

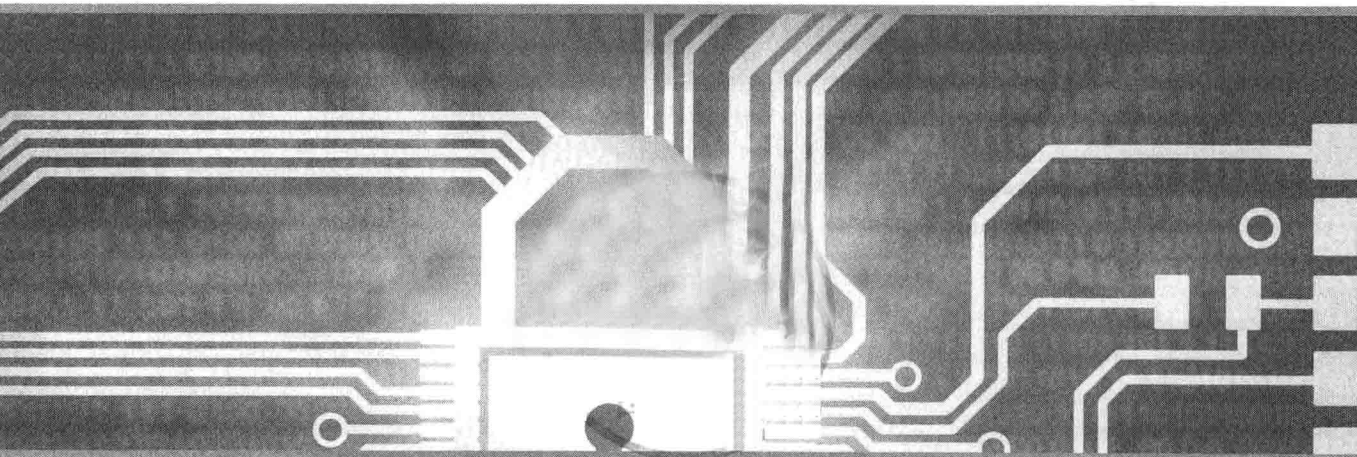
EDA技术及 应用实践

王锦 鞠兰 等编著

EDA Technology
and Application

高等院校电子信息与电气学科系列规划教

EDA技术及 应用实践



王锦 鞠兰 等编著



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

EDA 技术及应用实践 / 王锦等编著. —北京: 机械工业出版社, 2014.11
(高等院校电子信息与电气学科系列规划教材)

ISBN 978-7-111-48479-0

I. E… II. 王… III. 电子电路—电路设计—计算机辅助设计—高等学校—教材 IV. TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 257578 号

本教材是针对高校电子信息类专业本科生的“EDA 实验基础及应用”课程所编写的, 首先介绍 EDA 技术的基础知识, 包括 EDA 技术的发展历程、硬件描述语言的特点以及 EDA 的设计流程、实验平台及设计工具等, 之后安排了 23 个实验内容, 涵盖了数字电子系统典型的功能模块——由易到难, 由组合逻辑到时序逻辑。本教材将更多综合性、实用性较强的实验引入课程中, 使学生能够更加贴近实际地了解各种常见数字系统的设计方法, 提高学生的学习兴趣, 培养学生自主设计的能力。

本教材可作为高校电子信息类本科生的 EDA 技术指导书, 也可以作为相关专业技术人员的自学参考书。

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 谢晓芳

责任校对: 董纪丽

印刷: 北京诚信伟业印刷有限公司

版次: 2015 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 185mm×260mm 1/16

印张: 13

书号: ISBN 978-7-111-48479-0

定价: 35.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光/邹晓东

前 言

自 20 世纪 90 年代起,EDA 技术与可编程逻辑器件就大踏步地进入人们的视野,并深刻影响和改变着数字电子系统设计的方式和方法。在电子信息、通信、自动控制以及计算机应用等众多领域,EDA 技术的重要性日益突显,相关行业对掌握 EDA 技术的人才需求与日俱增。这反映到教学领域中,就是绝大多数高等学校都开设了 EDA 技术相关课程。在本科和研究生教学中,EDA 技术的教学和实践内容十分密集,而且 EDA 技术融合、渗透到诸多相关课程中,比如,数字逻辑电路、计算机组成原理、计算机接口技术、数字通信技术、嵌入式系统、数字信号处理等。在实际教学中,EDA 技术教学更加注重实践性、自主性和创新性。

本书的编排力图贴近工程实践,启发读者自主学习,并引导读者在某些工程实验项目中进行创新设计。全书分为 5 章,第 1 章首先从全貌上介绍 EDA 技术的概念及其发展历程,介绍硬件描述语言的产生和发展,并阐述 EDA 实验教学目标,帮助读者较全面地了解 EDA 技术。第 2 章对 EDA 技术的常用开发工具和开发流程进行概述,并着重对 Altera 公司的 Quartus II 软件进行介绍,帮助读者了解 EDA 技术的设计过程和典型环境,有利于初学者全面了解 EDA 设计相关工具。第 3 章描述可编程逻辑器件的基本原理和发展演变,介绍主流可编程逻辑器件的内部结构,帮助读者了解 EDA 技术和可编程逻辑的数字逻辑原理,有助于读者理解 EDA 设计的内容。第 3 章还详细介绍了本书所采用的 EDA 实验开发系统的外部接口和设备电路,帮助读者了解开发系统的全部硬件资源和可编程逻辑器件的引脚分配,便于进行自主性、综合性、创新性设计。第 4 章详细描述 Quartus II 软件的应用流程,逐步讲解应用 Quartus II 软件进行工程设计的完整过程,帮助读者学习 Quartus II 软件应用,尤其有利于初学者快速上手。第 5 章介绍 23 个实验项目,内容涵盖数字电子系统典型的功能模块——由组合逻辑到时序逻辑,使读者充分理解组合逻辑和时序逻辑设计的方法。同时,多数实验项目来源于工程实践,具有实战性和启发性,能够引导读者开拓思路和创新。

本书由王锦、鞠兰、梁科、司敏山、李国峰共同编写,在编写过程中得到南开大学电子信息与光学工程学院和电子信息实验教学中心领导的大力支持,在此表示感谢。由于统稿时间紧张,书中难免存在瑕疵,甚至错误,请读者不吝批评指正。有任何意见和建议,请与编者联系,邮箱: wangjnk@nankai.edu.cn。

编 者

2014 年 8 月于南开园

教学建议

【教学目的】

1) 了解 EDA 技术在现代电子系统设计中的地位和作用, 使学生认识到学习本课程的理论与实践意义, 激发学习兴趣。

2) 学习和掌握 EDA 设计工具软件 Quartus II, 学会利用 Quartus II 进行设计输入, 时序仿真, 生成下载编程文件, 进行程序下载。

3) 熟悉 Verilog HDL 语言的基本结构、语言要素、顺序语句、并行语句、库和程序包、设计流程, 掌握运用 Verilog HDL 语言进行可编程逻辑设计的方法。

4) 熟悉 VHDL 语言的基本结构、语言要素、库和程序包、设计流程, 掌握运用 VHDL 语言进行可编程逻辑设计的方法。

5) 掌握数字系统 EDA 自顶向下的模块化设计方法, 能够在 FPGA 开发平台上完成简单的组合逻辑和时序逻辑的设计。

【教学实施】

教 学 内 容	学 习 要 点	课 时 安 排
第 1 章 概述	• EDA 技术概述 • 硬件描述语言概述	2
第 2 章 EDA 设计流程及工具简介	• EDA 设计流程 • 常用 EDA 工具简介	2
第 3 章 PLD 与 EDA 实验平台	• 简单 PLD 原理 • CPLD 原理 • FPGA 原理 • EDA 实验平台电路详解	8
第 4 章 Quartus II 应用向导	• Quartus II 设计流程概述 • Quartus II 基本设计流程: 新建工程, 设计输入, 编译, 时序仿真, 引脚锁定, 配置文件下载, RTL 电路观察器, 元件封装	4
第 5 章 EDA 实验	• 加法器 • 数据选择器 • 3-8 译码器 • 静态数码管显示 • 动态数码管显示 • 按键消抖电路	56

(续)

教 学 内 容	学 习 要 点	课 时 安 排
第 5 章 EDA 实验	• 小数分频器 • 数控分频器 • 8 位十进制频率计 • 硬件电子琴设计 • 硬件乐曲自动演奏电路设计 • 数字时钟设计 • 状态机设计 • 抢答器设计 • 双控开关电路设计 • TLC549 (A/D) 采样控制 • TLC5620 (D/A) 控制 • LED 16×16 点阵显示电路 • VGA 显示器彩条方格显示电路设计 • VGA 显示器图像静态显示电路设计 • VGA 动态数字时钟显示电路设计 • 正弦波、三角波发生器设计 • 基于 Nios II 的流水灯设计	56

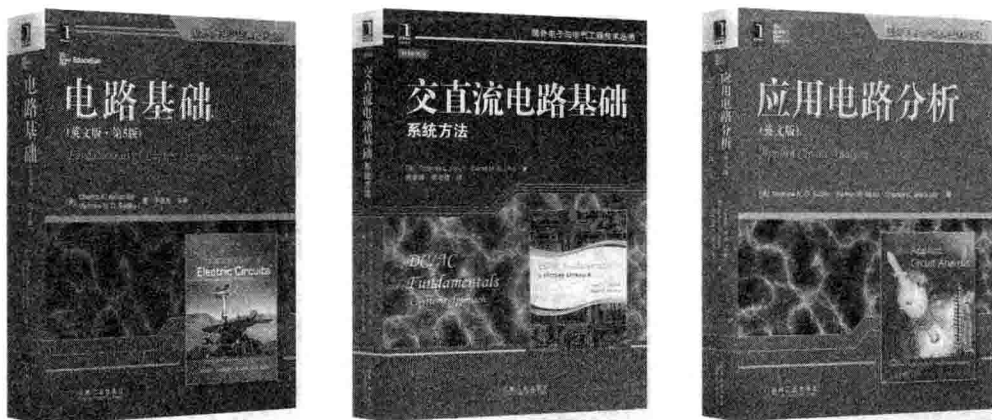
【教学方法】

EDA 技术是利用计算机强大的计算能力和图形处理能力，以大规模 PLD 为设计载体，以硬件描述语言为系统逻辑描述的主要表达方式进行复杂电子系统设计的一门新技术。开展 EDA 技术教学，应突出其实践性，边学边练，于练中学。有条件的院校可结合相应的实践创新项目，鼓励学生自主动手开发设计具有实用价值的作品，面向实际工程问题开展教学。

【说明】

本书总学时为 72 学时，对于不同的专业和课程设置，教师可根据实际情况对内容进行适当的调整，以利于学生学习理解。

推荐阅读



电路基础 (英文版·第5版)

作者: (美) Charles K. Alexander 等 于歆杰 注释 ISBN: 978-7-111-41184-0 定价: 129.00元

本书是电类各专业“电路”课程的一本经典教材,被美国众多名校采用,是美国最有影响力的“电路”课程教材之一。本书每章开始增加了中文“导读”,适合用做高校“电路”课程双语授课或英文授课的教材。本书前4版获得了极大的成功,第5版以更清晰、更容易理解的方式阐述了电路的基础知识和电路分析方法,并反映了电路领域的最新技术进展。全书总共包括2447道例题和各类习题,并在书后给出了部分习题答案。

交直流电路基础: 系统方法

作者: (美) Thomas L. Floyd 译者: 殷瑞祥 等 ISBN: 978-7-111-45360-4 定价: 99.00元

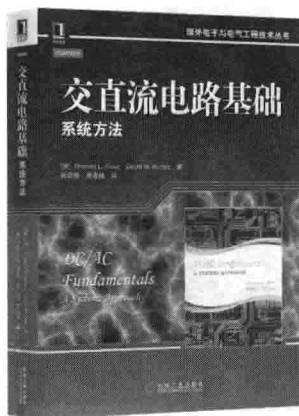
本书是知名作者Floyd的最新力作,在国外被广泛使用。本书系统介绍了直流和交流电路理论,强调直流/交流电路基本概念在实际系统中的应用。全书丰富的实例,有助于学生的理解系统模块、接口和输入/输出信号之间的关系。书中实例使用Multisim进行仿真,并提出在模拟电路与系统和排除故障中存在的问题及解决方法。本书可作为电子信息、电气工程、自动化等电类专业的电路课程教材。

应用电路分析 (英文版)

作者: (美) Matthew N. O. Sadiku 等 ISBN: 978-7-111-41781-1 定价: 89.00元
中文版 预计出版时间: 2014年8月

本书可作为高等院校电类专业“电路分析”双语课的教材,以更清晰、生动、易于理解的方式来阐述电路分析的方法。全书分为两部分,第一部分包括第1~10章,主要介绍直流电路;第二部分包括第11~19章,主要介绍交流电路。本书可以作为大学两学期或三学期的教材,授课教师也可选择适当的章节,将其用作一学期课程的教材。

推荐阅读



电路基础（原书第5版）

作者：（美）Charles K. Alexander 等 译者：段哲民 等 ISBN: 978-7-111-47088-0 定价：129.00元

本书是电类各专业“电路”课程的一本经典教材，被美国众多名校采用，是美国最有影响力的“电路”课程教材之一。本书每章开始增加了中文“导读”，适合用做高校“电路”课程双语授课或英文授课的教材。本书前4版获得了极大的成功，第5版以更清晰、更容易理解的方式阐述了电路的基础知识和电路分析方法，并反映了电路领域的最新技术进展。全书总共包括2447道例题和各类习题，并在书后给出了部分习题答案。

交直流电路基础：系统方法

作者：（美）Thomas L. Floyd 译者：殷瑞祥 等 ISBN: 978-7-111-45360-4 定价：99.00元

本书是知名作者Floyd的最新力作，在国外被广泛使用。本书系统介绍了直流和交流电路理论，强调直流/交流电路基本概念在实际系统中的应用。全书丰富的实例，有助于学生的理解系统模块、接口和输入/输出信号之间的关系。书中实例使用Multisim进行仿真，并提出在模拟电路与系统和排除故障中存在的问题及解决方法。本书可作为电子信息、电气工程、自动化等电类专业的电路课程教材。

应用电路分析

作者：（美）Matthew N. O. Sadiku 等 译者：苏育挺 等 ISBN: 978-7-111-47077-9 定价：99.00元

本书可作为高等院校电类专业“电路分析”课程的教材，以更清晰、生动、易于理解的方式来阐述电路分析的方法。全书分为两部分，第一部分包括第1~10章，主要介绍直流电路；第二部分包括第11~19章，主要介绍交流电路。本书可以作为大学两学期或三学期的教材，授课教师也可选择适当的章节，将其用作一学期课程的教材。



前言

教学建议

第1章 概述..... 1

1.1 EDA 技术概述..... 1

1.2 硬件描述语言概述..... 3

1.3 EDA 实验教学目标..... 4

第2章 EDA 设计流程及工具简介..... 5

2.1 EDA 设计流程..... 5

2.1.1 设计输入..... 5

2.1.2 功能仿真..... 7

2.1.3 综合..... 7

2.1.4 适配..... 7

2.1.5 时序仿真..... 8

2.1.6 下载配置..... 8

2.2 常用EDA 工具..... 8

2.2.1 设计输入编辑器..... 8

2.2.2 HDL 综合器..... 9

2.2.3 仿真器..... 10

2.2.4 适配器..... 11

2.2.5 下载器..... 11

2.3 Quartus II 简介..... 11

第3章 PLD 与 EDA 实验平台..... 13

3.1 PLD 概述..... 13

3.1.1 PLD 的发展历程..... 13

3.1.2 PLD 的分类..... 14

3.2 简单 PLD 原理..... 15

3.2.1 PLD 的表示方法..... 15

3.2.2 PROM..... 17

3.2.3 PLA..... 18

3.2.4 PAL..... 19

3.2.5 GAL..... 20

3.3 CPLD 原理..... 21

3.3.1 CPLD 产品概述..... 22

3.3.2 CPLD 的结构和工作原理..... 23

3.4 FPGA 原理..... 26

3.4.1 查找表逻辑结构..... 26

3.4.2 FPGA 产品概述..... 27

3.4.3 FPGA 的结构和工作原理..... 31

3.5 EDA 实验平台电路详解..... 36

3.5.1 时钟电路..... 37

3.5.2 复位电路..... 37

3.5.3 扩展存储电路..... 38

3.5.4 配置电路..... 40

3.5.5 供电电路..... 43

3.5.6 接口电路..... 44

3.5.7 用户按键和 LED

显示电路..... 44

第4章 Quartus II 应用向导..... 46

4.1 Quartus II 设计流程概述..... 46

4.2 Quartus II 基本设计流程..... 48

4.2.1 新建工程..... 48

4.2.2 设计输入..... 53

4.2.3 编译..... 58

4.2.4 时序仿真..... 61

4.2.5 引脚锁定	66	实验 14 抢答器设计.....	139
4.2.6 配置文件下载	68	实验 15 双控开关电路设计	144
4.2.7 RTL 电路观察器	71	实验 16 TLC549 (A/D) 采样 控制	147
4.2.8 元件封装	72	实验 17 TLC5620 (D/A) 控制	154
第 5 章 EDA 实验	74	实验 18 LED 16 × 16 点阵显示 电路	160
实验 1 加法器	74	实验 19 VGA 显示器彩条方格 显示电路设计	169
实验 2 数据选择器	80	实验 20 VGA 显示器图像静态 显示电路设计	177
实验 3 3-8 译码器	83	实验 21 VGA 动态数字时钟显示 电路设计	181
实验 4 静态数码管显示	86	实验 22 正弦波、三角波 发生器	186
实验 5 动态数码管显示	92	实验 23 基于 Nios II 的流水灯 设计	192
实验 6 按键消抖电路	96		
实验 7 小数分频器	100		
实验 8 数控分频器	102		
实验 9 8 位十进制频率计	106		
实验 10 硬件电子琴设计	116		
实验 11 硬件乐曲自动演奏 电路设计	122		
实验 12 数字时钟设计	129	参考文献	198
实验 13 状态机设计	135		

1.1 EDA 技术概述

EDA 是电子设计自动化 (Electronic Design Automation) 的英文缩写。EDA 技术就是利用计算机强大的计算能力和图形处理能力, 以大规模可编程逻辑器件为设计载体, 以硬件描述语言为系统逻辑描述的主要表达方式, 以计算机、大规模可编程逻辑器件的开发软件及实验开发系统为设计工具, 自动完成用软件的方式设计的电子系统到硬件系统的逻辑编译、逻辑化简、逻辑分割、逻辑综合及优化、逻辑布局布线、逻辑仿真, 直至完成对于特定目标芯片的适配编译、逻辑映射、编程下载等工作, 最终实现既定的逻辑功能。

EDA 技术是 20 世纪 90 年代初从计算机辅助设计 (Computer Aided Design, CAD)、计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacturing, CAM)、计算机辅助测试 (Computer Aided Testing, CAT) 和计算机辅助工程 (Computer Aided Engineering, CAE) 的概念发展而来的。可以把 EDA 技术的发展分为 CAD、CAE 和 EDA 三个阶段。

20 世纪 70 年代, 随着 MOS 工艺的出现和广泛应用, 中小规模集成电路迅速发展, 人们选用集成电路和分立元件设计电子系统。这个时期, 电路设计在印制电路板 (Printed Circuit Board, PCB) 和集成电路方面都得到了快速发展。同一时期, 可编程逻辑器件问世, 计算机作为一种运算工具在科研领域得到广泛应用。20 世纪 70 年代后期, CAD 的概念已见雏形。人们开始利用计算机的计算能力和图形处理能力取代高度重复的、繁杂的手工劳动, 辅助进行集成电路版图编辑、PCB 布局布线等工作。但当时的计算机硬件功能有限, 软件功能较弱, 所以其支持的设计工作有限且性能较差。这一阶段, 最具代表性的 CAD 软件工具是美国 ACCEL 公司开发的 Tango PCB 布局布线软件。

20 世纪 80 年代, 随着微电子工艺的发展, 集成电路设计进入了 CMOS 时代。这一时期, 相继出现了集成上万只晶体管的微处理器, 集成几十万直到上百万存储单元的随机存储器 and 只读存储器。此外, 支持定制单元电路设计的硅编辑、掩膜编程的门阵列, 如标准单元的半定制设计方法以及可编程逻辑器件 (PAL 和 GAL) 等一系列微结构和微电子学的研究成果为电子系统的设计提供了新天地。20 世纪 80 年代初, EDA 工具软件主要以逻辑模拟、定时分析、故障仿真、自动布局和布线为核心, 重点解决电路设计没有完成之前的功能检测等问题。而随后出现了具有自动综合能力的 CAE 工具, 利用这些工具, 设计师能在产品制作之前预知产品的功能与性能, 能生成产品制造文件, 这对保证电子系统的设计, 制造出最佳的电子产品起到了关键的作用。20 世纪 80 年代后期, 各种硬件描述语言 (Hardware Description Language, HDL) 出现, 并在应用和标准化方面取得重大进步, 为 EDA 技术必须解决的电路建模、标准文档及仿真测试奠定了基础。20 世纪 80 年代末, 复杂可编程逻辑器件 FPGA (现场可编程门阵列) 进入商业应用, 相

应的辅助设计软件也被广泛地投入使用, EDA 工具已经可以进行设计描述、综合与优化和设计结果验证。CAE 阶段的 EDA 工具不仅为成功开发电子产品创造了有利条件, 而且为高级设计人员的创造性劳动提供了方便。但是, 大部分从原理图出发的 EDA 工具仍然不能满足复杂电子系统的设计要求, 具体化的元件图形制约着优化设计。

20 世纪 90 年代, 微电子工艺有了惊人的发展, 工艺水平达到了深亚微米级, 在一个芯片上可以集成上百万乃至上亿只晶体管, 芯片速度达到了吉比特/秒量级, 百万门以上的可编程逻辑器件陆续面世, 这样就为电子设计提供了更为广阔的空间。为了满足千差万别的系统用户提出的设计要求, 设计师逐步从使用通用芯片设计系统转向设计系统芯片, 即把想设计的电路系统直接设计在自己的专用芯片上。这对 EDA 工具提出了更高的要求。EDA 工具应以系统设计为核心, 包括系统行为级描述与结构综合、系统仿真与测试验证、系统划分与指标分配、系统决策与文件生成等一整套的电子系统设计自动化工具。这时的 EDA 工具不仅要具有电子系统设计的能力, 而且要能提供独立于工艺和厂家的系统级设计能力, 具有高级抽象的设计构思手段。而进入 20 世纪 90 年代以后, 硬件描述语言的标准化也得到了进一步的确立, VHDL 和 Verilog HDL 相继成为具有广泛应用与影响力的硬件描述语言 IEEE 标准, 为 EDA 工具实现不同抽象级别的描述、建立独立于工艺和厂家的标准元件库奠定了基础。EDA 工具的发展, 为设计师提供了全新的 EDA 解决方案, 在设计前期, 就可以把设计师从事的许多高层次设计用 EDA 工具来完成, 如可以将用户要求转换为设计技术规范, 有效地处理可用的设计资源与理想的设计目标之间的矛盾, 按具体的硬件、软件和算法分解设计等。借助 EDA 工具, 电子系统工程师可以在不熟悉各种半导体工艺的情况下, 在不太长的时间内, 通过一些简单标准化的设计过程, 利用微电子厂家提供的设计库来完成数万门甚至数千万门 ASIC 和集成系统的设计和验证。

进入 21 世纪以来, EDA 技术得到了更大的发展, 突出体现在以下几个方面。

- ❑ 电子设计成果以自主知识产权 (Intellectual Property, IP) 的方式得以明确表达和确认。基于 EDA 工具, 用于集成芯片设计的标准单元已涵盖大规模电子系统及复杂 IP 核模块。软硬件 IP 在产业领域、技术领域和设计应用领域得到广泛的认可和应用。
- ❑ 在仿真和设计两方面支持标准硬件描述语言的功能强大的 EDA 软件不断推出。随着行为算法级硬件描述仿真和综合工具的发展, 复杂电子系统的设计和验证趋于简单。
- ❑ 电子技术全方位融入 EDA 领域, 传统的电路系统设计建模理念发生了重大的变化: 数字可编程技术日益成熟, 软件无线电技术崛起, 模拟电路系统硬件描述语言得以表达和设计标准化, 系统可编程模拟器件出现, 数字信号处理和数字图像处理的全硬件实现方案得到普遍接受, 软硬件技术进一步融合等。
- ❑ 更大规模的 FPGA 与 CPLD 的不断推出和复杂 IP 核模块的发展, 使得在 FPGA 上实现 DSP (数字信号处理) 应用成为现实。随着嵌入式处理器软核的实现, SOPC (可编程片上系统) 步入了大规模应用阶段。在一片 FPGA 芯片上实现协处理器甚至完备的数字处理系统成为可能。
- ❑ EDA 技术使得电子领域各学科的界限更加模糊, 如模拟与数字、软件与硬件、系统与器件、ASIC 与 PPGA、行为与结构等。它们之间相互包容、相互融合、

相互补充,使得系统结构越来越清晰、系统性能越来越优秀,而体积和功耗越来越小。

随着计算机技术和微电子技术的进步、市场需求的增长和集成电路工艺水平的提高,EDA技术也呈现出了快速发展的趋势。这一趋势主要表现在如下几个方面。

- 硬件描述语言的发展:现有的 HDL 语言能够提供行为级和功能级的描述,但在系统抽象描述方面存在瓶颈。人们正在尝试开发一种新的系统级设计语言来完成这一工作,现在已经开发出更趋于电路行为级的硬件描述语言,如 System C、System Verilog 及系统级混合仿真工具,它们可以在同一个开发平台上完成高级语言(C、C++)与标准 HDL 语言(Verilog HDL、VHDL)或其他更低层次描述模块的混合仿真。
- EDA 工具的发展:随着 SOPC 技术发展的需求,EDA 开发环境要能够提供更加丰富的宏单元库(包括常用的功能模块和 CPU、DSP 软 IP 核),能够提供对数字系统的灵活构建和仿真优化,能够提供可编程模拟器件功能模块并实现对数字系统、模拟系统的混合仿真和优化,还要能够实现可编程硬件电路与嵌入式操作软件的联合开发。
- 可编程芯片的发展:专用集成电路芯片与可编程逻辑芯片将更大程度地相互融合,如 ASIC 与 FPGA 正在相互融合、取长补短。一些 ASIC 厂家在芯片中提供了可编程逻辑的标准单元,而 FPGA 芯片中则嵌入了 CPU 硬核、DSP 硬核或者乘法器等专用的运算处理单元。

1.2 硬件描述语言概述

硬件描述语言(Hardware Description Language, HDL)是一种用形式化方法描述数字电路和设计数字逻辑系统的语言。具体地说,硬件描述语言就是指对硬件电路进行行为描述、寄存器传输描述或者结构化描述的语言。数字逻辑电路的设计者可以利用这种语言来从抽象到具体地描述自己的设计思想,即先用一系列分层次的模块来表示复杂的数字逻辑系统,然后应用 EDA 工具软件逐层进行仿真验证,再自动综合到门级逻辑电路,最后由 ASIC 或 FPGA 实现数字逻辑功能。HDL 可应用到数字系统设计的各个阶段:建模、仿真、验证、综合。应用 HDL 进行数字系统设计已成为电子系统设计领域广泛使用的方法。

20 世纪 80 年代,出现了上百种硬件描述语言,对促进 EDA 技术的发展和电子技术的应用起到了极大的推动作用。但是,这些语言中有很多都是面向特定的设计领域的,使得电子设计工程师无所适从。在硬件描述语言向着标准化方向发展的过程中,绝大多数语言退出了历史舞台。现在来看,常用的硬件描述语言主要有:ABEL、AHDL、Verilog HDL 和 VHDL。

ABEL(Advanced Boolean Equation Language)是一种早期的硬件描述语言,从早期的可编程逻辑器件的设计中发展而来。它支持逻辑电路的多种表达形式,包括逻辑方程、真值表和状态图。由于其语言描述的独立性,它可适用于各种不同规模的可编程器件的设计。比如,在对 GAL 器件进行设计时,可以进行全方位的逻辑描述和设计,可以对所设计的逻辑系统进行功能仿真,还可以通过标准格式设计转换文件转换成其他设计语言,如 Verilog HDL、VHDL 等。

AHDL (Altera Hardware Description Language) 是 Altera 公司开发的硬件描述语言, 其功能强大, 适合描述复杂的组合逻辑电路、状态机等。AHDL 语言易学易用, 学过高级语言的人可以很容易就掌握 AHDL。由于 AHDL 语言是 Altera 公司配合其自产可编程逻辑器件开发的, 所以可移植性不好, 通常只能用于 Altera 自己的芯片和开发系统。

VHDL (Very-High-Speed Integrated Circuit Hardware Description Language) 是 1982 年由美国国防部开发的硬件描述语言。这种语言首次被开发时, 其目标是成为电路文本化的一种标准, 主要是为了使采用了文本描述的设计能够为他人所理解, 同时作为模型语言, 能利用计算机软件进行模拟。VHDL 吸纳了很多其他硬件描述语言的优点, 于 1987 年被美国电子与电气工程师协会 (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) 和美国国防部确认为标准硬件描述语言。目前所执行的 VHDL 标准为 1993 年修订的 IEEE 1076—1993。VHDL 成为标准以后, 各 EDA 公司相继推出了自己的 VHDL 设计环境, 或宣布自己的设计工具可以和 VHDL 接口。此后 VHDL 在电子设计领域得到了广泛的接受, 很快在世界各地得到了广泛的应用, 为电子设计自动化 (EDA) 的推广和发展起到了巨大的推动作用。

Verilog HDL 是 1983 年由美国硬件描述语言公司 Gateway Design Automation (GDA) 的 Philip Moorby 首创的, 最初只设计了一个仿真与验证工具, 之后又陆续开发了相关的故障模拟与时序分析工具。1985 年, Moorby 提出了用于快速门级仿真的 Verilog HDL-XL 算法并推出 Verilog HDL 的第三个商用仿真器 Verilog-XL, 取得巨大成功, 从而使得 Verilog HDL 得到迅速发展。1989 年, Cadence 公司收购了 Gateway 公司, 并将 Verilog HDL 与 Verilog HDL-XL 分开, 公开发布了 Verilog HDL。1993 年, 几乎所有的 ASIC 生产商都开始支持 Verilog HDL, 并认为 Verilog HDL-XL 是最好的仿真器。1995 年, Verilog HDL 成为 IEEE 标准。目前 Verilog HDL 标准的版本是 2001 年修订的 IEEE 1364—2001。

VHDL 和 Verilog HDL 都是硬件描述语言的 IEEE 标准, 都能够形式化地抽象表示电路的结构和行为, 可借用高级语言的精巧结构来简化电路的描述, 具有电路仿真与验证机制, 支持电路描述由高层到低层的综合转换, 系统设计与实现工艺无关, 易于理解 and 设计复用。但两者也存在各自的特点。由于 GDA 公司本就偏重于硬件, 所以不可避免地 Verilog HDL 偏重于硬件一些, 故 Verilog HDL 在门级开关电路描述方面比 VHDL 要强得多。而 VHDL 在系统级抽象方面比 Verilog HDL 要出色。但近些年, 随着 EDA 技术和硬件描述语言工具的发展, 两者之间的建模能力差异已经越来越小。

1.3 EDA 实验教学目标

EDA 技术是现代电子学的重要核心技术之一, 是现代数字系统设计的主要方法和发展方向。开展 EDA 实验, 可以让学生掌握现代数字系统设计的方法、基于 FPGA 进行数字系统设计的流程和 Verilog HDL 硬件描述语言的实际运用。

课程任务是: 学习和掌握 Altera 公司推出的优秀 EDA 设计工具软件 Quartus II, 学会利用 Quartus II 进行设计输入, 时序仿真, 生成下载编程文件, 进行程序下载; 熟悉 Verilog HDL 语言的基本结构、语言要素、顺序语句、并行语句、库和程序包、设计流程, 掌握运用 Verilog HDL 语言进行可编程逻辑设计的方法; 能够在 FPGA 开发平台上完成简单的组合逻辑和时序逻辑的设计。

EDA 设计流程及工具简介

了解 EDA 设计流程和常用的设计开发工具是进行基于 EDA 技术的设计开发的基础，对于正确选择和使用 EDA 软件、优化设计项目、提高设计效率十分有益。在 EDA 实验的实践过程中，进一步深入体会 EDA 的设计流程，熟练掌握诸多 EDA 的设计工具，有利于真正掌握 EDA 技术，提高设计能力和水平。

2.1 EDA 设计流程

图 2-1 是利用 EDA 技术进行 FPGA/CPLD 设计开发的流程。这个设计流程适用于主流的 EDA 工具软件，具有一般性。下面将分别介绍各设计环节的内涵和功能特点。

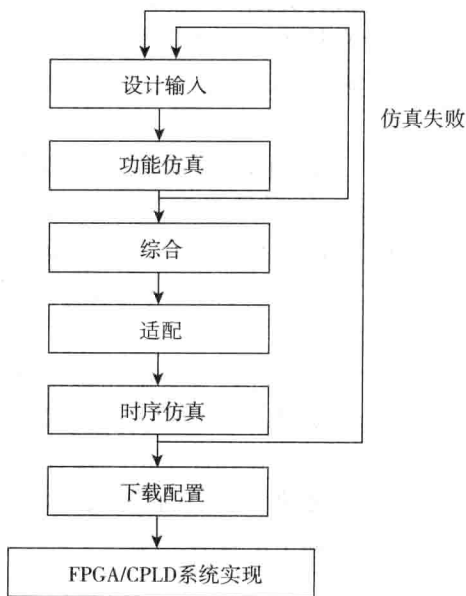


图 2-1 EDA 设计的一般流程

2.1.1 设计输入

利用 EDA 技术进行 FPGA/CPLD 设计开发最初的步骤是将所做的电路系统设计以一定的表达方式输入计算机。通常，主流的 EDA 设计开发工具支持的设计输入方式可分为两种类型。

1. 图形输入

图形输入方式通常包括原理图输入、状态图输入和波形图输入三种。

- 原理图输入是类似于传统电子设计方法的原理图编辑输入方式，即在 EDA 软件的图形编辑界面上绘制完成特定功能的电路原理图。原理图由逻辑器件（符号）

和互联线构成,图中的逻辑器件可以是 EDA 工具软件库预制的功能模块,如与门、非门、或门、触发器以及各种 74 系列器件功能的宏功能块,也可以是一些定制的 IP 功能块或自定义的层次原理图功能模块。原理图绘制完成以后,原理图编辑器将对输入的图形文件进行电气规则检查,之后再将其编译成逻辑网表文件。

□ 状态图输入是在 EDA 工具的状态图编辑器上用绘图的方法绘出状态图,然后由 EDA 编译器和综合器将此状态变化流程图形编译综合成电路网表。

□ 波形图输入是将待设计的电路看成一个黑盒子,只需告诉 EDA 工具黑盒子电路的输入和输出时序波形图,EDA 工具根据该时序波形图完成黑盒子电路的设计。

在这三种图形输入方式中,原理图输入是最常用的一种输入方式。用原理图进行设计输入的方法的优点是显而易见的。

1) 设计者进行电子线路设计不需要增加新的相关知识(诸如 HDL 等)。

2) 该方法与用电子电路 CAD 软件(如 Protel)作图相似,设计过程形象直观,适用于初学或教学演示。

3) 由于设计方式接近于底层电路分布,因此易于控制逻辑资源的耗用。

然而,使用原理图输入方式的设计方法的缺点同样是十分明显的。

1) 由于原理图设计方法并没有标准化,不同的 EDA 软件中的图形处理工具对图形的设计规则、存档格式和图形编译方式都不同,因此图形文件兼容性差,难以交换和管理。

2) 随着电路设计规模的扩大,原理图输入描述方式必然引起一系列难以克服的困难,如电路功能原理的易读性下降,错误排查困难,整体调整和结构升级困难。例如,将一个 4 位的单片机设计升级为 8 位的单片机几乎难以在短期内实现。

3) 由于图形文件的不兼容性,性能优秀的基本电路模块的移植和再利用十分困难,这是 EDA 技术应用的最大障碍。

4) 由于在原理图中已确定了设计系统的基本电路结构和元件,留给综合器和适配器的优化选择的空间已十分有限,因此难以实现用户所希望的面积、速度以及不同风格的综合优化。显然,原理图的设计方法明显偏离了电子设计自动化最本质的含义。

5) 在设计中,由于必须直接面对硬件模块的选用,因此行为模型的建立将无从谈起,从而无法实现真实意义上的自顶向下的设计方案。

2. HDL 文本输入

HDL 文本输入方式与传统的计算机编程语言的输入方式基本一致,就是将使用某种硬件描述语言(HDL)描述电路设计的文本,如 VHDL 或 Verilog HDL 的源程序文件,进行编辑输入。

采用 HDL 的文本输入方式克服了原理图输入方式存在的所有弊端,为 EDA 技术的应用和发展打开了一个广阔的天地。

目前主流的 EDA 输入工具可以把图形的直观性与 HDL 文本的优势结合起来。比如,在原理图输入方式中,可以调用由 HDL 文本描述生成的电路功能模块,直观地表示系统的总体框架,再用自动 HDL 生成工具生成相应的 VHDL 或 Verilog 程序。原理图输入和 HDL 文本输入相结合的设计输入方式是 EDA 技术初学者经常采用的一种方式。

但对于有经验的 EDA 设计开发工程师而言, HDL 文本输入方式始终是最纯粹、最基本、最全面、最有效的设计输入方式。

2.1.2 功能仿真

EDA 技术能够让设计者在整个设计流程的最开始就对所做设计进行基本的逻辑功能验证, 这是 EDA 设计开发方法最显著的优点之一。逻辑功能验证是通过计算机根据一定的算法和相应的逻辑测试平台对所做设计进行模拟, 以验证所设计的逻辑功能, 查找和修正错误, 即所谓的仿真。

功能仿真是直接对 HDL 文本、原理图描述或其他描述形式的逻辑功能进行测试模拟, 以了解其实现的功能是否满足原设计的要求, 仿真过程不涉及任何具体器件的硬件特性。不必经历综合与适配阶段, 在设计项目编辑编译后即可进入门级仿真器进行模拟测试。直接进行功能仿真的好处是设计耗时短, 对硬件库、综合器等没有任何要求。对于规模比较大的设计项目, 综合与适配在计算机上的耗时是十分可观的, 如果每一次修改后的模拟都必须进行时序仿真, 显然会极大地降低开发效率。因此, 通常的做法是, 首先进行功能仿真, 待确认设计文件所表达的功能满足设计者原有的意图, 即逻辑功能满足要求后, 再进行综合、适配和时序仿真, 以便把握设计项目在硬件条件下的运行情况。

2.1.3 综合

一般来说, 综合是仅对硬件描述语言而言的。利用 HDL 综合器对设计进行综合是十分重要的一步, 因为综合过程将把软件设计的 HDL 描述与硬件结构挂钩, 是将软件转化为硬件电路的关键步骤, 是文字描述与硬件实现的一座桥梁。综合就是将电路的高级语言(如行为描述)转换成低级的、可与 FPGA/CPLD 的基本结构相映射的网表文件或程序。

当输入的 HDL 文件在 EDA 工具中检测无误后, 首先面临的是逻辑综合, 因此要求 HDL 源文件中的语句都是可综合的。

在综合之后, HLD 综合器一般都可以生成一种或多种文件格式的网表文件, 如 EDIF、VHDL、Verilog、VQM 等标准格式, 在这种网表文件中用各自的格式描述电路的结构。如在 VHDL 网表文件中采用 VHDL 的语法, 用结构描述的风格重新诠释综合后的电路结构。

整个综合过程就是将设计者在 EDA 平台上编辑输入的 HDL 文本、原理图或状态图形描述, 依据给定的硬件组件和约束控制条件进行编辑、优化、转换和综合, 最终获得门级电路甚至更底层的电路描述网表文件。由此可见, 综合器工作之前, 必须给定最后实现的硬件结构参数, 它的功能是将软件描述与给定的硬件结构用某种网表文件的方式对应起来, 成为相应的映射关系。

如果把综合理解为映射过程, 那么显然这种映射不是唯一的, 并且综合的优化也不是单方向的。为达到速度、面积、性能的要求, 往往需要对综合加以约束, 称为综合约束。

2.1.4 适配

适配器也称为结构综合器, 它的功能是将由综合器产生的网表文件配置于指定的目