# 第二批国家级一流本科课程申报书 (虚拟仿真实验教学课程)

课程名称: 微电网运行与故障分析虚拟仿真实验

专业类代码: 0806

负责人:郭健

联系电话: 13512501983

申报学校:南京理工大学

填表日期: 2021年5月

推荐单位: 工业和信息化部

中华人民共和国教育部制 二○二一年四月

## 填报说明

- 1.专业类代码指《普通高等学校本科专业目录(2020)》 中的专业类代码(四位数字)。
  - 2.文中○为单选;□可多选。
  - 3.团队主要成员一般为近5年内讲授该课程教师。
- 4.文本中的中外文名词第一次出现时,要写清全称和缩写,再次出现时可以使用缩写。
- 5.具有防伪标识的申报书及申报材料由推荐单位打印留 存备查,国家级评审以网络提交的电子版为准。
- **6**.涉密课程或不能公开个人信息的涉密人员不得参与申报。

## 1.基本情况

实验名称	微电网运行与故障分析虚拟仿 真实验	是否曾被推荐	○是● 否				
实验所属课程(可 填多个)	电力系统继电保护,微网分布式	· 七 电 源 运 行 与 控 制					
性质	○独立实验课●课程实验						
实验对应专业	电气工程及其自动化 智能电网	信息工程					
实验类型	○基础练习型●综合设计型 ○研究探索型 ○其他						
上M 公古 N 西 M	☑高危或极端环境 ☑高成本、高消耗 ☑不可逆操作						
虚拟仿真必要性	☑大型综合训练						
<b>党队</b> 语言	☑中文						
实验语言	○中文+外文字幕(语种) ○外文(语种)						
	共 5 次:						
	1. 2019年6月、78人; 2. 2020年6月、38人						
实验已开设期次	3.2020年6月、62人; 4.2020年9月、137人						
	5. 2020 年 10 月、14 人。						
	第4期为南京理工大学紫金学院开设						
有效链接网址	http://mool.njust.edu.cn/exp/214.html						

## 2.教学服务团队情况

	2-1 团队主要成员(含负责人,总人数限 5 人以内)								
序号	姓名	出生 年月	单位	职务	职称	手机号 码	电子邮箱	承担任务	
1	郭健	1974 年 10 月	南京理工大学		教 授	1391250 1983	guoj1002 @126.com	总体设计、 在线教学	
2	王宝华	1968年2月	南京理工大学	实验 中心 主任	副教授	1330518 0178	wangbaohu aa@163.co m	模块设计 在线教学	
3	雷加智	1988年6月	南京理工		讲师	1562355 9820	leijiazhi@1 26.com	模块设计 在线教学	

			大学						
4	卜京	1981 年 11 月	南里工大学	无	讲师		7031	bujing30@ foxmail.co m	模块设计 在线教学
5	刘晋宏	1989 年1月	南京工大学	无	讲师		5168	jinhongliu_ felix@njus t.edu.cn	模块设计 在线教学
				2-2	团队其他	也成员	Ŧ.		
序号	姓名	出生	年月		单位		职务	界 职称	承担任务
1	颜建虎	1983 年	F5月	南牙	京理工大学	学		副教授	在线教学
2	李军	1970 4	₣6月	南牙	京理工大学	学		教 授	在线教学
3	单 梁	1979 年	- 11 月	南牙	京理工大学	学		副教授	在线教学
4	刘钊	1983 年	₣6月	南京	京理工大学	学		副教授	在线教学
5	赵志宏	1985 年	- 11 月	南京	京理工大学	学		讲师	技术支持
6	吕广强	1974 年	- 12 月	南京	京理工大学	学		副教授	技术支持
7	郑馨语	1992 年	Ĕ 3 月		巨点信息 有限公司	支术	策 注 <b>主</b> 管		技术支持
8	王宇	1992 年	F5月		亘点信息! 有限公司	支术			技术支持
9	朱 军	1977 年	F9月		巨点信息! 与限公司	支术			技术支持
10	李乃彬	1986 年	F5月		巨点信息!	支术	工利师	TE	技术支持

团队总人数: 15人 其中高校人员数量: 11人 企业人员数量: 4人

### 2-3 团队主要成员教学情况(限 500 字以内)

(近5年来承担该实验教学任务情况,以及负责人开展教学研究、学术研究、获得教学奖励的情况)

该实验共开展了7次教学,为保证在线教学任务的顺利完成,视实验人数的 多少,每次有2~3名教师进行在线教学服务。郭健指导3次;王宝华指导5次; 雷加智、卜京、刘晋宏各2次;颜建虎、李军、单梁各1次。

项目负责人**郭健**, 男, 1974 年 10 月生, 工学博士, 教授, 博士生导师, 担任"多运动体信息感知与协同控制"江苏省重点实验室副主任、"高维信息智能感知与系统"教育部重点实验室副主任, 江苏省创新人才团队带头人, 江苏省中青年科学技术带头人。

主要从事智能电网、检测技术等科研和教学工作,先后主持或参与国家重点研发计划、国家自然科学基金、国家 863 项目(副组长)、江苏省重点研发计划项目等多项。作为第一完成人,研究成果获得国防技术发明二等奖 1 项,江苏省

科学技术二等奖1项。在国内外学术期刊、会议上发表论文100余篇,获授权发明专利40余项。

长期指导学生竞赛、科技实践等活动,指导国家级科研训练项目8项,指导学生获得国家挑战杯二等奖1项,全国机器人大赛一等奖6项。

创新培养模式,研究成果获得国家教学成果二等奖2项,江苏省教学成果特等奖1项、二等奖2项。

注:必要的技术支持人员可作为团队主要成员;"承担任务"中除填写任务分工内容外,请说明属于在线教学服务人员还是技术支持人员。

#### 3.实验描述

3-1 实验简介(实验的必要性及实用性,教学设计的合理性,实验系统的先进性)

#### (1) 实验的必要性

微电网实现了分布式电源的灵活、高效应用,方便了各种分布式电源的接入, 为实现"双碳"目标,新能源将是未来电力系统的主体,微电网代表了电网发展的 一种方向。

设计的实验系统展现了我国在微电网运行与控制方面的**最新研究成果**,表达了中国对世界环境改善作出的担当,加强学生对我国提出的"双碳"目标的理解,并倡导绿色能源理念,使学生产生民族自豪感和社会责任感,他们将更自信、更爱自己的专业,更想有作为。

由于实际微电网系统造价高、实验成本大、实验项目缺乏灵活性且不允许学生进行操作,通常只能进行演示实验,给学生带来感性认识;实际微电网直接进行故障模拟实验,具有高危险性、不可逆性,无法开展故障分析及处理方面实验,严重限制了"电气工程及其自动化"、"智能电网信息工程"等专业人才的工程实践能力、综合能力和创新能力的培养。

依托南京理工大学"电气工程及其自动化"国家一流专业建设点和国家级电气工程及自动化拟仿真实验教学中心,基于江苏省虚拟仿真实验教学项目"基于硬件在环的智能变电站虚拟仿真实验项目"的开发经验,相关科研项目的研究成果及实验中心实际运行的微电网系统,项目团队根据"新工科"的建设理念,凝练出教学资源,将"虚拟现实"与"互联网技术"深度融入到实验教学项目,设计具有自主知识产权的微电网运行与故障分析虚拟仿真实验,实现"能实不虚、虚实结合、以虚达实、以虚促实"虚拟仿真实验教学模式,应用于电气工程及其自动化、智能电网信息工程专业本科教学,并应用于电气工程相关企业和研究院所培训服务,全方位、全覆盖培养复合型电气工程科技人才。

#### (2) 教学设计的合理性

结合行业的最新发展,体现对应课程对实验教学的要求。图 1 给出了该实验系统示意图。微电网并网运行时,相当于包含分布式发电与常规电源的电力系统,这是目前常见的配电网结构,然而《电力系统继电保护》课程没有介绍分布式电源接入相应的知识,这个实验实现了对课程知识的补充,并更好地实现电网继电保护原理与故障分析实验教学目标;同时该实验也能够满足《微网分布式电源运行与控制》课程微电网继电保护与故障分析的实验教学要求。

**层次递进,实现实验教学对人才培养的目标**。通过微电网基本结构、接线与控制、微电源特性、运行效益 4 个实验,了解了微电网的基本组成及特性,实现对微电网的感性认识,这是基础;通过微电网黑启动、运行转检修、非计划孤岛运行及检修误操作体验、停电操作等操作性实验,掌握微电网中的相关操作以及

电网停电操作流程,了解微电网非计划孤岛运行可能带来触电危险,培养工程实践能力以及职业素养;通过学习相关规程、非计划孤岛运行电压、频率特点分析、保护配置、整定及性能分析、故障分析等实验掌握微电网保护原理及其工程应用,并能够查找微电网的故障点、恢复微电网正常运行,这具有高阶性,激发学生的科研兴趣,培养学生的综合与创新能力。

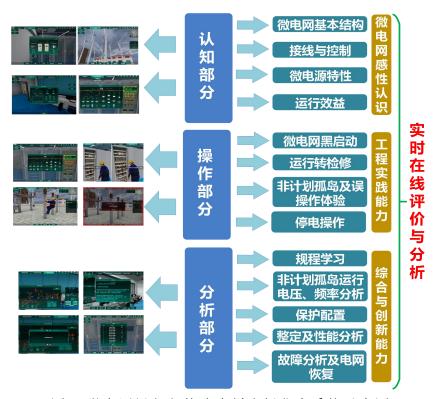


图 1 微电网运行与故障分析虚拟仿真系统示意图

#### (3) 实验系统的先进性

**对象先进**:随着我国"碳达峰"、"碳中和"这样"双碳"目标的提出,我国的能源结构将发生深刻的变化,新能源将会更大规模的接入,微电网是分布式新能源的接入与消纳的主要方式。

表现形式先进:整个实验采用 3D 仿真建立相应的虚拟微电网系统,高度还原了实际的微电网系统环境,通过虚拟现实的场景构建,具备沉浸式的操作体验,使学生能够更真实更直观的体验微电网系统。

**理论知识先进**:实验形象展示了环境条件以及负荷对于微电网孤岛运行时电压、频率的影响,采用电压、频率构成的微电网防孤岛保护的优缺点;也展示了微电网不同地点发生故障时的短路电流分布以及保护的动作情况。

软件开发技术的先进性: 此虚拟仿真系统采用 C#开发语言, 基于 Unity 开发 引擎发布的 webgl 版本的应用, 采用主要 websocket 协议实现与服务器的通信和数据传输, 3DMAX 和 Maya 实现 3D 图形可视化。系统运行平台: windows 8\windows 10, 火狐浏览器、谷歌浏览器(64 位)。用户使用轻便化, 无需下载

安装应用, 直接打开网页即可运行该虚拟仿真系统。

#### 3-2 实验教学目标(实验后应该达到的知识、能力水平)

本项目依托课题组在微电网运行、控制与保护方面的技术与软件积累,通过 科研成果转化为实验教学项目,培养学生的职业素养和工程实践能力、科研意识 及创新精神。

微电网是集动力、电力系统、电力电子及控制于一体的大型复杂系统,本实验以微电网并网系统作为仿真对象,通过该虚拟仿真教学实验使学生掌握如下内容:

- (1) 熟悉交直流混合微电网的基本结构、运行方式;
- (2) 掌握风电、光伏、充电桩、储能电池的工作特性;
- (3) 理解微电网的运行方式及其运行控制流程:
- (4) 理解微电网保护的功能及其实现原理、整定方法并用于实际工程设计;
- (5) 掌握微电网故障分析方法,对微电网的典型故障进行分析与处理。

#### 3-3 实验课时

- (1) 实验所属课程课时: 40 学时
- (2) 该实验所占课时: 4 学时

#### 3-4 实验原理

(1) 实验原理(限 1000 字以内)

该实验系统主要部分的原理。

#### ① 微电网的构成

实际微电网系统包含风电机组、光伏电池、蓄电池、负荷、各类变换器、升压站以及主电网等,仿真系统有机组合了上述各部分。

#### ②微电网的功率特性

根据光伏单元受光照强度、温度等参数的影响,生成光伏的输出功率特性; 根据风电场受风速的影响,生成风电场的输出功率特性;精确描述电池储能效率、 最大吸收功率、电压等外部动态性能的变化规律。

#### ③微电网运行与操作

在监控仿真、一次场景、保护与并网控制中进行交互操作,如完成主要电气设备状态改变、微电网运行方式的切换、微电网黑启动等操作。

#### ④非计划孤岛下电压、频率的计算

非计划孤岛运行时,根据光伏、风电参数、负荷参数以及储能特性,计算负荷与微电源之间的不平衡功率,对各母线、负荷的电压、频率进行快速计算。

#### ⑤微电网保护的配置与整定

根据规程规定对微电网进行保护的配置与整定计算,并将频率、电流以及电压保护等的整定结果整定到并网控制器中。

#### ⑥微电网保护动作仿真与故障分析

设定不同条件微电网发生非计划孤岛运行,对微电网的防孤岛保护性能验证; 设定不同地点发生不同类型的故障,对短路电流保护性能验证;利用电气量特点、 保护动作情况进行故障分析。

知识点: 共5个

- ①微电网的基本构成与工作原理:通过漫游熟悉微电网的基本构成和工作原理、微电源的功率特性以及微电网的效益。
- ②非计划孤岛运行的危害:微电网非计划孤岛运行时,通过采用误操作可能体验可能引发人身伤亡事故;训练正确的停电操作流程,掌握停电检修操作技能。对不同场景下非计划孤岛运行时,微电网并网点电压、频率进行测量,了解非计划孤岛运行危害以及非计划孤岛运行的特点和防孤岛保护的基本原理。
- ③微电网的运行操作:主要进行微电网黑启动、运行方式的切换等操作,操作流程按照实际运行操作规程制定,学生按照指定的操作步骤进行操作,熟练掌握操作步骤;
- ④微电网保护的配置、整定计算及性能分析:根据微电网接入系统设计规范、微电网接入电力系统技术规定中的相关内容,进行微电网保护的配置和整定计算,给出整定定值单,并输入到微电网并网控制装置中;通过设置不同场景下发生的故障,观察保护的动作情况,分析保护的性能及其优缺点。
- **⑤微电网故障分析与处理:**设置处于不同场景的微电网,在非计划孤岛运行以及在不同地点发生各种类型的故障,记录频率、电压、电流等电气量的特点,保护及断路器动作的情况,总结故障地点、类型与电气量特点、动作的保护、断路器之间关系,从而进行故障地点、类型的分析,可以人工处理故障。
- (2) 核心要素仿真设计(对系统或对象的仿真模型体现的客观结构、功能及其运动规律的实验场景进行如实描述,限 500 字以内)
- ①电源功率特性:根据光伏单元受光照强度、温度等参数的影响,形成光伏发电功率的输出特性;根据风电场受风速的影响,形成风电场的输出功率特性;精确描述电池储能外部动态性能的变化规律。理论上的仿真度为100%。
- ②非计划孤岛运行时,电压、频率的计算:根据光伏、风电参数、负荷参数以及储能特性,计算负荷与微电源之间的不平衡功率,对各母线、负荷的电压、频率进行快速计算,给出的是静态频率,仿真度80%。
- **③非计划孤岛运行时,防孤岛保护的动作性能仿真**:根据计算得到的电压和 频率电气量变化特征与逻辑,形成防孤岛保护,同时在有无微电网孤岛保护下, 通过仿真检修人员的挂接地线操作,验证微电网孤岛保护的作用,仿真度 90%。
- **④短路电流值及保护的整定**:对不同地点的短路电流进行计算,得到微电源出力与短路电流的关系,仿真系统中短路电流由该关系产生,仿真度 80%;利用实际系统参数并根据相关规程进行保护配置与整定计算,该定值输入到微电网并

网控制器中, 仿真度 100%。

⑤故障时保护动作性能仿真:根据不同条件下,微电网在不同地点故障时短路电流大小、方向、电压分布理论上确定应该动作的保护及动作的开关,仿真系统中保护是否动作、动作的开关根据该因果关系确定,仿真度 100%。

#### 统中保护是否动作、动作的开关根据该因果关系确定, 仿真度 100%。 3-5 实验教学过程与实验方法 实验教学过程与实验方法如图 2 所示。 实验阶段 实验模块 实验内容 实 实验概况 验 1. 实验背景 2、实验目的 观 实验预习 3、实验流程 察 感受大国担当 实验背景及介绍 景 热点资讯学习 法 增强自信心 及 段 1、感受大国担当精神 2、增强民族自豪感和自信心 介 绍 比 较 认识微电网 法 图 微 1、微电网基本结构 观像 认知模块 微电网结构及其 2、接线与控制 察法 电 "源于工程 知识预备 3、微电源特性 法 4. 运行效益 网运行与故障 比 微电网运行操作 微电网操作与培训 较 1、微电网黑启动 立 法 体验模块 2、停电-运行方式切换 模 非计划孤岛危害 "源于现场" 观 3. 电网误操作体验 型 (电网停电检修 察 4、电网停电操作培训 法 操作) 法 实验 非计划孤岛运行电压、 频率影响因素分析 分 操 1、光照强度、温度 比 微电网运行操作 作 较 建 控 自 阶 2. 风速 析 立制主 3、负荷 法 及 段 模变设 孤岛保护性质与分析 虚 探究模块 非计划孤岛危害 观 分 型量计 "规律研究" (并网点电压、 短路保护性能分析 拟 察 析 法法法 频率采集) 参数及故障点位置对保 法 仿 护性能的影响 短路保护性能 1、光照强度、温度 真 分析 2、风速 实 3、微电网内部故障 比 验 建控自 较 防孤岛保护配置与整定 微电网保护配置 立制主 法 短路保护配置与整定 与整定 应用模块 模变设 观 根据保护、开关动作情况 型量计 "源于实践 和电流波形,判断故障位 察 故障分析与处理 法法法 置,并进行相应操作 法 实 验 第三阶 报 实验总结交流 知识回顾 1、实验报告 告 感受大国担当(实验报告及讨论 2、测试例题 增强自信心 及 3、讨论空间 段 介 绍

图 2 实验教学过程及实验方法示意图

#### (1) 实验教学过程主要有

- ①实验背景及介绍:了解实验概况,阅读热点资讯。实验中自然地融合思政内容。通过热点资讯学习,培养学生的责任担当与民族自豪感,增强自信心。
- ②实验操作与分析:包含四个模块,具体为:认知模块、体验模块、探究模块和应用模块。完成所有操作,记录数据,探寻规律,解决工程实际问题。
- **③实验报告及讨论:**根据对实验结果的分析,填写实验报告中的小结部分,得到实验结论。

#### (2) 主要采用的实验方法

- ①比较法:设置多种场景,在相同场景下,微电网分别并网运行与非计划孤岛运行,采集并网点的电压和频率,对比分析两种情形下电压与频率的不同,对比同一运行方式下,场景对电压、频率的影响,使学生认识到并网运行与孤岛运行具有不同的特性,非计划孤岛时电压和频率的特点:
- ②控制变量法:由于非计划孤岛运行时,微电网内部功率很可能不平衡会使得电压、频率不正常,如过频、过压、低频、低压;也有可能基本平衡,频率、电压会处在正常范围内。光辐照度、风速、温湿度等场景参数都会对微电网内的功率平衡产生影响,如果三个参数随机调整很可能只会产生不正常的结果,所以实验中需要依次固定风电场、光伏电站、负荷场景参数中的2个,另一个变化,分别进行实验。
- ③图像法:设置风电场的风速、光伏电站光辐照度、温度、湿度等相关数据, 绘制风电场、光伏电站的功率特性曲线、利用负荷预测方法得到负荷曲线,形象 展示风电场、光伏电站、负荷的功率随相关参数变化的情况。
- **④建立模型法:** 仿真系统中建立了电压、频率计算模型,可以计算并网运行与非计划孤岛运行时并网点的电压和频率;仿真系统中建立了短路电流计算模型,可以计算短路电流并判定保护是否动作。
- 3-6 **步骤要求**(不少于 10 步的学生交互性操作步骤。操作步骤应反映实质性实验 交互,系统加载之类的步骤不计入在内)
- (1) 学生交互性操作步骤, 共18步

步骤序号	步骤目标要求	步骤合 理用时 (分钟)	目标达成度赋分模型	步骤 满分	成绩类型
1	微电网基本结构:熟悉微电网 中负荷和电源 的构成及其原 理	10	遍历微电网所 有电源及负 荷,学习每个 设备 0.5 分	4	☑操作成绩 □实验报告 □预习成绩 □教师评价报告
2	微电网接线与	10	遍历微电网交	5	☑操作成绩

3	控制 微电源性能	10	流有与各人。 电大制的点 0.5 的点 0.5 分 熟光度电关系 光照的力, 出度系列 电关系, 电关系, 电关系, 是电关系, 是电关, 是电关, 是电关, 是电关, 是电关, 是一个。 是一个。 是一个。 是一个。 是一个。 是一个。 是一个。 是一个。	4	□实验报告 □ □ 対
4	微电网运行效益	10	熟季代的相对系 要型风间经境和 和光出比比标和 和关境,2 多数 个指标数 个指参数 分。	6	☑操作成绩 ☑实验报告 □预习成绩 ☑教师评价报告
5	黑启动场景生成	10	按顺序操作, 使微电网进入 黑启动场景, 共7步,每步 0.5分	3.5	☑操作成绩 □实验报告 □预习成绩 □教师评价报告
6	黑启动流程	10	按顺序操作, 完成微电网黑 启动操作,共 7步,每步 0.5 分	3.5	☑操作成绩 □实验报告 □预习成绩 □教师评价报告
7	微网运行方式 切换	10	按顺序操作, 完成微电网运 行到检修的操 作,共8步, 每步1分	8	☑操作成绩 □实验报告 □预习成绩 □教师评价报告
8	非计与误差 出线 化 出	10	按步骤操作, 必须含有验电 有电,实验失 败,共5步, 每步1分。	5	☑操作成绩 □实验报告 □预习成绩 □教师评价报告

	即进行检修,体会由于微电网的存在,会发生触电或人身伤亡事故。				
9	电操网操断路离升隔检电掌电格 人名 电报网操断路开压离修并握电器、大学开处挂正修作:存规微路关变开处挂正修从停:存规微路、断关进接常流级路、大行地的程格 电照次	10	按步骤操作, 最后验电无 电,挂上接地 线,共8步, 每步0.5分	4	☑操作成绩 ☑实验报告 □预习成绩 ☑教师评价报告
10	微孤频定光变划电出范满网运的速强,岛狐压允围足所行测与度使运频运但行例 由量负由得行率行电层	5	并压的足非行电参变4组的运率动行划的会的,光短等动行划的会的,光短组的。2.5	2	☑操作成绩 ☑实验报告 □预习成绩 ☑教师评价报告
11	微孤频定负变划电出范满电岛率光荷高孤压允围足所行测强风使运频运但行网电量度速得行率行也要网电量度由非时会的可求与压:与由非时会的可求	5	共试验 4 组风 速值, 每组 0.5 分	2	☑操作成绩 ☑实验报告 □预习成绩 ☑教师评价报告
12	微电网并网与 孤岛运行电压、 频率的测量:固	5	共试验 4 组负 荷值, 每组 0.5 分	2	☑操作成绩 ☑实验报告

	T		T		
	定光度,使得有明显的 电压光度 人名 电压 人名 电压 人名 电压 人名 电 人名 电 人名 电 人名 电 人				□预习成绩 ☑教师评价报告
13	微电网保护程 器:根网及短尾 一般相对 一个, 一个, 一个, 一个, 一个, 一个, 一个, 一个, 一个, 一个,	15	学及保留是 制配。 学及保留是 是是 是是 是是 是是 是是 是是 是是 是是 是是 是是 是是 是是 是	7.5	☑操作成绩 ☑实验报告 □预习成绩 ☑教师评价报告
14	微电网保护整 定:对投入的低 频、低压、过频、 过压、电流及失 压保护进行整 定计算	20	对选择投入的 保护进行动作 值、动作时间 的整定,共25 个值,每个1 分	25	☑操作成绩 □实验报告 □预习成绩 □教师评价报告
15	微保改速数岛否下动动会孤陷电性光负微,运所其作的该保防能,等电校情正该况理的证价原护。 人多网络人名 电影响 医牙牙 化二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十	10	分析防孤岛保护的性能, 此一。 一种,是一个,是一个,是一个,是一个,是一个,是一个,是一个,是一个,是一个,是一个	2.5	☑操作成绩 ☑实验报告 □预习成绩 ☑教师评价报告
16	短路保护性能分析:分别对电网侧以及微电网内部不同地点设置短路故障,记录动作的保护及开关,掌	10	共4个故障点,f1、f2、f3个故障点做一次实验,改变光优、风电参数多做几组f4故障的实验,	2	☑操作成绩 ☑实验报告 □预习成绩 ☑教师评价报告

	握不同地点故 障出现的电流 特点及动作的 保护		记录动作的保护,每个故障点 0.5 分		
17	PCC 未配置保护场景的是 (分别对电网内的 (分别对电网内的 (分别) (为别对电域的 (为别对电域的 (分别) (分别) (为别对电域的 (分别) (分别) (分别) (分别) (分别) (分别) (分别) (分别)	5	分别设置在4 个故障点发生 故障,观察故 障后果,每个 故障点实验 0.5分	2	☑操作成绩 □实验报告 □预习成绩 □教师评价报告
18	故产故的动断恢行障理完成生育,流的故微了,的该军争据波保障电完及判该强处别别部战人,并运成处任人,并运战处任人,并运战处各人。	15	根的保作故恢行障 6 行步现关据电护结障复,分分需数故。随流、果点微共析。要与障机波开,位电 2 ,恢操随点给形关判置网组每复作机有出及动断并运故组运的出	12	☑操作成绩 ☑实验报告 □预习成绩 ☑教师评价报告

#### (2) 交互性步骤详细说明

该虚拟仿真实验包含**五**个环节:认识微电网、微电网运行操作、微电网非计划孤岛运行危害、微电网保护整定与分析、微电网故障分析与处理,**18**个操作步骤。

首先登陆 http://mool.njust.edu.cn/exp/214.html, 进入"微电网运行与故障分析虚拟仿真实验"主界面,然后点击"登录"进入登陆界面,利用注册好的账号、密码登陆。评委点击"评审账号 1"或"评审账号 2"登陆。登录后点击"进入实验",下载课件,下载完成后即可实验。

#### 环节一、认识微电网

进入实验页面后,点击任务栏的"认识微电网",进入该实验环节。

#### ① 微电网基本结构

点击"认识微电网"的下拉菜单"微电网的基本结构",出现该步的操作界面, 点击"开始实验"出现该步的"任务单",了解完任务后点该任务单右上角的"×",就 可以进行操作了。该步骤使学生进入交直流混合微电网仿真系统,熟悉交直流混 合微电网中设备的地理位置,了解交直流混合微电网的基本构成,三维感知微电 网的各个组成部分的结构,并学习微电网各组成部分的工作原理。

点击该步操作界面下的地图,出现图 3 的界面,点击该界面中的任何一个设备,将会在虚拟微电网中见到该设备,且可以获取该设备的原理介绍。具体见如图 4~图 6。



图 3 点击地图出现的画面



图 4 交直流混合微电网直流光伏区域



图 5 交直流混合微电网直流风机



图 6 交直流混合微电网直流充电桩

#### ② 微电网接线与控制

点击"认识微电网"的下拉菜单"微电网接线图与控制结构"进入该步的操作界面,点击界面边框闪烁的电脑屏幕,可以看到微电网的接线图,如图 6 所示,可以整体看到微电网的组成,熟悉微电网的整体结构和工作原理,熟悉交直流微电网的控制方式,以及微电网能量管理的操作方式,结合微电网的接线图与运行方式,从工作原理方面对微电网进行进一步的认知。

图7的接线图可以很好的展示微电网中电能变换和传送的过程,更好理解交直流微电网的工作原理;图8展示了微电网控制器部分;图8给出了微电网的室内部分,包含有电池柜、风力发电柜、光伏发电柜、静态开关柜、微网控制柜(微电网并网控制装置安装在此)、交流柜(微网并网开关及指示灯在该柜上)、储能控制系统(PCS)、配电及汇流机柜。



图 7 交直流混合微电网接线图界面



图 8 微电网控制器界面



图 9 交直流混合微电网室内部分界面

#### ③ 微电源及负荷特性

该步学习光伏电池、风电机组、储能系统、负荷需求的输出特性。考虑光辐

照度 S、环境温度 T 对光伏发电单元输出功率的影响,获得光伏发电单元的输出功率  $P_{PV}$  以及光伏发电单元电流  $I_{PV}$ 、电压  $U_{pv}$  特性;考虑风电场风速 v 对风电场输出功率的影响,对风电场的输出功率  $P_{wind}$  进行计算;考虑负荷需求的随机性,根据负荷需求的历史数据以及温度、湿度数据,对负荷需求的日出力曲线进行预测。

点击光伏参数设置进行温度和光辐照度的设置,点击光伏曲线显示该参数下的输出功率与输出电压、电压、电流关系曲线,如图 10、图 11 所示,改变光辐照度与温度,曲线随之而变,形象展示了光伏电池的功率特性。点击风电参数设置进行风速设置,可见到该风速下风机的输出功率(图 13 中的红点),如图 12、图 13 所示。其它类似。



图 10 微电网光伏发电参数设置界面



图 11 微电网光伏发电输出特性界面



图 12 微电网风力发电参数设置界面

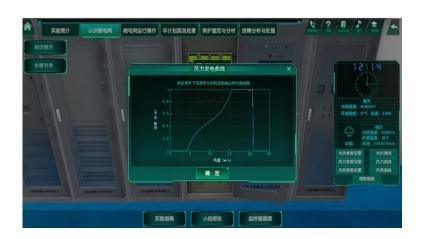


图 13 微电网风力发电输出特性界面



图 14 微电网负荷参数设置界面

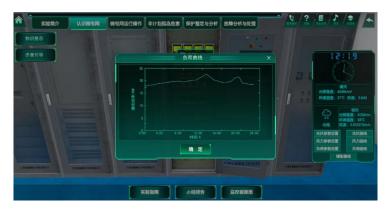


图 15 微电网负荷曲线界面

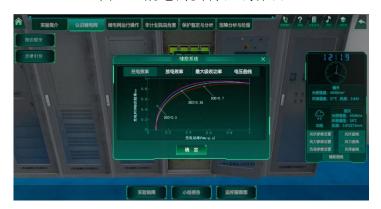


图 16 微电网储能曲线界面



图 17 微电网监控界面

#### ④ 微电网运行效益

以微电网运行效益最大构建微电网经济性优化运行方式,获得微电网能量管理调度策略,感知微电网优化运行所带来的社会经济效益,如降低微电网与主网之间交互功率所带来的收益、降低污染物的排放,包括污染物 CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、NOx的减少量所带来的环境效益。光伏电站、风电机组的接入降低了微电网用户售电成本、提高光伏、风电等可再生能源的消纳率,避免了资源浪费等。

点击认识微电网中的微电网效益,出现夏季和冬季菜单,点击夏季或冬季后 出现相应的运行功率曲线,以及效益情况。这里仅以夏季和冬季2种运行方式进 行说明。



图 18 微电网运行效益界面-夏季

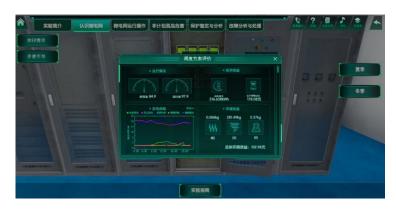


图 19 微电网运行效益界面-冬季

### 环节二、微电网运行操作

#### ① 微网黑启动

#### 黑启动场景生成:

在交流柜上一次断开开关 KN4、KM0、KM1、KM2、KM3、KM4 以及 PCC 开关,与开关状态对应的指示灯由红变绿,表明该开关断开了,同时接线图也给出了开关的状态显示,此时微电网完全停止运行了,下面可以进行黑启动操作了,如图 20 所示。



图 20 黑启动场景生成界面

#### 黑启动操作

依次合上 KM2、KM0、PCC、KM1、KM4、KN4等开关,与开关状态对应的指示灯由绿变红,表明该开关合上了,同时接线图也给出了开关的状态显示,此时微电网黑启动操作成功,如图 21 所示。



图 21 黑启动操作界面

#### ② 微网运行方式切换

微电网由运行转检修状态,要将微电网停运,且检查 PCC 开关确已断开,且 微电网侧无电。

依次断开 KN4、KM2、KM1、KM4、KM0、KM5、PCC 开关,检查 PCC 开关,检查 PCC 开关,且微电网侧无电,如图 22 左侧图所示,否则如图 22 右侧图所示。



图 22 微网运行转检修状态界面

#### 环节三、微电网非计划孤岛运行危害

点击任务栏中的"**非计划孤岛运行危害**",进入该环节。点击该环节的下拉菜单"电网停电检修操作",可以进行"非计划孤岛场景"设置和停电检修操作培训,完成以下①~③的操作;点击该环节的下拉菜单"并网点电压与频率",进行微电网并/离网运行特性对比、非计划孤岛运行微电网并网点电压频率特点分析实验,完

成以下40和5的操作。

#### ① 非计划孤岛场景

雷击造成绝缘子破裂,需要停电检修。点击页面中"室内外切换",到室外, 拉开系统侧线路断路器,微电网非计划孤岛运行。如图 23 所示。



图 23 断开系统侧线路开关

#### ② 电网停电检修误操作

场景: 雷击绝缘子, 绝缘子破裂, 巡检到该故障, 进行停电检修。

操作流程:拉开系统侧线路断路器、线路侧隔离开关、母线侧隔离开关、挂接地线,产生电弧烧坏检修人员衣服。操作过程中的相关界面如图 24~图 27 所示。

问题:分析出现电弧的原因,指出操作存在的错误。



图 24 正常运行界面



图 25 断开线路断路器及两侧隔离开关的界面



图 26 停电操作中的挂接地线操作界面



图 27 检修误操作警告界面

#### ③ 停电检修操作

拉开系统侧线路断路器、线路侧隔离开关、母线侧隔离开关、验电(有电)、 拉开变压器高压侧开关、线路侧隔离开关、母线侧隔离开关、验电(无电)、挂 接地线、检修。 问题: 为何验电有电。



图 28 电网停电检修验电操作显示有电界面



图 29 线路停电后的界面

#### ④ 微电网并/离网运行特性对比

同一光辐照度、温湿度、风速、负荷等参数下,分别观察微电网并网运行与 孤岛运行时并网点电压、频率;改变场景,再进行相应的实验内容,分析两种情况下微电网的运行特性有何不同。



图 30 微电网并网时并网点电压频率界面



图 31 微电网离网时并网点电压频率界面

#### ⑤ 非计划孤岛运行微电网并网点电压频率特点分析

自行设置光伏、风电、负荷在不同运行场景下发生非计划孤岛的情况,测量微电网并网点电压、频率值,根据测量结果分析非计划孤岛运行时,并网点电压频率值有何特点,能否满足微电网运行的需要。界面与图 30 相似。

#### 环节四、保护整定与分析

点击任务栏上"保护配置整定",进入该环节界面。点击下方的菜单"规章规程"进行相关规程学习,点击室内控制柜中的微网控制器(边框闪烁),进行整定计算。相关界面如图 32~图 34。

#### ① 相关规程学习

点击"规章规程"后出现的界面如图 31 所示。



图 32 相关规程学习界面

#### ② 保护配置与整定计算

根据非计划孤岛运行时并网点电压、频率的特点,学习相关规范和规程后在并网控制装置的定值单中选择适用于微电网的防孤岛保护方法,完成防孤岛保护的配置。

根据防孤岛保护配置结果以及相关规范和规程完成防孤岛保护的整定计算,

填写定值单。

根据保护整定条件和原理,对微网控制器中提供的保护进行配置,并整定所配置保护定值,填写定值单。



图 33 交直流混合微电网定值配置与整定界面



图 34 保护定值配置与整定界面

#### ③ 保护性能分析

点击任务栏上"保护性能分析"进入该环节。

#### a) 防孤岛保护性能验证

设置光伏、风电、负荷的相关参数,拉开系统侧线路开关使微电网孤岛运行,记录并网点电压、频率、防孤岛保护是否动作等结果,进行防孤岛装置的性能验证。非计划孤岛运行有多个不同状态,防孤岛保护装置根据微电网非计划孤岛状态进行相应动作。

该环节参数设置的过程与微电源特性相同,不再累赘。

问题: 防孤岛保护配置整定是否合理,该保护装置的优点及缺点。

a.S=1300W/m<sup>2</sup>; T=25°C; v=10m/s; 负荷 17kW

当孤岛运行时, 频率为 49.25Hz, 电压为 389.65V, 开关柜上开关动作画面如图 35 所示, 可见防孤岛保护动作, 开关打开。

b.S=1000W/m<sup>2</sup>; T=25°C; v=10m/s; 负荷 17kW

当孤岛运行时, 频率为 49.82Hz, 电压为 377.72V, 开关柜上开关动作画面如图 36 所示, 可见防孤岛保护没有动作, 开关没有打开。

c.S=800W/m<sup>2</sup>; T=25°C; v=10m/s; 负荷 17kW

当孤岛运行时, 频率为 49.30Hz, 电压为 370.96V, 开关柜上开关动作画面如图 37 所示, 可见防孤岛保护正确动作, 开关打开。

三次实验的结果见图 37 所示的实验小结。



图 35 S=1200W/m<sup>2</sup>保护装置未动作, 开关未动作界面



图 36 S=1000W/m2 保护装置不动作, 开关不动作界面



图 37 S=800W/m2 保护装置动作, 开关动作界面



图 38 实验小结表

以上,固定了风速和负荷,只是改变光照强度,可见随着光照强度的改变,发生孤岛运行时,微电网的电压和频率都会不同,其数值可能满足电网运行的要求,防孤岛保护不动作,这是利用电压、频率构成的防孤岛保护的缺点。

也可以固定光照强度,改变风速,改变风机的输出功率,分析其对孤岛运行时微电网电压、频率的影响,微电网防孤岛保护性能的影响。

#### b) 短路故障保护性能分析

设置不同地点发生短路故障,有对应保护动作,熟悉短路保护性能。

设置好光伏参数、风力参数及负荷参数后,在监控图上点击故障点,设置故障点位置,如图 39 所示。若设置 f4 为故障点,则点击 f4,同时出现动作的保护"低电压保护动作",如图 40 所示。这是微电源功率输入比较低的情况;增大微电源的功率,可以看到电流保护 III 段动作或 IV 动作,如图 41 所示。



图 39 故障位置设置界面

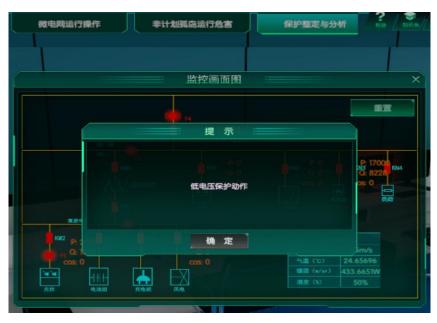


图 40 f4 点故障, 低电压保护动作界面



图 41 f4 点故障, 电流 III 段保护动作界面

分别设置故障点为 f1、f2、f3 点,在电流保护 I 段不拒动的情况下,保护动作界面都显示为"电流保护 I 段动作",如图 42 所示。



图 42 fl 点故障, 电流 III 段保护动作界面

#### 环节五、故障分析与处理

点击任务栏上"故障分析与处理"进入该环节。

#### ① 故障仿真

PCC 开关没有保护。

实验结果: f4点故障: PCC 开关未动作(红灯), 直流光伏、风电、负荷等其经过 0.15s 延时后功率为 0; f3点故障: PCC 开关经过 2s 延时后冒火冒烟, 直流光伏、风电、负荷等其经过 0.2s 延时后功率为 0; f2点故障: PCC 开关经过 2s 延时后冒火冒烟, 直流光伏、风电、负荷等其经过 0.2s 延时后功率为 0; f1点故障(逆变器与开关之间): PCC 开关经过 2s 延时后冒火冒烟, 直流光伏、风电、负荷等其经过 0.2s 延时后功率为 0。



图 43 f4 点故障界面



图 44 f3 点故障界面



图 45 f2 点故障界面



图 46 fl 点故障界面

#### ② 微电网故障分析与处理

共有如下6种场景,实验时随机产生,若前一个能够消除可接着处理下一个出现的故障。

场景 1: 电流保护 III 段动作, PCC 开关跳开, 0.2s 后 PCS 以及所有微电源逆变器闭锁, 判断为 f4 点故障; 确定总进线开关是否跳开, 若跳开了, 可以检修。

场景 2: 0.2s 电流保护 IV 段动作, PCC 开关动作, 0.2s PCS 以及所有微电源 逆变器闭锁, 判断为 f4 点故障; 确定总进线开关是否跳开, 若跳开了, 可以检修。

场景 3: 0.2s PCS 以及所有微电源逆变器闭锁, 0.6 失压保护动作, PCC 跳开,

判断为 f4 点故障; 确定总进线开关是否跳开, 若跳开了, 可以检修。

场景 4: 电流保护 I 段动作、PCC 开关跳开, 0.2s PCS 闭锁及微电源逆变器闭锁;

场景 5: 电流保护 I 段动作、PCC 开关跳开, 0.2s PCS 闭锁及微电源逆变器闭锁;

判断为f2点或f3点故障。

场景 6: 电流保护 I 段动作、PCC 开关跳开,光伏逆变器闭锁。判断为 fl 点故障。

图 47 显示了故障发生后"0.2sPCS 以及所有微电源逆变器闭锁, 0.6s 失压保护动作",如果判断为"f4"点故障,并合上 PCC 开关,则故障处理完毕。通过点击监控画面上的"f4",并到交流柜上合上 PCC 开关,系统显示"故障处理完成",如图 48 所示。

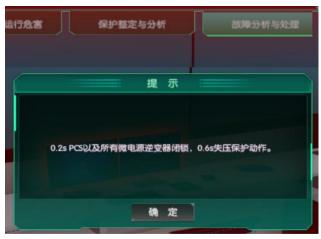


图 47 故障场景 3 生成界面



图 48 故障场景 3 处理成功界面



图 49 故障场景 2 生成界面



图 50 故障场景 1 生成界面

**3-7 实验结果与结论**(说明在不同的实验条件和操作下可能产生的实验结果与结论)

采用电压、频率构成的防孤岛保护,在微电网非计划孤岛运行的绝大部分情况下能够正确动作,此时,可以直接操作电网的断路器实现停电操作,在非计划孤岛运行前微电源出力与负荷接近平衡时,防孤岛保护可能不动作,需要对防孤岛保护的原理进行进一步研究。

需要根据不同的场景进行微电网短路保护的配置与整定。不同微电源出力时,动作的保护不同。如在 f4 点故障时,若微电源工作于接近额定状态,电流保护 I 段动作;若工作于 80%左右的出力,电流保护 II 段延时动作;若工作于较低出力,电流保护不动作,而是由低电压保护延时动作。因此,需要对微电网的电流保护进行进一步的研究。

#### 3-8 面向学生要求

(1) 专业与年级要求

电气工程及其自动化、智能电网信息工程专业、; 二年级及以上学生。

(2) 基本知识和能力要求

具备《电力系统继电保护》、《电气工程基础》或《发电厂电气工程》、《微网分布式电源运行与控制》、《新能源发电技术》等课程的基础知识。

#### 3-9 实验应用及共享情况

- (1) 本校上线时间: 2019年5月10日 (上传系统日志)
- (2) 已服务过的学生人数: 本校 192人, 外校 137人
- (3) 附所属课程教学计划或授课提纲并填写:

纳入教学计划的专业数: 2, 具体专业: 电气工程及其自动化, 课程: 电力系统继电保护; 智能电网信息工程, 微网分布式电源运行与控制。

附电力系统继电保护教学大纲,总学时40,其中实验4学时。

教学内容	学时
	3
电网的电流保护	9
微电网运行与故障分析虚拟仿真实验	4
电网距离保护	8
输电线路纵联保护	4
自动重合闸	2
电力变压器保护	4
发电机保护	4
母线保护	2

教学周期: 2, 学习人数: 140。

附微网分布式电源运行与控制教学大纲,总学时32,其中实验4学时。

教学内容	学时
概述	2
分布式电源的功率变换技术基础	6
新能源发电技术	4
储能技术	6
分布式电源与电能质量控制	4
分布式电源在电网故障状态下的控制与运行	4
微电网运行与故障分析虚拟仿真实验	4
分布式电源环境下的配网规划、标准与测试	2

教学周期: 2, 学习人数: 52。

- (4) 是否面向社会提供服务: ●是 ○否
- (5) 社会开放时间: 2019年 07 月 19日
- (6) 凡服务过的社会学习者人数: 30人

# 4.实验教学特色

(该虚拟仿真实验教学课程的实验设计、教学方法、评价体系等方面的特色,限 800字以内)

该虚拟仿真实验"虚实结合",使学生能够更好地认知微电网及其与电力系统的关系;"以虚达实",开展真实微电网不能开展的高危险性、不可逆实验,实现"真"实验、"真"操作;实验可以通过网络在 PC 机上完成,不受时间空间限制,满足多人在线操作,实现"以学生为本"。该虚拟实验能够培养学生的职业素养和实践技能、分析问题的能力及科研兴趣。

#### (1) 实验方案设计思路

通过对微电网运行经济社会效益的分析,宣传绿色能源的理念;在非计划孤岛运行的危害实验中穿插了停电检修操作培训,培养学生的职业素养。

构建了并网的微电网虚拟仿真系统, 其将电网与微电网联系在一起, 打破微电网系统(用户)与并网系统(电网)的壁垒, 两者能够有机结合在一起开展实验。

#### (2) 教学方法创新

#### 采用基于案例的互动式教学方法, 倡导学生探究式学习

以"线路停电检修误操作引起人身伤亡事故"为案例,使学生认识到微电网非计划孤岛运行的危害以及电力系统中的误操作的危害,从而自觉地去掌握正确的停电操作流程,培养学生的职业素养。通过对各种场景下发生非计划孤岛运行并网点电压、频率的测量分析,发现判断非计划孤岛运行的方法,这在倡导探究式的学习方法,培养学生的科研兴趣和创新精神。

#### (3) 评价体系创新

学习与操作过程均有详细的客观记录,能够对实验过程的全部数据进行评估、评价,使教学过程更能量化,且能够发现学生实验中出现的问题,持续改进教学方法,提高学生实验水平。

#### (4) 对传统教学的延伸与拓展

传统的实验教学侧重于参观实际微电网系统,借助该系统对工作原理、运行方式、微电源、负荷特性等进行介绍,只能进行认知实验,本虚拟实验项目的建立,可以与实际微电网相结合,让学生通过实验,增强学生在微电网运行、控制与保护方面理论联系实际的能力,强化学生的动手能力和解决实际问题的能力。

# 5.实验教学在线支持与服务

- (1) 教学指导资源: ☑教学指导书☑教学视频 □电子教材 □课程教案 (申报系统上传) □课件 (演示文稿) ☑其他
- (2) 实验指导资源: ☑实验指导书☑操作视频 ☑知识点课件库 □习题库 (申报系统上传) □测试卷 □考试系统 □其他
- (3) 在线教学支持方式: ☑热线电话☑实验系统即时通讯工具 ☑论坛 ☑支持与服务群 □其他
- (4) 9 名提供在线教学服务的团队成员; 6 名提供在线技术支持的技术人员; 教学团队保证工作日期间提供 4 小时/日的在线服务。

# 6.实验教学相关网络及安全要求描述

#### 6-1 网络条件要求

(1) 说明客户端到服务器的带宽要求(需提供测试带宽服务)

带宽要求: 20M 下行对等带宽。

经测试客户机,带宽在 20M 以上时,能够有较快的加载速度和较好的交互体验。

本次测试基于主流配置计算机,模拟学生在校内校外不同的使用环境,最大限度地还原用户上网学习虚拟仿真实验的需求。

测试一: 物理连接链路测试。测试目的: 测试客户机和虚拟仿真实验项目网站的延迟和丢包情况; 测试方法: 客户机对本次虚拟仿真实验项目网站进行 PING 操作。

测试二: 网络质量测试。测试目的: 测试不同网络环境访问本虚拟仿真实验页面的加载情况。测试方法: 通过 IP 代理, 测试客户机在不同地域环境下打开虚拟仿真实验项目网页的速度。

测试结果:

当客户机带宽小于 20M 时, 丢包情况严重、网络延时都很高, 部分环境延时可以达到 20ms 以上, 丢包率超过 5%:

当客户机带宽小于 20M 的时候,在不同 IP 对本虚拟仿真实验网页打开的测试中,网页打开速度较慢,特别是课件加载卡顿现象也常有发生,访问效果不理想。

基于以上测试结果, 我们推荐客户机的带宽应大于 20M。

(2) 说明能够支持的同时在线人数 (需提供在线排队提示服务)

本虚拟仿真项目的服务器最佳响应并发数为300。

我们模拟用户访问虚拟仿真项目网站首页、用户登录和加载课件等操作。经测试,当用户数量在300以下时,各项服务均能在0.2s内做出响应,服务器负载处于较低水平,课件加载也很快。当用户数达到2000,服务响应时间维持在0.8s以内,但课件加载速度下降严重。当用户数达到6000时,服务响应时间超过1s,服务器负载也超过了80%。

基于以上测试结果我们认为本虚拟仿真项目服务器的最佳响应并发数为300。可以提供在线排队提示服务。

### 6-2 用户操作系统要求(如 Windows、Unix、IOS、Android 等)

(1) 计算机操作系统和版本要求

计算机操作系统为 Windows7、Windows8、Windows10, Deepin15.7(国产 Linux 系统)

- (2) 其他计算终端操作系统和版本要求 无
- (3) 支持移动端: ○是 ●否

#### 6-3 用户非操作系统软件配置要求 (兼容至少2种及以上主流浏览器)

(1) 非操作系统软件要求(支持2种及以上主流浏览器)

☑谷歌浏览器□IE 浏览器 □360 浏览器 ☑火狐浏览器□其他

(2) 需要特定插件 ○是 ●否

如勾选"是",请填写:

插件名称: (插件全称)

插件容量: M

下载链接:

(3) 其他计算终端非操作系统软件配置要求(需说明是否可提供相关软件下载

#### 服务)

学生需要在 Windows7、Windows8、Windows10 系统环境下,使用以下浏览器打开:

浏览器类型	支持 WebGL	不支持 WebGL
Mozilla Firefox 52 及以上版本	支持	
Google Chrome 57 及以上版本	支持	
Apple Safari 11 及以上版本	支持	
MS Edge 16 及以上版本	支持	
	基于 (Chrome) 内核,	基于(IE)内核,
360 浏览器	并且开启极速模式、智能开启硬件加速情况下	不支持
300 V1 ye up	支持存在右键划线问	
	题,属于浏览器自身设	
	置原因,关闭浏览器鼠	
	标手势即可	

浏览器:Google Chrome

下载地址: http://dl.hdmool.com/tools/chrome x64.exe

# 6-4 用户硬件配置要求(如主频、内存、显存、存储容量等)

(1) 计算机硬件配置要求

Web 端 用户硬件要求

处理器: Intel(R) Core(TM) i5

主频: 2.4GHz

内存: 8GB

显卡: NVIDIA GeForce GTX GT740 2G

(2) 其他计算终端硬件配置要求

无特殊要求,满足能上网功能即可。

## 6-5 用户特殊外置硬件要求(如可穿戴设备等)

(1) 计算机特殊外置硬件要求 无

(2) 其他计算终端特殊外置硬件要求: ●无 ○有

如勾选"有",请填写其他计算终端特殊外置硬件要求:

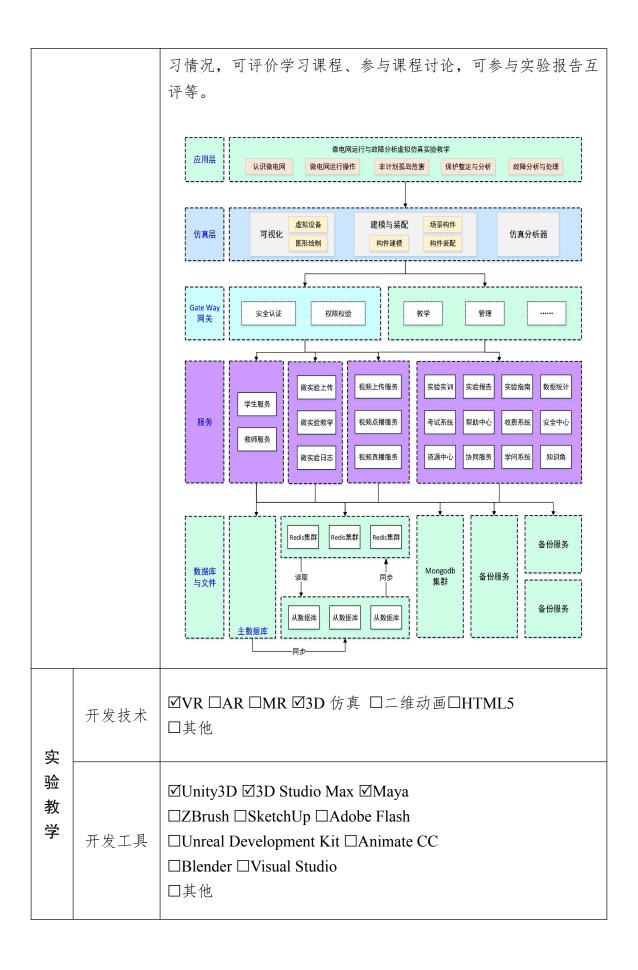
## 6-6 网络安全(实验系统要求完成国家信息安全等级二级认证)

- (1) 证书编号: 32012143006-21001
- (2) 请附信息系统安全等级保护备案证明



# 7.实验教学技术架构及主要研发技术

统采用轻量化的开发语言和模块化设计方案,部署简单、使方便。系统支持分布式部署方案,可随使用情况动态扩充容量基于容器化部署还可实现自动扩容,无需人为干预。 系统包含实验实训、实验报告、实验指南、数据统计、 试系统、帮助中心、收费系统、安全中心、资源中心、协同	指标	内容
系统架构图及简	系统架构图及简	本系统是基于 B/S 架构设计的虚拟仿真实验教学平台。系统采用轻量化的开发语言和模块化设计方案,部署简单、使用方便。系统支持分布式部署方案,可随使用情况动态扩充容量,基于容器化部署还可实现自动扩容,无需人为干预。 系统包含实验实训、实验报告、实验指南、数据统计、考试系统、帮助中心、收费系统、安全中心、资源中心、协同服务、学问系统和知识角等功能模块。系统除支持虚拟仿真实验外还可上传视频和其它文档资料,支持系统化课程体系学习。系统可对学生实验、学习数据做详细记录并分析每个学生的学习情况和整体学生知识掌握情况,实验报告系统可对学生提交的实验报告进行自动批阅也可由教师人工批阅或学生相互阅



运行环境	服务器  CPU_16_核、内存_32_GB、磁盘_1000_ GB、显存_16_GB、GPU 型号_NVIDIA GRID K1 操作系统 □Windows Server ☑Linux □其他 具体版本: centos7 数据库 ☑Mysql □SQL Server □Oracle □其他 备注说明(需要其他硬件设备或服务器数量多于1台时请说明) 是否支持云渲染: ○是 ●否
实 (景面分帧数馈示分验如模数辨渲动间新率 3分帧数 馈示分明新率	贴图分辨率: 512×512 每帧渲染次数: 30fps 动作反馈时间: 1/90s 显示刷新率: 60Hz

# 8.实验教学课程持续建设服务计划

(本实验教学课程今后5年继续向高校和社会开放服务计划及预计服务人数)

#### (1) 课程持续建设

日期	描述
第一年	补充电动汽车充放电特性实验
第二年	建设交流微电网部分
第三年	建设交直流混合微电网防孤岛保护的实验项目
第四年	建设交直流混合微电网并网控制器所有保护整定与性能分析
	项目
第五年	建设微电网能量管理策略实验项目

其他描述:该实验项目为开展与微电网相关的虚拟仿真实验项目提供了一个很好的平台,未来将基于该平台,依托"电气工程及自动化国家级虚拟仿真实验中心"持续建设该实验项目。

#### (2) 面向高校、社会的教学推广应用计划

日期	推广高校数	应用人数	推广行业数	应用人数
第一年	2	160	1	100
第二年	2	160	1	100
第三年	2	160	2	150
第四年	3	200	2	150
第五年	3	200	2	150

#### 其他描述:

依托南京理工大学电气工程及自动化国家级虚拟仿真实验教学中心及该实验 网站,有步骤有计划地向国内外知名高校推广,并做好在线服务与技术支持工作, 使更多的电气工程专业学生受益,进一步扩大开放共享范围。

按照建设要求,实施项目被认定后向社会适当免费开放,并提供在线教学服务,尤其向开展微电网、分布式电源接入系统设计、运行、维护的单位开放,使他们掌握微电网的运行、控制与保护的理论、方法和相关操作,保证微电网、分布式电源电站的安全、经济运行。

# 9.知识产权

软件著作权登记情况		
以下填写内容须与软件著作权登记一致		
软件名称	微电网运行与故障分析虚拟仿真实验系统 V1.0	
是否与课程名称一致	●是 ○否	

每栏只填写一个著作权人,并勾选该著作权人类型。如勾选"其他"需填写具体 内容;如存在多个著作权人,可自行增加著作人填写栏进行填报。

著作权人	著作权人类型
	●课程所属学校 ○企业
	○课程负责人 ○学校团队成员
权利范围	全部
软件著作登记号	2020SR1661640

如软件著作权正在申请过程中,尚未获得证书,请填写受理流水号。

# 受理流水号

# 10.诚信承诺

本团队承诺:申报课程的实验教学设计具有一定的原创性,课程所属学校对本实验课程内容(包括但不限于实验软件、操作系统、教学视频、教学课件、辅助参考资料、实验操作手册、实验案例、测验试题、实验报告、答疑、网页宣传图片文字等组成本实验课程的一切资源)享有著作权,保证所申报的课程或其任何一部分均不会侵犯任何第三方的合法权益。

实验教学课程负责人(签字):



2021年5月28日

# 11. 附件材料清单

# 1.课程团队成员和课程内容政治审查意见

思想政治审查表

# 南京理工大学一流课程(虚拟仿真项目)思想政治审查表

虚拟仿真实验	<b>俭项目名称</b>				
项目负责人	郭健 职称/职务 教授/人事处长 政治面貌 中共党员				中共党员
	姓名	姓名 职称/职务 政治面貌			
	王宝华	王宝华 副教授/实验中心主任 民进会员			
团队主	雷加智		讲 师		群众
要成员	卜京		讲 师		中共党员
	刘晋宏		讲 师		中共党员
项目内容 简介	实实的实 整层次 医致参相验分进 电电影 多种 实 与 进 电 上 说 将 理 说 ,				
学院党委 政审意见	该虚拟仿真实验课程内容价值取向正确,对于我国政治制度以及党的理论、路线、方针、政策等理解和表述准确无误,对于国家主权、领土表述准确,团队成员无违法违纪记录,无师德师风问题,无学术不端行为,五年内未出现过重大教学事故。同意申报。  签字(盖章): 2021年5月28日				
学校党委 审核意见	该虚拟仿真实验课程内容严格遵守国家、地方和部门的法律法规,政治导向正确、政治方向正确、价值取向正确,团队成员均未发现违法违纪行为。同意申报。				

注:学院党委须对项目团队成员情况进行审查,并对项目内容的政治导向进行把关,确保项目正确的政治方向、价值取向。

# 关于第二批国家级一流本科课程推荐课程课程团队成员和课程内容的政治审查意见

经审查, <u>郑馨语、李乃彬、王宇、朱军</u>政治表现<u>优秀</u>, 无违法违纪记录, 无师德师风问题, 无学术不端行为, 五年内未 出现过重大教学事故。由以上团队参加的南京理工大学<u>微电网运</u> 行与故障分析虚拟仿真实验课程内容价值取向正确, 对于我国政 治制度以及党的理论、路线、方针、政策等理解和表述准确无误, 对于国家主权、领土表述及标注准确。

同意该课程申报。



# 南京理工大学一流课程(虚拟仿真项目)学术性评价意见

		分析虚拟仿真实验
项目负责人 郭健 耳	识称/职务	教授

学术性评价意见:

"微电网运行与故障分析虚拟仿真实验",顺应电力系统结构变革,将分布式电源接入电力系统通过微电网的形式进行展示,并将微电网融入到传统的电力系统课程中。该实验紧紧围绕电气工程及其自动化专业"电力系统继电保护"和智能电网信息工程专业"微网分布式电源运行与控制"课程中继电保护整定计算及其性能分析等关键知识点,以实际微电网为背景,基于江苏省虚拟仿真实验教学项目"基于硬件在环的智能变电站虚拟仿真实验项目"的开发经验,通过虚拟仿真手段将实验室无法进行的不可逆、高危险性的实验在虚拟环境中实现。实验数据源自实际微电网工程,并通过防孤岛保护以及短路保护的多参数仿真探究微电网非计划孤岛运行规律和短路电流特点,实现相应保护的配置和整定,具有"两性一度"的突出特点,具有很好的推广应用价值。

实验中自然地融合了思政内容。通过热点资讯学习,培养学生的责任担当与 民族自豪感,增强自信心。

实验内容、步骤设计合理。实验由认识微电网、微电网运行操作、微电网孤岛危害、保护整定与分析、故障分析与处理五个环节组成,实验内容由浅入深,层次递进。学生在完成微电网基本知识、基本操作及基本规律探究后,将理论与工程实际相结合,完成具体微电网的保护配置与整定计算以及故障分析及处理,提高解决复杂工程问题的能力和创新能力。

实验画面还原度高,难易设置得当,评分模型合理。该实验采用任务驱动式的探究型实验,能够很好地激发学生兴趣,在潜移默化中帮助学生理解微电网非计划孤岛运行、短路故障时电流电压的特点及其实现保护的原理和掌握故障处理的方法,为学生提供了一定的创新和挑战的空间,拓展了继电保护与控制实验教学的深度与广度。

实验系统融合新能源发电技术、微电网分布式电源运行与控制、电力系统继电保护、发电厂电气部分的相关知识点,为这些课程开展虚拟仿真实验提供了一个平台。

2021年5月28日

姓名	职称、荣誉	签字
吴晓蓓	教授/博导,国家级教学名师	芸艺
王建新	教授/博导,第三批国家"万人计划"教学名师	动物
袁军堂	教授/博导,江苏省教学名师	大品

## 3.校外评价意见

#### 应用证明

项目名称	微电网运行与故障分析虚拟仿真实验	
应用单位	南京理工大学紫金学院	
应用起止时间	2020年9月至2020年10月	
单位地址与邮编	地址:南京仙林大学城文澜路89号,邮编:210023	
联系人与电话	王彬彬, 13951036829	

#### 应用推广情况及效果

我校电气工程及其自动化专业于 2020 年 9 月~10 月应用南京理工大学开发的"徽 电网运行与故障分析虚拟仿真实验"进行电力系统继电保护的课程实验教学,共有 137 名学生参加并完成了该实验教学。

该虚拟仿真实验项目包含认识微电网、微电网运行操作、非计划孤岛运行危害、保护整定与分析、故障分析与处理5个环节,18个操作步骤。实验教学内容设计合理,层次递进。认识微电网环节了解微电网的基本组成及特性,实现对微电网的感性认识;微电网运行操作、非计划孤岛运行中的检修误操作体验、停电操作等操作性实验,掌握微电网中的相关操作以及电网停电操作流程,培养学生工程实践能力以及职业素养;非计划孤岛运行电压、频率特点分析以及短路电流特点分析、保护配置、整定及性能分析、故障分析与处理等实验,实现微电网保护原理掌握及其工程应用,培养学生解决复杂工程问题的能力。

"微电网运行与故障分析虚拟仿真实验"将电力行业的最新发展成果融入到了传统电力系统的课程中,通过虚拟仿真手段将实验室无法进行的不可逆、高危险性的实验在虚拟环境中实现,实验操作融体验、探究及应用于一体,在线操作方便安全,具有高阶性、创新性和挑战度,为我校电气工程及其自动化专业人才培养提供了一个很好的渠道。



## 4.软件著作权登记证书



