

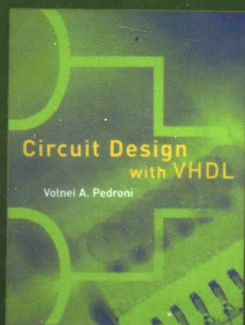
国外电子与通信教材系列



VHDL

数字电路设计教程

Circuit Design with VHDL



[巴西] Volnei A. Pedroni 著

乔庐峰 王志功 等译



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry
<http://www.phei.com.cn>

内 容 简 介

自从VHDL在1987年成为IEEE标准之后,就因其在电路模型建立、仿真、综合等方面的强大功能而被广泛用于复杂数字逻辑电路的设计中。本书共分为三个基本组成部分,首先详细介绍VHDL语言的背景知识、基本语法结构和VHDL代码的编写方法;然后介绍VHDL电路单元库的结构和使用方法,以及如何将新的设计加入到现有的或自己新建立的单元库中,以便于进行代码的分割、共享和重用;最后介绍PLD和FPGA的发展历史、主流厂商所提供的开发环境的使用方法。本书在内容结构的组织上有独特之处,例如将并发描述语句、顺序描述语句、数据类型与运算操作符和属性等独立成章,使读者更容易清晰准确地掌握这些重要内容。本书注重设计实践,给出了大量完整设计实例的电路图、相关基本概念、电路工作原理以及仿真结果,从而将VHDL语法学习和如何采用它进行电路设计有机地结合在一起。

本书适合通信工程、电子工程及相关专业的高年级本科生作为教材使用,同时也可以作为进行可编程逻辑器件应用开发的培训教材。

© 2004 Massachusetts Institute of Technology.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced in any form by any electronic or mechanical means (including photocopying, recording, or information storage and retrieval) without permission in writing from the publisher.

Chinese Simplified language edition published by Publishing House of Electronics Industry, Copyright © 2005.

本书中文简体版专有出版权由MIT Press授予电子工业出版社,未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权贸易合同登记号 图字:01-2005-1225

图书在版编目(CIP)数据

VHDL数字电路设计教程/(巴西)佩德罗尼(Pedroni, V. A.)著;乔庐峰等译.

北京:电子工业出版社,2005.9

(国外电子与通信教材系列)

书名原文:Circuit Design with VHDL

ISBN 7-121-01743-1

I. V... II. ①佩... ②乔... III. ①硬件描述语言, VHDL-程序设计-教材 ②数字电路-电路设计-教材
IV. ①TP312 ②TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第103833号

责任编辑:马 岚 特约编辑:马爱文

印 刷:北京市顺义兴华印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×980 1/16 印张:18.75 字数:441千字

印 次:2005年9月第1次印刷

定 价:29.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至zlt@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。

序

2001年7月间,电子工业出版社的领导同志邀请各高校十几位通信领域方面的老师,商量引进国外教材问题。与会同志对出版社提出的计划十分赞同,大家认为,这对我国通信事业、特别是对高等院校通信学科的教学工作会很有好处。

教材建设是高校教学建设的主要内容之一。编写、出版一本好的教材,意味着开设了一门好的课程,甚至可能预示着一个崭新学科的诞生。20世纪40年代MIT林肯实验室出版的一套28本雷达丛书,对近代电子学科、特别是对雷达技术的推动作用,就是一个很好的例子。

我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老师 and 专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,是会有好处的。

一年多来,电子工业出版社为此做了很多工作。他们成立了一个“国外电子与通信教材系列”项目组,选派了富有经验的业务骨干负责有关工作,收集了230余种通信教材和参考书的详细资料,调来了100余种原版教材样书,依靠由20余位专家组成的出版委员会,从中精选了40多种,内容丰富,覆盖了电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等方面,既可作为通信专业本科生和研究生的教学用书,也可作为有关专业人员的参考材料。此外,这批教材,有的翻译为中文,还有部分教材直接影印出版,以供教师用英语直接授课。希望这些教材的引进和出版对高校通信教学和教材改革能起一定作用。

在这里,我还要感谢参加工作的各位教授、专家、老师与参加翻译、编辑和出版的同志们。各位专家认真负责、严谨细致、不辞辛劳、不怕琐碎和精益求精的态度,充分体现了中国教育工作者和出版工作者的良好美德。

随着我国经济建设的发展和科学技术的不断进步,对高校教学工作会不断提出新的要求和希望。我想,无论如何,要做好引进国外教材的工作,一定要联系我国的实际。教材和学术专著不同,既要注意科学性、学术性,也要重视可读性,要深入浅出,便于读者自学;引进的教材要适应高校教学改革的需要,针对目前一些教材内容较为陈旧的问题,有目的地引进一些先进的和正在发展中的交叉学科的参考书;要与国内出版的教材相配套,安排好出版英文原版教材和翻译教材的比例。我们努力使这套教材能尽量满足上述要求,希望它们能放在学生们的课桌上,发挥一定的作用。

最后,预祝“国外电子与通信教材系列”项目取得成功,为我国电子与通信教学和通信产业的发展培土施肥。也恳切希望读者能对这些书籍的不足之处、特别是翻译中存在的问题,提出意见和建议,以便再版时更正。



中国工程院院士、清华大学教授
“国外电子与通信教材系列”出版委员会主任

出版说明

进入21世纪以来,我国信息产业在生产和科研方面都大大加快了发展速度,并已成为国民经济发展的支柱产业之一。但是,与世界上其他信息产业发达的国家相比,我国在技术开发、教育培训等方面都还存在着较大的差距。特别是在加入WTO后的今天,我国信息产业面临着国外竞争对手的严峻挑战。

作为我国信息产业的专业科技出版社,我们始终关注着全球电子信息技术的发展方向,始终把引进国外优秀电子与通信信息技术教材和专业书籍放在我们工作的重要位置上。在2000年至2001年间,我社先后从世界著名出版公司引进出版了40余种教材,形成了一套“国外计算机科学教材系列”,在全国高校以及科研部门中受到了欢迎和好评,得到了计算机领域的广大教师与科研工作者的充分肯定。

引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,将有助于我国信息产业培养具有国际竞争能力的技术人才,也将有助于我国国内在电子与通信教学工作中掌握和跟踪国际发展水平。根据国内信息产业的现状、教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的指示精神以及高等院校老师们反映的各种意见,我们决定引进“国外电子与通信教材系列”,并随后开展了大量准备工作。此次引进的国外电子与通信教材均来自国际著名出版商,其中影印教材约占一半。教材内容涉及的学科方向包括电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等,其中既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择和自由组合使用。我们还将与国外出版商一起,陆续推出一些教材的教学支持资料,为授课教师提供帮助。

此外,“国外电子与通信教材系列”的引进和出版工作得到了教育部高等教育司的大力支持和帮助,其中的部分引进教材已通过“教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导委员会”的审核,并得到教育部高等教育司的批准,纳入了“教育部高等教育司推荐——国外优秀信息科学与技术系列教学用书”。

为做好该系列教材的翻译工作,我们聘请了清华大学、北京大学、北京邮电大学、南京邮电大学、东南大学、西安交通大学、天津大学、西安电子科技大学、电子科技大学、中山大学、哈尔滨工业大学、西南交通大学等著名高校的教授和骨干教师参与教材的翻译和审校工作。许多教授在国内电子与通信专业领域享有较高的声望,具有丰富的教学经验,他们的渊博学识从根本上保证了教材的翻译质量和专业学术方面的严格与准确。我们在此对他们的辛勤工作与贡献表示衷心的感谢。此外,对于编辑的选择,我们达到了专业对口;对于从英文原书中发现的错误,我们通过作者联络、从网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订;同时,我们对审校、排版、印制质量进行了严格把关。

今后,我们将进一步加强同各高校教师的密切关系,努力引进更多的国外优秀教材和教学参考书,为我国电子与通信教材达到世界先进水平而努力。由于我们对国内外电子与通信教育的发展仍存在一些认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多需要改进的地方,恳请广大师生和读者提出批评及建议。

电子工业出版社

教材出版委员会

主 任	吴佑寿	中国工程院院士、清华大学教授
副主任	林金桐	北京邮电大学校长、教授、博士生导师
	杨千里	总参通信部副部长, 中国电子学会会士、副理事长 中国通信学会常务理事
委 员	林孝康	清华大学教授、博士生导师、电子工程系副主任、通信与微波研究所所长 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
	徐安士	北京大学教授、博士生导师、电子学系主任 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	樊昌信	西安电子科技大学教授、博士生导师 中国通信学会理事、IEEE 会士
	程时昕	东南大学教授、博士生导师、移动通信国家重点实验室主任
	郁道银	天津大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
	阮秋琦	北京交通大学教授、博士生导师 计算机与信息技术学院院长、信息科学研究所所长
	张晓林	北京航空航天大学教授、博士生导师、电子信息工程学院院长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会委员
	郑宝玉	南京邮电大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	朱世华	西安交通大学副校长、教授、博士生导师、电子与信息工程学院院长 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
	彭启琮	电子科技大学教授、博士生导师、通信与信息工程学院院长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会委员
	毛军发	上海交通大学教授、博士生导师、电子信息与电气工程学院副院长 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	赵尔沅	北京邮电大学教授、《中国邮电高校学报(英文版)》编委会主任
	钟允若	原邮电科学研究院副院长、总工程师
	刘 彩	中国通信学会副理事长、秘书长
	杜振民	电子工业出版社原副社长
	王志功	东南大学教授、博士生导师、射频与光电集成电路研究所所长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会主任委员
	张中兆	哈尔滨工业大学教授、博士生导师、电子与信息技术研究院长
	范平志	西南交通大学教授、博士生导师、计算机与通信工程学院院长

译 者 序

本书是由 Volnei A. Pedroni 教授编著的一本讲述采用 VHDL 语言进行数字电路设计的教材。我们受电子工业出版社的委托,组织对该书进行了翻译,意在为我国正在蓬勃兴起的集成电路设计人才培养提供可直接使用的教材。

目前国内已有一些 VHDL 语言方面的教材,但这些教材大多数将注意力集中于 VHDL 语法的本身,因此内容显得枯燥和烦琐。在阅读和翻译该书的过程中,我们非常深刻地感觉到该书在内容结构组织、例题选取等方面都与目前国内所有已出版的类似书籍完全不同,具有极其鲜明的特色。本书能够将语法学习和数字电路设计的基本理念通过大量新颖的例题有机地结合起来,从而使读者能够更深刻地理解数字电路设计的基本思想。本书最值得称道的是设置了两个专门的章节集中分析诸如逐级进位加法器和超前进位加法器、定点除法器、乘累加电路、数字滤波器以及神经网络等一系列具有代表意义的电路,使读者既能在学习 VHDL 语言的过程中掌握典型数字电路设计的基本思想和设计技巧,又能在练习设计典型数字电路的过程中掌握 VHDL 语言的应用方法。

在本书的翻译过程中,解放军理工大学通信工程学院的龚坚、彭晖和聂辰分别对第 1 章至第 6 章、第 7 章至第 12 章以及附录进行了初步翻译,乔庐峰对全部译文进行了整理校对,并根据国内教学的具体特点,征得作者同意,对局部内容进行了调整,对一些概念进行了必要的补充和说明,从而使初学者更容易接受。东南大学的王志功教授进一步校对并审核了全书所有章节,提出了大量的修改意见。

鉴于时间紧迫和译者水平,译文中难免有错误之处,敬请读者批评指正。

前 言

本书的结构

全书由电路设计和系统设计两个基本部分组成，其中电路设计部分详细介绍了 VHDL 语言的背景知识、基本语法结构和 VHDL 代码的编写方法。这一部分主要包括以下章节：

- 代码结构：库、实体和构造体（第 2 章）
- 数据类型（第 3 章）
- 运算操作符和属性（第 4 章）
- 并发描述语句和并发代码（第 5 章）
- 顺序描述语句和顺序代码（第 6 章）
- 对象：信号、变量和常量（第 7 章）
- 有限状态机的设计（第 8 章）
- 简单电路设计实例分析（第 9 章）

系统设计部分主要介绍了 VHDL 电路单元库的结构和使用方法，以及如何将新的设计加入到现有的或自己新建立的单元库中，以便于进行代码的分割、共享和重用。这一部分主要包括以下章节：

- 包集和元件（第 10 章）
- 函数和过程（第 11 章）
- 系统设计实例分析（第 12 章）

本书的特色

本书具有以下鲜明特色：

- 用简明的语言介绍了与 VHDL 语言综合相关的所有关键特征。
- 全书的内容结构组织合理，顺序安排得当。全书在内容组织上划分为电路级设计和系统设计两个基本部分。在电路级设计部分，第 1 章至第 4 章介绍了 VHDL 语言的基本语法知识；第 5 章至第 9 章分析了 VHDL 语言的并发代码、顺序代码、信号与变量、状态机等内容，并给出了大量的设计实例。在系统级设计部分，第 10 章至第 12 章从系统的角度讨论了包集、元件、函数和过程，并分析了许多系统级电路设计的例子。
- 尽量用关联紧密的内容来组织每一章。例如，并发描述语句、顺序描述语句、数据类型以

及运算操作符和属性都独立成章。

- 目前常见的 VHDL 语法书籍往往忽视了数字电路设计的基本概念，而关于数字电路设计的书籍又对 VHDL 介绍得很简单。本书很好地将二者结合起来，通过大量数字电路设计实例来学习 VHDL 语言。
- 为了将 VHDL 语言和数字电路设计实践紧密地结合起来，本书采用了以下方法：
 - 提供了大量的完整设计实例（而不是片段）；
 - 对设计实例的顶层电路图进行了解释说明；
 - 对数字电路设计的重要基本概念进行了回顾；
 - 对问题的解决方法给出了详细的注释；
 - 所有设计实例都是可综合、可物理实现的（可以使用可编程逻辑器件实现）；
 - 提供了仿真结果，并对仿真结果进行了必要的分析和说明；
 - 最后，在附录中介绍了目前主流的可编程器件以及相应开发工具的使用。

本书适用对象

本书可以作为电子工程和计算机专业开设的以下课程的教材：

- VHDL 语言
- 数字电路设计自动化
- 可编程逻辑器件
- 数字电路设计（基础课程和高级课程）

另外，本书也适合作为企业内部 VHDL 培训和可编程逻辑器件应用开发的培训教材。

致谢

首先对所有给本书提出了宝贵意见和建议的人表示感谢。Ricardo P. Jasinski 和 Bruno U. Pedroni 评阅了本书，在此特别表示感谢。

目 录

第一部分 电 路 设 计

第 1 章 引言	2
1.1 关于 VHDL	2
1.2 设计流程	2
1.3 EDA 工具	3
1.4 从 VHDL 代码到电路的转化	4
1.5 设计实例	6
第 2 章 VHDL 代码结构	9
2.1 VHDL 代码基本单元	9
2.2 库声明	10
2.3 实体	11
2.4 构造体	12
2.5 例题	13
2.6 习题	16
第 3 章 数据类型	19
3.1 预定义的数据类型	19
3.2 用户定义的数据类型	22
3.3 子类型	23
3.4 数组	24
3.5 端口数组	26
3.6 记录类型	27
3.7 有符号数和无符号数	28
3.8 数据类型转换	29
3.9 小结	30
3.10 例题	31
3.11 习题	35

第 4 章 运算操作符和属性	37
4.1 运算操作符	37
4.2 属性	40
4.3 用户自定义属性	42
4.4 操作符扩展	43
4.5 通用属性语句	43
4.6 设计实例	44
4.7 小结	48
4.8 习题	49
第 5 章 并发代码	51
5.1 并发执行和顺序执行	51
5.2 使用运算操作符	53
5.3 WHEN 语句	54
5.4 GENERATE 语句	63
5.5 块语句	65
5.6 习题	68
第 6 章 顺序代码	72
6.1 进程	72
6.2 信号和变量	74
6.3 IF 语句	74
6.4 WAIT 语句	78
6.5 CASE 语句	80
6.6 LOOP 语句	84
6.7 CASE 语句和 IF 语句的比较	91
6.8 CASE 语句和 WHEN 语句的比较	91
6.9 同步时序电路中的时钟问题	92
6.10 使用顺序代码设计组合逻辑电路	96
6.11 习题	98
第 7 章 信号和变量	103
7.1 常量	103
7.2 信号	103
7.3 变量	105

7.4 信号和变量的比较	106
7.5 寄存器的数量	112
7.6 习题	121
第8章 状态机	128
8.1 引言	128
8.2 设计风格#1	129
8.3 设计风格#2	136
8.4 状态机编码风格: 二进制编码和独热编码	149
8.5 习题	150
第9章 典型电路设计分析	153
9.1 桶形移位寄存器	153
9.2 有符号数比较器和无符号数比较器	156
9.3 逐级进位和超前进位加法器	159
9.4 定点除法	162
9.5 自动售货机控制器	166
9.6 串行数据接收器	171
9.7 并/串变换器	173
9.8 一个7段显示器的应用例题	175
9.9 信号发生器	178
9.10 存储器设计	181
9.11 习题	186

第二部分 系统设计

第10章 包集和元件	192
10.1 概述	192
10.2 包集	193
10.3 元件	195
10.4 端口映射	201
10.5 GENERIC 参数的映射	202
10.6 习题	208

第 11 章 函数和过程	209
11.1 函数	209
11.2 函数的存放	211
11.3 过程	219
11.4 过程的存放	221
11.5 函数与过程小结	224
11.6 断言语句	224
11.7 习题	224
第 12 章 系统设计实例分析	226
12.1 串-并型乘法器	226
12.2 并行乘法器	230
12.3 乘-累加电路	235
12.4 数字滤波器	238
12.5 神经网络	243
12.6 习题	249
附录 A 可编程逻辑器件	251
附录 B Xilinx ISE 和 ModelSim 使用指南	259
附录 C Altera MaxPlus II 和 Advanced Synthesis Software 使用指南	267
附录 D Altera Quartus II 使用指南	277
VHDL 保留字	285
参考文献	286

第一部分 电路设计

第 1 章	引言
第 2 章	VHDL 代码结构
第 3 章	数据类型
第 4 章	运算操作符和属性
第 5 章	并发代码
第 6 章	顺序代码
第 7 章	信号和变量
第 8 章	状态机
第 9 章	典型电路设计分析

第 1 章 引 言

1.1 关于 VHDL

VHDL 是一种硬件描述语言, 它可以对电子电路和系统的行为进行描述。基于这种描述, 结合相关的软件工具, 可以得到所期望的实际电路与系统。

VHDL 的含义是 VHSIC Hardware Description Language (VHSIC 硬件描述语言)。VHSIC 是 Very High Speed Integrated Circuits 的缩写, 是 20 世纪 80 年代在美国国防部的资助下始创的, 并最终导致了 VHDL 语言的出现。它的第一个规范版本为 VHDL 87, VHDL 93 是其后续的升级版本。VHDL 是 IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 美国电气和电子工程师协会) 制定为规范的第一种硬件描述语言, 规范版本为 IEEE 1076。IEEE 后来又补充制定了 IEEE 1164, 引入了多值逻辑系统。

使用 VHDL 语言描述的电路, 可以进行综合与仿真。然而, 值得注意的是, 尽管所有 VHDL 代码都是可仿真的, 但并不是所有代码都是可综合的。

VHDL (或其竞争者 Verilog HDL 语言) 被广泛使用的基本原因在于它是一种标准语言, 是与工具和工艺无关的, 从而可以方便地进行移植和重用。VHDL 语言的两个最直接的应用领域是可编程逻辑器件和专用集成电路 (ASIC: Application Specific Integrated Circuits), 其中可编程逻辑器件包括复杂可编程逻辑器件 (CPLD: Complex Programmable Logic Devices) 和现场可编程门阵列 (FPGA: Field Programmable Gate Arrays)。一段 VHDL 代码编写完成后, 用户可以使用 Altera, Xilinx 或 Atmel 等厂商的可编程器件来实现整个电路, 或者将其提交给专业的代客户加工的工厂用于 ASIC 的生产, 这也是目前许多复杂的商用芯片 (例如微控制器) 所采用的实现方法。

关于 VHDL 语言, 最后需要说明的是: 与常规的顺序执行的计算机程序不同, VHDL 从根本上讲是并发执行的。因此, 我们通常称之为代码, 而不是程序。在 VHDL 中, 只有在进程 (PROCESS)、函数 (FUNCTION) 和过程 (PROCEDURE) 内部的语句才是顺序执行的。

1.2 设计流程

如上一节所述, 使用 VHDL 语言的主要原因之一是通过代码综合, 可以采用可编程器件 (PLD 或 FPGA) 或 ASIC 来实现所需的电路。图 1.1 给出了采用 VHDL 进行设计综合的流程。如图 1.1 所示, 设计的第一个阶段是编写 VHDL 代码, 编写后的代码保存为一个后缀名为 .vhd 的文件 (注意, 文件名和代码中的实体名应保持一致)。代码编写完毕后进入综合阶段。综合阶段的

第一步是进行代码编译。代码编译过程把寄存器传输级（RTL: Register Transfer Level）的 VHDL 代码转换成门级网表。综合阶段的第二步是优化，主要是根据对电路工作速度和占用硬件资源大小等的要求，对门级网表进行优化。在综合阶段，可以对设计进行仿真。仿真通过后，布局布线工具可以在具体的 PLD/FPGA 器件上对各种电路单元进行布局布线工作，或者生成 ASIC 掩膜文件，用于 ASIC 的生产。

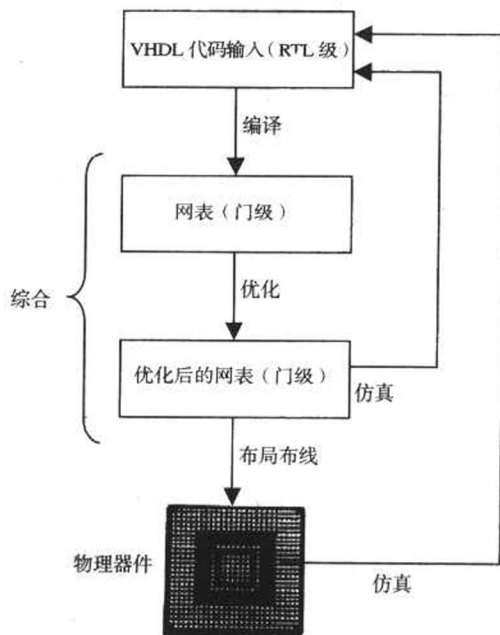


图 1.1 VHDL 设计流程

1.3 EDA 工具

目前有多种 EDA (Electronic Design Automation, 电子设计自动化) 工具支持采用 VHDL 进行电路综合、仿真以及实现。一些可编程器件生产厂商将使用 VHDL 进行电路设计所需的多种 EDA 工具集成为统一的开发平台提供给用户，进行针对本公司可编程器件产品的开发，从而使整个设计流程更加简捷和易于使用。目前比较常见的是 Altera 公司的 Quartus II 开发平台和 Xilinx 公司的 ISE 开发平台。这些平台中使用的综合工具和仿真工具通常由专业的 EDA 厂商提供，而这些 EDA 厂商除了为这些开发平台提供量身定制的工具外，还推出了具有标准接口的专业设计工具。如 Mentor Graphics 公司的 Leonardo Spectrum (综合工具)，Synopsis 公司的 Design Compiler (综合工具)，Synplicity 公司的 Synplify (综合工具) 以及 Model Technology 公司的 ModelSim (仿真工具) 等。

本书提供的设计实例都可以在 Altera 或 Xilinx 的 CPLD/FPGA (见附录 A) 设计平台上实现，部分例题的综合是使用 Leonardo Spectrum 完成的。

尽管在本书例题的实现和仿真中使用了不同种类的 EDA 工具,但我们还是尽力使电路的仿真波形在视觉效果上达到统一。由于具有简单清晰的界面,对于大多数设计,使用了 MaxPlus II (见附录 C) 的波形编辑器。由于一些较新的开发平台(如 Xilinx 的 ISE 和 Altera 的 Quartus II)所提供的仿真器具备更强大的定时分析功能,所以在对例题的某些细节进行分析时使用了这些工具。

1.4 从 VHDL 代码到电路的转化

图 1.2 是一个全加器的电路图。图中 a 和 b 是要输入相加的两个位, cin 是输入的进位位, s 是求和结果, cout 是输出的进位位。如图中的真值表所示,当输入端出现奇数个高电平时, s 输出高电平,当输入端出现两个或两个以上高电平时, cout 输出高电平。

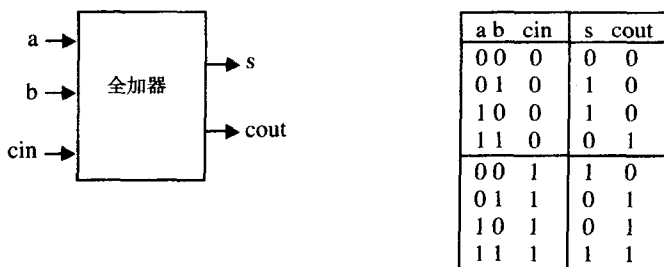


图 1.2 全加器电路框图和真值表

图 1.3 给出了图 1.2 所示全加器的 VHDL 代码。这些代码由实体 (ENTITY) 和构造体 (ARCHITECTURE) 两部分组成,其中 ENTITY 给出了电路外部连接端口 (PORTS) 的定义。ARCHITECTURE 内部的语句描述了电路所实现的功能。从 ARCHITECTURE 中可以看出加法运算的结果 s 是 a, b 和 cin 进行“异或”操作的结果,而进位输出 cout 的运算表达式为 $\text{cout} = a.b + a.\text{cin} + b.\text{cin}$ 。

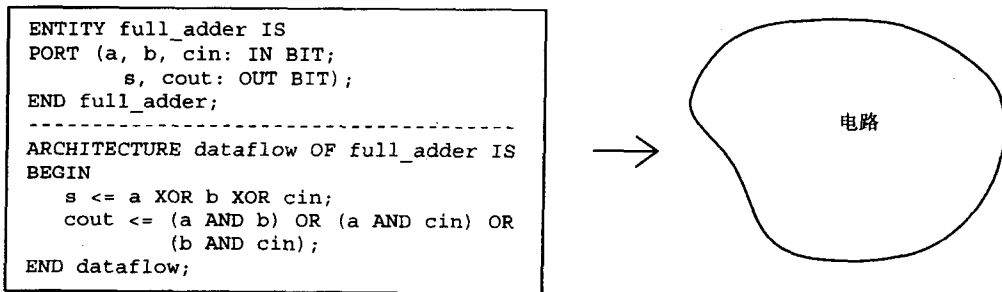


图 1.3 与图 1.2 所示电路对应的 VHDL 代码

根据图 1.3 左侧的 VHDL 代码,可以对应地生成一个实现相同功能的具体电路。根据数字电

路设计的相关知识,有多种具体的电路结构可以实现 ARCHITECTURE 中表达式所描述的功能。具体采取哪种电路结构来实现,取决于所选用的 VHDL 编译器类型、电路优化的目标(希望得到的电路拥有更高的速度还是占用更少的逻辑资源),更重要的是取决于最终所采用的实现方式(使用 PLD 还是 FPGA 来实现)。假如我们使用可编程逻辑器件来实现该电路,可以采用图 1.4 (b) 和图 1.4 (c) 给出的两种可能的电路结构。这是满足设计要求的许多结构中的两种,当然这两个电路都满足 $cout = a.b + a.cin + b.cin$ 。另一方面,如果希望采用 ASIC 来实现,可以采用图 1.4 (d) 给出的一种晶体管级的电路结构(采用 MOS 晶体管和时钟多米诺逻辑)。此外,综合工具可以根据需要选择对速度还是对面积进行优化,这也将明显地影响最终的电路结构。

无论代码综合后的电路结构最终是什么样的,如图 1.1 所示,必须在综合完成后对电路的功能进行验证。当然,在实现了物理电路后仍然需要对电路的功能进行测试和验证,但是如果此时对物理电路做出改动,则需要付出很大的代价。

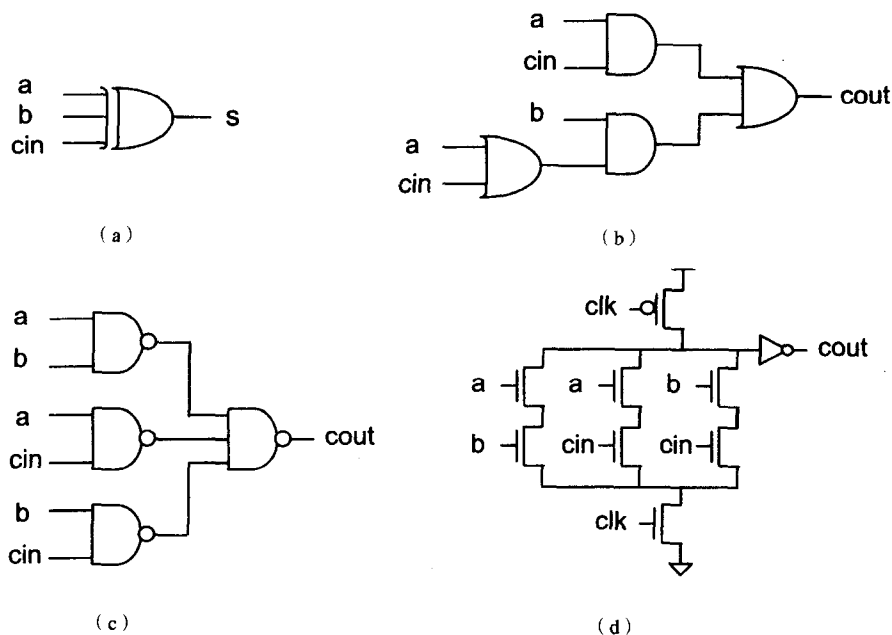


图 1.4 根据图 1.3 所示的全加器 VHDL 代码得到的部分电路结构

图 1.5 给出了图 1.2 中全加器的 VHDL 代码综合后的仿真波形。我们可以看出,输入引脚(用一个内部嵌有标志“1”的向内的箭头表示)和输出引脚(用一个内部嵌有标志“O”的向外的箭头表示)就是在图 1.3 中 ENTITY 后面列出的引脚。我们可以随意地设置输入信号(如本例中的 a, b 和 cin)的值,仿真器根据输入信号的值计算出对应的输出结果(s 和 cout),并将其显示在波形编辑器中。可以看到,图 1.5 中输出了设计期望的波形。