

Ansys
INNOVATION
C O N F E R E N C E
2020

ANSYS Maxwell 2020 重要功能更新

谭洪涛

Lead Application Engineer
ANSYS China

/ 2020R1 主要功能更新

• 新增功能

- 基于模型体单元的电磁场-谐响应电磁力耦合
- 基于二维multi-slice模型的电磁场-谐响应电磁力耦合

• 功能增强

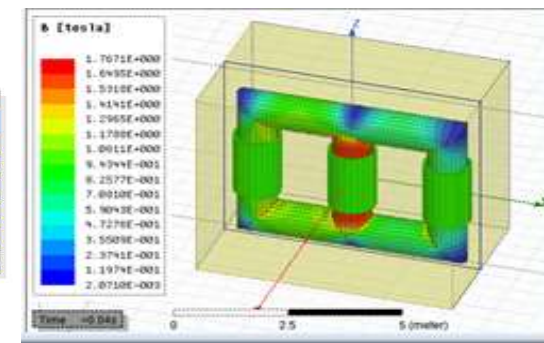
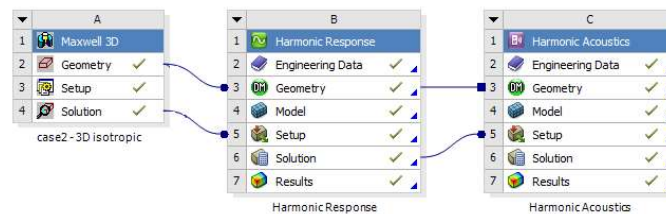
- 退磁计算及其可视化
- 2D/3D的利兹线建模
- 电机设计工具包：新的电机类型、加速、绕组损耗计算改进等
- 2D/3D瞬态场中，高次谐波电磁力计算后处理改进

• Beta

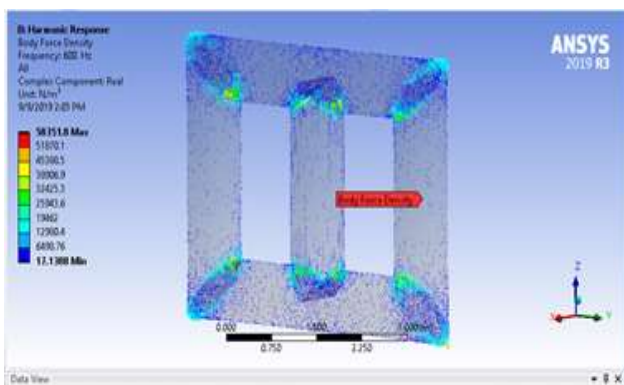
- 三维瞬态场求解器：新增A-Phi方程
- 全周期模型自动采用单元模型求解
- Mechanical Thermal: 针对电机的Rotational Fluids边界条件

基于模型体单元的电磁场-谐响应电磁力耦合

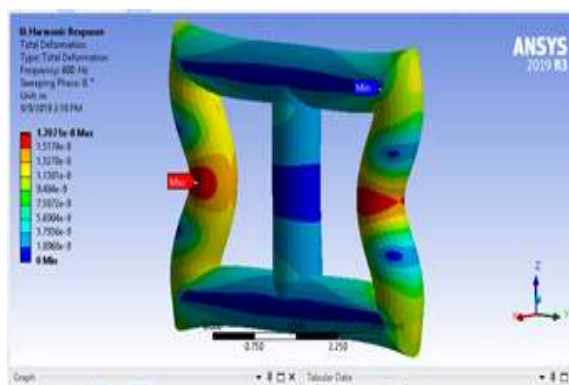
- Maxwell涡流场或瞬态场耦合到ANSYS谐响应分析
- 使用非均匀离散傅立叶变换, 将时域信号转换为频域信号, 用于谐响应和声学分析



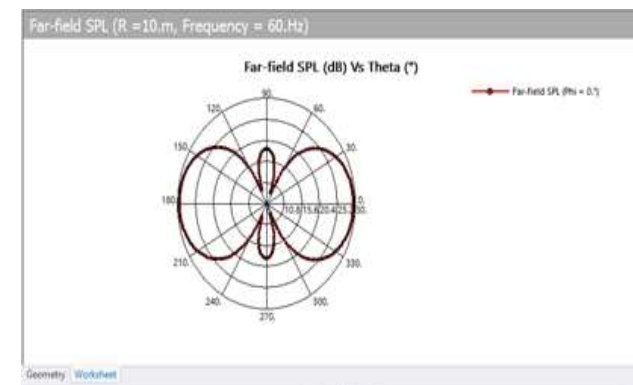
Maxwell 3D



耦合过来的体电磁力密度



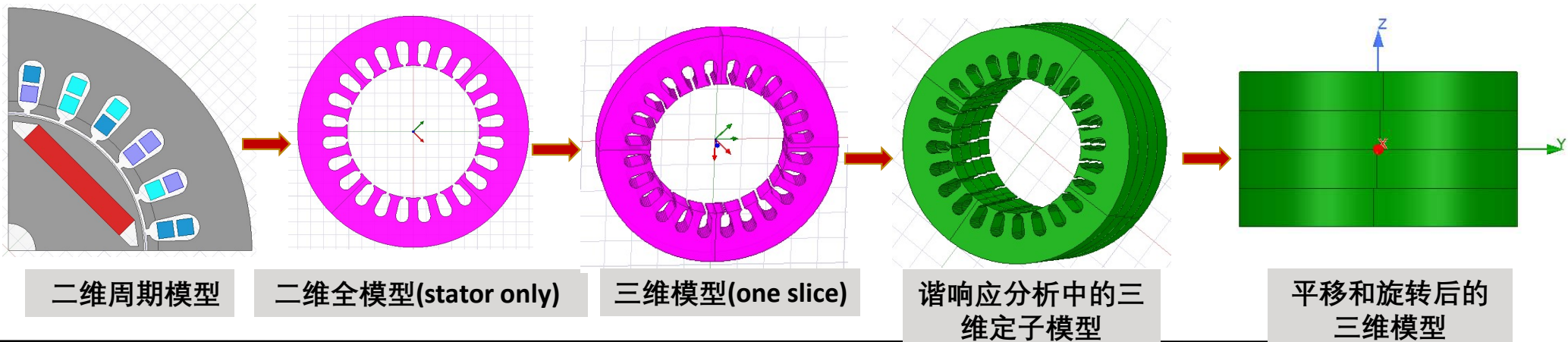
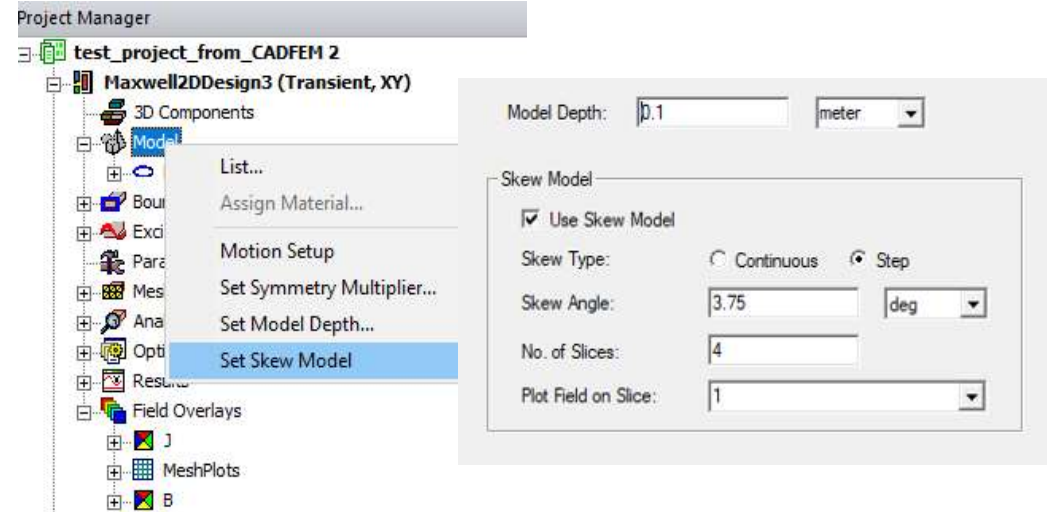
Harmonic response



Harmonic acoustics

基于二维multi-slice模型的电磁场-谐响应电磁力耦合

- 通过2D multi-slice模型考虑准三维效应
- Object based 电磁力计算
- 生成的电磁力适用于结构场中的三维全周期模型分析（结构场没有类似于电磁场的二维斜槽分析功能）



2D和3D中的退磁率显示

• 退磁率定义

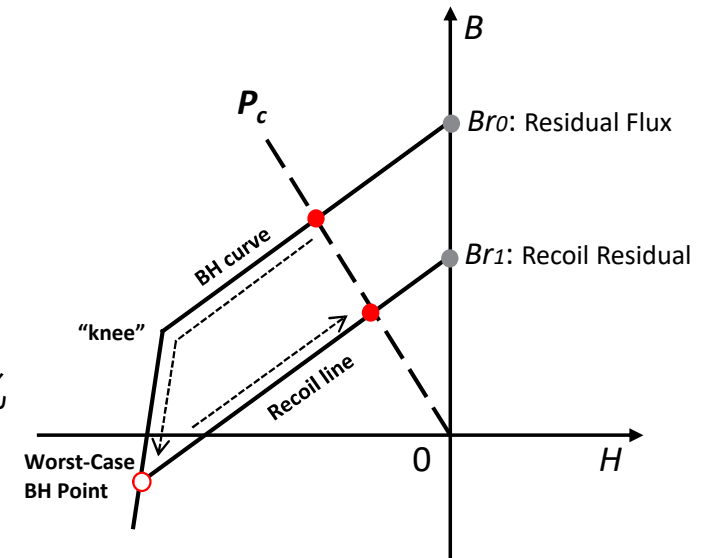
$$\text{Demag_coef}[\%] = \text{Br1}/\text{Br0} * 100\%$$

Demag_coef = 1, 所在点无退磁

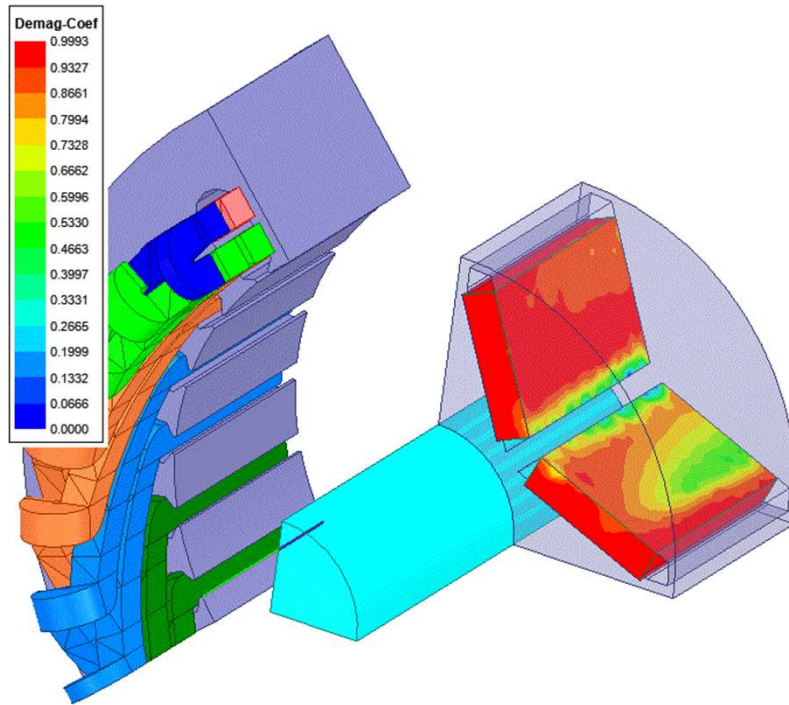
Demag_coef = 0, 所在点全退磁

• 输出

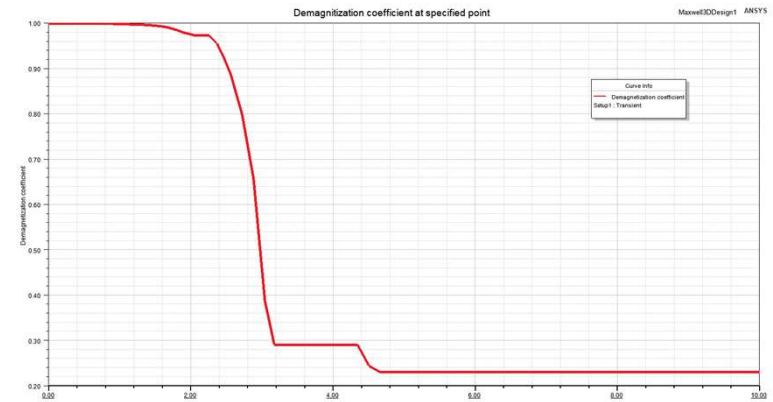
- 退磁率云图：在所有的非线性磁场上显示
- 退磁率曲线：使用expression cache，显示磁场上某点随时间变化的退磁率曲线
- 随时间变化的退磁百分比统计曲线：统计磁钢上退磁率在阈值以上的体积占磁钢总体积的百分比，阈值从0.1到0.9，每隔0.1变化一次，总共9条曲线



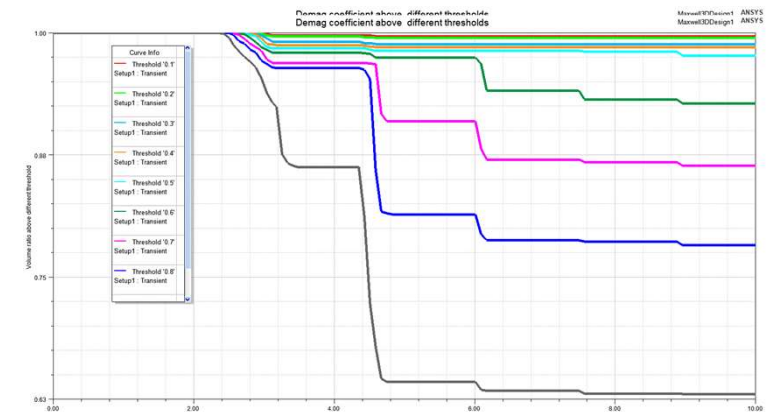
2D和3D中的退磁率显示



退磁率云图



退磁率曲线



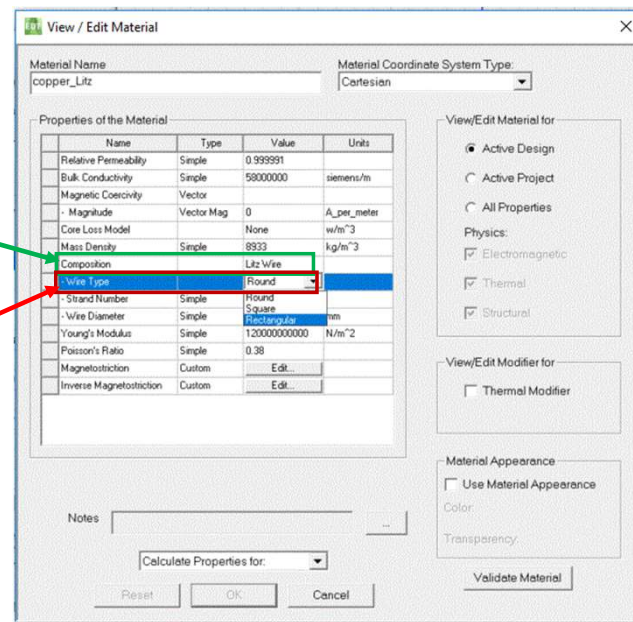
随时间变化的退磁百分比统计曲线

利兹线建模

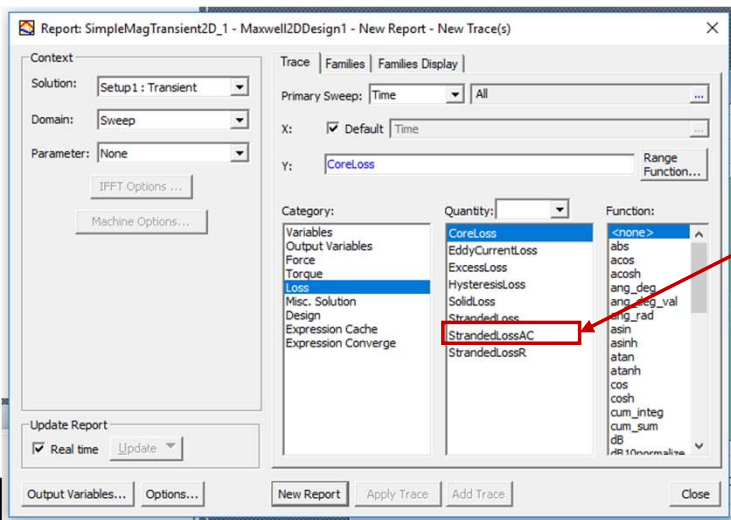
- 使用常规方法建立单匝模型
 - 新的导线材料属性: Litz Wire
 - 导线类型: Round, Square, Rectangular
- 考虑集肤和邻近效应带来的附加损耗
- 新增损耗类型: StrandedLossAC

Composition property

Wire property



新的输出曲线:
StrandedLossAC



电感仿真

	无利兹线建模	利兹线建模	2DRZ 实际建模
损耗	314.3 mW	1013.2 mW	1003.9 mW

电机设计工具包中的交流损耗

定子损耗:

$$P_{copper} = P_{dc} + P_{ac}$$

- 直流绕组损耗:

$$P_{dc} = I_{rms}^2 (R_a + R_b + R_c)$$

- 交流绕组损耗:

$$P_{ac} = 3I_{rms}^2 R_{ac} = 3I_{rms}^2 R_{ac0} \left(\frac{f}{f_0} \right)^2 \left(\frac{k_\xi}{k_{\xi 0}} \right)$$

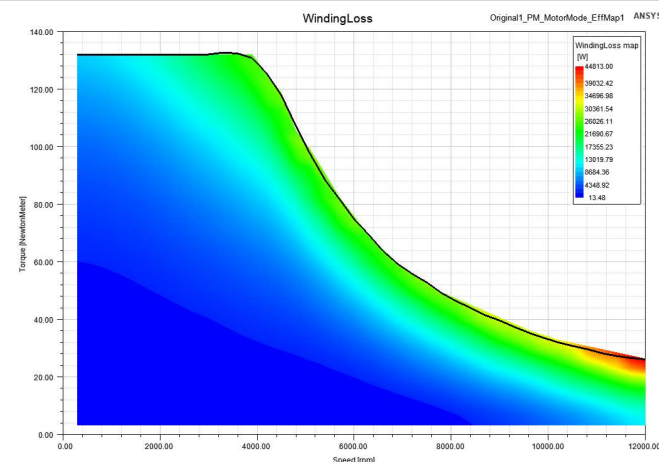
其中 R_{ac0} 是用户预定义的指定频率下的交流电阻

$$k_\xi = \frac{3 \sinh \xi - \sin \xi}{2\xi \cosh \xi - \cos \xi}, \quad \xi = a\sqrt{\pi f \mu_0 \sigma}$$

a 是绕组线径的宽度或者直径。 R_{ac0} , a , σ , 和 f_0 由用户在电机设计工具包界面中输入。



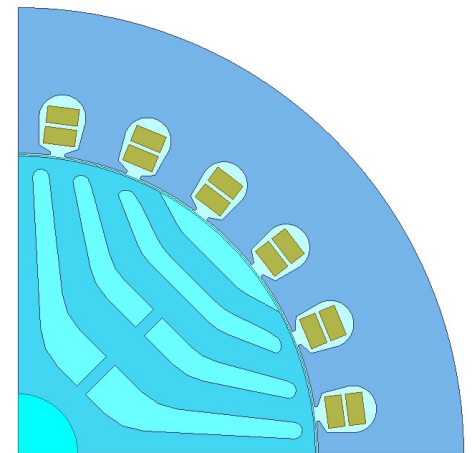
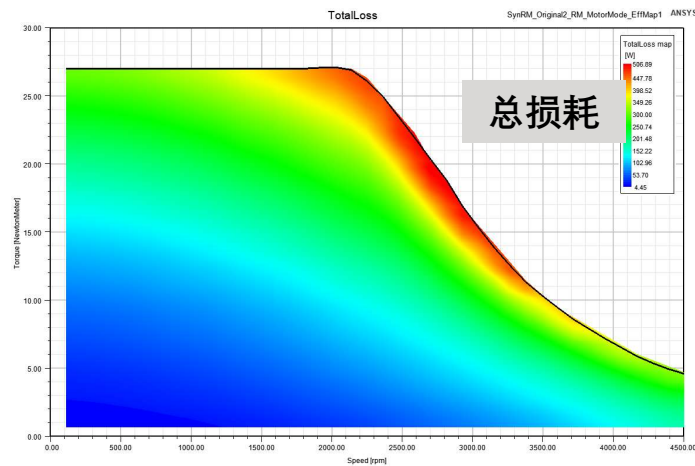
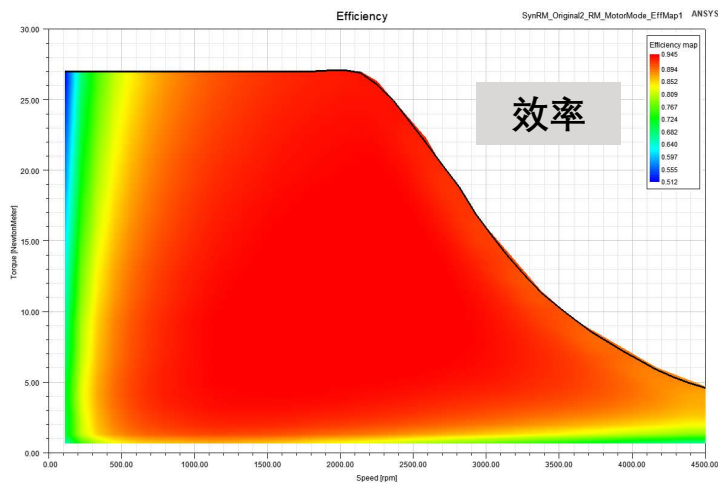
仅考虑绕组直流损耗 ($R_{dc} = 0.015 \Omega$)



考虑直流和交流损耗 ($R_{ac} = 0.003 \Omega$ at 60 Hz)

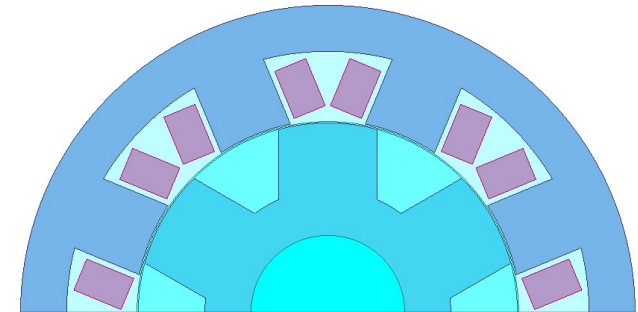
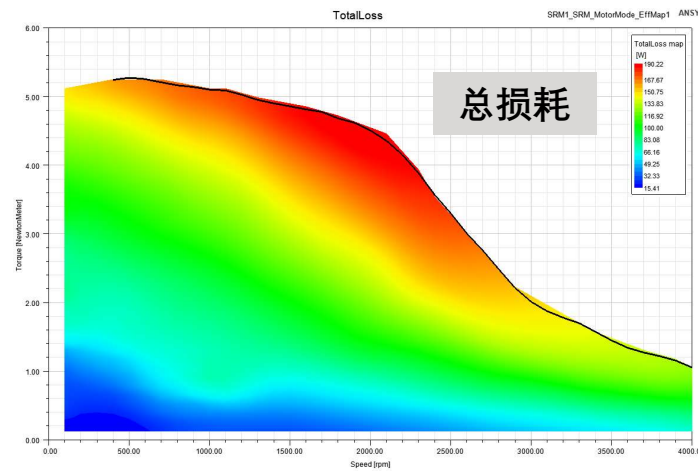
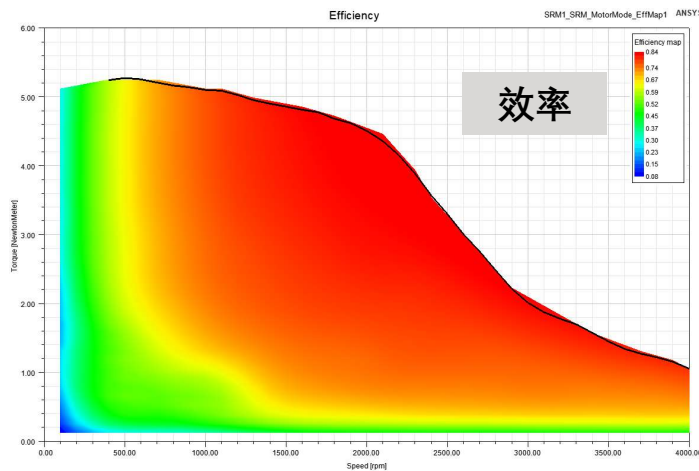
Toolkits支持新的电机类型：同步磁阻电机

- 扫描变量为：相电流、控制角和转速
- 初始位置自动对齐
- 支持周期性和半周期性TDM
- 交直流分量计算：转子直轴具有最大电感



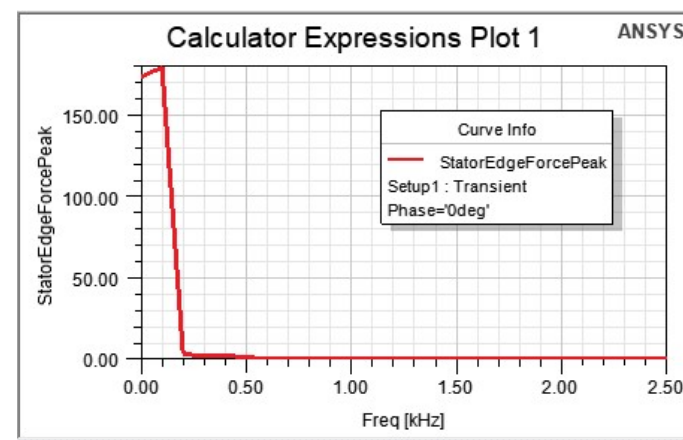
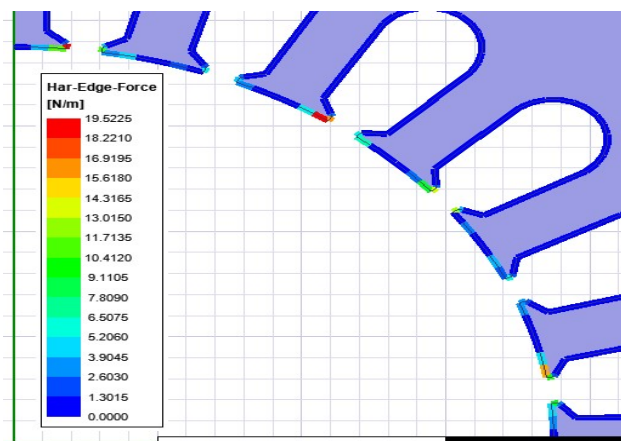
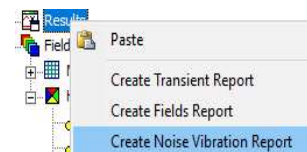
Toolkits支持新的电机类型：开关磁阻电机

- 扫描变量为：电流、控制角和转速
- 初始位置自动对齐
- 支持相数：2~8
- 不支持TDM



二维和三维瞬态场中的电磁力密度后处理

- 自动创建傅里叶分析后的二维报告，幅值 vs 频率或相位角
- 瞬态求解器中显示高次电磁力密度报告和云图



三维瞬态场求解器：新增A-Phi方程 [Beta]

- 方程使用矢量磁位 A 和标量电势 φ
- 矢量磁位 A 使用一阶棱单元，标量电势 φ 使用二阶节点单元
- 多端口导体在单个导体回路上支持多种类型的激励源
- 支持分布电感计算
- 直接计算电流场和电势场，由于他们是一阶近似
- 主要应用：Busbar的发热问题，Busbar有多个端口，可以施加不同波形的激励，计算由此产生的损耗，用于后续温度计算

$$B = \nabla \times A$$

$$B = \mu H$$

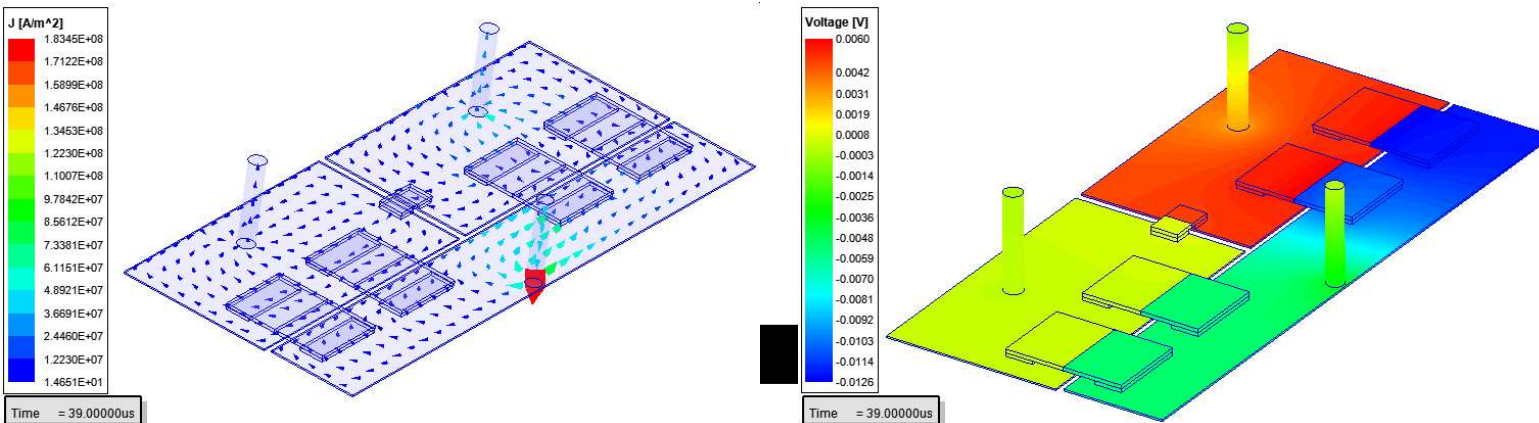
$$J = \sigma \left(-\frac{dA}{dt} - \nabla \varphi \right)$$

$$\nabla \times \mu^{-1} \nabla \times A = -\sigma \frac{dA}{dt} - \sigma \nabla \varphi + \nabla \times H_c$$

$$\nabla \cdot \left(-\sigma \frac{dA}{dt} - \sigma \nabla \varphi \right) = 0$$

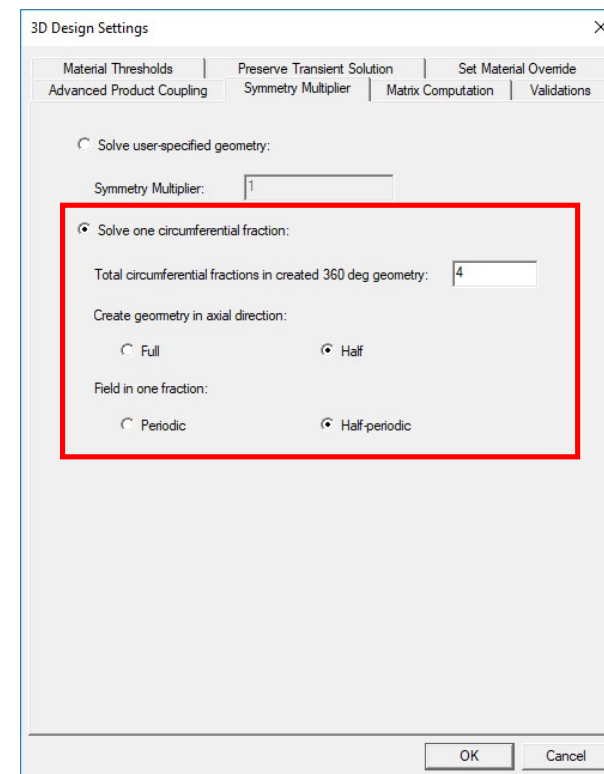
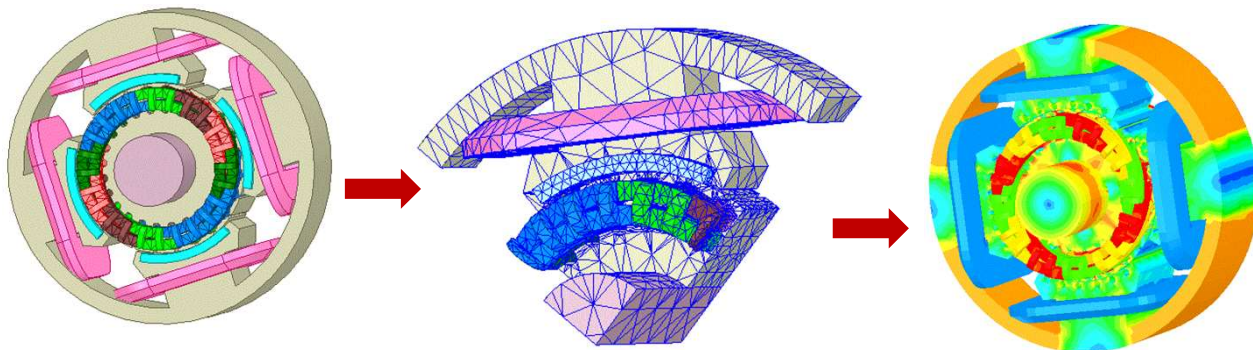
后续版本会改进：

- 外电路
- 与 Simulink 协同仿真
- 应变（电容）效应
- 考虑铁耗对场的影响
- 考虑磁滞对场的影响
- 充磁和退磁分析
- 与Twin builder协同仿真
- 支持 HPC 和 MPI
- 支持运动



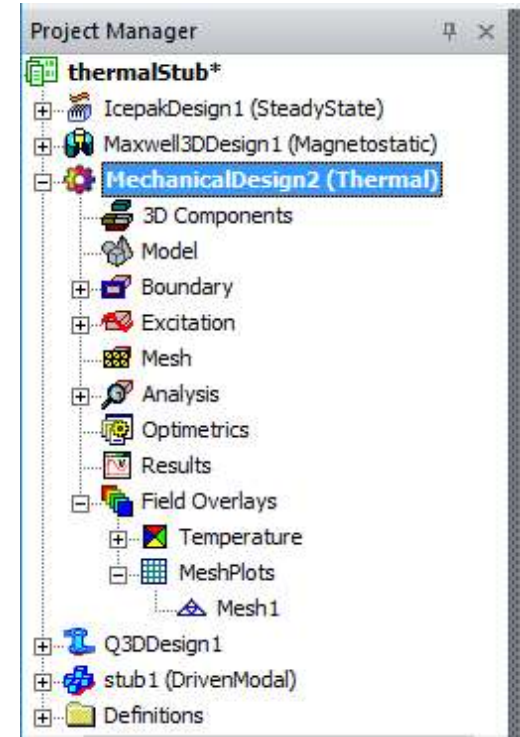
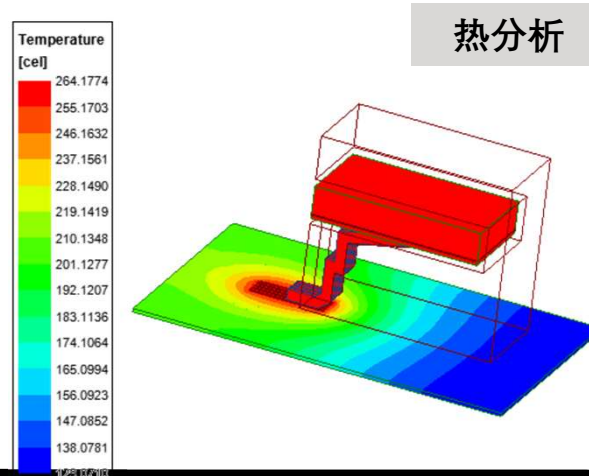
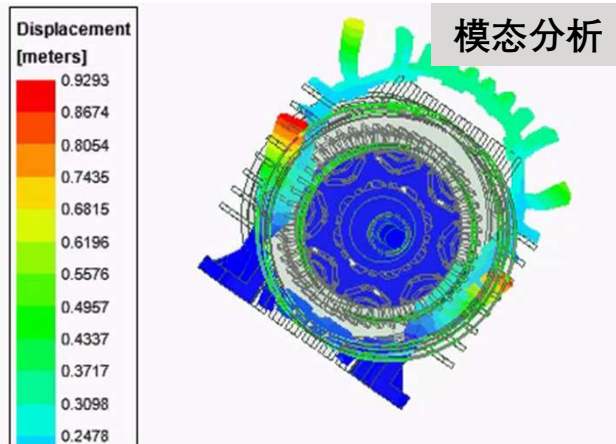
全周期模型自动采用单元模型求解 [Beta]

- 全模型
 - 优点：建模容易，场图显示更接近实际
 - 缺点：计算时间过长
- 通过主从边界条件，手动创建周期性模型
 - 优点：计算时间较短
 - 缺点：建模复杂，场图显示直观性降低
- 不需要主从边界条件，自动周期性模型建立、剖分、求解和后处理
 - 保留并结合所有优点，避免原先全模型和周期模型的所有弊端
- 应用于非斜槽电机模型，支持CloneMesh[Beta]

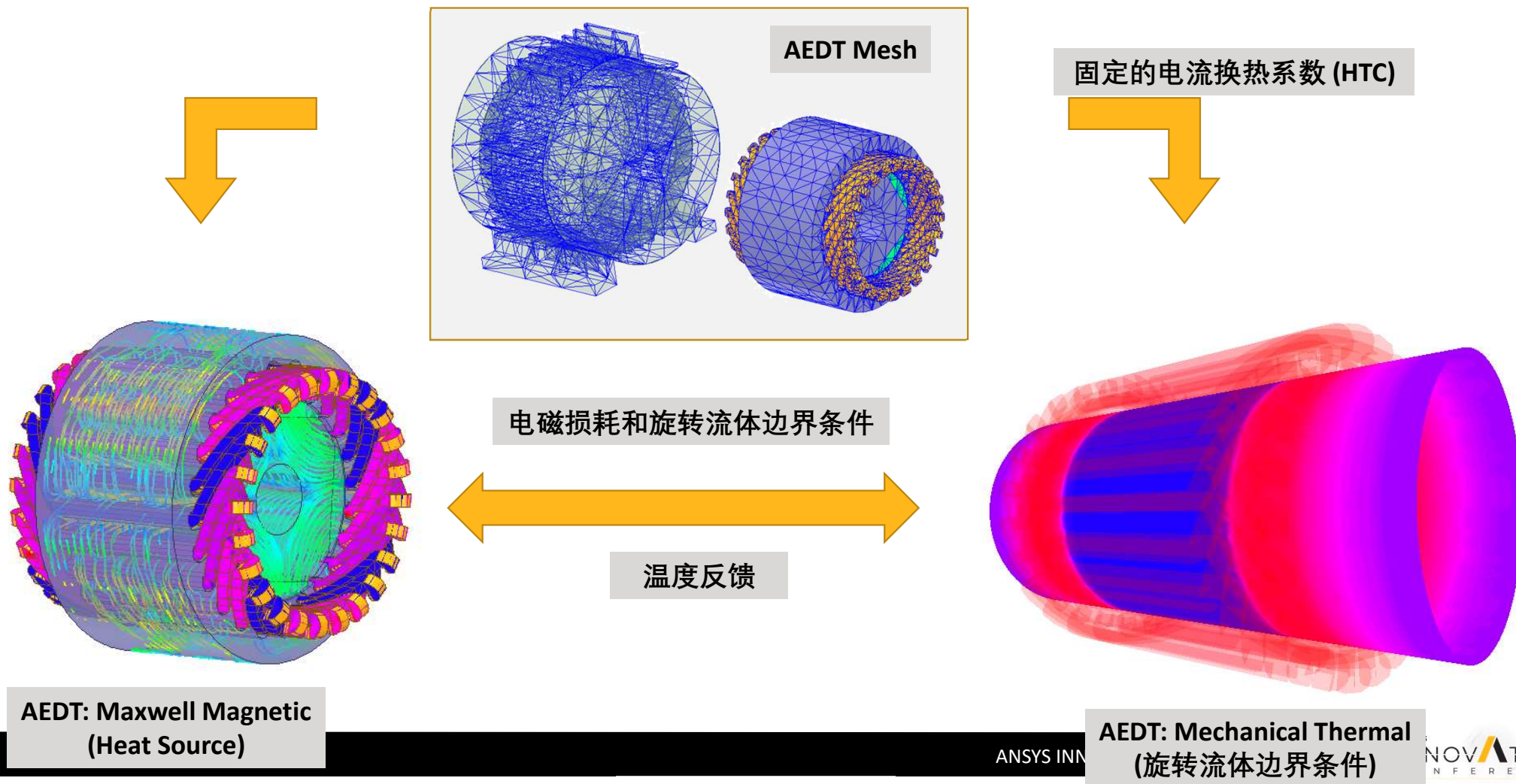


AEDT 平台中的Mechanical [Beta]

- Mechanical求解器：模态分析和热分析
- 支持与电磁场的双向耦合
- 集成化的界面：求解器、脚本、优化和后处理
- 剖分： AEDT Classic/TAU mesher 或者从Maxwell导入网格剖分
- Installation and licensing (Icepak solver) in 安装与license管理都与 AEDT相同， license使用Icepak求解器的license



/ AEDT 中的电机热仿真流程[Beta]

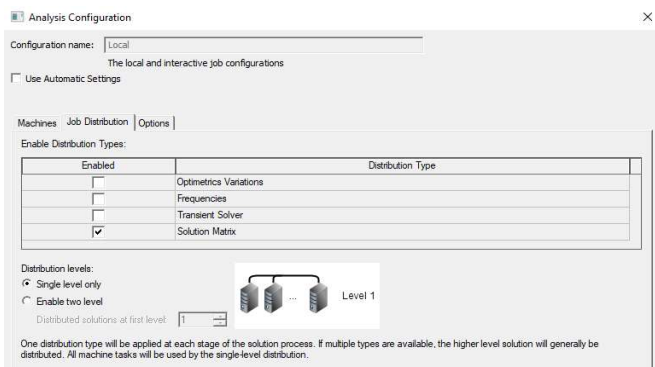


Maxwell 2020R2 功能更新

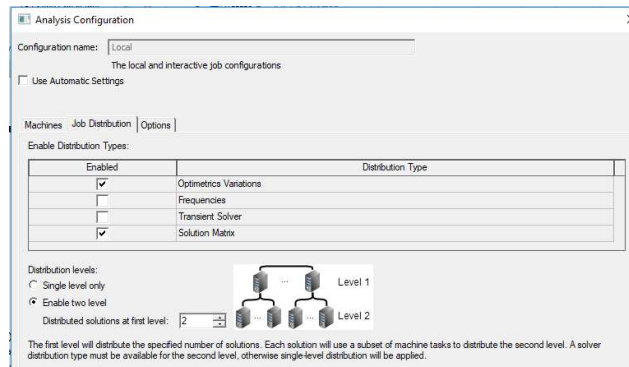
 **ANSYS**
INNOVATION
CONFERENCE
2020

3D静磁场支持基于MPI的DDM功能

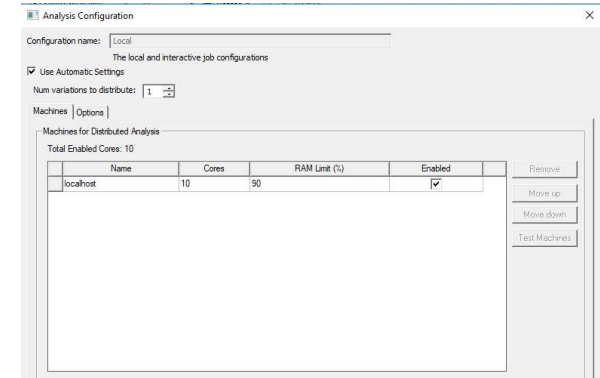
- 在已有的OpenMP共享内存HPC功能基础上新增了基于MPI的系统矩阵分布式求解功能
- 由于MPI可以在多个节点运行，因此除了求解速度加快以外，现在也可以求解更大型的问题
- 支持直接求解器和迭代求解器



Single-level DDM



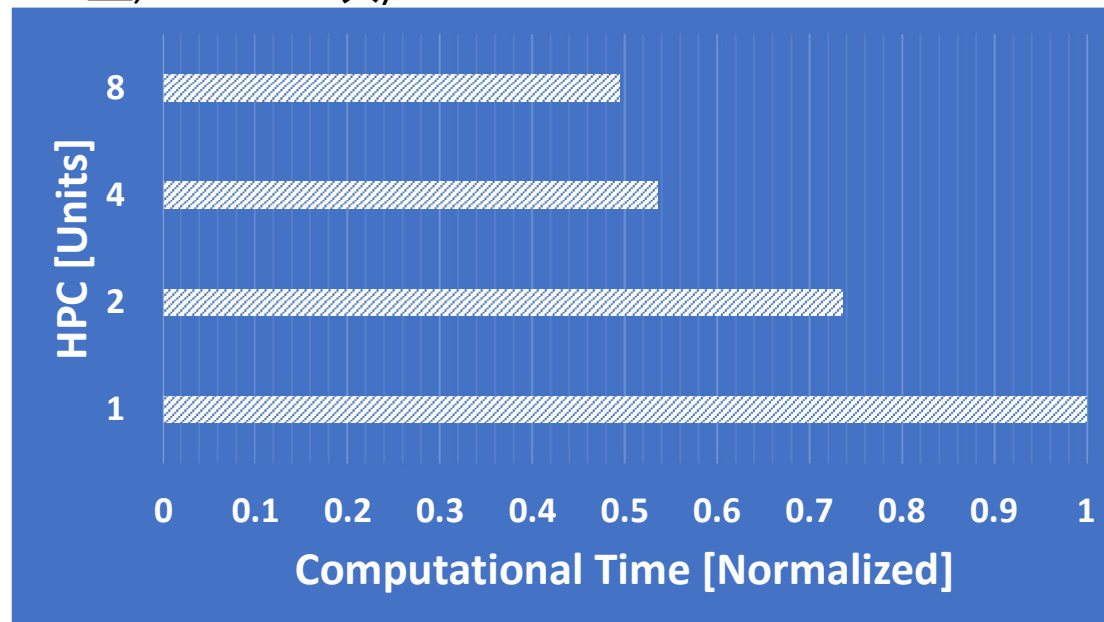
Two-level HPC (Optimetrics, DDM)



DDM Auto setup

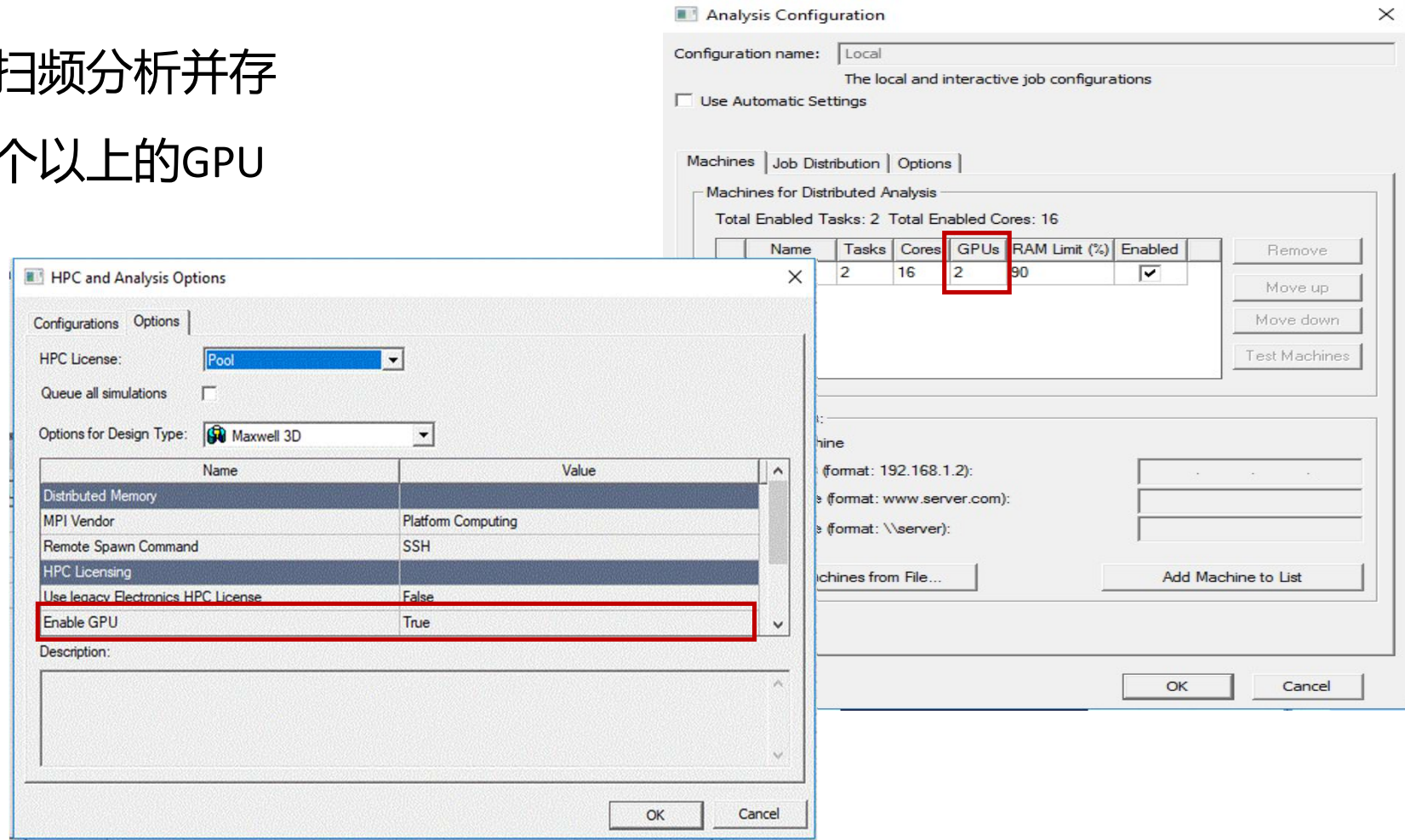
2D瞬态场求解器支持OpenMP功能

- 目前2D瞬态场求解器所支持的HPC是基于MPI的TDM功能
- 现在, HPC中新增了基于共享内存的OpenMP功能
- 求解速度更快, 有助于求解大型问题
- 支持two level HPC(TDM 主, OPenMP 次)



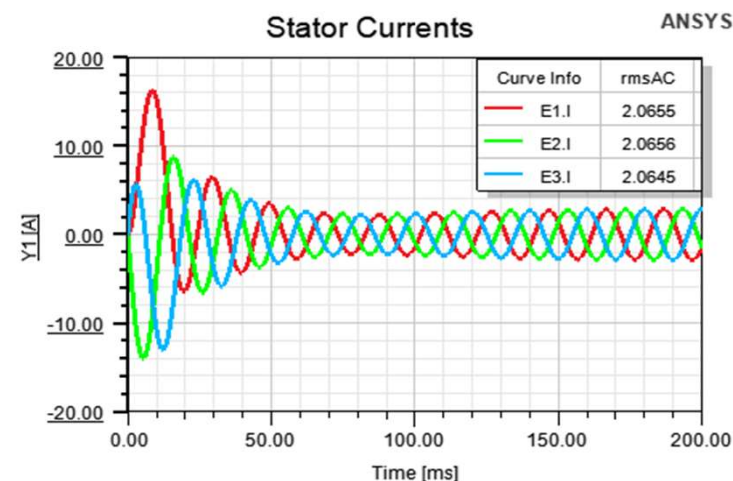
3D涡流场支持基于GPU的分布式扫频分析

- 发与基于MPI的扫频分析并存
- MPI扫频支持一个以上的GPU
- 性能取决于：
 - 矩阵规模
 - GPU硬件性能
 - HPC设置

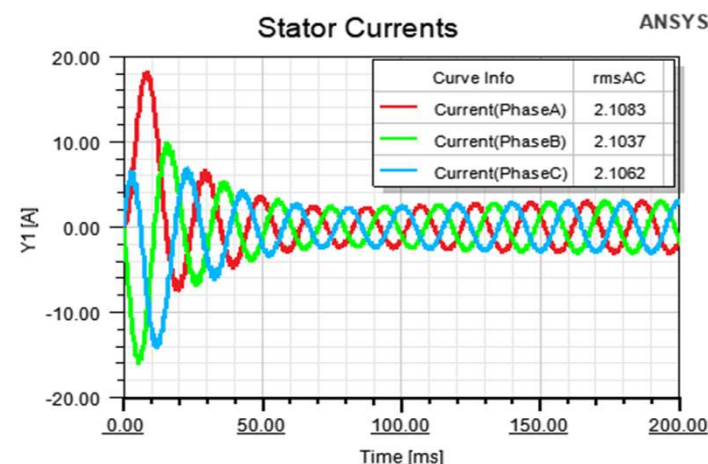


感应电机ECE 降阶模型提取

- 最新进展:
 - 可提取感应电机的高精度ECE降阶模型
- 在涡流场求解器的基础上，引入了一种新技术来推导涉及强感应涡流的多相感应电机的ECE 降阶模型。
- TwinBuilder / Simplorer可以直接访问ECE降阶模型文件



基于ECE ROM模型的感应电机电流输出



基于瞬态有限元的感应电机电流输出

Electrical Machine Toolkit **功能增强**

- 可基于litz线建模功能或用户直接输入AC resistance, 计算多绞线绕组的交流损耗
- 对目前已有的电机类型, 增加了对多相电机的支持
- 新增绕线式转子电机类型

Electrical Machine Toolkit功能增强

改进的交流绕组损耗计算

• Litz线建模:

- 在绕组的材料属性中，将“Composition”，选项设置为“Litz Wire”，并定义线型，并绕根数和导线尺寸，Machine toolkit利用“StrandedlossAC”结果计算绕组损耗

• 用户输入的频变交流电阻数据:

- 用户可以指定一个.txt文件的目录，该目录包括一个带有频率与交流电阻数据的表格。第一行应定义频率和电阻的名称以及单位，软件将采用线性插值，另外它还会改变感应电机外部电路中的电阻值

Composition		Litz Wire	
- Wire Type		Round	
- Strand Number	Simple	100	
- Wire Diameter	Simple	2	mm

Litz-wire Model

▼ Stator Phase Resistance

Consider AC Resistance Effects

Define Winding AC Resistance from File

AC resistance characteristics [Browse](#)

Freq[Hz]	Rac[ohm]
30	0.015
60	0.018
90	0.024
120	0.033

User-defined Data Table

Electrical Machine Toolkit功能增强

多相电机支持

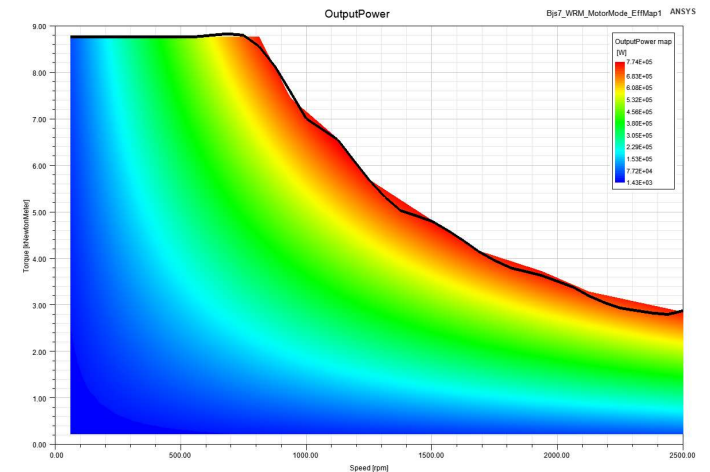
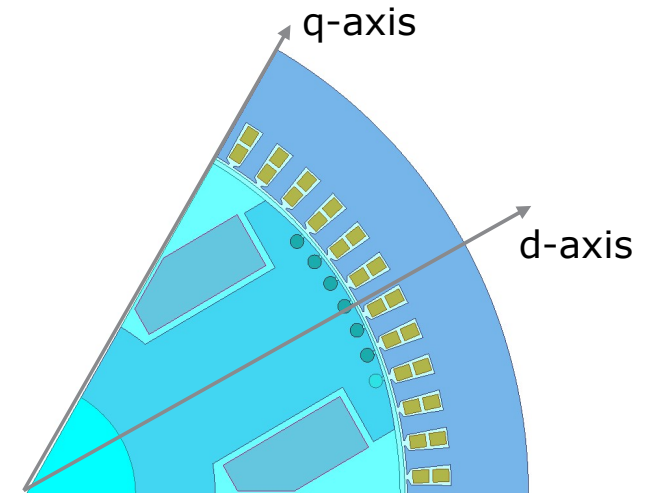
- 支持3相，5相，6相和7相的永磁电机，感应电机，同步磁阻电机和绕线转子同步电机
- 支持2至8相的开关磁阻电机
- 除开关磁阻电机以外的所有电机类型，用户都可以使用命令行指定每个绕组的相位，建议第一个相位输入“0”。

▼ Phases	
PhaseA	PhaseA ▼
PhaseB	PhaseB ▼
PhaseC	PhaseC ▼
PhaseD	PhaseA1 ▼
PhaseE	PhaseB1 ▼
PhaseF	PhaseC1 ▼
Phase shifts [deg]	0 120 240 30 150 270
<input checked="" type="checkbox"/> Use same values for all phases	
PhaseA resistance [Ohm]	0.015
End winding induct. (PhaseA) [mH]	0

Electrical Machine Toolkit功能增强

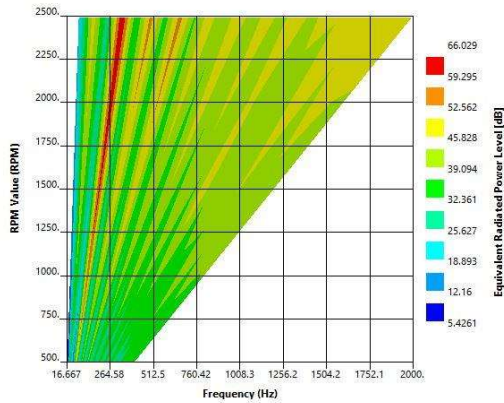
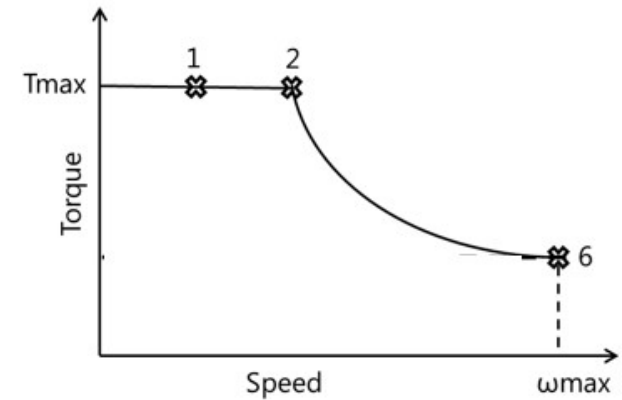
新增对绕线转子同步电机的支持

- **参数扫描: 定子电流、相位角Gamma和励磁电流**
 - Gamma指定子绕组磁动势与转子d轴之间的夹角，电动机模式的范围为 $[0^\circ, 90^\circ]$ ，发电机模式的范围为 $[90^\circ, 180^\circ]$
 - 取消了对转速的扫描，从而大大减少了仿真时间。以最大转速的一半进行仿真，并推算其他转速的结果
- **自动对齐D轴: 在额定速度下，将直流电流馈入励磁绕组，通过获取磁链基波分量的相移获取角度**
- **支持周期和半周期TDM**
- **DQ轴分量计算: 转子直轴的磁导/电感最大**

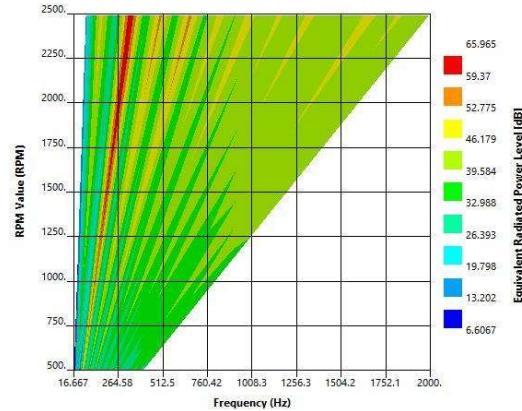


频率-转速平面中的谐波电磁力插值

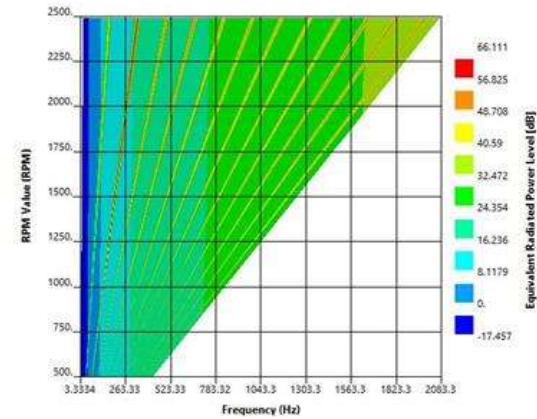
- 给定转速-转矩曲线的非均匀转速扫描点
- 在两个求解的转速点之间均匀插值
- 可以与高频分辨率功能结合使用
- 支持object 和 element based谐波电磁力



转速扫描点 (rpm): 500, 1000, 1500, 2000, 2500



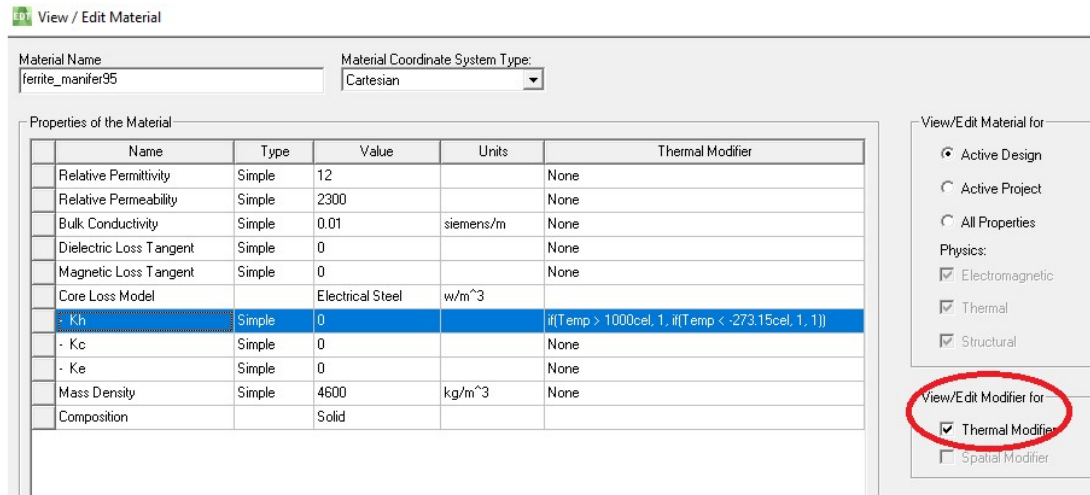
增加4个插值点



结合高频分辨率功能(10个周期)

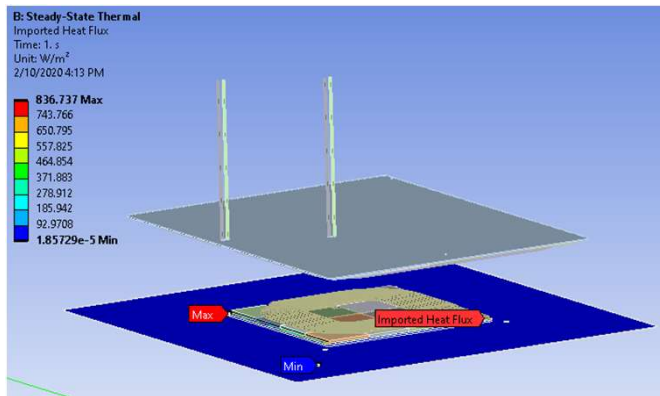
考虑温度的铁心损耗计算

- 考虑温度影响的铁损系数
 - 电工钢: Kh, Kc 和 Ke
 - 铁氧体: Cm
- 后续版本将提供：通过输入的温度相关的P（B）曲线推导温度相关的系数

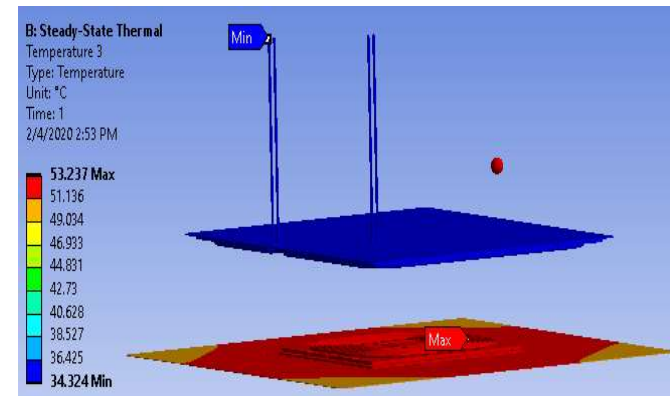


3D涡流场支持考虑阻抗边界条件损耗的双向热耦合分析

- 材料在阻抗边界条件下的电导率和磁导率可以与温度相关
- 允许用户定义函数来考虑温度对这些特性的影响
- Maxwell将更新的损耗发送给Mechanical，而Mechanical将温度回传给Maxwell
- 根据三角网格中心的温度确定阻抗边界条件下的更新温度
- 映射损耗包括元件的体积损耗和阻抗边界表面的损耗



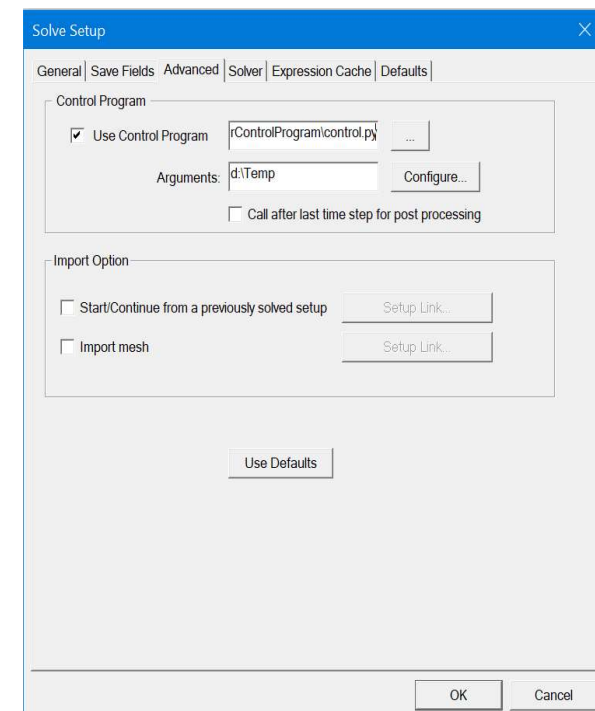
Mapped loss distribution



Temperature distribution

2D/3D 瞬态场支持基于Python脚本的control program

- 用户控制程序(Control program)是一个外部创建的可执行文件，在每个时间步骤之后都会被调用
 - 根据更新的解决方案，允许控制源输入，电路元件，机械量，时间步长和分析停止的准则
 - 由于安全原因，许多公司的系统都会阻止执行未经认证的可执行文件
 - 执行Python脚本而不是已编译的可执行文件即可解决该问题
- 扩展名为*.py的控制程序将由AnsysEM安装随附的默认python发行版执行

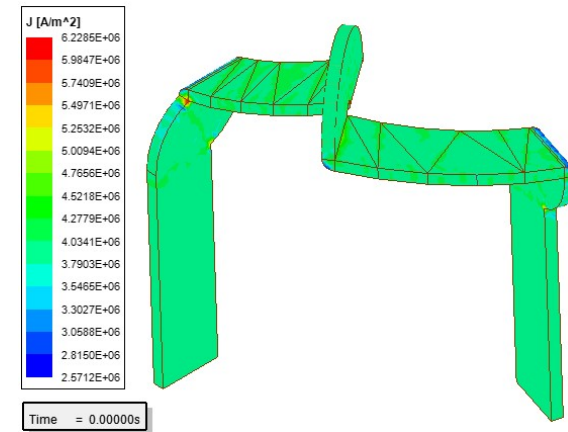
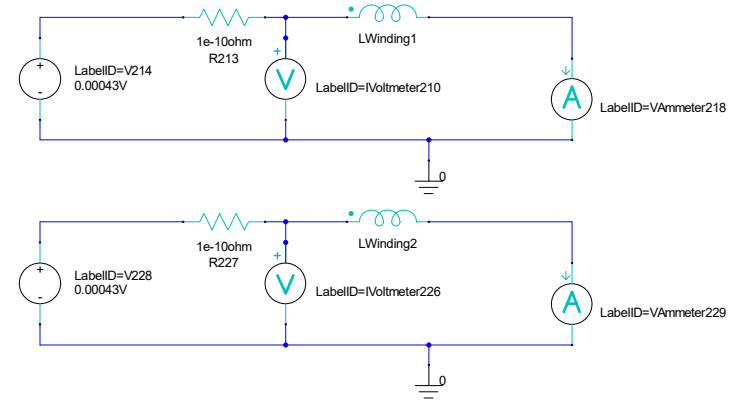


3D瞬态场分析支持A-phi方程(Beta)

• 新功能和增强功能

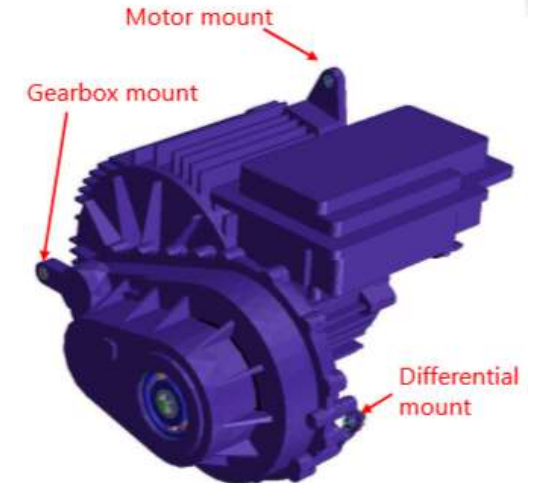
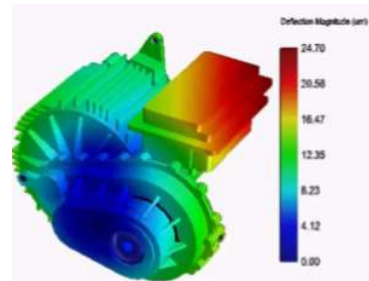
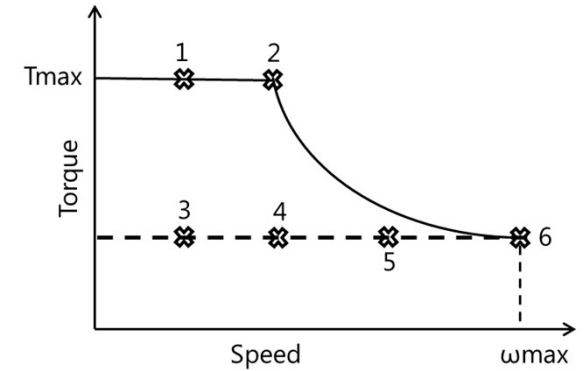
- 支持外电路
- 各向同性非线性叠片铁心
- 改善了横截面不均匀的多绞线导体的电流密度

Relative Permeability	Nonlinear	B-H Curve...	
Bulk Conductivity	Simple	0	siemens/m
Magnetic Coercivity	Vector		
- Magnitude	Vector ...	0	A_per_m...
- X Component	Unit Vec...	1	
- Y Component	Unit Vec...	0	
- Z Component	Unit Vec...	0	
Core Loss Model		Electrical Steel	w/m^3
- Kh	Simple	354.457022059299	
- Kc	Simple	0.394137975888...	
- Ke	Simple	1.70032586951556	
- Kdc	Simple	0	
- Equiv. Cut Depth	Simple	0.001	meter
Mass Density	Simple	7650	kg/m^3
Composition		Lamination	



支持导出第三方文件: Romax, General UNV

- Romax 在多种工作扭矩水平下的不同转速进行NVH分析
- 对于每个扭矩水平, 都需要多个速度点的数据
- 在每个运行点:
 - 转矩脉动——在一个机械周期内转矩与转子位置的关系
 - 定子力——每个定子齿上的径向力, 切向力和轴向力, 持续一个机械周期
 - 用于指定多轴向分段 (2D) 的选项, 例如电机斜极
- 电机和齿轮激励的系统响应
 - 提供独特的洞察力手段, 有助于减少系统响应



Ansys

INNOVATION

C O N F E R E N C E

2020

