

科教融合导向的数字电子技术教学改革与实践

董玉姣

杭州电子科技大学电子信息学院，浙江 杭州

收稿日期：2025年11月30日；录用日期：2025年12月27日；发布日期：2026年1月4日

摘要

为应对电子信息领域技术快速迭代对创新人才培养提出的新要求，本文以“科教融合”为核心导向，对数字电子技术课程进行了系统性教学改革。针对课程原有内容滞后、理论与实践脱节、学生科研思维训练不足等问题，改革从三大路径入手：一是重构基础教学体系，强化工程思维与系统观培养；二是深度融入以忆阻器为代表的前沿科研成果，设计梯度化教学案例；三是建设“理论 - 仿真 - 远程实验”一体化的科教融合实践平台。实践表明，改革有效激发了学生的学习兴趣与主动性，显著提升了其创新能力、工程实践素养和初步科研能力，为电子信息类基础课程的科教深度融合提供了可借鉴的方案。

关键词

数字电子技术，教学案例，科教融合，忆阻器

Teaching Reform and Practice of Digital Electronics Oriented by Integration of Scientific Research and Education

Yujiao Dong

School of Electronics and Information, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou Zhejiang

Received: November 30, 2025; accepted: December 27, 2025; published: January 4, 2026

Abstract

In response to the new requirements for cultivating innovative talents posed by the rapid evolution of electronic information technology, this paper undertakes a systematic teaching reform of the Digital Electronics course, guided by the core principle of “integration of scientific research and education”. Addressing issues such as outdated course content, the disconnect between theory and practice, and insufficient training in students’ scientific research thinking, the reform proceeds along

three main paths: first, restructuring the fundamental teaching system to strengthen the cultivation of engineering thinking and a systems perspective; second, deeply integrating cutting-edge scientific research achievements represented by memristors and designing graded teaching cases; and third, establishing an integrated platform for theory, simulation, and remote experimentation that embodies the integration of research and education. Practice has shown that the reform effectively stimulates students' learning interest and initiative, significantly enhances their innovative design capabilities, engineering practice literacy, and preliminary scientific research abilities, providing a replicable model for the deep integration of research and education in fundamental courses within the electronic information field.

Keywords

Digital Electronics, Teaching Case, Integration of Scientific Research and Education, Memristor

Copyright © 2026 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

随着信息技术的迅猛发展，深刻变革了电子产业生态与知识体系，对高校电子信息类专业人才的创新能力与前沿视野提出了更高要求[1] [2]。数字电子技术作为该专业重要的学科基础课，其教学目标不应止步于传统逻辑电路知识的传授，更应承担起引导学生接触前沿、启迪创新思维、培养解决复杂工程问题能力的使命。

“科教融合”是高水平大学培养拔尖创新人才的核心路径，其本质是将前沿科学研究成果、方法与精神有机融入教学过程，实现科研资源向教学资源的有效转化。国内外一流高校及教育研究者已在此领域进行了诸多探索，如通过项目式学习(PBL)引入科研问题[3]，开设由科研团队主导的前沿专题课[4]，或建设开放实验室促进学生早期进入课题[5]。这些实践表明，科教融合能有效激发学生内驱力，提升课程的高阶性与挑战度。

反观当前数字电子技术课程教学，普遍存在内容更新缓慢、与学科前沿脱节、教学案例工程背景陈旧等问题。课程虽注重逻辑设计基础，但较少展现基础理论如何支撑当前“后摩尔时代”新型计算架构(如存算一体、神经形态计算)的探索，导致学生知识视野受限，科研兴趣难以被有效激发。因此，如何将数字电路经典理论与领域前沿突破相结合，设计出既能夯实基础又能引领前沿的教学方案，成为本次改革的关键出发点。

本文立足于“科教融合”理念，系统阐述了数字电子技术课程改革的整体设计、具体举措与实践成效。改革的核心在于将教师的科研优势(特别是忆阻器与新型计算架构方向)系统性地转化为优质教学资源，通过重构内容体系、创新案例设计、搭建实践平台，实现科研对教学的有效反哺，旨在培养适应未来技术发展的基础扎实、视野开阔、勇于创新的工程科技人才。

2. 课程教学现状与改革导向分析

当前数字电子技术课程在适应科教融合需求方面，主要面临以下挑战：

(1) 教学内容的前沿性不足[6] [7]。课程知识体系相对固化，对逻辑门、触发器、计数器等经典内容的讲授多限于传统 CMOS 工艺与冯·诺依曼架构背景。对于忆阻器、存算一体等正在深刻改变数字系统设计范式的前沿动向鲜有涉及[8] [9]，导致课程内容与学科发展前沿存在“代差”。

(2) 教学案例的探究性与创新性欠缺。实验与设计题目多以验证性和简单应用为主,如数码管显示、交通灯控制等。案例缺乏源自真实科研课题或产业前沿需求的复杂性和开放性,难以引导学生进行深度思考、多方案比较与创新优化,制约了其工程设计能力和科研思维的培养。

(3) 实践环节与科研工具结合不紧密。实验教学多依赖定型实验箱,学生按固定步骤连接电路,自主设计空间小。对于当前数字系统设计主流的EDA工具以及用于前沿器件建模和仿真的科研软件,在教学中渗透不足,学生难以获得接近真实科研环境的实践训练。

针对上述问题,本次改革明确以科教融合为核心理念与导向,旨在达成三个目标:一是将前沿科研成果转化为课程新内容,拓展学生认知边界;二是将科研方法与过程融入教学案例,培养学生探究能力;三是将科研平台与工具向本科生开放,提升其创新实践层次。

3. 科教融合导向的课程教学改革方案

3.1. 重构“基础-前沿”贯通的教学内容体系

为打通经典理论与前沿热点之间的壁垒,对课程知识图谱进行了重构。在保证组合逻辑、时序逻辑、有限状态机等核心基础讲深讲透的前提下,以“存储器与计算架构的演进”为线索,增设“数字电路前沿拓展”模块。

具体实施上,在讲授传统半导体存储器原理后,自然引入忆阻器这一新型存储元件。通过对比分析,阐述忆阻器的非易失性、模拟特性、纳米尺度等优势,及其为实现“存算一体”这一颠覆性架构提供的物理基础。进一步,简介基于忆阻交叉阵列的向量-矩阵乘法运算原理,将其与学生已学的加法器、乘法器等计算单元相关联,使学生直观理解从“计算-存储分离”到“存内计算”的范式变迁及其对突破“内存墙”的意义。此部分内容不仅更新了知识,更展示了基础学科概念如何催生重大技术变革,激发了学生的探索欲。

3.2. 开发“科研项目衍生”的梯度化教学案例

摒弃传统的封闭式、验证性案例,从教师承担的科研项目中凝练、简化出一系列具有探究性的教学案例,形成“基础应用→综合设计→前沿探索”的梯度。

基础应用层: 将科研中忆阻器特性测试的基本方法转化为入门实验。学生在远程实验平台上,对商用KNOWM忆阻器芯片施加扫描电压,观测并分析其滞回电流-电压曲线,如图1所示,左图和右图分别为忆阻器集成芯片板的硬件电路和通过示波器观察到的忆阻器电压-电流特性图,发现该忆阻器表现为较好的二值记忆特性和滞回曲线特性。让学生通过实验理解二值/多值阻态,从而掌握一种新型器件的表征方法。

综合设计层: 设计“基于忆阻器的逻辑门优化设计”项目。学生首先用传统CMOS晶体管设计基本逻辑门(如与门、或门、异或门),分析其面积、延时,再使用忆阻器实现这几种基本门电路,如图2所示,展示了通过忆阻器的串并联方式实现基本的与门和或门逻辑功能,并与CMOS构成的结构性能指标进行对比。随后,引导学生查阅文献,利用忆阻器的非线性特性与MOS管组合,设计混合型逻辑门电路(如全加器、全减器及乘法器等),并在EDA工具中进行仿真对比。此案例训练了学生文献调研、方案对比和优化设计的能力,直接体现了前沿器件对传统电路设计的革新。

前沿探索层: 设立“存算一体架构中基本运算单元探索”开放性课题。在完成加法器、乘法器等传统运算单元设计后,鼓励优秀学生思考:如何利用忆阻器阵列的物理特性(如欧姆定律、基尔霍夫定律)自然实现乘加运算,引导学生建立简单的电路模型并进行仿真分析。该案例不设标准答案,旨在鼓励学生进行批判性思考和大胆设想,体验从物理原理到计算架构的原始创新过程。

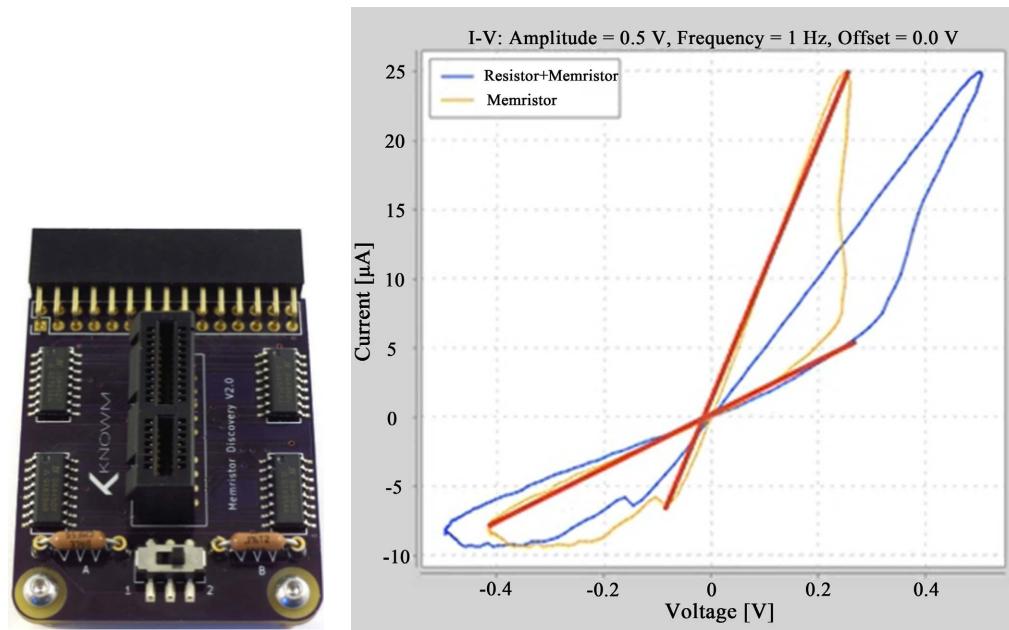


Figure 1. Memristor hardware board and its voltage-current characteristic curve

图 1. 忆阻器硬件实验板及其电压 - 电流特性图

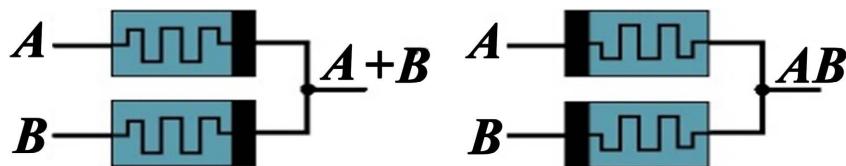


Figure 2. Logic circuit diagram of the memristor-based AND gate and OR gate

图 2. 基于忆阻器的与门和或门逻辑电路图

3.3. 搭建“虚拟 - 远程”一体化的科教融合实践平台

为支撑前沿案例教学，建设了线上线下结合的实践平台。

线上虚拟仿真平台：集成 Quartus II、Matlab/Simulink 等软件，特别加入了用于忆阻器等新型器件建模的仿真环境。学生可在此完成从行为级描述、电路仿真到系统性能评估的全流程设计，尤其便于对尚未完全成熟的前沿电路概念进行快速验证。

远程实境实验平台：部署了集成多种功能模块(包括 FPGA 及 KNOWM 忆阻器芯片)的远程硬件实验系统。学生通过网络预约，可远程操控真实仪器，对自己设计的数字系统或忆阻器电路进行测试、采集数据，获得与实验室亲自动手近乎等同的实践体验。该平台打破了时空限制，使全体学生都能接触到昂贵的科研级实验资源。

4. 教学改革实施效果

经过两轮教学实践，改革成效显著，主要体现在以下三个方面：

(1) 学生学习模式与态度的积极转变。引入前沿内容和科研案例后，课程的吸引力和挑战度同步提升。学生从被动接受知识转变为主动探索问题，课堂上针对前沿技术的提问明显增多，课后主动查阅文献、讨论优化方案成为新常态。课程问卷调查显示，超过 85% 的学生认为“前沿拓展模块”极大地开阔了视野，激发了专业兴趣。

(2) 学生工程与创新实践能力显著增强。在梯度化项目案例驱动下，学生的作品完成了从“模仿实现”到“创意设计”的跨越。期末综合设计项目中，出现了“基于忆阻器模拟特性的温度预警电路”、“面向图像边缘检测的忆阻脉冲神经网络初探”等兼具复杂度和前沿性的设计方案。

(3) 学生科研素养与学术志趣得到初步培育。科教融合的浸润效应逐步显现。完成课程学习后，多名学生主动申请进入“忆阻器与神经形态计算”等相关课题组参与科研训练。他们表示，课程中接触的前沿概念和进行的初步探索，降低了进入科研领域的畏惧感，明确了深入学习的兴趣方向。部分学生在本科阶段即撰写了相关调研报告或仿真研究论文，为后续毕业设计乃至研究生阶段的研究奠定了基础。

5. 结束与展望

数字电子技术课程的教学改革，是一项需要持续响应技术变革、不断深化育人内涵的系统工程。本次以科教融合为导向的改革实践表明，将前沿科研成果有机融入本科基础教学，不仅是可行的，而且是培养电子信息领域创新人才的有效途径。通过重构教学内容、研发前沿案例、搭建共享平台，有效实现了科研资源向教学资源的转化，激发了学生的内在动力，提升了课程的高阶性、创新性与挑战度。

展望未来，本课程的改革将继续深化：一是进一步丰富和迭代前沿教学案例库，保持与科研进展同步；二是探索建立更完善的科教融合激励机制，鼓励更多教师将科研成果转化成教学资源；三是尝试与国内外其他高校共享远程实验平台与课程资源，扩大改革受益面。最终目标是构建一个动态更新、开放共享、贯穿“基础-前沿-创新”的数字电子技术教学新生态，为我国电子信息领域拔尖创新人才的培养夯实基础。

基金项目

2023年杭州电子科技大学高等教育教学改革项目“产学研背景下的数字电子技术课程改革与实践探索”（基金编号：YBJG202309）；2023年浙江省自然科学基金项目“全忆阻器神经网络及其复杂模式研究”（基金编号：LQ23F010018）；2024年国家自然科学基金项目“纯忆阻神经元及其耦合网络的奇美拉态机理研究”（基金编号：62301202）。

参考文献

- [1] 李晟, 李玉晓. 基于 CDIO 的人工智能和电子信息科学与技术复合型创新人才培养模式研究[J]. 高教学刊, 2023, 9(35): 59-62.
- [2] 王奇, 范山岗, 戴海鸿, 等. 面向工程能力培养的电子系类专业实践教学改革[J]. 实验科学与技术, 2020, 18(6): 71-75.
- [3] 郑乾, 曹世豪, 咸庆军, 陈俊旗. 基于 AI 技术与科研项目融合驱动的课程研究性教学设计研究[J]. 科教文汇, 2025(20): 107-111.
- [4] 蒋吉优, 范春凤. 高校电池专业教育的科研与创新项目驱动教学模式[J]. 电池, 2025, 55(2): 402-405.
- [5] 王春华, 梁平, 岳悦, 等. 项目驱动与合作学习融合的教学模式探索——以能源动力类专业工程燃烧学课程为例[J]. 化工高等教育, 2025, 42(3): 100-106.
- [6] 陈龙, 盛庆华, 黄继业, 等. 现代数字电子技术基础[M]. 北京: 科学出版社, 2019.
- [7] 陈超原, 张静, 单财良. 数字电路与逻辑设计[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2019.
- [8] Chua, L. (1971) Memristor—The Missing Circuit Element. *IEEE Transactions on Circuit Theory*, **18**, 507-519. <https://doi.org/10.1109/tct.1971.1083337>
- [9] Kumar, S., Williams, R.S., Wang, Z., et al. (2020) Third-Order Nanocircuit Elements for Neuromorphic Engineering. *Nature*, **585**, 518-523.