导电转盘上, 如 CISPR 16-1 所定义。EUT 放置在距离接收天线 3m 的位置, 接收天线安装在天线塔上。

率。随后, 对相关故障点进行 QPK 检波器检查, 以记录最终的、正式合规性测量结果。在测试过程中, EMI 接收器的 RBW 设置为 120kHz。

PK 检波器预扫描使用校准的双对数宽带在 30MHz 至 1GHz 范围内检测发射, 天线配置为水平和垂直极化。这种探索性测试确定了所有重要发射的频

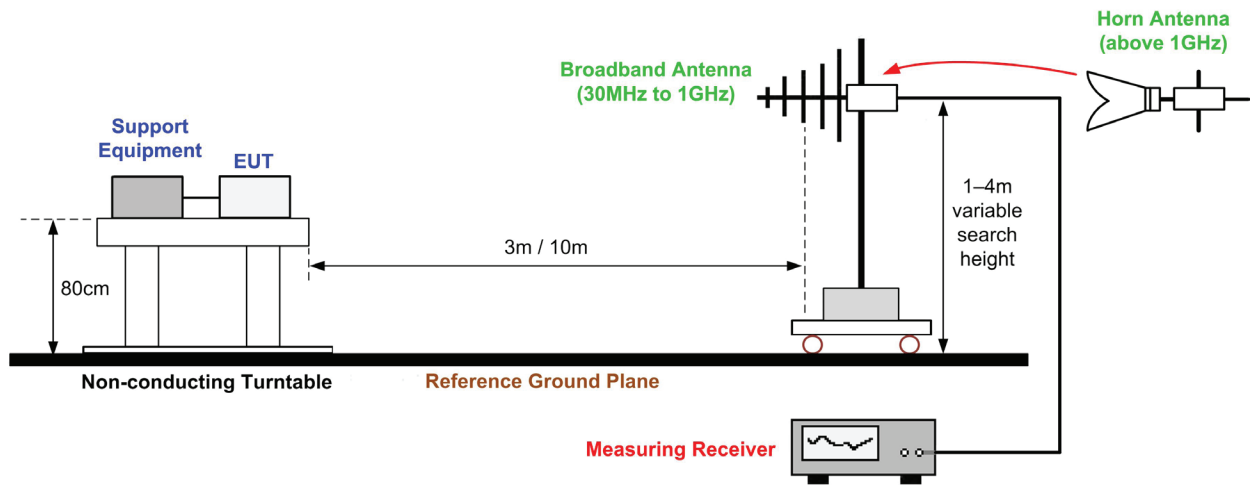


图 8. FCC 第 15 部分和 CISPR 22/32 的辐射发射测量设置。

天线配置为水平极化和垂直极化（通过将天线相对于接地层旋转 90 度），并在接地层上方的 1m 至 4m 之间调整高度，以在接地层反射的情况下，得到每个测试频率下的最大场强读数。在测量过程中，需要将转盘上的 EUT 旋转 0 至 360 度来改变天线与 EUT 的方位角，以从 EUT 方向找出最大场强读数。

使用喇叭天线的 PK 检波器预扫描可用于 1GHz 以上的扫描，然后使用 AVG 检波器以接近限值的频率进行扫描。EMI 接收器 RBW 设置为 1MHz。不需要进行高度扫描，因为天线更具方向性，并且接地层和室壁的反射也不再那么麻烦。但是，在这些频率下，EUT 的发射也更具方向性，因此再次将转盘旋转 360 度，并且改变天线的极化方向以得到最大响应。根据表 6，要关注的上限取决于 EUT 的最高内部频率。

EUT 的最高内部频率	测量范围的上限频率
低于 1.705MHz	不需要测试
1.705MHz 至 108MHz	1GHz
108MHz 至 500MHz	2GHz
500MHz 到 1GHz	5GHz
1GHz 以上	最高频率的第五谐波或 6GHz (CISPR 22/32) 和 40GHz (FCC 第 15 部分)，以较低者为准

表 6. 基于 EUT 内部时钟源最高频率的辐射发射最大测量频率。

ISM 设备的辐射 EMI 标准

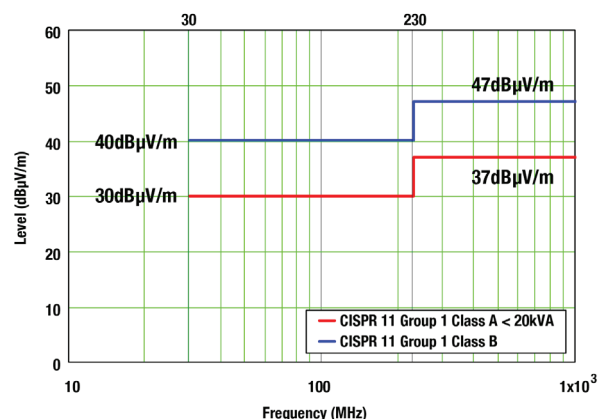
CISPR 11 是针对工业、科学和医学 (ISM) 射频设备产生的 EMI 干扰的国际产品标准 [12]。CISPR 11 适用于各种应用，包括无线功率传输 (WPT) 充电设备、Wi-Fi 系统、微波烹饪电器和电弧焊机。

第 1 组中的设备包含所有 ISM 设备，其中有意产生和/或传导耦合的射频能量对于设备自身的内部功能是必需的。第 2 组包含有意产生射频能量和/或用于材料检验、分析或处理的所有 ISM 设备。

每个组又分为两类：A 类设备可用于除家用设备以外的所有设施，并且可在测试场地或现场进行测量；B 类设备包含家用设备，仅在测试场地进行测量。图 9 提供了第 1 组设备的 CISPR 11 辐射限值。有关各种测试设置的详细说明，请参阅 CISPR 11 规范文档。

图 9. 在测试场地使用 QPK 检波器测量的 10m 天线距离处 CISPR 11/EN 55011 第 1 组辐射发射限值。

某些工业终端设备可能具有专门的系统级标准，这些标准可通过参考 CISPR 11 来指导 EMC 测试。例如，IEC 62040-2 为输出电压不超过 1500VDC 或 1000VAC 的不间断电源系统 (UPS) 提供了 EMC 要求。另一个系统级标准是 IEC 61800-3，该标准规



许多管理机构都规定了允许最终产品产生的辐射发射等级。表 7 粗略介绍了相关产品领域的适用标准。

为了满足规范的法规遵从性，产品必须经过精心设计，以便减少正常运行期间产生的 EMI 量。设计工程师应该对适用的标准有详细的了解，以便执行初始的预符合性测试，并监督经过认证的测试机构进行完整的合规性测量。

产品领域		IEC/CISPR 标准	EN 标准	FCC 标准
具有内燃机的车辆、船只和设备	外接接收器	CISPR 12	EN 55012	-
	车载接收器	CISPR 25	EN 55025	-
多媒体设备		CISPR 32	EN 55032	第 15 部分
ISM		CISPR 11	EN 55011	第 18 部分
家用电器、电动工具及类似仪器		CISPR 14-1	EN55014-1	-
灯具、照明设备		CISPR 15	EN 55015	第 15 部分/第 18 部分
无产品特定标准的设备	商业/轻工业	IEC 61000-6-3	EN 61000-6-3	-
	重工业	IEC 61000-6-4	EN 61000-6-4	-

表 7. 产品的主要辐射发射标准。

参考文献

1. Timothy Hegarty, “[The engineer’s guide to EMI in DC/DC converters \(part 4\): radiated emissions](#),” How2Power Today, April 2018 issue.
2. Timothy Hegarty, “[An overview of conducted EMI specifications for power supplies](#),” Texas Instruments white paper SLYY136, February 2018.
3. Robert Loke and Robert Blattner, “[Automotive EMI reduction techniques, applications and solutions](#),” TI training webinar, April 16, 2018.
4. UNECE Regulation No. 10, revision 5, “[Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to electromagnetic compatibility](#),” October 16, 2014.
5. CISPR, CISPR 12:2007, sixth edition, “[Vehicles, boats and internal combustion engines - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement for the protection of off-board receivers](#).”
6. CISPR, CISPR 25:2016, fourth edition, “[Vehicles, boats and internal combustion engines - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement for the protection of on-board receivers](#),” October 27, 2016.
7. ETS Lindgren, “[Automotive component EMC testing: CISPR 25, ISO 11452-2 and equivalent standards](#),” February 2016.
8. “[Achieving low noise and low EMI performance with DC/DC switching regulators](#),” Texas Instruments EMI landing page.
9. European Commission, [EMC Directive 2014/30/EU](#).
10. CISPR, CISPR 32:2015, second edition, “[Electromagnetic compatibility of multimedia equipment - Emission requirements](#).”
11. Code of Federal Regulations (CFR), [CFR Title 47, FCC Part 15, Subpart B - Unintentional Radiators, Section 15.109, Radiated emission limits](#).
12. CISPR, CISPR 11:2015, edition 6.1, “[Industrial, scientific and medical equipment - Radio-frequency disturbance characteristics - Limits and methods of measurement](#).”
13. IEC, IEC 61000-6-3:2006, second edition, “[Electromagnetic compatibility \(EMC\) - Part 6-3: Generic standards - Emission standard for residential, commercial and light-industrial environments](#).”
14. IEC, IEC 61000-6-4:2018, third edition, “[Electromagnetic compatibility \(EMC\) - Part 6-4: Generic standards - Emission standard for industrial environments](#).”

重要声明：本文所提及德州仪器 (TI) 及其子公司的产品和服务均依照 TI 标准销售条款和条件进行销售。TI 建议用户在下订单前查阅全面的全新产品与服务信息。TI 对应用帮助、客户应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不承担任何责任。有关任何其他公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的批准、担保或认可。

平台标识是德州仪器 (TI) 的商标。
所有其他商标均属于其各自所有者。

重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性及其可靠性数据（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，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(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、安保或其他要求。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及ti.com.cn上或随附TI产品提供的其他可适用条款的约束。TI提供所述资源并不扩展或以其他方式更改TI 针对TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122

Copyright © 2020 德州仪器半导体技术（上海）有限公司