



实用模拟电子技术 项目教程

唐 静◎主编



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

实用模拟电子技术项目教程

主 编 唐 静

、 副主编 纪丽凤

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书紧紧围绕高职教育的特点,采用项目引领、任务驱动、行动导向的现代职业教育课程构建模式,以相应实用电子产品的制作展开教学;将过于学科化的章节变为项目形式,制作与调试典型电子电路,引入相关的理论知识。全书内容包括直流稳压电源、功率放大器、音响 LED 五动态显示器、电子报警器、扩音机组装与调试、无线电发射与接收、综合实训 7 个典型的工作项目和 19 个学习任务,强调基本知识的运用和基本技能的训练。教师可根据学生情况和专业特点进行项目的选择。

本书适用于电子、机械、自动化等专业中专、高职高专院校学生使用。

图书在版编目(CIP)数据

实用模拟电子技术项目教程/唐静主编. —上海:
上海交通大学出版社,2013
ISBN 978-7-313-09246-5

I. 实... II. 唐... III. 模拟电路—高等职业
教育—教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 286320 号

实用模拟电子技术项目教程

唐 静 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

上海交大印务有限公司印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×960mm 1/16 印张:15.75 字数:295 千字

2013 年 1 月第 1 版 2013 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-313-09246-5/TN 定价:38.00 元

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系
联系电话:021-54742979

前 言

《实用模拟电子技术项目教程》是为高职院校电气自动化、电子技术应用、机电一体化等专业编写的一本以项目为导向的新型教材。

传统的电子技术教材偏重学科体系,理论性过强,往往造成了教师难教、学生难学的局面。产生这种现象的原因主要有两点:①讲电子电路原理多,进行制作和调试的实践环节少;②讲电子元件电路符号多,介绍实物器件和型号选取等实用知识少。这对培养高职类应用型技术人才很不利。

本教材紧紧围绕高职教育的特点,有两方面改进:一是采用项目引领、任务驱动、行动导向的现代职业教育课程的构建模式,提出学习目标,并围绕相应实用电子产品的制作展开教学;二是将过于学科化的章节变为项目形式,以典型电子电路的制作与调试,引入相关的理论知识。如通过制作“音频功率放大器”引入基本电压放大器、负反馈放大器、功率放大器和差动放大器等理论内容,这样能突出基本技能训练,强调理论在实践中的应用。

根据高职教育培养的是面向生产第一线的高级应用型人才的要求,本书在力求保证基础、掌握基本技能的基础上,注重培养学生对实际电路的分析和调试能力。在教学过程中建议:①采用项目教学,以工作任务为出发点,激发学生的学习兴趣;②采用理论实践一体化教学模式,在“做”中“学”,在“学”中“做”;③以小组学习为主,培养学生团队的合作精神;④以学生学习为主,以教师指导为辅,培养学生独立的学习能力;⑤教学评价采取项目模块评价,理论与实践相结合、作品与知识相结合。

全书内容包括直流稳压电源、功率放大器、音响 LED 五动态显示器、电子报警器、扩音机组装与调试、无线电发射与接收、综合实训共 7 个典型的工作项目和 19 个学习任务,强调基本知识的运用和基本技能的训练。

本书语言通俗易懂、层次清晰严谨,内容丰富实用、图文并茂,特别是一些实际应用与教学经验的融入,使本书更具特色。

本书在编写过程中,得到了上海交通大学出版社的大力支持和帮助,在此对为

本书出版作出贡献的同志们表示衷心的感谢!

本书由辽宁信息职业技术学院自动控制系唐静老师担任主编,同时编写项目一、项目三、项目五和项目六,并对全书进行统稿;纪丽凤老师担任副主编,同时编写项目二和项目四及综合实训;由辽宁信息职业技术学院自动控制系孙琳主任担任主审。另外,该书在编写和出版过程中得到了辽宁信息职业技术学院史学媛老师和马彪处长的大力支持,在此表示衷心的感谢!

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,我们热切期望使用本教材的广大老师和学生对书中存在的问题提出批评和建议。

作 者

2012 年 11 月

目 录

项目一 制作直流稳压电源	1
任务1 学习直流稳压电源的基础知识	1
任务2 制作串联型直流稳压电源	35
项目二 制作功率放大器	58
任务1 制作前置放大器	58
任务2 学习功率放大器电路的基础知识	90
任务3 制作 OTL 功率放大器	101
任务4 制作集成功率放大器	106
项目三 制作音响 LED 五动态显示器	131
任务1 制作 LED 电平显示器	132
任务2 制作 LED 频谱显示器	144
项目四 制作电子报警器	159
任务1 制作正弦波振荡器	159
任务2 制作超温电子报警器	169
任务3 制作触摸式电子防盗报警器	174
项目五 扩音机整机组装与调试	183
任务1 制作音调电路	184
任务2 制作保护电路	188
任务3 业余制作音箱	195
任务4 扩音机整机装配与调试	203
项目六 无线电发射与接收	210
任务1 组装调频无线话筒	210
任务2 超外差收音机的制作	224
项目七 综合实训 制作录/放音	236
参考文献	245

项目一

制作直流稳压电源

电子设备、日常生活中的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能基本保持不变;输出的直流电压平滑、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。

任务1 学习直流稳压电源的基础知识

在本项目的制作过程中,可以学到电子技术的基础知识和基本技能,受本制作项目的启发,我们可以将学到的知识进一步应用,设计制作出实用、性能更好的集成直流稳压电源。

一、任务描述

任务名称:学习直流稳压电源的基础知识。

知识目标:

(一) 元器件知识

- (1) 了解变压器基本构造与工作原理,能根据电路需要正确选取变压器参数。
- (2) 熟知二极管的特性与参数,能根据电路要求正确选用二极管。
- (3) 充分理解晶体三极管的电流放大作用,明确晶体三极管的工作状态,熟知晶体三极管工作状态的判断方法。
- (4) 了解晶体三极管的工作参数和极限参数,掌握其运用规律;熟知大功率三极管的特点与选用原则。
- (5) 了解电容器结构、材料、参数、种类与用途等相关知识;熟悉电容器的工作

方式;掌握电解电容器的适用范围,能识别电解电容器的极性。

(二) 基础电路知识

(1) 理解整流滤波电路工作原理,能进行整流、滤波电路输出电压与输入电压的计算;能根据电路的要求正确选用参数合适的二极管和电容器。

(2) 了解稳压二极管的原理,掌握二极管稳压电路的构成。

(3) 熟练掌握三极管直流放大电路的工作原理,熟悉三极管直流放大电路结构与各元件的作用;基本掌握三极管在直流放大电路中,基极电流变化对放大电路直流状态的影响及变化规律。

(三) 串联型可调直流稳压电源电路工作原理

(1) 掌握并充分理解串联稳压电路的工作框图,能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。

(2) 能对串联稳压电路的工作原理进行分析,并知道电路中各元件的作用;能对电路进行基本调试和测量。

(3) 掌握串联稳压电路中的主要元器件的参数要求,并能正确选用参数合适的元器件;掌握元器件替换的规则。

(4) 掌握串联稳压电路的检测方法,掌握电路中的重要测试点,电路有故障时,能通过测量数据进行故障分析。

任务操作步骤:

- (1) 学习电子元器件知识。
- (2) 学习二极管整流、滤波电路。
- (3) 学习基本直流稳压电路的分析方法。
- (4) 学习串联稳压电路的分析方法。
- (5) 学习串联稳压电路的调试方法。

二、直流稳压电源基本组成

一般直流稳压电源的组成如图 1-1 所示。

现将图中各个组成部分的作用分别说明如下:

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,然后将变换以后的次级电压再去整流、滤波和稳压,最后得到所需要的直流电压幅值。

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件,将正负交替

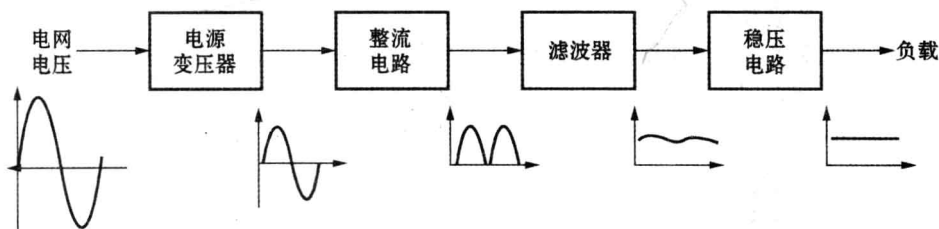


图 1-1 直流电源的组成

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,距理想的直流还差得很远。

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,滤波输出的直流电压的幅值也将随之而变化,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。

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。

下面我们分别介绍各部分的具体电路和它们的工作原理。

三、认识与选择半导体器件

(一) 晶体二极管

二极管是用半导体材料制成的,故叫晶体二极管,其核心是一个 PN 结,二极管广泛应用于各种电路中。

1. PN 结的形成及其特性

在 P 型半导体上采用一定的工艺,再生成 N 型半导体,于是 P 型半导体与 N 型半导体就产生一个交结区,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,形成了一个带电层,这个带电层就称为 PN 结,如图 1-2 所示。

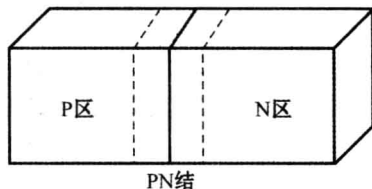


图 1-2 PN 结

PN 结最基本的特性就是单向导电,根本原因就是 PN 结中形成了阻挡层。阻挡层在外加电压作用下,使通过 PN 结的电流单方向流动。

2. 二极管的外形符号

(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。图 1-3 是常见的几种二极管外形,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。

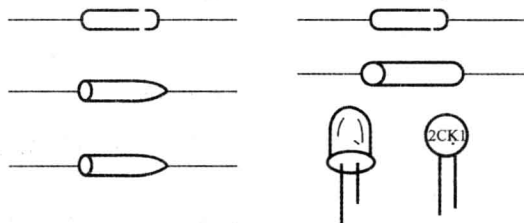


图 1-3 几种常见二极管外形

二极管的两个电极分别称为阳极(也叫正极)、阴极(也叫负极)。阳极是从 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。对于圆锥形二极管锥端表示阴极,圆面端表示阳极。这种外表形象地表述了 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),没有标记的就是阳极(正极)。对于球冠形二极管来说,常用黑点标记在阴极(负极)旁。对于无色标的,但两引脚一长一短,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电极方法。

(2) 二极管在电路图中的图形符号。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图形符号。对不同种类二极管,规定了不同的图形符号,如图 1-4 所示。

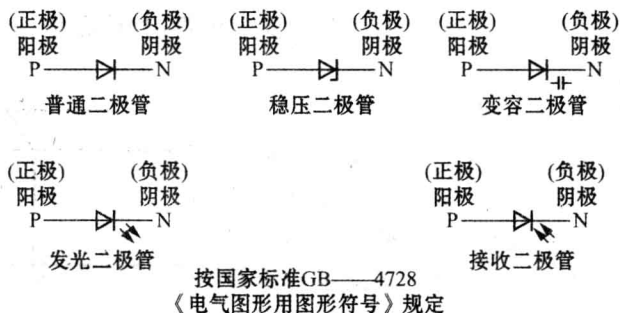


图 1-4 二极管电路符号

普通二极管图形符号,以短直线表示 PN 结 N 区,三角形表示 P 区,两者接触的那一点表示 PN 结,右端长线表示二极管阴极(负极),左端长线表示二极管阳极(正极)。稳压二极管图形符号用折线表示 PN 结的 N 区;变容二极管图形符号在普通

二极管符号旁加一个小电容符号;发光或发射二极管图形符号是在普通二极管旁加两个指向外的小箭头,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两个小箭头,表示接收外来光。

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。经过对 PN 的特性分析,得到的结论为,PN 结加正向电压(P 区的电位高于 N 区的电位)能导通电流,PN 结加反向电压(N 区的电位高于 P 区的电位)就难以导通电流。这表明 PN 结具有单向导电特性。

二极管伏安特性:由以上可知二极管具有单向导电特性,研究二极管的伏安特性,是研究给二极管加上电压时,流过二极管电流的情况。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。

图 1-5 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。

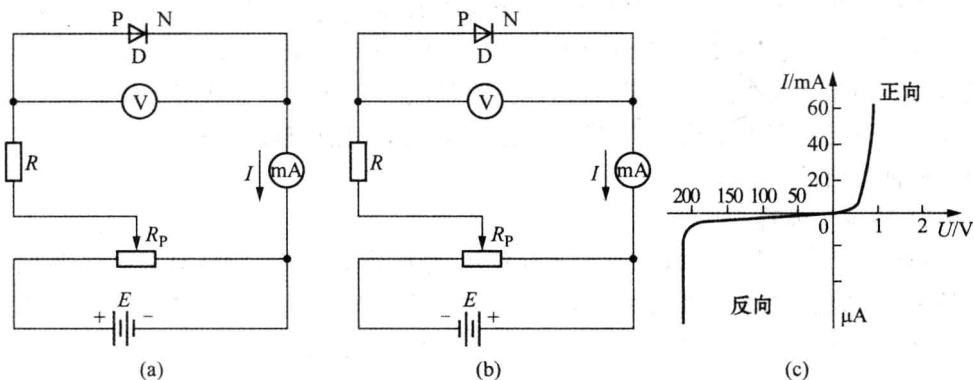


图 1-5 二极管伏安特性

(a) 正向特性 (b) 反向特性 (c) 伏安特性曲线

正向特性:图 1-5(a)调节 R_P ,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,电流也随之逐渐增大,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。经过定量测量就可得出正向伏安特性曲线。

反向特性:给二极管加反向电压,图 1-5(b)调节 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,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。经定量测量可得到反向伏安特性曲线。

由以上可知,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, 我们将这一电压(约 0.7 V)称为二极管的正向导通压降。若二极管是锗材料制成的, 则称为锗二极管的正向导通压降(为 $0.2\sim 0.3\text{ V}$)。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, 达到某一值时电流突然增大, 这表明二极管反向击穿了, 流过的电流为反向电流, 这一电压值称为击穿电压。

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

4. 二极管分类

二极管种类可根据应用于电路的工作性质来区分, 如整流、稳压、开关、检波等, 有多种用途不同的二极管, 在这里只介绍现在要应用的两种二极管。

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, 二极管应能通过足够的电流而不损坏, 而且当电路出现反向电压时不导通反向电流。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 结反向击穿特性, 稳压管中的 PN 结反向击穿时, 反向电流最大, 二极管工作在反向击穿时, PN 结两端的反向电压是稳定的, 且反向电流消失后, PN 结不会损坏。因为它有稳压特点, 因此叫做稳压二极管。稳压二极管工作在反向击穿状态。

3) 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长期正常工作二极管不损坏的前提下, 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} 。整流二极管工作过程中, 受到交流电负半周的反向电压, 不同电路, 不同时刻, 反向电压大小也不一样, 如果二极管能够承受电路的最高反向电压, 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, 二极管就会损坏。不同型号的二极管最高反向工作电压 U_{RM} 的值是不同的。表 1-1 列出了部分常用整流二极管的主要参数。

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	反向 电流	最高反向 工作电压	正向 电压	参数名称	正向 电流	反向 电流	最高反向 工作电压	正向 电压	
参数符号	I_{DM}	I_{R}	U_{RM}	U_{F}	参数符号	I_{DM}	I_{R}	U_{RM}	U_{F}	
单位	A	μA	V	V	单位	A	μA	V	V	
型 号	1N4001	1	5	50	0.7	PS2010	2	15	1 000	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	1 000	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	1 000	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	1 000	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	1 000	1.4
	PS208	2	15	800	1.2					

4) 稳压二极管的参数

(1) 稳定电压 U_Z 。稳压二极管击穿时,二极管上保持的反向电压值,叫做稳压二极管的稳定电压。

(2) 稳定电流 I_Z 。稳压二极管能长期正常工作状态下的反向击穿电流,称为稳压电流。

(3) 最大工作电流 I_{ZM} 。稳压二极管能长期正常工作状态下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_{ZM} 。允许耗散功率约等于稳定电流与稳定电压的乘积,即 $P_{ZM} \approx I_Z \times U_Z$,选择稳压二极管时可由此式估算。表 1-2 列出了常见进口稳压二极管参数与国产型号代换表。

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 P_{ZM}/mW
		最小值	最大值	测试条件	
				I_Z/mA	
RD0.2(B)E	2CW50	1.88	2.12	20	400
RD6.2(B)E	2CW104	5.8	6.6	20	400
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

(续表)

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	P_{ZM}/mW
				I_Z/mA	
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

5) 二极管的常见故障

(1) 击穿故障:常表现出正反向电阻都为 0Ω ,此时二极管失去了单向导电能力。

二极管短路很容易辨别,可用万用表测量正反向电阻,如果都接近 0Ω ,就说明二极管击穿了。二极管击穿的原因一般是由于二极管承受的反向电压超过 U_{RM} 。

(2) 开路故障:二极管开路故障分电性能和机械两方面故障。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,可通过测量正反向电阻来辨别。

(3) 二极管变质故障:是一种介于短路与开路之间的情形,这种故障多在正反向电阻上有所表现,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。

6) 二极管好坏的判别

用万用表判别二极管。

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。具体测量方法见图 1-6。

找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,熟悉各种二极管正、反向电阻特点。

通过对二极管正、反向电阻的测量,可知正常的硅二极管,正向电阻约为 $5k\Omega$ 左右,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。若一只二极管正反向电阻均为正常值,就说明这只二极管是好的,否则就是坏的。

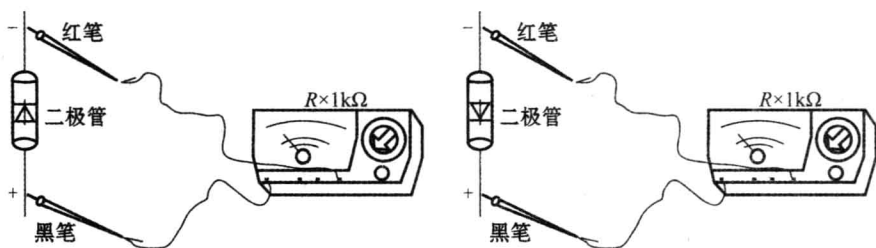


图 1-6 二极管正反向电阻的检测

提示:锗材料二极管如 2AP9, 2AP30, 2AN1 等, 它们的正向电阻正常值为 $1\text{ k}\Omega$ 左右, 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档(表的倍率 1 K 表示 $1\text{ k}\Omega$) 不同, 测出的结果也不一样。一般来讲, 不管什么型号的二极管, 也不管用什么材料制作, 其正向电阻越小, 同时反向电阻越大, 质量就越好, 这是通过正、反向电阻判断二极管好坏的依据。

(二) 晶体三极管

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, 即三极管具有电流放大作用。下面将开始介绍三极管的结构特性、放大原理、应用参数和好坏区别。

1. 三极管实物图形

图 1-7 中列出了不同种类的三极管。虽然它们形状各异, 但有一个共同特点, 即都有三个电极, 分别叫做发射极(e)、基极(b)和集电极(c)。

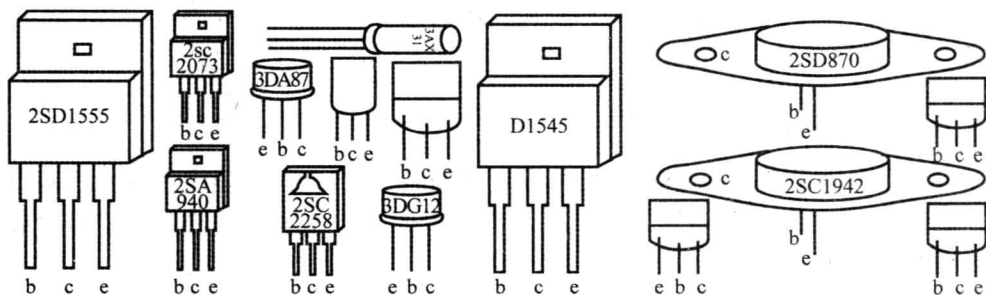


图 1-7 晶体三极管实物图

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, 是中国生产晶体管三极命名规则, 3 表示有三个电极; 凡型号第一个字母为 2 的, 是国外生产, 2 表示有两个 PN 结; 它们的电极分布也不尽相同。

2. 三极管的电路图符号

三极管电路图符号如图 1-8 所示,其中三根引出的短线分别表示三个电极(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。

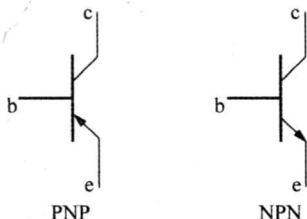


图 1-8 三极管电路符号

3. 三极管的基本特性

晶体三极管两种导电类型,即 PNP 导电类型,称为 PNP 管;NPN 导电类型,称为 NPN 管。下面分别研究两种导电类型的三极管的基本特性。

1) 测量 NPN 管各极电流

在如图 1-9 所示的电路中,电路所用元件:小功率管(NPN) S9013 1 只;半可调电阻 100 k Ω 1 只;直流电源 3 V, 12 V 各 1 台;1 k Ω 电阻 1 只;电流表 1(高精度数字电流表),电流表 2, 3(用一般精度数字电流表)。按电路图 1-9 连接电路。

电路正确连接后,即可开始测量。首先调节可调电阻,使电流表 1 的读数为 10 μ A,即为基极电流;然后读取电流表 2,为集电极电流;再读取电流表 3,为发射极电流。将上面测得

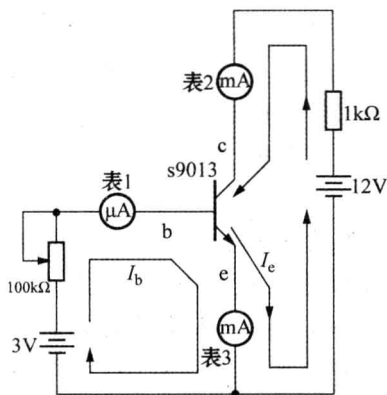


图 1-9 测量 NPN 管电流

的数据,按顺序记录在表 1-3 中。按照同样的方法,测量下一次数据。测量出四组数据,全部记录在表 1-3 中。

表 1-3 NPN 管 S9013 的导通电流测量数据

电流表	各极电流	第一次测量	第二次测量	第三次测量	第四次测量
1	$I_b/\mu\text{A}$	10	20	30	40
2	I_c/mA	1	2	3	4
3	I_e/mA	1.01	2.02	3.03	4.04

根据表中的数据总结如下: