

基于案例的电子系统设计与实践

Design of Electronic System
Based on Case

于天河 薛楠◎主编

Yu Tianhe Xue Nan

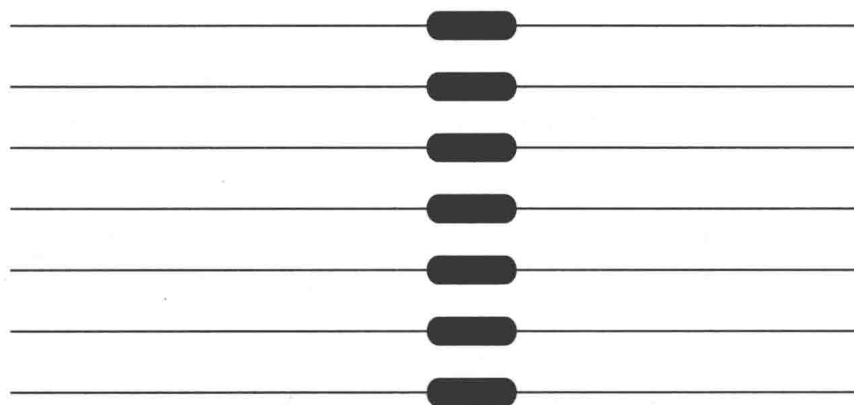
卢迪◎主审

Lu Di



清华大学出版社





Design of Electronic System
Based on Case

基于案例的电子系统设计与实践

于天河 薛楠◎主编
Yu Tianhe Xue Nan

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是为高等学校电子信息类、电气信息类专业编写的一本电子设计的实践类教材,在内容上从基础软件入手,注重实用性,以案例的形式给出多个电子设计具体实现的方法。

本书共分13章,内容包括电子电路CAD设计基础与案例,4个模电、数电方面的设计案例、5个以单片机为主的设计案例,目的在于培养学生电子系统的综合设计能力,以适应信息时代对相关专业学生知识结构与实践能力的要求。本书的特点是结构新颖,选用的案例具有较强的实用性和层次性,内容上注重理论与实践相结合,着力加强实践性与工程性的训练。

本书除作为高等院校相关专业的教材外,还可作为大学生课外电子制作、电子设计竞赛和相关工程技术人员的实用参考书与培训教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

基于案例的电子系统设计与实践/于天河,薛楠主编. —北京:清华大学出版社,2017
ISBN 978-7-302-45713-8

I. ①基… II. ①于… ②薛… III. ①电子系统—系统设计 IV. ①TN02

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第283984号

责任编辑:文 怡

封面设计:李召霞

责任校对:李建庄

责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:16

字 数:392千字

版 次:2017年1月第1版

印 次:2017年1月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:49.00元

产品编号:070273-01

前言

“电子设计及实践”是电子信息类、电气信息类专业的一门实践课程。针对信息化社会中电子应用领域的不断扩大,结合目前普通高等院校应用教学的案例式教育理念的需要,我们编写本书。

传统的理论性教材注重系统性和全面性,但实用性和实际效果并不是很好。基于案例式的工程教育理论的教学模式注重学生综合能力的培养,在教学过程中以学生未来职业角色为核心,以社会需求为导向,兼顾理论内容与实践技术内容的个性化培养方案,将课内教学与课外实践活动融为一体,形成课内理论教学和课外实践活动的良性互动。通过教学实践表明,该种教学模式对培养学生的创新思维和提高学生的实践能力有很好的作用。

本书主要内容包括 Protel 电子电路设计软件安装与应用,基于模电、数电的设计案例,基于单片机的设计案例三大模块。第 1~4 章为电子线路设计软件 Protel DXP 2004 SP2 的使用教程;第 5~8 章是模电、数电的案例设计,包括直流电源电路设计、音频功率放大器设计、低通滤波器设计、数字显示定时报警器设计;第 9~13 章是单片机的智能控制案例设计,包括超声波测距系统设计、电子密码锁系统设计、函数信号发生器的设计、数控稳压电源设计、智能控温系统设计。本书以案例的形式讲述了众多贴近生活的电子系统的相关技术,目的是通过本书的学习,使读者了解和掌握多种电子系统的组成,并具有一定的电子系统软、硬件设计能力。

本书的主要特色:

(1) 突出设计能力的培养,突破传统教材章节编排知识的系统和逻辑,根据实际项目开发步骤,让读者在完成任务的过程中学习相关知识。以项目案例为核心,实践、实验与理论相结合,相互渗透,相互推动。

(2) 主要章节采用项目案例式设计,首先对所需要的基础知识、拟采用硬件设备进行详细介绍。根据设计要求,给出具体设计方案,并详细给出相关软件仿真。案例式设计,从实际应用出发,有利于激发学习兴趣,开拓读者思路。

(3) 本书的第一部分介绍 Protel 软件应用。通过项目的实训逐步掌握 Protel 软件的使用,为后面的案例章节做铺垫,使得初学者容易入手,由浅入深地学习。本书第二部分是模电、数电的案例,从项目的设计要求入手,分析方案,对各个部分进行具体设计,最后用软件仿真实现。本书第三部分是单片机案例设计,插入了大量的电路原理图分析、器件的应用分析,对案件采用 C 语言进行编程,并加以详细说明和注释,使读者较为容易地理解和掌握程序设计思想。

(4) 本书的部分案例选取自大学生电子设计竞赛,对于初学电子设计的同学,建议循序

渐进地进行阅读。本书的各个案例是按由易到难的顺序编排的,但各个项目相对独立,相关老师可以根据实际教学情况和学时进行选取。

本书由于天河、薛楠任主编,由卢迪教授任主审。第1~4章由薛楠编写,第7章由李鹏飞编写,第5、6章和第8~13章由于天河编写。由于时间及水平有限,书中难免存在错误与不足之处,恳请专家和广大读者批评指正。

在本书编写过程中得到了哈尔滨理工大学电气与电子工程学院、哈尔滨理工大学教务处的大力支持,在此表示感谢。在本书编写时也参考了许多同行专家的相关文献,在此向这些文献的作者深表感谢。

编 者

2016年9月

目录

第 1 章 印制电路板认知

1.1	项目导读	1
1.2	基础知识——印制电路板	2
1.2.1	印制电路板的基本组成	2
1.2.2	印制电路板的基本概念	2
1.2.3	印制电路板的种类	3
1.2.4	印制电路板的工作层面	4
1.3	项目实训——印制电路板的设计与制作	5
1.3.1	项目参考	5
1.3.2	项目实施过程	6

第 2 章 集成元件库设计

2.1	项目导读	14
2.2	基础知识——元件原理图库、PCB 元件封装库	14
2.2.1	元件原理图库编辑器	14
2.2.2	常用的工作面板及操作	18
2.2.3	元件原理图库的图纸属性	21
2.2.4	元件原理图库的视图操作	22
2.2.5	PCB 元件封装库编辑器	23
2.2.6	PCB Library 工作面板	25
2.2.7	PCB 元件封装库的图纸属性	26
2.3	项目实训——集成元件库的设计与元件制作	27
2.3.1	项目参考	27
2.3.2	项目实施过程	28

第 3 章 电路原理图设计

3.1 项目导读	47
3.2 基础知识——电路原理图设计	47
3.2.1 原理图编辑器	48
3.2.2 Libraries 工作面板	50
3.2.3 原理图图纸的设置	52
3.2.4 原理图优先选项	54
3.3 项目实训——电路原理图设计	56
3.3.1 项目参考	56
3.3.2 项目实施过程	57

第 4 章 印制电路板设计

4.1 项目导读	72
4.2 基础知识——PCB 设计	72
4.2.1 PCB 编辑器	72
4.2.2 PCB 工作面板	75
4.2.3 PCB 优先选项	77
4.2.4 电路板的规划设置	78
4.2.5 PCB 设计规则	80
4.3 项目实训——PCB 设计	88
4.3.1 项目参考	88
4.3.2 项目实施过程	88

第 5 章 直流电源电路设计

5.0 引言	96
5.1 设计任务及要求	96
5.1.1 设计任务	96
5.1.2 要求	97
5.2 系统整体方案设计	97
5.2.1 设计原理	97

5.2.2 各部分的电路设计	97
5.3 元件参数选择	100
5.4 电路仿真调试及部分结果图	101
5.5 设计分析	104

第 6 章 音频功率放大器设计

6.0 引言	105
6.1 设计任务及要求	105
6.2 音频功率放大基础	106
6.2.1 功率放大器常见名词	106
6.2.2 功率放大原理及分类	107
6.3 设计方案	109
6.3.1 前置放大电路	110
6.3.2 功率放大器	111
6.4 仿真与实现	111
6.4.1 前置放大电路的仿真	112
6.4.2 功率放大器的设计	112
6.4.3 仿真模拟结果	113
6.4.4 实现方案所需元器件	114
6.5 设计分析	114

第 7 章 低通滤波器设计

7.0 引言	116
7.1 设计任务及设计要求	116
7.1.1 设计任务	116
7.1.2 设计要求	117
7.2 原理分析	117
7.2.1 滤波器的分类	117
7.2.2 无源器件的频域模型	118
7.2.3 运算放大器的基本原理	119
7.2.4 滤波器电路分析	121
7.3 电路设计	125

7.3.1 Multisim 使用入门	125
7.3.2 有源低通滤波器的仿真电路设计	129
7.4 仿真结果与验证	130

第 8 章 数字显示定时报警器设计

8.0 引言	133
8.1 设计任务及要求	133
8.2 设计方案	134
8.3 硬件电路设计	134
8.3.1 方波信号源设计	134
8.3.2 计时与显示	135
8.3.3 复位电路	138
8.3.4 最后三秒声响部分	138
8.3.5 停止电路	138
8.3.6 总体电路	138

第 9 章 超声波测距仪设计

9.0 引言	142
9.1 设计任务及要求	142
9.2 设计方案论证	143
9.3 系统硬件设计	143
9.3.1 主控制模块	143
9.3.2 主控芯片——STC89C52RC	144
9.3.3 晶振电路	146
9.3.4 复位电路	146
9.3.5 显示电路——LCD12864 液晶显示屏	146
9.3.6 超声波测试模块	147
9.3.7 报警电路设计	161
9.4 软件设计	161
9.5 系统测试及结果	162
9.5.1 系统硬件测试	162
9.5.2 系统软件测试	163
9.5.3 测试结果	163

第 10 章 电子密码锁设计

10.0	引言	164
10.1	设计任务及要求	164
10.2	设计方案论证	165
10.3	系统硬件设计	166
10.3.1	电路总体构成	166
10.3.2	矩阵键盘	166
10.3.3	开锁控制电路	167
10.3.4	报警电路	168
10.3.5	密码存储电路	168
10.4	系统软件设计	173
10.4.1	系统程序设计流程图	173
10.4.2	系统程序设计	176
10.5	系统测试及结果	192

第 11 章 函数信号发生器设计

11.0	引言	194
11.1	设计任务及要求	195
11.2	系统整体方案设计	195
11.3	系统硬件设计	195
11.3.1	硬件电路总设计	195
11.3.2	数模转换器 DAC0832	196
11.3.3	放大电路	199
11.3.4	按键模块	200
11.3.5	显示模块	201
11.4	软件设计	201
11.4.1	主程序流程图	201
11.4.2	主程序	202
11.5	系统测试及结果	209
11.5.1	系统硬件测试	210
11.5.2	系统软件测试	210

第 12 章 数控稳压电源设计

12.0	引言	212
12.1	设计任务及要求	212
12.2	系统整体方案设计	213
12.3	系统硬件设计	213
12.3.1	电源模块设计	214
12.3.2	数控稳压输出模块	215
12.4	软件设计	219
12.4.1	主程序流程图	219
12.5	系统测试及结果	224
12.5.1	系统硬件测试	224
12.5.2	系统软件测试	225
12.5.3	测试结果	225

第 13 章 智能温度测控系统设计

13.0	引言	226
13.1	设计任务及要求	226
13.2	系统整体方案设计	227
13.3	系统硬件设计	227
13.3.1	主控制单元	227
13.3.2	温度传感器 DS18B20	229
13.3.3	可控硅移相触发电路	231
13.4	软件设计	234
13.4.1	主程序流程图	234
13.4.2	PID 控制算法	235
13.5	系统测试及结果	244
13.5.1	系统硬件测试	244
13.5.2	系统软件测试	245

参考文献

246

第 1 章



印制电路板认知

1.1

项目导读

印制电路板(Printed Circuit Board, PCB)简称电路板。印制电路板是在绝缘材料上,按照预定的设计,采用印制的方法制成导电路径和元件封装,它的主要功能是实现电子元器件的固定安装以及元器件管脚之间的电气连接,从而实现电路的特定功能。

制作正确、可靠、美观的印制电路板是电路板设计的最终目的。制作印制电路板的途径通常分为两种,一种途径是设计人员将设计好的 PCB 图发往工厂,委托工厂进行加工,优点是工厂加工的电路板工艺完善、质量可靠,缺点是加工费用高,消耗时间长;另一种途径是设计人员自制印制电路板,主要出于两方面考虑,一是受研发时间所限,设计人员需要马上使用电路板以便于进行实验或研发,自制电路板可以有效地节省加工时间;二是对于设计人员和初学者来说,如果每一块电路板都委托工厂加工,则费用过高。因此通过自制电路板可以有效地加快研发进度、节省加工费用,同时能够增强设计人员的实践能力,更有助于促进设计人员对设计电路的理解。

本章以 Protel DXP 2004 SP2 制作单面印制电路板为例,实现了从电路原理图的设计到 PCB 的绘制,再到采用热转印法自制 PCB 的完整过程。该项目意在通过一个简单完整的实例使得设计人员对 PCB 的设计和加工过程有着一个初步的认知。

1.2

基础知识——印制电路板

1.2.1 印制电路板的基本组成

印制电路板包含一系列元器件,由绝缘板支撑,通过绝缘板上的铜箔进行电气连接,如图 1-1 所示。

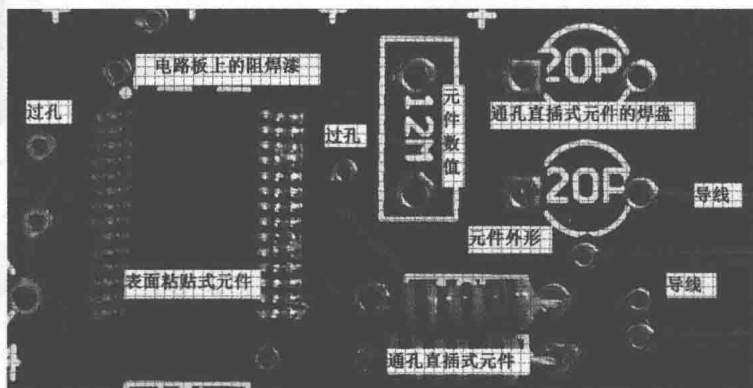


图 1-1 印制电路板

一般来说,印制电路板包括以下 4 个基本组成部分。

(1) 元器件: 用于实现电路功能的各种元器件,如芯片、电阻、电容、二极管、三极管等。每一个元器件都包含若干个引脚,通过这些引脚,电信号被引入元器件内部进行处理,从而完成相应的功能。

(2) 绝缘板: 采用绝缘材料制成,用于支撑整个电路板。

(3) 铜箔: 在电路板上表现为导线、焊盘、过孔和覆铜等。例如,为了实现两个元器件之间引脚的电气连接,需要使用导电能力较强的铜箔导线连接在元器件引脚对应的焊盘之间。

(4) 丝印: 在电路板上标注的元器件外形、文字或符号,用来对电路板上的元器件或电路功能进行注释,方便电路和元器件的组装及辨识。

1.2.2 印制电路板的基本概念

1. 元件封装

元件封装是实际元器件焊接到电路板上时,在 PCB 电路板上所显示的外形和焊盘位置关系,因此元件封装是实际元器件在 PCB 电路板上的外形和引脚分布关系图。

元件封装的两个要素是外形和焊盘。制作元件封装时必须严格按照实际元器件的外形尺寸和焊盘间距来制作,否则装配电路板时有可能因焊盘间距不正确而导致元器件不能焊接到电路板上,或者因为外形尺寸不正确,而使元器件之间相互干扰。

按照元件安装方式,元件封装可以分为通孔直插式封装和表面粘贴式封装两大类型。

通孔直插式元件及元件封装如图 1-2 所示。通孔直插式元件焊接时先将元件引脚插入焊盘通孔中,然后再焊锡。由于元件引脚贯穿整个电路板,所以其焊盘中心必须有通孔,焊盘至少占用两层电路板,因此在通孔直插式元件焊盘属性对话框中,Layer(层)的属性必须为 Multi-Layer。

表面粘贴式元件及元件封装如图 1-3 所示。此类封装的焊盘没有导通孔,焊盘与元件在同一层面,元件直接贴在焊盘上焊接。所以表面粘贴式封装的焊盘只限于 PCB 板表面的两个板层,即顶层或底层。因此在表面粘贴式元件焊盘属性对话框中,Layer 的属性必须为单一层,即 Top Layer。

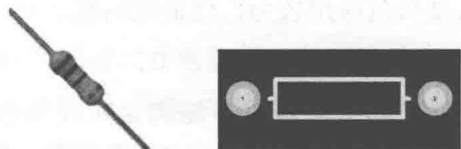


图 1-2 通孔直插式元件及元件封装

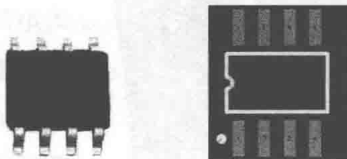


图 1-3 表面粘贴式元件及元件封装

2. 焊盘

焊盘是在电路板上为了固定元件引脚,并使元件引脚和导线导通而加工的具有固定形状的铜膜。焊盘形状一般有圆形、方形和八角形三种,用于固定通孔直插式元件的焊盘有孔径尺寸和焊盘尺寸两个参数,而表面粘贴式元件对应的焊盘常采用方形焊盘,设置焊盘尺寸即可。

3. 过孔

在双面或多层印制电路板中,为了连接不同板层间的铜膜导线,在各层需要连通的位置处钻有一个连通孔,连通孔的孔壁圆柱面上镀有一层金属,起到连通各层的作用,此连通孔即为过孔。通常,过孔有 3 种类型,它们分别是顶层到底层的穿透式过孔(通孔)、从顶层通到内层或从内层通到底层的盲过孔(盲孔)、内层间的深埋过孔(埋孔)。过孔的形状只有圆形,主要参数包括过孔尺寸和孔径尺寸。

4. 铜箔导线

覆铜板经过蚀刻后形成铜箔导线,又简称为导线。铜箔导线是电路板的实际走线,用于连接元件的各个焊盘,是印制电路板的重要组成部分。铜箔导线的主要属性是导线宽度,它取决于承载电流的大小和铜箔的厚度。

1.2.3 印制电路板的种类 ◀

印制电路板的种类可以根据元件导电层面的多少分为单面板、双面板、多层板 3 种。

1. 单面板

单面板是一种一面覆铜而另一面没有覆铜的电路板,如图 1-4 所示。在覆铜的一面上包含用于焊接的焊盘和用于连接元器件的铜箔导线,在没有覆铜的一面上包含元件的型号、参数以及电路的说明等,以便满足元器件的安装、电路的调试



图 1-4 单面板

和维修等需求。由于单面板只有一面覆铜,所有导线都集中在这一面中,很难满足复杂连接的布线要求,只适用于比较简单的电路。

2. 双面板

双面板是上、下两面均覆铜的电路板,如图 1-5 所示。因此双面板的顶层和底层都有用于连接元器件的铜箔导线,两层之间通过金属化过孔来连接。一般来说,双面板的全部元件或多数元件仍安装在顶层,因此元件的型号和参数也多是在顶层上印制,而底层还是用于元器件的焊接。双面板既降低了布线难度,又提高了电路板的布线密度,可以适应较为复杂的电气连接的要求,是目前应用较为广泛的电路板。

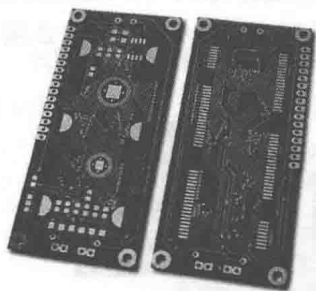


图 1-5 双面板

3. 多层板

对于比较复杂的电路,双面板已不能满足布线和电磁屏蔽要求,这时一般采用多层板设计。多层板结构复杂,它是由导电层和绝缘材料层交替粘合而成的一种印制电路板,层间的电气连接利用金属化过孔实现。随着集成电路技术的不断发展,元件集成度越来越高,电路中元件连接关系越来越复杂,也使多层板的应用越来越广泛。

1.2.4 印制电路板的工作层面

Protel DXP 2004 SP2 提供了不同类型的工作层面,分别为:32 个信号层(Signal Layers)、16 个内部电源/接地层(Internal Planes)、16 个机械层(Mechanical Layers)、4 个防护层(Mask Layers)[包括 2 个阻焊层(Solder Mask Layers)和 2 个焊锡膏层(Paste Mask Layers)]、2 个丝印层(Silkscreen Layers)、4 个其他层(Other Layers)[包括 1 个禁止布线层(Keep Out Layer)、2 个钻孔层(Drill Layers)和 1 个多层(Multi Layer)]。

1. 信号层

信号层包括顶层(Top Layer)、底层(Bottom Layer)和中间信号层(Mid Layer 1~Mid Layer 30),它们主要用来布置信号线。常见的 PCB 双面板设计是在顶层信号层和底层信号层上放置元件以及布置铜箔导线。

2. 内部电源/接地层

内部电源/接地层,简称内电层,在 PCB 设计过程中主要为多层板提供放置电源线和地线的专用布线层。

3. 机械层

Protel DXP 2004 SP2 提供了 16 个机械层,用于设置电路板的外形尺寸、对齐标记、数据标记等机械信息。在 PCB 设计过程中最常使用 Mechanical 1 层绘制电路板的外形。

4. 防护层

防护层包括阻焊层和焊锡膏层,主要用于保护铜线以及防止元件被焊接到不正确的地方。

阻焊层分为顶部阻焊层(Top Solder Mask)、底部阻焊层(Bottom Solder Mask)两层,为焊盘以外不需要焊锡的铜箔上涂覆一层阻焊漆,主要用于阻止焊盘以外的导线、覆铜区等上锡,从而避免相邻导线焊接时短路,还可防止电路板长期使用时的氧化腐蚀。

焊锡膏层,有时也称为助焊层,用来提高焊盘的可焊性能,在 PCB 上比焊盘略大的各浅色圆斑即为焊锡膏层。在进行波峰焊等焊接时,在焊盘上涂上助焊剂,可以提高 PCB 的焊接性能。

5. 丝印层

丝印层分为顶层丝印层(Top Overlay)和底层丝印层(Bottom Overlay)。丝印层是通过丝印的方式在电路板上印制元件或电路的基本信息,例如元件封装、元件标号和参数、电路的说明等,以便元件的安装以及电路的调试。

6. 其他层

其他层包括 1 个禁止布线层、2 个钻孔层和 1 个多层。

在禁止布线层上绘制一个封闭区域作为自动布线时的区域,可以将电路中的元件和布线有效地控制在该区域内,该区域外不能进行布线。

钻孔位置层(Drill Guide)用于标识印制电路板上钻孔的位置,钻孔绘图层(Drill Drawing)用于设定钻孔形状,多层(Multi Layer)针对通孔焊盘和过孔而设,通孔焊盘和过孔都设置在多层上,关闭此层,则焊盘和过孔将无法显示。

1.3

项目实训——印制电路板的设计与制作

本项目以制作单面印制电路板为背景,首先给出从原理图设计到 PCB 设计的一个简要过程,然后使用热转印法制作一块单面印制电路板,最后完成电路板的加工。通过本项目的实训可以使设计人员初步了解 PCB 设计的大致过程,并对印制电路板的结构和制作过程有着清晰的了解,有助于后续章节知识的理解和学习。

1.3.1 项目参考 ◀

项目选取的是一个简易的电路,且实验结果清晰直观,在整个项目的实施过程中,设计人员能够始终对电路的结构保持清晰的认知。另外此项目中的电路全部选用 Protel DXP 2004 SP2 软件启动时自动加载的两个基本库(Miscellaneous Devices. IntLib 和 Miscellaneous Connectors. IntLib)中的元器件,降低了 PCB 设计难度。同时,在设计过程中,回避 PCB 设计规则和其他复杂的操作,简化 PCB 设计过程。但即使这样,该项目的设计仍覆盖了电子线路设计的核心内容,因此设计人员进行项目设计时,要注意把握项目的主线,先不必过多涉及原理图设计以及 PCB 设计中的复杂操作。

(1) 如图 1-6 所示,绘制电路原理图,要注意保证电路中电气连接的正确性。

(2) 与电路原理图 1-6 对应的单面印制电路板布线图如图 1-7 所示。

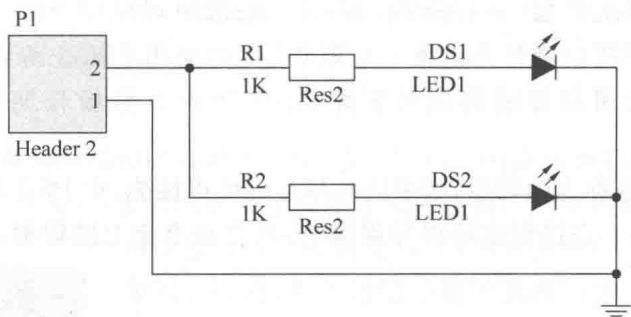


图 1-6 电路原理图参考

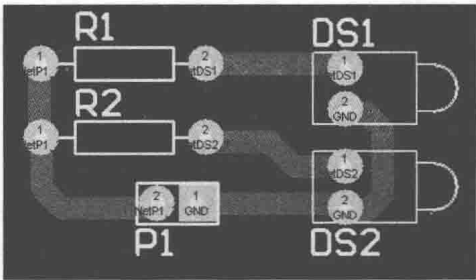


图 1-7 PCB 图参考

(3) 项目中的元器件图形符号、PCB 元器件封装及元器件实物如表 1-1 所示。

表 1-1 元器件图形符号、PCB 元器件封装及元器件实物

序 号	元器件名称	元器件图形符号	PCB 元器件封装	元器件实物
1	电阻			
2	发光二极管			
3	插针			

1.3.2 项目实施过程 ◀

项目的实施过程包括创建一个新的 PCB 项目，向 PCB 项目中添加新的原理图文件并绘制电路原理图，添加新的 PCB 文件并绘制相应的印制电路板图，最后采用热转印法自制印制电路板。

步骤 1.1 新建 PCB 项目。

首先在“D:\Chapter1”目录下创建一个名为“双管电路”的文件夹，然后启动 Protel DXP 2004 SP2 软件，进入设计系统中。在设计系统的主界面上执行菜单命令 File→New→