



# “新工科”背景下电气工程专业课程 实验教学改革研究

赵建勇, 于彦雪\*, 吴敏, 年珩, 孙丹

(浙江大学电气工程学院, 杭州 310027)

**摘要:** 新工科建设背景下, 为满足电气工程专业课程实验教学体系改革优化的需求, 该文首先对电气工程专业实验教学现状进行分析, 总结当前实验教学中存在的问题和不足, 并分析实验教学的发展趋势; 然后针对实验教学内容、实验平台、教学模式、实验室管理、评价体系探究改革方向和措施; 最后以电力电子探究性实验教学为例, 介绍各改革方向在浙江大学电气学院专业实验教学中的应用案例, 从而为电气工程类专业课程探究性实验教学改革提供理论和实践参考。

**关键词:** 新工科; 电气工程; 实验教学改革; 创新实验

中图分类号: G642.0

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20230308

## Research of Experimental Teaching Reform of Electrical Engineering Courses under the Background of “New Engineering”

ZHAO Jianyong, YU Yanxue\*, WU Min, NIAN Heng, SUN Dan

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** Under the background of new engineering construction, the experimental system of electrical engineering courses needs to be reformed and optimized to meet the new requirements. Firstly, the present situation of experimental teaching of electrical engineering is analyzed, the current problems and disadvantages existing in the experimental teaching is summarized, and the development trend of experimental teaching is analyzed. Then, the reform directions and measures are studied from the aspects of experimental teaching content, experimental platform, teaching mode, laboratory management, and evaluation system. Finally, the application of various reform directions in the experimental teaching of electric power and electronics in the college of electrical engineering of Zhejiang University is introduced, which provides a reference for the reform of the experimental teaching of electric engineering.

**Key words:** new engineering; electrical engineering; experimental teaching reform; innovation experiment

为主动应对新一轮科技革命与产业变革, “新工科”建设对人才培养提出了新的要求。作为新工科核心专业之一的电气工程及其自动化专业, 在实验教学方面也需要重构优化<sup>[1-2]</sup>, 以适应新的要求。

电气工程专业课程涉及电力电子技术、电机学、控制技术等多个领域, 属于理论性、实践性、工程性相结合的课程。实验是加深学生对理论知识理解的主要途径, 也是衡量学生实践能力和创新能力的重要指标<sup>[3]</sup>, 因此, 实验教学一直是

电气工程专业课程最重要的教学环节之一, 需要大量有效的实践学习来加强学生对知识的记忆和理解。良好的实验课程是本专业学生提高动手能力、创新能力、理解能力不可或缺的手段<sup>[4]</sup>, 是学生参加科研奠定基础的重要措施, 是培养学生设计、分析研究和解决问题能力的关键环节, 同时也是有效培养科学研究能力和发明创造能力不可多得的途径<sup>[5-6]</sup>。

为有效发挥实验教学对新工科背景下电气工程专业学生创新实践能力的培养, 本文通过分析

收稿日期: 2023-06-19; 修回日期: 2024-02-17

基金项目: 浙江大学实验技术研究项目(SYBJS202220); 教育部产学合作协同育人项目(220600005162601)。

作者简介: 赵建勇(1987-), 男, 博士, 工程师, 主要从事电机控制技术及相关实验教学研究。

\*通信作者: 于彦雪(1991-), 女, 博士, 中级实验师, 主要从事电力电子技术及相关实验教学研究。E-mail: [yay@zju.edu.cn](mailto:yay@zju.edu.cn)

当前实验教学的问题和不足,进一步研究和探讨实验教学的改革方向和举措,为电气工程类专业课程探究性实验教学改革提供参考。

## 1 电气工程实验教学现状分析

随着电气工程专业技术的日益成熟和进步,企业对电气相关专业学生动手能力和创新实践能力的要求日益增加,电气专业核心课程的实验环节也越来越重要。我国电气行业已经全面进入互联网和智能化的新时代,构建专业方向探究性实验平台和综合创新实践平台,建立模块化、综合性、多层次的实验教学体系已成为当前国内高校电气工程专业实验教学的热点和关键<sup>[7-9]</sup>。

目前,电气工程相关课程的实验大多是为理论课程服务的验证性实验,如电力电子课程的“单相半控桥式整流电路实验”“三相全控整流及有源逆变电路实验”等传统实验,基本采用一门一个实验室的模式,很多实验内容仍停留在分散而孤立地验证某些概念、理论、方法的低水平阶段,这种实验教学方法很难培养出新工科所要求的复合型技术人才,而且实验教学平台水平低且功能单一,实验内容较为落后,综合性欠缺。学生对于实验课程的基本理解便是“按实验指导书接线—按实验要求记录波形—按课程要求写实验报告”,实验的课时数不少,但是学到的内容非常单薄。学生发现问题、解决问题的能力未能得到充分锻炼,主观能动性未能得到提高,创新能力欠缺。而且由于高校教学与厂家技术发展不同步,现有实验装置与电气工程专业的最新技术有所脱节,不能使学生直接接触目前工业上应用的主流专业技术。

为适应电气工程专业技术的发展步伐,在讲授实验课程时必须针对技术发展的趋势建立与之相配套的实验教学环节,在原有验证性实验的基础上增加特色的探究性实验以及综合创新实验课程。通过“探究”和“创新”激发学生的实验兴趣,克服传统实验枯燥乏味、创新性欠缺等不足之处,使学生接受更具有挑战性的实验任务,主动参加实验,变“要我学”为“我要学”,促进学生上实验课的积极性,通过实验教学的改革带动整个高校人才培养机制的改革,提高大学生创新能力和综合素质<sup>[10]</sup>。

## 2 实验教学改革的研究和探讨

实验教学的改革首先应明确实验教学的定位:以人才培养为主线、以实践能力培养为导向,以探索未知为核心。实施时应以克服传统实验的缺陷为立足点,从实验内容、教学模式、实验平台、实验室管理、评价体系等多方面考虑<sup>[11]</sup>。克服“实验教学重视度不足”“脱离理论教学实施”“实验装置落后”“探究性实验欠缺”“实验覆盖面狭窄”等问题,把握好科学性原则、发展性原则以及创新性原则。

实验教学改革的基本架构如图 1 所示,在实验教学改革时,基础是对内容和实践平台的改革,内容是教学的灵魂,平台则是肉体,二者缺一不可。在确立实验内容及对应平台后,一种好的教学模式可以事半功倍,使教学内容和实践平台更加有机的结合,发挥出“一加一大于二”的效果;而管理模式和评价体系则是实验教学改革的前进保障和效果检验。以上几部分有序递进且相互结合,才能使实验教学改革全面实现。

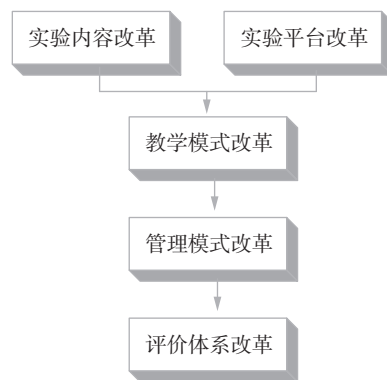


图 1 实验教学改革架构

针对电气工程实验教学现有问题,在进行电气工程相关专业课程的实验教学改革时,本文总结了以下 5 点思路。

### 2.1 实验内容改革

在实验教学内容改革思路应充分认识到“内容是实验教学的根本,教学内容改革的要求是变革和系统化实验内容”这一主线。牢记“具备系统化、协调性、传承性的实验对学生的培训效果要远好于孤立的、彼此脱节的实验”这一精髓。在内容改革时应统筹考虑实践性和系统性等多个维度,紧密结合课堂理论教学内容以及课程

实践特点,根据教学大纲内容,对实验内容进行层次化设计,形成体系,遵循不同实验项目之间的传承与耦合关系,使不同层次的实验做到有机衔接<sup>[12]</sup>,通过层次化的实验项目引导学生建立理论与实践之间的联系,使学生在本科阶段的学习更加立体化,目标更加明确。

层次化实验内容重点围绕基础验证性实验、探究性实验及应用导向的综合创新实验3个层次进行设计。其中,基础性验证性实验内容以帮助学生理解理论知识为主旨,通过设计与课程内容对应的基础实验和其他简单的验证性实验,让学生通过实验现象理解课程的重要知识点。探究性实验主要培养学生“透过问题看本质”的能力,通过设计具有创新性的拔高类实验项目,让学生发现一些特殊的实验现象,并通过理论知识进行解释。综合创新实验内容设计以实际应用为导向,通过设计涵盖一门或多门课程的综合创新性实验项目,让学生真正地理解课程内容的典型应用场景。此外,探究性实验和综合创新实验,要做到:以探究为导向,激发学生学习兴趣和欲望;以项目为依托,引导学生从课内走向课外;以创新为驱动,将科研成果融入实践教学;

同时将实验成果反哺实验教学,丰富教学内容,两者交互促进发展。

电力电子及电机控制类课程硬件在环实验内容层次化设计的实际案例如图2所示。首先,以电力电子和电机控制现有基础实验内容为依据设计对应的硬件在环实验,将纯实物实验与硬件在环实验进行对比,使学生完成对硬件在环实验的认知,通过硬件在环实验方式,增加实验内容(如触发电路的自主搭建、电力电子主电路模拟故障、电机建模、控制策略自动代码生成等),使学生加深对基础实验的理解。然后,结合电力电子技术以及电机控制类课程的主流数字控制算法,设计对应的硬件在环实验,实现各类探究性实验的硬件在环仿真,使学生学习自动代码生成技术、掌握快速原型设计,进而探究基于全控型器件的电力电子及电机各类控制策略。最后,结合电力电子技术以及电机控制典型的应用场景,同时考虑多课程、多学科的交叉融合,设计综合创新实验,模拟常规实验教学难以实现的工业应用场景,如“风光发电并网控制”“电动汽车电池快速充电”“机器人关节调节系统控制”等。

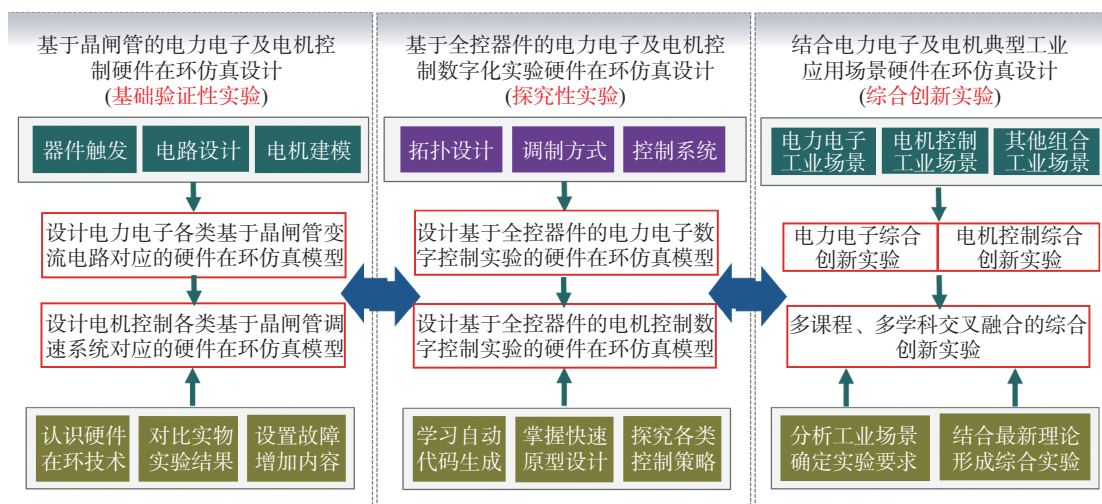


图2 实验内容层次化设计案例

## 2.2 实验平台改革

实验平台“横向覆盖”和“纵向贯通”的二维功能结构如图3所示,实验平台应以学科交叉为基础,保证多学科利用;同时,实验平台应保证本科、硕士、博士在实验教学环节的纵向贯通。平台要形成验证性实验-探究性实验-综合创新实验以及理论课程配套实验-独立授课实验-科

研训练等多维度、多层次相结合的立体化架构,保证实验平台在利用率和经济性方面得到最大提升。同时,实验设备的变更要考虑实验场地等基础设施条件以及实验经费等问题。因此,需要循序渐进,不可能一步到位。

首先,在进行仪器变更时可以考虑对原有实验设备和实验内容进行改进。针对传统教仪的缺

点, 进行针对性的改造和升级, 这样可以最大限度地减少实验经费的投入, 是最简洁的提升途径。这种方法的主要优点是: 可以完成部分探究性实验项目, 同时最大限度地进行了资源整合利用, 充分发挥了传统实验平台的基础作用, 资金投入量较小。缺点是创新力度较小, 开设的探究性实验缺乏创新性。

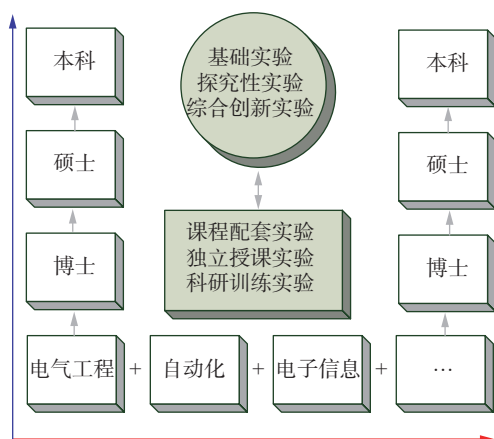


图 3 实验平台多维功能架构理念

如在做电机控制的“双闭环晶闸管不可逆直流调速系统”实验时, 可以将比例积分(proportional integral, PI)调节器参数整定重点研究, 放弃实验

挂箱提供的电路, 由学生自主设计 PI 调节器模块, 探究该部分电路的原理和作用, 如图 4 所示。这样无论对整体实验还是 PI 参数整定部分内容都将起到更加良好的效果, 而且大大节省了探究性实验所需成本。

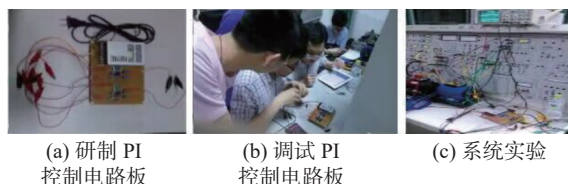


图 4 双闭环直流调速传统实验改造

其次, 应该注重计算机技术和多媒体手段在实验课程中的应用, 引入部分仿真实验进行辅助。电气工程专业里先进的电路拓扑和控制技术在不断产生, 但实物装置受经费及场地限制很难同步跟进, 适量引入仿真实验进行辅助是对实验教学手段的一个良好补充, 弥补了硬件实验中的不足<sup>[13]</sup>。同时, 虚拟仿真实验也是出现不确定教学因素(如居家学习)时保证实验教学正常开展的有效方式。

基于 MATLAB/GUI 的电气工程虚拟仿真实验系统设计流程图如图 5 所示。

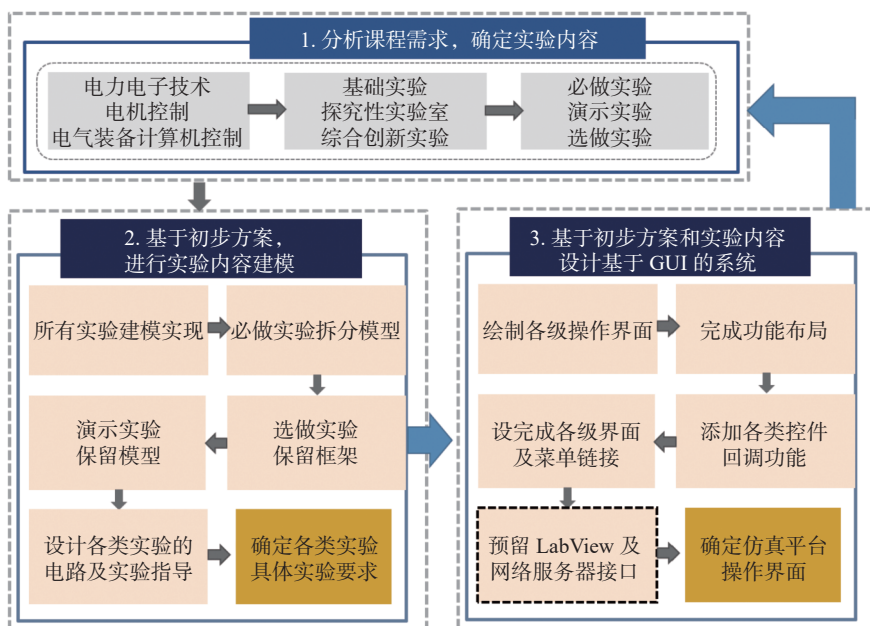


图 5 基于 MATLAB/GUI 的电气工程虚拟仿真实验系统设计流程图

图中分析课程实验内容的要求, 确定实验层次和实验内容, 同时将实验内容分为必做、选做、演示等各个类型。然后在 Simulink 环境下建立仿真模型, 验证实验的可行性, 对于 Simulink

中无法提供的模块, 则通过  $M$  函数或  $S$  函数等方式编程建模。仿真模型调试完成后分别进行归类, 将用于学生自主建模的必做实验部分模型拆分, 并将模型放入对应的模型库, 供学生实验时

选择;选做实验和演示实验则保留相应的实验模型,同时预留参数整定等调节端口,便于学生学习。最后结合 MATLAB/GUI 人机界面设计功能,

根据实验体系架构和实验要求建立相应的操作界面,完成虚拟仿真实验系统。电气工程虚拟仿真实验系统应用界面如图6所示。

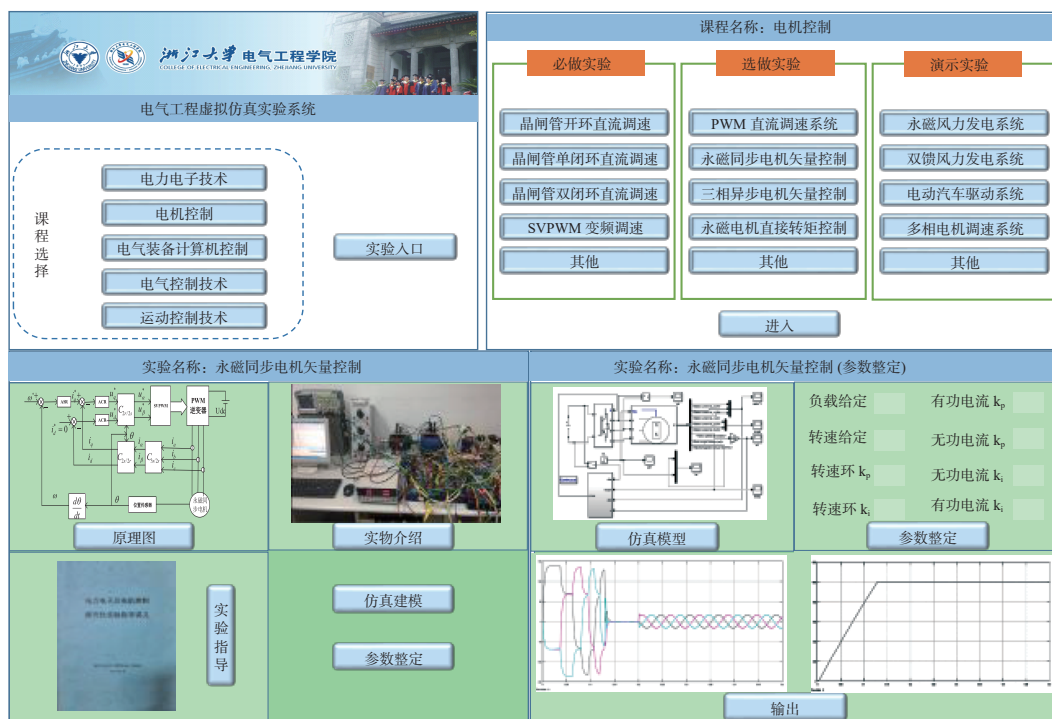


图6 电气工程虚拟仿真实验系统应用界面

仿真实验具有精度高、利用率大、安全可靠、价格低廉等优点,而且利用仿真软件进行实验教学,可以使学生更加独立地完成高难度实验的设计和调试,特别是探究性实验和综合创新实验方面,使学生充分发挥想象力和主观能动性,根据自己对理论技术的理解创建相应的实验模型,极大地提高了学生的创新能力。但仿真实验对于电类专业也存在明显缺点,主要还是未能使学生直观认识物理电路,动手能力锻炼欠缺等问题。

最后,按照电气工程实验教学“有实不虚”的原则,结合以上两种方法的优缺点,实行实验教学平台与科研实验平台联合建设、有机结合的方式,建设虚实结合的探究性实验平台、纯硬件配置的探究性实验平台以及综合创新实验平台。该创新实验平台需集成前两种教学方法的优点,同时也尽可能摒弃其不足之处,既可以进行实物研究,必要时也可以进行远程仿真实验。特别是综合创新实验平台,可以实现多课程利用、多课程衔接使用及综合交叉使用,促进学科交叉的发

展,同时也让创新实验由小众走向大众、个别走向普遍,让每一位学生都能享受到新工科背景下新型实验教学的“红利”。

虚实结合的电机控制多维度立体化综合实验平台结构图如图7所示,包含主控平台(电机、滑动变阻器等通用负载以及计算机)、虚拟仿真实验平台、半实物仿真实验平台、基础实验平台、探究性实验平台以及创新实验平台。其中,主控台主要借鉴教仪公司的设计优点,为所有实验提供各种电源、仪表及基本元器件,同时配套各种型号的交直流电机、电阻等负载;基础实验平台同样采用模块化设计,突破传统教仪的挂箱模式、设计新型的晶闸管整流桥等电路,设计时保证学生可以直接了解电路硬件结构;探究性实验平台主要利用实验室前期开发的各类电机控制实验模块;创新实验平台主要为部分学生提供探究性实验的深入研究,具有实验成果的工业转化性质,该部分包括电动汽车驱动实验平台、光伏逆变器平台等,可以为探究性实验的内容提供具体的实践对象,证明该探究性实验的实用性和可推广

性。虚拟仿真实验平台和半实物仿真实验平台主要包含虚拟仿真实验系统和半实物仿真实验系统及 Typhoon 硬件在环等配套装置。

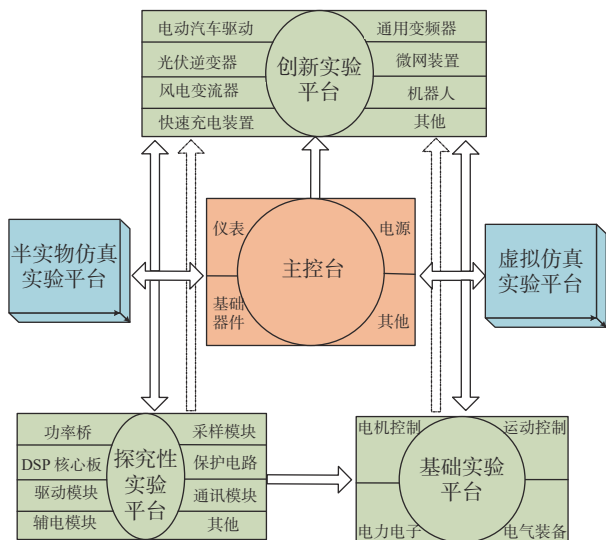


图 7 电气工程虚拟仿真实验系统应用界面

### 2.3 教学模式改革

在教学模式方面应积极考虑具有滚动优化机制的教学模式，通过实验室软硬件支撑创新人才培养，通过实验成果支撑实验平台升级转换，实现实验教学内容和实验教学平台的有机耦合和迭代优化，逐渐形成具有学校鲜明特色的教学模式和教学平台，保持广泛和持续的社会影响力。

实验教学模式的改革坚持理论结合实践、课内结合课外的指导思想，不同实验之间的教学方法要形成独立与统一的结合体，既要协调统一，又要层次鲜明。如图 8 所示，实验教学模式改革应以“双一流”建设目标为基准，融入课程思政元素，按照方式多样、有序推进的阶梯式教学方法开展。因此，要清楚传统验证性实验、探究性实验、综合创新实验之间的关系：3 个层次上下承接，缺一不可，没有扎实的实验技能基础就不可能运用实验技能分析问题和解决问题，更谈不上探究和综合创新。学生需要在基础性实验中培养起实验的基本思想和方法，这对今后的探究性和综合创新实验是良好的垫脚石。而探究性实验和综合性实验可以更好地配合专业课程，培养学生的综合应用能力、理论与实际相结合的能力。此外，如何实现产学研相结合，将理论应用到实践中去？创新性实验以及探究性实验是实现这一目标的最佳平台之一<sup>[14]</sup>。

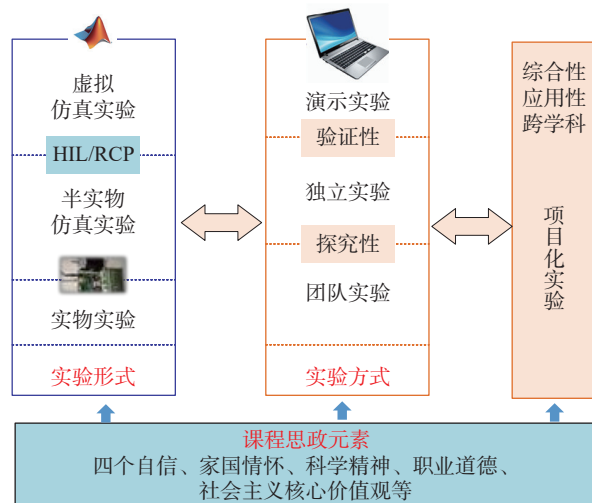


图 8 多维度阶梯式实验教学模式改革思路图

要强调重基础、抓探究、谋创新的实验教育理念，加强各专业方向、各学科间的交叉与综合，体现实验体系和内容的多层次综合(课程内知识点之间的综合、课程之间的综合、学科之间的综合)，突出对学生综合应用知识能力的培养。

在实验教学体系创建方面要立足不同学校电气专业的特色和优势，充分发挥科研的力量，将科研成果引入实验教学，实验教学反哺科学研究。在实验模式设置上，要保证验证型、设计型、综合型、科研型实验的合理比例；在政策上，要允许实验内容灵活变更。同时，“交互式实验教学”“研讨式实验教学”“工程项目化实验教学”“虚拟仿真实验教学”以及微课、MOOC、翻转课堂等手段均可针对具体的实验内容灵活应用。

### 2.4 管理模式改革

优秀的实验教学离不开一套优秀的实验管理体系<sup>[15]</sup>。无论何种实验平台、何种实验教学模式，其有序地开展均需要一套规范的实验管理体系。

如今，随着实验内容和模式的多样化，实验室应做到教学与科研相结合的运行模式，在保证安全的前提下最大限度地提供开放空间。特别是针对探究性实验课程和综合创新实验课程，实验室的管理机制必须能达到科研环境的基本要求。

实验管理系统在设计时应包含课程安排、选课方式、开放模式以及评价体系、远程追踪等多项功能。浙江大学电气学院针对多层次复合实验教学模式开发的“浙江大学实验管理系统”如图 9

所示,平台与教务处选课系统数据同步、与设备处大仪管理系统对接。通过该系统,教师和学生可以实现无障碍互动,教师根据学生时间安排实验课程及实验室开放时间,学生根据课程安排自主选择实验时间。通过实验室管理平台可以清楚了解实验室的所有开放信息,记录简单、方便、清晰。通过该系统实现了实验项目开放、实验时间开放、刷卡记录、实验室工作量统计及考核等功能,保证了实验教学工作的现代化、开放化和高效化。



图9 浙江大学实验管理系统

## 2.5 评价体系改革

实验教学体系的评价可以参考理论教学体系,但在评价实验教学效果时应该额外增加学生的基本技能、专业技能、职业素质和创新能力的提高等指标为基本依据。实验教学质量评估要经常化、多样化、合理化和具体化。

评价时应该注意多层次展开,全方位考察<sup>[16]</sup>。可以由学校教学评估专家评价实验教学教学方法、模式等方面的正确性和合理性;由实验教学高级专家评价实验基础条件、实验装置等方面的先进水平;由理论课教师评价实验教学内容对理论知识理解的辅助程度;由开课教师自己评价实验的教学质量;由学生评价课程实验教学的综合质量,且各评价环节形成闭环。

常见的多维评价体系如图10所示,主要包含随堂观摩测评、基本技能的操作测试、实验报告、学术论文等基本方式。浙江大学结合本校特点增加了毕业设计导师评价,可以从学生在课程组的专业技能表现评价对应课程的学习优良程

度,而随机命题考核则主要针对探究性实验和综合创新实验,通过创新目标的灵活变动考查学生对实验内容和方法的掌握水平。此外,后续毕业生和用人单位的跟踪评价环节也不容忽视,该环节是检验实验教学成果的重要途径,通过毕业生和用人单位的反馈结果,可以帮助优化实验教学内容 and 教学方法,使实验教学真正成为理论联系实际的纽带。



图10 实验教学多维评价方法

## 3 改革方法实践

浙江大学电机实验室按照“以探究为目标,以综合创新实践为导向”的实验教学体系,“层次化、模块化”设置实验内容,采取“探究式”实验教学方法以及“多样化”教学手段,在“多维化的实验环境”中配合“开放式”教学管理,将提升创新能力和工程实践能力作为核心任务贯穿于实验教学中,为培养具备工程意识、创新意识和工程实践综合能力的高素质复合型人才打下了必要的基础。

以电力电子课程为例,按照探究性实验教学的新要求设计电力电子探究性实验平台,即开放式脉冲宽度调制(pulse width modulation, PWM)变流器装置,平台主要包含仿真软件和硬件两大部分。

“开放式PWM变流器实验装置”硬件部分除使用实验室原有电力电子实验平台中的三相整流滤波模块、功率主电路及驱动模块、负载模块之外,还包括:辅助电源模块、DSP控制电路模块、AD采样模块和串口通信模块。如图11所示,各模块分别独立设计,可以自由搭配,各个模块设计时摒弃传统的挂箱封装模式,电路器件均为外露设计,学生可以直观地看见整个电路的结构以及具体的电力电子器件,其中强电模块部

分可以增加透明有机玻璃进行保护，既能保证学生在实验过程中的安全又可看清模块的具体组成部分。

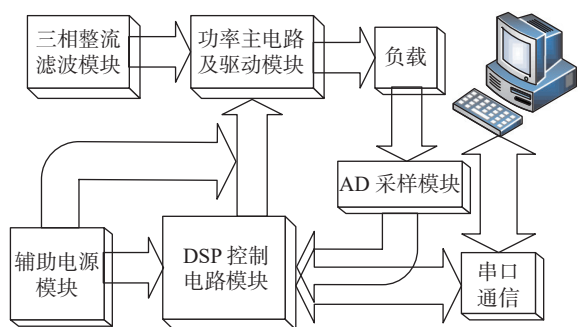


图 11 开放式 PWM 变流器实验装置结构图

“开放式 PWM 变流器实验装置”软件部分分层次实施：可以直接在上位机进行编程，也可以使用 MATLAB/Simulink 搭建与实验内容相同的仿真模型，然后由 MATLAB 自动生成符合 DSP 型号的 C 代码。另外利用 LabVIEW 开发相应的可视化操作界面，便于学生在实验过程中改变控制器相关参数。实验平台搭建的三相 PWM 逆变实验系统如图 12 所示。

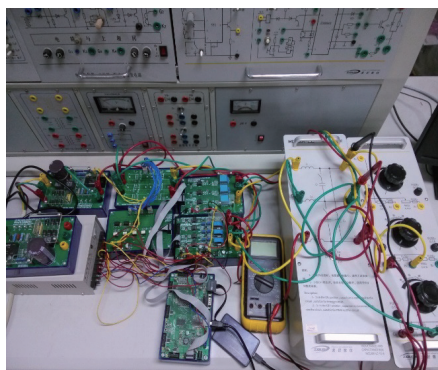


图 12 三相 PWM 逆变实验系统

此外，按照综合创新性实验教学的新要求，设计了电力电子快速控制原型实验平台，如图 13 所示，实验平台在设计时以 MATLAB 的 Simulink Real-time 功能为基础。可以采用宿主机和目标机的双个人计算机 (personal computer, PC) 运行模式，宿主机上运行 MATLAB/Simulink 建立的控制模型，并使用实时工作空间 (real-time workshop, RTW) 和 C 语言编辑器生成实时代码，并在目标机中运行。Simulink Real-time 能把 Simulink 模型和物理系统连接起来并且在任何 PC 硬件上实时运行。双 PC 机之间通过以太网或串口线实现通信连接。宿主机可以选择通用 PC 机，目标机可以选择

工控机、通用 PC 机或嵌入式处理器，由于目标机不能直接与可控对象产生物理连接，两者之间需要通过实时数据采集板卡外设部件互连标准 (peripheral component interconnect, PCI) 进行连接，经过板卡转换后被控对象可以灵活改变，实时数据采集板卡初步设计结构如图 14 所示，包含现场可编程门阵列 (field programmable gate array, FPGA)，此外，被控对象可结合 Typhoon 实现硬件在环实验，可用于模拟电动汽车、多电飞机等各类实验室无法开展的实际可控对象实验。

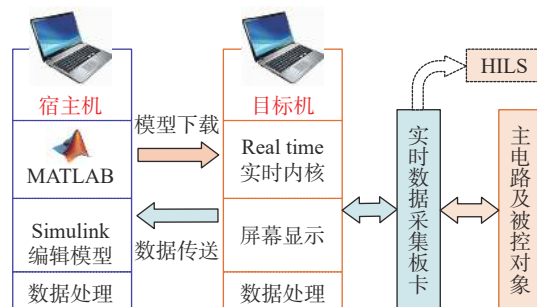


图 13 快速控制原型实验平台

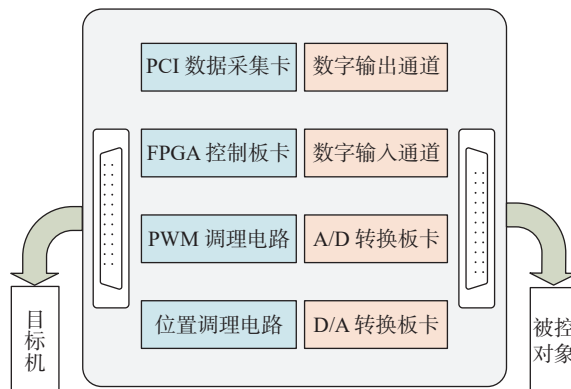


图 14 实时数据采集板卡设计结构

在教学模式上，电力电子实验采取四课堂教学模式：

第一课堂是根据理论课程内容展开以电力电子变流技术仿真实验为主的教学活动，教师在讲授的同时加入研讨课等环节，增强学习效果；

第二课堂是根据仿真内容设计相应的探究性实验环节，结合开放式 PWM 变流器的装置特色编写配套的实验指导讲义，使学生可以借助该平台开展较为全面的探究性实验；

第三课堂是根据选课学生的毕业设计或本科生科研训练项目 (student research training program, SRTP) 等课题计划，让参加实验的学生借助实验平台开展综合创新实验；

第四课堂是走出校门,由授课教师带队去电力电子变流技术等相关研发及生产企业深入了解技术的现场应用状况。

通过上述实验教学内容、教学平台、教学模式等多方面的改革,浙江大学电机实验室教学体系得到了极大的优化,并取得了如下4个成效。

1)更新现有实验教学设备,改善实验条件,将电机实验与电力电子、电机控制实验相融合,构建了一个验证性实验-探究性实验-综合创新性实验以及虚拟仿真实验-半实物仿真实验-实物实验相结合的多层次、立体化实验平台。覆盖电气工程专业10余门课程,50余项实验。在探究性实验及综合应用创新实验开设的条件上具有较大的提升和进步。特别是综合应用创新实验的开设,对于本科生的实验教学水平具有明显的推动作用。

2)面向浙江大学电气工程学院的电气工程及其自动化、自动化(含控制科学与工程学院)大三、大四学生,受益人数约600人/年。

3)面向电气相关专业大二、大三、大四学生提供SRTP科研训练平台;面向大四学生提供毕业设计平台,可完成多项与电机控制及电力电子变流技术相关的毕业课题;同时,结合综合创新实验平台可指导学生完成“电子设计竞赛”“节能减排竞赛”等相关学科竞赛项目。

4)利用实验平台的相关模块以及半实物仿真实验平台,可以辅助完成“快速充电装置”“电网动态无功补偿装置”“永磁风力发电系统”“双馈风力发电系统”“电动汽车驱动系统”等电气工程相关科研方向的科研实验。

## 4 结束语

本文阐述了电气工程相关课程的特点和发展趋势,分析了电气工程实验课程的现状和问题,针对提出的问题探讨了实验教学改革中各个部分的改革方法,并举例说明了浙大电气学院电气工程专业实验教学改革中的实施案例,各种措施有效促进浙江大学电气工程专业实验教学中心整体水平的提升,特别是电力电子技术、电机控制等电气工程专业核心课程的实验教学水平。新的实验教学体系既巩固了基础实验又提高了学生科研

素质,培养了学生独立分析问题、解决问题的能力,在理念及技术层面均有了较大改进。为国内其他高校提供了一定的参考和借鉴。

## 参考文献

- [1] 李静,刘喜梅,于沙家.电机课程群实验教学体系的构建与实践[J].实验科学与技术,2023,21(2):92-96.
- [2] 杨勇,李红斌,文劲宇,等.新工科电气工程实践教学体系重构与实践[J].电工技术学报,2022,37(19):5074-5080.
- [3] 徐慧平,尹仕,杨风开,等.电气类专业实验教学体系建设探索与实践[J].高教学刊,2021,7(26):135-138.
- [4] 邓丰强,王智东,杨玲,等.递进式综合能力培养的实验教学研究[J].电气电子教学学报,2023,45(3):180-183.
- [5] 陆紫生.综合实验教学改革提升学生创新能力[J].实验室研究与探索,2023,42(12):174-178.
- [6] 刘涛,蔡燕,李龙女,等.可重构型电力电子实验平台研制与应用[J].电气电子教学学报,2022,44(4):146-149.
- [7] 王晓刚,黄俊滨,谢鹏俊,等.基于模块化实验系统的电力电子技术实验教学改革[J].高教学刊,2023,9(16):122-125.
- [8] 金福宝,马山刚,唐岩,等.西部地区高校虚拟仿真实验教学的探索与实践[J].实验室研究与探索,2023,42(3):87-91.
- [9] 宋宋羽,赵金利,于浩,等.面向新型电力系统发展的三层次电气工程专业实践教学体系构建与实施[J].实验技术与管理,2022,39(9):217-221.
- [10] 许少伦,徐青菁,齐文娟,等.虚实结合的电气类专业实验教学体系构建[J].实验室研究与探索,2022,41(4):186-190.
- [11] 荣海林,张法业,田天,等.自动化类多元一体化实验教学综合改革与实践[J].实验科学与技术,2021,19(6):94-97.
- [12] 姚志树,蒋冬梅,施敏敏.电气教学示范中心“一体化、三层次”递进式实验教学新模式构建及实践[J].科技视界,2022(26):139-141.
- [13] 孙钰涵.实验教学中的虚拟仿真技术分析[J].电子技术,2024,53(3):130-131.
- [14] 彭宇,余世策,钱匡亮.自主探究性实验课程的教学模式探讨[J].实验室研究与探索,2024,43(2):169-174.
- [15] 吴泷彬,谢宇飞,刘森,等.以学生为中心的弹性开放实验室管理系统[J].实验室研究与探索,2024,43(3):140-145.
- [16] 周亚贤,张永云,侯婕.开放式教学环境下的高校教学过程和教师绩效评价指标体系[J].科教导刊,2024(9):36-38.

编辑 钟晓