

高等学校规划教材



电子技术



代红艳 于宝琦 主编



化学工业出版社

高等学校规划教材

电 子 技 术

代红艳 于宝琦 主 编
恩 莉 朴琴兰 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书本着“必需、够用”的原则，注重对电子技术的基本理论、基本分析和设计方法的系统讲述；在保证基础的前提下，注重集成电路以及新器件、新电路的应用，以培养应用型人才为主要目标。

全书共分 10 章，内容包括：半导体二极管及应用、晶体管及其放大电路分析、集成运算放大电路、理想集成运放的应用、直流稳压电源、数字逻辑基础、逻辑门电路及其应用、触发器及应用、时序逻辑电路、脉冲波形的产生和整形。为了使读者更好地掌握和理解课程内容，书中配有贴近实际的例题、思考题和习题；本书的最后附有部分习题的参考答案和电子技术常用中英文名词对照表。

本书内容简明、语言流畅、通俗易懂，可作为高等工科院校电气、电子信息类和部分非电类专业本科生、专科生的教材或参考书，也可供相关专业工程技术人员学习使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

电子技术/代红艳, 于宝琦主编. —北京: 化学工业出版社, 2012.6
高等学校规划教材
ISBN 978-7-122-14066-1

I. 电… II. ①代…②于… III. 电子技术-高等学校-教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 074448 号

责任编辑: 王听讲
责任校对: 陶燕华

文字编辑: 云 雷
装帧设计: 杨 北

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 14½ 字数 367 千字 2012 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

前 言

电子技术是高等工科院校电气、电子信息类和部分非电类专业在电子技术方面入门性质的技术基础课,包括模拟电子技术和数字电子技术两部分,是一门理论性和实践性很强的课程。本书在编写过程中本着“必需、够用”原则,针对应用型本科和高职高专院校的教学实际情况,注重对电子技术的基本理论、基本分析和设计方法的系统讲述,清晰透彻、深入浅出;在保证基础的前提下,注重集成电路以及新器件、新电路、新技术的应用,使学生在电子技术方面获得基本知识和基本技能,为学习后续课程,以及从事与电子技术相关的工作和科学研究打下一定的基础。

全书共分10章,内容包括:半导体二极管及应用、晶体管及其放大电路分析、集成运算放大电路、理想集成运放的应用、直流稳压电源、数字逻辑基础、逻辑门电路及其应用、触发器及应用、时序逻辑电路、脉冲波形的产生和整形。为了使读者更好地掌握和理解课程内容,书中配有贴近实际的例题、思考题和习题;本书的最后附有部分习题的参考答案和电子技术常用中英文名词对照表。

本书内容简明、语言流畅、通俗易懂,可作为高等工科院校电气、电子信息类和部分非电类专业本科生、专科生的教材或参考书,也可供相关专业工程技术人员学习使用。

我们将为使用本书的教师免费提供电子教案,需要者可以到化学工业出版社教学资源网站 <http://www.cipedu.com.cn> 免费下载使用。

本书由浙江机电职业技术学院代红艳、辽宁科技学院于宝琦担任主编,并负责全书内容的组织和定稿;由沈阳大学恩莉、辽宁科技学院朴琴兰担任副主编,辽宁科技学院孙禾参与编写。第1、2章由朴琴兰编写;第3、5、7、8章、附录二由代红艳编写;第4、9章由孙禾编写;第6章由于宝琦编写;第10章由代红艳和恩莉编写;附录一由代红艳、于宝琦、恩莉、朴琴兰和孙禾共同编写。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免有疏漏之处,恳请使用本教材的师生和读者给予批评指正,以便帮助我们不断改进和提高。

编 者
2012 年 4 月

目 录

第 1 章 半导体二极管及应用	1	习题二	34
1.1 本征半导体	1	第 3 章 集成运算放大电路	38
1.1.1 半导体	1	3.1 集成电路的特点	38
1.1.2 本征半导体	1	3.2 集成运放的基本单元电路	39
1.2 杂质半导体	2	3.2.1 差动放大电路	40
1.2.1 N 型半导体	2	3.2.2 电流源电路	46
1.2.2 P 型半导体	2	3.2.3 复合管结构	47
1.3 PN 结	3	3.3 互补功率放大电路	48
1.3.1 PN 结的单向导电性	3	3.3.1 电路的组成及工作原理	49
1.3.2 PN 结的伏安特性	4	3.3.2 输出功率及效率	50
1.4 半导体二极管	4	3.3.3 晶体管的选择及工作方式	51
1.4.1 二极管的伏安特性及主要参数	5	3.4 其他功率放大电路	53
1.4.2 二极管电路的分析	6	3.4.1 OTL 功放电路	53
1.5 稳压管	7	3.4.2 BTL 功放电路	53
1.5.1 稳压管的伏安特性	7	3.4.3 变压器耦合功放电路	54
1.5.2 稳压管的主要参数	8	本章小结	55
本章小结	8	习题三	55
习题一	8	第 4 章 理想集成运放的应用	58
第 2 章 晶体管及其放大电路分析	10	4.1 集成运算放大器的理想化及其分析	58
2.1 晶体管的基本概念	10	方法	58
2.1.1 晶体管的结构及分类	10	4.1.1 集成运放的理想化及电压传输特性	58
2.1.2 晶体管的电流放大作用	10	分析	58
2.1.3 晶体管的输入输出特性曲线	11	4.1.2 理想运放电路的分析方法	59
2.1.4 晶体管的主要参数	12	4.2 模拟运算电路	60
2.2 晶体管放大电路的分析	14	4.2.1 比例运算电路	60
2.2.1 晶体管放大电路的性能指标	14	4.2.2 加法与减法运算电路	62
2.2.2 晶体管放大电路的图解分析法	16	4.2.3 积分电路与微分电路	64
2.2.3 晶体管放大电路的等效电路分	18	析法	66
析法	18	4.3 模拟乘法器及其应用	66
2.2.4 静态工作点稳定放大电路	23	4.3.1 模拟乘法器与集成芯片介绍	66
2.3 多级放大电路的分析	27	4.3.2 模拟乘法器在运算电路中的应用	67
2.3.1 多级放大电路的耦合方式	27	分析	67
2.3.2 多级放大电路的性能指标	28	4.3.3 模拟乘法器在倍频、混频中的应	69
用分析	69	4.4 信号处理电路	69
2.4 负反馈放大电路的分析	29	4.4.1 有源滤波电路	69
2.4.1 反馈的基本概念	29	4.4.2 电压比较器	72
2.4.2 负反馈放大电路的表达式	31	4.5 波形产生电路	74
2.4.3 负反馈对放大电路性能的影响	32	4.5.1 正弦波振荡电路	74
2.4.4 负反馈放大电路的自激振荡	33	4.5.2 非正弦波产生电路	77
本章小结	33		

本章小结	78	7.5 组合逻辑电路	131
习题四	79	7.5.1 组合逻辑电路的分析方法	132
第5章 直流稳压电源	83	7.5.2 组合逻辑电路的设计方法	132
5.1 直流稳压电源的组成	83	7.5.3 几种常用组合逻辑电路	133
5.2 整流电路	83	本章小结	147
5.2.1 单相半波整流电路	83	习题七	147
5.2.2 单相桥式整流电路	85	第8章 触发器及应用	151
5.3 滤波电路	88	8.1 触发器的基本概念	151
5.3.1 电容滤波电路	88	8.2 触发器的电路结构及动作特点	151
5.3.2 电感滤波电路	89	8.2.1 基本RS触发器和同步RS触发器	
5.4 稳压电路	91	电路结构与动作特点	151
5.4.1 并联型稳压电路	91	8.2.2 主从触发器的电路结构与动作	
5.4.2 串联型稳压电路	92	特点	154
5.4.3 三端集成稳压器	93	8.2.3 边沿触发器的电路结构与动作	
本章小结	96	特点	158
习题五	96	8.3 触发器的逻辑功能描述及其转换	164
第6章 数字逻辑基础	99	8.3.1 触发器的逻辑功能描述	164
6.1 数制及编码	99	8.3.2 触发器的逻辑功能转换	166
6.1.1 数制与数制转换	99	本章小结	167
6.1.2 码制	101	习题八	167
6.2 三种基本逻辑运算:与、或、非	103	第9章 时序逻辑电路	171
6.3 逻辑代数的基本公式与基本定理	106	9.1 时序逻辑电路及其分析方法	171
6.3.1 逻辑代数的基本公式	106	9.1.1 时序逻辑电路概述	171
6.3.2 逻辑代数的基本定理	106	9.1.2 同步时序电路的分析方法	172
6.4 逻辑函数及其化简	107	9.1.3 异步时序电路的分析方法	175
6.4.1 逻辑函数及其表示方法	107	9.2 集成计数器	176
6.4.2 逻辑函数的化简方法	109	9.2.1 集成异步计数器	177
6.5 约束项、任意项和无关项	112	9.2.2 集成同步加法计数器	178
本章小结	113	9.2.3 集成同步可逆计数器	179
习题六	114	9.2.4 集成计数器的应用	180
第7章 逻辑门电路及其应用	116	9.3 集成寄存器和移位寄存器	184
7.1 半导体二极管门电路	116	9.3.1 集成寄存器简介	184
7.1.1 二极管与门	116	9.3.2 集成移位寄存器的基本原理	185
7.1.2 二极管或门	116	9.3.3 集成移位寄存器的应用分析	186
7.2 半导体三极管门电路	117	9.4 同步时序逻辑电路的设计方法	187
7.2.1 三极管非门	117	9.4.1 同步时序电路设计的基本步骤	187
7.2.2 与非门电路	118	9.4.2 同步时序电路设计举例	188
7.2.3 或非门电路	118	本章小结	189
7.3 TTL 门电路	119	习题九	190
7.3.1 TTL 反相器	119	第10章 脉冲波形的产生和整形	194
7.3.2 集电极开路门(OC门)	123	10.1 门电路构成的矩形波发生器及整形	
7.3.3 三态输出门电路	124	电路	194
7.4 CMOS 门电路	126	10.1.1 多谐振荡器	194
7.4.1 MOS管的开关特性	126	10.1.2 单稳态触发器	196
7.4.2 CMOS 门电路的应用	129	10.1.3 施密特触发器	198

10.2 集成 555 定时器及应用	200
10.2.1 555 定时器组成及工作原理	200
10.2.2 集成 555 定时器的应用	201
本章小结	205
习题十	205

附录	208
附录一 部分习题解答	208
附录二 常用中英文名词对照表	217
参考文献	224

第 1 章 半导体二极管及应用

半导体器件具有体积小、重量轻、耗电少、使用寿命长等优点，因而在现代电子技术中得到广泛应用。半导体器件所用的材料是经过特殊加工且性能可控的半导体材料。

1.1 本征半导体

1.1.1 半导体

自然界中的物质按导电能力可分为导体、绝缘体和半导体。导体一般为低价元素，如铜、铁、铝等金属，其最外层电子受原子核的束缚力很小，因而极易挣脱原子核的束缚成为自由电子。因此在外电场作用下，这些电子产生定向移动（称为漂移运动）形成电流，呈现出较好的导电特性。高价元素（如惰性气体）和分子物质（如橡胶、塑料）最外层电子受很强的原子核的束缚力，很难摆脱原子核的束缚成为自由电子，所以其导电性极差，成为绝缘体。而半导体材料最外层电子既不像导体那样极易摆脱原子核的束缚成为自由电子，也不像绝缘体那样被原子核束缚得那么紧，因此，半导体的导电特性介于二者之间。常用的半导体材料是硅、锗、硒和砷化镓等。

半导体的广泛应用除了导电能力介于导体和半导体之间外，还有许多不同于其他物质的特点。在晶体结构的半导体材料中，通过掺杂方法可以控制其导电性能，即有可控性；当受到外界光和热的刺激时，导电性有明显的变化，即具有光敏性、热敏性，这些特性使半导体材料成为各种电子器件的基础。

1.1.2 本征半导体

纯净的具有晶体结构的半导体称为本征半导体。在晶体结构中，原子排列具有有序性，相邻两个原子的一对最外层电子（价电子）成为共有电子，它们一方面围绕自身的原子核运动，另一方面又出现在相邻原子所属的轨道上。即价电子不仅受到自身原子核的作用，同时还受到相邻原子核的吸引。于是，两个相邻的原子共有一对价电子，组成共价键结构。在本征硅和本征锗晶体中，每个原子都和周围的 4 个原子用共价键的形式互相紧密地联系起来，如图 1-1 所示，其中 +4 表示原子核和内层电子所具有的净电荷。

共价键中的价电子受共价键的束缚。在室温或光照下，由于热运动，少数价电子可以获得足够的能量摆脱共价键的束缚而成为自由电子，同时必然在共价键中留下空位，如图 1-1 所示。这种现象叫本征激发，这个空位称为空穴，这种空穴带正电。可见本征激发产生的自由电子和空穴是成对的。同时自由电子在运动过程中失去能量，与空穴相遇，使电子-空穴对消失，这种现象称为复合。在一定温度下，本征

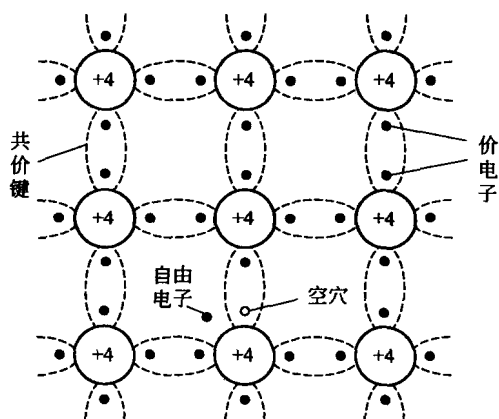


图 1-1 硅原子结构及本征激发示意图

激发和复合达到动态平衡，这时自由电子和空穴的浓度是一定的。

在电场力的作用下，自由电子和空穴将做定向运动，称为漂移，所形成的电流叫漂移电流。由此可见，本征半导体中存在着两种载流子：带负电的自由电子和带正电的空穴，且浓度相同。本征半导体中载流子的浓度，除了与半导体材料本身的性质有关以外，还与温度有关，而且随着温度的升高，基本上按指数规律增加。因此，半导体中的载流子浓度对温度十分敏感。除此之外，半导体中的载流子浓度还与光照有关，人们正是利用此特性，制成光敏器件。

【思考题】

1-1-1 半导体的特点是什么？

1-1-2 本征半导体中有哪些载流子？

1.2 杂质半导体

1.2.1 N型半导体

在本征半导体中，掺入微量 5 价元素，如磷、锑、砷等，则原来晶格中的某些硅（锗）原子被杂质原子代替。由于杂质原子的最外层有 5 个价电子，它与周围 4 个硅（锗）原子构成共价键，还多余 1 个价电子。它不受共价键的束缚，而只受自身原子核的束缚，因此，它只要得到较少的能量就能成为自由电子，并留下带正电的杂质离子。带正电的杂质离子不能参与导电，如图 1-2 所示。显然，这种杂质半导体中电子浓度远大于空穴的浓度，导电时主要靠电子导电，所以称为 N 型半导体。由于 5 价杂质原子可提供自由电子，故称为施主原子。N 型半导体中，自由电子称为多数载流子，空穴称为少数载流子。

1.2.2 P型半导体

在本征半导体中，掺入微量 3 价元素，如硼、镓、铟等，则原来晶格中的某些硅（锗）原子被杂质原子代替。由于杂质原子的最外层有只有 3 个价电子，因此它与周围 4 个硅（锗）原子组成共价键时，就产生了“空位”。该“空位”易吸收其他硅原子的价电子，该杂质原子成为受主原子。失去价电子的硅原子的共价键中就产生一个空穴，如图 1-3 所示。显然，这种杂质半导体中空穴浓度远大于电子的浓度，导电时主要靠空穴导电，所以称为 P 型半导体。P 型半导体中，空穴称为多数载流子，电子称为少数载流子。

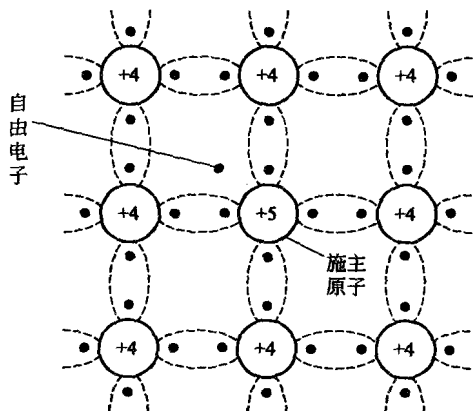


图 1-2 N 型半导体

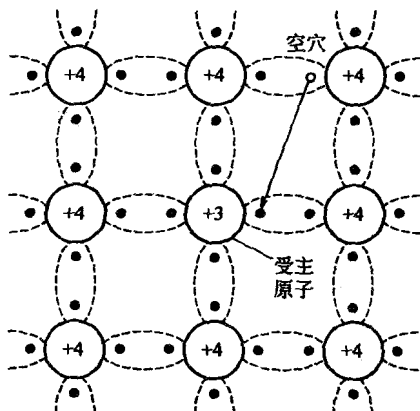


图 1-3 P 型半导体

可见,在纯净的半导体中参入微量元素,可以提高载流子的数目,从而使半导体的导电能力显著增强。N型半导体中和P型半导体统称为杂质半导体。

【思考题】

杂质半导体的特点是什么?

1.3 PN 结

1.3.1 PN 结的单向导电性

如果在一块本征半导体的两侧,分别制造P型半导体和N型半导体,在它们的交界面处就形成了PN结。PN结具有单向导电性。

1) PN 结的形成

当P型半导体和N型半导体制作在一起时,由于交界两侧半导体类型不同,存在了自由电子和空穴的浓度差。因此,P型半导体区的多数载流子空穴向N型半导体区扩散,而N型半导体区的多数载流子自由电子向P型半导体区扩散,如图1-4所示。

由于扩散运动,N型半导体区失掉自由电子产生了正离子,P型半导体区得到自由电子而产生了负离子,从而形成了正负离子层,称为空间电荷区。空间电荷区形成内电场,方向从N型半导体区指向P型半导体区。内电场对扩散运动起到阻碍作用,有利于少数载流子的漂移运动。自由电子和空穴的扩散运动随着内电场的加强而逐步减弱,直至扩散运动和漂移运动达到动态平衡为止。此时在界面处形成稳定的空间电荷区,形成PN结,如图1-5所示。

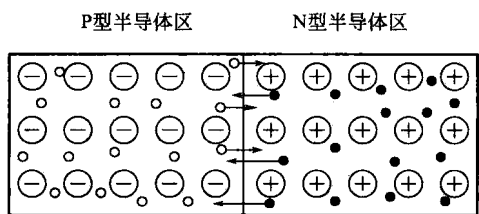


图 1-4 多数载流子的扩散

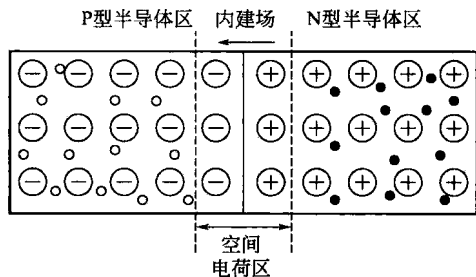
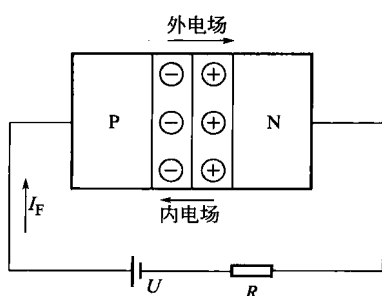


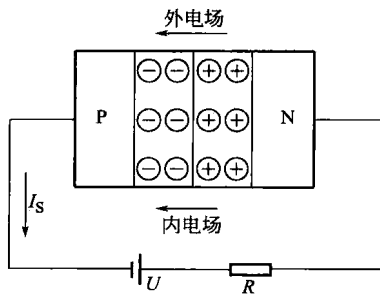
图 1-5 PN 结示意图

2) PN 结的单向导电性

如果PN结的P区接电源正极,N区接电源负极,此时称PN结为正向偏置,如图1-6(a)



(a) 正向偏置



(b) 反向偏置

图 1-6 PN 结的单向导电性

所示。这时 PN 结外加电场的方向与内电场方向相反, 当外电场足够大时, 外加电场抵消内电场, 使空间电荷区变窄, 有利于多数载流子运动, 形成正向电流 I_F 。外加电场越强, 正向电流 I_F 越大, 这意味着 PN 结的正向电阻变小, PN 结处于导通状态。

如果 PN 结的 P 区接电源负极, N 区接电源正极, 称 PN 结反向偏置, 如图 1-6(b) 所示。这时外加电场与内电场方向相同, 使内电场的作用增强, PN 结变厚, 多数载流子运动难于进行, 有助于少数载流子运动, 形成电流 I_S , 少数载流子很少, 所以电流很小, 接近于零, 即 PN 结反向电阻很大, 处于截止状态。

综上所述, 加正向电压时, PN 结电阻很小, 电流 I_F 较大; 加反向电压时, PN 结电阻很大, 电流 I_S 很小, PN 结具有这种特性叫单向导电性。

1.3.2 PN 结的伏安特性

在 PN 结两端所加电压 u 的作用下, PN 结电流 i 的变化规律如图 1-7 所示, 称为 PN 结的伏安特性, 其数学表达式为:

$$i = I_S (e^{\frac{u}{U_T}} - 1) \quad (1-1)$$

式中, I_S 为反向饱和电流, $U_T = kT/q$, 是温度电压当量, $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$, 为普朗克常数, T 为热力学温度, 单位为 K, 常温时 $U_T \approx 26 \text{ mV}$ 。

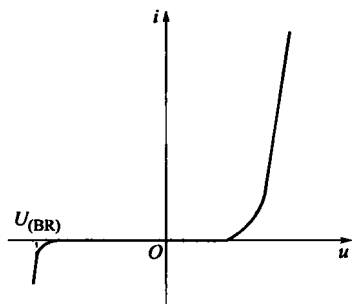


图 1-7 PN 结的伏安特性

当 PN 结正向偏置时称为正向特性, 如果 $u \gg U_T$, 电流随电压按指数规律变化; 当 PN 结反向偏置时称为反向特性, 如果 $|u| \gg U_T$, 则流过 PN 结的电流是很小的反向饱和电流, $i \approx -I_S$ 。

PN 结处于反向偏置, 当反向电压超过某一数值后, 反向电流急剧增加, 这种现象称为反向击穿。PN 结的击穿分为雪崩击穿和齐纳击穿。通常, 低掺杂浓度, 但反向电压足够高时, 阻挡层内电场很强, 少数载流子在结区内受强烈电场的加速作用, 获得很大的能量, 在运动中与其他原子发生碰撞时, 有可能将价电子“打”出共价键, 形成新的

的电子、空穴对。这些新的载流子与原先的载流子一道, 在强电场作用下碰撞其他原子打出更多的电子、空穴对, 如此连锁反应, 使反向电流迅速增大, 这种击穿称为雪崩击穿。所谓齐纳击穿, 是指当 PN 结两边掺入高浓度的杂质时, 其阻挡层宽度很小, 即使外加反向电压不太高 (一般为几伏), 在 PN 结内就可形成很强的电场, 将共价键的价电子直接拉出来, 产生电子-空穴对, 使反向电流急剧增加而出现的击穿现象。

发生击穿并不一定意味着 PN 结被损坏。当 PN 结反向击穿时, 只要注意控制反向电流的数值 (一般通过串接电阻 R 实现), 不使其过大, 以免因过热而烧坏 PN 结, 当反向电压 (绝对值) 降低时, PN 结的性能就可以恢复正常。稳压二极管正是利用了 PN 结的反向击穿特性来实现稳压的, 当流过 PN 结的电流变化时, 结电压基本保持不变。

【思考题】

什么是 PN 结的单向导电性?

1.4 半导体二极管

半导体器件是构成电子电路的基本元件, 它们所用的材料是经过特殊加工且性能可控的

半导体材料。

1.4.1 二极管的伏安特性及主要参数

1) 二极管的结构和符号

将一个PN结的两端各引出一根外引线，然后用塑料、玻璃或铁皮等材料做外壳封装就构成半导体二极管，如图1-8(a)所示。其中，从P区引出的电极称为正极（或阳极），从N区引出的电极称为负极（或阴极）。电路符号如图1-8(b)所示，其箭头方向表示正向电流的方向。根据所用材料不同，二极管可分为锗管和硅管，也可按结构分为点接触型、面接触型和平面型。

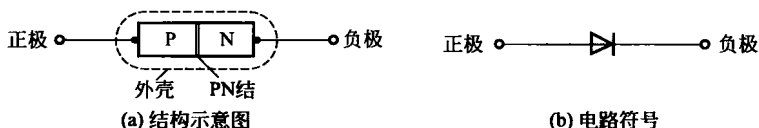


图1-8 二极管的结构示意图与电路符号

2) 二极管的伏安特性

二极管由一个PN结构成，因此它也具有单向导电性。在外加电压 u_D 的作用下，二极管电流 i_D 的变化规律称为二极管的伏安特性曲线，如图1-9所示。

当正向电压低于某一数值 U_{th} 时，正向电流很小几乎为零，该电压称为门限电压或死区电压。只有当正向电压高于开启电压 U_{th} 后，才有明显的正向电流，电流与电压呈指数关系。

实际电路中二极管导通时的正向压降硅管约为0.6~0.8V，锗管约为0.1~0.3V，又称为导通电压，用 $U_{D(on)}$ 表示。通常认为，当正向电压 $u_D > U_{D(on)}$ 时，二极管导通； $u_D < U_{D(on)}$ 时，二极管截止。

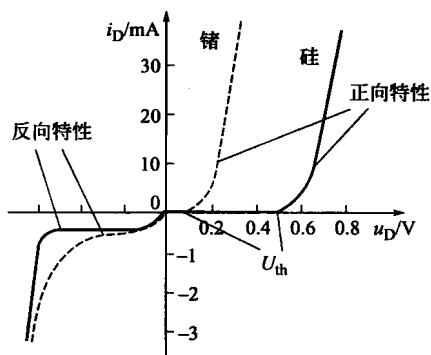


图1-9 二极管的伏安特性

二极管加反向电压，反向电流数值很小，且基本不变，称反向饱和电流。硅管反向饱和电流为纳安（nA）数量级，锗管的为微安数量级。当反向电压加到一定值 $U_{(BR)}$ 时，反向电流急剧增加，此时二极管内PN结被击穿。 $U_{(BR)}$ 称为反向击穿电压，一般在几十伏以上（高反压管可达几千伏）。

3) 二极管的主要参数

为了描述二极管的性能，常引用以下几个主要参数。

(1) 最大整流电流 I_F

I_F 是二极管长期运行时允许通过的最大正向平均电流。工作时应使平均工作电流小于 I_F ，如超过 I_F ，二极管将过热而烧毁。此值取决于PN结的面积、材料和散热情况。

(2) 最大反向工作电压 U_{RM}

U_{RM} 是允许施加在二极管两端的最大反向工作电压。当反向电压超过此值时，二极管可能被击穿。为了留有余地，通常取击穿电压 $U_{(BR)}$ 的一半作为 U_{RM} 。

(3) 反向电流 I_R

I_R 是指二极管未击穿时的反向电流值。此值越小，二极管的单向导电性越好。由于反向电流是由少数载流子形成，所以 I_R 值受温度的影响很大。

(4) 最高工作频率 f_M

f_M 是保证二极管单向导电性的最高工作频率。 f_M 值主要取决于 PN 结电容的大小, 结电容越大, 则二极管允许的最高工作频率越低。

1.4.2 二极管电路的分析

1) 二极管特性的折线近似

二极管的伏安特性说明二极管是非线性器件, 准确分析二极管应用电路是有一定困难的。因此, 在一定的条件下, 可以用线性器件构成的电路来模拟二极管。这种能够模拟二极管特性的电路称为二极管的等效电路。相应的, 二极管的伏安特性可以进行折线化, 这里只介绍两种。

理想二极管具有理想的单向导电性, 即导通时正向压降为零, 反偏截止时反向电流为零。因此, 理想二极管的伏安

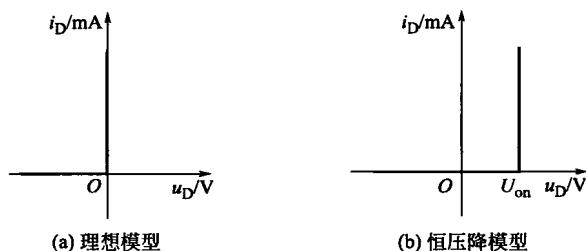


图 1-10 二极管伏安特性的折线化

特性如图 1-10(a) 所示。

实际上, 二极管导通时有正向压降, 且在小范围内发生变化。在近似计算时, 忽略其变化, 把导通压降视为常量 U_{on} , 则其伏安特性如图 1-10(b) 所示。

2) 二极管电路的分析

利用二极管的单向导电特性, 可以构成各种应用电路, 如二极管整流电路、限幅电路、开关电路等。在分析二极管应用电路时, 关键是判断二极管的偏置条件。如果是理想二极管, 则正偏导通时用短路线代替; 反偏截止时, 可认为断路, 即认为二极管反向电阻为无穷大。

【例 1.1】 二极管电路如图 1-11 所示。已知输入电压为 $u_i = 10\sin\omega t$ V, 二极管是理想二极管, 试画出输出电压 u_o 的波形。

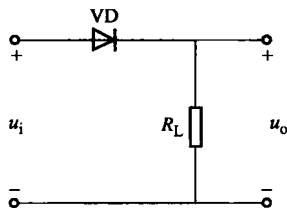


图 1-11 例 1.1 图

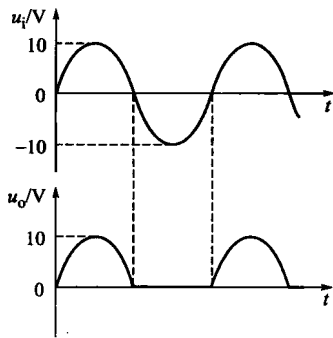


图 1-12 图 1-11 所示电路的波形图

解: 在输入正弦电压的上半周, $u_i > 0$, 二极管正偏导通, $u_o = u_i$; 在输入正弦电压的下半周, $u_i < 0$, 二极管反偏截止, $u_o = 0$ V。输出电压波形如图 1-12 所示。可见, 将输入的交流电压信号转变成脉动电压信号输出, 该电路是二极管半波整流电路。

【例 1.2】 如图 1-13 所示电路。已知输入电压为 $u_i = 10\sin\omega t$ V, 二极管是理想二极管, 试分析限幅电平 U_S 分别为 6V 和 3V 时输出电压 u_o 的波形。

解: 当 $U_S = 6$ V, $u_i > 6$ V 时二极管导通, $u_o = 6$ V; $u_i < 6$ V, 二极管截止, $u_o = u_i$ 。波

形如图 1-14(a) 所示, 即限幅电平为 6V。

当 $U_S = 3\text{V}$, $u_i > 3\text{V}$ 时二极管导通, $u_o = 3\text{V}$; $u_i < 3\text{V}$, 二极管截止, $u_o = u_i$ 。波形如图 1-14(b) 所示, 即限幅电平为 3V。

当输入信号电压在一定范围内变化时, 输出电压随输入电压相应变化; 而当输入电压超出该范围时, 输出电压保持不变, 这就是限幅电路。通常将输出电压 u_o 开始不变的电压值称为限幅电平 (图中的 U_S), 当输入电压高于限幅电平时输出电压保持不变的限幅称为上限幅; 当输入电压低于限幅电平时输出电压保持不变的限幅称为下限幅。该电路是并联型上限幅电路。

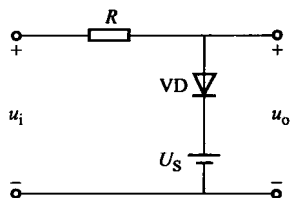


图 1-13 例 1.2 图

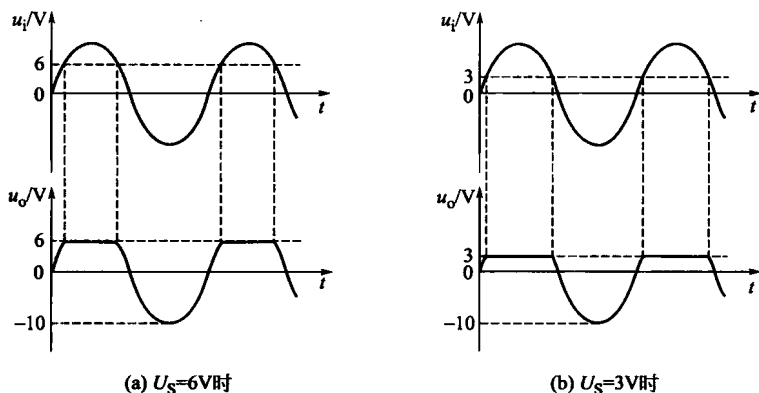


图 1-14 图 1-13 所示电路的波形

【思考题】

- 1-4-1 什么是二极管的伏安特性?
- 1-4-2 硅二极管和锗二极管的伏安特性主要区别是什么?
- 1-4-3 如何用万用表检测二极管的性能?

1.5 稳压管

稳压二极管是一种硅材料制成的面接触型二极管, 简称为稳压管。稳压管在反向击穿时, 在一定的电流范围内端电压几乎不变, 表现出很好的稳压特性。

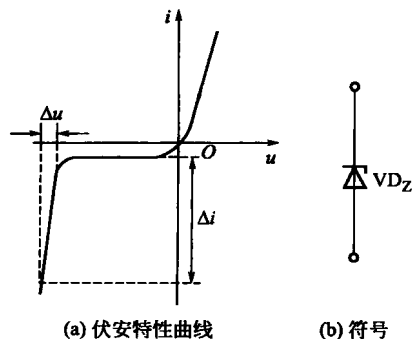


图 1-15 稳压二极管的伏安特性曲线及符号

1.5.1 稳压管的伏安特性

稳压管有着与普通二极管相类似的伏安特性, 正向特性为指数关系, 但反向击穿特性曲线比较陡直, 如图 1-15(a) 所示。稳压管在外加反向电压达到一定值时被击穿, 击穿区的曲线很陡峭, 因此在一定的电流范围内端电压几乎不变。只要控制反向电流不超过一定值, 管子不会因过热而烧坏。

稳压管的正常工作区域是反向击穿区, 电路符号如图 1-15(b) 所示。

1.5.2 稳压管的主要参数

1) 稳定电压 U_Z

稳定电压是稳压管工作在反向击穿区时的稳定工作电压。由于稳定电压随着工作电流的不同而略有变化,因而测试 U_Z 时应使稳压管的电流为规定值。稳定电压 U_Z 是根据要求挑选稳压管的主要依据之一。不同型号的稳压管,其稳定电压值不同。同一型号的管子,由于制造工艺的分散性,各个管子的 U_Z 值也有差别。例如稳压管 2DW7C,其 $U_Z=6.1\sim 6.5\text{V}$,表明均为合格产品,其稳定值有的管子是 6.1V,有的可能是 6.5V 等,但这并不意味着同一个管子的稳定电压的变化范围有如此大。

2) 稳定电流 I_Z

稳定电流是使稳压管正常工作时的最小电流,也记作 $I_{Z\min}$ 。如果,稳压管的电流低于此值时稳压效果较差,甚至不稳压。只要不超过稳压管的额定功率,工作电流越大,稳压效果越好。

3) 动态电阻 r_Z

动态电阻是稳压管工作在稳压区时,两端电压变化量与电流变化量之比。因此, r_Z 值越小,则稳压性能越好。同一稳压管,一般工作电流越大时, r_Z 值越小。

4) 额定功耗 P_{ZM}

P_{ZM} 等于稳压管的稳定电压值 U_Z 与最大稳定电流的乘积。稳压管的功耗超过此值时,管子由于过热而烧坏。 P_{ZM} 取决于稳压管允许的温升。

5) 温度系数 α

α 指稳压管温度变化 1°C 时,所引起的稳定电压变化的百分比。一般情况下,稳定电压大于 7V 的稳压管, α 为正值,即当温度升高时,稳定电压值增大。而稳定电压小于 4V 的稳压管, α 为负值,即当温度升高时,稳定电压值减小。稳定电压在 4~7V 间的稳压管,其 α 值较小,稳定电压值受温度影响较小,性能比较稳定。

【思考题】

稳压二极管的工作区在何处?

本章小结

半导体有自由电子和空穴两种载流子参与导电。本征半导体中,两者浓度相等;N 型半导体中,自由电子为多数载流子;P 型半导体中多数载流子为空穴。构成半导体器件的核心是 PN 结,PN 结具有单向导电性。

二极管由一个 PN 结构成,也具有单向导电性,即正偏导通,反偏截止。常见的二极管应用电路有整流电路、限幅电路等。

稳压管是特殊二极管,在外加反向电压达到一定值时被击穿,击穿区的曲线很陡峭,因此在一定的电流范围内端电压几乎不变。

习 题 一

1-1 填空题

- (1) 半导体的导电能力介于_____和_____之间。
- (2) P 型半导体中自由电子是_____载流子,空穴是_____载流子。
- (3) PN 结具有_____,当加_____电压时导通,加_____电压时截止。

1-2 判断题

(1) N型半导体中自由电子数多于空穴数, 所以带负电。()

(2) 半导体二极管是线性器件。()

(3) 稳压二极管加反向电压就一定工作在稳压区。()

1-3 如图 1-16 所示, 设二极管是理想的, 求各电路的输出电压。

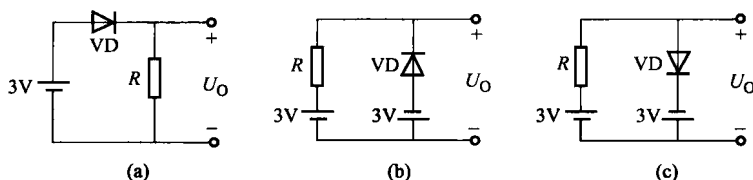


图 1-16 题 1-3 图

1-4 如图 1-17 所示, 设二极管是理想的, 求电路的输出电压。

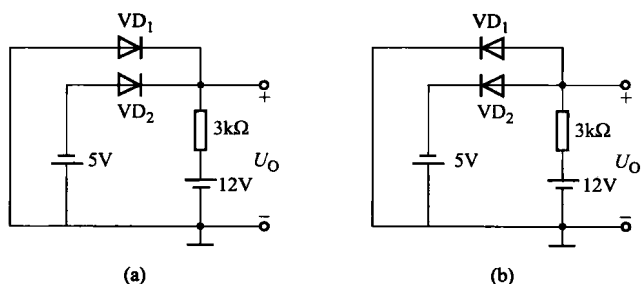


图 1-17 题 1-4 图

1-5 如图 1-18 所示, 设二极管是理想的, $u_i = 10\sin\omega t$ V, 画出输出电压的波形。

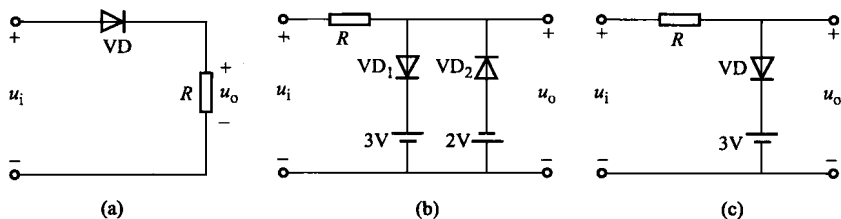


图 1-18 题 1-5 图

1-6 如图 1-19 所示二极管电路, 设二极管的导通电压 $U_{D(on)} = 0.7$ V, 求输出电流和输出电压。

1-7 如图 1-20 所示稳压电路, $U_1 = 20$ V, 稳压管的 $U_Z = 8.5$ V, $I_{Zmin} = 5$ mA, $P_{ZM} = 250$ mW。求稳压管中流过的电流和输出电压。如果输入电压有 10% 的波动, 稳压管是否安全? 能否稳压?

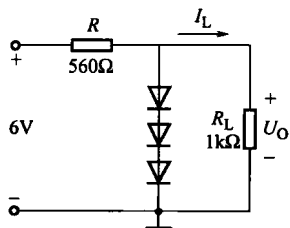


图 1-19 题 1-6 图

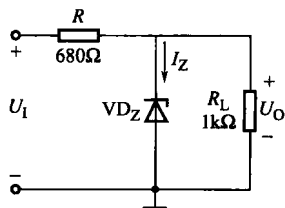


图 1-20 题 1-7 图

1-8 现有两只稳压管, 它们的稳定电压值分别为 6 V 和 8.5 V, 正向导通电压为 0.7 V。试问:

(1) 若将它们串联相接, 则可得到几种稳压值? 各为多少?

(2) 若将它们并联相接, 则又可得到几种稳压值? 各为多少?

