

高职高专机电类专业规划教材

印制电路板设计与制作

赵英◎主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

赠 电子 课件 和
章 后 习题 解答

高职高专机电类专业规划教材

印制电路板 设计与制作

主 编 赵 英

副主编 钟国文

参 编 周正杰 马子龙 谭 莉 李汶周



机械工业出版社

本书针对高等职业教育的特点,从实际应用的角度出发,设置了5个学习项目,由简单到复杂,全面介绍了应用 Protel 99 SE 软件进行印制电路板设计与制作的学习内容。学生在完成不同的项目过程中,不断训练和提高实践能力和创新能力。

本书按任务驱动的项目化方式编写,主要内容包括基础部分、直流稳压电源电路的设计、直流稳压电源电路 PCB 的制作、单片机开发板电路的设计、单片机开发板电路 PCB 的制作和计算器控制电路的设计及 PCB 的制作。每个学习项目都配有思考及练习题。本书还给出了实用性很强的附录,以辅助教学与学习。

本书通俗易懂、条理清晰、重点突出、实例丰富,具有很强的实用性。

本书可作为高职高专院校应用电子技术、通信技术、机电一体化技术等专业相关课程的教材,也可作为从事电路设计的技术人员的参考书。

为方便教学,本书配有免费电子课件、思考及练习题详解、模拟试卷及答案等,凡选用本书作为授课教材的教师,均可来电免费索取。咨询电话:010-88379375; Email: cmpgaozhi@sina.com。

图书在版编目(CIP)数据

印制电路板设计与制作/赵英主编. —北京:机械工业出版社,2015.1

高职高专机电类专业规划教材

ISBN 978-7-111-48918-4

I. ①印… II. ①赵… III. ①印刷电路—电路设计—高等职业教育—教材②印刷电路—制作—高等职业教育—教材 IV. ①TN41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 296360 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:于宁 责任编辑:于宁 王宗锋 冯睿娟

版式设计:霍永明 责任校对:赵蕊

封面设计:陈沛 责任印制:李洋

高教社(天津)印务有限公司印刷

2015 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·16 印张·387 千字

0001—2000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-48918-4

定价:34.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前 言

电子设计自动化 (Electronic Design Automation, EDA) 技术, 是指以计算机为工作平台, 融合了应用电子技术、计算机技术等最新成果, 进行电子产品的自动设计技术。电子产品的设计归根结底就是印制电路板 (Printed Circuit Board, PCB) 的设计。

PCB 是电子产品中的重要部件之一, 本书针对高等职业教育的特点, 力求通俗易懂, 以应用及提高学生动手能力为主, 注重基本操作和实际应用的训练, 着眼于为生产一线培养应用型高级技术人才的目标, 充分体现了实用性的原则。基于企业对生产一线绘图和制板技术人员工作岗位的需要, 采取“职业活动导向, 工作任务驱动, 项目载体”的教学原则, “做、学、教一体化”的教学模式, 本着“易学、够用、实用”的原则, 结合学生的认知规律和学习特点, 由易到难, 从浅到深, 循序渐进, 以各任务作引领, 以技能训练作为主线, 体现从做中学的必备技能和知识。

本书按任务驱动的项目化方式编写, 设置了 5 个真实项目, 将相关的知识、技能融入到任务中, 通过完成任务来学习知识、技能。基础部分介绍 Protel 99 SE 软件的基础知识; 项目 1、2 以直流稳压电源电路的设计及 PCB 的制作为例, 介绍简单电路原理图的设计和单面板的制作; 项目 3、4 以单片机开发板电路的设计及 PCB 的制作为例, 介绍复杂电路原理图的设计和双面板的制作; 项目 5 以计算器控制电路的设计及 PCB 的制作为例, 介绍大型电路原理图的设计与印制电路板制作。在开始的简单项目中, 详细地介绍了各种菜单、命令的使用, 在后续项目中再用到某个菜单、命令时, 就能逐步熟练应用。每个项目结束后, 都有思考和练习题, 通过思考和练习题的训练复习各个知识点。设计者通过完成这 5 个项目后, 就可以了解电子产品的设计思想, 也会熟悉软件的菜单、命令。

本书基础部分和项目 1 由周正杰编写, 项目 2 由马子龙编写, 项目 3 由谭莉编写, 项目 4 由赵英编写, 项目 5 由李汶周编写, 附录由钟国文编写。赵英任主编并负责定稿, 钟国文任副主编。本书是编写组全体同志的集体劳动成果, 在此, 对所有帮助和支持本书出版的领导、同事、朋友表示衷心的感谢。

由于编者水平有限, 加上时间仓促, 书中难免有疏漏和不妥之处, 恳请读者给予批评指正。

编 者

目 录

前言	
概论	1
0.1 软件简介	1
0.2 软件的运行环境及安装	2
0.2.1 Protel 99 SE 的使用环境	2
0.2.2 Protel 99 SE 的安装	2
0.3 印制电路板设计流程	6
0.4 软件的基础知识	6
0.4.1 启动 Protel 99 SE	6
0.4.2 设计管理器	7
0.4.3 四个常用的编辑器	8
0.4.4 Protel 99 SE 的常见文件类型	10
项目 1 直流稳压电源电路的设计	12
项目描述	12
任务 1.1 设计数据库的创建及管理	13
1.1.1 创建新的设计数据库文件	13
1.1.2 打开已有的设计数据库文件	15
1.1.3 创建新的设计文件	15
1.1.4 文件的删除操作	16
1.1.5 文件的保存操作	16
1.1.6 文件的改名保存	16
1.1.7 不同格式文件的输入/输出	16
任务 1.2 原理图设计流程及工作环境的设置	17
1.2.1 原理图设计步骤	17
1.2.2 启动原理图编辑器	17
1.2.3 工作环境的设置	17
1.2.4 设置原理图和图形编辑环境	21
任务 1.3 元器件的放置及布局	24
1.3.1 原理图设计对象	24
1.3.2 原理图编辑器的菜单栏	24
1.3.3 管理器	25
1.3.4 元器件属性	28
1.3.5 元器件的布局	32
1.3.6 直流稳压电源电路的元器件放置和布局实例	34
任务 1.4 直流稳压电源电路的线路连接	36
1.4.1 连线工具栏	36
1.4.2 绘图工具栏	38
1.4.3 原理图中常见的电气连接方式	39
1.4.4 直流稳压电源电路的线路连接实例	40
任务 1.5 原理图电气法则测试	41
1.5.1 元器件注释	41
1.5.2 电气规则检查	42
任务 1.6 网络表的生成	47
1.6.1 网络表的设置和生成	47
1.6.2 网络表文件的格式	48
项目总结	49
思考及练习题	50

项目2 直流稳压电源电路 PCB

制作	52
项目描述	52
任务 2.1 创建 PCB 文件并 规划 PCB	53
2.1.1 创建 PCB 文件	53
2.1.2 规划 PCB	61
任务 2.2 导入网络表及错误 修改	80
2.2.1 导入网络表	80
2.2.2 改正网络表导入错误	80
2.2.3 利用同步器更新原理图 及 PCB	83
任务 2.3 手工布局	86
2.3.1 元器件及实体的选取与取消	86
2.3.2 点取与编辑实体	90
2.3.3 元器件及实体的移动	91
2.3.4 旋转元器件及实体	93
2.3.5 排列元器件	94
2.3.6 元器件的复制、剪切与粘贴	95
2.3.7 元器件的清除、删除与更换	98
2.3.8 整体编辑	99
2.3.9 单面板的布局原则	101
任务 2.4 手工布线	102
2.4.1 PCB 绘图工具	102
2.4.2 手工布线前的准备工作	114
2.4.3 手工布线的基本操作	114
2.4.4 移动导线	117
2.4.5 导线的编辑操作	118
2.4.6 导线的属性修改与整体编辑	119
2.4.7 手工单层布线	123
项目总结	124
思考及练习题	124

项目3 单片机开发板电路的设计

项目描述	126
任务 3.1 创建原理图元器件	127
3.1.1 手工创建原理图元器件	127

3.1.2 创建复合封装元器件	134
3.1.3 复制、修改法创建元器件	135
任务 3.2 放置原理图元器件	139
3.2.1 加载原理图元器件库	139
3.2.2 放置元器件	140
3.2.3 放置电源和接地符号	141
3.2.4 元器件的布局	141
任务 3.3 连接原理图线路	142
任务 3.4 网络表及元器件清单 的生成	145
3.4.1 原理图电气规则检查	145
3.4.2 单片机开发板电路原理图 的打印及网络表生成	147
3.4.3 其他报表文件的生成	148
任务 3.5 打印原理图	151
项目总结	152
思考及练习题	152

项目4 单片机开发板电路 PCB

制作	154
项目描述	154
任务 4.1 PCB 元器件封装的 设计	155
4.1.1 PCB 元器件封装编辑器	155
4.1.2 向导法创建元器件封装	161
4.1.3 手工法创建元器件封装	165
4.1.4 元器件封装库的管理	168
任务 4.2 单片机开发电路板 尺寸的规划	170
任务 4.3 网络表的导入	173
4.3.1 加载元器件封装库	173
4.3.2 导入网络表	174
4.3.3 修改导入网络表的错误	176
任务 4.4 双面 PCB 的布局	177
4.4.1 自动布局	177
4.4.2 手工布局	182
任务 4.5 双面 PCB 的布线	184
4.5.1 自动布线	184
4.5.2 手工调整布线	194

任务 4.6 设计规则检查及纠错	195	任务 5.2 自下而上层次原理图设计	226
4.6.1 设置设计规则检查	195	任务 5.3 计算器控制电路板的制作	230
4.6.2 纠错	196	5.3.1 打印输出 PCB 图	230
任务 4.7 补泪滴、包地	198	5.3.2 将 PCB 图转移至覆铜板	232
4.7.1 补泪滴	198	5.3.3 腐蚀电路板和钻孔	233
4.7.2 包地	199	项目总结	233
任务 4.8 PCB 电源板层、矩形填充、安装孔的设置	200	思考及练习题	233
4.8.1 PCB 电源板层设置	200	附录	234
4.8.2 设置矩形填充	203	附录 A Protel 99 SE 常用命令热键	234
4.8.3 设置安装孔	204	附录 B 常用元器件图形符号	235
任务 4.9 印制电路板图的输出	205	附录 C 元器件封装库清单	244
4.9.1 计算机辅助制造输出文件	205	附录 D 印制电路板封装库注释 (Advpcb. LIB) ...	246
4.9.2 打印机输出	212	附录 E 书中符号与国标符号对照表	247
项目总结	215	参考文献	248
思考及练习题	215		
项目 5 计算器控制电路的设计及 PCB 的制作	218		
项目描述	218		
任务 5.1 自上而下层次原理图设计	220		

概 论

0.1 软件简介

EDA 是电子设计自动化 (Electronic Design Automation) 的缩写, 是从计算机辅助设计 (CAD)、计算机辅助制造 (CAM)、计算机辅助测试 (CAT) 和计算机辅助工程 (CAE) 的概念发展而来的。电子设计技术的核心就是 EDA 技术, EDA 是指以计算机为工作平台, 融合应用电子技术、计算机技术、智能化技术最新成果而研制成的电子 CAD 通用软件包, 主要辅助进行三方面的设计工作, 即 IC 设计、电子电路设计和 PCB 设计。

本书所采用的 Protel 99 SE 软件, 就是一个主要针对电子电路原理图的设计、电路板的设计和绘制以及电子电路逻辑分析和仿真等, 基于 Windows 平台的 32 位 EDA 设计系统。Protel 软件是由澳大利亚的 Protel International Limited 公司推出的, 一直是从事印制电路板设计的首选软件。最早的 Protel 软件基于 DOS 环境, 曾以其“方便、易学、实用和快速”的风格在 20 世纪 90 年代初广泛流行。Protel International Limited 公司于 1985 年推出的第一套 DOS 版本 PCB 设计工具被澳大利亚电子行业广泛接受, 到 1986 年中期, 开始向美国和欧洲出口。

20 世纪 80 年代晚期, 由于 Windows 平台的发展, 越来越多的设计工程师开始使用 Windows 操作系统。因此, Protel International Limited 公司于 1991 年发行了世界上第一套基于 Windows 的 PCB 设计系统 Advanced PCB, 成为世界上第一家将 EDA (电子设计自动化) 软件运行在 Windows 平台上的公司。

1997 年, 该公司发布了 Protel 98, 专为 Windows NT 平台构建, Protel 98 是第一套集成五大功能的工具, 五大功能为: 原理图设计、可编程逻辑设备 (PLD) 设计、仿真、印制电路板设计和自动布线。其所有的应用程序代码也从 16 位升级到 32 位, 同时, 引进了客户机/服务器体系结构, 性能也大大提高。

1999 年, 该公司再接再厉推出了 Protel 99, 其最大的改变是引进了设计数据库与设计团队的概念。2000 年, 该公司又将 Protel 99 改进为 Protel 99 SE (Second Edition), 主要的改进功能集中在印制电路板的设计方面, 如增加了工作层的数目、增强了 PCB 的打印功能和电路板的 3D 预览功能等。Protel 99 SE 是 Protel International Limited 公司第一个涵盖所有电子设计技术范围的完全集成化的设计系统。2001 年 8 月, Protel International Limited 公司正式更名为 Altium 有限公司 (Altium Limited)。

0.2 软件的运行环境及安装

0.2.1 Protel 99 SE 的使用环境

1. Protel 99 SE 要求的硬件环境

最低配置: Pentium II 233MHz。

内存: 32MB。

硬盘: 300MB。

建议配置: Pentium II 300MHz 以上。

内存: 128M 硬盘: 6G 以上。

显示器: SVGA, 17"以上, 256 色以上。

显示分辨率: 1280 × 768 像素以上, 若在显示分辨率为 800 × 600 像素时浏览管理器窗口, 窗口的下半部分会被截去。

2. Protel 99 SE 使用的软件环境

软件环境主要是指对操作系统的要求, Protel 99 SE 是基于 Windows 平台的 32 位 EDA 设计系统。建议使用的操作系统为 Windows 98、Windows NT、Windows2000、Windows XP 等。

0.2.2 Protel 99 SE 的安装

1) 将 Protel 99 SE 软件安装光盘放入到计算机光盘驱动器中, 或到 Altium 有限公司网站将 Protel 99 SE 软件免费版本下载到计算机中。

2) 放入光盘, 出现欢迎信息如图 0-1 所示, 在此可以进行自动安装; 也可以在安装文件中找到 “setup.exe” 可执行文件, 双击进行安装, 也可出现图 0-1 所示界面。

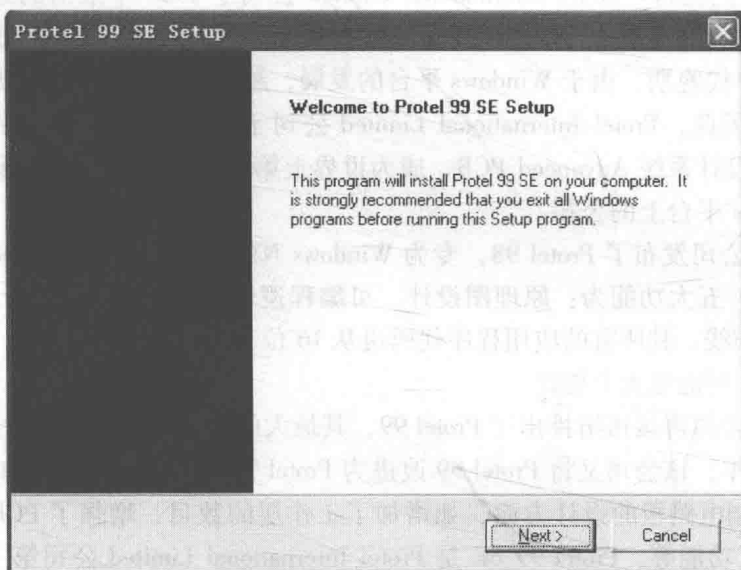


图 0-1 欢迎信息

3) 单击“Next”按钮,进入注册对话框,如图0-2所示。按提示输入用户信息及序列号,单击“Next”。

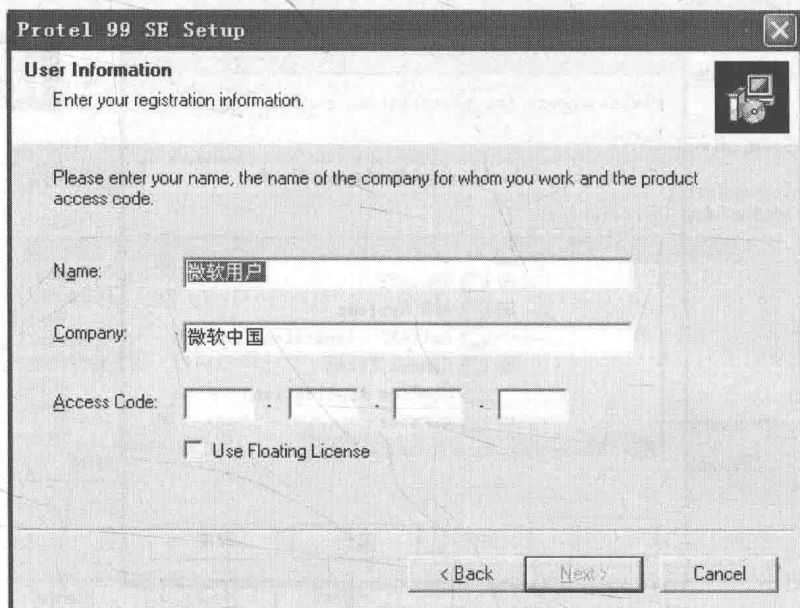


图 0-2 用户注册

4) 进入安装路径,如图0-3所示。默认的安装路径为“C:\Program Files”,如需更改路径,则单击“Browse”更改即可,如图0-4所示。

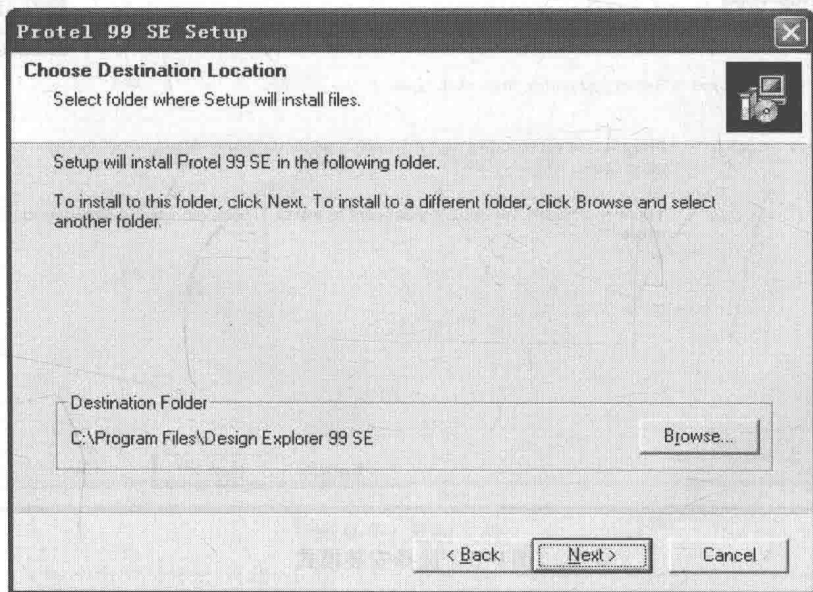


图 0-3 安装路径

5) 选择好安装路径后单击“Next”,进入选择安装模式,如图0-5所示,一般选择典型安装(Typical)模式,如有其他要求可选择自定义安装(Custom)模式。选择“Typical”

模式后单击“Next”继续。

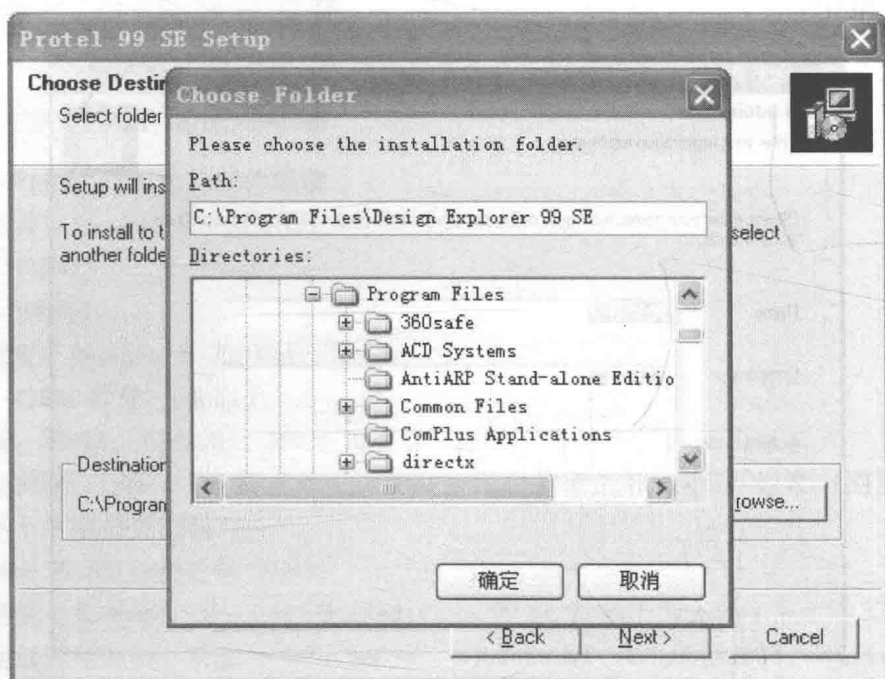


图 0-4 更改安装路径

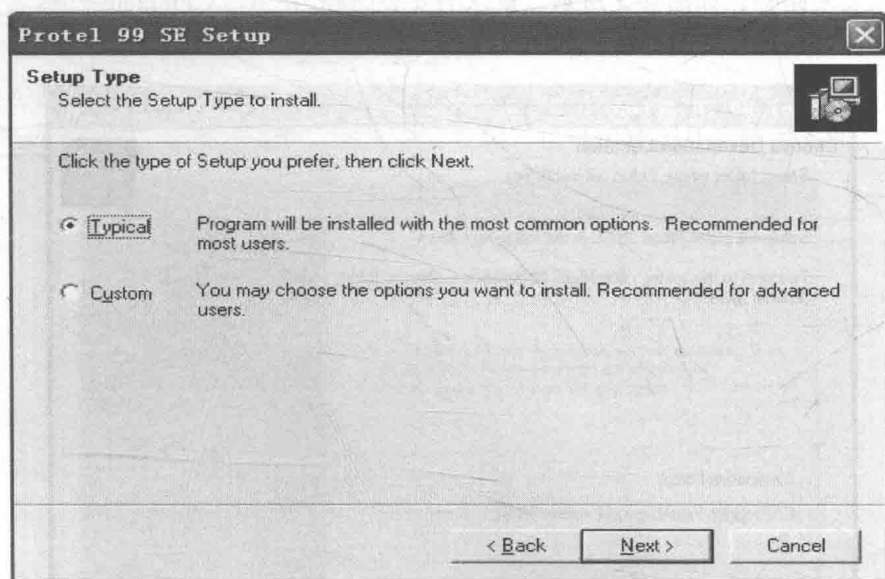


图 0-5 选择安装模式

- 6) 进入设置程序组对话框，如图 0-6 所示，单击“Next”继续。
- 7) 系统开始安装，复制文件如图 0-7 所示。
- 8) 系统安装结束，单击“Finish”完成整个安装过程。

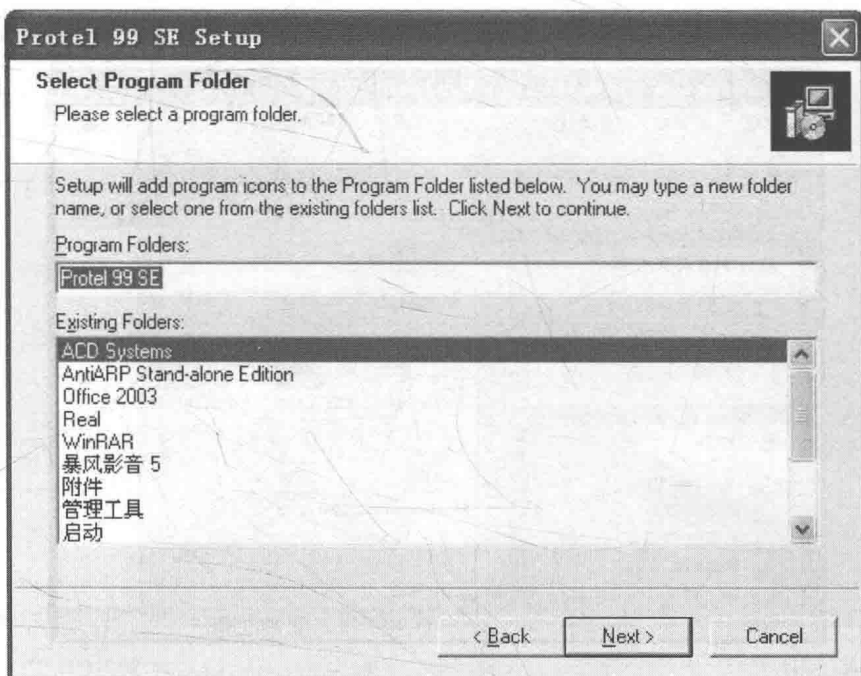


图 0-6 设置程序组

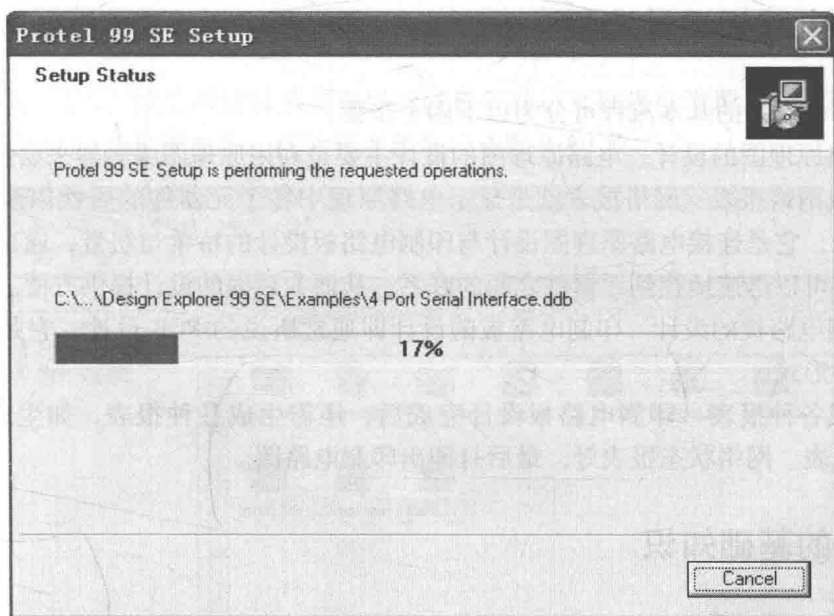


图 0-7 复制文件

Protel 99 SE 安装完成后, 其文件组成如图 0-8 所示。Design Explorer 99 SE 文件夹包含了四个文件夹和 Client 99 SE. exe 主应用程序文件。其中 Examples 文件夹存放 Protel 99 SE 附带的几个设计实例; Help 文件夹存放帮助文件; Library 文件夹存放 PCB 库文件、PLD 库文件、原理图 SCH 库文件、信号完整性库文件和仿真库文件共五个子文件夹; System 文件夹

存放 Protel 99 SE 各种服务程序文件。

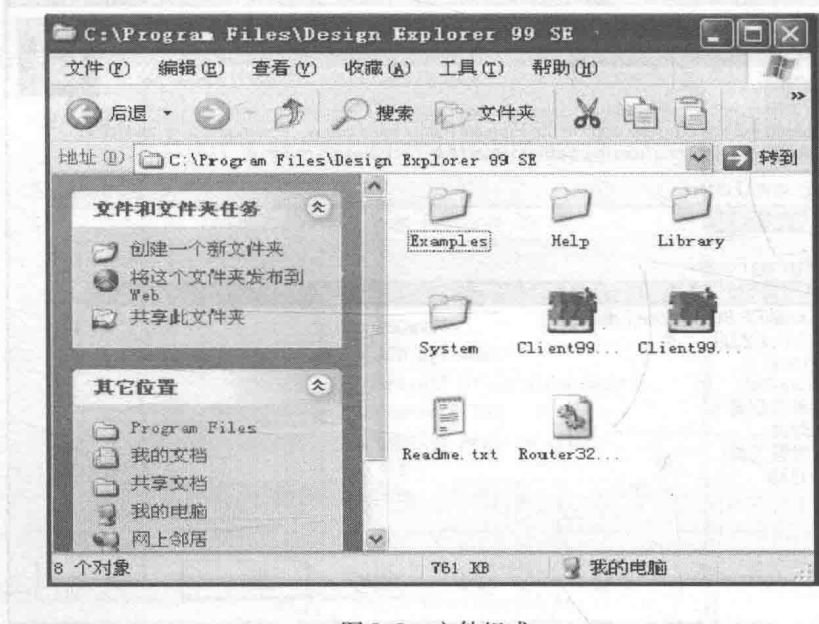


图 0-8 文件组成

0.3 印制电路板设计流程

印制电路板设计的基本流程可分为以下四个步骤：

- (1) 电路原理图的设计 电路原理图的设计主要是利用原理图编辑器来绘制原理图。
- (2) 生成网络报表 网络报表就是显示电路原理中各个元器件的属性以及它们之间连接关系的报表，它是连接电路原理图设计与印制电路板设计的桥梁与纽带，通过电路原理图的网络报表，可以迅速地找到元器件之间的联系，从而为后面的设计提供方便。
- (3) 印制电路板的设计 印制电路板的设计即通常所说的 PCB 设计，它是电路原理图转化成的最终形式。
- (4) 生成各种报表 印制电路板设计完成后，还需生成各种报表，如生成引脚报表、电路板信息报表、网络状态报表等，最后打印出印制电路图。

0.4 软件的基础知识

0.4.1 启动 Protel 99 SE

安装程序时，会在 Windows 桌面生成 Protel 99 SE 软件的快捷方式，双击快捷方式，就可以启动软件。同样，也可以通过 Windows 桌面开始菜单启动，单击“开始”→“程序”→“Protel 99 SE”。

Protel 99 SE 软件启动之后，首先出现启动画面，随后进入图 0-9 所示 Protel 99 SE 的主窗口。

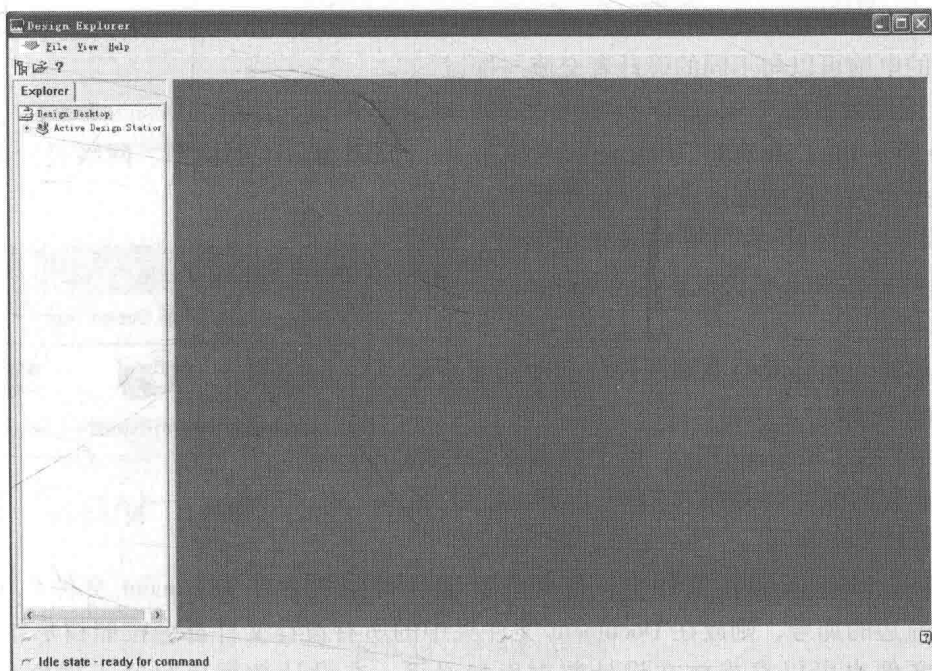


图 0-9 Protel 99 SE 的主窗口

0.4.2 设计管理器

设计管理器可以方便地对设计数据库以及各种资料、文件进行管理，其管理方法类似于 Windows 操作系统的资源管理器。设计管理器窗口如图 0-10 所示。

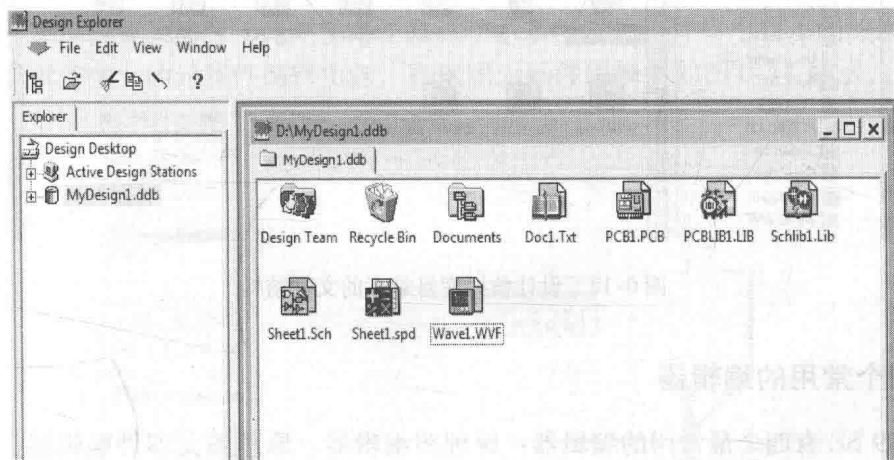


图 0-10 设计管理器窗口

(1) Design Desktop (设计桌面) 设计桌面就像一个工作台，其上放着一台或几台正在运行 Protel 99 SE 的设计电脑 (Active Design Stations)，还有设计数据库 (例如名为 MyDesign1. ddb 的数据库)。

(2) Active Design Stations (设计电脑) 由于 Protel 99 SE 是客户机/服务器型设计软

件, 允许几台电脑共同设计一个原理图, 所以在工作台上将显示所有正在工作的电脑。通过选择不同的电脑可以与不同的设计者交流与探讨。

(3) 设计数据库 (*.ddb) 在 Protel 99 SE 中开发设计小组 (Design Team) 管理、回收站 (Recycle Bin) 和资料 (Document) 文件夹 (原理图、印制板图、网络表) 都被保存在一个数据库内, 该数据库就是设计数据库。

1) 设计小组包括人员管理 (Members)、权限 (Permissions) 和数据库状态显示 (Sessions), 如图 0-11 所示。

对于单独一人完成的原理图设计, 使用者不必关心 Design Team。

2) 回收站 (Recycle Bin) 用于放置不需要的文件, 被放置的文件必须是关闭的 (Close)。若是需要还可以将文件取回。

3) 资料 (Document) 文件夹。各种设计文件可以放置在 Document 文件夹中。单击 Document 左边的加号, 则放在 Document 文件夹中的所有设计文件都会按照树形结构展开。当然设计文件也可以直接放在设计数据库目录下。在设计数据库目录下的文件结构如图 0-12 所示。

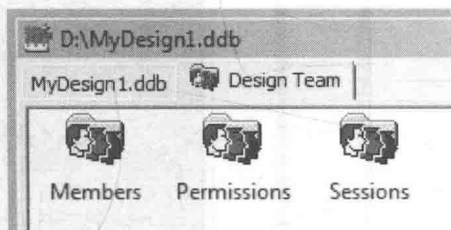


图 0-11 设计小组

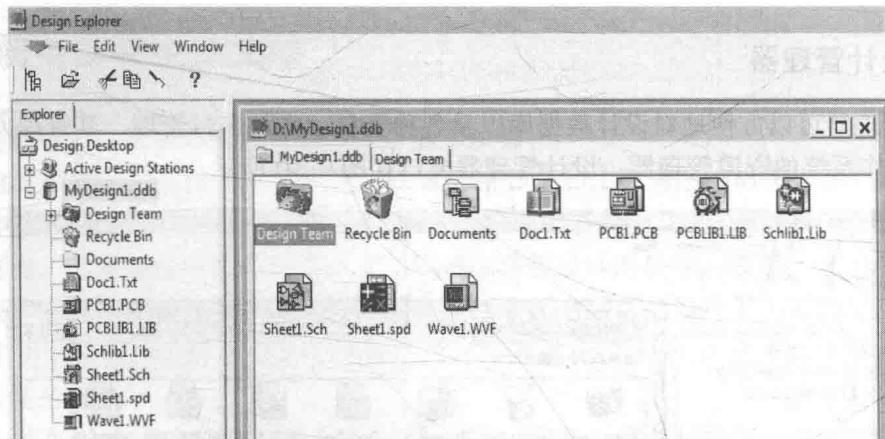


图 0-12 设计数据库目录下的文件结构

0.4.3 四个常用的编辑器

Protel 99 SE 有四个最常用的编辑器: 原理图编辑器、原理图元器件编辑器、PCB 编辑器和元器件封装编辑器。

1. 原理图编辑器

在主窗口工作区内新建或者打开原理图文件后, 原理图编辑器就被打开。在原理图编辑器中, 通过命令、工具栏等可以对原理图进行编辑修改、添加元器件、连线、标注、检错等操作。图 0-13 所示为打开 Backlight Inverter. sch 原理图时的原理图编辑器。

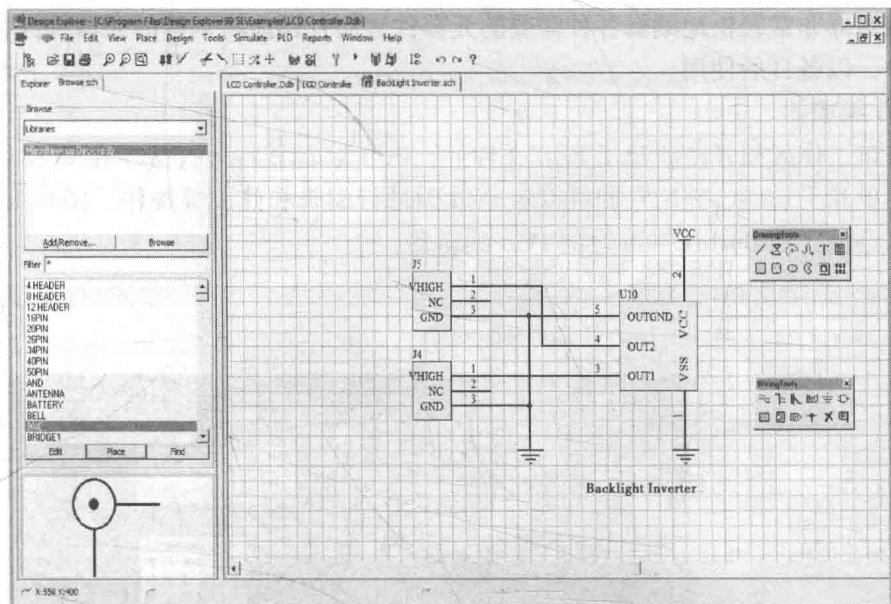


图 0-13 原理图编辑器

2. 原理图元器件编辑器

Protel 99 SE 为用户提供了十分丰富的元器件库（在 Protel 的安装目录 Library/SCH 子目录中），其中包含了 6 万多种世界各大著名公司生产的各种常用元器件，而 Protel 公司也会在其网站上公布一些新的元器件库文件包，用户可以下载来升级自己的元器件库。但是即便如此，在电子技术日新月异的今天，新的元器件每天都在诞生，软件自带的元器件库仍然无法涵盖众多的电子设计者在设计过程中用到的所有元器件，经常会碰到所要使用的元器件无法在元器件库中找到的情况，此刻就需要自己动手来创建元器件库中找不到的元器件。Protel 99 SE 提供了强大的元器件编辑功能，原理图元器件编辑器如图 0-14 所示，用户可以利

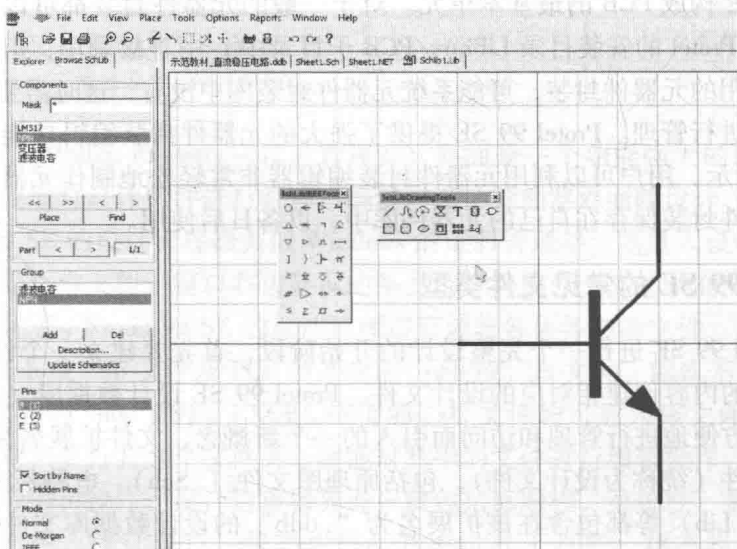


图 0-14 原理图元器件编辑器

用元器件编辑器非常轻松地编辑各种需要的元器件，而且还能将创建的元器件保存在自己的元器件库中，以备日后使用。

3. PCB 编辑器

在主窗口工作区打开或新建了 PCB 文件后，PCB 编辑器将被打开。在 PCB 编辑器中也有相关的菜单和工具栏，利用它们可以对 PCB 图进行编辑和修改等操作。图 0-15 所示为打开某印制电路板文件 Board1. ddb 时的 PCB 编辑器。

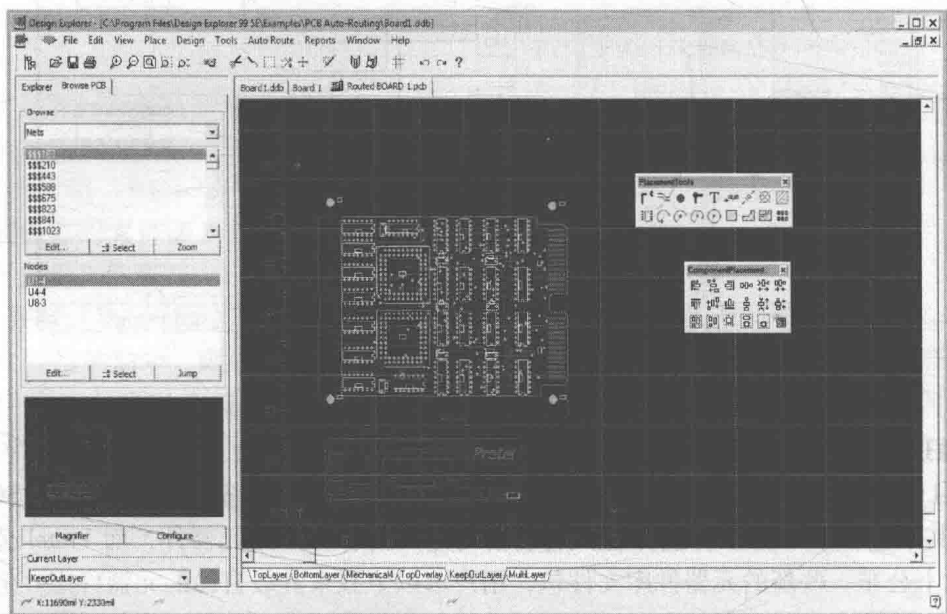


图 0-15 PCB 编辑器

4. 元器件封装编辑器

元器件封装是构成 PCB 的最基本单元。对于一般的元器件封装都可以从软件自带的元器件封装库（在 Protel 的安装目录 Library/PCB 子目录中）中直接调用，但是对于一些比较特殊的或者是专用的元器件封装，可能系统元器件封装库中没有，这时需要自己制作元器件封装并对封装库进行管理。Protel 99 SE 提供了强大的元器件封装编辑功能，元器件封装编辑器如图 0-16 所示，用户可以利用元器件封装编辑器非常轻松地制作元器件封装，而且还能将创建的元器件封装保存在自己的元器件库中，以备日后使用。

0.4.4 Protel 99 SE 的常见文件类型

在利用 Protel 99 SE 进行一个完整设计的开始阶段，首先要建立一个设计数据库文件，然后再根据设计的内容创建相对应的设计文件。Protel 99 SE 设计数据库（*.ddb）是为使用者对设计数据方便地进行管理和访问而引入的一个新概念，文件扩展名为“.ddb”。所有与设计相关的文件（统称为设计文件），包括原理图文件（.Sch）、电路板文件（.PCB）和元器件库文件（.Lib）等都包含在该扩展名为“.ddb”的设计数据库文件中。有了设计数据库文件，用户就可以通过打开它方便地查看或编辑与工程相关的所有文件。这不仅便于用户管理，而且还增加了安全性。每一种文件都是一个独立的文件，其文件类型及扩展名都不