

提升“配电自动化”课程内涵的实验平台建设

雷廷浩, 郝正航, 黄丽苏

(贵州大学 电气工程学院, 贵阳 550025)

摘要: 配电自动化作为新工科智能电网的主要内容, 在实验教学上还不满足新工科内涵要求。为加强学生在配电网方面的实践能力, 提出“配电自动化”实验教学体系及课程教学的改革方案, 基于贵州大学自主研发的实时仿真器 UREP、嵌入式开发系统及 PC 端搭建配电网模块化半实物通用实时仿真实验平台。以馈线自动化为例, 阐述平台的使用方法及步骤。提升学生理论与实践相结合的能力, 达到新工科人才培养目的。

关键词: 新工科; 配电自动化; 实践教学; 半实物仿真实验平台

中图分类号: TM7

文献标识码: A

文章编号: 1008-0686(2022)01-0171-06

The Construction of the Experimental Platform to Improve the Connotation of the Course of Distribution Automation

LEI Tinghao, HAO Zhenghang, HUANG Lisu

(College of Electrical Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: Distribution automation, as the main content of smart grid in new engineering field, does not meet the connotation requirements of new engineering field in experimental teaching. In order to strengthen students' practical ability in distribution network, the reform scheme of Distribution Automation experimental teaching system and course teaching was proposed. Based on the real-time simulator UREP, embedded development system and PC terminal independently developed by Guizhou University, a modular semi-physical universal real-time simulation experimental platform for distribution network was built. Taking feeder automation as an example, the application method and steps of the platform are expounded. To improve students' ability to combine theory with practice and achieve the purpose of cultivating new engineering talents.

Keywords: new engineering; distribution automation; practical teaching; semi-physical simulation experiment platform

“中国制造 2025”、“大众创业, 万众创新”、“一带一路”等国家重要战略需要大量高技术人才。为满足百年未见新机遇和新挑战对人才的需求, 教育部及时发布了《关于开展“新工科”研究与实践通知》, “新工科”应运而生, 成为国家长远之策。培养新工科人才已成为高等学校当务之急^[1-2]。相对于传统工科人才, 新工科人才应具有基础能力扎实、实践能力强、创新意识优越的特点; 与传统工科相比, “新工科”更强调学科的实用性、交叉性与综合性。高校作为人才培养的主力军, 起着承上启下的作用, 即高校必须在人才实践能力、创新意识能力上做进一步的探索^[3]。从目前国内高校的专业设置来看, 电子技术类、网络与信息工程、安全工程、新能源、功能材料等专业已纳入“新工科”的范畴, 传统的工科课程模式已无法满足

“新工科”内涵下对学生的培养要求, 从地方院校的课程安排来看, 仍存在教学环节重结果, 轻过程。因此, 课程缺少实验环节、学生缺少创新能力是当下高校培养学生的严重缺陷。

近年来, 各个高校已就不同的科目对新工科下的实践教学进行了探索。文献[4-7]分别针对测控专业、电力生产、电力电子及电子信息专业相关科目展开实验教学平台的建设, 提升了相关专业和学科的教学质量, 针对性强, 但不具有普遍性; 文献[8-9]针对计算机及电子信息专业展开了教学改革, 提出了相应的改革体系, 与传统的教学方式比, 更加能培养学生的实践创新能力, 但没有具体的实验平台作为基础; 从目前全国改革经验来看, 课程实践教学改革依旧存在开展困难的问题。对于馈线自动化而言, 文献[10-11]分别利用 DELPHI、

收稿日期: 2020-08-20; 修回日期: 2020-09-21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51567005); 贵州省科技计划项目[2018]5615

第一作者: 雷廷浩(1994—), 男, 汉族, 硕士研究生, 研究方向为电力系统及其自动化, E-mail: 850776032@qq.com

通信作者: 郝正航(1972—), 男, 汉族, 博士, 教授, 主要从事智能电网及其仿真技术教学与研究, E-mail: haozhenghang@163.com

Proetus 设计了一套配电自动化仿真教学平台以模拟配网自动化的主要功能,需要多台电脑或多媒体运行,该平台教学能帮助学生把学到的知识与实际系统进行结合,但在教学中依然是“一对多”的教学模式,且没有通过实物使学生对理论知识有更直观的理解,对学生实践能力提升作用有限。

为此,本文以配电自动化这一课程为例,提出实验课程教改方案,构建相应的实践教学体系,搭建基于实时仿真器 UREP (Universal Real-time Simulation Platform)^[12-13]、嵌入式开发系统、PC 设计环境的配电自动化教学实验平台,基于实验平台推进课程内容改革和实验创新,也为相关科目及其他专业提供可行的思路。

1 “配电自动化”教学现状

“配电自动化”课程本身具有跨界和交叉性质,内容涉及电气领域诸多前沿知识和能力,是当今很多新技术的交汇点。但是,目前该门课程的教学设计存在较多问题。

工科高校“配电自动化”教学现状如表 1 所示。主要授课内容包括基于重合器的馈线自动化、基于 FTU 的馈线自动化、配电自动化的通信系统、开闭所和配变自动化、用户自动化等;授课方式主要是课程讲授,实践环节也仅局限于软件离线仿真,该门课程的教学设计和实验设计都有待研究。

表 1 配电自动化教学现状

高校配电自动化课程设计		
课程内容	课程要求	教学方式
配电自动化概述	配电自动化的概念、意义、基本功能、发展和现状	理论教学
一次系统改造	配电网接线及运行特点,分断,线径选择,重合器、分段器	理论教学 + Matlab/Simulink 仿真
基于重合器的馈线自动化	基于重合器和分段器的故障隔离和网络重构	理论教学 + Matlab 算法编写
基于 FTU 的馈线自动化	基于 FTU 的故障检测、故障隔离、网络重构	理论教学
配电自动化的通讯系统	通信要求、通信信道、通讯方式、通讯协议	理论教学
开闭所和配变自动化	DTU、TTU	理论教学
用户自动化	负荷控制、电能质量检测与控制、用户管理	理论教学 + Matlab 算法编写

2 “配电自动化”实验教学改革方案

2.1 “配电自动化”教学体系改革

设计实验教学体系思路如图 1 所示。课程体系改革当然是“新工科”人才培养的重中之重,改革方案以 OBE 理念为导向,换言之,学生课程产出应大于教学内容而占据主导地位。

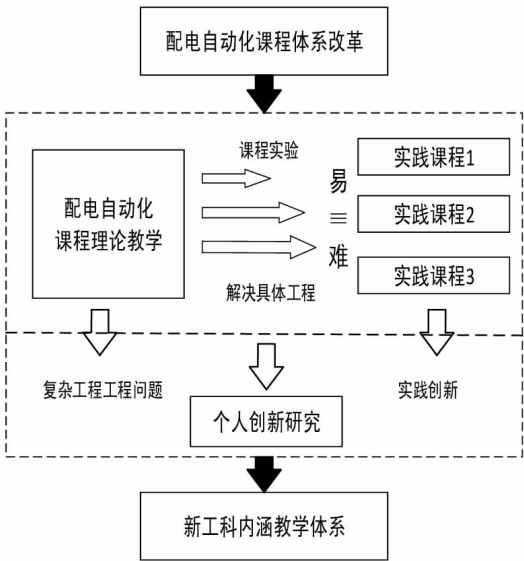


图 1 实验教学体系思路

“新工科”更强调培养学生能够深入利用所学的 课程原理及专业知识去解决一个具体的复杂工程问题。而作为课程实验教学,和课程设计或毕业设计不同的一是课程实验教学应该具有一定循序渐进的过程,在满足复杂工程实验的目标下,也需同时注重理论以及分层实验的教学,在配电自动化具有交叉性的特质条件下,体现出循序渐进的过程,二是课程实验教学应同时注重产出过程的指导与教学,在学生“吃透”理论知识之后进行实践创新。实验教学体系主线思想应为“课程理论教学——实践课程建设——个人创新研究”,在理论教学后,学生根据所学内容进行课程实践,课程实践由易及难,巩固理论教学的同时,为个人创新研究做铺垫。

2.2 “配电自动化”课程改革

所提方案如表 2 所示,课程建设是专业建设的基础,只有从课程内容出发挖掘新工科内涵,才能建成新工科专业。然而,实践教学是理论教学的重要补充,实验教学又是实践教学的重要组成部分,课程改革要将实验教学与理论教学紧紧接合起来。从课程性质上看,“配电自动化”作为电气自动化专业新工科改革及内涵建设的切入点非常合适,通过搭建实验平台对“配电自动化”课程进行改革显

表2 配电自动化实验教改方案

高校配电自动化课程设计		
课程内容	课程要求	教学方式
配电自动化概述	配电自动化的概念、意义、基本功能、发展和现状	理论教学
配电自动化实验平台	实验平台的原理、功能、操作	演示教学
一次系统改造	配电网接线及运行特点,分断,线径选择,重合器、分段器	Matlab/Simulink仿真实验
基于重合器的馈线自动化	基于重合器和分段器的故障隔离和网络重构	Matlab/Simulink模型搭建、配电自动化实验平台验证
基于FTU的馈线自动化	FTU设计:故障检测、隔离、网络重构	Matlab/Simulink模型搭建、配电自动化实验平台仿真
配电自动化的通讯系统	通信要求、通信信道、通讯方式、通讯协议及RTU设计	理论教学、配电自动化实验平台仿真实现
开闭所和配变自动化	基于DTU、TTU的控制终端设计	Matlab/Simulink模型搭建、配电自动化实验平台仿真
用户自动化	负荷控制、电能质量检测与控制	Matlab 算法实现、配电自动化实验平台实验验证

得十分重要。针对基于重合器的馈线自动化、基于FTU的馈线自动化、配电自动化的通信系统等内容实施改革,删减了一部分验证性实验,添加了针对配电自动化实验平台的相关教学内容,学生利用实验平台这一“工具”,继而对后续实验进行一定的实践操作。

为使学生真实地感受到配网自动化系统的可实现性,跨越“配电自动化”课程本身具有的跨界和交叉性质,摆脱课程“难学、抽象”的障碍,将既有实验项目与改革之后的创新性实验内容进行有效融合,按照课程理论内容体系和控制终端的不同需求,进行递进式实验。此外,配电自动化实验平台也为教师及研究生科研提供实验验证环境。

3 “配电自动化”实验平台建设

3.1 “配电自动化”实验教学目标

“配电自动化”实验教学目标是:①深入理解配电网一次系统结构特征;②掌握配电自动化装置

的原理及设计流程。为此,在建设实验平台时,应充分考虑如何帮助学生达成上述目标。由于实时仿真技术可以准确而生动地展现动态系统的特征,故基于实时仿真器搭建配电网一次系统的实验模型非常合适;由于配电自动化中的二次装置需要与一次系统组成闭环才能显示其功能,故通过嵌入式平台模拟二次装置并与实时仿真器构成闭环系统。该半实物仿真平台是最接近实际的实验平台。

3.2 “配电自动化”实验平台搭建

本实验平台在 Matlab/Simulink 离线仿真基础上进行扩展,增设贵州大学自主研发的实时仿真器 UREP(Universal Real-time Simulation Platform),嵌入式开发系统,链接 PC 端形成闭环实验平台,基本组成原理如图 2 所示。实验建模后,连接 PC 端,嵌入式开发系统、UREP 实时仿真器;通过对一次模型的移植,在实时仿真器 UREP 中实现实时仿真;对控制终端进行设计,并用 C 代码对其控制功能进行编写;利用 PC 端把具有控制功能的终端代码写入嵌入式开发系统;UREP 实时仿真器与嵌入式开发系统闭环连接,嵌入式开发系统在接收 UREP 发送的数据信号后,进行处理并把控制命令反馈到 UREP 实时仿真器中,形成半实物实时仿真。图 1 所示的新型实验架构包括 PC 端、实时仿真器、嵌入式开发系统三个设备,实验平台实物如图 3 所示。

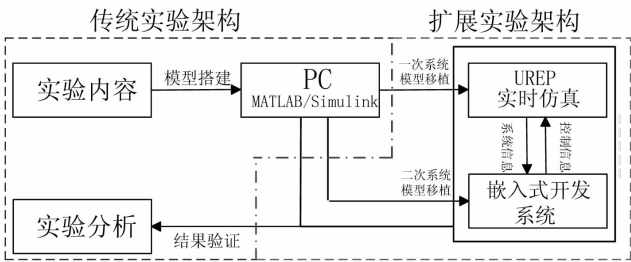


图2 配电自动化实验平台组成原理



图3 “配电自动化”教学实验平台展示

本平台具有的优势:①平台利用率高,可针对不同的实验课程作为使用对象;②本实验平台

提供开放的实验环境,面对对象可为专业全体师生;③平台占用面积小,普通的教室既能容纳多套该实验平台;④实验平台对本校本科生及研究生完全开放,教师亦能运用此平台进行创新科学研究;⑤本平台通过实际操作激发学生学习兴趣,亦能够满足学生进行创新性的实验需求,具有多元性和开放性。

4 实验平台教学示例

4.1 “配电自动化”实验教学示例

以分布式馈线自动化为例,对 FTU 进行设计及半实物仿真实验。

(1)学生在获取馈线自动化理论知识后,通过 Matlab/Simulink 进行离线仿真建模,以确保控制器和控制对象模型的正确性。以图 4 IEEE33 节点配电网为例,在上侧支路处增设断路器 SW,联络开关 LS,每个节点处安装馈线终端 FTU,每个节点按照如图 5 所示增设三个支路开关,分别为该节点一个进线侧、两个出线侧(图中分别为左、下、右)的开关。

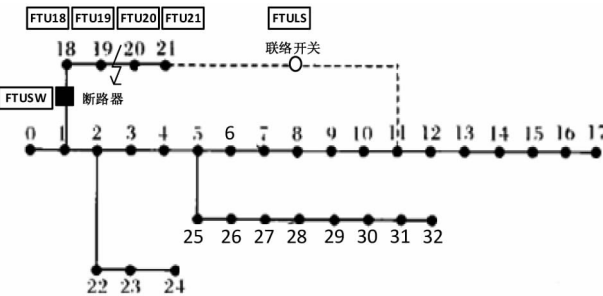


图 4 IEEE33 节点图

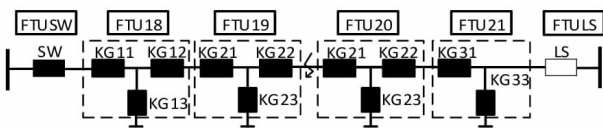


图 5 IEEE33 节点图

FTUSW 控制支路重合闸,FTULS 控制联络开关,其余 FTU 控制相应的分段开关。节点 19 与节点 20 之间在 0.8 秒发生单相接地永久性故障,FTUSW 检测到支路短路电流后,断开重合闸,FTU19 在检测到电流越限后,将该信息传递给下游的 FTU20,FTU20 由处的电流没有越限,判断出故障发生在这两个节点之间,完成对故障的位置判断;继而 FTU19、FTU20 对相应的分段开关进行断开操作,分别断开节点 19 右侧及节点 20 左侧的支路开关,完成故障隔离;故障完成后,相应 FTU 发送“隔离已完成”的信息至联络开关处的 FTULS,FTULS 再和重合闸所在的 FTUSW 进行通讯,同

时闭合重合闸及联络开关,达到非故障区域的供电恢复目的。节点 18 电压波形及联络开关处电流波形如图 6、图 7 所示,各个 FTU 的控制布尔量如图 8、图 9 所示。

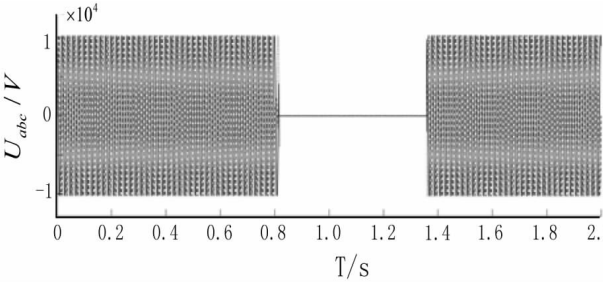


图 6 节点 18 电压波形

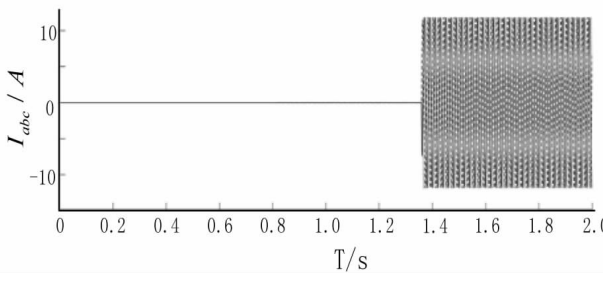


图 7 联络开关处电流波形

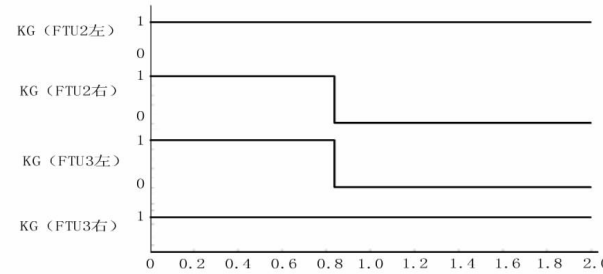


图 8 各 FTU 的开关控制信息

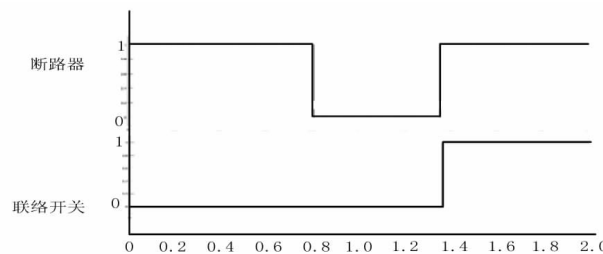


图 9 断路器和联络开关的控制信息

(2)学生将基于 Matlab/Simulink 搭建的 IEEE33 节点配电网一次模型移植到 UREP 实时仿真器,可在实时仿真器 UREP 中观测配电网中各个节点的数据波形。节点 19 和节点 20 之间的馈线发生单相接地故障时,实时仿真器将实时显示出各个节点的电压波形,将故障时间调整为 80 秒,实时仿真器会把节相应节点的过电流信息传输到之后设计的 FTU 嵌入式开发系统当中。

(3)在软件环境下基于离线仿真中馈线终端

FTU 的结构,设计并编写具有故障检测、故障隔离、供电恢复功能的 C 代码。将编写好的 C 代码通过 PC 端写入嵌入式开发系统,进行编译,若 C 代码能够成功运行,则嵌入式开发系统具有馈线终端 FTU 的功能,并在配电自动化实验平台作为配电网控制器实物使用。

(4)学生在完成上述 3 个步骤之后,利用网线连接 UREP 实时仿真器,设置嵌入式开发系统和 UREP 实时仿真器的端口地址和 IP 地址,使之能够对应且完成实时数据的接收和发送,最后通过 PC 端向嵌入式开发系统发送指令使实验平台开始运行。通过仿真平台观测配电网相应节点的电压电流原始波形、FTU 对实时仿真器的反馈开关布尔量及故障处理后对应节点的电压电流波形。

如图 10~图 13 可见,任何一个电气量都能通过实验平台得到直观的监测,学生较传统离线仿真而言,通过本实验平台,能更直观进行实验操作学习,摆脱离线仿真带来的局限;嵌入式开发平台同样能够加深学生对实验目标的了解。

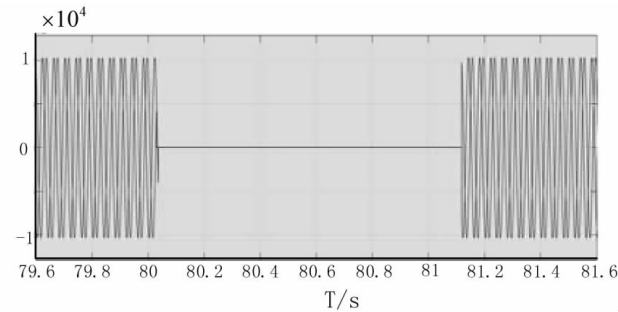


图 10 节点 18 实时电压波形截图

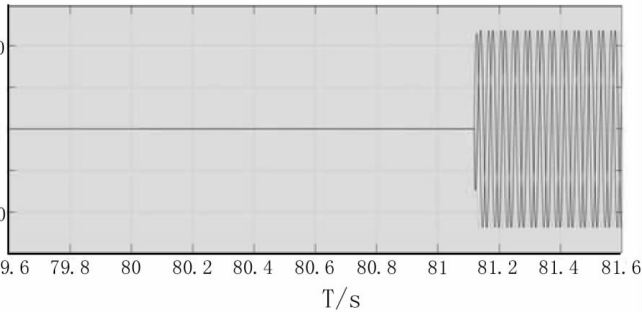


图 11 联络开关处实时电流波形截图

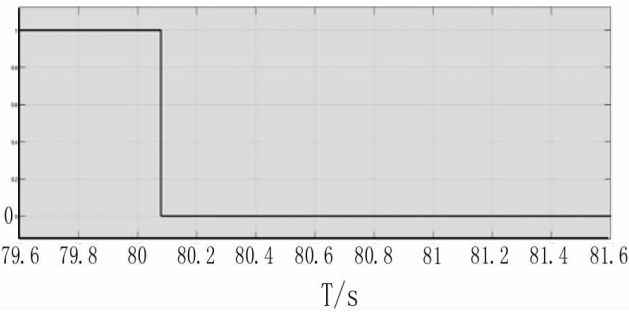


图 12 节点 19 右侧开关信息截图

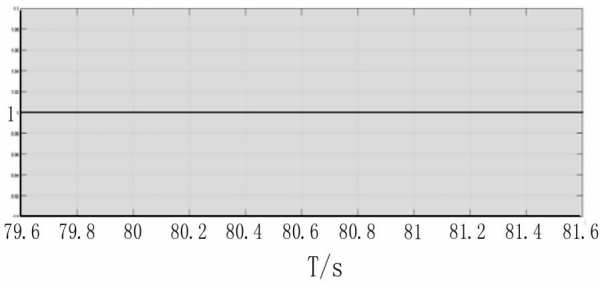


图 13 节点 19 左侧开关信息截图

4.2 实验教学平台功能拓展

学生通过独立操作即可完成具体实验操作;在接收理论知识后,通过实验,可让学生对相应的知识有更深入的理解,且能对学生的 C 语言编写及应用、仿真能力、硬件操作进行训练;相应的,在处理具体项目时,学生的逻辑思维也能得到提升。实验后,学生可以对比诸多运行算法、控制方法,不断对自己的控制终端进行改进与创新。利用具有工程体现的半实物仿真平台,实现对 FTU 终端实际工程建设,如图 14 所示,通过对 FTU 的开发实现,使本科生在面向就业前就具有一定的工程产品开发经验。

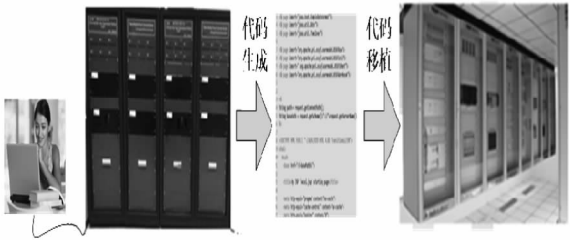


图 14 实验平台工程体现

5 结语

传统的实验教学很难满足当前“新工科”建立产教融合、协同育人的人才培养模式。本文针对“配电自动化”课程的教学现状,提出基于实验平台的教改课程方案,根据需求搭建面向新工科的“配电自动化”实验平台,针对馈线自动化,介绍“配电自动化”实验平台的操作实例。“配电自动化”实验平台弥补了传统教学中轻实验甚至无实验的教学不足,实验平台具有通用性,学生可利用离线仿真、C 代码编写、硬件操作等诸多技术,根据本实验平台进行半实物仿真,获取实际工程建设的经验,激发学生的创新意识和实验兴趣。该实验教学平台贴合新工科人才培养目标,满足“新工科”人才培养要求。

参考文献

[1]韦钰,石蕴玉,曾国辉. 新工科背景下的电气工程专

- 业实践教学模式探究[J]. 北京:中国现代教育装备, 2017:74.
- [2] 龚薇, 周凯, 朱光亚, 等. 新工科基于 CLT 电力电子综合实验设计探讨[J]. 北京:实验技术与管理, 2018(4):177-179.
- [3] 冉栋刚. 面向创新人才培养的高校实验室建设改革[J]. 北京:实验技术与管理(4).
- [4] 李敏, 郭永彩, 刘嘉敏, 等. 测控与电子信息类创新创业实践平台建设与实践[J]. 上海:实验室研究与探索, 2018, 37(8):213-217.
- [5] 周洪, 刘超, 何珊, 等. 电力生产过程虚拟仿真实验教学中心建设与实践[J]. 北京:实验技术与管理, 2014(8).
- [6] 胡国珍, 马学军, 徐滤非. 面向应用型实践人才培养的电力电子技术实践创新平台研制[J]. 北京:实验技术与管理, 2017(1):38-42, 45.
- [7] 肖志涛, 吴骏, 耿磊, 等. 基于 OBE 理念的电子信息类本科专业实践教学改革研究[J]. 河北:教育教学论坛, 018, No. 368(26):126-127.
- [8] 彭晏飞, 张全贵. 新工科背景下计算机类专业多元化实践教学体系改革研究[J]. 北京:实验技术与管理, 2019, 36(11):222-224, + 233.
- [9] 刘琪芳, 杨怀卿, 刘振宇. 新工科背景下的电子信息类实践教学探索[J]. 南京:电气电子教学学报, 2019, 41(6):151-154.
- [10] 王强, 孙坚. 高校配电网自动化实验室建设方案探析[J]. 北京:中国电力教育, 2013(2):131-132.
- [11] 李干林, 张强, 张军. 配网自动化的仿真教学[J]. 福州:福建电脑, 2009(12):43-44.
- [12] 黄绍书, 郝正航, 余敏, 等. 基于通用实时仿真平台的电流保护仿真研究[J]. 贵阳:贵州大学学报(自然科学版), 2018, 35(3).
- [13] 潘春鹏, 郝正航. 基于半实物仿真的风力发电实验教学平台[J]. 贵阳:贵州大学学报(自然科学版), 2020, 37(3):53-57.