



I-PEX

# ZenShield<sup>®</sup>

## 白皮书

为毫米波以及千兆级应用提供多样性 EMC 解决方案



## 摘要

FCC 所规定的辐射排放限制符合性要求一直是数字系统设计者面临的长期且日益严峻的挑战。为了通过 FCC 对于电子系统辐射排放的符合性测试，选择合适的元器件已经困扰了系统设计工程师几十年。通常用于天线分析的模拟辐射电场模式研究，在这里被用来评估低成本、高性能互连系列的单个组件的辐射特性。

## 目录

背景介绍.....	2
ZenShield® 系列.....	3
分析潜在连接器的 EMC 性能.....	5
辐射电排放.....	5
第一部分.....	6
HFSS 3D 仿真结果.....	6
类别 1 结果.....	7
类别 2 结果.....	10
类别 3 结果.....	13
类别 1,2,3 连接器的比较.....	16
第二部分.....	16
最大电场辐射泄漏分析.....	16
最大电场辐射泄漏(来自带屏蔽连接器的辐射)与 FCC OATS 或 3m 室内依从性测试中测量的电场有什么关系.....	16
结论.....	22

## 背景资料

自 1976 年美国联邦通信委员会(FCC)开始在《CFR 47 Part 15, Subpart B》中定义了辐射排放规范以来, 电子业已经取得了长足的进步。 在本节中, 任何超过 10KHz 的数字信号, 时钟信号都需要满足辐射排放的要求。 过去(现在仍然)有两类设备的辐射排放是由 FCC 监管的:

1. A 类商用装置, 对辐射排放有较严格的限制
2. B 类消费者使用器械, 相对来说, 限制没有那么严格 (见图 1)。

Title 47 → Chapter I → Subchapter A → Part 15 → Subpart B → §15.109

[Browse Previous](#) | [Browse Next](#)

Title 47: Telecommunication  
PART 15—RADIO FREQUENCY DEVICES  
Subpart B—Unintentional Radiators

---

**§15.109 Radiated emission limits.**

(a) Except for Class A digital devices, the field strength of radiated emissions from unintentional radiators at a distance of 3 meters shall not exceed the following values:

Frequency of emission (MHz)	Field strength (microvolts/meter)
30-88	100
88-216	150
216-960	200
Above 960	500

(b) The field strength of radiated emissions from a Class A digital device, as determined at a distance of 10 meters, shall not exceed the following:

Frequency of emission (MHz)	Field strength (microvolts/meter)
30-88	90
88-216	150
216-960	210
Above 960	300

图 1 – FCC 规定的辐射排放限值标准

FCC 会关心计算机的 CPU 处理信息的速度或者平板显示器的分辨率, 一般人通常认为这很奇怪。 然而, 当人们考虑到现代数字信号(现在通常以千兆位数据速率运行)急剧升降、快速上升, 下降的脉冲信号会导致时变的电场和磁场传播到周边, 那么这就不足为奇了。FCC 严格确保电磁频谱得到合理分配、保护和管理, 以避免对空中通信(即无线电、电视、移动电话、卫星、地面点对点等)的发生相互干扰。

整个频谱都被细分、保护和授权给预定用户—需要频段的通信公司。随着电子设备、通信技术和数据应用的不断发展, FCC 在各自频段内确保所有用户的带宽可用性和兼容性的工作变得越来越困难, 但是其

重要性却越来越大。不管出于什么样的设计目的，许多需要高速数据传输的数字设备有时会无意地成为辐射器，这会危及其他通信正确分配的电磁频谱以及使用的安全性。

正如前面提到的，自从美国联邦通信委员会(FCC)开始解决诸如 20 世纪 70 年代的苹果 II 个人电脑以及 IBM 个人电脑等设备的非故意的辐射排放问题以来，已经摸索着走过了一段漫长的道路。今天，数据中心、5G 无线通讯、云端连接、高清分辨率的视频和汽车电子的爆发式增长及其对超带宽的渴求，需要继续对设备和元器件进行优化设计，以创建符合电磁兼容性的环境。

此外，对于产品小型化的极致追求和成本控制的同时，仍必须考虑产品良好的电气特性，为 OEM 厂商和最终用户实现最佳解决方案。越来越高的数据速率对于元器件的屏蔽性能提出了更高的要求，同时制造商也在不断努力，在比较短的产品生命周期情况下，不断降低生产成本。

在如今的电子系统设计中，具有屏蔽性能的元件通常是不具备可选性，而且电子系统通常采用千兆级数据传输率，因此 I-PEX 敏锐地意识到电子系统对高质量、超小型、精密互连，以及电磁兼容性的需求。为了对应这些需求，减少设计者的困扰，I-PEX 公司研发了 ZenShield®系列连接器。ZenShield®连接器是专门为毫米波和千兆应用设计的，适用于 5G 通信、视频显示和手持设备等多种应用环境。

## ZenShield® 系列

ZenShield®系列连接器由 I-PEX 品牌下的十几种不同类别的连接器组成。本白皮书将重点介绍其中三种连接器，可以应用于不同类型的产品中。

**类别 1 - MHF® 7S 极细同轴线射频连接器(MCX), 低背型 (高度 1.4 mm)**

**类别 2 – NOVASTACK® 35-HDN 板对板连接器, 超小间距, 低背型 (高度 0.7 mm)**

**类别 3 – EVAFLEX® 5-HD FFC/FPC 连接器, 支持柔性线路, 高速传输, 低背型 (高度 2 mm)**



图 2 - MHF® 7S 射频同轴线连接器

### 类别 1 - MHF® 7S 射频同轴线连接器

MHF 7S 是一种小型化连接器，采用了新颖的带状线发射设计。业界首创的连接器设计显著提高了同轴传输线的屏蔽效果。它改善了抗电磁干扰的性能，是 5G 毫米波应用的理想选择。它在 15 GHz 时最大驻波比为 1.5，采用 2.0 x 2.0 mm 大小的 PCB 封装，嵌合高度为 1.4 mm (max)，可采用 32AWG 同轴线(1.13 mm OD)

- 无卤素 (技术)
- 通过无铅认证
- 符合欧盟 REACH 法规

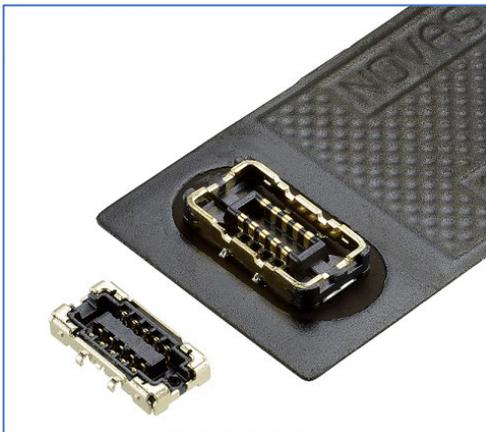


图 1 - NOVASTACK® 35-HDN 板对板连接器

### 类别 2 - NOVASTACK® 35-HDN 板对板连接器

NOVASTACK®35-HDN 是为 5G 毫米波模块而开发的板对板连接器产品。具有完全屏蔽的特性，0.35 毫米的超小间距和 0.7 毫米的嵌合高度。该连接器非常适合高频和高速传输应用，如 5G 毫米波传输，Thunderbolt™3, DP, PCI 和其他高达 15GHz 的高频应用。

- 无卤素 (技术)
- 通过无铅认证
- 符合欧盟 REACH 法规



图 2 - EVAFLEX® 5-HD FFC/FPC 连接器

### 类别 3 - EVAFLEX® 5-HD FFC/FPC 连接器

EVAFLEX®5-HD 是一款 0.5 mm 间距的连接器，具有自动锁扣功能。它是水平插拔的，具有完全屏蔽的功能。主要特点包括：

- 360°全屏蔽，多点接地，防止 EMI 外泄
- 专为高速信号传输而设计(>10 Gbps, USB 3.1 Gen2 速度)
- 自动锁扣设计，符合人机工程学，便于手动或机器人组装
- 最大高度: 2.20 mm, (公称 2.00 mm)
- 24Pin
- 无卤素 (技术)
- 通过无铅认证

# 连接器的 EMC 特性解析

## 辐射电场发射

对于 FCC(或其他 EMC 监管机构), 电磁合规性主题必须设定并解决整台计算机或设备的辐射限值。由于数字电子系统是由许多元器件组成的, 因此可以肯定的是, 单个无屏蔽的元器件有可能成为电磁辐射源, 超过了允许的限度, 成为瓶颈, 从而导致整个系统无法通过 EMC 合规性测试。

为了评估元器件的屏蔽效果, 有几种方法, 简述如下:

- 1. 全波电磁模拟:** 使用 3D Field Solver 工具软件, 如 Ansys HFSS(高频结构模拟器), CST microwave Studio 或类似的应用程序。在这些仿真环境中, 连接器的 3D 力学模型被导入到模拟器中, 并以最能代表其预期案例的方式安装到电缆、PCB 或其他传输线结构上。模拟端口在相应的传输线结构的适当点上定义, 或者可能在连接器本身的输入端子上定义。输出端子连接到较短长度的传输线结构(同轴线、PCB、软排线, 等等)上, 并在传输线输出特性阻抗。然后在 3D solver 中设置各种电气条件, 如频率范围、波长、信号幅值、边界条件等, 然后对与结构相关的结果场进行网格划分和迭代求解。在 EMC 分析中, 辐射 E 场发射是分析屏蔽效果的常用指标。
- 2. 室内屏蔽消声室:** 基本上是一个大的金属箱, 有一扇金属门, 关闭时会利用电力将门密封。该空间(或暗室)有一个非金属转台用于定位被测设备(DUT), 一个接收天线和适当的传输线固定装置, 并用于测量来自 DUT 的辐射排放。在无源 DUT 的情况下, 同轴输入电缆从房间外的信号源, 通过安装在墙壁上的隔板同轴线连接器, 在 DUT 内产生信号, 然后, 被测器件配置一个屏蔽终端负载, 以消除任何通过被测器件返回的多余的传输线反射。

这种方法的优点是, 这些暗室通常用于蜂窝 OTA 测试(OTA:空中)的测量, 室内范围通常校准为与露天测试场地(OATS)等效。OTA 数据最初是 FCC 出于第 15 部分, 第 J 部分的合规目的而要求的。

在这个测试中, 被测器件被安装到适当的传输线(TL)结构上, 并在输出 TL 的特性阻抗。输入线由信号发生器供电。当信号功率连接到 DUT(在适当的频率)时, 转盘开始扫描 DUT(或接收天线)。任何辐射都被接收天线检测到, 并传送到频谱分析仪或功率计。对于带屏蔽功能的连接器和不带屏蔽功能的连接器来说, 通常也要做这种测试, 以确定连接器所采用的屏蔽方式是否具有屏蔽效果。

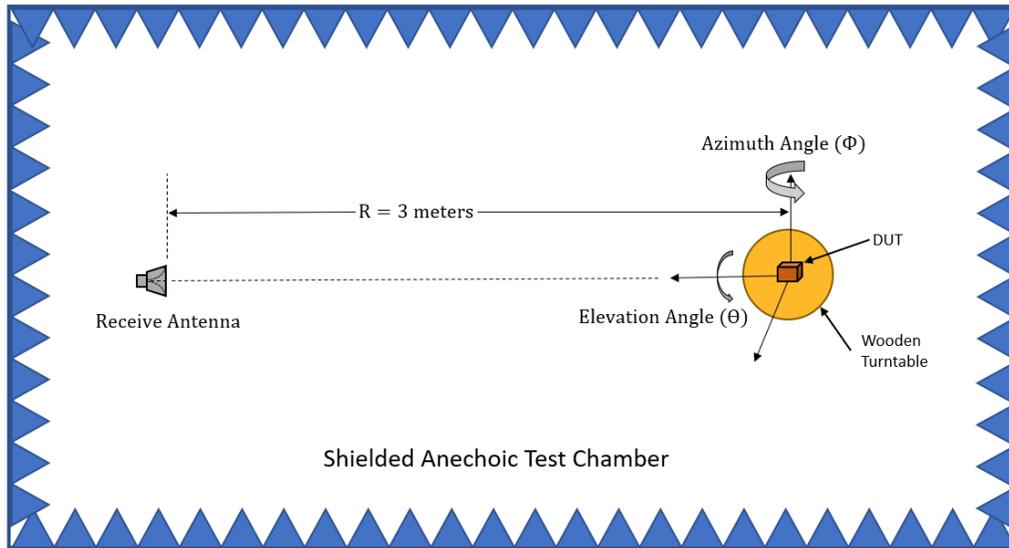


图 5 -天线测量范围图

## 第一部分

### HFSS 三维仿真结果

为了简单明了，本文采用全波电磁仿真方法对三种连接器产品的最大 E 场泄漏进行了分析。Ansys

HFSS 全波 3D solver 提供了对连接器进行评估的仿真环境。

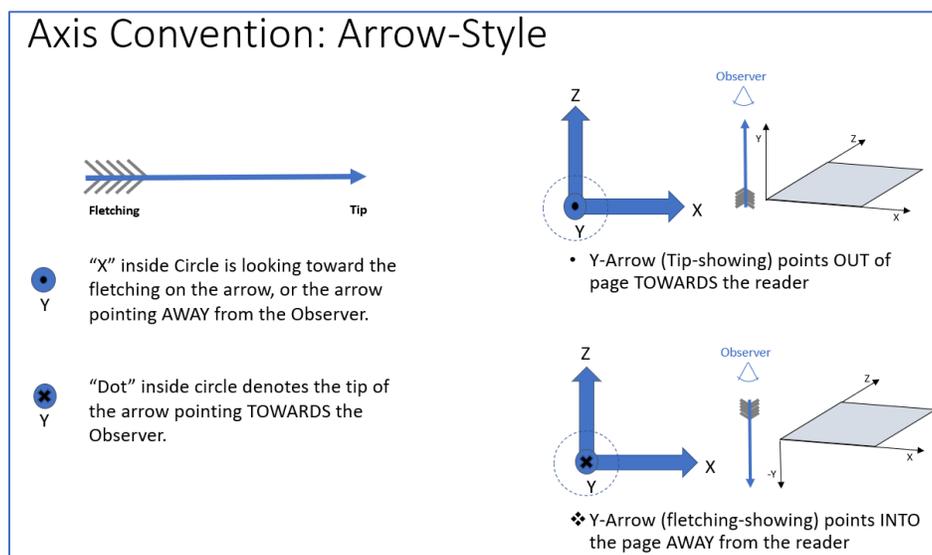


图 6 -关于 Axis 约定的参考说明

## 类别 1 的结果

MHF®7S 极细同轴线射频连接器，低背，带状线发射，带锁扣的连接器，HFSS 分析

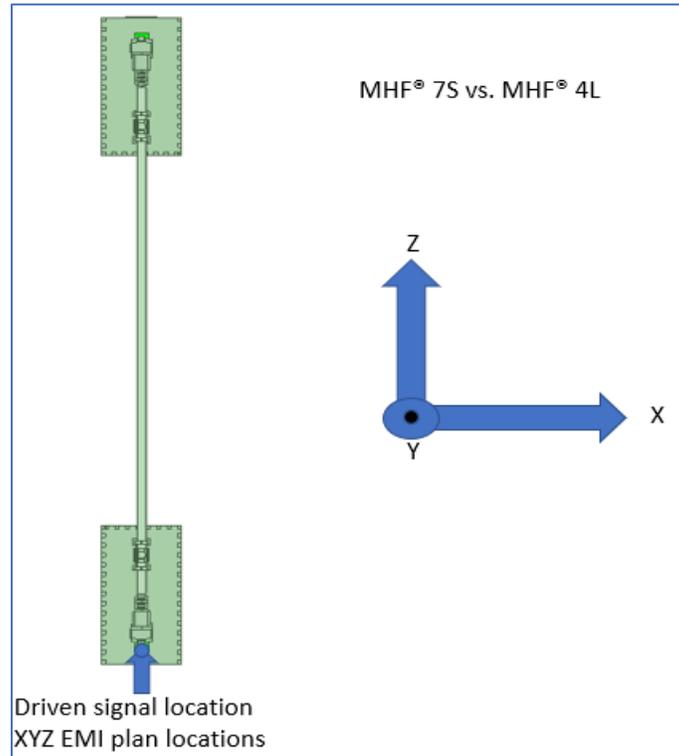


图 7 - MHF® 7S 驱动信号模拟设置

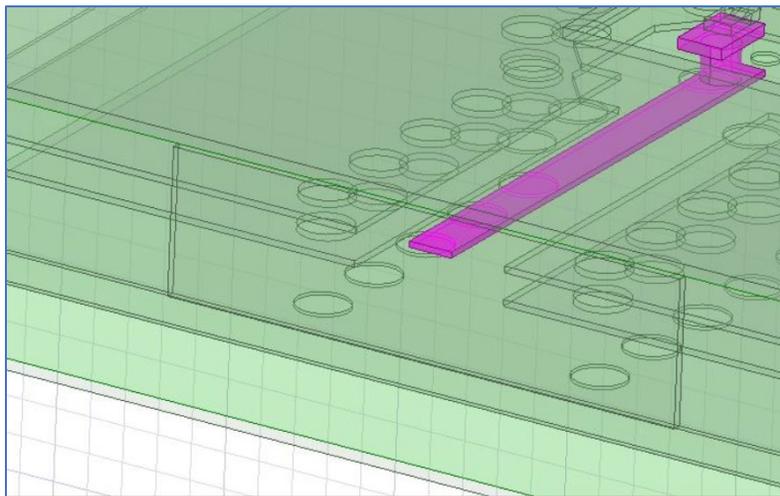


图 8 - MHF® 7S 端口分配

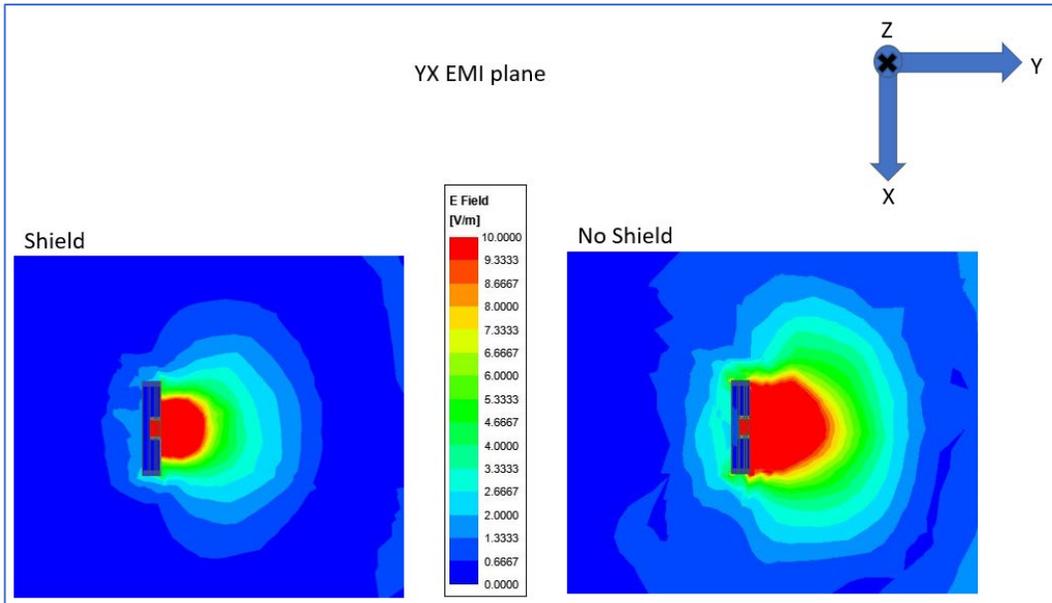


图 9 - MHF® 7S YX EMI 平面辐射图

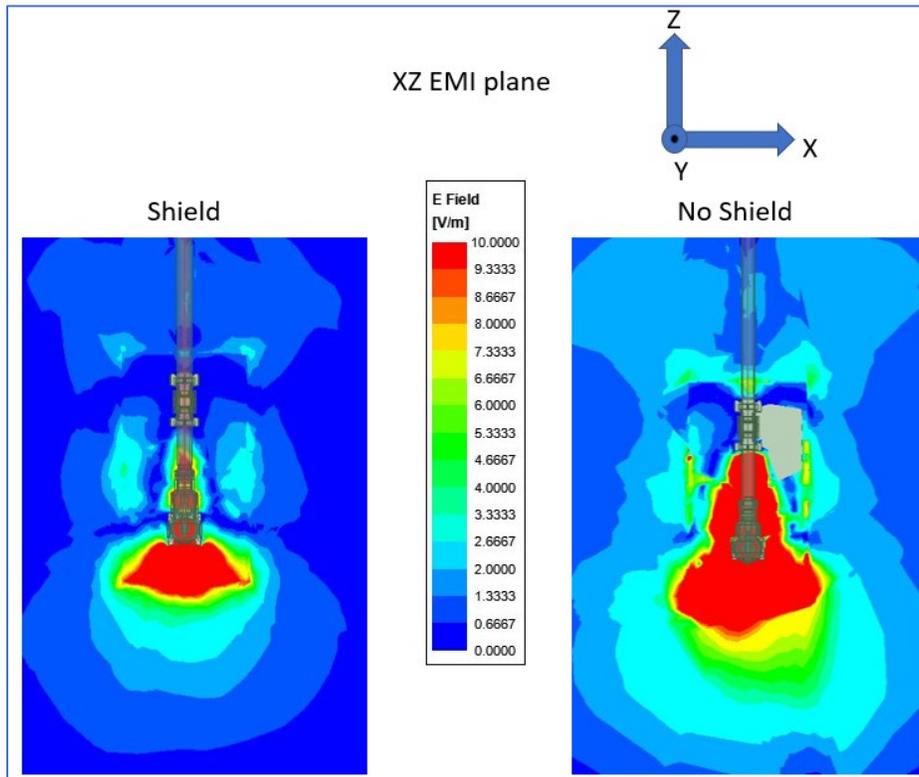


图 10 - MHF® 7S XZ EMI 平面辐射图

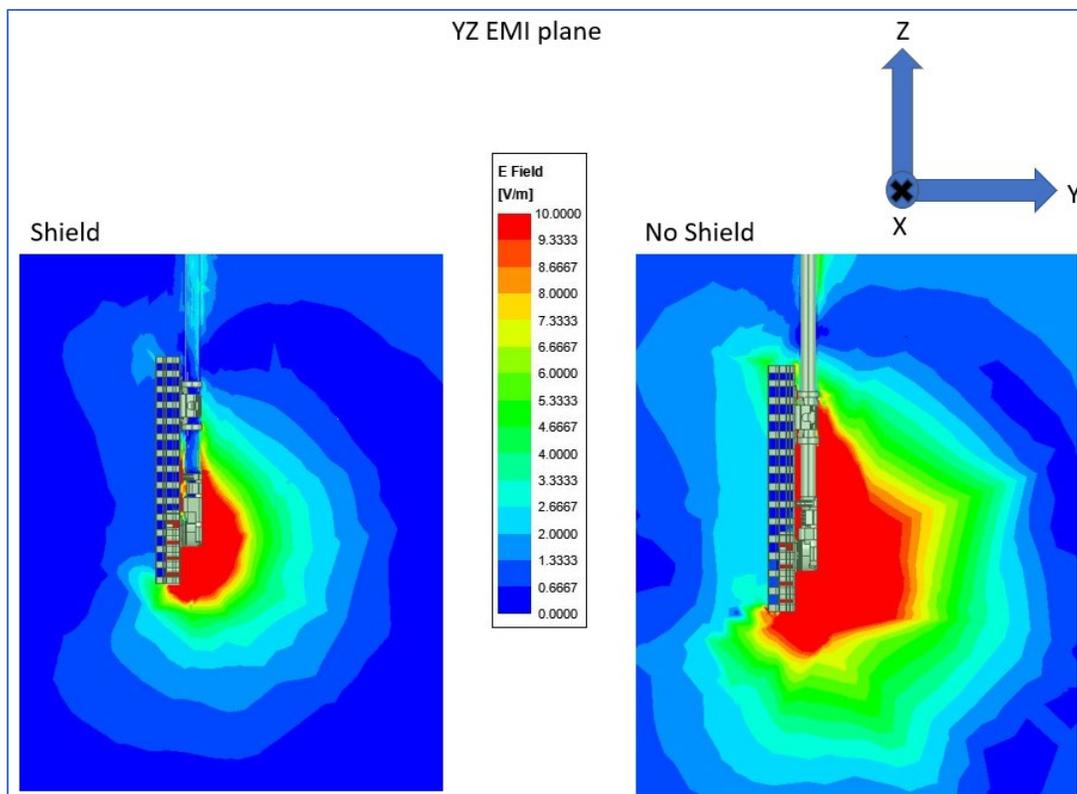


图 11 - MHF® 7S YZ EMI 平面辐射图

Maximum E-Field Radiated Emissions, SE (dB)			
最大 e 场辐射发射, SE (dB)			
Frequency 频率(GHz)	MHF® 7S (Shielded) (屏蔽式)	MHF® 4L (Unshielded) (非屏蔽式)	Shielding Effectiveness 屏蔽性能(dB)
	(dBuV/m)	(dBuV/m)	
1	-90.9	-61.2	29.7
3	-70.7	-40.3	30.4
6	-51.7	-19.2	32.5
7.5	-53.3	-22	31.3
10	-46.4	-17.6	28.8

表 1 - 射频极细同轴线连接器, 屏蔽与非屏蔽, 辐射屏蔽效果

## 类别 2 的结果

NOVASTACK®35-HDN 板对板连接器，超小间距(0.35 mm) 5G 毫米波应用，HFSS 分析

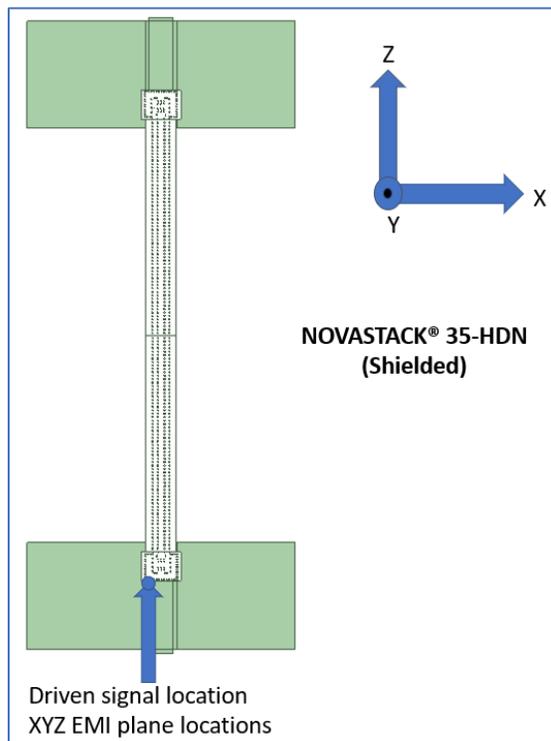


图 12 - NOVASTACK®35-HDN 驱动信号模拟设置

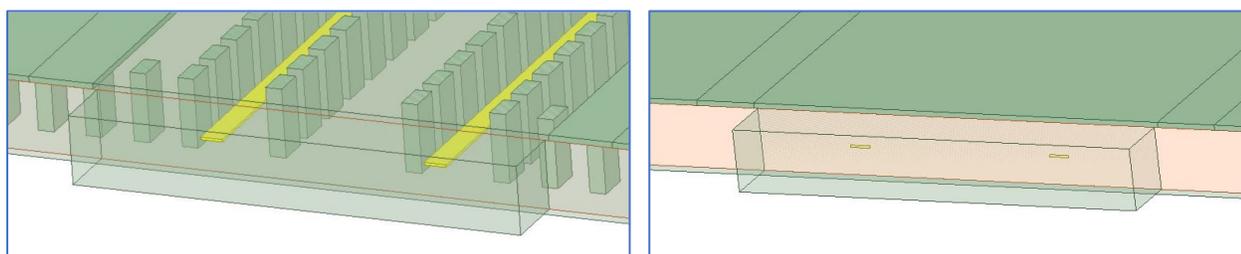


图 13 - NOVASTACK®35-HDN 板对板连接器，适用于 5G 的超小间距，端口分配

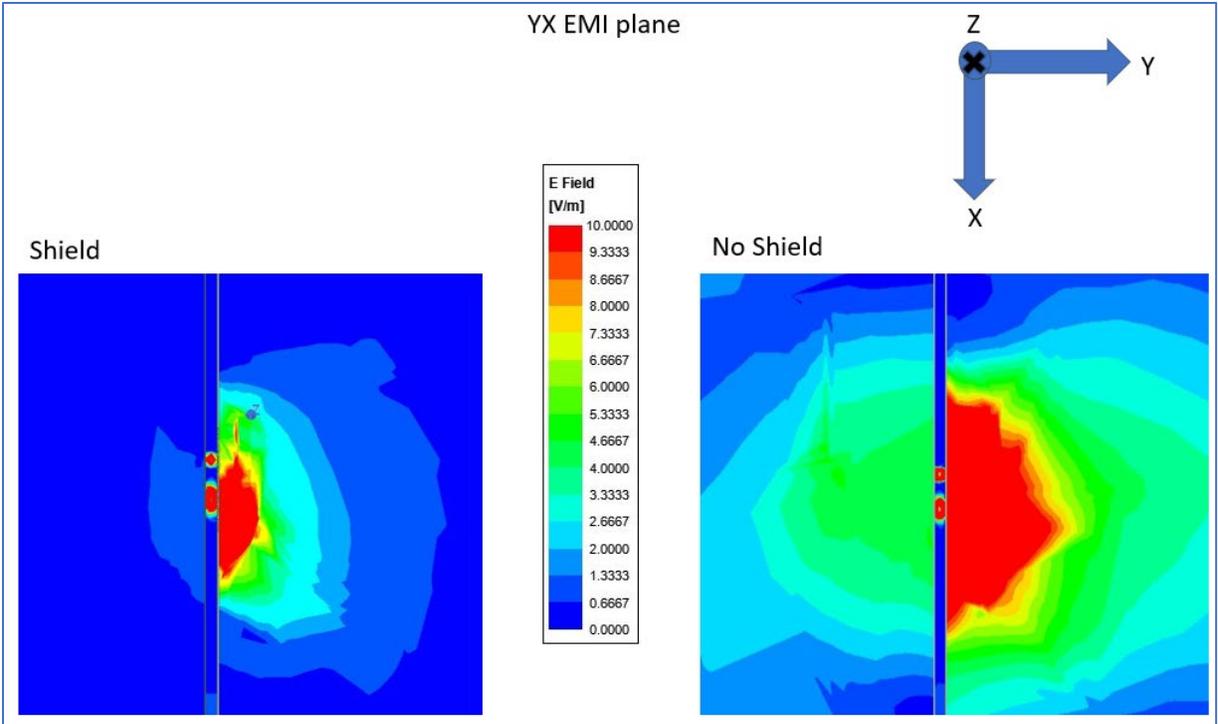


图 14 - 5G YX EMI 平面辐射模式的超小间距连接器

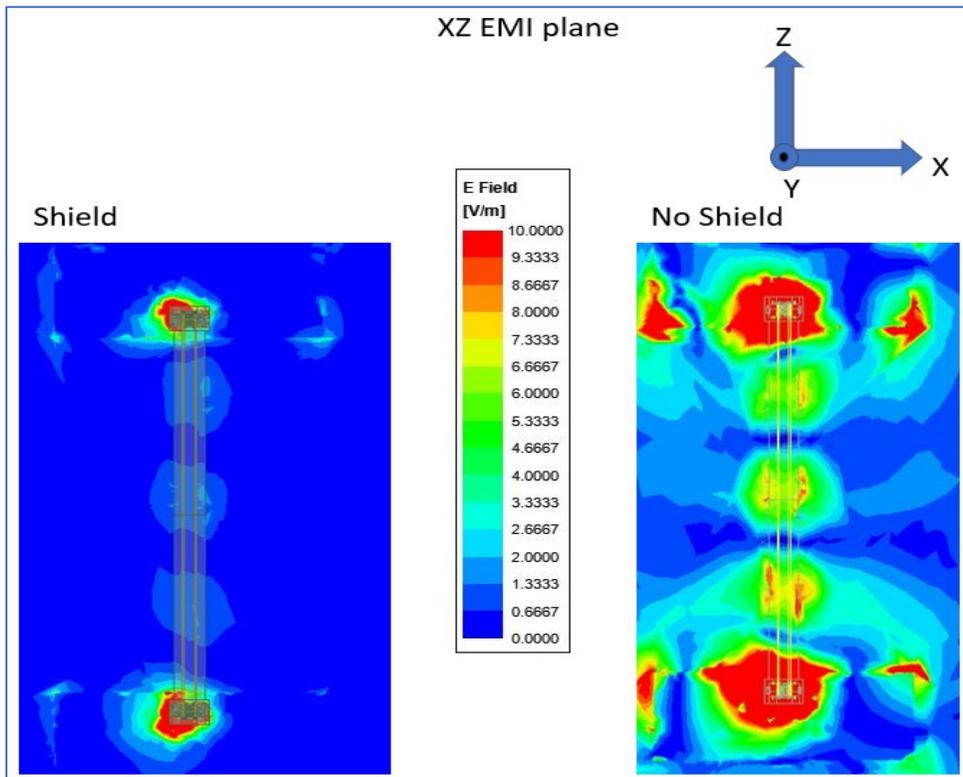


图 15 - 5G 超小间距连接器, XZ EMI 平面辐射图

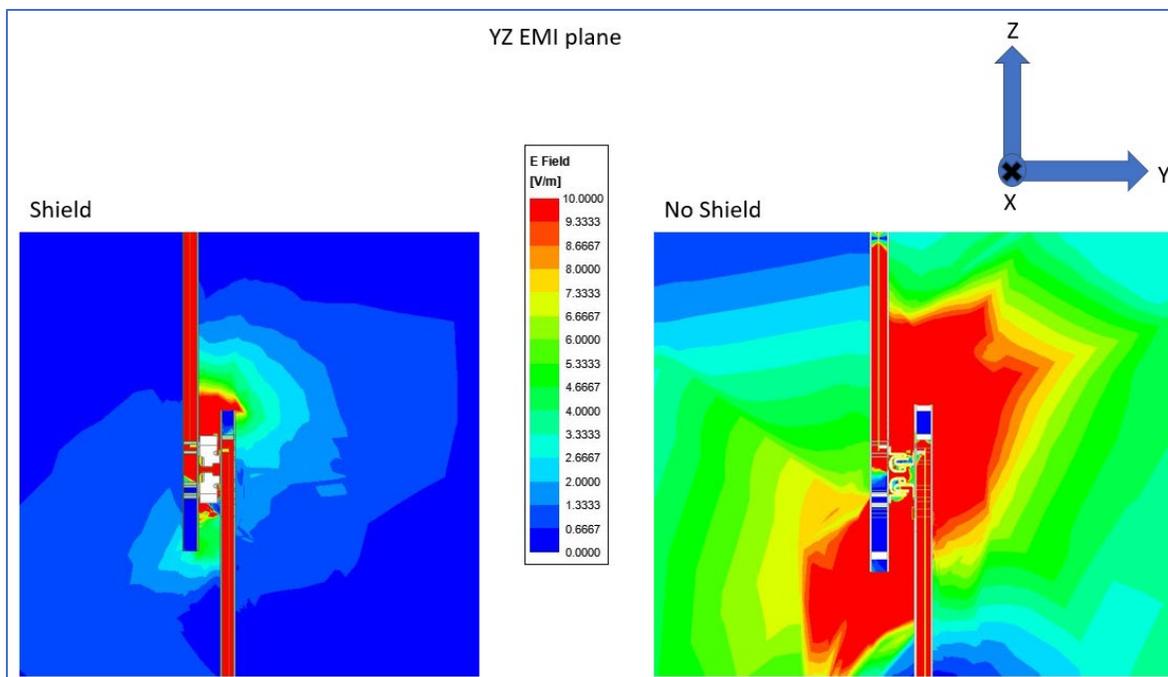


图 16 – 适用于 5G 的超小间距连接器，YZ EMI 平面辐射图

Maximum E-Field Radiated Emissions, SE (dB)			
最大 e 场辐射发散，SE (dB)			
Frequency 频率(GHz)	NOVASTACK®		Shielding Effectiveness 屏蔽性能 (dB)
	NOVASTACK® 35-HDN (Unshielded) (非屏蔽式) (dBuV/m)	35-HDN (Shielded) (屏蔽式) (dBuV/m)	
1	-48.8	-64.9	16.1
3	-39.0	-53.4	14.4
5	-27.2	-43.4	16.2
6	-19.8	-36.7	16.9
7.5	-19.5	-34.4	14.9
10	-13.4	-30.8	17.4

表 2 -模拟屏蔽与非屏蔽，辐射屏蔽效能

## 类别 3 结果

EVAFLEX®5-HD FFC/FPC 连接器，柔性电路，高速，低背(2 毫米高度)，小间距(0.5 毫米)HFSS 分析

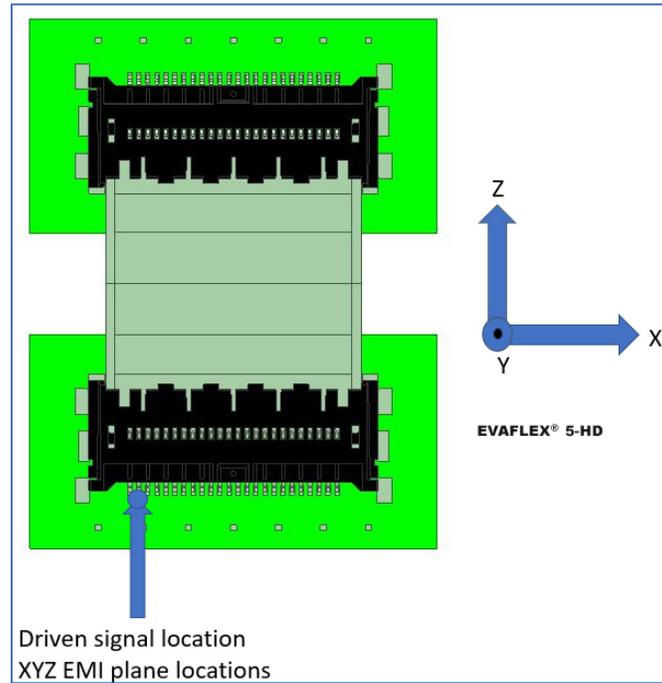


图 17 - Flex 电路连接器，驱动信号模拟设置

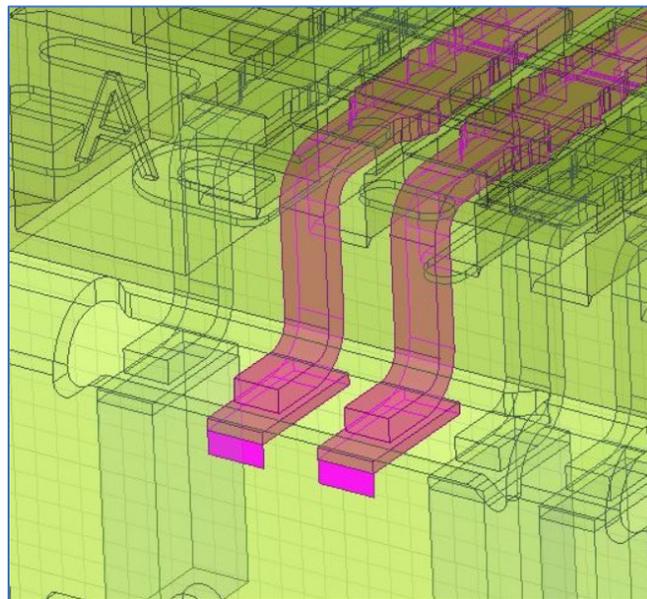


图 18 - Flex 电路连接器，端口分配

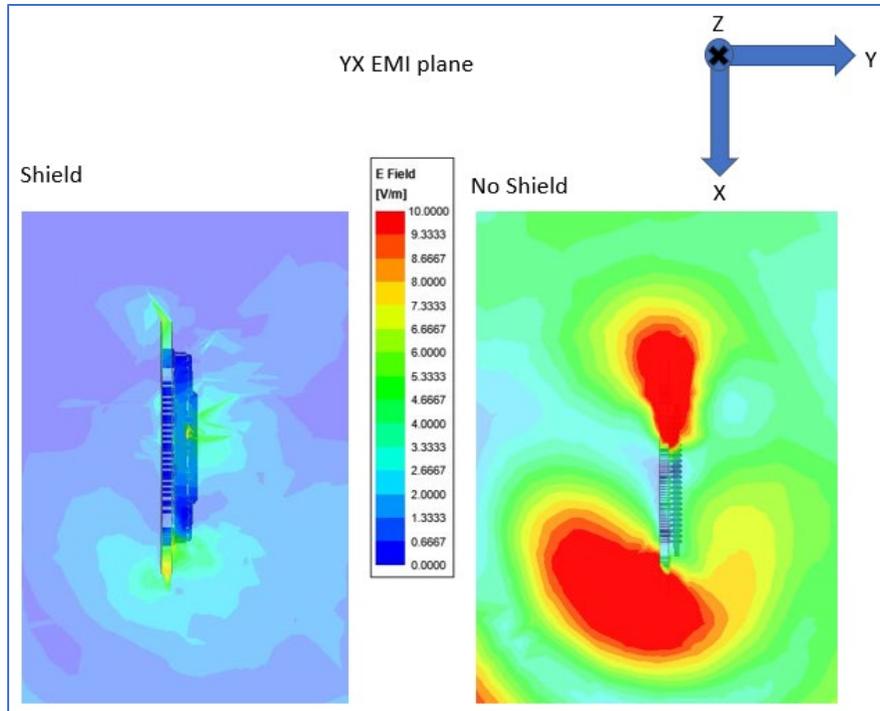


图 19 - Flex 电路连接器, YX EMI 平面辐射模式

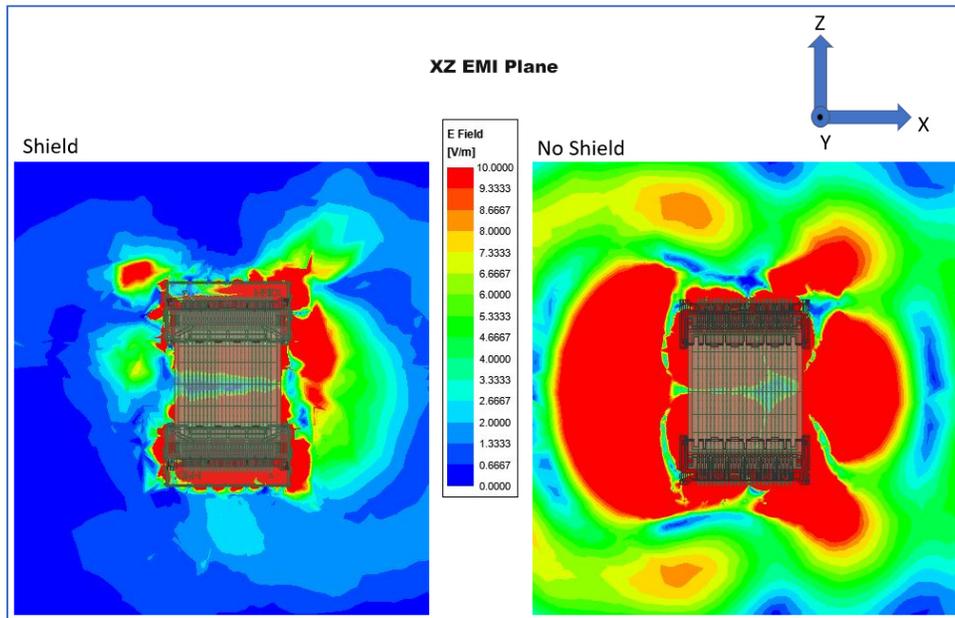


图 20 - Flex 电路连接器, XZ EMI 平面辐射模式

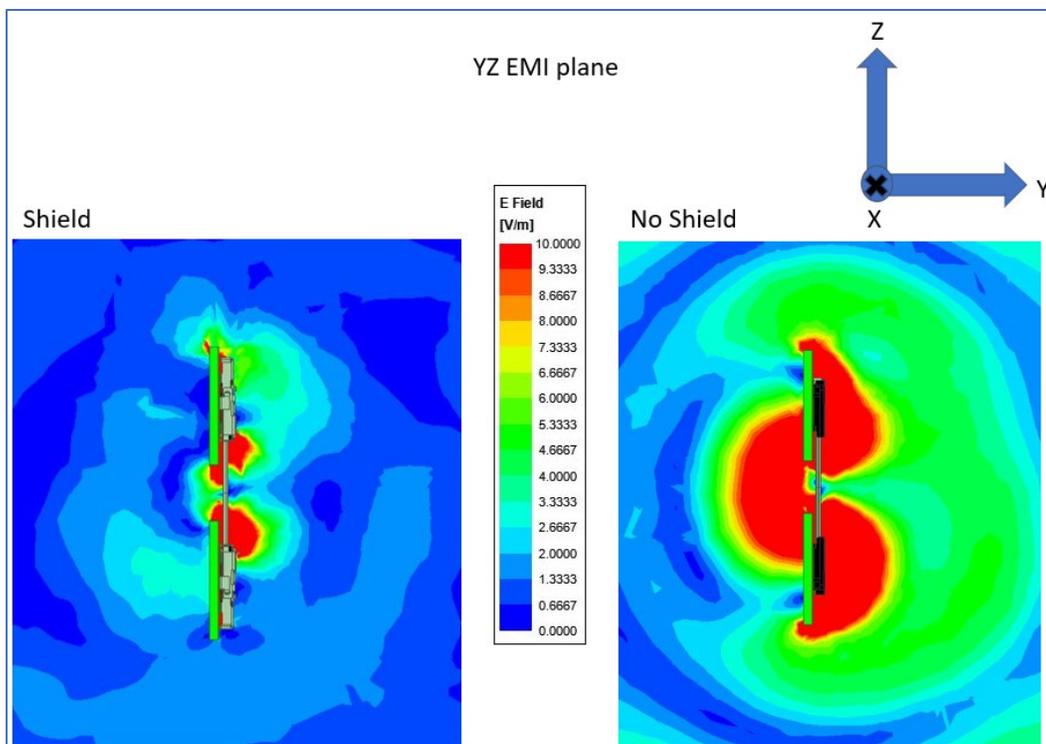


图 21 -柔性电路连接器, YZ EMI 平面辐射图

Maximum E-Field Radiated Emissions, SE (dB)			
最大 e 场辐射发射, SE (dB)			
EVAFLEX® 5-HD			
Frequency 频率(GHz)	(Unshielded) (非屏蔽式) (dBuV/m)	EVAFLEX® 5-HD (Shielded) (屏蔽式) (dBuV/m)	Shielding Effectiveness 屏蔽性能 (dB)
1	-58.0	-98.6	40.6
3	-27.8	-49.4	21.6
5	-0.9	-40.6	39.7
6	-17.1	-26.5	9.4
7.5	-7.3	-27.9	20.6
10	-4.7	-19.9	15.2

表 3 -柔性电路, 屏蔽与非屏蔽, 辐射屏蔽效果

## 类别 1,2,3 连接器的比较

辐射屏蔽效能净改善(dB)*			
(*正数表示屏蔽改善)			
频率 (GHz)			
Frequency (GHz)	MHF® 7S Micro RF Coaxial	NOVASTACK® 35-HDN Ultra-Fine Pitch	EVAFLEX® 5-HD FFC/FPC
1	29.7	16.1	40.6
3	30.4	14.4	21.6
5	n/a	16.2	39.7
6	32.5	16.9	9.4
7.5	31.3	14.9	20.6
10	28.8	17.4	15.2

表 4 -极细同轴线、超小间距和柔性电路连接器的比较:屏蔽与非屏蔽、辐射屏蔽效果

## 第二部分

### 最大电场辐射泄漏分析

(第 1 部分延伸至元器件 选择的结果)

从表 4 可以看出，三种带有屏蔽盖设计的连接器的屏蔽性能在 1 GHz 到 10 GHz 频段都有了很大的提高。在第 2 部分中，将进一步利用这些最大辐射 E 场结果来量化候选互连组件的最大输入功率，确认该组件是否仍符合 FCC 规范。

**简化的假设。** 为了保守估计适用于组件的最大允许功率，有一个可靠的简化假设。这种极为保守的假设是，应用到连接器上的所有电源都可以向外发生辐射。在实际情况下，只有一小部分“输入功率”可能会辐射出去，大部分的电力将沿着传输线传递给预期的设备负载。

### 最大 E 场辐射(屏蔽连接器的辐射)如何与根据 FCC OATS 或 3m 室内符合性测试方法中测量的电场(标准化到 3 米)相关

为了测量最大电场辐射，必须使用常用的天线特性方法来确定屏蔽连接器的辐射模式。在实际测量系统中，屏蔽连接器的辐射排放可以(有很大希望是)低于常规测量设置的背景噪声水平。降低频谱分析仪的分辨率带宽(RBW)，或视频带宽(VBW)，和/或降低频率跨度，这些都需要伴随增加扫描时间，可以充分降低噪声底限，以允许检测来自 DUT 的泄漏信号。然而，这也将大大增加整个 $\theta$ 角和 $\phi$ 角的测试时间。

在获得辐射 e 场泄漏数据后，可以很容易地计算在实际使用情况下给定输入电源连接器的最坏情况 e 场辐射。[当然，这没有考虑到使用屏蔽罩、密封垫或其他 EMI 缓解措施所产生的额外屏蔽效果]。也请参考前面所作的简化假设。

利用 ANSYS HFSS 全波场求解器模拟得到了最大电场辐射。将连接器(DUT)作为未知天线处理可获得最大的 e 场发射值。方程 1 显示了连接器最大辐射( $Leakage_{dut}$ )、DUT 的输入功率( $P_{in}$ )和等效全向辐射功率(EIRP)之间的关系。

### 方程式 1:

$$EIRP = P_{in} + Leakage_{dut}$$

其中

$$P_{in} = \text{Input Power} \quad (\text{输入电源到 DUT, 仿真时设置})$$

而

$$Leakage_{dut} = \text{Connector (DUT) Max E\_Field Radiation} \quad (\text{来自 HFSS E-Field 仿真})$$

结合  $P_{in}$  和漏量使用公式 1，产量

**EIRP = 泄漏信号被 DUT 的最大泄漏辐射瓣集中到较小区域时的输出功率。**

将这个 EIRP 代入方程 2 中的 P，得到在  $r = 3m$  处的模拟合成电场强度。

### 方程式 2

$$(a) \quad E_{Field}(r = 3m) = \frac{1}{3} \sqrt{30P}$$

$$(b) \quad E_{Field}(r = 3m) = \frac{1}{3} \sqrt{30EIRP}$$

总结: 模拟产生了最大泄漏互联系统中的连接器(DUT)泄漏 ( $Leakage_{dut}$ ), 这个  $Leakage_{dut}$  和  $P_{in}$  (在模拟中设置)使用 Eq. 1 来给出从 DUT 辐射的最大输出功率(EIRP)。将该 EIRP 插入 Eq. 2, 给出  $r=3m$  时的预期最大 e 场(用于模拟 FCC 符合性测试结果)。

但我们想知道的是, 我们是否能确定哪一个连接器达到了最大泄漏, 预期达到或超过 FCC 的辐射排放限制。为了确定这一点, 可以结合式(1)和式(2b)求解出在 FCC 3m 试验室内仍能满足辐射场强限制的 DUT 的最大输入功率。

### 方程式 3

$$EIRP = 10 * \log \left[ \frac{(3E_{limit})^2}{30} \right] = P_{in} - Leakage_{dut}$$

其中

场强(500  $\mu V/m$ , 频率  $\geq 960$  MHz)的 FCC 极限

$P_{in}$  是 DUT 的输入电源

$Leakage_{dut}$  是 DUT 的最大设备泄漏量

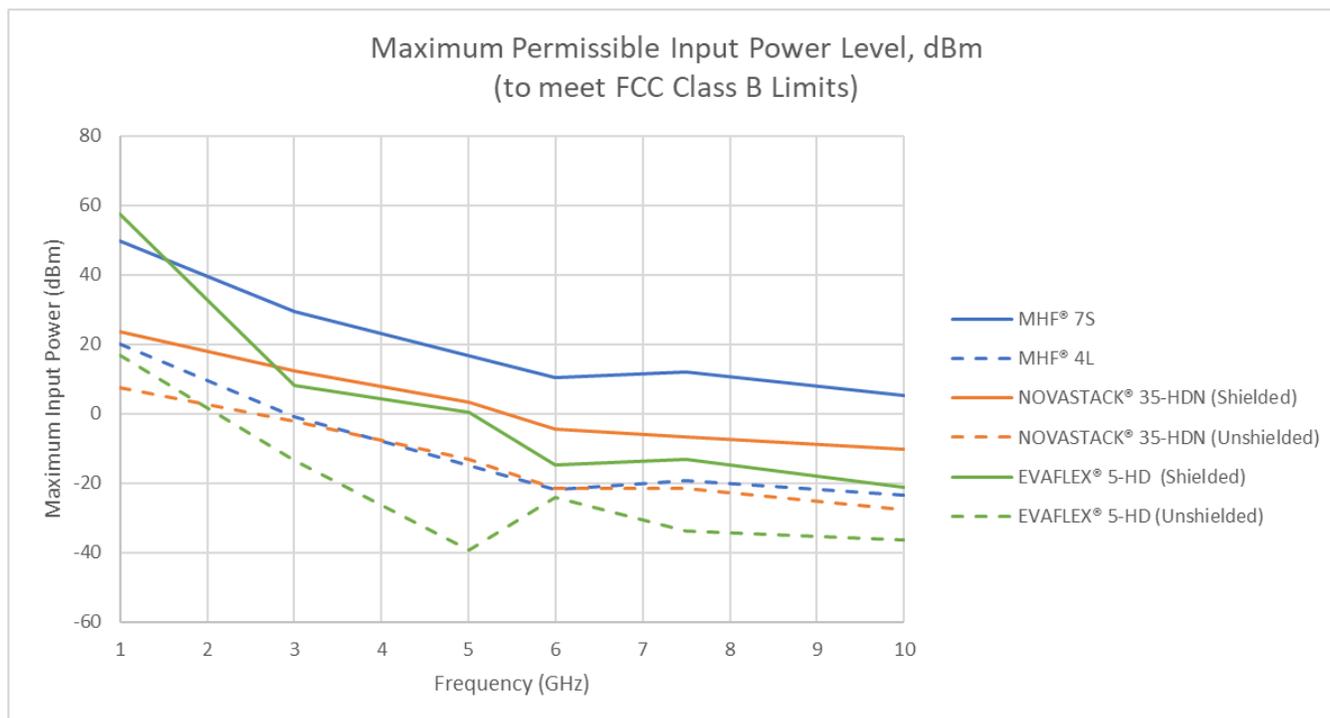
取 FCC ( $E_{limi}$ )最大极限值 500  $\mu V/m$  为式 4, 求出  $(P_{in})^{max}$

### 等式 4:

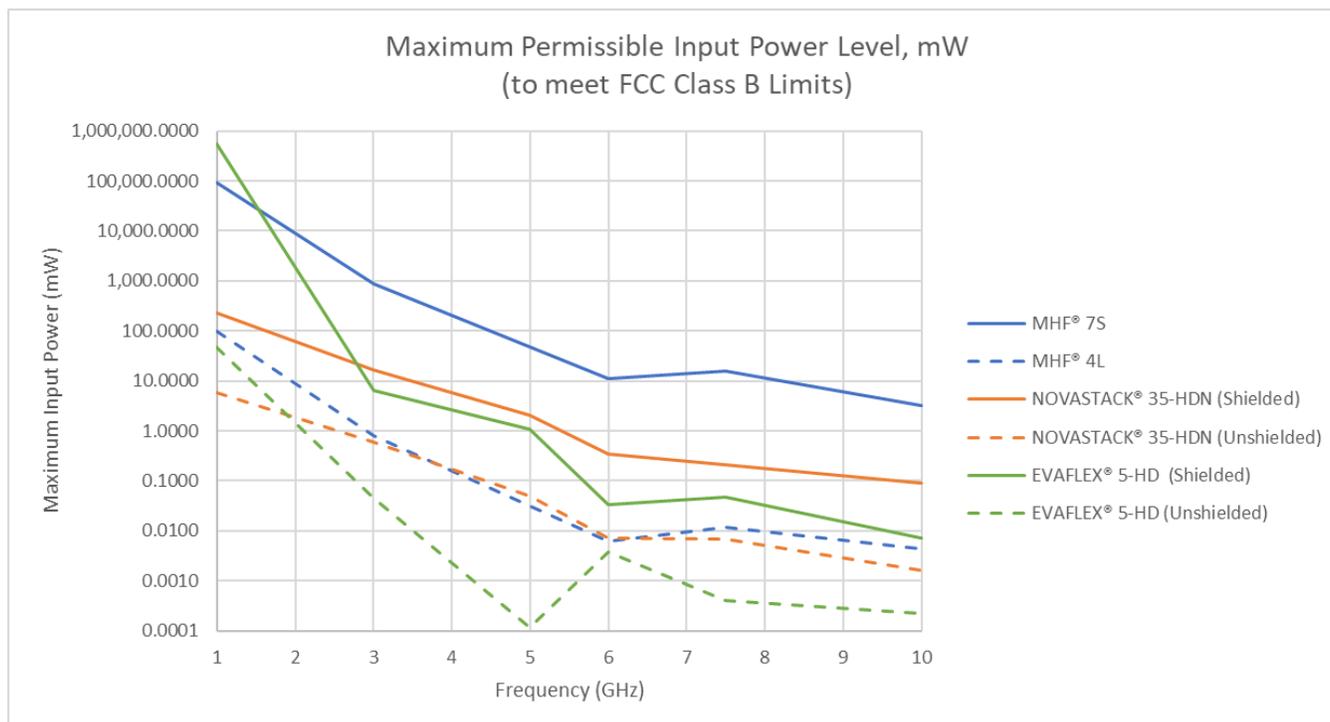
$$P_{in}^{max} \leq -41.2 - Leakage_{dut} \quad (\text{in dBm})$$

通过 ZenShield®系列连接器的模拟到最大 e 场泄漏的优势, 并代入方程 4, 这些 DUT 仍有望通过 FCC 3m 腔室测试的最大允许输入功率级别可以绘制出来。图 1 和图 2 分别显示以 dBm 和 mW 方式计算下的最大允许输入功率。

### 折线图 1



### 折线图 2



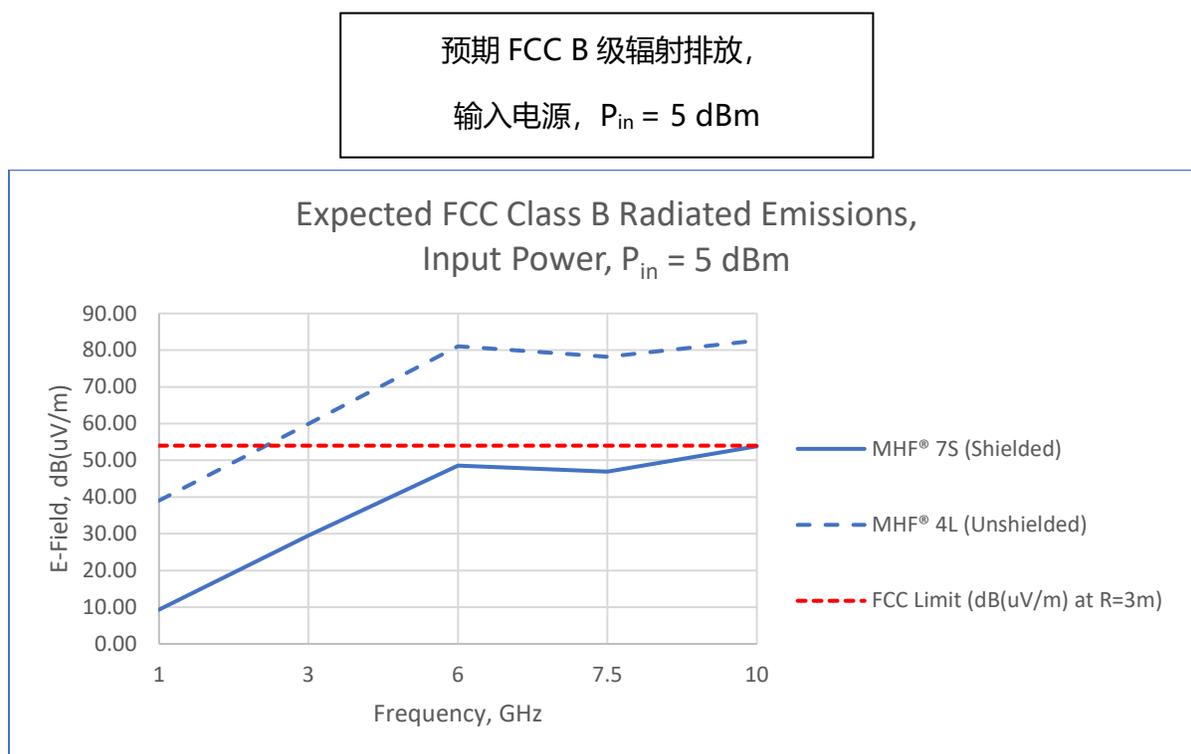
从图 1 和图 2 中，确定了最坏情况(最低允许)的功率级别(通常发生在 10 GHz)。这是一个正弦信号在指定频率将产生辐射 e 场( $r=3m$ )的功率级，不超过 FCC 的辐射排放限值。对于三种屏蔽 ZenShield®连接器，最大允许功率水平列于表 5。

ZenShield® 连接器	频率 (GHz)	最大允许输入功率 dBm(满足 FCC 限制)
MHF® 7S	10	5
NOVASTACK® 35-HDN (Shielded) (带屏蔽)	10	-10.5
EVAFLEX® 5-HD (Shielded) (带屏蔽)	10	-22

表 5 -最大允许功率级别

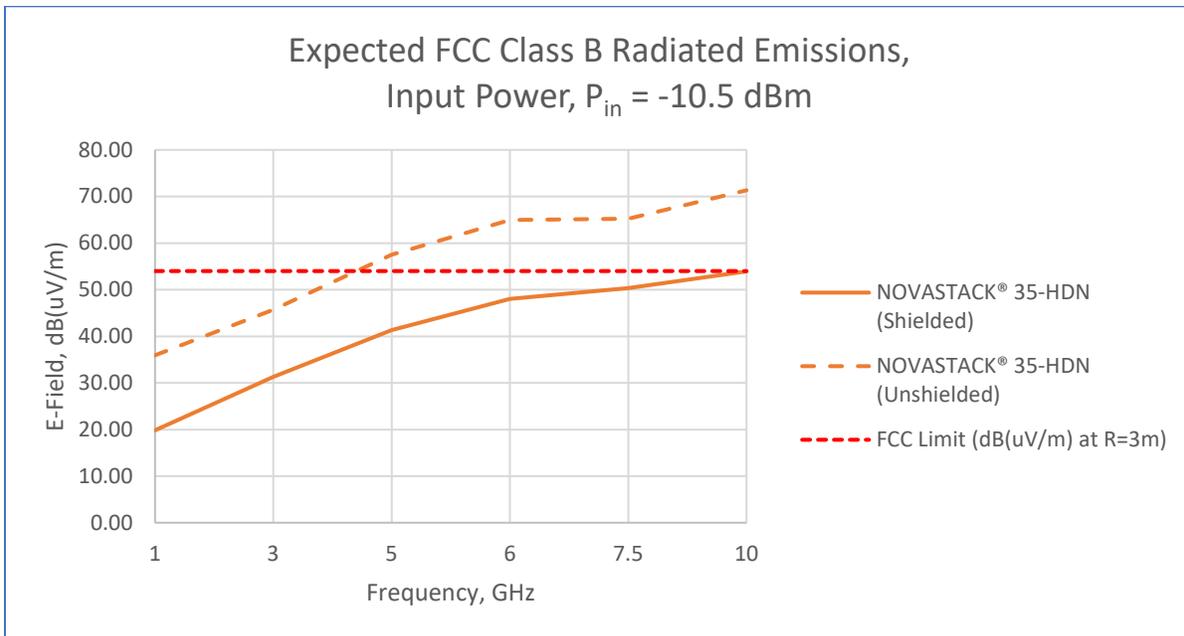
每个 DUT 的最大输入功率根据表 5 所列的值确定。结果边际图分别在 MHF®7S, NOVASTACK®35-HDN 和 EVAFLEX®5- hd 连接器(屏蔽/非屏蔽)的图 3,4,5 中生成。

### 折线图 3



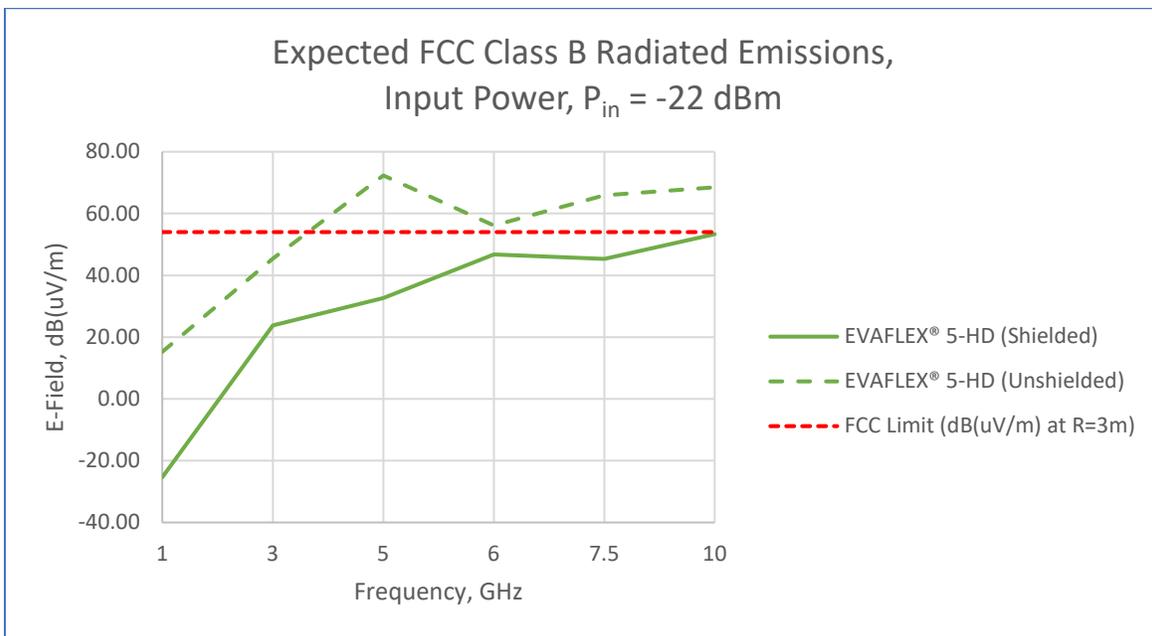
折线图 4

预期 FCC B 级辐射排放，  
输入电源,  $P_{in} = 10.5 \text{ dBm}$



折线图 5

预期 FCC B 级辐射排放，  
输入电源,  $P_{in} = 22 \text{ dBm}$



## 结论

因此，这是一个有趣的数据，但有人可能会问，“如果我们使用 ZenShield®连接器，如果输入功率限制在图 3-5 建议的最大  $P_{in}$ ，我们的产品能通过 FCC 合规测试吗？”这个问题的答案比较微妙。由于 FCC 的符合性测试是一个完整的系统测试，我们不能想当然的认为使用单个组件就能保证整个系统通过辐射排放的法规符合性标准。

然而，应该可以说，如果他们的系统未能通过 FCC 符合性测试，并且如果内部功率水平没有超过在模拟中使用的功率水平( $P_o \leq P_{max}$ )，那么系统不应该是由于使用这种特定的 ZenShield®组件而失败。我们相信，本设计指南是一个有用的起点，以协助设计人员选择合适的毫米波或千兆位互连元件。

请访问 I-PEX 网站了解其他 ZenShield®连接器产品。对于物空间小、容量大、高频的应用，成本、空间、带宽、性能和辐射限制都必须满足和遵守的您来说，ZenShield®系列连接器将会是一个非常适合的应用的解决方案。

[www.i-pex.com](http://www.i-pex.com)

版权所有 © I-PEX Inc. 2020. 保留所有权利。

I-PEX, MHF, NOVASTACK, 和 EVAFLEX I-PEX 公司的注册商标。本文件中不含®或 TM 商标的商标归各自公司所有。本文内容如有更改，恕不另行通知。I-PEX 公司不承担任何责任或义务更新这些文件上的信息。在您使用我们的产品之前，请务必阅读并理解最新的“使用注意事项”和“使用说明书”。如果您在未遵守使用注意事项的情况下使用我们的产品，我们将不对任何缺陷、损坏或问题负责。如果您将我们的产品用于任何需要超高可靠性和安全性的应用，或涉及人类生命的应用(如核电控制、航空航天、运输、医疗设备、安全设备等)，请随时与我们的销售代表联系。

I-PEX

