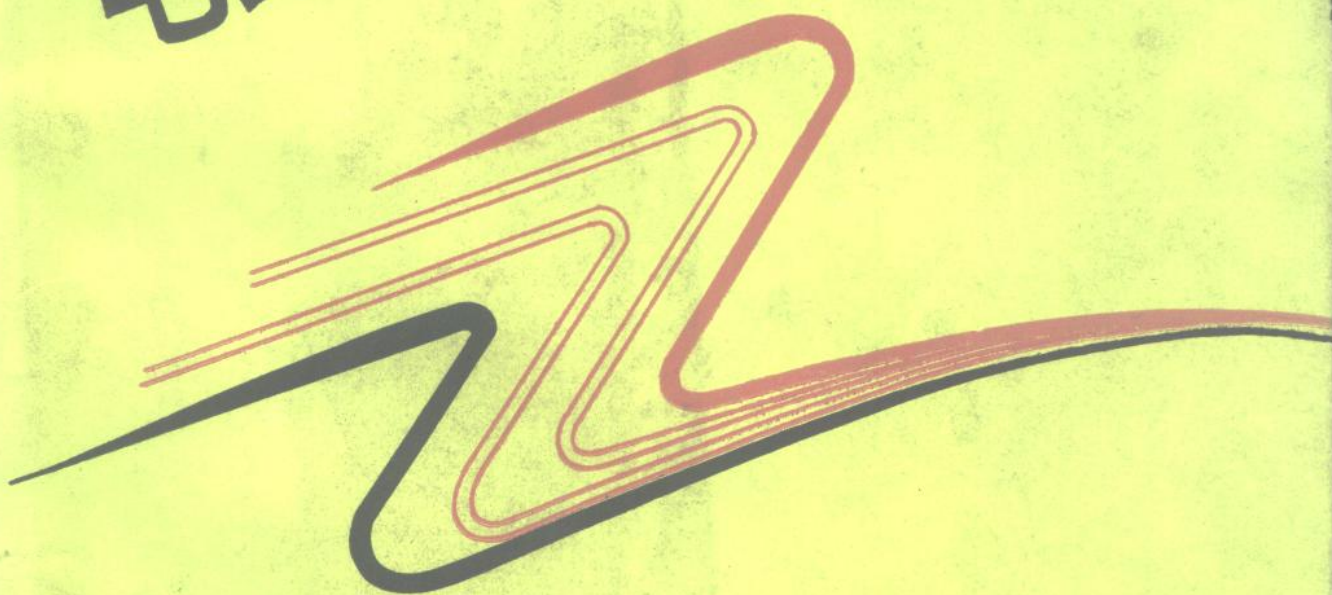


高等学校教材

电路辅助设计导论

高德远 等编著



西北工业大学出版社

TN710.9

515

379536

高等学校教材

电路辅助设计导论

高德远 樊晓桢 何海曦 张盛兵 编著

西北工业大学出版社

1994年12月 西安

(陕)新登字 009 号

【内容简介】 本书是为高等院校计算机、电子工程等有关专业的高年级学生编著的教科书，共分六章。主要介绍 CAD 技术在电子线路设计有关领域的应用，包括电路图的绘制、逻辑模拟、电路分析、优化设计、集成电路版图设计、印制电路板设计等。同时还具体介绍了几套基于 PC 机的电子线路 CAD 软件的使用，这些软件包括：电路图绘制软件 ORCAD/SDT I、逻辑模拟软件 ORCAD/VST、通用电路模拟软件 PSPICE4 和印制电路板设计软件 ORCAD/PCB I 以及集成电路设计软件 PMAGIC。以上软件既可单独使用，互相之间又有联系，构成了一套完整的电子线路 CAD 软件系统。通过学习，可使读者较全面了解并学会使用 CAD 软件进行电子线路设计。

本书也可作为大专院校有关专业学生的教材或参考书，对从事电路和系统设计、开发的工程技术人员也具有参考价值。

高等学校教材
电路辅助设计导论
高修远 等编著
责任编辑 郑永安
责任校对 潘 阳

© 1994 西北工业大学出版社出版
(710072 西安市友谊西路 127 号 电话 5269046)
陕西省新华书店发行
西北工业大学出版社印刷厂印装
ISBN 7-5612-0576-7/TM·10(课)

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 11.625 字数 276 千字
1994 年 12 月第 1 版 1994 年 12 月第 1 次印刷
印数 1—1500 册 定价 8.45 元

购买本社出版的图书，如有缺页、错页的，本社发行部负责调换。

前言

随着计算机技术和电子技术的发展,计算机辅助设计(Computer Aided Design)已广泛地渗透到电子线路设计的各个领域,大体上包括以下几个方面:数字逻辑电路的设计、模拟、化简、测试、故障诊断等;模拟电路的电路分析、优化设计、模拟;印制电路板设计;集成电路设计、检查、模拟及验证等。

CAD 技术自计算机问世后便已随之产生。而 CAD 技术最早用于设计计算机是在 50 年代美国的 STRETCH 工程,它是用正在运行的第一代电子管计算机来设计第二代的晶体管计算机,不过当时的 CAD 主要只是用于设计文档的保存、检查和修改等等。CAD 技术在随后的历代计算机发展中都起了重要的作用。计算机技术之所以能够发展得如此迅速,其重要原因就是由于在计算机各设计阶段中广泛使用了 CAD 技术。可以这样说,没有 CAD 技术就没有计算机的今天。反过来计算机的发展也给 CAD 技术提供了高性能的运行平台。

进入到 90 年代, CAD 技术本身也从最初的辅助设计阶段发展到电子设计自动化——EDA (Electronic Design Automation) 的高级阶段。现在可用高级语言对电子系统进行描述,采用自上而下 (Top-Down) 和并行工程 (Concurrent Engineering) 的设计方式,通过综合 (Synthesis) 和仿真,就可将用高级语言描述的电子系统最终变为可直接用于加工集成电路的版图文件,通过 CAM 接口递交半导体生产线加工出芯片。高级 EDA 系统的诞生意味着电子系统硬件的自动化设计,可用计算机代替人设计计算机硬件,这是计算机应用的新的重大课题,也将给计算机科学和工程、电子工程带来革命性的重大变革。

全书共分六章,第一章为绪论,简要介绍了电子线路 CAD 技术和 90 年代电子技术的一些最新发展。第二章介绍了数字与模拟电路的设计、分析和模拟的 CAD 技术。第三章是印制电路板的计算机辅助设计。第四、五章分别介绍了集成电路和可编程器件的辅助设计。第六章简介了高级 EDA 系统。本书各章内容有独立性,分别介绍了电子线路计算机辅助设计的一个分支领域。其内容组织上是在阐述电子线路技术基本概念的基础上介绍几套 CAD 软件的使用方法。这些软件是目前较为流行的且基于微机的电子 CAD 软件:OrCAD、PSPICE 和 PC-MAGIC。学习本书,再配以一定的上机练习,可使未受 CAD 训练的学生能够迅速入门跨入到电子 CAD 领域,并能初步掌握有关流行软件的使用,以便能迅速将 CAD 技术应用于未来的工作实践。

书中的电路图及个别计量单位采用了国际通用作法,有与国际不符之处,请读者谅解。

本书可作为计算机或电子工程专业高年级学生的教材。编著工作由西北工业大学计算机系下列人员承担:高德远负责第一章和第三章;樊晓桢负责第四、五章;何海曦负责第六章;张盛兵负责第二章。

本书涉及面广,实用性强,篇幅又有限制,一定存在不妥甚至错误之处;恳请读者提出批评和建议。

编著者

1993 年 9 月

目 录

第一章 绪论	1
1.1 EDA 是计算机应用的重大课题	1
1.1.1 EDA 的发展历史	1
1.1.2 EDA 工业标准	2
1.2 ASIC 异军突起	4
1.2.1 ASIC 技术的出现	4
1.2.2 ASIC 的定义	4
1.2.3 我国应大力推广 ASIC 技术	5
1.3 电子线路 CAD 软件简介	5
习题	7
参考文献	7
第二章 电路辅助设计与模拟	8
2.1 逻辑电路的辅助设计	8
2.1.1 逻辑电路设计	8
2.1.2 电路图计算机辅助绘制软件 ORCAD/SDT	21
2.2 逻辑模拟	28
2.2.1 逻辑模拟基本概念	28
2.2.2 逻辑模拟软件 ORCAD/VST	30
2.2.3 逻辑单元特性数据库	37
2.3 电路分析	39
2.3.1 电路分析的基本内容	39
2.3.2 通用电路模拟程序 PSPICE 及其使用	41
习题	50
参考文献	51
第三章 印制电路板的辅助设计	52
3.1 前言	52
3.2 印制电路工艺简介	52
3.2.1 印制电路的类型	52
3.2.2 印制电路板版图	53
3.2.3 印制电路板制造工艺简介	53
3.2.4 印制电路的技术条件和标准	55
3.3 设计原则	56
3.3.1 一般设计过程与考虑的问题	56

3.3.2 电气设计考虑因素	57
3.3.3 PCB 设计和布线原则	58
3.4 印制电路板的计算机辅助设计	63
3.4.1 概述	63
3.4.2 OrCAD/PCB 软件包简介	64
3.4.3 OrCAD/PCB 的命令手册	68
3.4.4 OrCAD/PCB 设计过程	76
习题	82
参考文献	82
第四章 集成电路辅助设计	83
4.1 概述	83
4.1.1 集成电路的发展	83
4.1.2 集成电路的优点	83
4.1.3 集成电路的分类	85
4.2 MOS 集成电路基础	86
4.2.1 MOS 晶体管	86
4.2.2 CMOS 基本电路	89
4.2.3 CMOS 加工过程	92
4.2.4 设计规则	93
4.2.5 MOS 电路基本性能估算	97
4.3 设计策略及设计风格	99
4.3.1 系统设计策略	99
4.3.2 设计风格比较	100
4.3.3 全定制设计	100
4.3.4 门阵列	104
4.3.5 标准单元	105
4.3.6 可编程逻辑阵列 PLA	107
4.4 集成电路辅助设计工具及环境	109
4.4.1 CAD 工具包	109
4.4.2 CIF 语言	110
4.5 交互式版图设计系统 Magic	113
4.5.1 Magic 命令	114
4.5.2 着色和选择命令	114
4.5.3 单元操作命令	117
4.5.4 设计规则检查命令	119
4.5.5 电路提取命令	120
4.5.6 CIF 和 GDS 格式命令	120
4.5.7 多窗口命令	121

习题.....	121
参考文献.....	122
第五章 可编程逻辑器件的辅助设计.....	123
5.1 概述	123
5.1.1 什么是 PLD 器件.....	123
5.1.2 PLD 器件的发展	123
5.1.3 E ² CMOS 工艺介绍	125
5.2 GAL 内部结构	126
5.3 FPGA 内部结构	129
5.4 辅助设计方法	135
5.4.1 JEDEC 文件格式	137
5.4.2 ABEL 语言	140
5.5 PLD 器件应用实例	146
5.5.1 用 GAL 实现四位加法器	148
5.5.2 用 GAL 实现总线仲裁器	150
5.5.3 在 FPGA 中实现二进制计数器	153
5.5.4 在 FPGA 中实现加法器	154
习题.....	157
参考文献.....	158
第六章 新一代电子设计自动化系统.....	159
6.1 新一代 EDA 系统的基本特征	159
6.2 超高速集成电路硬件描述语言 VHDL	162
6.2.1 概述	162
6.2.2 用 VHDL 语言描述数字系统	164
6.3 逻辑综合	169
6.3.1 逻辑综合的内容和意义	169
6.3.2 逻辑综合的基本原理	169
6.3.3 对逻辑综合工具进行控制	171
6.4 Cadence EDA 软件介绍	172
6.4.1 框架集成环境	172
6.4.2 混合级模糊软件	173
6.4.3 版图设计工具 Virtuoso	174
6.4.4 布局布线软件	174
6.4.5 模块生成	175
6.4.6 版图验证	175
6.4.7 模拟和混合信号设计系统 Analog Artist 和 Analog workbench	176
6.4.8 印刷电路板 (PCB) 和多芯片模块 (MCM) 设计系统 Allegro	176
6.4.9 数模混合信号设计和测试系统	176

第一章 绪 论

1.1 EDA 是计算机应用的重大课题

电子设计自动化是一种实现电子系统或电子产品自动化设计的技术,是靠计算机来实现的,它是当代计算机应用的重大课题,这是一个跨学科的研究方向。EDA 系统是一个大规模、高复杂度、高性能的软件系统,它与电子技术、微电子技术的最新发展密切相关,又要求以高性能的计算机作为工作平台,它吸收了计算机科学领域的大多数最新研究成果,同时 EDA 系统的研究与开发反过来又促进了计算机科学与工程的发展。EDA 技术已得到了飞速发展,并已形成成为一种产业。

1.1.1 EDA 的发展历史

电子线路 CAD 是 EDA 发展的初级阶段,它利用计算机的图形编辑、分析和存储等能力,协助工程师设计电子系统的电路图、印制电路板和集成电路版图。它仅仅只是电子设计的辅助工具,所以称为 CAD。它可减少设计人员不少繁琐重复的手工劳动,但自动化程度低,基本是需要人工直接干预整个设计过程。现在已有大量很实用的专用软件被广泛用于设计实践。虽然 EDA 技术已有新的发展,但这类电子 CAD 软件仍然得到继续开发和使用,因这些软件工具在设计中、小规模电子系统中仍然是可靠和有效的,并已占有相当的市场;这些软件大多数又是以微机为工作平台,易于普及;再则,它们也是高级 EDA 系统的重要组成部分。本书主要介绍内容仍为电子 CAD。

第二代 EDA 为中级阶段,它已具备了设计自动化的功能。其主要特征是具备了自动布局布线和电路的计算机仿真、分析与验证。在这一阶段计算机所起的不仅仅只是辅助作用,而且可以代替人进行某种思维。本书涉及的 CAD 软件,有部分功能已达到中级水平。

第三代高级 EDA 阶段,又称之为 ESDA (电子系统设计自动化) 系统。90 年代的 EDA 向着全面设计自动化方向发展。过去传统的设计方法是采用自底向上 (Bottom-up),即先对系统进行结构设计、分块,然后直接进行电路级设计。这种方法使设计者淹没在大量的电路细节中,对系统结构的概念模糊不清。由于设计是分阶段进行的,上一阶段不能预测下一阶段的问题,很难通过局部电路的调整使系统正常工作,结果很难做到设计一次成功。高级 EDA 系统与传统设计系统相比,前者所具有的最重要的设计方式是自上而下 (Top-Down) 和并行工程 (Concurrent Engineering) 的设计方式,将使设计者的主要精力集中于想要设计的产品应是怎么样的 (What),而不是考虑如何才能实现 (How)。即可从系统设计开始向下完成物理级设计。在电子系统设计开发的早期,在提出概念设计的同时即可完成可制造性工艺设计和可测性设计,所有软件并行工作。高级 EDA 系统的主要特征是可用高级语言对系统进行描述,可进行系统级的仿真和综合。

在计算机世界语言的大家族中,近几年来出现了一个引人注目的新成员 HDL (Hardware

Description Language)——硬件描述语言。HDL 对于计算机科学和工程领域来说,可以说是具有某种划时代的意义。这是因为在此之前所有的计算机语言都只是用于描述算法和程序的,而 HDL 则可以用于描述硬件——电子系统。高级 EDA 系统是用 HDL 对电子系统进行描述,通过 HDL 语言的实现,即前言中提到的综合,就可将 HDL 描述的电子系统最终变为可直接用于加工集成电路的版图文件。综合过程有如一般的算法语言的编译过程。所以高级 EDA 系统通常又称为综合系统,也有称之为硅编译器 (Silicon Compiler)。当然,这个编译——综合过程和传统的编译相比要复杂得多。除了具有综合功能外,仿真是高级 EDA 系统的重要组成部分。电子系统的 EDA 完成过程是综合与仿真交替进行的,一般包含有功能级、逻辑级和电路级三级仿真器。

高级 EDA 系统使设计师从大量的设计细节中解脱出来,将精力用于提高系统的性能,从而大大减少了人为错误出现的可能性,提高了工作效率和产品质量,大大缩短设计周期。

高级 EDA 系统对计算机硬件平台较为理想的配置要求大致为:高处理速度,通常为几十个 MIPS (Million Instructions Per Second 每秒百万条指令);大存储容量,主存 32M 或更高,硬盘 1 000M 以上;具有大屏幕、高分辨率显示器;是分布式网络系统;多任务多用户操作系统和多窗口系统。高级 EDA 系统是一个并行设计工程软件环境,一般均以先进工作站作为硬件平台。高级 EDA 系统的 HDL 语言的实现功能意味着硬件系统的自动设计,表明可用计算机代替人设计计算机硬件,这是计算机应用的新的重大课题,也将给计算机科学带来革命性的重大变革。

1.1.2 EDA 工业标准

随着电子系统复杂性和难度的大幅度提高,EDA 技术现已成为解决从芯片到板级乃至系统级设计的最关键技术。因此,新型 EDA 工具不断出现,1992 年整个 EDA 行业软件销售额较 1991 年增长 36.7%,将近 13 亿美元。为在竞争日益激化的电子产品市场中获胜,设计者不仅需要集成的设计环境,而且要求有最先进的设计工具和技术。几乎所有的用户和 EDA 厂商都已认识到,只由一家公司提供给用户所需的全部先进设计工具的时代已经过去。要解决实际问题必须建立行业普遍接受且技术上可行的 EDA 行业标准。按一位 EDA 公司的头面人物的说法是:“Either the CAD Industry standardizes or we die”。

目前已在几个关键领域逐步形成了 EDA 工业标准。

1.1.2.1 VHDL——超高速集成电路硬件描述语言

V 是缩写字母 VHSIC (Very High Speed Integrated Circuit) 的字头, HDL 即为硬件描述语言。VHDL 是由 IBM 等公司自 1983 年开发,后为美国国防部接受为通用的硬件描述语言。1987 年被批准为 IEEE 1076 国际标准。VHDL 作为高级硬件描述语言的标准已得到了公认。本书在第六章中将有一节介绍 VHDL。

1.1.2.2 CAD 框架

80 年代中期以前,EDA 系统主要只是侧重于特定应用目标的设计流程各工具自身的自动化。如设计输入、逻辑综合、逻辑模拟、自动布局、自动布线、测试生成等。那时的 EDA 系统结构,主要强调各工具共享数据。由于 EDA 技术应用和发展的迫切需求,人们意识到提高设计质量,不仅仅是依靠各工具自身的自动化程度高和共享公用数据库,还需要对整个设计流程进行有效管理。因此,单由一家公司提供给用户所需全套先进设计自动化工具几乎是

不可能的, 需要实现异族工具的可集成性。在这背景下就提出了 CAD 框架 (CAD Framework) 的概念。所谓 CAD 框架是为各种 CAD 工具提供一个公用运行操作环境的软件系统, 包括程序库、扩展语言版本管理、设计方法和设计流程管理、用户界面等。通过 CAD 框架, 用户能增强和管理各种 CAD 工具; 创建、组织、管理数据; 形象地看到整个设计过程以及执行设计管理任务。

CAD 框架的基本内容包括: 数据模型及数据 (版本) 管理、设计方法管理、设计流程管理、用户界面等四部分。早期的 CAD 系统, 由于系统中大多数设计工具都是独立开发的, 各有各的输入、输出格式, 使用这些工具进行设计必须通过工具间的转换程序来沟通联系, 由于数据格式不一致, 带来很多麻烦。早期 CAD 系统中的文件转换程序以及管理文本的集合, 可以说是 CAD 框架的雏形。

80 年代中期, 美国 Cadence 公司在 EDA 系统中首先引用 Framework 这一术语。1987 年 Cadence 公司开发了国际上第一个通用的 CAD 框架, 把外部的设计软件工具集成于一体, 并且对设计数据进行管理。CAD 框架涉及到多个厂家的多个 CAD 工具的集成使用问题, 迫切需要一个有效的标准协议, 才能使其发挥高效作用。1988 年美国 CFI (CAD Framework Initiative) - CAD 框架创始协会成立。CFI 主要使命是: 为世界范围的最终用户和厂家的利益, 定义标准界面, 以便于设计自动化工具的集成和设计数据的集成。CFI 框架标准就是界面详细描述文本的一个标准全集。该标准涉及数据交换标准机制、标准元件库、多工具协调机制、工具封装标准机制以及其他自动设计环境标准化的需求。1992 年由 CFI 发起, 在 EDA 公司、各大计算机公司、电子系统制造商通力合作下出版了 CFI 标准草案第一集 (CFI1.0 Draft Standards) 它汇集了设计自动化领域中一些关键界面的工业标准。在此基础上, 于 1993 年 2 月正式颁布 CFI1.0 框架规范, 并制定相应的规范遵从审核程序, 对 EDA 产品是否遵从 CFI1.0 标准进行严格的审核。

CFI1.0 标准, 涉及数个领域。其中之一是设计表述 (Design Representation), 它提供了一个程序接口的定义和信息模式, 以便 EDA 工具能相互交换电气连接信息。另一方面是工具间的通讯, 定义了 40 个通讯联系功能的接口, 可实现工具间的实时通讯, 它与设计表述相结合, 可最终实现来自不同厂家工具间的“交互探针” (Cross-Probing)。CFI1.0 标准还涉及工具嵌入方法, 这是一个定义了工具控制、数据和计算机环境的程序接口, 它包括操作系统、硬件、网络和扩展语言等一系列基本标准集。

上述标准提供了基本的工具可连接性, CFI 已经着手 CFI1.5 和 CFI2.0 版本的开发工作, 这将增加类似层次化和阶段管理等一系列综合复杂的功能。框架体系标准的推出将使用户能混合和匹配来自不同 EDA 厂商的工具, 并构成集成的设计环境。

1.1.2.3 EDIF 电子设计交换格式

如果说框架着重于解决实时的工具通讯, 工具嵌入方式和设计描述等问题, 则 EDIF (Electronic Design Interchange Format) 基本上着眼于静态数据交换的机理。EDIF 综合了多种格式中最佳特性, 格式最早出现于 1983 年, 1985 年完成了 EDIF100 版本, 为门阵列和半导体集成电路设计、布线自动化提供了交换信息的格式。以后推出的 EDIF200 版本形成了不同 EDA 厂家之间交换设计数据的标准格式。但 EDIF200 还不具备 EDA 厂商之间的完全相互兼容性。如某一 EDA 系统中的 EDIF 输入程序可能接收不了另一种 EDA 系统的 EDIF 输出程序。为此, 电子设计自动化公司 (EDAC) 宣布了 EDIF300 标准, 并已得到了所有 EDA 公

司的支持,它将实现在相互竞争的不同厂商的 EDA 系统间也能紧密地交换电子设计数据的网表和逻辑图的信息。这一标准化的进展可能预示着重 EDA 系统间相互不兼容的历史行将结束,而进入新一代的集成 EDA 系统。

1.2 ASIC 异军突起

1.2.1 ASIC 技术的出现

随着超大规模集成电路的问世和迅速发展,电子学进入了一个崭新时代,它的特征是电子技术的应用以空前规模和速度渗透到各行各业和生活领域。现已可能将一个电子系统做到一个几毫米见方的芯片上,自然而然就出现了为完成某一专用任务而设计和生产的集成电路,即为特定功能设计的 IC。80 年代初,这种技术刚出现时只是为了减少印制电路板体积、减少复杂性,后来逐渐正式出现了 ASIC (Application Specific Integrated Circuit)——专用集成电路这一术语。过去几年里很多人还未闻 ASIC,不知其有何用途,现在有关行业中几乎人人都了解,ASIC 时代已经到来。

ASIC 的出现强烈地冲击了电子领域沿用多年的传统设计方法,即设计师选用通用集成电路,然后将它们组合到印制电路板上。现各行各业用户可利用 CAD、EDA 系统自行设计专用集成电路,集成电路生产厂就像硅片印刷加工厂, (Silicon Foundry) 印刷出版各种书一样,提供 ASIC 的加工服务;而大部分书稿——ASIC 设计数据,则由用户提供。集成电路工业现正面临着大变革,就是 ASIC 对批量生产的传统通用集成电路产品市场的冲击。ASIC 虽说是 80 年代才开始兴起,短短几年时间,现已占集成电路市场的 21% 以上,ASIC 的发展前景是无庸置疑的。它代表着集成电路的潮流和未来。近年来,是否采用 ASIC 技术已成为电子产品高技术水平的重要标志之一。

1.2.2 ASIC 的定义

严格说来的 ASIC 目前尚无确切定义,一般广义的说法是分为全定制 (Full - Custom) 和半定制 (Semi - Custom) 两类的集成电路。

1.2.2.1 定制方式

定制方式是由用户参与整个开发过程,要求设计者既要懂得电路、系统设计,又要有半导体物理知识,往往还需自行设计集成电路版图。这种方式开发周期长、费用高,最终产品性能价格比也最高。但随着 EDA 技术的进展,全定制方式将是 ASIC 发展的必然趋势。

1.2.2.2 半定制方式

半定制方式大致可分为标准单元 (Standard cell)、门阵列 (Gate Array) 和可编程逻辑器件 (Programmable logic Device)

1. 标准单元

标准单元集成电路是由设计师采用预先定义好的功能单元,按要求装配设计出所需功能。这些预先定义好的功能单元有中、小规模集成电路,也有大规模的集成电路,它们一般都存放在集成电路厂家的单元库中,可提供给用户使用。

2. 门阵列

门阵列是由集成电路厂家预先提供半成品的硅晶片，通常称之为母片。母片上是由若干元件或基本门或基本单元电路组成的阵列，然后根据用户的要求，完成各基本单元电路的互连设计，实现所需功能。设计完毕，集成电路厂家进一步对母片进行互连加工即成为正式产品。

3. 可编程逻辑器件

主要包括：可编程只读存储器（PROM）、可编程逻辑阵列（PLA）、可编程阵列逻辑（PAL）、通用阵列逻辑（GAL）以及其他可编程器件如：可编程门阵列（PGA）、可编程二极管矩阵（PDM）、可编程多路转换器（PMUX）等。这些可编程器件的特点是可由用户自行编程实现所需功能。目前十分流行的现场可编程门阵列（FPGA），由于不仅可直接用作电子产品，而且还可作为 ASIC 的仿真手段，对 ASIC 的广泛应用和普及起到了很大的推动作用。所以颇受广大用户的欢迎。

1.2.3 我国应大力推广 ASIC 技术

以超大规模集成电路为代表的微电子技术是当代高科技的代表与主角，已成为衡量一个国家工业是否先进、国防是否强大的重要尺度。在目前这个世界上，几乎所有产品的关键属性都是由集成电路决定的，而 ASIC 已逐渐成为集成电路的主流。人们估计到 90 年代结束时，ASIC 可能将成为过时之语，因到那时几乎所有系统都是由针对具体目标、专门定作的 ASIC 实现的。ASIC 已不再是系统设计完成后才考虑的事，系统设计者在系统设计之始就围绕 ASIC 来计划他们的系统。90 年代是 ASIC 时代，这是一个大好时机，人们主张用“do-it-yourself”顺应这股发展大趋势。

在我国更应大力推广和发展 ASIC 技术，应调动各行各业的科技人员发展各种全定制和半定制的 ASIC，使其进入仪器、装置、机器和系统。当然开展 ASIC 技术的关键，不仅靠先进的 EDA 系统，更重要地是在于人才。人才的培养，当然应从大学开始，应在高等院校着手培养既懂系统、电路设计又懂半导体工艺并能熟练掌握应用电子 CAD、高级 EDA 系统进行设计的高技术人才。千里之行始于足下，让我们从学习初级电子 CAD 开始起步，进而逐步掌握高级 EDA 系统，真正实现电子系统设计自动化。这就是我们编著出版这本教科书的主要目的。

1.3 电子线路 CAD 软件简介

前面我们已较为全面地介绍了 EDA 的发展史和现状。EDA 作为一种产业，有很大的市场。目前世界上较为著名的 EDA 厂商有 Cadence、Mentor Graphis、COMPASS、OrCAD、CADAM、Viewlogic、Synopsys 等。不同厂商、不同水平，从初级 EDA 电子 CAD 到高级 EDA 系统都在流行。本书侧重于介绍初级 EDA 工具，因从培养人才角度来说，对于初学者使用自动化程度稍低的 CAD 软件，多作些手工设计，对掌握电子 CAD 设计知识可能会更有好处。更重要的原因是，由于初级 EDA 软件大多以微机为运行平台，价格低廉、较为流行、更容易普及。

下面将对本书中所涉及到的电子线路 CAD 软件的主要功能和特点作一简介。

1. 电路图绘制工具 OrCAD/SDT

OrCAD 是世界著名 EDA 厂商美国 OrCAD Systems 公司推出的电子线路 CAD 软件工具包。SDT (Schematic Design Tool) 是其中完成电路图绘制的软件工具, 可绘制各种形式的电路原理图。采用人机交互直接选择分层式菜单命令的方式进行电路图的绘制。图形库中配备有 3 000 多种不同类型的图形符号, 用户还可利用建库软件对图形库中的数字电路符号进行改造, 以使绘制出的逻辑电路图符合我国 1990 年颁布的国标 GB-4728 的规定。

2. 逻辑模拟程序 OrCAD/VST

这是 OrCAD 系统公司继 SDT 之后推出的另一个 CAD 软件。VST (Verification & Simulation Tools) 是一种具有四值三强度的门级和功能级的逻辑模拟程序。主要用于逻辑电路的分析与验证, 可模拟由一万多个“门”组成的数字电路。它不仅可以分析用 SDT 绘制出来的数字电路的逻辑功能、延迟特性, 而且可反映出电路中可能存在的竞争险象。模拟过程中可根据用户的要求显示电路中任一节点处的信号波形。软件中配备的数字电路特性数据库包括 1 500 多个 TTL 74 系列和上百个 CMOS 4 000 系列的器件特性。用户还可根据需要对库进行扩展。

3. 印制电路板设计软件 OrCAD/PCB

该工具可将用 OrCAD/SDT 软件绘好的电路图转化为印制电路板的布线版图。具有印制电路板手工布局、布线和自动布局、布线功能, 供用户选择。对较复杂的电路, 可先用自动布局布线, 然后再用手工布局布线方式进行调整, 以解决自动布线过程中部分未能布通的走线。OrCAD/PCB 可实现 16 层印制电路板的布线, 印制板可包括 270 个 14 脚引线的集成电路块、6 000 多个焊盘和 16 000 多条连线。

4. 电路模拟程序 PSPICE

PSPICE (Personal simulation program with Integrated Circuit Emphasis) 是世界著名的模拟电路仿真标准工具 SPICE 不同分支中的一种, 由 Microsim 公司出版, 是在微机上运行的电子线路设计模拟和仿真软件工具。能定量分析电路的直流工作点、直流传输曲线、交流放大特性、瞬态特性等。PSPICE 还具有很强的后处理功能, 可对模拟结果进行分析处理。

5. 集成电路设计软件 PMAGIC

MAGIC 是美国加州大学 Berkeley 分校于 80 年代中期推出的超大规模集成电路 (VLSI) 设计系统, 运行环境为 UNIX, 主要用于集成电路版图设计, 是至今仍为广泛使用的优秀软件。PMAGIC 是移植到微机, 运行在 DOS 环境下的版图编辑器, 具有涂层、标准、选项、移动、延伸、复制等操作功能, 还有很强的版图设计规则自动检查与报错功能。PC MAGIC 是一种交互式编辑器, 可用键盘或鼠标等多种途径输入命令, 具有多窗口显示功能等, 所有这些功能都为编辑版图提供了极大的方便。通过学习可使读者基本掌握集成电路版图设计的过程与方法。该软件工具, 不仅可以承担实际工作中的集成电路版图设计任务, 更是 VLSI CAD 初学者良好的辅助教学实验工具。

由于本书的基本目的是想对电子线路各个领域的 CAD 技术作一介绍, 涉及的面广, 几乎覆盖了电子线路 CAD 的主要分支领域, 因此不可能一一作详尽的介绍。所涉及到的电子 CAD 软件, 在具体使用时, 请参考有关使用说明书。

习 题

- 1.1 试述 HDL 的意义和特点。
- 1.2 试解释“全定制”与“半定制”。
- 1.3 Framework 的基本思想及作用是什么？
- 1.4 试述初级与高级 EDA 系统的功能和特点。

参 考 文 献

- [1] [美] Ronald F. Ayres, 解志华译,《超大规模集成电路硅编译和芯片自动设计技术》,电子工业出版社,1991年。
- [2] 沈绪榜,“90年代电子技术预测”《小型微型计算机系统》1990年,第11卷,第11期。
- [3] 刘明业主编,《数字系统设计自动化》,电子工业出版社,1991年。
- [4] 贾新章、郝跃编著,《电子线路CAD技术与应用软件》,西安电子科技大学出版社,1993年。
- [5] 高德远、康继昌编著,《超大规模集成电路——系统和电路设计原理》,西北工业大学出版社,1989年。
- [6] 尤雷编著,《PSPICE (V4.20) 电路模拟设计软件使用手册》,海洋出版社,1992年。
- [7] [美] Carver Mead & Lynn Conway, Introduction To VLSI Systems, Addison—wesley. publishing Company, october 1980.
- [8] [美] Donald E. Thomas, Philip Moorby, The Verilog Hardware Description Language, Kluwer Academic Publishers, 1991.
- [9] [美] Roger Lipsett, C. F. Schaefer and Cary Vssery, VHDL, Hardware Description and Design, Kluwer Academic Publishers, 1989.

第二章 电路辅助设计与模拟

随着计算机技术的发展,计算机辅助设计(CAD)和设计自动化(DA)技术不断应用于电路设计领域的各个阶段。目前,在大部分情况下,电路的设计是由设计者根据设计要求进行总体设计并提出具体的设计方案,然后借助于计算机存储量大、运行速度快的特点,对设计方案进行人工难以完成的模拟评价、设计检验和数据处理等工作。发现有错误或方案不理想时,一般还得由设计者进行修改。这就是说,由人和计算机通过CAD这一工作模式共同完成电路的设计任务。毫无疑问,采用CAD技术可减轻人工劳动,缩短设计周期,同时还可以提高设计质量,节省设计费用。特别是,伴随着微型计算机的迅速发展和普及,尤其是采用80386/486微处理器和80287/387协处理器,使高档微机系统的许多性能已接近工作站,目前已推出了不少可在微机系统上运行的实用的电路CAD软件,这就可在计算机硬件投资要求不大的前提下,促进CAD技术的推广使用。

本章将简要介绍电路设计、逻辑模拟、电路分析的基础概念和基本技术,并介绍一套实用的微机级电路CAD软件,它们是计算机辅助电路原理图绘制软件ORCAD/SDT、通用的逻辑模拟软件ORCAD/VST以及通用的电路分析软件PSPICE。

2.1 逻辑电路的辅助设计

逻辑设计是数字技术中的一个重要课题,对于任何一个可描述的设计过程和控制过程,都可进行严格的逻辑设计,然后用电子器件实现。逻辑设计的任务是从命题规定的逻辑功能出发,经过抽象和化简,进而得到经济合理的逻辑电路。

本节在简单介绍逻辑设计理论、方法的同时,着重介绍中、大规模集成电路和超大规模集成电路在数字逻辑设计中的应用,然后介绍实用的逻辑电路辅助设计工具ORCAD/SDT软件包。

2.1.1 逻辑电路设计

逻辑电路是由具有各种逻辑功能的逻辑部件组成,这些逻辑电路按其输出信号对输入信号的响应不同,可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路。

逻辑电路的设计大体上要经过下述几步:

(1) 分析所设计系统的性能要求。应对系统的控制对象及设计要求作详尽的了解,并仔细地考虑。

(2) 将总的设计任务分成按时序工作或同时工作的若干分任务,每个分任务应具有基本独立的功能。

(3) 分任务确定以后,应逐一设计能完成这些分任务的功能部件,也就是设计能完成指定操作的子系统。这些子系统可以是组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲的产生与整形电路(若与模拟量有关,还应用A/D和D/A转换电路)。若采用中、大规模集成电路来完成这些分

任务, 则部件设计任务的完成变得非常简单, 只需选择合适的中、大规模器件作合理的连接, 并选择合理的参数。

(4) 完成各分任务的子系统设计后, 还要设计一个控制器来协调各子系统的工作, 使之成为一个有机的整体。

上面介绍的逻辑电路设计的各步骤中, 不管是各子系统的设计还是控制器的设计, 不外乎是组合逻辑电路设计、时序逻辑电路设计、脉冲电路设计以及 A/D、D/A 转换电路设计等。下面我们分别介绍组合逻辑电路设计和时序逻辑电路设计。

2.1.1.1 组合逻辑电路的设计

所谓组合逻辑电路, 是指电路在任何时刻产生的稳定输出信号, 仅与当前的输入信号有关, 而与先前的输入信号无关。因此, 组合电路的每一个输出函数可表示为

$$F_i = f_i(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (2-1)$$

式中 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ 为输入信号。

当问题以命题形式给出时, 组合逻辑设计应按下列步骤进行。

- (1) 根据设计要求列出真值表。
- (2) 根据真值表写出逻辑函数表达式, 且化简为最简形式。
- (3) 根据选定的门电路的类型, 将函数转换为所需要的表达式, 并画出逻辑电路图。
- (4) 按实际要求, 对所设计的电路进行综合评价。

这四步中的关键是第一步, 怎样把文字描述的要求, 变成相应逻辑要求的真值表。如果对文字描述没有全面理解, 就不可能列出正确的真值表, 真值表列错, 后面的一切步骤再正确, 其结果也是错的。当然, 要设计出好的逻辑电路还与设计者的经验有关。

以上介绍的是组合逻辑电路设计的一般方法, 从理论上讲, 我们能够设计任何组合逻辑电路。然而, 对于某些设计问题, 仍按上述方法进行设计, 所得之结果虽然正确但却不是最简的。例如, 当设计问题要求只有原变量输入, 而不提供反变量输入, 或者对于一组输入变量要求有多个输出时, 或输入变量彼此有一定约束关系时, 对于这些实际问题, 若不考虑这些具体要求对所设计电路的影响, 则所得结果一般不是最佳的。因此, 上述遇到的实际问题, 对一般设计方法做某些修改, 使所要求的逻辑电路更加简单合理。

例 1 全加器逻辑电路设计

全加器的输入变量有三个: 被加数 A、加数 B 和低位向本位进位位 C_0 ; 输出变量有两个: 相加和 S 及本位向高位进位位 C_1 。其真值表如表 2-1 所示。根据真值表可分别填出相加和 S 及进位位 C_1 的卡诺图, 并从卡诺图中读出 S 及 C_1 的表达式并化简可得

表 2-1 全加器真值表

	C_0	A	B	S	C_1
0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	1	0
2	0	1	0	1	0
3	0	1	1	0	1
4	1	0	0	1	0

续表

	C_0	A	B	S	C_1
5	1	0	1	0	1
6	1	1	0	0	1
7	1	1	1	1	1

$$S = C_0 \oplus A \oplus B$$

$$C_1 = AB + AC_0 + BC_0$$

根据上述两式可画出全加器的逻辑电路图 (图 2.1)

数字系统中许多有规则的重要性的功能部件, 如译码器、数据选择器、编码器、数字比较器、奇偶校验器、计数器、移位寄存器等, 都已作成中规模集成电路, 简称 MSI 电路。

由于 MSI 电路已成为一种功能部件, 这种电路的应用目的非常明确。因此, 逻辑设计者应了解 MSI 电路的工作原理, 熟悉其功能和使用方法。只有深刻了解 MSI 电路所具有的灵活性及多功能性, 才能在设计中以 MSI 电路的功能作基础, 有效地利用它来进行各子系统和系统的设计。

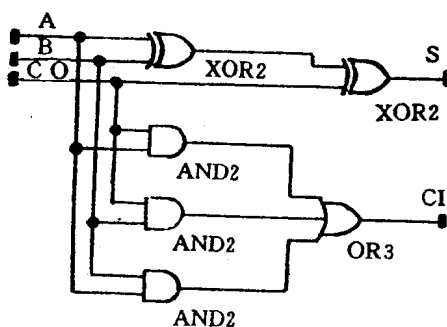


图 2.1 全加器逻辑电路图

前已指出在用 SSI 门电路进行组合逻辑电路设计时, 逻辑设计和元件选择是互相独立的, 设计者的任务是将设计任务的逻辑要求变成真值表, 写出函数式, 通过函数化简, 使实现此函数式的电路所用的门电路数目最少, 且每个门的输入端数也最少, 这就是用 SSI 电路设计逻辑电路时的经济指标。

采用 MSI 集成电路甚至 LSI 和 VLSI 集成电路进行数字系统设计, 不仅具有体积小、功耗低、可靠性高、价格低及易于设计、生产、调试和维护等优点, 而且改变了数字系统设计的经典方法。当使用 MSI 和 LSI 集成电路进行数字系统设计时, 逻辑设计和器件选择有着密切的内在联系, 减少门的数量不再是系统设计的标准。必须以 MSI 或 LSI 电路的功能为基础, 从原系统框图出发, 选择合适的 MSI 或 LSI 电路来实现预定的逻辑功能。进行数字系统直接设计, 然后用 SSI 电路来设计围绕这些 MSI 或 LSI 电路的辅助接口电路, 设计的经济指标是使完成设计所需要的集成电路块的数目最少。

当今使用最广泛的逻辑电路是 TTL 逻辑系列, TTL 系统具有高速 (相对于 MOS 技术)、低功耗 (相对于 ECL、PL 等)、足够大的噪声容限、高扇入、高扇出等优点。目前国内外最常用的 TTL 集成电路系列是 SN54/SN74 系列或简称 54/74 系列。54 系列最先是美国为军事部门生产的, 指标重点是尺寸、功耗和可靠性, 它保证在 $-55 \sim 125^\circ\text{C}$ 的温度范围内正常工作。不久, 代号为 74 系列的价格便宜供民用的 TTL 电路也生产出来了。它是 54 系列的变型, 工作温度为 $0 \sim 70^\circ\text{C}$ 。54/74 系列 TTL 电路不仅在本系列中彼此相容, 而且还有如下一些共同特点: ① 电源电压 $V = 5\text{V}$; ② 低电平输出电压 $V_{OL} \leq 0.4\text{V}$; ③ 高电平输出电压 $V_{OH} \geq 2.5\text{V}$; ④ 抗扰度 0.4V 。