

基于工程教育专业认证的《模拟集成电路分析与设计》课程教学改革与实践

杨红姣*, 汪洋, 胡金勇, 刘桂东, 丁利强

湘潭大学物理与光电工程学院, 湖南 湘潭

收稿日期: 2023年12月16日; 录用日期: 2024年1月12日; 发布日期: 2024年1月19日

摘要

为了提高学生的工程实践能力和创新能力, 适应高等教育工程认证的需求, 本文对《模拟集成电路分析与设计》课程的教学进行改革与实践。通过对课程教学现状进行分析, 本文从理论教学模式、实践教学和教学评价这三方面对课程内容进行改革, 采用线上线下混合式教学模式和以项目为导向的互动式教学, 激发学生的学习积极性和主动性, 提升教学质量和教学效果。

关键词

模拟集成电路分析与设计, 工程教育专业认证, 线上线下混合式教学, 互动式教学

Teaching Reform and Practice of "Analog Integrated Circuit Analysis and Design" Based on Engineering Education Professional Certification

Hongjiao Yang*, Yang Wang, Jinyong Hu, Guidong Liu, Liqiang Ding

School of Physics and Optoelectronics, Xiangtan University, Xiangtan Hunan

Received: Dec. 16th, 2023; accepted: Jan. 12th, 2024; published: Jan. 19th, 2024

Abstract

In order to improve students' engineering practical and innovative abilities and meet the needs of

*第一作者。

文章引用: 杨红姣, 汪洋, 胡金勇, 刘桂东, 丁利强. 基于工程教育专业认证的《模拟集成电路分析与设计》课程教学改革与实践[J]. 教育进展, 2024, 14(1): 652-657. DOI: 10.12677/ae.2024.141100

higher education engineering certification, teaching reform and practice have been carried out on the course of "Analog Integrated Circuit Analysis and Design". By analyzing the current situation of the curriculum, reforms have been made in three aspects: theoretical teaching mode, practical teaching, and teaching evaluation. The adoption of a blended online and offline teaching model and project-based interactive teaching has stimulated students' learning enthusiasm and initiative, and improved the quality and effectiveness of teaching.

Keywords

Analysis and Design of Analog Integrated Circuits, Engineering Education Professional Certification, Online and Offline Blended Learning, Interactive Teaching

Copyright © 2024 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

2016年6月,我国成为国际工程联盟《华盛顿协议》的正式成员,该协议旨在推进工程技术专业全球化,建立学历教育与专业资格互认的体系,使得协议各国(地区)的工程教育具有可比性和等效性[1]。

《华盛顿协议》的工程教育专业认证有三大核心理念:以学生为中心、产出导向(Outcome-based Education, OBE)及持续改进[2]。OBE教育理念是指将受教育人员的素质和潜能表现作为衡量教学成果的依据,并以促进其持续改进作为认证的最终目标[3]。工程教育是我国高等教育的重要组成部分,工程教育专业认证是国际通行的工程教育质量保障制度,也是实现工程教育国际互认和工程师资格国际互认的重要基础[4],为我国工程类毕业生今后走向世界提供了具有国际互认质量标准的“通行证”[5]。

工程教育专业认证要求课程教学内容要符合“以产出为导向、以学生为中心、持续改进”的OBE教育理念。该理念是指“基于学习产出的教育”,采用以学生“学”为中心的教学方式[6][7],着重培养学生分析问题与解决问题的能力、工程实践能力与创新能力[8],培养适应社会需求的创新型工程人才。《模拟集成电路分析与设计》课程是微电子科学与工程专业的专业主干课,具有很强的工程实践性和技术先进性,对模拟集成电路设计人才的培养起着至关重要的作用。该课程以前期的《电路理论》、《模拟电子技术》等课程为基础,以培养学生模拟集成电路的分析和设计能力为目标,为后续《超大规模集成电路与系统》、《专用集成电路设计方法》等课程的学习以及培养学生较完整的硬件设计能力提供基础和知识储备。通过本课程的学习,旨在使学生了解和掌握各种模拟集成电路的基本概念和原理;掌握各种模拟集成电路分析和设计的基本方法;了解模拟集成电路设计中遇到的新问题及电路技术的新发展;能够运用所学知识对简单模拟集成电路进行电路分析、仿真和设计。

为了提高该课程的教学效果,必须坚持课程建设,深入进行行之有效的教学改革。如何在有限的教学时间内,既能让学生掌握模拟集成电路的基本理论和基本概念,又能培养学生的工程实践能力和创新能力,适应高等教育工程认证的需求,是该课程教学改革急需解决的问题。

2. 课程教学现状

《模拟集成电路分析与设计》课程开设在大二第二学期,选用Razavi编著、陈贵灿等翻译的全美经典教材《模拟CMOS集成电路设计》作为教材[9]。这本教材介绍了芯片设计所需理解的器件和工艺基础,

系统地介绍了基本放大电路、电流镜、折叠和套筒式运算放大电路、频率响应、负反馈与运放的稳定性及其补偿、带隙基准电压源等内容，特别强调增益、摆幅、功耗、芯片面积等各个设计指标之间的折中与优化。本课程通过对金属-氧化物-半导体场效应晶体管(Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor, MOSFET)工作原理和单级放大电路工作原理的讲述，使学生能够熟练掌握 MOSFET 的性能，理解各种单级放大电路的基本工作原理并能对各种放大电路进行直流大信号分析和交流小信号分析，掌握电路分析的方法，为对复杂电路进行分析和研究打下良好的基础。

在实践教学环节，开设 8 课时的课内实验。由于课内实验学时少，主要开设单管放大器的设计与仿真、差分放大器的设计与仿真两个实验。通过该实验项目的完成，使学生掌握 Cadence spectre 仿真分析工具的使用方法，会独立分析简单电路。

在教学过程中，主要存在以下问题：

(1) 教学方式单一，课堂学习没活力

课堂教学采用传统的“灌输式”授课方法，以教师讲授为主，主要介绍电路的工作原理、理论分析方法和公式推导，推导过程枯燥、复杂，课程内容不形象；学生被动接受知识，课程学习兴趣不高，学习动力严重不足。该课程集理论性、工程性和实践性于一体，具有内容多、概念抽象、数学推导繁琐等特点，一直以来都是微电子科学与工程专业课程中难学的课程，学生普遍反映难以掌握，教学效果差强人意。

(2) 实践教学无设计

因教学课时等多种因素的制约，实践教学内容主要以验证型实验为主，让学生使用电子设计自动化(Electronic Design Automation, EDA)软件仿真教材上的电路模块，如单级放大器、差分放大器等，缺少设计型实验，与实际工程应用脱节比较严重，缺乏对学生工程实践能力和创新能力的培养。

(3) 考核方式不合理

考核方式主要以考试为主，期末考试成绩所占比例很大，平时成绩比例较小。平时成绩主要由作业成绩和考勤成绩组成，这样导致学生只重视是否交作业和上课，不重视平时的学习积累，所学的知识记忆不深刻，掌握不牢固。

综合以上几点学情，我们需要从理论教学、实践教学以及考核方式这三方面对课程内容进行改革，把从“老师教为主”的课堂授课形式转变为“学生学为主”的形式，从“课堂教学为主”学习模式转变为“课内课外结合”的模式，从“注重结果”的评价方式转变为“结果与过程相结合”的综合评价方式。

3. 工程教育认证标准下的课程教学改革

《模拟集成电路分析与设计》是一门理论性和工程实践性都很强的课程。学生需在理解和掌握器件和电路工作原理的基础上，利用各代工厂提供的工艺库和器件模型进行集成电路的设计和仿真，才能深刻理解器件和电路的工作原理，掌握集成电路的仿真方法，了解集成电路设计的全过程。没有经过实践锻炼难以全面掌握集成电路设计的相关知识，难以继续学习或者胜任相关工作。因此，课程的建设必须具有工程实践性，通过工程实践掌握模拟集成电路设计的基本方法和流程。

课程的工程实践性需要通过课堂教学和实验教学两方面加以体现。课堂教学除了覆盖基本知识点以外，应该重点讲解工程设计案例和设计方法，注重与实验教学相结合。实验教学则应该从简单的验证性实验发展为设计性实验，使学生有机会将课堂教学所讲授的设计方法运用到实验中，培养其分析实际工程需求和运用理论知识解决实际工程问题的能力。

为了适应工程教育认证的需求，针对《模拟集成电路分析与设计》课程的教学现状，对课程教学改革进行了如下探索。

3.1. 理论教学模式改革

《模拟集成电路分析与设计》课程主要以电路理论和分析为主，对电路初学者来说，学好这门课程有一定的难度。针对学生在学习过程中出现的一些问题，可以采用线上线下混合式教学模式和以项目为导向的互动式教学相结合的教学方法，实现理论教学模式改革。

(1) 采用线上线下混合式教学模式

本课程在“以学生为中心”的教学理念指导下，采用线上和线下相结合的混合式教学，即将中国大学 MOOC 和课堂教学结合起来，形成“课前自主预习 - 课堂学生参与为主教师答疑为辅 - 课后延展”的教学模式，通过多媒体课件制作、项目设计、练习题与测试题开发等线上资源建设，课堂练习、案例讲解、提问与讨论等课堂教学活动，将现代多媒体教学、网络教学与提问式、讨论式、案例式等教学方式相结合，注重培养学生的批判性和创造性思维，增强学生的创新意识。

课前，通过中国大学 MOOC 和 QQ 群提前发布教学主题、教学内容、教学目标以及教学活动有关的视频和课件，让学生课前自学和思考，带着疑问进入课程的学习，引起学生的学习兴趣。课中，教师对知识点进行梳理，对于重点和难点进行详细讲解，尤其是电路分析与设计方法，通过课堂练习、提问与讨论、案例分析、工程项目设计等课堂教学活动，将现代多媒体教学、网络教学与提问式、讨论式、案例式等教学方式相结合，提高学生课堂参与度，加深学生对知识的理解，实现理论与实践的有机结合，从而达到以学生为中心的教学；课后，布置学习任务和作业，让学生不局限于课堂内容，进行补充学习，内化知识点，帮助学生建立更为健全的知识系统。同时，鼓励学生有问题及时解决，通过 QQ、微信与学生进行课后交流，解决学生学习中遇到的问题。

(2) 采用以项目为导向的互动式教学

以项目为导向，培养学生综合运用理论和技术手段分析与设计电路的能力。在选择具体项目时，考虑到在实际的模拟电路中，放大是对信号进行的最基本处理，放大电路是其他模拟电路的基础单元电路，所以本课程选取两级运算放大电路作为项目化教学的典型实例之一。如图 1 所示的两级运算放大器，首先介绍电路的结构和原理，并划分出电路子模块，包括两级运放的核心电路、频率补偿电路和偏置电路，然后针对每个电路单元再深入研究其原理和参数。在此过程中，教师主要以启发式教学，引导学生自主学习。项目式教学体现“主动性”和“应用型”的特征，将技术性、实践性、主动性和创新性有机结合起来，将知识传授、实践操作、能力培养和知识创新融于一体，从而激发学生的学习主动性，培养学生综合运用理论和技术手段分析与设计电路的能力。

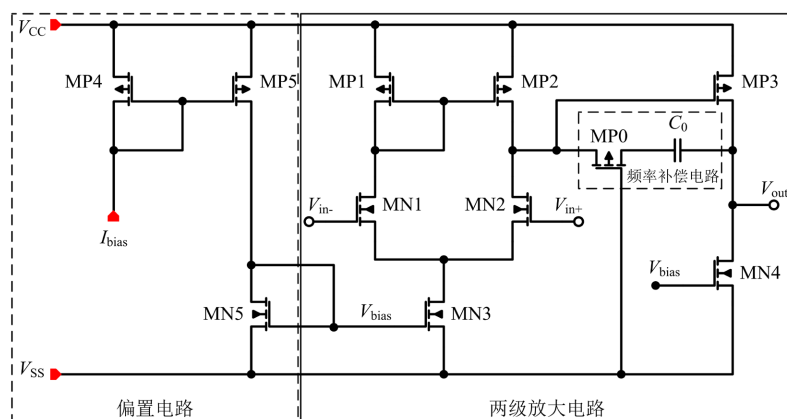


Figure 1. Two stage operational amplifier

图 1. 两级运算放大器

3.2. 实践教学改革

实验是学生将课堂所学知识应用到实际设计的环节，也是理解和巩固所学知识、提高动手能力的重要步骤。模拟集成电路设计实验教学的主要任务是根据要求设计电路模块，并使用 EDA 软件对所设计的电路进行仿真与优化。通过上机实践，使学生了解集成电路设计流程，掌握 EDA 软件的使用和电路设计的方法。

(1) 合理设置实验教学内容

根据课程知识点设置实验项目，改变以教师讲解学生验证为主的实验模式，引入综合性和设计性实验，通过将课堂教学和实践教学紧密结合，提高学生独立进行电路与系统设计、电路分析的能力。

根据工程教育专业认证对学生综合设计能力的要求，该课程开设的实验主要有 Cadence 软件的使用、单级放大电路的设计与仿真、差分放大电路的设计与仿真、运算放大电路的设计与仿真四个实验。放大电路是模拟集成电路的重要模块，放大电路的设计与仿真是模拟集成电路设计实验教学的重要内容。实验前由教师给出实验的要求，学生自行确定实验方案，在教师确认方案可行后学生自行完成实验设计，教师检查实验结果并提出建议，学生根据建议对实验结果进行完善并给出实验报告。这种由学生自行设计的交互式实验保证了学生的兴趣，提高了对学生动手能力、创造性思维的培养；另外，教师全程参与和学生进行交流讨论保证了实验的质量。

(2) 改进实验教学方法

在实验教学过程中，通过深入研究 CDIO (Conceive Design Implement Operate) 教育理念，创新和使用多样化的实验教学方法，建立以学生为中心的实验教学模式，采用以教师为主导，知识、能力、素质协调发展的教学方法，逐步形成自主式、合作式、探究式的学习方式。打破以教师讲授为主的传统教学模式，充分调动学生学习的积极性、主动性和创造性，让学生在“做中学”，培养学生的分析问题和解决问题的能力。

3.3. 教学评价改革

改变考试成绩评价方式，将“注重结果”的评价方式转变为“结果与过程相结合”的综合评价方式，侧重学生对所学知识的应用和创新能力的考查，将在线任务学习、在线章节作业和测试、项目答辩等情况纳入对学生成绩的评价，引导学生重视课程的实践环节，重视学生在学习过程中的自我评价和自我改进。

4. 教学改革效果

为了提高教学质量，改善学生成绩不理想的局面，必须认真思考如何改革教学模式，以提高教学效果。经过 2 年的课程教学改革，取得了良好的效果，具体表现如下：

(1) 激发了学生的学习积极性和主动性

课堂教学方面，互动式教学激发了学生学习的积极性和主动性，改善了教学效果；实验教学方面，自主完成实验方案的设计和仿真，赋予了学生学习的自主权，提高了学生的实践动手能力和综合设计能力。

(2) 培养了学生的创新精神

通过引入设计性、综合性、开放性的实验，使学生能自行设计实验方案，并能独立完成电路的仿真与验证，提高了学生的电路设计能力和解决问题的能力，体现了创新意识。

(3) 总结了应用型课程教学的教学方法

通过“EDA 技术”的教学实践，我们对应用型课程的教学方法有所熟悉并获得了以下感悟。① 保

持课堂教学内容的时效性。实用是应用型课程的根本,过于陈旧的教学内容将使课程从本质上失去意义。

② 激发学生的学习兴趣。让学生了解课程的重要性和实用性,促使学生主动学习,从而提高教学的效果。

③ 重视实践教学。实验是应用型课程的重要环节,从内容到方式加强对实验环节的教学将事半功倍地巩固教学效果。

④ 加强对创新能力培养。在授课和实验中把握机会对学生的创造力进行训练能显著提高学生的综合素质。

5. 结语

《模拟集成电路分析与设计》是微电子科学与工程专业的非常重要的一门专业必修课。为了激发学生的学习兴趣,提高学生的实践能力、设计能力和创新能力,本文结合客观实际,从理论教学、实践教学、教学评价方法等方面着手,对《模拟集成电路分析与设计》的教学模式进行改革,建设面向工程教育专业认证的专业核心课程,取得了良好的效果。

基金项目

2020年湘潭大学第十一批教学改革研究项目(项目名称:《模拟集成电路分析与设计》课程教学的改革与实践)。

参考文献

- [1] 章小峰,杨胤. 工程教育专业认证与“新工科”建设背景下的特色专业发展[J]. 中国冶金教育, 2019(4): 77-82.
- [2] 郭攀锋,栗世玮,赵胜会. 工程教育专业认证背景下电子技术基础课程教学改革[J]. 新课程研究(中旬刊), 2017(10): 93-95.
- [3] 肖少庆,南海燕,虞致国,顾晓峰. 工程教育专业认证下微电子专业培养方案[J]. 科技创新导报, 2017, 14(34): 225-228.
- [4] 徐卫林,彭晓春,岳宏卫,韦雪明,段吉海. 工程教育专业认证背景下的微电子专业教改实践研究[J]. 科技资讯, 2016, 14(22): 81-84.
- [5] 胡雪,夏博,葛云,等. 基于“工科教育专业认证”构建机械制造及其自动化专业课程体系[J]. 教育现代化, 2018, 5(48): 143-146, 157.
- [6] 孙元. OBE-PBL 模式下电路分析课程教学改革与实践[J]. 教育教学论坛, 2020(52): 206-207.
- [7] 朱晶晶,翟佳佳. 基于 OBE 理念的模拟与数字电路基础课程教学研究[J]. 信息与电脑(理论版), 2020, 32(20): 244-246.
- [8] 许佳雄,刘振. 基于 OBE 的模拟集成电路设计课程教学改革探索[J]. 高教学刊, 2023, 9(18): 134-137.
- [9] 毕查德·拉扎维. 模拟 CMOS 集成电路设计[M]. 第 2 版. 陈贵灿,程军,张瑞智,张鸿,译. 西安:西安交通大学出版社, 2018.