

开展 VLSI 设计教育培养 ASIC 设计人才

田 良 高礼忠 冯 军 宋继亮 黄 颀

(东南大学无线电系电路学科组 南京:210018)

摘 要 通过对微电子技术发展水平的分析,提出了对电路学科的课程设置、教学内容及实验手段进行全面改革的方案和措施,并进行了实践。结果表明,改革后无线电系培养的学生初步具备了设计 ASIC 芯片和复杂电子系统的能力,从而改变了电路学科的教育落后于微电子发展的现状。

关键词 微电子 VLSI ASIC 教学改革 人才培养

1 微电子技术的发展需要一大批集成电路高级设计人才

在人类步入信息化社会的过程中,微电子技术发展的速度是十分惊人的。早在 60 年代中期 Intel 公司的总裁 Moore 在观察了微电子工业的发展趋势之后,总结出一个规律:每三年芯片的集成度增加四倍(或者每 18 个月增加两倍),特征线宽缩小 $\sqrt{2}$ 倍。这就是著名的摩尔定律。30 多年来,微电子工业的发展基本上印证了该定律。现在 Pentium II 处理器上集成的晶体管数目已达到 2800 万只,特征线宽只有 $0.25\mu\text{m}$ 。DRAM 的规模已达到 10^9bit 量级。当今的微电子技术,已能够将专用处理器、数字和模拟系统、DSP 系统等集成在一块硅片上(内含百万只以上的晶体管),构成一种 VLSI 片上系统(System On Chip, SOC),从而使得基于 SOC 技术的各种电子产品的功能与性能极大地增强,而体积、重量与价格却大大减少。这些产品淘汰了许多采用传统技术的产品,逐步成为市场的主角。例如,各种手机、寻呼机,电子计算器,电子血压计,电子词典,掌上电脑,笔记本电脑,数字调谐收音机, VCD、DVD 机,电子钟……等。这些产品看起来外形不大,有的甚至很小,却都是一种复杂系统。它们的内部多数采用了基于 SOC 的专用集成电路(ASIC)技术,主要采用了几片甚至一二片 ASIC 为核心装配而成。

但是在我国,上述各种电子产品的内部芯片,尤其是高技术含量的芯片几乎全部依赖进口,这不仅

使我们的研究和科技发展受制于人,在某些领域,甚至还威胁着国家的安全。为了改变这种状况,近年来,根据中央精神,科技部已将通信、计算机和多媒体家电等集成电路的设计和制造纳入“十五”高科技和攻关的重大课题,系统芯片基础研究将被列入“自然科学基金”“十五”计划的优先资助领域;微电子电路设计将被信息产业部列为我国“十五”规划的重点发展方向。这些宏伟的规划的实现,迫切需要一大批高水平的集成电路设计人才。但是据有关方面统计,我国目前集成电路设计工程师仅有两千多人,而美国却有 40 万人。人才的如此缺乏,不能不引起有关方面特别是教育界的关注。

2 改革教育,适应当今微电子技术对人才知识结构的要求

毋庸置疑,高等学校对培养集成电路设计人才是责无旁贷的。但是为什么却培养不出足够的集成电路设计人才来?深究之下不难发现,其原因之一是我们的教育与飞速发展的微电子技术已经很不相适应。

众所周知,VLSI 电路与系统的设计和采用具体工艺去实现(制造)芯片是两个借助设计规则进行通信的独立领域,两者既相互独立,又紧密相关。随着半导体工业由垂直集成向水平集成的组织方式转变,VLSI 电路与系统的设计和芯片的制造已逐步分裂为两个独立的产业。它们各自需要不同知识结构的人才。目前各高校传统微电子专业的教育皆偏

重工艺和底层版图设计,有关设计 VLSI 电路与系统知识的教育非常薄弱,所以培养出来的人,其知识结构比较适合芯片制造业的需要,却远不能满足 VLSI 设计业对人才知识结构的需要。另一方面,电子和电气信息类专业的电路与系统类的课程体系基本上是面向离散元器件和简单电路与系统的分析与设计的,对复杂集成系统仅限于讲述芯片的应用,有意回避了 VLSI 芯片设计方面的问题;而实践训练还是以培养基于手工的实验技能(安装、布线、焊接与调试等)为主。显然,所培养的人其知识结构也不能满足现代 VLSI 设计业的需要。

前面我们曾指出,当今电子产品已经转移到片上系统(SOC)技术的基础上,产品的开发、设计与更新皆取决于核心 ASIC 的设计与创新。由于这类 ASIC 的高度复杂性及产品上市时间的缩短,必须采用先进的 EDA 工具进行设计,传统的手工设计方法已经不再适用。EDA 工具的使用,使产品的设计、制造和测试方式发生了划时代的变化。可是,要能从事这种片上系统 ASIC 设计的,必须是具备多学科背景并具有实践经验的高科技人才。即要求设计者不仅必须具备坚实的电路与系统的理论知识,还要熟悉模拟、数字、微机和 DSP 的工程方法,特别要掌握复杂系统的设计方法学;不仅要会使用 EDA 工具,还要熟悉使用 EDA 工具设计电子系统的流程以及相关的工艺知识。可见,集成电路与系统的设计更依赖于人的知识与才能,因此需要培养一大批知识型和创新型人才。显然,现行的不论是微电子专业还是电子和电气信息类专业,都是培养不出具有这种知识结构的集成电路设计人才的。所以必需对现行的课程设置、教学内容以及实验手段进行全面的改革。不仅要在微电子专业开展 VLSI 设计教育,同时还要在非微电子专业,主要是在电子和电气信息类专业大力开展 VLSI 设计教育,才能使教育适应微电子技术的发展,才能为现代 VLSI 设计业培养所需知识结构的人才。因此,在我校电子信息类专业的课程设置总体改革方案中,决定把电路与系统的课程体系与课程内容转变为面向复杂系统的分析与设计,把实践环节改革为基于 EDA 工具的现代工程设计方法的训练,提出了开展 VLSI 设计教育和加强 EDA 实践训练的任务。本课题立项目的就是要具体地落实和完成以上这些任务。

3 完成任务的方案、措施与办法

1)任务的分解

为了落实与完成上面提出的 VLSI 设计教育和加强 EDA 实践训练的任务,首先要对该任务进行分解与具体化,并提出完成的方案、措施与办法,同时对其可行性进行论证。我们根据总体任务的要求,分解出了下列一些问题:(1)开 VLSI 设计教育首先必须开设相应的 VLSI 设计课程,课程的体系和内容该定位在哪里?(2)实践环节又如何解决?(3)EDA 实践训练的环境要求及如何建立?(4)EDA 实践训练的内容和层次体系如何?以上这些问题的解决方案、措施与办法均必须从我们学校的实际(包括现有的师资条件、教学与科研基础、实验室条件、经费条件等)出发,才能成为可操作和可实行的。

2)开设 ASIC 设计课的可行性

在我校电子信息类专业的课程设置总体改革方案中,决定对非微电子专业本科生开设“专用集成电路(ASIC)设计”课程(二级学科主干课),同时还对整个电子信息类专业的本科生开设跨二级学科选修课“VLSI 设计基础”。本课题组负责承担开设 ASIC 设计课的任务。我们首先对开设这门课的可行性做了研究。如所周知,VLSI 设计业需要的人才应当具有坚实的电路与系统方面的知识,同时还要具备足够的为了适应 VLSI 设计环境以及与工艺工程师进行交流的知识。从目前电子和电气信息类专业的三年级本科生所接受的教育来看,先修以及后续课程将给他们打下扎实的电路和系统的基础和专业的理论与应用方面的知识。如果让这类学生去从事 ASIC 设计,他们所缺少的是对一套新型的设计方法和手段的认识、对电路设计与工艺之间的关系的认识以及如何利用设计规则达到和工艺工程师的默契配合,以达到预期的设计结果。此外,还缺少对一整套相应软件环境的熟悉、灵活使用的训练。经过分析研究,我们认为所缺少的这些知识可通过开设 ASIC 设计课和安排相应的实践训练来填补。因此,对电子和电气信息类专业的三年级本科生开设 ASIC 设计课程是可行的,关键问题是要规划好课程内容并编写出相应的教材,同时建立起相应的实践环境。

3)课程内容的定位

鉴于当前 VLSI 技术已进入深亚微米的片上系统时代,有许多先进的 EDA 工具可供设计人员用

硬件描述语言由系统级开始,按照自顶向下的方法,完成上百万门的复杂系统芯片的设计。因此,我们考虑“专用集成电路(ASIC)设计”课程应以自顶向下的芯片系统设计技术为主干内容体系。我们在教学系主任的关心与领导下,对上述考虑进行了认真的讨论与研究,制订出了相应的课程大纲。其中安排了 VHDL、VerilogHDL 语言、逻辑综合、硅编译等现代 ASIC 设计技术,并介绍了各种设计层次上的模拟手段与方法,对底层版图设计的必要基础知识也做了足够的介绍。

4) VLSI 实践训练环境的解决途径与办法

要培养 VLSI 设计人才,除了课堂教学外,还必须让学生进行 VLSI 设计的实践。要实践起码要提供学生上机进行 VLSI 设计的训练环境,再进一步就是要给学生创造实现芯片的机会,才能改变过去大学里面的 VLSI 设计只能纸上谈兵的状况。但这是一件难度很大的工作,因为 VLSI 设计软件以及芯片实现所需要的费用相当高。通过调研我们了解到供教学用的一些 VLSI 设计软件的价格比工业级软件便宜得多。通过国内外校际的交往,我们从法国一所大学(INSA)引进了先进的 VLSI 设计教学软件—DSCH 和 Microwind,该软件支持深亚微米工艺的芯片的设计,并可同时安装在 70 多台 PC 机上,利用这些软件开出了具有国内领先水平的芯片设计实验,用比较低的费用解决了面广量大的本科生的 VLSI 设计的上机实验问题。

为了克服由于芯片制造昂贵造成给学生实现芯片的困难,我们拟借鉴国外 VLSI 设计教育中采用的多目标芯片实现方案,即所谓的 MOSIS 方案去克服。该方案可使芯片的制造费用下降几十倍,从而使在大学本科开展芯片设计成为可能。

4) 关于 EDA 实践训练的环境与实践训练的内容体系问题

我们在已建成的东南大学 EDA 实验中心基础上,着重对本部的 EDA 实验室进行了完善与改进。并对从低年级到高年级的整个 EDA 教学内容体系进行了梳理与整合,以实现传统实验模式的全面换代改造。

首先,对 EDA 实验中心的三类不同配置的 EDA 实验室所开设的实验的层次做了进一步的梳理。并通过梳理与整合,将学生整个大学学习期间应当接受的 EDA 教学与实践训练划分为五个主要层

次。我们认为有层次性是客观的、科学的,它既符合学生的认识规律,又能合理与经济地配置各个 EDA 实验室的软硬件设施。这五个层次是:(1)利用虚拟电子实验台(Electronics Workbench, EWB)与 Protel 或者 Pspice 与 Protel 完成离散元器件电子系统的分析与设计,使同学掌握从电原理图→电路模拟→PCB 布图的完整设计过程;(2)利用 isPLD 器件完成从 VHDL 语言或电原理图输入→逻辑模拟→对 isPLD 下载编程→测试验证的 ASIC 设计与制作的全过程;(3)在 PC 机上完成 ASIC 芯片版图的设计及几何与电学验证,并选择部分优秀设计送半导体制造工厂流片,使学生掌握全定制 ASIC 的设计方法;(4)结合科研任务,在工作站上完成从系统构思→功能模拟→电路模拟→版图设计与验证的片上系统 ASIC 设计的全过程,并进行小批量流片及芯片测试验证工作;(5)运用 Matlab、Systemview 软件,进行虚拟电子系统实验,让学生进行通讯系统、DPS 系统以及各种射频系统的实验或参加教师的科研工作。

其次,在 EDA 实验中心这个实践环境中,我们系统地全方位地开展了 EDA 教学的实践与改革。从二年级开始,充分运用 EWB 开设电路、数字电路、模拟电路的虚拟实验,取代了 1/3~1/2 的传统硬件实验。结果既省去了实验的硬件准备工作,避免了元器件的损耗,还丰富与更新了实验的内容,大幅度地提高了实验的效率和水平。

4 具体实施情况与效果

根据上面研究的方案、措施与办法,我们进行了大量的实践,并取得了显著的成效。

首先,对三年级本科生开设了“专用集成电路(ASIC)设计”课(总学时 48,其中课堂教学 36 学时,实验 12 学时)。该课程目前暂作为限选课。到目前为止,该课程对本科生已讲授了两届,现在正在对第三届学生讲授,效果良好,受到学生的普遍欢迎,听课人数逐届上升,开始 120 人,继而 150 人,本届达到 180 人。

与此同时,我们还运用引进的两种 VLSI 设计教学软件 DSCH 和 Microwind,在最短的时间开出了与《专用集成电路(ASIC)设计》课相关的三种(共 5 个)实验:

1) 版图设计

- (1) IC 基本单元电路的版图设计;
- (2) 环形振荡器的版图设计;
- (3) 宽带放大器版图设计;
- 2) 用 VHDL 语言进行系统设计
交通灯控制器或全自动电梯控制器。
- 3) 硅编译

用 Verilog HDL 描述一个四位加法器,再通过 Microwind 软件中的硅编译功能得到版图,通过性能模拟验证其功能的正确性,或运用 DSCH 软件从输入的原理图转换得到对应的 Verilog HDL 文件,再进行硅编译。

通过上述 ASIC 的课程学习和实验训练,学生们基本掌握了片上系统的设计步骤与方法。在最近连续两年的毕业设计中,部分学生在教师的指导下,利用 Microwind 软件进行了全定制 ASIC 芯片的设计,成功地完成了规模为 3000 多个 MOS 晶体管的复杂系统的版图设计与模拟验证。其中包括数字、模拟以及数模混合的 ASIC 芯片版图,例如:日用定时器、8bit D/A 转换器、小信号放大接收器、ALU、波特率发生器等。目前正在与有关 MOSIS 组织和半导体工厂联系,落实流片的技术事项。预计一年之内我们本科生的一些优秀的 ASIC 设计可以制造出芯片来。

为了进一步加强 VLSI 设计和 EDA 实践训练,近两年来,我们还将无线电系的部分优秀学生(含已选定的免试研究生)分配到有关学科的研究所去,在那里可使用工业级的 VLSI 设计软件,参加 VLSI 设计的科研实践,进行真刀真枪的实训。例如,在由国家人事部确认的归国定居专家、学科带头人王志功教授所领导的东南大学射频与光电集成电路研究所内,不少优秀学生在毕业设计期间参与进行了多个芯片的电路和版图设计,并经美国 MOSIS 工程流片成功,取得了可喜的成绩。今后我们还将有计划地组织部分本科生通过毕业设计和创新活动进行 VLSI 芯片的设计,所设计的芯片将采用 MOSIS 方案送有关半导体制造公司做出实际的片子。

加强 EDA 实践训练我们所做的另一个重要的尝试,就是在无线电系三年级的“数字系统设计”、“综合课程设计”、“计算结构”等课程的实验中,以培

养设计复杂系统的能力为目标,通过普遍采用 EDA 工具进行设计与模拟,以及采用 isPLD 器件下载进行实验验证,将传统实验模式改革为现代工程设计步骤与方法的训练,使学生经历从工程问题→设计(用 VHDL 语言描述)→模拟→ASIC 的实现→实际条件下的测试,这样一个现代工程设计步骤与方法的训练。运用 EDA 工具进行实验,使得过去无法开设的一些复杂度高、工作量大的实验变为现实,例如,“计算结构”课的微程序控制器等复杂系统实验。学生在这样的实验环境下,学到比过去更多、更深的东西,分析和解决问题的能力比过去大为提高。2000 年上半年的毕业设计中我们组织了 10 名同学做了一次复杂系统设计的试验,取得了令人十分满意的结果。80% 的学生能够设计出一个 20~30 条指令的 CPU,并成功下载至 CPLD 芯片。另有一名同学特别优秀,设计了一个有 60 多条指令的 CPU,并具有中断、跳转功能、多种寻址方式,也成功下载至 CPLD 芯片。这与我们几年来对 EDA 教学和实践训练的加强不无密切的关系。

5 结 论

综上所述,根据我校电子信息类专业的课程设置总体改革方案所提出的开展 VLSI 设计教育和加强 EDA 实践训练的任务,经本课题组的仔细而系统的研究与论证,提出了切实可行的完成上述任务的具体方案、措施与办法,并认真进行了实践与总结。在两年多的时间内,课题组围绕课程体系、教学大纲、教材、实验室建设、实验内容、毕业设计等方面做了大量的探索性工作和改革创新的实践。在把电路与系统的课程体系与课程内容转变为面向复杂系统的分析与设计方面,在把实践环节改革为基于 EDA 工具的现代工程设计方法的训练方面,在解决为面广量大的本科生提供 VLSI 设计和 EDA 实践训练方面,均取得了显著的成绩,从而使培养学生的知识结构跟上了微电子技术发展的需要。现在我们无线电系面上的高年级本科生,已初步具备了设计 ASIC 芯片和复杂电子系统的能力。这表明,该课题已成功地达到了立项时所预计的目标。

(下转第 20 页)

绩评定的依据之一。

3.4 实验环节的教学原则

实验教学必须重视基本实验方法和实验过程的规范操作,弱化实验结果的评审,突出实验能力的培养,使每一个学生得到正确的基本实验方式与思维方法的训练,获得规范的基本实验操作技术与技能的训练,从而使学生具备较强的实践动手能力。

实验内容应当精选一个较新的实用电子产品,持续做下去,遍历整个电子产品的设计过程。这样要比每个实验所选电路都不一样教学效果要好,学生会获得更完整的训练与体会。

3.5 课程的考核方式与原则

基于上述分析,考核方式宜定为考查。考核内容建立以所有的实验情况的评审为主,最终进行面试。实验设计中的新思路、新方法及小创新,在考核成绩

中应当占有较大比重。

参 考 文 献

- 1 王乐毅. EDA 专题——EDA 方法及其进展[J]. 青岛化工学院学报(自然科学版), 2000(4)
- 2 王乐毅. “电子技术”教学中创新能力的培养[C]. 教育科学研究, 内蒙古大学出版社, 2000(5)
- 3~8 周祖成. EDA(电子设计自动化)的进展. 电子技术应用[J], 1997(6)~(11)
- 9 陆绍强. FPGA 将逐渐取代 ASIC 和 ASSP[J]. 电子产品世界, 2000(9)
- 10 技术集成的未来趋[J]. 电子产品世界, 2000(9)
- 11 夏宇闻. Verilog HDL 与逻辑系统设计[J]. 电子技术应用, 1997(9)
- 12 IEEE Standard VHDL - AMS Language Reference Manual [M]. IEEE Std 1076.1-1998

The Course's Framework of "EDA Technique and PLDs Design" and Its Teaching Principles

Wang Leyi

(College of Information and Control Engineering, Qingdao Institute of Chemical technology, Qingdao 266042, China)

Abstract: This paper explores ahead the course's contents and framework of "EDA technique and PLDs design" with up to date outcomes of teaching research. A whole program of teaching of the course and experiments is brought forward, to make students have the basic ability to design and realize modern electronic systems. Expatiates on the training goal and teaching principles, pay attention to the training of innovative ability and making of specialty. The course's contents treat sufficiently of the present situation and trends of EDA technique and PLDs to satisfy the current urgent demands of the information industry of our country, and to fit the developments in the future.

Keywords: course framework; teaching principles; design methods; EDA tools; HDL; PLD/FPGA

(上接第 16 页田良文)

Carry out Education of VLSI Design, Foster Talented Persons to Design ASIC

Tian Liang, Gao Lizhong, Feng Jun, Song Jiliang, Huang Ting

(Teaching and Research Group of Circuit Science, Radio Engineering Dept., Southeast University, Nanjing 210018, China)

Abstract: Based on the analysis of developing level of microelectronics, an overall program and measures of reform on the organizations and contents of the curriculum in the major of circuits and systems, and related lab facilities are presented and put into practice. The results of this reform show that in recent years the fostered senior students have been initially capable to design ASIC and complex system at Radio Engineering Dept. So the history of circuits' and systems' education falling behind the advance of microelectronics has been changed over.

Keywords: microelectronics; VLSI; ASIC; teaching reform; foster talented persons