附件：电气工程综合仿真实验室软件需求参数

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **软件名称** | **技术参数要求** | **单位** | **数量** |
| 1 | 微电网工程设计虚拟仿真软件 | 1.微电网工程设计虚拟仿真软件内容包含多领域机理模型虚拟仿真平台和监控设计软件两部分。2.多领域机理模型虚拟仿真平台具有以下功能：电力网络仿真采用潮流计算，支持微电网交直流混合网络实时潮流计算。系统数学模型方程遵循能量、质量和动量守恒定律。主要系统和被仿真设备按质量、能量和动量转换定律严格推导。电气物理特性由公式或查表方式计算，其精确度满足仿真全工况过程的稳态精度要求；3.具有仿真控制功能：以实时数学模型作为底层支撑，包括仿真时钟管理功能、实时数据库功能、仿真模型调度功能、工况管理功能、多机协同仿真功能，并且提供和二维、三维图形软件以及其它第三方软件进行数据交互的接口。（提供证明材料截图）。4.具有图形化建模功能：用户能增删、旋转、翻转、重命名模块，在编辑模块时，模块的端子、文本及接线能同步变化；可实现模块的端子间接线、端子与线的接线功能；（提供证明材料截图）。5.支持设备模块库管理、仿真系统搭建、仿真系统运行、仿真系统调试等自主设计功能；6.具有自定义封装模块功能：可通过平台模块库中所提供的子模块，封装实现特定功能的自定义模块；7.具有修改参数功能：在仿真开始前，可通过模块的参数面板输入仿真参数，并保存参数；在仿真过程中，用户可实时修改模块参数，参数修改后仿真能持续运行；8.＃具有以下模块库：交流模块：交流电网模块，交流断路器、交流负载、交流节点、交流母线、阻抗元件、电机等；直流模块：直流电网模块，直流开关、直流负载、直流节点、直流母线、电阻元件；微网模块：直流充电桩、储能电池、光伏发电组件、风力发电机等；变压模块：变压器、整流器、逆变器、直流变换器。具有仿真数据导出功能：平台具备实时显示数据功能，并能导出仿真数据至本地。（提供证明材料截图）9.图形化建模平台应具备建模功能：（1）支持用户生成模块，增删、旋转、翻转、重命名模块，支持用户端接信号线、电力线，接线包括端子与端子、端子与接线连接，支持建模撤销、重做功能。（2）支持用户修改仿真步长、仿真速度、计算方法的功能；（3）平台支持实数、向量、矩阵及张量输入及信号流传递功能；（4）平台支持FMI协议，可与MATLAB/Simulink生成的fmu模块联合仿真；（5）平台具备在线修改电阻、电感、电容模块参数，输出波形能连续变化的功能。10.监控软件具有新建设计文件、删除设计文件、保存设计文件、设计文件重命名等功能；新建文件可新建多个文件，并同时保存；11.设计界面具有设计文件区、图元图库区、属性区、图层区；12.软件界面具有新建、保存、撤销、重做、左对齐、垂直居中对齐、右对齐、顶对齐、水平居中对齐、底对齐、清空、运行、暂停、操作帮助、关闭等功能按钮；13.在设计监控界面时，支持画布移动、画布缩放、图元移动、框选图元、删除图元、清空图元、图层重命名、绑定变量、工程运行与暂停、退出等操作；14.＃包含以下图元图库：基本图元：线段、文本、数字变量、按钮、曲线；标准图库：光伏、风机、逆变器、整流器、变压器、直流变换器、断路器、储能、负载；（提供证明材料截图）15.断路器、数字变量、曲线均可绑定数据库中的变量；绑定变量后，在模拟运行时，曲线和数字变量可显示实时数据变化，断路器可进行分合操作并反应开关状态。16.多领域机理模型虚拟仿真平台可打开、运行数学模型工程，模型的实时数据可通过实时数据库与监控设计软件连接。17.图形化建模平台应具有模块库，包括但不限于信号模块、控制模块、运算模块、连续模块、离散模块、逻辑模块、电气模块及用户自定义模块库。其中电气模块：包括但不限于单相电压/电流、三相电压/电流、直流电压/电流、可控电压/电流等电源模块，同步电机，单相变压器、三相变压器、输电线路、故障发生器、单相滤波器、三相滤波器、RLC 串/并联负载等电力模块，开关、二极管、晶闸管、IGBT等开关模块。18.微电网工程设计虚拟仿真实验通过管理平台启动，可新建、删除、重命名实验存档，在软件中进行保存后可保存存档至平台。19.软件必须提供载体**（U盘或光盘）** | 件 | 1 |
| 2 | **电力系统分析虚拟仿真实验系统** | 1.软件功能主要包括：系统认知学习、励磁调节器控制实验、系统操作及分析实验。要求供应商可以提供电力系统分析虚拟仿真实验系统软件著作权。（要求供应商可以提供截图证明）2.系统认知学习：通过键盘WSADQE控制前后左右下上漫游和飞行，鼠标按住右键，移动鼠标，可以控制视角，进行对三维场景学习。点击左边一排，按钮，可以定位到相关位置。（1）场站总览（2）取水口（3）调压井（4）水坝顶部（5）控制层（6）发电机层（7）水轮机层（8）技术供水层（9）升压站。走近升压站设备，鼠标放上设备，会出现红色高亮，右键点击各个设备，会出现“查看详情”按钮。点击按钮，会弹出设备介绍信息。（要求供应商可以提供截图证明）2.励磁调节器控制实验：（1）确认当前机组状态为：停机状态。发电机电压、频率、相位都为0。（2）点击“冲转”，启动水轮机。（3）等转速上升到125r/min时，准备加励磁。3.励磁调节器控制实验： （4）打开＃1励磁功率柜的柜门。旋转“风机开关”至“自动”位。 （5）打开＃1励磁调节柜的柜门，合上“交流电源开关”、“直流电源开关”。 （6）按下“合灭磁开关”按钮，再点击“起励”按钮。4.励磁调节器控制实验：（7）打开“＃1同期柜门”，点击“同期方式选择”开关的“手动”位、将“自动同期控制方式”至“就地”位、将“同步检查”开关至“允许”位、将“同期开关”至“投入”位。（8）检查同步表的压差、频差和相位差。适当调整“发电机调速”开关、“发电机调压开关”。等发电机的电压、频率、相位和电网的相同，就可以进行手动合发电机出口开关，如果不相同，调整成相同。（9）将“发电机出口合闸开关”至“合”位。 要求供应商可以视频演示（7）（8）（9）功能，以佐证技术实力。5.励磁调节器控制实验：（10）合闸成功后，退出同期装置。（11）进行选择励磁控制方式。（12）调节有功和无功功率。查看SCADA系统，各个线路的功率分布情况。6.软件的底层数学模型由图形化建模平台搭建完成。要求供应商可以现场演示具备自主知识产权的图形化建模平台:平台具有模块库，包括但不限于信号模块、控制模块、运算模块、连续模块、离散模块、逻辑模块、电气模块及用户自定义模块库，模块库数量不少于8个。其中电气模块不少于20个：包括但不限于单相电压/电流、三相电压/电流、直流电压/电流、可控电压/电流等电源模块，同步电机，单相变压器、三相变压器、输电线路、故障发生器、单相滤波器、三相滤波器、RLC 串/并联负载等电力模块，开关、二极管、晶闸管、IGBT 等开关模块。要求供应商可以视频演示本功能，以佐证技术实力。 7.倒闸操作实验（1）线路送电操作：根据右侧的操作项目进行倒闸操作。（2）线路停电操作：根据右侧的操作项目进行倒闸操作。（3）母线自投实验：选择一个故障点，触发故障，可以看到相应的开关进行动作。还有事件记录。（4）选择系统的运行方式，选择故障点，选择故障类型，选择故障相，触发故障，查看故障短路点的电流，对比各种不同的运行工况，进行填写分析报告。（5）做完实验后，可以点击右上角实验成绩图标，可以查看到各个模板的实验评分。8.软件必须提供载体**（U盘或光盘）** | 件 | 1 |
| 3 | 供配电虚拟仿真实验系统 | 1.提供一个可人机交互的三维可视化的供配电系统3D虚拟学习软件。多维度、全范围虚拟工厂供配电生产流程的各个环节和主要生产设备，并提示相关信息，使学生能够通过人机交互方式身临其境的全程参与到供配电系统运行过程中，熟悉具体安全规范，明确操作中的危险点与事故临界点，控制虚拟场景中对应的设备进行各项操作作业，能实现自由操作，具备学员自由练习、考核认证等功能，满足学生从事供配电运行等相关工作的工程实践要求，能培养学生的相关工程实践能力。2.系统主要功能：（1）供配电生产全景漫游；（2）供配电系统与设备认知学习；（3）供配电运行操作3.供配电全景漫游：可实现在仿真范围内的全站漫游功能，通过漫游了解工厂供配电系统的建筑布局、主要设备、生产工艺等，对供配电系统全貌建立感性认识。4.漫游模式：分为行走模式和飞行模式。用户在进行场景漫游时，可以在电气设备的任意空间和位置进行漫游行走、环视，还可以调整行走速度，在场景中按“W”“A”“S”“D”前进、后退、向左、向右（前后左右键也可）；飞行模式可以在场景中以任意合适的视角来进行观察设备，按“E”上升，按“Q”下降；按住鼠标右键移动，进行视角的调整。5.设备和系统学习：点击相关设备或系统显示出其简介、图片及工作原理及相关操作规程文字界面、操作规范等。6.软件应具有定位功能。定位分为两种模式：列表模式和主接线模式。列表模式是将所有的设备以不同的分类列出，并根据选择移动至相应设备处。主接线模式是在主接线图上选择对应的断路器、开关、主变等并移动至设备位置。7.系统原理。以区域视频动画的形式对10kV系统、110kV系统、35kV系统、变压器区域、电容器组系统进行了详细的讲解。8.软件提供操作票系统。操作票系统模拟五防系统开票操作，在取得操作票后，能在三维场景中进行相应的操作，并按照完成程度进行评判打分。软件支持在三维场景中对开关柜进行就地分、合操作。＃9.实验系统内置11种操作票，操作过后，在DCS界面中要求有有功、无功、电流的变化，数据采用潮流计算底层支持DCS数据，DCS上面的数据要接近真实数据，低压侧有功、无功、电流和高压侧有功、无功、电流需要符合电力系统潮流规范。典型票包括下列11种操作票。1）线路检修转冷备用2）线路冷备用转热备用3）线路热备用转运行4）线路运行转热备用5）线路热备用转冷备用6）线路热备用转检修7）线路倒母线运行8）母线运行转检修9）母线检修转运行10）主变运行转检修11）主变检修转运行10.线路送电实验a.线路从检修转冷备用（1）拉开11014D接地刀闸（2）拉开11015D接地刀闸（3）拉开11016D接地刀闸b.线路从冷备用转热备用（1）合上110kV圣光线母线侧11011隔离开关（2）合上110kV圣光线线路侧11013隔离开关c.线路从热备用转运行（1）合上110kV圣光线1101断路器11.线路停电实验a.线路从运行转热备用（1）断开110kV圣光线1101断路器b.线路从热备用转冷备用（1）拉开110kV圣光线线路侧11013隔离开关（2）拉开110kV圣光线母线侧11011隔离开关c.线路从热备用转检修（1）断开110kV圣光线母线侧11013隔离开关（2）断开110kV圣光线线路侧11011隔离开关（3）合上11014D接地刀闸（4）合上11015D接地刀闸（5）合上11016D接地刀闸12.线路倒母线运行（1）合上II母母线侧11012隔离刀闸（2）断开I母母线侧11011隔离刀闸13.母线运行转检修（1）合上II母母线侧11012隔离刀闸（2）断开I母母线侧11011隔离刀闸（3）合上Il母母线侧11032隔离刀闸（4）断开I母母线侧11031隔离刀闸（5）合上1号主变11022隔离刀闸（6）断开1号主变11021隔离刀闸（7）断开I母PT上11001隔离刀闸（8）合上11002D接地刀闸14.母线检修转运行（1）合上1号主变11021隔离刀闸（2）断开1号主变11022隔离刀闸（3）合上I母母线侧11011隔离刀闸（4）断开lII母母线侧11012隔离刀闸（5）合上I母母线侧11031隔离刀闸（6）断开II母母线侧11032隔离刀闸（7）断开11002D接地刀闸（8）合上I母PT上11001隔离刀闸15.主变运行转检修（1）合上10kV母联线路912开关（2）合上35kV母联线路3500开关（3）合上35kV母联线路35002隔离开关（4）合上35kV母联线路35001隔离开关（5）合上110kVlI母线侧11041隔离开关（6）断开10kV1号主变908开关（7）断开35kV1号主变3503断路器（8）断开35032隔离刀闸（9）断开35031隔离刀闸（10）断开110kV1号主变1102断路器（11）断开11023隔离刀闸（12）断开11021隔离刀闸（13）合上35034D接地刀闸（14）合上35033D接地刀闸（15）合上11024D接地刀闸（16）合上11025D接地刀闸（17）合上11026D接地刀闸16.主变检修转运行（1）拉开11024D接地刀闸（2）拉开11025D接地刀闸（3）拉开11026D接地刀闸（4）拉开35033D接地刀闸（5）拉开35034D接地刀闸（6）合上1102断路器（7）合上11021隔离刀闸（8）合上11023隔离刀闸（9）合上3503断路器（10）合上35031隔离刀闸（11）合上35032隔离刀闸（12）合上908开关（13）拉开11041隔离刀闸（14）断开3500断路器（15）拉开35001隔离刀闸17.线路相间短路（1）观察故障前的电压、电流波形。（2）观察线路测量值，包括电压、零序电压、电流、有功、无功、功率因数。（3）触发故障、观察故障现象。（4）观察故障波形和故障数据，填写故障分析。18.变压器重瓦斯（1）观察故障前的电压、电流波形。（2）观察线路测量值，包括电压、零序电压、电流、有功、无功、功率因数。（3）触发故障、观察故障现象。（4）观察故障波形和故障数据，填写故障分析。19.线路单相接地（1）观察故障前的电压、电流波形（2）观察线路测量值，包括电压、零序电压、电流、有功、无功、功率因数。（3）触发故障、观察故障现象。（4）观察故障波形和故障数据，填写故障分析。20.断路器单相重合闸（1）观察故障前的电压、电流波形（2）观察线路测量值，包括电压、零序电压、电流、有功、无功、功率因数。（3）触发故障、观察故障现象。（4）观察故障波形和故障数据，填写故障分析。21.软件必须提供载体**（U盘或光盘）** |  |  |
| 4 | 变电站的运行与维护虚拟仿真软件 | 1.变电站的运行与维护虚拟仿真软件包含场景漫游、巡检、典型操作票、图形票及故障处理功能。2.漫游功能：按照规定的路线或自由选择漫游方式对变电站进行参观实习。变电站三维场景中主要包含有主控室，35kV高压室，电容器组系统，保护室，220kV系统三维场景，110kV系统三维场景，变压器系统变电站中的主要设备都可以在鼠标触碰到之后，通过轮廓线、高亮显示等手段，突出该设备，并有详细的图文内容及语音讲解。一次设备包含：主变压器、断路器、隔离刀闸、电压互感器、电流互感器、电容器、电抗器、避雷器。二次设备包含：继电保护屏、直流屏、UPS屏及常用仪器仪表等设备。其中，继电保护屏包含主变、线路、母线保护装置。重要设备可以进行主要原理和设备的外观和内部结构。3.巡检：系统具有变电站日常巡检功能，可以根据系统引导对变电站的保护柜、主变压器、断路器、隔离开关、电容器、电流互感器、电压互感器、避雷器、电容器、电抗器等主要设备进行巡检。巡检内容包括查看巡检路线并填写巡检作业信息、安全服的穿戴和工具的选择、根据巡检卡上的巡检条目进行巡检。在巡检过程中，需记录巡检内容，方便查看巡检完成情况并在备注栏填写巡检出的问题。4.保护、控制设备巡检过程至少包含以下步骤：（1）柜体密封完整（2）装置无报警、指示灯指示正确（3）屏体完整、屏面整洁5.主变压器巡检过程至少包含以下步骤：:（1）套管清洁无破损、无放电（2）油位正常，无渗漏油（3）绕组温度计指示正常，无超温度（4）油温温度计指示正常，无超温度（5）瓦斯继电器内充满油（6）压力释放阀完好（7）外壳接地良好（8）控制箱密封完好（9）呼吸器外部无痕迹，硅胶颜色无受潮变色，油杯完好，油位正常。（提供证明材料截图）6.隔离刀闸巡检过程至少包含以下步骤：（1）在合闸位置的刀闸，应合到位，主接触部位接触良好，闭锁定位良好（2）观察接头有无发热、变色、氧化（3）操作箱密封良好,防雨、防小动物措施正常，无杂物（4）基础无倾斜、下沉。7.电流互感器巡检过程至少包含以下步骤：（1）清洁完好，无放电痕迹（2）瓷瓶、套管无破损、裂纹（3）本体温度正常(<75度)（4）接线盒密封良好（5）基础无倾斜、下沉。8.＃断路器巡检过程至少包含以下步骤：（1）气压正常，无渗漏气（2）瓷瓶、套管、无破损、裂纹及放电（3）开关分合位置指示正确（4）各接点接触良好，无发热，异响，异味。（提供证明材料截图）9.电压互感器巡检过程至少包含以下步骤：（1）清洁完好，无放电痕迹（2）瓷瓶、套管无破损、裂纹（3）本体温度正常(<75度)（4）接线盒密封良好（5）基础无倾斜、下沉。10.避雷器巡检过程至少包含以下步骤：（1）外形清洁，接地完好（2）瓷瓶、套管无破损、裂纹（3）检测器连接良好（4）基础无倾斜、下沉。11.电容器巡检过程至少包含以下步骤：（1）外壳无鼓包、变形（2）连接完好、无渗漏（3）外壳和架构可靠接地12.电抗器巡检过程至少包含以下步骤：（1）外壳无鼓包、变形（2）连接完好、无渗漏（3）外壳和架构可靠接地。13.变电站运行：变电站的运行包含典型操作票及图形票两部分。14.＃典型操作票的操作需包含：（1）线路送电（2）线路停电（3）母线运行转检修（4）母线检修转运行（5）保护装置的切除（6）保护装置的投入（7）无功补偿装置的投入（8）无功补偿装置的切除（9）主变运行转检修（10）主变倒母线运行（11）主变检修转运行（12）线路倒母线运行等典型倒闸操作。（提供证明材料截图）15.图形票：在操作任务空格中输入将要开票的任务名字。在左侧主接线图中查看开关进行图形开票，查看一个开关，将在操作步骤栏目，生成一条开票记录，开票过程中需要遵循五防规则，开错了，会在界面中提示操作错误，关闭掉，将操作步骤中的错误记录叉掉，重新开票。整个过程中，学生可以自由进行开票，开票成功后，可以在二维NCS或三维设备上进行操作。16.以给定的任务为例进行说明，任务如下：1)根据系统提示，开出“运行转检修操作票”。查看“操作票”，在右侧查看“对位完成”，在界面中按照操作票名称和五防规则依次完成模拟操作。根据记录的操作步骤，核查无误后，查看“生成操作票”，生成本项操作票。2)根据操作票内容在三维场景或NCS中完成“由运行转检修操作票”操作。每完成一项操作任务之后，需在右侧的操作票任务框里进行勾选“操作确认”；当本项操作票的所有内容都完成之后，查看“完成”进行下一项任务。3)根据系统提示，开出“运行转检修操作票”。查看“操作票”，在右侧查看“对位完成”，在界面中按照操作票名称和五防规则依次完成模拟操作。根据记录的操作步骤，核查无误后，查看“生成操作票”，生成本项操作票。4)根据根据操作票内容在三维场景或NCS中完成“运行转检修操作票”操作。每完成一项操作任务之后，需在右侧的操作票任务框里进行勾选“操作确认”；当本项操作票的所有内容都完成之后，查看“完成”进行下一项任务。17.故障处理需要使用人员根据产生的故障现象及报警信息，进行故障分析；根据分析结果去处理故障，处理完成之后还需要恢复运行，故障处理部分包含的故障不少于断路器故障、线路故障、蓄电池故障、瓦斯继电器有气体、呼吸器受潮、断路器分合闸故障。18.断路器故障处理：至少包含以下步骤：（1）查看断路器故障光字牌、（2）查看断路器故障录波器、（3）故障分析、（4）线路停电五防开票、（5）线路就地停电倒闸操作、（6）选择合适的工具、（7）处理故障、（8）做绝缘试验、（9）线路送电五防开票、（10）线路就地送电倒闸操作（11）进行答题考核。要求软件厂商能提供本功能录屏演示佐证技术实力。19.线路故障处理过程至少包含以下步骤：（1）查看断路器故障光字牌、（2）查看断路器故障录波器、（3）故障分析、（4）线路停电五防开票、（5）线路就地停电倒闸操作、（6）选择合适的工具、（7）处理故障、（8）线路送电五防开票、（9）线路就地送电倒闸操作（10）进行答题考核。20.蓄电池故障处理过程至少包含以下步骤：（1）在NCS系统中，查看断路器故障光字牌、（2）选择合适的工具、（3）拆开蓄电池，进行蓄电池电压测量、（4）拆开蓄电池组，更换电池、（5）组装好新蓄电池组，测试电压、（6）进行答题考核。21.瓦斯继电器有气体处理过程至少包含以下步骤：（1）判断设备情况、(2)设备断电隔离、(3)放置安全围栏、(4)变压器设备进行验电操作、(5)维修准备、(6)取下放气堵头、(7)利用放气嘴使用注射器胶管套入放气嘴、(8)进行抽气(9)清洗气体排出、(10)抽取采样气体、(11)排出剩余气体、(12)封堵、(13)关闭箱盖、(14)安全装置复原后通知监控室人员上电修复故障、（15）进行答题考核。要求软件厂商能提供本功能录屏演示佐证技术实力。22.呼吸器受潮处理：至少包含以下步骤：（1）判断设备情况、(2)设备断电隔离、(3)放置安全围栏、(4)变压器设备进行验电操作、(5)维修准备、(6)拆除拆除呼吸器、(7)倒出硅胶；(8)倒入新硅胶到呼吸器中(9)固定法兰(10)油杯倒出旧油(11)倒入适量比最低油位高1cm的油(12)呼吸器装回变压器(13)将呼吸器油杯装回呼吸器(14)上电（15）进行答题考核。要求软件厂商能提供本功能录屏演示佐证技术实力。23.＃断路器分合闸故障处理过程至少包含以下步骤：（1）判断设备情况、(2)设备断电隔离、(3)放置安全围栏、(4)验电操作、(5)维修准备、(6)降低SF6压力；(7)设备维修(8)测试密封性；（8）兆欧表使用(9)上电、（10）进行答题考核。（提供证明材料截图）24.软件必须提供载体**（U盘或光盘）** |  |  |
| 5 | 变电站自动化虚拟仿真软件 | **软件整体要求**1.变电站虚拟仿真软件以某变电站实验台为仿真对象，建立完整的变电站系统结构场景，软件可使学生了解变电站的运作流程，学习变电站的系统构成和系统的设备组成。2.能够了解变电站设备的布局和设备间的连接关系，学习电气设备的基本工作原理和主要技术参数。3.仿真系统软件以某220kV变电站实验台为对象进行详细仿真，根据学校教学要求结合设计院设备资料、厂区图纸、系统图、运行数据采集表等进行三维模型搭建。4.仿真对象应包括以下系统：（1）**按钮**：按下按钮，信号发出；松手后，按钮弹起，信号消失。（2）**指示灯**：元件为单独的指示灯，当信号到来时，灯亮；信号消失时，灯暗。（3）**转换开关**：包含脉冲型和状态保持型两种功能。该元件为开关远方/就地、就地分合操作转换开关；当转换开关在“跳闸后”位置时，向左扭动转换开关，手跳信号发出；松手后，转换开关恢复至“跳闸后”位置，信号消失。当转换开关在“合闸后”位置时，向右扭动转换开关，手动信号发出；松手后，转换开关恢复至“合闸后”位置，信号消失。（4）**表计**：表计量程为0~300kV，指针会根据实际采集指向相应位置。（5）**插口**：可选择不同的插线孔进行插线，可以为保护装置采集不同的信号，然后保护装置根据各种不同的信号进行相应动作与反馈显示。通过不同的分合闸线圈插孔的选择，可以控制一次系统中各个开关的分合。通过开关指示灯插孔的不同组合，可以选定不同的开关在保护测控装置中显示其状态。选择不同的插孔，用插线与保护装置插孔相连，可以采取一次系统中不同支路各相的电压值。选择不同的插孔，用插线与保护装置插孔相连，可以采取一次系统中不同支路各相的电流值。（6）**保护测控装置**：用于投入保护，整定计算和查看各个电压，电流参数等。（7）**变压器内部结构仿真**：包括变压器外观及组件、变压器工作原理、变压器工作过程演示。变压器外观及组件包括：变压器主体、储油柜、冷却器、风扇、高压套管、中压套管、中性点套管、接地套管、低压开关、压力释放阀、取油阀、呼吸器、油温表、绕组表、油位表、排气管、瓦斯继电器、油路连接管、末屏、有载调压可开关、铁轭、铁芯、绕组。5.**软件需有系统模拟实验**功能，包含电流互感器出口端与多功能测控保护装置的连接、多功能测控保护装置端口连接、三相短路、短路故障等，总步骤不少于12步。6.**三段式电流保护实验**功能，包含无时限电流速断保护、带时限电流速断保护、定时限过电流保护，支持故障复现，总步骤不少于30步。7.软件必须提供载体**（U盘或光盘）** |  |  |