



IDAJ有限公司
技术部 徐淑君

Copyright (C) IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.

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



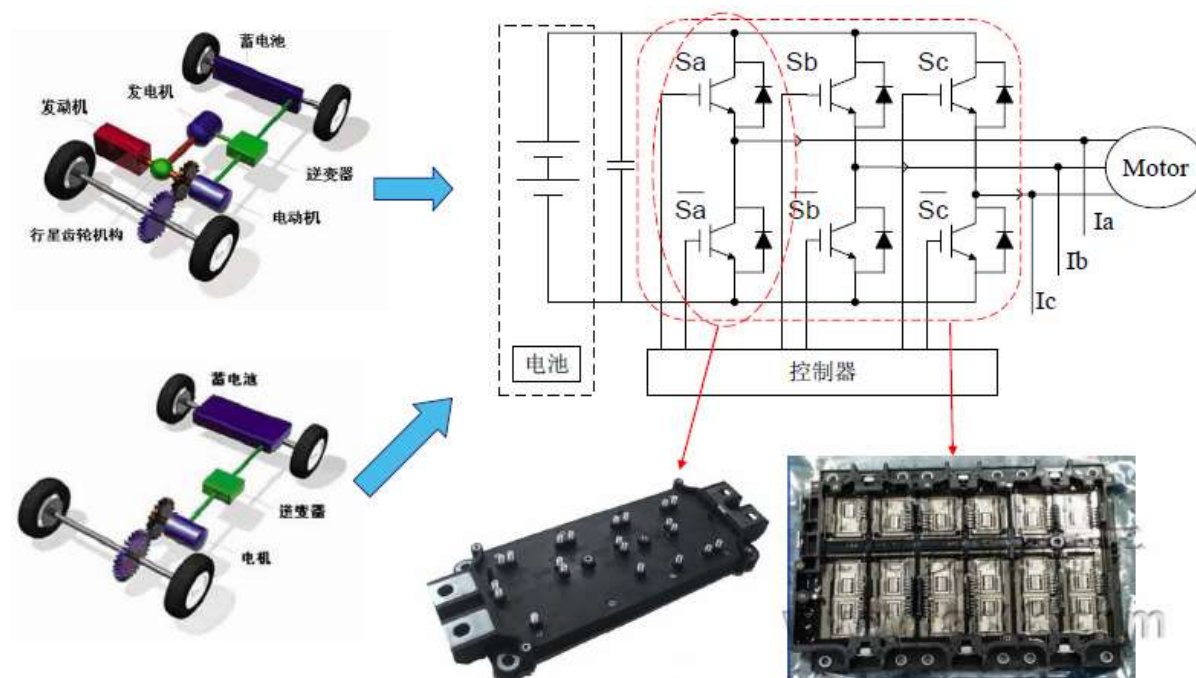
IGBT热管理解决方案

目录

1. 背景及Icepak简介
2. IGBT模块热仿真
3. 多物理场耦合仿真
4. 总结

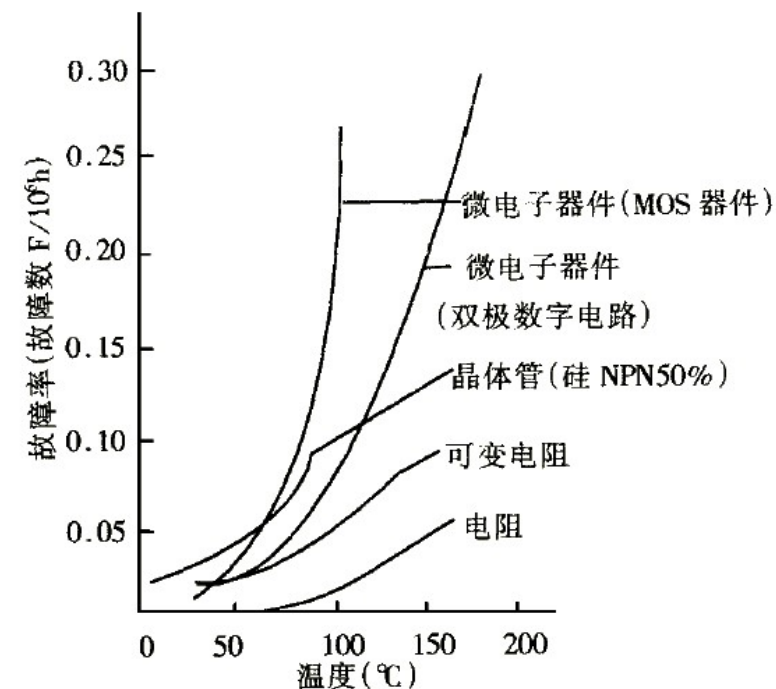
背景

- IGBT是新能源汽车中的核心器件之一，作为大功率高频开关在逆变器、电源变换器中被大量使用，主要应用于电力驱动系统与电源系统中。
- IGBT约占电机驱动系统成本的一半，占整车成本的7-10%，是除电池之外成本第二高的元件，决定了整车的能源效率。
- 不仅是新能源车，直流充电桩和机车（高铁）的核心也是IGBT。



热—电子设备运行的关键问题

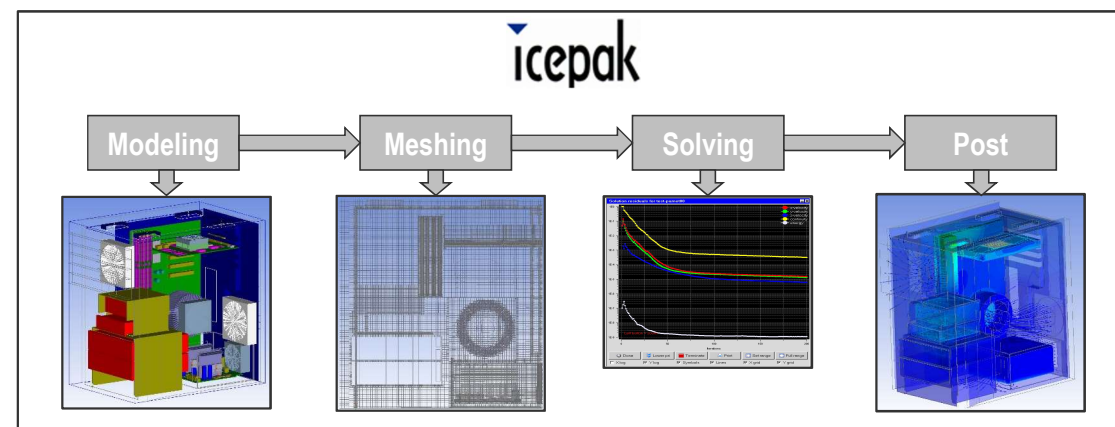
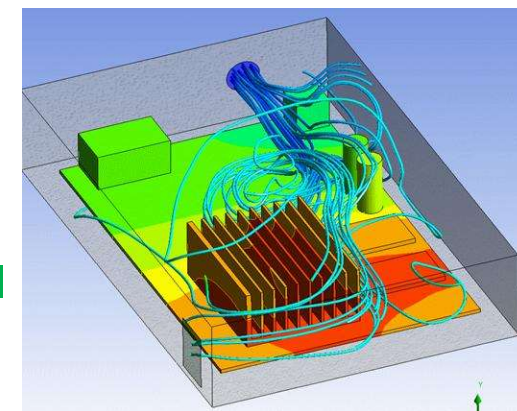
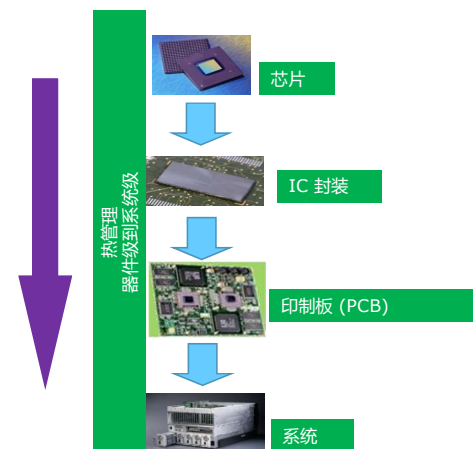
- 电子器件的故障、性能与其工作温度有密切关系。半导体元件的温度升高 10°C , 可靠性降低50%。
- 随着性能的提升, 半导体元器件的功率密度也相应提高。IGBT的热流密度很大, 大功率损耗会产生大量的热从而造成自升温, 如果散热不当, 很容易烧毁。
- 研究散热方法, 改善散热方式, 提高冷却效果, 对提高IGBT产品的运行稳定性具有重要意义。
- 传统的热设计和热分析方法是利用传热学中有大量的公式、表格, 通过计算来进行分析, 或者根据经验或试验来获得。



传统设计方法够不够？

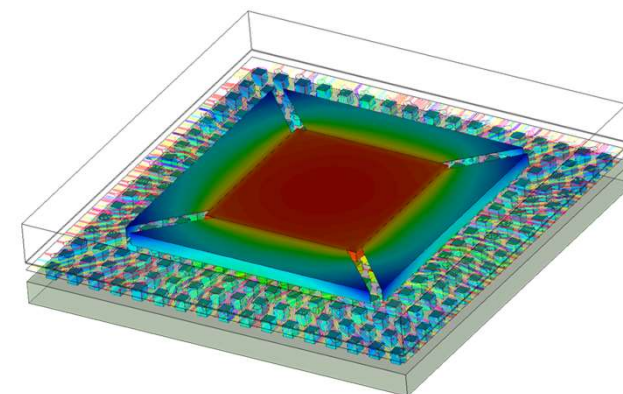
CFD技术—与热测试并驾齐驱的热设计手段

- CFD (Computational fluid dynamics) 技术是通过计算机来求解流动、传热等控制方程来获得流场信息的一种仿真方法。
- CFD可以提供设计与变更设计的依据
 - 降低开发成本
 - 缩短研制周期
 - 模拟环境越来越逼近真实
- Ansys Icepak是一个专业的电子散热分析工具，可为IC封装、PCB板及整个电子系统散热提供完备的解决方案。

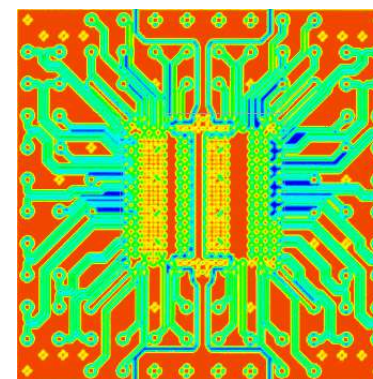


IC封装热分析

- 详细模型：包含焊球、芯片、traces、引线框架、接合线、引线等
- 紧凑式导热模型：Two-resistor, star, DELPHI
 - Icepak的DELPHI Extractor 可以使用MS Excel自动生成DELPHI模型
- 可以从各种布局工具中导入EDA数据
- 可以导入封装基板的Trace数据，并基于此，对当地的导热系数根据其残铜率进行评估
 - 大大改善了封装结构散热通道模拟的准确性
 - 可以获得更高精度的温度分布和热阻值



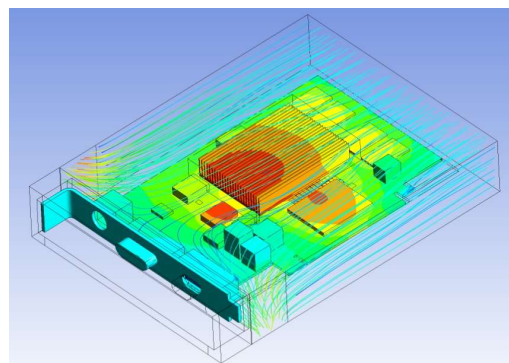
一款含有272个引脚的球状矩阵排列封装基板上的温度云图。封装数据由MCM文件读入



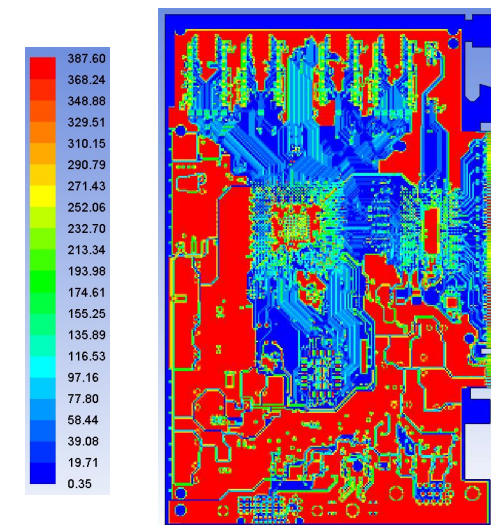
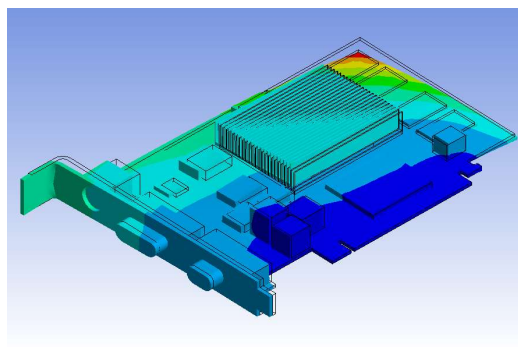
ECAD模型-顶层导热系数

PCB板热分析

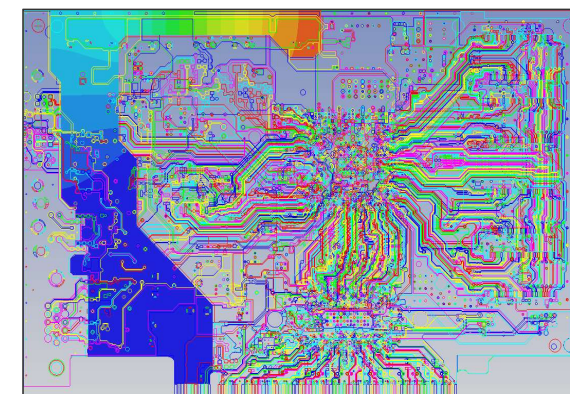
- 可以为单个或框架式安装的多个PCB板进行冷却模拟
- 可以从各种EDA工具中直接输入PCB板布局
- Icepak可导入异形板
- 精确计量布线分布对导热的影响
- 用户可以获得高可信度的PCB温度和器件结温



电脑显卡热分析



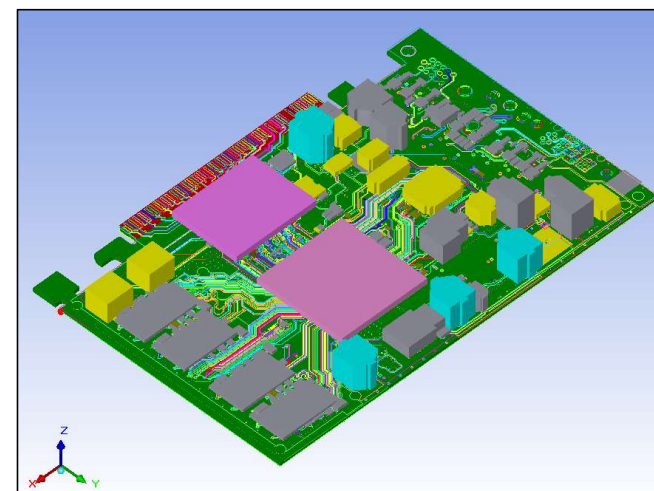
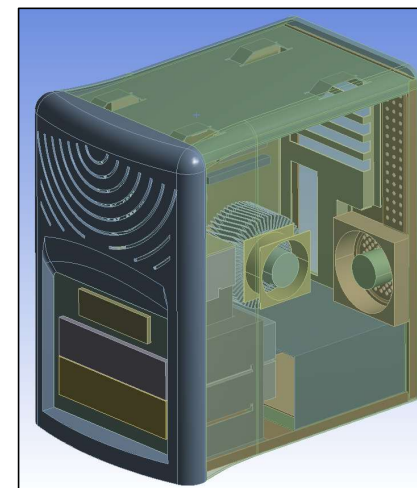
TOP金属层的导热系数



PCB上高电流走线上的电势云图

电子系统热分析

- 支持从DM导出的MCAD模型，在DM中进行几何简化处理
- 支持从各种EDA布局工具导出的ECAD数据
- 板子的尺寸，器件布局信息，布线和过孔信息等都可以直接导入热仿真项目
- 基于布线和过孔信息，可以为PCB板和封装基板计算详细的局部各向同性导热系数，从而帮助用户精确计算多层板结构的导热状况



目录

1. 背景及Icepak简介
2. IGBT模块热仿真
3. 多物理场耦合仿真
4. 总结

IGBT模块设计仿真需求

■ 电气特性设计

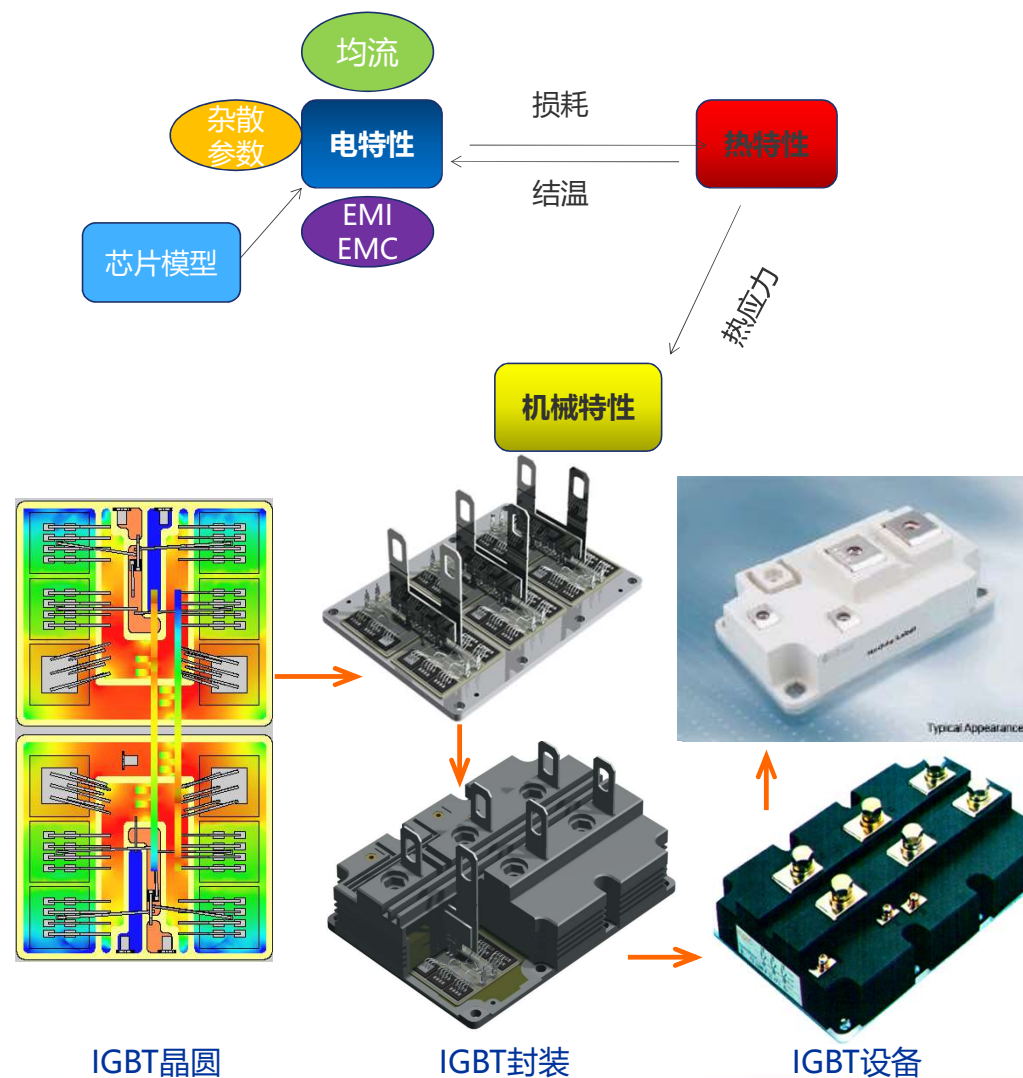
- 多芯片均流设计
- 杂散电感计算
- EMI/EMC设计

■ 热特性设计

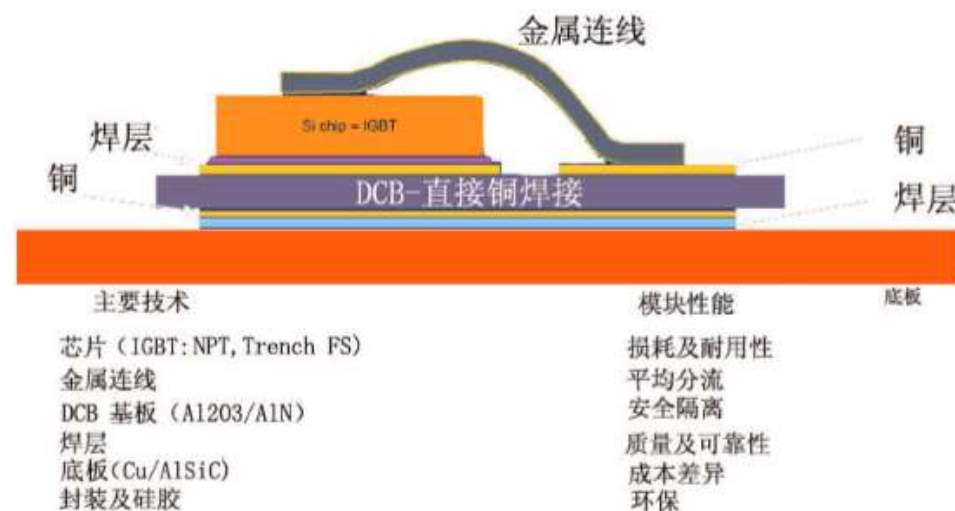
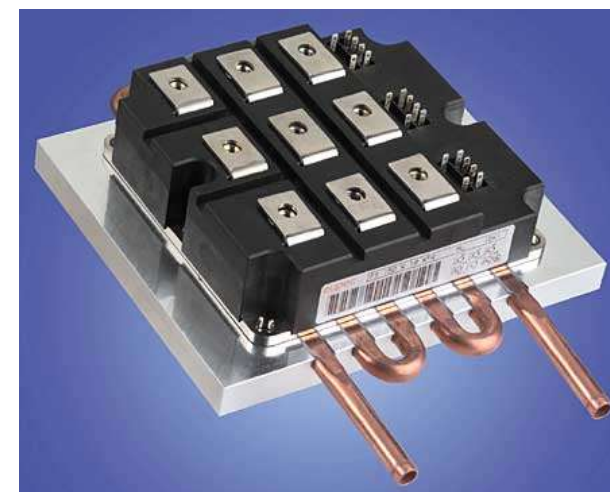
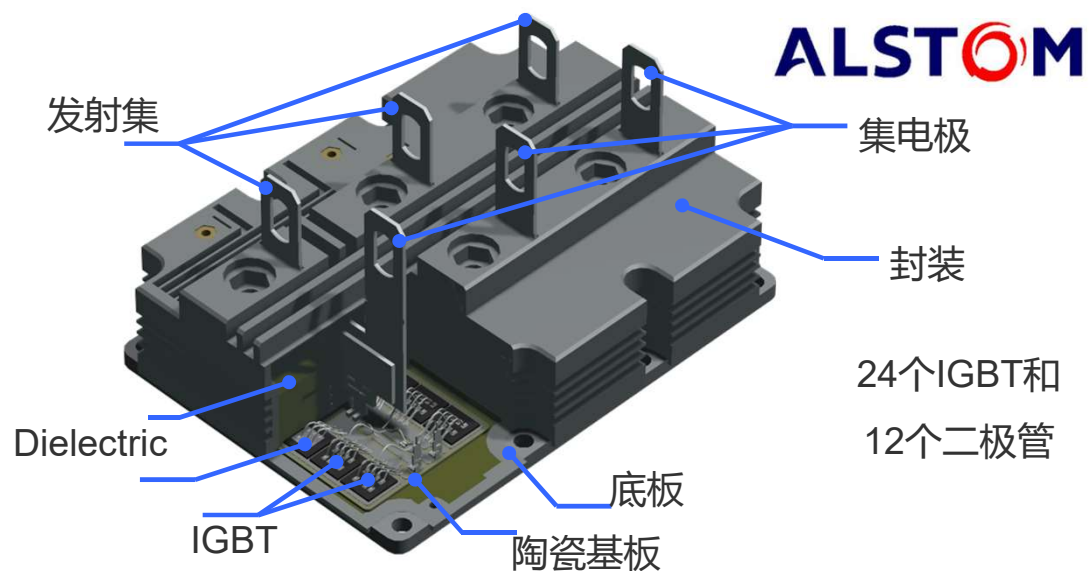
- 温度分布和最高结温

■ 机械特性设计

- 热应力
- 耐冲击

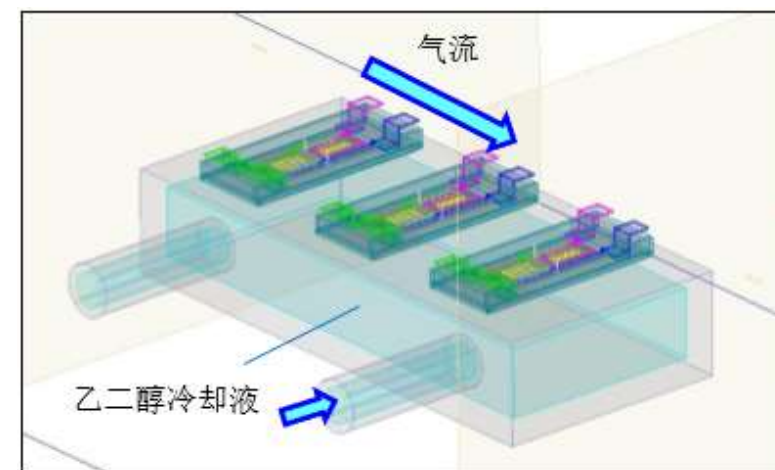


IGBT模块结构

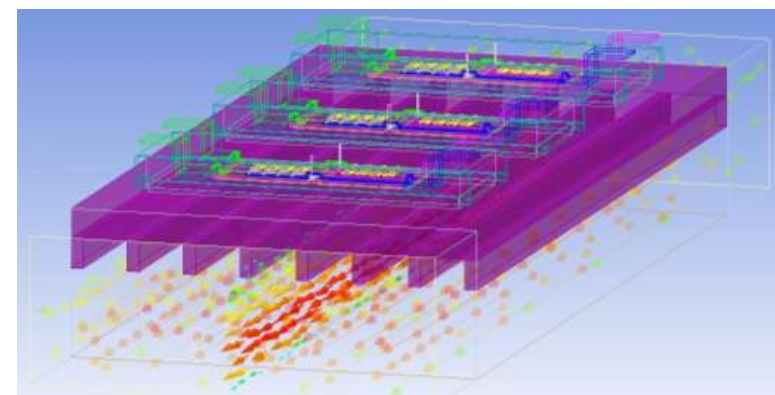


IGBT热分析

- IGBT模块级传热问题包含了丰富的流动与传热现象
- 基本的传热途径
 - 板间导热
 - 自然对流
 - 强制对流
 - 辐射
- 安装专门散热器件提升空气冷却的效果
 - 散热器、风扇
 - 冷板
- ANSYS的方案可将上述因素全部纳入仿真的范围

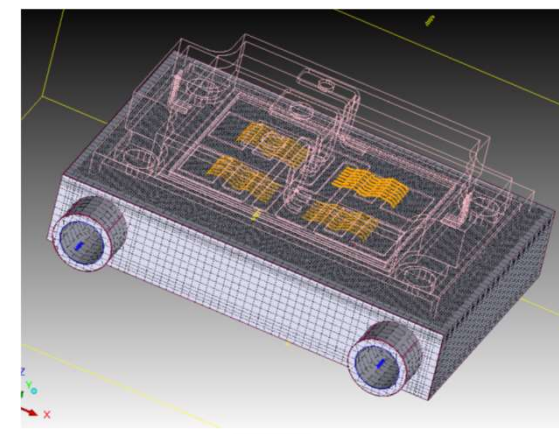
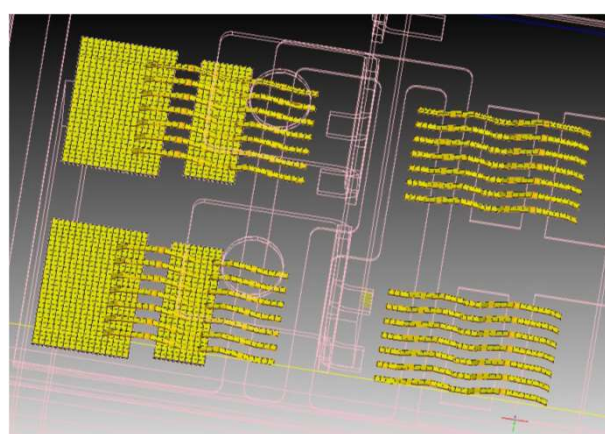
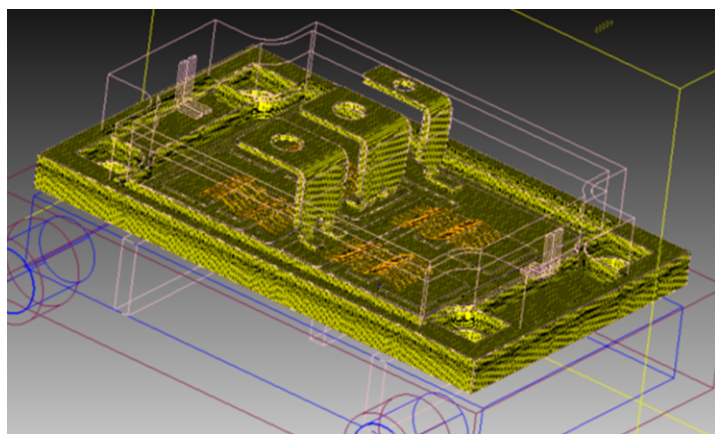
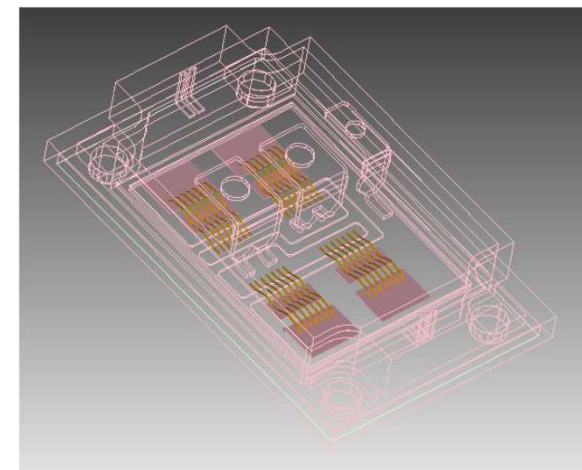
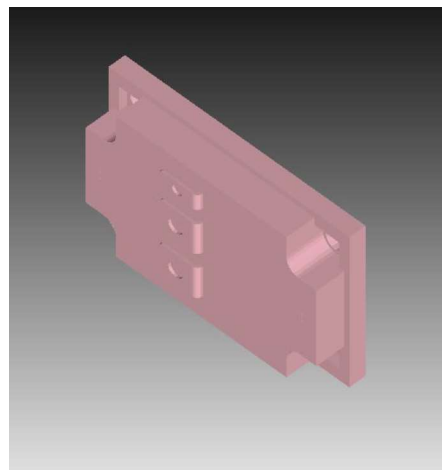


带有3个IGBT封装模块的电源的冷却板



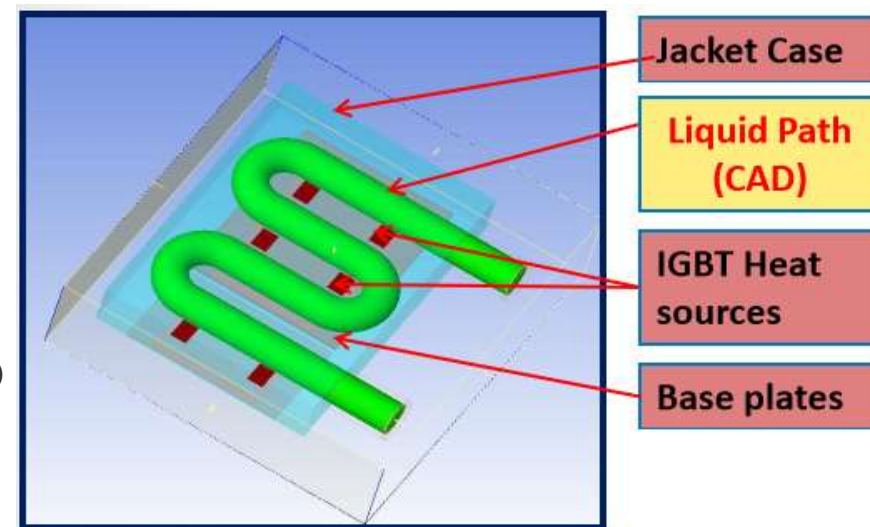
IGBT封装：模型导入和网格划分

- IGBT引脚简化为没有厚度的plate
- 因为引脚很薄，且其材料的导热系数很大，这样的近似是合理的
- 将为网格划分提供方便



IGBT冷板：网格策略

- 该模型包含IGBT热源和热传导元件
- 基板用作热传导，冷板带走整个组件的热量
- 挑战：
 - 复杂的液体通道需要建模为CAD对象->Mesher-HD
 - 尺度差异：大
 - ✓ 冷板厚度~30毫米
 - ✓ IGBT厚度~0.3毫米
 - ✓ 最好用non-conformal meshing处理
 - 处理复杂的CAD形状→必须采用更精细的网格或多级网格



Part Details	
Name	Shape
Liquid Path	CAD
IGBTs, Jacket Case, Base plates	Primitive

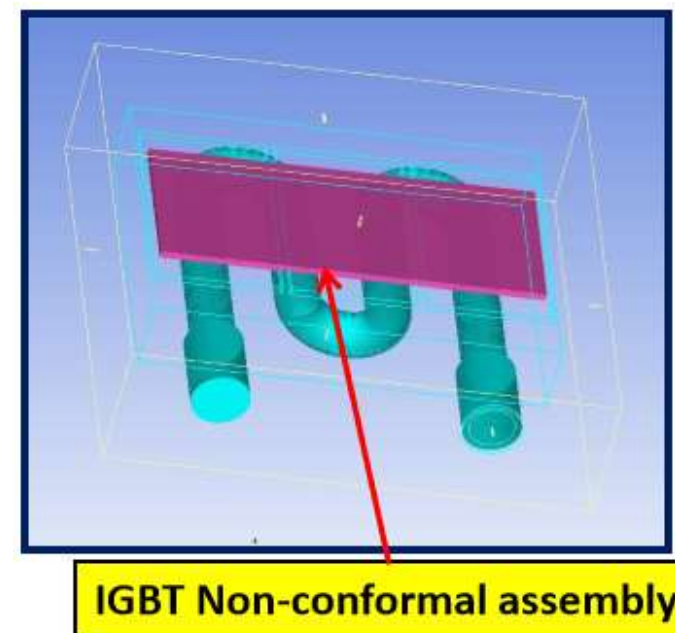
IGBT冷板：网格策略

■ IGBT组件：

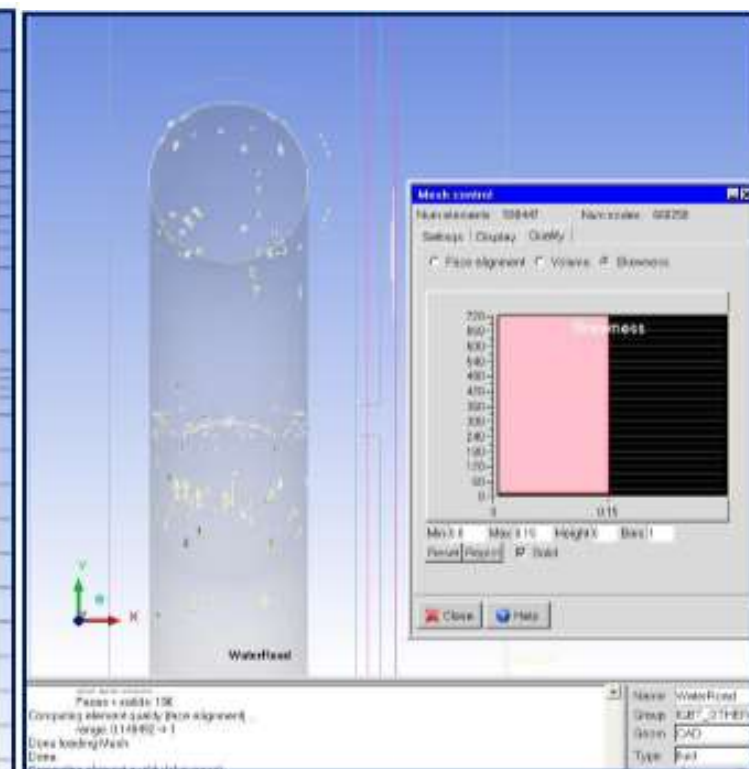
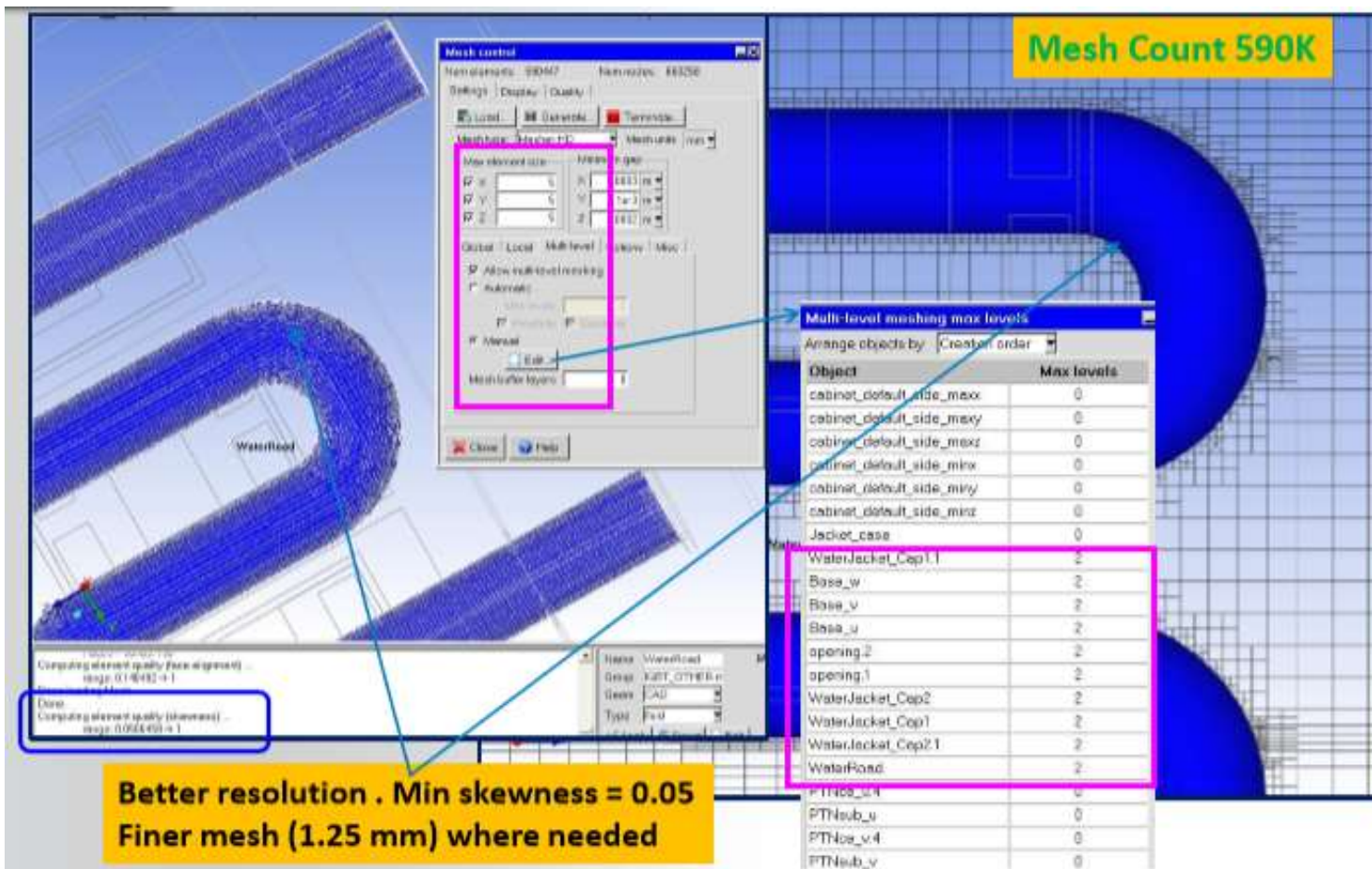
- 建模为primitive对象
- 将类似的组件放在IGBT non-conformal assembly中
 - >可以为薄芯片（0.3 mm）划分更精细的网格
 - >可以使用Hexa Unstructured或Mesher-HD

■ 其他对象（液体通道，基板，外壳等）：

- 全球级别用Mesher-HD
- 使用Multi-Level：对于指定的对象，最大网格尺寸= 5毫米，Manual Level= 2



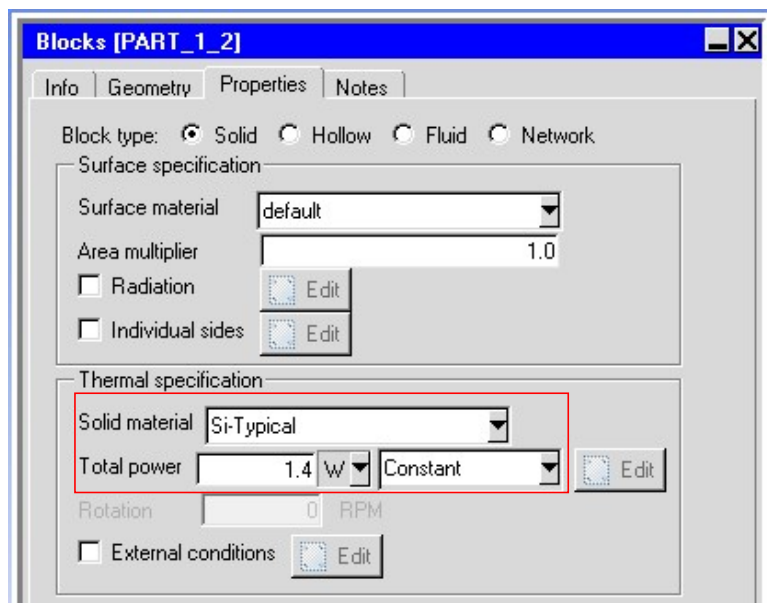
网格划分和质量检查



器件设置

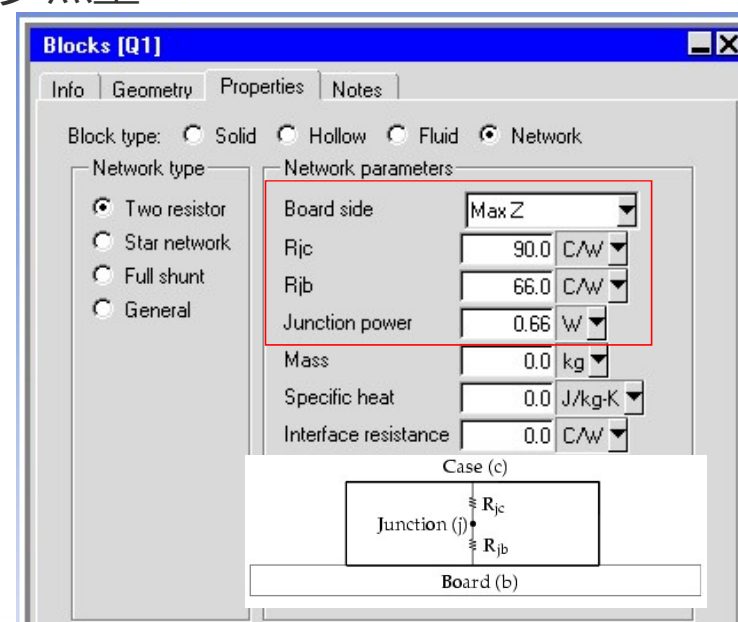
设置为solid block

- 给定总功耗
- 功耗可以是定值或瞬态变化

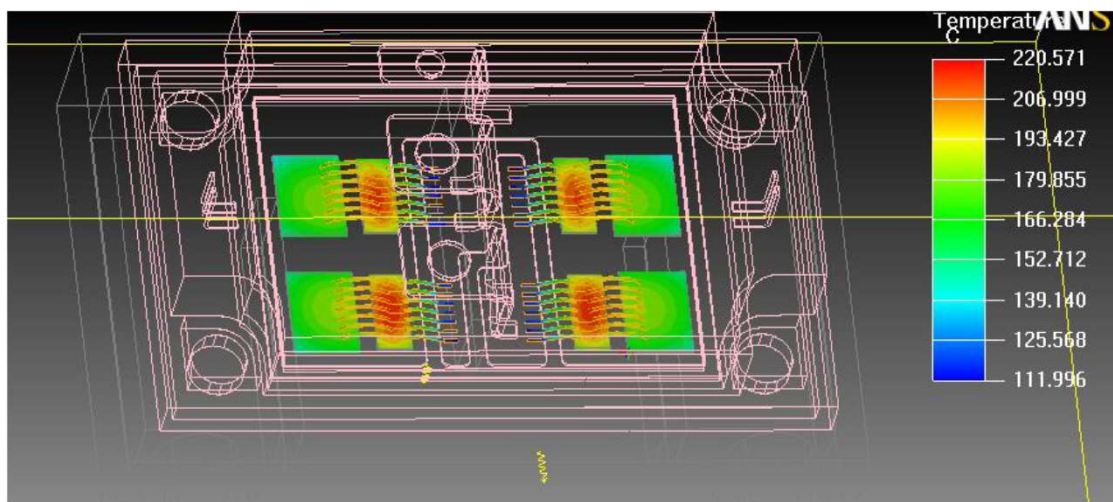


设置为network block

- 双电阻网络 (Two resistor network)
 - 组件顶部和板侧参与计算每个边从结中消散了多少热量

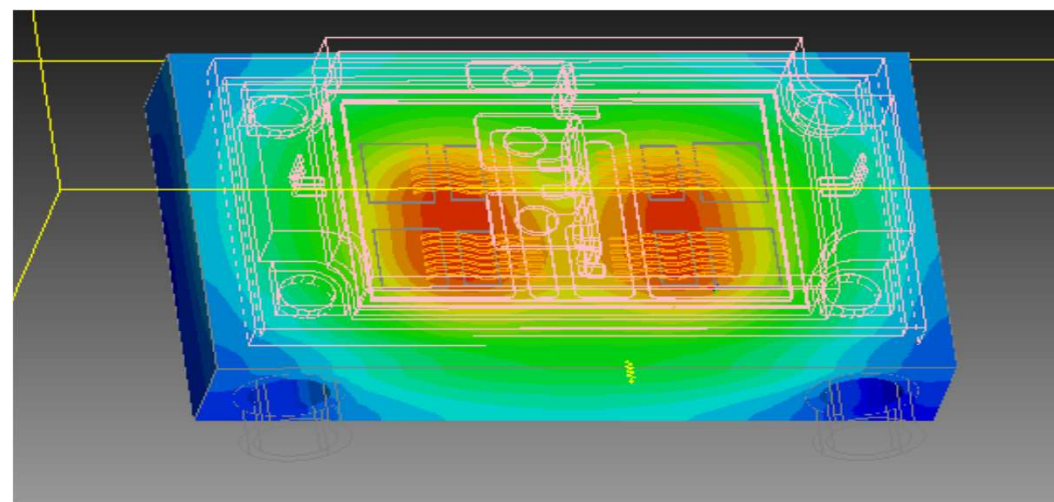


IGBT封装热特性仿真分析：温度场

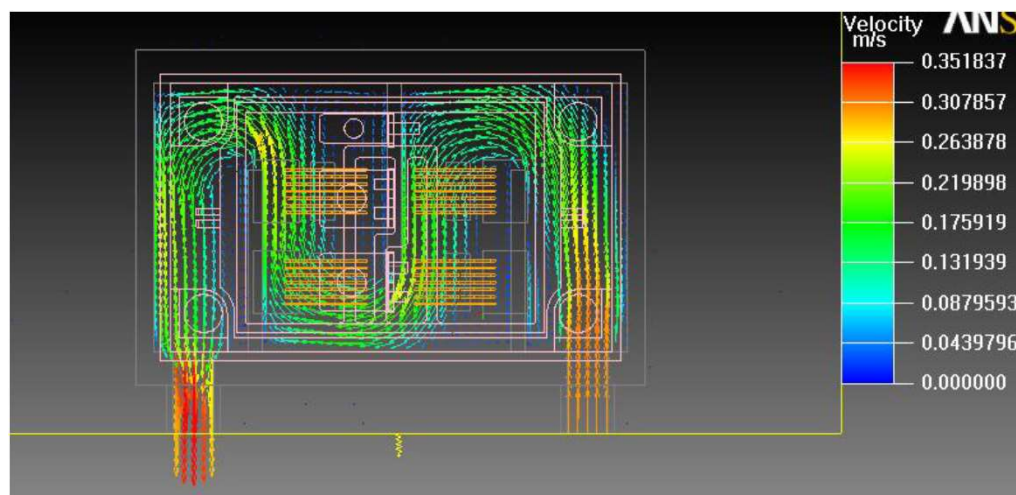


- 热源及引脚温度，最高温的二极管220度

- 冷板温度，最高处126度

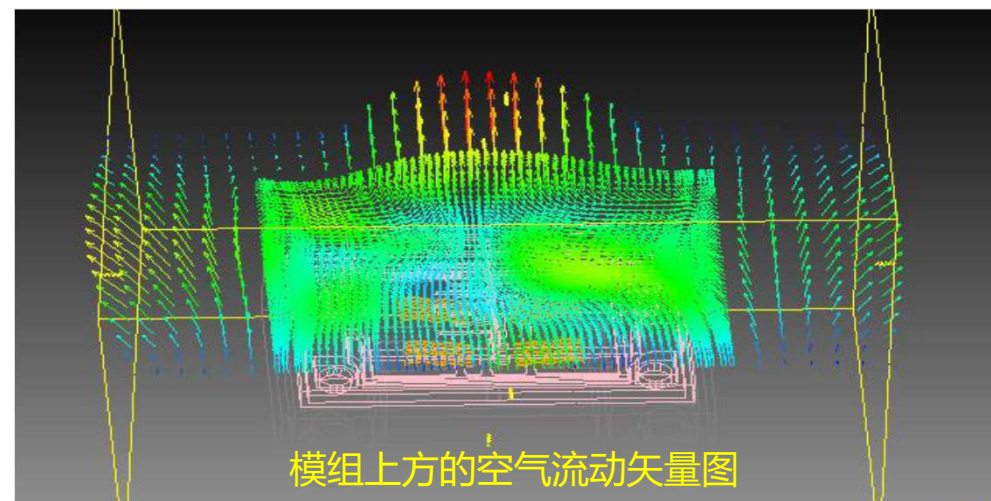


IGBT封装热特性仿真分析：流速和流体轨迹

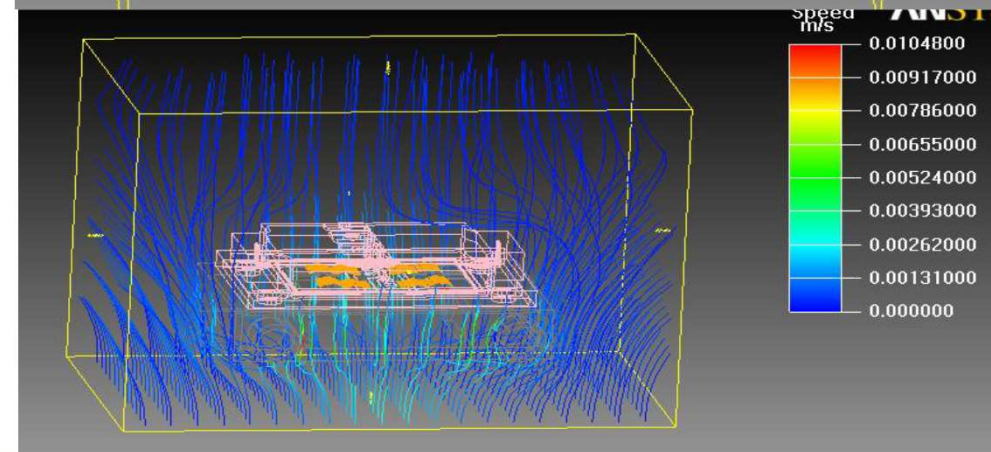


冷板中面上水流速度矢量分布图

- 因主要是水冷散热，自然对流带走的热量少，流动不强

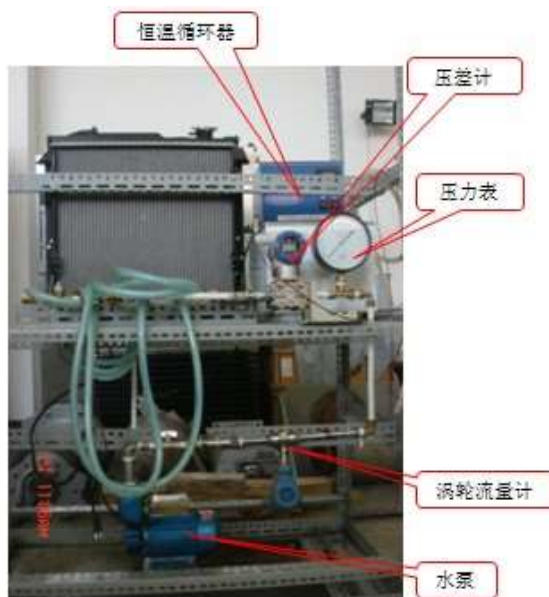
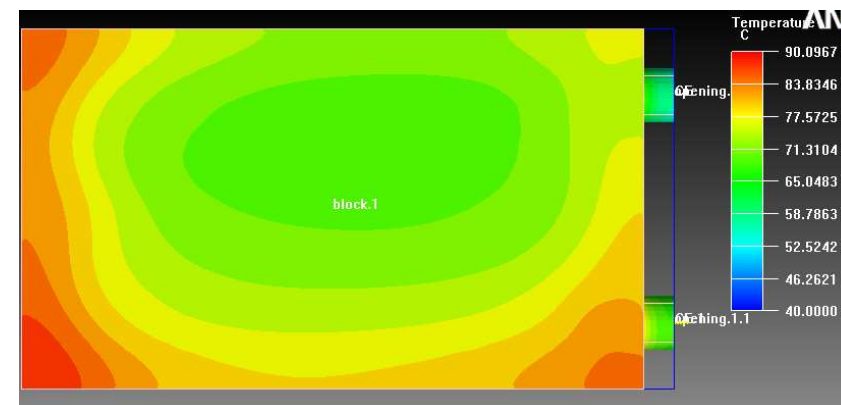
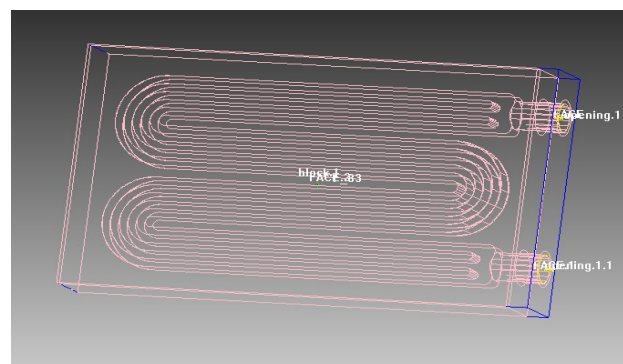


模组上方的空气流动矢量图

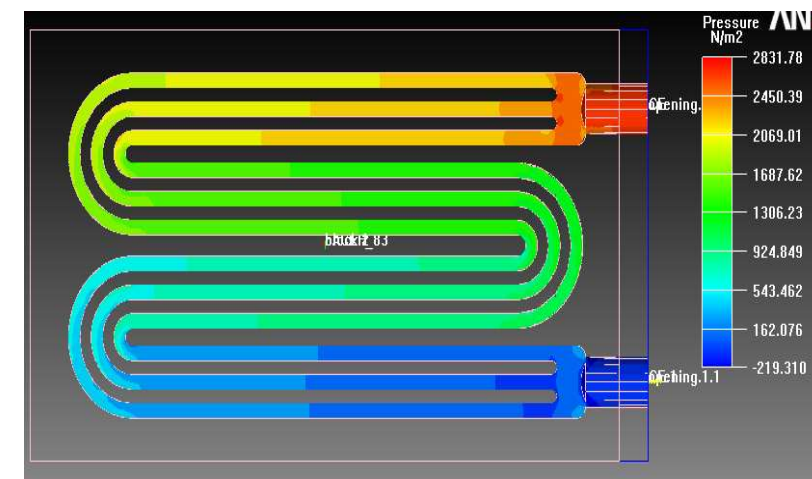


案例：车用控制器散热底板分析—中科院电工所

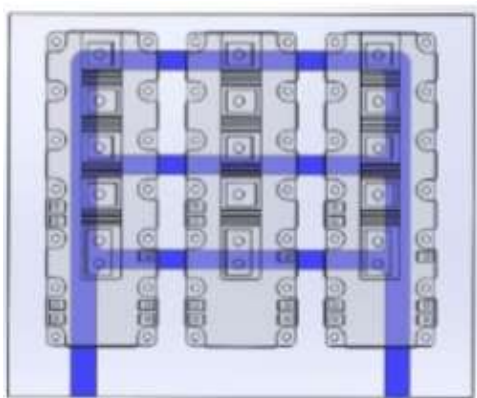
边界条件		
水流量L/min (m/s)	进水口温度°C	热源功率W
6 (0.65)	40	4678



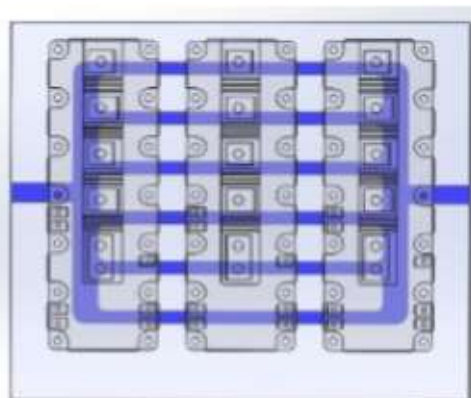
	Icepak	实验值
模型选择	面热源	
最高温度 (°C)	95.3	99.2
最低温度 (°C)	68.9	71.4
压差 (kpa)	2.8	2.2



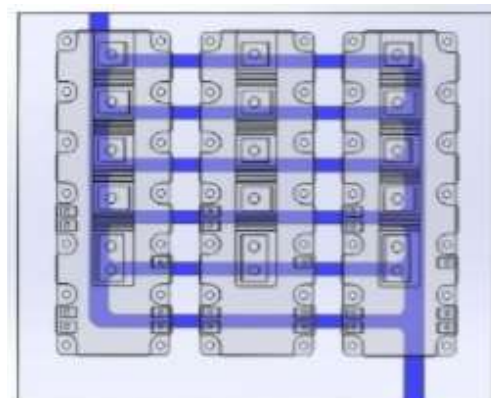
流道优化设计—电动大巴逆变器散热



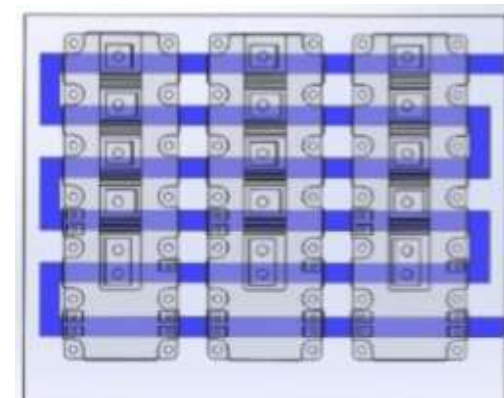
(a) U 型流道结构



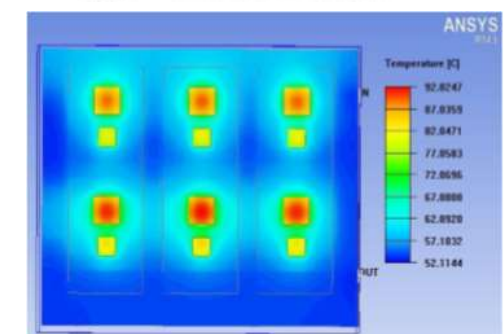
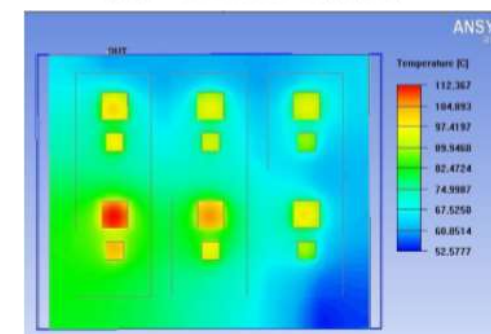
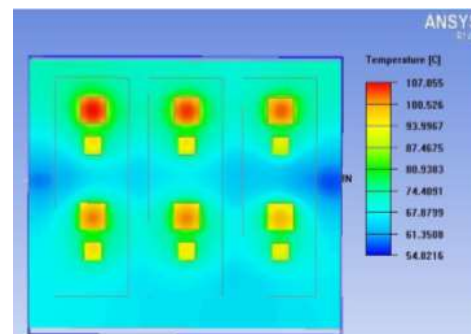
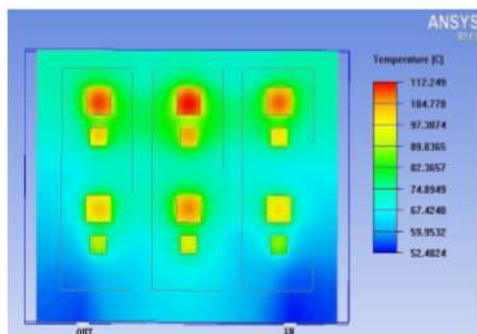
(b) 并联直流道结构



(c) Z 型流道结构

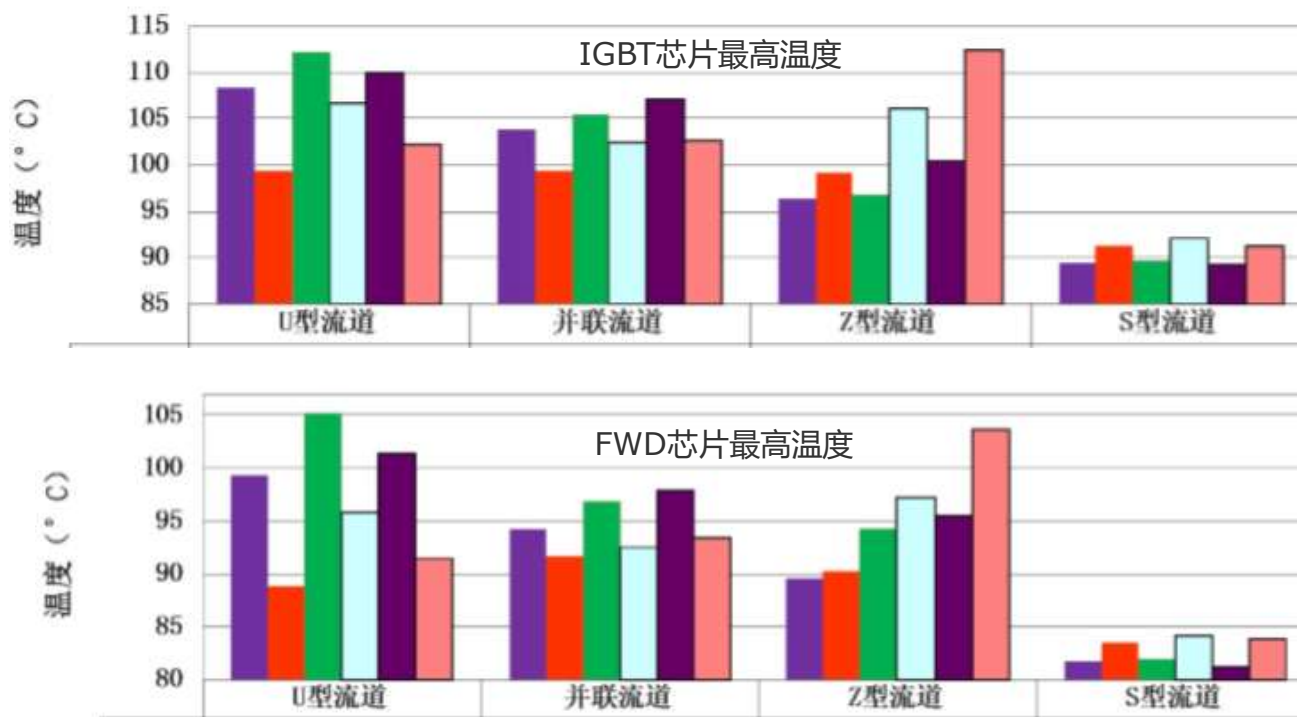
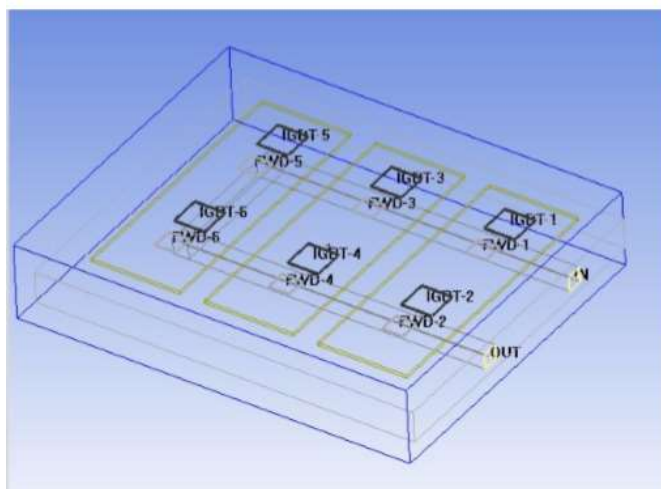


(d) S 型流道结构



■ 由于不同流道内部存在流量分配不均，造成各流道冷板上各芯片最高温度存在较大差异。

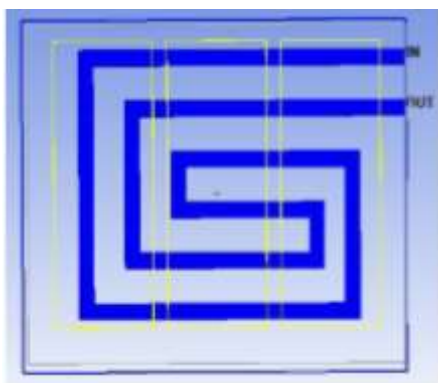
流道优化设计



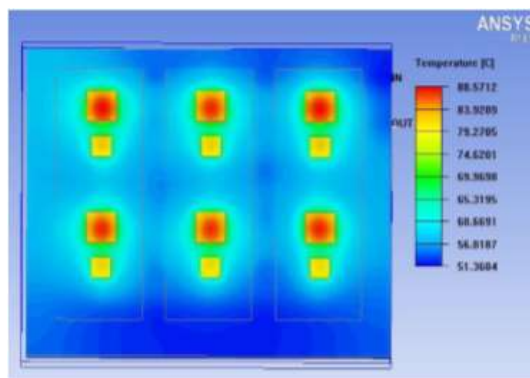
*数据来自中国计量学院

- 从整体效果来看，S 型结构冷板的散热综合性能较好。
- 靠近流道入口侧的 IGBT 芯片、FWD 芯片温度低于出口侧的芯片温度。可进一步改进散热器的均温性。

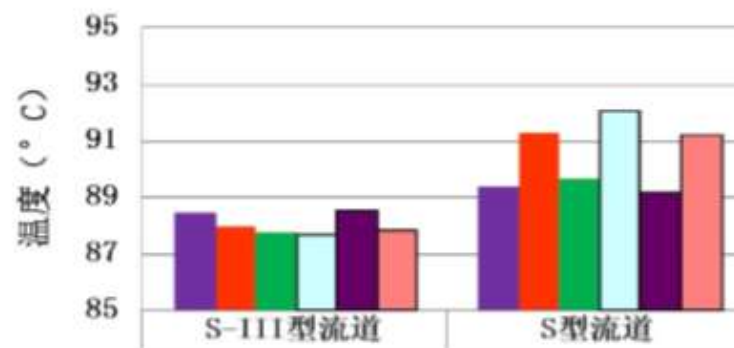
流道优化设计



S-III型流道

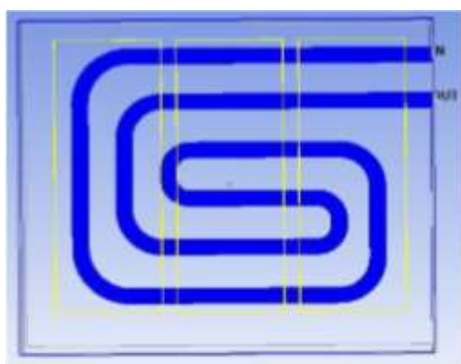


冷板温度分布

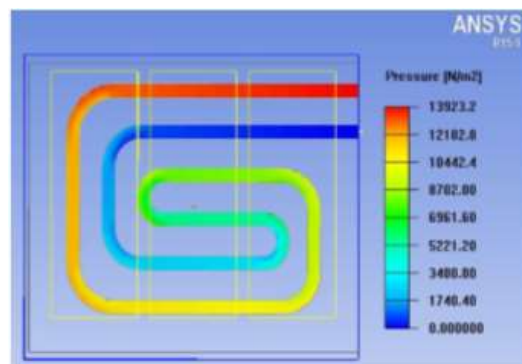


IGBT芯片最高温度

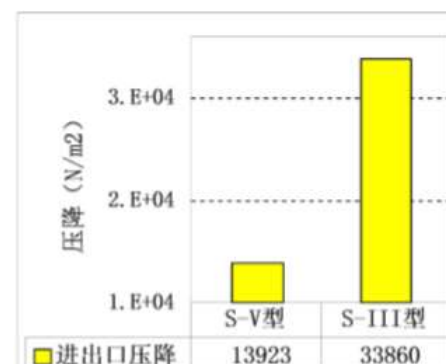
- 将流道进出口交错排列，这样可以形成逆流的方式，使冷板温度分布较为均匀。



S-V型流道

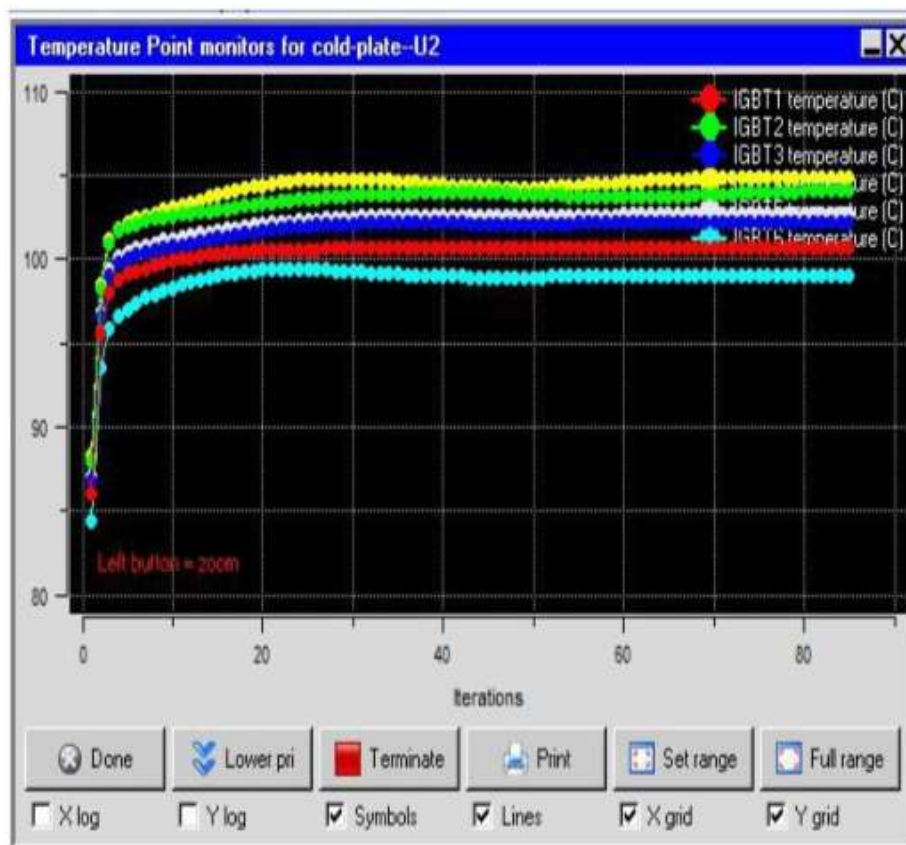


流道压力分布



- 通过对流道拐弯处进行圆形缓弯道处理，流道压力损失得到有效改善。

Icepak监控和报告



Report summary data										
Object	Section	Sides	Value	Min	Max	Mean	Stdev	Total	Area/volume	Mesh
IGBT-1	All	All	Temperature (C)	89.4722	100.161	95.7888	1.95456		0.001938 m2	Full
IGBT-2	All	All	Temperature (C)	91.9485	103.836	99.1245	2.21782		0.001938 m2	Full
IGBT-3	All	All	Temperature (C)	91.2627	101.833	97.4353	1.96876		0.001938 m2	Full
IGBT-4	All	All	Temperature (C)	92.7848	104.56	99.8265	2.23425		0.001938 m2	Full
IGBT-5	All	All	Temperature (C)	90.3569	102.14	97.5802	2.21468		0.001938 m2	Full
IGBT-6	All	All	Temperature (C)	86.3569	98.3449	93.7373	2.2121		0.001938 m2	Full
FWD-1	All	All	Temperature (C)	88.6862	95.3472	92.6328	1.06004		0.000892 m2	Full
FWD-2	All	All	Temperature (C)	85.2733	91.9725	89.3097	1.08324		0.000892 m2	Full
FWD-3	All	All	Temperature (C)	90.117	96.4707	93.7571	1.04015		0.000892 m2	Full
FWD-4	All	All	Temperature (C)	85.435	92.0414	89.3892	1.0776		0.000892 m2	Full
FWD-5	All	All	Temperature (C)	83.0288	90.9286	88.1759	1.24868		0.000892 m2	Full

目录

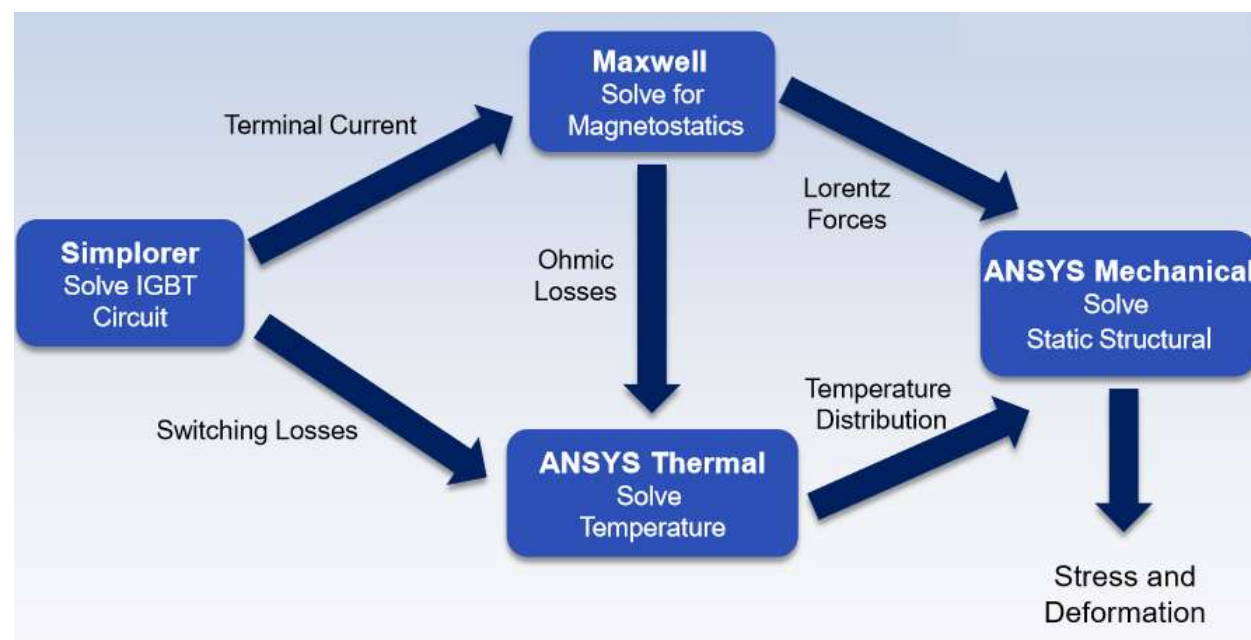
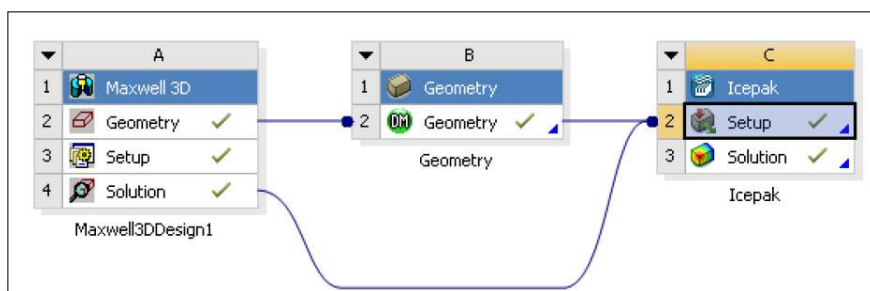
1. 背景及Icepak简介
2. IGBT模块热仿真
3. 多物理场耦合仿真
4. 总结

IGBT多物理场耦合仿真

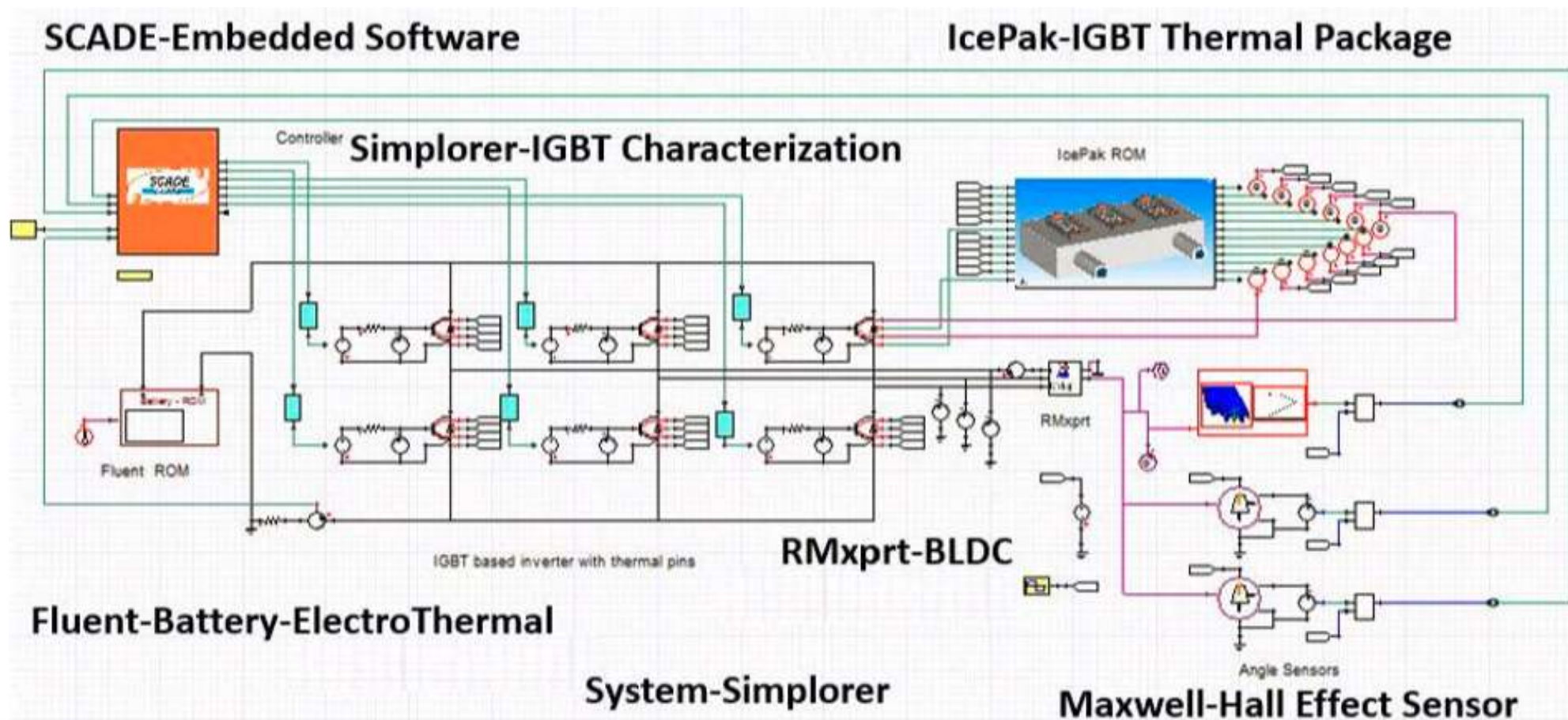
- IGBT封装设计还需要考虑多物理域耦合设计问题，因为IGBT传递额定或过大电流（例如：短路）时可能会产生不均匀分布的电磁损耗和电磁力，可能导致局部点过热或应力形变过大，从而导致IGBT失效或损坏。

• ANSYS 电子桌面
• HFSS
• Maxwell
• Q3D Extractor
• Icepak

- ANSYS解决方案可轻松解决单/双向的电磁与热、电磁与结构、热与结构、电磁与流体等多物理域耦合分析问题。

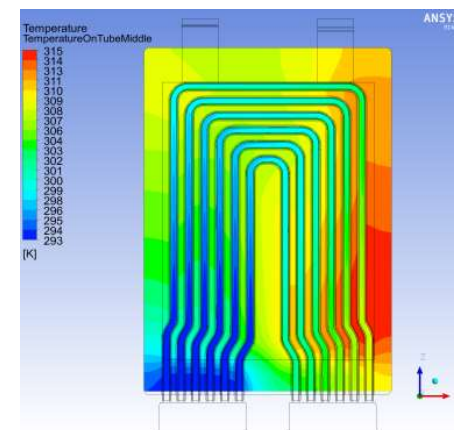
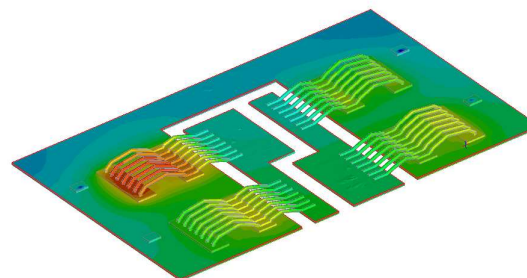
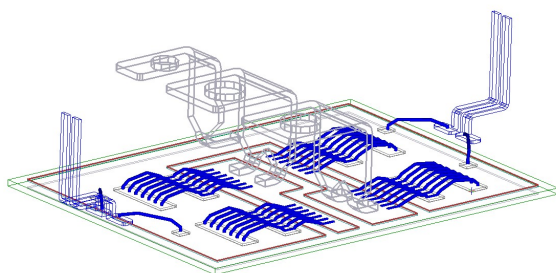
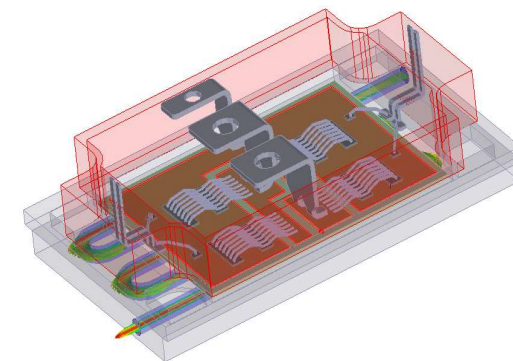


电机驱动系统



ROM模型-提高热仿真效率

- CFD作为通用电子冷却工具，是非常精确的
 - 但对于运行瞬态CFD分析的大型模型而言，计算量很大，难以用于系统分析
- ROM(Reduced Order Model) 可以显著减小模型尺寸，极大缩短计算时间
- ROM(Reduced Order Model) 是进行系统分析的重要手段



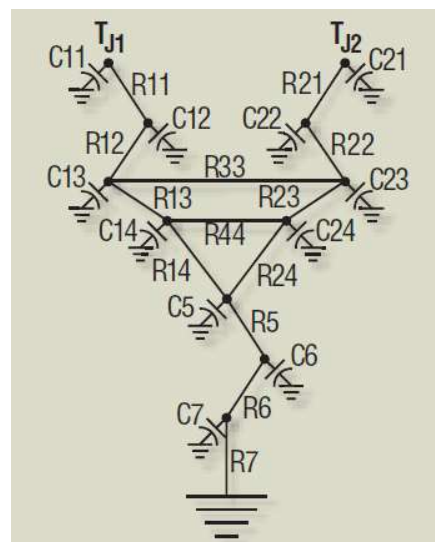
热网络和ROM模型

■ 热网络法

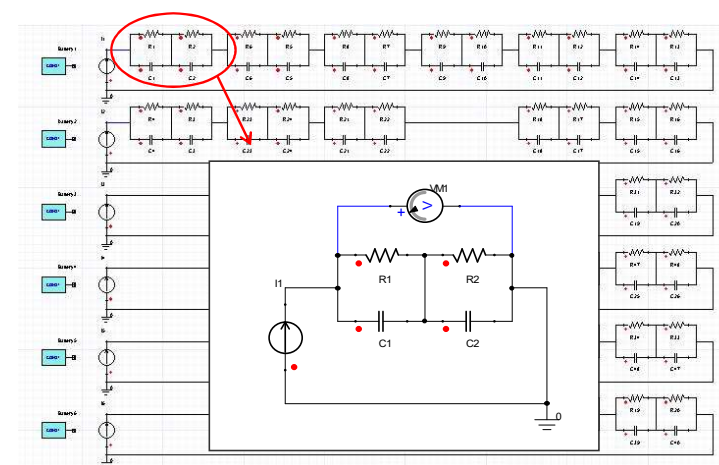
- 使用热敏电阻和电容
- 需要仔细校准和计算热阻、电容
- 精度损失

■ LTI ROM (Foster 网络)

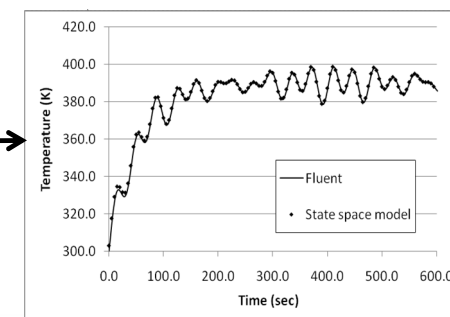
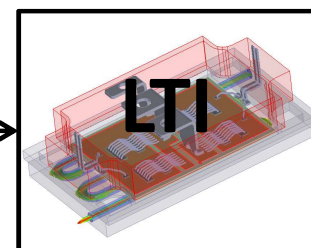
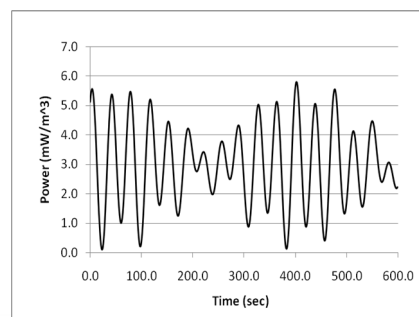
- 使用传递函数
- LTI代表线性和时间不变
- 可以像CFD或测试一样准确
- 无需计算热阻, 电容
- 可获取平均温度



Thermal network



Foster network



IGBT冷却分析的LTI ROM流程

1. 创建CFD模型

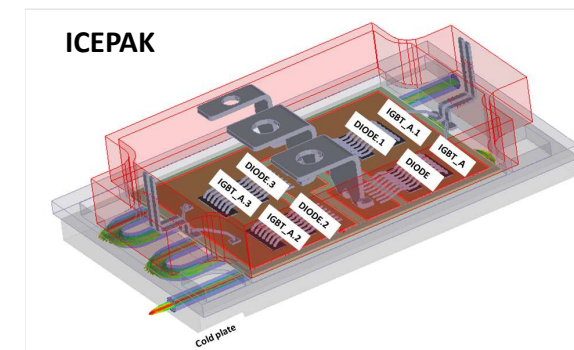
2. 计算阶跃响应

3. 提取LTI ROM

- Use Simplorer

4. 在Simplorer中计算

1

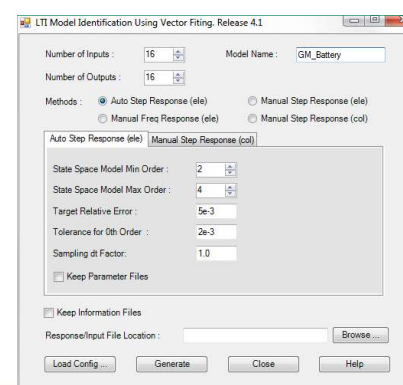
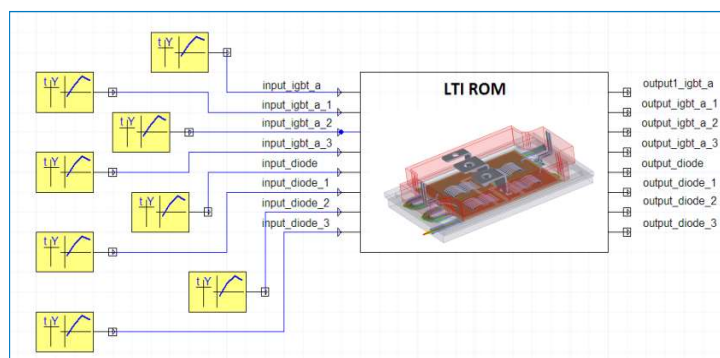


2

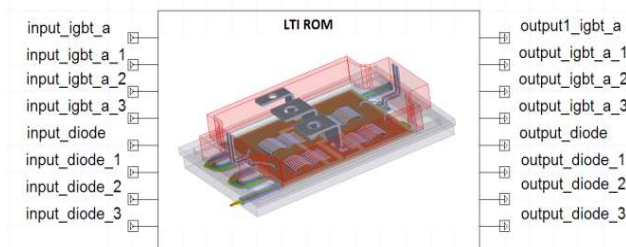
Parameters and optimization

Trial Name	RestartID	Order	power_IGBT_A	power_IGBT_A1	power_IGBT_A2	power_IGBT_A3	power_diode	power_diode1	power_diode2	power_diode3	
Trial001	Select	Flow_Only	1	10	0	0	0	0	0	0	Set
Trial002	Select	Flow_Only	1	0	10	0	0	0	0	0	Set
Trial003	Select	Flow_Only	1	0	0	10	0	0	0	0	Set
Trial004	Select	Flow_Only	1	0	0	0	10	0	0	0	Set
Trial005	Select	Flow_Only	1	0	0	0	0	10	0	0	Set
Trial006	Select	Flow_Only	1	0	0	0	0	0	10	0	Set
Trial007	Select	Flow_Only	1	0	0	0	0	0	0	10	Set
Trial008	Select	Flow_Only	1	0	0	0	0	0	0	0	Set

4

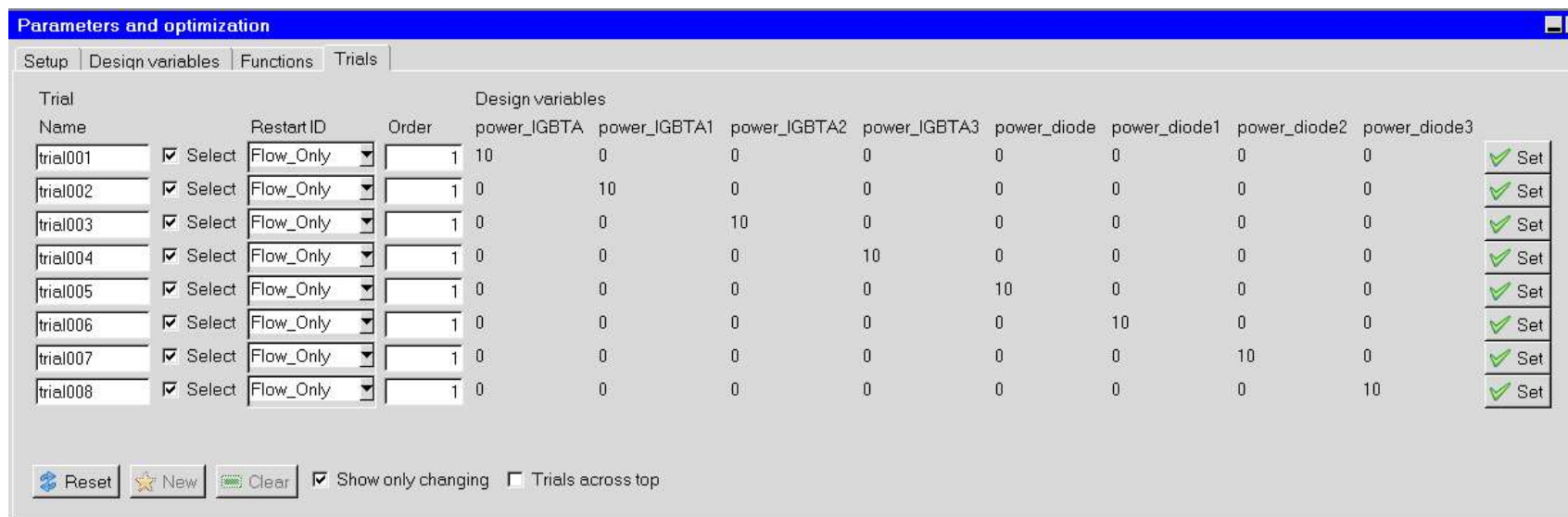


3



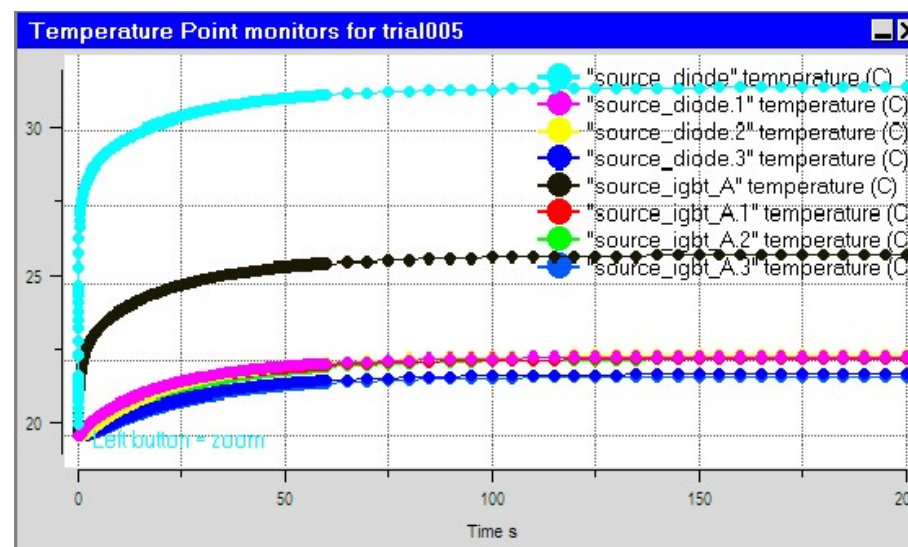
在Icepak中创建阶跃响应

- CFD运行次数等于输入次数（8次运行）
- 运行使用Icepak自动完成
- 首先求解流动，然后通过求解能量方程找到阶跃响应。



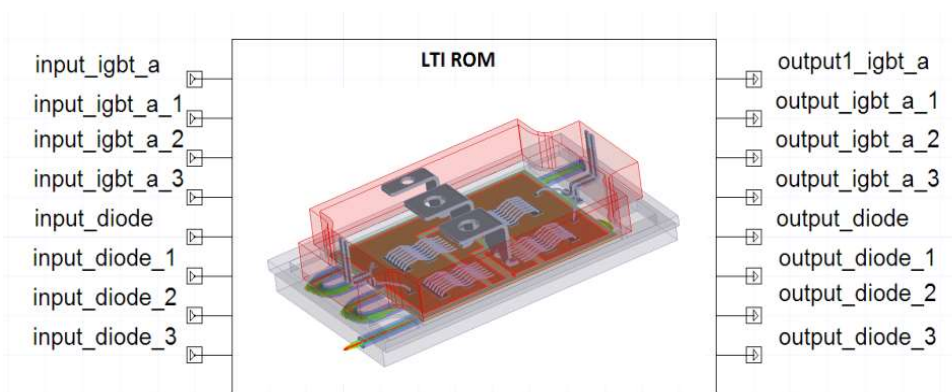
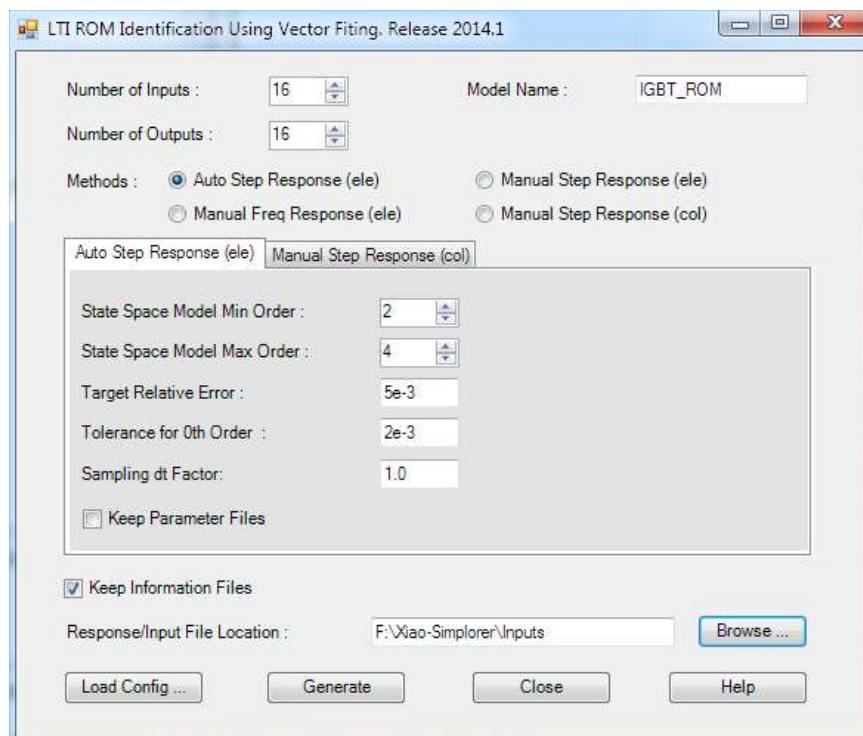
IGBT器件阶跃响应

- 右图显示了由二极管引起的阶段响应。
- 小时间和大时间尺度都存在。
- 自发热比交叉热量大得多。
- DIODE对IGBT_A有很强的影响，但对IGBT_A.3没有太大的影响
- 只显示八组脉冲响应中的一组。
- 总共有64个阶段响应。



在Simplorer中创建LTI ROM

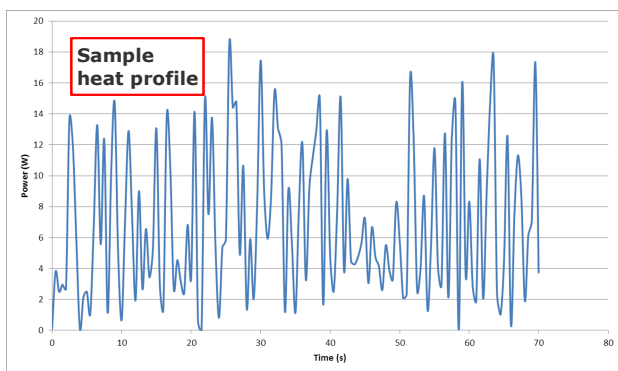
- 在simplorer中，基于阶跃响应创建ROM模型。



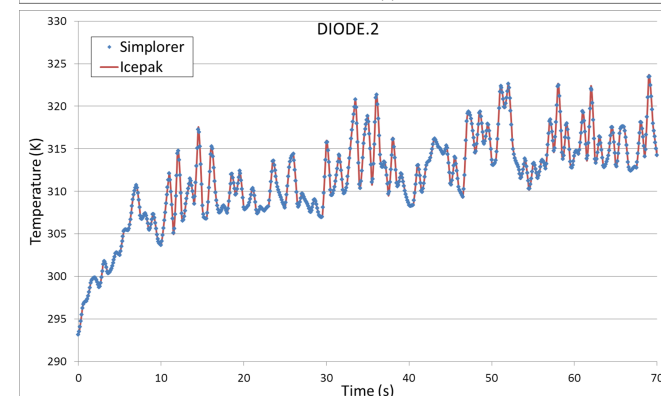
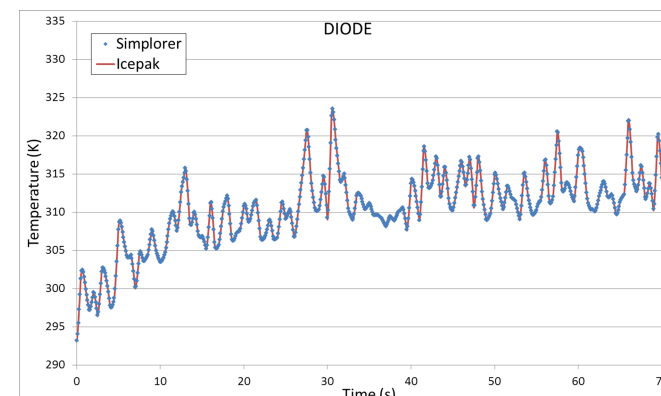
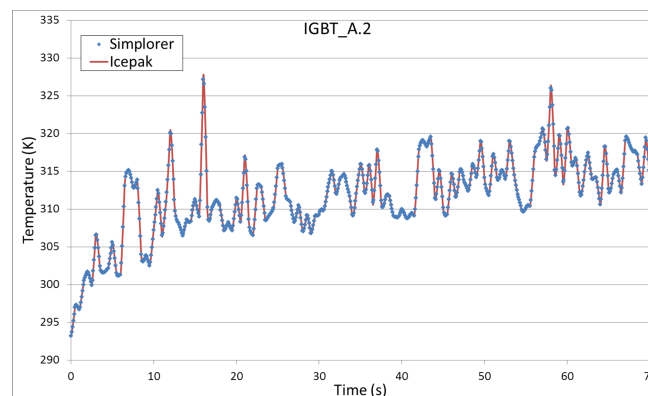
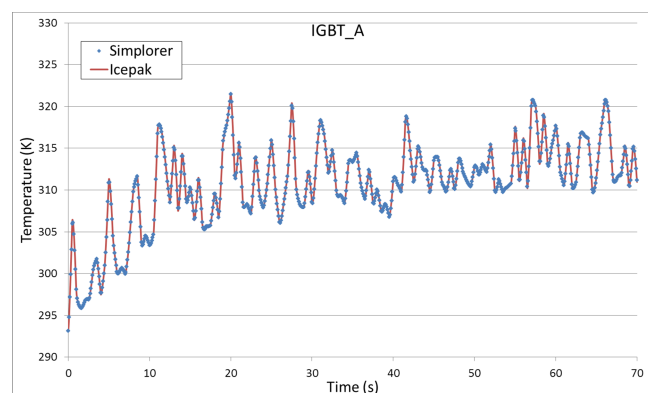
8个输入（功耗）和8个输出（温度）

LTI ROM和CFD结果比较

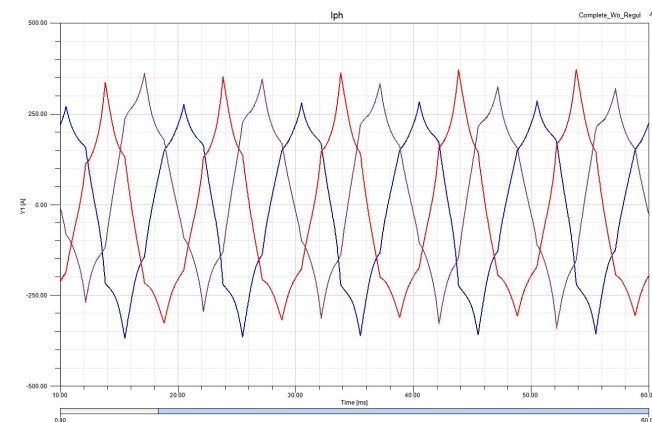
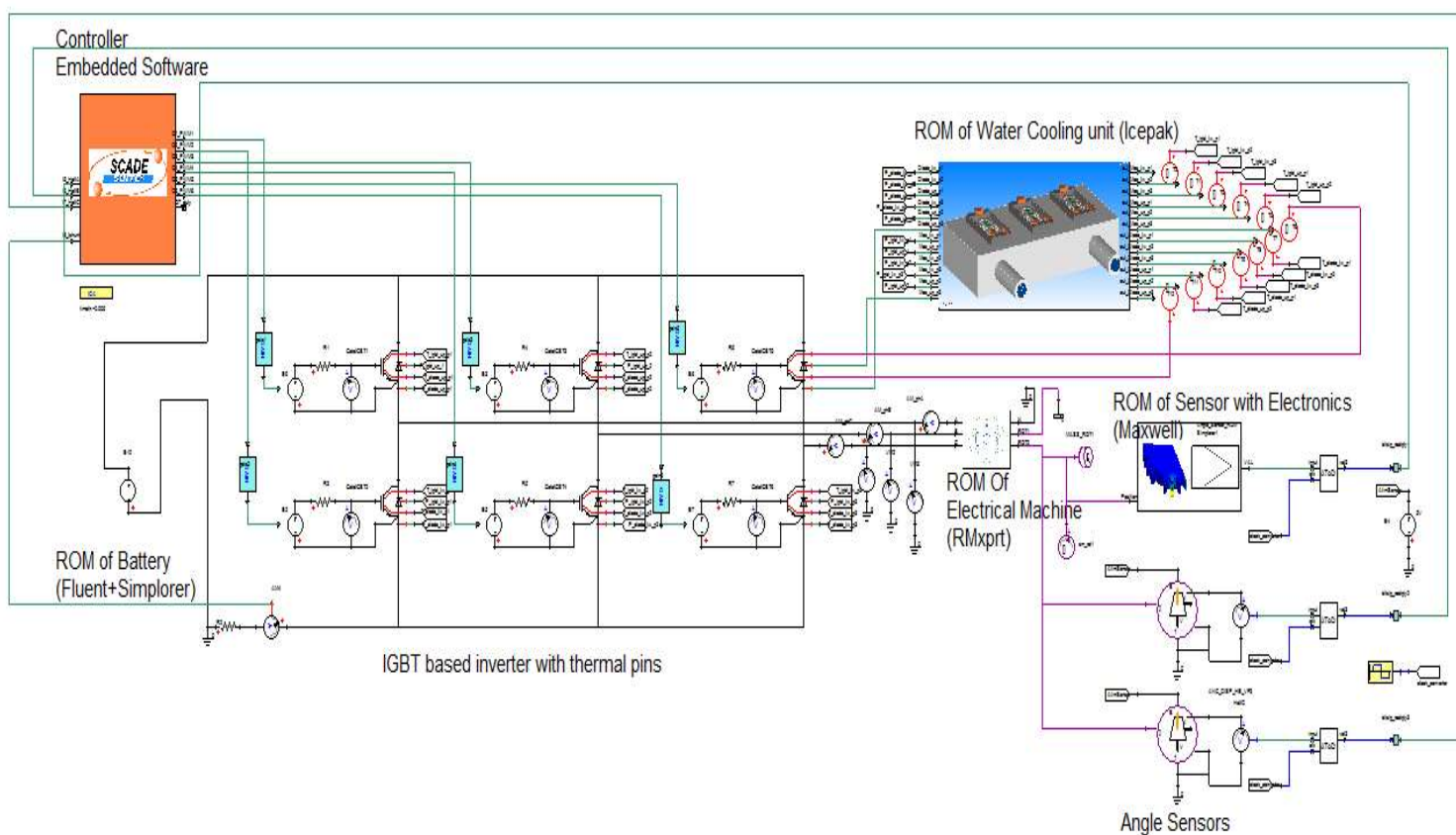
- 为了验证LTI ROM结果，在LTI ROM和CFD中使用相同的热量曲线，然后比较结果。
- CFD运行2小时
- LTI ROM运行不到2秒



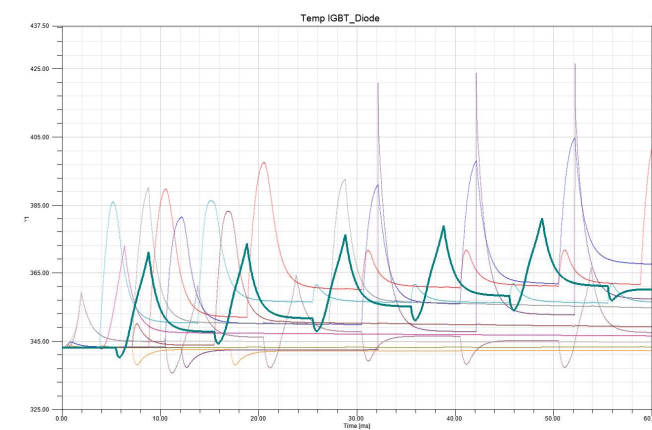
Similar profiles were given as inputs to all IGBT's and Diodes



系统模拟



三相电流



IGBT和二极管的结温

目录

1. 背景及Icepak简介
2. IGBT模块热仿真
3. 多物理场耦合仿真
4. 总结

要点总结

- ANSYS Icepak作为一款专业电子产品热分析软件，可以为IGBT热设计提供有效方案。
- ANSYS产品可以为IGBT封装设计提供多物理场耦合仿真方案，解决IGBT模块电、磁、热、机械等多物理域中设计问题。
- IDAJ结合自身多年在汽车行业仿真经验可以为您提供量身定制的仿真解决方案。

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