

高职高专电子信息类专业“十二五”课改规划教材

电子电路分析与实践

◎ 主编 黄业安 陶 影 梁长垠

◎ 主审 刘守义



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高职高专电子信息类专业“十二五”课改规划教材

电子电路分析与实践

主编 黄业安 陶影 梁长垠
主审 刘守义



西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书是将“模拟电子技术”与“数字电子技术”两门课程的内容充分融合后编写而成的项目化教材。全书以完成“数控功放的制作与测试”项目为主线,按照工作过程系统化原则,对完成实际工作任务所需要的技能及相关知识进行有机的融合和序化,共设计有电源电路的制作与测试、音频前置放大器的制作与测试、音量控制与显示电路的制作与测试、功率放大器的制作与测试、数控功率放大器的制作与测试五个学习情境,并纳入了电子电路的仿真与测试技术的内容,以强化对学生职业能力的培养。

本书可作为高职高专电子信息类及其相关专业的教材,也可作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子电路分析与实践/黄业安,陶影,梁长垠主编.

—西安:西安电子科技大学出版社,2011.2

高职高专电子信息类“十二五”课改规划教材

ISBN 978-7-5606-2528-7

I. ① 电… II. ① 黄… ② 陶… ③ 梁… III. ① 电子电路—电路分析—高等学校:技术学校—教材 IV. ① TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 005283 号

策 划 毛红兵

责任编辑 孟秋黎 毛红兵

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2011年2月第1版 2011年2月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 19.5

字 数 462千字

印 数 1~3000册

定 价 28.00元

ISBN 978-7-5606-2528-7/TN·0590

XDUP 2820001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

“电子电路分析与实践”是高职高专电子类相关专业的一门专业基础课程，是对“模拟电子技术”和“数字电子技术”两门课程内容进行充分融合、序化后形成的一门课程，也是培养学生电子技术基础知识和基本操作技能的核心课程。

本书将模拟电子技术与数字电子技术中常用器件和基本电路的应用融合起来，与传统的模拟电子技术和数字电子技术的教学相比，本书在教学内容上是一次颠覆性的重大变革，是基于工作过程系统化设计的项目化教材。具体内容以典型电子产品“数控功率放大器”为载体，并按照载体的制作过程设计了五个学习情境。在每个学习情境中，将所涉及的模拟电子技术和数字电子技术的相关知识、技能作为教学内容，把电子产品制作过程中需要的社会能力、设计与操作方法、职业素养等融合到教学内容中，从而使对学生专业基本技能的训练更贴近岗位要求。

本书参考学时数为 160 学时(含实践教学)，具体安排如下：学习情境一 46 学时，学习情境二 40 学时，学习情境三 52 学时，学习情境四 12 学时，学习情境五 10 学时。本书内容尽可能采用教、学、做一体化的方式组织教学活动，书中安排的实训项目(包含仿真与测试)在有条件的情况下应尽量完成，以期实现基础知识与实践能力的有机结合。

参加本书编写的有黄业安(学习情境一)、杨黎(学习情境二)、潘益玲(学习情境三的任务一、任务二及附录)、陶影(学习情境三的任务三、任务四)、刘松明(学习情境四)、梁长垠(学习情境五)。刘守义教授参与了本书的策划工作，并审阅了全书。

由于编者水平有限，书中的疏漏在所难免，热忱欢迎使用者对本书提出批评与建议。

编 者

2010 年 11 月

目 录

学习情境一 电源电路的制作与测试

任务一 恒流充电器的制作与测试	3
技能训练1 二极管的识别与检测	3
知识链接I 二极管的特性与应用	4
知识链接II 二极管的检测与代换	8
知识拓展 特殊二极管的特性及应用	10
技能训练2 三极管的识别与检测	11
知识链接I 三极管的特性及其应用	12
知识链接II 三极管的检测与代换	17
知识拓展 特殊结构的三极管	19
任务实施 恒流充电器的制作与测试	20
知识链接 手工焊接技术	21
小结	22
习题	23
任务二 脉冲式自动充电器的制作与测试	24
技能训练 脉冲产生与控制电路的制作与测试	24
知识链接I 脉冲信号	25
知识链接II 逻辑事件与逻辑函数	26
知识链接III 逻辑门电路	29
知识链接IV 数制与逻辑函数的化简	37
知识拓展 特殊用途的门电路	49
任务实施 脉冲式自动充电器的制作与测试	52
小结	53
习题	54
任务三 晶闸管控制充电器的仿真与测试	56
技能训练1 晶闸管的识别与测试	56
知识链接 晶闸管的特性及应用	57
技能训练2 串联型稳压电源的制作与测试	63
知识链接I 线性串联型稳压电路	64
知识链接II 三端集成稳压器	69
知识拓展 开关稳压电路	72
任务实施 晶闸管控制充电器的仿真测试	75
小结	76
习题	77
项目实施 稳压电源电路的制作与测试	79
知识链接 电子元器件的引脚成型和插装	80

学习情境二 音频前置放大器的制作与测试

任务一 分立助听器的仿真测试	85
技能训练 1 共射极放大电路的制作与测试	85
知识链接 三极管放大电路	86
技能训练 2 负反馈改善非线性失真电路的制作与测试	99
知识链接 多级放大与负反馈放大电路	101
任务实施 分立助听器的仿真测试	112
知识链接 电子电路的识图方法	113
知识拓展 场效应管及其放大电路	114
小结	120
习题	121
任务二 集成助听器的制作与测试	126
技能训练 1 基本差动放大电路的制作与特性测试	126
知识链接 差动放大电路	127
知识拓展 带恒流源的差动放大电路的分析	131
技能训练 2 集成运放的识别检测与基本性能测试	133
知识链接 集成运算放大器	134
任务实施 集成助听器的制作与测试	144
知识链接 印制电路板图的识图方法	145
小结	146
习题	146
项目实施 音频前置放大器的制作与测试	150
知识链接 放大电路的调整与测试	151

学习情境三 音量控制与显示电路的制作与测试

任务一 LED 电平显示器的制作与测试	157
技能训练 电压比较器的制作与测试	157
知识链接 电压比较器	158
任务实施 LED 电平显示器的制作与测试	160
知识拓展 非正弦信号发生器	161
小结	163
习题	164
任务二 数码管电平显示器的仿真测试	166
技能训练 1 编码器的逻辑功能测试	166
知识链接 编码与编码器	167
技能训练 2 译码器的逻辑功能测试	172
知识链接 数码显示及显示译码器	174
知识拓展 组合逻辑电路的识读、分析与设计方法	180
任务实施 数码管电平显示器的仿真测试	185
小结	186
习题	186

任务三 衰减式音量控制器的仿真测试	189
技能训练 1 四人智力竞赛抢答器的制作与测试	189
知识链接 基本 RS 触发器	190
技能训练 2 计数及显示电路的制作与测试	199
知识链接 计数器	200
知识拓展 任意进制计数器	206
技能训练 3 彩灯移位电路的制作与测试	209
知识链接 寄存器	211
知识拓展 时序逻辑电路的识读分析	218
任务实施 衰减式音量控制器的仿真测试	221
小结	223
习题	224
任务四 反馈式音量控制器的制作与测试	228
技能训练 1 555 构成的多谐振荡器电路制作与测试	228
知识链接 I 555 集成电路的电路结构及其功能	229
知识链接 II 555 集成电路的应用	231
技能训练 2 加法计数器 D/A 转换显示电路的仿真与测试	236
知识链接 D/A 转换器和 A/D 转换器	238
任务实施 反馈式音量控制器的制作与测试	248
小结	249
习题	250
项目实施 音量控制与显示电路的制作与测试	251

学习情境四 功率放大器的制作与测试

任务一 分立喊话器的仿真与测试	255
技能训练 基本互补对称电路的仿真测试	255
知识链接 功率放大器	256
任务实施 分立喊话器的仿真测试	266
任务二 集成喊话器的制作与测试	268
技能训练 集成喊话器的制作与测试	268
知识链接 集成功率放大器	269
小结	271
习题	272
项目实施 功率放大器的制作与测试	273

学习情境五 数控功率放大器的制作与测试

贯穿项目综合实训 数控功率放大器的制作与测试	277
知识链接 元器件的选用与产品制作工艺流程	280
附录一 项目考核评分表	286
附录二 电子产品常用工艺文件简介	287
附录三 电子产品常用设计文件简介	294
附录四 PROTEUS 仿真软件简介	299
参考文献	304

学习情境一

电源电路的制作与测试

学习目标

1. 学会正确测试常用二极管、三极管、晶闸管的方法，并能够对测量结果进行准确的描述和分析。
2. 通过查阅半导体器件手册，能够正确选择和使用二极管、三极管等制作稳压电源。
3. 掌握判断和处理简单电子电路故障的方法。

任务一 恒流充电器的制作与测试

能力目标：

- (1) 能使用万用表识别和检测二极管、三极管。
- (2) 能使用万用表等仪表对电路进行测试，并能分析所得数据。
- (3) 能在万能板上进行元件布局与焊接，能分析并排除简单的电路故障。

知识目标：

- (1) 掌握二极管、三极管的结构、特性及基本应用。
- (2) 掌握整流、滤波电路和三极管电流控制电路的工作原理。

技能训练 1 二极管的识别与检测

一、实训目的

- (1) 熟悉常用二极管的外形结构特点。
- (2) 掌握利用万用表检测二极管的方法。

二、实训仪器与材料

万用表：DE960TR 或 DT9205A

二极管：各种类型

三、实训内容与步骤

1. 二极管的识别

- (1) 从给定的两端元器件中挑选出二极管。
- (2) 能正确区分发光二极管、整流二极管和普通二极管。

2. 二极管的检测

- (1) 利用万用表欧姆挡对给定的二极管进行正、反向电阻测量，判断出其正极、负极。
- (2) 记录被检测二极管的正向电阻与反向电阻值，并根据测试结果区分二极管的材料、类型及质量好坏等。

四、分析与思考

- (1) 使用万用表测量二极管的正向电阻与电阻器的电阻时，其方法有什么不同？
- (2) 为什么二极管的正向电阻与反向电阻相差很大？

- (3) 用万用表 $R \times 1k$ 或 $R \times 100$ 挡测量二极管的正向电阻时, 指针读数是否基本相同?
- (4) 如何利用万用表区分检波二极管、开关二极管与稳压二极管?

知识链接 I 二极管的特性与应用

一、二极管的结构与特性

1. 二极管的内部结构与导电模型

二极管是在一个 PN 结的两端各引出一根引线(管脚), 用外壳封装起来构成的, 如图 1.1.1 所示。

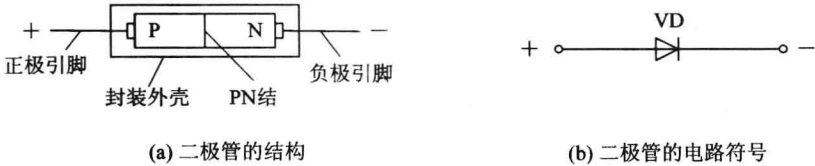


图 1.1.1 二极管的结构与符号

二极管内部的 PN 结是采用特殊的制造工艺, 在同一块半导体基片的两边分别形成 N 型(通过掺杂使自由电子浓度大大增加)和 P 型(通过掺杂使空穴浓度大大增加)半导体时自动形成的。二极管的内部有了 PN 结, 其导电性能就像是一个单向水阀, 只不过水阀中通过的是水流, 二极管中通过的是电流。二极管的单向导电性如图 1.1.2 所示。

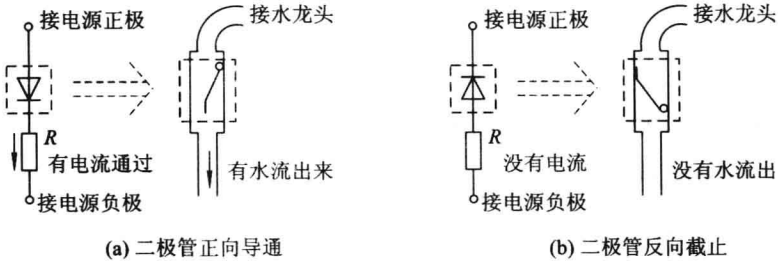


图 1.1.2 二极管的单向导电性

当二极管两端外加正向电压(指 P 区电位高于 N 区电位)时, 称为正向偏置, 简称正偏, 呈低阻导通状态, 如图 1.1.2(a)所示。为了限制过大的正向电流, 回路中常串接限流电阻 R 。当二极管两端外加反向电压(指 P 区电位低于 N 区电位)时, 称为反向偏置, 简称反偏, 呈高阻截止状态, 如图 1.1.2(b)所示。这就是二极管的单向导电性。

2. 二极管的外形与分类

二极管有玻璃封装、塑料封装、金属封装等几种形式。玻璃封装的二极管一般为点接触型, 其工作电流小但工作频率高, 常用于小信号检波; 塑料封装和金属封装的二极管一般为面接触型, 其工作电流大、频率低, 常用于大功率整流等电路中。常用二极管的外形结构如图 1.1.3 所示。

二极管的种类很多, 按制造材料可分为硅二极管和锗二极管; 按结构、工艺可分为点接触型二极管、面接触型二极管等; 按用途可分为整流二极管、稳压二极管、开关二极管、

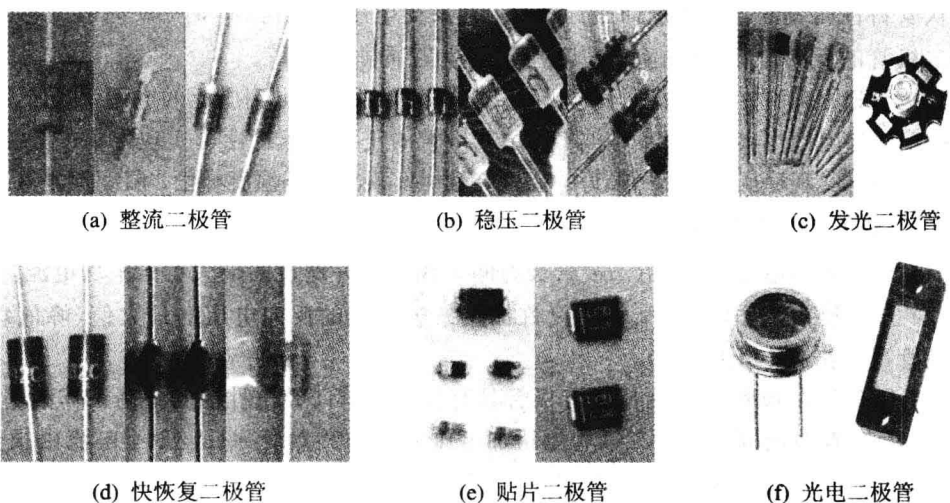


图 1.1.3 常用二极管的外形结构

发光二极管、检波二极管等。在实际应用中，人们多按其用途进行分类。

3. 二极管的伏安特性

图 1.1.4 是在同一坐标系上画出的硅二极管和锗二极管的伏安特性曲线，其中实线为硅二极管特性，虚线为锗二极管特性。

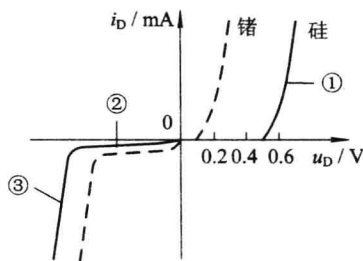


图 1.1.4 二极管的伏安特性曲线

1) 正向特性

硅二极管特性曲线的①段为正向特性，是二极管正偏时两端电压 u_D 与通过二极管的电流 i_D 的关系曲线。根据理论分析，这时 i_D 随 u_D 按指数规律变化。当正向电压很小时，正向电流几乎为零，这个区域称为“死区”；当正向电压超过某一数值（室温下，硅管约为 0.5 V，锗管约为 0.1 V）后，二极管导通，正向电流随外加电压增加而迅速增大，该电压值称为导通电压。在正常使用的电流范围内，二极管的正向压降（用 U_D 表示）很小，而且几乎维持恒定，硅管约为 0.6~0.8 V（通常取 0.7 V），锗管约为 0.1~0.3 V（通常取 0.2 V）。

2) 反向特性

伏安特性曲线的②段为反向特性，是二极管外加反向电压时两端电压 u_D 和通过二极管电流 i_D 的关系曲线。在反向电压小于反向击穿电压 U_{RM} 时，反向电流很小，而且与反向电压的大小几乎无关。

3) 反向击穿特性

伏安特性曲线的③段为反向击穿特性,当反向电压增大到 U_{BR} 时,反向电流急剧增大,称为二极管的反向击穿(电击穿),其中 U_{BR} 称为反向击穿电压。

二极管根据其特性在电子技术领域可以实现很多功能,得到广泛的应用。例如,利用二极管的单向导电性可实现整流、检波;利用二极管的正向恒压特性可实现限幅;利用二极管的反向特性可实现稳压;利用二极管的温度特性可实现电路的温度补偿、温度探测等。

4. 二极管的主要参数

(1) 最大正向电流 I_{FM} : 指二极管长时间工作时允许通过的最大正向平均电流。

(2) 最高反向工作电压 U_{RM} : 指允许加在二极管上的反向电压的最大值(峰值)。通常取二极管反向击穿电压的一半。

(3) 最高工作频率 f_M : 指保证二极管具有良好的单向导电性能的最高工作频率。

(4) 反向恢复时间 t_{rr} : 指二极管上所加电压由正向突然变为反向时,电流由很大衰减到反向最小时所需的时间,一般为纳秒(ns)级。大功率开关管工作在高频时,此项指标尤为重要。

二极管的主要参数可以从半导体器件手册中查得。

二、常见二极管应用电路

1. 二极管整流电路

在直流电源电路中,利用二极管可实现半波整流、全波整流,将变压器输出的交流电变换成脉动的直流电。图 1.1.5(a) 是半波整流电路, u_2 为变压器次级输出的交流电压, VD 为半波整流二极管, u_o 为输出电压, R_L 为负载电阻。图 1.1.5(b) 为输入、输出波形。当 u_2 为正半周时, VD 正偏导通;当 u_2 为负半周时, VD 反偏截止。在负载 R_L 上得到的是一个单向半波脉动直流电压。

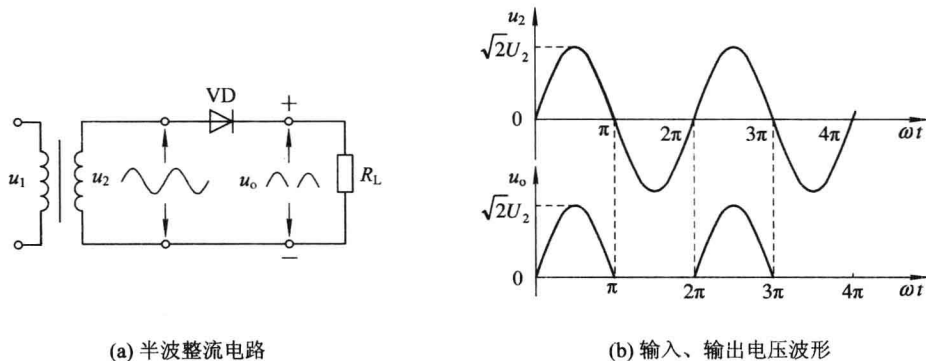


图 1.1.5 半波整流电路及其整流波形

为了把交流负半周也有效地利用起来,人们设计了图 1.1.6(a) 所示的由 4 个二极管 $VD_1 \sim VD_4$ 组成的桥式全波整流电路。在实际应用中,常常采用 4 个二极管封装在一起的器件代替 $VD_1 \sim VD_4$,该器件称为桥堆,其电路如图 1.1.6(b) 所示。 u_2 正半周时, VD_1 、 VD_3 正偏导通, VD_2 、 VD_4 截止(电流如实线所示路径形成); u_2 负半周时, VD_2 、 VD_4 导通, VD_1 、 VD_3 反偏截止(电流如虚线所示路径形成)。在负载 R_L 上,正、负半周均有相同

方向的电流通过, 得到的单向全波脉动直流电压波形如图 1.1.6(c) 中的 u_o 所示。

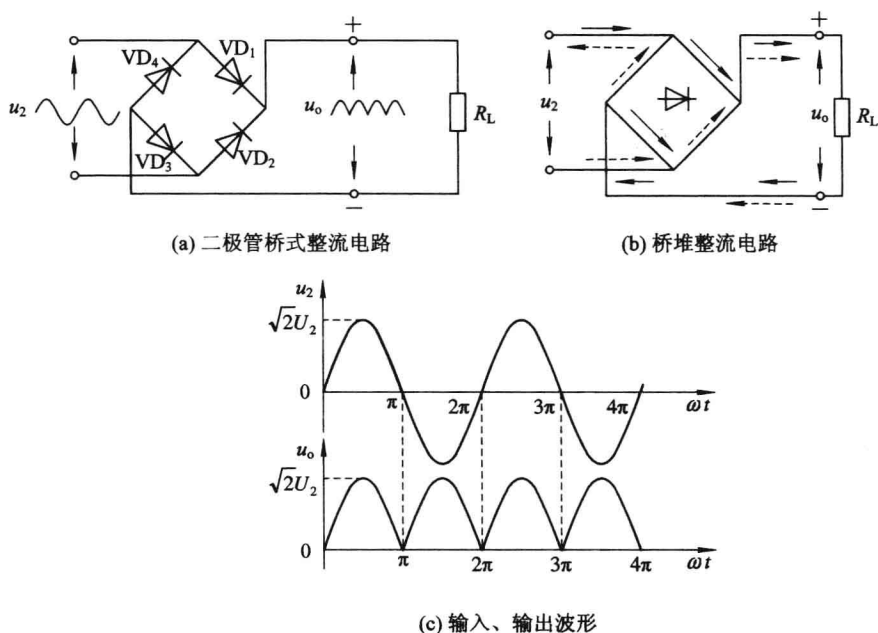


图 1.1.6 桥式整流电路及其整流波形

2. 发光二极管指示电路

发光二极管又称 LED(Ligh Emitting Diode)。当 LED 的 PN 结加上正向偏压形成电流时, 在 PN 结上是以发光的形式释放出正、负载流子复合的能量。显然, 发光二极管应工作在正偏状态, 而且要正向电流达到一定值时才能发光。发光二极管通常用作仪器、仪表面板的电源指示以及照明、装饰等, 在实际应用中常用一个电阻与其串联, 以限制通过发光二极管中的电流, 如图 1.1.7 所示。

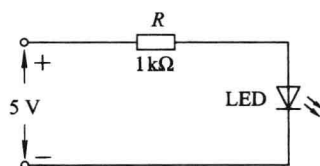


图 1.1.7 常见的发光二极管应用电路

3. 稳压二极管组成稳压电路

稳压二极管通常工作在反向击穿区, 其伏安特性曲线如图 1.1.8(a) 所示。稳压管的正向特性曲线与普通硅二极管一样, 但是它的反向击穿电压比较低, 允许通过的反向击穿电流也比较大。当反向击穿电流在比较大范围内变化时, 其两端电压变化很小, 因而具有稳定电压的作用。只要反向电压不超过允许范围, 稳压管就不会因热击穿而损坏。

稳压管组成的稳压电路如图 1.1.8(b) 所示。其中 U_i 为输入电压, U_o 为输出电压, VD_Z 为稳压管(工作于反向击穿区), R 为限流电阻(为稳压管提供合适的反向偏流), R_L 为负载电阻。在电路正常工作的条件下, 负载 R_L 上的电压 $U_o = U_Z$ 。由于稳压二极管在电

路中与负载是并联关系，因此，这种二极管稳压电路又称并联型稳压电路。

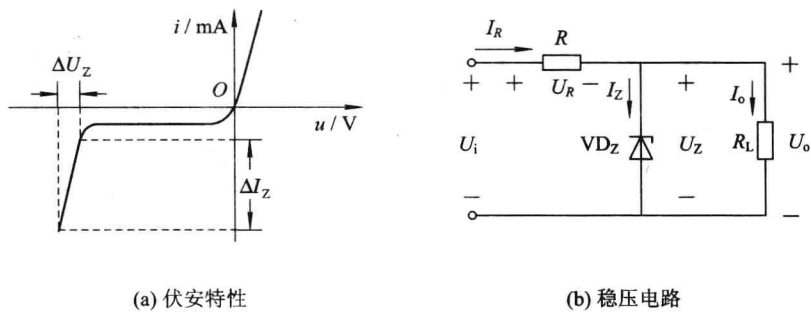


图 1.1.8 硅稳压二极管伏安特性及稳压电路

知识链接 II 二极管的检测与代换

一、二极管的检测与判断

1. 判断二极管的极性

二极管正、负极的判别可采用直观辨认法。通常在二极管的封装外壳上均印有型号和标记，标记有箭头、色点、色环三种形式。箭头所指方向或者靠近色环的一端为负极，有色点的一端为正极。如果标记不清楚时，可用万用表的欧姆挡进行判断。

用万用表的欧姆挡测二极管的正负极性的方法是：将万用表调到 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 挡，两表笔分别接被测二极管的两个电极，如图 1.1.9 所示。若测出的电阻值为几百欧到几千欧，说明是正向电阻，这时黑表笔接的是二极管的正极，另一端是二极管的负极；若测出的电阻值为几十千欧到几百千欧，说明是反向电阻，这时红表笔接的是二极管的正极，另一端是二极管的负极。

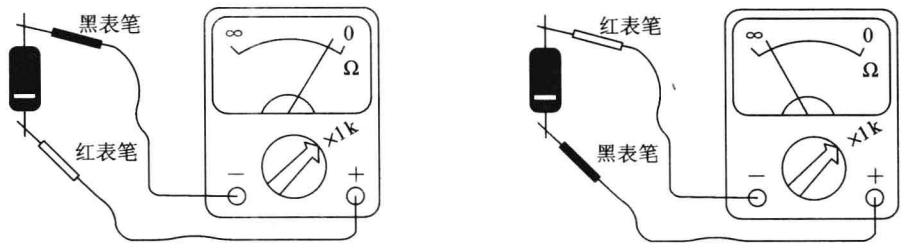


图 1.1.9 二极管引脚的检测

2. 检查二极管的质量

一般二极管的反向电阻比正向电阻大几百倍，可以通过测量其正、反向电阻来判断二极管的好坏。若测得其正、反向电阻均很大(几百千欧以上)，说明二极管内部开路；若测得其正、反向电阻均很小(几百欧姆以下)，说明二极管内部被击穿。

3. 判别硅管和锗管

通常，可以利用测量二极管正向电阻的方法对二极管的材料进行判别。相对而言，锗二极管的正向电阻较小，用万用表 $R \times 1k$ 挡测量时指针大约偏转在数值 1~2 附近；而硅

二极管的读数在 5~6 附近；此外，也可以借助另一个万用表直流 2.5 V 挡测量其导通电压来判断二极管的材料。如图 1.1.10 所示，若测得二极管正向压降为 0.6~0.7 V，则被测的是硅管；若测得二极管正向压降为 0.1~0.3 V，则被测的是锗管。

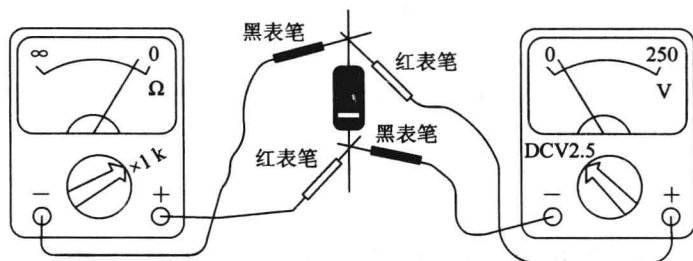


图 1.1.10 判别硅二极管与锗二极管的方法

4. 判别开关管和稳压管

有些开关管(如 1N4148)与稳压管的封装形式及外形都很相似，难以辨认。用万用表判别稳压管的方法是：用 $R \times 1k$ 挡先判断正、负极，然后将万用表置于 $R \times 10k$ 挡，黑表笔接负极，红表笔接正极，若此时的反向电阻变得较小(与 $R \times 1k$ 挡测出的值比较)，则该管为稳压管。因为万用表的 $R \times 10k$ 挡一般都用 9 V 以上的电池，当被测稳压管的击穿电压低于该值时可以被反向击穿，使其电阻值大大减小。如果要进一步确定稳压管的稳压值，可以通过图 1.1.11 所示的电路测得。改变可调直流稳压电源输出 U ，使之由零开始缓慢增加，同时用直流电压表监视稳压管两端的电压，当 U 增加到一定值使稳压管反向击穿时，再适当增加 U ，电压表指示的电压值不再变化，这个电压值就是稳压管的稳压值。

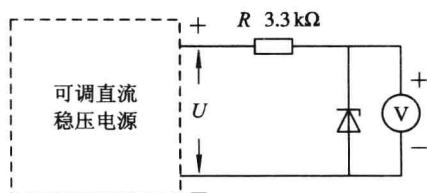


图 1.1.11 稳压管的稳压值测试

二、二极管的选用与代换原则

1. 二极管的选用

二极管在电子电路中应用很广泛，应用时应根据电路需要，如最大电流、最高反向电压、信号工作频率、工作环境、温度等，确保所选二极管在使用时不能超过它的极限参数，并留有一定的裕量。同时，还应根据不同的技术要求并结合不同的材料所具有的特点对二极管做如下选择：

(1) 要求反向电压高、反向电流小、工作温度高于 100°C 时，应选择硅管；需要导通电流大时，选择面接触型硅管。

(2) 要求导通电压低时选择锗管；要求工作频率高时选择点接触型二极管。

2. 二极管的代换

在电子制作或维修实践中，如果一时找不到选定的二极管型号时，可以适当考虑用符

合电路要求的二极管代换，代换的一般原则是：

- (1) 相同系列的二极管，耐压(U_{RM})级别高的可以代替耐压级别低的。如 1N4007 可以代替 1N4001、1N4003、1N4005。
 - (2) 相同类型的二极管，最大整流电流(I_F)大的可以代替最大整流电流小的。如 1N5403 可以代替 1N4001。
 - (3) 具有相同耐压、相同最大整流电流的二极管，反向恢复时间短的可以代替反向恢复时间长的。如 RG4A 可以代替 1N5403。
- 总之，选用和代换都必须使二极管的性能参数满足电路的技术要求。

知识拓展 特殊二极管的特性及应用

1. 光电二极管

光电二极管又称光敏二极管，其结构与普通二极管基本相同，只是它内部的 PN 结处可以通过管壳上的一个玻璃窗口接收外部的光照。光电二极管在反向偏置状态下工作，其反向电流随光照强度的增加而上升。

图 1.1.12(a)为光电二极管的图形符号，图 1.1.12(b)是它的特性曲线。光电二极管的主要特点是其反向电流与光照度成正比。

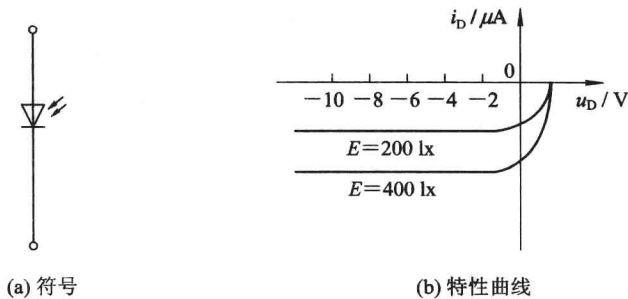


图 1.1.12 光电二极管的符号及其特性曲线

图 1.1.13 是光电二极管的典型应用电路。在发射端，用 0~5 V 的脉冲信号通过 500 Ω 的电阻作用于发光二极管，使发光二极管产生数字脉冲光信号并通过光缆传输后被接收端的光电二极管接收，在接收电路中可以恢复成原有的 0~5 V 的数字脉冲信号。

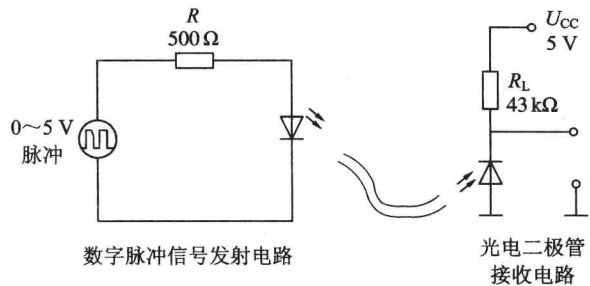


图 1.1.13 发光二极管发射、光缆传输、光电二极管接收电路