

# 设计早期对 EMC 的考虑

作者: Fred German , FlomericsInc

随着产品复杂性和密集度的提高以及设计周期的不断缩短，在设计周期的后期解决电磁兼容性（EMC）问题变得越来越不切合实际。在较高的频率下，你通常用来计算 EMC 的经验法则不再适用，而且你还可能容易误用这些经验法则。结果，70% ~ 90% 的新设计都没有通过第一次 EMC 测试，从而使后期重设计成本很高，如果制造商延误产品发货日期，损失的销售费用就更大。为了以低得多的成本确定并解决问题，设计师应该考虑在设计过程中及早采用协作式的、基于概念分析的 EMC 仿真。

较高的时钟速率会加大满足电磁兼容性需求的难度。在千兆赫兹领域，机壳谐振次数增加会增强电磁辐射，使得孔径和缝隙都成了问题；专用集成电路（ASIC）散热片也会加大电磁辐射。此外，管理机构正在制定规章来保证越来越高的频率下的顺应性。再则，当工程师打算把辐射器设计到系统中时，对集成无线功能（如 Wi-Fi、蓝牙、WiMax、UWB）这一趋势提出了进一步的挑战。

## 传统的电磁兼容设计方法

正常情况下，电气硬件设计人员和机械设计人员在考虑电磁兼容问题时各自为政，彼此之间根本不沟通或很少沟通。他们在设计期间经常使用经验法则，希望这些法则足以满足其设计的器件要求。在设计达到较高频率从而在测试中导致失败时，这些电磁兼容设计规则有不少变得陈旧过时。

在设计阶段之后，设计师制造原型并对其进行电磁兼容性测试。当设计中考虑电磁兼容性太晚时，这一过程往往会出现种种 EMC 问题。对设计进行昂贵的修复通常是唯一可行的选择。当设计从系统概念设计转入具体设计再到验证阶段时，设计修改常常会增加一个数量级以上。所以，对设计作出一次修改，在概念设计阶段只耗费 100 美元，到了测试阶段可能要耗费几十万美元以上，更不用提对上市时间的负面影响了。

## 电磁兼容仿真的挑战

为了在实验室中一次通过电磁兼容性测试并保证在预算内按时交货，把电磁兼容设计作为产品生产周期不可分割的一部分是非常必要的。设计师可借助麦克斯韦（Maxwell）方程的 3D 解法就能达到这一目的。麦克斯韦方程是对电磁相互作用的简明数学表达。但是，电磁兼容仿真是计算电磁学的其它领域中并不常见的难题。

典型的 EMC 问题与机壳有关，而机壳对 EMC 影响要比对 EMC 性能十分重要的插槽、孔和缆线等要大。精确建模要求模型包含大大小小的细节。这一要求导致很大的纵横比（最大特征尺寸与最小特征

尺寸之比),从而又要求用精细栅格来解析最精细的细节。压缩模型技术可使您在仿真中包含大大小小的结构,而无需过多的仿真次数。

另一个难题是你必须在一个很宽的频率范围内完成 EMC 的特性化。在每一采样频率下计算电磁场所需的时间可能是令人望而却步的。诸如传输线方法 (TLM) 等的时域方法可在时域内采用宽带激励来计算电磁场,从而能在一个仿真过程中得出整个频段的数据。空间被划分为在正交传输线交点处建模的单元。电压脉冲是在每一单元被发射和散射。你可以每隔一定的时间,根据传输线上的电压和电流计算出电场和磁场。

EMC 仿真可得出精确的结果。图 1 对装在一块底板上的三种模块配置 (即 1 块、2 块和 3 块模块) 的辐射功率计算值 (红色) 与辐射功率实测结果 (蓝色) 进行了比较,(参考文献 1)。辐射功率计算值以 1nW 为基准,单位为 dB。你可以把多个模块配置的谐振峰值位置存在的小差异归因于在测量中难以将多个模块精确对准。值得注意的是,由于三种配置的输入功率都相同,所以辐射功率的谐振峰值和幅度的差异仅仅是由于系统布局不同引起的。

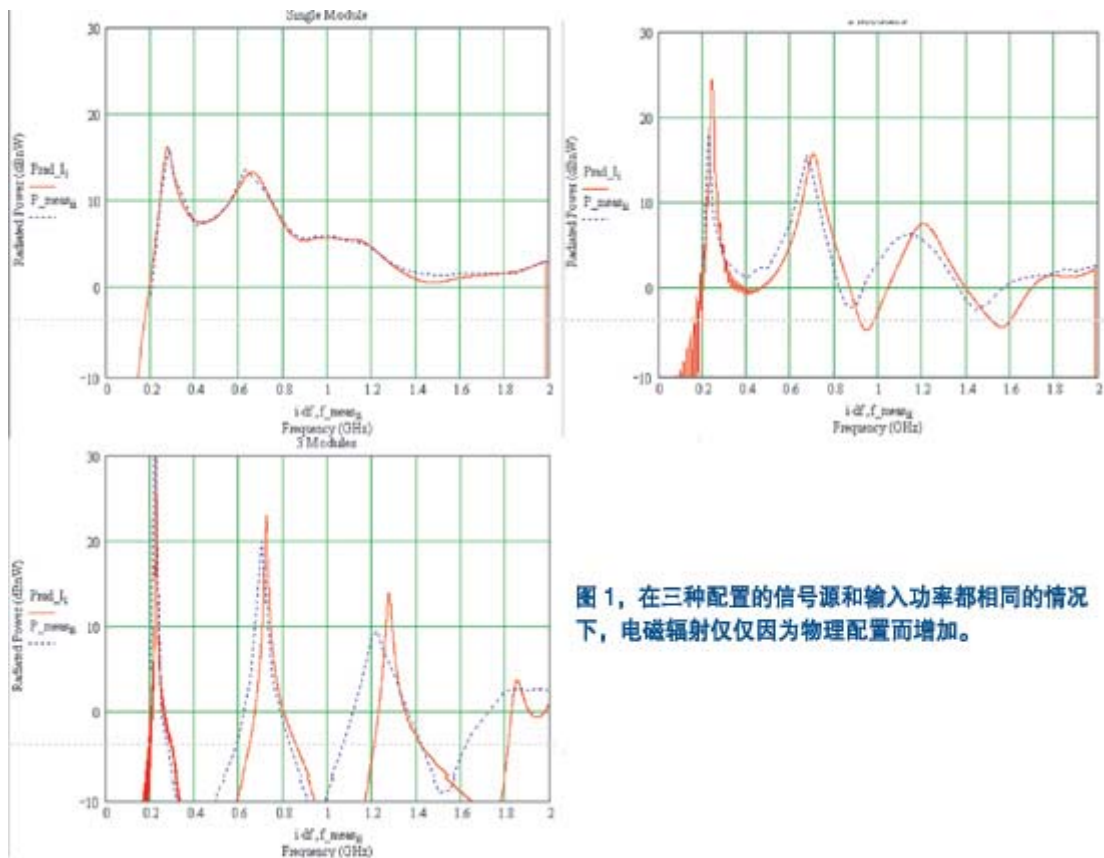


图 1, 在三种配置的信号源和输入功率都相同的情况下,电磁辐射仅仅因为物理配置而增加。

### 潜在应用领域

EMC 仿真可用于检测元件和子系统,如散热器接地的辐射分布对频率特性影响,也可用于评价接地技术、散热器形状的影响及其它因数。此外,你还可比较不同通风口尺寸与形状以及金属厚度的屏蔽效果。在该领域的最新应用中,有一项研究工作是对采用大口径通风口进行送风并通过放置两块背靠背间隔很小的板来达到屏蔽效果这种方法进行评估。

EMC 仿真也适用于系统级电磁兼容设计和优化，以便计算宽带屏蔽效果、宽带电磁辐射、3-D 远场辐射图、用来模拟转台式测量情况的柱形近场电磁辐射以及用以实现可视化，有助于确定电磁兼容热点位置的电流和电磁场分布。典型的系统级 EMC 应用有：确保最大屏蔽效果的机壳设计，机壳内元件分布位置的 EMC 效果评估，系统内外缆线耦合的计算以及缆线辐射效果的检测。EMC 仿真还有助于发现有害电磁波在机壳和子系统机理，如空腔谐振，穿过孔、插槽、接缝和其他机座开口处的电磁辐射，通过缆线的传导辐射，与散热器、其他元件的耦合，以及光学元件、显示器、LED 和其他安装在机座上的元件固有的寄生波导。

### 接头类型对 EMC 的影响

你可以使用简单而快速建立的机壳模型来进行接缝配置方面的设计折衷。图 2 对对接接头产生的辐射与重叠机壳接缝产生的辐射作出评估。通过比较相对的屏蔽水平，工程师就可以根据机壳的 EMC 预算和实现特定设计配置的成本来做出决定。仿真过程中增加内部元件仅仅对仿真时间产生很小的影响，所以设计师可以方便地在引起插槽谐振间耦合、谐振腔模式以及与内部结构的交互作用的真实环境下对接缝屏蔽效果进行评估。插槽泄漏的设计规则不适用于以上几个因素，会导致成本高昂的过设计和欠设计。

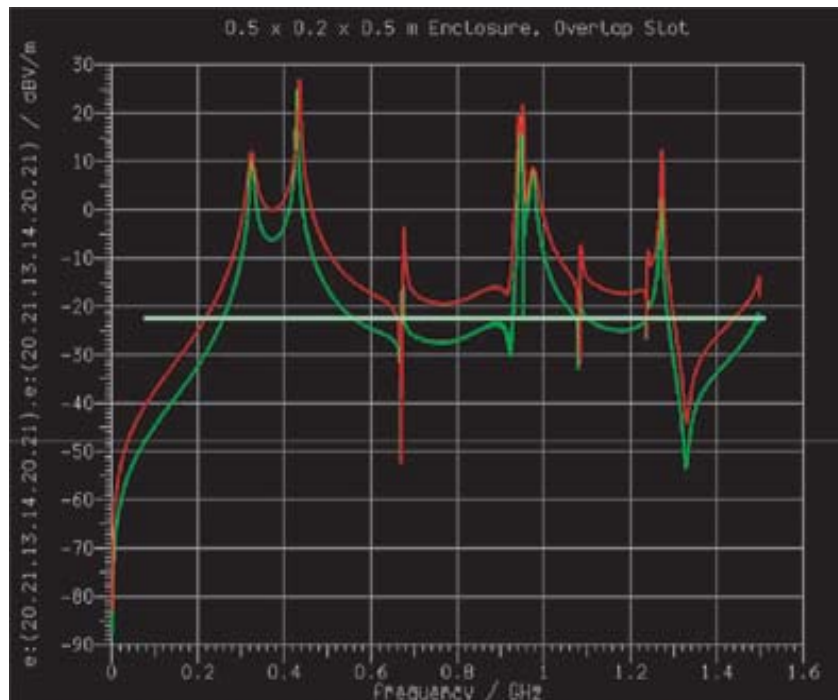


图 2，比较接头对 EMC 产生的影响——本例中为对接接头（红迹线）和重叠接缝（绿迹线）——有助于工程师做出明智的设计决策。

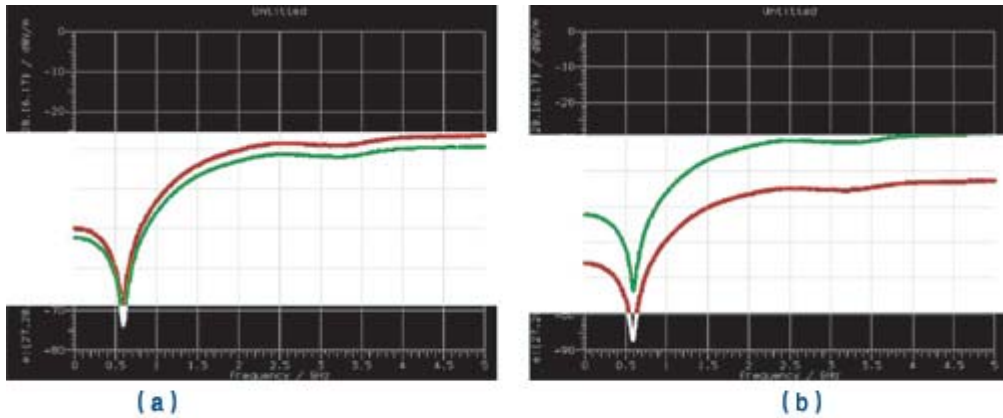


图 3, EMC 仿真的一种典型应用是根据厚度 (a) 和孔形状 (b) 对通风板屏蔽效果进行评估。在 a 中, 绿迹线代表的通风板比红迹线代表的厚。在 b 中, 绿迹线代表方形孔, 红迹线代表圆形孔。

EMC 仿真的典型应用是评估通风板的屏蔽效果。现在虽然有防止 EMC 泄漏的通风板设计规则, 但 EMC 仿真能精确地预测比较特殊的结构, 如具有大洞的背靠背穿孔板、波导阵列等, 并兼顾温度和成本约束条件。图 3 示出了具有圆孔或方孔的不同厚度通风板的屏蔽效果的计算结果。该图展示了这些通风板厚度 (左) 和孔形状 (右) 的屏蔽效果。

### 散热器辐射的评估

图 4 所示的 EMC 仿真应用可确定一个散热器的电磁辐射。在这一简单模型中, 一个就在该散热器下面的宽带信号源激励散热器, 显示了散热器与其所连接的 IC 之间的电磁耦合作用。该图示出了三种配置的辐射功率谱。很明显, 辐射电平与几何形状和频率有关。虽然较小的散热器接地可降低频段低频部分的辐射, 但会使频段中频部分的辐射增大。

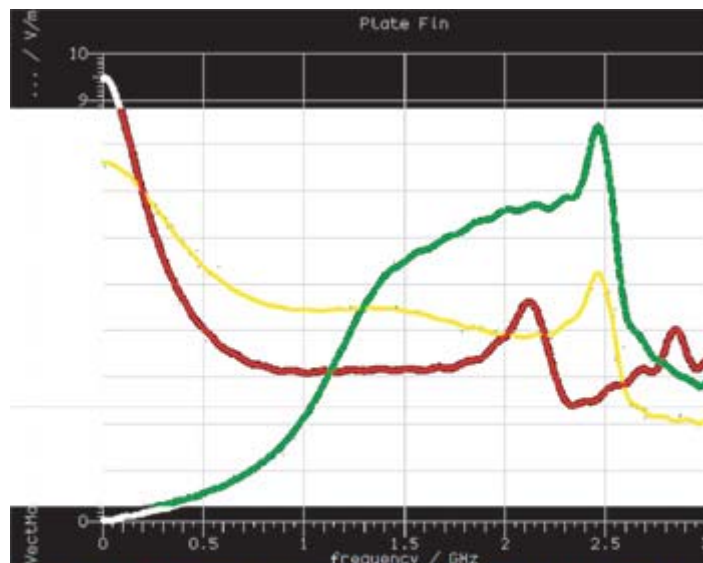


图 4, 对小而固定的未接地散热器 (黄迹线)、小而接地的散热器 (绿迹线) 和大而不固定的散热器 (红迹线) 三者的辐射功率谱进行的评估表明, 辐射电平与几何形状和频率有关。

### 解决电缆耦合问题

图 5 示出了用 EMC 仿真用来测定系统级电缆耦合的情况。EMC 仿真工具的几何结构由一个 19 英寸机架内的三个网络集线器组成。一条四线带状电缆将上下两个集线器中的印制电路板与中间集线器连接起来。中心集线器含有该模型中的唯一 EMC 信号源。EMC 仿真工具计算出由中间集线器耦合到上部集线器印制电路板连接线的电流大小。耦合电流在 600MHz 和 800 MHz 两个频率点显示出两个强谐振。解决这类问题的一种常用方法是在受到影响的电缆上增强滤波功能，然后再借助仿真测定此影响。下边的曲线表明，增加一个低通滤波器可减小谐振频率上耦合电流的幅度，但却不能将其消除。这是一种“应急的”方法，因为它没有从根本上解决问题。

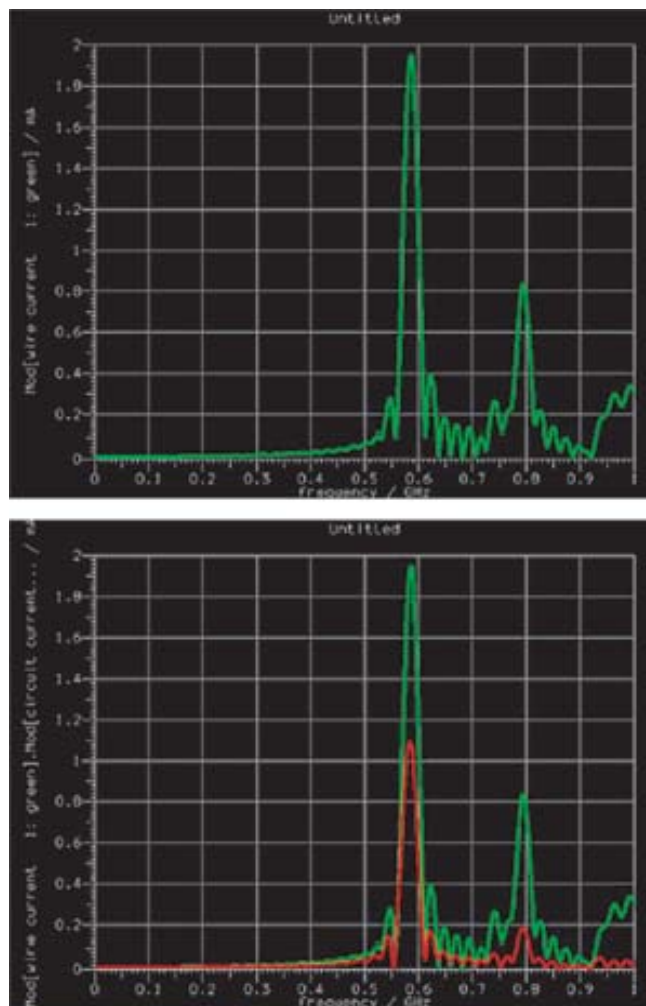


图 5，滤波器可使耦合电流在 600 MHz 下降低 50%，在 800 MHz 下降低 75%。

EMC 仿真可使电缆耦合应用的内在物理过程一目了然，找到问题的根源。在 600MHz 测定中央集线器内部的电场分布，便可确定电场热点，再由电场热点确定在电缆附近产生高电场的空腔谐振。用一块金属隔板把集成器隔离起来，就可有效抑制空腔谐振模式并消除耦合（图 6）。

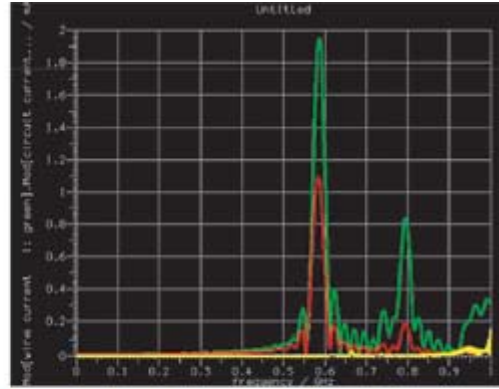
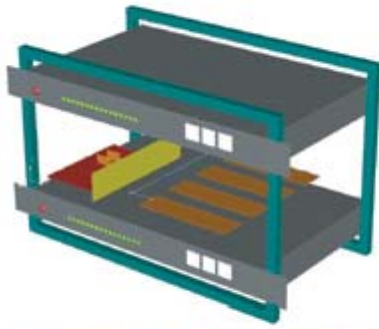


图 6, 增加金属隔板 (a) 可从根本上解决电缆耦合的问题。绿迹线代表原始配置; 红迹线为增加滤波器后的耦合电流; 黄迹线表明, 隔板能抑制产生电流耦合的谐振现象, 从而完全消除耦合电流 (b)。

您可用 EMC 仿真来确定和解决因温升而修改设计所引起的问题。建立在企业存储系统的控制器节点 (基本上是奔腾双处理器计算机) 模型上的这一技术就是一个例子。在将这一设计制作成硬件之后, 就用一些热管代替原来标准的奔腾芯片散热器, 这些热管的占用面积与散热器相同, 但高度高一些, 所用散热片是水平的, 而不是垂直的。

一个宽带仿真工具可计算出系统的电磁辐射 (图 7)。在这一实例中, 工程师之所以对由系统中一个 120MHz 振荡信号引起的辐射进行隔离感兴趣, 乃是因为测量结果表明存在一个问题。因此, 在计算宽带响应之后, 工程师在后处理中使用间接激励来提取对所需源信号的响应, 从而产生图中的离散谐波。这一辐射在 120MHz 振荡频率的主谐波频率上增加约 40dB。很显然, 这样一种不会产生有害的热设计修改却会对系统 EMC 顺应性产生如此大而吓人的影响。

发现问题根源后, 您就可以探索经济实惠的解决方案。在本例中, 将导热管顶部与机壳盖之间连接一根地线消除容性耦合路径, 就是一种低成本的极好方法。具体的做法是, 将一小块涂有导电胶的防电磁干扰垫片贴于热管顶部散热片上, 这样与机壳顶盖接触就会挤压垫片, 形成一根接地线。图 8 示出了电磁辐射图, 其中包括热管接地后的结果。这种方法使得辐射与原来的情况实际上相同, 从而在对辐射不产生负面影响的情况下改善了热性能。

在设计过程中尽早采用 EMC 仿真, 可在制造原型前研究和预测关键的 EMC 现象, 从而在满足 EMC 要求和提高屏蔽效果两方面优化电子产品设计。与先制造原型, 再从 EMC 角度优化产品的做法相比, 现代仿真工具可使设计师评估更多的设计, 达到前所未有的水平。此外, 值得注意的是, 你不可以孤立地进行 EMC 设计, 因为由于 EMC 原因而进行设计修改常常会影响其他设计问题, 如热管理。因此, 有意义的是, EMC 仿真工具可使设计师综合考虑 EMC 和其他重要设计约束条件, 以使系统总成本和系统性能最佳。

### 参考文献

1. Li K et al *FD-TD Analysis of Electromagnetic Radiation from Modules-on-Backplane Configurations* IEEE Transactions on EMC August 1995.