

全国大学生电子设计竞赛培训教程第2分册

模拟电子线路与 电源设计

高吉祥 主 编

吴 了 董招辉 副主编

傅丰林 主 审

 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>

全国大学生电子设计竞赛培训教程第2分册

模拟电子线路与 电源设计

高吉祥 主 编◎

吴 了 董招辉 副主编◎

欧阳宏志 廖灵志 刘 亮 朱俊标 王 彦 编◎

傅丰林 主 审◎



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是全国大学生电子设计竞赛培训教程第2分册,是针对全国大学生电子设计竞赛的特点和需求编写的。全书共4章,简要介绍了交直流稳压、稳流电源设计,放大器设计,信号源设计,滤波器设计,并以提高设计与制作能力为出发点,精选了涉及模拟电子线路和电源设计相关的典型赛题21道,对每道赛题进行了详细的题目分析、方案论证和设计方法介绍。

本书内容丰富实用,叙述简洁清晰,工程性强,可作为高等学校电子信息类、电气类、自动化类及计算机类专业大学生参加全国大学生电子设计竞赛的培训教材,也可以作为各类电子制作、毕业设计的教学参考书,还可作为从事电子工程设计、开发人员的参考资料。

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

全国大学生电子设计竞赛培训教程.第2分册,模拟电子线路与电源设计/高吉祥主编.

北京:电子工业出版社,2019.5

ISBN 978-7-121-29498-3

I. ①全… II. ①高… III. ①模拟电路—电路设计—高等学校—教材
②电源—设计—高等学校—教材 IV. ①TN702

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第037092号

责任编辑:谭海平 特约编辑:陈晓莉

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:22.5 字数:585千字

版 次:2019年5月第1版

印 次:2019年5月第1次印刷

定 价:59.80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,联系及购电话:(010)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 zllts@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:(010)88254535, wylj@phei.com.cn。



前言

全国大学生电子设计竞赛是由教育部高等教育司、工业和信息化部人事教育司共同主办的，面向全国高等学校本科、专科学生的一项群众性科技活动，目的在于推动普通高等学校在教学中培养大学生的创新意识、协作精神和理论联系实际的能力，加强学生工程实践能力的训练和培养；鼓励广大学生踊跃参加课外科技活动，把主要精力吸引到学习和能力培养上来，促进高等学校形成良好的学习风气；同时，也为优秀人才脱颖而出创造条件。

全国大学生电子设计竞赛自 1994 年至今已成功举办 13 届，深受全国大学生的欢迎和喜爱，参赛学校、参赛队和参赛学生的数量逐年增加。对参赛学生而言，电子设计竞赛和赛前系列培训，使他们获得了电子综合设计能力，巩固了所学知识，培养了他们用所学理论指导实践，团结一致，协同作战的综合素质；通过参加竞赛，参赛学生可以发现学习过程中的不足，找到努力的方向，为毕业后从事专业技术工作打下更好的基础，为将来就业做好准备。对指导老师而言，电子设计竞赛是新、奇、特设计思路的充分展示，更是各高等学校之间电子技术教学、科研水平的检验，通过参加竞赛，可以找到教学中的不足之处。对各高等学校而言，全国大学生电子设计竞赛现已成为学校评估不可缺少的项目之一，这种全国大赛是提高学校整体教学水平、改进教学的一种好方法。

全国大学生电子设计竞赛只在单数年份举办。然而，近年来，许多地区、省、市在双数年份也单独举办地区性或省内电子设计竞赛，许多学校甚至每年举办多次电子设计竞赛，目的在于通过这类电子设计大赛，让更多的学生受益。

全国大学生电子设计竞赛组委会为组织好这项赛事，于 2005 年编写了《全国大学生电子设计竞赛获奖作品选编（2005）》。我们在组委会的支持下，从 2007 年开始至今，编写了《全国大学生电子设计竞赛培训教程》（共 14 册），深受参赛学生和指导教师的欢迎与喜爱。

据不完全统计，培训教程出版发行后，已被数百所高校采用为全国大学生电子设计竞赛及各类电子设计竞赛培训的主要教材或参考教材。读者纷纷来信、来电表示，这套教材写得很成功、很实用，同时也提出了许多宝贵的意见。因此，从 2017 年开始，我们对培训教程进行了整编。新编写的 5 本培训教程包括《基本技能训练与综合测评》《模拟电子线路与电源设计》《数字系统与自动控制系统设计》《高频电子线路与通信系统设计》《电子仪器仪表与测量系统设计》。

《模拟电子线路与电源设计》是新编系列教程的第 2 分册，是在前几版的基础上修订而成的，删除了陈旧的内容，增加了 2013 年、2015 年和 2017 年的竞赛内容。全书共 4 章，内容包括交直流稳压、稳流电源设计，放大器设计，信号源设计和滤波器设计。全书搜集整理历届关于模拟电子线路与电源设计方面的竞赛试题 21 道，将它们归类为 4 章，每章的第一节都介绍与本章相关的基础知识、基本技术及关键器件。每道赛题均给出题目分析、

方案论证及比较、理论分析与参数计算、软硬件设计、测试方法、测试结果及结果分析。

参加本书编写工作的有高吉祥、吴了、董招辉、欧阳宏志、廖灵芝、刘亮、朱俊标等。本书由高吉祥担任主编，吴了、董招辉担任副主编，欧阳宏志、廖灵芝、刘亮、朱俊标、王彦等人参加了部分章节的编写。西安电子科技大学傅丰林教授在百忙之中对本书进行了主审。长沙学院电子信息与电气工程学院院长刘光灿、副院长刘辉为本书的立项、组织做了大量工作。南华大学王彦教授、湖南科技大学吴新开老师为本书的编写提供了大量优秀作品和论文。北京理工大学罗伟雄教授、武汉大学赵茂泰教授等人为本书编写出谋划策，对本书的修订提出了宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促，书中难免存在疏漏和不足，欢迎广大读者和同行批评指正。

编者



目 录

第 1 章 交直流稳压、稳流电源设计	001
1.1 稳压、稳流电源设计基础	001
1.1.1 直流稳压电源	001
1.1.2 基准电压源	008
1.1.3 直流恒流源	017
1.1.4 开关稳压电源	021
1.2 数控恒流源设计	
[(2005 年全国大学生电子设计竞赛 (F 题))]	024
1.2.1 任务与要求	024
1.2.2 题目分析	026
1.2.3 方案论证	026
1.2.4 硬件设计	031
1.2.5 软件设计	042
1.2.6 测试方法及测试结果	043
1.3 三相正弦变频电源设计	
[(2005 年全国大学生电子设计竞赛 (G 题))]	045
1.3.1 任务与要求	045
1.3.2 题目分析	046
1.3.3 方案论证	046
1.3.4 硬件设计	060
1.3.5 软件设计	068
1.3.6 系统测试	074
1.3.7 结论	078
1.4 开关稳压电源	
[(2007 年全国大学生电子设计竞赛 (E 题))]	078
1.4.1 任务与要求	078
1.4.2 题目分析	080
1.4.3 方案论证	081
1.4.4 电路设计与参数计算	088
1.4.5 测试结果及分析	095
1.5 光伏并网发电模拟装置	
[(2009 年全国大学生电子设计竞赛 (A 题) (本科组))]	097
1.5.1 任务与要求	097

1.5.2	题目分析	101
1.5.3	采用硬件生成 SPWM 的光伏并网发电装置	105
1.5.4	采用软件生成 SPWM 的光伏并网发电装置	111
1.6	开关电源模块并联供电系统	
	[2011 年全国大学生电子设计竞赛 (A 题) (本科组)]	115
1.6.1	任务与要求	115
1.6.2	题目分析	117
1.6.3	采用 TD1501LDAJ 作为主控芯片的扩流装置	119
1.7	单向 AC-DC 变换电路	
	[2013 年全国大学生电子设计竞赛 (A 题)]	127
1.7.1	任务与要求	127
1.7.2	题目分析	129
1.7.3	方案论证	132
1.7.4	主电路的参数设计	137
1.7.5	系统软件设计分析	138
1.7.6	测试结果及分析	139
1.8	电能收集充电器	
	[2009 年全国大学生电子设计竞赛 (E 题) (本科组)]	140
1.8.1	任务与要求	140
1.8.2	题目分析	142
1.8.3	采用集成芯片实现 DC-DC 转换的电能收集充电器	147
1.8.4	采用反激变换器的电能收集充电器	151
1.9	双向 DC-DC 变换器	
	[2015 年全国大学生电子设计竞赛 (A 题)]	157
1.9.1	任务与要求	157
1.9.2	题目分析	159
1.9.3	方案论证	160
1.9.4	电路与程序设计	163
1.9.5	理论分析与计算	165
1.9.6	测试方案与测试结果	166
1.10	直流稳压电源及漏电保护装置	
	[2013 年全国大学生电子设计竞赛 (L 题) (高职高专组)]	168
1.10.1	任务与要求	168
1.10.2	题目分析	170
1.10.3	方案论证	171
1.10.4	测试方案与测试结果	175
1.11	微电网模拟系统	
	[2017 年全国大学生电子设计竞赛 (A 题)]	175
1.11.1	任务与要求	175

1.11.2	题目分析	177
1.11.3	系统方案	178
1.11.4	理论分析与计算	179
1.11.5	电路与程序设计	180
1.11.6	测试方案与测试结果	183
	附录 A 电路部分	184
	附录 B 代码部分	185
1.12	LED 闪光灯电源	
	[2015 年全国大学生电子设计竞赛 (H 题) (高职高专组)]	186
1.12.1	任务与要求	186
1.12.2	系统方案选择和论证	188
1.12.3	系统软件设计	193
1.12.4	系统测试	193
第 2 章	放大器设计	195
2.1	放大器设计基础	195
2.1.1	概述	195
2.1.2	运算放大器	196
2.1.3	功率放大器	203
2.1.4	丁类 (D 类) 功率放大器	204
2.1.5	专用集成放大电路介绍	206
2.2	手写绘图板	
	[2013 年全国大学生电子设计竞赛 (G 题)]	220
2.2.1	任务与要求	220
2.2.2	题目分析	222
2.2.3	方案比较与选择	224
2.2.4	系统结构与理论分析及计算	224
2.2.5	电路与程序设计	226
2.2.6	测试方案及测试结果	228
2.3	高效率音频功率放大器设计	
	[2001 年全国大学生电子设计竞赛 (D 题)]	230
2.3.1	任务与要求	230
2.3.2	题目分析	231
2.3.3	方案论证	232
2.3.4	主要电路工作原理分析与计算	234
2.3.5	系统测试及数据分析	241
2.4	简易心电图仪设计	
	[2004 年湖北省大学生电子设计竞赛 (B 题)]	243
2.4.1	任务与要求	243
2.4.2	简易心电图仪作品解析	245

2.4.3	系统设计	250
2.4.4	系统软件设计	255
2.4.5	系统测试方法及数据	256
2.5	简易照明线路探测仪	
	[2013 年全国大学生电子设计竞赛 (K 题) (高职高专组)]	257
2.5.1	任务与要求	257
2.5.2	题目分析	259
2.5.3	系统方案	260
2.5.4	理论分析与计算	261
2.5.5	电路与程序设计	262
2.5.6	测试方案与测试结果	264
2.6	低频功率放大器	
	[2009 年全国大学生电子设计竞赛 (G 题) (高职高专组)]	265
2.6.1	任务与要求	265
2.6.2	题目剖析	267
2.6.3	具备参数检测及显示功能的低频功率放大器	271
2.6.4	基于 MOS 管的低频功率放大器	274
第 3 章	信号源设计	278
3.1	信号源设计基础	278
3.1.1	正弦波振荡器	278
3.1.2	非正弦波振荡器	280
3.1.3	555 电路结构及应用	281
3.1.4	直接数字频率合成技术	284
3.2	波形发生器设计	
	[2001 年全国大学生电子设计竞赛 (A 题)]	290
3.2.1	题目分析	291
3.2.2	方案论证	292
3.2.3	系统设计	300
3.2.4	调试过程	305
3.2.5	指标测试	305
3.2.6	结论	306
3.3	信号发生器	
	[2007 年全国大学生电子设计竞赛 (H 题) (高职高专组)]	307
3.3.1	题目分析	308
3.3.2	方案论证	308
3.3.3	硬件设计	309
3.3.4	软件设计	311
3.3.5	测试方案与测试结果	312

第4章 滤波器设计	313
4.1 开关电容滤波器	313
4.1.1 基本原理	313
4.1.2 实际电路	314
4.1.3 LTC1068 介绍	317
4.2 程控滤波器	
[2007年全国大学生电子设计竞赛(D题)(本科组)]	328
4.2.1 任务与要求	328
4.2.2 题目分析	330
4.2.3 方案论证	331
4.2.4 理论分析与计算	332
4.2.5 系统电路设计	335
4.2.6 系统软件设计	338
4.2.7 测试方法与测试结果	338
4.2.8 结论	339
4.3 可控放大器	
[2007年全国大学生电子设计竞赛(I题)(高职高专组)]	339
4.3.1 任务与要求	339
4.3.2 题目分析	340
4.3.3 方案论证	341
4.3.4 硬件设计	342
4.3.5 系统软件设计	344
4.3.6 测试结果	344
4.4 自适应滤波器	
[2017年全国大学生电子设计竞赛(E题)]	345
4.4.1 任务与要求	345
4.4.2 题目分析	346
4.4.3 系统方案	347
4.4.4 滤波器的理论分析与计算	347
4.4.5 电路与程序设计	348
参考文献	350

第①章

交直流稳压、稳流电源设计

内 容 提 要

本章主要介绍交直流稳压、稳流电源的设计基础、方法和步骤，并通过大量例题详细介绍方案论证、软/硬件设计、技术指标测试及测试结果分析。

1.1 稳压、稳流电源设计基础

电源是电子设备的能源电路，它关系到整个电路设计的稳定性和可靠性。本节主要介绍直流稳压电源、直流恒流电源和交流稳压电源。

1.1.1 直流稳压电源

1. 直流稳压电源的基本原理

直流稳压电源一般由电源变压器、整流电路、滤波电路和稳压电路组成，如图 1.1.1 所示。

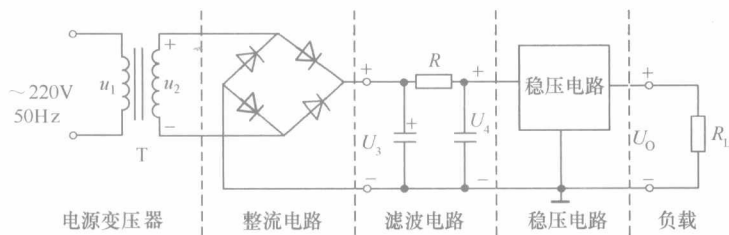


图 1.1.1 直流稳压电源的基本组成

电源变压器的作用是将 220V 的交流电压 u_1 转换成整流电路所需的电压 u_2 ，两个电压之间的关系为

$$u_1 = nu_2 \quad (1.1.1)$$

式中， n 为变压器的变压比。

整流电路的作用是将交流电压 u_2 转换成脉动直流电压 U_3 ；滤波电路的作用是滤除脉



动直流电压的纹波，使之变成纹波小的直流电压 U_4 ；稳压电路的作用是将不稳定的直流电压 U_4 转换成稳定的直流电压 U_O 。这些电压之间的关系如下：

$$U_3 = (1.1 \sim 1.2)U_2 \quad (1.1.2)$$

$$U_O = U_4 - U_p \quad (1.1.3)$$

式中， U_p 为稳压电路的降压，它一般为 $2 \sim 15V$ 。

2. 串联型直流稳压电路

串联型直流稳压电路的原理图如图 1.1.2 所示，该电路由四部分组成。

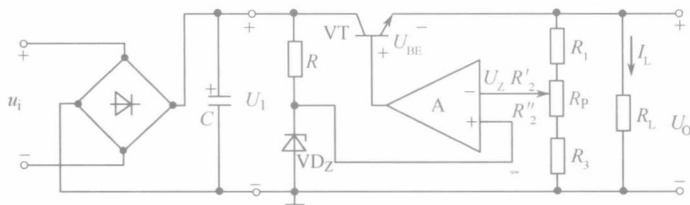


图 1.1.2 串联型直流稳压电路的原理图

1) 采样电阻

采样电阻由 R_1 、 R_p 和 R_3 组成。当输出电压发生变化时，采样电阻取其变化量的一部分送到放大电路的反相输入端。

2) 放大电路

放大电路 A 的作用是放大稳压电路输出电压的变化量，然后送到调整管的基极。若放大电路的放大倍数较大，则只要输出电压产生微小的变化，就会引起调整管的基极电压发生较大的变化，进而提高稳压效果。因此，放大倍数越大，输出电压的精度越高。

3) 基准电压

基准电压由稳压二极管 VD_Z 提供，它接到放大电路的同相输入端。将采样电压与基准电压进行比较后，再将二者的差值进行放大。电阻 R 的作用是保证 VD_Z 有一个合适的工作电流。

4) 调整管

调整管 VT 接在输入直流电压 U_1 和输出端的负载电阻 R_L 之间。输出电压 U_O 由于电网电压或负载电流等的变化而发生波动时，变化量经过采样、比较、放大后送到调整管的基极，使调整管的集射电压发生相应的变化，最终调整输出电压使之基本保持稳定。

现在分析串联型直流稳压电路的稳压原理。在图 1.1.2 中，假设由于 u_i 增大或 I_L 减小导致输出电压 U_O 增大，则通过采样后反馈到放大电路反相输入端的电压 U_F 也按比例增大，但其同相输入端的电压即基准电压 U_Z 保持不变，因此放大电路的差模输入电压 $U_{id} = U_Z - U_F$ 将减小，于是放大电路的输出电压减小，使调整管的基极输入电压 U_{BE} 减小，随之调整管的集电极电流 I_C 减小，同时集电极电压 U_{CE} 增大，进而使输出电压 U_O 基本保持不变。

以上稳压过程可简单地表示为

$$u_i \uparrow \text{ 或 } I_L \downarrow \rightarrow U_O \uparrow \rightarrow U_F \uparrow \rightarrow U_{id} \downarrow \rightarrow U_{BE} \downarrow \rightarrow I_C \downarrow \rightarrow U_{CE} \uparrow \rightarrow U_O \downarrow$$

由图 1.1.2 可知, 如果将运算放大器 A 的同相端作为输入端, 将反相端作为反馈信号输入端, 将 U_O 作为输出端, 那么该系统实际上就是一个直流电压串联负反馈电路。因此, 系统对输出电压 U_O 有稳定作用, 稳定度提高了 $|1 + \dot{A}\dot{F}|$ 倍, 同时使纹波及外部干扰信号减小 $1/|1 + \dot{A}\dot{F}|$ 倍。这就是串联型直流稳压电路稳压的实质。由此可见, 要提高系统的稳压性能, 一是要提高运放的开环电压放大倍数 A , 二是要提高反馈系数 $F = \frac{R_2' + R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$ 。然而,

上述分析并未考虑参考源的影响。实际上, 参考电压 U_Z 是由稳压二极管 VD_Z 提供的。稳压二极管 VD_Z 会产生噪声, 其温度系数一般不为零, 其输出的电压含有纹波成分, 这些均会影响稳压时的性能指标。假设 VD_Z 因某种原因有一个电压波动, 假设其值为 ΔU_Z , 则引起输出电压的波动为

$$\Delta U_O = \left(1 + \frac{R_1 + R_2'}{R_3 + R_2''} \right) \Delta U_Z \quad (1.1.4)$$

因此, 在要求较高的稳压电路中, 参考稳压源要采用精密稳压源。精密稳压源将在 1.2 节详细介绍。

3. 三端集成稳压器

随着集成技术的发展, 稳压电路也迅速实现集成化。特别是三端集成稳压器, 芯片只引出三个端子, 分别接输入端、输出端和公共端, 基本上不需要外接元器件, 而且内部有限流保护电路、过热保护电路和过压保护电路, 使用十分安全、方便。

1) 三端集成稳压器的组成

三端集成稳压器的组成如图 1.1.3 所示。电路内部实际上包括串联型直流稳压电路的各个组成部分, 还加上了保护电路和启动电路。在 CW7800 系列三端集成稳压器中, 已将三种保护电路集成在芯片内部, 它们是限流保护电路、过热保护电路和过压保护电路。启动电路的作用是在刚接通直流输入电压时, 使调整管、放大电路和基准电源等建立各自的工作电流, 当稳压电路正常工作时启动电路被断开, 以免影响稳压电路的性能。

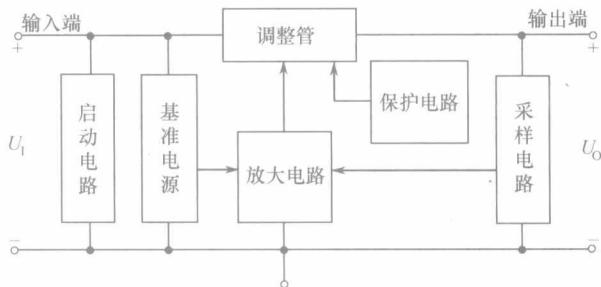


图 1.1.3 三端集成稳压器的组成

2) 三端集成稳压器的分类及特点

三端集成稳压器分为固定式、可调式两大类, 见表 1.1.1。

表 1.1.1 三端集成稳压器的分类

类型	特点	国产系列或型号 ^①	最大输出 电流 I_{OM}/A	输出电压 U_O/V	国外对应型号 ^②	
三端 固定式	正 压 输 出	CW78L00 系列	0.1	5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 20, 24 ^③	LM78L00, $\mu A78L00$, MC78L00	
		CW78N00 系列	0.3		$\mu PC78N00$, NA78N00	
		CW78M00 系列	0.5		LM78M00, $\mu A78M00$, MC78M00 L78M00, TA78M00	
		CW7800 系列	1.5		LM7800, $\mu A7800$, MC7800 L7800, TA7800, $\mu PC7800$, HA17800	
		78DL00 系列	0.25		5, 6, 8, 9, 10, 12, 15	TA78DL00
		CW78T00 系列	3		5, 12, 18, 24	MC78T00
		CW78H00 系列	5		5, 12, 24	$\mu A78H00$
		78P05	10	5	$\mu A78P05$, LM396	
	负 压 输 出	CW79L00 系列	0.1	-5, -6, -8, -9, -12, -15, -18, -24	LM79L00, $\mu A79L00$, MC79L00	
		CW79N00 系列	0.3		$\mu PC79N00$	
		CW79M00 系列	0.5		LM79M00, $\mu A79M00$, MC79M00, TA79M00	
		CW7900 系列	1.5		LM7900, $\mu A7900$, MC7900, L7900, TA7900, $\mu PC7900$, HA17900	
	三端 可 调 式	正 压 输 出	CW117L/217L/317L	0.1	1.2~37	LM117L/217L/317L
			CW117M/217M/317M	0.5	1.2~37	LM117M/217M/317M
CW117/217/317			1.5	1.2~37	LM117, $\mu A117$, TA117, $\mu PC117$	
CW117HV/217HV/317HV			1.5	1.2~57	LM117HV/217HV/317HV	
W150/250/360			3	1.2~33	LM150/250/350	
W138/238/338			5	1.2~32	LM138/238/338	
W196/296/396			10	1.25~15	LM196/296/396	
负 压 输 出		CW137L/237L/337L	0.1	-1.2~-37	LM137L/237L/337L	
		CW137M/237M/337M	0.5	-1.2~-37	LM137M/237M/337M	
		CW137/237/337	1.5	-1.2~-37	LM137, $\mu PC137$, TA137, SG137, FS137	

① 冠以 CW 的为国标产品。

② LM (美国 NSC 公司), μA (美国仙童公司), TA (日本东芝公司), μPC (日本 NEC 公司), HA (日本日立公司), MC (美国摩托罗拉公司), L (意法 SGS-Thomson 公司)。

③ 国产型号只有 5V, 6V, 9V, 12V, 15V, 18V, 24V 七种规格。

美国仙童公司于 20 世纪 70 年代首先推出 $\mu A7800$ 系列和 $\mu A7900$ 系列三端固定式集成稳压器。这种稳压器只有输入端、输出端和公共端。三端集成稳压器的问世, 是电源集成电路的一大革命, 它极大地简化了电源的设计与使用, 并具有较完善的过流、过压和过热保护功能, 能以最简单的方式接入电路。目前, 7800 系列、7900 系列已成为世界通用系列。

三端固定式集成稳压器分正压输出（7800 系列）、负压输出（7900 系列）两类。最大输出电流有 8 种规格，即 0.1A（78L00 系列）、0.25A（78DL00 系列）、0.3A（78N00 系列）、0.5A（78M00 系列）、1.5A（7800 系列）、3A（78T00 系列）、5A（78H00 系列）、10A（78P00 系列）。

三端固定式集成稳压器使用方便，不需要做任何调整，外围电路简单，工作安全可靠，适用于制作通用型标称值电压稳压电源。三端固定式集成稳压器的缺点是电压不能调整，不能直接获得非标称电压（如 7.5V、13V 等），输出电压的稳定度还不够高。

三端可调式集成稳压器是 20 世纪 80 年代初发展起来的，它既保留了三端固定式稳压器结构简单的优点，又克服了其电压不可调整的缺点，并且在电压稳定度上比前者提高了一个数量级（电压调整率达 0.02%），输出电压的调整范围一般为 1.2~37V。这类产品被誉为第二代三端集成稳压器，更适合制作实验室电源及多种供电方式的直流电源。

三端可调式集成稳压器也分为正压、负压输出两类。它们还可作为悬浮式集成稳压器使用，获得 100~200V 的高压输出。需要指出的是，如果把调整元件换成固定电阻，那么三端可调式就变成三端固定式，此时其性能指标仍然远优于三端固定式集成稳压器。

上面介绍的两类产品均属于串联调整式，即内部调整管与负载串联，而且调整管工作在线性区域，因此也称线性集成稳压器。它们共同的优点是稳压性能好，输出纹波电压小，成本低；主要缺点是内部调整管的压降大、功耗大、稳压电源的效率较低，一般约为 45%。

3) 三端集成稳压器的外形与电路符号

W7800 系列和 W78M00 系列固定正压输出三端集成稳压器的外形有两种，即金属菱形形式和塑料直插式，分别如图 1.1.4(a)和(b)所示。W7900 系列和 W79M00 系列固定负压输出三端集成稳压器的外形与正压输出三端集成稳压器的相同，但引脚有所不同。

输出电流较小的 W78L00 系列和 W79L00 系列三端集成稳压器的外形也分两种，即塑料截圆式和金属圆壳式，分别如图 1.1.4(c)和(d)所示。

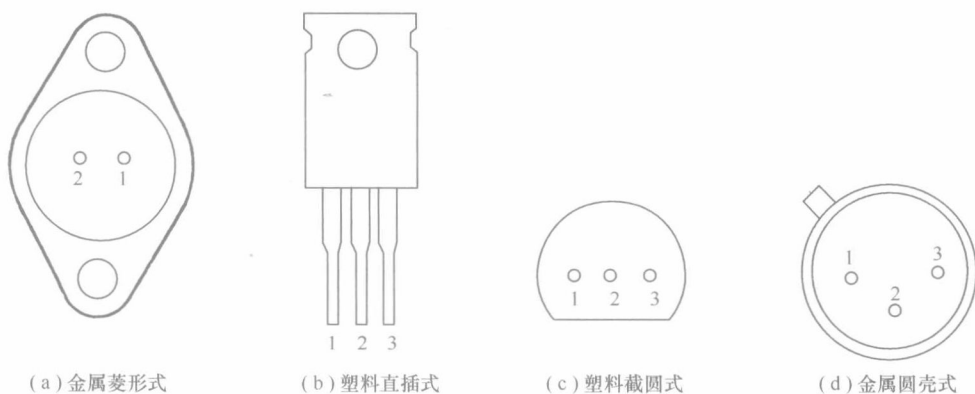


图 1.1.4 三端集成稳压器的外形

W7800 系列和 W7900 系列三端集成稳压器的引脚见表 1.1.2 中。

表 1.1.2 W7800 系列和 W7900 系列三端集成稳压器的引脚

封装形式 引脚 系列	金属封装			塑料封装		
	IN	GND	OUT	IN	GND	OUT
W7800	1	3	2	1	2	3
W78M00	1	3	2	1	2	3
W78L00	1	3	2	3	2	1
W7900	3	1	2	2	1	3
W79M00	3	1	2	2	1	3
W79L00	3	1	2	2	1	3

W7800 系列和 W7900 系列三端集成稳压器的电路符号分别如图 1.1.5(a)和(b)所示。



图 1.1.5 W7800 系列和 W7900 系列三端集成稳压器的电路符号

4) 三端集成稳压器应用举例

三端集成稳压器的使用十分方便，应用十分广泛。下面举几个典型的应用例子。

(1) 基本电路

三端集成稳压器最基本的应用电路如图 1.1.6 所示。整流滤波后得到的直流输入电压 U_i 接在输入端和公共端之间时，在输出端即可得到稳定的输出电压 U_o 。为抵消输入线较长带来的电感效应，防止自激，常在输入端接入电容 C_i (C_i 的容量通常为 $0.33\mu\text{F}$)；同时，在输出端接上电容 C_o ，以改善负载的瞬态响应并消除输出电压中的高频噪声， C_o 的容量一般为 $0.1\mu\text{F}$ 至几十微法，两个电容应直接接在集成稳压器的引脚处。

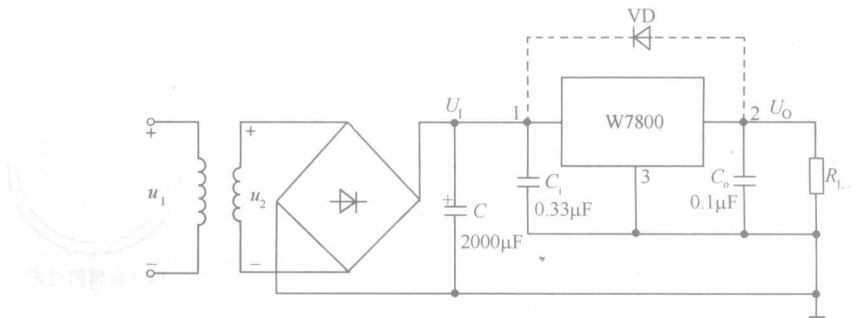


图 1.1.6 三端集成稳压器最基本的应用电路

输出电压较高时，应在输入端与输出端之间跨接一个保护二极管 VD，如图 1.1.6 中的虚线所示，其作用是在输入端短路时，使 C_o 通过二极管放电，以便保护集成稳压器内部的调整管。

输入直流电压 U_I 的值应至少比输出电压 U_O 高 2V。

(2) 扩大输出电流

三端集成稳压器的输出电流有一定的限制，如 1.5A、0.5A 或 0.1A 等。若希望在此基础上进一步扩大输出电流，则可通过外接大功率晶体管的方法来实现，电路接法如图 1.1.7 所示。

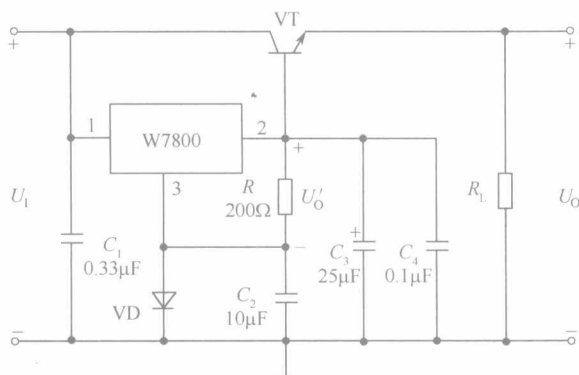


图 1.1.7 三端集成稳压器的电路接法

在图 1.1.7 中，负载所需的大电流由大功率三极管 VT 提供，而三极管的基极由三端集成稳压器驱动。电路中接入一个二极管 VD，用以补偿三极管的发射结电压 U_{BE} ，使电路的输出电压 U_O 基本上等于三端集成稳压器的输出电压 U'_O 。只要适当地选择二极管的型号，并通过调节电阻 R 的阻值来改变流过二极管的电流，即可得到 $U_D \approx U_{BE}$ ，此时由图 1.1.7 有

$$U_O = U'_O - U_{BE} + U_D \approx U'_O$$

同时，接入二极管 VD 也补偿了温度对三极管 U_{BE} 的影响，使输出电压比较稳定。

电容 C_2 的作用是滤掉二极管 VD 两端的脉动电压，以减小输出电压的脉动成分。

(3) 使输出电压可调

W7800 系列和 W7900 系列均为固定输出的三端集成稳压器，若希望得到可调的输出电压，则可选用可调输出的集成稳压器，也可将固定输出集成稳压器接成如图 1.1.8 所示的电路。

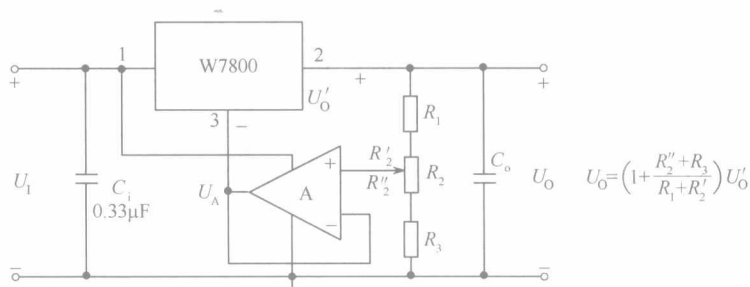


图 1.1.8 输出电压可调的稳压电路

(4) 正压、负压输出的稳压电源

正压、负压输出的稳压电源能同时输出两组数值相同、极性相反的恒定电压，如图 1.1.9 所示。