



面向新工科的两阶段探究式模拟电子技术 实验教学实践

印 月, 周 群, 徐 航, 冷敏瑞

(四川大学 电气工程学院, 成都 610065)

摘要: 20 世纪以来, 电子科技飞速发展, 模拟电子技术和数字电子技术在其发展中发挥着不可替代的作用。电子技术实验课程作为理论学习和工程实际的桥梁, 受到工科电类相关专业的重视。面向新工科建设, 采用适当的实验课程教学方法是提升该课程教学质量和教学成效的关键。针对模拟电子技术实验教学, 通过分析和探讨实验教学现状和教学过程存在的短板, 提出了两阶段探究式模拟电子技术实验教学方法, 并结合现代化教学媒介和多元化实验平台, 拓展实验教学内容, 取得了较好的教学效果。

关键词: 新工科; 电子技术实验; 探究式教学; 教学模式

中图分类号: TN79

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20230034

A Two-stage Exploratory Teaching Practice of Analog Electronic Technology Experimental Course for New Engineering Disciplines

YIN Yue, ZHOU Qun, XU Hang, LENG Minrui

(College of Electrical Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: Since the 20th century, the electronic technology develops rapidly, and the analog electronic technology and the digital electronic technology play an irreplaceable role in its development. As a bridge between theoretical learning and engineering practice, the course of “electronic technology experiment” has been valued for electrical engineering majors. Facing the construction of new engineering, adopting appropriate teaching method of experimental course is the key to improve the teaching quality and effect of this course. For analog electronic technology experiment teaching, the present situation and weaknesses of this course were discussed, and a two-stage exploratory teaching method of analog electronic technology experimental course was proposed. With the organic combination of modern teaching media and diversified experiment platform, the content of experimental teaching was extended, and obtained good teaching effect.

Key words: new engineering disciplines; electronic technology experiment; inquiry teaching; teaching mode

2017 年 2 月, 教育部发布了《教育部高等教育司关于开展“新工科”研究与实践的通知》, 提出树立工程教育的新理念、构建学科专业的新结构、探索人才培养的新模式、建立分类发展的新体系、打造教育教学的新质量^[1]。新工科背景下, 工程教育需要探索新理念、新结构、新模式、新质量、新体系^[2-3], 为培养高水平的工程科技人才提供支撑, 促进高等工程教育转型。

电子技术实验课程作为工科电类相关专业的基础课, 教学内容涉及电工与电子学科的各个领域, 在课程体系起承上启下的作用。它既是后续课程的基础, 也是理论与工程实践的桥梁。在高等工程教育从“技术范式”到“科学范式”, 再到“工程范式”的过程中^[4], 各高校电子技术实验室开展了一系列实验教学改革, 以适应新工科建设及工程实践人才培养的需求^[5-7]。陈杰等^[8]探

收稿日期: 2023-01-16; 修回日期: 2023-09-11

基金项目: 2022 年四川大学实验技术项目(SCU221040); 四川大学高等教育教学改革工程(第十期)研究项目(SCU10284)。

作者简介: 印月(1984-), 女, 博士, 高级实验师, 主要从事电工程理论及新技术方向研究工作。E-mail: 10072371@qq.com

索了新工科背景下交通工程专业电子技术实验课的教学改革方案。杨婷^[9]以“夯实基础、培养能力、开拓思维、注重创新、面向应用”为指导思想,制定了适应新工科的科学完善的实验教学体系。谢洪途等^[10]提出了适应新工科发展的电子技术实验课程建设的新思路。杜世勤^[11]通过“模拟电子技术实验”的软件仿真、网络实验平台等辅助工具为在校大学生学习模拟电子技术(简称“模电”)扩展思路,提升兴趣。

四川大学电气工程学院电工电子基础实验教学中心秉承学院“理念引领、科研反哺、内涵发展、模式创新、凸显特色、做强优势、质量一流”的指导思想,持续提升实验课程专业内涵和建设水平,以学科发展带动教学改革^[12-15],助力一流专业的示范领跑,培养国家战略、行业和地方经济发展急需的一流人才。近年来,为契合新工科建设思路,电子技术实验课程组通过开展两阶段探究式模电实验教学改革,探索新工科发展下学生主动学习能力和实践创新能力的培养模式,以适应新工科发展的高素质工程科技人才培养要求,为培养高水平的工程科技人才提供强有力的支撑。

1 模电实验教学现状分析

模电实验作为独立课程,其内容包含验证性实验和设计性实验两类。其中,验证性实验主要通过经典电路搭建对模电相关基础理论进行验证;设计性实验则是要求学生运用模电相关基础理论,完成综合电路设计与搭建,考查学生对模电知识的掌握情况及综合运用能力。与设计性实验项目相比,验证性实验项目比重稍高。因此,现阶段模电实验教学的突出问题在于:模电实验内容难度偏低,缺乏挑战性,未能从基础理论深度出发,激发学生探索实验现象本质的潜力,实验内容纵向深度有待提升;同时,创新能力培养方式较单一,只关注创新技能培养,而缺少了创新意识和创新思维的培养。

针对新工科对高等工程教育发展和工程科技人才培养的要求,模电实验教学需要加强工程实践教学改革,探索适应新工科建设的实验教学模式,适当延展“实验课堂”,全方位多角度培养学生的能力。

2 两阶段探究式实验教学

针对上述问题,课程组教师经过长期的实践探索,提出了两阶段探究式实验教学方法。所谓“探究式”教学,是指学生在学习概念和原理时,教师给出一些事例和问题,让学生通过阅读、观察、实验、思考、讨论、听讲等途径去独立探究,自行发现并掌握相应的原理和结论的一种教学方法。在实验教学中采用探究式教学方法,不仅能够让学生在实验中发现问题的,还能够培养学生利用理论知识分析和解决工程实际问题的,达到巩固理论知识和提高实践技能的目的。

2.1 两阶段探究式模电实验教学模式构思

在模电实验探究式教学中,根据分析问题、解决问题能力的培养规律,激发学生创新思维,提高课程挑战度,将每个实验项目分为3层次:验证实验、设计实验及探究实验。其中,验证实验是知识点的结构建立、基础性能参数测试,使学生掌握实验理论与基本测试技能;设计实验则是知识点的综合应用,即给出性能参数要求,学生设计单元电路并完成相应指标的测试与计算;而探究实验是指知识点的拓展延伸,包括故障特征分析、新技术探索等,根据探究方法及内容深度,将其分为理论探究和实验探究两阶段。

2.2 模电实验的理论探究阶段

理论探究主要在预习阶段中展开,要求学生根据理论问题,查阅文献资料,进行分析、比较、归纳、综合,全面地、正确地了解和掌握电路原理。同时,根据理论分析设计电路,通过电路仿真来发现元件参数与电路指标间的因果联系,从而扩大学生对科学问题的感性认识,启发学生主动思考、探索和发现新的科学问题。

2.3 模电实验的实验探究阶段

实验探究是理论探究的实践验证。学生根据理论探究问题设计相应实物电路,探究不同类型或不同参数元件对电路功能及相关指标的影响,并逐级分析实测数据与仿真数据。调试过程中,结合实际现象和电路原理,系统化梳理电路特性,从而增强学生的工程素养,激发其实践探究兴趣,挖掘学生的创新意识、创新思维和创新技能。

3 探究实验案例分析

以晶体管单管放大电路为例,详述两阶段探

究模电实验教学实践。该实验是模电实验的重要基础实验,与后续实验联系紧密。其基本要求是学习放大器静态工作点的测量和调试方法,分析静态工作点对放大器性能的影响,掌握放大器交流参数,如电压放大倍数、输入电阻、输出电阻、最大不失真输出电压和频率特性的测试方法。经过该实验的验证实验操作后,进一步开展该实验的探究实验教学,合理引导学生自主探究、归纳,系统构建完整的知识体系。

晶体管单管放大电路验证实验的主要内容包括:静态工作点、正常放大状态下单管放大电路放大倍数、输入电阻、输出电阻,以及静态工作点对晶体管工作状态的影响。该实验各知识点得分情况统计如图1所示。

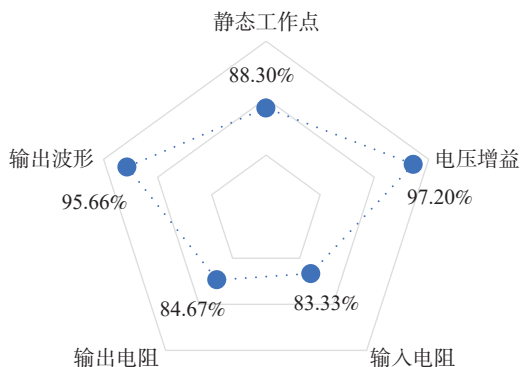


图1 晶体管单管放大电路实验得分情况

由图1可看出,学生的主要学困点为:静态工作点、输入电阻和输出电阻的测试。根本原因在于对电路原理的理解不够透彻,测试电压数据时,交、直流状态混淆。由于该实验知识容量较大,学生在掌握晶体管单管放大电路的同时,容易产生片段式教学印象。因此,难以从科学本质去理解知识。

针对上述问题,以探究式问题为导向,通过理论探究和实验探究,开展“晶体管单级放大电路”的探究式实验教学,激励学生自主学习,深度剖析晶体管单管放大电路的工作原理,加深学生对实验内容理解和提升电路的分析能力,挖掘学生自学潜力。

3.1 理论探究

理论探究阶段通过发布理论探究测试题目(如图2所示),让学生通过电路仿真分析集电结、发射结处于不同状态对放大电路的影响,从而理解设置静态工作点的必要性。同时,也可以把握学生对该实验内容掌握情况,以便及时调整课题教

学进度。

理论探究阶段中,学生可以通过建立图3所示晶体管单级放大仿真电路,遵循“先静态,后动态”的原则对电路进行分析。

单管放大电路故障测试-理论探究

显示答案

一. 单选题 (共5题, 100分)

1.(单选题, 20分)

在实验教材P31图2-3-12分压式共射极单管放大器实验电路中,若电阻 R_{B2} 发生短路现象,电路中()。

- A. 三极管基极电位接近 V_{CC} , 输出将出现饱和和失真
- B. 三极管基极电位近似为零, 输出将出现截止失真
- C. 三极管基极电位近似为零, 无输出信号
- D. 三极管基极电位接近 V_{CC} , 无输出信号

2.(单选题, 20分)

在实验教材P31图2-3-12分压式共射极单管放大器实验电路中,若电阻 R_{B2} 发生开路现象,输出电压()。

- A. 只有直流输出信号, 没有交流输出信号
- B. 既没有直流输出信号, 也没有交流输出信号
- C. 有交流输出信号, 但输出信号幅度减小
- D. 有交流输出信号, 但输出信号幅度增加

图2 理论探究测试题目

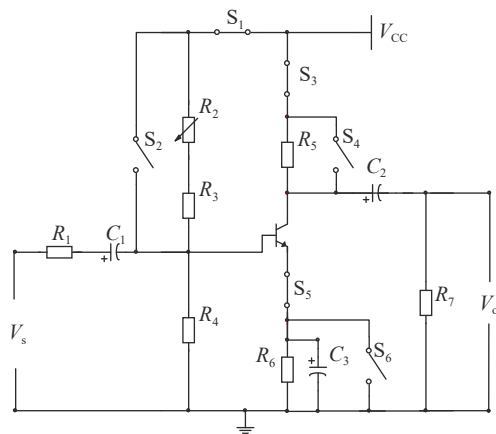


图3 探究式晶体管共射极放大电路图

首先,测试该电路正常工作状态的静态指标,使开关 $S_1 \sim S_6$ 处于图中所示状态,测量晶体管基极、集电极、发射极电压分别为: $V_B=3.2\text{ V}$, $V_C=6.5\text{ V}$, $V_E=2.45\text{ V}$;然后,接入输入信号 U_i 有效值为 100 mV ,频率为 1 kHz ,测量输出电压约为 2.1 V ;最后,改变各开关状态,通过分析直流通路,判断晶体管处于何种工作状态。理论探究阶段,电路测试与电路分析如下。

1) 单级放大电路——基极探究

① 断开 S_1 , 基极开路。

静态测量: $V_B=0\text{ V}$, $V_C=12\text{ V}$, $V_E=0\text{ V}$;

电路分析:基极开路,流过基极电流为零,晶体管截止,基极电压 V_B 和发射极电压 V_E 均为零,输出电压为零。由于集电极电流为零,集电

极电阻 R_5 产生的电压降为零, 故集电极电压 V_C 等于电源电压。

② 闭合 S_2 , 基极 R_2 和 R_3 短路。

静态测量: $V_B=12\text{ V}$, $V_C=6.5\text{ V}$, $V_E=11.25\text{ V}$;

电路分析: 基极电压 V_B 等于电源电压, 发射极电压 V_E 与基极电压 V_B 之间保持 0.75 V 的电压差, 但集电极电压 V_C 均小于基极电压, 晶体管集电结正偏, 故无电压输出。

2) 单级放大电路——集电极探究

① 断开 S_3 , 集电极开路。

静态测量: $V_B=0.75\text{ V}$, $V_C=0\text{ V}$, $V_E=0\text{ V}$;

电路分析: 因集电极开路, 发射极电流均来自基极, BE 结等同于与 R_6 串联, 再与 R_4 并联的正向偏置二极管。由于其值较小, 发射极电压 V_E 被拉低, 但基极电压 V_B 与发射极电压 V_E 之间依旧保持 0.75 V 的压差。

② 闭合 S_4 , 集电极电阻 R_5 短路。

静态测量: $V_B=3.2\text{ V}$, $V_C=12\text{ V}$, $V_E=2.45\text{ V}$;

电路分析: 集电极电压 V_C 等于电源电压 12 V , 但流过集电极电流为零, 故输出电压为零。此时, 基极电压 V_B 仍然由分压电阻 R_2 、 R_3 和 R_4 来决定, 发射极电压 V_E 与基极电压 V_B 之间保持 0.75 V 的电压差, 发射极电流只包含基极电流。

3) 单级放大电路——发射极探究

① S_5 断开, 发射极开路。

静态测量: $V_B=3.2\text{ V}$, $V_C=12\text{ V}$, $V_E=3.0\text{ V}$;

电路分析: 发射极与地之间无电流流过, 故集电极电流为零, 输出电压也为零。此时, 集电极电压 V_C 等于电源电压 12 V , 基极电压 V_B 仍然由分压电阻 R_2 、 R_3 和 R_4 来决定。但由于电压表在测试发射极电压时跨接于发射极和地之间, 故发射极电压 V_E 高于理论值, 与基极电压 V_B 接近。

② S_6 闭合, 发射极电阻 R_6 和电容 C_3 短路。

静态测量: $V_B=0.75\text{ V}$, $V_C=0\text{ V}$, $V_E=0\text{ V}$;

电路分析: 发射极电压 V_E 值为零, 流过发射极电流为零, 集电极电压也为零, 发射极电压 V_E 与基极电压 V_B 之间仍保持 0.75 V 的电压差。

4) 单级放大电路——输入回路探究

闭合 S_7 , 输入电容 C_1 短路。

静态测量: $V_B=1.2\text{ V}$, $V_C=10\text{ V}$, $V_E=0.5\text{ V}$;

电路分析: 由于电容有隔离直流的作用, 对直流相当于开路, 在输入回路中, 接入大电容 C_1 主要起连接作用, 连接信号源与放大电路。因

此, C_1 短路, 将导致静态工作点发生变化, 从而导致输出电压波形会出现非线性失真。如图 4 所示, 电容 C_1 短路, 输出电压波形出现了截止失真。

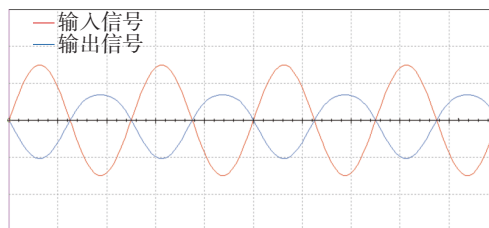


图 4 输入电容 C_1 短路时的输出电压波形图

5) 单级放大电路——输出回路探究

静态测量: $V_B=3.2\text{ V}$, $V_C=6.5\text{ V}$, $V_E=2.45\text{ V}$;

电路分析: 闭合 S_8 , 输出电容 C_2 短路, 在输出回路中, 接入电容 C_2 , 其作用与输入回路中 C_1 一样, 用于连接放大电路与负载。 C_2 短路后, 尽管静态工作点没有发生变化, 但在直流作用下, 电容上的直流电压将加到输出电压上。因此, 输出电压波形向上平移了 V_{CEQ} , 如图 5 所示。

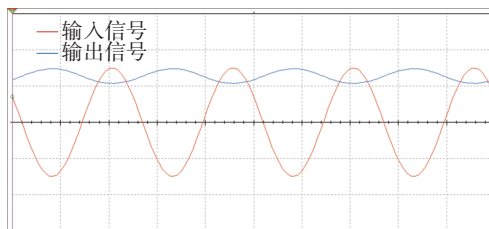


图 5 C_2 短路时的输出电压波形图

3.2 实验探究

为进一步提升学生的实际电路分析能力, 在实验探究阶段引入硬件故障电路, 要求学生通过硬件电路测试与分析, 判断晶体管单级放大电路故障类型, 同时对理论探究阶段的电路分析过程进行验证。

在实验探究过程中, 学生首先判断晶体管放大电路的组态, 然后找出电路中晶体管基极、集电极、发射极所在位置, 测试并记录故障电路中晶体管基极、集电极、发射极电压数据, 对电路故障进行诊断。根据理论探究阶段的分析过程, 对电路其他故障状态进行测试, 制作晶体管单级放大电路故障专家库。以晶体管共射极放大电路故障专家库为例, 整理相关数据, 如表 1 所示。

根据表 1 绘制单级放大电路故障诊断流程图, 如图 6 所示。

表1 晶体管共射极放大电路故障专家库

开关状态	仿真数据测试				故障
	V_B/V	V_C/V	V_E/V	输出电压/V	
无操作	3.2	6.50	2.50	2.1	—
S_1 断开	0	11.65	0	0	基极开路
S_2 闭合	12.0	6.50	11.25	0	基极上偏置电阻短路
S_3 断开	0.9	0	0.10	0	集电极开路
S_4 闭合	3.2	12.00	2.50	0	集电极电阻短路
S_5 断开	3.2	12.00	3.00	0	发射极开路
S_6 闭合	0.8	0	0	0	发射极电阻电容短路
S_7 闭合	1.2	10.20	0.50	0.6	输入电容短路
S_8 闭合	3.2	6.50	2.50	6.4	输出电容短路

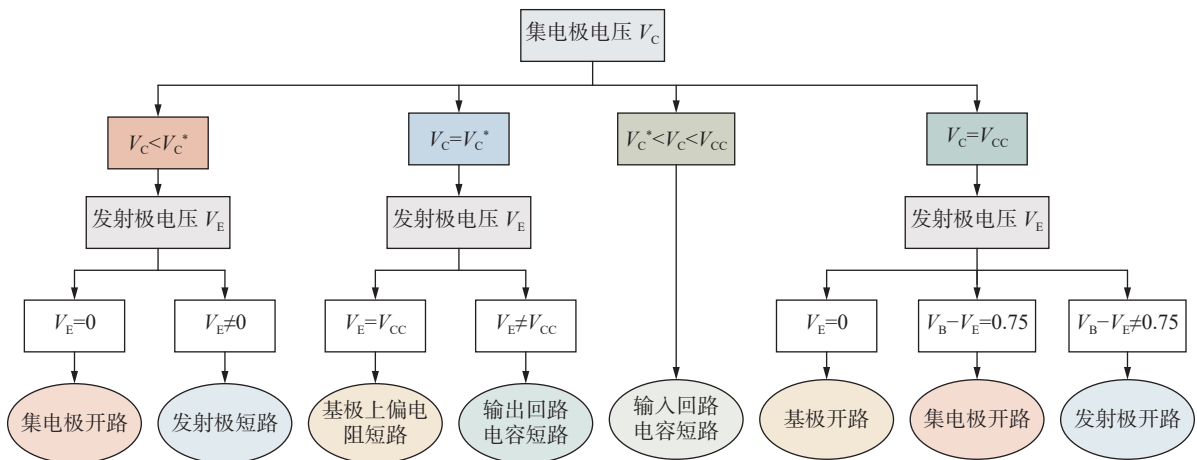


图6 晶体管共射极放大电路故障诊断流程图

3.3 教学成效

以2021级微电子专业学生的两阶段探究实验的得分分布情况为例，验证探究实验的教学效果，如图7所示。

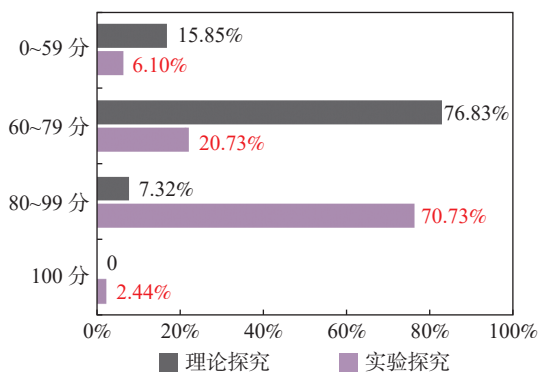


图7 理论探究和实验探究成绩分布

将各分段按“优(100分)、良(80~99分)、中(60~79分)、差(0~59分)”4个等级划分。如图7所示，理论探究阶段，“中”分段学生人数占比最高，占总人数的76.83%；“良”分段学生人数

占比仅为7.32%；实验探究阶段，“良”分段学生人数占比最高，为70.73%，“优”分段学生人数占比2.44%；“差”分段学生人数占比由理论探究阶段的15.85%降为6.1%。由此可见，经过两阶段的探究实验后，学生对晶体管单级放大电路分析能力有较大提升。同时，通过对单级放大电路故障专家库及故障诊断流程图的整理，梳理单管共射极放大电路知识结构，能够提升学生电路故障的诊断能力，有助于后续实验电路的学习。

理论探究和实验探究知识点得分率如图8所示。在进行探究实验前，输入、输出回路探究的知识点得分率较高，均高于80%，可见学生对该部分知识点的理解和掌握情况良好。但晶体管各极电路开路和短路状态的探究得分率较低，尤其是基极探究部分得分率不足30%。通过实验探究后，各知识点的得分率均得到明显提升。其中，基极故障实验和发射极故障实验的得分率提升最大，超过20%，但仍然有很大的提升空间。在后续改革中，可以结合放大电路的性能指标，如输

入电阻、输出电阻、通频带等指标,加强对晶体管共射极放大电路各知识点的理解和电路分析能力的训练。

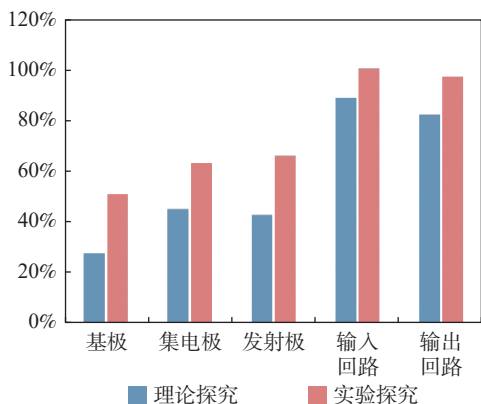


图 8 理论探究和实验探究知识点得分率

4 结束语

本文从晶体管单级电路的集电极、基极、发射极的电路故障出发,对基础实验教学内容进行了延展,提出了理论探究与实验探究相结合的两阶段探究式教学方法。在教学过程中,引入故障电路,鼓励学生合理运用线上教学资源,对电路故障进行分析,并以硬件电路测试结果对理论探究结论进行验证。通过“逻辑思维”与“逆向思维”的双重训练,提升学生对电路的理解与电路分析能力,与基础实验教学形成强烈呼应。最后,从多角度分析了两阶段探究实验教学所取得的教学成效,并针对探究式实验教学存在的不足提出了下一步教学改革计划,促进模拟电子技术实验教学改革的良性可持续发展。

两阶段探究式实验教学方法具有较强的适应性,可广泛用于模电的其他实验内容教学中,如差动放大器实验的共模抑制比的测量方法探究、RC 正弦波振荡电路实验的多信号发生器设计探究等。该教学方法在不断加深学生对实验内容理解和提升电路分析能力的同时,充分挖掘学生自学

潜力,发展学生的创造性思维,为实现高素质高水平工程科技人才培养奠定了坚实基础。

参考文献

- [1] 商泽进,邓庆田,李新波,等.基于“新工科”理念的理工基础学科实验教学教学改革设计[J].实验技术与管理,2019,36(9):149-150.
- [2] 钟登华.新工科建设的内涵与行动[J].高等工程教育研究,2017(3):1-6.
- [3] 董美蓉,龙嘉健,陆继东.基于“新工科”理念的锅炉原理课程设计改革与实践[J].高等工程教育研究,2020(4):71-74.
- [4] 胡瑞年,刘璞.新时期高校“新工科”建设及发展路径研究[J].决策与信息,2019(1):111-122.
- [5] 周萌,曹政才,吴启迪.新工科背景下基于“五位一体”的机器人技术教学改革研究[J].高等工程教育研究,2020(4):66-70.
- [6] 袁炎成,吕念玲,赖丽娟,等.工程教育实验教学的科学设计与过程管理方案[J].实验技术与管理,2019,36(1):192-198.
- [7] 王文东,袁小庆,史仪凯,等.新工科背景下“电工学”实验教学模式改革探索[J].大学教育,2020(2):23-26.
- [8] 陈杰,黄世泽,洪玲,等.新工科背景下电子技术实验教学改革与创新探索:以交通工程专业(信息方向)为例[J].教育教学论坛,2021,45:50-53.
- [9] 杨婷.新工科背景下电工电子技术实验教学示范中心的建设[J].电气电子教学学报,2021,43(6):165-169.
- [10] 谢洪途,梁康,姜新桥,等.适应新工科发展的电子技术实验教学改革研究[J].高教学刊,2021(35):116-119.
- [11] 杜世勤.“模拟电子技术实验”课程教学的三种辅助工具[J].科技与创新,2021(23):140-141.
- [12] 印月,周群.基于故障电路的“逆向”思维实验教学模式[J].实验科学与技术,2020,18(3):95-99.
- [13] 印月,周群.以考促赛——模拟电子技术实验改革新思路[J].实验科学与技术,2015,13(5):96-99.
- [14] 曹晓燕,卜涛.开放型创新实验室建设与管理模式初探[J].实验科学与技术,2018,16(4):152-154.
- [15] 孙曼,宋黎明,徐航.专业基础课程的“双创”教学改革探究[J].教育现代化,2019,6(59):49-50.

编辑 王燕