

集成电路设计课程实验内容的探索

唐 凯, 吴伟力

(集美大学信息工程学院, 福建 厦门 361021)

〔摘要〕“数字集成电路分析与设计”与“模拟集成电路分析与设计”两门课程是集成电路设计专业的最重要的两门专业必修课,其课程实验是学生将集成电路设计理论与实践相结合的重要途径。围绕集成电路设计技术发展的前沿,以提高学生运用学科基础知识解决实际问题的能力为主要目的,分别针对数字与模拟集成电路设计课程设计多项实验,以图经过实际的教学与实验课程,学生的集成电路设计能力得到显著提高。

〔关键词〕集成电路设计;教学;实验项目

〔中图分类号〕G 642

〔文献标识码〕A

〔文章编号〕1671-6493(2013)03-0121-04

数字集成电路设计与模拟集成电路设计是多学科交叉的课程,进行集成电路设计所需要的知识与技术跨越了多个领域。同时,随着集成电路工艺与设计技术的发展,集成电路的设计现今已经进入到SOC片上系统的时代,系统的集成规模越来越大,集成电路的设计的能力也越来越多地集中于工程而非理论,所以高校所培养的集成电路设计专业的学生就需要有运用所学学科基础知识解决实际问题的能力。

虽然同为集成电路设计,但是模拟集成电路设计与数字集成电路设计有着相当大的区别,模拟集成电路主要是指由电容、电阻、晶体管等组成的模拟电路集成在一起用来处理模拟信号的集成电路。模拟集成电路的主要构成电路有:放大器、滤波器、反馈电路、基准源电路、开关电容电路等。与之对应的数字集成电路是将元器件和连线集成于同一半导体芯片上而制成的数字逻辑电路或系统。模拟集成电路主要是通过有经验的设计师进行手动的参数调整,电路调试、模拟而得到,而数字集成电路设计大部分都是通过使用硬件描述语言在EDA软件中自动综合产生。所以,针对不同的设计方向,需要设计与之相适应的实验内容。

由于集成电路设计在集美大学是新开设的专业,即电子与科学技术专业。之前没有任何相关专业课程的开设,实验内容更是一片空白,所以设计

的实验项目都是在零基础的情况下自主设计,这也正是笔者此文的意义所在。笔者针对模拟与数字集成电路设计不同点,分别设计了不同的实验项目,实验项目均在Cadence软件下完成,Cadence的软件作为业界最流行的软件,更多地被集成电路设计公司所接受。学生通过完成这些实验,可以更好地掌握集成电路设计的流程和EDA软件的使用,同时也有利于为社会培养有实际工作能力的微电子专业人才。

一 数字集成电路设计实验项目

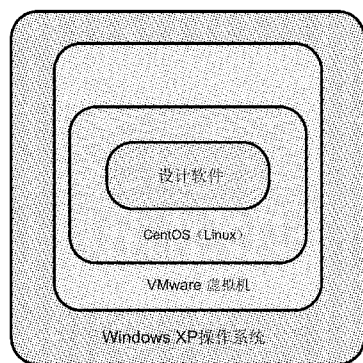


图1 设计环境

数字集成电路设计是集成电路专业的一门专业必修课,它是在数字电路和半导体物理与器件等前期课程的基础上,基于MOS器件的物理特性,对数字电路进行分析和设计。该门课程以学习完整的

〔收稿日期〕2013-04-10

〔作者简介〕唐凯(1985—),男,山东鄄城人,集美大学信息工程学院助教,厦门大学硕士研究生,主要研究方向为数字/模拟集成电路设计、数字图像处理、SOC设计、视频识别等。

系统级芯片设计流程为目的, 让学生从业界实际制造芯片的角度学习和掌握系统芯片的设计流程以及制造及测试的方法。以此为目的, 实验课程安排了 16 学时, 共 7 次实验, 实验内容参见表 1。

由于集成电路设计的主流工具都是面向 Unix/Linux 操作系统的。但考虑到软硬件方面的限制以及使用的方便性, 实验课在安装和配置设计环境时, 并没有直接在硬盘安装 Linux 操作系统, 而是采取了虚拟机的方式, 如图 1 所示, Linux 操作系

统则采用了 CentOS 系统。实验由简到繁, 从熟悉操作系统和开发软件开始, 首先设计一个基本的 CMOS 反相器门电路, 然后完成反相器的版图, 在此基础上, 练习如何对版图进行设计规则检查 (DRC) 和版图与原理图一致性检查 (LVS), 接着基于所设计的反相器, 设计一个一位全加器, 再对一位全加器的版图参数就行提取和后仿真, 最后一次实验是综合实验, 在基于 VHDL 描述语言的基础之上学习如何在 EDA 软件下自动综合逻辑电路。

表 1 数字集成电路设计实验项目

实验	名称	学时	内容
实验一	虚拟机 VMware 使用及 Cadence 软件入门	2	熟悉 VMware 软件的使用及 Linux 操作系统的环境, 掌握 Linux 下一些基本的命令, 练习 vi 编辑器的使用。掌握 Cadence 软件的启动与关闭, 熟悉软件环境
实验二	基本门电路的设计与仿真	2	画出 CMOS 反相器原理图, 并仿真参数, 修改器件参数, 调整反相器截止电压
实验三	反相器的版图绘制	2	基于 CSMC 0.5um 工艺, 画出反相器版图
实验四	版图 DRC 检查与 LVS 验证	2	掌握使用 Calibre 进行版图的 DRC 检查及 LVS 验证
实验五	基于逻辑门的全定制设计	2	基于单元电路, 设计出一位全加器, 并仿真, 掌握基于逻辑门的全定制设计方法
实验六	一位全加器的版图参数提取和后仿真	2	绘制出一位全加器的版图, 并对版图进行参数提取及完成版图后的仿真
实验七	硬件描述语言设计与自动综合	4	掌握基于硬件描述语言的设计流程, 完成给定电路的逻辑综合

从实验项目的安排来看, 各个实验之间是彼此关联的, 由简入繁, 每个实验的难易程度也适中, 学生基本可在两学时内完成。通过实际的课程实践,

在完成了所安排的实验课程后, 学生基本可以掌握数字集成电路的设计流程, 并能独立的完成一些小规模的电路设计, 达到了实验课程的设计目的。

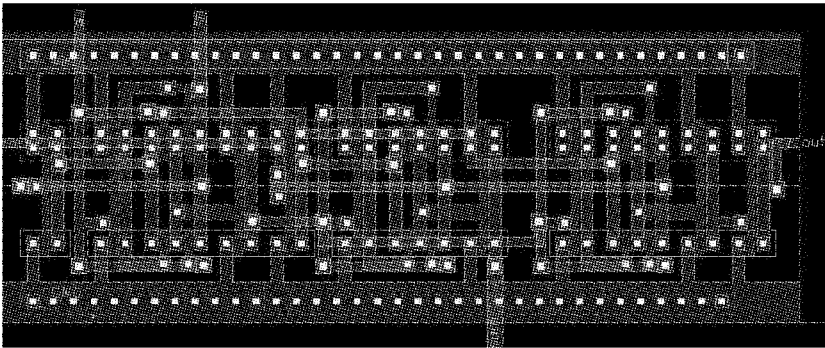


图 2 学生独立完成的一位全加器版图

数字集成电路设计是一门贴近新技术的课程, 跟踪当前最新的设计方法和手段, 适应用人单位对人才的需求同时结合本校的实际教学条件是该门课

程的基本教学指导方向。当今的数字集成电路设计越来越多的向 VLSI 设计及 SOC 方向发展, 这就预示着数字集成电路设计将更多地依靠 EDA 软件来

完成。学生掌握 EDA 软件的使用方法将会在就业时拥有较大的优势，这也将成为我们今后实验改革的发展方向。

二 模拟集成电路设计实验项目

与数字集成电路设计不同，模拟集成电路设计理论性更强，设计过程中涉及到大量的理论概念，如果想仅仅通过一个学期的教学就想让学生掌握这些概念并不现实，所以现阶段的模拟集成电路设计课程并没有涉及到复杂电路模块的设计。课程主体部分介绍基本工艺、基本电路结构和基本性能。其中电路结构部分主要包括电路的组成、单元电路和功能模块里面比较基础的一些概念。为了验证这些理论，同时能够培养学生的应用能力，实验内容的安排就显得较为重要。

同数字集成电路设计实验相同，模拟集成电路设计实验设计为 7 次实验，16 学时，如表 2 所示。

实验内容以设计为主导，每次实验均以设计指定指标的一款放大器为目的，实验过程中涉及到放大器的功能和性能参数的计算，单管放大器、差分放大器、套筒式放大器、两级运放、电流镜、反馈和补偿等基本放大器的知识。仿真工艺库则涉及到元器件的类型、元器件的数学模型、工艺库的使用方法等。仿真方法则运用了软件使用、直流仿真、频域仿真、时域仿真、噪声仿真、工艺不确定性仿真及反对仿真过程的控制等等。综合来看，所设计的实验内容是十分全面的，通过实际的实验课程训练，也达到了预计的目标。尤其是最后四学时的实验七，套筒式放大器设计（参见图 3 所示），能够全面考察学生所学知识的运用能力，对于本科阶段的集成电路设计能力来说，难度也适中，该实验的完成，可以初步帮助学生掌握运用 EDA 工具进行模拟集成电路设计的能力。

表 2 模拟集成电路设计实验项目

实验	名称	学时	内容
实验一	简单电阻负载共源放大器设计	2	根据给定的参数设计一款电阻负载的共源放大器，要求输出电压的摆幅为 0.5VDD，计算出所需要的过驱动电压及 NMOS 管的宽长比，完成 DC、AC 分析，并验证交流小信号的放大倍数为多少
实验二	器件设计参数的提取	2	使用静态工作点分析进行器件设计参数的提取，根据静态分析的数据，首先计算出沟道长度调制系数 λ 的值，再根据漏端电流方程计算出器件的设计参数 K（后面实验所用到的参数均由本次实验数据得到）
实验三	单级电流源负载共源放大器设计	2	根据设计要求，设计一款镜像电流源负载的单级共源放大器，要求完成 DC、AC 分析，同时调整参数，使静态输出电压摆幅最大，要完成跨导 g_m 与输出电阻 R_{on} 的曲线图，并验证增益是否达到设计要求
实验四	高增益共源共栅放大器设计	2	完成指定要求的共源共栅放大器的设计，首先要估算出电路的各项参数和器件的宽长比，在此基础上进行仿真，调整电路参数直到静态工作点达到估算的值。实验中涉及到 NMOS 管和 PMOS 管的等比例缩放等应用性较强的知识
实验五	基本差分对设计	2	根据设计指标，设计一款基本差分对放大器，要求放大倍数大于 30dB，输出摆幅大于 1V，共模抑制比大于 80dB。完成之后尝试修改器件参数，将放大倍数提升至 40dB，共模抑制比提升至 85dB
实验六	无缓冲两级运放设计	2	根据实验所提供的指标和给出的参数，完成电路的仿真，修改器件参数，调整输出电压值，仿真小信号增益与相位裕度、CMRR、共模输入范围、摆率及电源抑制比（PSRR），通过完成实验，掌握多级运放的设计过程
实验七	套筒式放大器设计	4	实验为综合设计实验，需要根据给出的指标，独立设计出基于套筒式的放大器，同时要完成静态工作点仿真，小信号增益、共模抑制比及摆率的仿真

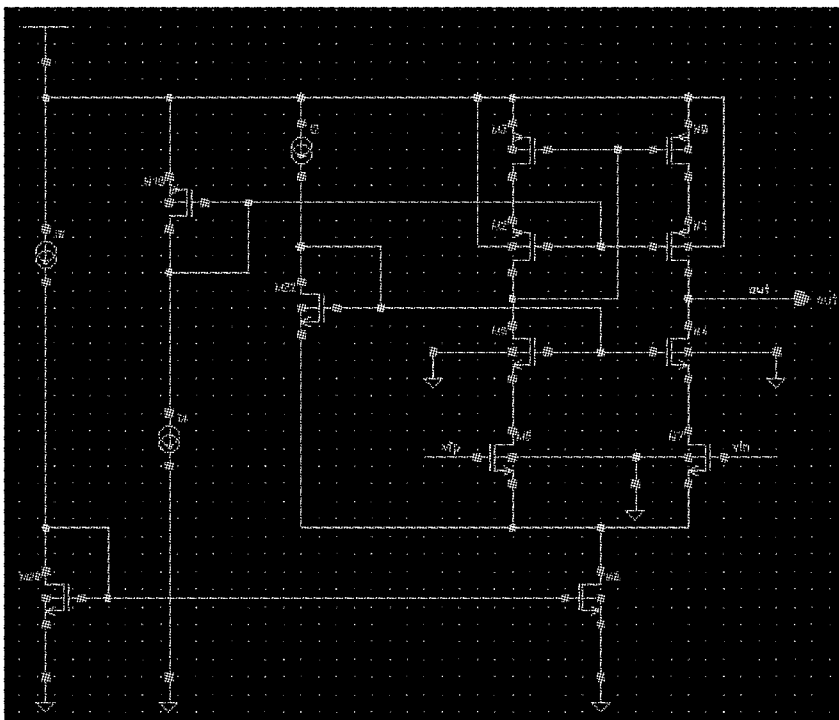


图 3 套筒式放大器设计原理图

三 总结与展望

两学期的课程实践表明, 经过共 32 学时的训练, 学生基本可以掌握数字与模拟集成电路的设计过程, 可以熟练的运用 Cadence 软件的操作, 能够独立完成较小规模的集成电路设计工作。美中不足的就是课时相对较少。后期考虑开设 VLSI 设计实验与“进阶模拟集成电路设计”实验课程。

[参考文献]

[1] 拉扎维. 模拟 CMOS 集成电路设计 [M]. 陈贵灿, 译,

西安: 西安交通大学出版社, 2002: 28.

[2] PAUL R · CURAU, PAUL J · HURST, STEPHEN H · LEWIS. 模拟集成电路分析与设计 (第四版) [M]. 张晓林, 译, 北京: 高等教育出版社, 2005: 123.

[3] 艾伦. CMOS 模拟集成电路设计 (第二版) [M]. 冯军, 译, 北京: 电子工业出版社, 2011: 78.

[4] 拉贝艾. 数字集成电路——电路、系统与设计 [M]. 周润德, 译, 北京: 人民邮电出版社, 2004: 96.

[5] 贝克. CMOS 电路设计、布局与仿真 [M]. 刘艳艳, 译, 北京: 电子工业出版社, 2008: 131.

(责任编辑: 吴姝)

The Experiment Course's Exploration of the Integrated Circuits Design

TANG Kai, WU Wei-li

(College of Information Science and Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: “Digital Integrated Circuits (IC) Design and Analysis” and “Analog IC Design and Analysis” are two fundamental and important courses in the direction of IC design. The course experiments enable students to apply IC design theory in practice. Based on the cutting-edge technology of IC design, the purpose of this paper is to improve undergraduate students' ability of solving practice problems using knowledge of IC design. A number of course experiments, for digital and analog IC design respectively, are introduced in this paper, and they have been examined in lectures and course experiments. The results show that the students' IC design skills are greatly improved.

Key words: IC design; teaching; experiments