

新型电磁兼容仿真与雷击仿真等技术及应用

New electromagnetic compatibility simulation and lightning simulation and other technologies and applications

叶云燕

摘要: 本文以新型仿真理念与新业态为引导, 重点对电磁兼容仿真与雷击仿真等技术及应用举措作研讨。尤其对仿真电磁兼容仿真中的挑战、仿真是电磁兼容过程中的驱动及与之相关的雷击仿真中所涵盖环境电磁效应及各无线设备的电磁发射作剖析。

关键词: 仿真, 电磁兼容, 辐射磁场

Abstract: Guided by the new simulation concept, this paper focuses on electromagnetic compatibility simulation and lightning simulation and other technologies and application measures. In particular, the challenges in the simulation of electromagnetic compatibility, the driving factors in the simulation of electromagnetic compatibility, the environmental electromagnetic effects involved in the lightning simulation and the electromagnetic emission of wireless devices are analyzed.

Keywords: simulation, electromagnetic compatibility, radiation field

前言 - 仿真新业态新模式

如今已有向用户提供 CAE 仿真工具, 集成化的设计环境, 实现了结构、振动、热、流体、电磁场、电路、系统、芯片等多域多物理场及其耦合仿真, 满足各个行业的仿真需求, 帮助使用者提高设计效率和产品性能, 降低成本。而 CAE 就是用电脑代替人工去算一些复杂的公式, 通过电脑仿真得出结果。

由此可引导出仿真新模式与新业态, 典型的有耦合仿真与电磁场 - 电路耦合及多域仿真, 值此对耦合仿真与电磁场 - 电路耦合作简述。

* 其中耦合仿真包括

如今已有电磁场、电路、系统仿真产品问世, 这些产品仿真软件在集成的环境下使用, 从而实现多物理场解决方案。而热流体仿真产品也是进行耦合仿真的一种。

值此例举:

其一、电机多物理场耦合仿真, 它属于 CFD 耦合仿真将耦合仿真计算出的涡流损耗或者铁芯损耗输入流体仿真软件 CFD。从计算温度的分布以及映射的损耗。所谓 CFD 耦合仿真就是相当于“虚拟”地在计算机做实验, 用以模拟仿真实际的流体流动情况。可以认为 CFD 是现代

模拟仿真技术的一种。

其二、印刷电路板的热流体仿真

可以进行考虑到焦耳热的热流体仿真, 同时将分析出的温度分布结果可以得出考虑到温度相关的直流 IR 降结果。

其三、电源完整性分析 (CPS 协同仿真)

可以优化封装、整个印刷电路板 PDN 阻抗抽取、平面共振分析、IR 降分析、电容器。可以在考虑芯片内部特性的基础上抽取芯片—封装—系统整体 PDN 的阻抗, 还可以进行瞬态波形仿真。

* 电磁场 - 电路耦合

电磁场仿真中被抽取的高精度电路模型可以直接与完整电路仿真环境耦合。除高精度的波形分析外, 还可以进行各种各样的 EMI、EMC 仿真, 如连接器或电路板上的布绕导致的传导噪声或辐射噪声, 见下图 1 所示。

电源设备不仅需要满足 FCC (美国联邦通信委员会) 关于 EMC 的规定, 同时还需满足热要求, 以确保产品的稳定运行。仿真产品的仿真环境可以对多寸物理场进行耦合分析, 有助于详细了解各个物理场之间的相互作用。例如, 通过仿真可以了解热、电磁场因素所造成的系统整体

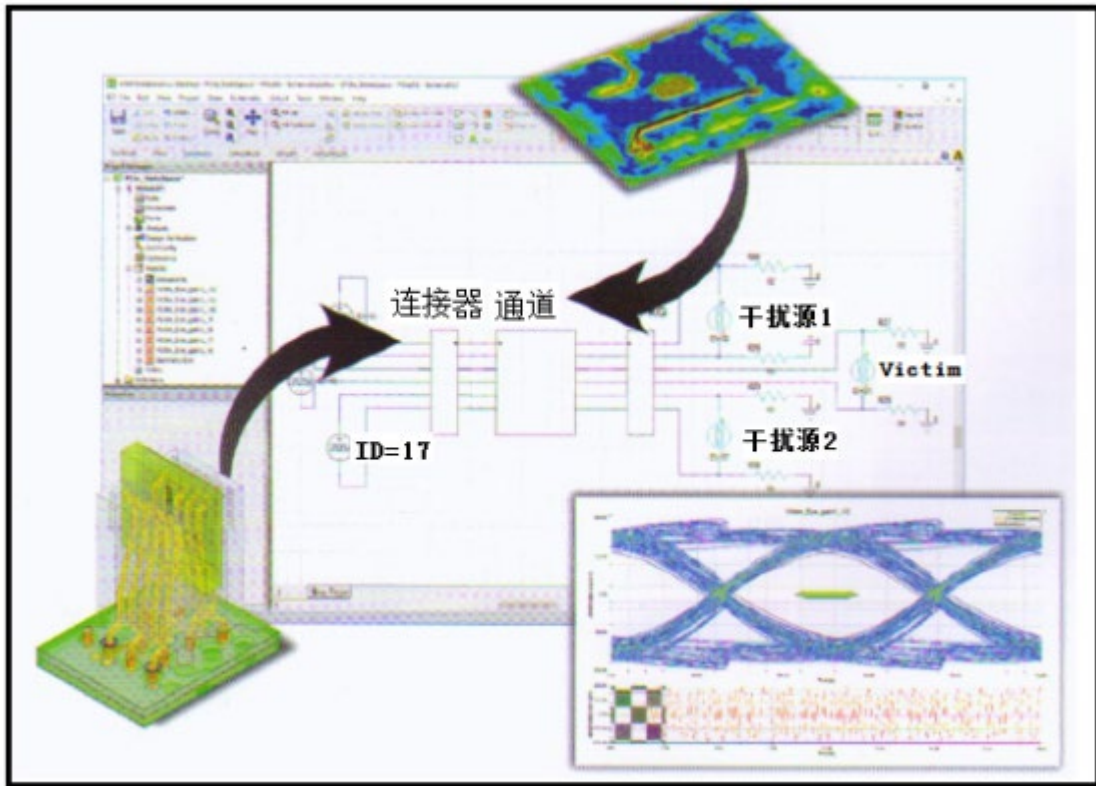


图 1 为连接器或电路板上的布绕导致的传导噪声或辐射噪声示意

电损耗,具体而言是:电源设备导体内部的电损耗导致发热,这会改变导体的电阻率,进而改变导体的电损耗。仿真产品之间的耦合分析,它能够立即显示和分析各个仿真结果,从而简化复杂的耦合分析,并提升其效率。

在设计阶段,电磁兼容仿真可以通过计算获得设备在电磁方面的行为,从而实现风险的预测,也可以在最初的原型设备没有出现之前就提出一些相应的解决方案。尽管仿真不会替代测试,但它会有助于预测出一些潜存的缺陷,也会有助于探索一些技术问题和新的概念。

对电子系统而言,为确保其功能正常,并在整个生命周期内保证系统的可靠性,电磁兼容和电磁干扰分析会起到一个非常重要的作用。而电磁仿真是帮助电子系统领域工程师掌握环境电磁影响及这些复杂电子系统的敏感度等问题讨论和研究的热点。

由上引导出仿真的新模式与新业态,而电磁场-电路耦合的理念是电子系统所关注的要点。值此本文以新型仿真理念为引导,重点对电磁兼容仿真与雷击仿真等技术及应用作研讨。尤其对电磁兼容仿真中的挑战、电磁兼容仿

真过程中的驱动及与之相关的雷击仿真中所涵盖环境电磁效应及各无线设备的电磁发射作剖析。

1 电磁兼容仿真

数值化和大量计算的普及是技术革新的前沿,并应用于互联网、5G 和汽车等领域。电子设备和系统在通信运行中在辐射发射的同时还会受到电磁干扰,随着更多规范和更严格要求的颁布,电磁兼容 (EMC) 变得前所未有的重要。

1.1 仿真是电磁兼容过程中的驱动

通常,会在产品或系统研发周期的末期进行电磁兼容测试。最大的风险在于如果在测试阶段才暴露意外的问题,从而被迫修改设计和导致产品发布的延误,直到取得认证。这产生了问题:为什么要等到研发周期的末期才进行电磁兼容测试?电磁兼容测试可以在现场进行也可以存认证测试实验室进行,许多情况下这些测试都很耗时且很贵。

本文真正的价值在于将电磁仿真包含进行电磁兼容过程中。仿真可以应用于整个产品研发周期中,可以随时比较不同概念和设计变化带来的影响,不仅从性能方面,还可以

从电磁兼容能力方面。随着产品的发展,能对电磁兼容进行分析,例如,计算系统上不同模块位置或者优化电缆走线路径从而减小耦合。不是在后事再考虑电磁兼容,这个方法有助于更容易地预测和消除过程中可能的电磁兼容问题。

而且,仿真能深入了解电磁兼容问题的根本原因(例如通过近场和表面电流的可视化),以及制定更为健壮的解决与案。其图2为驱动产品研发的仿真可以减少电磁兼容过程中的硬件原型和设备示意。

1.2 电磁兼容仿真中的挑战

当然,电磁兼容仿真存在于它自身的挑战。通常必须整个宽频范围内进行电磁兼容问题分析,这通常涉及到多维尺寸,最终包括多级复杂度,如元件、连接器、电缆、壳体、天线、天线罩和所有器件集成的平台。这方面的每个问题都意味着某种数值挑战,必须对其进行相府的处理。

例如,FEKO【altairhyperworks.com/feko】是一种广泛应用的电磁兼容仿真平台,它适用于天线设计,位置放置和电磁兼容分析。为了解决上面提到的仿真挑战,对FEKO进行了开发。总之,有许多不同的求解器,可提供了真正的混合、模式解耦和电缆的特殊公式,所有这些都旨在提供电磁兼容分析的无缝工作流。验证也非常重要,FEKO得到了各种典型电磁兼容应用的验证。

值此将对典型的电磁兼容挑战的工业案例--辐射发射和敏感度作分析,并描述如何使用仿真来解决它们。

关于辐射发射和敏感度 在汽车行,主要对两种典型的电磁兼容案例感趣:辐射发射和敏感度测试。辐射发射测试(元件和汽车级)确保场发射在特定频段低于要求的水平。其图3为电子控制单元的整车级辐射发射,计算车辆10米处左边和右边的发射,包括水平和垂直极化。

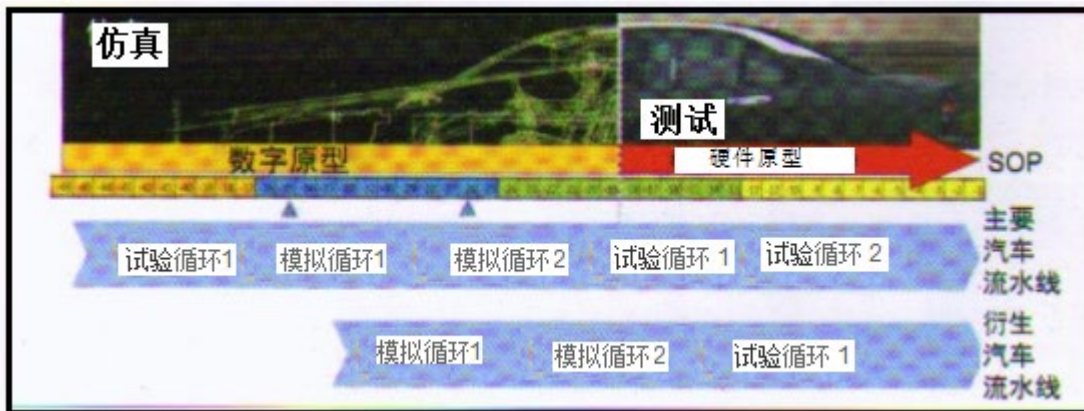


图2 驱动产品研发的仿真可以减少电磁兼容过程中的硬件原型和设备示意

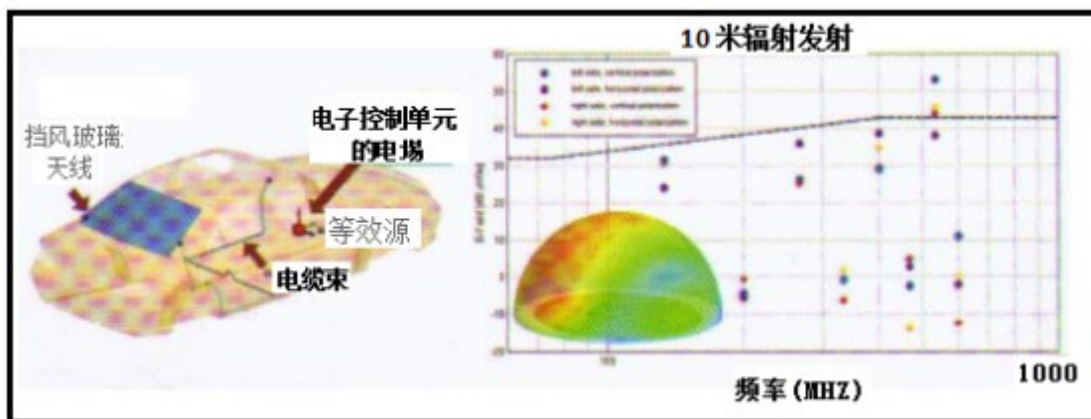


图3 电子控制单元的整车级辐射发射示意图

其一、图3辐射发射，仿真了从汽车电子控制单元(ECU)产生的10米辐射发射。注意供应商不会公布电子控制单元的尺寸信息，以便保护他们的知识产权。这种情况下，对电子控制单元进行测试，然后导入到FEKO中作为等效源用于整车级仿真。图3显示了电子控制单元发射在大多数频点上都低于要求的水平，除了在500~600MHz频段只有一种极化才满足要求。除了比较汽车控制电子单元不同位置产生的发射水平，还考虑了电缆耦合数字音频(200Hz)。

由于具有大功率电缆，电动汽车和混合动力汽车的辐射发射特别重要。这种情况下，绝缘栅双极晶体管和直流逆变器的开电路产生的谐波发射会增加发射水平。FEKO可用于仿真不同电缆路径走线和电缆屏蔽，设臂带束的发射水平降低。

其二、辐射敏感度 辐射敏感度是在确保即使有外部电磁干扰的影响下，汽车子系统仍然能够连续以预期运行的工作。例如，当高强度电场照射车辆时，测试安全气囊能够正常工作。此时，仿真有助于确定敏感的子控制单元的优化放置位置或最佳的电缆路径走线。

对考虑位置如PIO以及考虑发射天线垂直极化并至于车辆前端(前端-1辆)的情况，进行了测试结果和FEKO仿真之间的比较。测试中使用了两个对数周期天线：第一个天线从20MHz~200MHz，第二个天线从200MHz~450MHz。仿真中，用六个偶极子天线组代表测试中的每个天线，而每个偶极子天线的尺寸随频率改变而改变。

为了取得可比的结果，仿真和测试数据都对它们的校准值进行归一化。仿真和测试之间的比较截止到450MHz时吻合比仍然很好，对于更高频率，仿真和测试结果存在一定偏差，这是由于仿真模型中没有体现结构的非金属部分效应引起的。

由此可知对辐射敏感度而言，一旦完成仿真计算，我们就可以对干扰频谱进行分析，发现干扰电压很高的那些频率。然后通过可视化的三维(3D)场分布对那些出现问题的频率进行分析，就可以找出干扰耦合的具体途径，并确定哪些地方是最需要进行屏蔽处理的。

1.3 屏蔽效能

随着电子系统内不断增加的数字处理器和总线速度，

从元件和印刷电路板产生的无意发射成为更多的相关问题。设计这些系统的电子屏蔽通常在抑制辐射和为散热及元件冷击提供足够的通风之间进行折衷。

对于有的屏蔽应用，需要采用更先进的材料模型，如铁氧体和频率选择性表面。FEKO提供了大量材料模拟可能性，包括处理铁氧体材料的能力，以及具有能够有效设计结构的特点。

除了这里显示的电子应用，FEKO还用于多方面的屏蔽(如计算汽车应用)。这里的分析通常与抑制辐射磁场相关(如计算汽车底盘)，例如，来自电动汽车和混合动力汽车电池电缆产生的辐射。此时，感兴趣的频率通常低很多，如在kHz范围。这个频段底盘的趋肤效应与底盘厚度可比拟。从数值观点来看，对此进行正确的模拟非常重要，FEKO还为此提供了专门的公式。如图4仿真了汽车内部电缆在10kHz磁场。

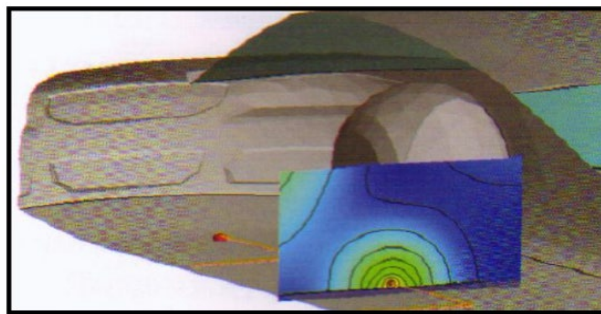


图4 仿真了汽车内部电缆在10kHz磁场

2 雷击仿真技术与应用

* 雷击附着分析

作为个高大的金属物体，发射装置尤其容易遭受雷击。因此，发射台一般会被几个通过电缆连接起来的接地的金属塔环绕起来。这些金属塔会起到避雷针的作用，从而降低物体遭受雷击的可能性。

雷击附着分析使得工程师能够对防雷系统的有效性进行计算。某给定位置遭受雷击的可能性与雷雨期间该位置周围的电场有关。电荷的积累意味着存大地和云层之间会产生很强的静电电位。这个电位的梯度就是电场强度，最大的电场强度会出现在尖锐的金属物体周围(如图5所示)。因此，该位置也是雷电先导最有可能击中的地方。

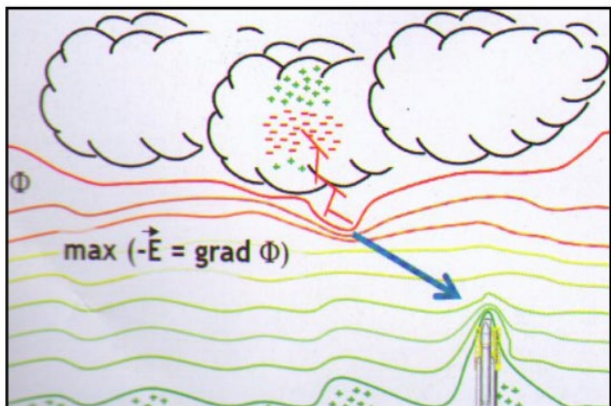


图5 为在发射射台周围有雷雨云存在的情况下的静电电位分布

上述过程可以通过静电仿真的方法进行建模和分析。为此，我们可以将需要分析的系统的模型导入到仿真环境中，并设定个静电电位。由此，通过静电仿真可以很快的计算出某结构体周围电位梯度和电场强度。图5给出了一个 CST 工作室套装中的静电求解器计算得到的雷击附着仿真分析的结果。结果显示，防雷系统将尖端的电场强度（例如火箭整流带尖端）降低了 44%，雷击发射装置的可能性也因此明显减小。所谓 CST 工作室套装就是一个强大的电磁仿真平台，具有准确和高效的电磁设计和仿真解决方案，覆盖电磁、微波、射频、电路、热学和力学多物理场的高集成度专业数值仿真。

* 雷击仿真技术与应用

静电仿真是整个雷击仿真的一个很好的起始点。雷击产生的是一个瞬态的电流脉冲，其波形可以通过双指数函数进行建模。显然，该瞬态电流脉冲是个宽带的电流脉冲（雷击电流的频谱最低到直流，最高可达 10MHz）。这就意味着在时域对雷击进行仿真是最好的选择。

雷击附着仿真的结果会给出雷击通道最有可能附着的位置，该位置会被建模成导线，并被设定为雷击接触的区域。

雷击电流会依照 MTT-STD-464 的规定，被建模为一个双指数函数。雷电流的传播会经过一些非常精细的结构，例如：结构件中构成电缆塔架的棒杆、接缝和通风孔，装置内部的一些电缆（如发射装置）等等。如果采用传统方法对这些精细的结构进行仿真，那么仿真工作将是非常具有挑战性的，因为这些精细结构相较于需要仿真的整个结

构体的全尺寸而言是非常微小的，这就需要非常精细的网格剖分、非常短的时间步长。

对于结构体内精细部分的仿真而言，使用传输线矩阵 (TLM) 求解器中常见的简化模型会更加高效。在仿真中用简化模型替代那些精细模型，可以在维持相同精确度的情况下显著加快仿真的速度。图6给出的就是雷击过程中的电冲分布示意图。

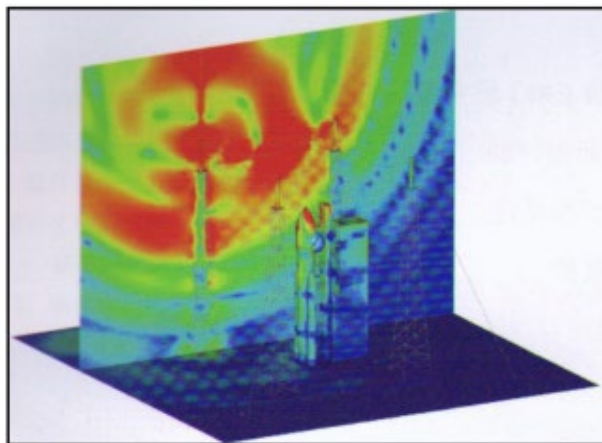


图6 给出的就是雷击过程中的电冲分布示意图

3 结论

(1) 本文演示了几个针对电子节系统（包括航天）应用的电磁兼容 (EMC) 仿真的工作流程。利用 3D 电磁仿真可以分析环境的电磁影响，敏感度和耦合情况，也可以针对出现的 EMC 问题制定相应的对策。另外，电缆和电路的联合仿真、诸如 OCT 的附加分析工具都是对 3D 电磁仿真技术的补充。具体的仿真分析可以在系统层面进行，也可以在子系统层面进行；它在设计、预测试和调查分析阶段都是有效的。

(2) 虽然本文介绍了来自各种企业不同电磁兼容应用的宽范围，但是主要目的在于显示企业如何将仿真应用于电磁兼容过程中。虽然原来将电磁兼容考虑为产品研发末期需要进行的验证步骤，但是仿真提供了在产品研发过程中引入电磁兼容的手台，借此增加通过最终电磁兼容认证的可能性，同时减少物理型的数量。在更宽范围的应用中，这是我们对于仿真驱动设计的理解，使我们看到更多的顾客在他们的产品设计中使用了这种模型从而走向新的未来。