赋能产品工程师的干式变压器仿真 App 开发与应用

马宇航 / 干式变压器高级研发工程师

广州西门子能源变压器有限公司

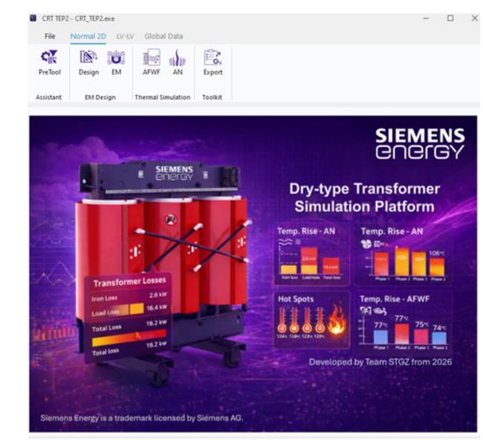
将参数化多物理场仿真封装为独立 App，让产品工程师在办公电脑上自主获得设计仿真参考结果。

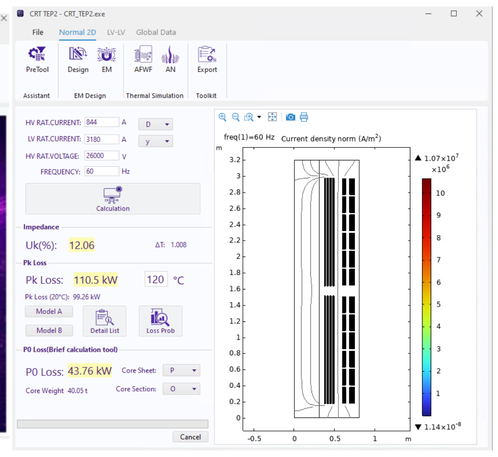
01 工程需求

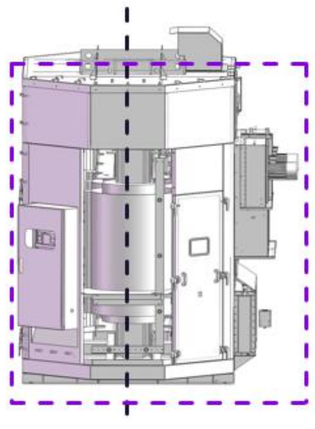
干式变压器具有小批量、定制化和短周期特点。设计需要控制阻抗、损耗与温升，并兼顾响应速度及成本。传统工具能够较好的满足常规需求，但随着时长的变化，越来越多的产品需求超出常规参数范围，而仿真所需要的资源和人员远远无法满足实际需求。考虑设计人员需要比较方案并随时获得可复现的仿真结果。轻量化的仿真模型配合参数驱动的自动化 App 成为解决问题的关键。

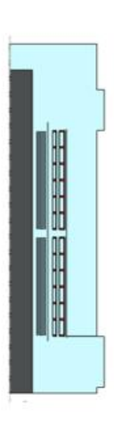
02 App 开发路线

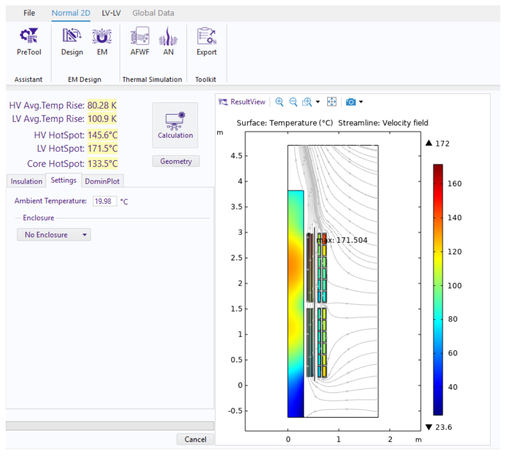
使用 COMSOL Multiphysics 构建参数化模型，利用 Developer 开发交互界面，通过 Compiler 完成封装发布。将用户操作集中于参数输入与结果输出。











03 参数与交互

将 300 多个参数梳理为 107 个有效参数。VBA 读取数据库，用统一索引管理参数和结果，确保仿真结果的可复现性。数值参数与表达式参数分开存放，通过函数实现一键导入全部参数。

界面交互使用双重逻辑。第一重逻辑采用全自动，通过参数导入实现模型切换。第二重逻辑采用半自动，消除所有仿真相关设置，通过可视化反应参数影响。

04 计算效率

分析任务	仿真自动化	CRT_TEP2
阻抗 / 损耗	15分钟	**2分钟**
温升	5小时[1]	**5分钟**
计算资源	性能工作站	**普通电脑**

[1] 温升基准为三维仿真自动化。

05 关键技术

1. 模型降维

依据稳态平衡方程处理边界、单位及权重的等效关系，降低流体传热模型的计算负担。

2. 几何简化与网格控制

对小尺度薄层进行合并、降维或忽略处理，分析简化对损耗、阻抗及等效热阻的影响。

3. 物理场解耦与误差检验

识别耦合场之间传递的物理量，通过变量调用传递关系表达式，再结合试验数据检验偏差。

参考价值

1. 给出了一种从 Excel 计算工具或者成熟数据库到仿真结果计算的全流程自动化案例。
2. 基于能量守恒的方式将非理想工况进行降维，最终实现工程需求以内的精度。
3. 从工程应用角度出发，重新探索了计算资源，计算精度和计算速度的综合最优解。