



普通高等学校“十二五”规划教材

PCB 工程设计

李建兵 王妍 赵豫京 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

普通高等学校“十二五”规划教材

PCB 工程设计

李建兵 王妍 赵豫京 编著



国防工业出版社

·北京·

TN410.2-43
48

内 容 简 介

本书从现代电子系统工程设计的实际出发,全面介绍了 PCB 设计的相关知识。主要内容包括:EDA 简介、原理图绘制方法、PCB 基础知识、PCB 设计方法、PCB 设计的电磁兼容问题等,并给出了完整的设计实例。

本书内容紧贴工程应用实际,结构编排上充分考虑到教学和学习的实际需求,非常适合作为高等学校 EDA 课程及电子工程技术类培训的参考教材。同时也可作为各类电子系统设计人员的技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

PCB 工程设计/李建兵,王妍,赵豫京编著. —北京:国防工业出版社,2015. 1

普通高等学校“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 118 - 09827 - 3

I. ①P... II. ①李...②王...③赵... III. ①印刷电路 - 计算机辅助设计 - 高等学校 - 教材 IV. ①TN410.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 002037 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 15 $\frac{3}{4}$ 字数 359 千字

2015 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 35.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

PCB 设计是 EDA 技术的基础应用,也是现代电子系统设计的重要内容。目前,有关 PCB 设计的相关书籍很多,但大多偏重于 PCB 设计软件本身的功能介绍。本书从现代电子系统设计的实际需求出发,基于 Protel 2004 软件,系统介绍了 PCB 设计的相关知识,包括 EDA 简介、原理图绘制方法、PCB 设计方法和 PCB 设计的电磁兼容问题等,并给出了完整的设计实例和习题。本书具有以下特点:

1. 本书作者长期从事电子技术方面的教学和科研工作,较多地考虑到了学习者的实际情况和电路设计者的实际需要,具有较强的实用性。所介绍的重点内容都是在实际工作中大量用到的,对于在实际中用得不多的内容,本书介绍得比较简单或者干脆忽略。全书将电路工程设计方法融入软件的功能介绍,并增加独立于软件本身的工程设计问题,如 PCB 设计规范、PCB 的电磁兼容设计等,使读者全面掌握 PCB 工程设计的相关知识。

2. 本书是作者在多年的 EDA 技术教学实践基础上编写而成的,初稿经过实际教学使用多次后反复修改。全书着眼于高等学校 EDA 技术课程的教学需要,针对性强,内容安排上由浅入深,循序渐进,图文并茂,并结合实例进行介绍,便于学习和掌握。

3. 本书在选择 PCB 设计软件时进行了慎重考虑。Protel 99SE 及以前版本的功能满足不了现代电子系统的工程设计要求,Altium Designer 6 以后的版本虽然功能强大,但很多新增功能在一般的电子系统工程设计中使用率很低,且由于其功能复杂,往往使初学者无所适从,对计算机系统资源的要求也过高。因此,本书以 Protel 2004 为例进行介绍。掌握了 Protel 2004 的用法以后,再学习其他高版本软件就非常容易。

因此,实用性和易学性是本书的突出特点。本书非常适合作为高等学校 EDA 课程及电子工程技术类培训的参考教材,同时也可作为各类电子工程技术人员的参考书。

全书分为 13 章。第 1 章介绍 EDA 的概念和 Protel 2004,第 2 至 6 章介绍原理图绘制方法,第 7 至 12 章介绍 PCB 设计的相关知识,包括 PCB 设计规范和电磁兼容设计,第 13 章给出了一个完整的实际应用设计实例,书末附有习题和思考题。

本书第 1 章由王妍编写,第 2 至 11 章由李建兵编写,第 12 章和第 13 章由赵豫京编写,王妍负责全书的统稿和校对。在本书的编写过程中,叶珊珊、姜海洋、仝博宾和朱明俊等同志做了很多文字性工作,在此表示感谢!

由于作者水平有限,书中的不足之处敬请读者批评指正。

目 录

第 1 章 EDA 简介及 Protel 概述	1
1.1 EDA 技术简介	1
1.1.1 EDA 技术的特征	1
1.1.2 EDA 技术的应用	2
1.1.3 EDA 技术的设计方法	3
1.1.4 EDA 技术的发展前景	4
1.2 Protel 的发展历史	4
1.3 Protel 2004 的系统组成	5
1.4 Protel 2004 的设计环境	7
1.4.1 菜单栏	7
1.4.2 工具栏	10
1.4.3 工作区	10
1.4.4 工作区面板	11
1.4.5 系统参数设置	13
1.5 Protel 2004 的文件管理	16
1.5.1 Protel 2004 的文件系统结构	16
1.5.2 Protel 2004 的文件类型	16
1.5.3 基本的文件操作	17
1.6 设计实例	19
第 2 章 原理图设计基础	27
2.1 原理图设计步骤	27
2.2 新建原理图文件	27
2.3 文档参数设置	28
2.3.1 图纸选项设置	29
2.3.2 文档参数设置	30

2.3.3 单位设置	32
2.4 原理图设计环境介绍	33
2.4.1 菜单介绍	33
2.4.2 工具栏介绍	35
2.5 环境参数设置	38
2.6 元件库操作	43
2.6.1 元件库概述	43
2.6.2 装载元件库	45
2.6.3 查找元件	46
第 3 章 绘制原理图	48
3.1 放置元器件	48
3.1.1 通过放置元件对话框放置元件	49
3.1.2 通过元件管理器放置元件	50
3.1.3 通过工具栏放置元件	50
3.2 元件位置的调整	52
3.2.1 元件的选取	52
3.2.2 元件的移动	54
3.2.3 元件的排列和对齐	55
3.3 元件的编辑	57
3.3.1 编辑元件属性	57
3.3.2 设置元件的封装	60
3.3.3 编辑元件参数属性	61
3.3.4 元件的其他编辑操作	62
3.4 原理图连线	63
3.4.1 绘制导线	63
3.4.2 放置电路节点	65

3.4.3	放置电源端口	66	6.2.2	SCH Library 选项卡	106
3.4.4	放置网络标号	67	6.2.3	Tools 菜单	110
3.4.5	放置输入输出端口	69	6.2.4	绘图工具	111
3.4.6	绘制总线	70	6.3	创建新元件	112
3.5	绘制图形	71	6.4	生成项目元件库	118
3.5.1	绘制线条	72	6.5	生成元件库报表	119
3.5.2	绘制多边形	74	6.5.1	元件报表	119
3.5.3	放置文字	77	6.5.2	元件库列表	119
3.5.4	添加图像	79	6.5.3	元件库报表	120
第4章	层次原理图设计	81	6.5.4	库元件规则检查表	121
4.1	层次原理图的设计方法	81	第7章	印制电路板基础知识	123
4.2	自顶向下的层次原理图设计	83	7.1	PCB 基本结构	123
4.2.1	绘制层次化原理图 母图	83	7.1.1	印制电路板	123
4.2.2	绘制层次化原理图 子图	86	7.1.2	元件封装	124
4.3	自底向上的层次原理图设计	87	7.1.3	PCB 上的其他元素	125
4.4	重复性层次原理图设计	90	7.1.4	层的概念	126
4.5	层次原理图的切换	91	7.2	PCB 设计流程	127
第5章	原理图设计后处理	94	7.3	PCB 设计基本规范	130
5.1	原理图的编译	94	7.3.1	PCB 设计基本要求	130
5.1.1	电气检查规则的 设置	94	7.3.2	元器件布局原则	131
5.1.2	原理图的编译	96	7.3.3	PCB 布线原则	132
5.2	生成报表	96	7.3.4	焊盘设计原则	132
5.2.1	网络表	97	第8章	PCB 设计基础	134
5.2.2	元件列表	99	8.1	新建 PCB 文件	134
5.2.3	元件交叉参考表	100	8.1.1	通过向导生成 PCB 文件	134
5.2.4	项目层次表	101	8.1.2	手动生成 PCB 文件	139
5.3	原理图的打印	102	8.1.3	通过模板生成 PCB 文件	140
第6章	原理图库元件设计	104	8.1.4	将 PCB 文件添加到 项目中	141
6.1	原理图元件及元件库	104	8.2	PCB 编辑器	141
6.2	原理图元件库编辑器	105	8.2.1	菜单栏	141
6.2.1	打开元件库编辑器	105			

8.2.2	工具栏	164	第 11 章	PCB 设计后处理	207
8.3	PCB 中的视图操作	167	11.1	生成 PCB 报表	207
8.3.1	视图的移动	167	11.2	PCB 的打印输出	213
8.3.2	视图的缩放	168	第 12 章	PCB 的电磁兼容设计	216
8.3.3	显示整个 PCB 图 文件	169	12.1	电磁兼容概述	216
8.4	PCB 中的编辑操作	171	12.1.1	电磁兼容及其 标准	216
8.5	PCB 系统参数设置	172	12.1.2	电磁兼容三要素	217
第 9 章	PCB 的设计	179	12.1.3	电磁兼容抑制 方法	218
9.1	PCB 设计的准备工作	179	12.2	PCB 设计中的电磁兼容 问题	219
9.2	网络与元件的导入	181	12.2.1	电路元件的高频 特性	219
9.3	元器件布局	183	12.2.2	共模和差模电流	221
9.3.1	元器件自动布局	183	12.2.3	PCB 和天线	222
9.3.2	元器件手动布局	185	12.3	PCB 的电磁兼容设计原则	222
9.4	元器件布线	185	12.3.1	PCB 的层数选择和 层间安排	223
9.4.1	自动布线规则设置	185	12.3.2	去耦电容	223
9.4.2	自动布线	193	12.3.3	信号线设计原则	224
9.4.3	手动调整布线	195	12.3.4	接地问题	225
第 10 章	制作元件封装	198	第 13 章	单片机实验板设计实例	228
10.1	元件封装编辑器	198	思考题与习题	236	
10.2	创建元件封装	199	参考文献	242	
10.2.1	利用向导创建元器件 封装	199			
10.2.2	手动创建元器件 封装	203			
10.2.3	项目元件封装	206			

第1章 EDA 简介及 Protel 概述

1.1 EDA 技术简介

1.1.1 EDA 技术的特征

电子设计自动化(Electronic Design Automation, EDA)技术是指以计算机为工作平台,融合应用电子技术、计算机技术、信息处理及智能化技术,进行电子线路与系统的自动化设计。它是在电子 CAD 技术基础上发展起来的集数据库、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成果,可以进行功能设计、逻辑设计、性能分析、系统优化直至印制电路板的自动设计,完成电子工程设计的全过程。

EDA 技术是现代电子工程领域的新兴技术和发展趋势,并随着微电子技术和计算机信息技术的发展而日益成熟,目前已经渗透到集成电路和电子系统设计的各个环节。利用 EDA 工具,电子设计工程师可以从概念、算法等开始设计电子系统,将电子产品设计中的电路设计、性能分析、IC 板图或 PCB 板图设计等整个过程,在计算机上自动处理完成。EDA 技术依托先进的计算机技术和相关应用软件,能最大限度地提高电子线路或系统的设计质量和效率,从而节省人力、物力和开发成本,缩短开发周期。

EDA 技术主要有以下特征:

1. 设计过程自动化

在 EDA 的应用中,可以利用 EDA 应用软件,实现由系统层到电路层,再到物理层的整个设计过程的自动化。在设计过程中,设计人员可以按照电子线路或系统的指标要求,采用完全独立于芯片厂商及其产品结构的描述语言,在功能级对设计产品进行定义,并利用应用软件提供的仿真技术验证设计的结果。设计人员可以从概念、算法、协议等开始设计电子系统,并可以将电子产品的电路设计、性能分析到设计出 IC 板图或 PCB 板图的整个过程在计算机上自动完成。

2. 设计环境集成化

利用计算机技术的支持,在计算机平台上安装功能不同的应用软件,形成一个功能强大的 EDA 设计环境。在这个环境中,可以控制和管理设计方案、设计过程和设计数据,甚至可以让这些软件共享设计资源。很多 EDA 软件开发商陆续推出了一些优秀的 EDA 组合软件,如 ORCAD 公司的 Pspice 9.1、NI 公司的 NI Multisim & Ultiboard,它们本身就是一个高度开放、高度集成的设计环境。这种高度集成的开发环境,包含了从电路设计、性能分析到设计出 IC 板图或 PCB 板图的整个设计开发过程,而且其文件类型在不同的 EDA 软件中是可以共享的。

3. 设计工具标准化

EDA 应用软件提供了越来越多的设计工具,包括电子线路的编辑、线路的仿真、PCB

的制作到文字或线条的标注等各种实用工具，极大地方便了设计人员的工作。EDA 软件操作的图形用户界面以及工具之间的通信、设计数据和设计流程建立了一个符合标准的开放式框架结构，可以接纳其他厂商的 EDA 工具一起进行设计工作，实现各种 EDA 工具间的优化组合，并集成在一个易于管理的统一的环境之下，使 EDA 框架标准化，实现资源共享。

4. 操作高效智能化

在 EDA 技术中，由于应用软件的智能化设计，各种设计向导和提示十分完备，使电子线路设计人员不必学习更高深的专业理论知识，更不必进行手工运算，在应用软件环境中，就可以完成线路或系统的设计，并得到精确的仿真结果。新的智能化 EDA 系统不仅能够实现高层次的自动逻辑综合、版图综合和测试码生成，而且可以使各个仿真器对同一个设计进行协同仿真，进一步提高了 EDA 系统的工作效率和设计的正确性。

1.1.2 EDA 技术的应用

EDA 技术的应用贯穿于电子产品开发的全过程，其应用领域包括从低频电路到高频电路、从线性电路到非线性电路、从模拟电路到数字电路、从分立元件到集成电路的各个方面。随着基于 EDA 的 SoC(System on Chip)设计技术的发展，EDA 技术的应用领域更加广泛，包括模拟与数字、软件与硬件、系统与器件、ASIC 与 FPGA、行为与结构等各方面的应用。典型的 EDA 基本应用范围如图 1-1 所示。

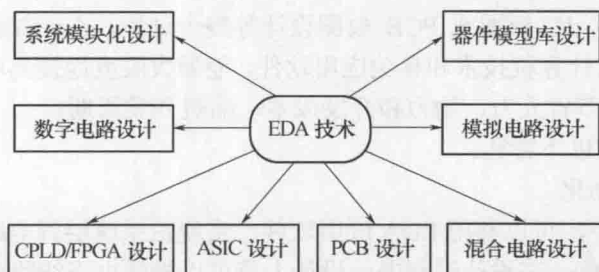


图 1-1 EDA 技术的应用范围

EDA 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。在教学方面，国内外理工科类高校普遍开设了 EDA 课程。学生通过了解 EDA 的基本概念和基本原理，掌握用 HDL 语言编写规范以及逻辑综合的理论和算法。借助 EDA 开发设计平台实施电子技术实验和课程设计的教学，进行各种大学生创新设计、电子设计竞赛和毕业课题设计。

在科研工作方面，可直接进行集成芯片的设计，研制各种高性能的电子系统，获得具有自主知识产权的专用集成电路和先进技术。依托 EDA 技术促进新产品的研制和传统设备的技术改造，能在较短的开发周期内和以较低的设计成本，完成产品的仿真设计、功能改进、生产测试和在线升级，提高产品的性能、高新技术含量和市场竞争力。

在产品设计与制造方面，包括计算机仿真，产品开发中的 EDA 工具应用、系统级模拟及测试环境的仿真，生产流水线的 EDA 技术应用、产品测试等各个环节。如 PCB 的制作、电子设备的研制与生产、电路板的焊接、ASIC 的制作过程等。

从应用领域来看，EDA 技术已经渗透到各行各业，包括在机械、电子、通信、航空航

天、化工、矿产、生物、医学、军事等各个领域，都有 EDA 技术的广泛应用。另外，现在 EDA 软件的功能日益强大，原来功能比较单一的软件，现在增加了很多新用途。如 AutoCAD 软件可用于机械及建筑设计，也扩展到建筑装璜及各类效果图、汽车和飞机的模型、电影特技等领域。例如在飞机制造过程中，从设计、性能测试及特性分析直到飞行模拟，都可能涉及 EDA 技术。

1.1.3 EDA 技术的设计方法

EDA 技术采用自顶向下(Top to down)的设计思想，其设计方法可分为系统级、电路级和物理或芯片级。物理级设计主要指 IC 板图设计，一般由半导体厂家完成；系统级设计主要面对大型复杂的电子产品；而电路级设计主要针对具体电路或单元，它是电子设计和系统构成的基础，常用的 EDA 软件多属于电路级设计。典型的电路级设计流程如图 1-2 所示。

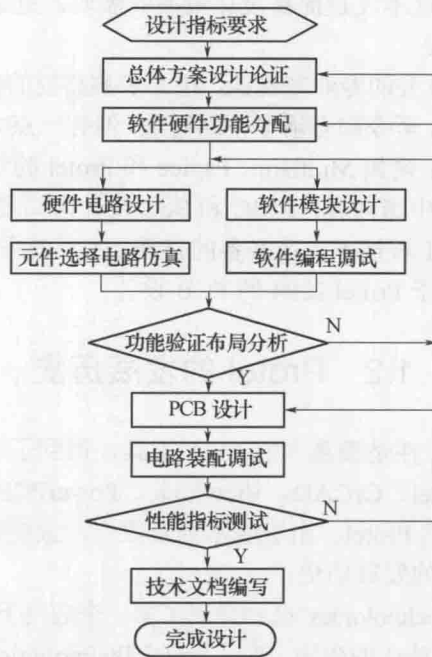


图 1-2 电路级设计流程

电子工程师在确定的设计方案基础上，选择能实现该方案的合适元器件，根据电路指标要求设计原理图，并进行电路的功能仿真，包括逻辑模拟、故障分析、交直流分析和瞬态分析等。在进行功能仿真时，必须有元器件模型库的支持。计算机上模拟的输入/输出波形代替了实际电路调试中的信号源和示波器。这一次仿真属于布线前仿真，主要是检验设计方案在功能方面的正确性，并根据原理图产生的电气连接网络表进行 PCB 板的布局布线。

在制作 PCB 板之前还可以进行后处理分析，包括热分析、噪声及干扰分析、电磁兼容分析、可靠性分析等，并且可以将分析后的结果参数更新电路图。电路性能仿真也称为后仿真，主要是检验 PCB 板在实际工作环境中的可行性，实现系统设计中的板级电路性能及兼容性。电路或电路板级的 EDA 技术可以在实际的电子系统产生之前，全面地了解系统的

功能特性和物理特性，从而将开发过程中出现的缺陷消灭在设计阶段，不仅缩短了开发时间，也降低了开发成本。

1.1.4 EDA 技术的发展前景

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, CAED)和电子系统设计自动化(Electronic System Design Automation, ESDA)等几个发展阶段。

现代 EDA 技术将向广度和深度两个方向发展，EDA 将会超越电子设计的范畴进入其他领域。基于 EDA 工具的电子系统设计技术使电子工程设计人员完全摆脱了手工设计的束缚，给电子行业的产业领域、技术领域和设计应用领域带来了革命性的变化。

EDA 技术正处于高速发展阶段，每年都有新的 EDA 工具问世。广大电子工程人员应该尽早掌握这一先进技术，这不仅是提高设计效率的需要，更是我国电子工业在世界市场上生存、竞争与发展的需要。

将 EDA 技术作为一门重要的专业基础课，在大多数高校的相关学科中已成为共识。但就其教学内容和实验安排上，至今尚有诸多不同看法。但有一点大家普遍认可，就是将 EDA 技术的内容划分为三个层次：诸如 Multisim、Pspice 和 Protel 的学习作为 EDA 的初级内容；VHDL 和 FPGA 开发等作为中级内容；ASIC 和 SoC 设计为高级内容。其中，初级 EDA 技术的应用最为广泛，是电子工程技术人员必备的技能。本书的主要内容就是立足于 EDA 技术的初级内容，重点介绍基于 Protel 2004 的 PCB 设计。

1.2 Protel 的发展历史

以 PCB 设计为目标的软件是最基本的 EDA 工具，得到了十分广泛的应用。目前比较流行的此类软件主要有 Protel、OrCAD、Viewlogic、PowerPCB 等。目前在我国应用最为广泛的是 Altium 公司推出的 Protel。由于版本更新很快，致使有些用户无所适从，因此本节首先简单介绍一下 Protel 的发展历史。

1988 年美国 ACCEL Technologies 公司推出了第一个应用于电子线路设计的软件包——TANGO，开创了电子设计自动化的先河。随后 Protel Technologies 公司适时推出了 Protel for DOS 元件包作为 TANGO 的升级版本。该软件方便易学，操作简单，很快在我国流行起来。到目前为止，还有一些 PCB 开发设计者仍在使用 Protel for DOS。

20 世纪 90 年代，随着 Windows 系统的流行，许多应用软件也开始支持 Windows 操作系统。Protel 公司于 1991 年推出了基于 Windows 平台的 PCB 软件包，次年又推出了相应的原理图设计软件，即 Protel for Windows 1.0，随后又推出了 Protel for Windows 1.5 等版本。这些版本已经初步摆脱了繁琐的命令，给电子设计带来了很大的方便。1994 年，Protel 公司首创了 EDA Client/Server 体系结构，使各种 EDA 软件工具方便地实现无缝链接，确定了当今桌面 EDA 系统的发展方向。1996 年底，推出了 EDA Client 的第三代版本 Protel 3。

1998 年，Protel 公司推出了 EDA Client 98，成为第一个包含五个核心模块的真正 32 位 EDA 工具，它是将 Advanced SCH98(原理图设计)、PCB98(印制电路板设计)、Route98(无网格布线器)、PLD98(可编程逻辑器件设计)和 SIM98(电路图模拟仿真)集成于一体的一个无

缝链接的设计平台。该版本出众的自动布线功能获得了业内人士的一致好评。

1999年,Protel公司在引进了MicroCode Engineering公司的仿真技术和Incases Engineering GmbH公司的信号完整性分析技术后,正式推出了Protel 99,它具有强大的综合设计环境。2000年,Protel公司在兼并了美国著名的EDA公司ACCEL(PCAD)后,推出了Protel 99SE,进一步完善了Protel 99的功能,使其性能进一步提高,可以对设计过程有更大的控制力。

2001年Protel公司又进行了一系列战略性的兼并和调整,更名为Altium公司,并于2002年第一季度末推出了Protel DXP软件。该版本集强大的设计能力、复杂工艺的可生产性和设计过程管理于一体,可完整地实现电子产品从电学概念设计到生成物理生产数据的全过程,以及中间所有分析的仿真和验证,既满足了产品的高可靠性,又极大地缩短了设计周期,降低了设计成本。2003年推出了Protel 2004,对Protel DXP进行了进一步的完善。

2006年,Altium公司推出了最新最高端的Protel系列EDA设计软件版本——Altium Designer 6。该版本集成了更多的工具,使用更方便,功能更强大,特别在PCB设计方面性能大大提高。2008年又发布了Altium Designer Summer 08。Altium Designer 6以后该软件已经不再是Protel的常规升级版本,而是适应现代电子技术发展需求的一种全新的设计软件。Altium公司声称,Altium Designer 6以后的版本,实现了电路设计(ECAD)和机械设计(MCAD)的完美统一。随后,Altium公司分别在2008年、2009年、2010年、2012年、2013年和2014年推出了新版本软件。目前,其最新版本是Altium Designer 14。每种新版本均在功能上有所改进,但主体功能变化不大。

新版本的软件在功能上确实具有很大的优越性,但本书为什么还是介绍Protel 2004呢?

Protel 99及Protel 99SE曾经是使用最为广泛的版本,至今仍有相当大的用户群,特别是从事PCB设计工作时间较长的工程技术人员仍然感觉其使用顺手。但由于该版本较早,随着电子技术的发展,其功能已经逐渐满足不了当前的工程设计要求,所以不适合初学者学习使用。

Altium Designer 6以后的版本提供了很多智能和自动化的功能,给大型和复杂的电路设计带来了方便。但对于绝大多数用户来说,很多新增功能使用率很低。由于其系统功能过于庞大,初学者往往无所适从。而且高版本的设计软件对计算机系统资源要求过高,用户往往需要较大的资金投入。

设计一般的电子系统,Protel 2004已经足够。Protel 2004在风格上跟Altium Designer非常相似,掌握了Protel 2004的用法,以后再学习Altium Designer就比较容易。如果初学者一上手就学习Altium Designer,其学习的困难性肯定比较大。

综合考虑以上因素,我们选择以Protel 2004为例来介绍PCB设计的相关知识。不过,随着学习者电子设计能力的提高和系统复杂度的提升,还是鼓励大家关注最新软件,在需要的时候,选择合适的工具来完成自己的设计任务。

1.3 Protel 2004 的系统组成

Protel 2004已不再是单纯的PCB设计工具,而是由多个模块组成的系统工具,分别是SCH(原理图)设计、PCB设计、Auto Router(自动布线器)、FPGA设计和SCH仿真等五部分,涵盖了以PCB设计为核心的整个物理设计。该软件将项目管理方式、原理图和PCB图的

双向同步技术、多通道设计、拓扑自动布线以及电路仿真等技术结合在一起，为电路设计提供了强大的支持。下面分别介绍这五个系统组成模块的功能。

1. 原理图设计模块

该模块可以进行原理图设计、层次原理图设计和原理图符号的设计。当设计项目较大时，可以实现自顶向下的设计思路，可以把项目分为若干个子项，每个子项再划分为若干个功能模块。功能模块还可继续划分为直至底层的基本模块，然后分层逐级设计。最后设计者进行基本模块的设计，并依照各层次的关系将基本模块组织起来，就完成了整个电路系统的设计。相反，设计者也可以从基本模块的设计着手，实现自底向上的设计。

原理图设计模块的基本功能如下。

(1) 具有强大的编辑功能。可以实现复制、剪切、删除和粘贴等普通的编辑功能；也可通过在对象上双击弹出属性对话框，进行相关属性的编辑；设计者还可自己设定撤销、重复操作的次数。

(2) 具有电气栅格特性。可以方便地实现元器件间的自动捕获连接功能，使原理图的绘制更为方便快捷。

(3) 电气检查功能。可以迅速地对复杂电路进行检查，错误可直接在原理图中标注，便于设计者查找和修改。

(4) 提供丰富的原理图库。经常使用的大部分器件基本上都能从库文件中找到，即使有些特殊元件在库中找不到，设计者也可通过库元件编辑器自行创建。

(5) 报表生成功能。可以方便地创建各种文件格式的网络表、元件列表、交叉参考元件表等，为用户的原理图设计与管理工作提供了完善的辅助手段。

2. PCB 设计模块

Protel 2004 可进行 74 个板层的设计，包括 32 层信号层、16 层内电层、16 层机械层、2 层防早层、2 层锡膏层、2 层丝印层、2 层钻孔层、1 层禁止布线层和 1 层多信号层。

同原理图模块一样，PCB 模块也提供强大的编辑功能，如元件封装的创建、修改和报表输出等。该模块最大程度地考虑了用户的设计要求，不仅可以放置半通孔、深埋过孔和各式各样的焊盘，而且新增加了许多先进的生产制造所需的设计法则，提高了手动设计和自动设计的融合程度。对电路元件多、连接复杂及有特殊要求的电路，可以选择自动布线与手工调整相结合的方法。在 PCB 电路板设计完成后，可以通过设计法则检查来保证电路板完全符合设计要求，从而提高 PCB 的可靠性。

3. 自动布线模块

自动布线模块是为 PCB 设计模块服务的，用来实现 PCB 布线的自动化。它作为一个程序模块内嵌于 PCB 设计模块之中，但它不属于 PCB 设计程序的一个应用程序进程。

Protel 2004 在自动布线上引入了人工智能技术，采用 SITUS 拓扑算法，用户只需进行简单、直观的布线规则设置，在布线过程中，自动布线器就会选择最佳布线策略，使 PCB 的设计尽可能完美。

4. FPGA 设计模块

Protel 2004 完全支持 FPGA 的设计，用户可采用两种方法。

(1) 在原理图设计模块中使用专用的 PLD 库“CUPL PLD Programming.IntLib”进行器件的设计。

(2) 采用 VHDL 语言编写 PLD 的功能描述文件。

完成可编程器件的设计之后,设计者对器件进行编译操作,生成熔丝文件,用以制作具备特定功能的元器件。

5. 电路仿真模块

在电路板设计之前,为了确定电路图设计的正确性和有效性,可事先对所设计的电路图进行仿真。用户在进行电路仿真时,可利用 Protel 2004 的仿真元件库“Sim.ddb”中提供的仿真元器件,在原理图设计程序模块中进行电路设计,最后使用电路仿真模块对所设计的电路进行仿真,并根据输出的信号和用户的要求对电路设计进行调整。不过,由于目前专业的电路仿真软件很多,如 PSPICE、Multisim、Saber 等,Protel 中的仿真模块应用并不十分广泛。

需要说明的是,本书重点介绍电路原理图及 PCB 的设计,即以上前 3 个模块。对于 FPGA 模块和电路仿真模块,本书涉及的内容较少。

1.4 Protel 2004 的设计环境

任何一个 Windows 系统软件的安装方法都基本相同,而且安装文件里一般都有详细的安装说明。另外,Windows 系统下程序的启动方法也基本一样。所以本章不再像大多数参考书一样首先介绍软件的安装和启动方法了。假定读者已经成功安装了该软件,并已经启动了该程序。现在就一起来认识 Protel 2004。

Protel 2004 启动之后的主窗口界面如图 1-3 所示,可以分为菜单栏、工具栏、工作区、工作区面板四个部分。电路设计工作就从这里开始,下面分别介绍。

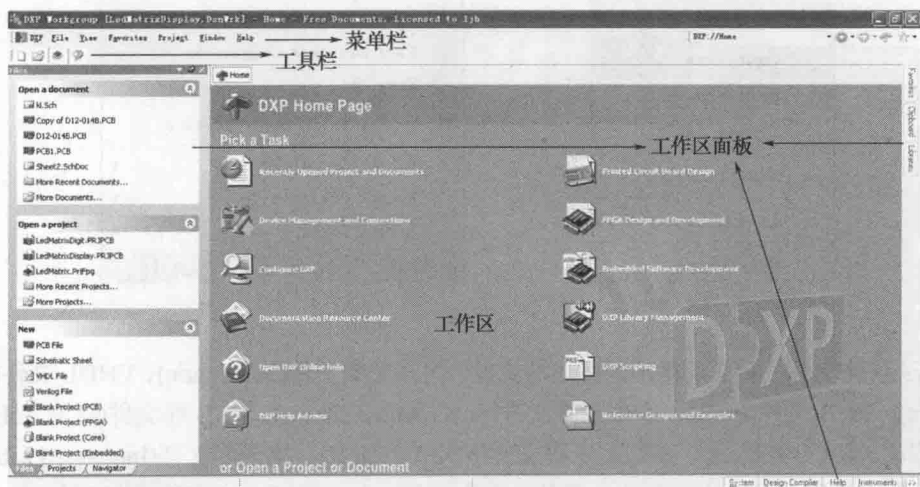


图 1-3 Protel 2004 主窗口

1.4.1 菜单栏

Protel 2004 的菜单栏包括 DXP、File、View、Favorites、Project、Window、Help 七个下拉菜单项,如图 1-4 所示。如果系统进入原理图或 PCB 设计系统,菜单栏会有所变化。

下面将主要的菜单项做一下介绍。

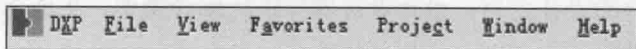


图 1-4 主窗口菜单栏

1. DXP 菜单

如图 1-5 所示，DXP 菜单项主要是针对系统的一些设置。

Customize: 用来定义各菜单项及工具。如更改菜单名称、快捷键、为菜单添加图片等。使用该功能可以个性化菜单系统，甚至可以将菜单系统转换成中文显示。但建议初学者不要随意改动系统的默认状态，以免在阅读参考书时造成困难。

Preferences: 用来对系统参数进行设置。在后面的学习过程中将详细介绍。

2. File 菜单

File 菜单主要用于各种类型的文件的新建、保存、打开和关闭等，其下拉菜单如图 1-6 所示。这些菜单命令跟我们普遍使用的 Office 程序非常类似，读者基本上一看就会，所以下面仅对各菜单的功能做一下简单的说明。

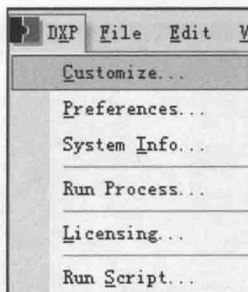


图 1-5 DXP 子菜单

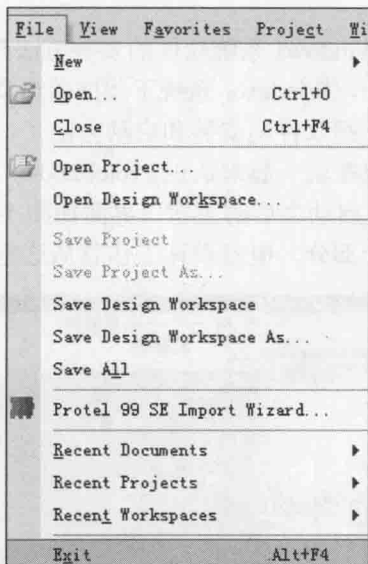


图 1-6 File 子菜单

New: 新建文件。可以新建各种格式的文件，如原理图文件(Schematic)、VHDL 文件(VHDL Document)、PCB 文件(PCB)、原理图库文件(Schematic Library)、PCB 库文件(PCB Library)、PCB 工程文件(PCB Project)、FPGA 工程文件(FPGA Project)、集成库文件(Integrated Library)、嵌入式工程文件(Embedded Project)、文本文件(Text Document)、CAM 文件(CAM Document)等。

Open: 打开已经存在的文件。

Close: 关闭当前文件。

Open Project: 打开工程文件。

Open Design Workspace: 打开设计工作区。

Save Project: 保存当前的工程文件。

- Save Project As: 另存当前的工程文件。
- Save Design Workspace: 保存当前工作区。
- Save Design Workspace As: 另存当前工作区。
- Save All: 保存当前所有打开的文件。
- Protel 99 SE Import Wizard: 导入 Protel 99 SE 文件向导。
- Recent Documents: 打开最近的文档。
- Recent Projects: 打开最近的工程文件。
- Recent Workspacs: 打开最近的工作区。
- Exit: 退出程序。

3. View 菜单

View 菜单主要用于进行一些视图管理，如工具栏、状态栏和命令栏的显示和隐藏等，其下拉菜单如图 1-7 所示。

- Toolbars: 用来设置显示或隐藏工具条。
- Workspace Panels: 工作区面板控制。
- Desktop Layouts: 桌面布局控制。

4. Favorites 菜单

如图 1-8 所示，用来进行收藏夹的管理，便于快捷打开预设的界面。

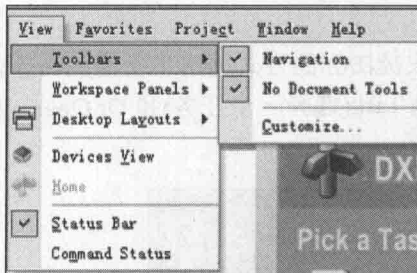


图 1-7 View 下拉菜单

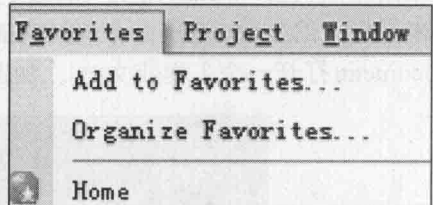


图 1-8 Favorites 下拉菜单

Add to Favorites: 将当前页面加入收藏夹，可用来快速打开网页。添加收藏夹后，在 Favorites 下拉菜单中将会显示相应的收藏夹名称。

Organize Favorites: 组织收藏夹。

5. Project 菜单

如图 1-9 所示，Project 菜单用于整个设计工程的编译、分析和版本控制。当尚未打开任何工程时，下拉菜单中除了 Show Differences、Add Existing Project、Add New Project、Version Control 四个命令项之外，其他都处于灰色的不可用状态。

Show Differences: 用来将工程与工程，或工程与文件进行比较。

Add Existing Project: 添加已有的工程文件。

Add New Project: 添加新的工程文件。

Version Control: 版本控制。

此外，Windows 菜单用于窗口的管理，包括窗口的大小、位置等。Help 菜单用于打开帮助文件。这些菜单跟通常的 Windows 程序非常相近，在此就不多做介绍了。

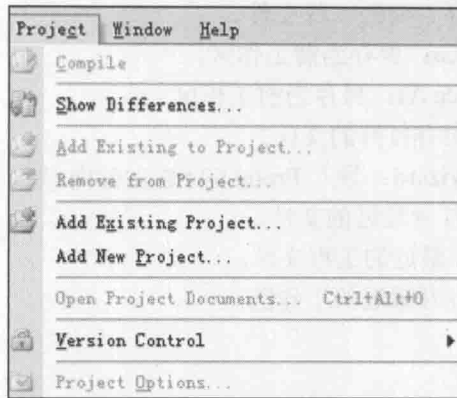


图 1-9 Project 下拉菜单

1.4.2 工具栏

菜单下面就是系统工具栏。在没有文件打开时，依次为新建、打开、设备浏览和帮助工具栏。打开不同的文件时，默认的工具栏会有所不同，也可以进行工具栏的设置 (DXP/Customize 或 View/Toolbars/Customize 工具)，显示自己想要的工具栏。

1.4.3 工作区

界面中间的区域为工作区。工作区主页上以快捷图标的方式列出了常用的命令，给用户带来了极大的方便。这些命令包括两部分：Pick a Task(选择一个任务)和 Or Open a Project or Document(打开一个工程或文档)，如图 1-10 所示。

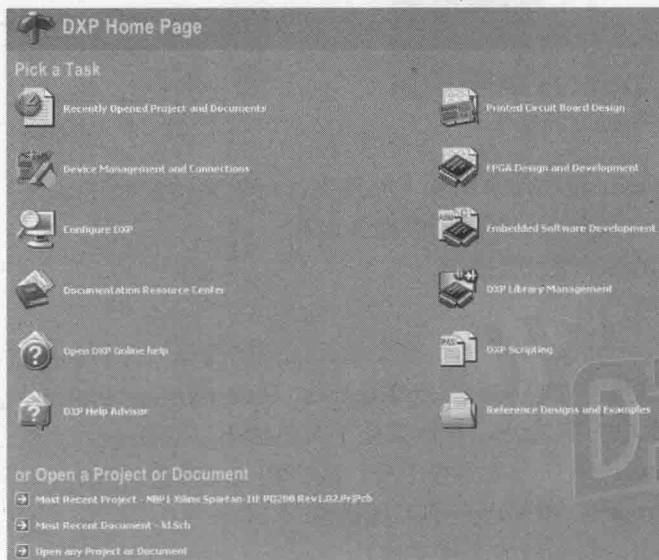


图 1-10 工作区

Recently Opened Project and Documents(近期打开的项目和文件): 选择该项后，系统会弹出一个对话框，用户可以很方便地从对话框中选择需要打开一个或多个文件。用户也可