

新工科背景下FPGA课程改革探索——从逻辑设计到系统构建

乔冠豪 万乐玲

无锡太湖学院 集成电路学院, 中国 江苏 无锡 214000

摘要: 新工科建设对集成电路人才培养提出了更高要求, FPGA 作为电子信息技术领域的核心课程, 面临着从理论传授向能力培养转型的迫切需求。本文针对当前 FPGA 课程教学中存在的“重验证轻设计、重仿真轻硬件、重工具轻思维”三大突出问题, 提出“一核双驱三融合”的改革框架, 以工程能力培养为核心, 以项目驱动和产教融合为双引擎, 实现理论教学与实践创新、虚拟仿真与硬件实现、工具掌握与系统思维的深度融合。本文从教学目标重构、课程内容优化、教学模式创新、评价体系改革四个层面, 系统论述具体的改革思路与实施路径。在此基础上结合国产 FPGA 平台应用、AI 赋能实验教学等前沿趋势, 探讨课程改革的发展方向。

关键词: FPGA; 新工科; 项目驱动教学; 产教融合; 工程能力培养

Exploration of FPGA Curriculum Reform under the Background of New Engineering —— From Logic Design to System Construction

Qiao Guan hao, Wan Le ling

Wuxi Taihu University, School of Integrated Circuits, China Jiangsu Wuxi 214000

Abstract: The construction of the new engineering disciplines has raised higher requirements for the cultivation of integrated circuit talents. As a core course in the field of electronic information technology, FPGA faces an urgent need to shift from theoretical teaching to capability development. This article addresses the three prominent issues in current FPGA course teaching: "emphasising verification over design, simulation over hardware, and tools over thinking," and proposes the reform framework of "one core, two drives, three integrations." Centring on engineering capability cultivation, driven by projects and industry-education integration, it aims to achieve a deep integration of theoretical teaching and practical innovation, virtual simulation and hardware implementation, as well as tool mastery and system thinking. The article systematically discusses specific reform ideas and implementation paths from four perspectives: reconstruction of teaching objectives, optimisation of course content, innovation of teaching methods, and reform of evaluation systems. On this basis, combined with the application of domestic FPGA platforms and AI-enabled experimental teaching trends, it explores the future direction of curriculum reform.

Keywords: FPGA; New engineering; Project-driven teaching; Industry-education integration; Engineering capability development

0 引言

现场可编程门阵列 (Field Programmable Gate Array, FPGA) 是支撑数字系统设计的核心器件, 在 5G 通信、人工智能、自动驾驶等前沿领域发挥不可替代的作用。当前在市场方面, 企业对掌握 FPGA 技术、具备工程实践能力的专业人才需求越来越迫切。但是国内高校开设的 FPGA 课程, 普遍存在教学内容更新速度慢, 教学设置匹配不上企业工程实践要求等问题。

FPGA 课程一般在电子信息类本科三年级开设, 是衔接电路基础与系统设计的关键课程。该课程旨在培养学

生掌握 FPGA 开发流程、硬件描述语言编程、仿真测试以及系统实现等方面的能力。但从实际教学成效来看, 学生通常能够完成验证性实验, 却难以独立解决复杂的工程问题; 能够通过仿真测试, 却在板级调试时毫无办法; 能够使用单一工具, 却缺乏系统级设计思维。这一困境的根源在于, 传统教学将 FPGA 课程定位为“逻辑设计”的拓展, 过于侧重底层模块级功能的实现, 而忽略了“系统构建”能力的培育。新工科建设秉持以学生为中心、以产出为导向的教育理念, 要求课程教学从知识传授向能力培养转变, 从逻辑设计提升至系统构建层面。

1 当前 FPGA 课程教学的主要问题

1.1 教学定位重语法轻设计

当前许多 FPGA 课程以硬件描述语言语法为主线组织教学, 教学内容围绕数据类型、运算符、语句结构、编程技巧展开。这种以语言为中心的课程设计, 容易使学生将 FPGA 学习等同于编程语言学习, 而忽略了硬件设计的本质是并行逻辑的构建。

硬件描述语言与 C 语言等软件编程语言存在着本质区别, 前者用来描述并行运行的硬件电路, 后者描述的是串行推进的算法流程。学生在学习过程中, 缺少硬件思维引导, 写出的代码往往符合可综合要求, 但是运行效率较低, 部分代码甚至无法完成综合。举例来说, 部分学生直接用循环语句描述硬件逻辑, 不会区分使用场景, 随意混用阻塞赋值和非阻塞赋值, 导致综合输出结果和仿真预期偏差较大。有研究表明, 在 FPGA 入门阶段存在相当比例的初学者会直接把软件编程思维套用到硬件描述语言编写过程中^[1]。这种教学定位使学生在面对实际项目时难以建立硬件电路思维, 无法真正理解代码与底层逻辑的映射关系。

1.2 实践环节重仿真轻硬件

实验教学作为 FPGA 课程的核心部分, 目前多数实验仅局限于代码编写、功能仿真以及波形查看, 而缺乏硬件下载与板级调试方面的训练。虽然仿真工具可用于验证功能的正确性, 但它难以体现真实硬件环境下信号毛刺、时序约束等问题。

过往教学记录显示, 学生编写的代码可在仿真环境中通过测试, 但是下载到 FPGA 开发板后经常无法正常运行。这是因为仿真环境采用理想的零延时模型, 而实际硬件运行中会出现门延迟、布线延迟、时钟抖动等多种物理效应。已有文献统计, 未接受过系统板级调试训练的学生群体中, 多数首次完成硬件下载都会碰到功能异常, 甚至无法独立确定问题来源^[2]。学生缺少板级调试的经验积累, 无法理解时序约束、时钟域同步等工程问题, 也难以掌握逻辑分析仪等调试工具的使用方法, 这种默认仿真通过就完成实验的模式, 和工程实践的真实需求并不契合。

1.3 项目设计重验证轻创新

课程设计是检验学习效果的重要环节, 但现有的课程设计往往采用指定题目、提供框架、学生填空的模式。学生按照实验指导书的步骤完成代码编写, 验证预设的功能, 整个过程缺乏需求分析、方案设计、系统调试的完整训练。

这种验证型实验存在三方面弊端。首先, 实验项目规模过小, 多数仅涉及计数器、分频器、数码管显示等单一模块, 学生无法建立系统级设计观念。其次, 实验可调整空间狭窄, 学生不用思索“为何如此设计”, 也不用思考“是否存在更优方案”。再者, 实验内容未涉及工程规范相关训练, 学生不会接触版本管理、代码规范、文档撰写等实际工程要求。教学观察表明, 接受传统验证式实验教学的学生中, 能够独立完成模块间系统集成的人数占比偏低; 而经过项目式教学改革, 这一情况得以显著改善^[3]。

1.4 资源依赖重国外平台轻国产

国内高校进行 FPGA 教学, 长期高度依托 Xilinx、Intel 等境外厂商的开发板与工具链。从产业安全角度看, 过度依赖国外技术不利于国产 FPGA 产业链的人才储备。近年来, 国产 FPGA 厂商逐步成长, 产品性能可满足高校教学和科研使用需求, 但仍需克服多重障碍, 包括可用教材数量少, 授课教师缺少相关实践积累, 配套实验模式存在诸多不足。有调查显示, 当前国内开设 FPGA 相关课程的高校里, 把国产 FPGA 作为核心教学载体的院校占比不高^[4]。把国产 FPGA 融入现有课程模式, 是课程改革必须回应的实际问题。

2 课程改革的理念与框架

2.1 核心理念从“逻辑设计”转向“系统构建”

课程改革的首要任务是转变教学理念。FPGA 课程不应定位于逻辑设计方法的讲授, 而应立足于数字系统构建能力的培养。逻辑设计范式关注底层门电路和模块, 其思维单位是模块; 而系统构建范式关注架构设计、模块划分、系统集成, 其思维单位是系统。逻辑设计是系统构建的基础, 但仅有逻辑设计能力远不足以应对复杂工程问题。有学者提出, FPGA 课程的本质是通过可编程逻辑器件这一载体, 培养学生从系统层面思考数字电路设计的能力^[5]。

这一转变的具体内涵包括: 从语法知识传授转向设计思维培养, 从验证性实验转向探究性实践, 从单一模块训练转向系统集成开发, 从工具操作熟练度转向工程问题解决力。课程不再是教会学生如何使用门电路搭建模块, 而是培养他们如何构建完整的数字系统。

2.2 改革框架确立“一核双驱三融合”

基于上述理念, 本文提出“一核双驱三融合”的改革框架。一核是指以工程能力培养为核心, 明确知识、能力、素质三维目标。双驱是指以项目驱动和产教融合为两大引

擎,项目驱动使学生在完成项目的过程中实现能力跃升,产教融合打通校园学习与产业需求的最后一公里。三融合是指理论教学与实践创新相融合,虚拟仿真与硬件实现相融合,工具掌握与系统思维相融合,实现知识向能力的有效转化。

3 课程改革的具体实施路径

3.1 教学目标重构

依据 OBE 理念,课程重构教学目标体系包含三个递进层次。第一层次是逻辑设计能力,要求学生掌握 FPGA 基本原理,理解硬件描述语言的硬件内涵,能够完成指定功能的仿真验证。第二层次是模块设计能力,要求学生能够独立完成中等复杂度模块的设计与板级实现,具备时序分析和约束能力,掌握在线调试工具。第三层次是系统构建能力,要求学生能够设计完整的 FPGA 系统,具备架构设计、IP 集成、系统调试的能力,能够在理解的基础上提出创新设计。素质目标方面,要求学生理解 FPGA 在自主可控战略中的意义,树立科技报国的使命感,同时要求学生在团队项目中学会协作与沟通。

3.2 课程内容优化

教学内容按照基础模块、核心模块、系统模块三个层次组织,每个层次对应完整的项目载体。基础模块对应 FPGA 入门系统设计,以 LED 流水灯、数码管显示等经典案例为载体,帮助学生建立 FPGA 开发的基本概念。教学重点是理解“代码即电路”,引导学生从硬件并发执行的角度理解代码行为,夯实逻辑设计基础。有研究表明,在入门阶段引入硬件思维训练,能够使学生在后续学习中的代码理解能力得到有效提升^[6]。

核心模块对应数字信号处理系统设计,以 FIR 滤波器设计、DDS 信号发生器、数字频率计等工程案例为载体,引入 IP 核复用、模块化设计、时序约束等核心方法。学生在此阶段开始接触真实的工程问题,培养独立设计可用模块的能力。教学形式上采用翻转课堂,学生课前学习知识点,课堂上在教师指导下完成项目开发。

系统模块对应片上系统设计,引入 RISC-V 处理器设计或 SoC 系统集成的综合性项目,培养学生系统级设计能力。以基于 RISC-V 架构的 FPGA 系统设计为例,学生需完成从指令集理解、处理器核心构建到应用程序开发的全流程。有研究表明,完成系统级项目的学生对 FPGA 整体架构的理解深度显著优于仅完成模块级项目的学生^[7]。

3.3 教学模式创新

教学模式改革围绕虚实结合与 AI 伴学展开。虚实结合的实践教学体系针对传统实验重仿真轻硬件的弊端,建立仿真验证、静态时序分析、板级调试三级递进的实践环节,所有实验项目必须完成硬件下载验证。引入口袋实验室加云社区的方案,口袋实验室使学生人手一块便携式开发板,可随时开展实验;云社区使学生通过网络访问实验室的高性能 FPGA 服务器。有研究证实,该模式能够有效提升学生的实验参与度和完成质量^[8]。

AI 赋能的教学新模式引入了 AI 伴学机制,把 AI 助手嵌入到教学的整个过程之中。当学生碰到代码错误时,可先向 AI 助手进行咨询;在项目设计阶段,AI 能够协助学生生成代码框架、给出调试建议;在创新拓展环节,AI 可作为创意伙伴来激发新的设计思路。教学实践显示,AI 赋能的 FPGA 实验教学能够切实缩短学生的实验准备时间,提高代码理解率以及创新设计比例^[9]。AI 助教让教师从重复性的基础问题解答工作中解脱出来,使其能够将更多精力投入到个性化指导与创新引导方面。

3.4 评价体系改革

课程评价结合过程性评价和终结性考核展开,评价重点由知识掌握程度转向知识系统构建能力。过程性评价覆盖整个学习周期,包括实验完成情况、代码规范性,项目阶段性汇报、答辩、项目最终成果展示、报告撰写。项目答辩环节设置代码走查,学生要讲解设计思路和调试过程,回答相关提问,以此确认学生是否真正理解自身完成的设计。

终结性考核采用作品展示加答辩的形式,替代传统笔试考试。学生以小组为单位完成综合性设计课题,课题来源可以是教师命题或学生自主选题。评价标准突出能力导向,重点关注系统设计的合理性与创新性、代码的可读性与可综合能力、调试过程的逻辑性与问题解决能力、团队协作的分工与配合、最终成果的完成度与展示效果^[9]。

4 面向未来的课程改革方向

4.1 国产 FPGA 生态的深度融入

国产开发平台进入课程教学,已成当下重要趋势。现有教改实践显示,依托紫光同创国产 FPGA 搭建的教学平台,可支撑从基础实验到创新项目全链条教学需求^[4]。课程改革分阶段完成国产 FPGA 的引入,基础实验环节,新增国产 FPGA 开发工具的使用教学,核心项目环节,将国

产平台列为可选开发平台。

4.2 开源平台与工程化实践的训练

RISC-V 开源指令集的兴起为 FPGA 教学提供了新的可能。基于 RISC-V 架构的处理器设计项目,既能体现 FPGA 的系统级设计能力,又能引入开源社区的创新活力,引导学生理解指令集架构、微架构设计等更深层次的知识^[7]。同时引入敏捷开发方法和工程规范要求,学生在项目开发中使用 Git 进行版本管理,撰写需求文档和设计文档,组织项目复盘,为未来进入产业界奠定基础。

4.3 AI 与 EDA 工具的深度融合

未来 FPGA 课程会探索 AI 融入教学的更多路径。首先,开发人员可借助 AI 工具降低入门门槛,帮助初学者快速掌握语法,完成调试环节,让学习者把更多精力放在系统设计与创新思考方面;其次,教学过程中可引导学生思考, AI 时代工程师应当承担什么样的角色,推动从业者身份从基础代码编写者,向系统架构搭建者、创新方案设计者转换。

5 结语

FPGA 课程改革的核心在于回归工程教育的本质,培养能够解决实际问题的工程师。从逻辑设计到系统构建的范式转变,不是对传统教学的全盘否定,而是在继承基础上的超越。通过一核双驱三融合的改革框架,课程在从工具使用教学向工程设计能力培养转型方面进行了初步探索。从教学过程中的观察来看,学生对系统设计的理解有所加深,工程实践意识得到一定程度的强化,这为进一步深化课程改革提供了有益的参考。面向未来, FPGA 课程将紧跟技术发展前沿,深化产教融合,拥抱国产化和智能化浪

潮,为集成电路产业培养更多具备系统思维和实践能力的高素质人才。

参考文献:

- [1] 王华东,晏中华.面向“新工科”建设的 FPGA 课程教学模式及方法研究[J].工业和信息化教育,2025,(03):1-5+16.
 - [2] 李竹,陈龙,马学条.大模型赋能的远程 FPGA 实验教学模式重构研究[J].实验科学与技术,2026,24(01):11-18+2.
 - [3] 张毛毛,魏宏建.CDIO 理念驱动的 FPGA 项目化教学改革研究[J].阜阳师范大学学报(自然科学版),2025,42(03):96-101.
 - [4] 潘晓明,龚军.国产 FPGA 在电子类课程教学中的应用[J].科教文汇,2023,(04):124-127.
 - [5] 黎海涛.“数字电路与 FPGA”实验课程教学改革探索[J].工业和信息化教育,2025,(02):68-71.
 - [6] 陈昱均,周国琼.FPGA 应用技术课程教学案例设计[J].中国教育技术装备,2025,(04):79-82.
 - [7] 窦蓉蓉,胡严,方元等.基于 RISC-V 架构的数字系统教学课程实验设计[J].电气电子教学学报,2025,47(S1):120-124.
 - [8] 陈洁,熊兰,周静等.基于口袋实验室的“数字电子技术”课程混合式教学改革与实践[J].工业和信息化教育,2023,(02):45-49.
 - [9] 徐锋,龙惠民,刘桂华等.基于学习共同体模式的 FPGA 技术课程教学改革[J].大学教育,2024,(11):64-67.
- 基金项目:江苏高等教育“电子信息类专业建设、课程建设、教学研究”面向“工程教育”的电子信息工程专业育人机制研究,项目编号:2025JSDZJG30。