

ICSC 2019

Core Competence Enhanced by MBD



IDAJ CAE Solution Conference

ANSYS仿真在汽车电磁兼容应用

IDAJ中国
技术部 刘捷

目录

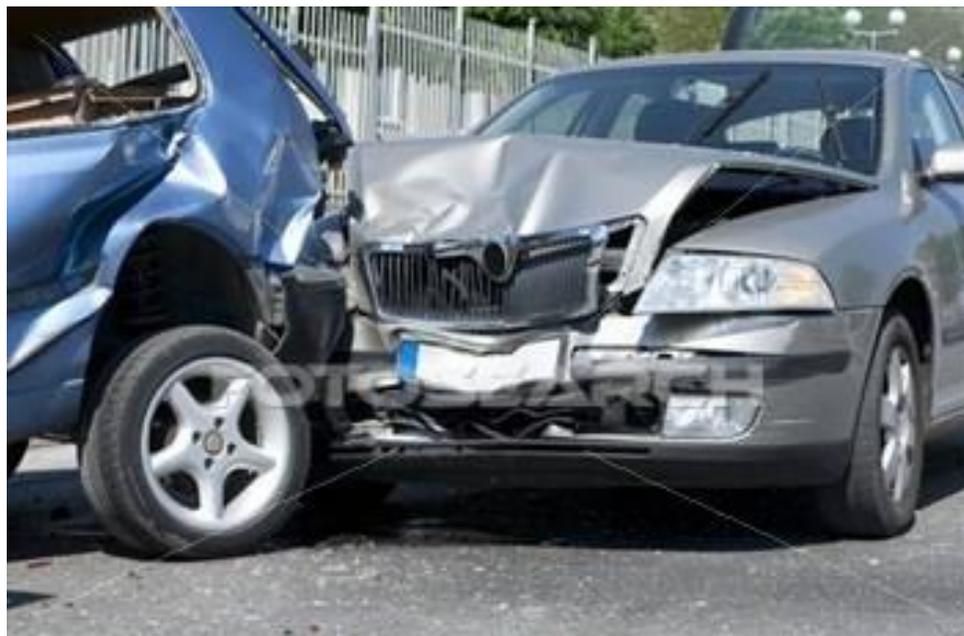
- 认识CAE
- 电磁兼容复杂度
- 电磁兼容仿真
- ANSYS电磁兼容仿真
- 案例

目录

- 认识CAE
- 电磁兼容复杂度
- 电磁兼容仿真
- ANSYS电磁兼容仿真
- 案例

认识CAE

CAE分析 (Computer Aided Engineering) , 又称**仿真分析**



VS



解决方案



安全**驾驶**



出厂前对汽车零部件做**试验**



设计时通过计算机仿真技术分析汽车的安全可靠性 (CAE)



对汽车定期进行**检测**

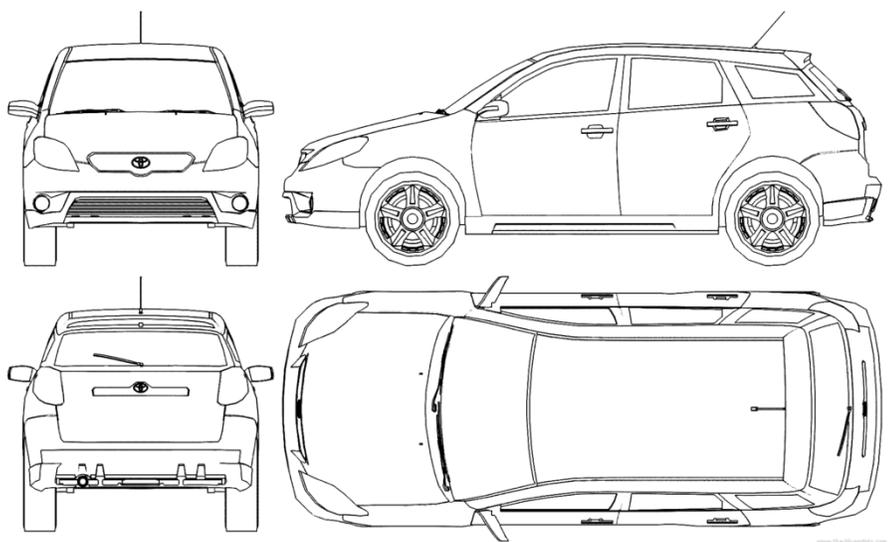


事故分析: 驾驶中汽车碰撞造成人员伤亡



事故思考: 如何能够避免事故的发生、降低人员伤亡程度呢?

认识CAE



VS



➤ 做试验：设计完成，制作汽车模型，做碰撞试验，然后更改设计，再制作模型做试验，如此反复若干次，直到符合碰撞的安全要求

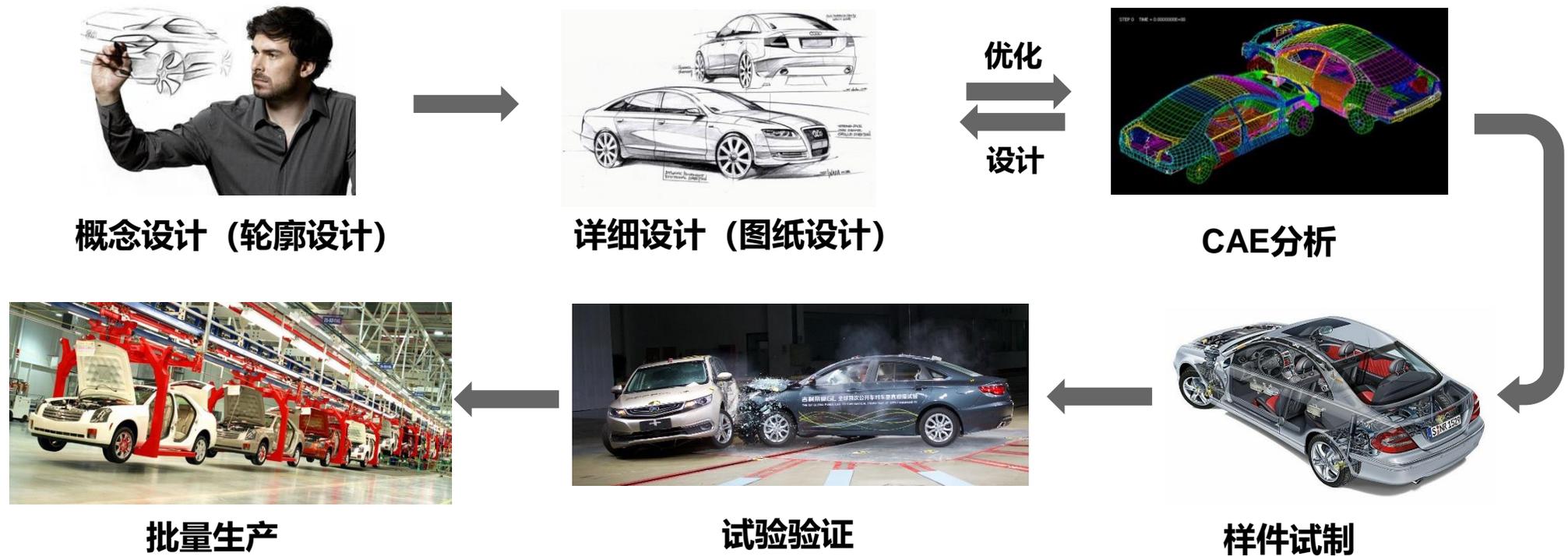


➤ CAE分析：在电脑中模拟汽车碰撞过程，通过分析结果更改设计，如此反复若干次，直到符合碰撞的安全要求

举例来说：设计出一款汽车后，我们想知道它的防碰撞性能，怎么做呢？

认识CAE

可以看到**仿真分析**就是：**通过在电脑中进行模拟来预测产品的性能。**
在应用仿真分析时，汽车的生产流程为：

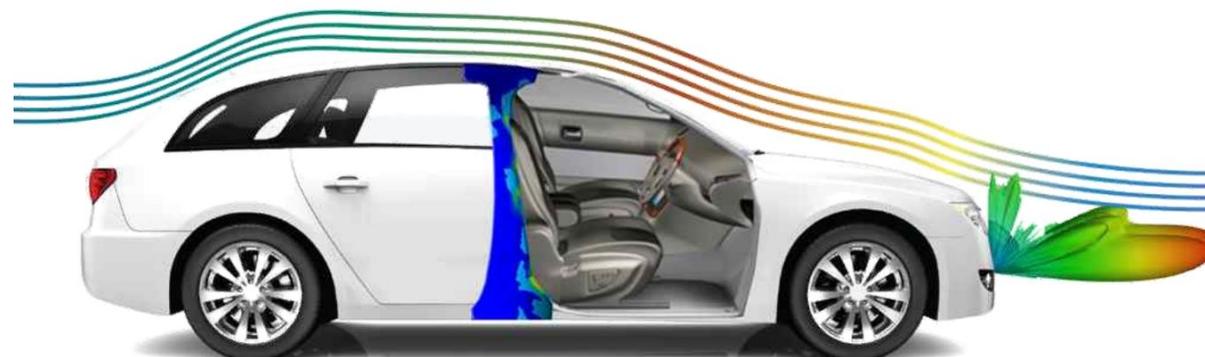


而不做仿真分析时，则需要多次试制产品，进行产品的试验，修改产品设计。所以仿真分析的**价值**是：
降低了产品研发的成本 缩短了产品研发的时间 提高了产品的可靠性 增强了市场竞争力

过去45年仿真的进展

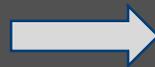


Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



仿真早已确立自己作为理论和实验并行的第三大科学支柱

很有局限的技术
用于验证



最先进的技术
用于产品开发中

↓ 工业 4.0

用于生产和运营中

通过仿真提升效能250%

仿真驱动创新

数字革命加剧问题的复杂化

芯片变得越来越复杂和精细

万物互联将很快实现并智能化

电子设备无处不在

增材制造技术正在改变传统的制造方法

复合材料在产品中的应用急剧增加

物联网正在改变
产品交付和维护的方式

仿真是抓住商机应对挑战的关键

仿真已经无处不在，覆盖所有产品并贯穿全生命周期

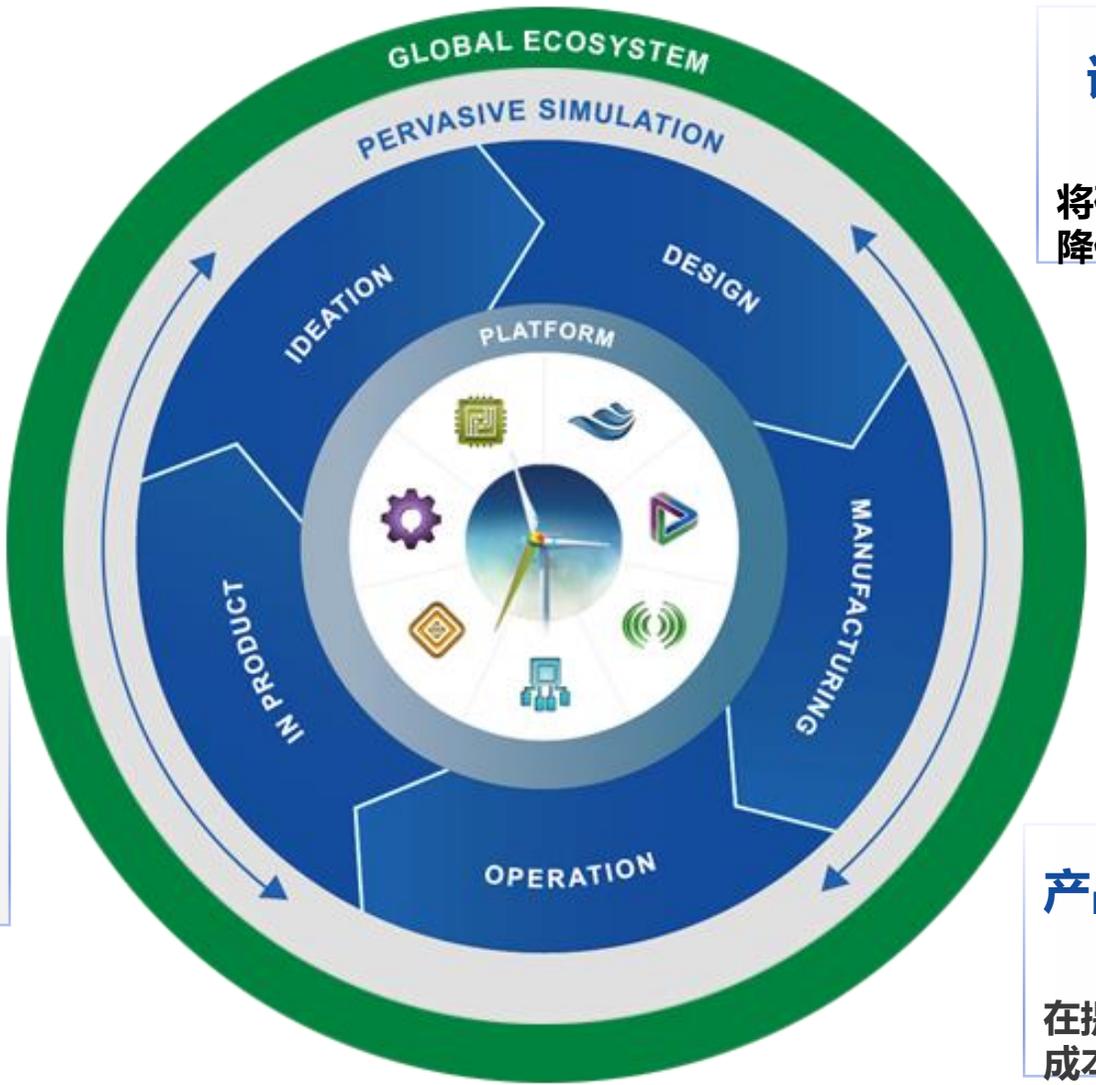
概念和创意阶段

80%的成本
在设计早期阶段即已确定



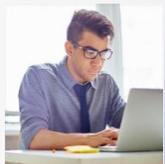
成品阶段

将验证自动驾驶汽车所需的时间从10000年缩短到2到3年



详细设计阶段

将研发时间缩短9倍，质保成本降低89%



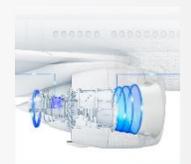
产品制造阶段

通过拓扑优化和增材制造
将部件重量减轻25%



产品运营阶段

在提高性能的同时将维护成本降低10-20%



仿真覆盖所有产品和所有工程师

- 推动创新
- 应对复杂性



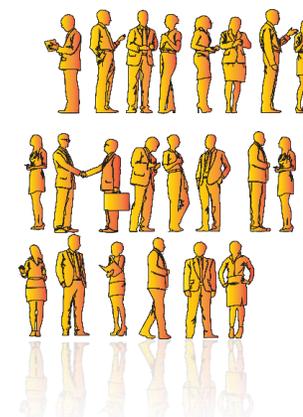
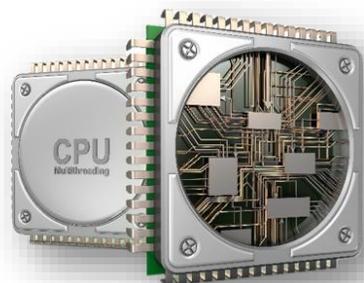
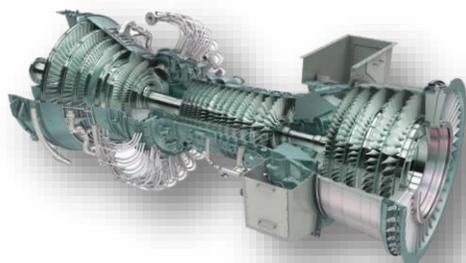
- 缩短设计周期
- 降低成本



- 提高质量
- 消除风险



- 知其然
- 知其所以然



目录

- 认识CAE
- 电磁兼容复杂度
- 电磁兼容仿真
- ANSYS电磁兼容仿真
- 案例

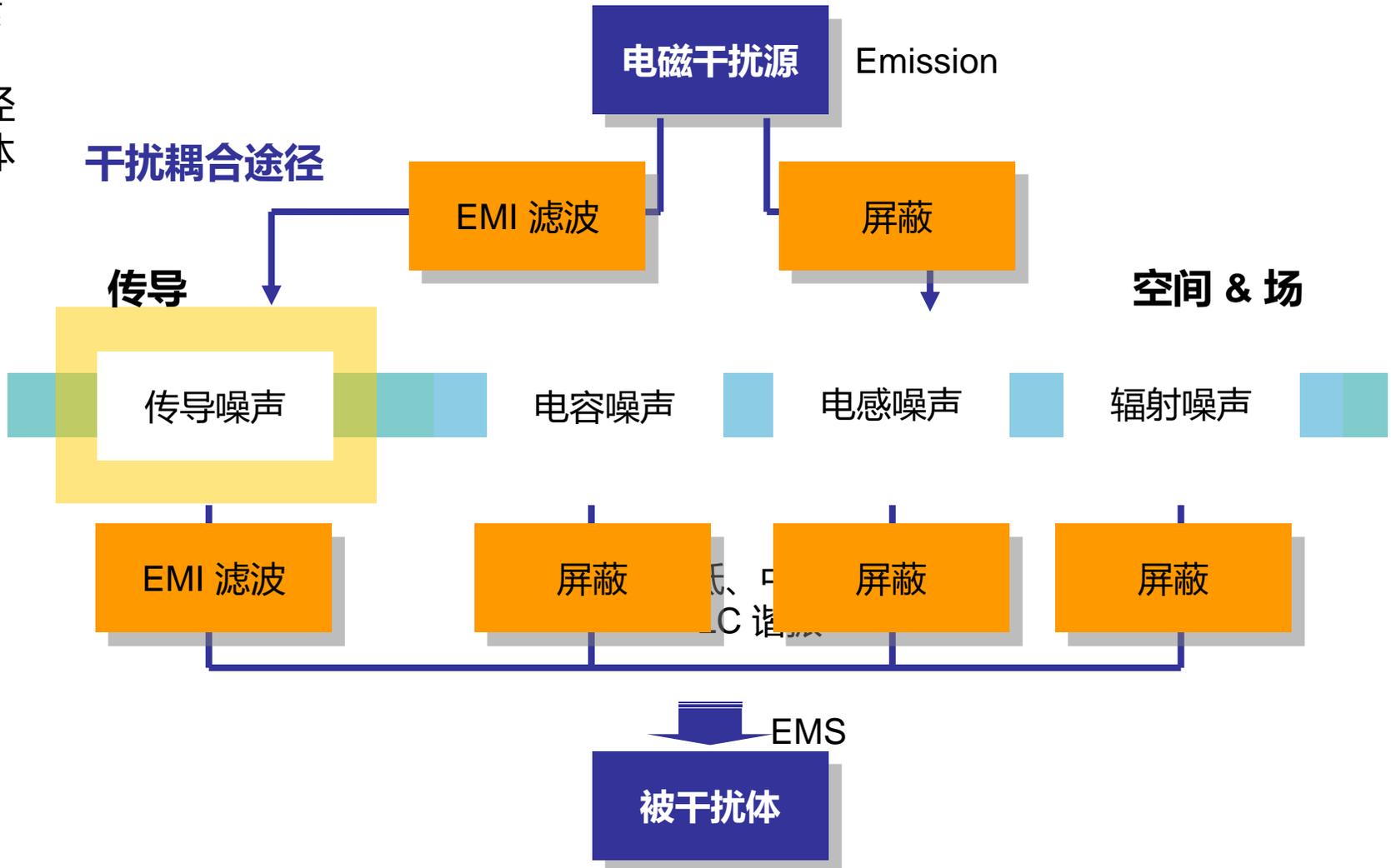
什么是电磁兼容

- 电磁兼容性（EMC）是指设备或系统在其电磁环境中符合要求运行并不对其环境中的任何设备产生无法忍受的电磁干扰的能力。
- EMC包括两个方面的要求：一方面是指设备在正常运行过程中对所在环境产生的**电磁干扰**不能超过一定的限值；另一方面是指器具对所在环境中存在的电磁干扰具有一定程度的抗扰度，即**电磁敏感性**。

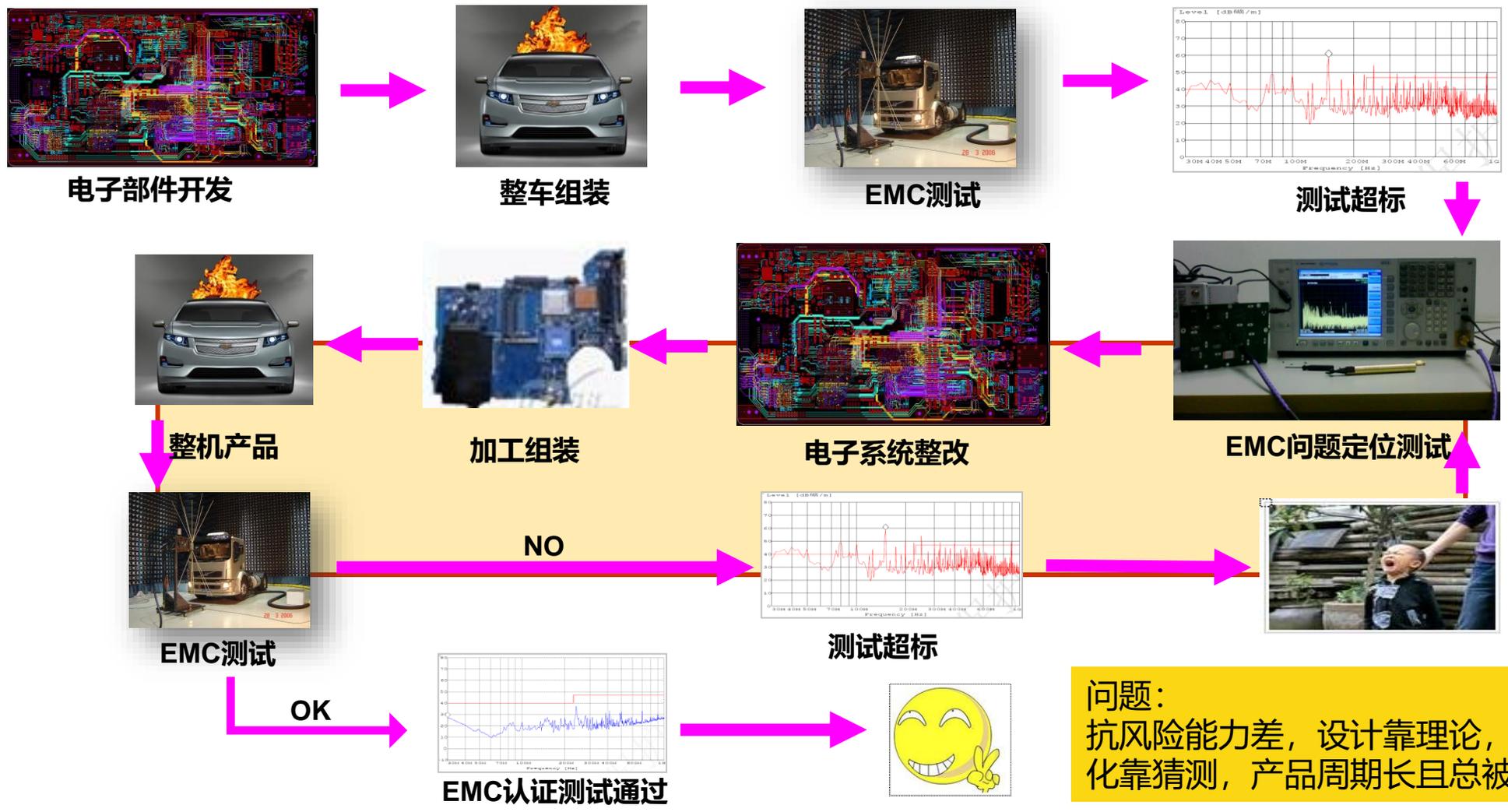


电磁兼容分析的一般思路

- 电磁兼容三要素
- 干扰源
 - 耦合路径
 - 被干扰体



电磁兼容传统分析手段——测试



问题：
抗风险能力差，设计靠理论，调试靠经验，优化靠猜测，产品周期长且总被延迟等等。

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

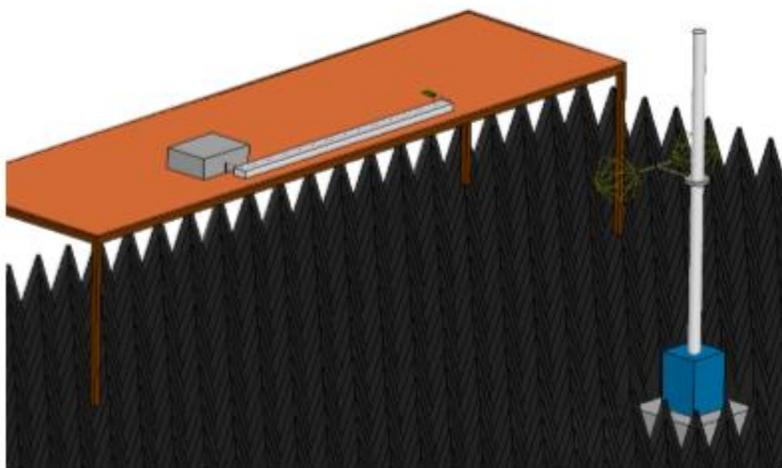
出现问题后难以定位

仿真手段的优势

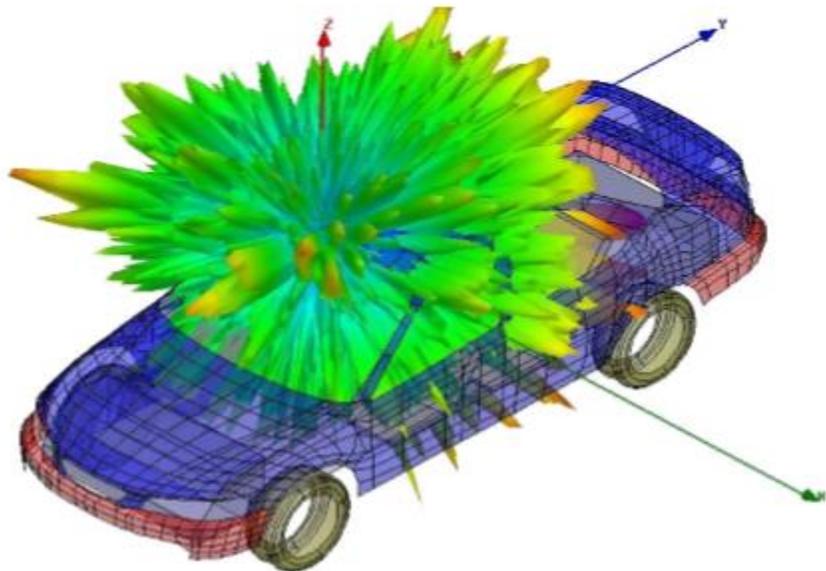
→ 通过适当的工程简化，将关注点放到主要问题分析上。

→ 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

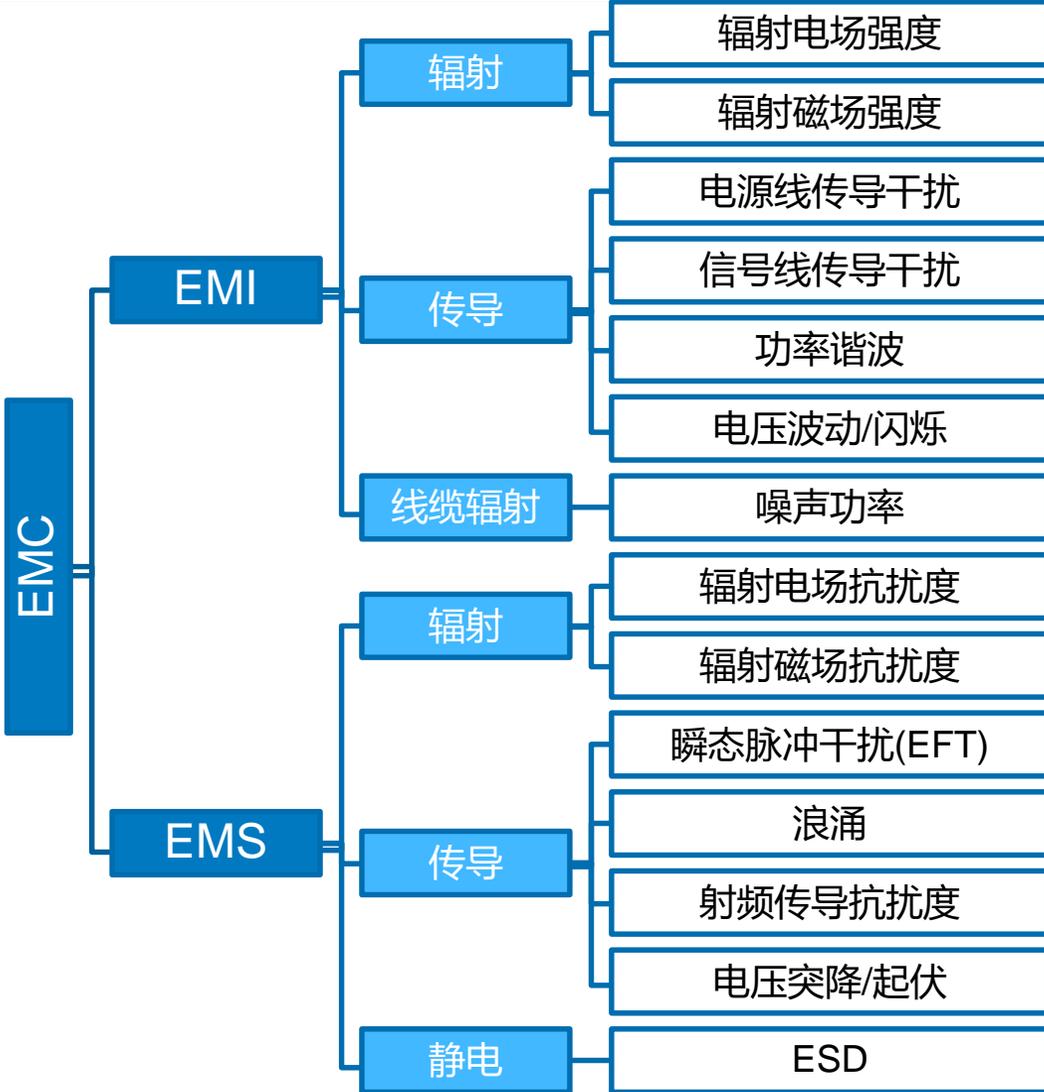


各式各样的EMC测量环境



仿真结果显示 (电场强度3D辐射图)

电磁兼容问题错综复杂定位困难



行业领域复杂

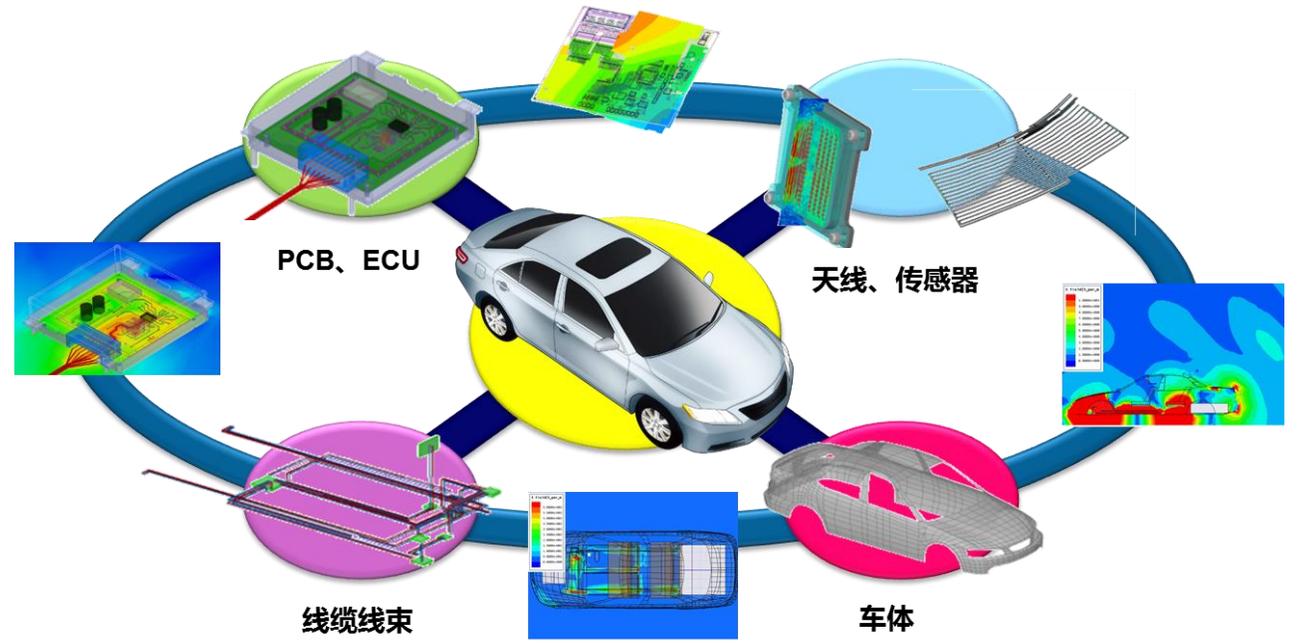
- 航空、航天、船舶、汽车、机车、通信、消费电子.....

研究对象繁多

- 复杂系统、单机设备、电源、PCB、芯片封装.....

频段覆盖广泛

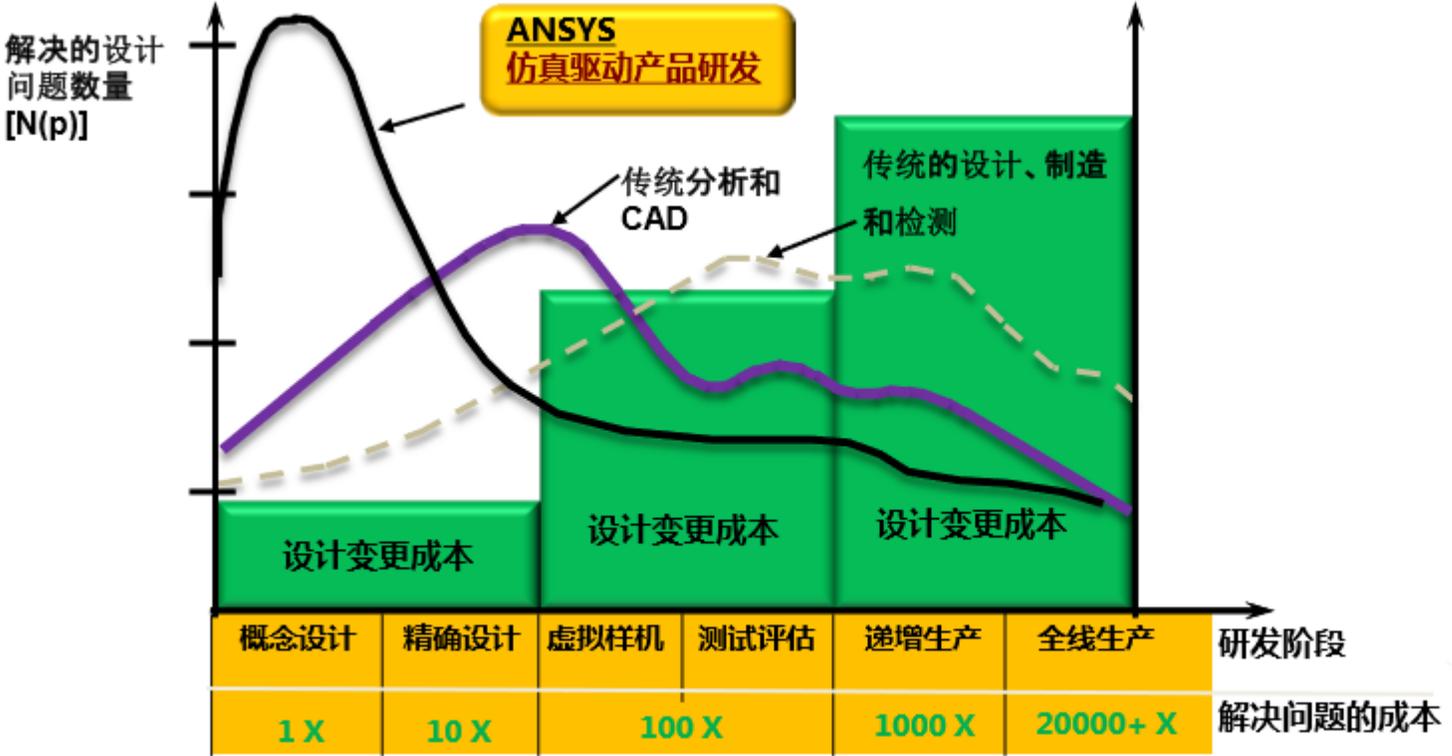
- 低频、高频
- 频域、时域
- 模拟、数字



目录

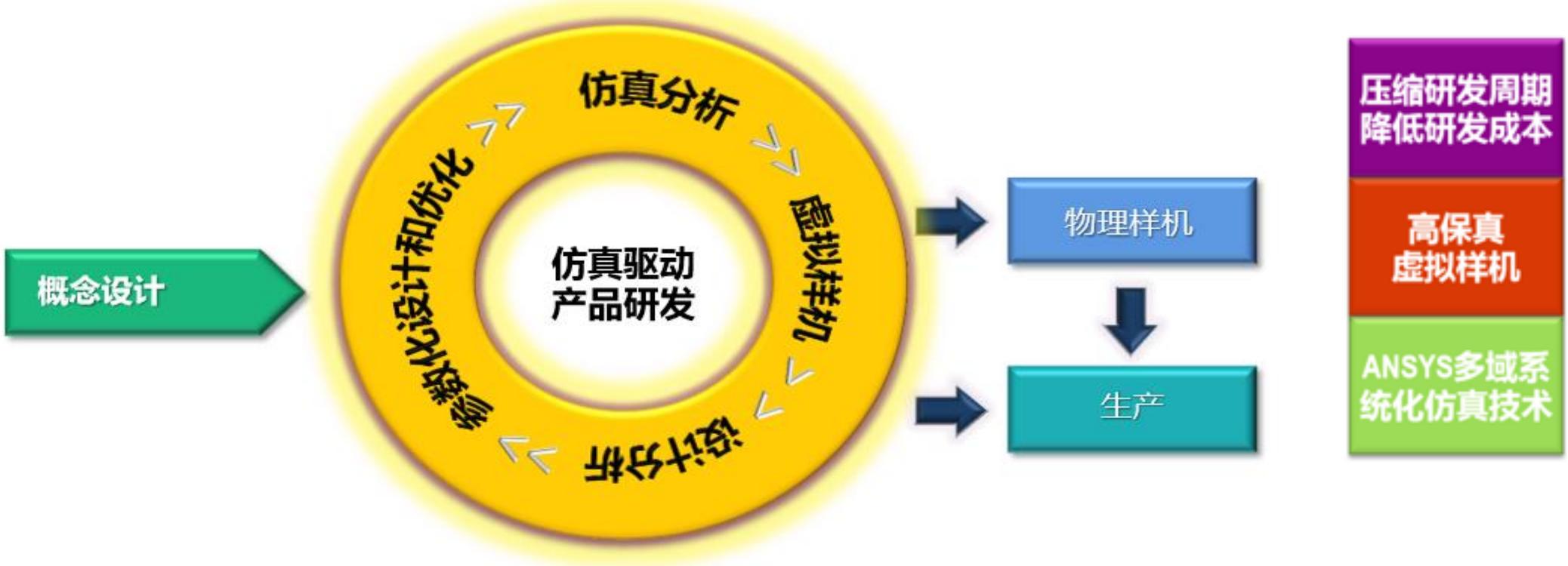
- 认识CAE
- 电磁兼容复杂度
- 电磁兼容仿真
- ANSYS电磁兼容仿真
- 案例

尽早解决电磁兼容问题十分必要



- 解决电磁兼容问题的成本随着开发过程呈指数级增长
- 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**

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

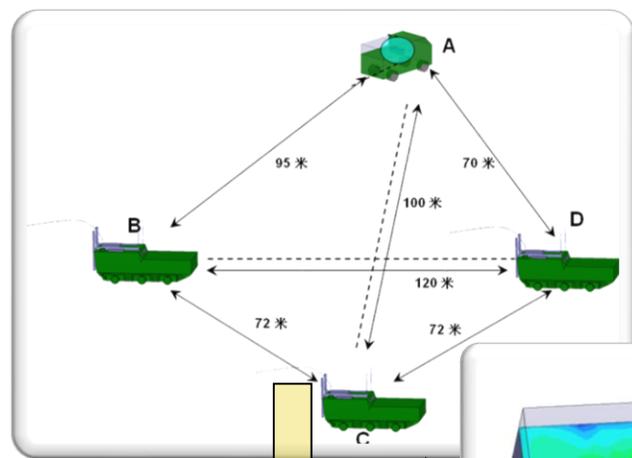
电磁兼容仿真分析需要何种仿真软件?



- 滤波
- 接地
- 传导
-

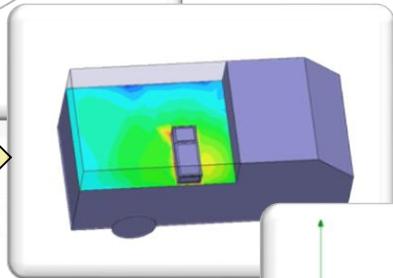
- 泄漏
- 屏蔽
- 辐射
-

电磁兼容预测与分析的对象和目的



电磁兼容仿真根据仿真目标的尺寸和工作模式、频率，分为多个层级的仿真。

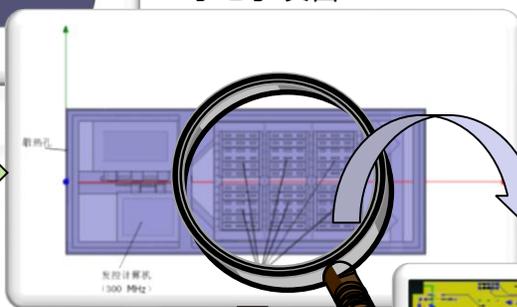
系统级
车辆、飞机、舰船



设备级
收发机、计算机、开关电源等电子设备

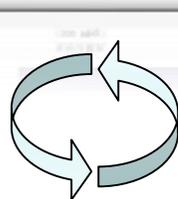
Transfer of specs

Transfer of specs

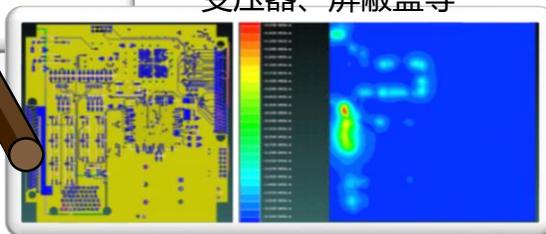


器件级
数模混合/高速/射频发射PCB、变压器、屏蔽盒等

验证/改进设计



Transfer of specs



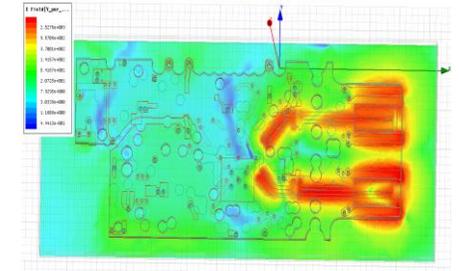
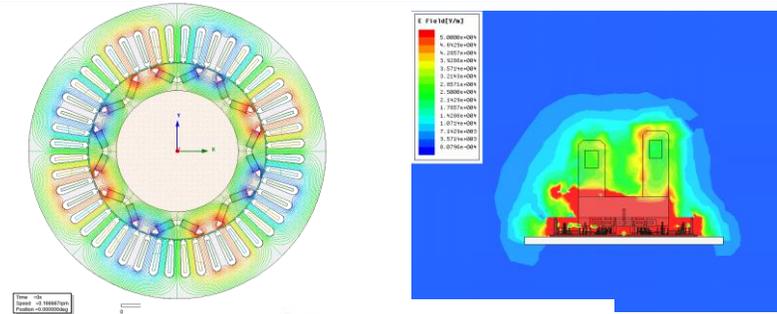
分析目的：

- 预测分析对象的电磁兼容性；
- 整改设计；
- 指标论证；
- 指标分配。

汽车电磁兼容仿真

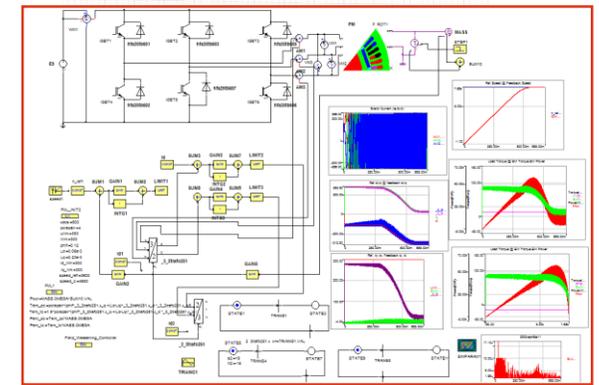
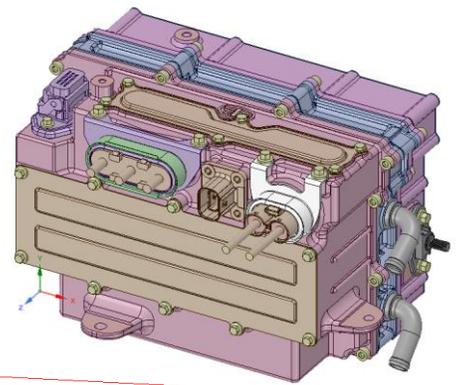
部件级

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



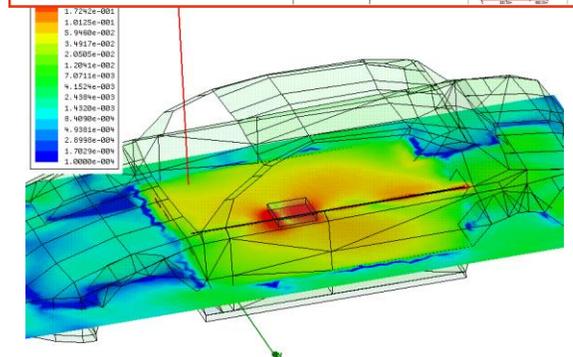
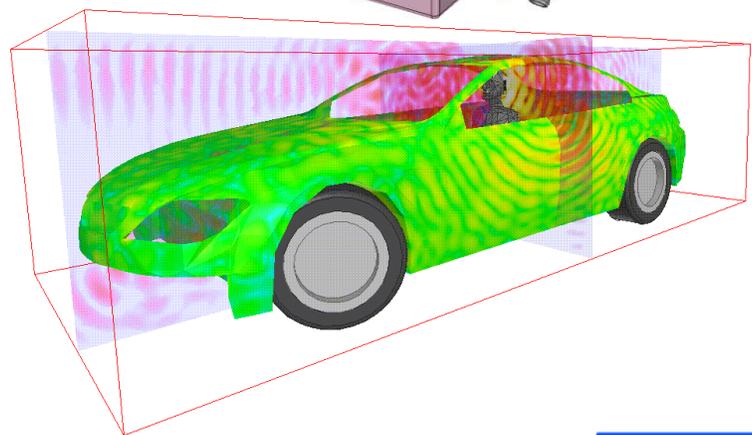
设备级/子系统级

- 各设备的辐射、抗干扰、ESD
- 功率电子、驱动控制子系统



系统级

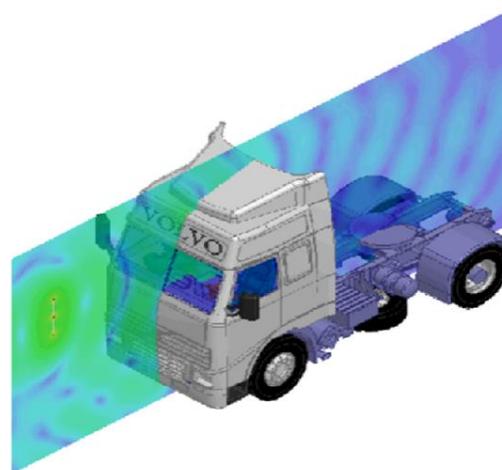
- 设备间电磁干扰
- 整车电气布局
- 整车辐射与屏蔽



测试 vs 仿真



- 认证过程的必经之路
- 在样机完成之后进行
- 关注的是最终的结果
- 不提供解决问题方案
- 难点是定位问题所在



- 设计过程的辅助手段
- 在设计初期即可开始
- 不仅要结果更要过程
- 仿真就是为避免问题
- 难在建立完备的模型

测试与仿真的出发点不一样，使用手段有区别，无法互相替代

目录

- 认识CAE
- 电磁兼容复杂度
- 电磁兼容仿真
- ANSYS电磁兼容仿真
- 案例

ANSYS: 仿真领域的领导者

专注仿真

我们全部的工作重点。
在所有物理领域提供业界领先的产品和技术。拥有全球最大的仿真技术研发团队

广泛信任

全球超过
45,000家
客户
ISO 9001
认证

97 FORTUNE
财富100强
工业客户

业经验证

入选标准普尔
500股票指数

STANDARD
& POOR'S **500家**

市值高达**130亿美元以上**

全球部署

2,900+
employees globally
雇员

75
offices in
分支机构

40
countries
多个国家



规模最大

3倍
于实力最接近的竞争对手的营收



稳定独立

长期财务稳定
独立于CAD



兑现承诺

2017年全球客户整体满意度高达
87.8%

推动创新

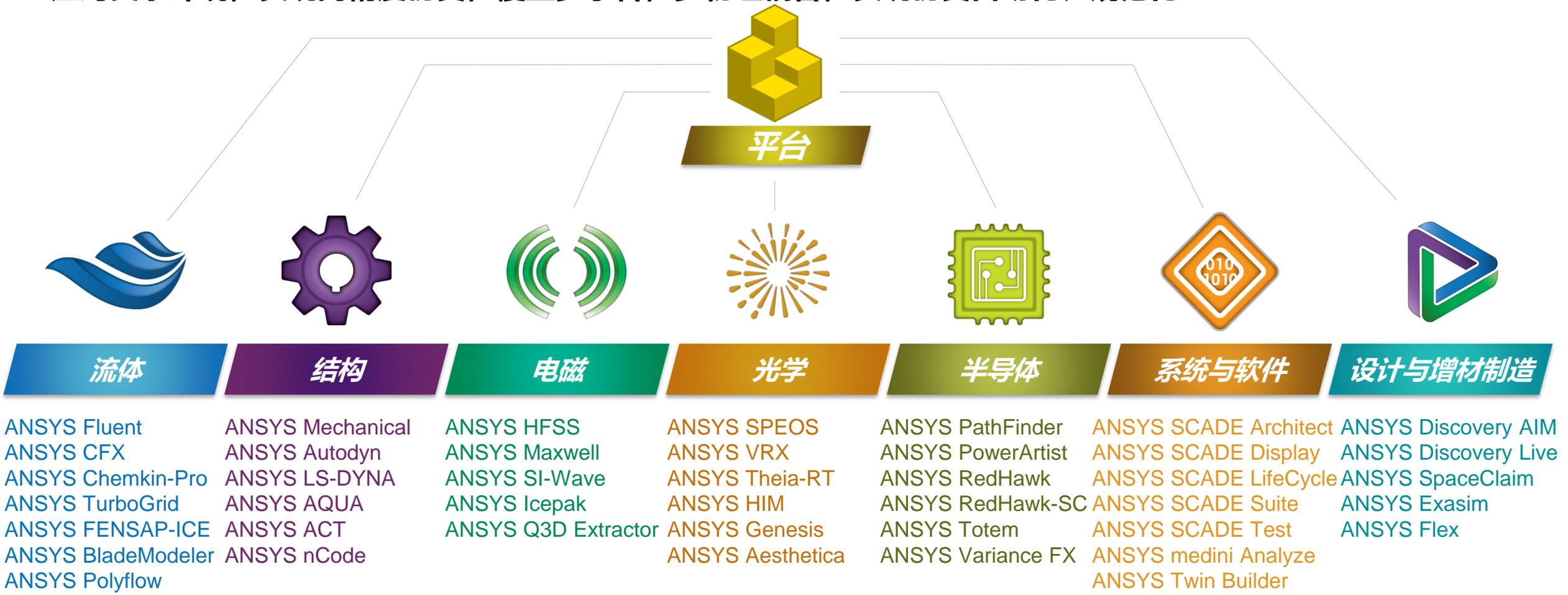
帮助客户应对新的市场挑战：
数字探索、增材制造和数字孪生体

世界级企业普遍采用ANSYS仿真平台



ANSYS独有的跨越所有物理域的仿真技术和平台

- 与通行的工业设计流程相结合，虚拟仿真与实物相结合，实现业务标准规范与平台支撑
- 应对复杂环境，实现高精度仿真，覆盖多学科，多物理耦合，实现仿真自动化、规范化



ANSYS电磁兼容仿真平台介绍

ANSYS电磁兼容仿真软件，适于进行航空航天、船舶、车辆、通信、消费电子等行业电子系统中各类电磁兼容问题的研究，包括电子设备布局，PCB的信号完整性、电源完整性和电磁兼容协同设计优化，机箱屏蔽效能和孔缝电磁泄露，线束线缆的耦合噪声和电磁辐射，开关电源电磁干扰设计等多个领域。

干扰源

精确

有效

HFSS

SIwave

Maxwell

Apache

Designer

Simplorer

量测数据

干扰途径

更大

更快

HFSS, IE, TR

Q3D

Designer

Simplorer

Savant

被干扰体

可量化

准确

HFSS

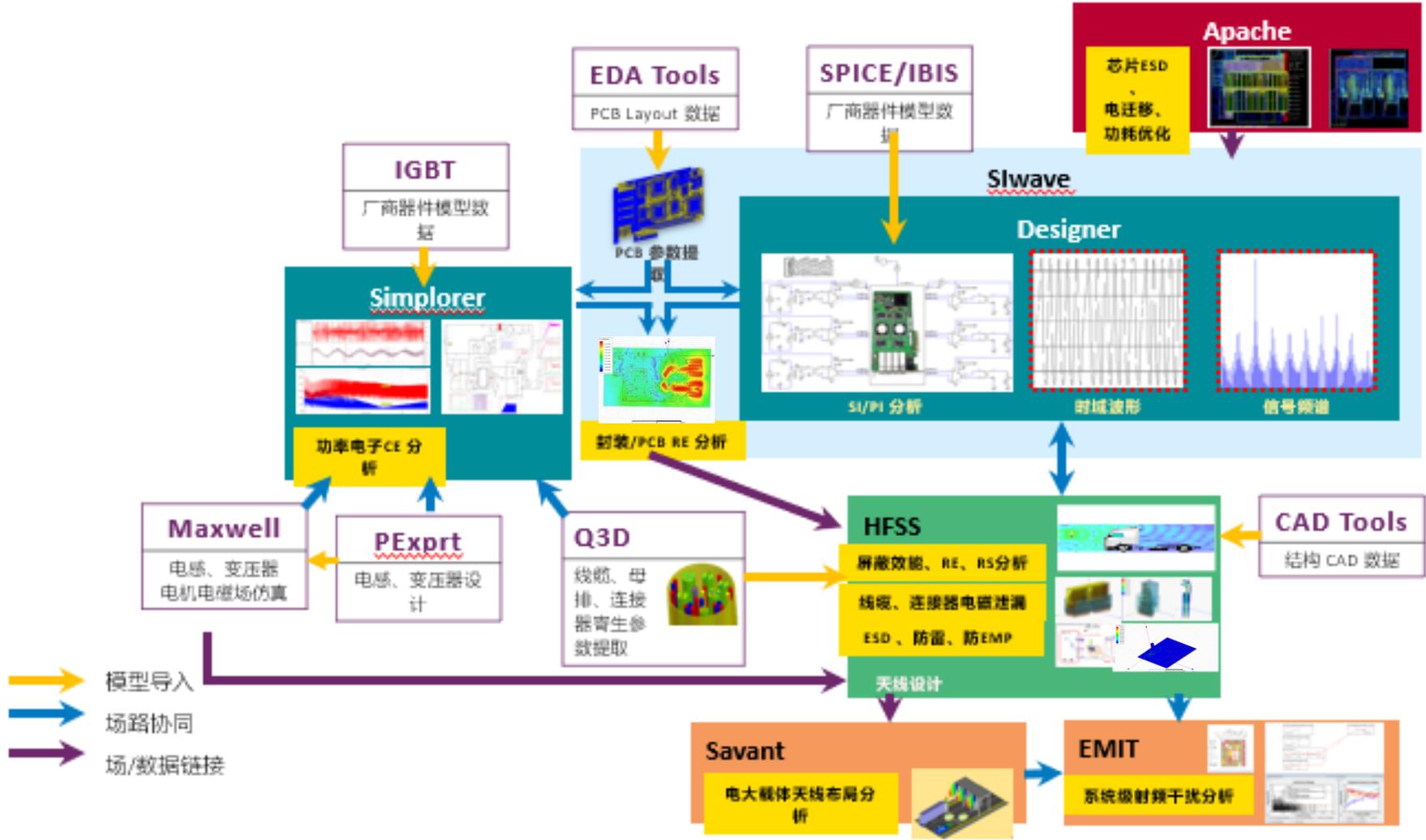
SIwave

Designer

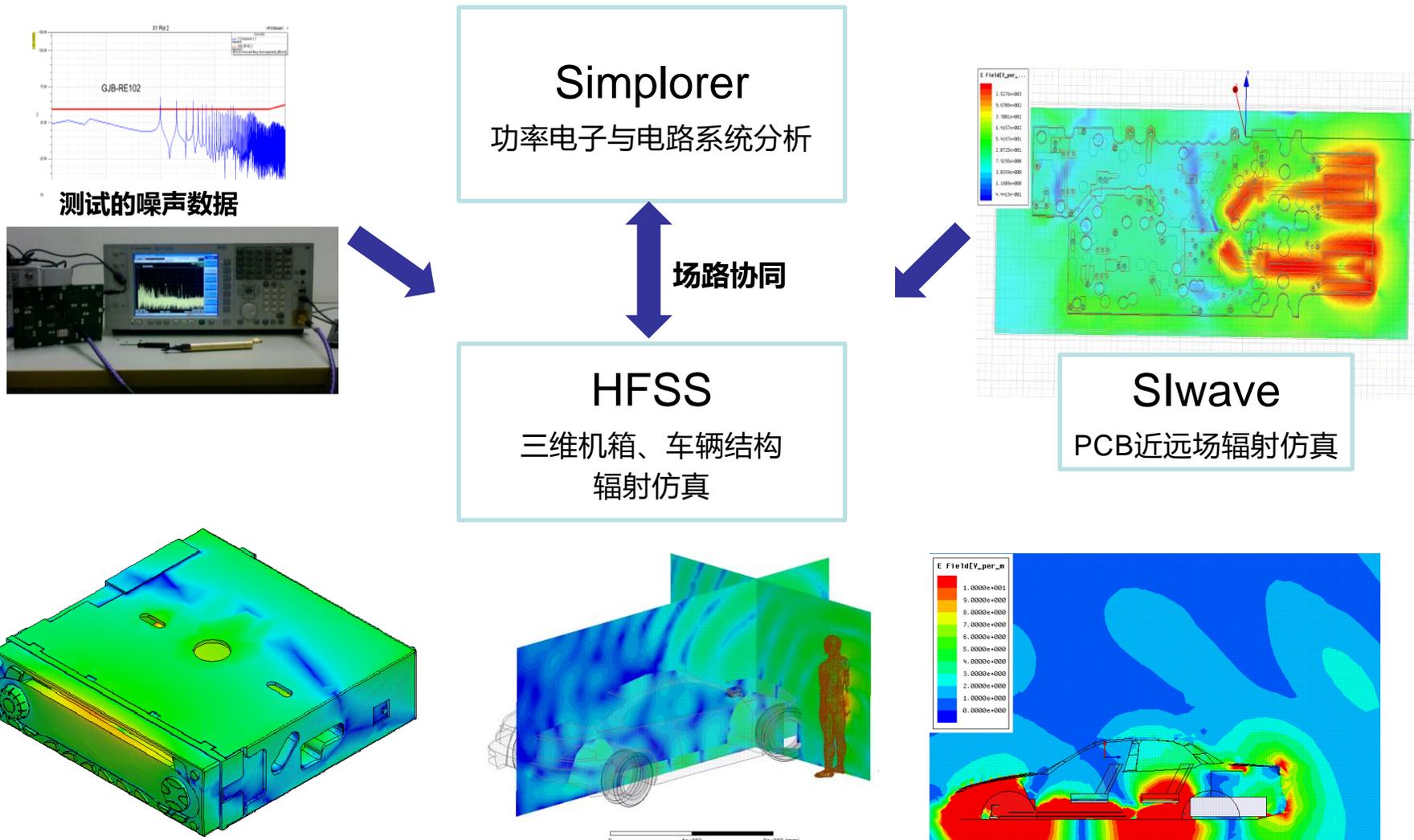
Simplorer

EMIT

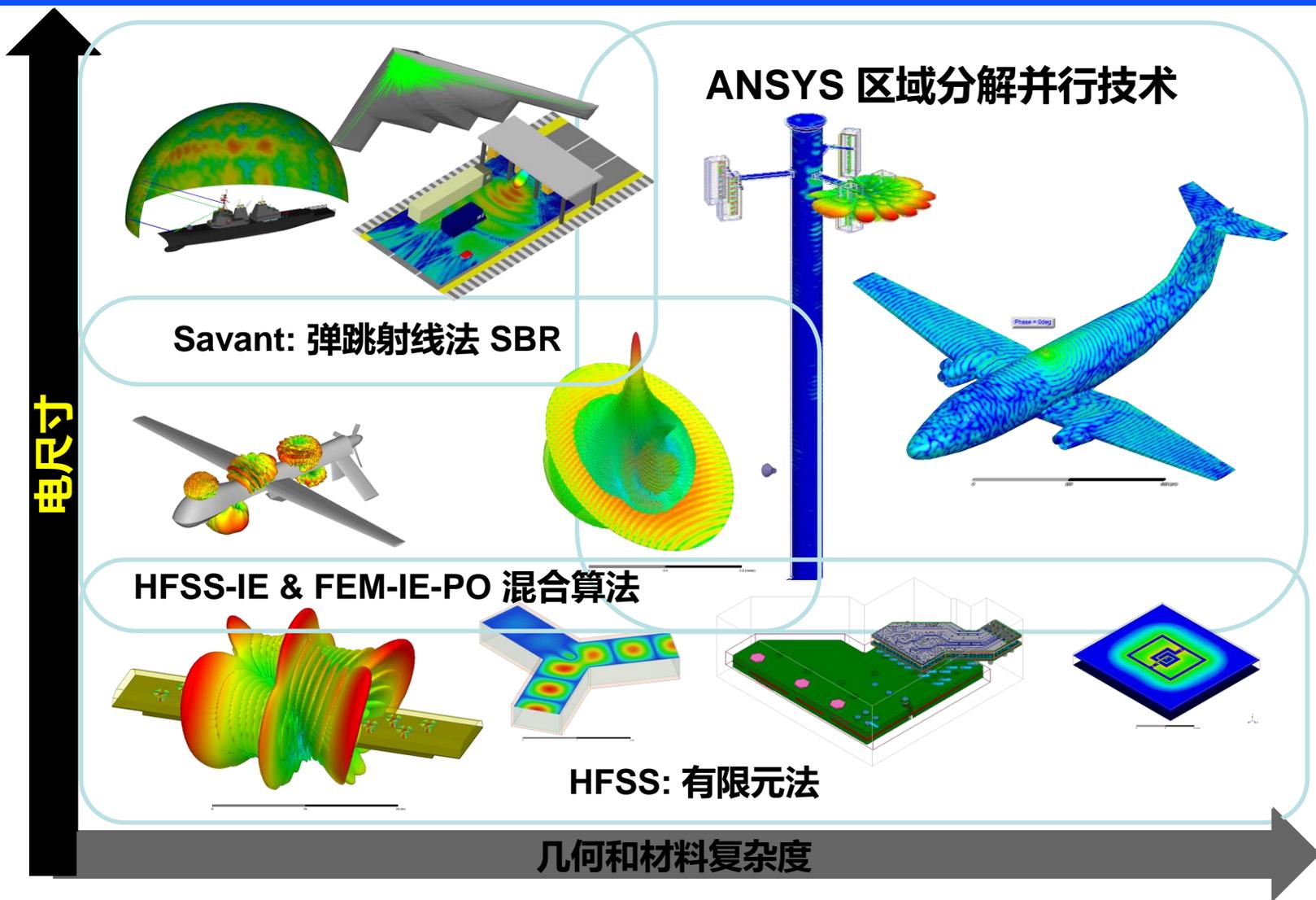
ANSYS电磁兼容解决方案仿真流程



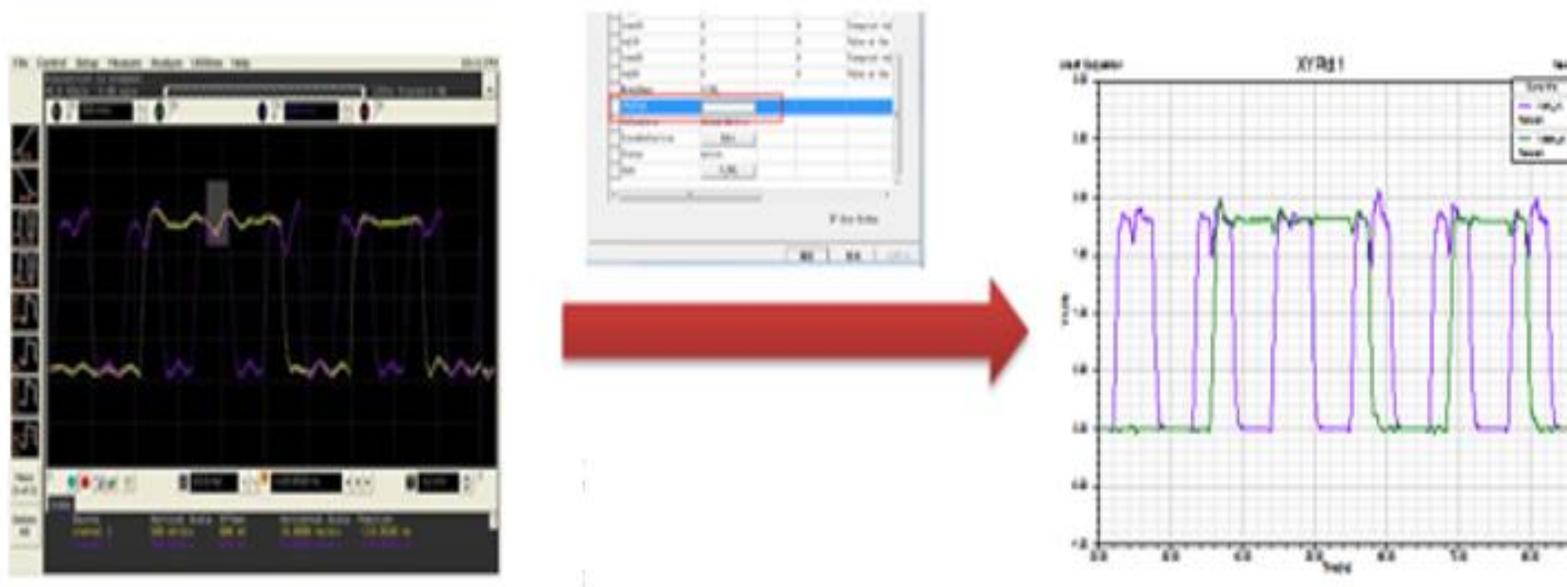
ANSYS电磁兼容仿真平台特点：工具齐备/场路协同/场场链接



ANSYS电磁兼容仿真平台特点：算法兼备/运用混合算法及HPC提高求解效率



ANSYS电磁兼容仿真平台特点：与现有量测及设计手段的协同分析



通过仿真平台的数据文件接口，可直接导入测试波形进行仿真。

目录

- 认识CAE
- 电磁兼容复杂度
- 电磁兼容仿真
- ANSYS电磁兼容仿真
- 案例

案例一：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

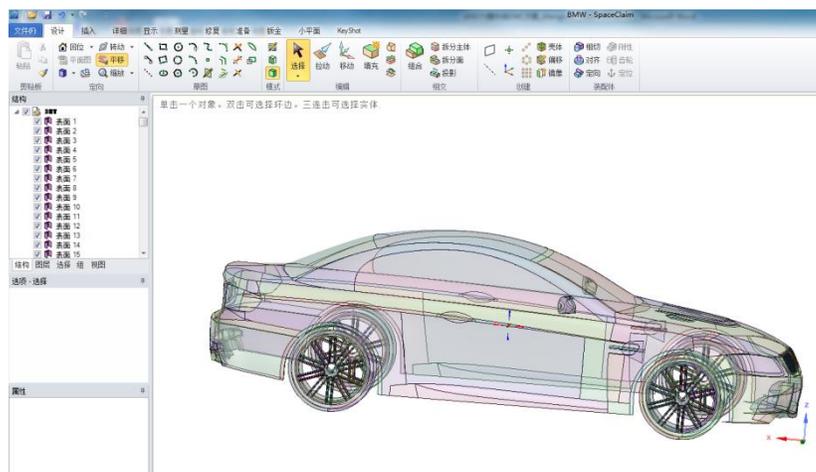
电机工作时车辆照明系统受到严重干扰!

分析：

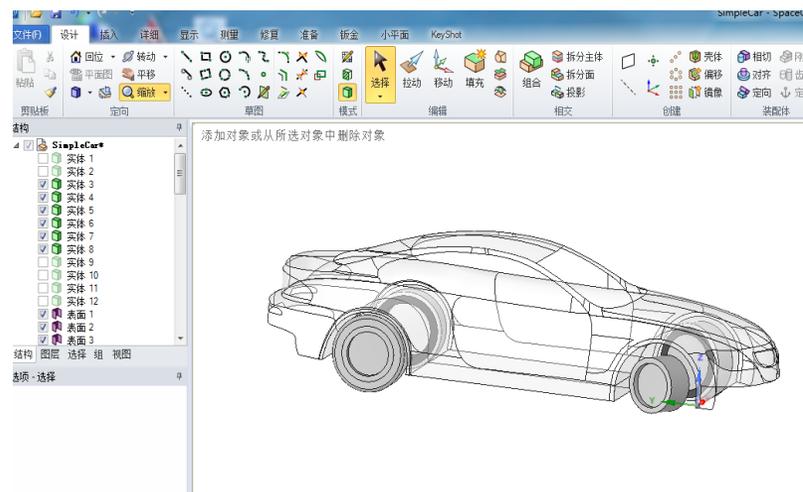
- 1、滤波；
- 2、接地；
- 3、线缆布局；
- 4、线芯分布；
- 5、线缆间距；

。 。 。

案例一：线缆干扰分析——模型导入简化

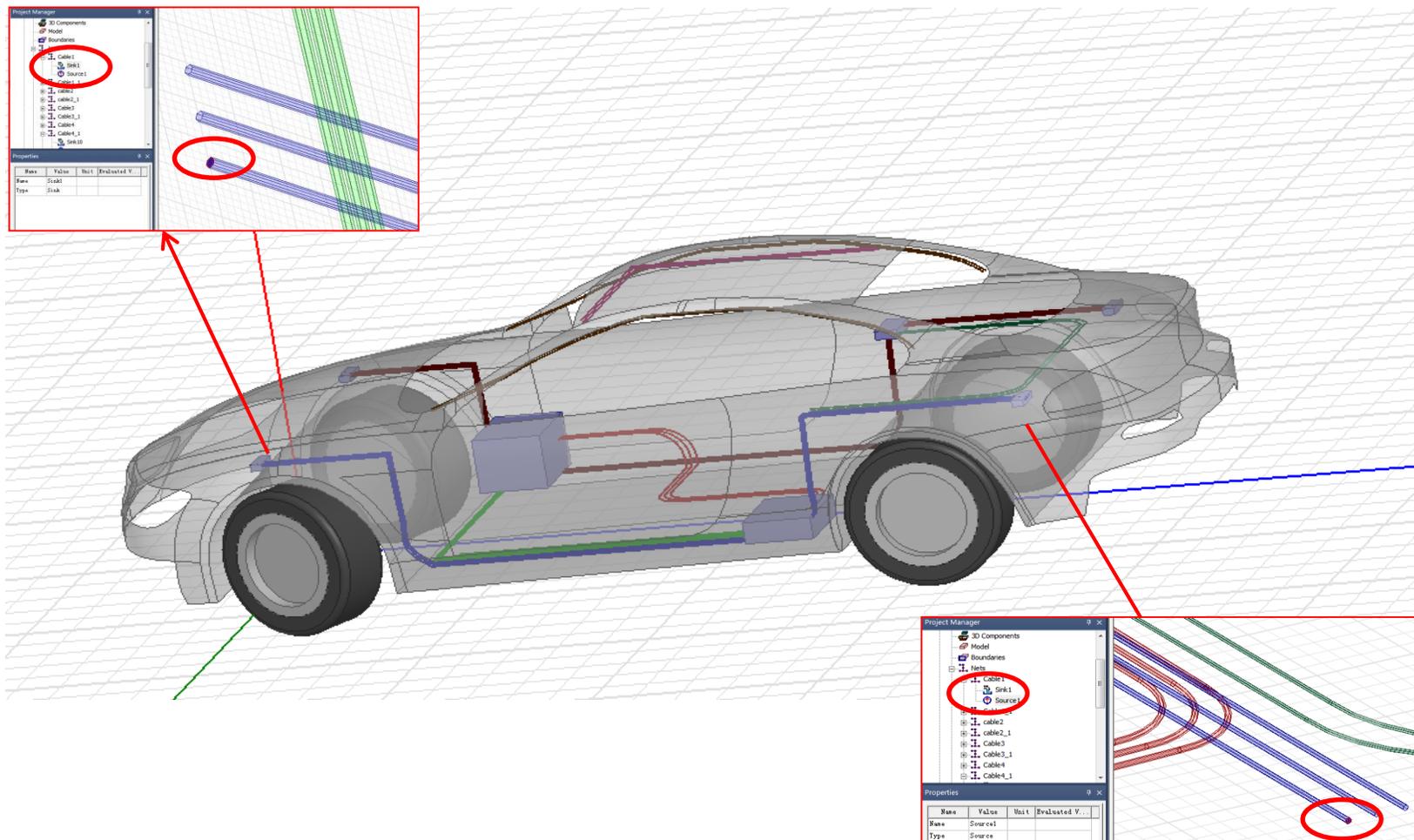


模型
简化

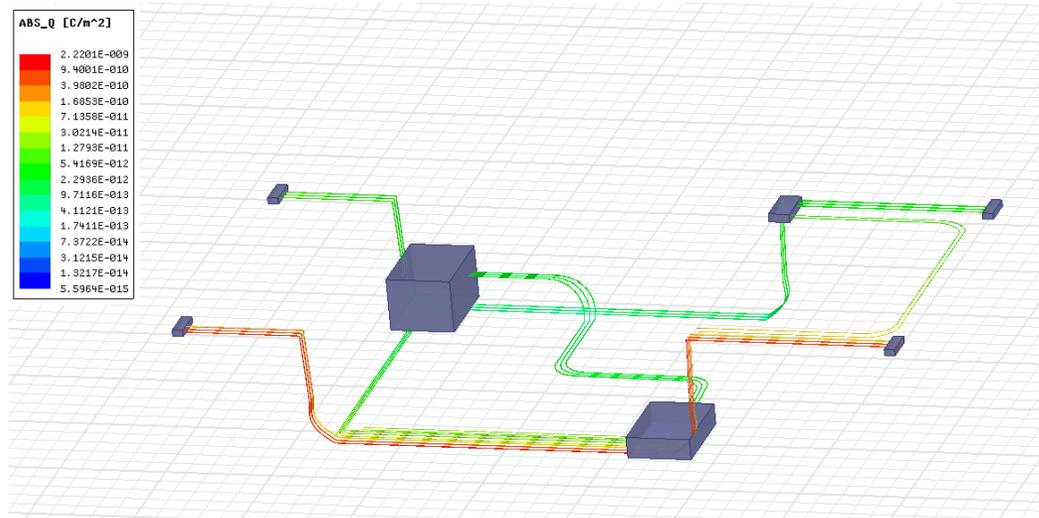


案例一：线缆干扰分析——车体线缆电磁仿真

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。



案例一：线缆干扰分析——线缆电磁仿真结果

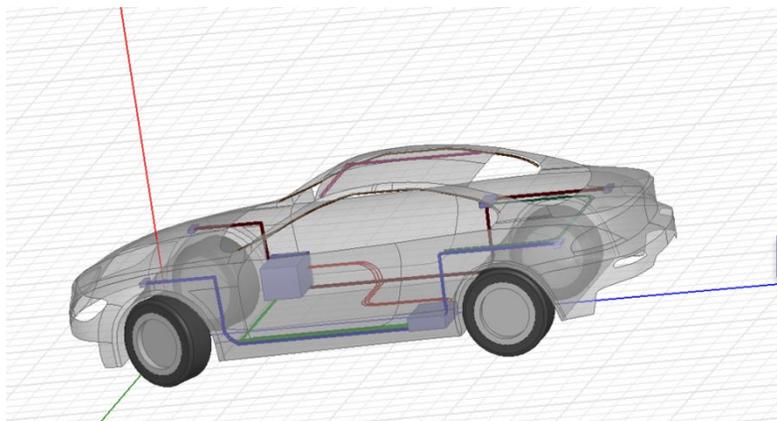


线缆上电荷分布



线缆表面电流密度

案例一：线缆干扰分析——线缆电气模型抽取



```

Circuit Model Preview
* BEGIN ANSOFT HEADER
* node 1 Cable1_1:Source6
* node 2 Cable1:Source1
* node 3 cable2_1:Source7
* node 4 cable2:Source2
* node 5 Cable3_1:Source8
* node 6 Cable3:Source3
* node 7 Cable4_1:Source10
* node 8 Cable4_2:Source11
* node 9 Cable4:Source9
* node 10 Cable7_1:Source12
* node 11 Cable7:Source13
* node 12 Cable8_1:Source15
* node 13 Cable8_2:Source14
* node 14 Cable8:Source16
* node 15 Cable9:Source4
* node 16 Cable10:Source5
* node 17 Cable1:Sink1
* node 18 Cable1_1:Sink6
* node 19 cable2:Sink2
* node 20 cable2_1:Sink7
* node 21 Cable3:Sink3
* node 22 Cable3_1:Sink8
* node 23 Cable4:Sink9
* node 24 Cable4_1:Sink10
* node 25 Cable4_2:Sink11
* node 26 Cable7:Sink13
* node 27 Cable7_1:Sink12
* node 28 Cable8:Sink16
* node 29 Cable8_1:Sink15
* node 30 Cable8_2:Sink14
* node 31 Cable9:Sink5
* node 32 Cable10:Sink4
* Project: CableInCar_0502
* Design: Q3DDesign2
* Format: Ansoft Designer
* Topckt: 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

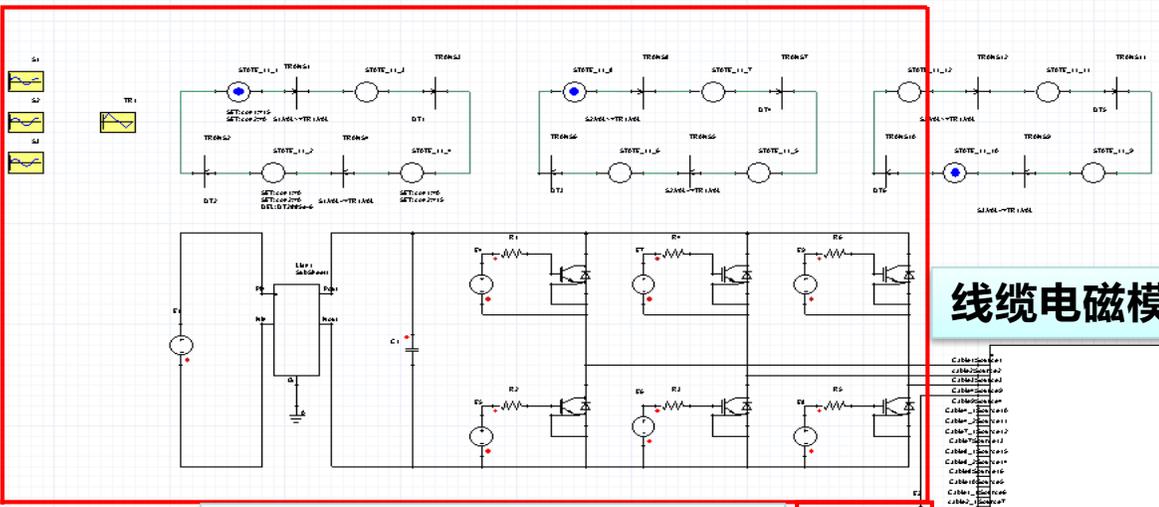
.subckt CableInCar_0502 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
+ 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32
*Chal1 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43
+ 44 45 46 47 48 CableInCar_0502_half
*Y1 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 CableInCar_0502_half
*Chal2 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。

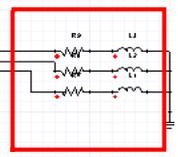
The screenshot shows the Simplorer software interface. On the left, the 'Tools' menu is open, and 'Add Q3D Dynamic Component' is highlighted with a red box. On the right, the 'Q3D SML Dynamic Coupling' dialog box is open, showing configuration options for the dynamic component, such as 'Design' set to 'Q3DDesign2' and 'Solution' set to 'Setup1: LastAdaptive'.

案例一：线缆干扰分析——系统电路仿真

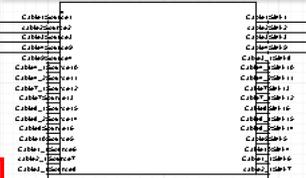
电机控制电路



电机负载



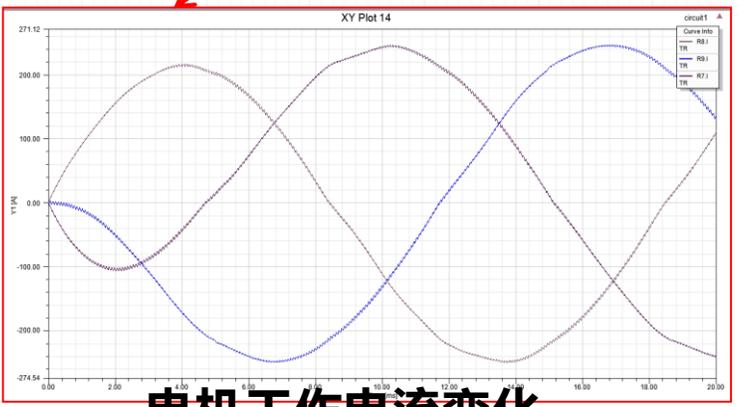
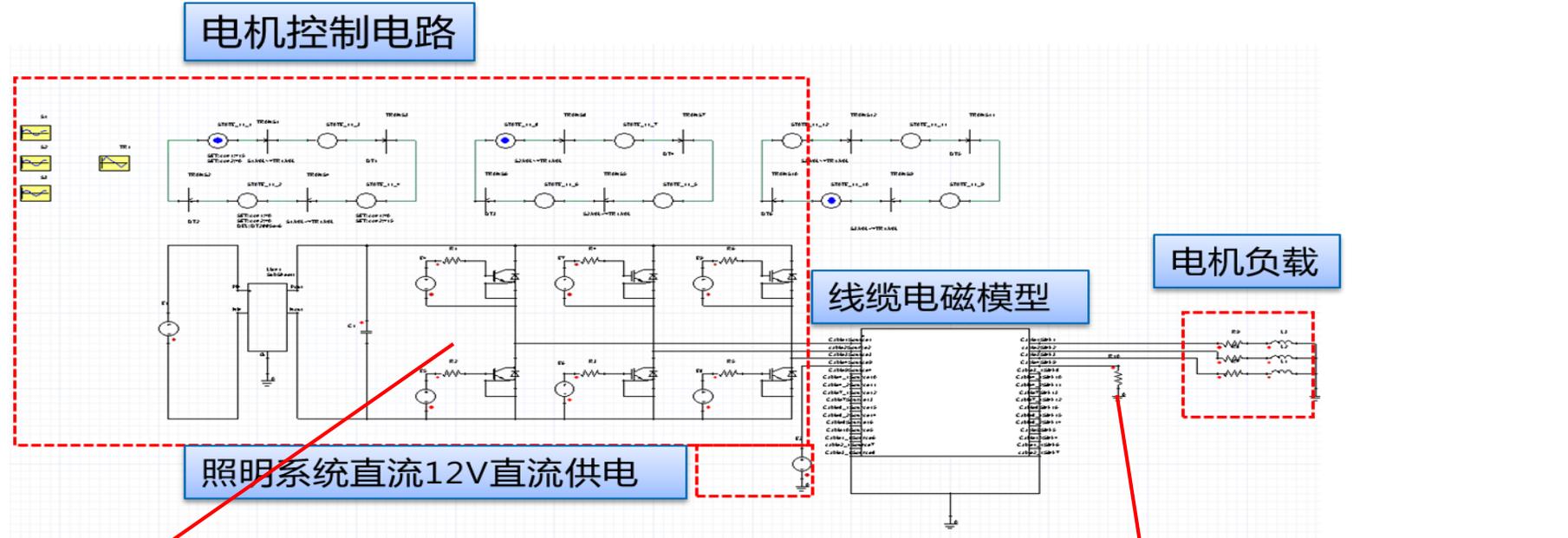
线缆电磁模型



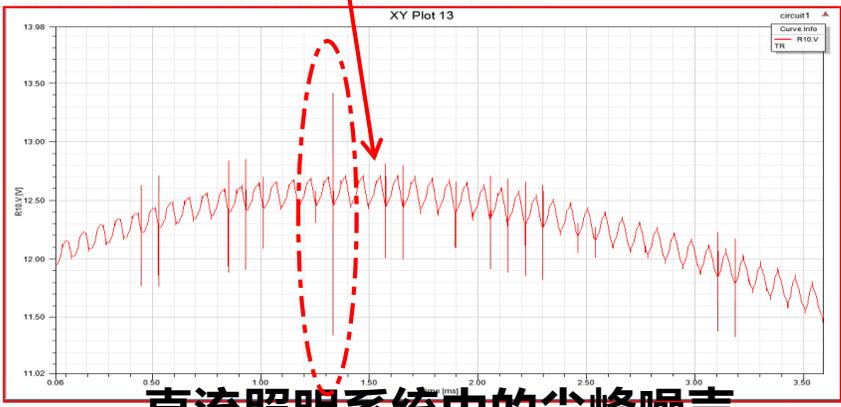
照明系统直流12V直流供电



案例一：线缆干扰分析——系统电路仿真结果



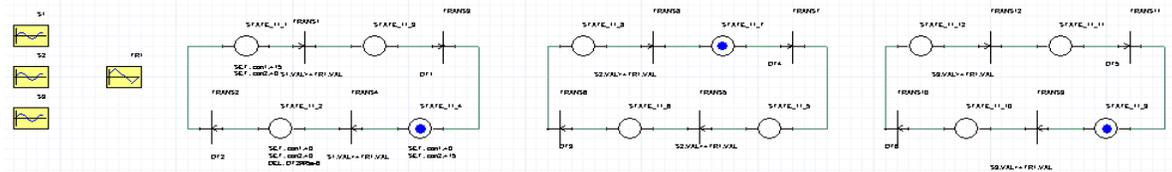
电机工作电流变化



直流照明系统中的尖峰噪声

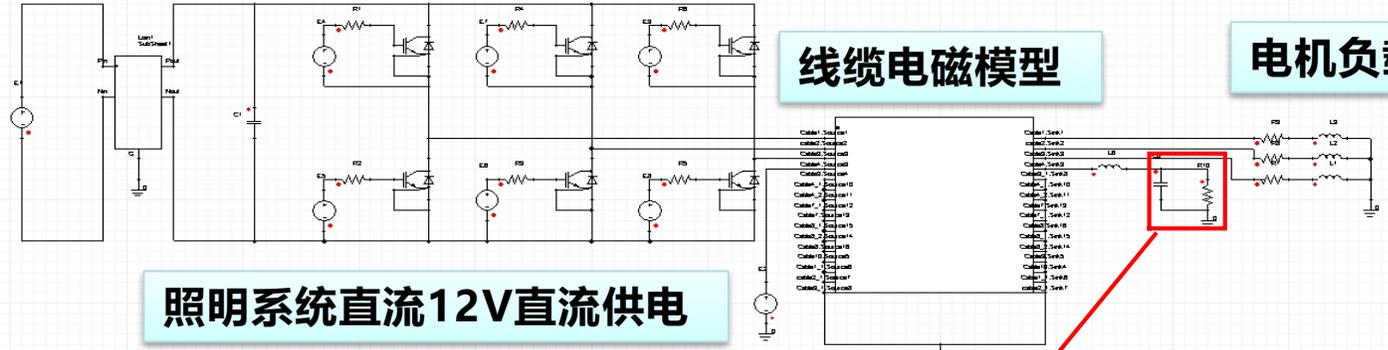
案例一：线缆干扰分析——LC滤波优化

电机控制电路

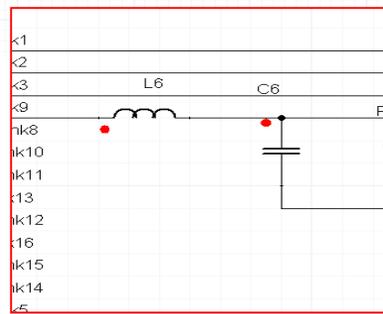


线缆电磁模型

电机负载

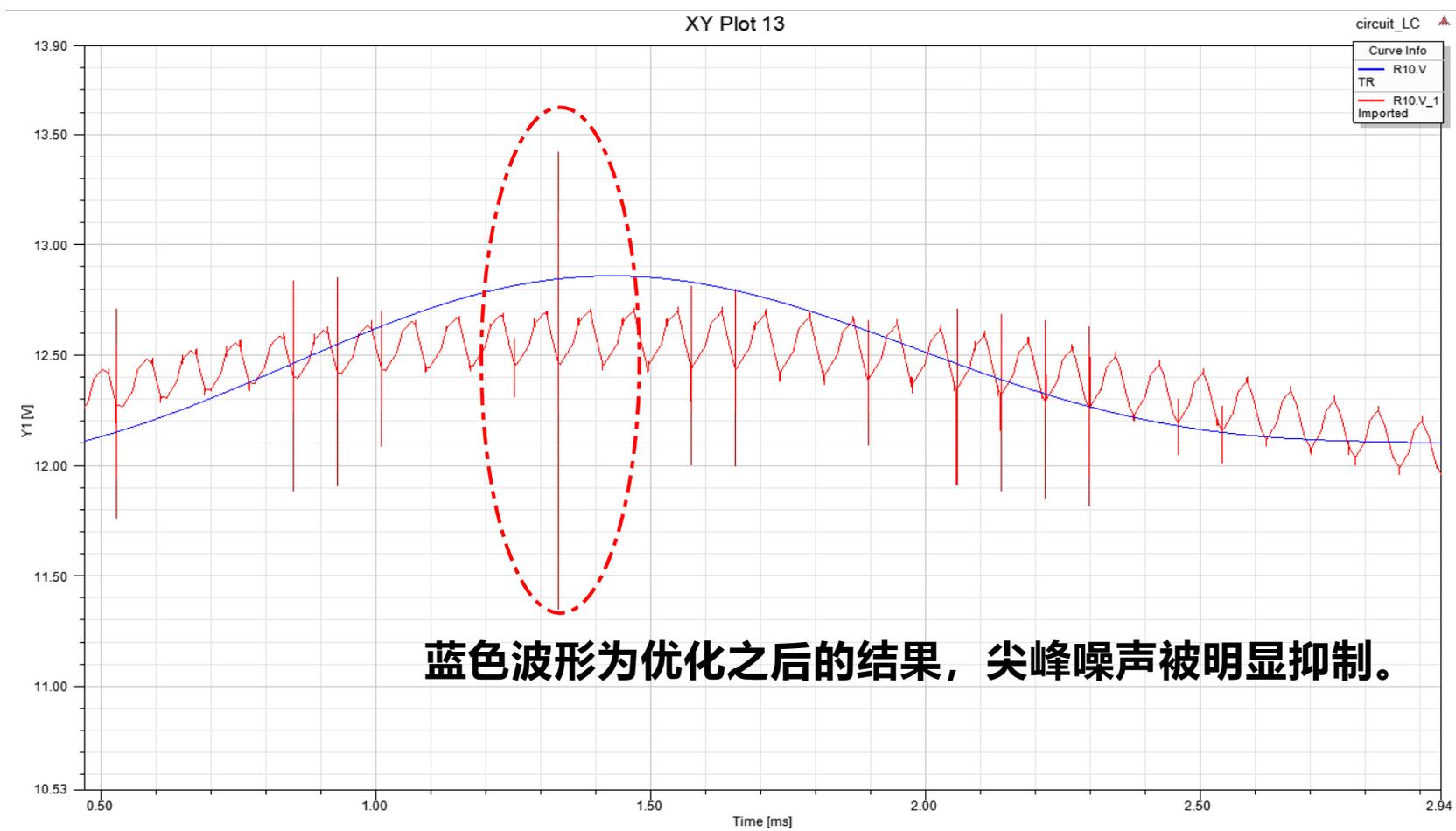


照明系统直流12V直流供电

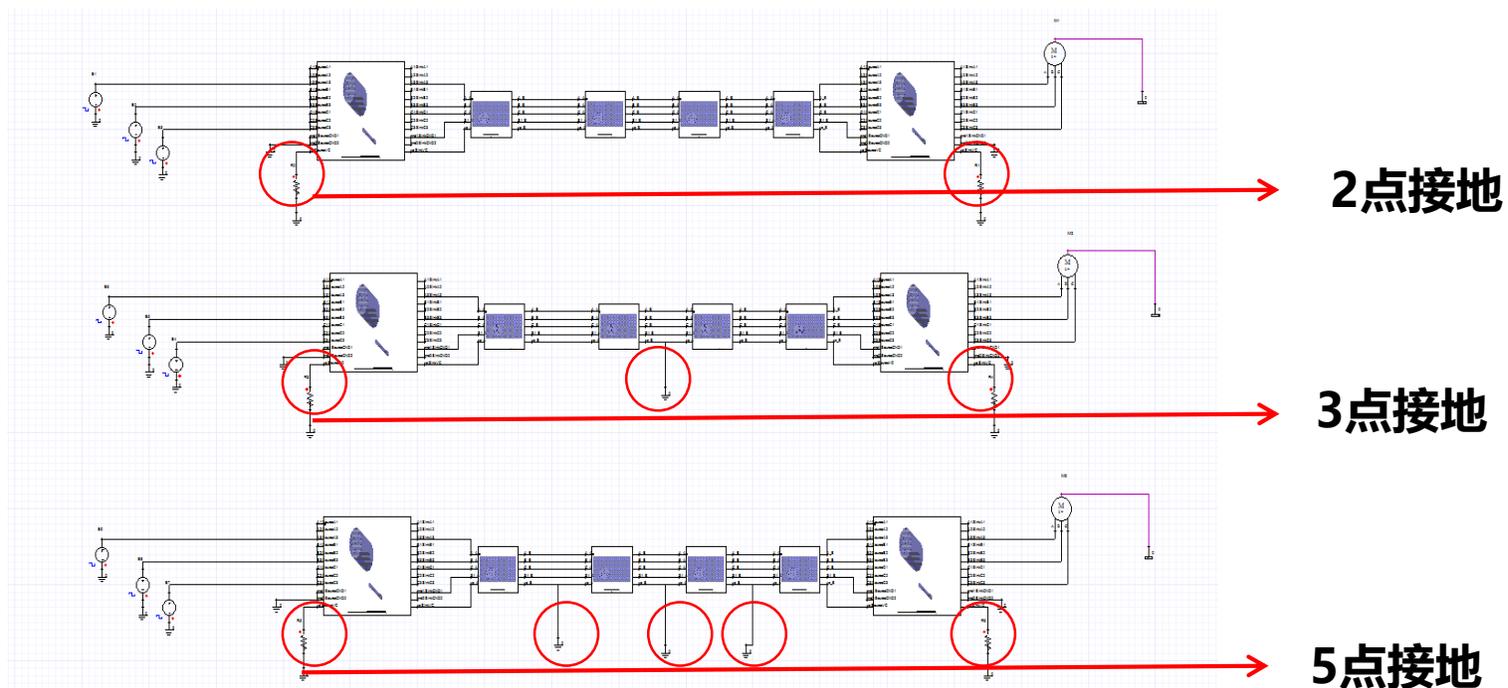


在系统中增加LC滤波器件

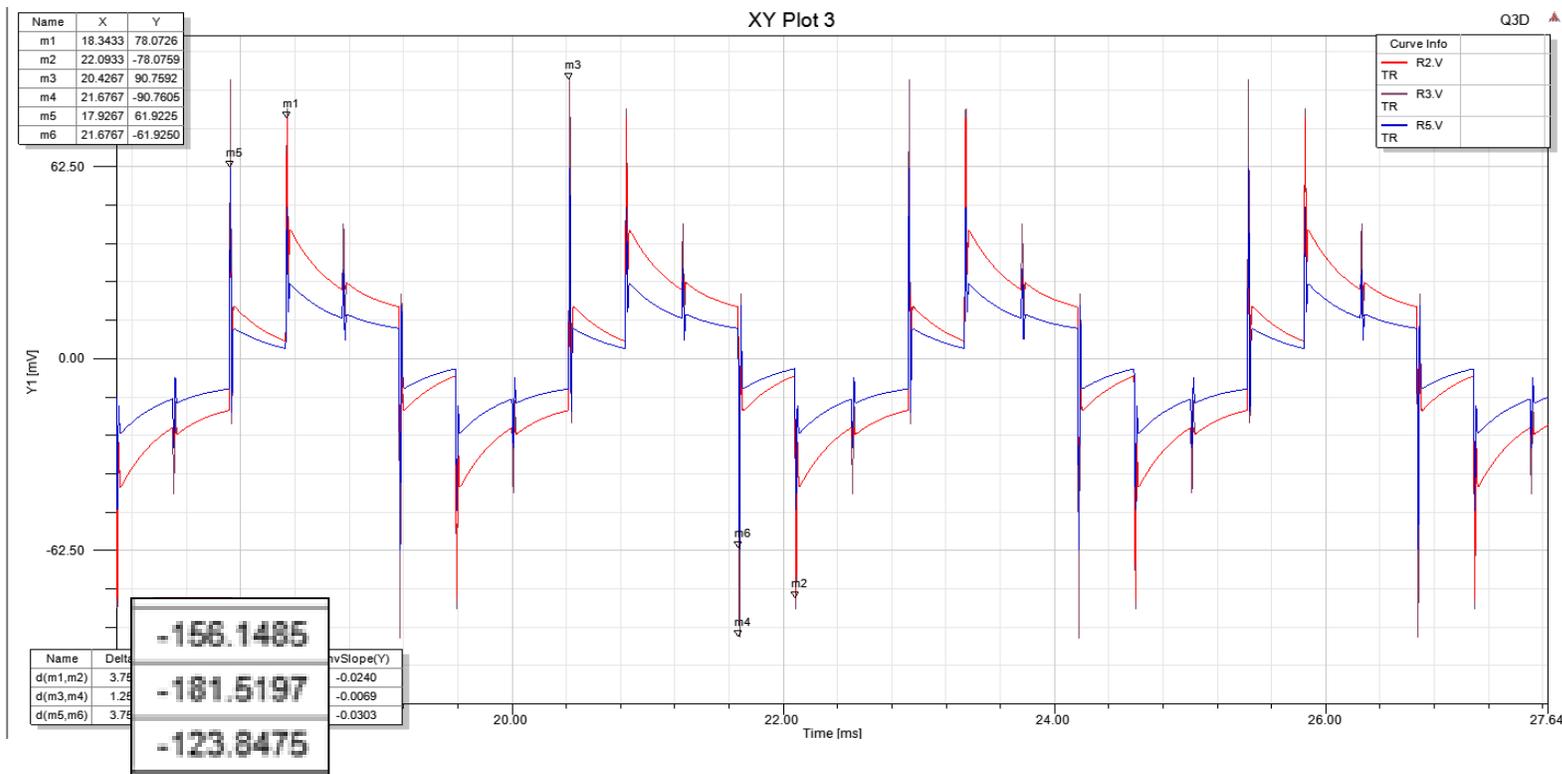
案例一：线缆干扰分析——LC滤波优化



案例一：线缆干扰分析——增加接地点优化

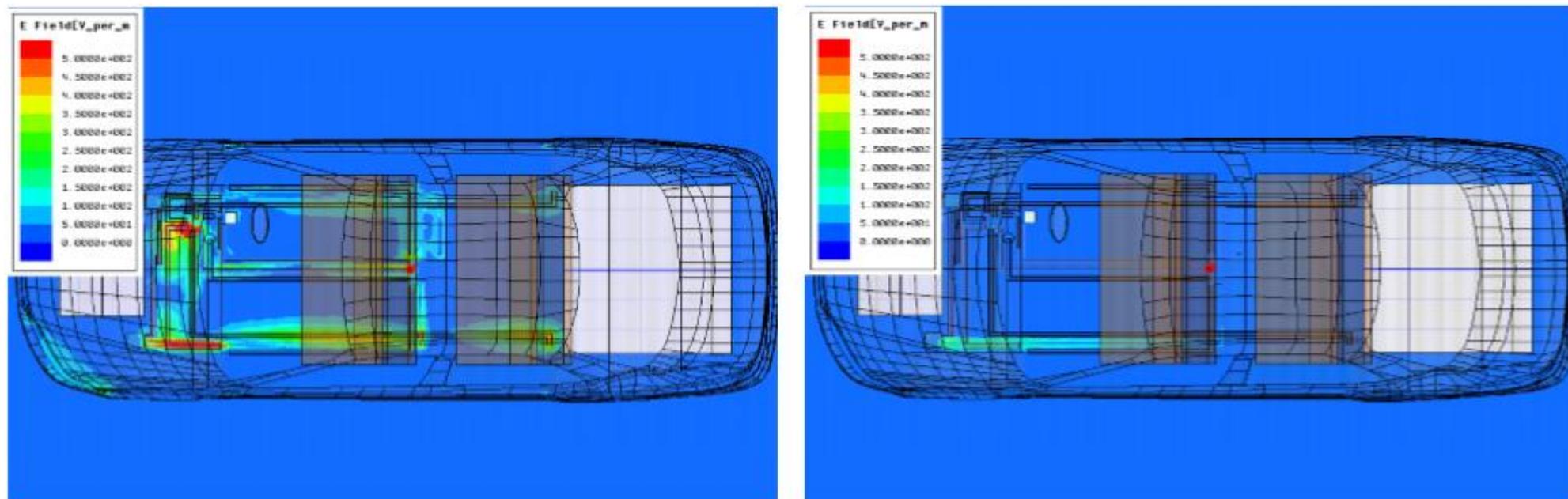


案例一：线缆干扰分析——增加接地点优化



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。

案例一：线缆干扰分析——增加接地点优化



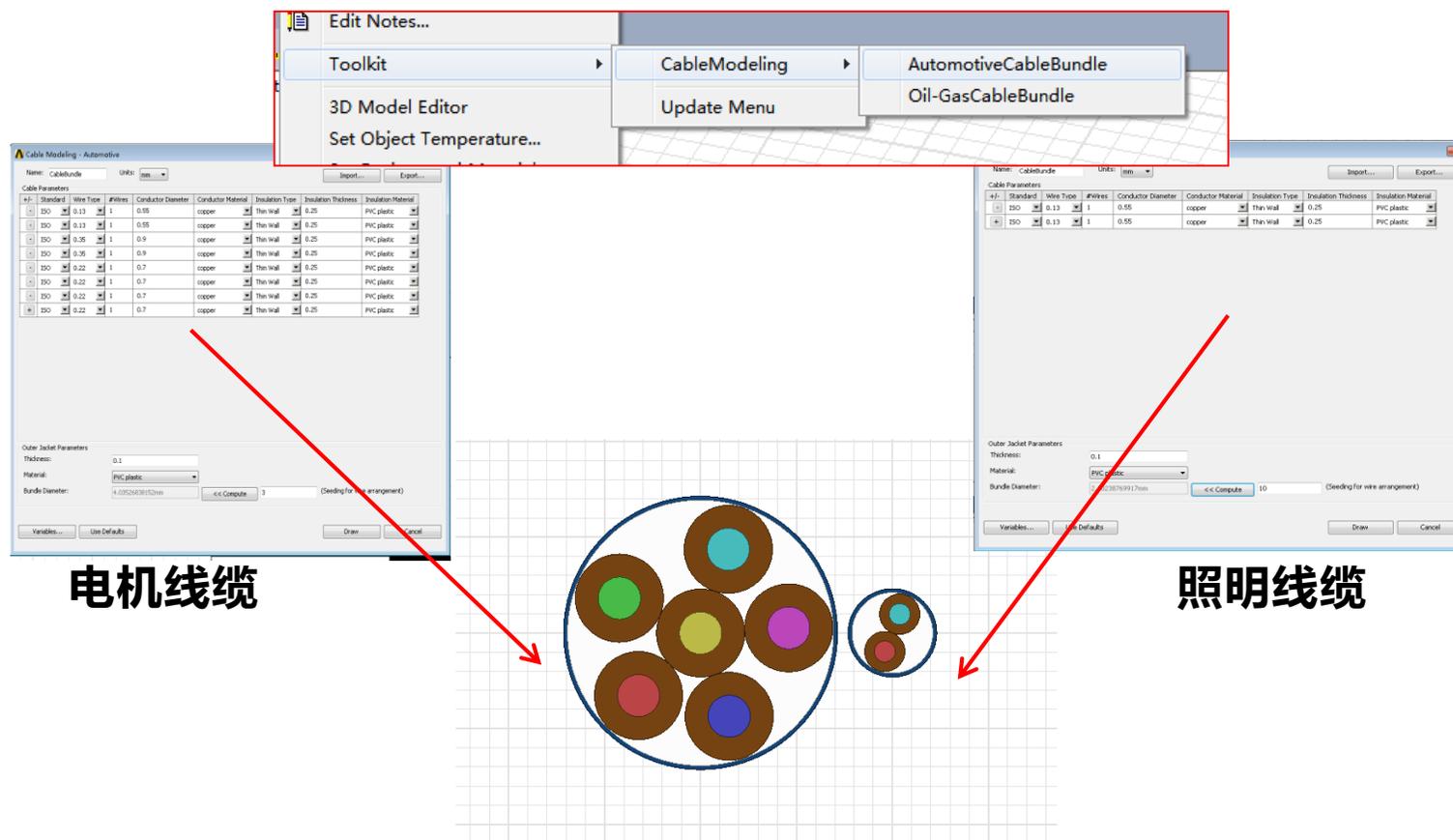
改变接地点前

改变接地点后

线缆附近电场强度变化

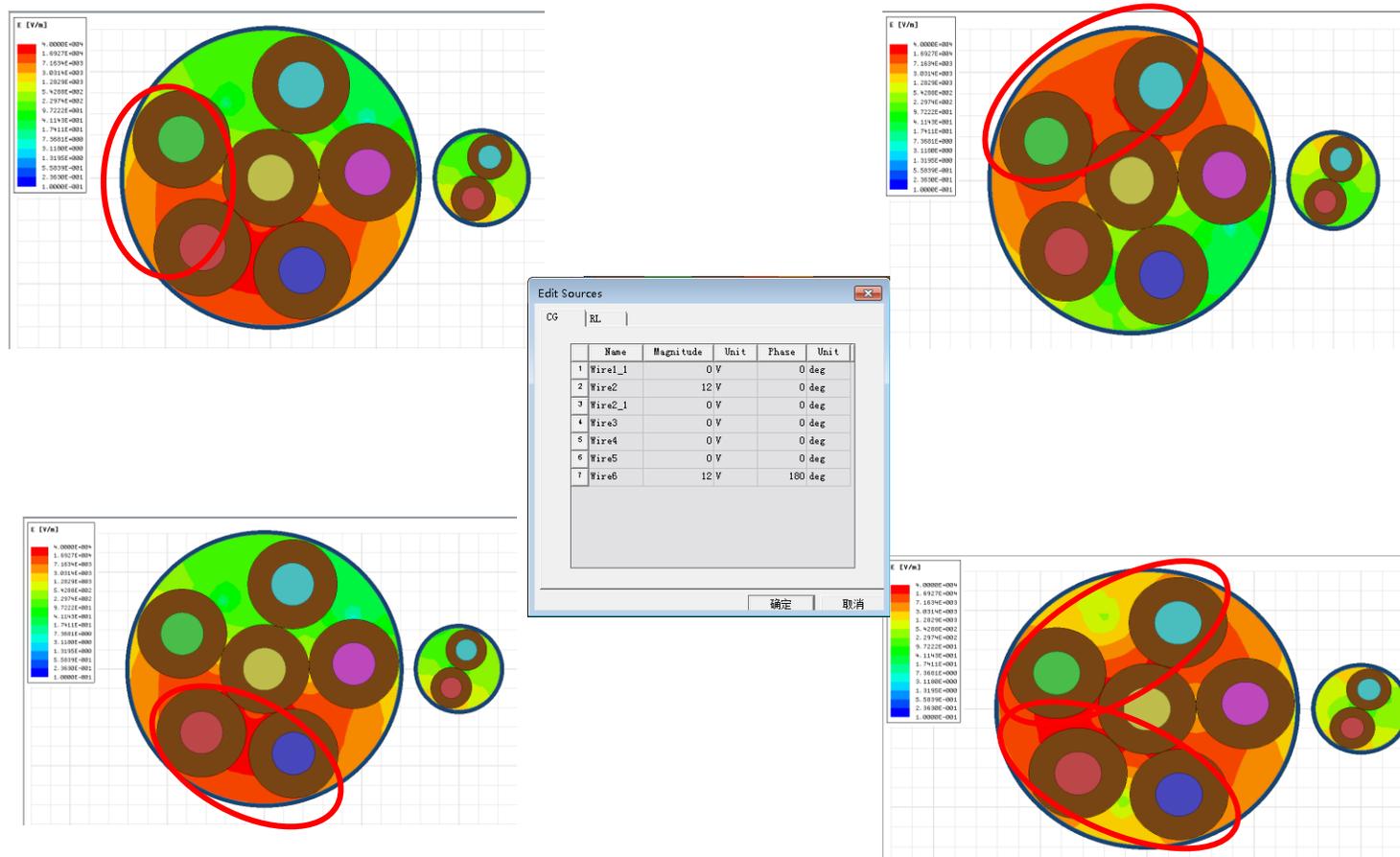
案例一：线缆干扰分析——信号分配优化

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。

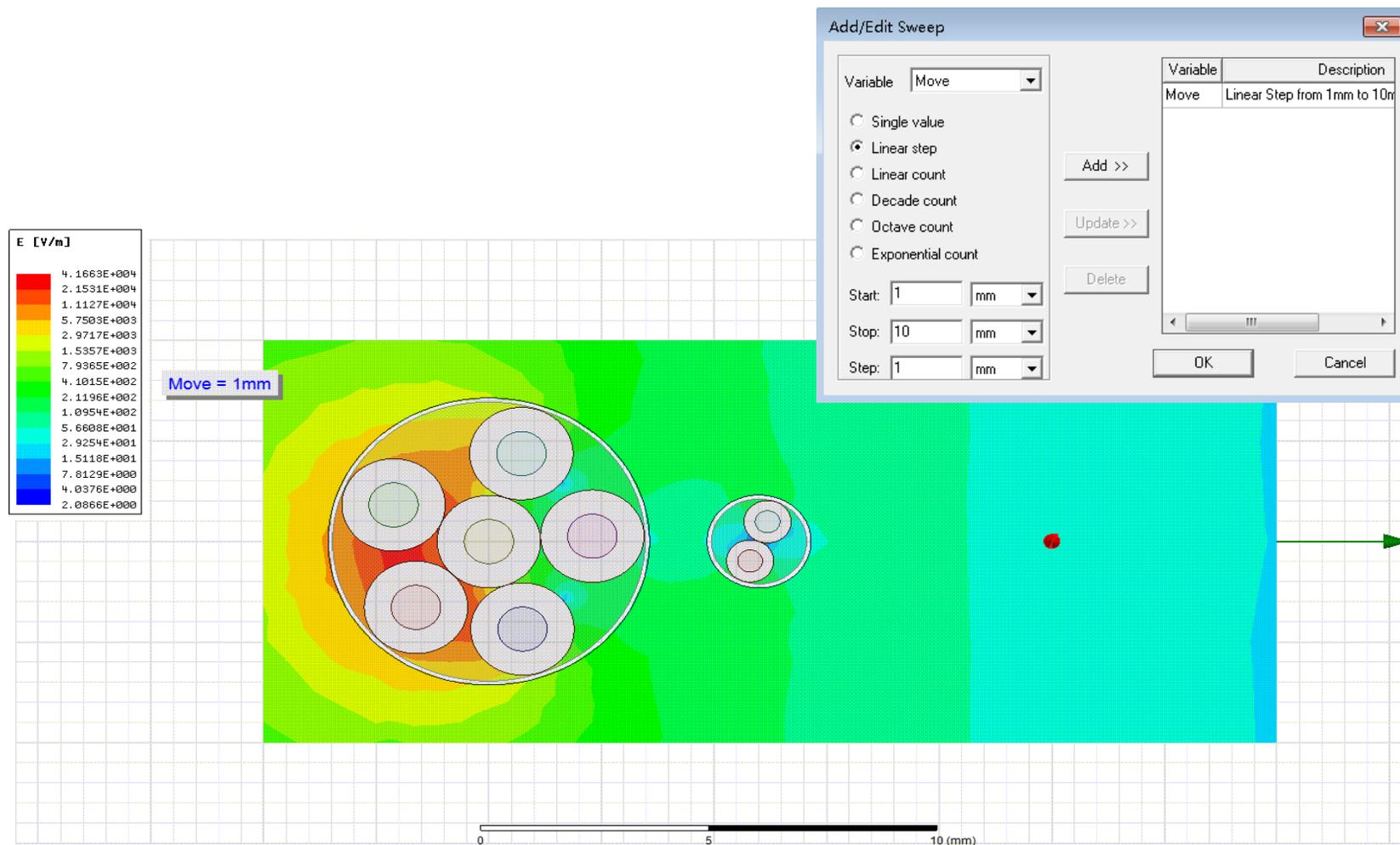


案例一：线缆干扰分析——信号分配优化

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。



案例一：线缆干扰分析——线缆间距优化



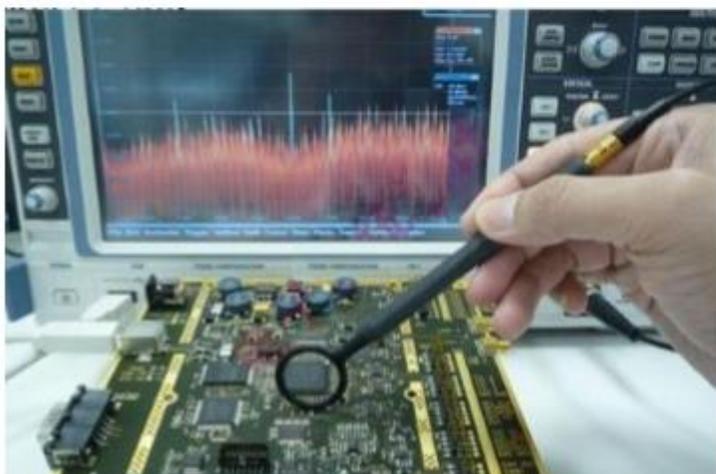
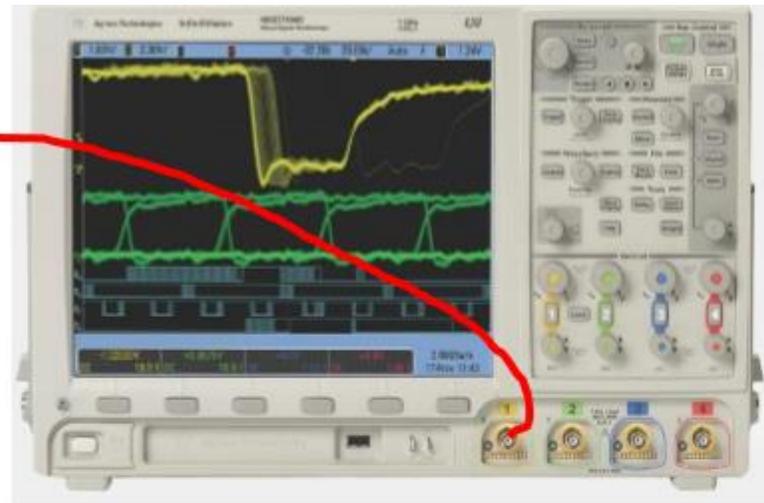
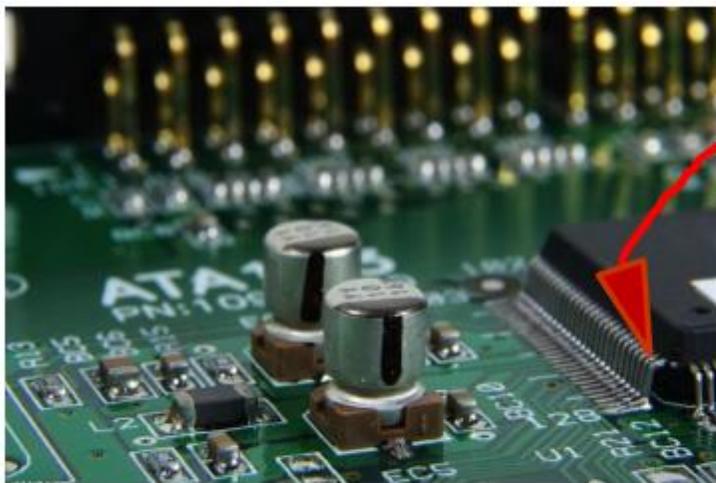
线缆之间的距离变化对耦合场的影响。

案例一：线缆干扰分析——小结

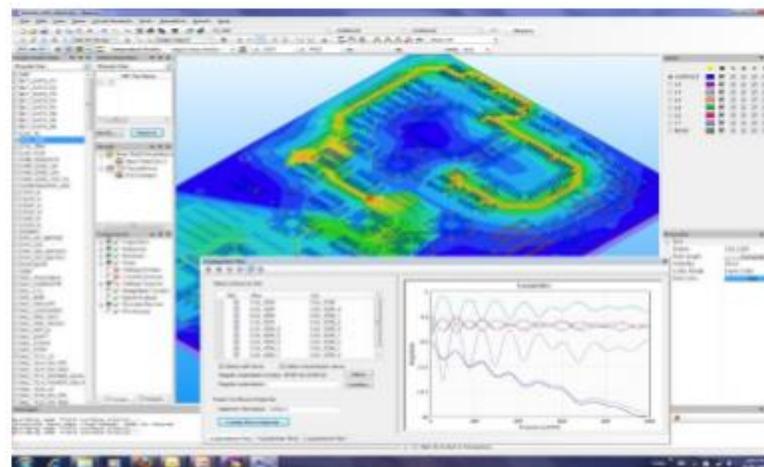
仿真带给我们什么：

- 1、协助定位问题，查找问题根因；
- 2、多种优化措施效果模拟；
- 3、仿真融入研发阶段，避免测试问题出现；

案例二：PCB板级电磁兼容仿真——PCB电源噪声干扰信号

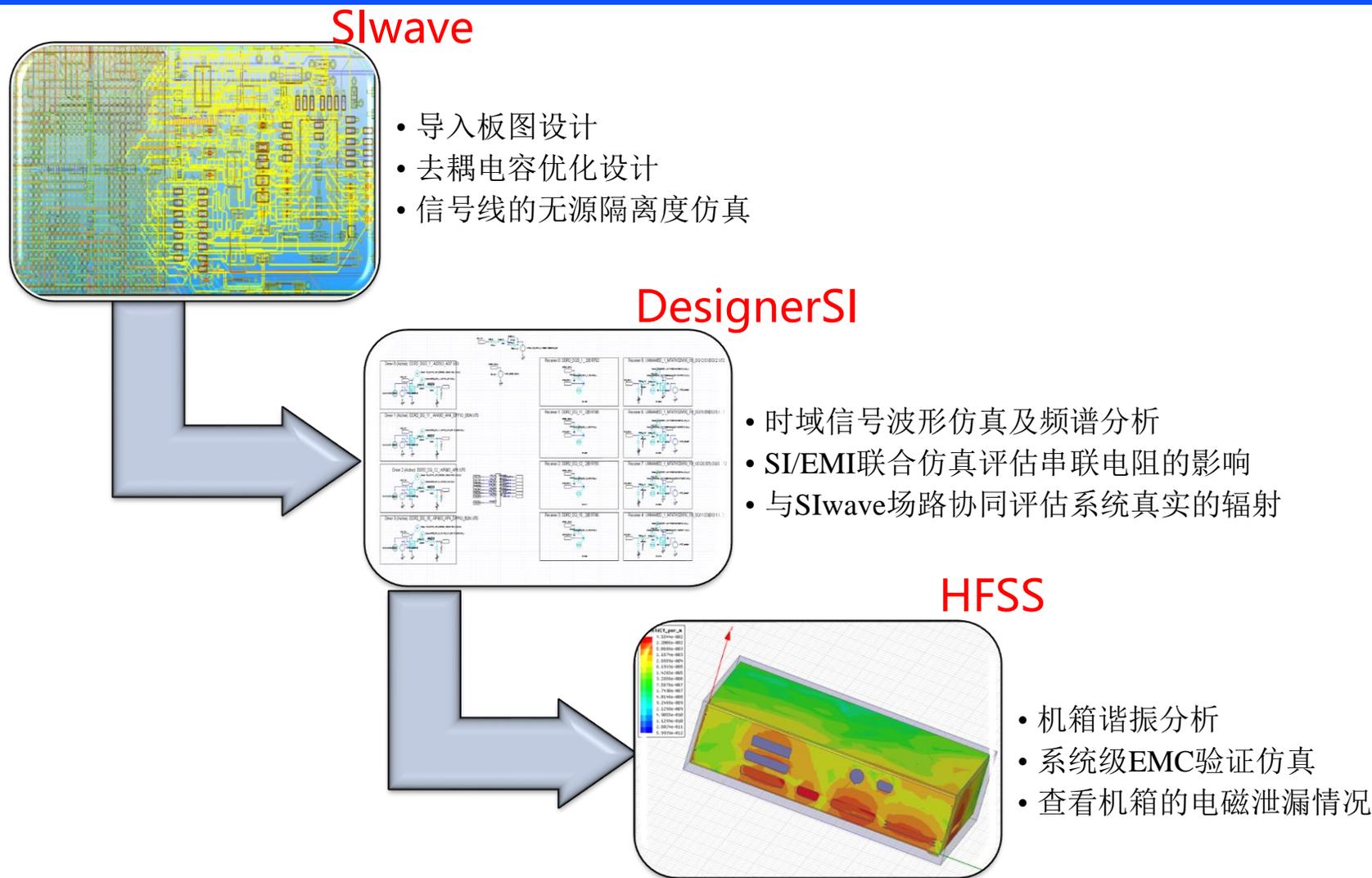


测试发现芯片电源电路附近存在较大噪声



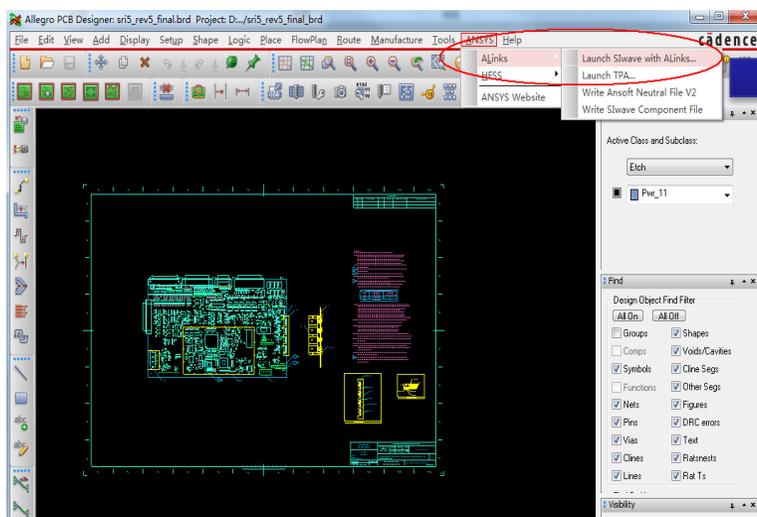
原始PCB布线导入SIwave

案例二：PCB板级电磁兼容仿真——PCB电源噪声干扰信号



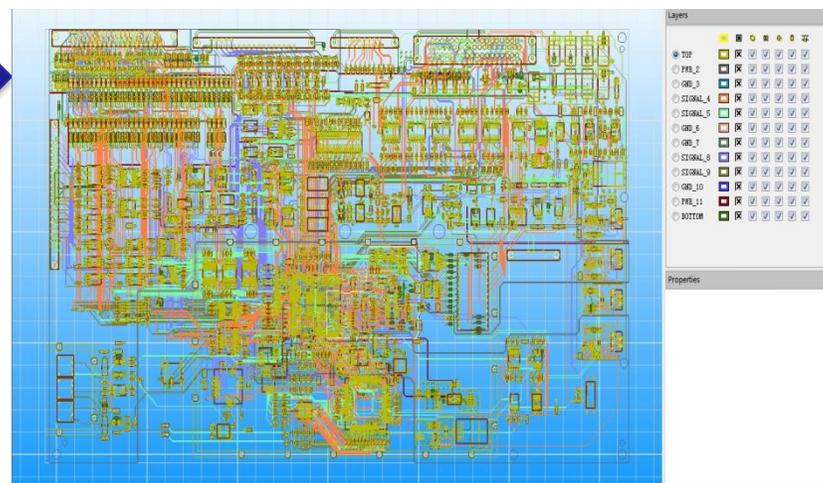
案例二：PCB板级电磁兼容仿真——PCB电源噪声干扰信号

一键导入PCB布线



Cadence PCB Editor

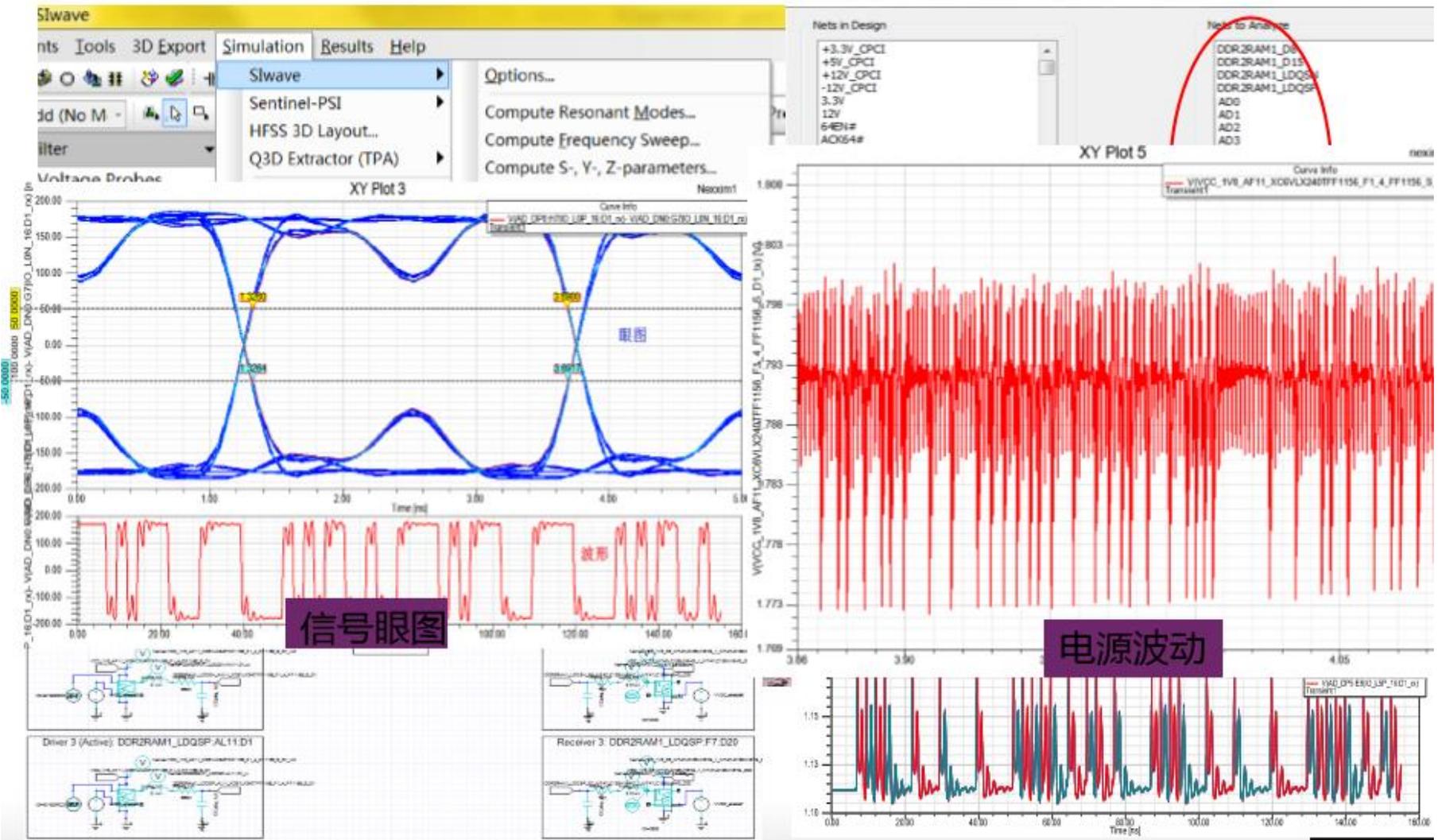
一键转换



ANSYS SIwave

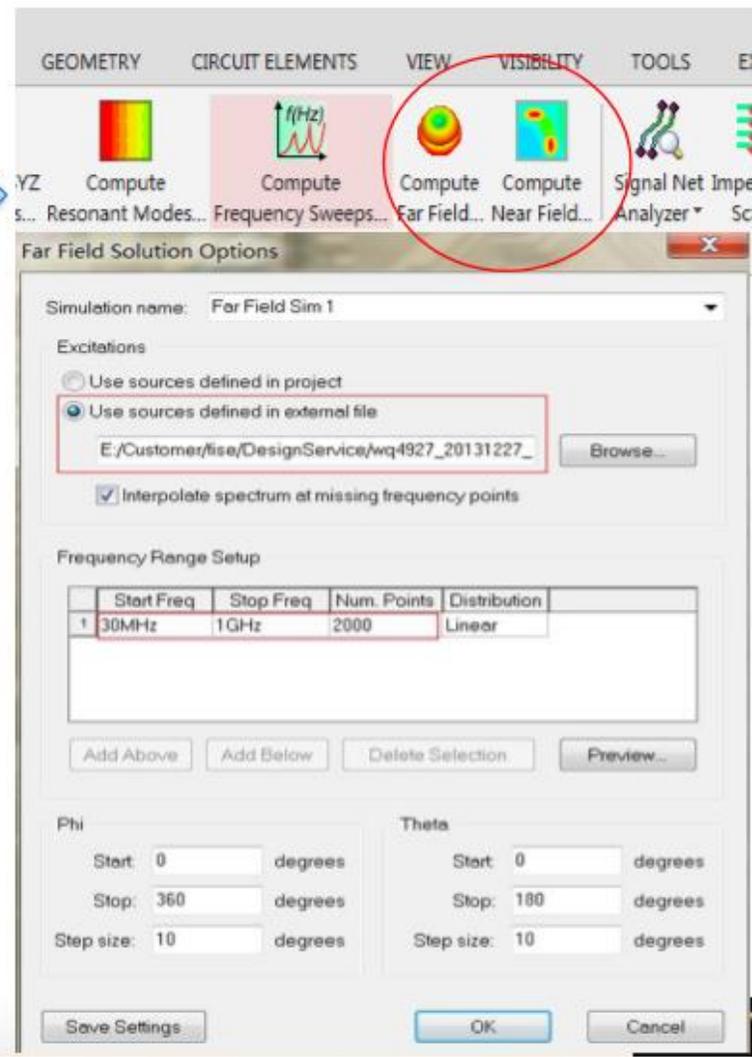
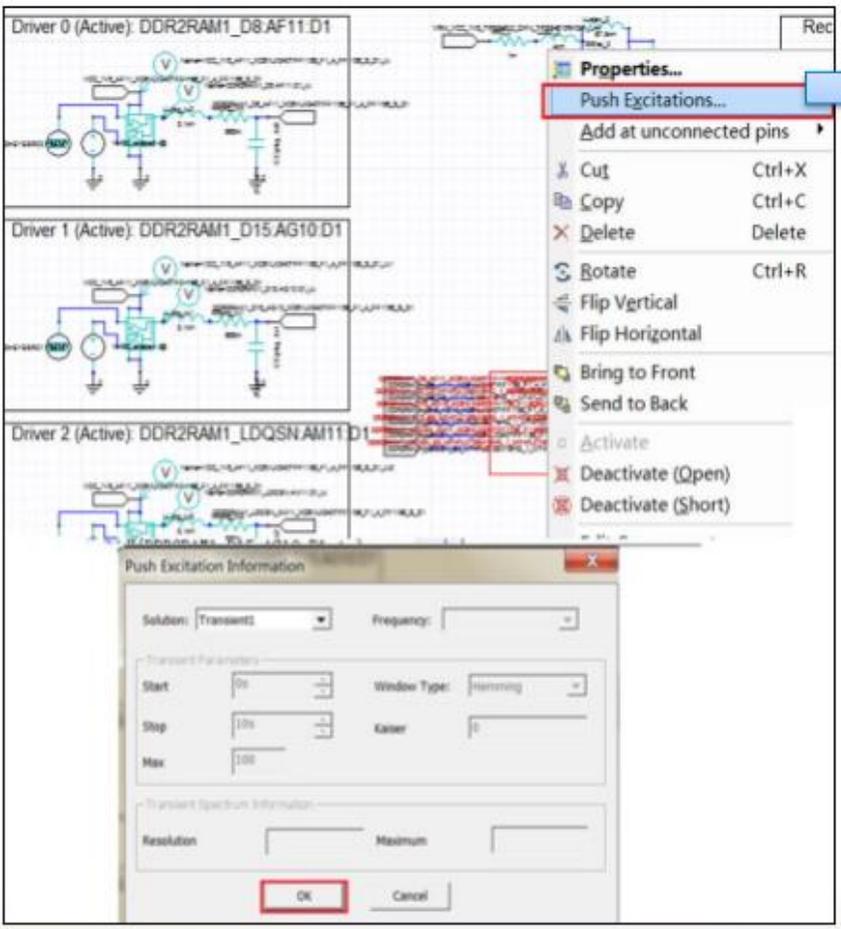
案例二：PCB板级电磁兼容仿真——PCB电源噪声干扰信号

测试噪声
导入仿真



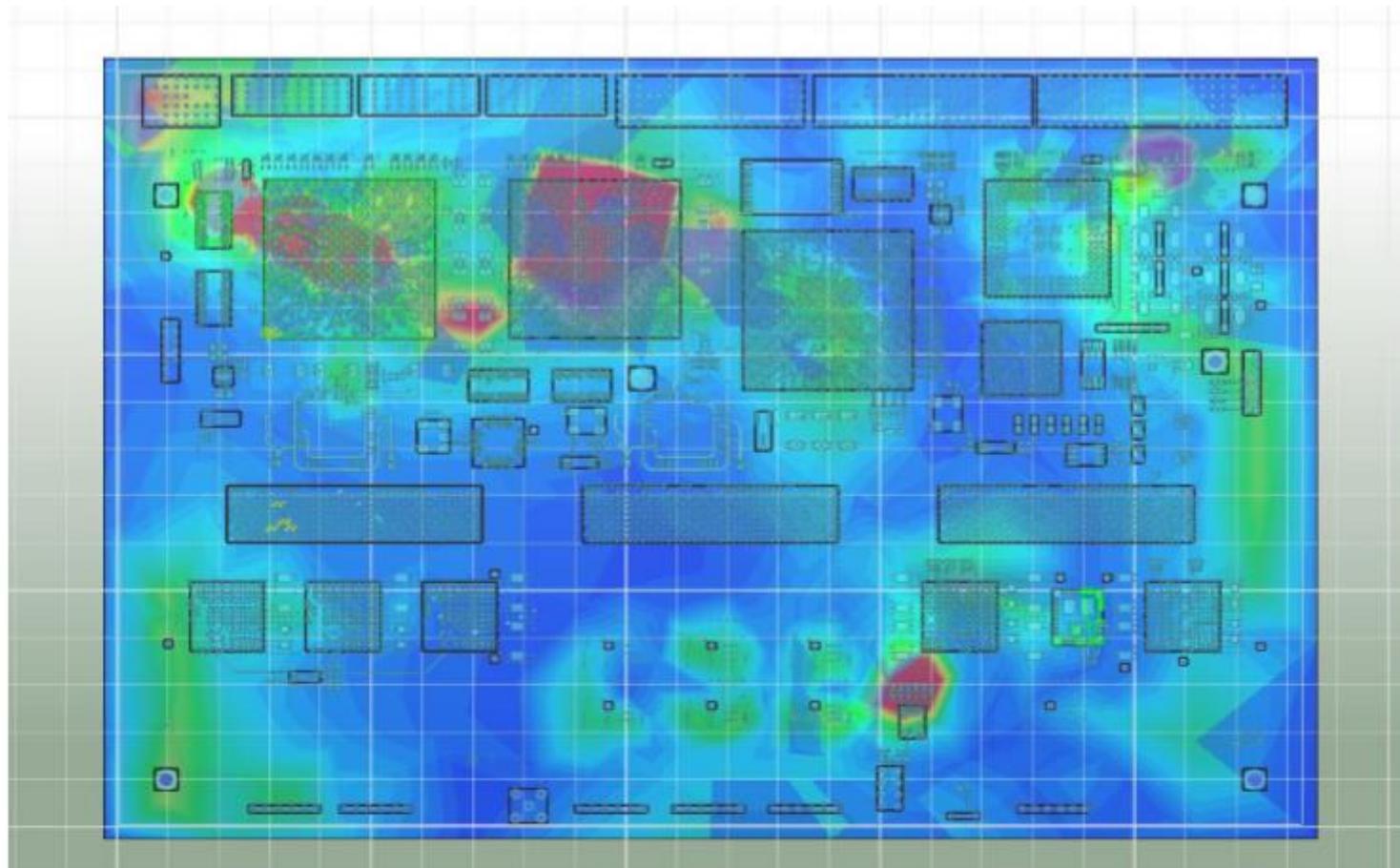
案例二：PCB板级电磁兼容仿真——PCB电源噪声干扰信号

SIwave与designer的场路协同



案例二：PCB板级电磁兼容仿真——PCB电源噪声干扰信号

问题单板芯片附近电源平面近场辐射分析

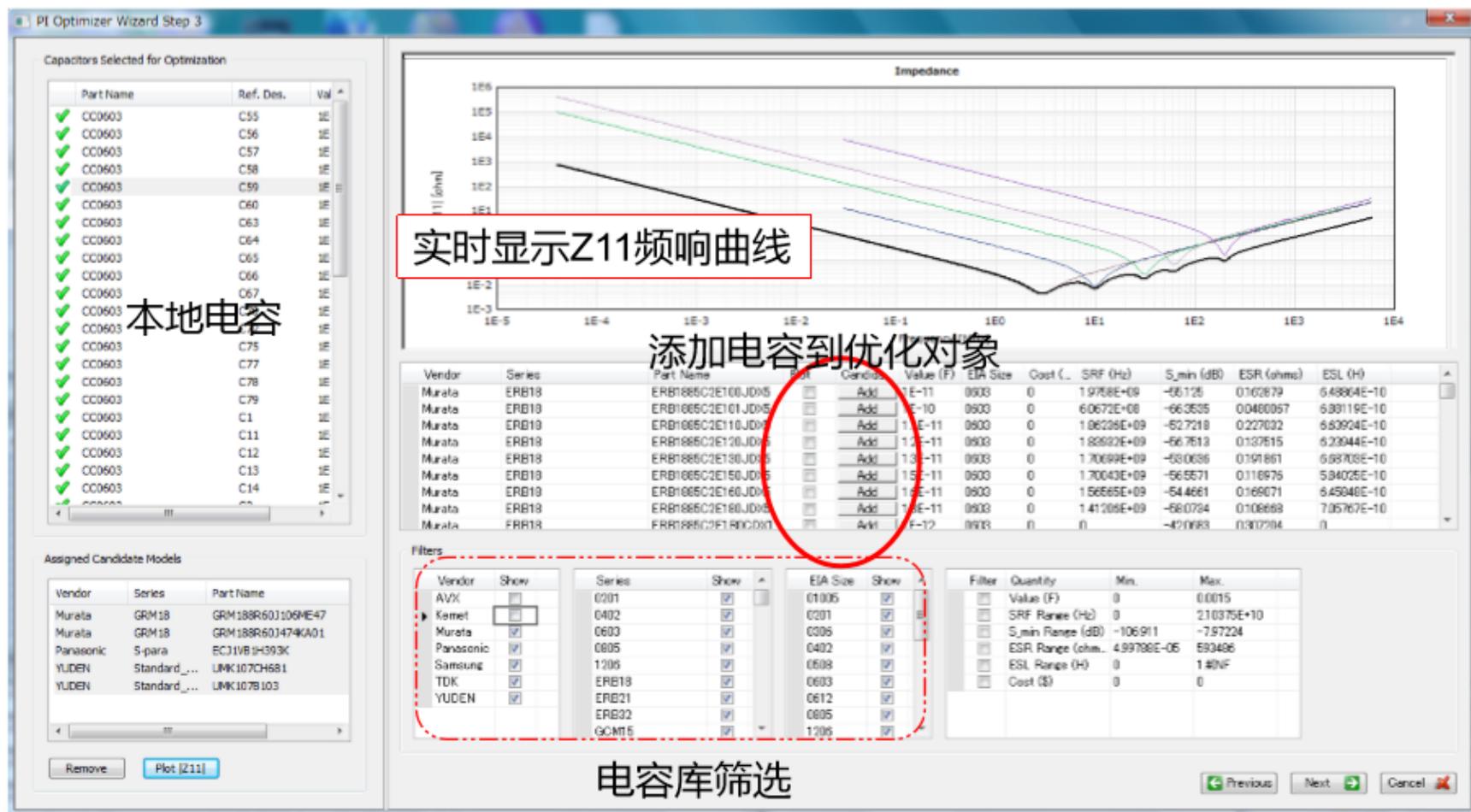


近场辐射分布

案例二：PCB板级电磁兼容仿真——PCB电源噪声干扰信号

电源平面目标阻抗优化

电源去耦网络阻抗自动优化模块，考虑电容容值，布局位置，焊盘等细节影响



本地电容

| Part Name | Ref. Des. | Val |
|-----------|-----------|-----|
| CC0603 | C55 | 1E |
| CC0603 | C56 | 1E |
| CC0603 | C57 | 1E |
| CC0603 | C58 | 1E |
| CC0603 | C59 | 1E |
| CC0603 | C60 | 1E |
| CC0603 | C63 | 1E |
| CC0603 | C64 | 1E |
| CC0603 | C65 | 1E |
| CC0603 | C66 | 1E |
| CC0603 | C67 | 1E |
| CC0603 | C75 | 1E |
| CC0603 | C77 | 1E |
| CC0603 | C78 | 1E |
| CC0603 | C79 | 1E |
| CC0603 | C1 | 1E |
| CC0603 | C11 | 1E |
| CC0603 | C12 | 1E |
| CC0603 | C13 | 1E |
| CC0603 | C14 | 1E |

实时显示Z11频响曲线

添加电容到优化对象

| Vendor | Series | Part Name | Part | Capacitance | Value (F) | EIA Size | Cost (L) | SRF (Hz) | S_min (dB) | ESR (ohms) | ESL (H) |
|--------|--------|-------------------|--------------------------|-------------|-----------|----------|----------|-------------|------------|------------|-------------|
| Murata | ERB19 | ERB1885C2E100JD95 | <input type="checkbox"/> | Add | 1E-11 | 0903 | 0 | 1.9758E+09 | -66.126 | 0.162679 | 6.48904E-10 |
| Murata | ERB19 | ERB1885C2E101JD95 | <input type="checkbox"/> | Add | 1E-10 | 0903 | 0 | 6.0672E+08 | -66.3535 | 0.0460957 | 6.93119E-10 |
| Murata | ERB19 | ERB1885C2E116JD95 | <input type="checkbox"/> | Add | 1E-11 | 0903 | 0 | 1.06236E+09 | -62.7218 | 0.227032 | 6.63904E-10 |
| Murata | ERB19 | ERB1885C2E126JD95 | <input type="checkbox"/> | Add | 1E-11 | 0903 | 0 | 1.86932E+09 | -66.7513 | 0.137615 | 6.23944E-10 |
| Murata | ERB19 | ERB1885C2E136JD95 | <input type="checkbox"/> | Add | 1E-11 | 0903 | 0 | 1.70699E+09 | -63.0686 | 0.191861 | 6.68708E-10 |
| Murata | ERB19 | ERB1885C2E150JD95 | <input type="checkbox"/> | Add | 1E-11 | 0903 | 0 | 1.70043E+09 | -66.5571 | 0.116976 | 5.94025E-10 |
| Murata | ERB19 | ERB1885C2E160JD95 | <input type="checkbox"/> | Add | 1E-11 | 0903 | 0 | 1.56656E+09 | -64.4661 | 0.169071 | 6.45046E-10 |
| Murata | ERB19 | ERB1885C2E180JD95 | <input type="checkbox"/> | Add | 1E-11 | 0903 | 0 | 1.41206E+09 | -68.0794 | 0.106668 | 7.05767E-10 |
| Murata | FRR19 | FRR1885C2E180C001 | <input type="checkbox"/> | Add | 1E-12 | 0903 | 0 | 0 | -42.0083 | 0.307394 | 0 |

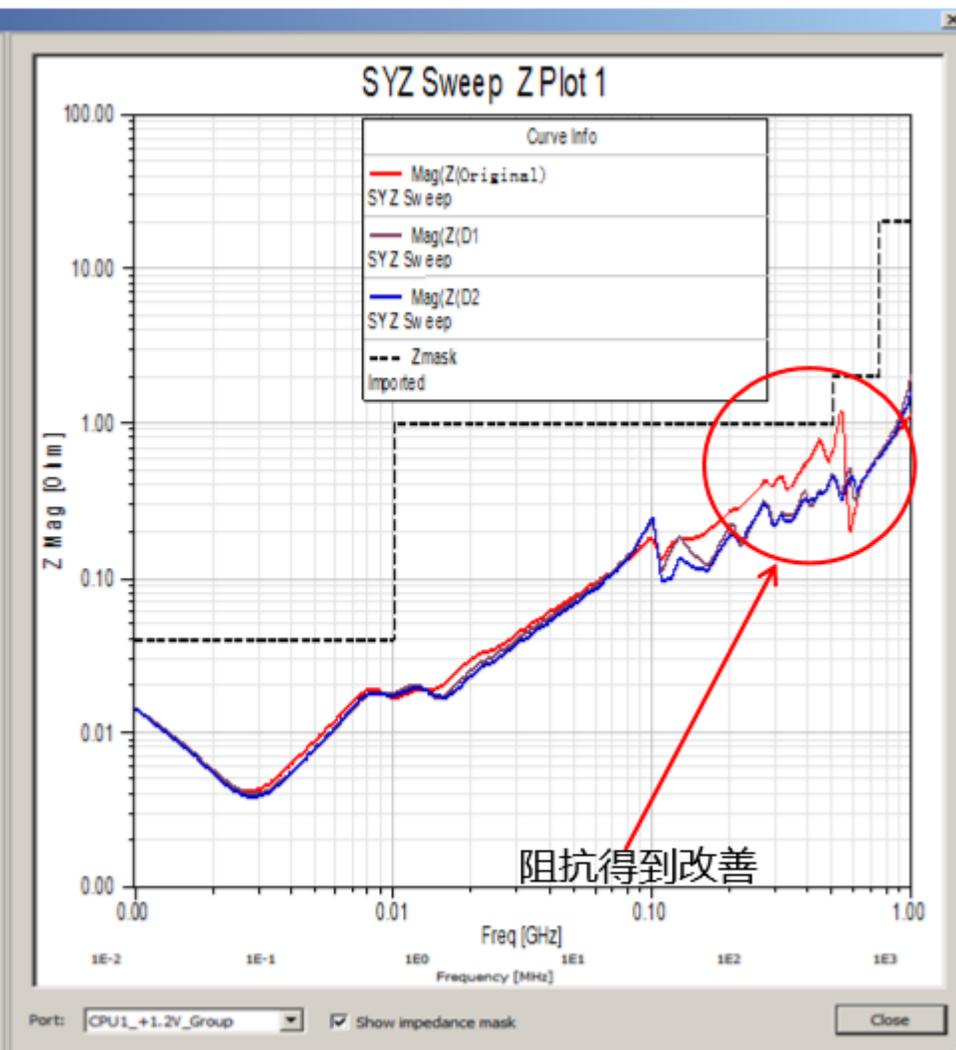
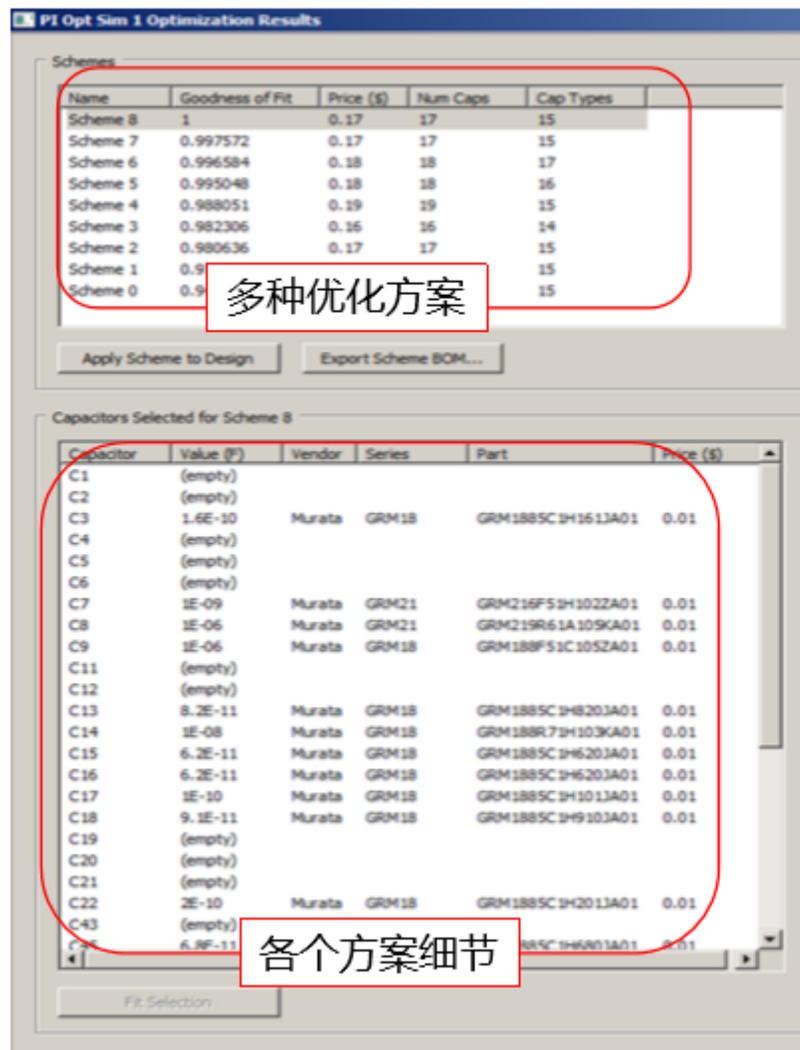
电容库筛选

| Vendor | Series | Part Name | Show | EIA Size | Show |
|-----------|--------|-----------|-------------------------------------|----------|-------------------------------------|
| AVX | 0201 | 01005 | <input checked="" type="checkbox"/> | 01005 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Kemet | 0402 | 0201 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0201 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Murata | 0603 | 0306 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0306 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Panasonic | 0805 | 0402 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0402 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Samsung | 1206 | 0608 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0608 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| TDK | ERB18 | 0603 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0603 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| YUDEM | ERB21 | 0612 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0612 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| YUDEM | ERB32 | 0805 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0805 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| YUDEM | GCM15 | 1206 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1206 | <input checked="" type="checkbox"/> |

| Filter | Quantity | Min. | Max. |
|---|-------------|------------|--------|
| <input type="checkbox"/> Value (F) | 0 | 0 | 0.0015 |
| <input type="checkbox"/> SRF Range (Hz) | 0 | 210375E+10 | |
| <input type="checkbox"/> S_min Range (dB) | -106.911 | -757224 | |
| <input type="checkbox"/> ESR Range (ohms) | 4.99788E-05 | 693486 | |
| <input type="checkbox"/> ESL Range (H) | 0 | 140NF | |
| <input type="checkbox"/> Cost (\$) | 0 | 0 | |

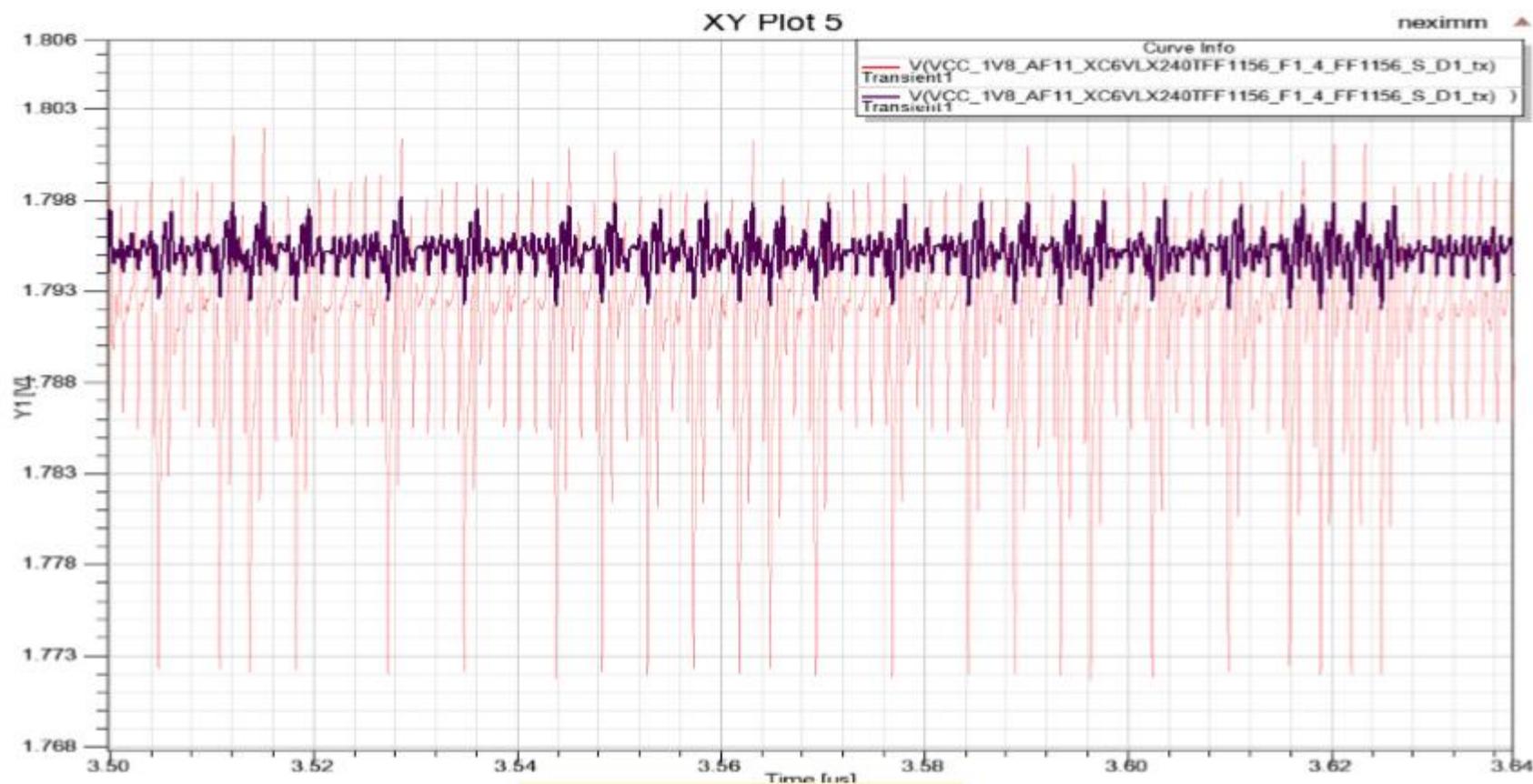
案例二：PCB板级电磁兼容仿真——PCB电源噪声干扰信号

电源平面目标阻抗
优化结果



案例二：PCB板级电磁兼容仿真——PCB电源噪声干扰信号

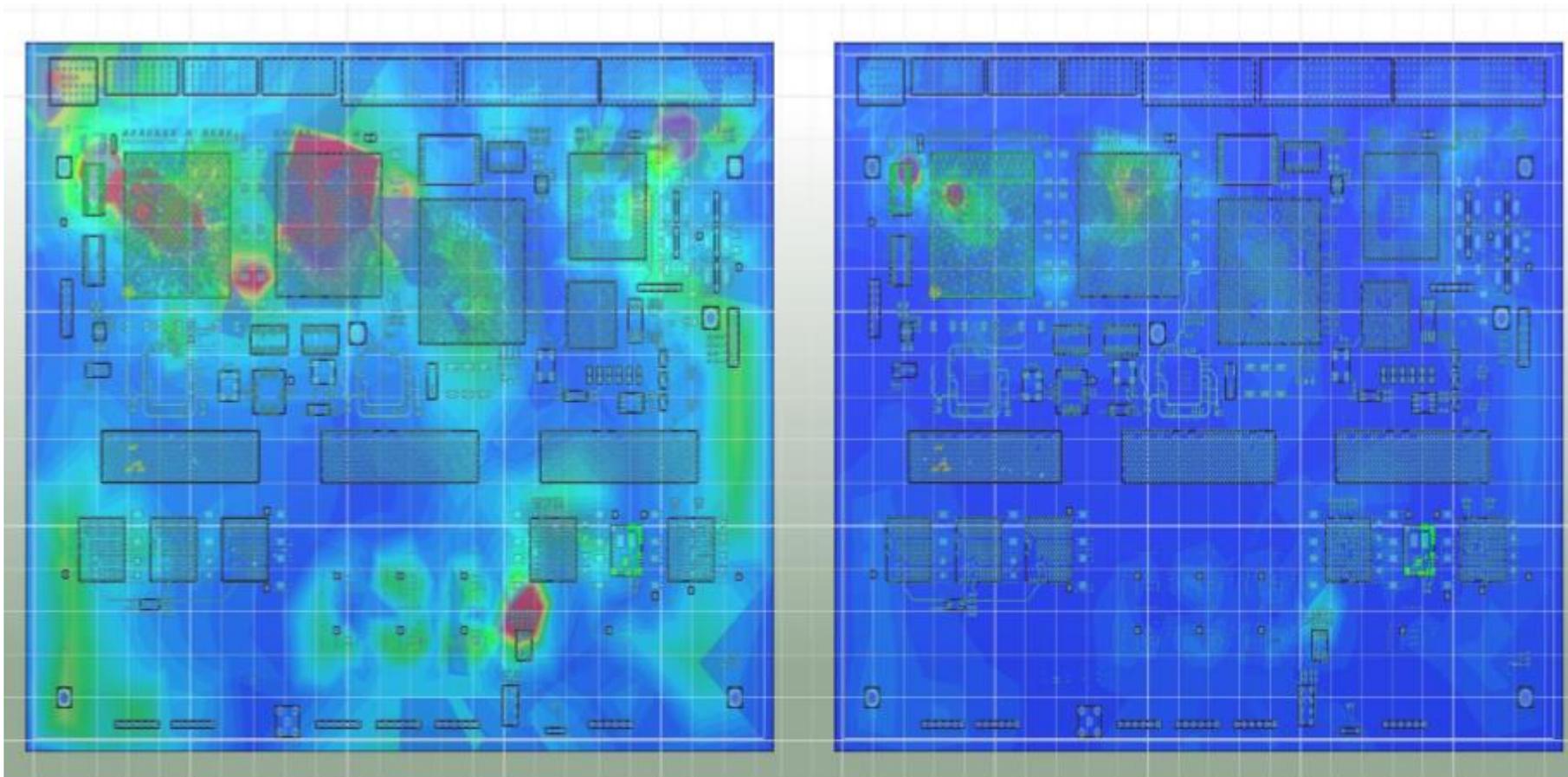
电源时域抖动改善分析结果



电源波动-优化前后对比

案例二：PCB板级电磁兼容仿真——PCB电源噪声干扰信号

PCB电源平面近场辐射优化对比

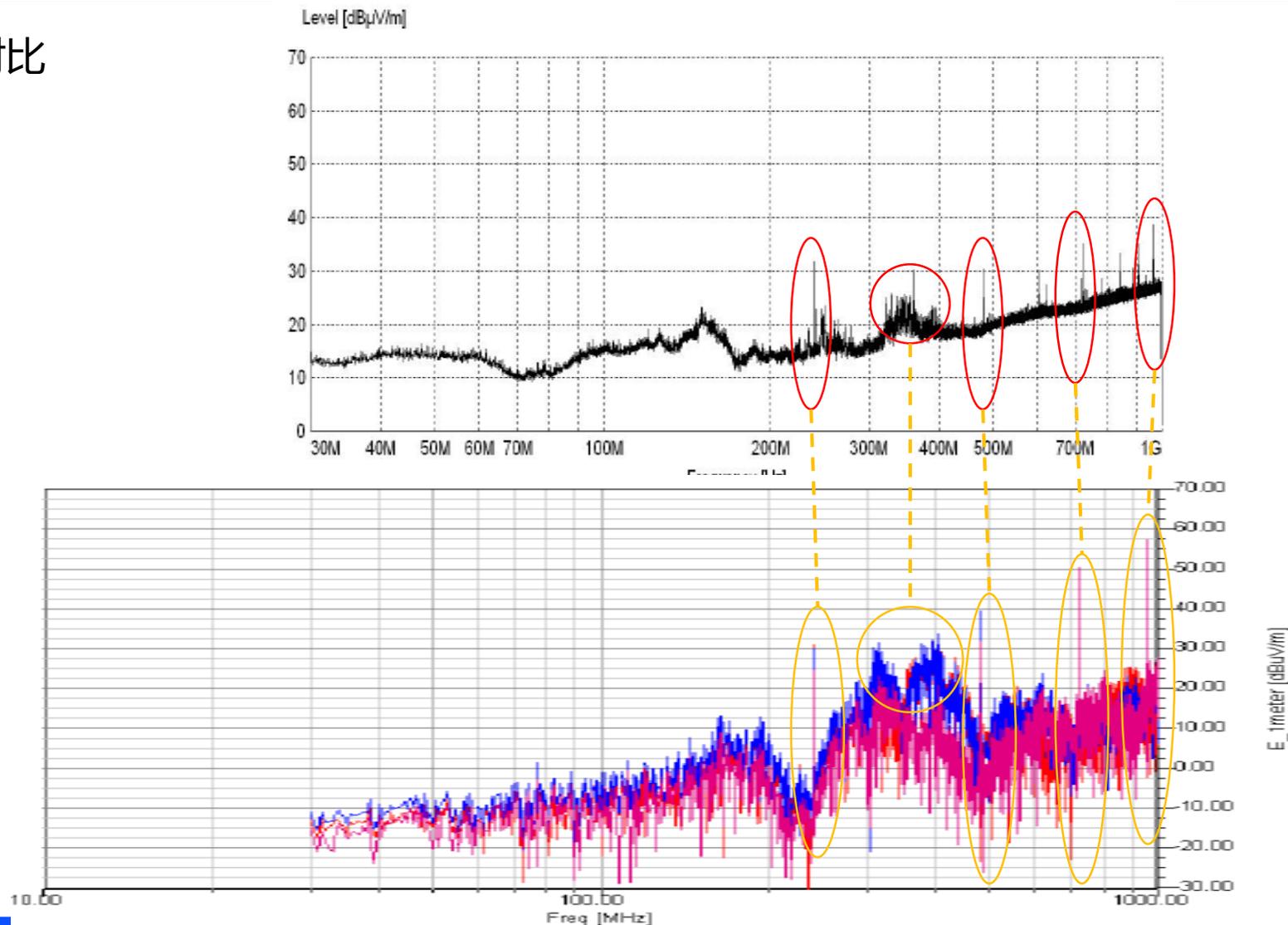


PCB电源优化前

PCB电源优化后

案例二：PCB板级电磁兼容仿真——PCB电源噪声干扰信号

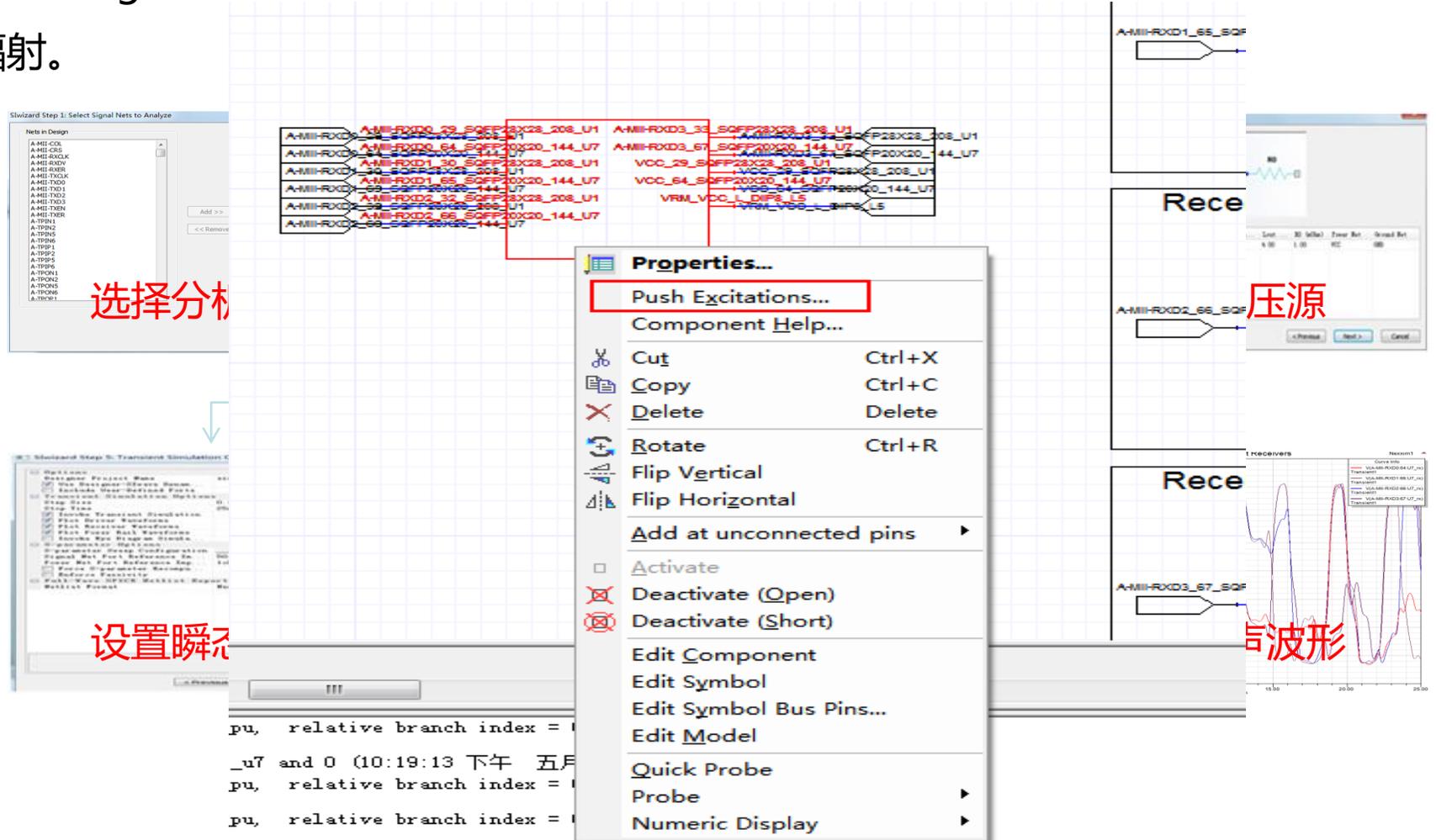
仿真测试结果对比



案例三：机箱系统的电磁兼容仿真

在SIwave和Designer仿真得到的PCB电磁辐射数据，可以直接作为激励源链接到三维机箱中，精确仿真机箱系统的电磁辐射。

场路协同仿真
PCB辐射



The screenshot illustrates the workflow for linking PCB radiation data to a 3D chassis simulation. It shows the selection of signal nets for analysis, the configuration of excitation sources, and the resulting signal waveforms at receiver locations.

选择分析 (Select Analysis): A dialog box titled "SIWizard Step 1: Select Signal Nets to Analyze" showing a list of nets in the design.

设置瞬态 (Set Transient): A dialog box titled "SIWizard Step 2: Transient Simulation" showing simulation parameters.

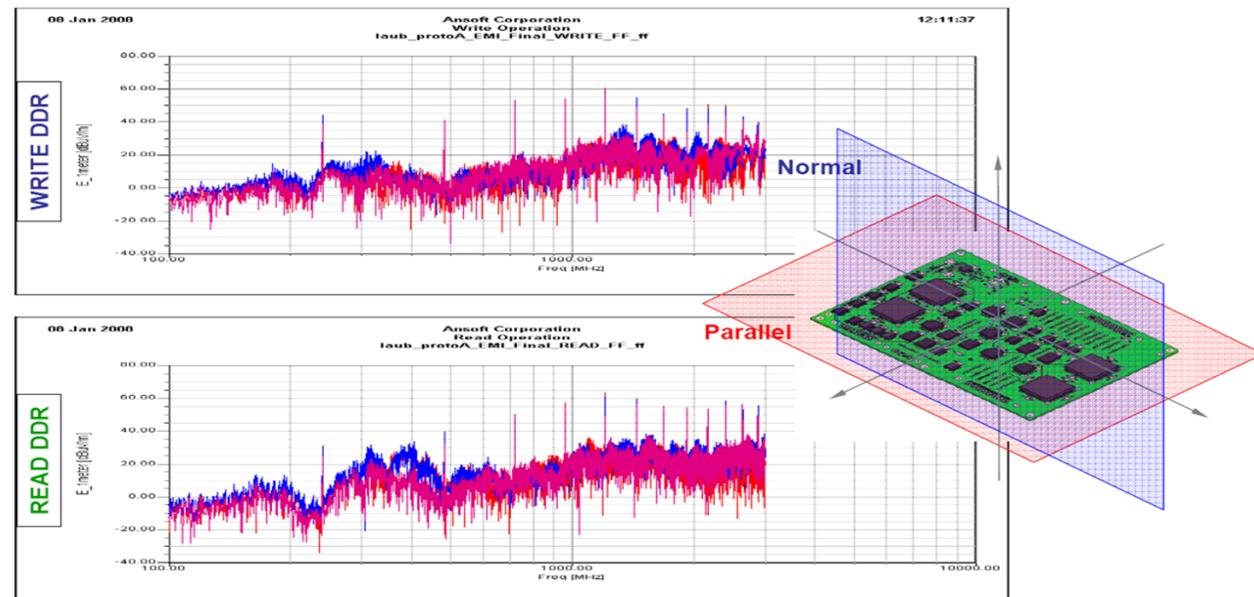
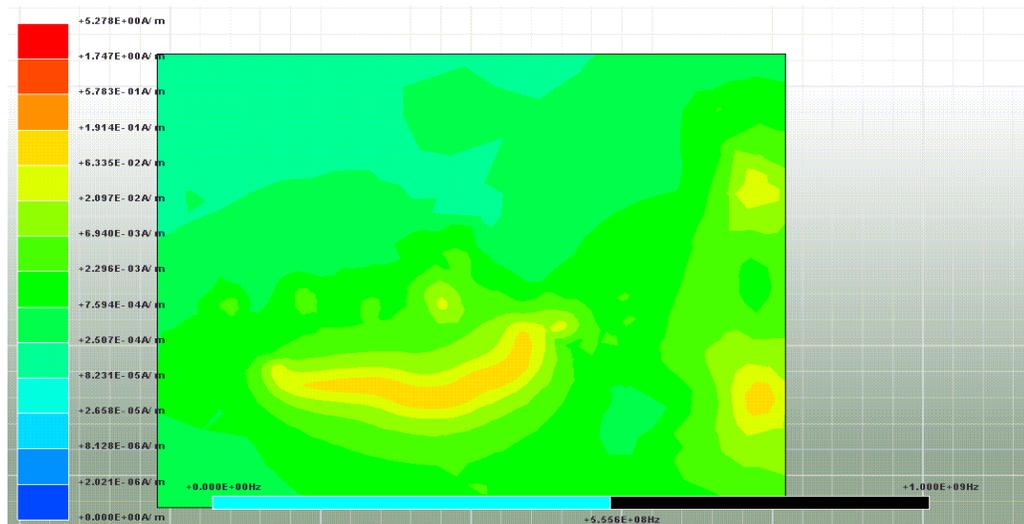
Push Excitations...: A context menu option for adding excitation sources to the simulation.

压源 (Excitation Source): A component labeled "A-MII-RXD1_65_SQF" and "A-MII-RXD2_66_SQF" representing the excitation sources.

信号波形 (Signal Waveform): A plot showing the received signal waveforms at receiver locations, labeled "Rece".

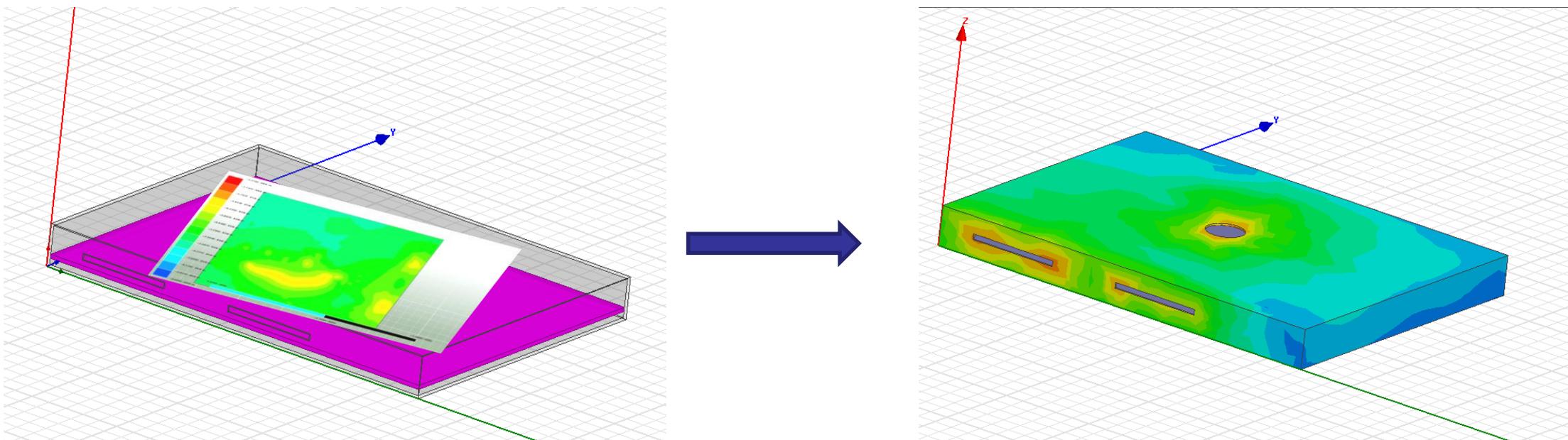
案例三：机箱系统的电磁兼容仿真

SIwave仿真得到真实工作状态下的近远场辐射



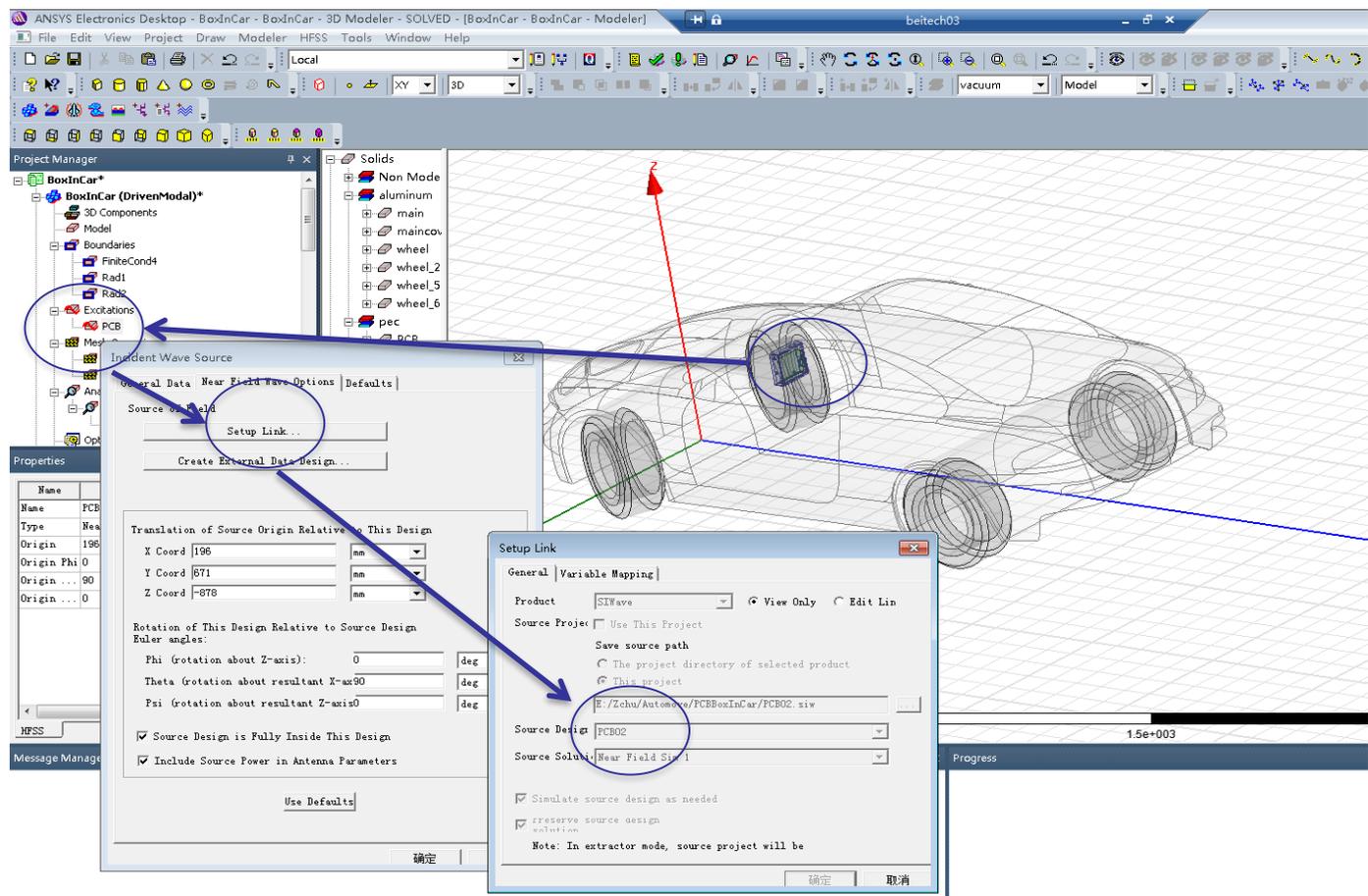
案例三：机箱系统的电磁兼容仿真

机箱/PCB协同仿真



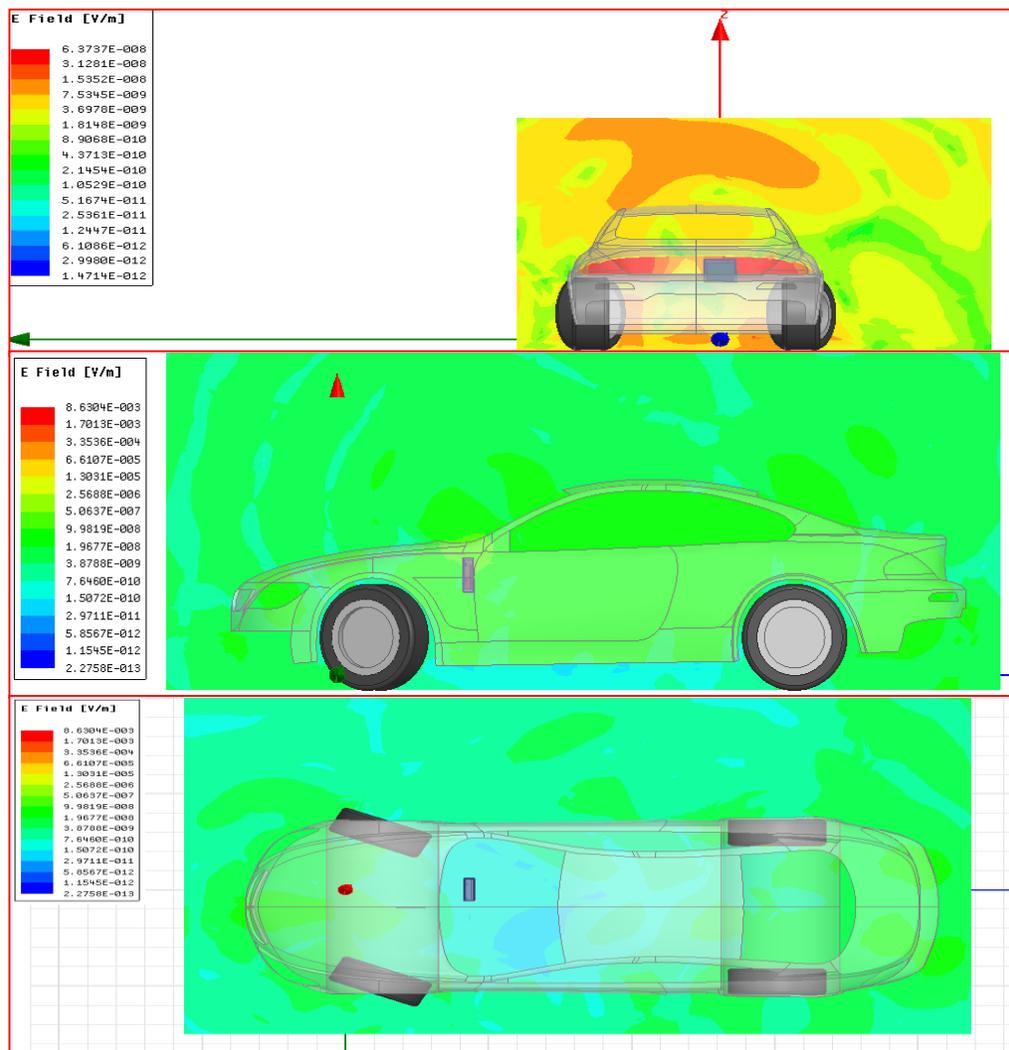
将PCB辐射源导入机箱结构，协同仿真系统级EMC

案例三：机箱系统的电磁兼容仿真



通过场到场的链接，将PCB的辐射场链接至车体内对应位置。

案例三：机箱系统的电磁兼容仿真



XZ 平面电场

YZ平面电场

XY平面电场

案例三：机箱系统的电磁兼容仿真

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 | 9 | 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 | 76 to 108 | 6(15 ^a) | 28 | 15 | 28 | 6 |
| Mobile services | | | | | | |
| VHF | 30 to 54 | 6(15 ^a) | 28 | 15 | 28 | 0 |
| VHF | 68 to 87 | 6(15 ^a) | 28 | 15 | 28 | 0 |
| VHF | 142 to 175 | 6(15 ^a) | 28 | 15 | 28 | 0 |
| UHF | 380 to 512 | 6(15 ^a) | 28 | 15 | 28 | 0 |
| UHF | 820 to 960 | 6(15 ^a) | 28 | 15 | 28 | 0 |

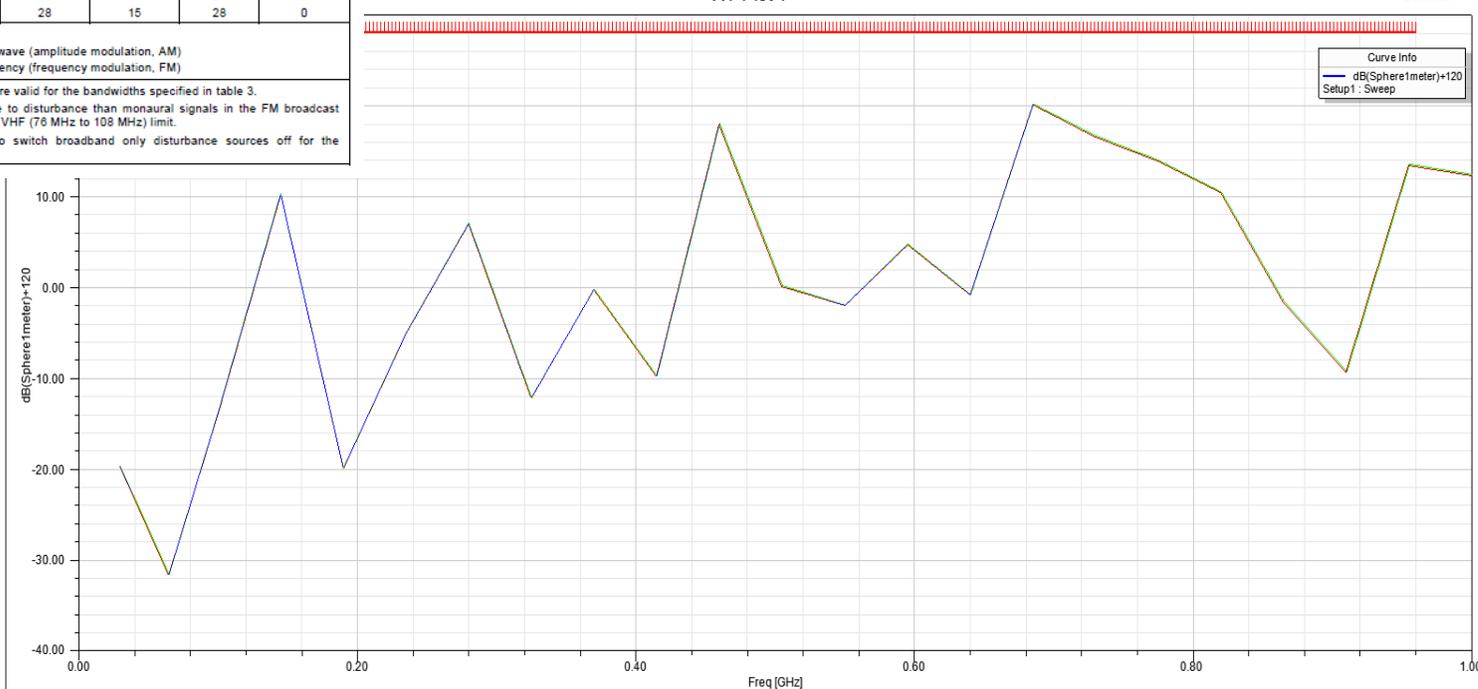
^a Limit for ignition systems only.
^b LW: Long wave, MW: Medium wave, SW: Short wave (amplitude modulation, AM)
VHF: Very high frequency, UHF: Ultra high frequency (frequency modulation, FM)

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 (76 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.

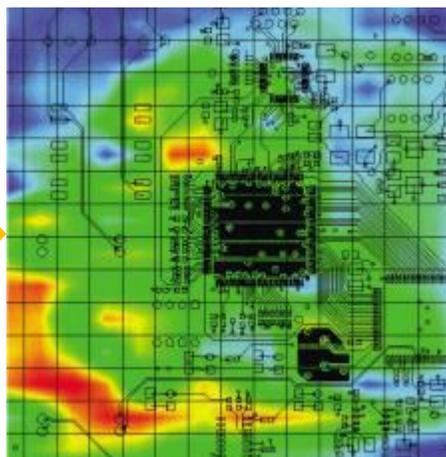
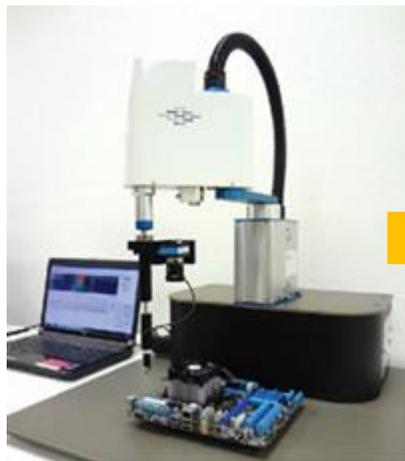
CISPR SPEC

XY Plot 1

BoxInCar ▲

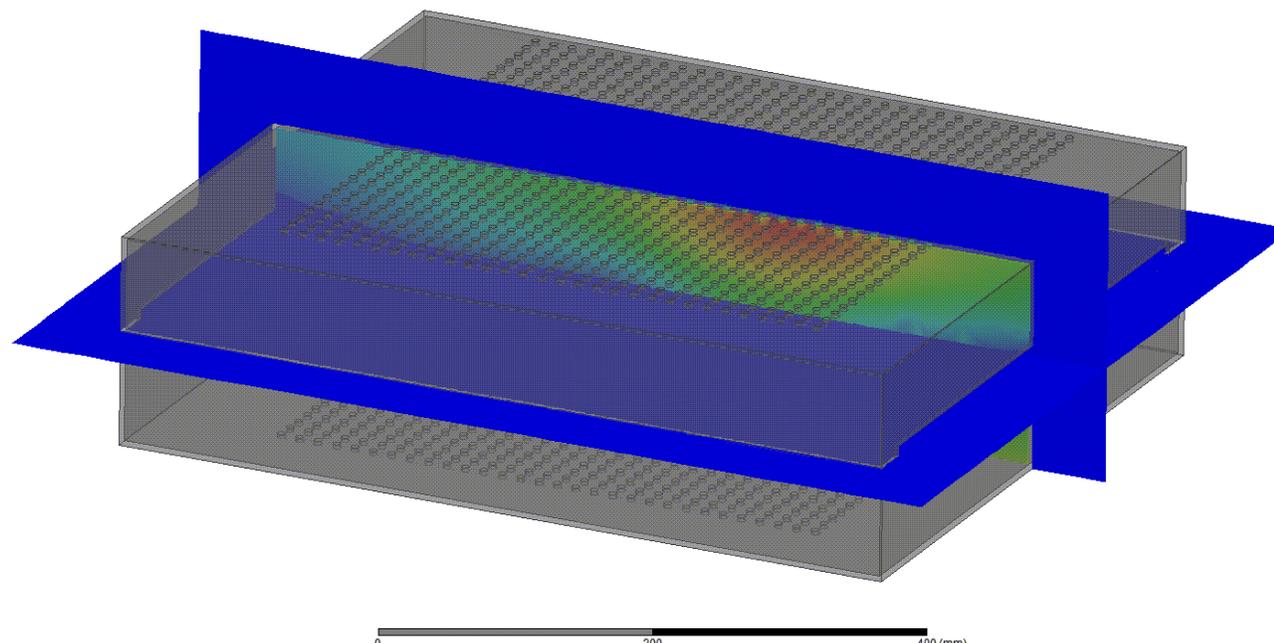


案例三：机箱系统的电磁兼容仿真



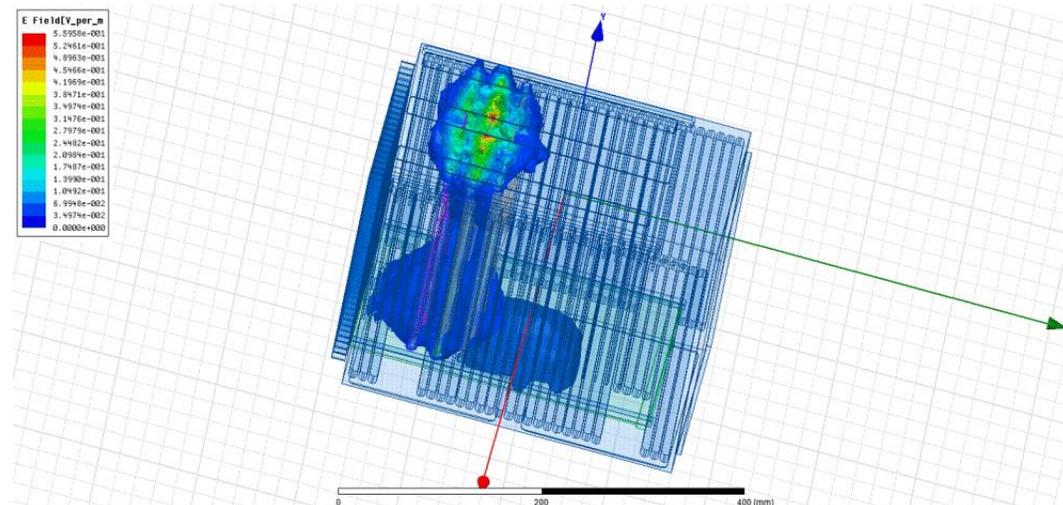
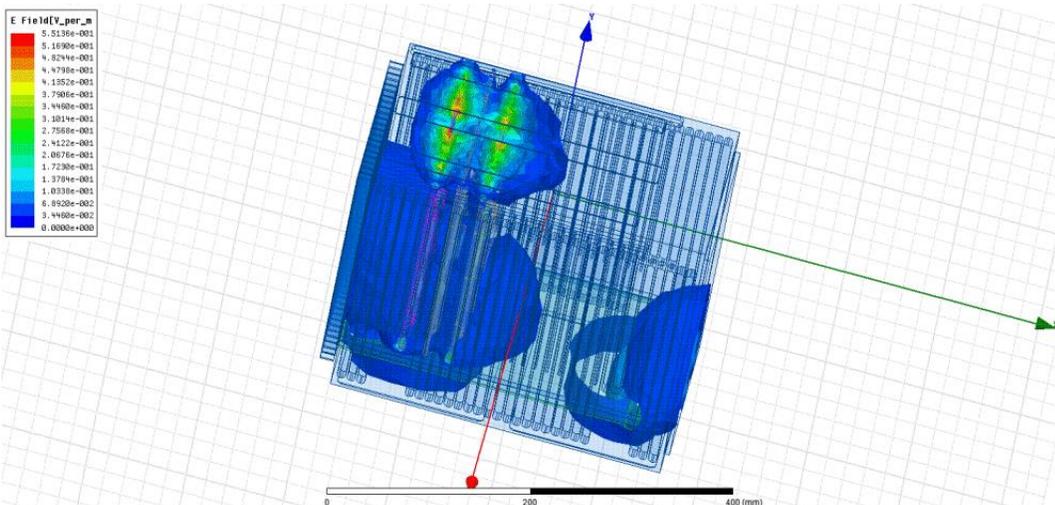
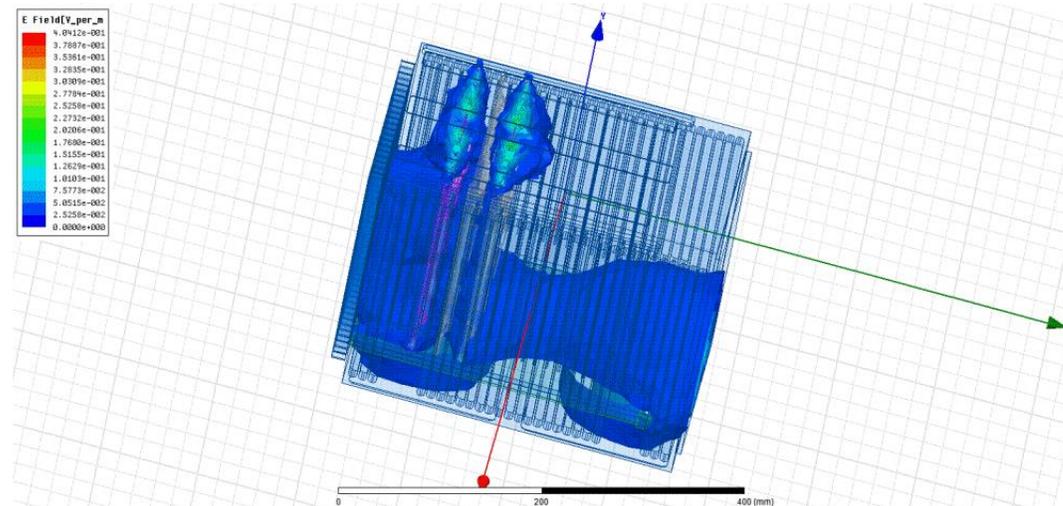
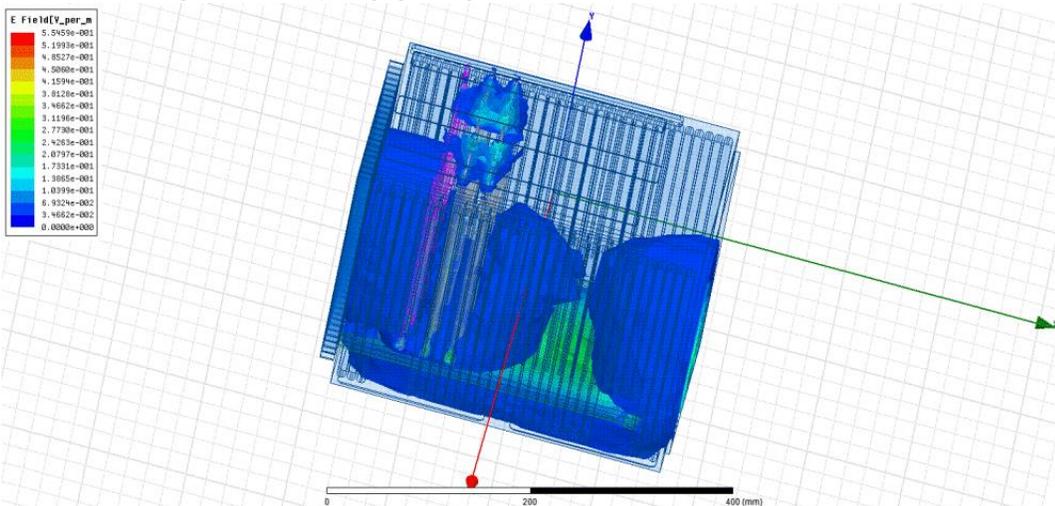
利用PCB近场辐射测试数据进行仿真

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------------|------------|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|-----------|------------|------------|------------|--------------|
| 1 | 0.00451723 | 0.0044509 | 0.01 | 88.2464 | 415.916 | 75.5021 | 418.182 | 263.042 | -456.837 | -0.14744 | 141403 | 1.07646 | -0.0117019 | 0.012183 | |
| 2 | 0.00715861 | 0.00722515 | 0.01 | 165.289 | 207.335 | 165.514 | 213.331 | -203.522 | -260.481 | -0.490462 | -0.100306 | 0.504864 | 0.545189 | -0.0046711 | 0.00733315 |
| 3 | 0.00390474 | 0.00722515 | 0.01 | 94.8111 | 239.396 | 217.077 | 373.904 | -48.0781 | -415.951 | -0.5847 | -1.00306 | 0.292667 | 0.64205 | -0.0781163 | -0.0452754 |
| 4 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 120.094 | 5.06746 | 140.907 | 5.47563 | -345.553 | 5.94694 | -0.76086 | -0.017991 | 0.783695 | 0.0319546 | 0.00781719 | -0.0019737 |
| 5 | 0.00674613 | 0.01 | 0.01 | 121.559 | 44.3728 | 280.149 | 127.496 | -352.124 | -134.423 | -0.807414 | -0.374977 | 0.509532 | 0.173753 | -0.267001 | -0.0942451 |
| 6 | 0.00349226 | 0.01 | 0.01 | 72.9703 | 63.3556 | 337.9 | 237.958 | -16.35 | -295.692 | -0.937497 | -0.810437 | 0.394591 | 0.283451 | -0.213373 | -0.115985 |
| 7 | 0.00451723 | 0.0044509 | 0.01 | 88.2464 | 415.916 | 75.5021 | 418.182 | 263.042 | -456.837 | -0.14744 | -1.10824 | 0.141403 | 1.07646 | -0.0117019 | 0.012183 |
| 8 | 0.00715861 | 0.00347502 | 0.01 | 213.423 | 389.875 | 81.226 | 214.963 | -35.337 | -438.076 | -0.24884 | -0.603138 | 0.56645 | 1.06479 | 0.0837007 | 0.0448911 |
| 9 | 0.00715861 | 0.00722515 | 0.01 | 165.289 | 207.335 | 165.514 | 213.331 | -203.522 | -260.481 | -0.490462 | -0.553139 | 0.504864 | 0.545189 | -0.0046711 | 0.00733315 |
| 10 | 0.01 | 0.0049974 | 0.01 | 350.674 | 260.253 | 65.398 | 53.2369 | -320.421 | -306.758 | -0.26722 | -0.239711 | 0.941947 | 0.886098 | 0.180047 | 0.0 |
| 11 | 0.01 | 0.00624987 | 0.01 | 280.83 | 147.477 | 120.334 | 46.9892 | -326.506 | -150.792 | -0.459466 | -0.176502 | 0.810667 | 0.423784 | 0.254021 | 0.0 |
| 12 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 120.094 | 5.06746 | 140.907 | 5.47563 | -345.553 | 5.94694 | -0.76086 | -0.017991 | 0.783695 | 0.0319546 | 0.00781719 | -0.0019737 |
| 13 | 0.00492338 | -0.0004794 | 0.01 | 9.33056 | 612.504 | -10.0188 | -69.6942 | 548.655 | -389.386 | -0.005783 | 0.16936 | -0.01802 | 1.58215 | -0.0107869 | 0.0000000000 |
| 14 | 0.00348521 | -0.0028519 | 0.01 | 13.2422 | 485.345 | -14.1263 | -355.359 | 617.908 | -349.009 | -0.0321079 | 0.911445 | -0.0433844 | 1.18207 | 0.00582695 | -0.0039765 |
| 15 | 0.00746269 | -0.00274 | 0.01 | 196.314 | 446.075 | -73.0833 | -97.3611 | 8.04991 | -401.293 | 0.206704 | 0.326248 | 0.515137 | 1.13852 | -0.108724 | -0.0286461 |
| 16 | 0.00204104 | -0.0048244 | 0.01 | 15.4004 | 246.897 | -35.9013 | -568.513 | 488.773 | -400.291 | 0.0366216 | 1.47637 | 0.00178056 | 0.628395 | 0.0273021 | -0.0067223 |
| 17 | 0.00602052 | -0.0049123 | 0.01 | 164.455 | 324.535 | -93.1256 | -351.808 | 21.9627 | -398.51 | 0.287034 | 0.386767 | 0.413449 | 0.893973 | -0.0953823 | -0.0391828 |
| 18 | 0.01 | -0.0050005 | 0.01 | 333.275 | 210.599 | -116.402 | -81.7921 | -337.913 | -233.494 | 0.471861 | 0.313913 | 0.87875 | 0.622351 | -0.268239 | -0.13708 |
| 19 | 0.00349226 | 0.01 | 0.01 | 72.9703 | 63.3556 | 337.9 | 237.958 | -16.35 | -295.692 | -0.937497 | -0.810437 | 0.394591 | 0.283451 | -0.213373 | -0.115985 |
| 20 | 0.00041606 | 0.00778536 | 0.01 | 22.8065 | -28.9101 | 228.612 | 451.797 | -64.5709 | -483.63 | -0.608035 | -1.23755 | 0.063745 | -0.0054022 | -0.0416552 | 0.00310579 |
| 21 | 0.00390474 | 0.00722515 | 0.01 | 94.8111 | 239.396 | 217.077 | 373.904 | -48.0781 | -415.951 | -0.5847 | -1.00306 | 0.292667 | 0.64205 | -0.0781163 | -0.0452754 |
| 22 | -0.0026602 | 0.00557073 | 0.01 | -48.556 | -252.094 | 78.8779 | 520.888 | 273.155 | -441.152 | -0.226478 | -1.38609 | -0.0591414 | -0.665585 | 0.0452811 | -0.0365065 |
| 23 | 0.00082854 | 0.00501051 | 0.01 | 0.179912 | 85.1741 | 30.953 | 518.577 | 452.038 | -470.895 | -0.125834 | -1.46185 | -0.0018944 | 0.230732 | 0.00236297 | -0.0145355 |
| 24 | 0.00451723 | 0.0044509 | 0.01 | 88.2464 | 415.916 | 75.5021 | 418.182 | 263.042 | -456.837 | -0.14744 | -1.10824 | 0.141403 | 1.07646 | -0.0117019 | 0.012183 |
| 25 | -0.0031656 | 0.01 | 0.01 | -76.5099 | -49.4743 | 352.14 | 228.144 | -325.769 | -275.861 | -0.966161 | -0.782194 | -0.338601 | -0.261886 | 0.213543 | 0.124886 |
| 26 | -0.0029129 | 0.00778536 | 0.01 | -61.821 | -144.435 | 232.948 | 396.727 | -70.3691 | -382.03 | -0.649781 | -1.07244 | -0.221586 | -0.425763 | 0.102886 | 0.0255842 |
| 27 | 0.00016336 | 0.01 | 0.01 | 3.27331 | 1.46185 | 336.088 | 219.06 | -335.208 | -338.536 | -1.02554 | -0.798078 | 0.0302923 | -0.0129958 | -0.0270934 | 0.0322395 |
| 28 | -0.0002602 | 0.00557073 | 0.01 | -48.556 | -252.094 | 78.8779 | 520.888 | 273.155 | -441.152 | -0.226478 | -1.38609 | -0.0591414 | -0.665585 | 0.0452811 | -0.0365065 |
| 29 | 0.00041606 | 0.00778536 | 0.01 | 22.8065 | -28.9101 | 228.612 | 451.797 | -64.5709 | -483.63 | -0.608035 | -1.23755 | 0.063745 | -0.0054022 | -0.0416552 | 0.00310579 |



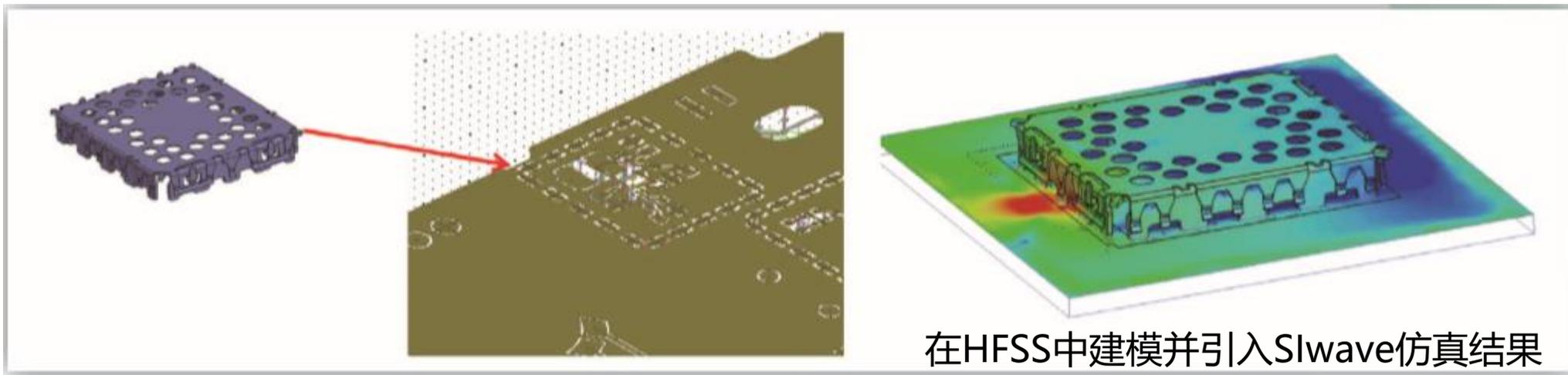
案例三：机箱系统的电磁兼容仿真

利用机箱本征谐振分析获得机箱内PCB等布局指导



案例三：机箱系统的电磁兼容仿真

Nokia采用ANSYS的EMC仿真工具流程，仿真天线与手机PCB的干扰以及屏蔽壳接地问题。

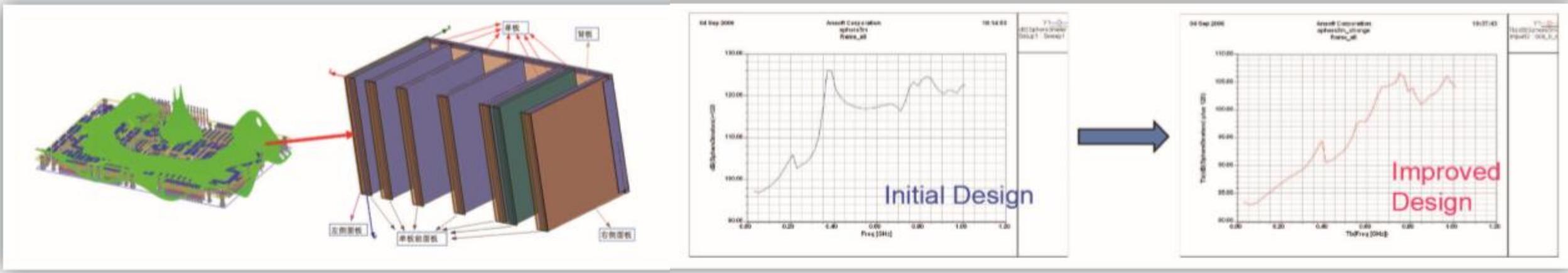


金属屏蔽壳与PCB地平面相接，HFSS辐射仿真考察屏蔽效果

案例三：机箱系统的电磁兼容仿真

中兴通信 (ZTE) 采用ANSYS的EMC仿真工具，仿真多个单板PCB的机箱系统的EMI辐射。

在多PCB的机箱系统中，PCB单板在作为独立的辐射源的同时，各PCB之间的相互作用也影响到整个系统最终的EMI辐射。ANSYS仿真工具首先对各个PCB单板进行仿真，得到单板的辐射情况后，再搭建多板的机箱系统，进行系统级的EMI仿真，最终实现对整个系统的EMI控制。



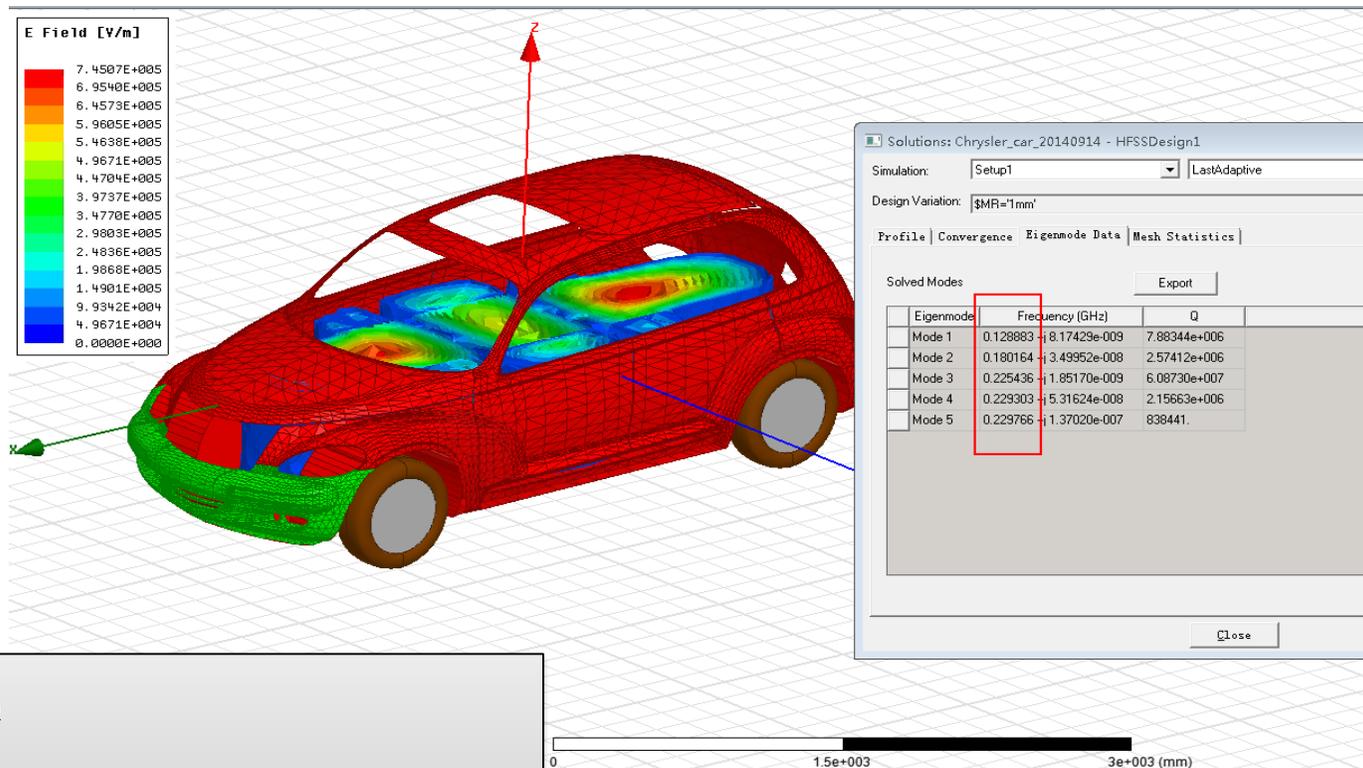
PCB单板设计EMI辐射仿真

系统级EMI辐射仿真

改进之前

改进之后

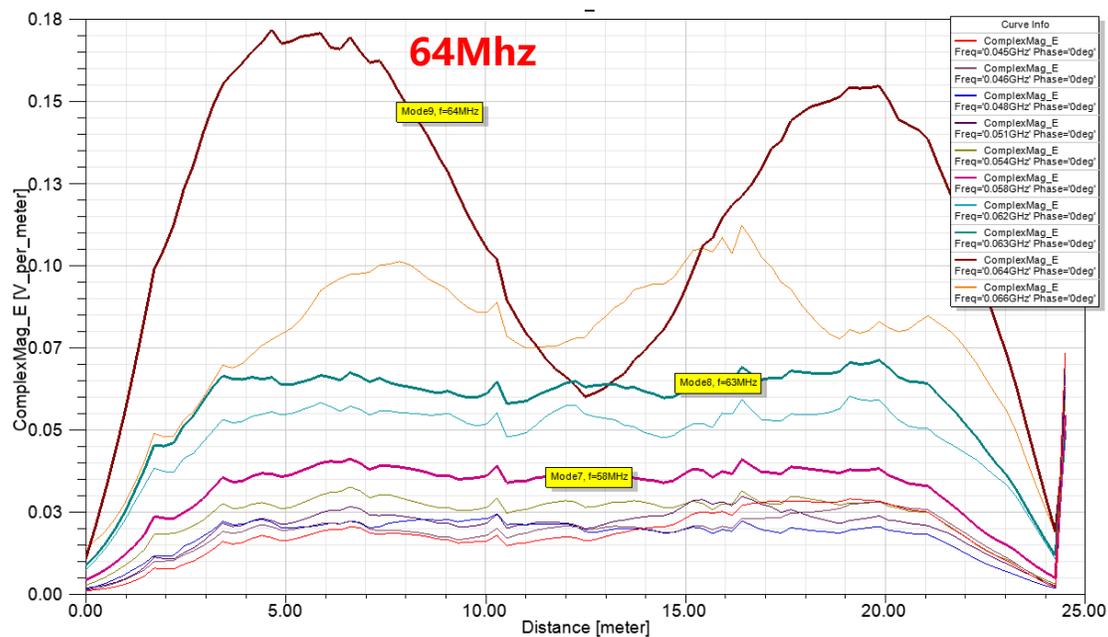
案例四：车体谐振与屏蔽效能



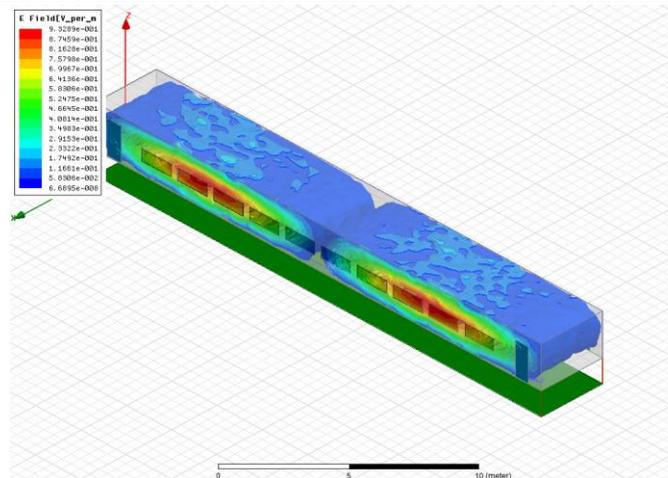
谐振计算结果

- 风险频率
- 布局风险区域

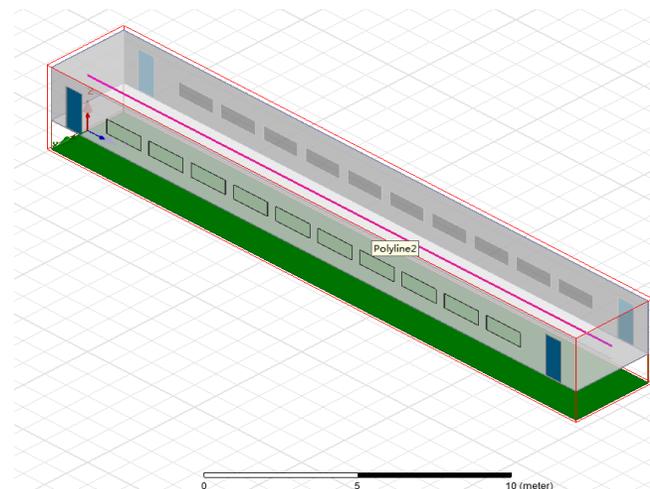
案例四：车体谐振与屏蔽效能



多个频点下沿车体长度的屏蔽效能曲线

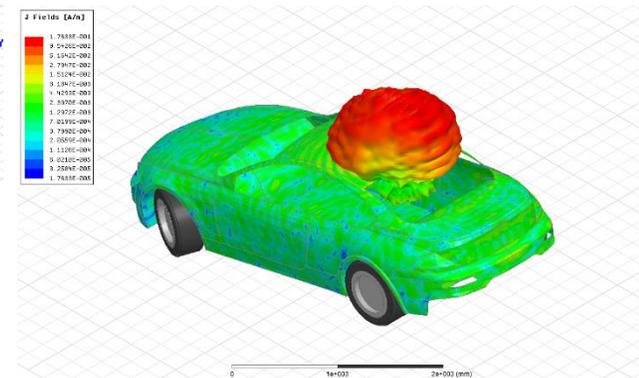
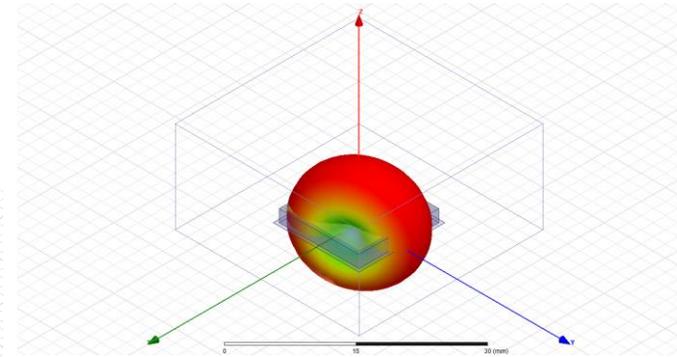
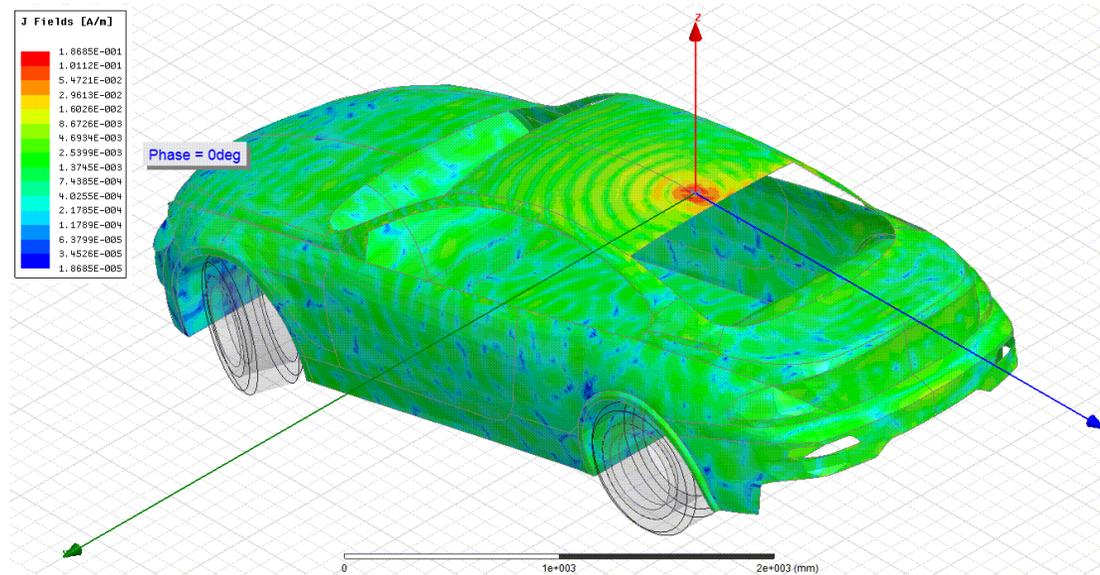


64MHz谐振场分布



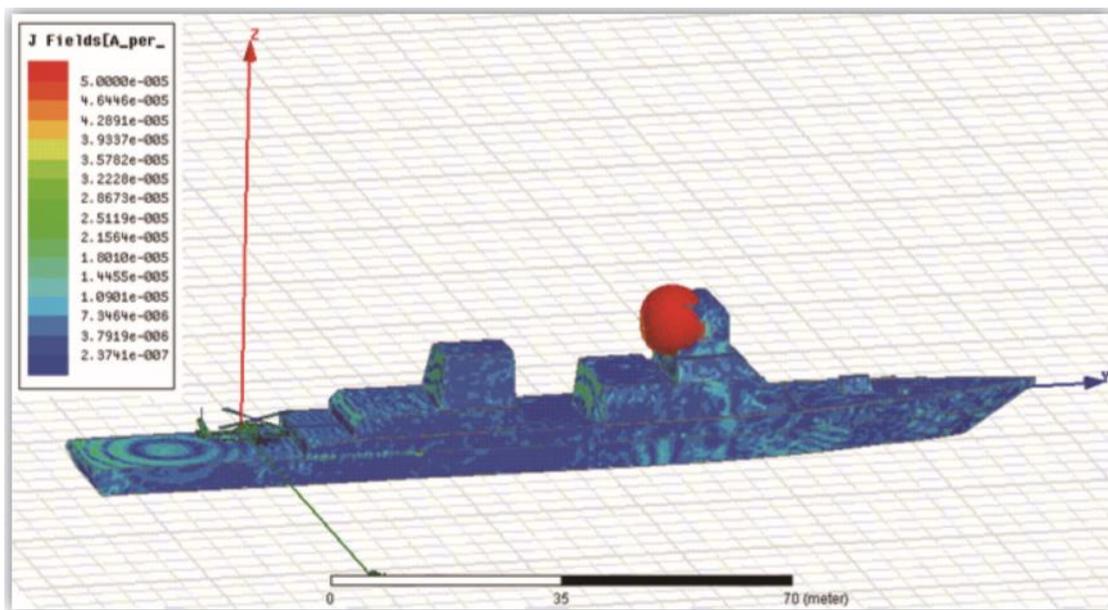
车体内屏蔽效能的观测曲线

案例五：天线布局

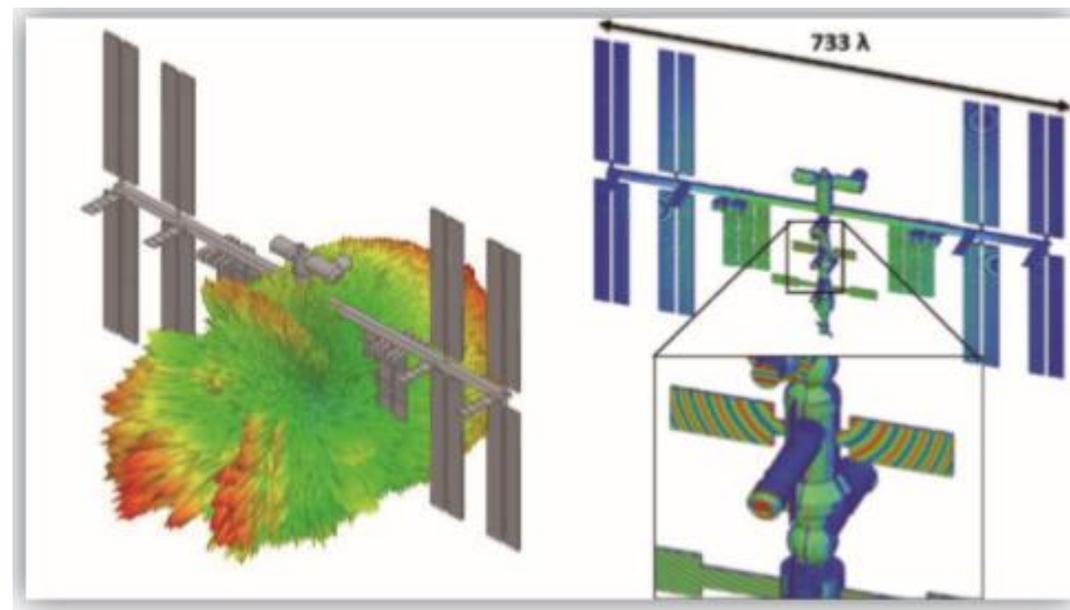


案例五：天线布局

天线布局作为系统级电磁兼容最重要的设计内容之一，在汽车、舰船和飞机的总体设计中占据了重要地位，ANSYS软件在天线布局领域中被广泛使用、拥有成熟且经过验证的仿真流程，并且在方案完整性方面有较强的优势。



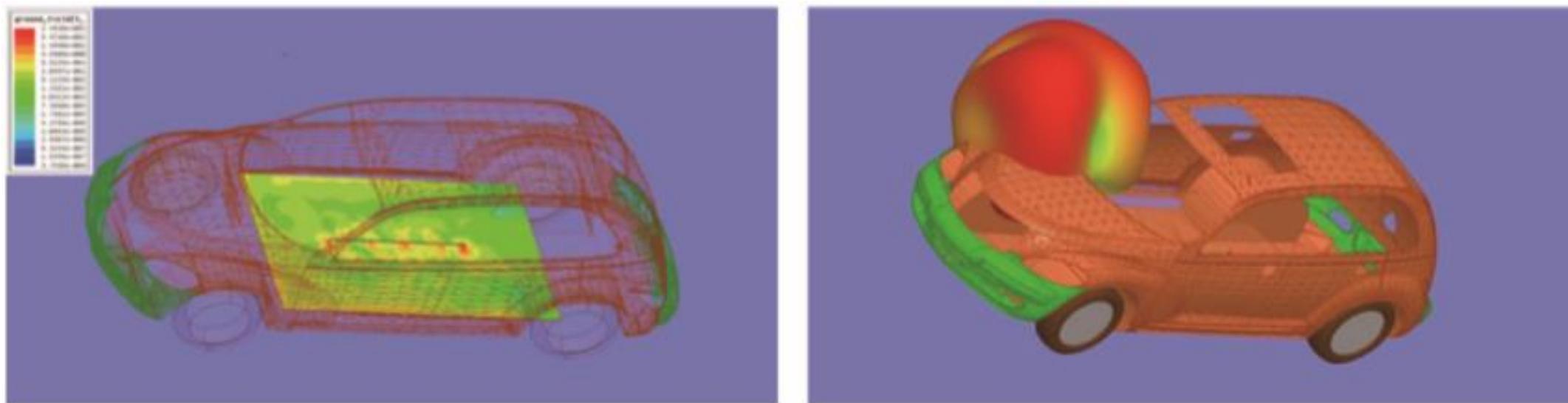
舰载相控阵对直升机短波电台的杂散干扰（舰长120米，500MHz下天线方向图和舰艇表面电场分布）



国际空间站上S波段通信天线遮挡的仿真，空间站上和附近工作的多副天线和通信通道受到大型结构造成遮挡的影响

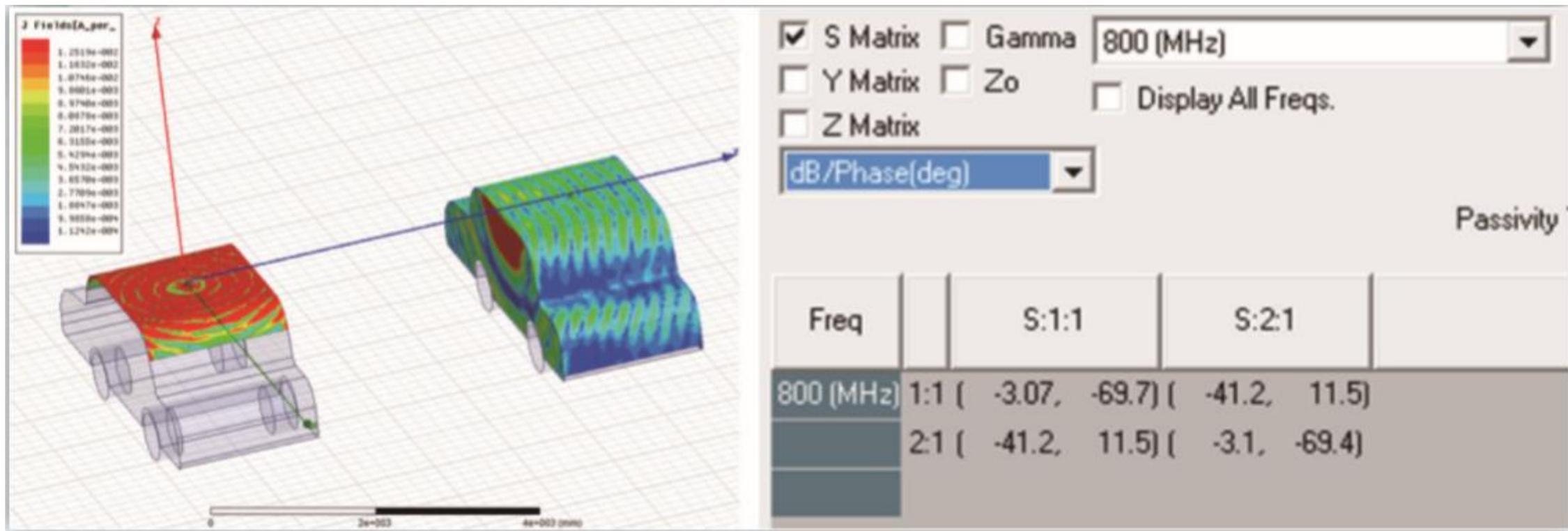
案例六：多天线耦合仿真

车载天线间干扰本质是天线电磁兼容问题；车载天线耦合问题的解决办法通常有暗室测试和电磁场软件仿真两种办法。暗室测试数据准确，但是成本高、耗时、测试条件受限；使用电磁场软件仿真，则相对灵活、低成本、快速。



电磁仿真软件模拟汽车天线方向图，以及天线对车载线缆的电磁干扰

案例六：多天线耦合仿真

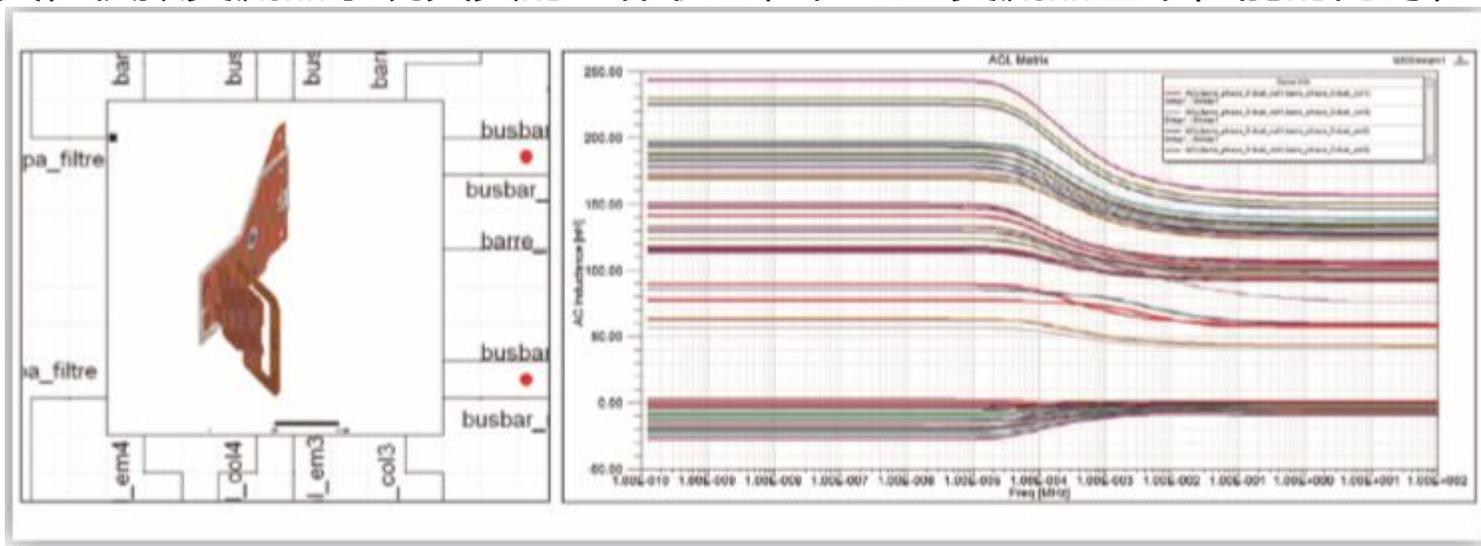


车辆距离5米，天线之间的隔离度（800MHz）为41dB，以及车辆1天线工作时，在车辆2上引起的感应电流分布

案例七：大功率变流器/AC-DC电磁兼容仿真

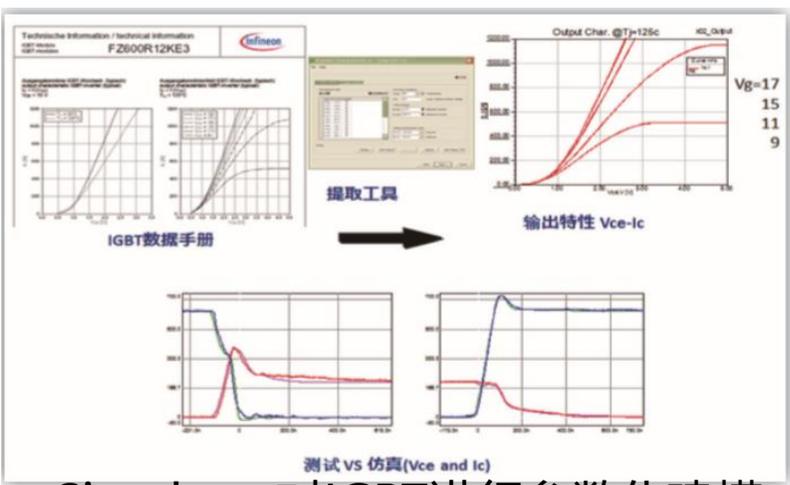
要用仿真方法对大功率变流器系统的电磁兼容进行仿真，需要重点解决以下的问题：

- 非线性大功率半导体开关器件的精确建模，体现变流器系统中高电压、大电流快速通断对电磁干扰的影响；
- 系统寄生参数的精确提取，变流器系统中母排和部件的寄生电容、电感、电阻、电导会成为电磁干扰信号的传输和耦合的路径，在仿真时必须体现其影响；
- 能进行系统仿真，模拟变流器系统真实的工作状态，在考量变流器基本性能的同时，考察其电磁兼容指标。

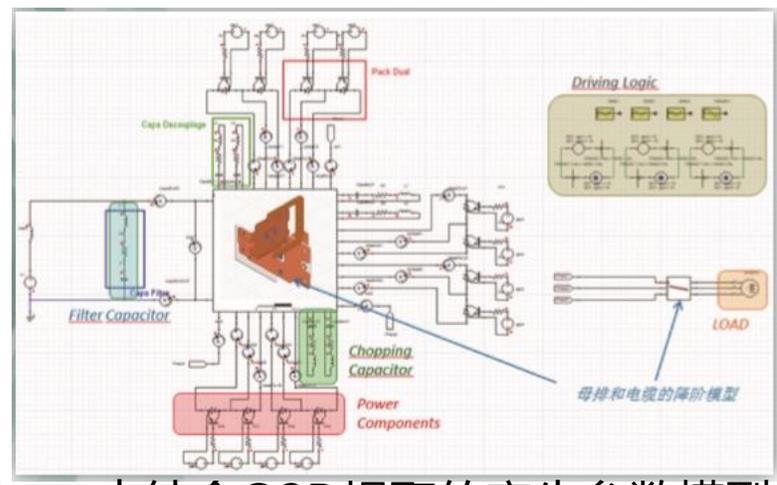


Q3D抽取变流器母排的寄生参数

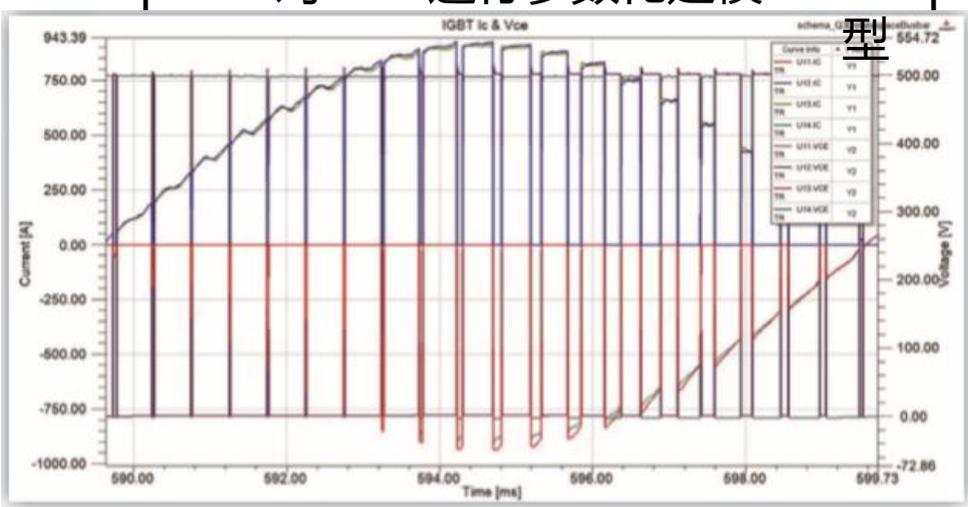
案例七：大功率变流器/AC-DC电磁兼容仿真



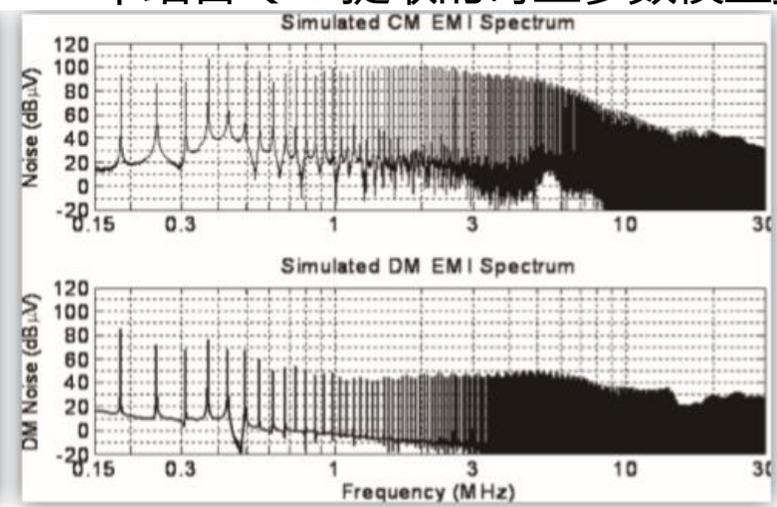
Simplorer对IGBT进行参数化建模



Simplorer中结合Q3D提取的寄生参数模型搭建变流器系统模型



变流器工作时的时域波形



变流器共模干扰和差模干扰频谱图

结论——电磁兼容仿真作用

- 1、系统电磁兼容仿真，需要“仿真 - 设计 - 验证 - 再仿真”的不断迭代。电路仿真和电磁场仿真作为电子仿真基础，也需要“场 - 路”，以及“场 - 场”的反复调用，协同设计。
- 2、仿真无法替代测试，但可以和测试结合使用，提前预测待测设备的电磁辐射和兼容特性，大大降低后期测试问题数量及难度；
- 3、协助定位问题根源、仿真评估各种改进措施的效果，大大节省测试和定位解决问题的时间和成本；
- 4、通过EMC仿真软件的使用，直观的了解EMC产生机理和电磁噪声传播方式，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。

感谢您的聆听!