

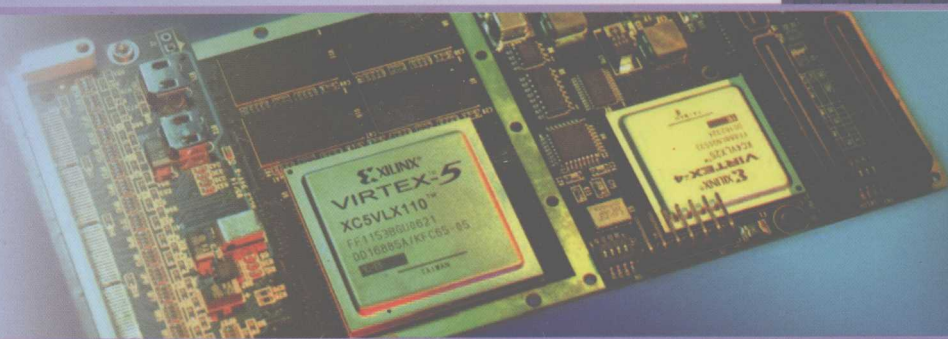


全国高职高专教育“十一五”规划教材

# EDA技术与 VHDL实用教程

■ 廖超平 主 编

■ 黄守宁 副主编



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS

全国高职高专教育“十一五”规划教材

# EDA 技术与 VHDL 实用教程

廖超平 主编  
黄守宁 副主编

高等教育出版社

## 内容提要

本书是高职高专电子信息工程专业教材之一,比较全面地阐述了 EDA 技术和 VHDL。

本书的 CPLD/FPGA 开发软件选用国内应用广泛的 Altera 公司的升级产品 Quartus II,硬件描述语言选用目前世界上最常用的,并且在国内资料较多的 VHDL。对于 Quartus II,本书重点介绍其原理图输入设计法流程、VHDL 输入设计法流程、运用 Quartus II 进行设计文件的编辑、编译、仿真及器件编程等内容。对于 VHDL,则重点介绍 VHDL 语句与程序结构、语法规则和设计流程等。在介绍 VHDL 时,总结了以往高职程序设计教学的经验,采用分析—总结—设计的吸收—消化—再创新的教学方法,即引导学生先通过分析现有的程序,从中总结出规律或得到一定启发后,再编写出自己的新程序。

全书以培养学生 EDA 工程实践能力为宗旨,各部分选材和安排围绕培养学生工程实践能力来展开,在书中专门安排有一章讲授 EDA 工程实践项目方法和实例。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校、民办高校及本科院校举办的二级职业技术学院电子信息工程专业、应用电子技术专业及相关专业的教学用书,也适用于五年制高职、中职相关专业,并可作为相关社会从业人员的业务参考书及培训用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

EDA 技术与 VHDL 实用教程 / 廖超平主编. —北京:高等教育出版社,2007.6

ISBN 978-7-04-021716-2

I. E… II. 廖… III. ①电子电路—电路设计:计算机辅助设计—高等学校:技术学校—教材②硬件描述语言,VHDL—程序设计—高等学校:技术学校—教材 IV. TN702 TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 061858 号

策划编辑 刘洋 责任编辑 孙薇 封面设计 王凌波 责任绘图 朱静  
版式设计 张岚 责任校对 王雨 责任印制 毛斯璐

出版发行 高等教育出版社

社址 北京市西城区德外大街 4 号

邮政编码 100011

总机 010-58581000

经销 蓝色畅想图书发行有限公司

印刷 国防工业出版社印刷厂

开本 787×1092 1/16

印张 18.75

字数 450 000

购书热线 010-58581118

免费咨询 800-810-0598

网址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

网上订购 <http://www.landaco.com>

<http://www.landaco.com.cn>

畅想教育 <http://www.widedu.com>

版次 2007 年 6 月第 1 版

印次 2007 年 6 月第 1 次印刷

定价 25.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 21716-00

EDA 技术是计算机技术与电子设计技术相结合的一门崭新的技术,它给电子产品设计与开发带来了革命性的变化。随着 EDA 技术的发展,硬件电子电路的设计几乎都可以依靠计算机来完成,这样就大大缩短了硬件电子电路设计的周期,从而使制造商能迅速开发出品种多、批量小的产品,以满足市场需求。现在,EDA 技术在通信、国防、航天、工业自动化、仪器仪表等领域的电子系统设计工作中的应用正以惊人的速度上升,它已成为广泛应用于各个电子信息领域的前沿技术之一。另外,利用 EDA 技术,能克服实验室元器件品种、规模、数量不足,仪器陈旧老化、实验电路板形式单调,不利于学生创新设计等缺点,对培养学生的应用能力、综合分析与设计能力和提高综合素质都具有重要的意义。因此,在高职高专电子信息工程专业开设 EDA 技术教学具有重大的意义。

目前世界上有十几家生产 CPLD/FPGA 的公司,最大的三家是:Altera、Xilinx 和 Lattice,其中 Altera 和 Xilinx 两家公司共占有 60% 以上的市场份额,国内很多人喜欢用 Altera 公司的 CPLD/FPGA 开发软件 MAX + plus II 和 Quartus II。考虑到 Quartus II 是 MAX + plus II 的升级产品,所以本书讲述的 CPLD/FPGA 开发软件选用 Quartus II。目前世界上最常用的硬件描述语言有 VHDL 与 Verilog HDL 两种,VHDL 和 Verilog HDL 各有所长,市场占有率也相差不多。另外,在国内关于 VHDL 的资料较多,而且学会了 VHDL,再转到 Verilog HDL 是很容易的事。所以,本书只介绍 VHDL。

本书第 1 章是 EDA 技术概述,对 EDA 技术的历史和内容做一个概括的说明;第 2 章、第 3 章介绍 Quartus II 原理图输入设计法;第 4 章、第 5 章介绍 VHDL 设计;第 6 章介绍综合设计项目的设计方法与实例。

Quartus II 开发软件功能非常强大,针对初学者,本书重点介绍其中的最基本内容。包括 Quartus II 原理图输入设计法流程、Quartus II 的 VHDL 输入设计法流程、运用 Quartus II 进行设计文件的编辑、编译、仿真及器件编程等内容。VHDL 也只介绍其中的基本内容,包括 VHDL 语句与程序结构、语法规则和设计流程等。另外,教材内容选择和安排,充分反映了 EDA 技术的“自顶向下”设计方法这一特色。

本教材编写充分体现以应用为目的,以必需、够用为度,以讲清概念、强化应用为教学重点的高职高专教材特色,在“浅、宽、高、新、用”上下工夫。在介绍 Quartus II 原理图输入设计法的时候,示例以“数字电子技术”课程中常见的例题为主,使得教学具有明显的连续性,以便于学生理解。这部分内容重点要求学生掌握最基本的原理图设计输入法,编译、仿真设计文件,层次化设计等基本方法与技能。而在 VHDL 设计中,总结了以往高职高专程序设计教学的经验,采用分析—总结—设计的吸收—消化—再创新的教学方法,即引导学生先通过分析现有的程序,从中总结出规律或得到一定启发后,再编写出自己的新程序。

全书以培养学生 EDA 工程实践能力为宗旨,各部分选材和安排围绕培养学生工程实践能力

来展开,在书的最后部分,专门安排有一章,讲授 EDA 工程实践项目方法和实例。

课时安排建议如下:

章 节	理论教学(学时)	上机练习或实验(学时)
绪论 第1章 EDA 技术概述	2	
第2章 Quartus II 原理图输入设计法入门	4	2
第3章 Quartus II 原理图输入法深入	6	4
第4章 VHDL 设计入门	12	10
第5章 VHDL 设计深入	6	4
第6章 综合设计项目	6	可与课程设计相结合

本书由廖超平主编,黄守宁副主编,杨焕峥参编。绪论、第1章和附录由杨焕峥编写,第2章由黄守宁和廖超平编写,第3章、第4章和第5章由廖超平编写,第6章由黄守宁编写,全书由廖超平统稿。承蒙北京交通大学王昕老师对全书进行了审阅,并提出了许多宝贵的意见,特此致谢!由于在高职高专院校开设 EDA 技术教学的历史不长,我们的经验不足,故本书会存在许多不足之处,请各位读者批评指正。

编者

2007年1月

# 目 录

绪论 .....	1	实训项目 .....	103
第 1 章 EDA 技术概述 .....	7	第 4 章 VHDL 设计入门 .....	107
1.1 可编程逻辑器件 .....	7	4.1 Quartus II 的 HDL 输入法 .....	107
1.2 面向 CPLD/FPGA 的 EDA 设计流程 .....	23	4.2 VHDL 程序的基本结构 .....	117
1.3 面向 CPLD/FPGA 的常用 EDA 工具 .....	29	4.3 VHDL 程序的顺序结构 .....	121
1.4 硬件描述语言 .....	33	4.4 VHDL 程序的并行结构 .....	137
本章小结 .....	35	4.5 VHDL 程序的语言要素 总结 .....	166
本章习题 .....	35	本章小结 .....	179
第 2 章 Quartus II 原理图输入设计 法入门 .....	37	本章习题 .....	179
2.1 Quartus II 原理图输入法 .....	37	实训项目 .....	182
2.2 Quartus II 器件编程 .....	57	第 5 章 VHDL 设计深入 .....	189
本章小结 .....	68	5.1 深入 VHDL 程序结构 .....	189
本章习题 .....	68	5.2 VHDL 设计中 LPM 函数 的应用 .....	215
实训项目 .....	68	5.3 VHDL 层次化文件设计 .....	226
第 3 章 Quartus II 原理图输入法 深入 .....	71	本章小结 .....	230
3.1 原理图输入法中 MAX + plus II 老式宏函数的应用 .....	71	本章习题 .....	230
3.2 原理图输入法中 LPM 函数 的应用 .....	79	实训项目 .....	230
3.3 原理图输入法中的层次化 设计 .....	100	第 6 章 综合设计项目 .....	234
本章小结 .....	102	6.1 综合设计总体方案设计 .....	234
本章习题 .....	103	6.2 综合设计各模块分析 .....	247
		本章小结 .....	258
		附录 VHDL 基本设计典型实例 .....	259
		参考文献 .....	291

# 绪 论

## 一、EDA 技术概念

现代电子设计技术的核心就是电子设计自动化 (Electronic Design Automation, EDA) 技术。利用 EDA 技术,电子设计师可以方便地实现 IC 设计、电子电路设计和 PCB 设计等工作。

狭义的 EDA 技术,就是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开发工具的 EDA 技术。狭义的 EDA 技术或称为 IES/ASIC 自动设计技术,通过使用有关的开发软件,自动完成电子系统设计的逻辑编译、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,最终形成集成电子系统或专用集成芯片。本书讨论的对象专指狭义的 EDA 技术。

广义的 EDA 技术,除了狭义的 EDA 技术外,还包括计算机辅助分析 CAA 技术(如 PSpice、EWB、MATLAB 等),印制电路板计算机辅助设计 PCB - CAD 技术(如 Protel、OrCAD 等)。在广义的 EDA 技术中,CAA 技术和 PCB - CAD 技术不具备逻辑综合和逻辑适配的功能,因此它并不能称为真正意义上的 EDA 技术。

EDA 技术的 3 个层次:

- (1) EWB、PSpice、Protel 的学习作为 EDA 的最初级内容。
- (2) 利用 VHDL 完成对 CPLD/FPGA 的开发等作为中级内容。
- (3) ASIC 的设计作为最高级内容。

## 二、EDA 技术的主要特征

EDA 技术主要有以下这些特征:

- (1) 高层综合与优化的理论与方法取得了很大的进展,其结果大大缩短了复杂的 ASIC 的设计周期,同时提高了设计质量。
- (2) 采用硬件描述语言 (Hardware Description Language, HDL) 来描述 10 万门以上的设计,形成了国际通用的 VHDL 等硬件描述语言。它们均支持不同层次的描述,使得复杂 IC 的描述规范化,便于传递、交流、保存与修改,并可建立独立的工艺设计文档,便于设计重用。
- (3) 开放式的设计环境(各厂家均适合)。
- (4) “自顶向下”的算法。
- (5) 丰富的元器件模块库。
- (6) 具有较好的人机对话界面与标准的 CAM 接口。
- (7) 建立并行设计工程框架结构的集成化设计环境,以适应当今 ASIC 的特点:规模大而复

杂,数字与模拟电路并存,硬件与软件并存,产品上市更新快。

### 三、EDA 技术发展历程

EDA 技术伴随着计算机、集成电路、电子系统设计的发展,经历了计算机辅助设计(Computer Assist Design, CAD)、计算机辅助工程设计(Computer Assist Engineering Design, CAE)和电子系统设计自动化(Electronic System Design Automation, ESDA)3 个发展阶段。

#### 1. 20 世纪 70 年代的计算机辅助设计 CAD 阶段

20 世纪 70 年代,随着中、小规模集成电路的出现和应用,传统的手工制图设计印制电路板和集成电路的方法已无法满足设计精度和效率的要求,人们开始将产品设计过程中高重复性的繁杂劳动(如布图、布线工作等)用二维平面图形编辑与分析工具 CAD 代替。这就产生了第一代 EDA 工具。受当时计算机工作平台的制约,能支持的设计工作有限且性能比较差。

#### 2. 20 世纪 80 年代的计算机辅助工程设计 CAE 阶段

20 世纪 80 年代出现的第一个个人工作站(Apollo)计算机平台,推动了 EDA 工具的迅速发展。为了适应电子产品在规模和制作上的需要,出现了以计算机仿真和自动布线为核心技术的第二代 EDA 技术。具有自动综合能力的 CAE 工具代替了设计师的部分设计工作。其特点是以软件工具为核心,通过这些软件完成产品开发的设计、分析、生产、测试等各项工作。但是,大部分从原理图出发的 EDA 工具仍然不能适应复杂电子系统设计的要求,而且具体化的元件图形制约着优化设计。

#### 3. 20 世纪 90 年代电子系统设计自动化 EDA 阶段

20 世纪 90 年代,设计师逐步从使用硬件转向设计硬件,从电路级电子产品开发转向系统级电子产品开发。ESDA 工具是以系统级设计为核心,包括系统行为级描述与结构级综合、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。第三代 EDA 技术的出现,极大地提高了系统设计的效率,使设计师开始实现“概念驱动工程”的梦想。设计师摆脱了大量的辅助设计工作,把精力集中于创造性的方案与概念构思上,从而极大地提高了设计效率,缩短了产品的研制周期。

进入 21 世纪,随着 Intel 公司 Pentium 处理器的推出,Xilinx 等公司几十万门规模的 FPGA 的上市,以及大规模的芯片组 and 高速、高密度印制电路板的应用,EDA 技术在仿真、时序分析、集成电路自动测试、高速印制电路板设计及操作平台的扩展等方面都面临着新的巨大的挑战。这就是新一代 EDA 技术未来发展的趋势。面对当今飞速发展的电子产品市场,设计师需要更加实用、快捷的 EDA 工具,使用统一的集成化设计环境,改变传统设计思路,将精力集中到设计构思、方案比较和寻找优化设计等方面,以最快的速度开发出性能优良、质量一流的电子产品。新一代 EDA 技术将向着功能强大、简单易学、使用方便的方向发展。

### 四、EDA 技术的主要内容

#### (一) 硬件描述语言

HDL 是各种描述方法中最能体现 EDA 优越性的描述方法。所谓硬件描述语言,实际就是一个描述工具,其描述的对象就是待设计电路系统的逻辑功能、实现该功能的算法、选用的电路结构以及其他各种约束条件等。通常要求 HDL 既能描述系统的行为,又能描述系统的



结构。

HDL 的使用与普通的高级语言相似,编制的 HDL 程序也需要首先经过编译器进行语法、语义的检查,并转换为某种中间数据格式。但与其他高级语言相区别的是,用硬件描述语言编制程序的最终目的是要生成实际的硬件,因此 HDL 中有与硬件实际情况相对应的并行处理语句。此外,用 HDL 编制程序时,还需注意硬件资源的消耗问题(如门、触发器、连线等的数目),有的 HDL 程序虽然语法、语义上完全正确,但并不能生成与之相对应的实际硬件,其原因就是要实现这些程序所描述的逻辑功能,消耗的硬件资源将十分巨大。目前 HDL 主要有以下两种。

### 1. Verilog HDL

Verilog HDL 是在 1983 年由 GDA(Gateway Design Automation)公司首创的,主要用于数字系统的设计。设计者可以用它来进行各种级别的逻辑设计,也可以进行数字逻辑系统的仿真验证、时序分析、逻辑综合等。它是目前应用最广泛的硬件描述语言之一。其最大优点是与工艺无关,这使得工程师在功能设计、逻辑验证阶段可以不必过多考虑门级电路及其工艺实现的具体细节,只需要利用系统设计时对芯片的要求,施加不同的约束条件,即可设计出实际电路。实际上,这是利用 EDA 工具,把逻辑验证与具体工具库匹配、将布线及延时计算由计算机自动完成,从而减轻了设计者的劳动。

Verilog HDL 把数字系统当作一组模块来描述,每一个模块具有模块接口以及关于模块内容的描述,一个模块代表一个逻辑单元,这些模块用网络相互连接,相互通信。由于 Verilog HDL 是标准化的,所以能把完成的设计移植到不同厂家的不同芯片中去。又由于 Verilog HDL 设计的信号位数很容易改变,所以可以通过对信号位数的修改,来适应不同的硬件规模,而且在仿真验证时,仿真测试用例可以用同一种描述语言来完成。

### 2. VHDL

VHDL 是美国国防部于 20 世纪 80 年代后期,出于军事工业的需要开发的。1984 年 VHDL 被 IEEE(The Institute of Electrical and Electronics Engineers)确定为标准化的硬件描述语言。1993 年 IEEE 对 VHDL 进行了修订,增加了部分新的 VHDL 命令与属性,增强了对系统的描述能力,并公布了新版本的 VHDL,即 IEEE 1076—1993 版本。现在,VHDL 已经成为系统描述的国际公认标准,得到众多 EDA 公司的支持,越来越多的硬件设计者使用 VHDL 描述数字系统。

VHDL 涵盖面广,抽象描述能力强,支持硬件的设计、验证、综合与测试。VHDL 能在多个级别上对同一个逻辑功能进行描述,如可以在寄存器级别上对电路的组成结构进行描述,也可以在行为描述级别上对电路的功能与性能进行描述。无论哪种级别的描述,都可以利用综合工具将描述转化为具体的硬件结构。VHDL 的基本结构包含有一个实体和一个结构体,而完整的 VHDL 结构还包括配置、程序包与库。各种硬件描述语言中,VHDL 的抽象描述能力最强,因此运用 VHDL 进行复杂电路设计时,往往采用“自顶向下”结构化的设计方法。

比较而言,VHDL 是一种高级描述语言,适用于电路高级建模,综合的效率和效果较好。Verilog HDL 是一种低级的描述语言,适用于描述门级电路,容易控制电路资源,但其对系统的描述能力不如 VHDL。

## (二) 可编程逻辑器件

可编程逻辑器件(Programmable Logic Device, PLD)是一种由用户编程来实现某种逻辑功能的新型逻辑器件。它不仅速度快、集成度高,能够完成用户定义的逻辑功能,还可以加密和重新定义编程,其允许编程次数可多达上万次。使用可编程逻辑器件可大大简化硬件系统、降低成本、提高系统的可靠性、灵活性。因此,自20世纪70年代问世以后,PLD就受到广大工程人员的青睐,被广泛应用于工业控制、通信设备、智能仪表、计算机硬件和医疗电子仪器等多个领域。

FPGA和CPLD最明显的特点是集成度高、速度高和可靠性高。高速度表现在其时钟延时可小至纳秒级,结合并行工作方式,在超高速应用领域和实时测控方面有着非常广阔的应用前景;其高可靠性和高集成度表现在几乎可将整个系统集成于同一芯片中,实现所谓片上系统(System on a Chip, SoC),指的就是以嵌入式系统为核心,集软、硬件于一体,并追求产品系统最大包容的集成芯片。它是目前嵌入式应用领域的热门话题,SoC大大缩小了系统体积,便于管理和屏蔽。

## (三) EDA 软件

目前在国内比较流行的EDA软件工具主要有Altera公司的MAX + plus II和Quartus II、Lattice公司的Expert LEVER和Synario、Xilinx公司的Foundation和Alliance、Actel公司的Actel Designer等,这四家公司的EDA开发软件特性如表0-1所示。

表0-1 EDA开发软件特性

厂商	EDA软件名称	软件适用器件系列	软件支持的描述方式
Altera	MAX + plus II	MAX、FLEX等	逻辑图、波形图、AHDL文本、Verilog HDL文本、VHDL文本等
	Quartus II	MAX、FLEX、APEX等	
Xilinx	Alliance	Xilinx各种系列	逻辑图、VHDL文本等
	Foundation	XC系列	
Lattice	Synario	MACH GAL、ispLSI、pLSI等	逻辑图、ABEL文本、VHDL文本等
	Expert LEVER	ispLSI、pLSI、MACH等	逻辑图、VHDL文本等
Actel	Actel Designer	SX系列、MX系列	逻辑图、VHDL文本等

Altera公司是世界上最大的可编程逻辑器件供应商之一。其主要产品有MAX7000/9000、FLEX10K、APEX20K、ACEX1K、Stratix、Cyclone等系列。Altera公司在20世纪90年代以后发展很快,业界普遍认为其开发工具MAX + plus II是最成功的EDA开发平台之一,Quartus II是MAX + plus II的升级版本。

Xilinx公司是FPGA的发明者,其产品种类较全,主要有XC9500/4000、Spartan、Virtex、Coolrunner(XPLA3)等。Xilinx公司是与Altera公司齐名的可编程逻辑器件供应商,在欧洲,使用Xilinx公司器件的人较多;在日本和亚太地区,使用Altera公司器件的人较多;在美国,则是平分秋色。全球PLD/FPGA产品中,60%以上是由Altera公司和Xilinx公司提供的。可以讲,Altera

公司和 Xilinx 公司共同决定了 PLD 技术的发展方向。

Lattice 公司是 ISP (在系统可编程) 技术的发明者,其主要产品有 ispL2000/5000/8000、MACH4/5、ispMACH4000 等。与 Altera 公司和 Xilinx 公司相比,Lattice 公司的开发工具略逊一筹,大规模 PLD、FPGA 的竞争力也不够强,但其中小规模 PLD 比较有特色。Lattice 公司于 1999 年推出可编程模拟器件,现已成为全球第三大可编程逻辑器件供应商。

Actel 公司是反熔丝(一次性编程)PLD 的领导者。由于其 PLD 具有抗辐射、耐高低温、功耗低和速度快等优良品质,在军工产品和宇航产品上有较大优势,而 Altera 和 Xilinx 公司则一般不涉足军工产品和宇航产品市场。

## 五、EDA 技术的应用展望

电子 EDA 技术发展迅猛,逐渐在教学、科研、产品设计与制造等各方面都发挥着巨大的作用。

### 1. EDA 技术将广泛应用于高校电类专业的实践教学工作中

在教学方面:几乎所有理工科(特别是电子信息)类的高校都开设了 EDA 课程,主要是让学生了解 EDA 的基本原理和基本概念;掌握描述系统逻辑的方法;使用 EDA 工具进行电子电路课程的模拟仿真实验,并在做毕业设计时从事简单电子系统的设计,为今后工作打下基础。具有代表性的是全国每两年举办一次的大学生电子设计竞赛活动。

对于电子技术课程设计,特别是数字系统性的课题,在 EDA 实验室不需要添加任何新的东西,即可设计出各种比较复杂的数字系统,并且借助于实验开发系统可以方便地进行硬件验证,如设计频率计、交通控制灯、秒表等。

### 2. EDA 技术将广泛应用于科研工作和新产品的开发中

在科研方面:主要利用电路仿真工具(EWB 或 PSpice 等)进行电路设计与仿真;利用虚拟仪器进行产品调试;将 CPLD/FPGA 器件的开发应用到仪器设备中。例如在 CDMA 无线通信系统中,所有移动手机和无线基站都工作在相同的频谱,为区别不同的呼叫,每个手机有一个唯一的码序列,CDMA 基站必须能判别这些不同的码序列才能分辨出不同的传呼进程,这一判别是通过匹配滤波器实现的,匹配滤波器的输出显示出在输入数据流中探测到特定的码序列。FPGA 能提供良好的滤波器设计,而且能完成 DSP 高级数据处理功能,因而 FPGA 在现代通信领域方面获得广泛应用。

在产品设计与制造方面:从高性能的微处理器、数字信号处理器一直到彩电、音响和电子玩具电路等,EDA 技术不单是应用于前期的计算机模拟仿真、产品调试,而且也在产品的制作、电子设备的研制与生产、印制电路板的焊接、电路的制作过程等有重要作用。可以说电子 EDA 技术已经成为电子工业领域不可缺少的技术支持。

### 3. EDA 技术将广泛应用于专用集成电路的开发

几十年来,集成电路单块芯片上集成的晶体管数目成指数规律上升。集成电路复杂度的增加使得集成电路的设计必须依靠 EDA 技术,集成电路模拟技术正是 EDA 中的关键技术之一。例如对集成电路随机行为的模拟就涉及多方面的内容,如对晶体管和互连线的随机行为进行建模和分析、对电路随机行为进行分析的电路模拟技术。这些技术是目前 EDA 技术的研究热点,这些技术会逐步发展成熟并集成到未来的 EDA 工具当中。

#### 4. EDA 技术将广泛应用于传统机电设备的升级换代和技术改造

传统机电设备的电器控制系统,如果利用 EDA 技术进行重新设计或进行技术改造,不但设计周期短、设计成本低,而且将提高产品或设备的性能,缩小产品体积,提高产品的技术含量,提升产品的附加值。

# 第 1 章 EDA 技术概述



## 要求

熟悉面向 CPLD/FPGA 的 EDA 技术初步理论知识



## 知识点

- 理解可编程逻辑器件
- 掌握面向 CPLD/FPGA 的 EDA 设计流程
- 掌握面向 CPLD/FPGA 的常用 EDA 工具
- 理解硬件描述语言



## 重点和难点

- EDA 设计流程
- Quartus II 软件包
- 硬件描述语言

EDA 技术是将计算机技术应用到电子电路设计中,给电子产品设计与开发带来革命性变化的一门崭新技术。EDA 技术广泛应用于各个电子信息领域的前沿。

本章先介绍 EDA 技术的发展历史,然后再对面向 CPLD/FPGA 的 EDA 技术的基本内容:可编程逻辑器件、面向 CPLD/FPGA 的 EDA 设计流程和面向 CPLD/FPGA 的常用 EDA 工具及硬件描述语言做概括性介绍。



## 1.1

### 可编程逻辑器件

#### 一、可编程逻辑器件概述

##### (一) PLD/FPGA 介绍

PLD 是 可编程逻辑器件 (Programmable Logic Device) 的简称, FPGA 是 现场可编程门阵列 (Field Programmable Gate Array) 的简称, 两者的功能基本相同, 只是实现原理略有不同, 所以有时可以忽略这两者的区别, 统称为可编程逻辑器件或 PLD/FPGA。

PLD 是 电子设计领域中最具活力和发展前途的一项技术, 它的影响丝毫不亚于 20 世纪 70 年代单片机的发明和使用。PLD 能做什么呢? 可以毫不夸张地讲, PLD 能完成任何数字器

件的功能,上至高性能 CPU,下至简单的 74 系列电路,都可以用 PLD 来实现。PLD 如同一张白纸或是一堆积木,工程师可以通过传统的原理图输入法或是硬件描述语言,自由地设计一个数字系统。通过软件仿真,可以事先验证设计的正确性。在 PCB 完成以后,还可以利用 PLD 的线上修改能力,随时修改设计而不必改动硬件电路。使用 PLD 来开发数字电路,可以大大缩短设计时间,减少 PCB 面积,提高系统的可靠性。PLD 的这些优点使得 PLD 技术在 20 世纪 90 年代以后得到飞速的发展,同时也大大推动了 EDA 技术和硬件描述语言(HDL)的进步。

如何使用 PLD 呢?其实 PLD 的使用很简单,学习 PLD 比学习单片机要简单得多,有数字电路基础、会使用计算机,就可以进行 PLD 的开发。

早期的可编程逻辑器件只有可编程只读存储器(PROM)、紫外线可擦除只读存储器(EPROM)和电可擦除只读存储器(EEPROM)三种。由于结构的限制,它们只能完成简单的数字逻辑功能。

其后,出现了一类结构上稍复杂的可编程芯片,即可编程逻辑器件(PLD),它能够完成各种数字逻辑功能。典型的 PLD 由一个与门阵列和一个或门阵列组成,如图 1-1 所示,而任意一个组合逻辑都可以用与-或运算式来描述,所以,PLD 能以乘积和的形式完成大量的组合逻辑功能。

这一阶段的产品主要有可编程阵列逻辑(Programmable Array Logic, PAL)和通用阵列逻辑(Generic Array Logic, GAL)。PAL 由一个可编程的与平面和一个固定的或平面构成,或门的输出可以通过触发器有选择地被置为寄存状态。PAL 器件是现场可编程的,它的实现工艺有反熔丝技术、EPROM 技术和 EEPROM 技术。还有一类结构更为灵活的逻辑器件是可编程逻辑阵列(Programmable Logic Array, PLA),它也由一个与平面和一个或平面构成,但是这两个平面的连接关系是可编程的。PLA 器件既有现场可编程的,也有掩模可编程的。在 PAL 的基础上,又发展了一种通用阵列逻辑 GAL,如 GAL16V8, GAL22V10 等。它采用了 EEPROM 工艺,实现了电可擦除、电可改写,其输出结构是可编程的逻辑宏单元,因而它的设计具有很强的灵活性,至今仍有许多人使用。这些早期的 PLD 器件的一个共同特点是可以实现速度特性较好的逻辑功能,但其过于简单的结构也使它们只能实现规模较小的电路。

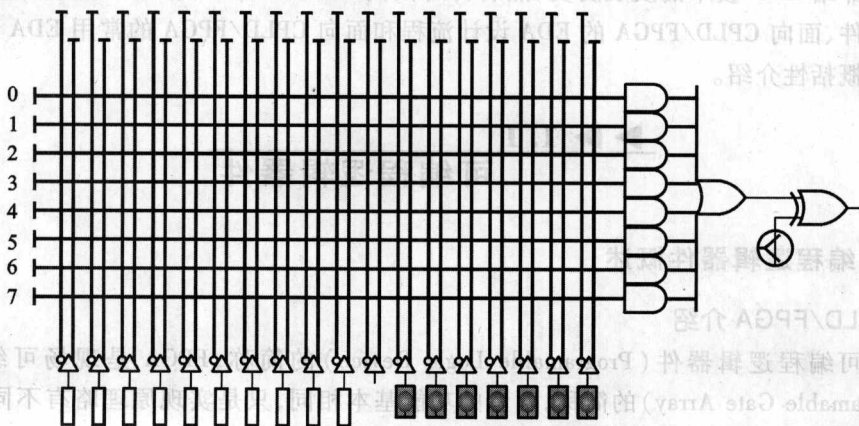


图 1-1 典型的 PLD 的部分结构(实现组合逻辑的部分)

为了弥补这一缺陷,20世纪80年代中期。Altera和Xilinx分别推出了类似于PAL结构的扩展型复杂可编程逻辑器件(Complex Programmable Logic Device,CPLD)和与标准门阵列类似的现场可编程门阵列FPGA,它们都具有体系结构和逻辑单元灵活、集成度高以及适用范围宽等特点。这两种器件兼容了PLD和通用门阵列的优点,可实现较大规模的电路,编程也很灵活。与门阵列等其他专用集成电路(Application Specific Integrated Circuits,ASIC)相比,它们又具有设计开发周期短、设计制造成本低、开发工具先进、标准产品无需测试、质量稳定以及可实时在线检验等优点,因此被广泛应用于产品的原型设计和产品生产(一般在10000件以下)之中。几乎所有应用门阵列、PLD和中小规模通用数字集成电路的场合均可应用FPGA和CPLD器件。20世纪90年代初,Lattice公司又推出了在系统可编程大规模集成电路(In System Programmability Large Scale Integrated Circuit,ispLSI)。

经过了十几年的发展,许多公司都开发出了多种可编程逻辑器件。比较典型的就是Xilinx公司的FPGA器件系列和Altera公司的CPLD器件系列,它们开发较早,占用了较大的PLD市场。当然还有许多其他类型器件,如:Lattice、Vantis、Actel、Quicklogic、Lucent等。1999年Lattice公司收购了Vantis,成为第三大PLD供应商;同年Xilinx公司收购了Philips公司的PLD部门。

表1-1列出了1998年世界十大PLD公司。

表1-1 1998年世界十大PLD公司

排名	公司	销售额(亿美元)	市场占有率
1	Altera	5.96	30.1
2	Xilinx	5.74	29.0
3	Vantis	2.20	11.1
4	Lattice	2.18	11.0
5	Actel	1.39	7.0
6	Lucent	0.85	4.3
7	Cypress	0.44	2.2
8	Atmel	0.42	2.1
9	Philips	0.28	1.4
10	Quicklogic	0.24	1.2

资料来源:1999年4月《电子产品世界》。

## (二) 世界主流厂家的CPLD/FPGA

下面简单地介绍一下世界PLD主流生产厂家的CPLD/FPGA器件的发展及性能。

CPLD的品种繁多,结构多样,生产厂家众多。例如,Altera公司就提供了8种通用PLD系列产品,如表1-2所示。

表 1-2 Altera 系列产品的性能

系列	代表产品	配置单元	逻辑单元(FF)	最大用户 I/O	速度等级/ns	RAM/bit
APEX20K	EP20K1000E	SRAM	42 240	780	4	540K
FLEX10K	EPF10K10	SRAM	4 992(5 392)	406	4	24 576
FLEX8000	EPF8050	SRAM	4 032(4 656)	360	3	
MAX9000	EPM9560	EEPROM	560(772)	212	12	
MAX7000	EPM7256	EEPROM	256	160	10	
FLASHlogic	EPX8160	SRAM/FLASH	160	172	10	20 480
MAX5000	EPM5192	EPROM	192	64	1	
Classic	EP1810	EPROM	48	48	20	

说明:代表产品是指该系列中密度最大或速度最快的一种。

美国 Xilinx 公司在 1985 年推出了世界上第一块现场可编程门阵列(FPGA)器件,最初 3 个完整的系列产品分别命名为 XC2000、XC3000 和 XC4000,共有 19 个品种,后又增加了低电压(3.3 V)的“L”系列、多 I/O 引脚的“H”系列及更高速的“A”系列,并推出了与 XC3000 兼容的 XC3100/A 系列,在 XC4000 的基础上又增加了“E”和“EX”系列。在 1995 年,Xilinx 又增加了 XC5000、XC6200 和 XC8100 FPGA 系列,并取得了突破性进展。而后又推出了 Spartan 和 Virture。Xilinx 公司还有 3 个 EPLD 系列产品:XC7200、XC7300 和 XC9500。Xilinx 公司系列产品主要性能如表 1-3 所示。

表 1-3 Xilinx 公司系列产品的性能

系列	代表产品	可用门	宏单元	逻辑单元(FF)	速度等级	驱动能力 /mA	最大用户 I/O	RAM/bit
XC2000	XC2018L	(1.0 ~ 1.5) k	100	172	10	4	74	
XC3000	XC3090	(5.0 ~ 6.0) k	320	928	6	4	144	
XC3100	XC3195/A	(6.5 ~ 7.5) k	484	1 320	0.9	8	176	
XC4000	XC4063EX	(62 ~ 130) k	2 304	5 376	2	12	384	73 728
XC5200	XC5215	(14 ~ 18) k	484	1 936	4	8	244	
XC6200	XC6264	(64 ~ 100) k	16 384	16 384		8	512	262 K
XC8100	XC8109	(8.1 ~ 9.4) k	2 688	1 344	1	24	208	
XC7200	XC7272A	2.0 k	72	126	15	8	72	
XC7300	XC73144	3.8 k	144	234	7	24	156	
XC9500	XC95288	6.4 k	288	288	10	24	180	



Lattice 公司成立于 1983 年,是 EECMOS 技术的开拓者,发明了 GAL 器件,是低密度 PLD 的最大供应商。该公司于 20 世纪 90 年代开始进入 HDPLD 领域,并推出了 pLSI/ispLSI 器件,实现了在系统可编程技术(ISP)。ISP 使用户能够在无需从系统板上拔下芯片或从系统中取出电路板的情况下,改变芯片的逻辑内容乃至整个电子系统的功能。这种技术能大大缩短设计周期,简化生产流程,降低设计成本。

Lattice 公司目前的 pLSI/ispLSI 器件主要有 6 个系列:pLSI/ispLSI 1000、2000、3000、5000、6000 和 8000 系列,如表 1-4 所示。

表 1-4 Lattice 公司系列产品的主要性能

系列	代表产品	可用门	宏单元	逻辑单元(FF)	速度等级	最大用户 I/O
ispLSI1000/E	isp148	8 k	192	288	5	108
ispLSI2000/E/V/VE	isp2192	8 k	192	192	6	110
ispLSI3000	isp3448	20 k	320	672	12	224
ispLSI5000V	isp5512V	24 k	512	384	10	384
ispLSI6000	isp6192 *	25 k	192	416	15	159
ispLSI8000	isp8840	45 k	840	1 152	8.5	312

\* :isp6192 器件包含 8×16 寄存器/计数器模块和 4 KB 存储器模块。

### (三) 芯片特点

尽管 FPGA、CPLD 和其他类型 PLD 的结构各有其特点和长处,但概括起来,它们是由下面三大部分组成的,如图 1-2 所示。

(1) 一个二维的逻辑块阵列,构成了 PLD 器件的逻辑组成核心。

(2) 输入/输出块。

(3) 连接逻辑块的互连资源。连线资源:由各种长度的连线线段组成,其中也有一些可编程的连接开关,它们用于逻辑块之间、逻辑块与输入/输出块之间的连接。

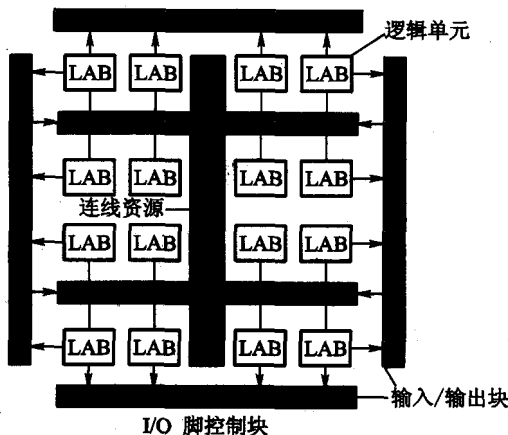


图 1-2 典型的 PLD 的框图

## 1.1 可编程逻辑器件