

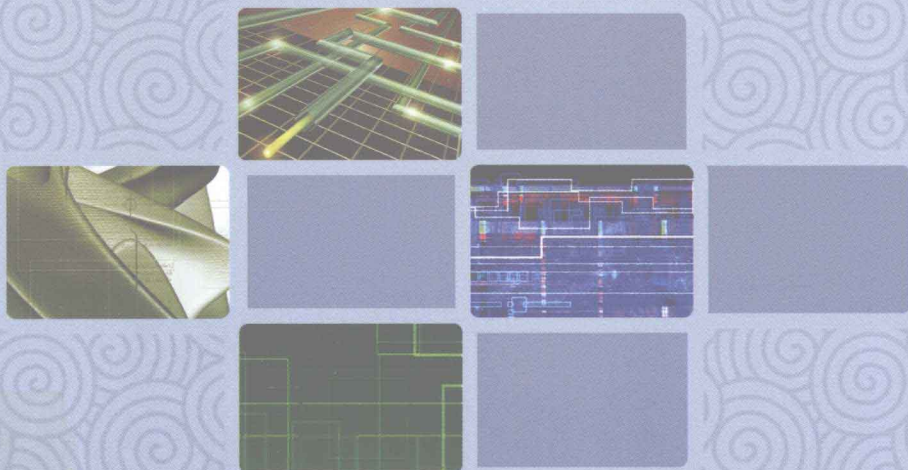


普通高等教育“十二五”创新型规划教材
高等教育课程改革项目研究成果

Dianzi Dianlu Fenxi
yu Zhizuo

电子电路分析与制作

◆ 主编 谢兰清



普通高等教育“十二五”创新型规划教材
高等教育课程改革项目研究成果

电子电路分析与制作

主 编 谢兰清
副主编 尤文坚 苏 波
王彰云 苏 雪
主 审 陶 权

内 容 简 介

本书将教学内容按项目模块编写,以电子技术中的典型项目为载体,全书的内容包括直流稳压电源、调光灯电路、扩音机电路、音频信号发生器、叮咚门铃电路、简单抢答器的制作、产品质量检测仪、一位加法计算器、由触发器构成的改进型抢答器、数字电子钟等 10 个项目。以完成工作任务为主线,联系相应的理论知识和技能实训,融“教、学、做”为一体,充分体现了课程改革的新理念。本教材适合边教、边学、边做的教学方法,参考教学时间为 90~120 学时。

本书中穿插一些“小知识”“小技能”“思考”“小问答”等小栏目,突出实际工作中的重点,并使全书形式活泼。

本书实用性强,可作为高等院校电子、机电、电气、自动化等电类专业的教材,也可供从事相应工作的技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电子电路分析与制作/谢兰清主编. —北京:北京理工大学出版社, 2012. 2

ISBN 978 - 7 - 5640 - 5588 - 2

I. ①电… II. ①谢… III. ①电子电路-电路分析-高等学校-教材
②电子电路-制作-高等学校-教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 020011 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京兆成印刷有限责任公司

开 本 / 710 毫米×1000 毫米 1/16

印 张 / 20.25

字 数 / 382 千字

责任编辑 / 陈子慧

版 次 / 2012 年 2 月第 1 版 2012 年 2 月第 1 次印刷

陈莉华

印 数 / 1~1500 册

责任校对 / 陈玉梅

定 价 / 42.00 元

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前言

Preface

本教材在如下方面体现出项目式教学的特色。

1. 教材的编写打破传统的章节划分的方法，合理选取 10 个项目，分解项目所包含的任务，围绕项目和任务展开课程教学内容及相关技能实训，将理论教学与实践教学融于一体，适合边教、边学、边做的教学方法。

2. 着眼应用，特别是集成电路强调以应用为主，对集成电路内部分析不作要求，并且削减分立，突出集成。

3. 把握理论上的“度”。本教材中的理论知识力图以“必需、够用”为度，注重技术，强调应用。

4. 可操作性强。该教材的实践项目不仅实用性强，而且可操作性强。通过编者的教学实践证明，学生都能够在教师的指导下，很好地完成各项目的电路设计与制作工作，并使之实现相应的电路功能。

参加本教材编写的人员有尤文坚（编写项目 2、4），苏波（编写项目 3），王彰云（编写项目 1），王彩霞（编写项目 5），莫毅（编写绪论），谢兰清（编写项目 6、7、8、9），苏雪（编写项目 10），莫毅、李俊、陈伟伟负责制作本书课件，由谢兰清负责总体策划及全书统稿。另外，在编写过程中参考了大量的有关文献资料，因此对书后参考文献中所列的作者深表谢意。

本教材由陶权教授担任主审，陶权教授在百忙之中对全书进行了详细的审阅，并提出了许多宝贵的意见，在此表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，时间仓促，书中难免有疏漏及错误之处，殷切希望使用本教材的师生和读者批评指正。

编 者

目录

Contents

绪论	1
项目 1 直流稳压电源的分析与制作	4
【实践活动 1】 +5 V 直流稳压电源的制作	5
【实践活动 2】 输出可调直流稳压电源的制作	7
1.1 半导体二极管	9
1.1.1 半导体	9
1.1.2 N 型半导体和 P 型半导体	10
1.1.3 PN 结及单向导电性	10
1.1.4 半导体二极管	11
1.2 二极管整流电路	15
1.2.1 单相半波整流电路	15
1.2.2 单相桥式整流电路	16
1.3 滤波电路	18
1.3.1 电容滤波电路	18
1.3.2 电感滤波电路	20
1.3.3 复式滤波电路	20
1.4 稳压电路	21
1.4.1 直流稳压电源的组成	22
1.4.2 稳压电路在直流稳压电源中的作用及要求	22
1.4.3 并联型稳压电路	22
1.4.4 串联型稳压电路	23
1.4.5 集成稳压器	24
1.5 开关型稳压电源	25
1.5.1 开关型稳压电路	26
1.5.2 开关型稳压电路的工作原理	26
1.6 面包板的使用	26



【任务训练 1】 阻抗元件的认识与检测	28
【任务训练 2】 二极管的识别与检测	34
【任务训练 3】 整流滤波稳压电路的检测	35
本项目知识点	37
思考与练习	38
项目 2 调光灯电路的分析与制作	41
【实践活动】 调光灯电路的制作	42
2.1 晶闸管	45
2.1.1 单向晶闸管	47
2.1.2 双向晶闸管	51
2.2 单结晶体管	52
2.3 双向触发二极管	55
2.4 可控整流电路	56
2.4.1 单相半波可控整流电路	57
2.4.2 单相桥式可控整流电路	59
本项目知识点	60
思考与练习	61
项目 3 扩音机电路的分析与制作	63
【实践活动】 扩音机电路的安装与调试	63
3.1 半导体三极管	66
3.1.1 结构和类型	67
3.1.2 三极管的电流放大原理	68
3.1.3 三极管的特性曲线	69
3.1.4 三极管的应用	71
3.1.5 三极管主要参数及其温度影响	71
3.1.6 特殊三极管	72
3.2 小信号放大电路	73
3.2.1 小信号放大电路的结构	73
3.2.2 小信号放大电路的主要技术指标	74
3.2.3 共射极基本放大电路的组成及工作原理	75
3.2.4 共射极基本放大电路的分析	76
3.2.5 静态工作点稳定电路	80
3.2.6 共集基本放大电路	81
3.3 多级信号放大电路	84
3.3.1 多级放大器的组成	84
3.3.2 级间的耦合方式	85

3.3.3 多级放大电路的分析	86
3.4 功率放大器	87
3.4.1 功率放大器的要求	87
3.4.2 低频功放的种类	88
3.4.3 集成功率放大电路	88
3.5 负反馈放大器	94
3.5.1 反馈的概念与判断	94
3.5.2 负反馈的 4 种组态	96
3.5.3 反馈放大电路的一般表达式	98
3.5.4 负反馈对放大器性能的影响	99
3.6 集成运算放大器	102
3.6.1 集成运算放大器概述	102
3.6.2 集成运算放大器的线性应用	103
3.6.3 集成运放的非线性应用——电压比较器	107
3.7 场效应管简介	110
3.7.1 绝缘栅场效应管的结构及工作原理	110
3.7.2 场效应三极管的参数和型号	113
3.7.3 场效应管的正确使用	113
【任务训练 1】三极管的识别与检测	114
【任务训练 2】晶体管共射极单管放大器的安装与测试	115
【任务训练 3】射极跟随器的安装与测试	122
【任务训练 4】集成运算放大器的线性应用电路测试	124
本项目知识点	127
思考与练习	128
项目 4 音频信号发生器的分析与制作	134
【实践活动】音频信号发生器的制作	135
4.1 正弦波振荡电路	137
4.1.1 正弦波振荡电路的基本概念	138
4.1.2 RC 正弦波振荡电路	139
4.1.3 LC 正弦波振荡电路	141
4.1.4 石英晶体振荡电路	143
4.2 非正弦波振荡器	144
4.2.1 方波发生器	144
4.2.2 三角波发生器	146
4.2.3 锯齿波发生器	147
4.3 集成函数信号发生器 ICL8038 简介	148



本项目知识点	149
思考与练习	149
项目 5 叮咚门铃电路的分析与制作	152
【实践活动】 叮咚门铃的制作	152
5.1 555 集成定时器	155
5.2 555 定时器的应用电路	156
5.2.1 构成多谐振荡器	157
5.2.2 构成单稳态触发器	159
5.2.3 构成施密特触发器	161
本项目知识点	164
思考与练习	164
项目 6 简单抢答器的分析与制作	166
【实践活动】 简单抢答器的制作	166
6.1 逻辑代数的基本知识	169
6.1.1 逻辑变量和逻辑函数	169
6.1.2 逻辑运算	170
6.1.3 逻辑函数的表示方法	175
6.1.4 逻辑代数的基本定律	176
6.2 逻辑门电路的基础知识	177
6.2.1 基本逻辑门	177
6.2.2 复合逻辑门	179
6.2.3 TTL 集成门电路	180
6.2.4 CMOS 集成门电路	186
6.3 不同类型集成门电路的接口	189
6.3.1 TTL 集成门电路驱动 CMOS 集成门电路	190
6.3.2 CMOS 集成门电路驱动 TTL 集成门电路	190
【任务训练】 常用集成门电路的逻辑功能测试	191
本项目知识点	194
思考与练习	195
项目 7 产品质量检测仪的设计与制作	197
【实践活动】 产品质量检测仪的制作	198
7.1 逻辑函数的化简方法	201
7.1.1 公式化简法	201
7.1.2 卡诺图化简法	202
7.2 组合逻辑电路的分析与设计	206
7.2.1 组合逻辑电路概述	206

7.2.2 组合逻辑电路的分析	206
7.2.3 组合逻辑电路的设计	207
【任务训练 1】 4 人表决器的设计与制作	209
【任务训练 2】 产品质量检测仪的设计与制作	210
本项目知识点	211
思考与练习	212
项目 8 一位加法计算器的分析与制作	213
【实践活动】 一位加法计算器的设计与制作	214
8.1 数制与编码的基础知识	218
8.1.1 数制	218
8.1.2 不同数制之间的转换	219
8.1.3 编码	220
8.2 编码器	221
8.2.1 二进制编码器	221
8.2.2 二-十进制编码器	223
8.3 译码器	224
8.3.1 二进制译码器	224
8.3.2 二-十进制译码器	225
8.3.3 译码器的应用	226
8.4 数字显示电路	227
8.4.1 数码显示器件	227
8.4.2 显示译码器	228
8.5 加法器	231
8.5.1 半加器	231
8.5.2 全加器	232
8.5.3 多位加法器	233
8.6 寄存器	234
8.7 数据选择器与数据分配器	235
8.7.1 数据选择器	236
8.7.2 数据分配器	237
8.8 大规模集成组合逻辑电路	238
8.8.1 存储器的分类	238
8.8.2 只读存储器 (ROM) 的结构原理	239
8.8.3 可编程逻辑阵列 PLA	241
【任务训练 1】 译码器逻辑功能测试及应用	242
【任务训练 2】 计算器数字显示电路的制作	245



【任务训练 3】 数据选择器的功能测试及应用	247
本项目知识点	249
思考与练习	250
项目 9 由触发器构成的改进型抢答器的制作	252
【实践活动】 由触发器构成的改进型抢答器的制作	253
9.1 触发器的基础知识	256
9.1.1 基本 RS 触发器	256
9.1.2 同步 RS 触发器	258
9.1.3 主从触发器	259
9.1.4 边沿触发器	260
9.2 常用集成触发器的产品简介	260
9.2.1 集成 JK 触发器	260
9.2.2 集成 D 触发器	261
9.3 触发器的转换	263
9.3.1 JK 触发器转换为 D 触发器	263
9.3.2 JK 触发器转换为 T 触发器和 T' 触发器	263
9.3.3 D 触发器转换为 T 触发器	264
本项目知识点	265
思考与练习	265
项目 10 数字电子钟的分析与制作	268
10.1 计数器及应用	268
10.1.1 二进制计数器	269
10.1.2 十进制计数器	270
10.1.3 实现 N 进制计数器的方法	273
【任务训练】 计数、译码和显示电路综合应用	277
10.2 数字电子钟的电路组成与工作原理	281
10.2.1 电路组成	281
10.2.2 电路工作原理	281
【实践活动】 数字电子钟的设计与制作实训	285
本项目知识点	291
思考与练习	292
附录	293
参考文献	311

绪 论

一、数字信号和模拟信号

在人们周围存在着形形色色的物理量，尽管它们的性质各异，但就其变化规律的特点而言，不外乎两大类：模拟信号和数字信号，如图 0.1、图 0.2 所示。

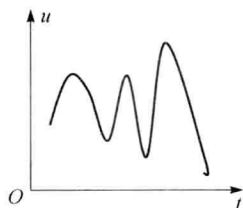


图 0.1 模拟信号

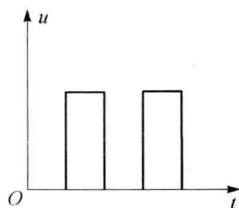


图 0.2 数字信号

1. 模拟信号

模拟信号是指数值随时间作连续变化的信号。人们从自然界感知的许多物理量均是模拟性质，如速度、压力、声音、温度等。在工程技术上，为了便于分析，常用传感器将模拟量转化为电流、电压或电阻等电量，以使用电路进行分析和处理。传输、处理模拟信号的电路称为模拟电子线路，简称模拟电路。在模拟电路中主要关心输入、输出信号间的大小、相位、失真等方面的问题。

2. 数字信号

数字信号是指数值随时间作不连续变化的信号，即数字信号具有离散性。交通信号灯控制电路，智力竞赛抢答电路，以及计算机键盘输入电路中的信号，都是数字信号。对数字信号进行传输、处理的电子线路称为数字电子线路，简称数字电路。在数字电路中主要关心输入、输出之间的逻辑关系。

数字电路又称为开关电路或逻辑电路，它是利用半导体器件的开关使电路输出高、低两种电平，从而控制事物相反的两种状态，如灯的亮和灭，开关的开和关，电机的转动和停转。数字电路中的信号只有高、低两种电平，分别用二进制



数字 1 和 0 表示,即数字信号都是由 0、1 组成的一串二进制代码。

二、电子技术课程的特点

电子技术课程是具有入门性质的技术基础课,目的是使学生初步掌握电子电路的基本理论、基本知识和基本技能。本课程与数学、物理、电路分析等课程有着明显的区别,主要表现在它的工程性和实践性上。

1. 工程性

在电子技术课程中,需要学会从工程的角度思考和处理问题。

① 实际工程需要证明其可行性。本课程特别重视电子电路的定性分析,定性分析是对电路是否能够满足功能、性能要求的可行性分析。

② 实际工程在满足基本性能指标的前提下总是容许存在一定的误差范围,这种计算称为“近似估算”。若确实需要精确求解,可借助于各种 EDA 软件。

③ 近似分析要“合理”。在估算时必须考虑“研究的是什么问题、在什么条件下、哪些参数可忽略不计及忽略的原因”。也就是说,近似应有道理。

④ 估算不同的参数需采用不同的模型。不同的条件、解决不同的问题,应构造不同的等效模型。

2. 实践性

实用的电子电路几乎都要通过调试才能达到预期的指标,掌握常用电子仪器的使用方法、电子电路的测试方法、故障的判断和排除方法是教学的基本要求。了解各元器件参数对性能的影响是正确调试的前提,了解所测试电路的原理是正确判断和排除故障的基础。

三、电子技术学习方法

电子技术具有很强的工程性和实践性,而且课程概念多、理论多、理论性强、原理抽象,在学习时需要根据课程特点,采取有效的学习方法。

1. 抓基本概念

学习电子技术,理解是关键,这就要从基本概念抓起。基本概念的定义是不变的,要先知其意,后灵活应用。基本概念是进行分析和计算的前提,要学会定性分析,务必防止用所谓的严密数学推导掩盖问题的物理本质。在掌握基本概念、基本电路的基础上还应该掌握基本分析方法。不同类型的电路具有不同的功能,需要不同的参数有不同的求解方法。基本分析方法包括电路的识别方法、性能指标的估算方法和描述方法、电路形式及参数的选择方法等。

各种用途的电路千变万化,但它们具有共同的特点,所包含的基本原理和基本分析和设计方法是相通的。我们要学习的不是各种电路的简单罗列,不是死记硬背各种电路,而是要掌握它们的基本概念、基本原理、基本分析与设计方法。

只有这样才能对给出的任何一种电路进行分析,或者根据要求设计出满足实际需要的电子电路。

2. 抓规律,抓相互联系

电子电路内容繁多,总结规律十分重要。要抓住问题是如何提出的,有什么矛盾,如何解决,然后进一步改进。具体而言,基本电路的组成原则是不变的,电路却是千变万化的,要注意记住电路组成原则而不是记住每个电路。在每一个项目都有其基本电路,掌握这些电路是学好该课程的关键。某种基本电路通常不是指某一电路,而是指具有相同功能和结构特征的所有电路。掌握它们至少应了解其生产背景、结构特点、性能特点及改进之处。

3. 抓重点,注重掌握功能部件的外特性

数字集成电路的种类很多,各种电路的内部结构及内部工作过程千差万别,特别是大规模集成电路的内部结构更为复杂。学习这些电路时,不可能也没有必要一一记住它们,主要是了解电路结构特点及工作原理,重点掌握它们的外部特性(主要是输入和输出之间的逻辑功能)和使用方法,并能在此基础上正确地利用各类电路完成满足实际需要的逻辑设计。

4. 抓理论联系实际

电子电路是实践性很强的学科,一方面要注意理论联系实际,另一方面要多接触实际。在可能的条件下,多做些电子制作实验,这样不仅便于掌握理论知识,而且能够提高解决问题的能力。

项目 1 直流稳压电源的分析与制作

【学习目标】

能力目标

1. 能完成直流稳压电源电路的测试与维修。
2. 能完成直流电源电路的设计与制作。

知识目标

了解半导体的基本知识，熟悉二极管、三极管的结构及特性；掌握桥式整流电路的组成、原理分析及正确接法；了解电容及电感滤波的原理；掌握硅稳压管稳压电路的组成与工作原理；了解串联型稳压电路的组成与原理；掌握三端集成稳压器的应用。

直流稳压电源实物如图 1.1 所示。

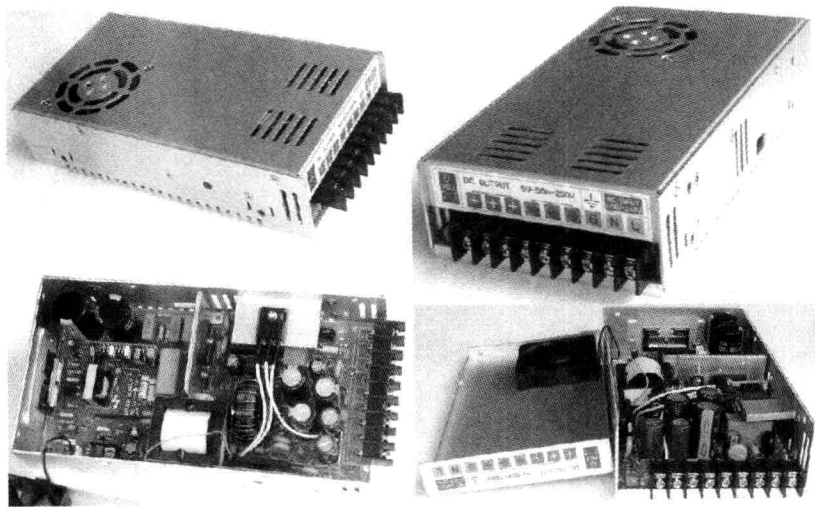


图 1.1 直流稳压电源实物

【实践活动 1】 +5 V 直流稳压电源的制作

1. 工作任务单

- ① 小组制订工作计划。
- ② 读懂直流稳压电源电路原理图（图 1.2），明确元件连接和电路连线。
- ③ 画出布线图。
- ④ 完成电路所需元件的购买与检测。
- ⑤ 根据布线图制作直流稳压电源电路。
- ⑥ 完成直流稳压电源电路功能检测和故障排除。
- ⑦ 根据老师讲解电路原理，小组讨论完成电路详细分析及项目报告。

2. 项目目标

- ① 增强专业意识，培养良好的职业道德和职业习惯。
- ② 能借助资料读懂稳压集成块芯片的型号，明确各引脚功能。
- ③ 了解直流电源电路的检测。
- ④ 掌握 +5 V 直流电源的制作。

3. 实训设备与器材（表 1.1）

表 1.1 元器件名称、规格型号和数量明细

代 号	名 称	规格型号	数 量
VD ₁ ~VD ₄	二极管	1N4007	4
R ₁	电阻器	1 k Ω	1
C ₁	电解电容器	2200 μ F/50 V	1
C ₂	涤纶电容器	0.33 μ F/25 V	1
C ₃	电解电容器	10 μ F/35 V	1
C ₄	涤纶电容器	0.1 μ F/63 V	1
N ₅	三端稳压器	LM7805	1
FU	熔断器（含座）	2 A	1
X ₁ 、X ₂	香蕉接线柱		2
T ₁	电源变压器	220 V/12 V, 20 W	1
散热片	平板型或 H 形	30 mm $\times$ 40 mm	1
螺丝、螺母		4 mm $\times$ 20 mm	4 套

4. 项目电路与说明

（1）设计要求

输入交流电压 220 V, $f=50$ Hz, 输出 +5 V 直流电压。+5 V 直流电源电路原理如图 1.2 所示。

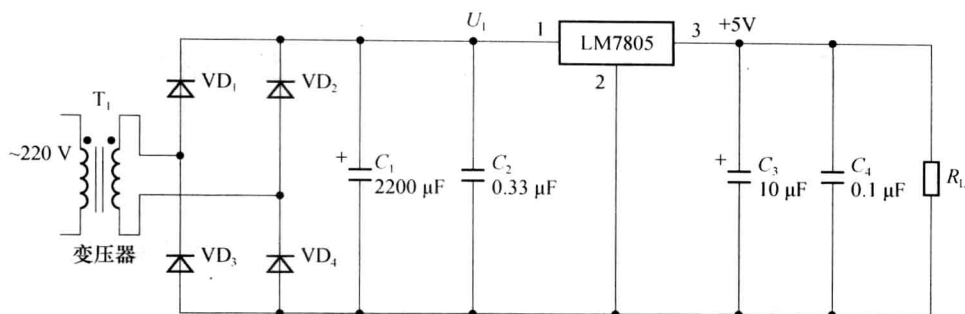


图 1.2 +5 V 直流稳压电源电路

(2) 电路工作原理

利用交流变压器 T_1 把 220 V (有效值) 50 Hz 的交流电降压, 得到 12 V 的交流电, 然后通过 $VD_1 \sim VD_4$ 四个二极管组成的全波整流电路, 把交流电整流成直流电, 经过 C_1 滤波, 再把信号送给三端稳压块 LM7805, 经过稳压作用, 最后得到一个电压纹波系数很小的 +5 V 直流电压。电路中 C_2 的作用是消除输入连线较长时其电感应引起的自激振荡, 其取值范围为 $0.1 \sim 1 \mu\text{F}$ (若连线不长时可不用)。 C_3 、 C_4 的作用是改善负载的瞬态响应, 减小电路高频噪声。

5. 项目电路的安装与调试

(1) 安装

根据图 1.2 画出 +5 V 直流稳压电源原理图, 然后根据原理图画出印制板图和装配图 (图 1.3), 再根据安装布线图按正确方法插好 IC 芯片, 并连接线路。电路可以连接在自制的 PCB (印刷电路板) 上, 也可以焊接在万能板上, 或通过“面包板”插接。

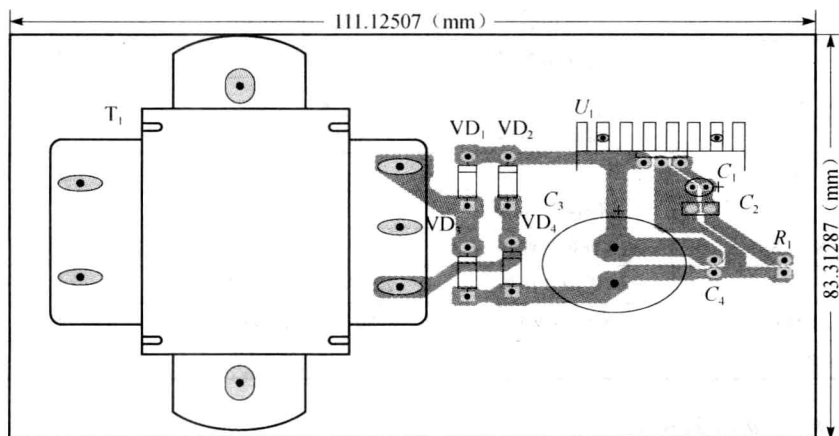


图 1.3 +5 V 直流稳压电源电路装配图

(2) +5 V 直流稳压电源的调试

用示波器观察整流、滤波及稳压波形; 用直流电压表测量各输出点的直流电

压，自拟表格记录测试结果。

6. 思考

若要求设计输入交流电压 220 V， $f=50$ Hz，输出 -5 V 电压的直流电源。应该如何改造电路？

7. 完成电路的详细分析及编写项目实训报告

8. 实训考核（表 1.2）

表 1.2 +5 V 直流稳压电源的制作工作过程考核表

项目	内容	配分	考核要求	扣分标准	得分
实训态度	1. 实训的积极性 2. 安全操作规程的遵守情况 3. 纪律遵守情况	30 分	积极实训，遵守安全操作规程和劳动纪律，有良好的职业道德和敬业精神	违反安全操作规程扣 20 分，不遵守劳动纪律扣 10 分	
电路安装	1. 安装图的绘制 2. 电路的安装	40 分	电路安装正确且符合工艺要求	电路安装不规范，每处扣 5 分，电路接错扣 5 分	
电路的测试	1. 直流稳压电源的功能验证 2. 自拟表格记录测试结果	30 分	1. 熟悉电路每个元件的功能 2. 正确记录测试结果	验证方法不正确扣 20 分，记录测试结果不正确扣 10 分	
合计		100 分			
注：各项配分扣完为止					

【实践活动 2】 输出可调直流稳压电源的制作

1. 工作任务

- ① 小组制订工作计划。
- ② 读懂直流稳压电源电路原理图，明确元件连接和电路连线。
- ③ 画出布线图。
- ④ 完成电路所需元件的购买与检测。
- ⑤ 根据布线图制作直流稳压电源电路。
- ⑥ 完成直流稳压电源电路功能检测和故障排除。
- ⑦ 根据老师讲解电路原理，小组讨论完成电路详细分析及项目报告。

2. 项目目标

- ① 增强专业意识，培养良好的职业道德和职业习惯。
- ② 能借助资料读懂稳压集成块芯片的型号，明确各引脚功能。
- ③ 了解直流电源电路的检测。
- ④ 掌握输出可调直流稳压电源的制作。