

基于多物理场的仿真试验一体化平台建设研究

胥建文 臧英 程军卫 陈淑甜 吴泽

山东电力设备有限公司

DOI:10.12238/acair.v2i3.8628

[摘要] 多物理场仿真试验一体化平台的搭建,专用于变压器设计仿真分析的计算平台,实现参数化、规范化的仿真过程,有效提高变压器结构设计和仿真分析效率,缩短产品研制周期,为企业的可持续发展打下基础。

[关键词] 仿真; 一体化; 云平台

中图分类号: TU232 **文献标识码:** A

Research on the Construction of an Integrated Simulation Experiment Platform Based on Multiple Physical Fields

Jianwen Xu Ying Zang Junwei Cheng Shutian Chen Ze Wu

Shandong Power Equipment Co., Ltd

[Abstract] The construction of an integrated platform for multi physics field simulation experiments is a calculation platform specifically designed for transformer design simulation analysis. It realizes a parameterized and standardized simulation process, effectively improves the efficiency of transformer structure design and simulation analysis, shortens the product development cycle, and lays the foundation for the sustainable development of enterprises.

[Key words] simulation; Integration; Cloud platform

引言

随着电力行业的快速发展,变压器的设计和制造对性能、效率和可靠性要求越来越高。传统的设计方法往往依赖于经验和试错,导致研发周期长、成本高且难以保证产品性能。因此,开发一种高效、准确的变压器设计仿真分析平台显得尤为重要。多物理场仿真试验一体化平台通过整合多物理场仿真模型,实现了参数化、规范化的仿真过程,为变压器设计提供了新的思路和方法。

1 研究内容

1.1 整体平台建设思路

系统框架是仿真分析模板的基础和总成,基于ANSYS Workbench环境进行构建,在该框架定制不同分析类型的仿真流程、数据关联以及参数管理与驱动。同时,对仿真分析过程中产生的各类数据进行有效记录和管理。

系统集成有Vel, VIT专用软件接口,以及Infolytica、Ansys-SpaceClaim、Ansys-Mechanical和Ansys-Fluent通用软件接口,满足参数化建模和自动化仿真模板功能,此外,系统还集成Office的COM接口,通过调用Word/PPT,实现一键生成报告功能。

多物理场仿真试验一体化平台的项目开发工作主要包含:封

装集成软件接口、数据库管理、变压器计算单模板、参数化几何建模、有限元自动化仿真、仿真报告自动化、交互设计与开发。



图1 多物理场仿真试验一体化平台架构图

1.2 计算单解析

变压器计算单解析模块的开发包含以下内容:

通过开发基于B/S架构的计算单文件生成软件,使打开浏览器登录对应账号密码找到对应计算的通用或者专用页面,输入对应参数和程序读取标准excel计算单表格中的数据,快速生成

中间文件,例如ini文件,因为对应情况分为通用以及专业版,可以根据对应情况分别选择使用,用户得到快速生成的输入文件后,在专业计算软件中不再需要进行手工输入,直接通过导入即可完成全部参数的输入,从而提高工作效率。

表1 计算单解析模块开发

1	220 计算单	温升TranCalc
2	220 计算单	短路 WELDINT
3	220 计算单	短路 VEI-REST
4	220 计算单	波过程 IMV
5	500 计算单	温升TranCalc
6	500 计算单	短路 WELDINT
7	500 计算单	短路 VEI-REST
8	500 计算单	波过程 IMV

1.3 参数化建模

参数化建模是基于三维软件的模型特征,模型参数,关系式等信息,建立模型变形时的关联关系,通过参数化建模可以设定参数化的驱动参数,实现:

1.3.1 数据模型存储方式。数据管理员将已经参数化的模型存入到文件共享服务器上,包括了标准模型和该模型对应的参数列表。

1.3.2 数据调用流程及方式。在应用程序运行过程中,根据用户输入的变压器电压等级结构类型,从模型库中将符合条件的模型筛选出来,并显示在用户三维关键界面上。(1)系统获取到标准模型的各种参数及尺寸信息,并进行显示。(2)用户通过开发好的界面进行参数和尺寸的更改。(3)系统根据输入参数将当前模型进行驱动变形

1.3.3 系统前后台整合流程。采用三维模型与程序控制相结合的方式。三维模型不是由程序创建,而是利用交互方式生成。在已创建的零件三维模型基础上,进一步根据零件的设计要求建了一组可以完全控制三维模型形状和大小的设计参数。参数化程序针对该零件的设计参数进行编程,实现设计参数的检索、修改和根据新的参数值生成新的三维模型的功能,其过程如下图2所示:

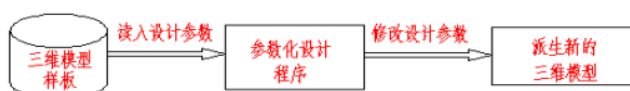


图2 三维新模型生成过程

对零件的二次开发,只需对同类产品的三维模型进行参数化修改,派生出新的三维模型。也就是说,先建立参数化模型,再通过调整其参数来改变几何形状,从而实现产品的精确造型。

基于三维模型参数化程序设计方法,主要内容包括三维模型的创建、设计参数的确定及参数化程序设计等。

1.4 模型参数化系统实施过程包括:

1.4.1 系统调研及方案制定阶段(基础数据调研阶段)。统计:统计220,500KV产品常用零件,并获取相关信息(参数,尺寸,变形等)常用类型、型材类型、标准化程度、使用频率、结构、具体参数(外形参数和加工参数及变化方式)。截面:零件的截面分析及归类。路径:零件的路径的分析及归类。变形:确定变形方式及控制参数。建模:根据变形种类进行建模。

1.4.2 标准模型建模。模型:选定一类需要建模的零件。变形:确定零件变形种类。截面:零件截面的建立。路径:零件路径的建立。汇总:零件汇总并输入模型库。3D模型建立(依据调研结果建立3D模型——添加驱动参数——添加关系式)。

1.4.3 系统开发阶段。界面:用户预期界面的编制;通用函数:将系统需要调用的函数进行固化供开发调用,在以后用户自行维护过程中需要的函数也可以借用这些函数;代码编写:分模块进行代码的编写并测试;系统整合:代码合并和联调,整合模型和代码进行运行测试。

1.4.4 系统测试阶段。内部测试:系统开发完成后,项目组内部进行测试,形成测试报告和解决方案;系统修复:根据内部测试的结果和解决方案进行bug修复;用户测试:将进行内部测试完成修复的系统发布给用户进行测试,形成用户测试报告,并提出解决方案;系统修复:根据用户测试形成的解决方案,进行系统bug修复;安装上线:软件打包及部署,客户端和服务端端的软件安装以及配置等。

1.5 自动化仿真模板

自动化仿真模板包含电场分析模板、磁场分析模板、热分析模板和结构分析模板。这类模板适用于220和500变压器模型。自动化模板开发的技术路线主要包含如下步骤:

①固化仿真流程,从仿真人员的不同类型分析算例中固化出各类型仿真流程。②针对固化的仿真流程进行脚本测试与封装,其中包含模型、材料、网格、边界、求解等参数。③交互设计,将输入参数采用界面框架进行封装,允许用户交互设置输入参数。④实现底层软件接口集成,通过接口驱动底层软件执行脚本动作,完成分析计算。⑤解析结果数据,调用文档类程序的接口实现自动生成报告。

1.6 软件接口集成

软件接口集成包含三部分:

①自动化模板功能执行底层调用接口。②磁热、磁结构计算数据转换接口。③生成报告的模板软件接口。

2 结果与讨论

表2 软件接口分类

序号	接口类型	功能
1	SpaceClaim 接口	模型简化
2	Workbench 接口	Ansys 工作流建立
3	Fluent 接口	热仿真
4	Mechanical 接口	结构仿真
5	Magnet 接口	磁仿真
6	Elecnec 接口	电场仿真
7	Office Word 接口	生成报告
8	Magnet-Fluent 接口	数据转换
9	Magnet-Mechanical 接口	数据转换

2.1 计算单开发

2.1.1 温升计算项目框架搭建, excel 文件读取。

Excel 文件是按照标准格式进行设置的, 用户在进行输入时必须使用标准格式的文件, 便于程序进行读取。读取方法主要分为以下方式:

单元格读取: 程序通过读取 excel 中指定的参数的行列的具体数值进行文件中值得提取。关键字读取: 程序通过读取关键字进行抓取关键字的相对位置的数值, 例如通过“相电压”“线电压”等关键字进行读取再进行偏移单元格中的数值和文字信息。直接读取: 通过程序直接读取某些单元格或者关键字, 直接提取该数据。

表3 excel 表格文件示例

高压	334	MVA	Et		461.538	总匝数		657
	线电压	相电压	相电流	线圈匝数	线圈电压	电压误差	误差%	
	525000	303109	1101.9	657-28-274	355	303231	122	0.040
中压	334	MVA	Et		461.538	调压每级匝数		7
分接	线电压	相电压	理论电流	实际电流	线圈匝数	调压范围	电压误差	误差%
1	241500	139430	2395.5	1293.6	302	5.0%	-45	-0.033
2	235750	136110	2453.9	1352.0	295	2.5%	44	0.032
3	230000	132791	2515.2	1413.3	288	0%	133	0.100
4	224250	129471	2579.7	1477.8	281	-2.5%	222	0.171
5	218500	126151	2647.6	1545.7	274	-5.0%	311	0.246
低压	100	MVA	Et		461.538			
	相电压	36000	线圈电流	2777.8	匝数	78		

2.1.2 温升计算软件 ini 生成, 完成部分参数的读取生成, 再进行进一步细化。

用户在 web 页面进行自定义参数值的输入, 后续进行相关输入标签的汉化显示, 便于用户进行识别。

2.1.3 所有用户在进行计算之前都需要进行系统登录。

2.1.4 系统管理功能可对使用系统的用户, 角色, 菜单等进行管理和设置, 保证不同用户对系统中的不同计算的使用权限。

2.2 参数化建模

参数化建模整体按照模型加参数, 关系式相关联的方式进行, 先进行模型的基本特征的建立, 然后将参数化值进行设定, 最后通过关系式设定, 可实现内容如下:

①实现电场四线圈模型搭建及参数化驱动; ②实现电场磁场 500KV 模型搭建及参数化驱动; ③实现 220KV 模型搭建及参数化驱动。

2.3 变压器结构模型简化规范

基于变压器的实际构造和功能, 将复杂的结构简化为几个关键部分, 通过数字、信息详细解释每个部分的作用和特性。构建的变压器结构模型中, 可以实现以下:

①抑制模型中所有面体; ②按命名规则, 筛选抑制变压器整体模型中的无关几何; ③清理微小或无关结构; ④去除模型的无关圆角; ⑤去除模型中不必要的孔; ⑥充填部分模型的特征凹面; ⑦充填法兰孔 ⑧简化中间垫层几何; ⑨按照命名规则进行结构分组。

2.4 自动化模板

2.4.1 SpaceClaim 接口集成: 搭建了结构模型简化插件的框架, 基于插件的开发形式, 在 SpaceClaim 主窗体添加了功能插件菜单及功能项。

2.4.2 确定了几何模型处理功能及清理规则, 其中, 功能项包含导入模型、自动清理多余面体和线体、根据图号规则清理对于几何实体、抽中面(面体)、自动延伸(面体)、清理圆角、法兰简化(针对有压力法兰封堵)、自动创建命名组(用于边界施加自动化)。

2.4.3 实现 Mechanical、Workbench、SpaceClaim 部分功能脚本测试及封装。

3 结论

本文研究了基于多物理场仿真试验一体化平台的变压器设计仿真分析方法。通过参数化建模和多物理场协同仿真, 我们实现了高效、准确的变压器设计分析过程。实验结果表明, 该平台能够显著提高变压器设计效率, 缩短产品研制周期, 为企业的可持续发展打下基础。

【参考文献】

[1] 陈雪琨, 王科龙. 基于物理模拟的配电自动化仿真试验系统研究与实现[J]. 自动化与仪器仪表, 2024, (05): 127-131.
[2] 范一鸣. 基于多物理场仿真与试验的变压器振动特性研究[D]. 沈阳工业大学, 2023.

[3] 赵立华, 李博, 丁彦杰, 等. 半物理仿真系统及模型的试验分析[J]. 电子工业专用设备, 2022, 51(06): 1-5+16.

作者简介:

胥建文(1975--), 男, 汉族, 山东省邹平市人, 大学本科, 正高级工程师, 研究方向: 大型电力变压器研发与仿真。