

全国中等职业技术学校电子类专业通用教材

电子电路基础

[第三版]



中国劳动社会保障出版社

全国中等职业技术学校电子类专业通用教材

电子电路基础

(第三版)

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

电子电路基础/邵展图主编. —3版. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2003
全国中等职业技术学校电子类专业通用教材
ISBN 7-5045-3878-7

I.电... II.邵... III.电子电路-基本知识 IV.TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 028653 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码:100029)

出版人:张梦欣

*

北京外文印刷厂印刷装订 新华书店经销

787毫米×1092毫米 16开本 11.5印张 282千字

2003年6月第3版 2004年1月第3次印刷

印数:50000册

定价:17.00元

读者服务部电话:64929211

发行部电话:64911190

出版社网址:<http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话:010-64911344

前 言

为了更好地适应中等职业技术学校的教学需求，劳动和社会保障部培训就业司于 2002 年组织全国有关学校的教学专家和行业专家，制定了电子类专业教学计划和家用电器维修专业教学计划以及相关课程的教学大纲。根据教学计划和教学大纲的要求，我们组织了相应教材的编写工作。这些教材具有模块化特点，部分专业基础课和技能训练课教材对于上述两个专业具有通用性。

在教材编写过程中，我们始终坚持了以下几个原则。

第一，以能力为本位，重视实践能力的培养，突出职业技术教育特色。根据企业的实际需要，确定学生应具备的能力结构与知识结构，在保证必要专业基础知识的同时，加强实践性教学内容，强调学生实际工作能力的培养。

第二，吸收和借鉴各地教学改革的成功经验，专业课教材的编写采用了理论知识与技能训练一体化的模式，使教材内容更加符合学生的认知规律，保证理论与实践的密切结合。

第三，更新教材内容，使之具有时代特征。根据科学技术发展对劳动者素质提出的新的要求，在教材中充实新知识、新技术、新设备和新材料等方面的内容，体现教材的先进性。

第四，贯彻国家关于职业资格证书与学业证书并重、职业资格证书制度与国家就业制度相衔接的政策精神，力求教材内容涵盖有关国家职业标准（中级）的知识、技能要求，确实保证毕业生达到中级技能人才的培养目标。

这次教材编写工作得到北京、上海、天津、江苏、浙江、福建、江西、山东、湖南、广东、四川、重庆、贵州等省、直辖市劳动和社会保障厅（局）以及有关学校的大力支持，我们表示诚挚的谢意。

劳动和社会保障部教材办公室

2003 年 6 月

简 介

本书根据劳动和社会保障部培训就业司颁发的《电子类专业教学计划与教学大纲》编写，主要内容有：常用半导体器件、放大器基础、放大器中的负反馈、集成运算放大器的应用、调谐放大器与正弦波振荡器、功率放大器、直流稳压电源、晶闸管及其应用等。本书浅显易懂，实用性强，每章后都有小结和练习题，并在最后加入了实验内容。

本书为全国中等职业技术学校电子类专业通用教材，也可作为家用电器维修专业通用教材和职业培训教材。

本书由邵展图、凌翔、唐培林、孙正凤编写，邵展图主编；金卫东、田松岳审稿，金卫东主审。

目 录

第一章 常用半导体器件	(1)
§ 1—1 晶体二极管	(1)
§ 1—2 晶体三极管	(10)
§ 1—3 场效应管	(17)
本章小结	(23)
习题	(24)
第二章 放大器基础	(28)
§ 2—1 共发射极基本放大器	(28)
§ 2—2 放大器的分析方法	(31)
§ 2—3 静态工作点的稳定	(36)
§ 2—4 放大器的三种基本接法	(40)
§ 2—5 多级放大器	(46)
§ 2—6 差分放大器和集成运算放大器	(50)
本章小结	(57)
习题	(59)
第三章 放大器中的负反馈	(64)
§ 3—1 反馈的基本概念	(64)
§ 3—2 负反馈对放大器性能的影响	(67)
§ 3—3 四种负反馈放大器性能分析	(69)
§ 3—4 深度负反馈	(72)
本章小结	(73)
习题	(74)
第四章 集成运算放大器的应用	(77)
§ 4—1 集成运放的主要参数和工作特点	(77)
§ 4—2 信号运算电路	(81)
§ 4—3 电压比较器与方波发生器	(83)
§ 4—4 使用集成运放应注意的问题	(86)
§ 4—5 集成运放应用举例	(87)
本章小结	(89)
习题	(90)

第五章 调谐放大器与正弦波振荡器	(94)
§ 5—1 调谐放大器	(94)
§ 5—2 正弦波振荡器基本知识	(96)
§ 5—3 LC 振荡器	(97)
§ 5—4 石英晶体振荡器	(101)
§ 5—5 RC 振荡器	(103)
本章小结	(106)
习题	(107)
第六章 功率放大器	(111)
§ 6—1 功率放大器的基本要求及分类	(111)
§ 6—2 变压器耦合功率放大器	(112)
§ 6—3 互补对称功率放大器	(114)
§ 6—4 集成功率放大器	(118)
本章小结	(120)
习题	(121)
第七章 直流稳压电源	(123)
§ 7—1 整流电路	(123)
§ 7—2 滤波电路	(127)
§ 7—3 稳压管并联型稳压电路	(130)
§ 7—4 串联型直流稳压电路	(131)
§ 7—5 集成稳压器	(133)
§ 7—6 开关型稳压电路	(136)
本章小结	(139)
习题	(140)
第八章 晶闸管及其应用	(143)
§ 8—1 普通晶闸管	(143)
§ 8—2 晶闸管可控整流电路	(146)
§ 8—3 晶闸管的触发电路	(148)
§ 8—4 逆变、变频与交流调压	(152)
§ 8—5 晶闸管的保护	(153)
§ 8—6 晶闸管应用电路	(155)
本章小结	(158)
习题	(158)
实验一 常用电子仪器的使用	(160)

实验二	单管低频小信号放大器·····	(162)
实验三	场效应管放大器·····	(164)
实验四	负反馈对放大器性能的影响·····	(165)
实验五	集成运放的线性应用·····	(167)
实验六	电容三点式振荡器·····	(169)
实验七	用集成运放组成的 RC 桥式振荡器·····	(170)
实验八	集成功率放大器·····	(171)
实验九	用集成稳压器组成的直流稳压电路·····	(173)
实验十	晶闸管调光电路·····	(174)

第一章

常用半导体器件

半导体器件是构成电子电路的基本元件。本章将介绍半导体的基本知识和半导体二极管、三极管、场效应管的结构、工作原理、特性曲线、主要参数等,为学习后续各章提供必要的基础知识。

§1-1 晶体二极管

一、半导体基础知识

1. 什么是半导体

物质按导电能力的强弱可分为导体、绝缘体和半导体三大类。半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间。硅(Si)和锗(Ge)是最常用的半导体材料。

半导体之所以得到广泛的应用,是因为它的导电能力随着掺入杂质及温度、光照等条件的变化会发生很大的变化。人们正是利用它的这些特点制成了多种性能的电子元器件,如半导体二极管、半导体三极管、场效应管、集成电路、热敏元件、光敏元件等。由于用作半导体材料的硅和锗必须是原子排列完全一致的单晶体,所以半导体管通常也称为晶体管。

2. 本征半导体

本征半导体即纯净的单晶半导体,其内部存在数量相等的两种载流子:一种是带负电的自由电子;另一种是带正电的空穴。在常温下,这两种载流子的数量都很少,所以本征半导体的导电性能很差。当温度升高或光照增强时,载流子数量增多,本征半导体的导电性也随之增强。

3. 杂质半导体

在纯净半导体(本征半导体)中掺入微量合适的杂质元素,可使半导体的导电能力大大增强。按掺入的杂质元素不同,杂质半导体可分为两类。

(1) N型半导体 又称为电子型半导体,其内部自由电子数量多于空穴数量,即自由电子是多数载流子(简称多子),空穴是少数载流子(简称少子)。例如,在单晶硅中掺入微量磷元素,可得到N型硅。

(2) P型半导体 又称为空穴型半导体,其内部空穴是多数载流子,自由电子是少数载流子。例如,在单晶硅中掺入微量硼元素,可得到P型硅。

在杂质半导体中,多数载流子起主要导电作用。由于多数载流子的数量取决于掺杂浓度,因而它受温度的影响较小;而少数载流子对温度非常敏感,这将影响半导体的性能。

二、晶体二极管的结构和特性

1. 二极管的结构和符号

晶体二极管的基本结构如图 1—1a 所示。采用掺杂工艺，使硅或锗晶体的一边形成 P 型半导体区，另一边形成 N 型半导体区，在它们的交界面就形成 PN 结。将 PN 结用外壳封装起来，并加上电极引线就构成了晶体二极管，简称二极管。从 P 区引出的电极为正极，从 N 区引出的电极为负极。通常在外壳上都印有标志以便区分正负电极。

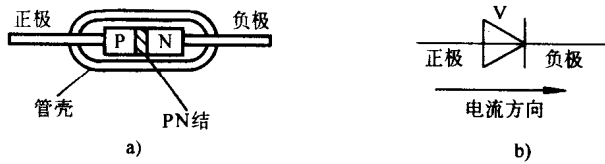


图 1—1 二极管的结构和图形符号

a) 结构 b) 图形符号

二极管的文字符号为 V (或 VD)。图形符号如图 1—1b 所示，图中箭头指向为二极管正向电流的方向。图 1—2 所示为常见二极管的外形。图 1—3 所示为一种特殊的片状封装形式，它具有体积小、形状规整、便于自动化装配等优点，目前得到广泛应用。

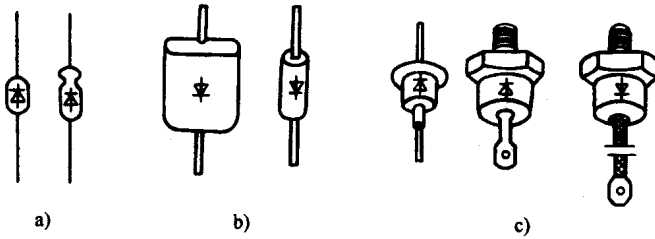


图 1—2 几种常见二极管外形

a) 玻璃封装 b) 塑料封装 c) 金属封装

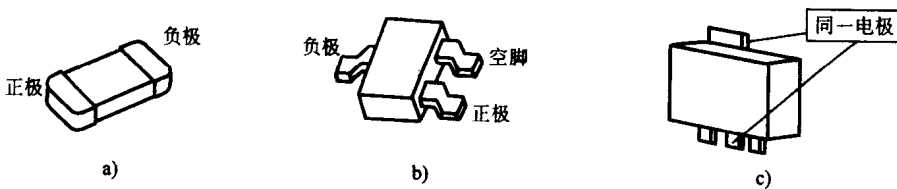


图 1—3 片状二极管

a) 二脚封装 b) SOT-23 封装 c) SOT-89 封装

2. 二极管的单向导电性

二极管的单向导电性可通过图 1—4 的实验来说明。

按图 1—4a 连接实验电路，开关闭合后指示灯亮，说明此时二极管的电阻很小，很容易导电。若将原二极管正负极对调后接入电路，如图 1—4b 所示，开关闭合后指示灯不亮，说明此时二极管的电阻很大，几乎不导电。

由实验可得出如下结论：

(1) 加正向电压时二极管导通 当二极管正极电位高于负极电位, 此时的外加电压称为正向电压, 二极管处于正向偏置, 简称正偏。二极管正偏时, 内部呈现较小的电阻, 可以有较大的电流通过, 二极管的这种状态称为正向导通状态。

(2) 加反向电压时二极管截止 当二极管正极电位低于负极电位, 此时的外加电压称为反向电压, 二极管处于反向偏置, 简称反偏。二极管反偏时, 内部呈现很大的电阻, 几乎没有电流通过, 二极管的这种状态称为反向截止状态。

二极管在加正向电压时导通, 加反向电压时截止, 这就是二极管的单向导电性。

3. 二极管的伏安特性曲线

加在二极管两端的电压和流过二极管的电流之间的关系称为二极管的伏安特性, 利用晶体管特性图示仪可以很方便地测出二极管的伏安特性曲线, 如图 1—5 所示。

(1) 正向特性 正向特性曲线如图 1—5 中第一象限所示。

在起始阶段 (OA), 外加正向电压很小, 二极管呈现的电阻很大, 正向电流几乎为零, 曲线 OA 段称为死区。使二极管开始导通的临界电压称为开启电压, 通常用 U_{on} 表示, 一般硅二极管的开启电压约为 0.5 V , 锗二极管的开启电压约为 0.1 V 。

当正向电压超过开启电压后, 电流随电压的上升迅速增大, 二极管电阻变得很小, 进入正向导通状态。 AB 段曲线较陡直, 电压与电流的关系近似为线性, AB 段称为导通区。导通后二极管两端的正向电压称为正向压降 (或管压降), 这个电压比较稳定, 几乎不随流过的电流大小而变化。一般硅二极管的正向压降约为 0.7 V , 锗二极管的正向压降约为 0.3 V 。

(2) 反向特性 反向特性曲线如图 1—5 第三象限所示。

在起始的一段范围内 (OC), 只有很小的反向电流, 称反向饱和电流或反向漏电流。 OC 段称反向截止区。一般硅二极管的反向电流在几十微安以下, 锗管则可达几百微安。在实际应用中, 反向电流越小, 二极管的质量越好。

当反向电压增大到超过某一值时 (图中 C 点), 反向电流急剧增大, 这一现象称为反向击穿, 所对应的电压称为反向击穿电压, 用 U_{BR} 表示。如果没有适当的限流措施, 二极管在反向击穿后很可能因电流过大而损坏, 因此, 除稳压管外, 加在二极管上的反向电压不允许超过击穿电压。

三、二极管的主要参数

1. 二极管的分类

(1) 按所用材料不同, 二极管可分为硅二极管和锗二极管两大类。硅管受温度影响较小, 工作较为稳定。

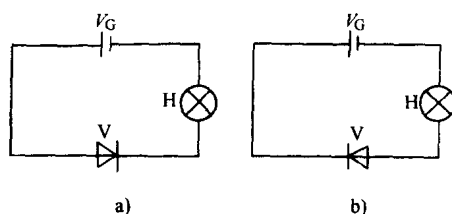


图 1—4 二极管单向导电实验

a) 加正向电压 b) 加反向电压

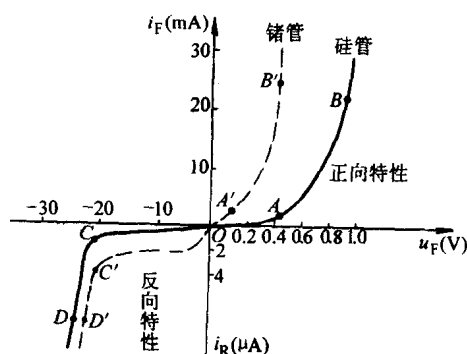


图 1—5 二极管的伏安特性曲线

(2) 按制造工艺不同，二极管可分为点接触型、面接触型和平面型三种，如图 1—6 所示。

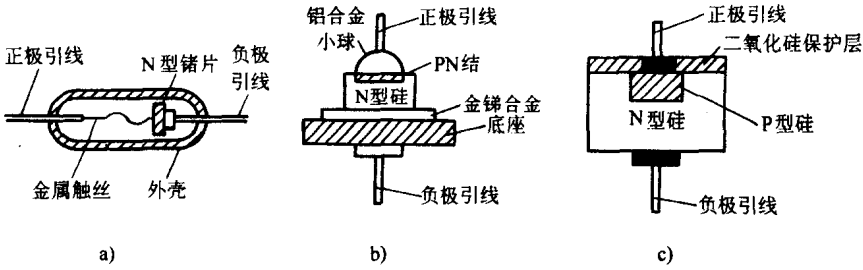


图 1—6 二极管内部结构示意图

a) 点接触型 b) 面接触型 c) 平面型

点接触型二极管的特点是：PN 结面积小，结电容小，允许通过的电流小，常用于高频电路和小功率整流电路。

面接触型二极管的特点是：PN 结面积大，结电容大，允许通过的电流大，但只能在低频下工作，通常仅用作整流管。

平面型二极管则有两种：结面积较小的可作为脉冲数字电路中的开关管，结面积较大的可用于大功率整流电路。

(3) 按用途分类，有普通二极管、整流二极管、稳压二极管、开关二极管、热敏二极管、发光二极管、光电二极管、变容二极管等。

2. 二极管的型号

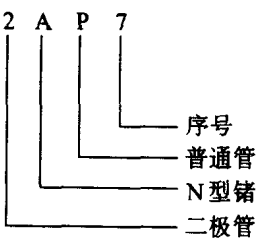
国产二极管的型号命名方法见表 1—1。

表 1—1

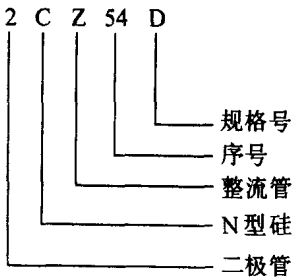
二极管的型号

第一部分		第二部分		第三部分				第四部分	第五部分
用数字表示器件的电极数目		用拼音字母表示器件的材料和极性		用汉语拼音字母表示器件的类型				用数字表示器件的序号	用汉语拼音字母表示规格号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义		
2	二极管	A	N 型锗材料	P	普通管	C	参量管	反映二极管参数的差别	反映二极管承受反向击穿电压的高低，如 A、B、C、D、…，其中 A 承受的反向击穿电压最低，B 稍高
		B	P 型锗材料	Z	整流管	U	光电器件		
		C	N 型硅材料	W	稳压管	N	阻尼管		
		D	P 型硅材料	K	开关管	BT	半导体特殊器件		
		E	化合物	L	整流堆				

例 1—1



例 1—2



国外晶体管型号命名方法与我国不同，例如，凡以“1N”开头的二极管都是美国制造或以美国专利在其他国家制造的产品，以“1S”开头的则为日本注册产品。后面数字为登记序号，通常数字越大，产品越新，如 1N4001、1N5408、1S1885 等。

3. 二极管的主要参数

为定量描述二极管的性能，常采用以下主要参数。

(1) 最大整流电流 I_{FM} 二极管长期运行时允许通过的最大正向平均电流。它的数值与 PN 结的面积和外部散热条件有关。实际工作时二极管的正向平均电流不得超过此值，否则二极管可能会因过热而损坏。

(2) 最高反向工作电压 U_{RM} 二极管正常工作所允许外加的最高反向电压。通常取二极管反向击穿电压的 $1/2 \sim 1/3$ 。

(3) 反向饱和电流 I_R 二极管未击穿时的反向电流。此值越小，二极管的单向导电性能越好。由于反向电流是由少数载流子形成的，所以它受温度的影响很大。

(4) 最高工作频率 f_M 二极管工作的上限频率。超过此值时，由于结电容的作用，二极管将不能很好地体现单向导电性。二极管结电容越大，则最高工作频率越低。一般小电流二极管的 f_M 高达几百兆赫，而大电流整流管的 f_M 只有几千赫。

二极管的参数可以从二极管器件手册中查到，这些参数是我们选用器件和设计电路的重要依据。不同类型的二极管，其参数内容和参数值是不同的，即使是同一型号的管子，它们的参数值也存在很大差异。此外，在查阅参数时还应注意它们的测试条件，当使用条件与测试条件不同时，参数也会发生变化。

当设备中的二极管损坏时，最好换上同型号的新管。如实在没有同型号管，可选用三项主要参数 I_{FM} 、 U_{RM} 、 f_M 满足要求的其他型号的二极管代用。代用管只要能满足电路要求即可，并非一定要比原管各项指标都高才行。应注意硅管与锗管在特性上是有差异的，一般不宜互相替换。

表 1—2 列出了几种典型二极管的主要参数。

表 1—2 几种典型二极管的主要参数

型号	最大整流电流 I_{FM} (mA)	最高反向工作电压 U_{RM} (V)	反向饱和电流 I_R (mA)	最高工作频率 f_M (MHz)	主要用途
2AP1	16	20		150	检波管
2CK84	100	≥ 30	≤ 1		开关管
2CP31	250	25	≤ 300		整流管
2CZ11D	1 000	300	≤ 0.6		整流管

四、二极管的简易测试

将万用表拨到 $R \times 100$ 或 $R \times 1 k$ 电阻挡，并将两表笔短接调零。注意，此时万用表的红表笔是与表内电池的负极相连，黑表笔是与表内电池的正极相连。如图 1—7 所示，将红、黑两支表笔跨接在二极管的两端，若测得阻值较小（几千欧以下），再将红、黑表笔对调后接在二极管两端，测得的阻值较大（几百千欧），说明二极管质量良好，测得阻值较小的那一次黑表笔所接为二极管的正极。如果测得二极管的正、反向电阻都很小（接近零），说明二极管内部已短路；如果测得二极管的正、反向电阻都很大，说明二极管内部已开路。

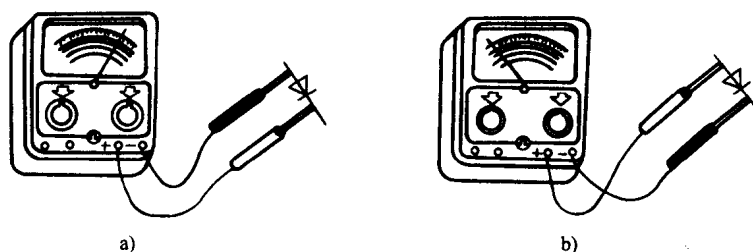


图 1—7 二极管的简易测试

a) 测量正向电阻 b) 测量反向电阻

应注意的是，由于二极管正向特性曲线起始段的非线性，用 $R \times 100$ 和 $R \times 1k$ 挡时测得的正向电阻读数是不一样的。

如果是用数字式万用表测量二极管，应将量程选择开关拨至“ ∇ ”挡，红表笔插入“ $V \cdot \Omega$ ”插孔，接二极管正极；黑表笔插入“COM”插孔，接二极管负极。此时显示的是二极管的正向压降，若为锗管应显示 $0.150 \sim 0.300 V$ ；若为硅管应显示 $0.550 \sim 0.700 V$ 。如果显示 000，表示二极管内部短路；显示 1，表示二极管内部开路。

五、常用二极管

1. 整流二极管

整流二极管的主要功能是将交流电转换成脉动直流电，应用较多的有 2CZ、2DZ 等系列。如图 1—8a 所示为最简单的单相半波整流电路。

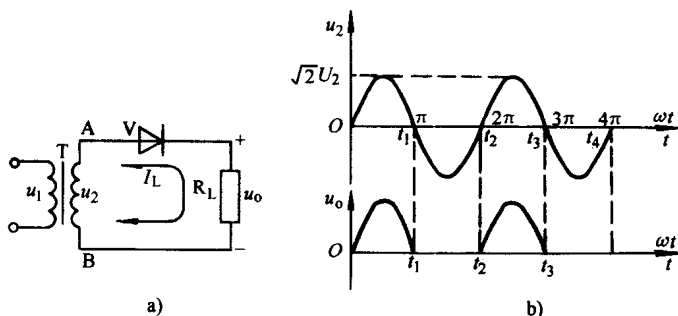


图 1—8 单相半波整流电路

a) 原理电路 b) 波形图

当变压器二次侧交流电压 u_2 为正半周时，设 A 端为正，B 端为负，二极管 V 承受正向电压而导通，电流自上而下流过负载 R_L ，若忽略二极管的正向压降，可认为 R_L 上的电压 u_o 与 u_2 几乎相等，即 $u_o = u_2$ ；当 u_2 为负半周时，B 端为正，A 端为负，二极管 V 承受反向电压而截止，负载 R_L 上无电流通过， $u_o = 0$ 。

由图 1—8b 中 u_o 的波形可见，在输入电压为单相正弦波时，负载 R_L 上得到的只有正弦波的半个波，故称为单相半波整流电路。负载 R_L 上的半波脉动直流电压平均值可按下式估算

$$U_o = 0.45 U_2 \quad (1-1)$$

式中 U_2 为变压器二次侧电压有效值。

图 1—9a 所示为变压器中心抽头式单相全波整流电路。当 u_2 为正半周时，二极管 V1

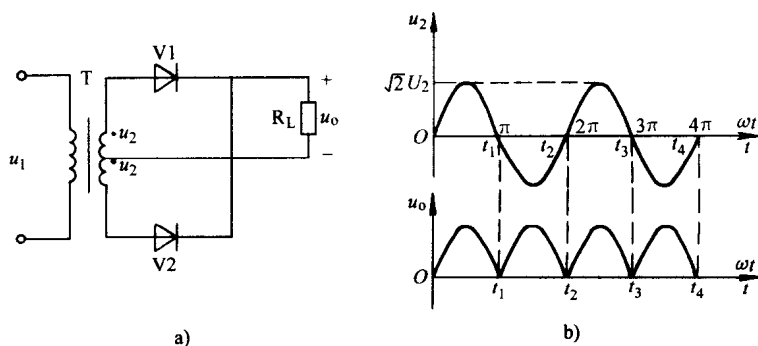


图 1—9 单相全波整流电路

a) 原理电路 b) 波形图

导通, V2 截止; 当 u_2 为负半周时, 二极管 V2 导通, V1 截止。由图 1—9b 的波形可见, 在交流电全周期内, 负载 R_L 上都有单相脉动直流电输出, 故称为单相全波整流电路。显然, 该整流电路输出直流电压平均值应为半波整流电路输出直流电压平均值的两倍, 即

$$U_o = 0.9 U_2 \quad (1-2)$$

2. 稳压二极管

稳压二极管又称齐纳二极管, 简称稳压管。它是一种用特殊工艺制造的面接触型硅二极管, 在电路中能起稳定电压的作用。稳压管的图形符号、外形和伏安特性曲线如图 1—10 所示。

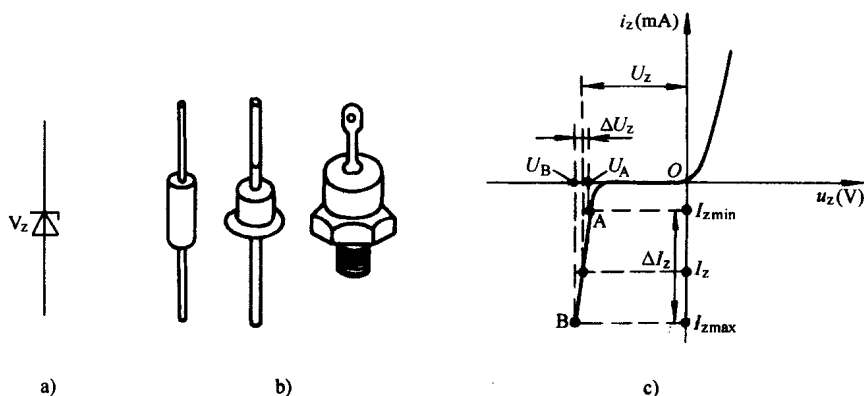


图 1—10 稳压二极管

a) 图形符号 b) 外形 c) 伏安特性曲线

稳压管的正向特性与普通硅二极管相同, 但是, 它的反向击穿特性更陡直。稳压管通常工作于反向击穿区, 只要击穿后反向电流不超过极限值, 稳压管就不会发生热击穿损坏。为此, 必须在电路中串接限流电阻。稳压管反向击穿后, 当流过稳压管的电流在很大范围内变化时, 管子两端的电压几乎不变, 从而可以获得一个稳定的电压。稳压二极管的类型很多, 主要有 2CW、2DW 系列。

稳压管的主要参数有:

(1) 稳定电压 U_Z 即稳压管的反向击穿电压。

(2) 稳定电流 I_Z 指稳压管在稳定电压下的工作电流。

(3) 动态电阻 r_Z 指稳压管两端电压变化量 ΔU_Z 与通过电流变化量 ΔI_Z 之比, 即

$$r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z} \quad (1-3)$$

r_Z 越小, 说明 ΔI_Z 引起的 ΔU_Z 变化越小。可见, 动态电阻小的稳压管稳压性能好。

3. 发光二极管

发光二极管是一种将电能转换成光能的半导体器件。可见光发光二极管根据所用材料不同, 可以发出红、绿、黄、蓝、橙等不同颜色的光。此外, 有些特殊的发光二极管还可以发出不可见光或激光。发光二极管的伏安特性与普通二极管相似, 但正向导通电压稍大, 约为 $1.5 \sim 2.5 \text{ V}$ 。

发光二极管常用 LED 表示, 常用型号有 2EF31、2EF201 等。发光二极管图形符号和外形如图 1-11 所示。一般管脚引线较长者为正极, 较短者为负极。如管帽上有凸起标志, 靠近凸起标志的管脚为负极。有的发光二极管有三个管脚, 根据管脚电压情况可发出不同颜色的光。

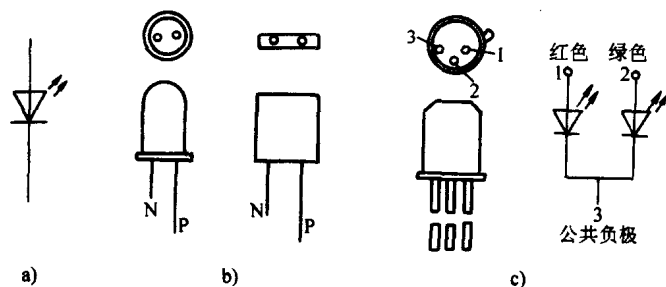


图 1-11 发光二极管

a) 图形符号 b) 外形 c) 有三个引脚的发光二极管

发光二极管常用作显示器件, 除单个使用外, 也可制成七段式或点阵式显示器。图 1-12 所示为七段式 LED 数码管的外形和电路图。

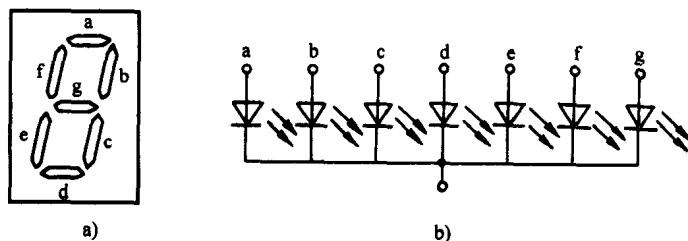


图 1-12 LED 数码管

a) 外形 b) 电路

用 500 型万用表测试发光二极管, 应选 $R \times 10 \text{ k}$ 挡。当测得正向电阻小于 $50 \text{ k}\Omega$, 反向电阻大于 $200 \text{ k}\Omega$ 时均为正常。

如果用 368 型万用表, 由于该表 $R \times 1 \sim R \times 1 \text{ k}$ 挡都是使用 3 V 电池, 所以可用这几个挡测量, 若二极管发光, 显然管子是好的, 并且与黑表笔相接的是发光二极管的正极。

用数字式万用表测量时, 可将发光二极管的两只管脚分别插入 h_{FE} 插座的 C、E 检测孔,

若二极管发光，在 NPN 挡插入 C 孔的管脚是正极。若二极管插入后不发光，对调管脚后再插入仍不发光，说明管子已坏。

4. 光电二极管

光电二极管又称光敏二极管。它的基本结构也是一个 PN 结，但是，它的 PN 结接触面积较大，可以通过管壳上一个窗口接受入射光。光电二极管的图形符号和外形如图 1—13 所示。光电二极管工作在反偏状态，当无光照时，反向电流很小，称为暗电流；当有光照时，反向电流增大，称为光电流。光电流不仅与入射光的强度有关，而且与入射光的波长有关。如果制成受光面积大的光电二极管，则可作为一种能源，称为光电池。

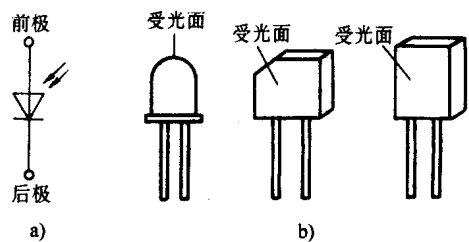


图 1—13 光电二极管
a) 图形符号 b) 外形

光电二极管的型号通常有 2CU、2AU、2DU 等系列，光电池的型号有 2CR、2DR 等系列。图 1—14 所示为远红外线遥控电路示意图，图 a 为发射电路，图 b 为接收电路。

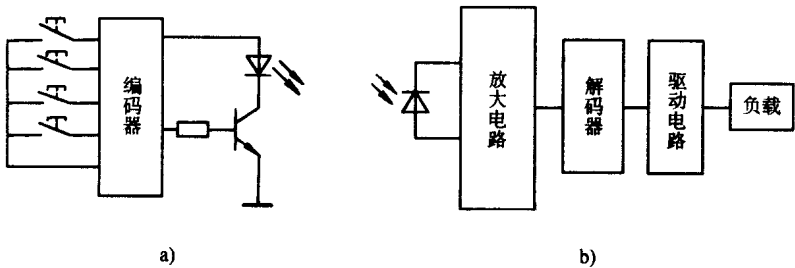


图 1—14 远红外线遥控电路
a) 发射电路 b) 接收电路

当按下发射电路中某一按钮时，编码器电路产生调制的脉冲信号，并由发光二极管转换成光脉冲信号发射出去。接收电路中的光电二极管将光脉冲信号转换为电信号，经放大、解码后，由驱动电路驱动负载作出相应的动作。

检测光电二极管可用万用表的 $R \times 1\text{ k}$ 挡测量它的反向电阻，要求无光照时电阻要大，有光照时电阻要小。若有、无光照时电阻差别很小，表明光电二极管质量不好。

5. 光电耦合器

光电耦合器是由发光器件（如发光二极管）和光敏器件（如光电二极管、光电三极管）组合而成的一种器件，其内部电路如图 1—15 所示。将电信号加到器件的输入端，发光二极管 V1 发光，光电二极管（或光电三极管）V2 受到光照后输出光电流。这样，通过“电—光—电”的转换，就将电信号从输入端传送到输出端。由于输入与输出之间是用光进行耦合，所以具有良好的电隔离性能和抗干扰性能，并可作为光电开关器件，应用相当广泛。

6. 变容二极管

变容二极管是利用 PN 结电容效应的一种特殊二极管。当变容二极管加上反向电压时，其结电容会随反向电压的大小而变化。变容二极管的图形符号和它的 $C-u$ 关系曲线如图 1—16 所示。