

# 远程智能实验系统在电工电子教学中的应用

张林丽 余翔宇 李磊

(华南理工大学电子与信息学院, 广州 510640)

**摘要** 将在线教育理念和技术应用于实验教学, 对远程智能在线实物实验技术进行研究和探索, 建设了远程智能实验系统, 实现智能软硬件系统与电子电路实验教学的深度融合, 并应用于电子电路相关实验课程。探讨了传统线下实验教学的特点和存在的问题, 分析了远程智能实验系统应用于实验教学的优势。实践表明, 远程智能实验系统打破了高校传统实验教学的时空和资源限制, 能为学生提供更加灵活、便捷的实验体验, 在提高学生自主学习能力和创新能力方面发挥了重要作用。

**关键词:** 工程实践; 远程实验系统; 电工电子实验教学; 在线实验

## Application of remote intelligent experiment system in electrical and electronic teaching

ZHANG Linli YU Xiangyu LI Lei

(School of Electronic and Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640)

**Abstract** The concept and technology of online education are applied to experimental teaching, and the research and exploration are conducted on remote intelligent online physical experiment technology. A remote intelligent experiment system has been constructed to achieve deep integration of intelligent software and hardware systems with electronic circuit experimental teaching, and applied to electronic circuit related experimental courses. The characteristics and problems of traditional offline experimental teaching are explored, and the advantages of remote intelligent experiment system in experimental teaching are analyzed. Practice show that it breaks through the limitations of time, space and resources in traditional experimental teaching in universities, and provides students with more flexible and convenient experimental experiences, and plays an important role in improving students' self-learning and innovation abilities.

**Keywords:** engineering practice; remote experiment system; electrical and electronic experiment teaching; online experiment

## 0 引言

工程实践能力是所有工科学生必须具备的最基本、最重要的能力, 提高学生工程实践能力和解决复杂工程问题的能力是工程教育的目标<sup>[1]</sup>。在以学生为中心、持续改进的目标导向教育(outcome based education, OBE)理念<sup>[2]</sup>的引领下, 各大高校积极开展工程教育研究, 大力培养德才兼备的创新型应用人才<sup>[3-4]</sup>。科技革命、产业变革和新经济发展, 对高等工程教育产生了深远的影响<sup>[5]</sup>, 随着云计算、大

数据、人工智能(artificial intelligence, AI)等新一代信息技术的不断发展, 知识的获取和传授方式、教与学的关系都发生了革命性变化。电工电子实验教学是培养学生实践能力、创新能力的重要阵地<sup>[6]</sup>, 为提高人才培养质量, 在教育部“数字教育”工作的推动下, 在线实验教育蓬勃发展<sup>[7]</sup>, 各大高校在实验教学中不断引入新技术和新手段, 对实现远程实验教学的智能软硬件实验系统的建设和应用就是其中一个重要的举措。文献[8]介绍了一种基于 ELVIS III 设备, 通过 Measurement Live 系统完成远

程实验操作, 实现实验课程的虚实结合的线上实验方式; 文献[9]介绍了基于图形化编程 LabVIEW 的 NI 在线实景实验系统, 减少了实验室实际硬件投入; 文献[10]介绍了东南大学开发的在线实物实验平台“东南在线实验”, 实现了电工电子基础课程的在线实验; 文献[11]介绍了一种“电子线路”远程实物实验平台, 实现了电子线路课程的远程实验。文献[8-9]所述系统都能实现远程实验, 且测量数据基于真实硬件, 但测量设备为虚拟设备; 文献[10-11]所述系统的元件和仪器均为实际硬件, 但是文献[11]所述系统仅应用于电子线路课程。

本文介绍一种远程智能实验系统, 能够基于远程的真实硬件和仪器设备实现在线真实实验。系统基于通用平台, 可扩展性强, 支持定制不同实验模块, 可在电工电子多门实验课程中应用, 并与线下实验教学深度融合, 是提高学生工程实践能力和实现实验教学数字化变革的重要工具和载体。

## 1 传统实验教学存在的问题

电子信息行业对人才的工程实践能力和创新能力要求很高, 如何培养学生主动探索、勇于实践和精益求精的工匠精神, 推动学生从被动式学习向以能力培养为目标的主动式学习转变是高校人才培养的痛点和难题。现阶段的实验教学存在以下问题。

### 1.1 时空与资源限制, 学生被动学习

实验设备是实现实验教学任务的硬件核心, 实验课需要借助实验室、仪器设备完成对特定实验对象如元件、器件或系统的研究, 对资源有强依赖性。学生良好的分析、调试、设计实验电路的能力目标需要大量时间反复不断的训练才能达成。传统的线下实验教学受限于实验场地、设备资源及时间安排, 难以突破时空制约, 学生实验学习处于被动状态, 大部分学生仅仅完成课内实验, 无法满足学生主动性学习、创造性学习和个性化学习的需求。

### 1.2 在线实验课程以演示为主, 缺乏硬件体验

大型开放在线课程 (massive open online course, MOOC) 平台作为一种新兴的教育模式, 具有教学资源优质化、内容主题化、学习便捷化等诸多优点。目前, MOOC 平台以文本、视频的传输为主, 在理论课上得到了广泛应用, 而实验资源的共享包括硬件设备、软件工具和各种类型的实验数据等。当前, 有高校尝试将 MOOC 运用于实验教学, 以提高实验教学效果, 如利用 MOOC 实现线上预习和线下操作

的实验教学新模式和利用虚拟实验平台辅助实验教学, 拓展实验教学的广度与深度等, 但总体而言都是以软件虚拟为主, 缺少真实的硬件体验和实验操作过程完整记录。

### 1.3 虚拟仿真实理想化, 与实际结果存在差距

基于软件工具的虚拟仿真技术是根据理论模型进行分析计算, 元器件参数过于理想化, 未考虑到线路的搭接、电路环境干扰、分布参数、频率特性等实际情况, 仿真结果与线下的实物实验之间存在差异<sup>[10-11]</sup>。虚拟仿真实验软件“仿”的效果, 不能替代从实验现场获取的“真”经验。传统虚拟仿真实验室大都偏“软”, 如软件仿真、虚拟现实 (virtual reality, VR) 等, 虽然虚拟仪器技术实现了硬件在线化界面, 但是学生仍缺乏对器件特性的真实理解, 缺少动手实践环节。在线实验应强调的是“硬”, 强调工程经验要通过实际电路去实现, 在线实验平台应通过实际的电路映射到仿真软件, 通过软件连接线路, 达到虚实结合。

## 2 远程智能实验系统建设

在实验教学中如何改变现有的传统教学模式, 实现信息技术与实验教学的深度融合, 以提升课堂的教学效果, 已经成为当前亟待解决的问题。

在以学生为中心, 线上与线下相结合、课内与课外相结合、虚拟仿真与实物相结合的实验教学理念的引领下, 实验中心建设了具有远程在线和线下实验功能的远程智能实验系统。该系统是一种结合互联网技术与传统电工电子实验设备的创新平台。通过模块化设计、远程控制与数据实时传输等技术手段, 为学生提供了便捷、高效、安全的实验环境。师生通过客户端软件实现远程预约、自动识别元器件、远程连接线路、控制仪器仪表、采集实验过程数据、提交实验报告、批阅实验报告等功能, 将真实的实验过程搬上互联网。

### 2.1 系统硬件平台

远程智能实验系统采用“通用平台+定制模块+通用软件”的架构模式, 由 ELF-BOX 线上线下的实验平台、实验模块、实验仪器及配套软件组成, 系统结构如图 1 所示。

系统的主体部分为 BOX, 上面有 3×4 个阵列, 共 12 个节点, 192 路通信接口, 每个节点可以放置 1 个电路模块, 硬件电路模块通过节点与底层的 BOX 平台进行物理连接和通信, 每个 BOX 最多可

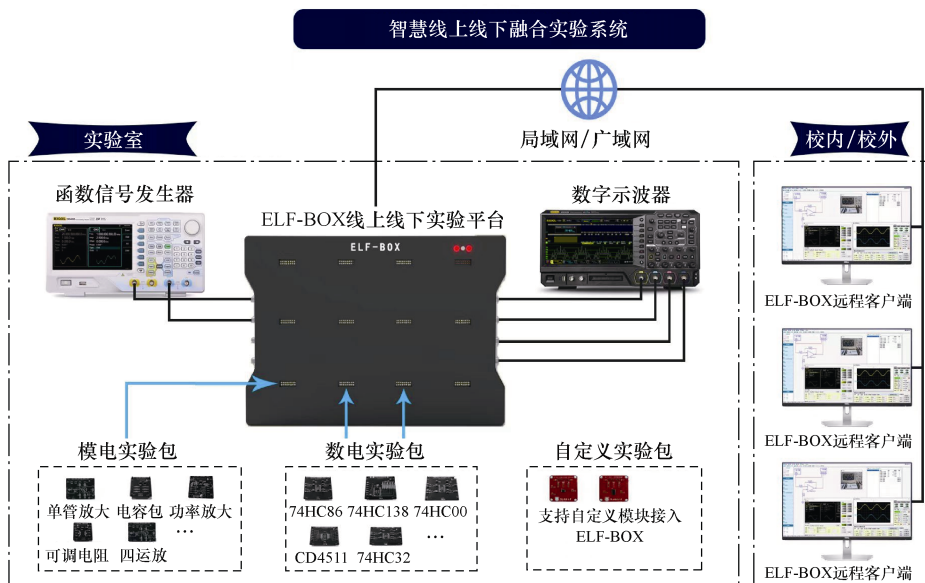


图 1 远程智能实验系统结构

放置 12 个电路模块。将函数信号发生器和数字示波器通过 BNC (bayonet nut connector) 线缆分别连接到 BOX 的输入和输出通道,摄像头连接到通用串行总线 (universal serial bus, USB) 口,就构成了硬件平台。可根据不同实验项目的需要放置不同的硬件电路模块,如模电实验包、数电实验包、电路实验包等,用户可以根据实验项目的需要二次开发,自定义不同的实验模块,来满足学生个性化的实验需求和教师课程建设的需要。

## 2.2 系统软件平台

远程智能实验系统是由硬件设备和软件后台组成的实验教学闭环系统,既可以本地部署使用,也能远程操控。教师将实验平台的硬件设备连接到互联网,学生只需要在个人计算机上安装客户端软件,就能登录系统做实验。学生端实验操作界面包含远程实验电路搭建系统和远程仪器仪表控制系统,从原理图设计调试、仪器仪表操作到自动读取、记录、上传测量值和波形,以及通过摄像头观察真实示波器,非常方便灵活。原理图中改变任意一个器件参数或任意一条线路,对实验结果的影响可以通过示波器实时观察。

除了客户端软件,实验系统还包括一个在线管理后台,管理后台分学生、教师、管理员等角色,不同角色对应不同权限,清晰易管理。教师可以实现班级管理、实验项目发布、预约记录的审批、报告批改、学生学情信息统计等。学生可以实现设备预约、实验报告提交、实验行为数据的查看等,学

生填写报告时,可以合成同一实验条件下的所有测量数据、波形,真实严谨,可有效避免抄袭。

## 3 教学实践

### 3.1 远程智能实验系统的应用

远程智能实验系统目前在实验中心的“电路实验”“模拟电子技术实验”“数字电路实验”课程中得到应用。系统不仅支持基础实验课程,也可以扩展到综合设计、创新设计及定制化实验。实验项目内容丰富,不断更新,不同学校的教师资源共建共享,可以满足不同学习者的需求。学生可以选做本校的实验项目,也可做外校的实验项目,打破了资源的壁垒。目前,系统上线的实验课程有 8 门,共建实验项目 170 个。线上实验课程与实验项目数统计见表 1。

表 1 线上实验课程与实验项目数统计

实验课程名称	实验项目数
电路基础	12
电路分析	29
信号与系统	17
模电实验	43
数电实验	37
集成电路应用测试	6
电子线路设计	3
创新实验	23
合计	170

疫情时期，远程智能实验系统解决了无法线下做实验的难题，实现了实验课完全线上完成。疫情过后，考虑到在线实境实验缺少实物感的局限性，线上真实验与线下传统实验之间必须有机融合，才能为学生创造多样化的实验方式，从而全面提高学生实践能力。实验中心基于多年积累的数字化教学资源 and 课程网站平台，构建了线上线下相融合的教学模式，将远程系统用于三电基础实验的课内实验深度预习、课外自选实验、设计性实验及个性化的课后实验专练，以弥补传统线下课内实验学时和操作训练的不足，提高学生自主学习能力和创新能力。线上线下混合教学模式如图 2 所示。在该模式下，远程智能实验系统在实验的全流程都得到了应用。

	实验前	实验中	实验后
线上	PPT资料	资料参考	仿真结果提交
	操作视频	视频回看	电子课外报告提交
	Multisim仿真	数据在线获取与AI判错	大数据分析学与学情反馈
	远程实验预习	远程课外自主实验	远程实验练习
	预习检测		
线下	数字资源制作	课堂授课	报告批改
	课程网站维护	实验指导	师生交流
	远程平台维护	实验验收	

图 2 线上线下混合教学模式

### 3.2 典型实验项目示范

现以“模拟电子技术实验”课程中的“方波-三角波发生器设计”实验项目为例，介绍应用该系

统进行实验的过程。

教师首先将待用电路模块电阻包、电容包、可调电位器、运算放大器放到硬件平台的节点上。

学生远程登录客户端软件，选择空闲可用的实验台，在“模电”课程下拉菜单中选择“方波-三角波发生电路设计”实验项目，修改文件名，即可创建自己的实验项目，进入远程实验电路搭建界面，界面的左侧为仪器和电路元器件，右侧为电路搭建区域，从左侧选择相应的元器件和测试仪器连接成电路图。方波-三角波发生电路如图 3 所示。

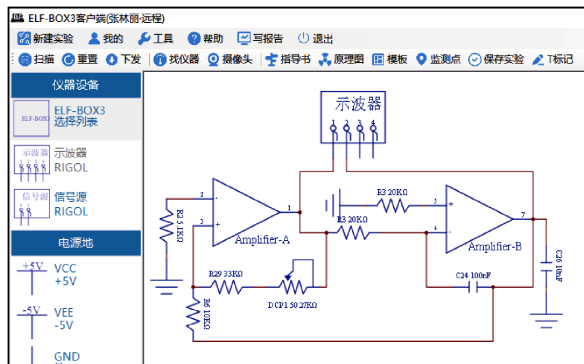


图 3 方波-三角波发生电路

单击“下发”即可控制远程硬件完成实际电路的连接。双击仪器图标，打开摄像头，即可操控仪器面板，同时看到在示波器上显示方波和三角波的波形，在示波器的操作面板上勾选“幅度”和“频率”测量项，单击“刷新测量结果”，系统自动读取示波器测量结果，在测量项及测试结果处显示，仪器面板显示结果如图 4 所示。还可以截取波形图及

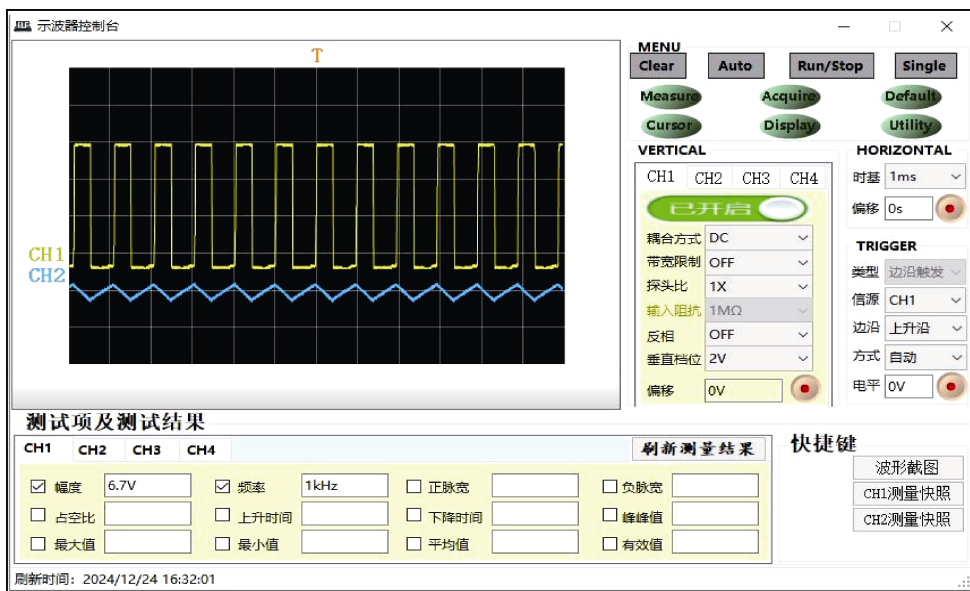


图 4 仪器面板显示结果

测量快照，以便分析所有波形参数。从界面左侧选取不同的电阻和电容连接电路图，并“下发”，可以改变硬件电路的电阻和电容，并观察波形的变化。

完成实验操作后，单击状态栏中的“监测点”，出现读取测量结果对话框，单击“读取测量值”，系统自动记录仪器测量结果，并提交到后台系统，系统自动判断结果的正误。监测点数据截图如图5所示。

名称	参数	测量值	结果
示波器·CH1频率	CH1	1020.408Hz	✓
示波器·CH1幅度	CH1	6.67V	✓
示波器·截图			截图成功
实验台·截图			截图成功

图5 监测点数据截图

从该实验可以看出，在系统上可以很方便地改变元件参数，并映射到底层的硬件电路，快速地验证设计电路效果，给设计性实验和综合性实验带来了便利。学生还可以直接单击写报告，一键合成插入原理图、波形、测量数据，生成图文并茂的电子版报告。

#### 4 远程智能实验系统应用效果

远程智能实验系统兼具远程在线和实物实验两个特点，通过结合虚拟仿真技术和实物操作，实现了实物实验的线上化、智能化，实验中心将远程智能实验系统用于电子电路基础实验课中，作为传统线下实验的补充，构建了线上线下混合的实验教学模式。

以2024—2025年第一学期的电路实验为例，共开放ELF—BOX 10台，要求学生课外时间采用线上或线下方式完成课外自主实验，系统后台显示了学生利用课外时间线上完成课外实验的情况。23级信工1~3班在系统上共完成实验数421个，平均每班约140个。学生线上实验情况见表2。近一半以上同学采用线上方式完成了课外实验，并提交了电子版实验报告，每个学生的登录时长和登录次数均不同。部分学生不仅完成了教师要求的课外实验，还自主练习了其他感兴趣的实验。

表2 学生线上实验情况

班级	人数	线上实验数/个	课外实验报告/份	最长登录时长/min
1班	51	135	30	160
2班	46	131	28	159
3班	46	155	25	201

教学实践表明，在线真实实验颠覆了传统的实验模式，打破了传统实验教学的时空限制，为学生提供了更多的实践机会，使教学效果和教学质量得到了提升，学生期末总评成绩较传统教学有了明显的提高。不同于虚拟仿真的理想化，其结果能够反映真实的实验情况，尤其是设计性实验，能够通过真实的器件和测试仪器得到快速验证，提高了设计效率，有助于学生将专注力放在电路设计上，提高创新能力。

通过分析学生的问卷调查结果发现，大部分学生对课外的线上实验比较认可，认为增加了自己的动手机会，通过实践操作加深了对理论知识的理解和记忆，而且实验方式自由、便捷，系统能保存实验过程，自己可以根据需要灵活安排实验进程，特别对动手能力差的学生很友好，可慢慢思考、充分练习、增强自信，部分学生表示自己会在空闲时间利用系统做更多的实验。

#### 5 结论

本文建设了基于平台化、模块化的电子信息核心课程远程智能实验系统，能够满足多门相关课程的远程在线实验需求，实现了本地和云端共享的实验设备机制。智能在线实验系统的建设，改善了原有传统设备条件，实现了在线实验从0到1的突破，实现了远程控制硬件做实验、实验过程可记录、AI辅助检测数据和实时反馈、自我分析，在提升学习效果、优化教学资源、创新教学模式等方面具有显著优势。系统为学生提供了更加便捷和高效的实验学习方式，激发了学生主观能动性和探索精神，有助于培养学生的工程实践能力和创新精神。

#### 参考文献

- [1] 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.
- [2] 段斌, 付子康. 《华盛顿协议》毕业要求框架下课程体系设置合理性评价的计算思维方法[J]. 电气技术, 2022, 23(12): 64-69.
- [3] 鲁春燕, 李炜, 刘微容, 等. 工程教育专业认证背景下控制类课程群体系构建与实践[J]. 电气技术, 2022, 23(12): 58-63, 69.
- [4] 高健, 金韦利, 文斌. 融入课程思政的单片机课程

(下转第71页)

- 例设计研究[J]. 工业和信息化教育, 2022(5): 57-60.
- [9] 杨勇, 张蓉, 贺恒鑫, 等. 工科专业基础课课程思政教学设计与实施: 以“电路理论”课程为例[J]. 课程思政教学研究, 2022, 2(1): 145-157.
- [10] 钱辰, 旷怡, 章兢. 基于前门调整法的“项目式学习”过程考核设计与课程质量评价[J]. 电气技术, 2022, 23(10): 74-79.
- [11] 朱娟娟, 贺王鹏, 郭宝龙. 新工科电气电子类课程改革与实践: 以“信号与系统”为例[J]. 电气技术, 2024, 25(10): 72-78.
- [12] 王媛, 李双江, 崔建升. 中外合作办学背景下课程思政融入专业课教学初探: 以生物多样性保护为例[J]. 现代职业教育, 2022(31): 49-51.
- [13] 钟志亲, 黄海猛, 李小红. 立德树人视角下课程思政建设的实践研究及成效: 以“半导体物理”课程为例[J]. 黑龙江教育(高教研究与评估), 2022(2): 64-66.
- [14] 贺贝若. 中外合作办学设计类专业课程实践教学探讨: 以“设计协作与表达”课程为例[J]. 纺织服装教育, 2020, 35(6): 544-548.
- [15] 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.
- [16] 贲彤, 陈龙. 融入课程思政理念的电工学教学改革探索与实践[J]. 电气技术, 2024, 25(1): 48-51.
- [17] 孔凡栋, 曹超婵. 服装设计专业中外合作办学项目思政教育研究: 以浙江理工大学中美项目为例[J]. 美术教育研究, 2022(18): 112-114.

---

收稿日期: 2024-12-23

修回日期: 2025-01-28

作者简介

吴彦锐(1981—), 女, 山西高平人, 博士, 副教授, 主要从事电工电子技术教学和科研工作。

---

(上接第 62 页)

- 教学改革探索与实践[J]. 电气技术, 2024, 25(10): 67-71.
- [5] 张蓉, 文劲宇, 李红斌, 等. 新工科背景下课程思政系统设计与实施[J]. 电工技术学报, 2023, 38(11): 3094-3100.
- [6] 牛富丽, 曾正, 王明渝, 等. 面向卓越工程师培养的电力电子教学实验平台设计[J]. 电气技术, 2024, 25(10): 79-84.
- [7] 吕念玲, 秦慧平, 殷瑞祥, 等. 在线教育在高等学校实验教学中的实现[J]. 实验室研究与探索, 2020, 39(7): 214-218, 222.
- [8] 聂文艳, 封居强, 韩芳, 等. 虚实融合的实时远程实验教学研究与实践[J]. 遵义师范学院学报, 2022, 24(1): 127-131.
- [9] 王富铮, 谢海鹤, 陈军, 等. 模拟电子电路实验课程在线实景实验改革与实践[J]. 科技视界, 2021(27): 143-145.
- [10] 汤雪娇, 郑磊, 胡仁杰, 等. 电工电子远程在线实物实验平台的建设与实践[J]. 实验室研究与探索, 2021, 40(12): 148-153.
- [11] 颜芳, 宋焱翼, 曾浩, 等. “电子线路”远程在线实验平台建设与实践[J]. 工业和信息化教育, 2023(3): 83-88, 94.

---

收稿日期: 2024-12-23

修回日期: 2025-01-20

作者简介

张林丽(1983—), 女, 湖南省张家界市人, 硕士, 主要从事电工电子实验教学与研究。

---

(上接第 66 页)

- [9] 周越. 新工科背景下“EDA技术”教学改革探索[J]. 电气电子教学学报, 2023, 45(4): 15-19.
- [10] 唐彦君, 牛广财, 李艳青, 等. 新工科背景下校企协同实践教学闭环体系的构建[J]. 农业科技与装备, 2020(2): 87-88.
- [11] 叶勇, 程鸿, 李坤. 基于 ZYNQ 开发板的 EDA 课程教学改革与实践[J]. 电气电子教学学报, 2023, 45(5): 19-23.
- [12] 贾绍芝, 陈阅海. 基于 Altera MAX10 的 FPGA 实验教学改革实践[J]. 工业和信息化教育, 2024(2): 76-81.
- [13] 王伟刚, 夏子山, 涂真珍. 基于 FPGA 的视频图像采集项目教学设计[J]. 实验科学与技术, 2023, 21(1): 114-118.
- [14] 张丽丽, 陈真, 刘雨轩, 等. 基于 ZYNQ 的 PCB 缺陷检测系统实验设计[J]. 实验技术与管理, 2023, 40(4): 96-102.

---

收稿日期: 2024-12-30

修回日期: 2025-02-01

作者简介

高家宝(1987—), 男, 海南乐东人, 博士, 主要从事 FPGA 应用加速与智能系统方面的研究工作。