

基于模块化电力电子实践平台的卓越电气工程人才培养模式研究

侯帅丞, 李作进*, 胡 刚

重庆科技大学电子与电气工程学院, 重庆

收稿日期: 2025年10月23日; 录用日期: 2025年11月21日; 发布日期: 2025年11月28日

摘 要

在“双高”电力系统、“双碳”目标、新能源汽车和AI电力供应等背景下, 为应对数字电源领域对卓越电气工程人才的迫切需求, 并解决当前电力电子实践平台成本高、拓扑固定、验证性实验为主等问题, 提出基于模块化电力电子实践平台及“理论、课设、竞赛、毕设”贯通的人才培养新模式。该平台支持功率拓扑重构和基于模型设计, 学生可自主选择实验项目, 自行绕制电感/变压器, 通过导线连接各模块以构建各类功率拓扑, 再经PSIM软件进行模拟域和数字域仿真验证后, 将模型生成的代码导入实际控制器, 最后完成数字电源实验。实践表明, 该多课程融合、虚实结合、工程贴合且社会需求契合的培养模式可有效提升学生解决复杂工程问题的能力与创新素养。

关键词

电气工程及其自动化, 人才培养, 数字电源, 实践教学, 电力电子实验平台

Research on the Training Model of Excellent Electrical Engineering Talents Based on Modular Power Electronics Practice Platform

Shuaicheng Hou, Zuojin Li*, Gang Hu

School of Electronic and Electrical Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing

Received: October 23, 2025; accepted: November 21, 2025; published: November 28, 2025

*通讯作者。

文章引用: 侯帅丞, 李作进, 胡刚. 基于模块化电力电子实践平台的卓越电气工程人才培养模式研究[J]. 教育进展, 2025, 15(11): 1805-1815. DOI: 10.12677/ae.2025.15112235

Abstract

Under the background of “dual-high” power system construction, the “dual-carbon” goals, new energy vehicle, and AI-enabled power supply, there is an urgent demand for outstanding electrical engineering talents in the digital power field. To address issues such as the high cost of existing power electronics experimental platforms, fixed circuit topologies, and the predominance of verification-based experiments, this paper proposes an integrated talent training model based on a modular power electronics platform and linking of “theoretical courses, course design, competitions, and graduation projects”. The platform supports reconfigurable power topologies and model-based design, allowing students to autonomously select experimental tasks, wind their own inductors or transformers, and interconnect modules via cables to construct various power converter topologies. Simulations in both analog and digital domains are carried out in PSIM, after which code generated from the models is deployed to actual controllers to implement digital power experiments. Practice has shown that this educational model—which integrates multiple courses, combines virtual and physical experiments, and aligns closely with engineering practice and societal needs—significantly enhances students’ ability to solve complex engineering problems and fosters their innovation competence.

Keywords

Electrical Engineering and Automation, Talent Cultivation, Digital Power Supply, Practical Teaching, Power Electronics Experimental Platform

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在能源数字化和全球“双碳”目标驱动下，“双高”（高比例可再生能源、高比例电力电子设备）新型电力系统和新能源汽车正快速发展。同时，人工智能技术得以快速应用的背后是低压大电流的巨大电能供应。这对电气工程人才提出更高要求，使得数字电源技术成为电气工程教育的核心内容之一。然而，传统电气工程教育模式难以适应行业创新发展需要，亟需探索卓越电气工程人才培养的新模式[1][2]。

当前电气工程教育，特别是和数字能源密切相关的电力电子方向，仍有待继续提升人才培养成效[3]：一是电力电子理论知识比较抽象，若未以实测波形进行演示和对比教学，学生很难从“眼见为实”去树立“敢于上电”和“敢于实践”的信心，也难以将理论知识转化为解决实际问题的能力；二是实践教学平台成本普遍较高，难以满足台套数需求以允许每位学生都动手实践；三是实验平台的功率拓扑相对较固定且更新换代慢，不能和日新月异的新器件、新拓扑和新技术相匹配，也和工程实际的贴合度不高；四是实验项目以验证性为主，学生只能按照固定模式进行操作，自主性、设计性和综合性实验比例偏低，学生工程实践能力得不到充分训练，难以培养创新思维和系统设计能力；五是如自控、模电、数电、嵌入式、电力电子技术理论和课设、竞赛和毕设等多课程间未融合贯通，不能满足新时代对数字电源控制技术的实际需求。

为缓解以上困境，本文立足探索数字电源领域卓越电气工程人才培养的新路径，通过研制模块化电力电子实践平台，构建贯通理论课、课程设计、竞赛和毕业设计的人才培养新模式，全面提升学生解决

复杂工程问题的能力和创新素养，为培养适应新能源革命与智能制造需求的高素质工程技术人员提供可行方案。

2. 模块化电力电子实践平台设计与实现

2.1. 平台设计思路

为了解决实验平台拓扑固定、成本高和台套数不够等问题，用于培养电气工程师的电力电子实践平台需具备成本低、重构性强、灵活性大、扩展性高、模块化和工程化等特点[4]-[6]。因此，该平台设计时考虑以下原则：

- ① 开放性：平台支持学生自主选择实验项目，自行搭建实验系统，鼓励创新思维和个性化探索；
- ② 模块化：将电力电子变换器数字控制系统进行模块化分解设计，各模块之间通过标准接口连接，学生自选实验拓扑后绕制相应的电感或变压器，然后用导线将无源器件和功率模块相连接，便可搭建各类功率拓扑；
- ③ 虚实融合：将虚拟仿真与物理实验有机结合，学生先在仿真环境中设计和验证数字电源控制方案，然后在所搭建的实物系统上调试和运行，最大程度降低数字控制难度，让学生快速看到实际效果，从而树立从事数字电源开发的信心和兴趣；
- ④ 工程化：平台采用工程化电路设计，选用常用的国产元器件，使学生获得真实的工程体验，提升工程实践能力。

2.2. 模块实现

模块化电力电子实践平台按大多数拓扑结构分离成半桥模块、检流模块、继电器模块和主控模块。如图 1 所示，半桥模块原理图采用双管隔离供电和驱动 MOSFET (100 V/45 A, 17 mΩ)半桥结构，由 12 V 防反辅助供电，PWM 驱动信号采用 SMA 标准接口输入，直流母线正负极和半桥中点均以插拔式接线端子引出，母线分裂电容中点也以焊盘形式引出，可灵活支持单管、半桥、全桥类隔离或非隔离拓扑应用。图 2 是半桥模块实物图，按照工程化设计要求进行布局布线，设置隔离带和 MOS 管的散热焊盘，直流母线有贴片保险进行过流保护。

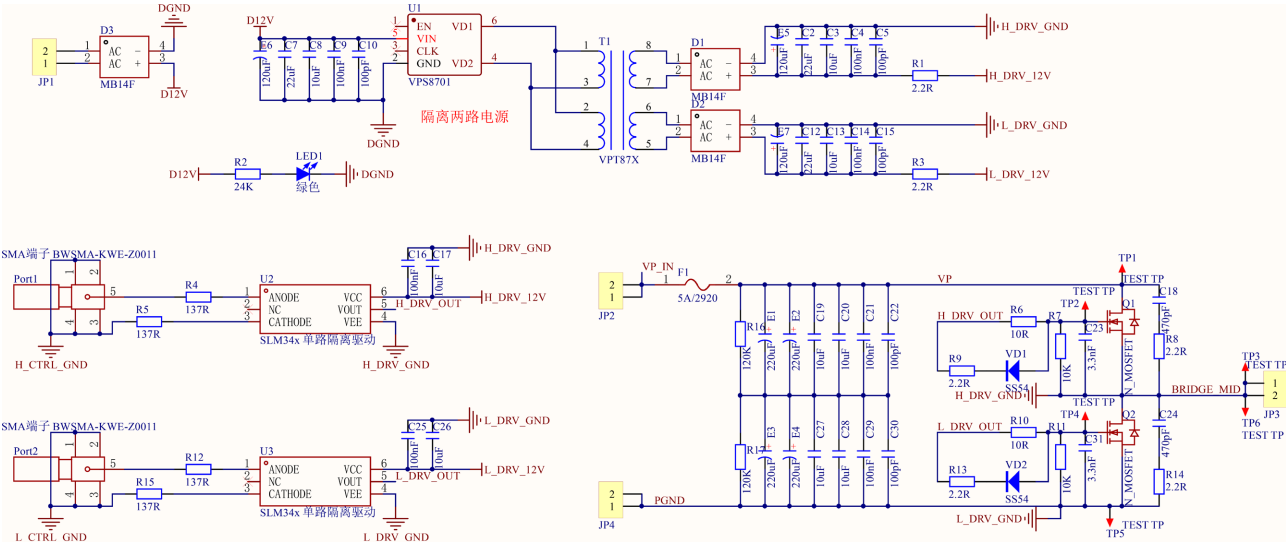


Figure 1. 50 V/5 A dual-isolated half-bridge module schematic
图 1. 50 V/5 A 双隔离半桥模块原理图

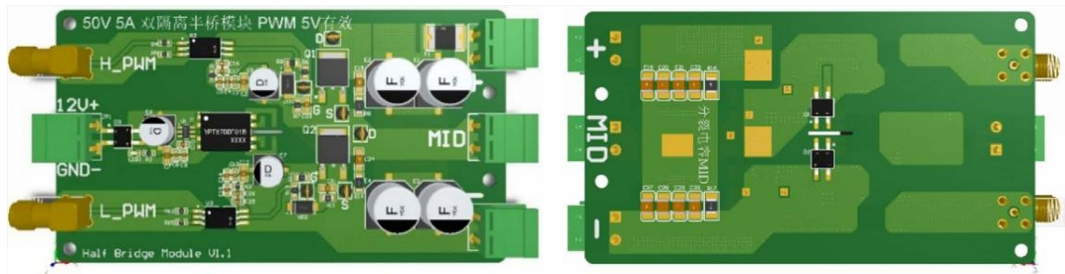


Figure 2. 50 V/5 A dual-isolated half-bridge module diagram
图 2. 50 V/5 A 双隔离半桥模块图

如图 3 所示, 检流模块原理图采用 3.3 V 供电的霍尔电流测量芯片 CCS6920B-5A 进行电流传感, 可按需更换同封装更大电流测量范围的霍尔芯片, 功率电流由插拔式接线端子引入, 由霍尔芯片感测电流大小并转换为 3.3 V 内的电压信号, 该信号和中点参考信号通过运放跟随后由 USB 标准接口送出。图 4 为检流模块实物图, 加大了过流焊盘, 强弱电部分也保持足够的距离。

如图 5 所示, 继电器模块原理图采用 12 V 防反供电并由 MOS 驱动的双刀双掷常开继电器进行电路通断控制。图 6 为继电器模块实物图, 强弱电部分分离, 由插拔式接线端子引线。

如图 7 所示, 主控模块采用 TI 的 TMS320F280049PMS 作为控制芯片, 该芯片是目前具有代表性的模数混合浮点数 MCU, 主频 100 MHz, 内置运放和比较器, 支持 Simulink、PLECS 和 PSIM 等软件的基于模型设计方法。该模块由 12 V 防反隔离供电接口、下载口、隔离/非隔离串口、继电器接口、外部 IO 接口、NTC 测温接口、4 路 100VDC/50VAC 高阻电压采样接口、4 路连接检流模块的电流采样接口和 8 路 5 V 逻辑电平 of PWM 接口组成, 模拟域和数字域分割且单面布局, 可满足大多数电力电子变换器的控制资源需求。

以上模块可组成大多数的电力电子变换器, 包括非隔离 DC-DC 变换器(Buck、Boost、Buck-Boost、Cuk、Sepic、Zeta 等)、隔离 DC-DC 变换器(反激、单双管正激、半桥、推挽、移相全桥、LLC 等)、DC-

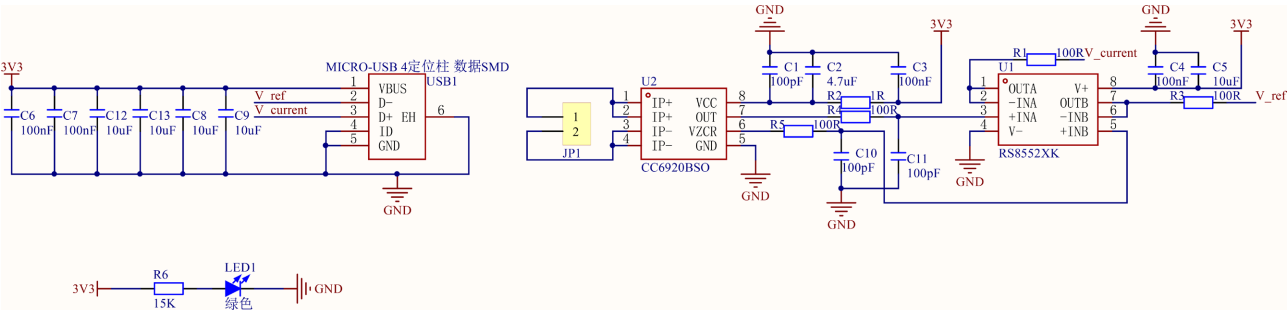


Figure 3. Current detection module schematic
图 3. 检流模块原理图

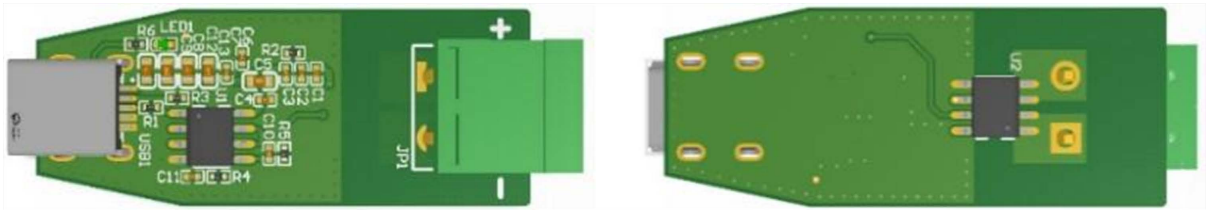


Figure 4. Current detection module diagram
图 4. 检流模块图

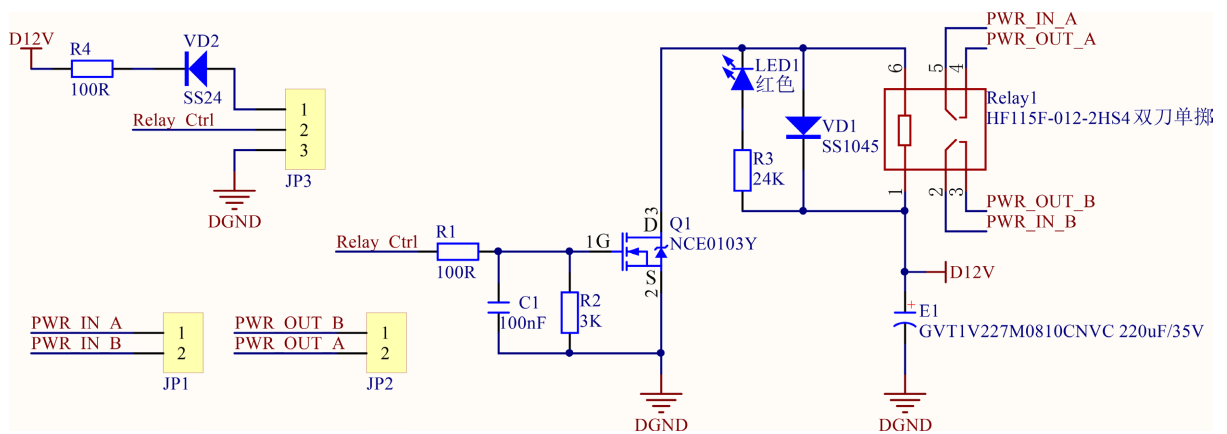


Figure 5. Relay module schematic
图 5. 继电器模块原理图

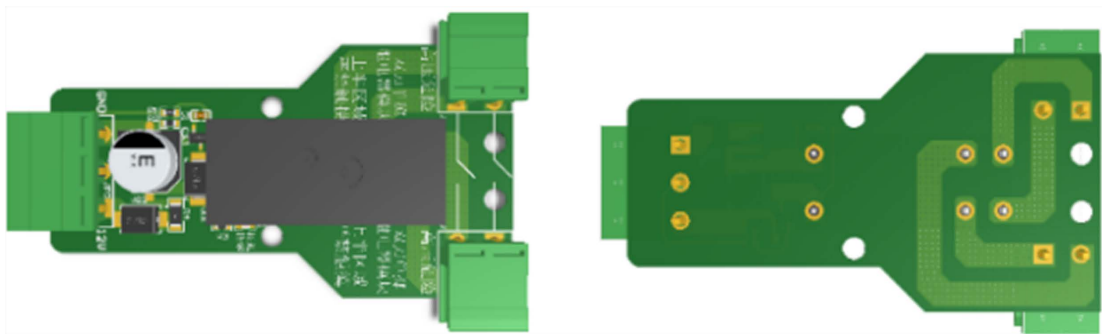


Figure 6. Relay module diagram
图 6. 继电器模块图

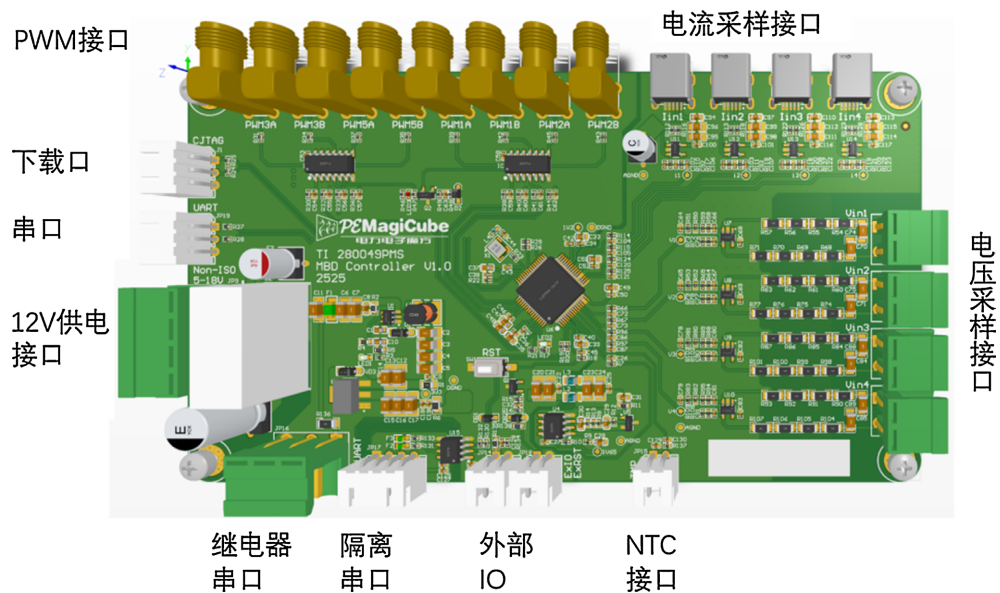


Figure 7. TMS320F280049 main control module diagram
图 7. TMS320F280049 主控模块图

AC 逆变器(单相、三相、多电平)、AC-DC 整流器(不控、相控、PWM 等)、电机驱动器和 AC-AC 变换

器(先整流再逆变)。学生可以通过选择不同的模块和连接方式,自绕电感和变压器后构建各种功率拓扑,满足从基础到高级的不同数字电源实验需求。这种模块化方式不仅可以最大程度上减轻学生的硬件设计压力,还可以由学生根据个人兴趣和能力自选实验项目。

以搭建同步 Buck 变换器为例描述各模块间的连接方式,如图 8 所示,半桥模块的直流母线由支持 12 V 输出的充电器进行供电,桥臂中点连接检流模块,然后依次串行连接自绕电感、电解电容正极、继电器和铝壳电阻,最后经电解电容负极回到直流母线负极端口,导线应靠近连接,让闭合回路围成的面积尽可能小,半桥模块和主控模块的辅助供电也由充电器 12 V 提供,半桥模块的 PWM 接口和主控模块的一对 PWM 接口通过同轴屏蔽线相连,电流采样接口通过 USB 线和检流模块相连,电压采样接口直接用细导线连接到需要电压采样的位置即可,下载口和非隔离串口连接仿真器,电脑可以通过仿真器的串口进行数据回显和命令下发,继电器接口连接继电器模块,外部 IO 模块可连接船型开关作为启停按钮。

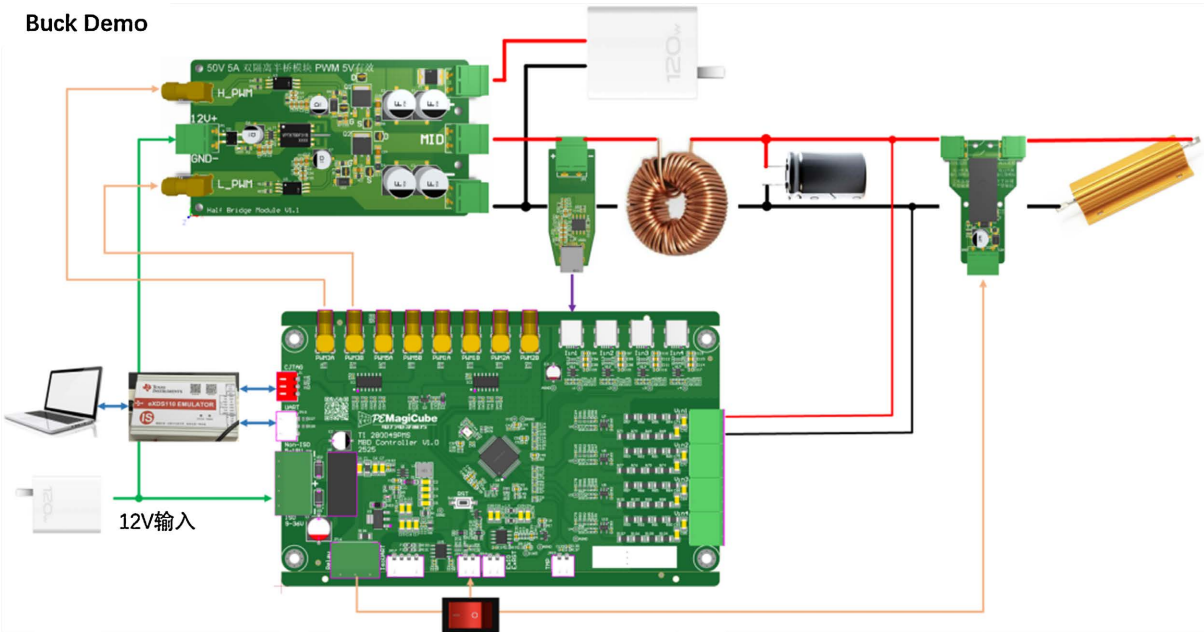


Figure 8. Schematic diagram of the synchronized Buck digital control experiment plan
图 8. 同步 Buck 数字控制实验方案示意图

2.3. 基于模型设计流程

模块化电力电子实践平台采用基于模型设计(Model-Based Design, MBD)的方法,最大程度降低控制策略的实施难度,让学生把精力集中在数字控制环路的理解和应用上,形成一种“先会用后优化”“眼见为实敢尝试”“结果及时促兴趣”的效果。如图 9 所示,在 PSIM 软件中建立所选拓扑的模拟域仿真模型,学习并掌握控制环路的作用和调参方法,待达到控制目标后将模型变更为和 TMS320F280049 芯片适配的数字域仿真模型,再次调整控制参数使得输出特性达标,然后生成数字控制模型相对应的工程代码,编译后即可下载到主控模块中直接运行,最后完成实验要求的测试任务。

这种基于模型设计方法的优点:一是让学生实际动手的同时提高数字闭环控制实施效率,降低编程难度;二是实现虚拟仿真和物理实验的无缝衔接,学生可以快速验证自己的想法;三是培养学生的系统思维和数字化设计能力,适应现代工程开发的发展趋势。

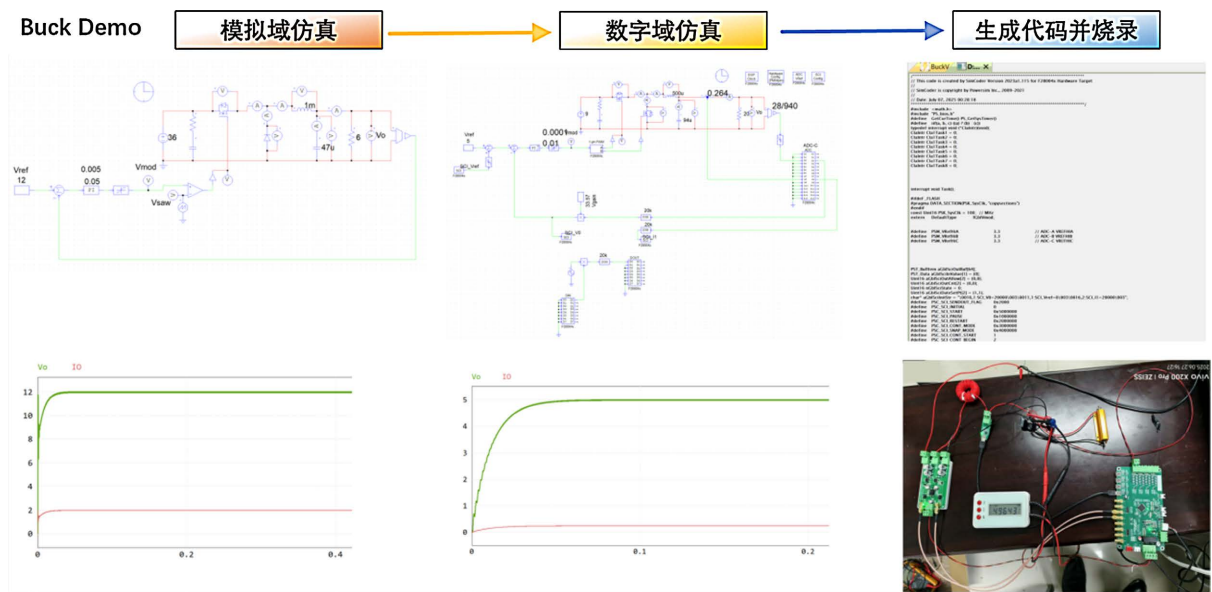


Figure 9. Flowchart of model-based design
图 9. 基于模型设计流程图

3. 电气工程人才培养模式创新与实践

3.1. “四阶递进”式人才培养模式

基于模块化电力电子实践平台，设计“四阶递进”式课程体系，将电力电子理论课、课程设计、竞赛和毕业设计有机贯通，形成完整的人才培养链条[7]-[10]。

第一阶：理论基础学习。在“电力电子技术”“自动控制原理”“模拟电子技术”“数字电子技术”“嵌入式控制系统及应用”等理论课程中，引入该平台的案例教学，帮助学生理解模数混合电路设计、功率变换原理、控制系统设计与实现等基础知识。如图 10 和图 11 所示，采用“课上 + 课下”混合教学模式，课上讲解理论知识中的重难点并通过该平台进行案例式演示教学，课下通过平台进行仿真和实验，巩固和深化理论知识。

第二阶：课程设计实践。如图 12 和图 13 所示，在“电力电子课程设计”课程中，学生以小组形式完成一个完整的数字电源系统设计任务。学生根据个人兴趣和能力自主选择功率拓扑，如同步 Buck、同步 Boost、Buck/Boost、四开关 Buckboost、单相逆变、推挽隔离、半桥隔离、全桥隔离和三相逆变器等，利用模块化平台进行拓扑设计、参数计算、电感或变压器绕制、仿真验证、实物制作和测试分析，全面锻炼工程实践能力。



Figure 10. Case-based teaching demonstration diagram
图 10. 课堂案例式教学演示图



Figure 11. Single pulse test case for power transistor switching characteristics
图 11. 功率管开关特性单脉冲测试案例课



Figure 12. Diagram of students winding inductors
图 12. 学生自绕电感图



Figure 13. Synchronous Buck built and controlled by students independently
图 13. 学生自主搭建并控制的同步 Buck 图

第三阶：学科竞赛创新。鼓励学生参加“全国大学生电子设计竞赛”“高校电气电子工程创新大赛”、“全国大学生嵌入式芯片与系统设计竞赛”“全国大学生电力电子技术实践技能大赛”等学科竞赛。如图 14 和图 15 所示，学生依托模块化平台，快速实现自己的想法，进行电力电子高阶应用，培养创新思维和团队协作能力。



Figure 14. Competition test diagram in 2025
图 14. 25 年电赛测试图

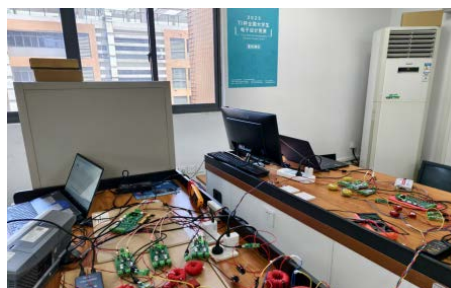


Figure 15. Diagram of students participating in the competition based on the experimental platform

图 15. 学生基于实验平台参加电赛现场图

第四阶：毕业设计综合。毕业设计作为本科阶段的总结性环节，要求学生解决较为复杂的工程问题或开展前沿技术探索。学生基于该模块化平台，综合运用所学知识和技能，完成从需求分析、方案设计、仿真验证、实验测试到成果评价的全过程，培养解决复杂工程问题的能力。

实践环节贯穿整个培养过程，从大一的基础技能训练，到大二的专业知识学习和课程设计，再到大三的综合实践和学科竞赛，最后到大四的毕业设计，形成四年不间断的实践能力的培养链条。通过逐级递进的实践项目训练，使学生能够逐步掌握数字电源设计与控制的基本技能、专业知识和创新能力。

3.2. “虚实结合”的教学方法

在教学方法上，采用“虚实结合”的策略，将虚拟仿真与物理实验有机结合。虚拟仿真包括电路仿真(PSIM、Plecs、Matlab)、模拟控制仿真、数字控制仿真等，帮助学生从多角度理解电力电子控制系统的工作原理；物理实验则通过模块化电力电子实践平台，让学生亲自动手搭建和测试实际的闭环控制系统，培养实践能力和工程直觉。

具体实施中，采用“先仿真后实验”的流程。学生首先在虚拟软件中设计和验证自己的方案，优化参数和控制策略；然后在模块化物理平台上进行实验，对比仿真结果和实验结果，分析差异原因，深化对理论知识的理解。这种虚实结合的方法，既降低学习成本和学习风险，又能提高学习效果和学习效率。

3.3. “多元协同”的评价机制

建立“多元协同”的评价机制，改变单一考试成绩评价方式，采用过程评价与结果评价相结合、个人评价与团队评价相结合、教师评价与企业评价相结合的多维度评价方式。

学生以小组的形式围绕课设任务书要求分工协作完成相关内容，在两周时间内进行三次过程评价，一次是模拟控制仿真完成情况评价，一次是数字控制仿真完成情况评价，一次是实验平台搭建情况评价，保证每一关键过程的实施；结果评价是采取答辩加小组报告的方式考核学生对知识技能的掌握程度和应用能力。个人评价则由小组长进行系数打分关注组员在实验协作中的成长和贡献；团队评价则关注整个团队的协作效率和成果质量。教师评价主要从教学角度评价学生的学习效果；企业评价则从工程应用角度评价学生解决实际问题的能力。

这种多元协同的评价机制，更加全面、客观地反映学生的知识、能力和素质，激发学生的学习兴趣和动力。

4. 实践成效与成果分析

4.1. 学生能力提升显著

通过人才培养模式的实施，学生解决复杂工程问题的能力和创新素养得到显著提升。具体表现在以

下几个方面:

基础知识更加扎实。通过模块化电力电子实践平台的训练,学生对电力电子拓扑工作原理、控制系统设计方法等有更深入的理解。课程考试成绩显示,采用新教学模式班级的目标达成度可到 98%。

实践能力明显增强。学生能够熟练使用 PSIM 等仿真软件进行电力电子系统建模和仿真,能够利用模块化平台快速实现自己的设计想法。在实验课程评估中,90%以上的学生能够独立完成经典拓扑的 DC-DC、DC-AC 变换器等实验项目,20%以上的学生能够设计并实现隔离型变换器的复杂控制,如移相全桥等。

创新能力不断提高。学生积极参与各类创新实践活动,提出许多创新性想法和解决方案。如多相交错的 Boost 升压电源、Vienna 整流器的基于输入阻抗控制实现、电流模式控制的 LLC 变换器等。近三年来,学生每年都有获得学科竞赛的全国一等奖。

4.2. 教学成果丰富

自教学改革实施以来,取得一些教学成果如下:

① 研制模块化电力电子实践平台 1 套,包含主控模块、半桥模块、检流模块、继电器模块和外围配套元器件,支持全部典型拓扑实验和 10 余种创新拓扑实验,并以被其他高校所采用;

② 获批省部级教改项目 1 项,项目名称是以新技术牵引的《电力电子技术》仿真与实物协同案例式教学探索与实践;

③ 电力电子技术课程综合设计课荣获第一届全国高校电气类专业课程实验教学案例设计竞赛全国二等奖、第二届该赛事全国一等奖;

④ 该模式培养的学生获得的最高竞赛奖是第七届全国大学生嵌入式芯片与系统设计竞赛全国一等奖并捧杯、第八届该赛事全国一等奖,以及获得省部级优秀毕业论文。

5. 结论

本文针对数字电源领域卓越电气工程人才培养的需求,通过研制支持重构功率拓扑和基于模型设计的模块化平台,构建将电力电子理论课、课程设计、学科竞赛和毕业设计有机贯通的人才培养新模式。本项目的主要创新点包括:一是设计模块化、可重构的电力电子实践平台,解决传统实验平台成本高、拓扑固定、台套数不足等问题;二是采用基于模型设计的方法,开展虚实结合的授课方式;三是构建“四阶递进”式课程体系,将理论教学、实践训练和创新能力培养有机融合。教学实践表明,这种贯通式人才培养模式能显著提升学生解决复杂工程问题的能力和创新素养。

未来将围绕以下几个方向展开:一是进一步优化模块化平台的设计,提高平台的可靠性、易用性和扩展性;二是持续丰富教学内容和实践项目;三是深化产教融合,加强与企业的合作,提高人才培养的针对性和适应性;四是扩大应用范围,让更多高校和学生受益。

基金项目

该课题受到重庆市高等教育教学改革研究重点项目(232134)、重庆市高等教育教学改革研究一般项目(233432)、重庆科技大学教学改革研究项目(202305、202332)资助。

参考文献

- [1] 邵文权, 关欣, 乌江, 等. 基于 OBE 理念的电气工程专业一流课程建设[J]. 中国电力教育, 2025(8): 82-83.
- [2] 沈滨泓, 《电气应用》编辑部. 卓越电气工程师刘建戈: 推进电气工程与数字化技术的融合[J]. 电气应用, 2025, 44(4): 11-12.
- [3] 汪丽燕, 周国鹏, 熊同强. 工程教育认证与电力电子技术的模块化实验教学实践[J]. 电子技术, 2024(3): 118-120.

-
- [4] 杨玲玲, 唐雄民. 基于电力电子技术的进阶式工程能力训练体系构建[J]. 科教导刊, 2025(1): 71-73.
 - [5] 刘瑞静. 多层次虚实融合的“电力电子综合实验”教学实践[J]. 电气电子教学学报, 2025, 47(3): 198-201.
 - [6] 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.
 - [7] 吴屏, 王立欣, 王丹丹, 等. 大类招生下低年级电力电子方向竞赛指导课探索[J]. 实验室研究与探索, 2025, 44(6): 206-210.
 - [8] 王伟健, 王彬彬, 李鑫. 多点融入式“课上 + 课下”混合教学方法在电力电子技术课程中的应用研究[J]. 大学教育, 2025(14): 47-54.
 - [9] 刘伟, 贺晓蓉, 杨奕. 基于“实战驱动, 校企协同”的电气专业工程实践教学改革[J]. 实验室研究与探索, 2017, 36(10): 248-252.
 - [10] 戴卫力, 朱金秀. “电力电子技术”课程“三位一体”教学法初探与实践[J]. 科技与创新, 2025(6): 162-164+168.