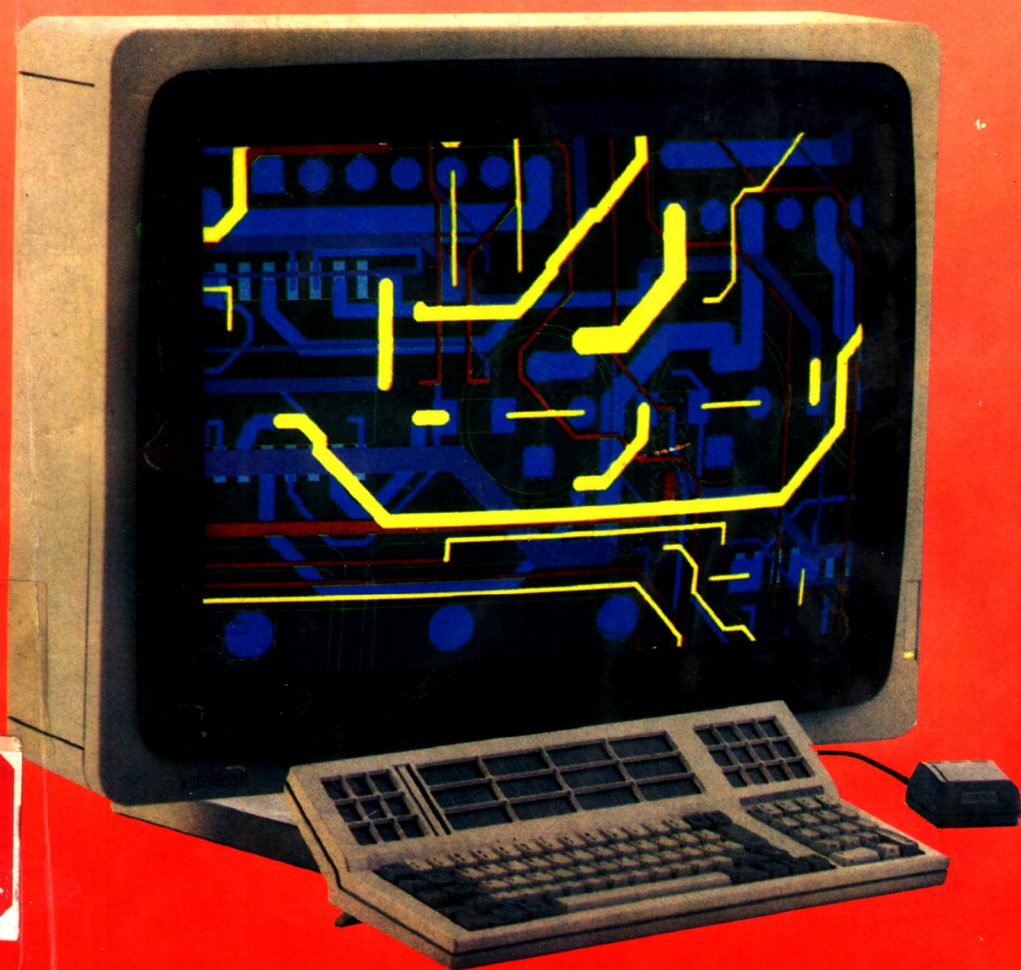


电子工业部CAD技术培训系列教材

电子 CAD 技术基础

李玉山 贾新章 编著



西安电子科技大学出版社

电子部 CAD 技术培训系统教材

电子 CAD 技术基础

李玉山 贾新章 编著

西安电子科技大学出版社

1994

(陕)新登字 010 号

内 容 简 介

本书是电子工业部组织编写的电子 CAD 技术系列教材(丛书)的第一本,内容面向电子行业中系统与产品设计开发人员、工程技术管理及业务领导干部。着重讲述微计算机上普遍使用的电子 CAD 软件工具及设计技术,深入浅出地介绍电子 CAD 系统的基本概念和基本技术,内容包括数字、模拟电路,PCB, FPGA, ASIC 和电子系统的 CAD 技术。对工作站的 EDA 软件也以实例的形式作了简要的介绍。本书是一本电子 CAD 技术的普及、入门性教材。也可以作为大专院校电子类和计算机类专业的教材和教学参考书。

电子部 CAD 技术培训系统教材

电子 CAD 技术基础

李玉山 贾新章 编著

责任编辑 李荣才

西安电子科技大学出版社出版发行

陕西省军区长城印刷分厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 10 8/16 字数 238 千字

1994 年 7 月第 1 版 1994 年 7 月第 1 次印刷 印数 1-4 000

ISBN 7-5606-0336-X/TP·0124 定价:8.00 元

CAD 技术培训系列教材出版说明

目前,在我国正出现了一个推广应用 CAD 技术的热潮,为了配合做好电子行业 CAD 技术的推广应用和培训工作,帮助广大工程技术人员尽快掌握 CAD 基本技术,以便加快我国电子工业的发展,实现电子工业的发展战略,由电子工业部领导并组织有关专家教授编写了一套 CAD 技术培训系列教材。全套教材共 7 本,计 300 多万字,其中电子 CAD 技术共 3 本,它们是:①《电子 CAD 技术基础》,②《电子电路 CAD 技术》,③《电子系统及专用集成电路 CAD 技术》;机械结构 CAD 技术共 4 本,它们是:①《机械 CAD/CAM 技术概论》,②《机械 CAD 技术基础》,③《机械 CAD 应用与开发技术》,④《模具 CAD/CAM 技术》。

这套教材的培训和读者对象主要是面向全国电子行业及其有关行业从事电子系统与电路设计和从事电子产品机械结构设计的工程技术人员,同时也包括相应行业的有关领导和技术管理干部。各单位在组织培训时,可根据培训对象和培训目的与要求选择一本或几本,作为培训教材。这套教材也可作为有关工程技术人员自学用书以及高等学校相关专业学生的教学用书。

这套教材的特点是既注重内容的先进性,又突出其实用性和针对性;既介绍 CAD 技术的基本概念,又重点介绍可供实际运行的 CAD 软件及其具体使用方法。全套教材以微机上的 CAD 软件工具为主,同时也以实例形式对工作站的 CAD 软件进行了介绍。书中附有习题和思考题,可供学员边学习边上机练习。这套教材层次清楚,结构合理,内容由浅入深,循序渐进,符合认识规律。这套教材还配有培训教学计划和教学大纲,每本书的培训对象、培训目标和培训内容具体明确,非常适合“分层次”、“分类型”组织培训的需要。

在这套教材的编写出版过程中,得到了电子工业部的有关领导,部属各高等院校的有关专家教授的大力支持,在此,我们对他们一并表示衷心的感谢!由于 CAD 是一门迅速发展中的技术,书中难免有不完整甚至错误之处,恳请读者和各有关方面提出宝贵意见,以便再版时作进一步修改。

电子工业部 CAD 技术培训系列教材编审委员会

一九九四年五月

电子工业部 CAD 技术培训系列教材编审委员会名单

主任委员	姚志清		
副主任委员	叶尚辉	王豪才	
	杨万海	叶树文	
秘书长	徐玉彬		
副秘书长	肖德印		
委	姚志清	叶尚辉	王豪才
	杨万海	叶树文	谢仕聘
	孙文焕	李玉山	李荣才
	贾新章	李泉永	沈裕和
	董云耀	肖德印	李爱芳
	徐玉彬		

序

随着电子计算机及其相关技术的发展,一门崭新的技术正在世界范围内兴起,这就是计算机辅助设计(CAD)技术以及以CAD为基础的计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助检测(CAT)和计算机集成制造系统(CIMS)等(为方便计,以下统称为CAD技术)。

CAD技术是电子信息技术发展的杰出成果,它的发展与应用正引发着一场工业设计和制造领域的革命。它不仅深刻地改变着产品设计和制造的传统方式,而且还直接影响到企业生产管理的模式以及商业对策,给企业带来了巨大的经济效益。由此,CAD技术越来越受到世界各国的普遍重视。在工业发达国家,CAD技术已进入普及阶段,商品软件已趋于成熟,被广泛应用在机械、电子、航空、航天、汽车、造船、建筑、轻纺等许多行业。在我国,CAD技术的开发和应用始于七十年代中后期,十多年来,经过广大科技工作者的努力,也取得了可喜的成果和明显的效益。实践表明,推广和应用CAD技术对改造传统产业、发展新兴产业、提高劳动生产率,降低工程造价与产品成本、增强国际竞争能力等都有着巨大的推动作用。当今,CAD技术及其应用水平已成为衡量一个国家的科技现代化和工业现代化水平的重要标志之一。

改革开放以来,我国的电子工业取得了长足的进步,现已进入了一个新的发展时期,面临着新的机遇和挑战。为了尽快实现电子工业的发展战略,努力把电子工业建成“国民经济支柱产业”,大力开拓国内和国际市场,积极参与国际竞争,电子工业部已决定“八五”、“九五”期间,在全国电子行业大力开展CAD技术的研究开发与推广应用工作。这是依靠科技进步振兴电子工业的一项重要任务,也是一条必由之路。要把这件大事落到实处,并能取得实效,有一系列的工作需要我们去完成,但当务之急就是要有计划地对各级领导干部和广大工程技术人员进行CAD技术培训,这是摆在我们面前的一项十分紧迫的任务。

为了做好CAD技术培训工作,需要有一套合适的教材。为此,由电子工业部领导组织有关人员着手统一编写了CAD技术培训系列教材。在编审委员会的专家教授和作者们的共同努力下,经过一年半的卓有成效的工作,这套共7本、300多万字的系列培训教材,现在终于能和广大读者见面了。这是一件非常有意义和值得庆贺的事情!它的出版发行必将进一步推动电子行业CAD技术培训工作的开展;对CAD技术的普及、推广和应用也必将会起到积极的促进作用。

这套系列培训教材，内容先进，实用性和针对性很强。它系统地阐述了电子 CAD 和机械 CAD 技术的基本概念、技术和软件，并简要地介绍了国内外关于 CAD 技术应用现状及发展趋势。这套教材层次清楚，结构合理；由浅入深、循序渐进，每本教材的培训对象和培训目标明确，能较好地满足对电子行业的有关工程技术人员以及领导和管理干部进行“分层次”、“分类型”培训的需要。

当今世界，科学技术突飞猛进，以科技为先导，依靠科技发展经济，已成为我们时代的特征。经济的竞争实际是科技的竞争，但归根到底是掌握先进的科学技术人才的竞争。我们要以高度的责任感，强烈的使命感和紧迫感全力抓好 CAD 技术的开发应用工作，全力抓好 CAD 技术的培训工作，保证培训任务的落实和完成。我们坚信，只要有了一批掌握 CAD 技术的人，CAD 技术在我国电子行业开花结果就指日可待了！

电子工业部副部长

全国电子信息系统推广办公室主任

1994 年 4 月 10 日

曲唯枝

前 言

本书是电子 CAD 技术系列教材的第一本,全面介绍电子 CAD 技术的范畴和功能。内容包括电路图设计输入、数字电路设计、模拟电路设计、印刷电路板设计、现场可编程门阵列(FPGA)设计、专用集成电路(ASIC)设计、数字系统设计中的 CAD 技术。

本书具有以下几个特点:

1. 涉及的面较广,它的内容覆盖了《电子电路 CAD 技术》和《电子系统及专用集成电路 CAD 技术》两书的内容,而篇幅仅为后两者的四分之一,是一本取材广泛的缩简本。特别适合于初学者作为应用 CAD 技术进行电子设计的入门教材,同时也可作为技术管理人员掌握电子 CAD 技术的普及读物。

2. 与《电子电路 CAD 技术》、《电子系统及专用集成电路 CAD 技术》在取材范围上有交叠,但内容上力戒重复,重点在于体现入门和普及的特色,软件也以低版本为主。

3. 本书突出实用性,着重于电子 CAD 技术应用中基本知识和基本概念方面的阐述,并重点介绍几种典型的 CAD 软件工具,包括 OrCAD、PSpice、FPGA 开发系统、Tanner Tools、Comdisco、Synopsys 等,内容以微机上的软件为主。通过本书的学习,除了对电子 CAD 技术有一个全面了解之外,还可以重点掌握数字电路、模拟电路、现场可编程门阵列的 CAD 技术手段。书中给出的习题与思考题主要是为此目的而编写的。在书末列出了中英文技术名词索引,旨在为读者查询有关内容提供方便。

4. 本书内容集中于电子 CAD 技术本身,对于所需的预备知识未做过多的介绍。在学习本书前,读者应具有计算机和电子设计这两方面的初步知识。VHDL 语言及系统设计作为 EDA 发展中的最新进展,也在本书中以一定的篇幅知识介绍。经过学习,读者对电子 CAD 技术的认识水平应有一个较大的提高。

本书在多次校内外授课、办班教材的基础上编写而成。除作为技术培训教材之外,也可以作为工科院校电子、计算机类专业本科、研究生的教材和参考书,总的授课学时数为 32 学时。

本书由李玉山任主编。第一、第六至第八章由李玉山编写,第二至第五章由贾新章编写。

本书由杨万海教授担任主审。作者对审阅人员及有关专家、教授所提出的修改建议表示由衷的谢意。

电子 CAD 技术是一门迅速发展中的技术。由于作者水平所限,是会有错误和不足之处,恳请读者在使用本书的过程中对所存在的缺点和错误提出批评指正。

编 者 1994 年 3 月于
西安电子科技大学电路 CAD 研究所

目 录

第一章 电子 CAD 系统概论	1
§ 1.1 CAD 与电子 CAD 技术	1
§ 1.2 电子 CAD 技术的发展	4
§ 1.3 EDA 工具的硬、软件平台及配置	7
§ 1.4 电子 CAD 技术的范畴与功能	10
§ 1.5 EDA 软件工具介绍	14
习题与思考题	17
第二章 电子电路设计输入及绘图 CAD	18
§ 2.1 电路图设计输入方式	18
§ 2.2 电路图绘制软件包 OrCAD/SDT	19
§ 2.3 电路图绘制软件 DRAFT	23
§ 2.4 电路图与其他 CAD 软件的接口—电路连接网表文件	29
§ 2.5 电路图绘制软件包 PROTEL(绘图)	31
§ 2.6 元器件图形符号库	33
§ 2.7 元器件图形符号国家标准	37
§ 2.8 工作站级电路图绘制软件	46
习题与思考题	48
第三章 数字电路的逻辑模拟	49
§ 3.1 数字电路 CAD 与逻辑模拟	49
§ 3.2 逻辑模拟软件包 OrCAD/VST	51
§ 3.3 逻辑模拟软件 SIMULATE	54
§ 3.4 逻辑单元特性数据库	62
§ 3.5 工作站级逻辑模拟软件	65
习题与思考题	67
第四章 电路模拟	68
§ 4.1 电路计算机模拟基本原理	68
§ 4.2 PSPICE 程序的输入描述语言	72
§ 4.3 晶体管模型和模型参数	80
§ 4.4 数模混合模拟	86
§ 4.5 电路的统计模拟和优化设计	88
§ 4.6 集成运行环境	91
§ 4.7 工作站级电路模拟程序	92
习题与思考题	93

第五章 印刷电路板 CAD 技术	94
§ 5.1 印刷电路板的设计方式.....	94
§ 5.2 OrCAD/PCB 设计软件包	96
§ 5.3 PROTEL(PCB)设计软件包	99
§ 5.4 Mentor Graphics/PCB 设计软件包	102
习题与思考题.....	104
第六章 现场可编程门阵列芯片设计	105
§ 6.1 概述	105
§ 6.2 FPGA 品种介绍	108
§ 6.3 FPGA 内部结构及外特性	109
§ 6.4 电路设计输入与仿真	113
§ 6.5 FPGA 版图设计	114
习题与思考题.....	123
第七章 专用集成电路 CAD 技术	124
§ 7.1 ASIC 及版图基本知识	124
§ 7.2 电路设计及 EDIF 输出格式	126
§ 7.3 半定制 ASIC 设计	131
§ 7.4 ASIC 版图设计工具及 CIF 输出格式	133
§ 7.5 ASIC 测试和可靠性	136
习题与思考题.....	138
第八章 数字电子系统 CAD 技术	140
§ 8.1 系统综合设计概述	140
§ 8.2 数字信号处理系统 CAD 技术.....	142
§ 8.3 VHDL 语言及设计应用	145
§ 8.4 VHDL 设计 CAD 环境	147
习题与思考题.....	150
中英文名词索引	151
参考文献	156

第一章 电子CAD系统概论

本章从几个角度勾画出电子 CAD 系统的概貌。首先论述了一般的 CAD 技术与电子 CAD 技术的关系；再介绍电子 CAD 技术的发展和历史回顾。电子 CAD 离不开计算机，包括硬件、软件，所以本章对硬、软件平台及配置也作了一定的介绍。电子 CAD 技术不是摆设，也不是奢侈品，它是一种实用性技术，用户最关心的还是电子 CAD 能为设计师做些什么，这就是本章所介绍的功能和技术范畴。最后对比较流行的电子 CAD 软件工具进行了概述。

本章是后续各章乃至本系列教材的后续两本的前言和导论，力图使读者对电子 CAD 技术有一个整体的概念和认识。本书是这套电子 CAD 技术系列教材的第一本，它的宗旨有两个：一是使读者尤其是技术管理干部对电子 CAD 技术有个全局性的了解；二是使读者包括设计师们掌握电子 CAD 技术所包含的诸多方面的基础和入门知识。涉及面广，又力图深入浅出。根据总体安排，后续两本将分专题详细讲述，读者可以根据实际工作需要的情況重点学习有关章节。

§ 1.1 CAD 与电子 CAD 技术

一、广义 CAD 技术

CAD (Computer Aided Design, 计算机辅助设计) 技术是计算机发展中重要的实用化成果，它引发了各个行业设计领域中的一场革命。计算机的辅助使得工程设计师们从繁重的脑力劳动中开始解脱，它使技术人员能有更多的精力从事创造性的活动。从产品的作业流程看，设计和制造是相互关联的一个完整过程，与此相适应，计算机辅助也正在更多地进入制造工序。60 年代初，美国麻省理工学院的 APT (自动编程工具) 标志着 CAM (Computer Aided Manufacturing, 计算机辅助制造) 的开始。人们逐渐认识到，在设计和制造的各个环节，可以反复地使用系统的一次性输入信息及其处理后的二次信息，从而使计算机辅助渗透到设计和制造的全过程，这就是 CAD/CAM。如果将生产信息、管理信息等加以综合利用，还可以进一步构成 CIMS (Computer Integrated Manufacturing System, 计算机集成制造系统) 以实现整体效益的集成化和智能化的制造系统。这其中包括从市场预测、产品设计、加工制造、检验、销售以及售后服务全过程，即计算机辅助了产品的整个生命周期。

CAE (Computer Aided Engineering, 计算机辅助工程) 的概念是美国于 70 年代末首次提出的。其含义为：从产品的方案设计 (或称概念设计) 阶段起，在计算机上建立的不仅是元件、零件级的而且是产品整机整体的系统模型。设计过程中按照实际使用条件进行仿真，一方面确定其性能，一方面确定各部分的设计型式。可以认为 CAE 是 CAD/CAM 的一部分主要内容。

CAT (Computer Aided Test, 计算机辅助测试) 技术是 CAE 的一部分，是在产品开发和生

产的过程中用来对成品或半成品进行测试、检验的。CAT 通常要和一定的硬件测试平台接口相配合,经过采集、控制、处理、分析、解释、输出来实现整个测试功能。

上述种种计算机辅助功能的概念,通常仍然被笼统地称之为 CAD,本书以下就采用 CAD 技术这一名称。CAD 对于设计和制造业所产生的深远影响在于:

- (1) 它规范了人们在不同行业设计和制造过程中的知识,使设计更具有科学性;
- (2) 它改变了传统的设计方式、工作内涵和质量,极大地提高了生产力;
- (3) 它影响了企业的研制、生产和管理模式,提高了企业的经济效益和市场竞争能力。

CAD 技术被评选为 60 年代以来十大杰出技术成就之一;92 年美国将“设计自动化”确定为十一项关键技术之一。CAD 技术是电子信息产业发展的杰出成果,同时又是电子信息技术的一个重要组成部分,而电子 CAD 技术则是 CAD 技术的一个重要分支,其功能是用 CAD 技术来设计新的电子系统、电路与集成电路,包括计算机,所以有人说电子 CAD 是“用计算机设计计算机”。从形式和内容上看,这是电子产业发展良性循环中的一种自然回归和反馈。然而令人遗憾的是从国内目前 CAD 的应用和普及程度来看,电子 CAD 技术落后于机械、工程以及其他方面的 CAD 技术。国外电子 CAD 的饱和度为百分之九十以上,而我国电子 CAD 的饱和度尚不足百分之三,并且主要集中在集成电路研制部门和生产厂家。

二、电子 CAD 技术引发电子设计的革命

电子 CAD 技术的发展趋势是 EDA(Electronic Design Automation, 电子设计自动化)技术。从目前看,这两个名词的概念是一致的,本书中将不加区别。电子 CAD 技术指的是以计算机(主要是微计算机和 workstation)硬件和系统软件为基本工作平台,继承和借鉴前人在电路和系统、数据库、图形学、图论与拓扑逻辑、计算数学、优化理论等多学科的最新科技成果而研制成的商品化电子 CAD 通用支撑软件和应用软件包。它旨在帮助电子设计工程师开发新的电子系统与电路、IC(Integrated Circuit, 集成电路)以及 PCB(Printed Circuit Board, 印刷电路板)产品。

现在电子整机系统和芯片的规模越来越大,很难想象一个新产品的研制能够抛开 CAD 手段而完全依靠过去人工用烙铁搭接试验板的办法。试想,如果不用 CAD 手段来开发一种彩色电视机的新功能芯片,在投片之前,对新型芯片的性能无法验证。冒险试投出来后,可能不合格,这样不但造成很大浪费,而且仍然无法决定应该如何改进。使新的彩电系统难以问世。这种局面已经严重地制约着我国工业产品的更新换代。

大量使用 CAD 工具的主要是电子系统与电路的设计师们。这些人以往开发过多种大量的电子整机、部件、电路、印刷板和芯片,具有丰富的设计经验和知识。如今给他们以新的设计手段,采用新的设计工具,正是如虎添翼。从这个意义上讲,设计、制造整机的厂家尤其需要转变立足点和设计观念。我们国家电子工业要发展,就必须大力开展系统与电路的正向设计。正向设计通常采用 Top - Down(自上而下)的设计思路,在运作时从系统设计入手,实现从电气到物理设计、测试的一体化。包括方案验证与设计、电路与印刷板设计、ASIC(Application Specific Integrated Circuit, 专用集成电路)设计都由整机单位的电路与系统设计师们采用 CAD 手段来完成。这是国际上电子行业设计的大趋势,电路与系统设计师们需要增强参与意识。在产品的研制阶段,采用计算机放置元件,布置走线,生成网表代替

了烙铁的硬连线；计算机上模拟输入输出波形代替了信号源和多踪示波器；在产品问世前已经清楚地了解到产品的性能。当然电子 CAD 的含义远不止如此简单的替代关系，它是在系统方案、电路与 PCB、ASIC 设计三个层次的设计领域中的重大变革。我们所编写的这套教材的读者对象主要就是这些工程技术人员。从知识结构上看这类人员需要再学习和接受一些课程内容的培训，包括计算机硬、软件知识，微电子方面的基本知识，CAD 工具使用知识等等。培训之后这些人必将会大有作为。

以前新产品的开发过程其手段可以说是“硬碰硬”，即用元件、导线、集成块、印刷板、焊锡、烙铁、机壳、电源、信号源、示波器等“硬”的条件去设计一个新的“硬”电路与系统。而 CAD 手段的主要工作方式是以“软碰硬”，在计算机上调用元、器件库，连线画图，编制激励信号文件，确定跟踪点，调用参数库以及模拟程序等“软”的手段去设计“硬”电路。

三、以渐进方式推广应用 CAD 技术

计算机硬、软件的完善和功能的迅速更新换代使得电子 CAD 有了坚实的基础和纵横驰骋的天地，各种 EDA 工具包的不断推陈出新为电子设计师们提供了得心应手的设计手段。电子 CAD 技术的载体是一整套体现算法的软件，其硬件平台主要是微计算机和 workstation。从国外的趋势看，硬件功能越来越强而成本却不断下降，软件功能也在升级，但其价格却在逐渐上升。这样，一套电子 CAD 系统中软件价格已经大大地超过了硬件的价格，现在由于微机的普及和优越的性能，以 MS DOS 及 Windows NT 为软件平台的电子 CAD 工具日益增多。由大公司推出的大型软件包的功能也越来越强。为了迅速推广电子 CAD 技术的应用，比较合理的步骤是从微机上的电子 CAD 软件起步，首先开展数字电路、模拟电路、PCB 板以及 FPGA(Field Programmable Gate Array, 现场可编程门阵列)芯片的设计工作。从长远来说，微机和工作站软件将会长期并存，相辅相成。

四、系统设计师与 ASIC 设计

电子 CAD 得以蓬勃发展的原因还在于 VLSI(Very Large Scale Integrated Circuit, 超大规模集成电路)工艺的逐渐成熟与稳定，IC 的制造正在逐渐向“硅印刷”的水平过渡。设计师们只要提供 IC 的版图磁带，IC 厂家就将返回合格的 IC 芯片，概括地说，就是 IC 的设计与制造可以独立地完成；其次，随着 CAD 工具的完善，在版图一级采用了标准单元和门阵列等半定制设计手段，从而又促成了电路设计和版图设计可以独立进行。这样，真正的电子系统与电路 CAD 技术在发展中就有了坚实的基础，免除了许多涉及 IC 底层设计和制造中的后顾之忧。在电子 CAD 技术发展今天的形势下，设计师们只要熟悉所设计的系统、PCB 板、数字模拟电路，自己利用 CAD 手段就可以设计出具有系统、子系统集成水平的数字、模拟 ASIC 芯片电路来。

ASIC 电路的设计在电子系统与电路的设计中已经占有举足轻重的地位。这一方面是因为在电子信息行业中，大量具有创新的高科技成果表现为新的算法，而这些算法如果要形成电子新产品，将算法用硬件实现已经成为大势所趋，这是 ASIC 电路的一种来源。另一方面则来自电子系统、子系统的集成化需求。据悉，国外电子产品集成为 ASIC 的品种已经有十多万种，这是国外电子产品具有竞争力的重要原因。实现集成化的优越性是多方面的：和软件实现方案来比，提高了速度，改善了实时性；缩小了体积，有利于发展便携式设

备；对于批量生产的产品降低了成本；提高了可靠性，因为 ASIC 减少了外连线和焊点；降低了功耗，这在许多产品中至为重要；保护了知识产权，增强了保密性。今后，纯粹的电子产品仿制已经是此路不通，必须开展正向设计，而 ASIC 的设计则主要是整机单位研究所和工厂的责任，所以尤其要增强系统与电路设计师们的主角意识。面对当前电子 CAD 技术的蓬勃发展，整机单位和系统设计师们的抉择是：抓住机遇，迎接挑战，发扬优势，弥补不足，迅速赶上。

§ 1.2 电子 CAD 技术的发展

一、计算机图形学与版图设计

电子 CAD 技术与一般的 CAD 技术一样，近二十年来得到飞速的发展和普及。在发展的初期，电子 CAD 和一般 CAD 都与计算机图形学的发展有着不解之缘，它们都是从计算机绘图开始的。在电子 CAD 中，需要作图的主要是 IC 版图(layout)和 PCB 版图两个方面，而电原理图、方框图则与此不同。如前所述，VLSI 工艺的成熟导致了 IC 制造和设计的独立，早期的 IC 版图是用手工绘制的，精度较差，不容易实施统一的标准，设计的继承性不好，尤其是当 IC 规模变得越来越大时情况更严重。其规模之庞大可以用下述例子来比拟：设想让你手工绘制一张西安市地图，而且要求你精确地绘制出每个建筑物房间内部的摆设，显然这将是手工方式难于胜任的。规模的迅速膨胀使得 IC 版图设计工作成为手工方式难于驾驭的浩瀚工程。

早期的计算机绘图能力比较初步，只能画直线、矩形。随着时间的推移，版本越来越高，功能也越来越强。微机版本的图形编辑软件已经可以画圆环、圆弧、折线、多边形等等。

电子设计领域中与 IC 版图比较类似的还有 PCB 版图的绘制，这也是电子系统与电路设计师们最容易上手的一种电子 CAD 技术，发展也比较早。现在国外流行一种类比说法，就是 90 年代的电子工程师不会设计 ASIC 就像是 60 年代的电子工程师不会设计 PCB 一样。它们都是属于电子工程师在对应的时代所应知应会的技术。从这当中我们可以看出，PCB 是发展较早的技术，因为它涉及到的也是计算机图形学。

IC 版图与 PCB 的 CAD 有许多相似之处，它们都是以绘图为主，都要有图形数据库的支持，与一般的机械 CAD 也有许多相通的地方。但是电子 CAD 的作图还有些特殊之处，包括需要对元件进行布局布线；要有一定的电气设计规则；要有一定的标准输出格式以及不同格式之间的转换；要解决、分析布局布线中所引起的电气及性能方面的问题；需要考虑版图面积及时钟速度等等的优化问题；需要研究从电原理线路图、逻辑图到版图或 PCB 的自动生成和校验问题；分布参数及线延迟的提取问题等等。总之这些特点形成了电子 CAD 区别于其他 CAD 的自身特殊性。换言之，电子 CAD 与一般 CAD 有共同的渊源，但发展至今，已经是大相径庭而独树一帜了。

二、计算机辅助分析

电子 CAD 技术还有另一个几乎是同时作为起源的重要分支 CAA(Computer Aided Analysis, 计算机辅助分析)技术，它与其他 CAD 不同，一开始就带有鲜明的电子特色。比较典

型的代表就是 SPICE(Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis, 主要用于 IC 的模拟程序)软件。SPICE 是一个通用电路模拟程序,可以用来对电路进行非线性直流分析,非线性瞬态分析和线性交流分析。以后的 SPICE,包括应用比较普遍的 PSpice(PC 机上的 SPICE),又增加了电路容差分析(利用 Monte Carlo 方法)、最坏情况分析,数字模拟和数模混合模拟。总之 SPICE 还是以分析为主。所谓分析,就是对已有的电路进行各种性能分析。分析是相对于综合而言的,它是电子 CAD 发展的初期阶段。综合是根据设计师们在系统设计一级的思路和概念,一步步地给出更详尽的低层次设计结果,它是 CAD 的高级阶段。

电子 CAA 与其他 CAD 的差别比较大,其出发点不是计算机图形学,基本模型不再是实体模型(包括二维、三维世界),而是电子系统中元器件以及电路世界中的信息模型,电路方程和矩阵求解,这是电子 CAD 固有特点所决定的。SPICE 可以进行精细的电路分析,但规模难以做大。若干年来,建立在门级、寄存器级模型基础上的数字电路模拟得以迅速发展。随着计算机硬、软件资源条件的改善,数字电路 CAD 的规模越来越大,在微机上已经可以对几千门、几万门的电路进行模拟。近年来又增加了故障模拟、可测性设计、热分析、串扰分析、综合与优化设计等许多内容。

三、电子 CAD 技术走向成熟和标准化

以 IC 版图、PCB 版图和 CAA 为电子 CAD 的始端,经过三十年的发展,现在的电子 CAD 已经成为电子领域多功能、多层次的软件工具。它可以在电子系统级、电路和 PCB 板级、ASIC 和 IC 版图级进行数字电路、模拟电路的各种分析与综合。电子 CAD 工具的完善主要是计算机迅速发展的产物。同时也可以看出,计算机图形学、数据库的发展推动了 IC 版图、PCB 版图设计的发展。从设计的角度来看,电子工程师在设计电路与系统时即使用手工方式也需要建模、解方程、借助计算尺算出一批性能参数和设计数据。由计算机来完成这些工作体现了发展电子 CAD 的基本需求。技术进步的推动力和工程需求的牵引力交织成波澜壮阔的电子 CAD 发展史。

电子 CAD 技术的发展也与电子技术的进展保持同步前进。电子技术经历了电子管、晶体管、通用集成块、VLSI 芯片及 ASIC 芯片几个器件为代表特征的发展阶段。而现在,任何一个数字系统,都可以用很容易得到的微处理器、存储器 and 可编程器件三类标准元件来实现。在晶体管阶段,PCB 版图的绘制开始发展,早期的软件需要先打印成黑白图,再照相制版,例如 Smart Work 就是这样。现在的 PCB 软件通常是直接驱动光绘机而省略了照相制版这一步骤。早期的 CAA 所分析的电路主要是电阻、电容、电感、电源、二极管和三极管。到了通用集成块阶段,数字电路和模拟电路的仿真都有了长足的进展。比如很流行的 OrCAD 对于 74 系列和 CMOS 4000 系列都有现成的图形库和参数库。这期间的 IC 版图设计工具有 Magic、Electric 等软件。超大规模集成电路时代的到来极大地刺激了计算机的更新换代速度。计算机提供了更大的容量、更快的速度、更强的功能和丰富的基本系统软件,为电子 CAD 提供了充分发挥的舞台。这时的硬件和系统软件也逐渐趋向标准化,比如微机上的 Intel 80×86 系列芯片和 MS-DOS 操作系统,工作站上的 RISC 体系结构,UNIX 操作系统, GKS 和 PHIGS 图形软件, X-Window、窗口系统, Motif 用户界面开发工具,以太网协议等。这期间电子 CAD 软件也逐渐地形成一些标准,如 Framework 框架结构,用于版图输出的 CIF(Caltech Intermediate Format, 加州理工中介格式),用于逻辑电路网表的 EDIF

(Electronic Design Interchange Format, 电子设计转换格式)200、300 等等。

四、电子 CAD 技术的特殊性

系统设计和 ASIC 设计是电子 CAD 技术发展至今的两大特征。为了适应形势的发展,目前出现了用于数字电路(主要是 ASIC)设计的 VHDL(Very high speed integrated circuit Hardware Description Language, 超高速集成电路硬件描述语言)。这是一种在数字硬件设计时采用的描述语言,它主要用于设计超大规模的硬件系统与电路。没有它,当今的 VLSI ASIC 设计则难以进行。语言的诞生标志着解决电子设计难题的重大突破,它独立于各种电子 CAD 手段之外,便于学习、便于交流、便于继承、便于管理。起先,它被确定为美国国防部 Mil std 454L 标准,随后于 1987 年将其确认为 IEEE 1076 标准, VHDL 已经超越国界成为一种统一的国际标准语言。美国国防部已经规定所有牵涉到 ASIC 设计的合同都要用 VHDL 语言设计和存档。

在 ASIC 蓬勃兴起的形势下, FPGA 异军突起,其发展势头最为猛烈。美国 Xilinx 公司在这方面起步早,芯片的规模、速度、功能和实用性都比较好。FPGA 是 80 年代中期出现的可编程门阵列器件。系统与电路设计师在新产品开发研制过程中,可能要反复试验 ASIC 的方案,这时最好买一片 FPGA 芯片,在自己的 FPGA 开发系统上不出实验室就可以用那片 FPGA 反复设计、实验出多种不同的 ASIC 实现方案。设计好后立即烧制并进行系统联试,如不满意,用紫外线灯擦除后再重新设计、再烧制、再进行系统联试,直到满意为止。如果有一定批量,可以在上述基础上进行设计,转换为真正的 ASIC 并与 IC 厂家联系投片加工的后工序问题。

电子 CAD 与一般 CAD 不同的地方在于和加工工序接口比较简化和规范。将 EDIF 格式软盘交给 PCB 生产单位即可加工成 PCB,将 CIF 格式磁带交给 IC 厂家即可进行 ASIC 的投片加工。电子 CAD 中比较重要的环节是电子 CAT,这一点与一般机械 CAD 中的 CAT 也有所不同。电子 CAT 与电子 CAD 密不可分。要设计 ASIC,必须做故障覆盖模拟。下面解释一下什么是故障模拟。假设有一片数字电路 ASIC,在对其进行测试时一定要充有信号源功能的测试输入信号矢量。如果真用这一信号去测试 ASIC 芯片,芯片中有的门的状态就不一定都能被测试到。在加工过程中如果该门出问题,就很难从外部用这一测试矢量通过测试来发现这一故障,这是因为用这一测试矢量时,故障没有被百分之百的覆盖的缘故,故障模拟就是事先用 CAD 手段给出对应某一测试矢量的芯片故障覆盖率。要求高的场合需要有百分之百的故障复盖率,为此又提出了可测性设计的问题,以保证 ASIC 芯片百分之百可测试,这就需要在电路设计时加入可测性设计。

其他热分析、噪声及串扰分析、容差分析、可靠性分析等等都是在实践过程中根据需要逐渐完善的一些 CAA 手段。近年来电子系统的实时仿真技术也得到了较大的发展。它使得设计师们预先可以知道真实物理环境中的实际特性,以便在物理设计过程中随时修改设计,这是实现并行工程的前提。

五、并行工程与框架结构

并行工程与 Top - Down 的设计策略一起构成现代电子产品新式设计方法的两大特征。实现的前提条件就是要有先进的 EDA 工具。根据美国防卫分析研究所(IDA)R - 338 报告,

所谓并行工程(Concurrent Engineering)是指:一种系统化、集成化、并行产品及相关过程的设计方法(相关过程包括制造和维护)。这一方法使得开发者从一开始就要考虑到产品生存周期的所有方面,包括质量、成本、开发时间及用户的需求等等。为了统一标准,几年前成立了 CFI(CAD Framework Initiative, CAD 框架结构创始协会)组织,这是电子 CAD 工具从总体上适应并行设计(Concurrent Design)所采取的重要步骤,目前主要的电子 CAD 工具都采用了框架结构(Framework)。所谓 Framework,它是介于操作系统和应用软件之间的一种软件层次。是一组描述用户如何配置和使用 EDA 软件包的规范,以利于将各种工具集成为一个容易管理的环境。有了 Framework,就可以支持任务之间,设计师之间以及整个产品开发过程中的信息传输与共享。可见 EDA 的发展不单单是设计手段的变更,而且引发了设计方法上的一场革命。

§ 1.3 EDA 工具的硬、软件平台及配置

电子 CAD 技术的应用与其他 CAD 技术一样,通常分为三个层次。处于最低层的是基本硬件和系统软件平台,可以理解为这就是通用的计算机所必须具备的基本条件,简称为基本平台;中间一层就是通用的电子 CAD 支撑软件工具,目前所碰到的大量 CAD 软件包都属于这一层次,简称为通用 EDA 软件;最上面一层就是各专业不同的专门化应用软件,譬如彩电 CAD 软件、雷达 CAD 软件等,简称为专用 EDA 软件。这一层次的软件往往可以借助通用 EDA 软件经过二次开发来实现,譬如雷达数据库的建库等。若想直接引进国外这个层次上的软件则非常困难。国内大量引进的是通用 EDA 支撑软件工具,也就是这套电子 CAD 技术教材讨论的主要内容。本节重点介绍基本平台。

安装 EDA 软件的基本硬件平台目前主要是两类,即工作站与微型计算机。微型计算机,简称微机(Microcomputer)、PC 机(Personal Computer,个人计算机),本教材主要介绍 PC 机上的 CAD 软件。对工作站也作一简要介绍。

一、工程工作站(Working Station)

工作站被称作是 80 年代出现的一种高档微机。目前安装 EDA 软件的工作站主要有 SUN、IBM、DEC、HP、SGI,它们的共同特点是:极高的运算速度,高效的图形输入输出功能,大屏幕显示器,大容量硬盘及内存,丰富的网络软件及应用开发环境,UNIX 操作系统的采用提供了优越的多用户工作环境。

SUN 工作站是应用最广泛的一种工作站。SUN III 以前的型号现在逐渐被淘汰。1987 年 SUN Microsystems 公司采用 RISC(Reduced Instruction Set Computers,精简指令集计算机)发明了 SPARC(Scalable Processor ARChitecture)结构。这是一种既简单而性能又好的基本结构,利用 SPARC 开发出了高速计算机芯片,因此 SUN 公司以后的工作站型号为 SUN SPARC station 1, 2, 10 系列。对一些共同感兴趣的项目指标简单列举如下:其 CPU 时钟频率往往为 25~45 MHz,单 CPU 运算速度为 17.8~107.3 MIPS(Million Instructions Per Second,每秒指令运算百万次数),1.8~19.0 MFLOPS(每秒浮点运算百万次数),SPEC marks 为 11.1~71.4,所谓 SPEC marks 是多种评估软件的运行时间和参考时间的比值再取几何平均值综合而成的一个指标参数。系统内部存储器为 8 MB~512 MB,高速缓冲存储器 Cache 的大