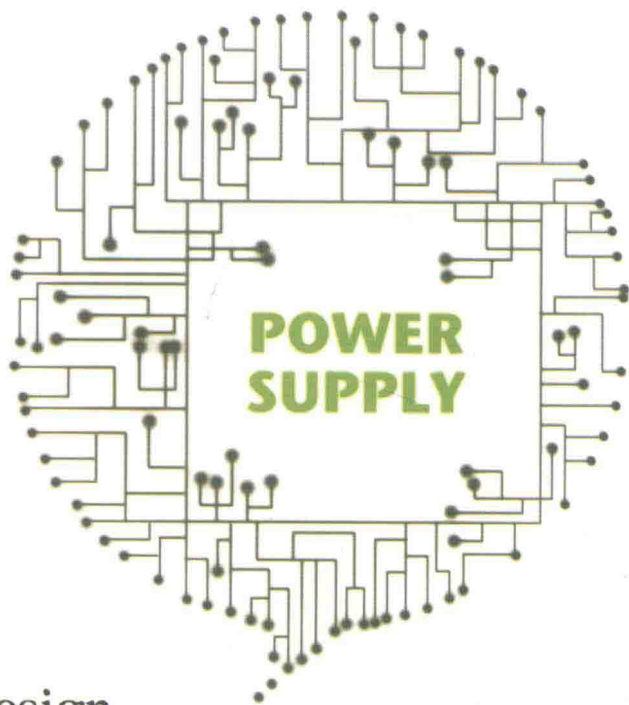




Electronic Circuit Design
Simulation
and Production

电子电路设计、仿真与制作

常用电源电路 设计及应用

◆ 周润景 张 赫 编著

中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

电子电路设计、仿真与制作

常用电源电路设计及应用

周润景 张 赫 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 提 要

本书介绍了 19 个典型的电源电路设计案例, 内容包含固定式单电源直流稳压电路设计、可调式单电源直流稳压电路设计、固定式双电源直流稳压电路设计、可调式双电源直流稳压电路设计、固定式稳流电源电路设计、可调式稳流电源电路设计、固定式倍压器直流稳压电源电路设计、逆变式直流稳压电源电路设计、升压式 DC/DC 电源电路设计、正负跟踪直流稳压电源电路设计、恒功率充电电路设计、可调式恒流源电路设计、交流稳压电源电路设计、固定式恒流源充电电路设计、数控直流稳压电源电路设计、可调式倍压器直流稳压电源电路设计、恒压源充电电路设计、压控恒流源电路设计、数控直流稳流电源电路设计。这些案例均来源于作者多年的实际科研项目, 因此具有很强的实用性。通过对本书的学习和实践, 读者能够很快掌握常用电源电路设计及应用方法。

本书适合电子电路设计爱好者自学使用, 也可作为高等学校相关专业课程设计、毕业设计及电子设计竞赛的指导书籍。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

常用电源电路设计及应用/周润景, 张赫编著. —北京: 电子工业出版社, 2017.5

(电子电路设计、仿真与制作)

ISBN 978-7-121-31406-3

I. ①常… II. ①周… ②张… III. ①电源电路—电路设计 IV. ①TN710.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 085017 号

策划编辑: 张 剑 (zhang@phei.com.cn)

责任编辑: 夏平飞

印 刷: 北京京师印务有限公司

装 订: 北京京师印务有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 11.5 字数: 278 千字

版 次: 2017 年 5 月第 1 版

印 次: 2017 年 5 月第 1 次印刷

定 价: 39.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010)88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: zhang@phei.com.cn。

前言

随着科学技术的发展,电源电路在现代人的工作、科研、生活、学习中扮演着极为重要的角色。在我们使用的电子电路中,选用适当的电源电路进行供电是必不可少的。电源电路作为电子技术常用的设备之一,广泛地应用于教学、科研等领域。

本书是作者对多年实践经验的整理和总结,读者通过对本书的学习,可以借鉴作者的研发思路和实践经验,能够尽快取得最佳的学习效果,这样无疑是找到了更有效的学习途径,减少了许多不必要的摸索时间。从实践性与技术性的角度来看,本书均有其独特的地方,对读者有一定的指导作用。

本书详细介绍了19个项目,包括固定式单电源直流稳压电路设计、可调式单电源直流稳压电路设计、固定式双电源直流稳压电路设计、可调式双电源直流稳压电路设计、固定式稳流电源电路设计、可调式稳流电源电路设计、固定式倍压器直流稳压电源电路设计、逆变式直流稳压电源电路设计、升压式DC/DC电源电路设计、正负跟踪直流稳压电源电路设计、恒功率充电电路设计、可调式恒流源电路设计、交流稳压电源电路设计、固定式恒流源充电电路设计、数控直流稳压电源电路设计、可调式倍压器直流稳压电源电路设计、恒压源充电电路设计、压控恒流源电路设计、数控直流稳流电源电路设计。每个项目电路都对其传感器及电路各组成部分进行了详细的说明,使读者可以清晰了解各个模块的具体功能,并实现整体电路的仿真设计。各设计除经仿真验证外,另已制成实物进行测试并达到了设计指标。

本书的内容来自作者的科研与实践,有关内容的讲解并没有过多的理论推导,而代之以实用的电路设计,因此实用是本书的一大特点。

本书力求做到精选内容,推陈出新;讲清基本概念、基本电路的工作原理和基本分析方法。本书语言生动精炼,内容详尽,并且包含了大量可供参考的实例。

本书由周润景、张赫编著。其中,张赫编写了项目1和项目2,周润景负责其余项目的编写。全书由周润景统稿、定稿。另外,参加本书编写的还有邢婧、陈萌、井探亮、丁岩、谢亚楠、韩亦佺、刘艳珍、刘百灵、王洪艳、张红敏、张丽敏、周敬和宋志清。

在本书的编写过程中,作者力求完美,但由于水平有限,书中不足之处敬请读者批评指正。

作者

目 录

项目 1 固定式单电源直流稳压电路设计	1
设计任务	1
基本要求	1
总体思路	1
系统组成	1
模块详解	2
PCB 版图	7
实物测试	7
项目总结	7
思考与练习	8
特别提醒	8
项目 2 可调式单电源直流稳压电路设计	9
设计任务	9
基本要求	9
总体思路	9
系统组成	9
模块详解	10
PCB 版图	16
实物测试	16
项目总结	16
思考与练习	17
特别提醒	17
项目 3 固定式双电源直流稳压电路设计	18
设计任务	18
基本要求	18
总体思路	18
系统组成	18
模块详解	19
PCB 版图	23
实物测试	24
项目总结	24
思考与练习	24
特别提醒	25
项目 4 可调式双电源直流稳压电路设计	26

设计任务	26
基本要求	26
总体思路	26
系统组成	26
模块详解	27
PCB 版图	34
实物测试	34
项目总结	34
思考与练习	35
特别提醒	35
项目 5 固定式稳流电源电路设计	36
设计任务	36
基本要求	36
总体思路	36
系统组成	36
模块详解	37
PCB 版图	40
实物测试	40
项目总结	41
思考与练习	41
项目 6 可调式稳流电源电路设计	42
设计任务	42
基本要求	42
总体思路	42
系统组成	42
模块详解	43
PCB 版图	48
实物测试	48
项目总结	48
思考与练习	49
项目 7 固定式倍压器直流稳压电源电路设计	50
设计任务	50
基本要求	50
总体思路	50
系统组成	50
模块详解	51
PCB 版图	55
实物测试	55
项目总结	56

思考与练习	56
特别提醒	56
项目 8 逆变式直流稳压电源电路设计	57
设计任务	57
基本要求	57
总体思路	57
系统组成	57
模块详解	58
PCB 版图	64
实物测试	64
项目总结	64
思考与练习	65
特别提醒	65
项目 9 升压式 DC/DC 电源电路设计	66
设计任务	66
基本要求	66
总体思路	66
系统组成	66
模块详解	67
PCB 版图	72
实物测试	72
项目总结	73
思考与练习	73
特别提醒	73
项目 10 正负跟踪直流稳压电源电路设计	74
设计任务	74
基本要求	74
总体思路	74
系统组成	74
模块详解	75
PCB 版图	83
实物测试	84
项目总结	84
思考与练习	84
特别提醒	85
项目 11 恒功率充电电路设计	86
设计任务	86
基本要求	86
总体思路	86

系统组成	86
模块详解	87
PCB 版图	92
实物测试	92
项目总结	92
思考与练习	93
特别提醒	93
项目 12 可调式恒流源电路设计	94
设计任务	94
基本要求	94
总体思路	94
系统组成	94
模块详解	95
PCB 版图	100
实物测试	100
项目总结	101
思考与练习	101
项目 13 交流稳压电源电路设计	102
设计任务	102
基本要求	102
总体思路	102
系统组成	102
模块详解	103
PCB 版图	110
实物测试	110
项目总结	110
思考与练习	111
特别提醒	111
项目 14 固定式恒流源充电电路设计	112
设计任务	112
基本要求	112
总体思路	112
系统组成	112
模块详解	113
PCB 版图	118
实物测试	119
思考与练习	119
特别提醒	119
项目 15 数控直流稳压电源电路设计	120

设计任务	120
基本要求	120
总体思路	120
系统组成	121
模块详解	121
PCB 版图	132
实物图	132
项目总结	132
思考与练习	133
特别提醒	133
项目 16 可调式倍压器直流稳压电源电路设计	134
设计任务	134
基本要求	134
总体思路	134
系统组成	134
模块详解	135
PCB 版图	142
实物测试	143
项目总结	143
思考与练习	143
特别提醒	144
项目 17 恒压源充电电路设计	145
设计任务	145
基本要求	145
总体思路	145
系统组成	145
模块详解	146
PCB 版图	151
实物测试	151
项目总结	152
思考与练习	152
特别提醒	152
项目 18 压控恒流源电路设计	153
设计任务	153
基本要求	153
总体思路	153
系统组成	153
模块详解	154
PCB 版图	160

实物测试..... 160

项目总结..... 161

思考与练习..... 161

项目 19 数控直流稳流电源电路设计 162

设计任务..... 162

基本要求..... 162

总体思路..... 162

系统组成..... 163

模块详解..... 163

PCB 版图..... 173

实物图..... 173

项目总结..... 174

思考与练习..... 174

特别提醒..... 174

项目1 固定式单电源直流稳压电路设计

在我们使用的电子电路中，多数都需要稳定的直流电源进行供电。直流稳压电源作为电子技术常用的设备之一，广泛地应用于教学、科研等领域。传统的多功能直流稳压电源功能简单、控制困难、可靠性低、干扰大、精度低且体积大。本项目所介绍的固定式单电源直流稳压电路与传统的稳压电源相比，具有操作方便、电压稳定度高等特点。



设计任务

设计一个简单的直流稳压电源，将市电转化成直流稳压+5V。



基本要求

- ☺ 能够提供稳定的+5V直流稳压电源。
- ☺ 最大输出电流为1A，电压调整率 $\leq 0.2\%$ ，负载调整率 $\leq 1\%$ ，纹波电压（峰-峰值） $\leq 5\text{mV}$ （最低输入电压下，满载）。
- ☺ 具有过流及短路保护功能。



总体思路

许多电子产品如电视机、电子计算机、音响设备等都需要直流电源，电子仪器也需要直流电源，实验室更需要独立的直流电源。为了提高电子设备的精度及稳定性，在直流电源中还要加入稳压电路，因此称为直流稳压电源。典型的直流稳压电源主要由电源变压器、整流电路、滤波电路和稳压电路等几部分构成。电源变压器把50Hz的交流电网电压变成所需要的交流电压；整流电路用来将交流电变换为单向脉动直流电；滤波电路用来滤除整流后单向脉动电流中的交流成分（即纹波电压），使其成为平滑的直流电；稳压电路的作用是当输入交流电网电压波动、负载及温度变化时，维持输出直流电压的稳定。



系统组成

固定式单电源直流稳压电路整个系统主要分以下四个部分。

☉ 降压电路：利用变压器对 220V 交流电网电压进行降压，变为所需要的交流电压，以满足 +5V 电源输出的需要。

☉ 整流电路：将交流电压变为单方向脉动的直流电压。

☉ 滤波电路：去掉整流电路输出的直流电中的纹波，将脉动的直流电压转化为平滑的直流电压，主要利用储能元件电容来实现。

☉ 稳压电路：清除电网波动及负载变化的影响，保持输出电压的稳定。

系统模块框图如图 1-1 所示。



图 1-1 系统模块框图



模块详解

1. 整流电路

它是全波整流的一种方式，称为桥式整流电路。该电路使用四个二极管，变压器有中心抽头。单相桥式整流电路的变压器中只有交流电流流过，效率较高。利用两个半桥轮流导通，形成信号的正半周和负半周。使用有中心抽头的变压器则可以得到正负两个电压输出。

整流电路原理图如图 1-2 所示。整流电路输出 out1 端输出波形，仿真结果如图 1-3 所示。

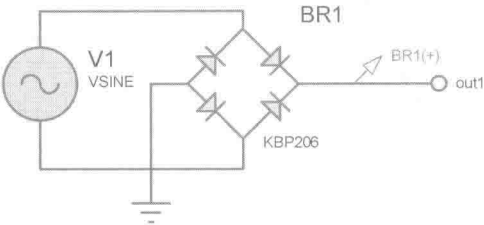


图 1-2 整流电路原理图

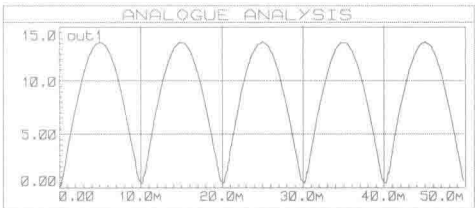


图 1-3 整流电路输出仿真图

交流电压设定如图 1-4 所示，将电压输入设置为 15V，频率设置为 50Hz，模仿市电经变压后的低压交流电源输入。

2. 滤波电路

电容滤波一般负载电流较小，可以满足放电时间常数较大的条件，所以输出电压波形的放电段比较平缓，纹波较小，输出脉动系数 S 小，输出平均电压 U_0 大，具有较好的滤波特性。把电容器和负载并联，正半周时电容被充电，负半周时电容放电，就可使负载上得到平滑的直流电。电路在三端稳压器的输入端接入电解电容 $C_1 = 1000\mu\text{F}$ ，用于电源滤波，其后并入电解电容 $C_2 = 4.7\mu\text{F}$ 用于进一步滤波。在三端稳压器输出端接入电解电容 $C_3 = 4.7\mu\text{F}$ 用于减小电压纹波，而并入陶瓷电容 $C_4 = 100\text{nF}$ 用于改善负载的瞬态响应并抑制高频干扰（陶瓷小电容电感效应很小，可以忽略，而电解电容因为电感效应在高频段比较明显，所以不能抑制高频干扰）。滤波电路如图 1-5 所示。

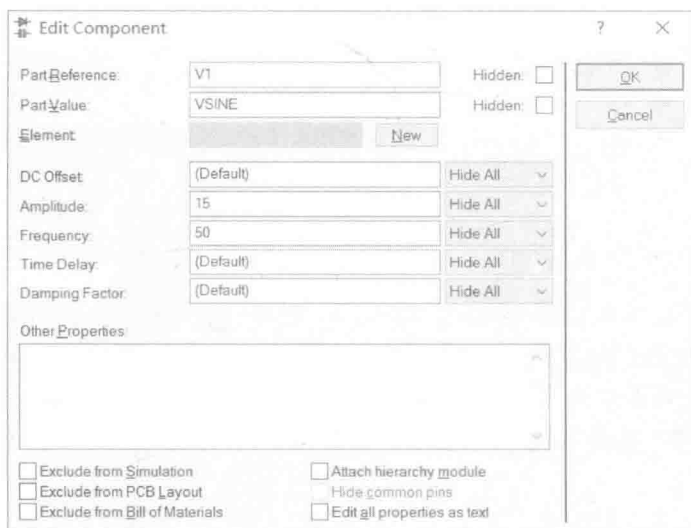


图 1-4 电流输入设置

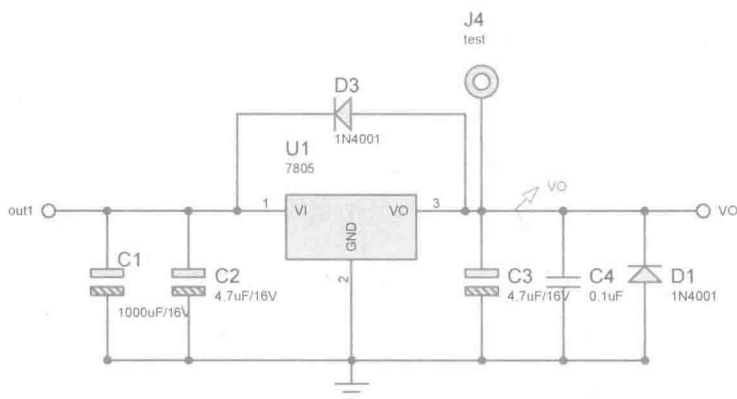


图 1-5 滤波电路

为了验证滤波电路的效果，以前端滤波电路（见图 1-6）为例进行分析。前端滤波电路输出 out1 端输出波形，仿真结果如图 1-7 所示。

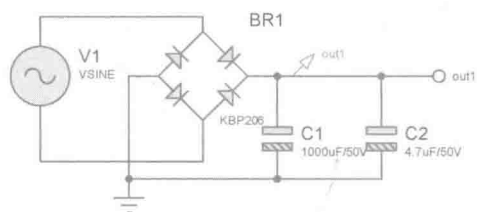


图 1-6 前端滤波电路

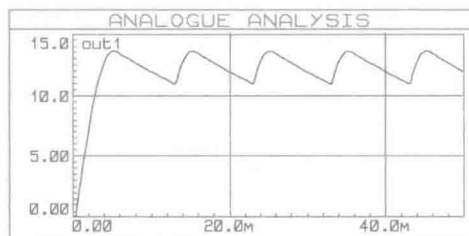


图 1-7 前端滤波电路输出仿真图

为了验证滤波电容的效果，在原电路输入基础上将滤波电容 C_1 改为 $100\mu\text{F}$ ，输入信号依然为 15V、50Hz 的交流信号，设置方法如图 1-8 所示。利用软件图表功能仿真 out1 端输出波形，如图 1-9 所示。

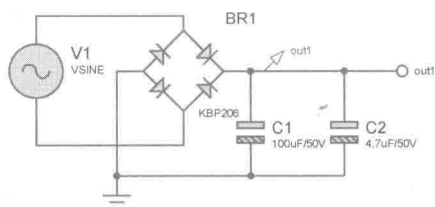


图 1-8 调节 C_1 后的滤波电路

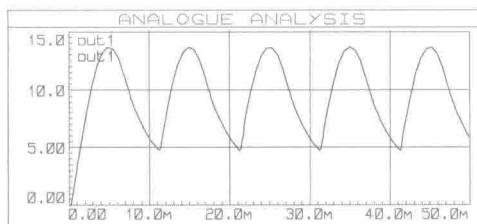


图 1-9 调节 C_1 后的滤波电路输出仿真图

如图 1-9 所示，滤波电路中电容大小直接影响电路的滤波效果。若将电容值设置过小，电路的滤波效果也会减弱。

综上所述，输入的交流信号经整流电路整流，又经滤波电路，最终将稳定有效的电压由 out1 端传输至稳压电路模块。可见，滤波电路在电路设计中是十分重要的。

3. 稳压电路

使用三端稳压器有以下优点。

- (1) 元件数量少。
- (2) 带有限流电路，输出短路时不会损坏元件。
- (3) 带有热击穿功能。

三端稳压器选择 7805（输出电压为 +5V，最大输出电流为 1A，且稳压器内部已有限流电路），在输出端并入二极管 D_1 （型号为 1N4001），当三端稳压器未接入输入电压时可保护其不至于损坏。

图 1-10 所示为稳压电路仿真结果，可见由稳压器输出端 VO 经滤波输出 +4.94V 稳定直流电压。

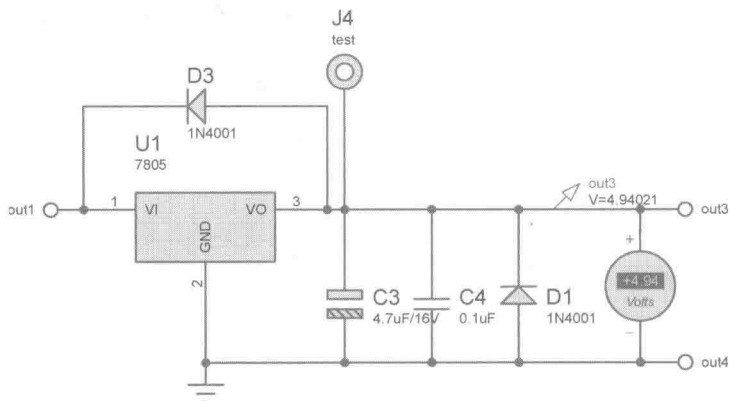


图 1-10 稳压电路空载输出仿真图

三端稳压器最易损坏的是输出脚（图 1-10 中 3 脚）电压高于输入脚（图 1-10 中 1 脚）而形成击穿，因此一般像图 1-10 中 D_3 那样并联一个二极管 1N4001，它的主要作用是：如果输入端 C_1 或 C_2 出现短路，则输出 3 脚会高于输入 1 脚，很容易击穿稳压器，所以反向并联一个二极管，对 2 脚电压进行泄放，使 3 脚到 1 脚电压限幅为 0.7V，可有效保护稳压器不被反向击穿。

稳压电路空载输出如图 1-11 所示。

在稳压输出 out3 端接入 300Ω 电阻与 LED 负载进行稳压测试，如图 1-12 所示。

加入 300Ω 电阻与 LED 负载后，由稳压器输出的直流电压大小为 4.93V，并可将 LED 点亮。用示波器监视稳压电路输出 VO，结果如图 1-13 所示。

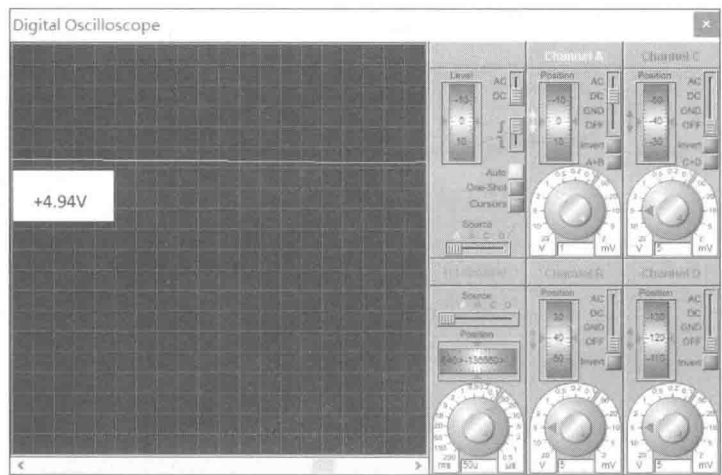


图 1-11 稳压电路空载输出

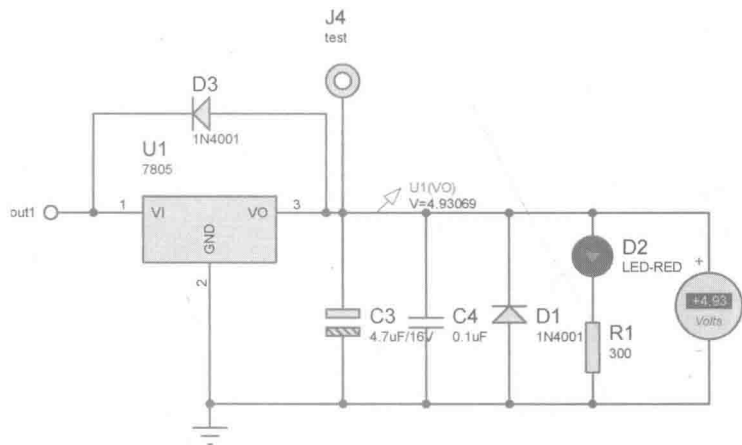


图 1-12 稳压电路负载输出仿真图（一）

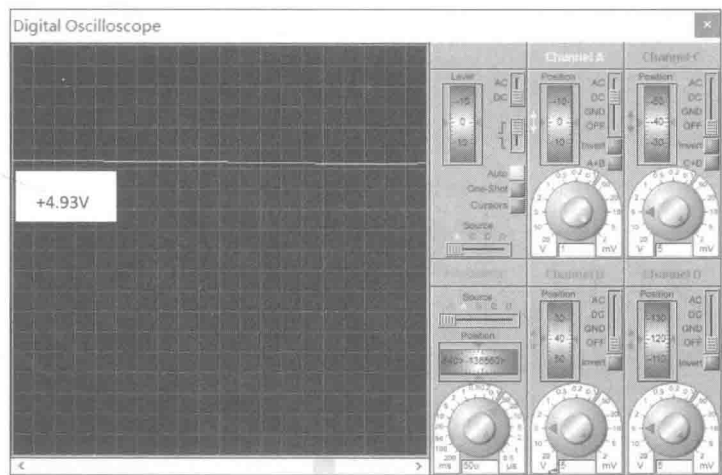


图 1-13 稳压电路负载输出显示（一）

随后在稳压器输出端 VO 处加入 $2k\Omega$ 电阻与 LED 负载，仿真结果如图 1-14 所示。

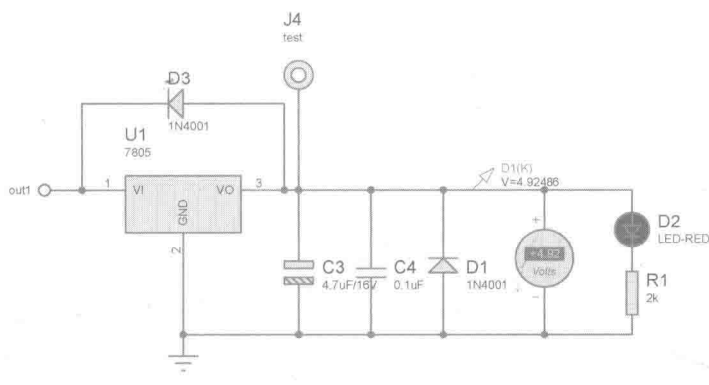


图 1-14 稳压电路负载输出仿真图（二）

加入 $2k\Omega$ 电阻与 LED 负载后，由稳压器输出的直流电压大小为 $4.92V$ ，并可将 LED 点亮，如图 1-15 所示。

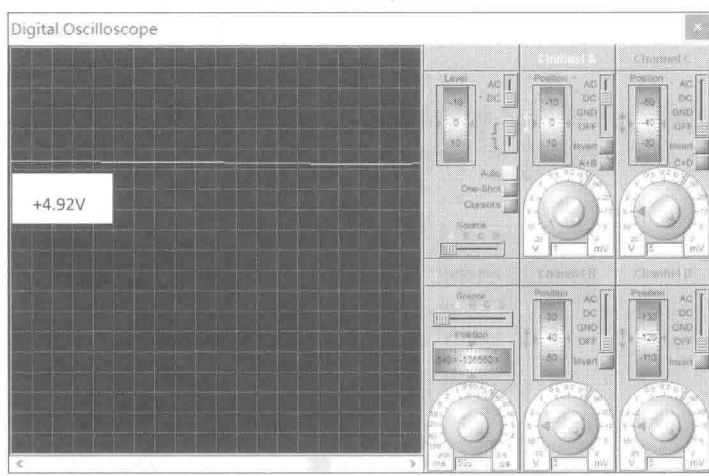


图 1-15 稳压电路负载输出显示（二）

综上所述，本项目所设计的固定式直流稳压电源，能够在负载变化的情况下提供稳定的 $+5V$ 直流稳压电源。固定式单电源直流稳压电路整体电路原理图如图 1-16 所示。

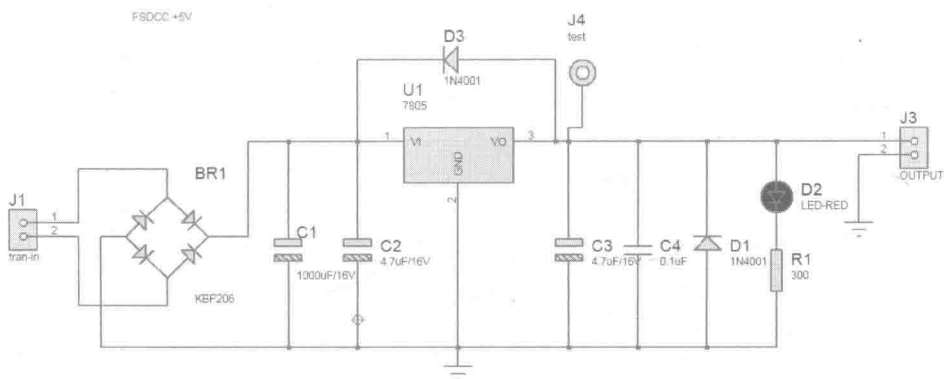


图 1-16 整体电路原理图

经过对电路板的实际测试，测试结果显示输出电压为 5.0V，设计要求单电源输出 5V 电压，实测符合设计要求。



PCB 版图（见图 1-17）

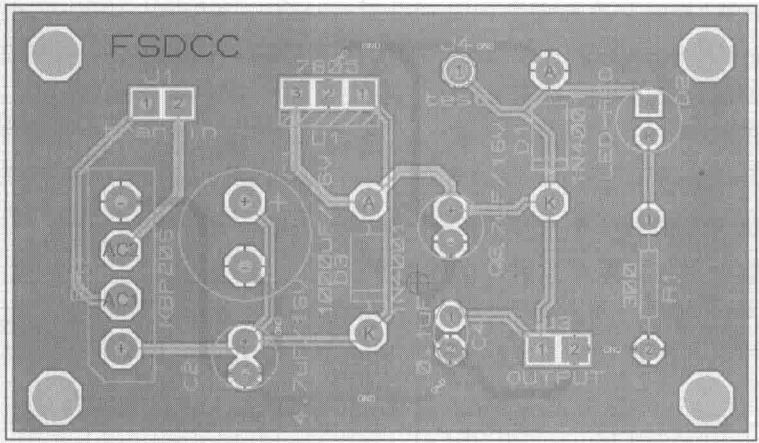


图 1-17 PCB 版图



实物测试（见图 1-18、图 1-19）

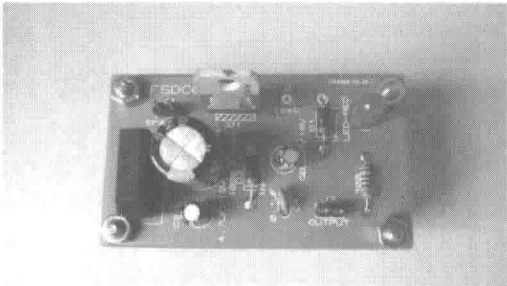


图 1-18 固定式单电源直流稳压电路实物图



图 1-19 固定式单电源直流稳压电路测试图



项目总结

为了提高电子设备的精度及稳定性，在直流电源中还要加入稳压电路，因此称为直流稳压电源。典型的直流稳压电源主要由电源变压器、整流电路、滤波电路和稳压电路等几部分构成。电源变压器把 50Hz 的交流电网电压变成所需要的交流电压；整流电路用来将