

模拟电子技术 项目教程

唐静 主编

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

模拟电子技术项目教程

主 编 唐 静

副主编 王文魁 马薪显 纪丽凤 胡立荣

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书将课程涉及的知识进行碎片化处理,将教学内容以项目为载体进行整合,以全新的教学理念和教学方式介绍模拟电子技术的相关内容,力求体现项目课程的特色与设计思想,以项目任务为出发点,激发学习兴趣。

全书内容选取具有实用性,以项目为载体进行内容划分,共包括制作直流稳压电源、制作前置放大器、制作功率放大器、制作音响 LED 动态显示器、制作音调电路和保护电路、组装调频无线话筒和制作电子报警器 7 个典型的工作项目和 1 个制作录/放音机综合项目,强调基本知识的运用和基本技能的训练及知识间的相互衔接。

本书可作为各高校电气工程、自动化、电子、通信、机电等专业的教材,也可供从事电子技术的工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术项目教程/唐静主编. —北京:北京理工大学出版社,2017.1

ISBN 978-7-5682-3006-3

I. ①模… II. ①唐… III. ①模拟电路-电子技术-高等学校-教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 205270 号

出版发行/北京理工大学出版社有限责任公司

社 址/北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编/100081

电 话/(010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址/<http://www.bitpress.com.cn>

经 销/全国各地新华书店

印 刷/三河市华骏印务包装有限公司

开 本/787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张/14

字 数/335 千字

版 次/2017 年 1 月第 1 版 2017 年 1 月第 1 次印刷

定 价/42.00 元

责任编辑/陈莉华

文案编辑/张 雪

责任校对/周瑞红

责任印制/李志强

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

前言

Preface

本书是根据现代科学技术发展的需要,以现代电子技术的基本知识、基本理论为主线,以应用为目的编写的一本以项目为导向的新型教材。

本书将课程涉及的知识进行碎片化处理,以项目为载体将教学内容进行整合,以培养学生的工作能力为目的将理论知识的讲授、课内讨论、作业与技能训练有机结合、融为一体,使能力培养贯穿于整个教学过程中。采用项目引领、任务驱动、行动导向的教学方式,提出学习目标并围绕实用电子产品的制作展开教学。对于典型电子电路的制作与调试,引入相关的理论知识,突出基本技能训练,强调理论在实践中的应用。

本书注重培养学生对实际电路的分析和调试能力。全书内容共包括制作直流稳压电源、制作前置放大器、制作功率放大器、制作音响LED动态显示器、制作音调电路和保护电路、组装调频无线话筒、制作电子报警器7个典型的工作项目和1个制作录/放音机综合项目,强调基本知识的运用和基本技能的训练。

本书具有以下特点:

- (1) 采取知识碎片化处理,结合实际项目展开教学活动;
- (2) 采用项目教学,以工作任务为出发点,激发学生学习兴趣;
- (3) 采用理论实践一体化教学模式,将“做”与“学”有机结合,融为一体;
- (4) 以小组学习为主,培养学生团队合作精神;
- (5) 以学生学习为主,以教师指导为辅,培养学生独立学习能力;
- (6) 教学评价采取项目模块评价,理论与实践相结合、制作与知识相结合。

本书在编写过程中,得到了北京理工大学出版社的大力支持和帮助,在此对为本书出版做出贡献的同志们表示衷心感谢!

本书由唐静老师担任主编,同时编写项目三和项目五及对全书进行统稿;马薪显老师编写了项目二和项目四;王文魁老师编写了项目六及综合实训;纪丽凤老师编写了项目一;胡立荣老师编写了项目七;由孙琳教授担任主审。另外本书在编写和出版过程中还得到了史学媛老师的大力支持,在此一并表示衷心感谢!

由于编者水平所限,加之时间仓促,书中难免存在差错和疏漏,编者热切期望广大师生对书中存在的问题提出批评和建议。

编者

目录

Contents

项目一 制作直流稳压电源	1
1.1 项目导入	1
1.2 项目实施	3
任务一 测试二极管	3
任务二 测试三极管	9
任务三 制作整流电路	17
任务四 制作滤波电路	20
任务五 制作串联型直流稳压电源	28
任务拓展 三端集成稳压电源的组装与调试	38
项目小结	40
思考及练习	41
项目二 制作前置放大器	44
2.1 项目导入	44
2.2 项目实施	45
任务一 测试3种基本放大电路的性能	45
任务二 测试负反馈放大电路的性能	59
任务三 前置放大器电路的制作与调试	66
任务拓展 集成运算放大电路基本知识	74
项目小结	85
思考及练习	85
项目三 制作功率放大器	88
3.1 项目导入	88
3.2 项目实施	89
任务一 设计功率放大器电路	89
任务二 制作OTL功率放大器	96
任务三 制作集成功率放大器	99
任务拓展 差分放大电路	103
项目小结	113

思考及练习	113
项目四 制作音响 LED 动态显示器	116
4.1 项目导入	116
4.2 项目实施	119
任务一 制作 LED 电平显示器	119
任务二 制作 LED 频谱显示器	129
任务拓展 传声器的正确使用	136
项目小结	140
思考及练习	140
项目五 制作音调电路和保护电路	141
5.1 项目导入	141
5.2 项目实施	142
任务一 制作音调电路	142
任务二 制作保护电路	146
任务三 扩音机整机装配与调试	151
任务拓展 制作简单音箱	156
项目小结	163
思考及练习	163
项目六 组装调频无线话筒	164
6.1 项目导入	164
6.2 项目实施	165
任务一 组装调频无线话筒	165
任务二 调试调频无线话筒	176
任务拓展 超外差收音机的制作	177
项目小结	186
思考及练习	187
项目七 制作电子报警器	188
7.1 项目导入	188
7.2 项目实施	189
任务一 制作正弦波振荡器	189
任务二 制作超温电子报警器	197
任务三 制作触摸式电子防盗报警器	201

任务拓展 两种触摸式电子防盗报警器电路的介绍·····	204
项目小结·····	207
思考及练习·····	207
综合项目 制作录/放音机 ·····	209
参考文献 ·····	216

项目一

制作直流稳压电源

1.1 项目导入

日常生活中的驱动电子电器设备所用的直流电源，通常是由电网提供的交流电经过整流、滤波和稳压以后得到的。对于直流电源的主要要求是输出的直流电压幅值稳定，当电网电压或负载电流波动时，输出的直流电压要基本保持不变；电压平滑，脉动成分小；交流电转换成直流电时转换效率高。电子爱好者制作电子应用电路或进行电子实验时需要有输出电压可调的直流电源，本项目制作的就是一个输出电压可调，有一定带负载能力的直流稳压电源。

一般直流稳压电源的组成如图 1-1 所示。

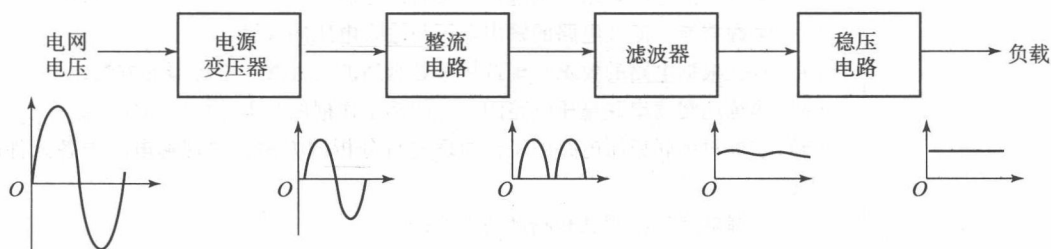


图 1-1 直流稳压电源的组成

现将图中各个组成部分的作用分别说明如下。

(1) 电源变压器。电网提供的交流电一般为 220 V（或 380 V），而各种电子电器设备所需要的直流电压幅值却各不相同。因此，常常需要将电网电压先经过电源变压器，然后对变换后的次级电压进行整流、滤波和稳压，最后得到所需要的直流电压幅值。

(2) 整流电路。整流电路的作用是利用具有单向导电性能的整流元器件，将正负交替

的正弦交流电压整流成为单方向的脉动电压。但是，单向脉动电压包含着很大的脉动成分，距理想的直流电压还差得很远。

(3) 滤波器。滤波器由电容、电感等储能元件组成，它的作用是尽可能将单向脉动电压中的脉动成分滤掉，使输出电压成为比较平滑的直流电压。但是，当电网电压或负载电流发生变化时，滤波器输出的直流电压的幅值也将随之变化，在要求比较高的电子电器设备中，这种情况是不符合要求的。

(4) 稳压电路。稳压电路的作用是采取某些措施，使输出的直流电压在电网电压或负载电流发生变化时保持稳定。

项目任务书

项目名称	制作直流稳压电源
项目目标	1. 知识目标 (1) 掌握二极管的特性、参数、组成和分类； (2) 了解特殊二极管的特性； (3) 掌握判别二极管好坏的方法； (4) 掌握二极管稳压电路的组成； (5) 了解三极管的工作参数、工作状态的判断方法； (6) 理解三极管的电流放大作用； (7) 熟悉电容器的工作方式，能识别电解电容器的极性； (8) 理解整流滤波电路的工作原理； (9) 掌握串联稳压电路的工作原理； (10) 掌握电容器的结构、材料、参数、种类与用途等相关知识； (11) 掌握串联稳压电路中主要元器件的参数要求； (12) 认识集成三端稳压电路。 2. 技能目标 (1) 掌握测试各种二极管的好坏、极性的方法； (2) 掌握根据电路要求正确选用二极管的方法； (3) 掌握整流、滤波电路的输出电压与输入电压的计算； (4) 掌握根据电路的要求正确选用参数合适的二极管和电容器的方法； (5) 熟练地阅读串联稳压电路图，并明确工作框图与电路图的对应关系； (6) 掌握对串联稳压电路的工作原理进行分析的方法，并理解电路中各元件的作用； (7) 掌握电路基本调试和测量的方法； (8) 掌握串联稳压电路的检测方法，掌握电路中的重要测试点，当电路有故障时，能通过测量数据进行故障分析； (9) 能根据电路图在万能电路板上进行元器件布局； (10) 熟练测量串联稳压电路的电压与电流参数； (11) 掌握制作 LM317 集成稳压电源的方法； (12) 掌握测量 LM317 集成稳压电源的各项技术指标的方法

续表

项目名称	制作直流稳压电源
操作步骤	第一步 学习电子元器件知识
	第二步 制作二极管整流、滤波电路
	第三步 学习直流稳压电路的知识
	第四步 制作串联型可调式直流稳压电路
	第五步 掌握串联稳压电路的分析方法
	第六步 调试串联稳压电路
任务要求	2~3 人为一组，协作完成任务

1.2 项目实施

任务一 测试二极管

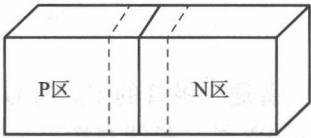
【任务目标】

- (1) 了解二极管的组成和分类；
- (2) 掌握二极管的特性及参数；
- (3) 了解稳压二极管的工作原理；
- (4) 掌握判别二极管好坏的方法。

一、二极管的基本知识

1. PN 结的形成及其特性

在 P 型半导体上采用一定的工艺，生成 N 型半导体，于是在 P 型半导体与 N 型半导体连接处便产生一个交结区，在这个交结区，P 型半导体一侧带负电，N 型半导体一侧带正电，从而在其交接面就形成了空间电荷区，称为 PN 结，如图 1-2 所示。



PN结

图 1-2 PN 结

PN 结最基本的特性是单向导电，根本原因是 PN 结中形成了阻挡层。阻挡层在外加电压的作用下，使通过 PN 结的电流向单一方向流动。

2. 二极管的电路图形符号

(1) 在 PN 结的 P 区和 N 区各接一个电极，再进行外壳封装并印上标记，就制成了一只二极管。如图 1-3 所示是几种常见的二极管外形，都是由电极（引脚）和主体部分构成。主体内部就是一个 PN 结，一般只能看到 PN 结封装后的外形。

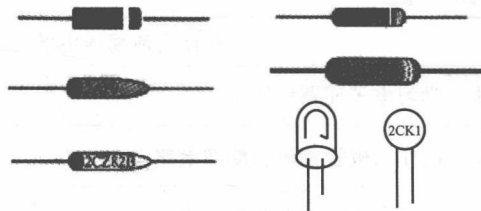


图 1-3 几种常见的二极管外形

二极管的两个电极分别称为阳极（也叫正极）和阴极（也叫负极）。阳极从 P 区引出，阴极从 N 区引出。从二极管的外形看，可初步分辨出二极管的阳极和阴极。对于圆锥形二极管来说，锥端表示阴极，圆面端表示阳极，形象地表现了 PN 结正向电流的方向。对于圆柱形二极管来说，常在外表一端用色环或色点表示阴极（负极），没有标记的一端就是阳极（正极）。对于球冠形二极管来说，在阴极（负极）旁常用黑点标记。对于无色标，但两引脚一长一短的二极管来说，长脚表示阳极（正极），短脚表示阴极（负极）。后面还要介绍用万用表判断二极管电极的方法。

(2) 二极管在电路中的图形符号。二极管的种类与用途较多，为了在绘制电路图时便于描述，人为地规定了二极管的图形符号。对不同种类的二极管，规定了不同的图形符号，如图 1-4 所示（按国家标准 GB 4728《电气图形用图形符号》规定）。

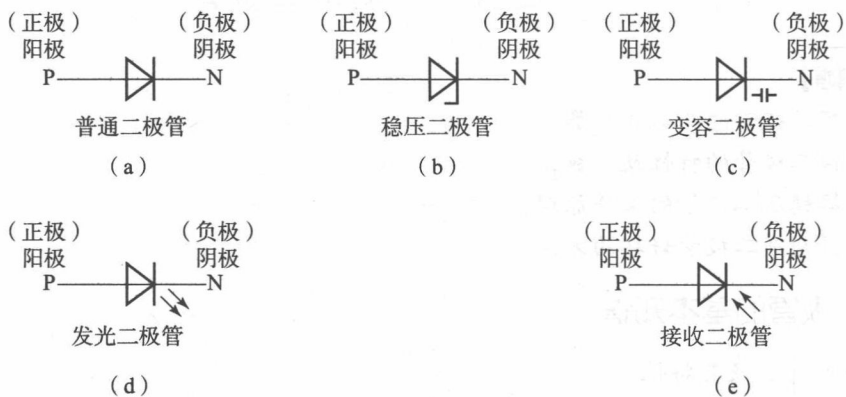


图 1-4 二极管图形符号

普通二极管的图形符号，以短竖线表示 PN 结 N 区，三角形表示 P 区，两者接触的一点表示 PN 结，长线右端表示二极管阴极（负极），长线左端表示二极管阳极（正极）。稳压二极管的图形符号是用折线表示 PN 结的 N 区；变容二极管的图形符号是在普通二极管符号旁加一个小电容符号；发光或发射二极管的图形符号是在普通二极管旁加两个指向外侧的小箭头，表示发光或发射；接收二极管图形符号是在普通二极管旁加两个指向内侧的小箭头，表示接收外来光源。

3. 二极管的特性

二极管由 PN 结构成，要了解二极管的特性，就要分析 PN 结的特性。通过对 PN 结特性的分析，可知当 PN 结加正向电压（P 区的电位高于 N 区的电位）时能导通电流；当 PN 结

加反向电压（N 区的电位高于 P 区的电位）时就难以导通电流，表明 PN 结具有单向导电的特性。

二极管伏安特性如图 1-5 所示。

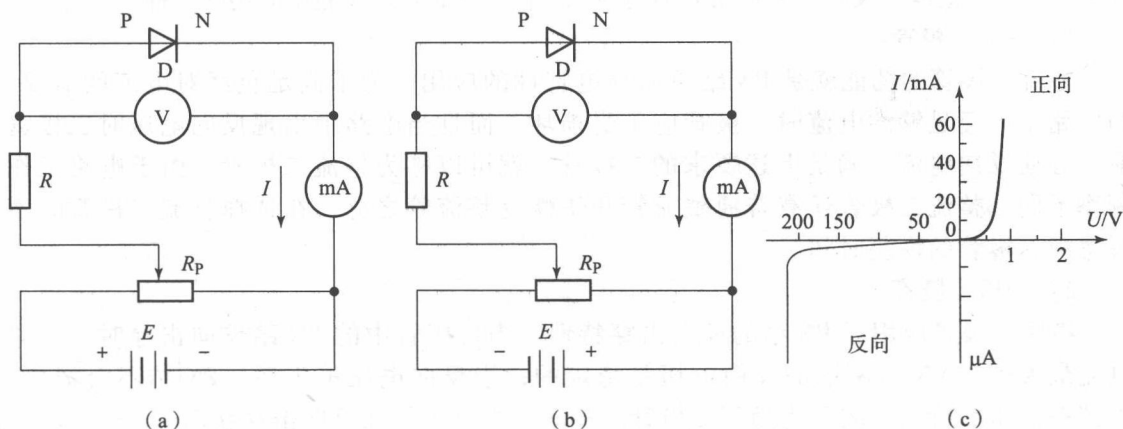


图 1-5 二极管伏安特性

(a) 正向特性；(b) 反向特性；(c) 伏安特性曲线

由以上可知二极管具有单向导电特性，研究二极管伏安特性就是观察当二极管两端加上电压时，流过二极管电流的情况。如图 1-5 (a)、(b) 所示是研究二极管伏安特性的电路。图中 R_p 是电位器，改变 R_p 就可以改变二极管两端电压， R 是限流电阻，起到保护二极管的作用。二极管的伏安特性包括两个方面，一是正向特性，二是反向特性。

(1) 正向特性。调节如图 1-5 (a) 所示电路中的 R_p ，当二极管两端正向电压低于 0.5 V 时，二极管几乎不导通，电流为零，电压从 0.5 V 逐渐增大，电流也随之增大，当电压达到 0.7 V 时电流增加速度明显加快。继续调节 R_p ，二极管两端电压基本不再变化，但电流却迅速增大。经过定量测量得出正向伏安特性曲线。

(2) 反向特性。给二极管加反向电压，调节如图 1-5 (b) 所示电路中的 R_p ，使反向电压从零逐渐增大，开始时流过二极管的电流几乎为零，当反向电压增大到某一值时（如图 1-5 (c) 所示，设为 215 V），流过二极管的反向电流迅速增大，此时二极管处于反向击穿状态。经定量测量得出反向伏安特性曲线。

由以上可知，当二极管加正向电压超过 0.5 V 时，二极管开始导通，达到 0.7 V 时（硅管），二极管正向电压基本不再变化，将这一电压（约 0.7 V）称为二极管的正向导通压降。若二极管是由锗材料制成的，则称为锗二极管的正向导通压降（一般为 0.2 ~ 0.3 V）。当二极管加反向电压时，电压从零到某一值以前，二极管几乎无电流通过，当达到某一值时电流突然增大，这就表明二极管反向击穿了，流过的电流为反向电流，此时的电压值称为击穿电压。

【结论】 二极管加正向电压（硅管大于 0.5 V；锗管大于 0.2 V）时，二极管导通，导通压降为 0.7 V（硅管 0.7 V；锗管 0.3 V）。当二极管导通时，有电流流过二极管；当给二极管加反向电压（未超过击穿电压）时，二极管截止。当二极管截止时，没有电流流过二

极管。

4. 二极管的分类

二极管的类型可根据其应用于电路的工作性质来区分,包括整流二极管、稳压二极管、开关二极管、检波二极管等多种用途不同的二极管。下面介绍实验中应用的两种二极管。

1) 整流二极管

整流二极管的功能就是PN结单向导电特性的应用。为了满足负载对电流的需要,当电路中流经足够的电流时二极管应不受损坏,而且当电路中出现反向电压时二极管应不导通反向电流。满足上述要求的二极管,就可以称为整流二极管。由于电路工作频率不同,整流二极管还有普通整流管和快恢复整流管之分,在选择整流二极管时不可忽视二极管的恢复时间。

2) 稳压二极管

稳压二极管应用了PN结的反向击穿特性。当稳压管中的PN结反向击穿时,反向电流最大,且PN结两端的反向电压是稳定的;当反向电压消失后,PN结不会损坏。因其有稳压的特点,故称为稳压二极管。稳压二极管工作在反向击穿状态。

5. 二极管的主要参数

1) 整流二极管的主要参数

①最大整流电流 I_{DM} 。

最大整流电流是指在保证二极管长期正常工作的前提下,允许流过二极管的最大电流,不同型号的二极管有不同的最大整流电流值。该参数可通过查阅《二极管参数手册》获得。

②最高反向工作电压 U_{RM} 。

最高反向工作电压是指整流二极管在工作过程中,所能承受的最高反向电压。不同电路在不同时刻的反向电压大小不同,若二极管能够承受电路中交流电负半周的反向电压,就能长期正常工作,否则就会被击穿。整流二极管被反向电压击穿后,就会损坏。不同型号的二极管的最高反向工作电压 U_{RM} 的值是不同的。如表1-1所示为部分常用整流二极管的主要参数,如表1-2所示为常见国外稳压二极管主要参数及国产型号代换表。

2) 稳压二极管的主要参数

①稳定电压 U_Z 。

当稳压二极管被击穿时,二极管上保持的反向电压值称为稳压二极管的稳定电压。

②稳定电流 I_Z 。

稳压二极管在正常工作状态下能承受的反向击穿电流称为稳压电流。

③最大工作电流 I_{ZM} 。

稳压二极管在正常工作状态下能承受的最大反向击穿电流称为最大工作电流。超出此电流稳压二极管就会损坏。

④允许耗散功率 P 。

允许耗散功率约等于稳定电流与稳定电压的乘积,即 $P \approx I_Z \times U_Z$ 。在选择稳压二极管时,允许耗散功率可由此式估算。

表 1-1 部分常用硅整流二极管主要参数

参数名称		正向电 流/A	反向电 流/μA	最高反 向工作 电压/V	正向电 压/V	参数名称		正向电 流/A	反向电 流/μA	最高反 向工作 电压/V	正向电 压/V
参数符号		I_{DM}	I_R	U_{RM}	U_D	参数符号		I_{DM}	I_R	U_{RM}	U_D
型号	1N4001	1	5	50	0.7	型号	PS2010	2	15	1000	1.2
	1N4002	1	5	100	0.7		1N5400	3	5	50	1
	1N4003	1	5	200	0.7		1N5401	3	5	100	1
	1N4004	1	5	400	0.7		1N5402	3	5	200	1
	1N4005	1	5	600	0.7		1N5403	3	5	300	1
	1N4006	1	5	800	0.7		1N5404	3	5	400	1
	1N4007	1	5	1000	0.7		1N5405	3	5	500	1
	P600A	6	25	50	0.7		1N5406	3	5	600	1
	P600B	6	25	100	0.7		1N5407	3	5	800	1
	P600D	6	25	200	0.7		1N5408	3	5	1000	1
	P600G	6	25	400	0.7		1N5391	1.5	10	50	1.4
	P600J	6	25	600	0.7		1N5392	1.5	10	100	1.4
	P600K	6	25	800	0.7		1N5393	1.5	10	200	1.4
	P600L	6	25	1000	0.7		1N5394	1.5	10	300	1.4
	PS200	2	15	50	1.2		1N5395	1.5	10	400	1.4
	PS201	2	15	100	1.2		1N5396	1.5	10	500	1.4
	PS202	2	15	200	1.2		1N5397	1.5	10	600	1.4
	PS204	2	15	400	1.2		1N5398	1.5	10	800	1.4
	PS206	2	15	600	1.2		1N5399	1.5	10	1000	1.4
	PS208	2	15	800	1.2						

表 1-2 常见国外稳压二极管主要参数及国产型号代换表

国外型号	国产代 换型号	稳压值 U_Z/V			允许功耗
		最小值	最大值	测试条件	
				I_Z/mA	P/mW
RD0.2 (B) E	2CW50	1.88	2.12	20	400
RD6.2 (B) E	2CW104	5.8	6.6	20	400

续表

国外型号	国产代换型号	稳压值 U_Z/V			允许功耗 P/mW
		最小值	最大值	测试条件	
				I_Z/mA	
RD7.5E (B)	2CW109	10.4	11.6	10	400
RD24E	2CW116	22.5	24.85	5	400
RD27E	2CW17	24.26	27.64	—5	400
05Z5.1Y	2CW103	5	5.2	5	500
05Z5.6Z	2CW103	5.8	6	5	500
05Z6.2Y	2CW104	6	6.3	5	500
05Z7.5Y. Z	2CW105	7.34	7.7	5	500
05Y9.1Y	2CW107	8.9	9.3	5	500
05Z12Z	2CW110	12.12	12.6	5	500
05Z13X	2CW110	12.4	13.1	5	500
05Z13Z	2CW111	13.5	14.1	5	500
05Z15Y	2CW112	14.4	15.15	5	500
HZ18Y	2CW113	17.55	18.45	5	500
HZ6 (A)	2CW103	5.2	5.7	5	500
HZ7 (A)	2CW105	6.3	6.9	5	500
HZ7 (B)	2CW105	6.7	7.2	5	500
HZ11	2CW109	9.5	11.5	5	500
HZ12	2CW111	11.6	14.3	5	500
EOA02-11B	2CW109	11.13	11.71	5	500
EOA02-12E	2CW110	11.2	13.1	15	500
MA1130	2CW111	12.4	14.1	15	500
QA106SB	2CW104	5.88	6.12	15	500
HZ27-04	2CW101	27.2	28.6	0.1	500
RD2.7E	2CW101	2.5	2.9	5	500

6. 二极管的常见故障

- (1) 击穿故障，即二极管短路。常表现为正反向电阻都为0，此时二极管失去了单向导电能力。二极管击穿一般是因为二极管承受的反向电压超过 U_{RM} 。
- (2) 开路故障，二极管开路故障的发生原因可归纳为电性能和机械两方面。在电性能方面，开路故障是由于流过二极管的电流过大，导致PN结烧断；机械方面，开路故障是由于受潮锈断或机械振动使PN结内部与电极断开。二极管出现开路故障后，正反向电阻都为

无穷大,可通过测量来辨别。

(3) 二极管变质故障,是一种介于短路与开路之间的情形。这种故障多表现在正反向电阻的阻值上,即二极管的正向电阻过大,而反向电阻偏小,失去了单向导电作用,不能继续使用,必须更换。

7. 二极管的判别

二极管具有动态电阻特性,正向导通时电阻很小,反向截止时电阻很大。根据这一特点,可以用万用表测量二极管正、反向电阻值,然后以此为依据判别二极管好坏。具体测量方法如图1-6所示。

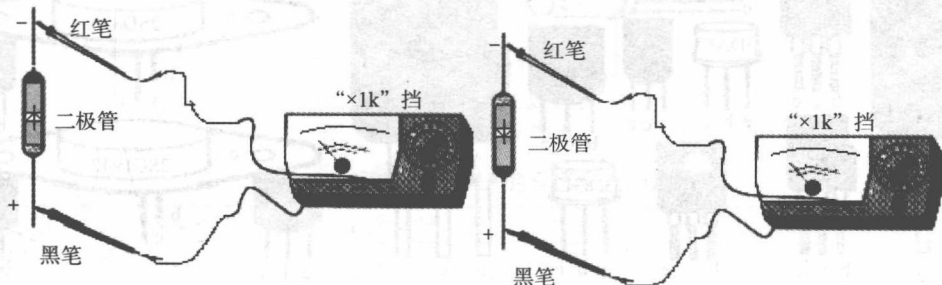


图1-6 二极管正反向电阻的检测

对几只不同型号的二极管分别测量其正、反向电阻,以便熟练掌握测量操作,并熟悉各种二极管正、反向电阻的特点。

通过对二极管正、反向电阻的测量,可知正常的硅二极管的正向电阻约为 $5\text{ k}\Omega$,反向电阻为无穷大。这一突出特点,是用万用表判别二极管好坏的依据。

【提示】 锗材料二极管如 2AP9、2AP30、2AN1 等,其正向电阻正常值约为 $1\text{ k}\Omega$,反向电阻正常值约为 $500\text{ k}\Omega$ 。

要指出,测量时所用万用表不同,测出二极管正反向电阻值也不同;测量时万用表的倍率挡不同,测出的结果也不一样。一般来讲,无论何种型号或材料的二极管,其正向电阻越小,同时反向电阻越大,其质量就越好。这是通过正、反向电阻判断二极管好坏的依据。

任务二 测试三极管

【任务目标】

- (1) 了解三极管的工作状态;
- (2) 熟悉三极管工作状态的判断方法;
- (3) 了解三极管的工作参数;
- (4) 理解三极管的电流放电作用;
- (5) 熟悉大功率三极管的特点及选用原则。

三极管的核心是两个互相连接的 PN 结,其性能与只有一个 PN 结的二极管相比有着本质的区别——三极管具有电流放大作用。下面介绍三极管的外观及图形符号、基本特性、主要参数和判断三极管电极与好坏的方法。

1. 三极管外观及图形符号

1) 三极管的实物

如图 1-7 所示为几种不同种类的三极管。虽然它们形状各异，但有一个共同特点，即都有 3 个电极，分别叫作发射极 (e)、基极 (b) 和集电极 (c)。

图中三极管的外封装都标有三极管的型号。凡型号第一个字母为 3 的，是中国生产的，3 表示有三个电极；凡型号第一个字母为 2 的，是国外生产的，2 表示有两个 PN 结；它们的电极分布也不尽相同。

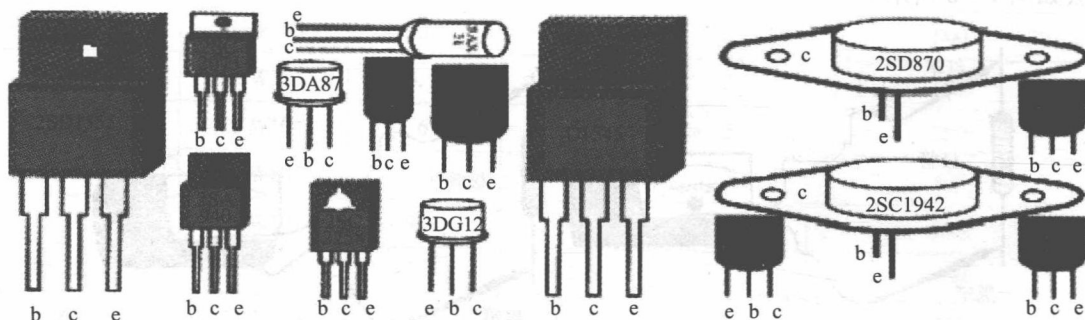


图 1-7 晶体三极管实物

2) 电路中三极管的图形符号

电路中三极管的图形符号如图 1-8 所示，其中 3 根引出的短线分别表示 3 个电极 (e、b、c)，三极管由两个 PN 结构成，发射极与基极之间的 PN 结叫发射结，集电极与基极之间的 PN 结叫集电结。图形符号中，箭头所指的方向即表示发射结的方向，也表示了晶体管工作时电流的方向。可以看出，PNP 管的发射结方向是由发射极指向基极；NPN 管的发射结方向是由基极指向发射极。PNP 管工作时，电流由发射极流入晶体管，NPN 管工作时，电流由发射极流出晶体管。

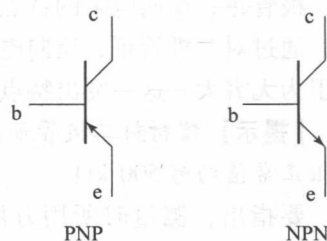


图 1-8 三极管图形符号

2. 三极管的基本特性

晶体三极管有两种导电类型（载流子为空穴和电子），即 PNP 导电类型（称为 PNP 管）和 NPN 导电类型（称为 NPN 管）。下面分别研究两种导电类型三极管的基本特性。

1) 测量 NPN 管各极电流

如图 1-9 所示的电路，电路中所用元器件为：小功率管（NPN）S9013 一只；半可调电阻 100 kΩ 一只；直流电源 3 V、12 V 各一台；电阻 1 kΩ 一只；高精度数字电流表（表 1）一台；一般精度数字电流表（表 2、表 3）各一台。按如图 1-9 所示连接电路。

电路连接正确后，即可开始测量。首先调节可调电阻，使表 1 的读数为 10 μA，即基极电流；然后读取表 2 电流值，即集电极电流；再读取表 3 电流值，即发射极电流。将上面测得的数据，按顺序记录在表 1-3 中。按照同样的方法，再测量下一次数据，共测量出 4 组数据，全部记录于表 1-3 中。