



2018 IDAJ为中国新能源汽车加速
整车 / 新能源汽车关键性仿真技术

无人驾驶 | 新能源整车EMC | 动力性及能量管理 | 动力锂电池 | 结构可靠性

武汉 | 重庆 | 上海 | 广州 | 北京 | 长春巡回研讨会



新能源车EMC解决方案介绍

IDAJ中国
技术部 刘捷
2018-6

目录

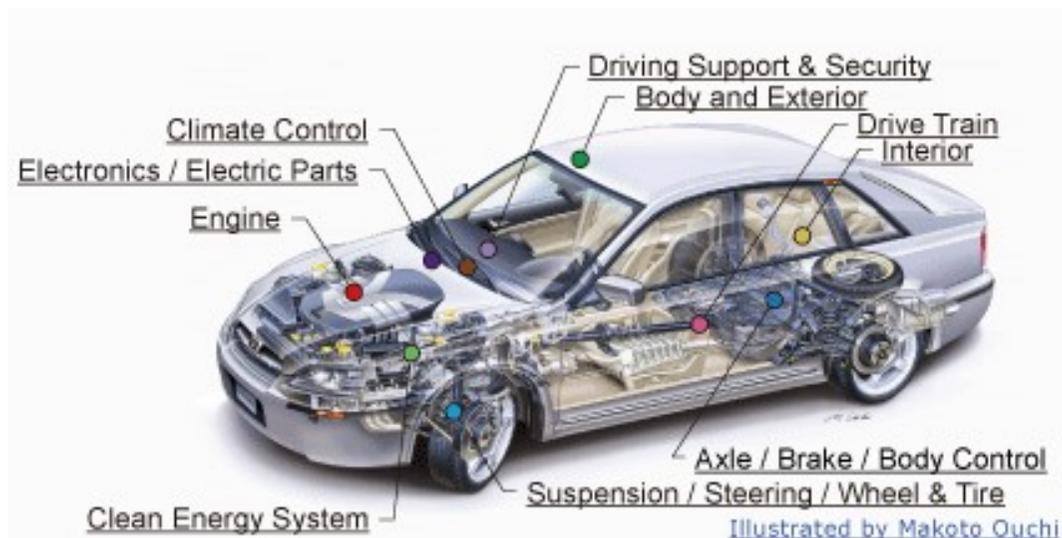
1. 汽车电磁兼容设计挑战
2. ANSYS汽车电磁兼容仿真思路
3. ANSYS汽车电磁兼容仿真设计案例
4. 总结

汽车发展重要趋势——“电子化”



- 控制系统电子化：电机数量增加35%以上（动力控制、遥控门锁、智能钥匙、碰撞警告、安全制动）；
- 高电压技术：42V技术、提高效率、电机的功率等级提高，400V电池组；
- 系统集成度更高：定速巡航、卫星导航、智能交通、无人驾驶等；

汽车电磁环境日益复杂



Example: Subsystems of one system – Engine

Engine Block	Valvetrain
In-Cylinder and Combustion	Ignition System
Air/Fuel Management	Turbo/Supercharger
Gasoline Fuel Injection System	Engine Lubricating System
Diesel Injection System	Engine Cooling System
Alternative Fuel System (LPG, CNG, etc)	Engine Electric System
Fuel Handling and Evaporator System	Engine Control System
Exhaust System	Other Engine Parts

An “Automotive Readiness Matrix” has been prepared to identify the sub-systems with the most promising immediate opportunities

<https://sites.google.com/a/ansys.com/automotive/marketing-material/automotive-overview-marketing-material/automotive-readiness-matrix>

新能源汽车电磁环境更加复杂

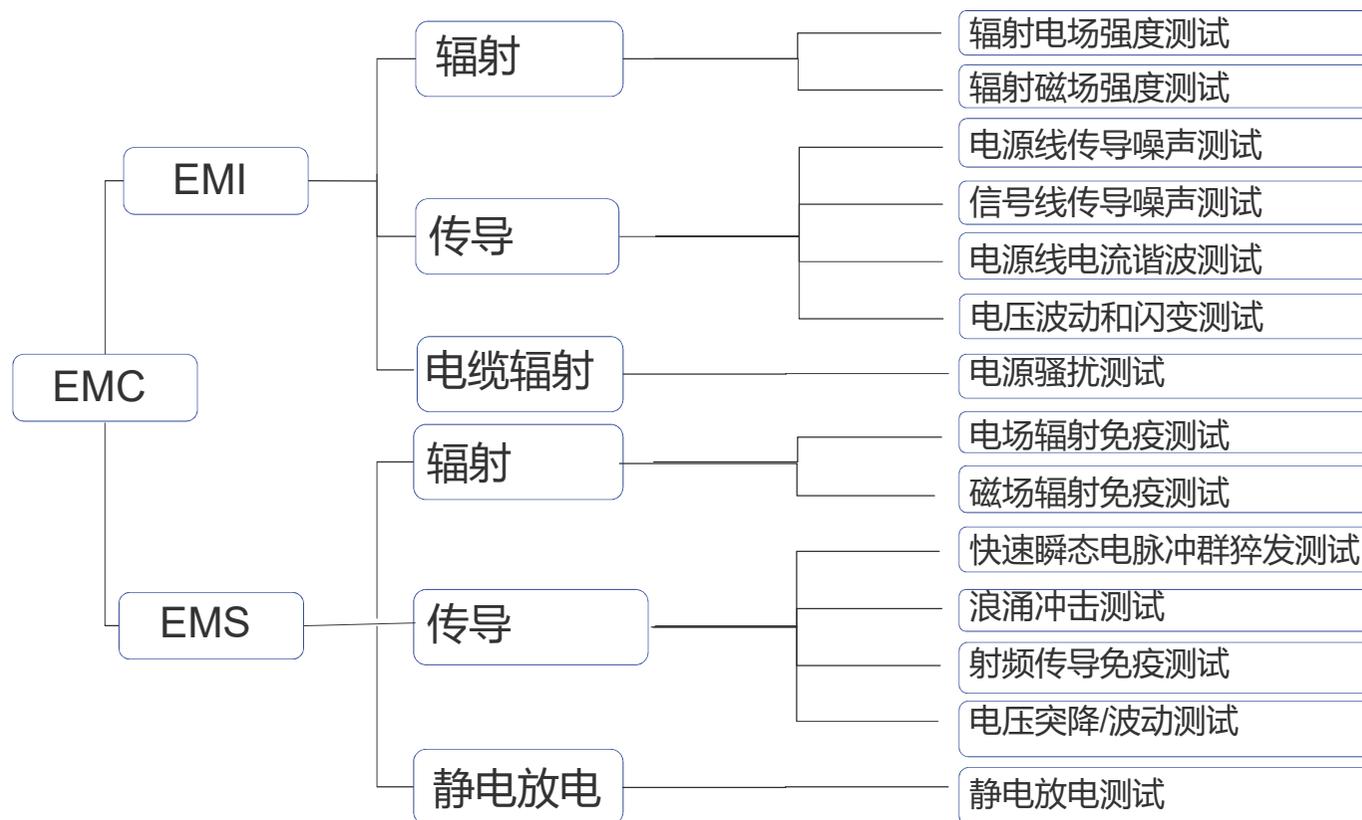


参考文献: 《电动汽车高压系统电压等级技术规范》

车辆EMC测试标准

	EMI	EMS
ISO	7637 (电源线传导)	
		11451 (整车)
		11452 (零部件)
		10605 (车载ESD) TR10305 (校准)
IEC/CISPR	CISPR12 (整车火花点火)	
	CISPR25 (零部件)	
ECE	R10 (零部件, 非强制标准)	
EEC	2004/104/EC (整车和零部件, 强制执行)	
SAE	J551 (整车) J1113 (零部件)	
GB	14023-2000 (整车火花点火)	17619-1998 (电子零部件)
	18387-2001 (电动车辆)	
	18655-2002 (零部件)	

车辆EMC测试分类



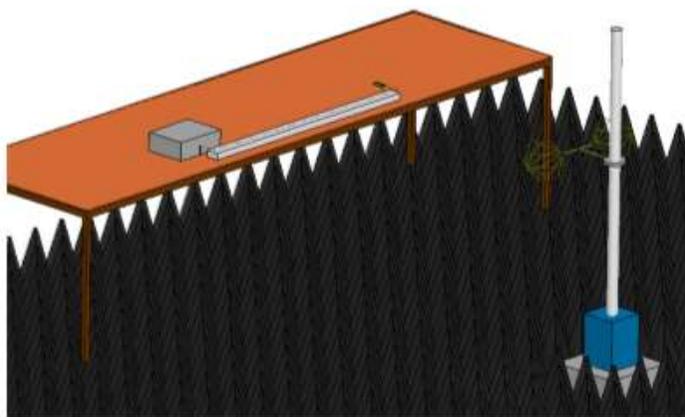
电磁兼容测试验证代价高

测试需要昂贵的设施

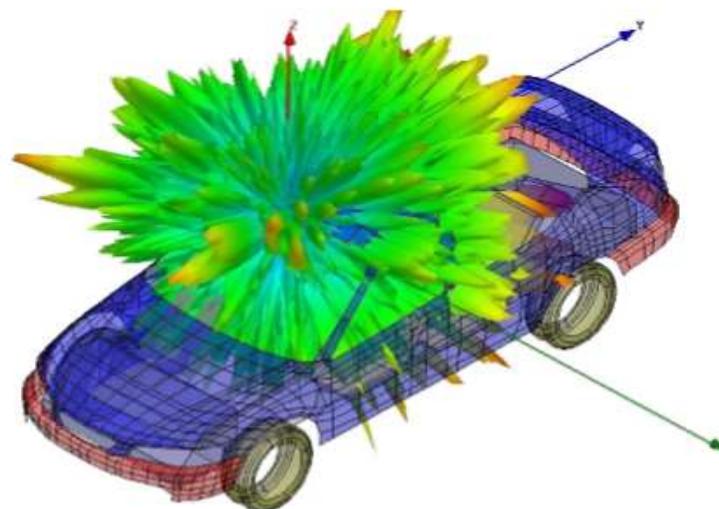
- 大尺寸电波暗室、轮毂系统、测试天线、高速测试数据处理系统、自动化分析软件等
- 出现问题后难以定位

仿真手段的优势

- 通过适当的工程简化，将关注点放到主要问题分析上。
- 可视化的仿真结果可帮助发现被测物的电磁噪声细节
- 根据仿真结果进行设计优化，减少产品返工次数，争取一次性设计成功

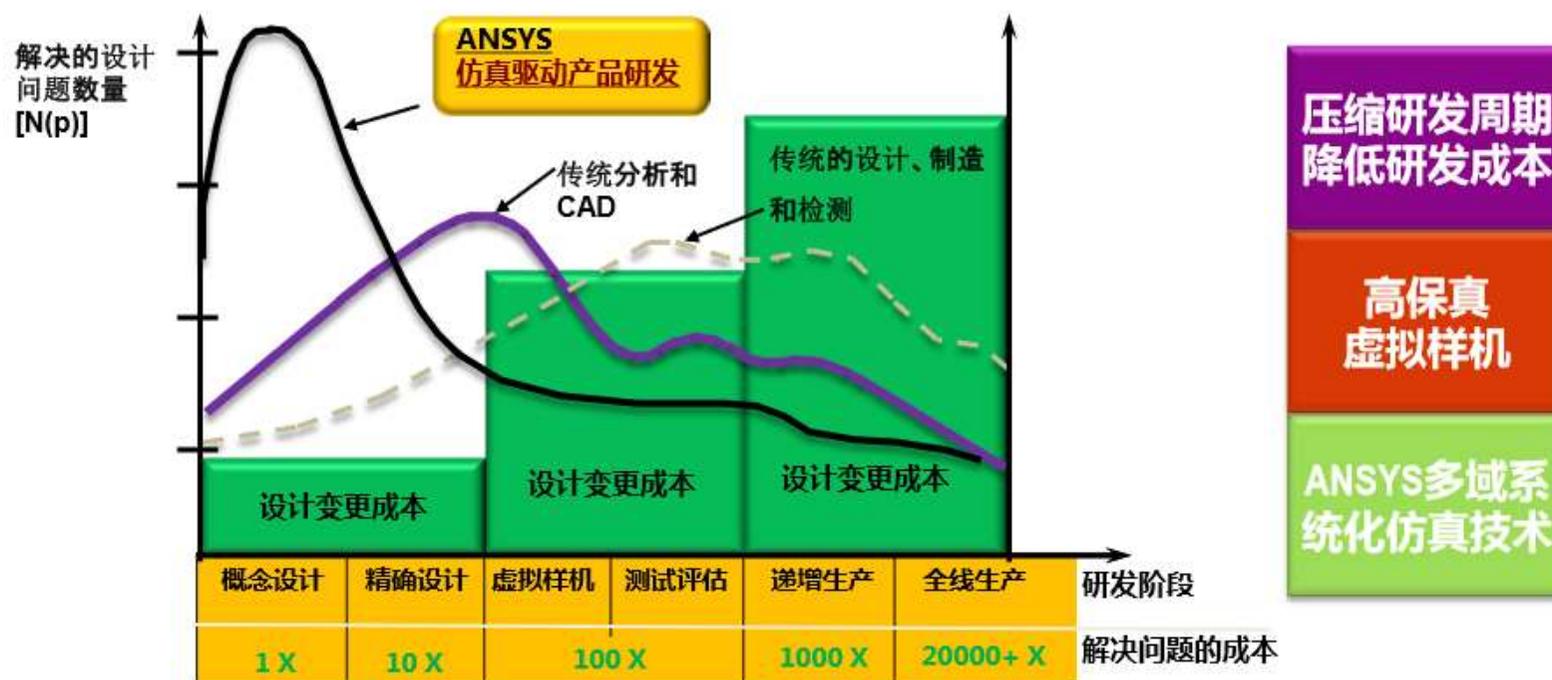


各式各样的EMC测量环境



仿真结果显示 (电场强度3D辐射图)

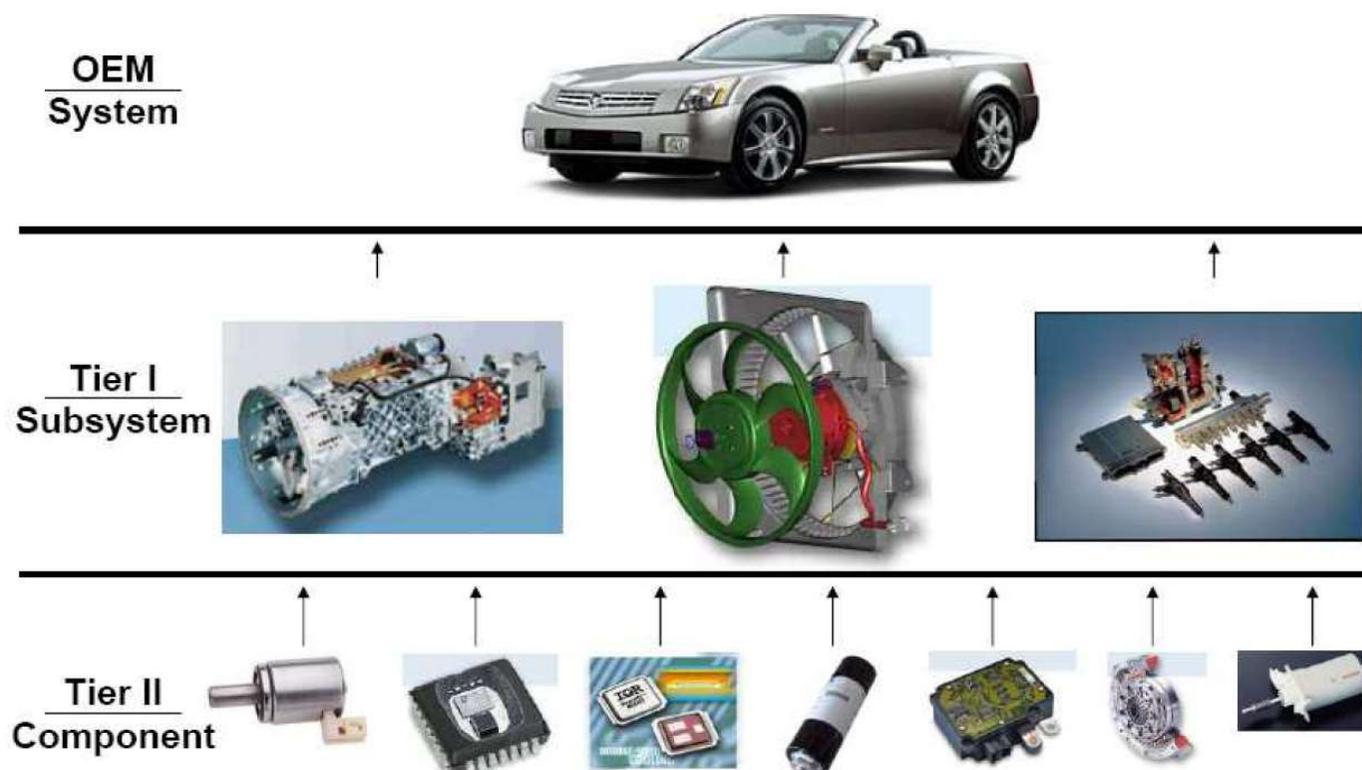
尽早解决电磁兼容问题十分必要



- 越早发现电磁兼容问题，解决方法就越多
- 若后期才发现问题，解决的措施就大大减少，难度也会大很多
- **基于虚拟原型的仿真，是在早期发现电磁兼容问题、研究解决措施的最佳手段**

参考文献：朱立文，电磁兼容设计与整改对策及案例分析，北京：电子工业出版社，2012

电磁兼容设计是一项复杂的系统工程



ISO/IEC 15288:2008: ***"A combination of interacting elements organized to achieve one or more stated purposes."***

ANSYS愿景：仿真驱动产品研发



虚拟仿真设计替代传统原型样机试制
 平台化仿真技术使虚拟设计更加真实
 真实的虚拟样机提高产品一次成功率

什么是电磁兼容仿真

电磁兼容问题，由于目标的尺寸和工作模式、频率不同，电磁噪声产生和传播的机理有很大不同。

电磁兼容仿真软件无论在仿真规模还是仿真精度上，目前和可预见的一段将来都无法取代测试。

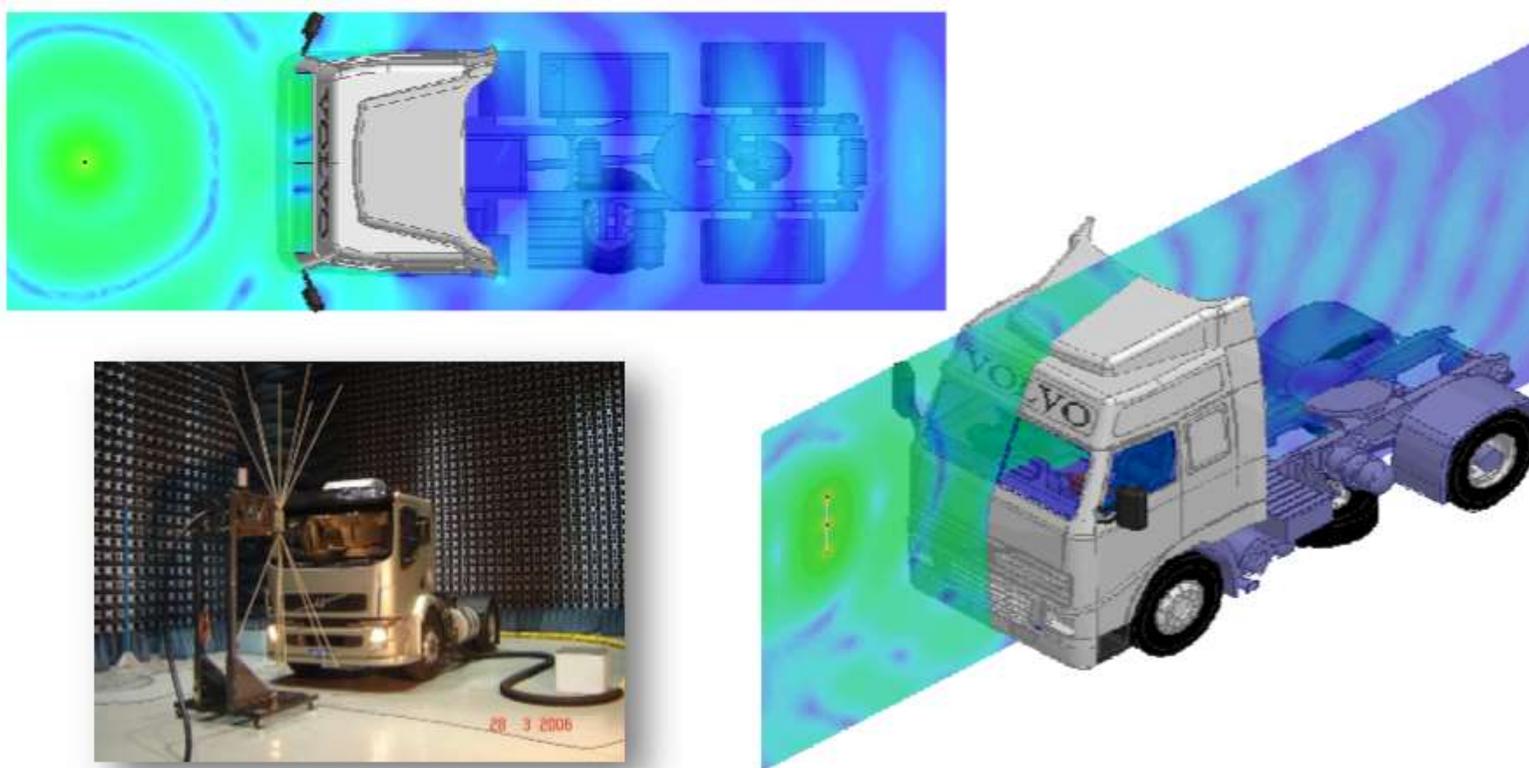
即便如此，在不同的尺度上，**针对特定的问题，采用合适的电磁兼容仿真软件并相互配合，提前预测待测设备的电磁辐射和兼容特性、定位问题的根源、并权衡各种改进措施对系统电磁兼容性能改善的效果，可以大大节省测试和定位解决问题的时间和成本，并有效提升系统的电磁兼容特性。**

更重要的是，通过电磁场兼容仿真软件的学习使用，可以非常直观并有效的了解电磁兼容产生的机理和电磁噪声传播的方式，从而**加深对电磁兼容问题的理解，从设计之初就重视并采取合理的设计规范。避免电磁兼容问题在最后样机测试认证或实际工作时刻发生。**

整车电磁兼容仿真

最新HFSS技术使得整车电磁兼容测试的仿真模拟成为可能。它被用于研究ECUs、线缆线束、天线等之间的相互干扰。

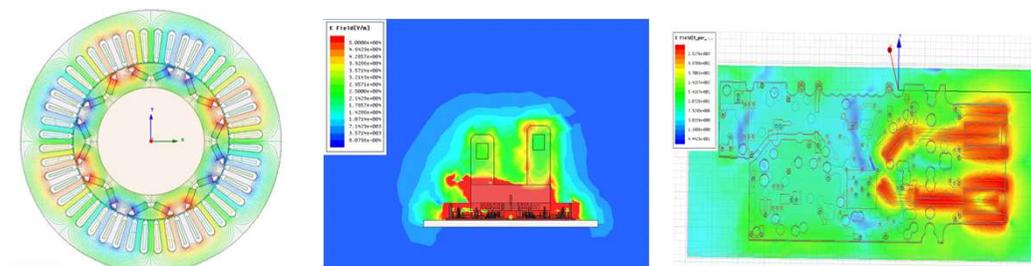
下图显示了一个200MHz偶极子天线在一辆Volvo整车的辐射电场分布图。



汽车电磁兼容仿真挑战

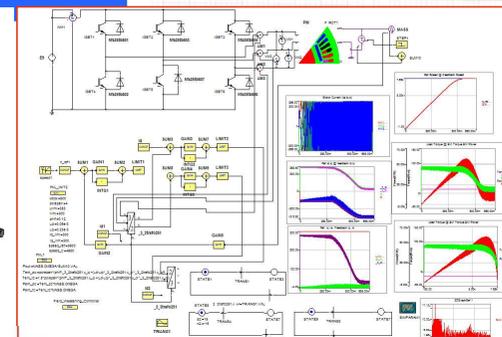
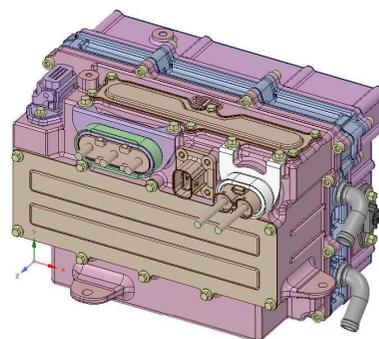
部件级

- 电源、电机、变流器、WPT
- 车载电子控制单元 (ECU)
- 车载天线、GPS、线缆



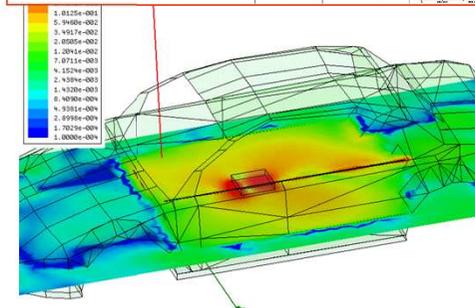
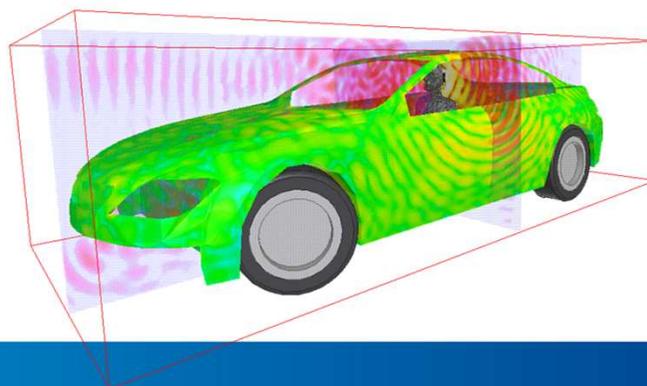
设备级/子系统级

- 各设备的辐射、抗干扰、ESD
- 功率电子、驱动控制子系统



系统级

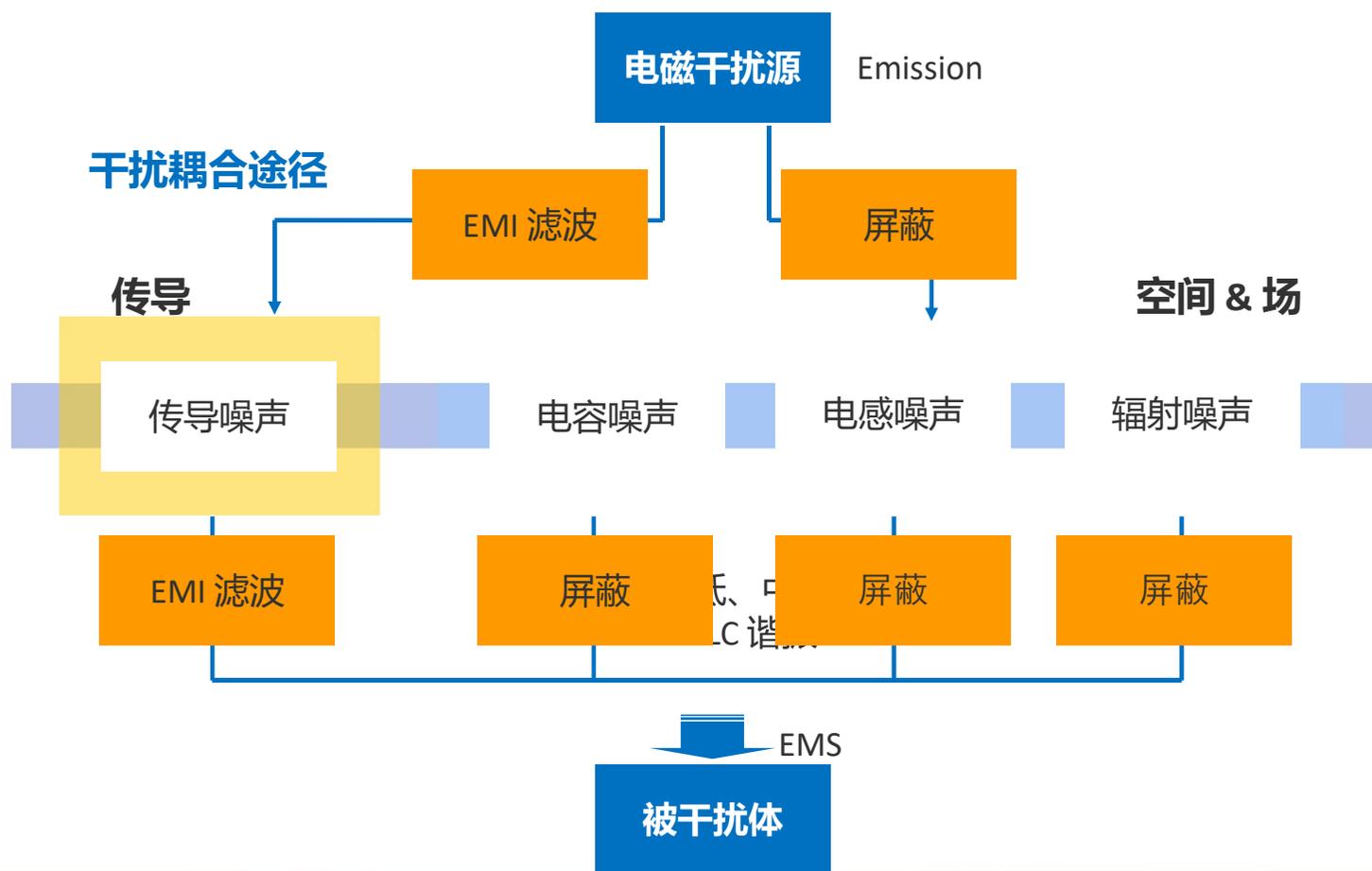
- 设备间电磁干扰
- 整车电气布局
- 整车辐射与屏蔽



目录

1. 汽车电磁兼容设计挑战
2. ANSYS汽车电磁兼容仿真思路
3. ANSYS汽车电磁兼容仿真设计案例
4. 总结

EMI/EMC 分析一般思路



全系统仿真面临的主要困难——数据不全



全系统电磁兼容仿真的三个层次

黑盒子

数据全面性：

- 不具备系统内的主要设备和部件数据；

仿真目的：

- 快速验证结论
- 研究设计规则

灰盒子

数据全面性：

- 具备系统内的部分数据，如关键线缆布局、设备机箱结构；

仿真目的：

- 关键部件的电磁兼容性分析；
- 系统具体电磁兼容性问题的分析与定位；
- 研究设计规则

白盒子

数据全面性：

- 具备系统内的所有影响电性能的设备、部件和互连结构的数据；

仿真目的：

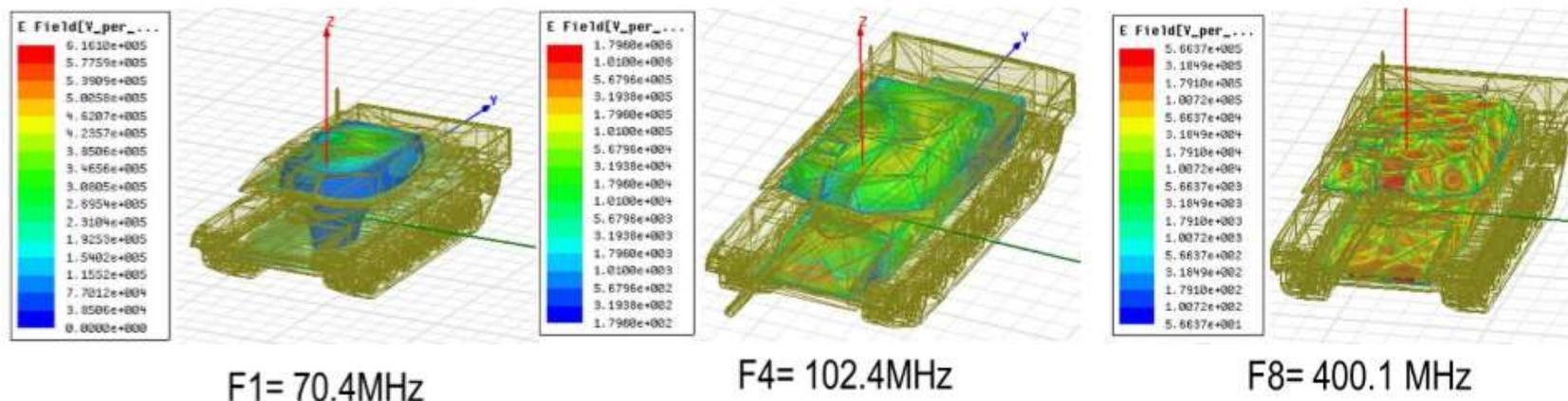
- 全面分析和预测系统电磁兼容性；
- 搭建系统电磁兼容性设计流程；
- 研究设计规则

* 针对不同的问题需要采用不同的仿真方法。

“黑盒子”问题的仿真分析——本征模分析

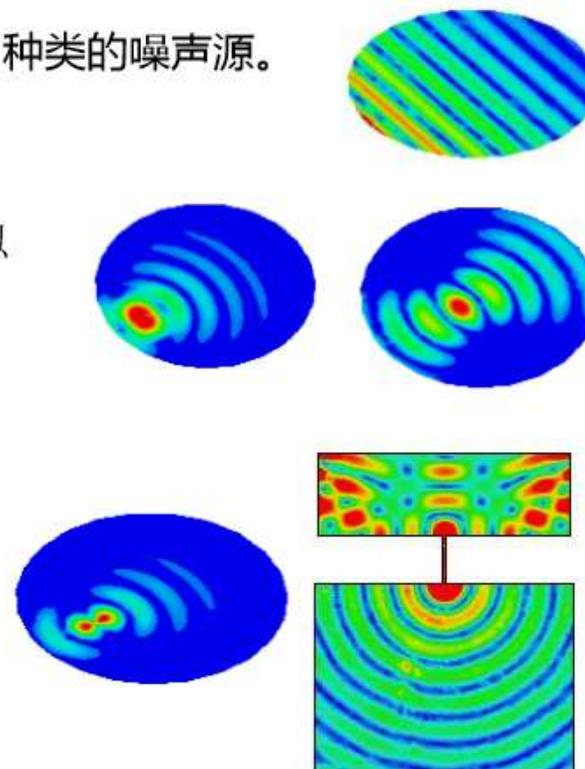
- ❑ 本征模分析是在无任何激励的情况下，得到在腔体固有的结构和材料作用下的本征谐振频点，和在各谐振频点下的腔体内本征场模式分布；
- ❑ 任何结构都有无穷多个本征谐振模式，工程上通常只研究感兴趣频带内的有限个本征模式；
- ❑ ANSYS HFSS可计算复本征模问题，也就是将材料损耗也考虑在内。

下图选取了坦克舱内的三个本征模式及相应的本征谐振场分布。图中红色区域代表在该谐振频点下谐振较强的位置，应避免放置在该频点具有发射或接收的电子设备。



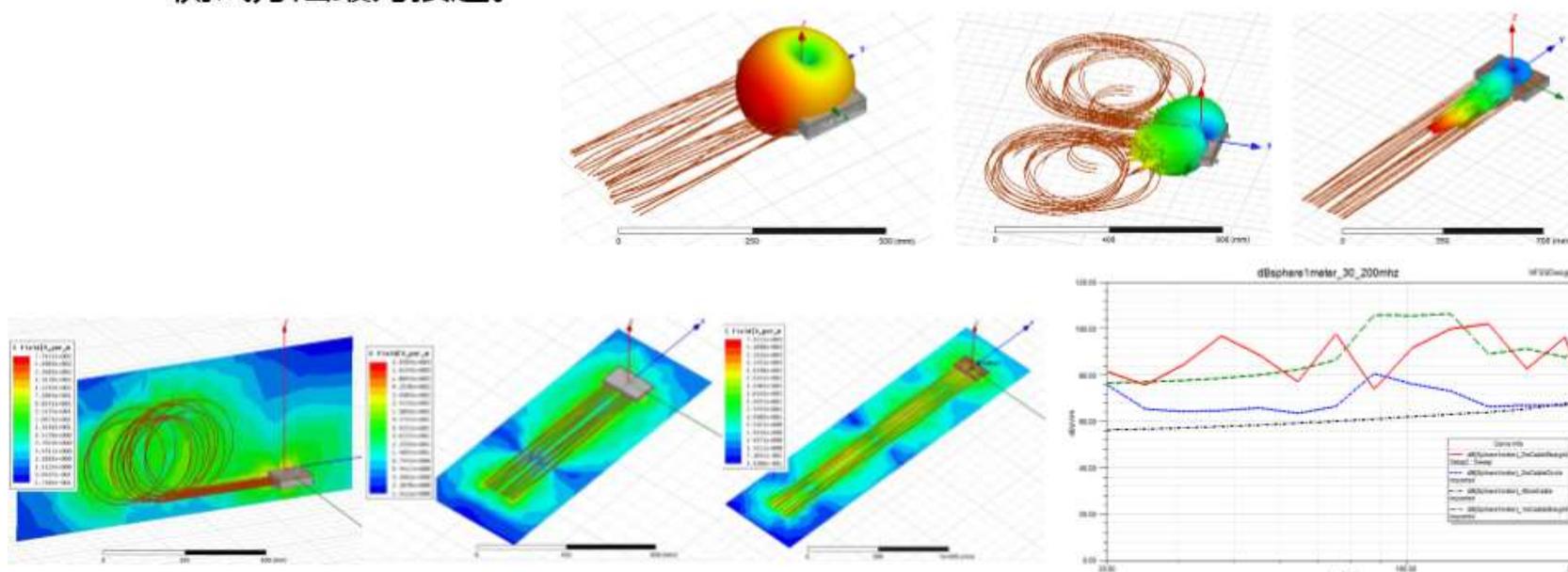
“黑盒子”问题的仿真分析——等效源分析方法

- 等效源分析方法是将芯片、元器件、PCB、线缆等系统中关键电磁干扰源的电磁干扰（EMI）效果进行等效，用以研究系统对外电磁干扰的一种电磁兼容预测与分析方法。
- ANSYS HFSS中具有多种激励源类型，可等效不同种类的噪声源。
 - Plane Wave—可模拟入射到设备的平面波
 - Hertzian-Dipole Wave—分为电/磁偶极子，可模拟设备内/外部的点源
 - Cylindrical Wave—可模拟长线缆辐射场
 - Gaussian Beam—可模拟天线口面附近场分布
 - Linear Antenna Wave—可模拟线天线辐射
 - Far Field Wave—可导入辐射远场方向图
 - Near Field Wave—可导入辐射近场分布



“黑盒子”问题的仿真分析——等效源或理想模型分析方法

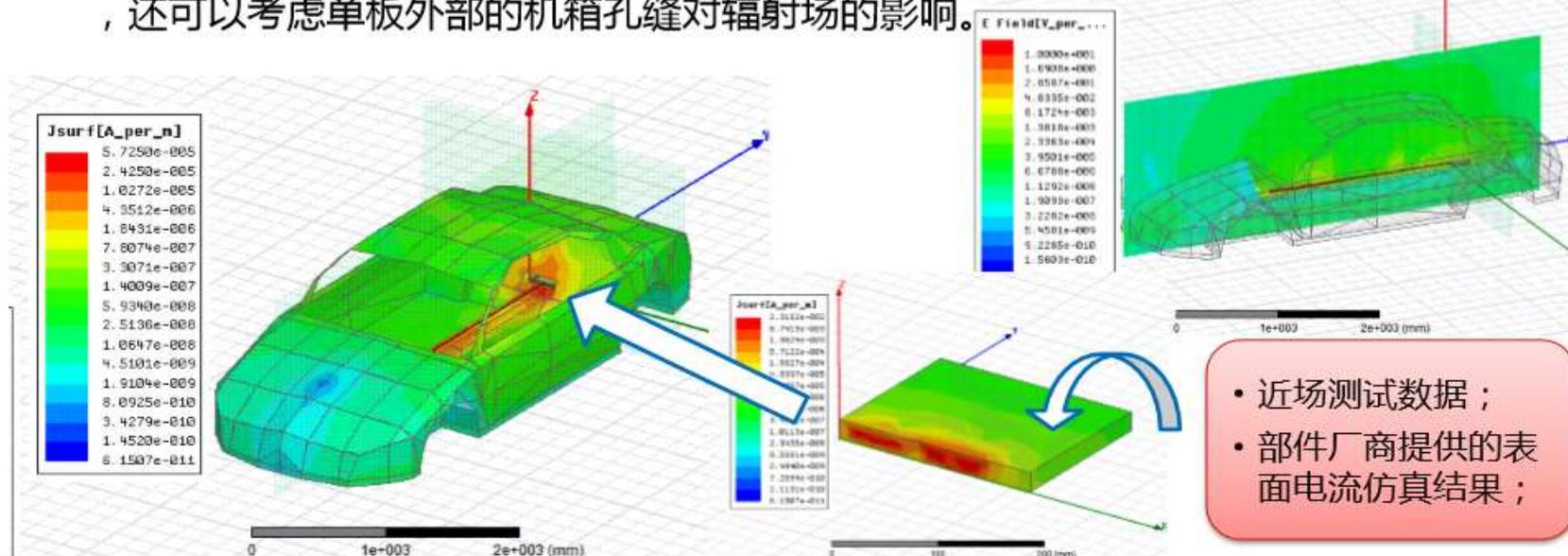
- 以下为一个外接线缆的开关电源设备在没有关键IGBT（主要噪声源）模型的情况下，采用等效源分析方法得到的近场辐射场图、近场方向图和30 ~ 200MHz的1米法Emission test结果。
- HFSS的仿真可直接得到1米法Emission test的结果，1米法Emission test是以指定坐标系的坐标原点为圆心、半径为1米的球面电场的最大值。它同RE102中的测试方法最为接近。



“灰盒子”问题的仿真分析——导入测试或仿真数据

- ❑ ANSYS HFSS中可以导入测试或仿真场数据作为激励源，等效设备辐射发射的实际工况；
- ❑ 该方法可解决电磁兼容预测分析时，上游厂家的设备数据由于知识产权等原因无法提供给总体厂家的问题；

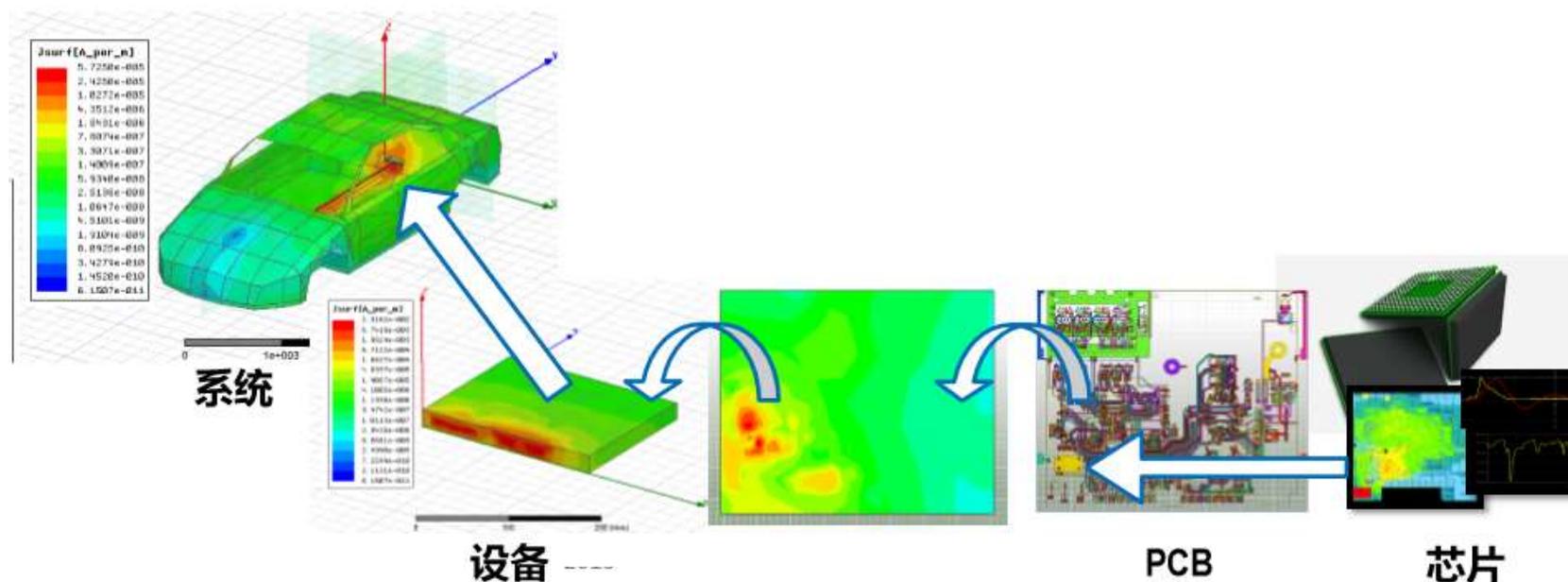
下图显示了在ANSYS HFSS中导入一块车辆主控ECU单板的近场辐射数据作为干扰源，观察其在车体表面产生的感应电流及在空间形成的辐射场。在实际工程中，还可以考虑单板外部的机箱孔缝对辐射场的影响。



“白盒子”问题的仿真分析——自底向上的透明全系统电磁仿真

- ANSYS 具有从芯片、PCB到整机和系统的多层次的仿真分析工具，支持将系统彻底转化为“白盒子”的仿真流程；

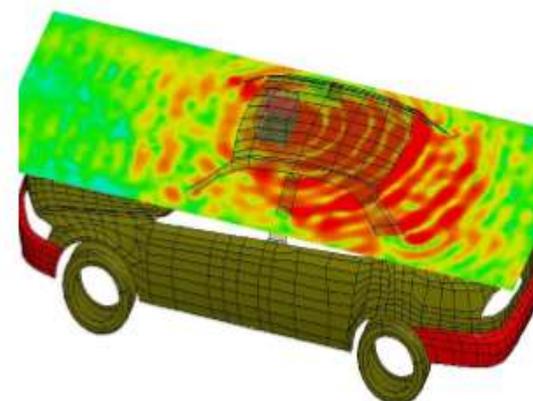
下图显示了在ANSYS HFSS中导入一块车辆主控ECU单板的近场辐射数据作为干扰源，观察其在车体表面产生的感应电流及在空间形成的辐射场。在实际工程中，还可以考虑单板外部的机箱孔缝对辐射场的影响。



EMI/EMC两类主要仿真需求

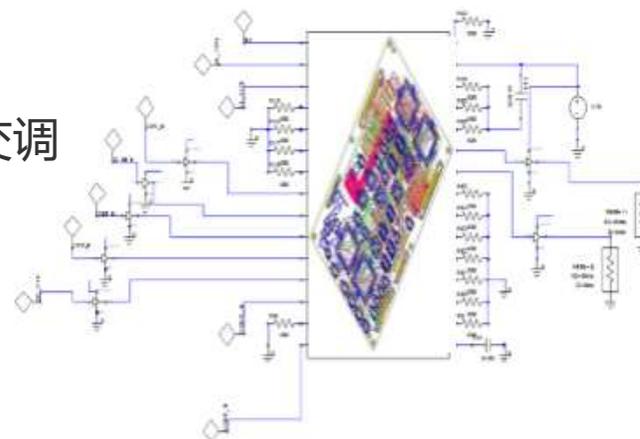
电磁场仿真

- 难点:
 - ✓ 结构复杂, 包含结构细节, 仿真规模大
 - ✓ 时域和频域
- 典型问题
 - ✓ 机箱屏蔽效能设计
 - ✓ 天线布局与互耦
 - ✓ 雷击和高功率脉冲防护设计



电磁场与电路/系统协同仿真

- 信号频谱高度和非线性效应, 谐波与交调
- 难点:
 - ✓ 数据完整性和保真度
- 典型问题
 - ✓ PCB辐射控制与屏蔽, 缆线束串扰



ANSYS应对EMC仿真需求

业界唯一的场路协同集成化EMI/EMC设计环境

- Designer: 高频/高速设计环境
- Simplorer: 机电系统设计环境
- 电磁场与电路双向耦合和动态链接

时域与频域电磁场仿真，专用与通用工具相结合

- HFSS, HFSS-Transient, Maxwell 3D
- Slwave, Q3D Extractor

精细结构和开放空间的多尺度问题可同时仿真

- 场到场的链接
- Screen Impedance, FEBI
- DDM: 有限元并行运算

ANSYS汽车电磁兼容设计平台

HFSS

→ 高频三维电磁场仿真分析

Q3D Extractor

→ RLGC寄生参数提取

→ 传输线截面特性仿真分析(2D Extractor)

Simplorer

→ 机电系统仿真平台

Maxwell

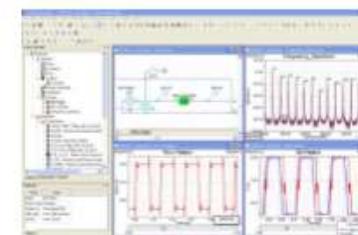
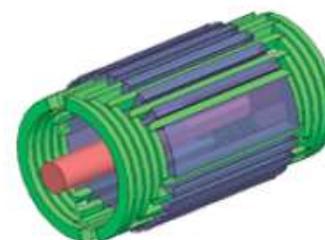
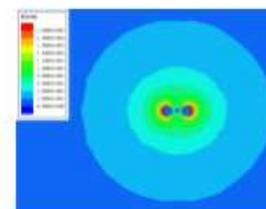
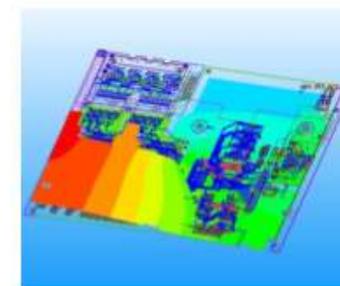
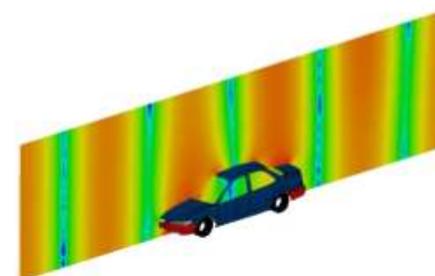
→ 低频三维电磁场仿真分析

Designer

→ 电路与系统场路协同仿真分析

SIwave

→ 多层复杂PCB板仿真分析



ANSYS汽车电磁兼容设计平台 (续)

AnsoftLinks

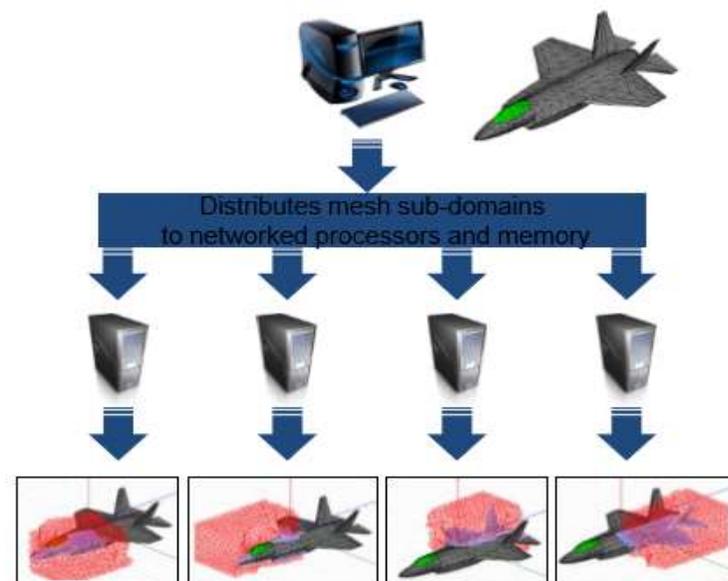
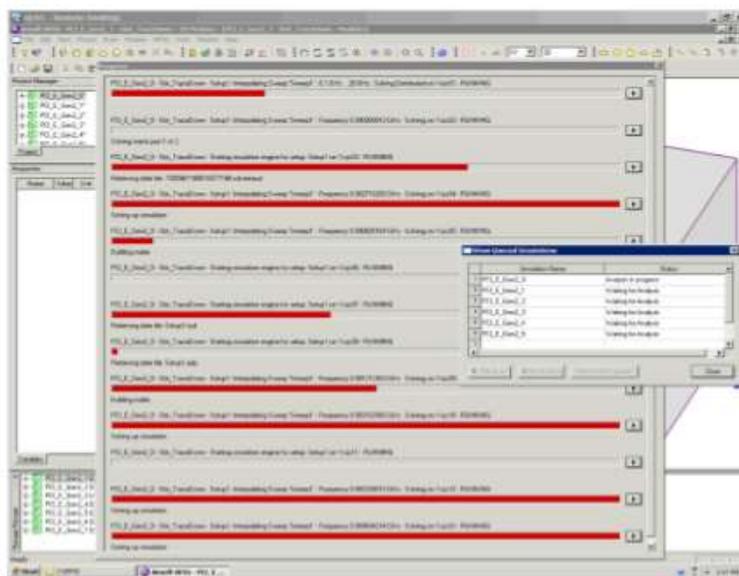
→ 导入外部设计数据接口

OPT

→ 自动参数扫描和优化工具

HPC

→ 高性能仿真模块



ANSYS电磁兼容解决方案的技术优势

方案与工具完备

- 电磁场仿真工具 HFSS, SIwave, Maxwell3D, Q3D
- 电路和高速/高速系统仿真工具 Designer
- 机电系统仿真设计工具 Simplorer

通过设计改善EMI/EMC特性，实现EMC可量化指标

- PCB设计,电磁部件设计, 线缆串扰设计
- 屏蔽设计, 设备布局优化
- 防雷和电磁脉冲设计

集成化、整体的 EMI/EMC设计

- 通过数据链接，实现部件到整机的集成设计
- 在各个部件之间、功能与性能之间权衡，寻找最佳方案

目录

1. 汽车电磁兼容设计挑战
2. ANSYS汽车电磁兼容仿真思路
3. ANSYS汽车电磁兼容仿真设计案例
4. 总结

线缆干扰及优化

案例分享---线缆干扰分析



车载电机系统



灯光照明系统



空间限制使得不同系统的线缆被捆扎在一起

电机工作时车辆照明系统受到严重干扰!

线缆干扰分析---灰盒子分析

- 具备数据
 - 车体结构
 - 线缆Layout信息
 - 电机驱动电路
 - 电机模型（可选）
- 获得结果
 - 复现干扰现象
 - 针对线缆进行滤波、布局、信号分配、接地等优化

灰盒子

数据全面性：

- 具备系统内的部分数据，如关键线缆布局、设备机箱结构；

仿真目的：

- 关键部件的电磁兼容性分析；
- 系统具体电磁兼容性问题的分析与定位；
- 研究设计规则

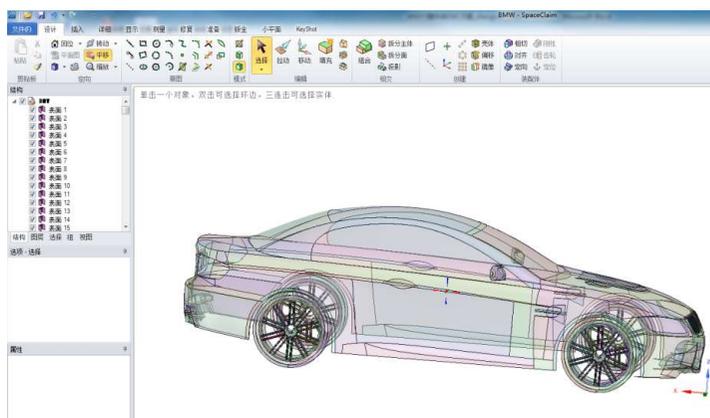
模型导入简化

电气模型抽取

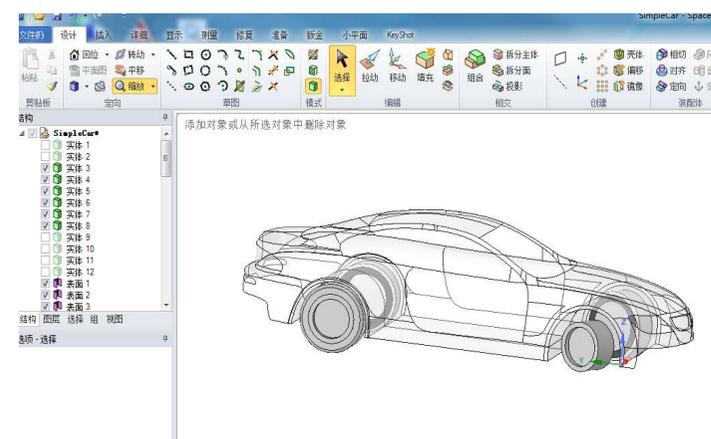
系统电路仿真

设计优化

线缆干扰分析---模型导入简化

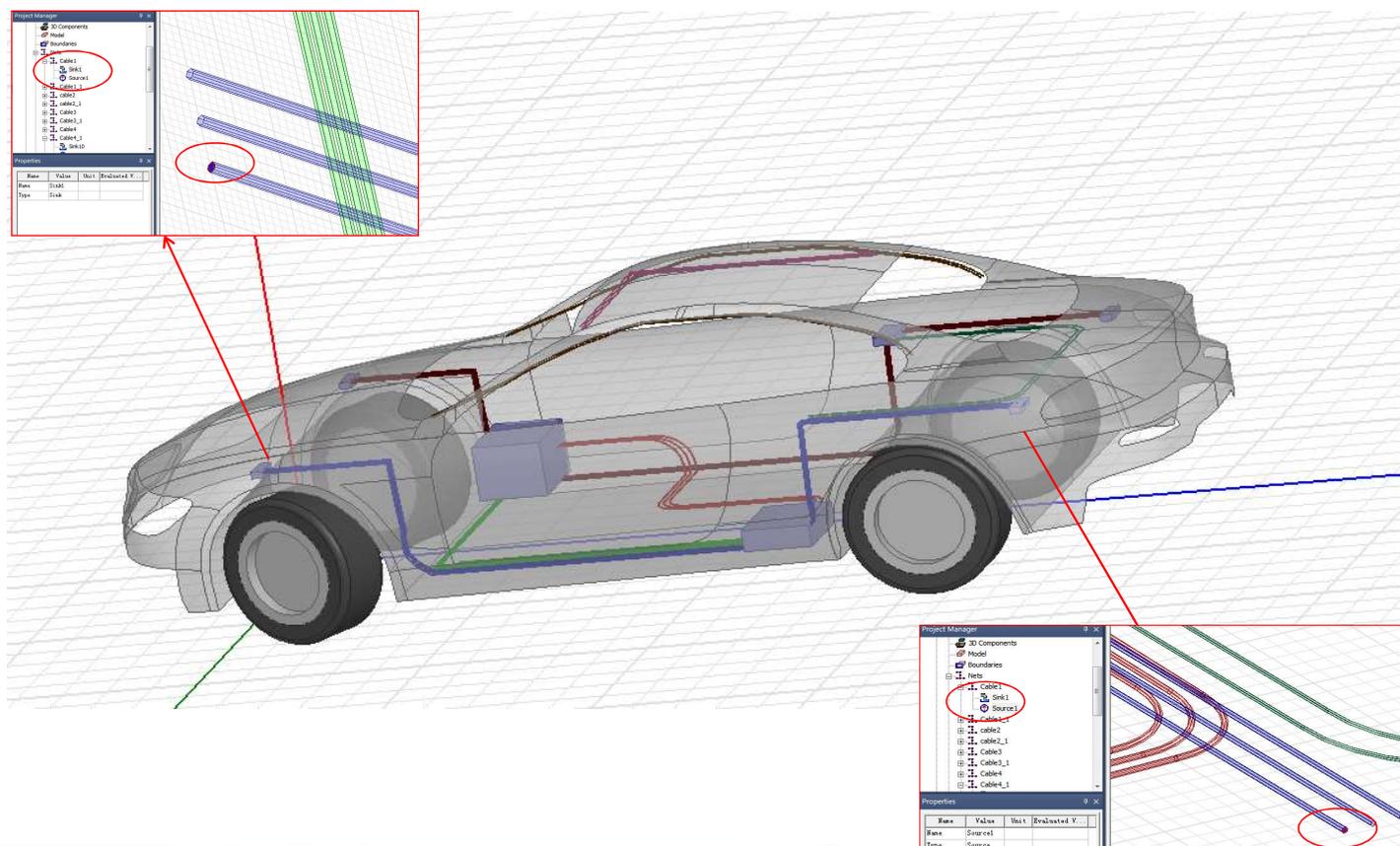


模型
简化

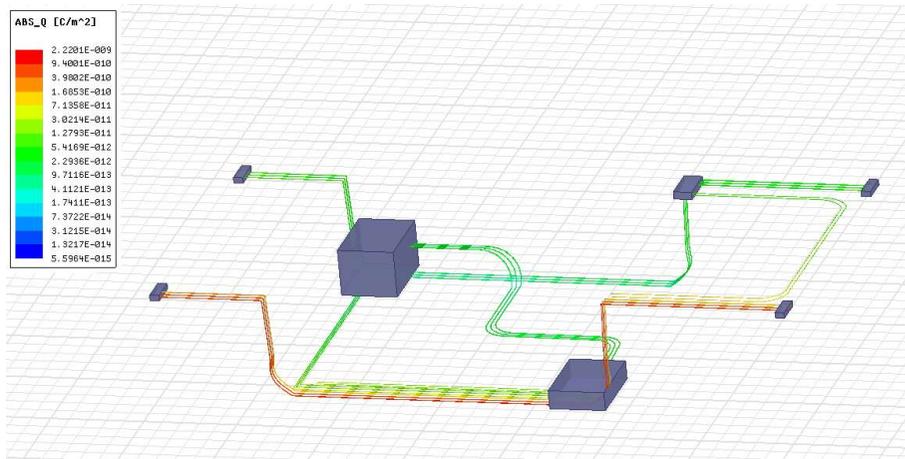


线缆干扰分析---车体线缆电磁仿真

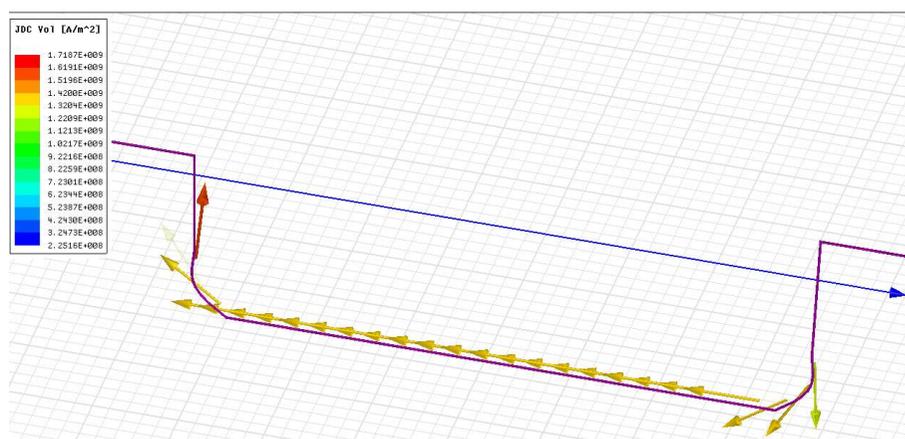
通过定义每根线缆的Source和Sink, 可得到车内所有线缆的传输和耦合特性。



线缆电磁仿真结果

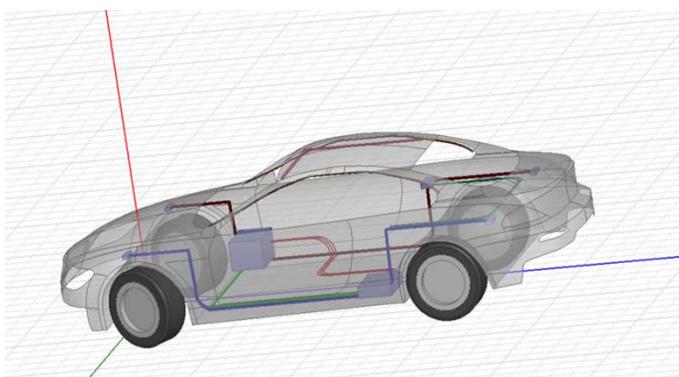


线缆上电荷分布



线缆表面电流密度

线缆电气模型抽取

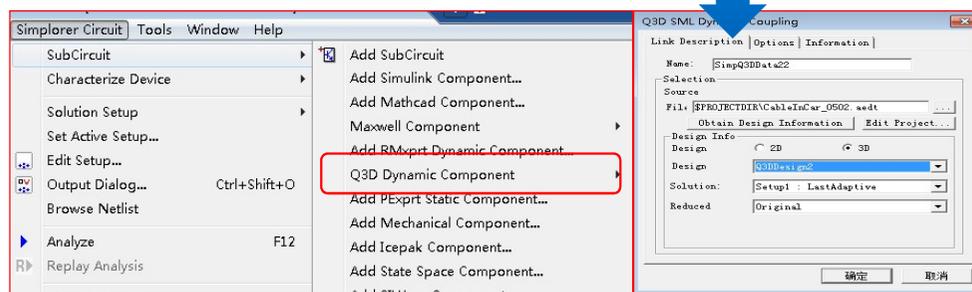


```

Circuit Model Preview
* BEGIN ANSOFT HEADER
* node 1 Cable1_1Source6
* node 2 Cable1Source6
* node 3 cable2_1Source7
* node 4 cable2Source2
* node 5 Cable3_1Source8
* node 6 Cable3Source3
* node 7 Cable4_1Source10
* node 8 Cable4_2Source11
* node 9 Cable5Source3
* node 10 Cable7_1Source12
* node 11 Cable7Source13
* node 12 Cable8_1Source15
* node 13 Cable8_2Source14
* node 14 Cable8Source16
* node 15 Cable9Source4
* node 16 Cable10Source5
* node 17 Cable1Sink1
* node 18 Cable1Sink5
* node 19 cable2Sink2
* node 20 cable2Sink7
* node 21 Cable3Sink3
* node 22 Cable3Sink8
* node 23 Cable4Sink9
* node 24 Cable4Sink10
* node 25 Cable4Sink11
* node 26 Cable7Sink13
* node 27 Cable7Sink12
* node 28 Cable8Sink16
* node 29 Cable8Sink15
* node 30 Cable8Sink14
* node 31 Cable9Sink5
* node 32 Cable10Sink4
* Project: CableInCar_0502
* Design: Q3DDesign2
* Format: Ansoft Designer
* Topic: CableInCar_0502
* Left: T1 T2 T3 T4 T5 T6 T7 T8 T9 T10 T11 T12 T13 T14 T15 T16
* Right: T17 T18 T19 T20 T21 T22 T23 T24 T25 T26 T27 T28 T29 T30 T31 T32
* Creator: Ansoft Electronics Desktop 2015.1.0
* Date: Sat May 02 17:05:01 2015
* END ANSOFT HEADER

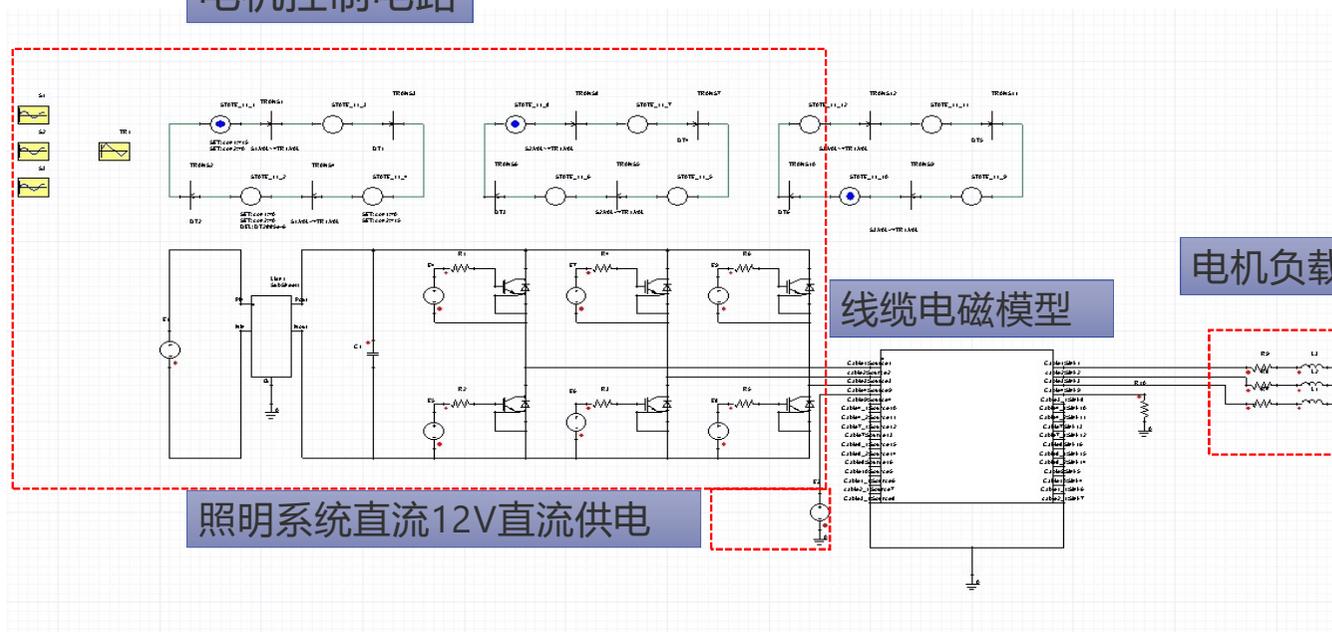
.subckt CableInCar_0502 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
+ 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32
XChalf1 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43
+ 44 45 46 47 48 CableInCar_0502_half
XY1 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 CableInCar_0502_parel
XChalf2 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 18 17 20 19 22 21 24 25
+ 23 27 26 29 30 28 31 32 CableInCar_0502_half
.subckt CableInCar_0502_half 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
    
```

直接输出线缆电磁模型并导入系统
电路仿真工具中进行下一步仿真。



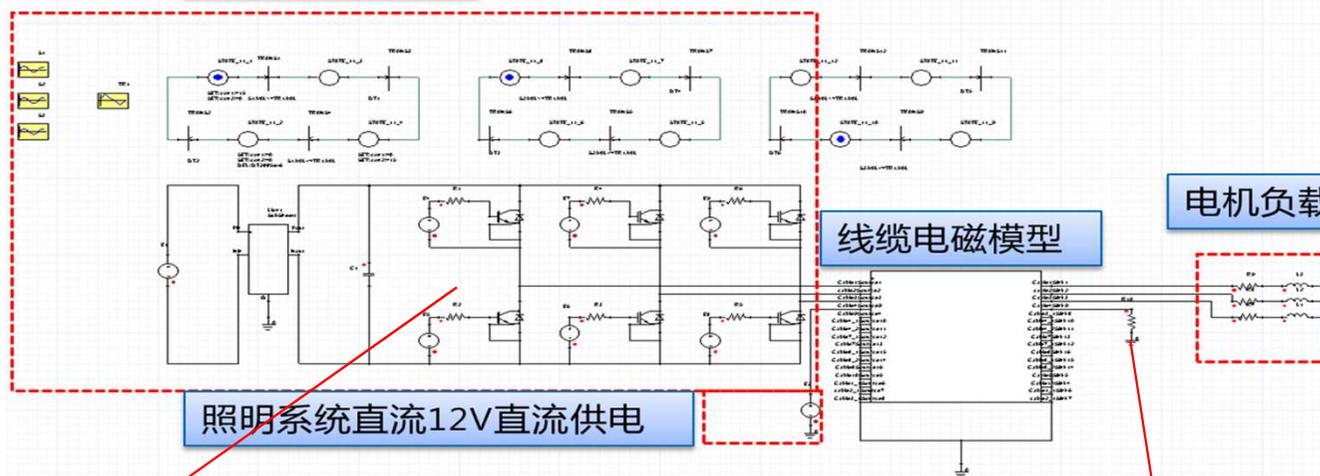
系统电路仿真

电机控制电路



系统电路仿真结果

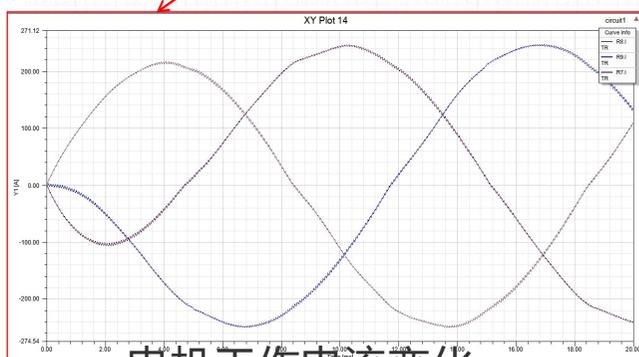
电机控制电路



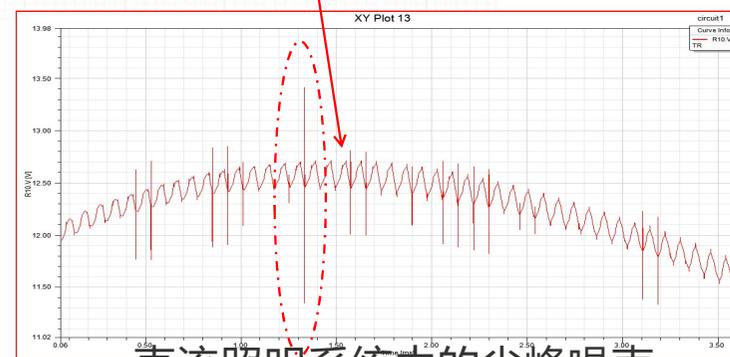
电机负载

线缆电磁模型

照明系统直流12V直流供电

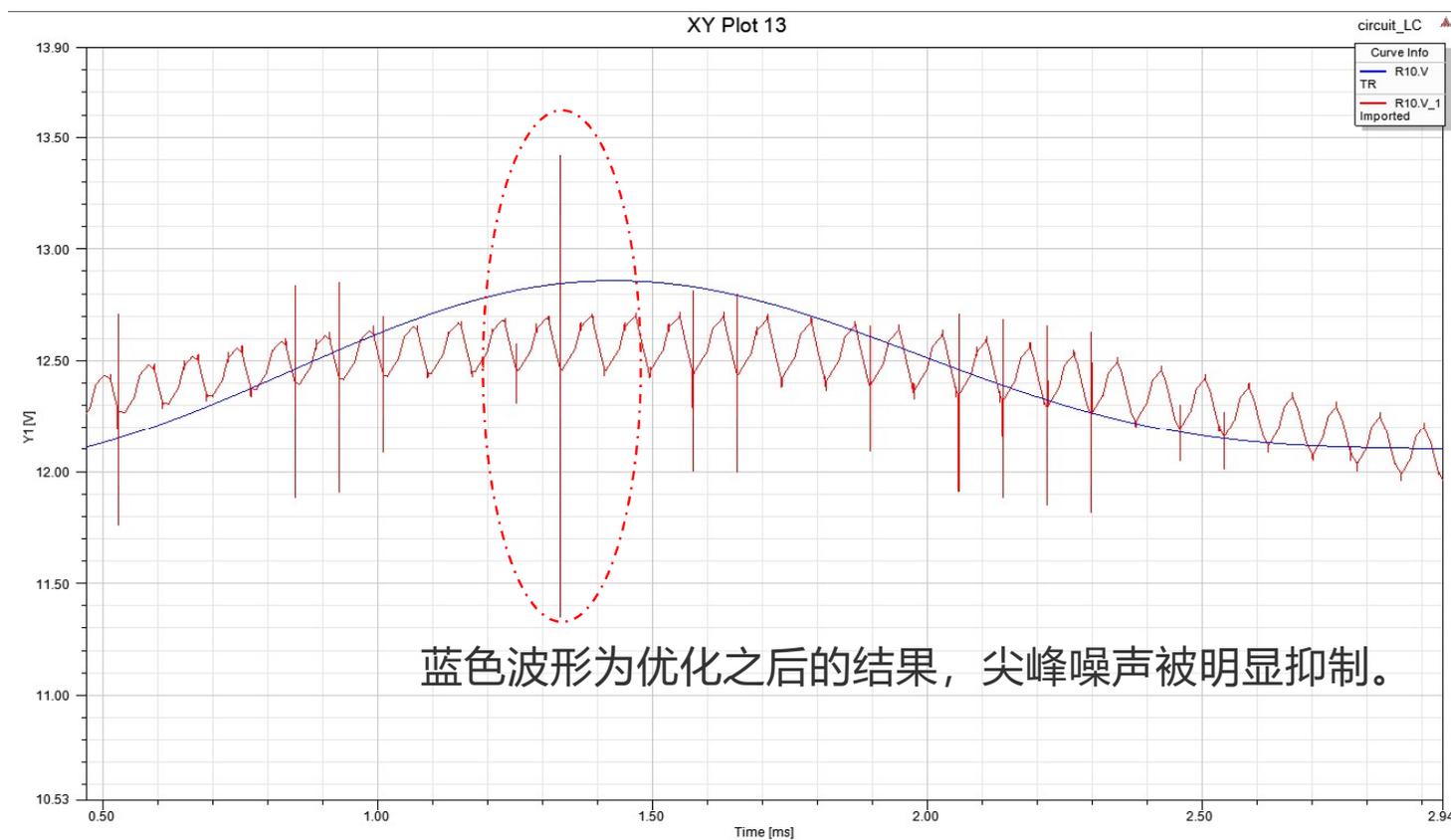


电机工作电流变化

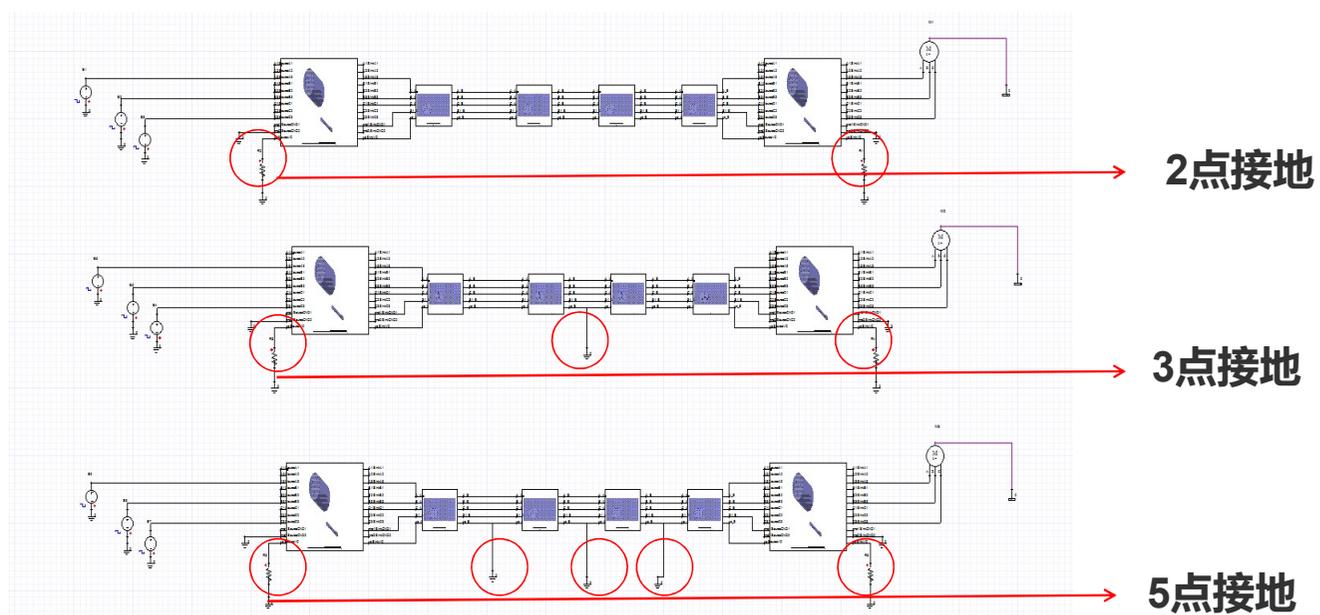


直流照明系统中的尖峰噪声

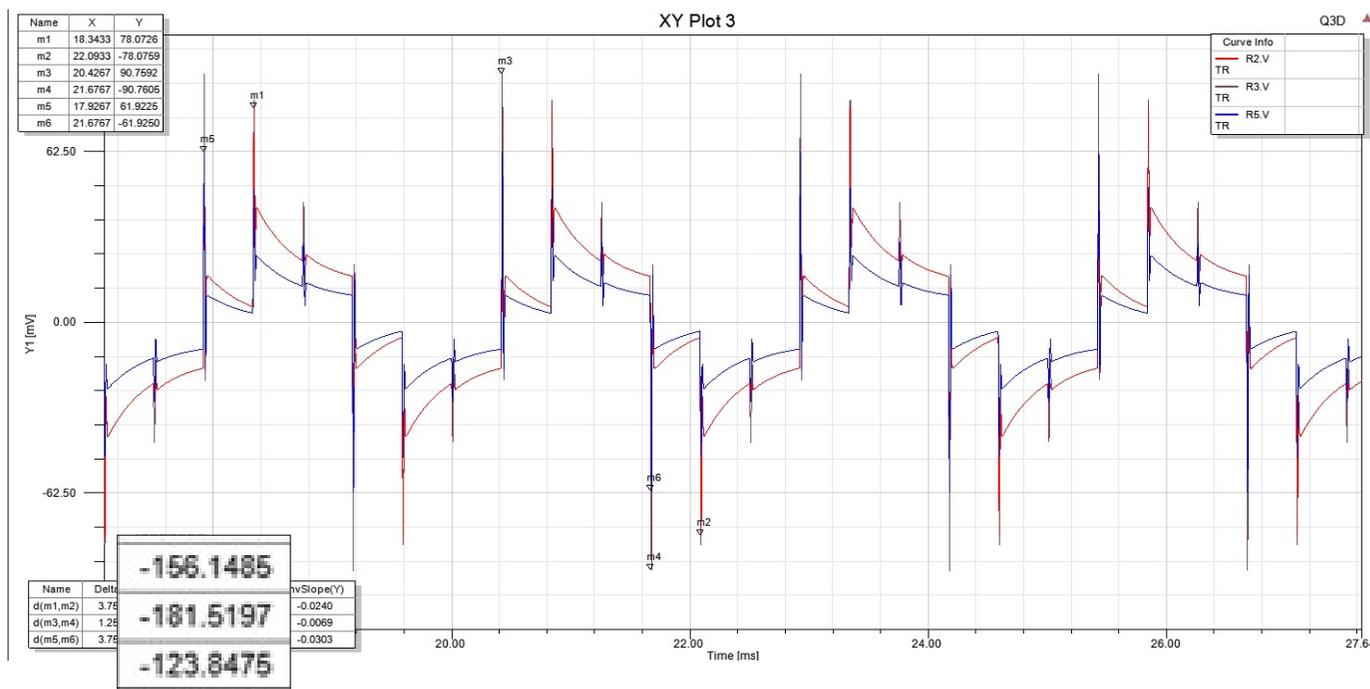
线缆干扰优化---LC滤波



线缆干扰优化---接地点变化



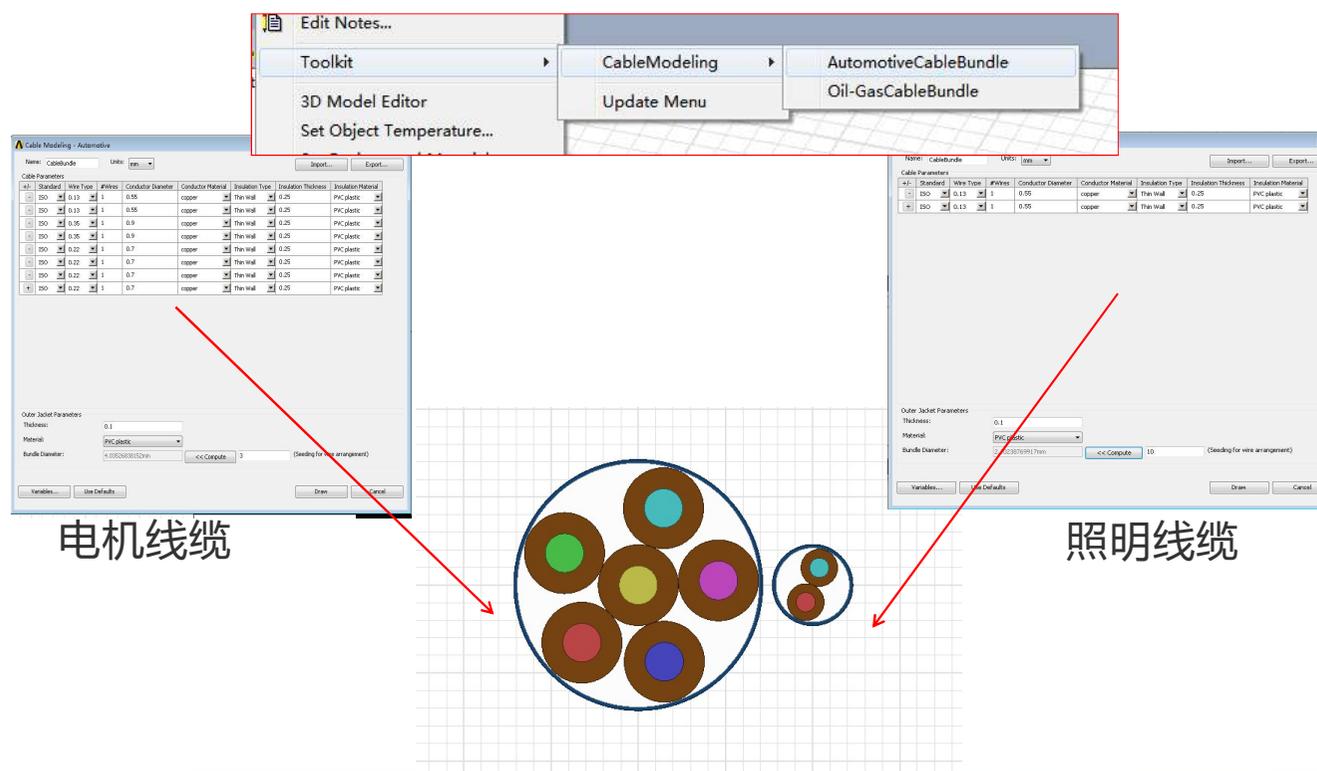
线缆干扰优化---接地点变化



表格中由上至下，分别为2/3/5三种接地方式的噪声波形，5点接地的噪声明显最小。

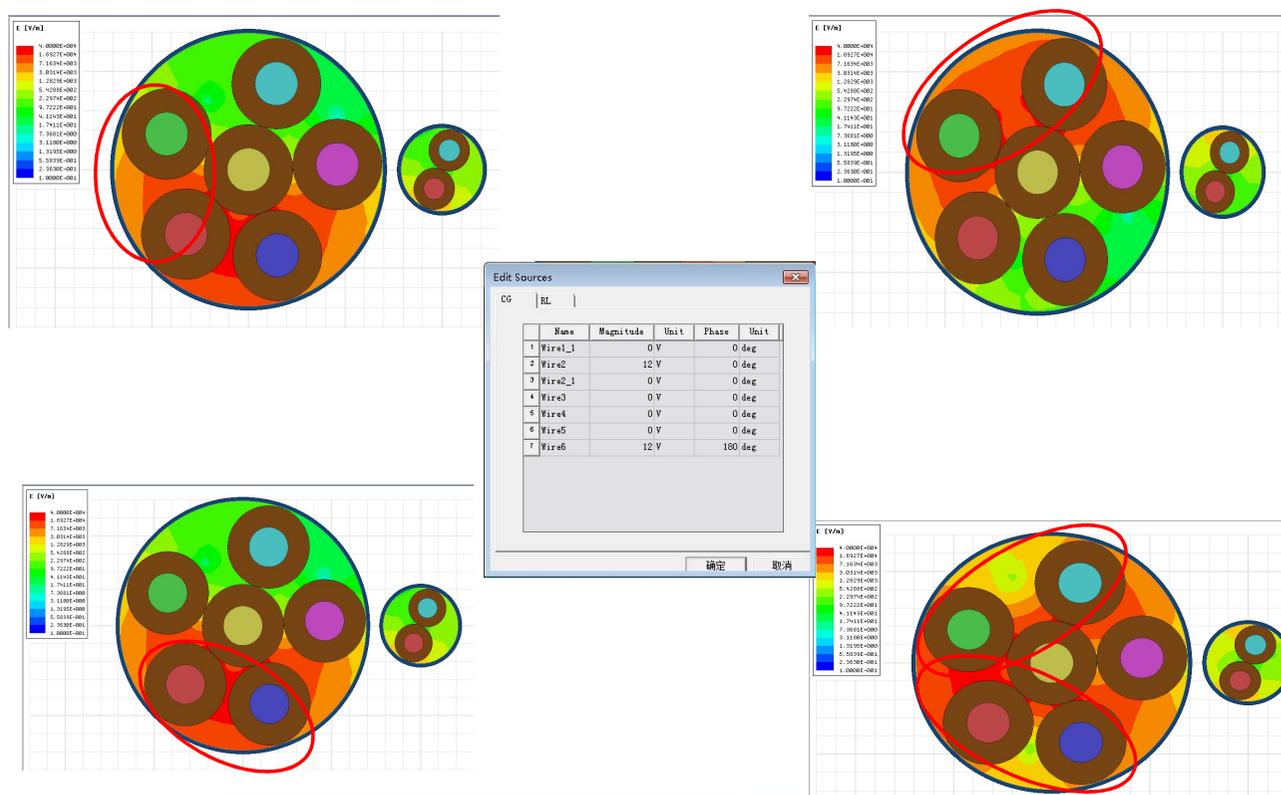
线缆干扰优化---信号分配

ANSYS软件集成的线缆库可快速进行线缆建模，并考虑捆扎效应等影响。

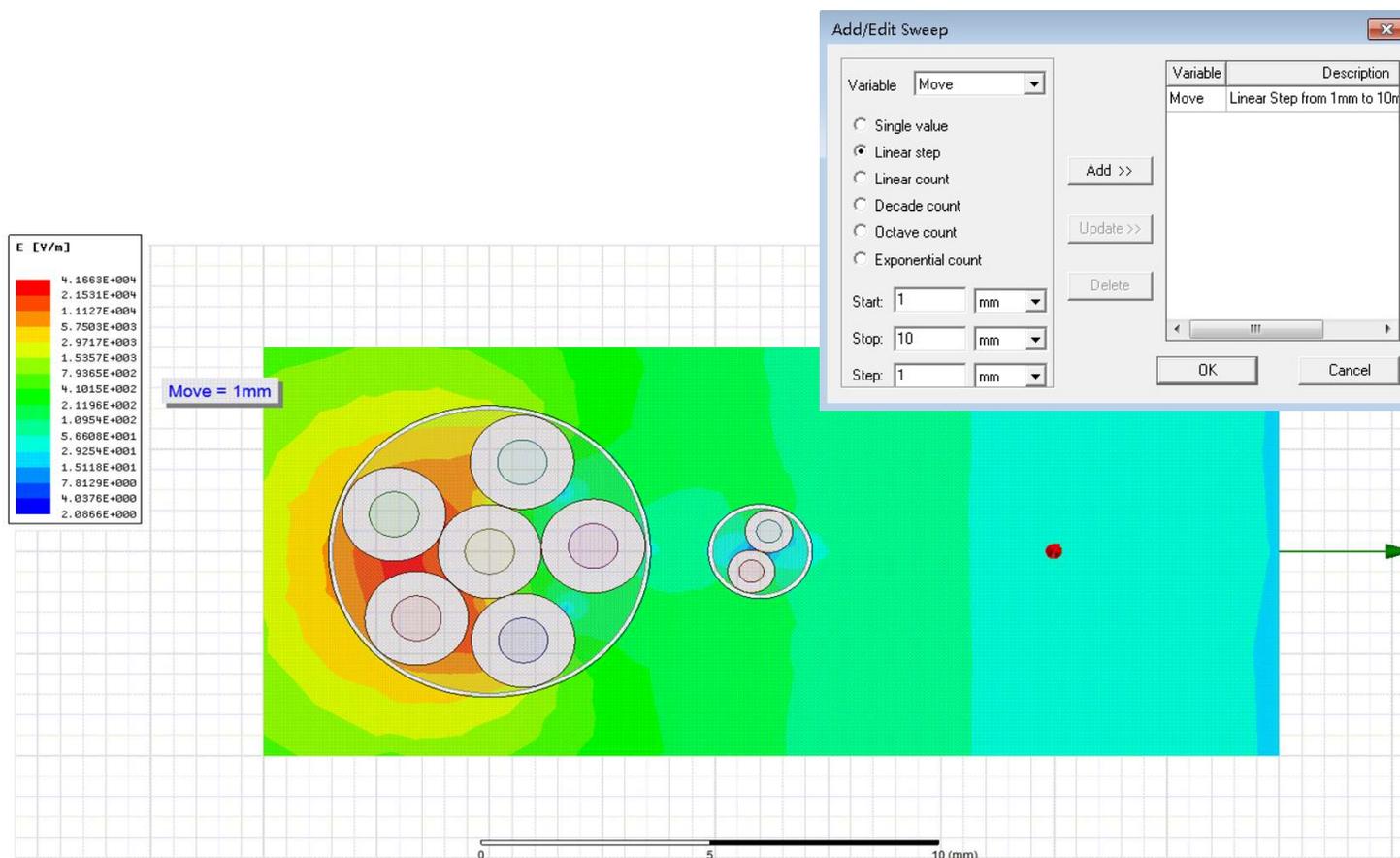


线缆干扰优化---信号分配

不同的线缆分配方式导致的线缆之间的耦合场分布也不同。ANSYS软件只需一次仿真即可得到所有信号分配方式的耦合场。



线缆干扰优化---信号分配



线缆之间的距离变化对耦合场的影响。

车体布局仿真

车体布局仿真---黑盒子仿真

- 具备数据
 - 车体结构
- 获得结果
 - 车体屏蔽效能
 - 布局风险区域

黑盒子

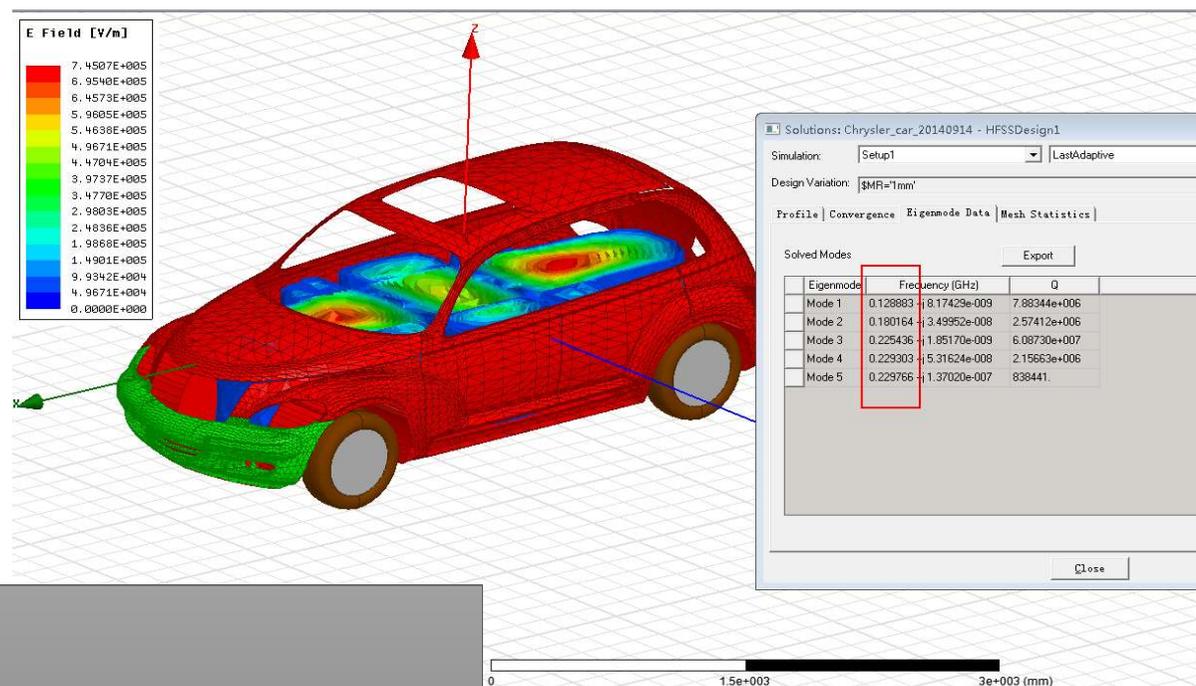
数据全面性：

- 不具备系统内的主要设备和部件数据；

仿真目的：

- 快速验证结论
- 研究设计规则

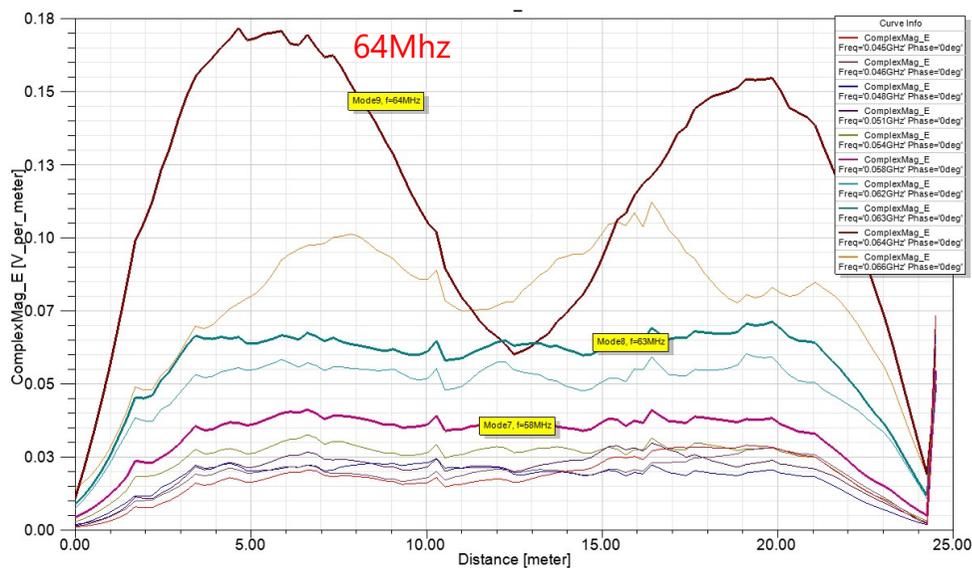
车体布局仿真---谐振分析



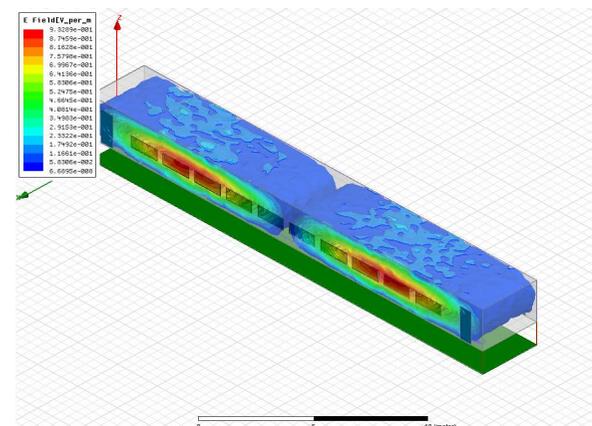
谐振计算结果

- 风险频率
- 布局风险区域

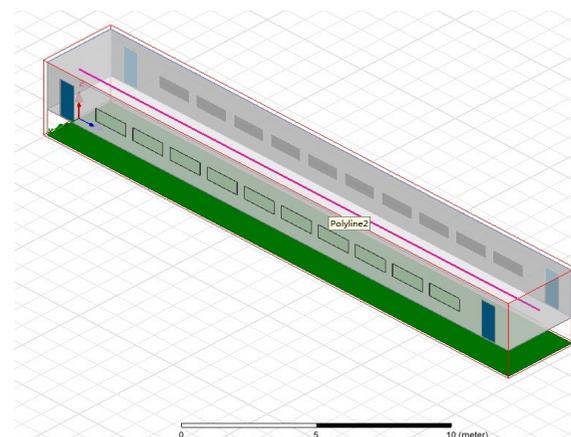
车体谐振与屏蔽效能



多个频点下沿车体长度的屏蔽效能曲线



64MHz谐振场分布



车体内屏蔽效能的观测曲线

车体布局仿真---灰盒子仿真

- 具备数据
 - 车体结构
 - 辐射部件（可选）
- 获得结果
 - 标准部件在车体的辐射场

灰盒子

数据全面性：

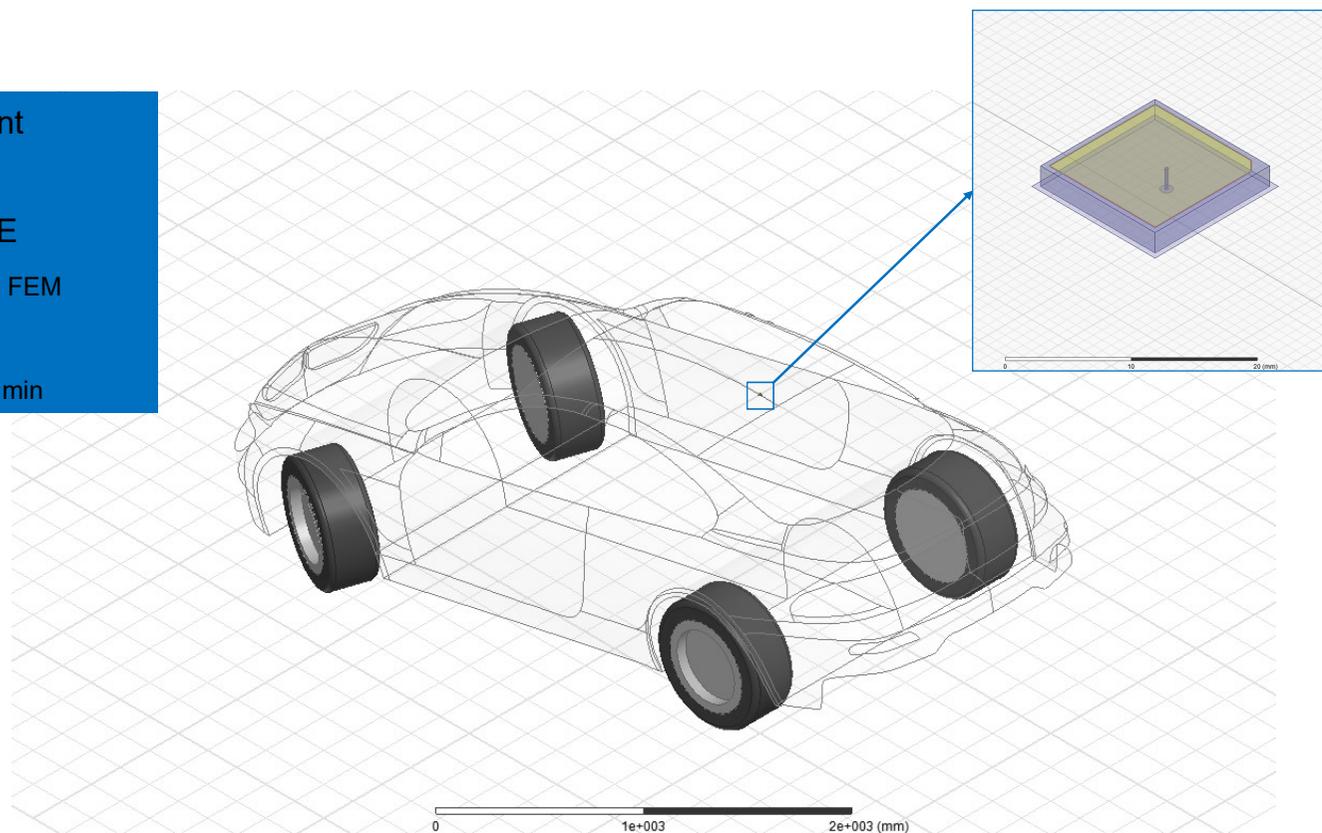
- 具备系统内的部分数据，如关键线缆布局、设备机箱结构；

仿真目的：

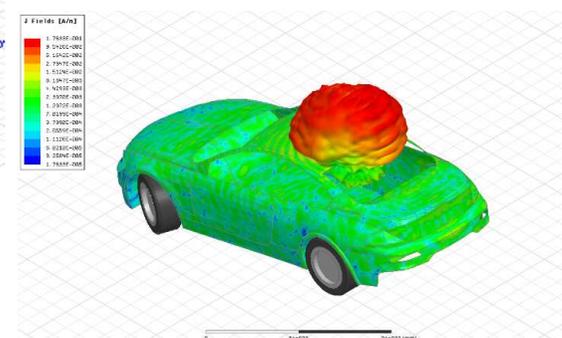
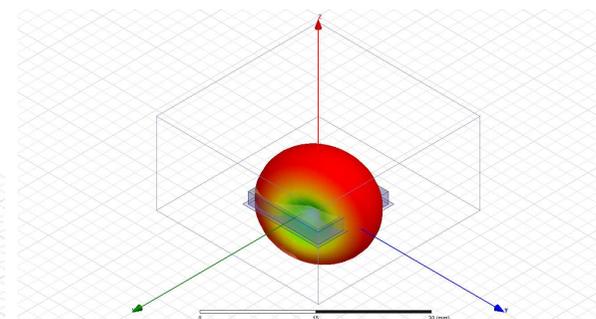
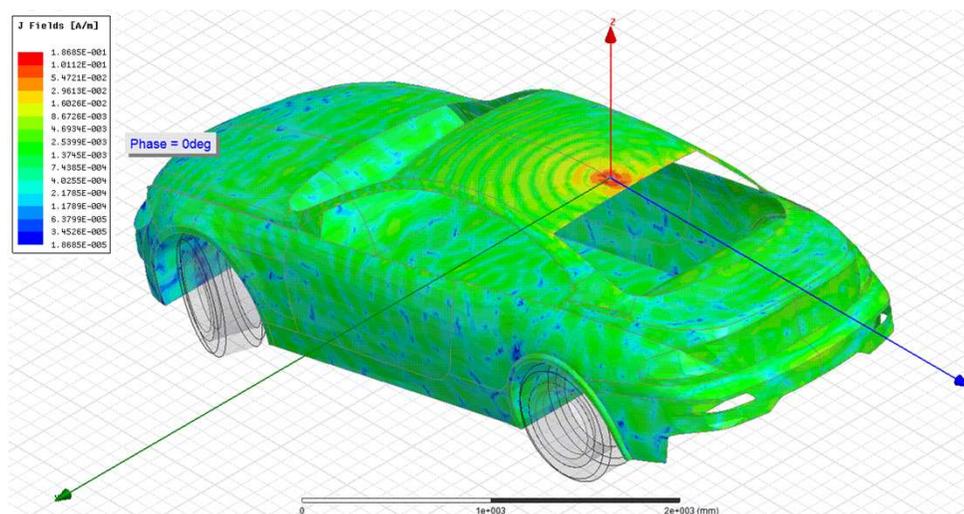
- 关键部件的电磁兼容性分析；
- 系统具体电磁兼容性问题分析与定位；
- 研究设计规则

GPS 天线布局

- 3D Component Assemble
- Hybrid FEM-IE
 - GPS Antenna: FEM
 - Car body: IE
 - Simu time: 20 min



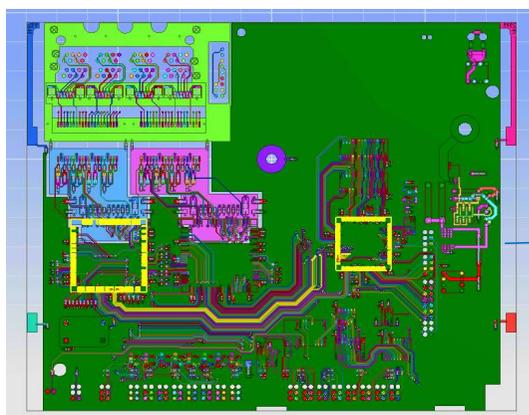
GPS天线布局



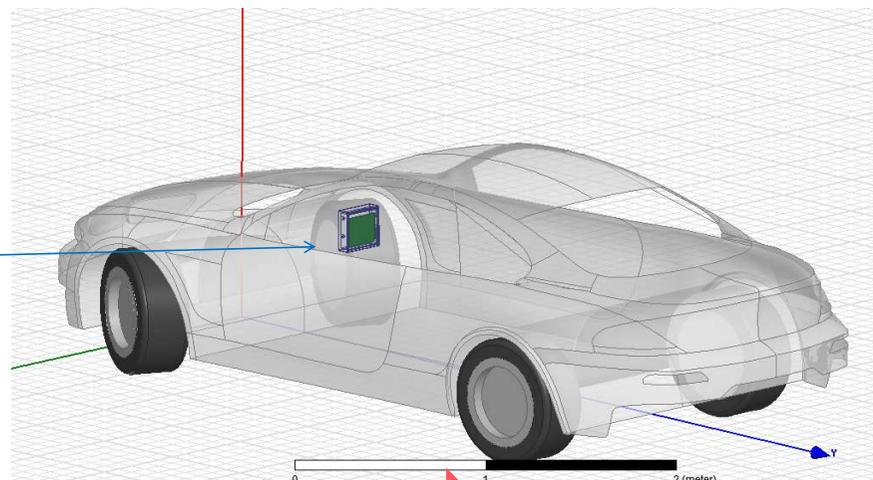
RE辐射分析

RE辐射测试仿真---白盒子分析

当数字PCB工作时，测试整车的对外辐射。



数字ECU PCB



RE辐射测试仿真---白盒子分析

- **具备数据**
 - 车体结构
 - 车载PCB设计文件
 - 车载设备机箱设计文件
 - 芯片模型
- **获得结果**
 - 车载PCB工作时的，整车的RE辐射曲线

白盒子

数据全面性：

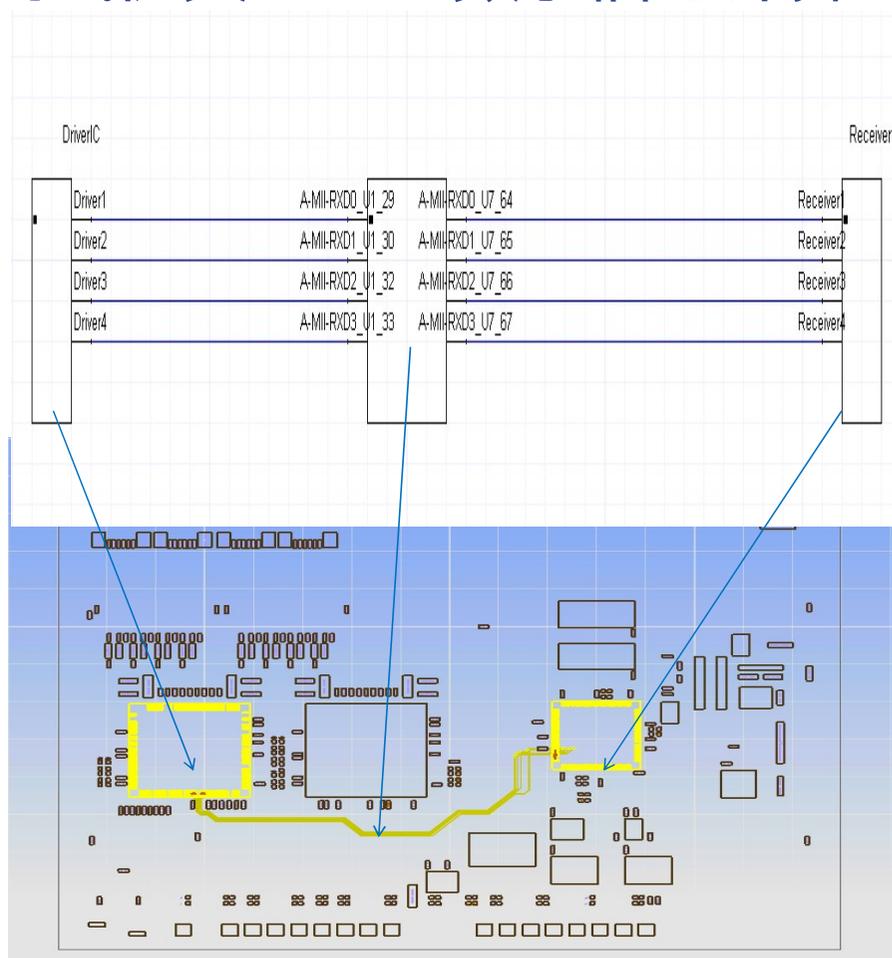
- 具备系统内的所有影响电性能的设备、部件和互连结构的数据；

仿真目的：

- 全面分析和预测系统电磁兼容性；
- 搭建系统电磁兼容性设计流程；
- 研究设计规则

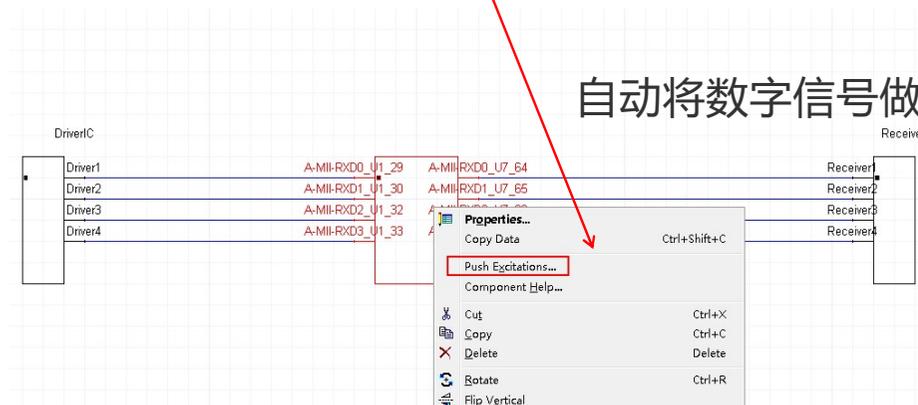
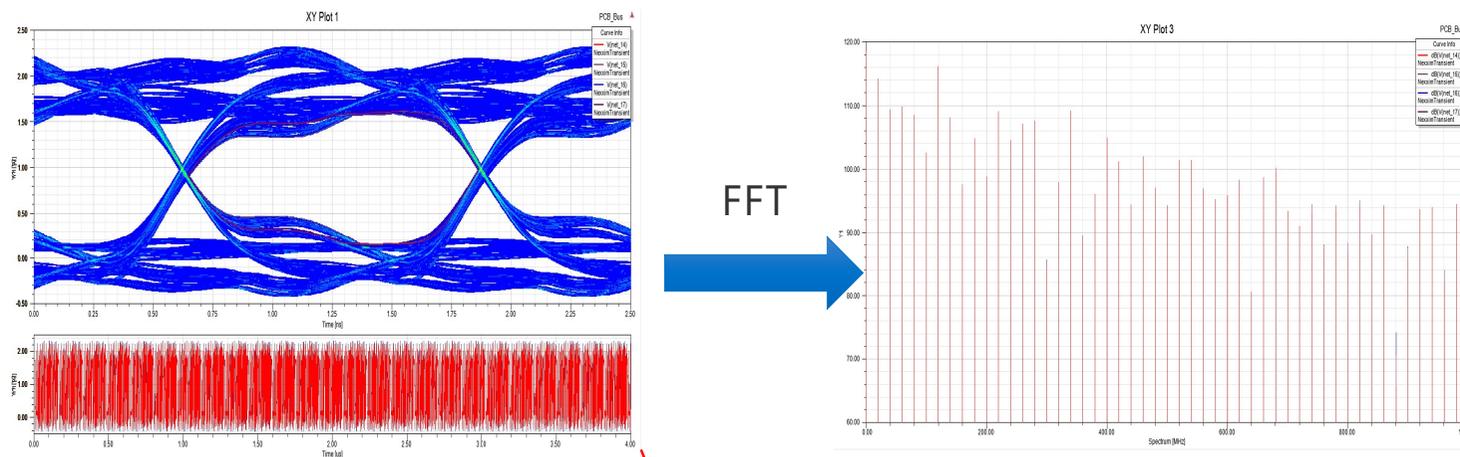


RE辐射测试仿真---PCB数字信号计算

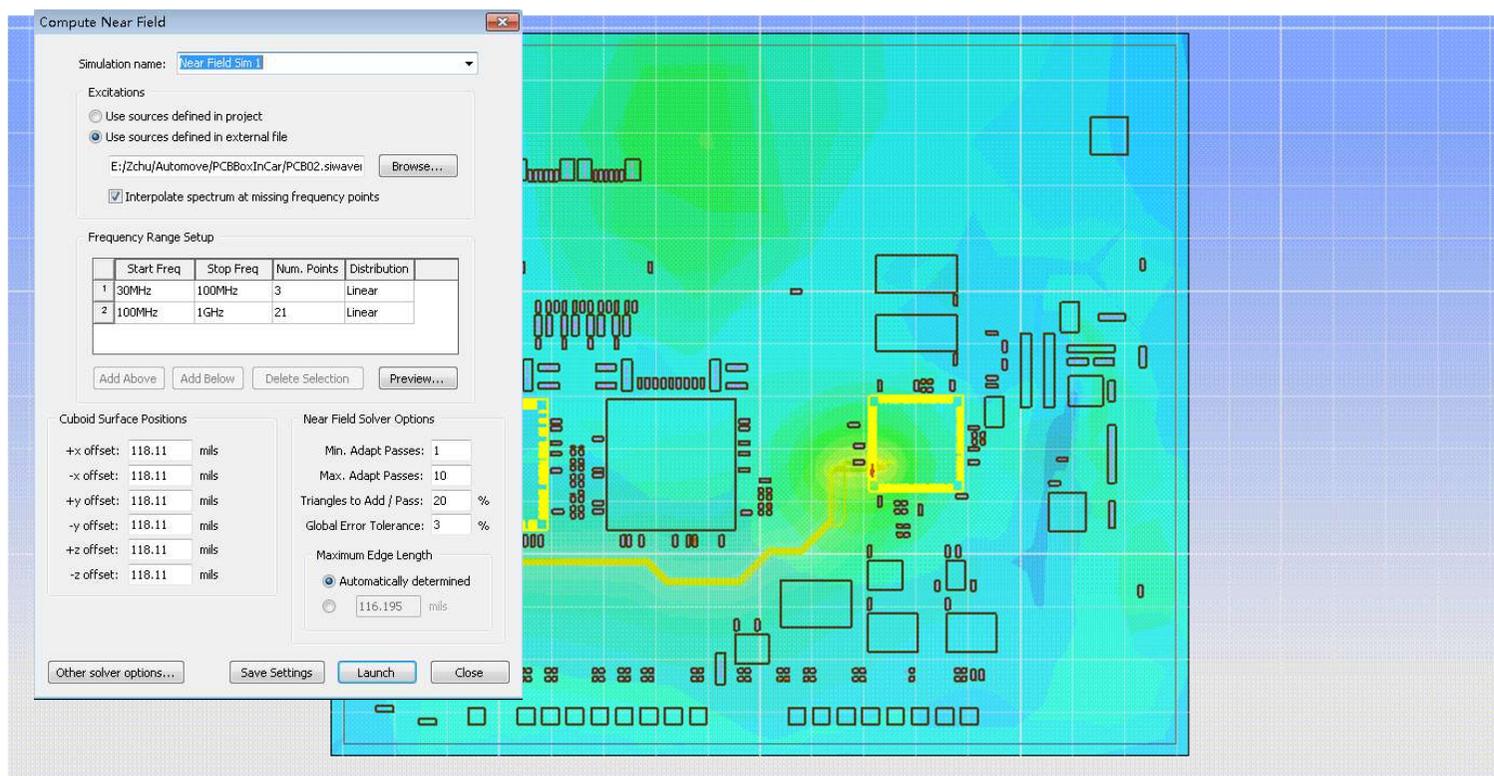


ANSYS仿真平台可将芯片模型与PCB模型互连，完整模拟数字信号的传输过程。

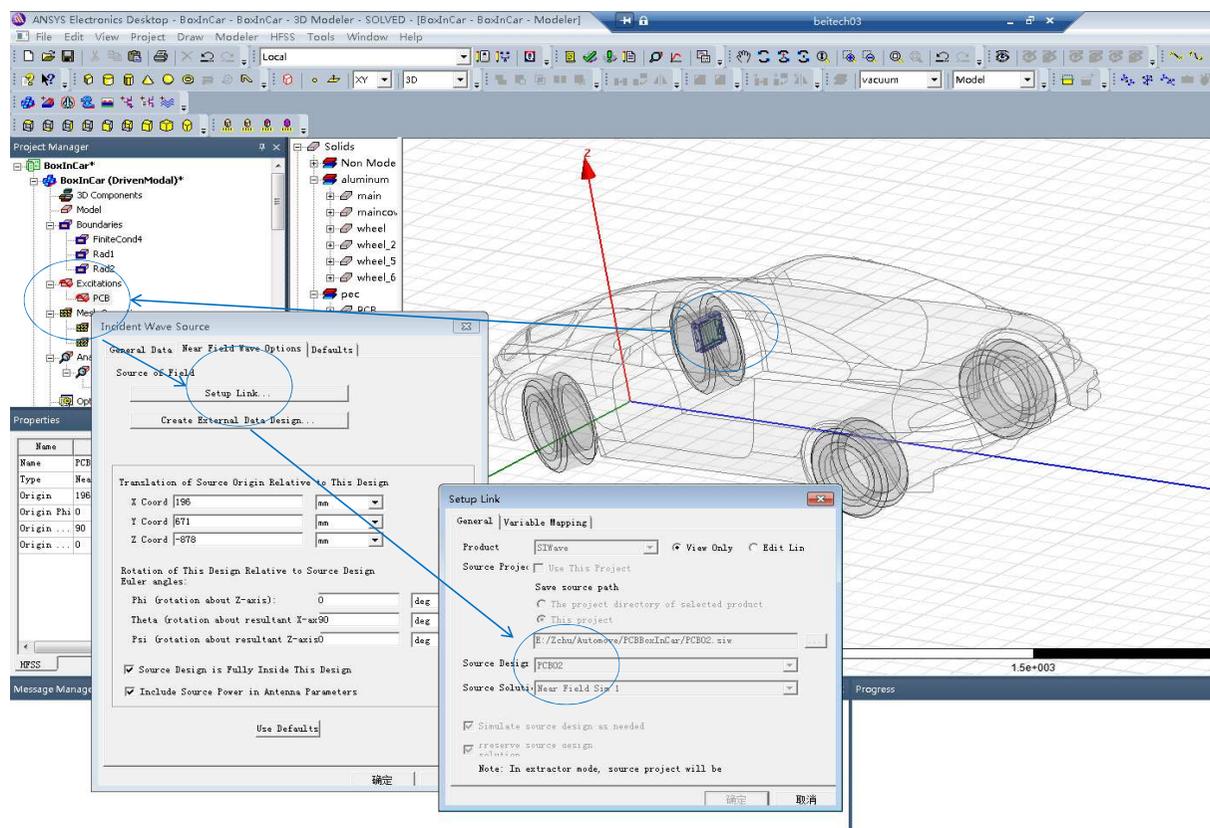
RE辐射测试仿真---PCB数字信号仿真结果



RE辐射测试仿真---PCB辐射仿真结果

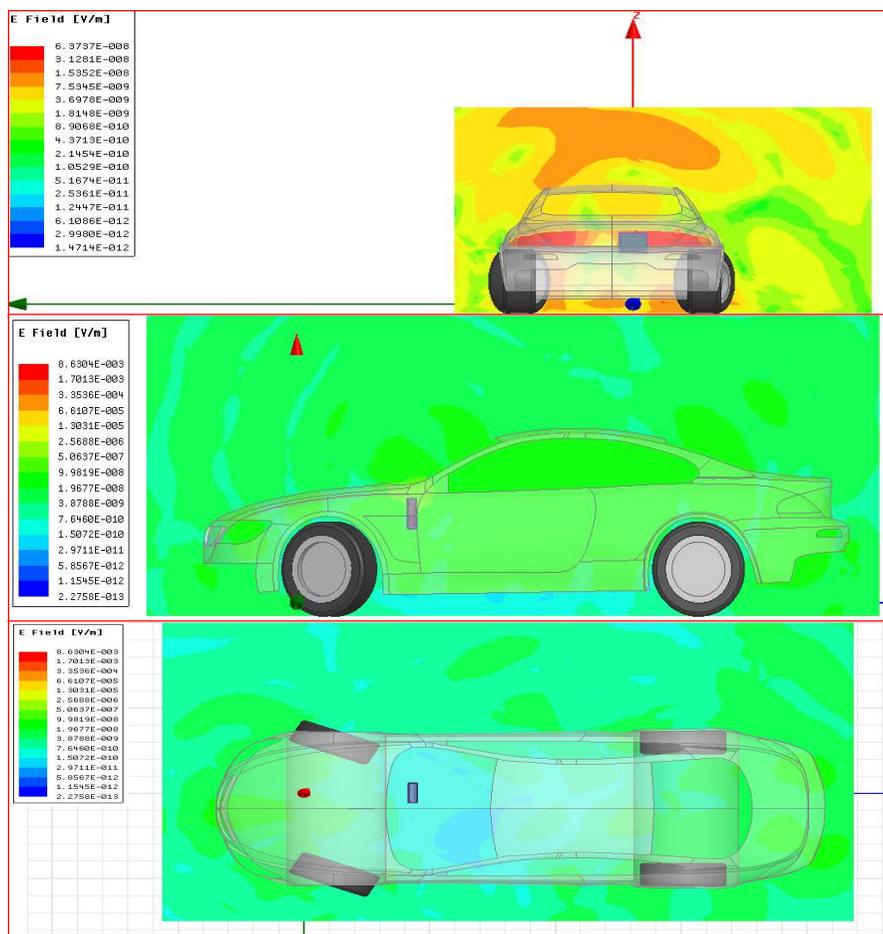


RE辐射测试仿真---整车EMC辐射



通过场到场的链接，将PCB的辐射场链接至车体内对应位置。

RE辐射测试仿真---整车EMC辐射



XZ 平面电场

YZ平面电场

XY平面电场

RE辐射测试仿真---整车EMC辐射曲线

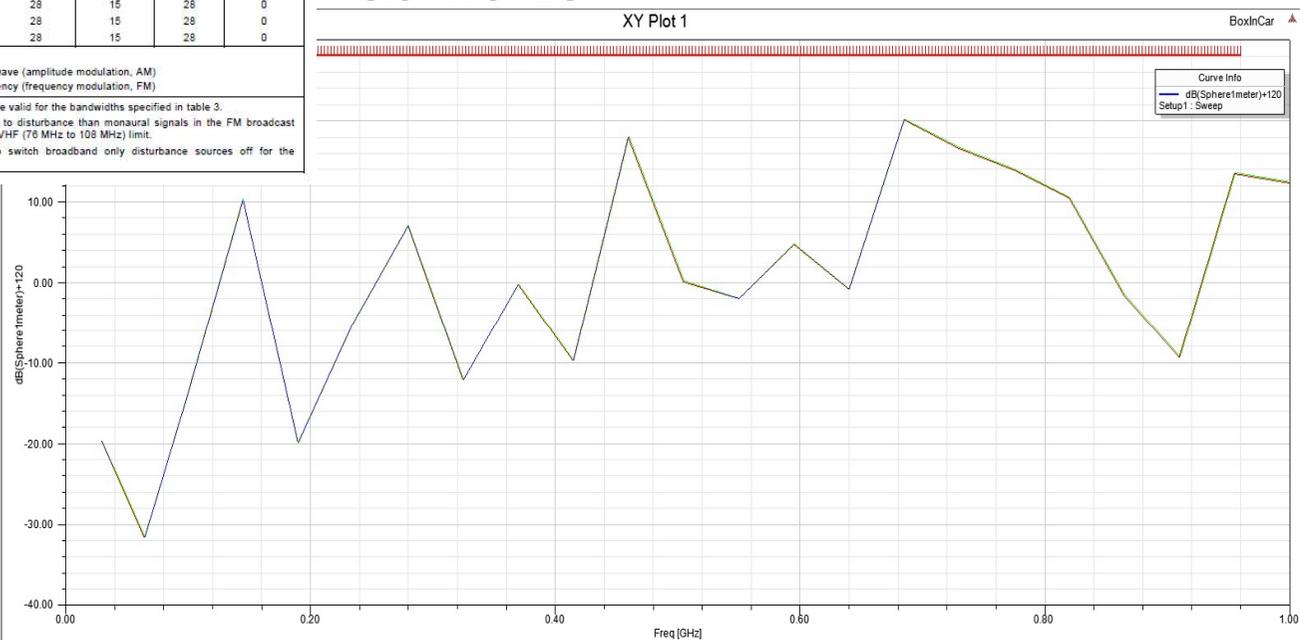
Table 5 – Limits of disturbance – Complete vehicle

Service/Band ^a	Frequency MHz	Terminal disturbance voltage at receiver antenna terminal dB(μV)				
		Broadband continuous		Broadband short duration		Narrowband
		Quasi-peak	Peak	Quasi-peak	Peak	Peak
Broadcast						
LW	0,15 to 0,30	0	22	15	28	6
MW	0,53 to 2,0	6	19	15	28	0
SW	5,9 to 6,2	6	19	6	19	0
VHF	78 to 108	6(15*)	28	15	28	6
Mobile services						
VHF	30 to 54	6(15*)	28	15	28	0
VHF	68 to 87	6(15*)	28	15	28	0
VHF	142 to 175	6(15*)	28	15	28	0
UHF	380 to 512	6(15*)	28	15	28	0
UHF	820 to 960	6(15*)	28	15	28	0

^a Limit for ignition systems only.
^b LW: Long wave, MW: Medium wave, SW: Short wave (amplitude modulation, AM)
VHF: Very high frequency, UHF: Ultra high frequency (frequency modulation, FM)

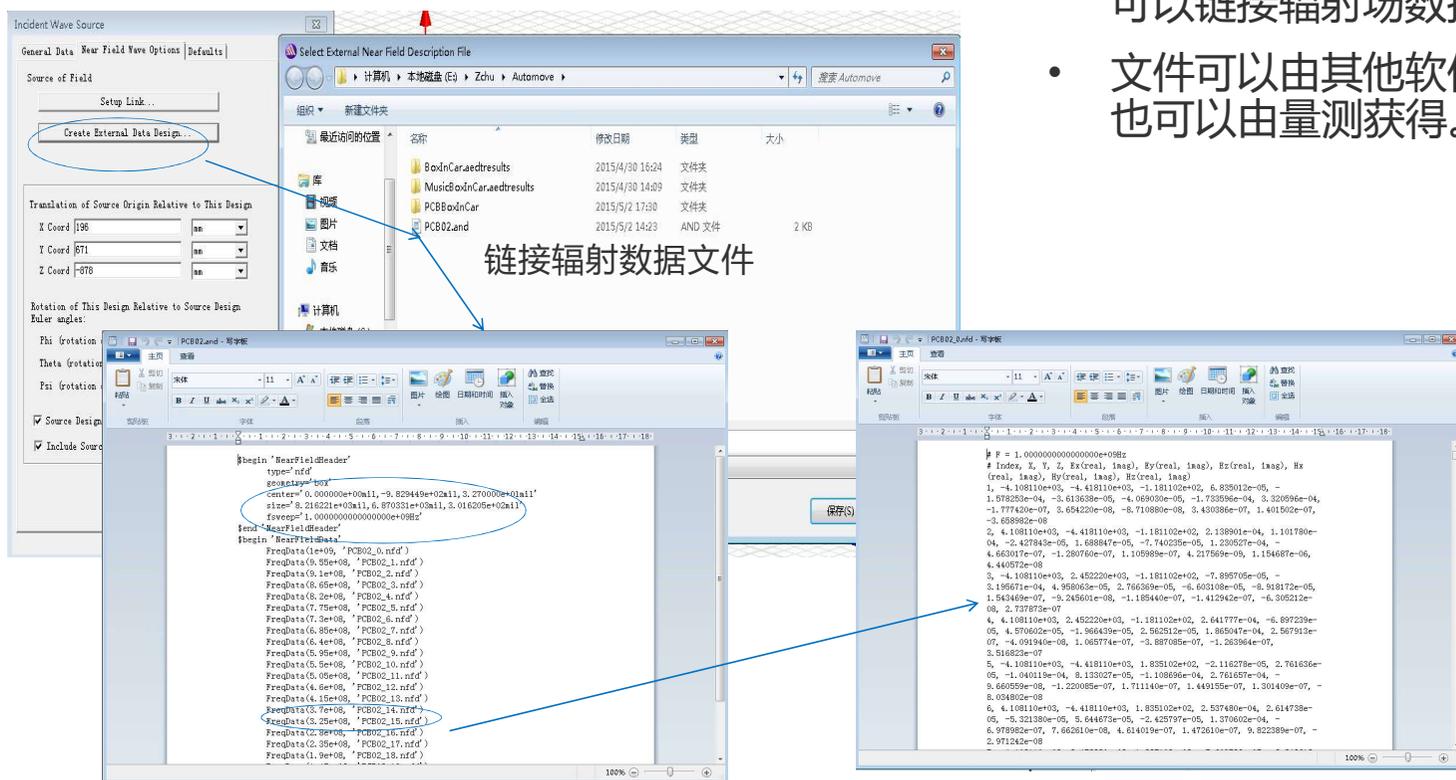
NOTE 1 All broadband values listed in this table are valid for the bandwidths specified in table 3.
NOTE 2 Stereo signals may be more susceptible to disturbance than monaural signals in the FM broadcast band. This phenomenon has been factored into the VHF (78 MHz to 108 MHz) limit.
NOTE 3 When possible it may be advisable to switch broadband only disturbance sources off for the measurement of narrowband disturbance.

CISPR SPEC



RE辐射测试仿真---灰盒子分析

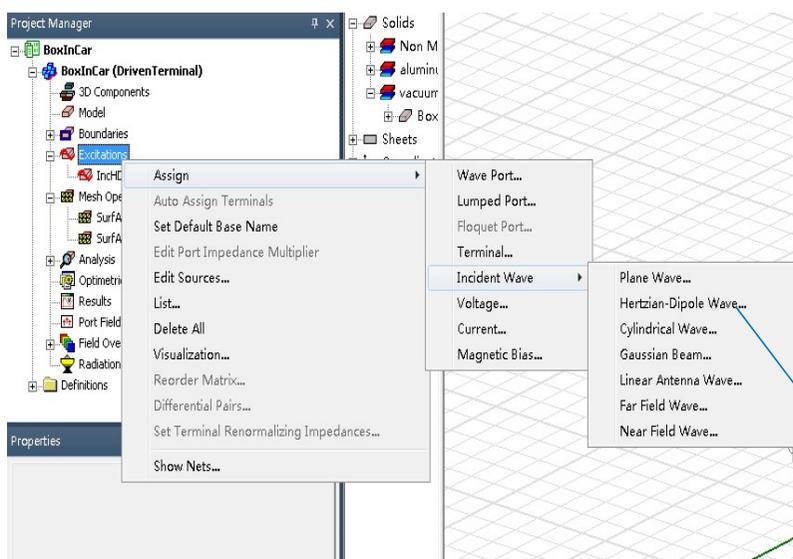
- 如果没有PCB设计数据, 可以链接辐射场数据文件。
- 文件可以由其他软件导出, 也可以由量测获得。



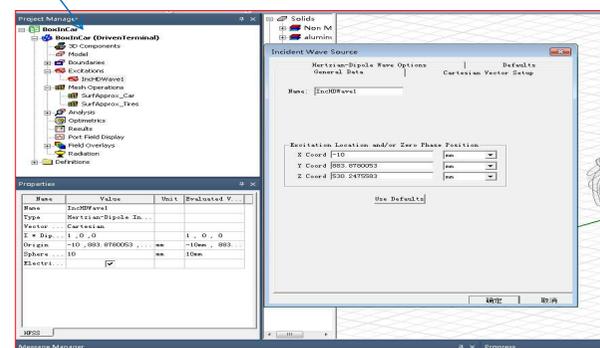
辐射体结构信息

结构上E/H分布

RE辐射测试仿真---黑盒子分析



如果没有任何的辐射部件作息, 可在ANSYS软件中直接添加平面波等标准激励进行分析。



目录

1. 汽车电磁兼容设计挑战
2. ANSYS汽车电磁兼容仿真思路
3. ANSYS汽车电磁兼容仿真设计案例
4. 总结

结论

- 全面的汽车仿真解决方案覆盖EMC设计多个关键部件
- 分层次的3级EMC仿真，确保设计者能合理使用设计数据
- 将EMC设计与验证相结合，通过仿真平台对EMC问题进行有效优化
- 强大的模型修复与简化功能可帮助设计者大大提高工程效率
- 独特的场路结合确保设计者把握EMC设计的多个要素

采用ANSYS工具的顶级车辆企业

汽车厂商

Toyota
General Motors
Volkswagen
Ford
Hyundai
PSA
BMW
Honda
Renault
Tata Motors
SAIC
Volvo
Chrysler



汽车供应商

Bosch
Delphi
Yazaki
Magna
Valeo
Continental
Denso
Brose
Visteon
BorgWarner
Eaton
TRW
Dana



卡车/巴士和越野车

Caterpillar
Navistar
John Deere
Scania
Cummins
AGCO
Bobcat
CNH
Eicher Tractors
Kubota Corp.
Mahindra & Mahindra
Volvo Truck



运动/两轮车

Red Bull
Ferrari
Toyota Racing
McLaren Racing
Force India
Hendrick Motorsports
Sauber Motorsports
Harley Davidson
Bajaj Auto
Pratt & Miller



其它地面交通

Alstom Transport
Bombardier Transportation
Deutsche Bahn
Electromotive Diesel
Railway Technical Research Institute
Japan
Zhuzhou Electric Locomotive



汽车行业国内用户



感谢倾听
期待与您的进一步合作 😊



扫一扫关注官方微信
获得第一手巡展报告下载资讯

联系我们

- web: <https://www.idaj.cn/>
- e-mail: support@idaj.cn
- Tel: 021-50588290; 010-65881497