COMSOL CONFERENCE 2026 SHENZHEN

主题演讲

赋能产品工程师的干式变压器仿真 App 开发与应用



马宇航
广州西门子能源变压器有限公司

赋能产品工程师的干式变压器仿真 App 开发与应用

广州西门子能源变压器有限公司
干式变压器 高级研发工程师 马宇航



Siemens Energy is a registered trademark licensed by Siemens AG.

Restricted © Siemens Energy, 2026

主要内容

1 个人及公司介绍

2 产品特点结合仿真需求

3 仿真应用介绍

4 难点解决方案

5 总结与展望

Restricted © Siemens Energy, 2026

个人介绍



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

COMSOL 相关工作内容 (按照时间顺序从2021年10月)：

1. 起吊结构强度仿真；
2. 模态、振动及地震仿真；
3. 基于2D模型的阻抗和损耗仿真；
4. 基于2D模型的水冷风冷温升仿真；
5. 基于2D模型的自然冷却温升仿真；
6. 参数化驱动的变压器仿真APP——赋能产品工程师

个人简介：

在电磁、温升和结构等多物理场分析方面，结合干式变压器产品设计制造流程特点，致力于推动仿真自动化和工具化，使用COMSOL Multiphysics 和 Developer 开发了基于参数驱动的仿真工具，并通过Complier完成封装和发布，使得所有设计人员可以自行获得仿真结果参考。

2026-10-22 Siemens Energy is a registered trademark licensed by Siemens AG.
Restricted © Siemens Energy, 2026

公司概况



成立时间:	1998年
股　　东:	SIEMENS energy 63% 广州工控 GIIHG 37%
地　　址:	广州经济开发区
总 面 积:	87,500 平方米
总 资 产:	30亿 人民币
年 产 能:	52,000 MVA
员工总数:	780+

Siemens Energy is a registered trademark licensed by Siemens AG.

Restricted © Siemens Energy, 2026

广州西门子能源配变智能化工厂



- 总面积：3.65万平方米
- 年产能： 12,000MVA（约6000台）
- 2021年7月新工厂建成投产
- 2023年3月被工信部评为“国家级绿色工厂”
- 采用“工业4.0”标准进行设计和运营
- 西门子能源在全球配变变压器领域的样板工厂
- 西门子能源配变技术中心及全球设计中心

Siemens Energy is a registered trademark licensed by Siemens AG.

Restricted © Siemens Energy, 2026

西门子能源全球干式变压器工厂分布



Kirchheim
德国



Budapest
匈牙利

- 1965年全球首台树脂浇注干式变压器由西门子能源研发并推出



Leon
墨西哥

亚太区域市场



广州
中国

- 西门子能源配变技术中心及全球设计中心

Restricted © Siemens Energy, 2026

Siemens Energy is a registered trademark licensed by Siemens AG.

主要内容

1 个人及公司介绍

2 产品特点结合仿真需求

3 仿真应用介绍

4 难点解决方案

5 总结与展望

Restricted © Siemens Energy, 2026

干式变压器 – 产品特点

产品、设计、仿真全景

1. 产品业务特点

- 小批量
- 定制化
- 短周期
- 高成本



2. 设计要求与难点

- 阻抗误差可控；
- 损耗低于限制；
- 温升低于限制；
- 快速响应及成本控制；

多物理场仿真

4. 仿真需求和供给

需求：

- 多种方案对比寻优；
- 结果稳定可复现；
- 7x24h待命

供给：

- 两台工作站；
- 仿真工程师1人；

3. 仿真技术

仿真内容：

- 阻抗和损耗；
- 散热和温升；
- 结构强度评估；

优点：

- 精度高；
- 泛化能力强；

缺点：

- 计算资源依赖；
- 响应速度慢；
- 专业度要求高；

仿真价值分析

报价投标

应对复杂需求
提升价格优势

产品设计

提升设计准确性
控制方案成本
可靠性评估

产品研发

低成本产品开发
产品优化改进
缩短变更周期

质量控制

故障诊断和复现
质量过程管控
技改方案评估

模式对比

传统设计模式

计算时间：
计算精度：
泛化能力：
复杂度：

基于理论公式和数据拟合的工具，精度与产品参数是否属于常见区间关系紧密，无需仿真工程师参与。

设计-仿真协作模式

计算时间：
计算精度：
泛化能力：
复杂度：

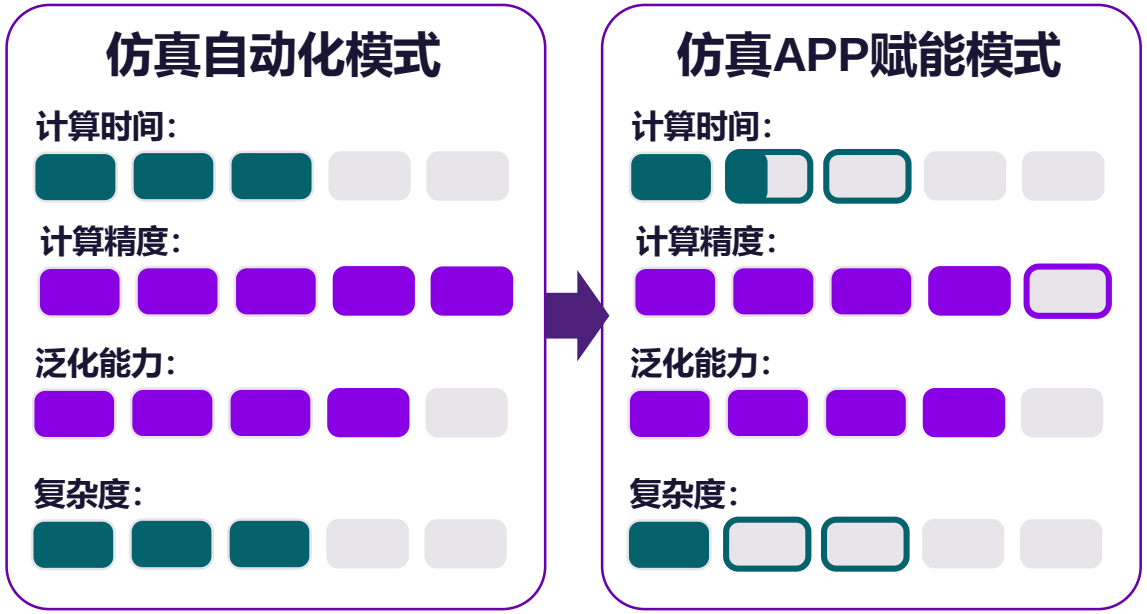
根据设计方案分别手动建模，精度与仿真工程师经验有一定关系，可以覆盖任意同类产品的需求。设计工程师和仿真工程师之间的沟通提升了复杂度。

仿真自动化模式

计算时间：
计算精度：
泛化能力：
复杂度：

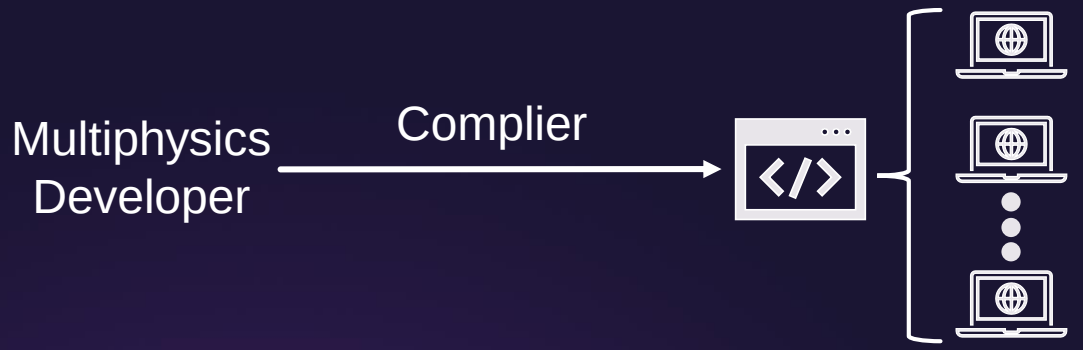
通过参数化和自动化实现仿真提速，精度维持不变。但自动化同时限制了泛化能力。设计工程师与仿真工程师的沟通基于参数，复杂度降低。

能否进一步提升?



提升想法:

1. 扩大自动化范围，只保留参数输入和结果输出。
2. 极致简化模型，计算资源需求压缩到常规办公笔记本性能范围内，全仿真时间压缩到5min之内。允许牺牲少量精度。
3. 总结多种工况场景，使得泛化需求充分定向，实现泛化需求全覆盖。



技术难点:

1. 大量参数输入的时间成本以及错误参数识别;
2. 流体和传热模型的维度降低（从3D降低到2D)过程中的设置转化、理论依据和精度控制;
3. 网格数目控制目标主导的几何模型简化需求如何实现;
4. 全参数范围的网格的稳健性控制如何实现;
5. 多物理场解耦可行性以及误差控制;
6. 界面设计通俗易懂，操作简便。
7. 无Java编程基础下实现复杂程序功能。

Restricted © Siemens Energy, 2020

主要内容

1 个人及公司介绍

2 产品特点结合仿真需求

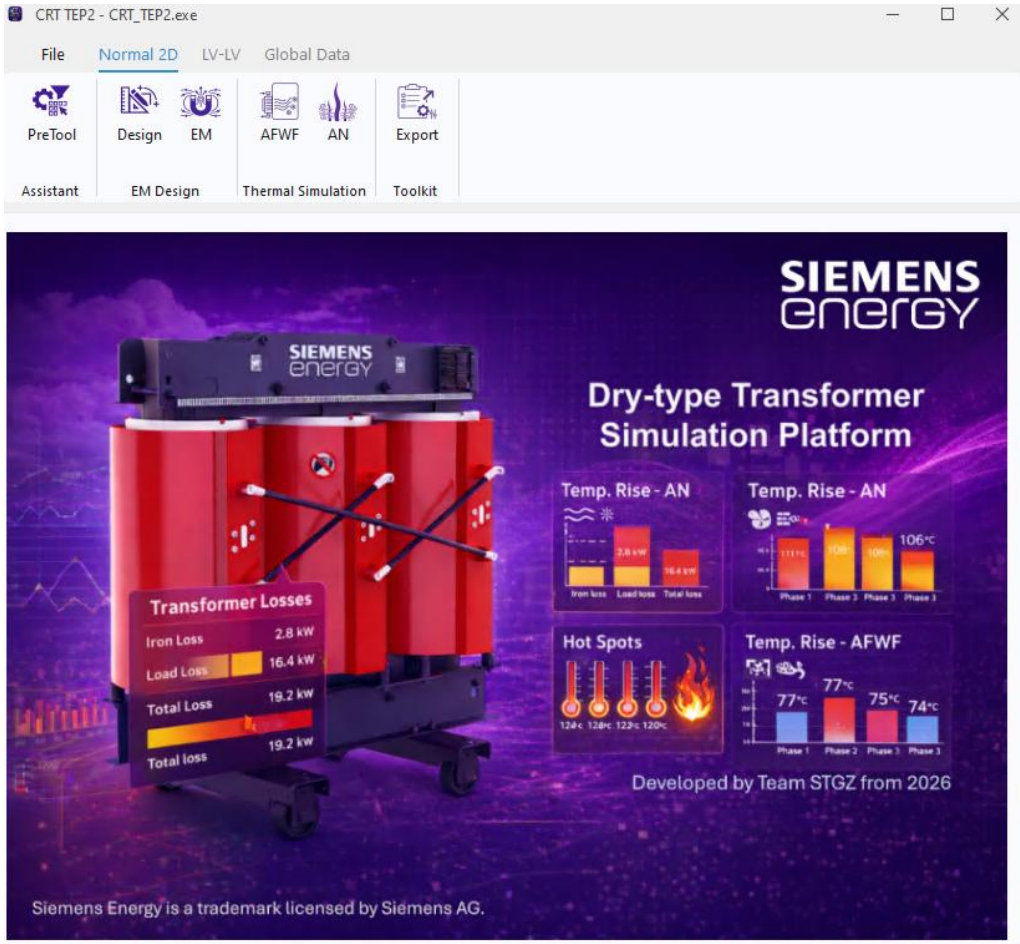
3 仿真应用介绍

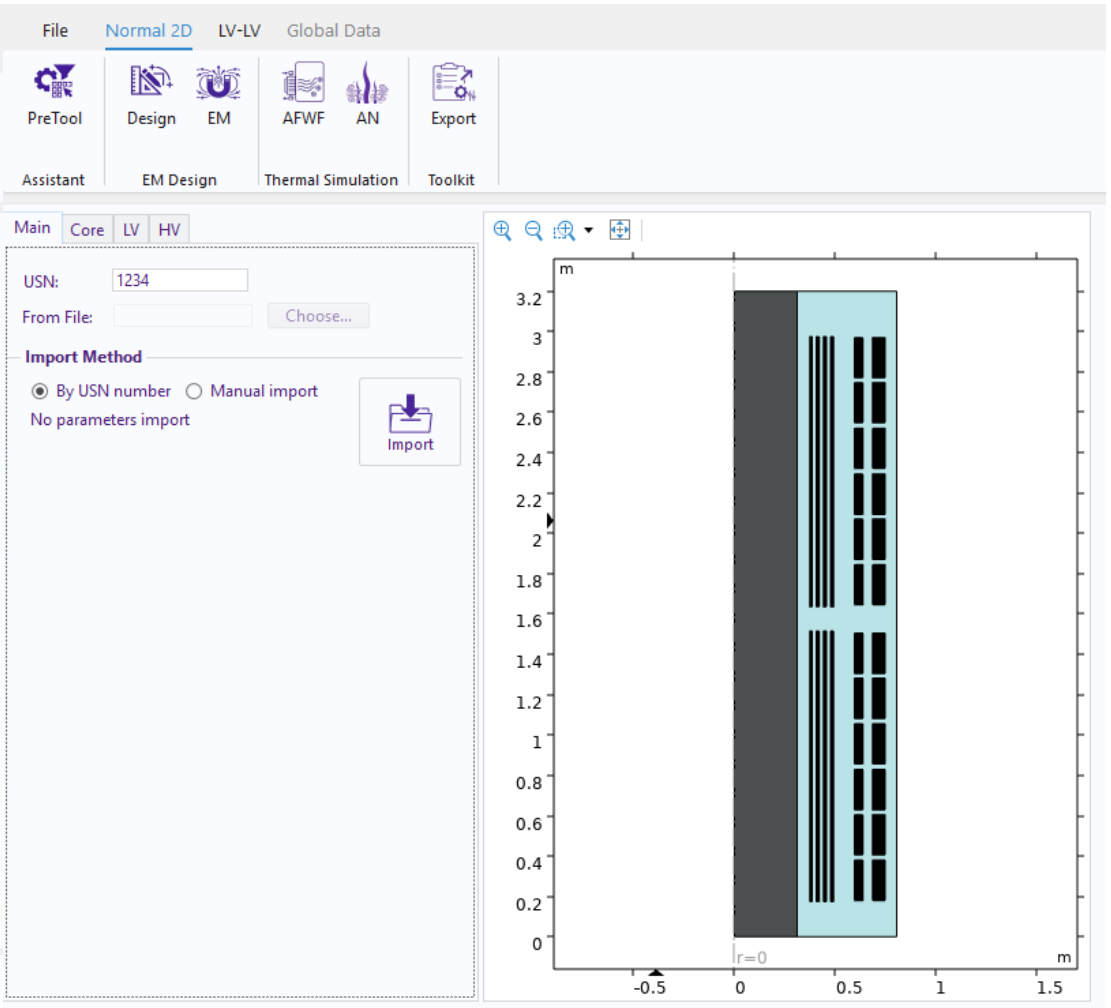
4 难点解决方案

5 总结与展望

Restricted © Siemens Energy, 2026

界面与功能展示 1

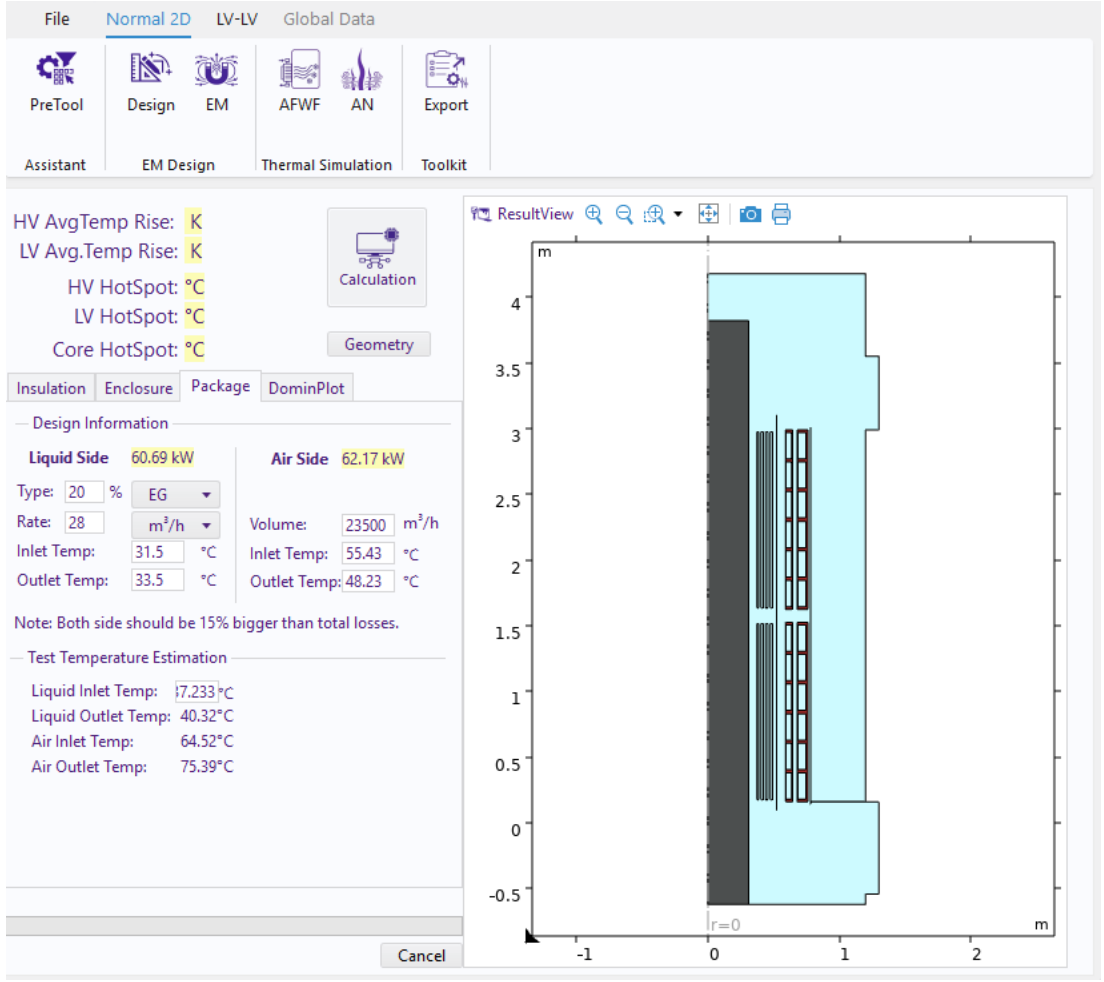


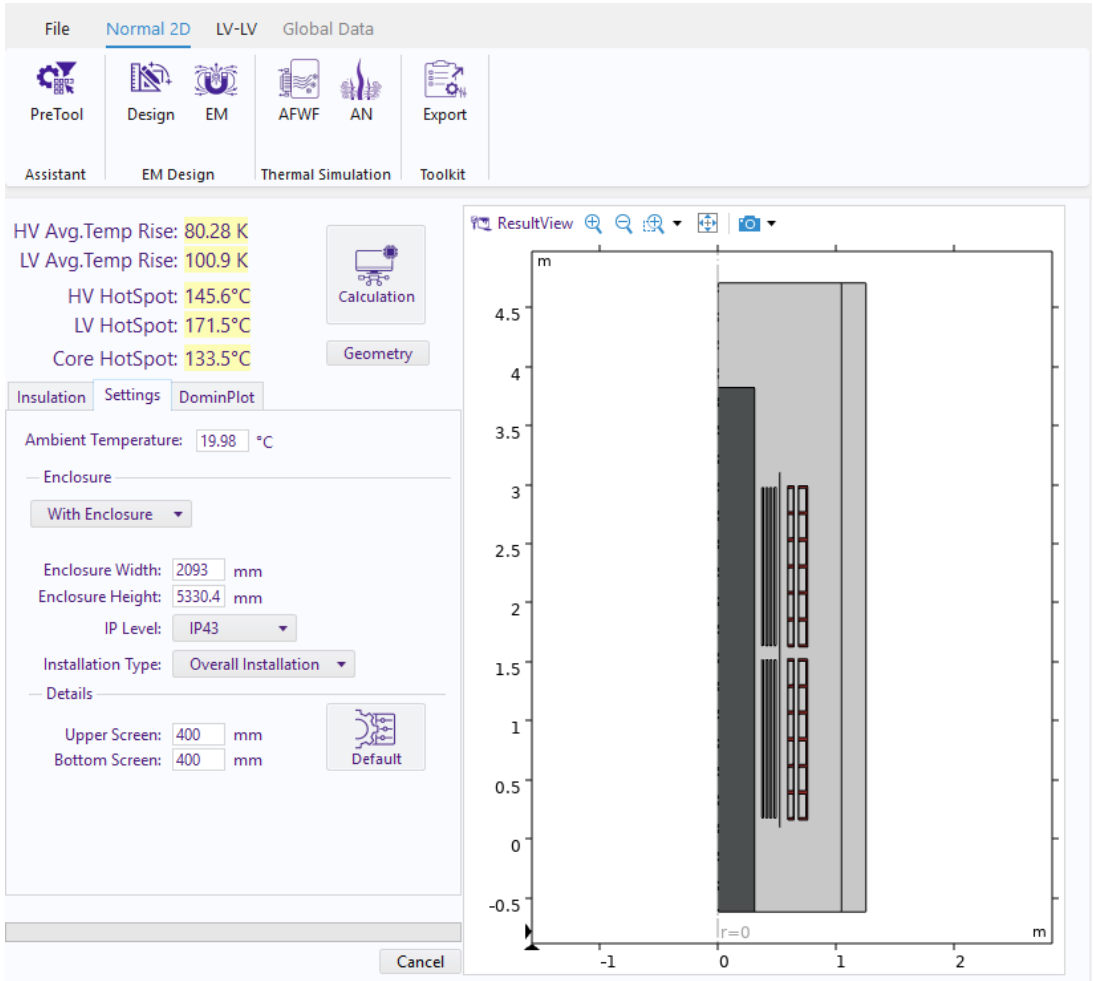


Siemens Energy is a registered trademark licensed by Siemens AG.

Restricted © Siemens Energy, 2026

界面功能展示 2

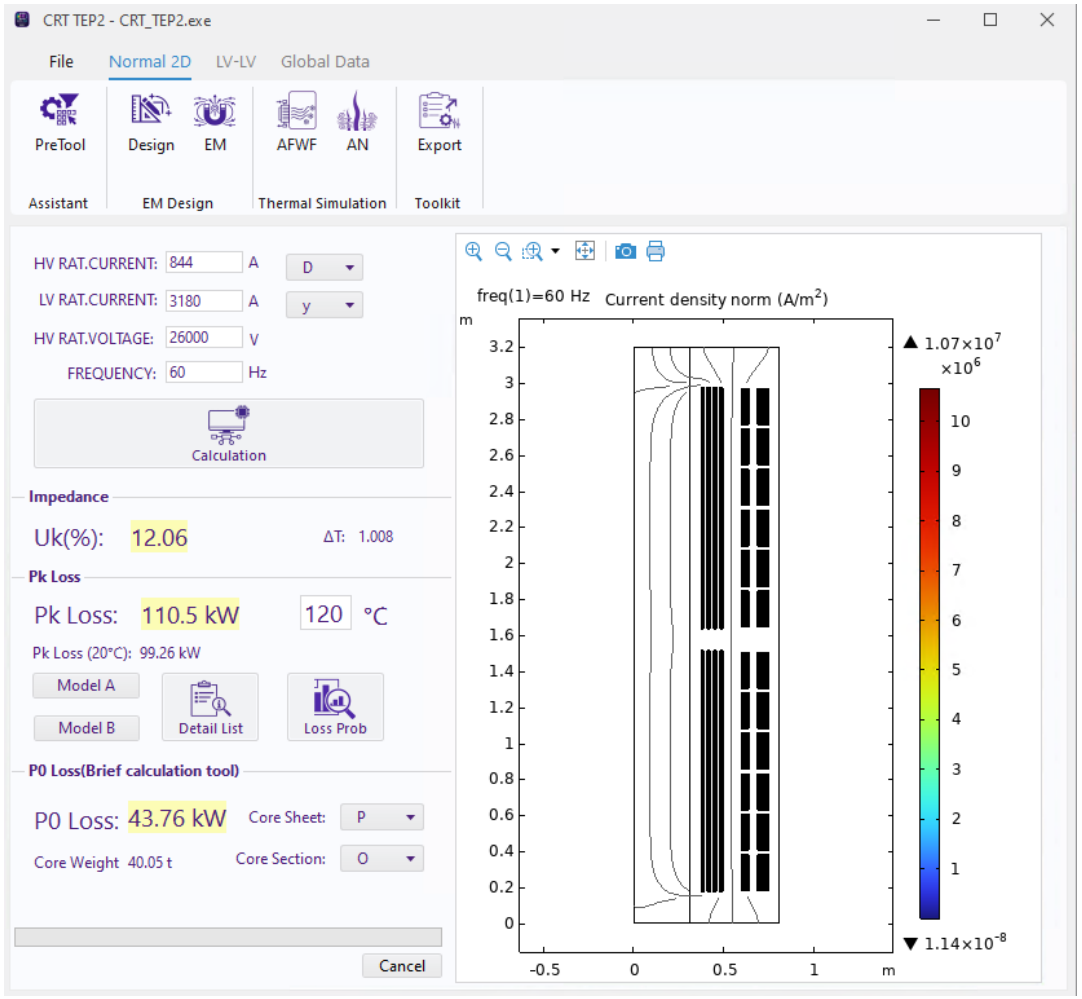


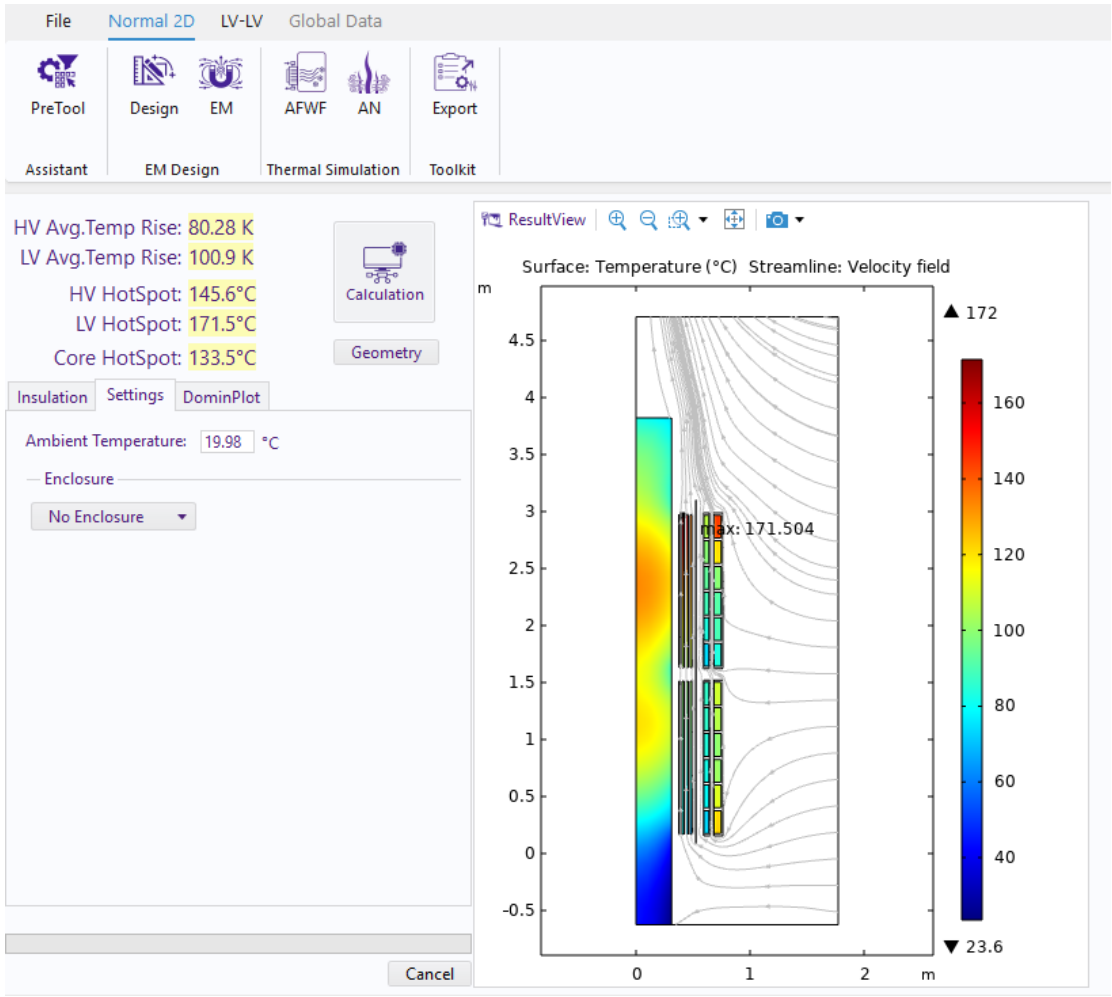


Siemens Energy is a registered trademark licensed by Siemens AG.

Restricted © Siemens Energy, 2026

界面功能展示 3





Siemens Energy is a registered trademark licensed by Siemens AG.

Restricted © Siemens Energy, 2026

仿真应用=看不见“仿真”的应用

请带着问题观看：

0. 哪些元素让你看见“仿真”的踪迹？

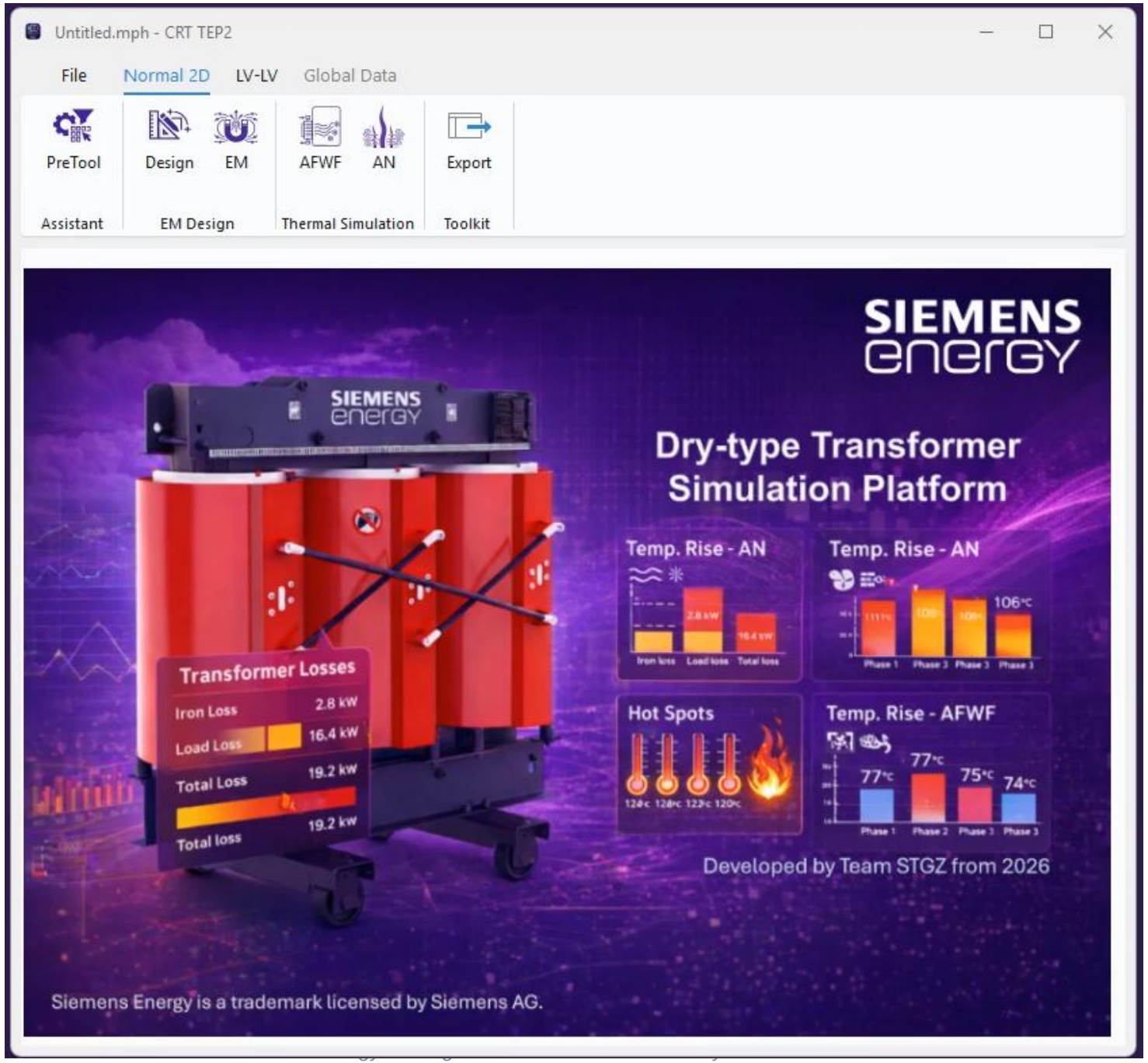
1. 不考虑功能展示部分，点击几次鼠标可以完成一个方案的全流程仿真？

2. 需要多长时间的培训，设计人员可以熟练使用？

3. 背后有多少个可变参数，可以覆盖日常需求的范围？

Restricted © Siemens Energy, 2026

Siemens Energy is a registered trademark licensed by Siemens AG.



SIEMENS energy

问题展示：

1. 不考虑功能展示部分，点击几次鼠标可以完成一个方案的全流程仿真？
2. 需要多长时间的培训，设计人员可以熟练使用？
3. 背后有多少个可变参数，可以覆盖日常需求的范围？

Restricted © Siemens Energy, 2026

主要内容

1 个人及公司介绍

2 产品特点结合仿真需求

3 仿真应用介绍

4 难点解决方案

5 总结与展望

Restricted © Siemens Energy, 2026

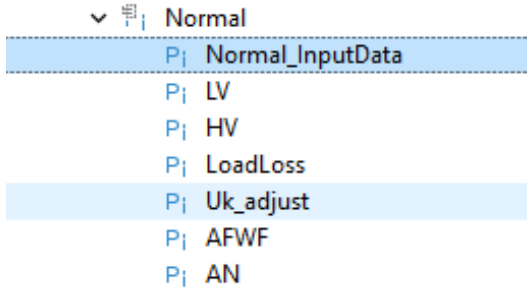
参数输入输出和管理

难点详情：

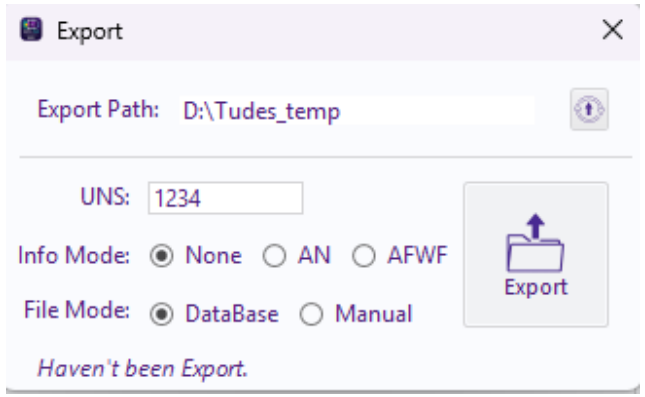
1. 全部参数有300多个 vs. 107个有效参数
2. 能够从现有数据库读入信息，可以基于方案调整参数，可以存储最终调整后的参数

解决方案：

1. 从产品数据库获取参数信息：采用VBA编写读取工具；
2. 数据导入，导出和管理，采用统一编码实现从产品数据库到最终结果导出使用唯一索引；
3. 参数集中数值参数和表达式参数分开存放；




```
model.param("par2").loadFile(path);
```



Restricted © Siemens Energy, 2026

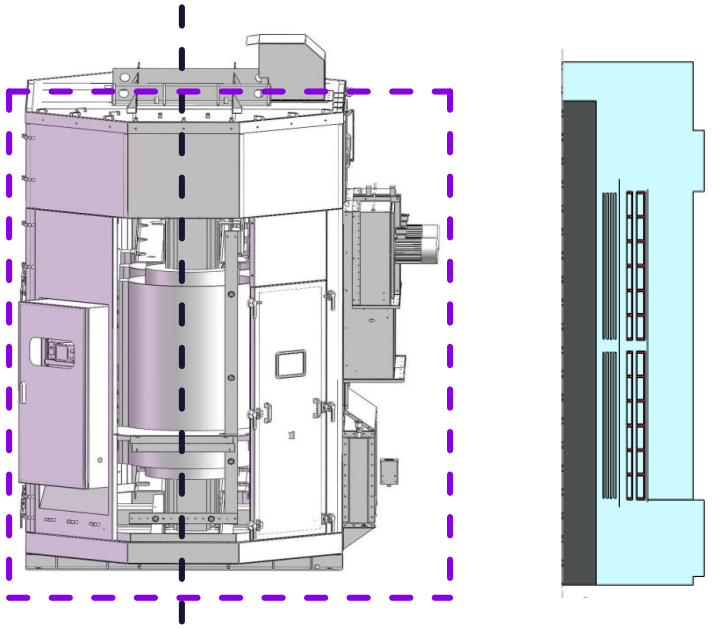
从三维模型降低到二维模型

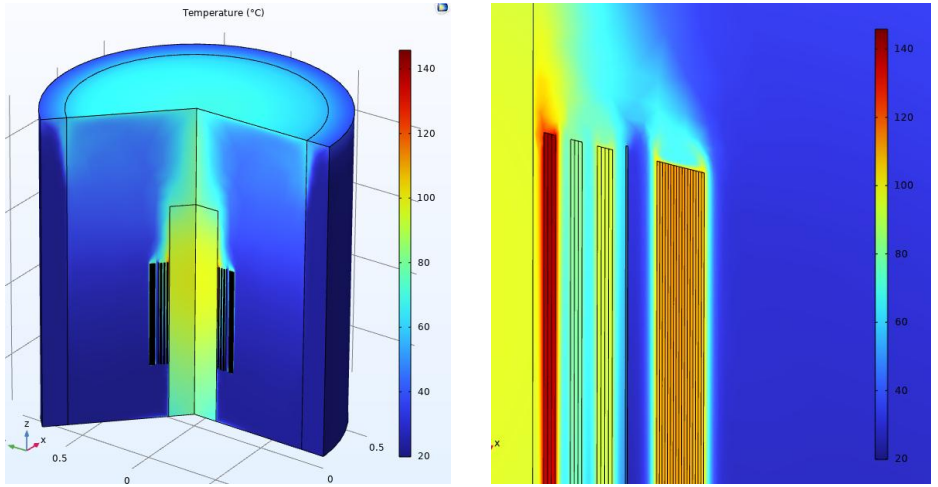
难点详情：

1. 边界维度降低，部分空间面变成面，部分空间面投映为线，需要从物理意义上考虑等效转化；
2. 维度降低导致损耗、流量等单位的维度减少，不同的单位影响结果处理的等效性。

解决方案：

1. 从稳态的平衡方程考虑简化思路；
2. 分析失去的维度是否包含权重；





Restricted © Siemens Energy, 2026

降低网格数目驱动的简化

难点详情：

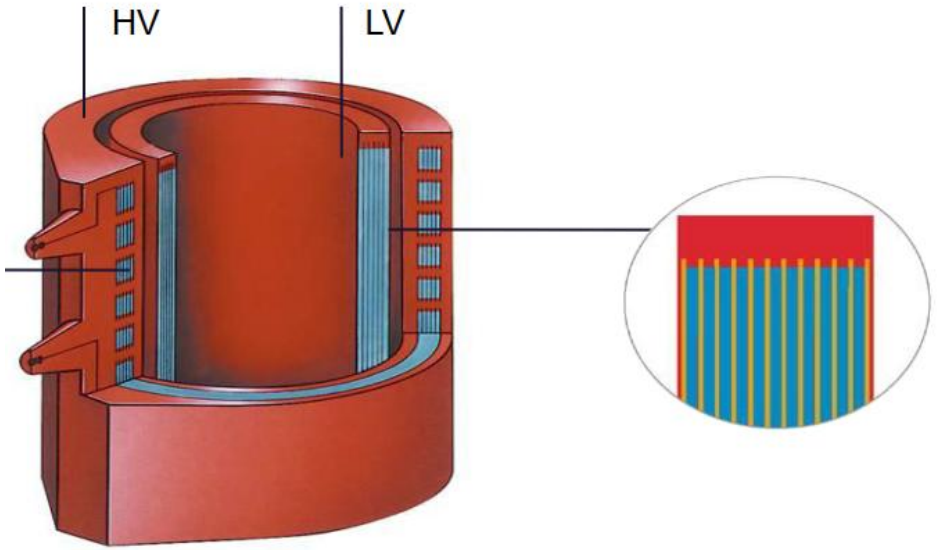
1. 合理划分网格已经达到极致，网格数量级仍然较高；
2. 小尺度薄层的合理简化，以及简化过程中产生的影响；

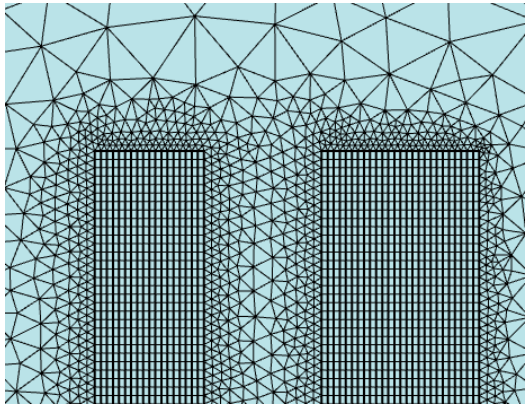
解决方案：

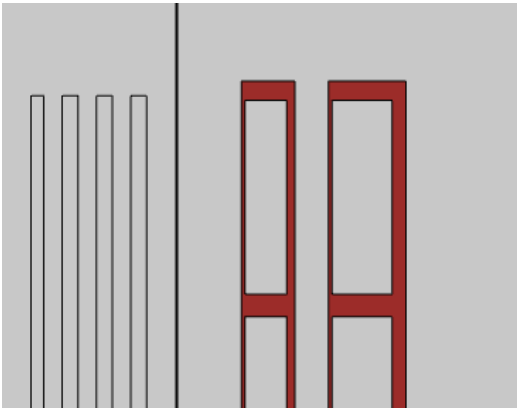
基于理论分析，将小尺度几何与周围几何进行合并、降维或者直接忽略，实现网格量级减少；

右图所示导体截面的简化影响：

1. 导体截面积增大，对损耗产生影响；
2. 导体截面积增大，对阻抗产生部分影响；
3. 流体传热分析中使用热阻串并联进行等效；





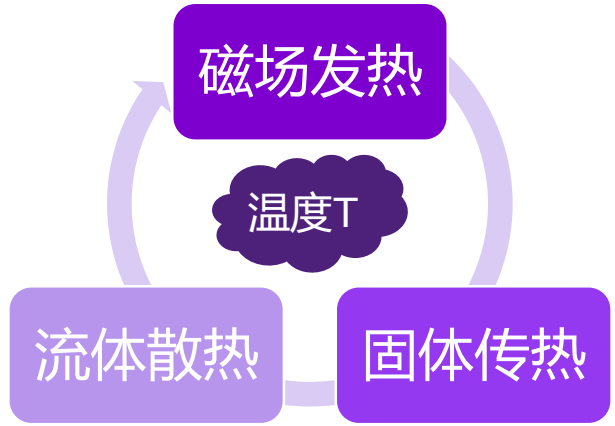


Restricted © Siemens Energy, 2026

物理场解耦的尝试

难点详情：
物理场解耦过程必然伴随简化，需要试验数据辅助评估对结果的影响大小；

解决过程：
1.寻找耦合物理场中维持传递关系的物理量；
2.分析物理量在每个物理场中的关系式，选择最简单的关系开展解耦；
3.通过变量调用把关系表达式直接带入到另外的物理场中实现解耦；
4.通过试验数据比对，小心检验偏差；



磁场：
损耗Q和温度T

$$\begin{cases} Q_{loss,20} = Q_{I^2R,20} + Q_{eddy,20} \\ Q_{I^2R,T} = Q_{I^2R,20} \div \dfrac{235+T}{235+20} \\ Q_{eddy,T} = Q_{eddy,20} \div \dfrac{235+T}{235+20} \end{cases} ?$$

Restricted © Siemens Energy, 2026

界面设计与复杂编程

难点详情：

1. 不了解UI如何去设计才能具备良好的用户体验；
2. 无编程基础，复杂功能就不知道如何实现；

解决过程：

UI部分：

1. 广泛获取意见，不断优化。
2. 减少点击次数，减少参数输入，界面结构尽量保持一致性；
3. AI辅助系列化图标设计；

编程部分：

1. 善用Record Method功能；
2. 善用AI的力量，Chatbot很好用。

```java
// 取Exportpath 里的预放置路径作为默认起始目录
String initPath = Exportpath; // 为避免误操作，过程中用临时initPath代替
java.io.File initDir = null;
if (initPath != null && initPath.trim().length() > 0) { //判断初始路径是否为空，并且有字符。 可以避免后续更
  initDir = new java.io.File(initPath); //创建目标路径变量initDir，使用初始路径
  if (!initDir.exists()) initDir = null; //判定初始路径是否存在，若不存在更新为空
}

//Create father window of JDialog
javax.swing.JDialog topFrame = new javax.swing.JDialog();
//创建Java窗口选择
javax.swing.JFileChooser chooser = new javax.swing.JFileChooser();
chooser.setDialogTitle("Choose the Export folder");
chooser.setFileSelectionMode(javax.swing.JFileChooser.DIRECTORIES_ONLY);
chooser.setAcceptAllFileFilterUsed(false);
// 设置起始目录
if (initDir != null) chooser.setCurrentDirectory(initDir);
// 弹窗：APP 在 Desktop/本地运行时通常 OK
int ret = chooser.showOpenDialog(null);
if (ret == javax.swing.JFileChooser.APPROVE_OPTION) {
  java.io.File dir = chooser.getSelectedFile();
  if (dir != null) {
    String path = dir.getAbsolutePath();
    Exportpath = path; //更新路径
  }
}
```



Restricted © Siemens Energy, 2026

主要内容

1 个人及公司介绍

2 产品特点结合仿真需求

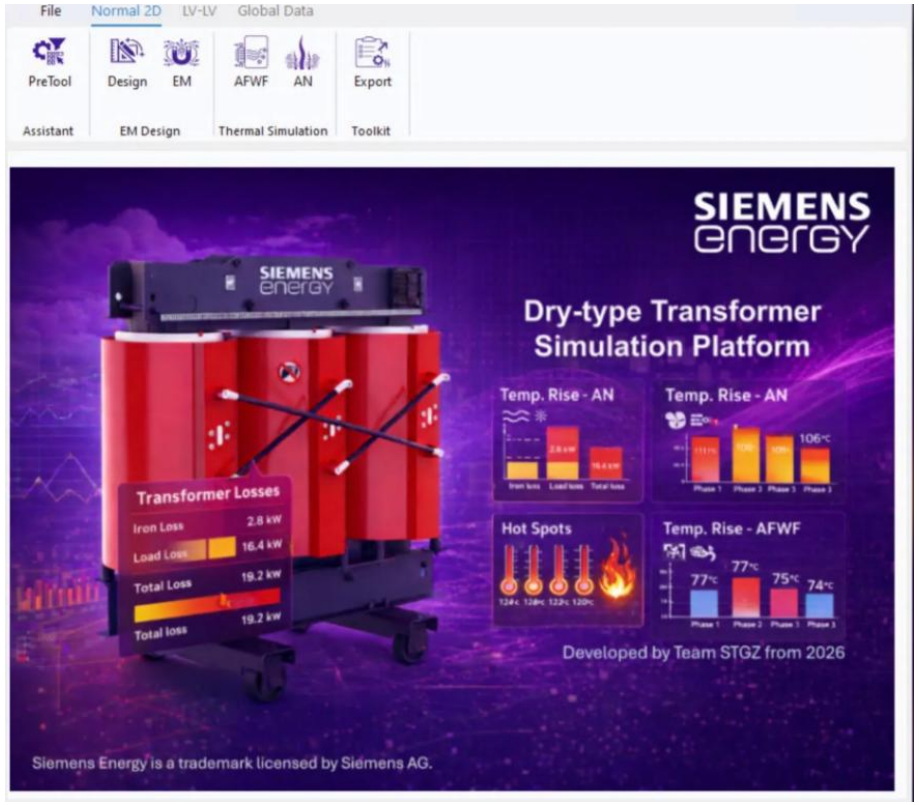
3 仿真应用介绍

4 难点解决方案

5 总结与展望

Restricted © Siemens Energy, 2026

总结与展望



阻抗损耗

- 30s 传统工具
- 15m 仿真自动化

2m CRT_TEP2

温升

- 30s 传统工具
- 5h 三维仿真自动化

5m CRT_TEP2

计算资源

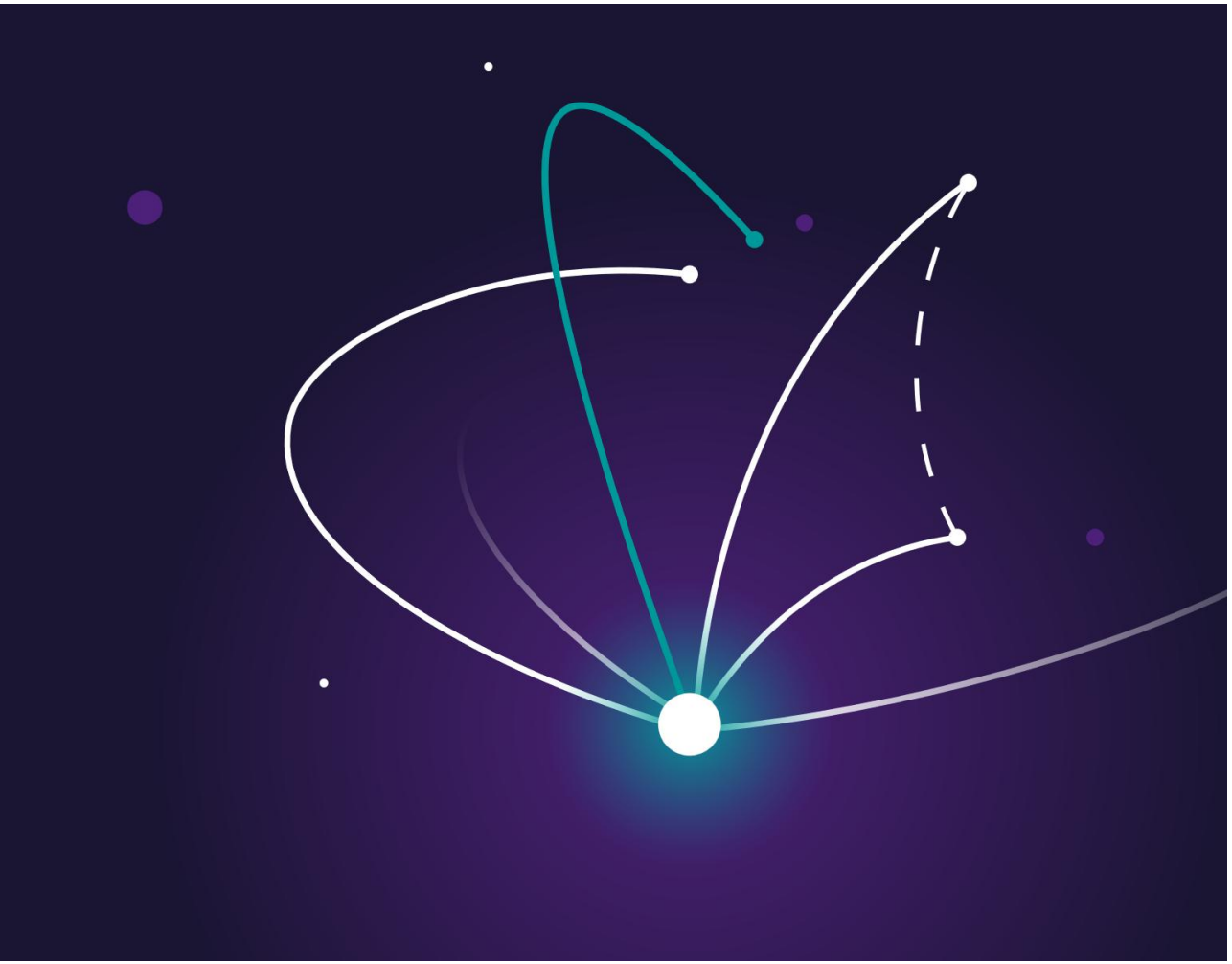
- 普通电脑 传统工具
- 性能工作站 仿真自动化

普通电脑 CRT_TEP2

Siemens Energy is a registered trademark licensed by Siemens AG.

Restricted © Siemens Energy, 2026

联系方式



广州西门子能源变压器有限公司

马宇航 | Ma Yu Hang

高级研发工程师 | Senior R&D Engineer

地址：广东广州市黄埔区永盛路26号

手机：18629300864

邮箱：yuhang.ma@siemens-energy.com

siemens-energy.com

2026-10-22 Siemens Energy is a registered trademark licensed by Siemens AG.

Restricted © Siemens Energy, 2026