

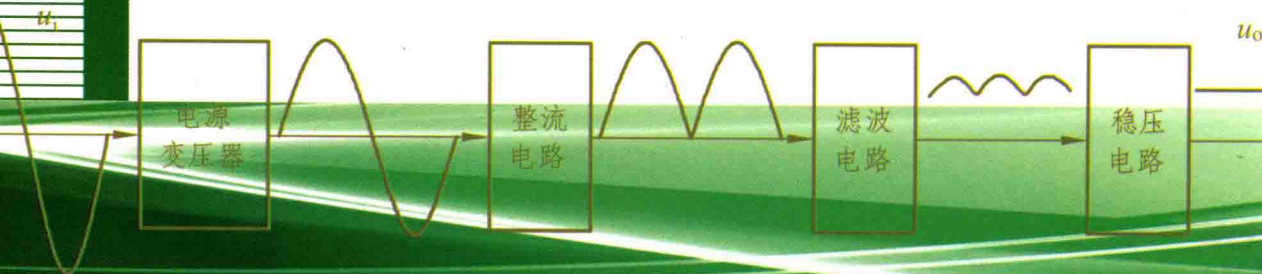


高等职业技术教育“十二五”规划教材
高等职业技术教育校企合作教材

模拟电路技术 基础

MONI DIANLU JISHU JICHU

主 编 赵建伟
副主编 周天泉 刘修军 漆晓静
王 二 谭克燕
主 审 马云凯 梁卫华



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

高等职业技术教育“十二五”规划教材

模拟电路技术基础

主 编 赵建伟
副主编 周天泉 刘修军 漆晓静
王 二 谭克燕
主 审 马云凯 梁卫华

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

内容简介

本书根据高等职业教育的特点及“十二五”规划的要求,以技术应用能力、职业素质培养为主线,按照实用、够用的原则设置和精选内容。

本书共分为6章,分别为半导体器件与实训、基本放大电路和多级放大电路与实训、集成运算放大器电路与实训、反馈放大电路与实训、低频功率放大电路与实训、直流稳压电源与实训。

本书可作为高职高专电气类专业模拟电路技术课程的教材,也适用于高等院校成人教育教学,同时也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电路技术基础 / 赵建伟主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2014.1
高等职业技术教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5643-2840-5

I. ①模… II. ①赵… III. ①模拟电路—高等职业教育—教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第018589号

高等职业技术教育“十二五”规划教材

模拟电路技术基础

主编 赵建伟

责任编辑	李芳芳
助理编辑	罗在伟
特邀编辑	李伟
封面设计	墨创文化
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区交大路146号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	成都蜀通印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	11.75
字 数	294千字
版 次	2014年1月第1版
印 次	2014年1月第1次
书 号	ISBN 978-7-5643-2840-5
定 价	25.00元

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本书是根据高等职业教育通信技术及相近专业的教学要求而编写的。在编写过程中，结合专业特点，以“必需、够用和实用”为原则，突出学生的实践技能培养，将“教”“学”“做”“评”融为一体。

全书共分为6章，分别为半导体器件与实训、基本放大电路和多级放大电路与实训、集成运算放大器电路与实训、反馈放大电路与实训、低频功率放大电路与实训、直流稳压电源与实训。

本书由赵建伟担任主编，并编写了第4章和第5章；第3章由周天泉编写；第1章和第2章由刘修军编写；第6章由漆晓静编写；各章中的实训部分及附录由王二和谭克燕编写。重庆电讯职业学院通信技术系主任梁卫华副教授和重庆普天普科通信技术有限公司马云凯高级工程师担任主审，并为本书的编写提出了很多指导性意见。

在编写本书的过程中，编者得到了重庆电讯职业学院和重庆普天普科通信技术有限公司各级领导、同事的悉心指导和帮助，在此表示衷心的感谢。

本书参考了众多专家、学者的研究成果，在此向所有作者表示深深的谢意。

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，诚望读者批评指正。

编 者

2013年11月于重庆

目 录

1 半导体器件	1
1.1 半导体基础知识	1
1.2 半导体二极管	5
1.3 半导体三极管	12
1.4 场效应管	20
本章小结	29
思考与练习题	29
实训一 非线性器件二极管、三极管的识别与检测	32
2 基本放大电路和多级放大电路	35
2.1 基本放大电路	35
2.2 基本放大电路的分析方法	39
2.3 静态工作点稳定电路	47
2.4 放大器的3种组态	50
2.5 场效应管放大电路	53
2.6 多级放大电路	56
2.7 频率响应特性	59
2.8 实际应用电路举例	61
本章小结	63
思考与练习题	64
实训二 单级放大电路	68
实训三 射极跟随电路	72
实训四 场效应管放大电路	76
实训五 制作调试电子助听器	80
3 集成运算放大器电路	82
3.1 差分放大电路基础	82
3.2 恒流源	89
3.3 集成运算放大电路	90
3.4 集成运放的基本电路	93
本章小结	101
思考与练习题	102
实训六 集成电路的识别和检测	105
实训七 集成运放的基本应用	108

4	反馈放大电路	111
4.1	反馈的概念	111
4.2	反馈的类型及其判定方法	112
4.3	具有负反馈的放大电路的性能	120
4.4	深度负反馈放大电路的估算	123
4.5	实际应用电路举例	128
	本章小结	129
	思考与练习题	130
	实训八 负反馈放大电路	135
5	低频功率放大电路	137
5.1	功率放大电路的基础	137
5.2	几种常见的功率放大电路	140
5.3	集成功率放大器及其应用	144
5.4	实际应用电路举例	146
	本章小结	149
	思考与练习题	149
	实训九 OTL 功率放大器	152
	实训十 集成功率放大电路	155
6	直流稳压电源	156
6.1	整流滤波电路	156
6.2	串联反馈稳压电路	160
6.3	集成稳压电路	163
	本章小结	166
	思考与练习题	166
	实训十一 整流滤波电路	170
	实训十二 串联稳压电路	172
	实训十三 集成三端稳压电源	175
	附录 扩音机的装配与调试	177
	参考文献	182

1 半导体器件

半导体器件是现代电子技术的基础，因为它是组成各种电子电路包括模拟电路、数字电路、集成电路和分立元件电路的基础。由于它具有体积小、质量轻、功耗小、使用寿命长等优点而得到广泛应用。本章简要介绍半导体的基础知识，并对半导体器件二极管与三极管及场效应管的结构、工作原理、特性曲线和主要参数等进行讨论。

1.1 半导体基础知识

自然界中的物质，按其导电能力可分为三大类：导体、绝缘体和半导体。

导体：容易导电的物质，电阻率小于 $10^{-4} \sim 10^{-6} \Omega \cdot m$ ，主要材料是金、银、铜、铁等。

绝缘体：不导电的物质，电阻率大于 $10^{10} \sim 10^{12} \Omega \cdot cm$ ，主要材料是陶瓷、云母、塑料、橡胶等。

半导体：导电能力介于导体和绝缘体之间的物质，电导率为 $10^{-9} \sim 10^3 \Omega^{-1} \cdot cm^{-1}$ ，主要制造材料是硅（Si）、锗（Ge）或砷化镓（GaAs）等。

电子技术中的二极管、三极管都是用半导体材料制成的，为什么要用半导体材料制成二极管、三极管呢？因为它有以下 3 方面的特性。

热敏特性：半导体的导电能力随温度的变化而变化。利用这种特性，可制成热敏元件，如热敏电阻等。

光敏特性：半导体的导电能力与光照有关。利用这种特性，可制成光敏元件，如光敏电阻、光敏二极管、光敏三极管等。

掺杂特性：在半导体中掺入微量杂质后其导电能力要发生很大变化，利用这一特性，可制成半导体二极管、三极管、集成电路等。

1.1.1 本征半导体

完全纯净的、结构完整的半导体材料称为本征半导体。纯净的硅和锗都是四价元素，其原子核最外层电子数为 4 个（价电子）。在单结晶结构中，由于原子排列的有序性，价电子为相邻的原子所共有，形成如图 1.1 所示的共价键结构。

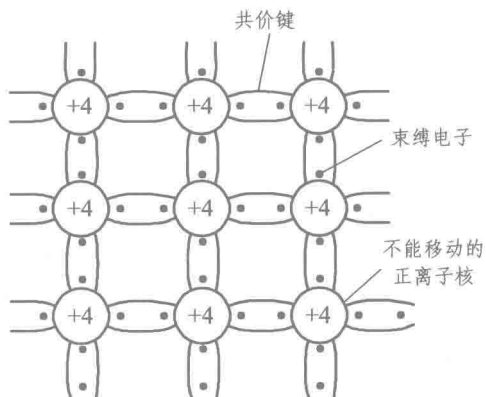


图 1.1 硅和锗的原子结构及共价键结构

1. 本征半导体的原子结构及共价键

共价键内的两个电子由相邻的原子各用一个价电子组成，称为束缚电子。

2. 本征激发和两种载流子

自由电子和空穴在室温和光照下，少数价电子获得足够的能量摆脱共价键的束缚成为自由电子。束缚电子脱离共价键成为自由电子后，在原来的位置留出一个空位，称此空位为空穴。温度升高，半导体材料中产生的自由电子便增多。本征半导体中，自由电子和空穴成对出现，数目相同。图 1.2 为本征激发所产生的电子空穴对。如图 1.3 所示，空穴（如图中位置 1）出现以后，邻近的束缚电子（如图中位置 2）可能获取足够的能量来填补这个空穴，而在这个束缚电子的位置又出现一个新的空位，另一个束缚电子（如图中位置 3）又会填补这个新的空位，这样就形成束缚电子填补空穴的运动。为了区别自由电子的运动，称此空穴位置的变化为空穴运动。

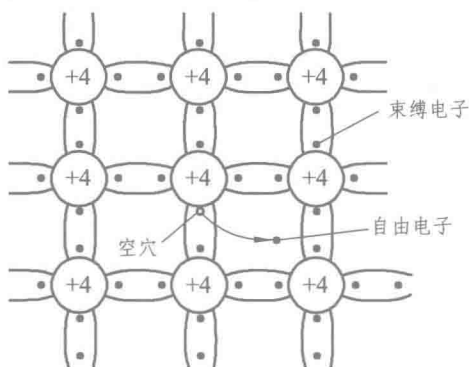


图 1.2 本征激发产生电子空穴对

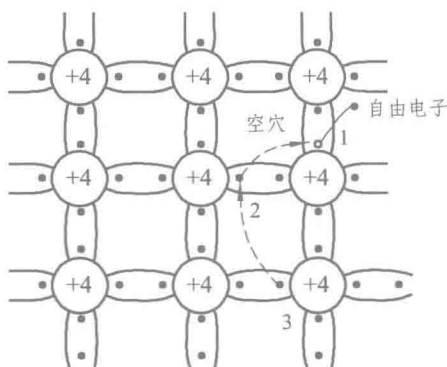


图 1.3 束缚电子填补空穴的运动

3. 半导体性质

(1) 半导体中存在两种载流子，一种是带负电的自由电子，另一种是带正电的空穴，它们都可以运载电荷形成电流。

(2) 本征半导体中，自由电子和空穴相伴产生，数目相同。

(3) 一定温度下，本征半导体中电子空穴对的产生与复合相对平衡，电子空穴对的数目相对稳定。

(4) 温度升高，激发的电子空穴对数目增加，半导体的导电能力增强。空穴的出现是半导体导电区别于导体导电的一个主要特征。

1.1.2 杂质半导体

在本征半导体中加入微量杂质，可使其导电性能显著改变。根据掺入杂质的性质不同，杂质半导体分为：电子型（N 型）半导体和空穴型（P 型）半导体。

1. N 型半导体

在硅（或锗）半导体晶体中，掺入微量的五价元素，如磷（P）、砷（As）等，则构成 N

型半导体。五价的元素具有 5 个价电子，它们进入由硅（或锗）组成的半导体晶体中，五价的原子取代四价的硅（或锗）原子，在与相邻的硅（或锗）原子组成共价键时，因为多一个价电子不受共价键的束缚，很容易成为自由电子，于是半导体中自由电子的数目大量增加。自由电子参与导电移动后，在原来的位置留下一个不能移动的正离子，半导体仍然呈现电中性，但与此同时没有相应的空穴产生，如图 1.4 所示。

2. P 型半导体

在硅（或锗）半导体晶体中，掺入微量的三价元素，如硼（B）、镓（In）等，则构成 P 型半导体。三价的元素只有 3 个价电子，在与相邻的硅（或锗）原子组成共价键时，由于缺少一个价电子，在晶体中便产生一个空位，邻近的束缚电子如果获取足够的能量，有可能填补这个空位，使原子成为一个不能移动的负离子，半导体仍然呈现电中性，但与此同时没有相应的自由电子产生，如图 1.5 所示。

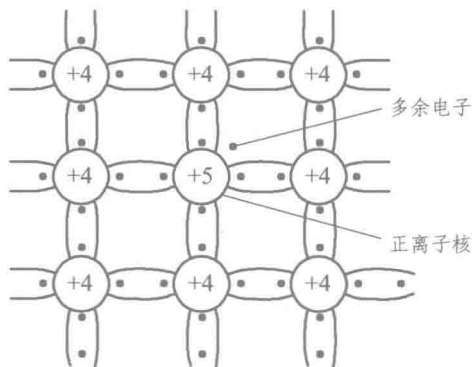


图 1.4 N 型半导体的共价键结构

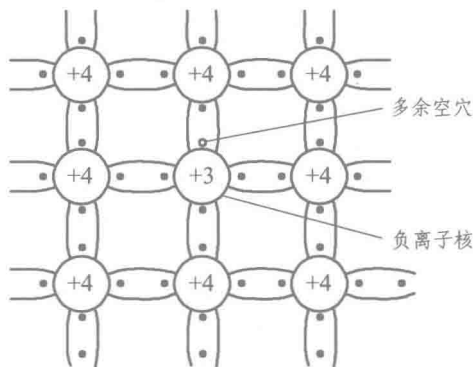


图 1.5 P 型半导体的共价键结构

1.1.3 PN 结及其单向导电性

1. PN 结的形成

多数载流子因浓度上的差异而形成的运动称为扩散运动，如图 1.6 所示。

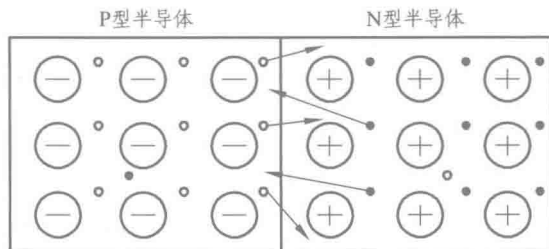


图 1.6 P 型和 N 型半导体交界处载流子的扩散

由于空穴和自由电子均是带电的粒子，所以扩散的结果使 P 区和 N 区原来的电中性被破坏，在交界面的两侧形成一个不能移动的带异性电荷的离子层，称此离子层为空间电荷区，即 PN 结，如图 1.7 所示。

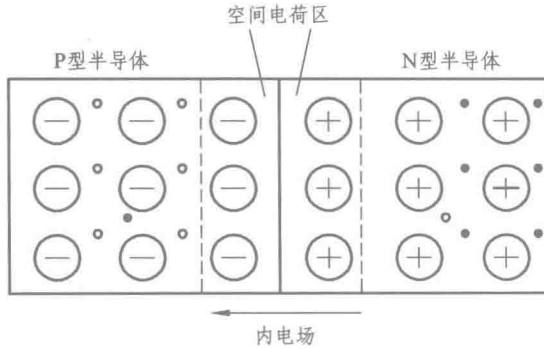


图 1.7 PN 结的形成

在空间电荷区，多数载流子已经扩散到对方并复合掉了，或者说消耗尽了，因此又称空间电荷区为耗尽层。空间电荷区出现后，因为正负电荷的作用，将产生一个从 N 区指向 P 区的内电场。内电场的方向，会对多数载流子的扩散运动起阻碍作用。同时，内电场则可推动少数载流子（P 区的自由电子和 N 区的空穴）越过空间电荷区，进入对方。少数载流子在内电场的作用下规则地运动，称为漂移运动。漂移运动和扩散运动的方向相反。无外加电场时，通过 PN 结的扩散电流等于漂移电流，PN 结中无电流流过，PN 结的宽度保持一定而处于稳定状态。

2. PN 结的单向导电性

如果在 PN 结两端加上不同极性的电压，PN 结会呈现出不同的导电性能。

(1) PN 结外加正向电压。

在 PN 结的 P 端接高电位，N 端接低电位，称 PN 结外加正向电压，又称 PN 结正向偏置，简称正偏，如图 1.8 所示。外加电场与 PN 结形成的内电场方向相反，P 区的多子空穴（相当于正电荷）顺着外电场方向往中间运动，与 PN 结空间电荷区的负离子（硼离子）复合，N 区的自由电子（多子且为负电荷）逆着外电场方向也向中间靠拢，与 PN 结中的正离子（磷离子）复合，形成电中和，使得内电场的正负离子数都减少，耗尽层变窄，内电场被削弱；但空穴与正离子、电子与负离子均相互排斥，复合后剩下的正负离子数达到最少数量时，PN 结停止变窄，内电场达到最弱程度，形成导通压降（很小）；多子在外电场的作用下与空间电荷区的离子电中和产生定向扩散运动，形成导通电流，导通方向就是多子空穴的运动方向。

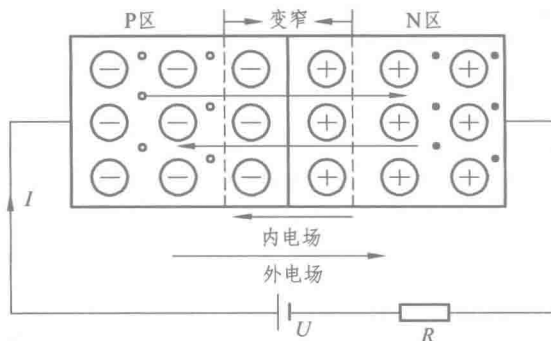


图 1.8 PN 结外加正向电压

(2) PN 结外加反向电压。

在 PN 结的 P 端接低电位，N 端接高电位，称 PN 结外加反向电压，又称 PN 结反向偏置，简称反偏，如图 1.9 所示。外加电场与 PN 结形成的内电场方向相同，P 区的多子空穴（相当于正电荷）顺着外电场方向向 P 区运动，使负离子（硼离子）数量增多，靠近 PN 结空间电荷区的电中和被破坏，N 区的自由电子（多子且为负电荷）逆着外电场方向向 N 区运动，使正离子（磷离子）数量增多，这样就使得内电场的正负离子数都增多，耗尽层变宽加厚，内电场被加强；但空穴与电子不能完全复合，正负离子数达到最多数量时，PN 结停止变宽，内电场达到最强程度，形成反向饱和压降（很大）；多子在外电场作用下的定向扩散运动受阻，少子的漂移运动形成极小的反向电流，几乎不能算作导通，称为截止状态。反向饱和电流方向由 N 区指向 P 区。

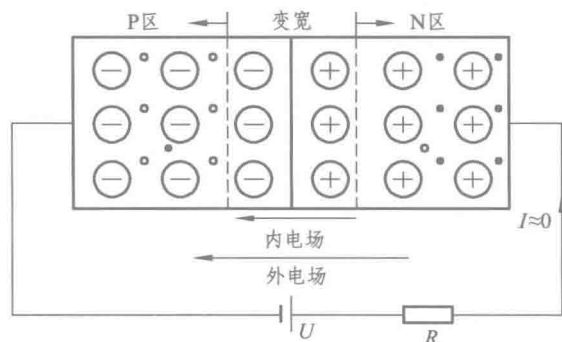


图 1.9 PN 结外加反向电压

PN 结的单向导电性是指 PN 结外加正向电压时处于导通状态，外加反向电压时处于截止状态。

1.2 半导体二极管

1.2.1 二极管的结构及符号

半导体二极管由一个 PN 结构成，因此同 PN 结一样具有单向导电性。二极管按半导体材料的不同可以分为硅二极管、锗二极管和砷化镓二极管等。按 PN 结的面积大小不同可分为点接触型、面接触型和平面型二极管，如图 1.10 所示。

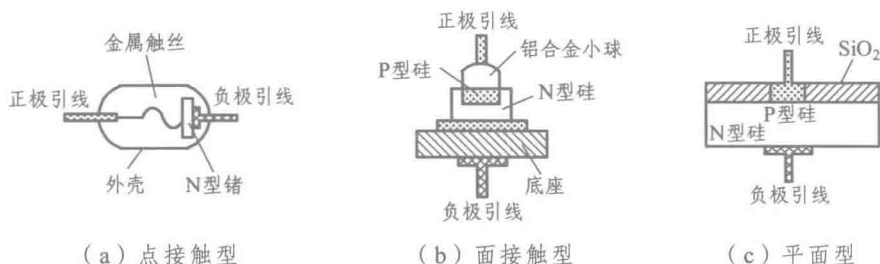


图 1.10 不同结构的二极管

图 1.11 为二极管的符号。由 P 端引出的电极是正极，由 N 端引出的电极是负极，箭头的

方向表示正向电流的方向。

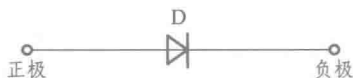


图 1.11 二极管的符号

常见的二极管有金属、塑料和玻璃 3 种封装形式。按照应用的不同，二极管分为整流、检波、开关、稳压、发光、光电、快恢复和变容二极管等。

根据使用的不同，二极管的外形各异，图 1.12 为几种常见的二极管外形。



图 1.12 常见的二极管外形

1.2.2 二极管的伏安特性和主要参数

1. 二极管的伏安特性

二极管两端的电压 U 及其流过二极管的电流 I 之间的关系曲线，称为二极管的伏安特性。

(1) 正向特性。二极管外加正向电压时，电流和电压的关系称为二极管的正向特性。如图 1.13 所示，当二极管所加正向电压比较小时 ($0 < U < U_{th}$)，二极管上流经的电流为 0，管子仍截止，此区域称为死区， U_{th} 称为死区电压（门坎电压）。硅二极管的死区电压约为 0.5 V，锗二极管的死区电压约为 0.1 V。

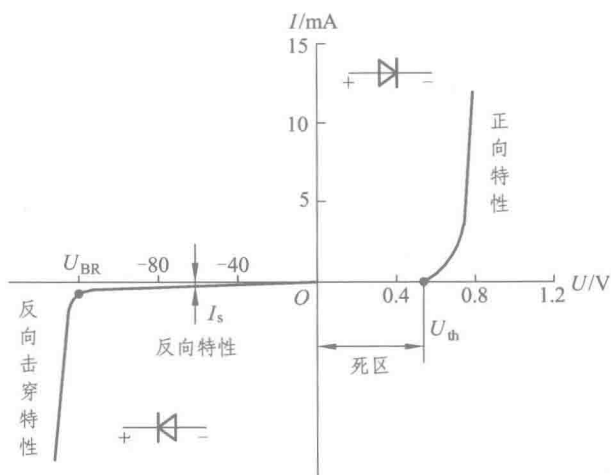


图 1.13 二极管的伏安特性曲线

(2) 反向特性。二极管外加反向电压时，电流和电压的关系称为二极管的反向特性。由图 1.13 可知，二极管外加反向电压时，反向电流很小 ($I \approx -I_s$)，而且在相当宽的反向电压范围内，反向电流几乎不变，因此称此电流值为二极管的反向饱和电流。

(3) 反向击穿特性。由图 1.13 可知，当反向电压的值增大到 U_{BR} 时，反向电压值稍有增大，反向电流会急剧增大，称此现象为反向击穿， U_{BR} 为反向击穿电压。利用二极管的反向

击穿特性，可以做成稳压二极管，但一般的二极管不允许工作在反向击穿区。

2. 二极管的温度特性

二极管是对温度非常敏感的器件。实验表明，随着温度的升高，二极管的正向压降会减小，正向伏安特性左移，即二极管的正向压降具有负的温度系数(约 $-2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$)；温度升高，反向饱和电流会增大，反向伏安特性下移，温度每升高 10°C ，反向电流大约增加一倍。图 1.14 为温度对二极管伏安特性的影响。

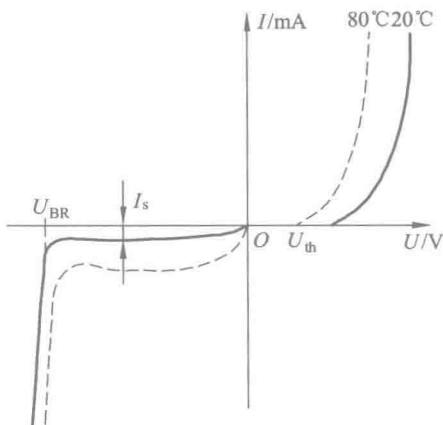


图 1.14 二极管的温度特性

1.2.3 二极管的测试

1. 二极管极性的判定

将红、黑表笔分别接二极管的两个电极，若测得的电阻值很小（几千欧以下），则黑表笔所接电极为二极管的正极，红表笔所接电极为二极管的负极；若测得的阻值很大（几百千欧以上），则黑表笔所接电极为二极管的负极，红表笔所接电极为二极管的正极，如图 1.15 所示。

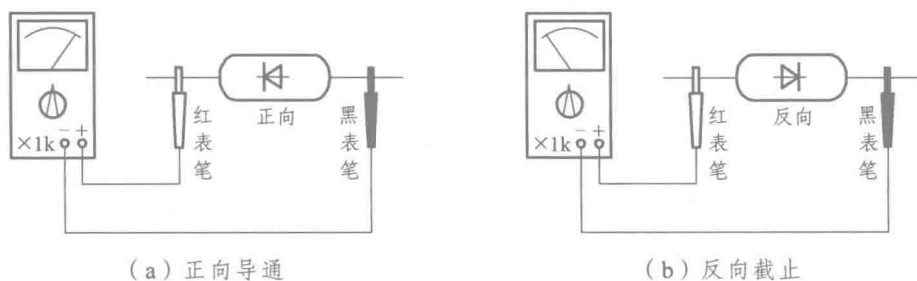


图 1.15 二极管极性的测试

2. 二极管好坏的判定

(1) 若测得的反向电阻很大（几百千欧以上），正向电阻很小（几千欧以下），表明二极管性能良好。

(2) 若测得的反向电阻和正向电阻都很小，表明二极管短路，已损坏。

(3) 若测得的反向电阻和正向电阻都很大，表明二极管断路，已损坏。

1.2.4 特殊二极管

1. 稳压二极管

稳压二极管又名齐纳二极管，简称稳压管，是一种用特殊工艺制作的面接触型硅半导体二极管，这种管子的杂质浓度比较大，容易发生击穿，其击穿时的电压基本上不随电流的变

化而变化,从而达到稳压的目的。稳压管工作于反向击穿区。

(1) 稳压管的伏安特性和符号。

图 1.16 为稳压管的伏安特性和符号。

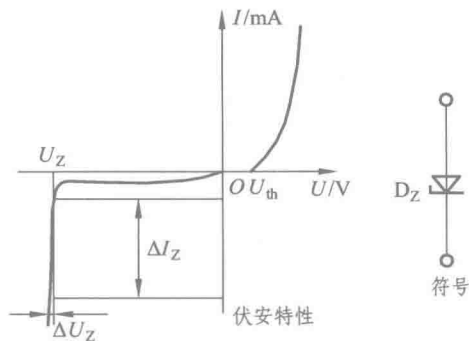


图 1.16 稳压管的伏安特性和符号

(2) 稳压管的主要参数。

① 稳定电压 U_Z : 当稳压管中的电流为规定值时, 稳压管在电路中其两端产生的稳定电压值。

② 稳定电流 I_Z : 当稳压管工作在稳压状态时, 稳压管中流过的电流有最小稳定电流 $I_{Z\min}$ 和最大稳定电流 $I_{Z\max}$ 之分。

③ 耗散功率 P_M : 当稳压管正常工作时, 管子上允许的最大耗散功率。

(3) 应用稳压管应注意的问题。

① 稳压管稳压时, 一定要外加反向电压, 保证管子工作在反向击穿区。当外加的反向电压值大于或等于 U_Z 时, 才能起到稳压作用; 若外加的电压值小于 U_Z , 稳压管相当于普通二极管。

② 在稳压管稳压电路中, 一定要配合限流电阻的使用, 保证稳压管中流过的电流在规定的范围之内。

2. 发光二极管

发光二极管是一种光发射器件, 英文缩写为 LED。此类管子通常由镓 (Ga)、砷 (As)、磷 (P) 等元素的化合物制成。管子正向导通, 当导通电流足够大时, 能把电能直接转换为光能, 发出光来。目前, 发光二极管的颜色有红、黄、橙、绿、白和蓝 6 种, 所发光的颜色主要取决于制作管子的材料, 例如, 用砷化镓发出红光, 而用磷化镓则发出绿光。其中, 白色发光二极管是新型产品, 主要应用在手机背光灯、液晶显示器背光灯、照明等领域。发光二极管工作时导通电压比普通二极管大, 其工作电压随材料的不同而不同, 一般为 1.7 ~ 2.4 V。普通绿、黄、红、橙色发光二极管工作电压约为 2 V; 白色发光二极管的工作电压通常高于 2.4 V; 蓝色发光二极管的工作电压一般高于 3.3 V。发光二极管的工作电流一般在 2 ~ 25 mA。发光二极管应用非常广泛, 常用作各种电子设备 (如仪器仪表、计算机、电视机等) 的电源指示灯和信号指示灯等, 还可以做成七段数码显示器等。

发光二极管的另一个重要用途是将电信号转换为光信号。普通发光二极管的符号和外形如图 1.17 所示, 图 1.17 (b) 中的长引脚为正极。



图 1.17 发光二极管的符号和外形

3. 光电二极管

光电二极管又称光敏二极管，它是一种光接收器件，其 PN 结工作在反偏状态，可以将光能转换为电能，实现光电转换。图 1.18 为光电二极管的基本电路和符号。

4. 变容二极管

变容二极管是利用 PN 结的电容效应进行工作的，它工作在反向偏置状态，当外加的反偏电压变化时，其电容量也随着改变。图 1.19 为变容二极管的符号。

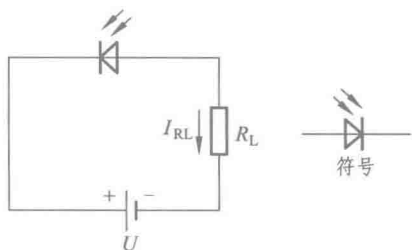


图 1.18 光电二极管的基本电路和符号



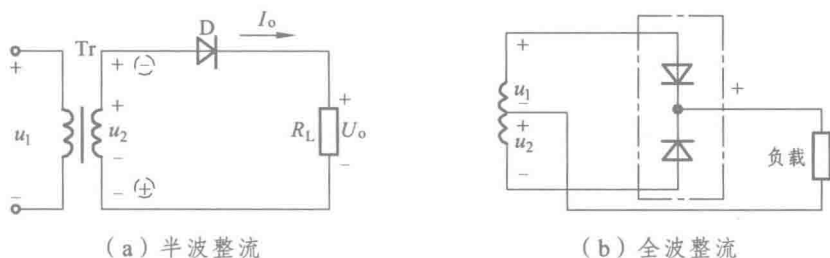
图 1.19 变容二极管的符号

5. 激光二极管

激光二极管是在发光二极管的 PN 结间安置一层具有光活性的半导体，构成一个光谐振腔。工作时接正向电压，可发射出激光。激光二极管的应用非常广泛，在计算机的光盘驱动器、激光打印机中的打印头、激光唱机、激光影碟机中都有激光二极管。

1.2.5 二极管应用电路举例

普通二极管的应用范围很广，可用于开关、稳压、整流、限幅等电路。图 1.20 为二极管的典型应用电路。



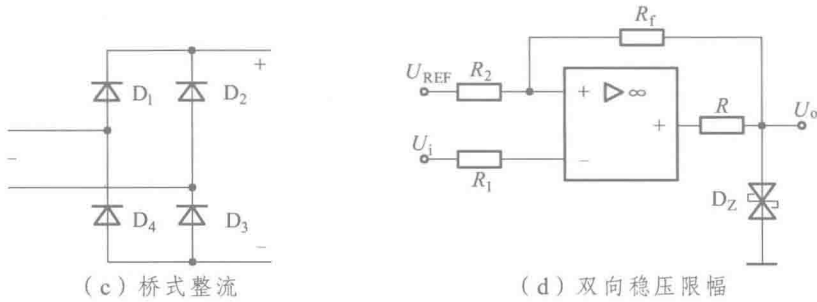


图 1.20 二极管的典型应用电路

1. 开关二极管的应用

由于二极管具有正偏导通、反偏截止的特性，所以可以当作一个电子开关来使用。

【例 1.1】电路如图 1.21 (a) 所示，试判断二极管的工作状态，并求回路中的电流大小。

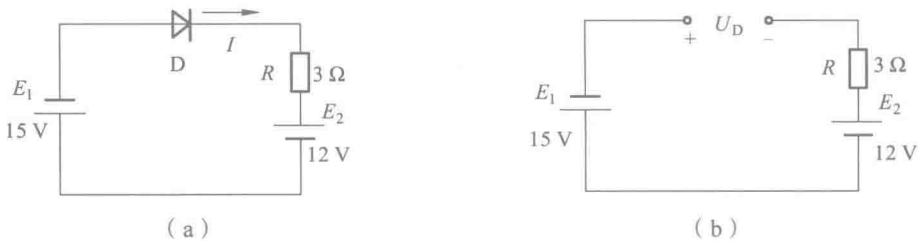


图 1.21 例 1.1 图

【解】首先断开二极管，如图 1.21 (b) 所示，求其开路电压 U_D （相当于在实验室用一个伏特表替代二极管，测电压大小）。根据基尔霍夫定律可得

$$U_D = -15 - 12 = -27 \text{ (V)} < 0$$

所以二极管反偏截止，等效为开路，回路电流 I 为零。

【例 1.2】电路如图 1.22 (a) 所示，试判断各二极管的工作状态，并求输出电压的大小。

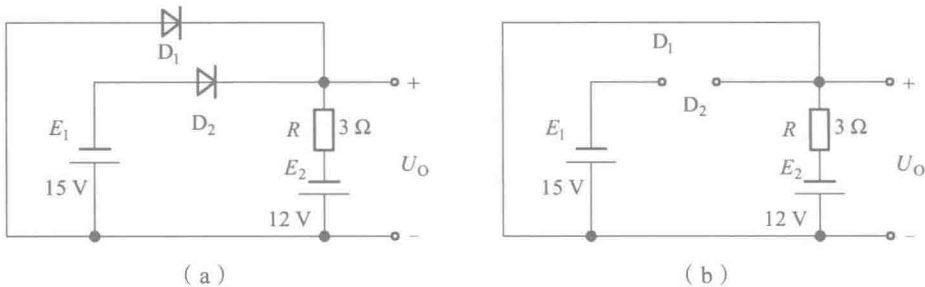


图 1.22 例 1.2 图

【解】首先断开两个二极管，分别求其开路电压。根据电路定律可得

$$U_{D1} = 12 \text{ V}, U_{D2} = -15 + 12 = -3 \text{ (V)}$$

由此可判断二极管 D_1 正偏导通，等效为短路；二极管 D_2 反偏截止，等效为开路，如图 1.22 (b) 所示。所以，输出电压 $U_O = 0 \text{ V}$ 。

有时会出现两个二极管的开路电压均为正值的情况，这时需要考虑优先导通权。

【例 1.3】电路如图 1.23 所示，试判断各二极管的工作状态，并求输出电压的大小。

【解】首先断开两个二极管，分别求其开路电压。根据电路定律可得

$$U_{D1} = 12 \text{ V} > 0, \quad U_{D2} = 12 + 6 = 18 \text{ (V)} > 0$$

由于 $U_{D1} > U_{D2}$ ，因此 D_2 优先导通， D_2 等效为短路，得到电路

如图 1.24 (a) 所示。在图 1.24 (a) 中，由于开路电压 $U_{D1} = -6 \text{ V}$ ，所以二极管 D_1 反偏截止， D_1 等效为开路，得到电路如图 1.24 (b) 所示。故可得输出电压 $U_O = -6 \text{ V}$ 。

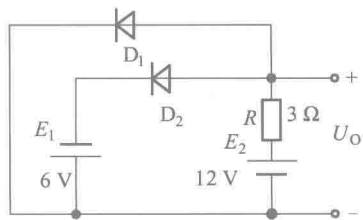
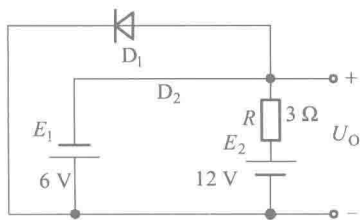
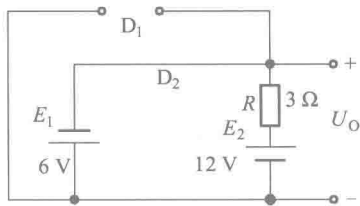


图 1.23 例 1.3 图



(a)



(b)

图 1.24 等效电路图

以后遇到类似的情况，一定要注意一个二极管优先导通后，需要重新求另一个二极管的开路电压，并据此判断该二极管的工作状态。

【例 1.4】电路和输入电压的波形如图 1.25 所示，试分析灯泡的亮、灭状态。

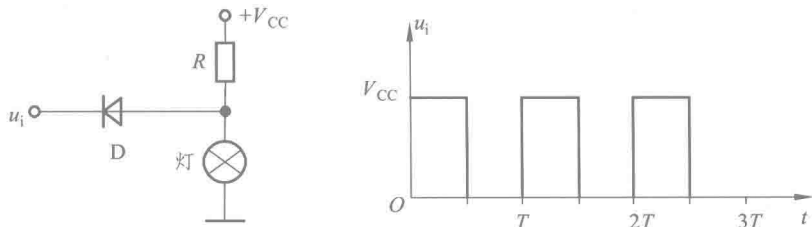


图 1.25 例 1.4 图

【解】由图 1.25 可知，输入信号只有两种状态，一种是高电平 $U_{IH} = V_{CC}$ ，一种是低电平 $U_{IL} = 0$ 。当输入电压为高电平 (V_{CC}) 时，二极管处于截止状态，等效为开路，电源 V_{CC} 通过电阻 R 向灯泡供电，灯泡亮；当输入电压为低电平 (0) 时，二极管处于导通状态，等效为短路，灯泡被二极管等效的导线短路，灯泡灭。

在上述例题中，二极管都相当于一个受外加电压极性控制的开关，我们称之为二极管的开关特性，其应用非常广泛。

2. 整流二极管的应用

在模拟电路中常常利用二极管的单向导电性来达到整流的目的。所谓整流就是将交流信号转换为脉动的直流信号。

【例 1.5】如图 1.26 (a) 所示的电路，若已知 $u_i = U_m \sin \omega t$ ，试画出输出电压的波形。