



普通高等教育“十三五”应用型人才培养规划教材

模拟电子技术 应用

MONI DIANZI JISHU JI YINGYONG

主 编 / 景兴红 宋 苗
副主编 / 王泽芳 聂增丽
周树林 朱婉婷



西南交通大学出版社



普通高等教育“十三五”应用型人才培养规划教材

模拟电子技术及应用

MONI DIANZI JISHU JI YINGYONG

主 编 / 景兴红 宋 苗
副主编 / 王泽芳 聂增丽
 闫树林 朱婉婷

西安交通大学出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

模拟电子技术及应用 / 景兴红, 宋苗主编. —成都:
西南交通大学出版社, 2015.8
普通高等教育“十三五”应用型人才培
养规划教材
ISBN 978-7-5643-4201-2

I. ①模… II. ①景… ②宋… III. ①模拟电路—电
子技术—高等学校—教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 195869 号

普通高等教育“十三五”应用型人才培
养规划教材

模拟电子技术及应用

主编 景兴红 宋 苗

责 任 编 辑 黄淑文
特 邀 编 辑 黄庆斌
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://www.xnjdcbs.com>

印 刷 成都勤德印务有限公司

成 品 尺 寸 185 mm × 260 mm

印 张 12.75

字 数 317 千

版 次 2015 年 8 月第 1 版

印 次 2015 年 8 月第 1 次

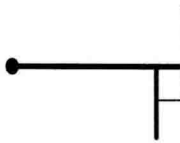
书 号 ISBN 978-7-5643-4201-2

定 价 29.80 元

课件咨询电话: 028-87600533

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

本书是根据近年来应用型本科教育理念,在多年教学改革与实践的基础上,强调应用能力、分析学生学情等情况,充分体现应用型本科学生理论够用为度,强化实践操作,注重培养分析与解决问题能力的基本原则,专门为应用型本科电类专业编写的模拟电子技术教材。

本书较之于传统模拟电子技术教材,重构了知识体系,重视实践教学、强化应用型人才培养。具体特点如下:

(1) 知识体系注重实用性,项目选取注重科学性。本书删除了应用较少,理论推导过于复杂的知识点,确保“突出应用”为主的知识点体系,项目选择突出实用性、趣味性。

(2) 融入虚拟实验平台并结合第二课堂。在教学过程融入虚拟实验平台、实验验证及项目实施。虚拟教学平台让教学更为直观且有利于学生课后学习,充分体现了虚拟实验与实际动手相结合、课上与课下相结合。

全书共分为6章,内容深入浅出、简单明了。书中首先对常用的基本电路,如反馈放大电路、集成运放电路、信号产生电路等简化了理论分析,主要采用定性分析的方法讲述,避免了烦琐的公式推导,本书也精心挑选了一些工程实用电路,使学生循序渐进地学习,逐步掌握综合分析电路的能力。最后一个项目“模拟电子综合应用电路”的制作是全书综合型项目,主要锻炼学生对模拟电子电路的调试、检修等综合应用能力。除第6章外,本书每章均有相应的习题,便于学生巩固所学知识。本书建议学时为64学时,各学校可根据实际情况适当调整学时。

全书由景兴红、宋苗主编,具体编写分工为:朱婉婷负责编写第1章;王泽芳负责编写第2章;聂增丽负责编写第3章;景兴红负责组织编写及编写了第4章;宋苗负责编写第5章、附录以及最后的统稿工作;周树林编写了第6章。最后由重庆科技学院刘解生教授负责审稿。本书在编写过程中,得到了重庆工程学院相关老师的支持和帮助,很多教师给予了很多中肯意见,在此一并表示感谢。

限于编者水平有限,书中难免有错漏或不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编者
2015年7月

目 录

第 1 章 半导体二极管和基本应用电路	1
1.1 半导体及二极管特性	1
1.2 二极管的分类和应用	9
1.3 直流稳压电源概述	14
1.4 整流电路	16
1.5 滤波电路	19
1.6 集成稳压电路	21
1.7 集成稳压电路仿真和制作	23
习 题	28
第 2 章 晶体管及其放大电路	30
2.1 双极性晶体管概述	30
2.2 三极管放大电路的基本分析方法	41
2.3 其他放大电路	57
2.4 多级放大电路	69
2.5 场效应晶体管	75
2.6 仿真实验	82
习 题	85
第 3 章 集成运算放大器	90
3.1 差分放大电路	90
3.2 集成运算放大器概述	96
3.3 反馈放大电路	101
3.4 基本运算放大电路	113
3.5 电压比较器	118
3.6 有源滤波电路	122
3.7 集成运放的应用	127
习 题	134

第 4 章 功率放大电路	144
4.1 功率放大电路概述	144
4.2 对称式推挽功率放大电路	147
4.3 集成功率放大电路	149
4.3 TDA2030 BTL 功率放大电路的仿真与制作	153
习 题	154
第 5 章 波形发生电路	156
5.1 正弦波振动电路与反馈放大电路区别	156
5.2 正弦波振动电路的振荡条件	156
5.3 RC 正弦波振荡电路	158
5.4 LC 正弦波发生电路	161
5.5 石英晶体振荡器	165
5.6 非正弦波发生电路	167
5.7 正弦波发生器制作	173
习 题	175
第 6 章 模拟电子综合应用电路	178
6.1 项目任务提出	178
6.2 任务一 扩音机的制作	180
6.3 任务二 超外差式收音机的制作	182
6.4 项目总结与自我评价	185
附录 1 Multisim 10 软件应用基础	187
附录 2 电子电路装配基础	190
参考文献	197

1.1 半导体及二极管特性

1.1.1 半导体基础知识

半导体器件是电子电路中应用最普遍的基本元件，是由经过特殊加工且性能可控的半导体材料制成的。

1. 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。

(1) 半导体

物质的导电性能决定于原子结构。导体一般为低价元素，它们的最外层电子极易挣脱原子核的束缚成为自由电子，在外电场的作用下产生定向移动，形成电流。高价元素（如惰性气体）或高分子物质（如橡胶），它们的最外层电子受原子核束缚力很强，很难成为自由电子，所以导电性极差，成为绝缘体。所谓半导体是指导电能力介于导体和绝缘体之间的一种物质。最常用的半导体材料是硅（Si）和锗（Ge）两种元素半导体。

半导体的真正应用价值并不在于其导电能力与导体或绝缘体在数值上的差异（如电阻率的大小等），最主要的是它具有如下两种独特性质：

- ① 当半导体受到外界光和热的激发时，其导电能力会发生显著变化（即光敏与热敏特性）。
- ② 在形成晶体结构的半导体中加入微量的杂质，其导电能力也会有显著的增加（即掺杂特性）。

(2) 本征半导体及其导电作用

① 本征半导体。

将纯净的半导体经过一定的工艺过程制成单晶体，这个单晶体为本征半导体。晶体中的原子在空间形成排列整齐的点阵，称为晶格。由于相邻原子间的距离很小，因此，相邻的两个原子的一对最外层电子（即价电子）不但各自围绕自身所属的原子核运动，而且出现在相邻原子的轨道上，成为共用电子，这样的组合称为共价键结构，如图 1.1（a）所示。图中标有“+4”的圆圈表示除价电子外的正离子。

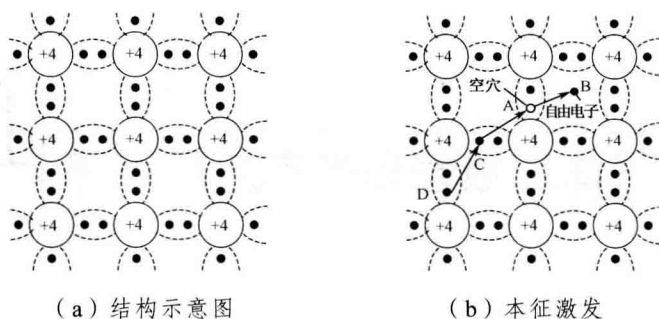


图 1.1 本征半导体

② 本征半导体中的两种载流子。

晶体中的共价键具有很强的结合力。因此，在热力学温度为 0 K （即 $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）时，本征半导体中的价电子不能挣脱共价键的束缚，不能自由移动。此时，本征半导体是不能导电的。在常温下，仅有极少数的价电子由于热运动（热激发）获得足够的能量，从而挣脱共价键的束缚变成成为自由电子。当温度升高或受光照射时，价电子以热运动的形式不断地从外界获取能量，少数价电子获得足够大的能量从而挣脱共价键的束缚，成为自由电子，与此同时，在共价键中留下一个空位置，称为空穴。因此，半导体在热激发下产生自由电子和空穴对的现象称为本征激发。

原子因失掉一个价电子而带正电，或者说空穴带正电，如图 1.1 (b) 所示，其中 A 处为空穴，B 处为自由电子。在本征半导体中，自由电子和空穴是成对出现的，所以称为电子空穴对。

运载电荷的粒子称为载流子。导体中只有一种载流子，即自由电子导体。在本征半导体中存在两种载流子，带负电荷的自由电子和带正电荷的空穴。由于本征激发产生的电子空穴对的数目很少，载流子浓度很低，因此本征半导体的导电能力仍然很弱。

在本征激发产生电子空穴对的同时，自由电子在运动中因能量的损失有可能和空穴相遇，重新被共价键束缚起来，电子空穴对消失，这种现象称为“复合”。在一定的温度下，激发和复合都在不停地进行，最终将达到动态平衡，换言之，在一定的温度下本征半导体中载流子的浓度是一定的，并且自由电子与空穴的浓度相等。

综上所述，一方面本征半导体中载流子的浓度很低，故其导电性能很差；另一方面载流子的浓度与环境温度有关，所以其导电性能受环境温度影响。半导体材料对温度的敏感性既可以用来制作热敏器件，又是造成半导体器件热稳定性差的原因。

2. 杂质半导体

通过扩散工艺，在本征半导体中掺入微量合适的杂质，就会使半导体的导电性能发生显著改变，形成杂质半导体。根据掺入的杂质元素不同，可形成 N 型半导体和 P 型半导体。控制掺入杂质的深度，就可控制杂质半导体的导电性能。

(1) N 型半导体

在纯净的硅（或锗）晶体中掺入微量的 5 价元素（如磷），使之取代晶格中硅原子的位置，就形成了 N 型半导体。杂质磷原子最外层有 5 个价电子，它以 4 个价电子与周围的硅原子形

成共价键，多余的一个价电子处于共价键之外，只需获得很少的能量，就成为自由电子，而磷原子本身因失去电子变成带正电荷的离子，如图 1.2 所示。

由于这种杂质原子可以提供自由电子，因此称为施主原子。通常，掺杂所产生的自由电子浓度远大于本征激发所产生的自由电子或空穴的浓度，所以杂质半导体的导电性能远超过本征半导体。

显然，在 N 型半导体中，自由电子浓度远大于空穴浓度，所以称自由电子为多数载流子（简称多子），空穴为少数载流子（简称少子）。N 型半导体主要靠自由电子导电，多子的浓度取决于所掺杂质的浓度，多子（自由电子）的浓度越高，导电性能越强；而少子是由本征激发产生的，因此它的浓度与温度或光照密切相关。

(2) P 型半导体

在纯净的硅（或锗）晶体中掺入微量的 3 价元素（如硼），使之取代晶格中硅原子的位置，就形成了 P 型半导体。由于硼原子的最外层只有 3 个价电子，它与周围的硅原子形成共价键时，因缺少一个电子而产生一个空位（即空穴）。在室温下它很容易吸引邻近硅原子的价电子来填补，于是杂质硼原子变为带负电荷的离子，而邻近硅原子的共价键中则出现了一个空穴，如图 1.3 所示。

由于这种杂质原子能吸收电子，因此称为受主原子。显然，在 P 型半导体中，空穴是多子，而自由电子是少子。

关于掺杂的概念在这里还可以作一些引申。如果半导体中的同一区域既有施主原子，又有受主原子，则其导电类型（N 型还是 P 型）取决于浓度大的杂质。因此，若在 N 型半导体中掺入浓度更大的受主杂质，则可将其变为 P 型半导体，反之亦然。这种因杂质的相互作用而改变半导体类型的过程，称为杂质补偿，它在半导体器件的制造中得到了广泛的应用。

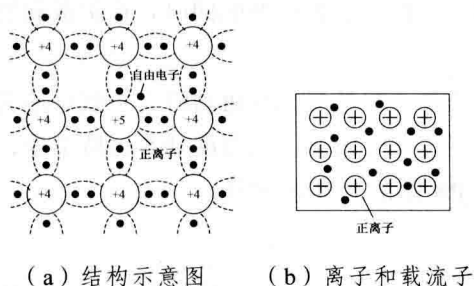


图 1.2 N 型半导体

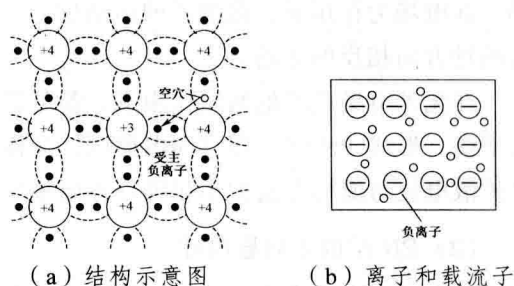


图 1.3 P 型半导体

对于杂质半导体，多子的浓度愈高，少子的浓度就愈低。可以认为，多子的浓度约等于所掺杂质原子的浓度，因而它受温度影响很小；而少子是本征激发形成的，所以尽管其浓度很低，却对温度非常敏感，这将影响半导体器件的性能。

3. PN 结

采用不同的掺杂工艺，将 P 型半导体和 N 型半导体制作在同一块本征半导体基片上，在它们的交界面就会形成一层很薄的特殊导电层，即 PN 结。PN 结是构成各种半导体器件的基础，它具有单向导电性。

(1) PN 结的形成

① 多子的扩散运动。

物质总是从浓度高的地方向浓度低的地方运动, 这种由于浓度差而产生的运动称为扩散运动。当把 P 型半导体和 N 型半导体制作在一起时, 如图 1.4 (a) 所示, N 区的电子多空穴少, P 区则是空穴多电子少, 在交界面两侧就出现了浓度差, 从而引起了多数载流子的扩散运动。N 区的电子向 P 区扩散, 而 P 区的空穴也要向 N 区扩散, 扩散到相反区域的载流子将被大量复合, 在交界面附近多子的浓度就会下降, P 区出现负离子区, N 区出现正离子区, 它们是不能移动的, 称为空间电荷区, 如图 1.4 (b) 所示。

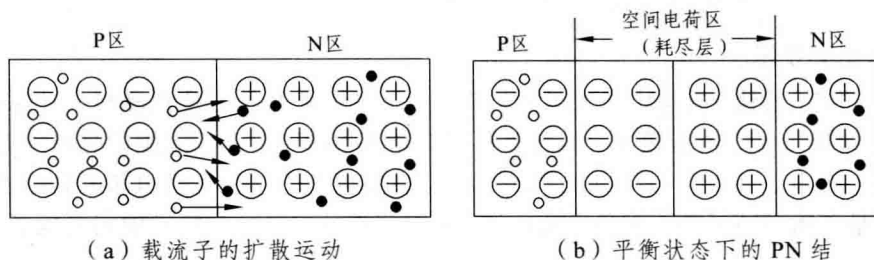


图 1.4 PN 结的形成

② 少子的漂移运动。

空间电荷区出现的同时, 也产生了一个由 N 区指向 P 区的内电场。随着扩散运动的进行, 空间电荷区加宽, 内电场加强, 正好阻止扩散运动的进行, 因此空间电荷区又称为势垒区或阻挡层。

内电场将引起少数载流子的漂移运动, P 区的电子向 N 区运动, 而 N 区的空穴向 P 区运动。在电场力作用下, 载流子的运动称为漂移运动。因此在交界面两侧同时存在扩散和漂移这两种方向相反的运动。

在无外电场或其他激发作用下, 参与扩散运动的多子和参与漂移运动的少数数目达到动态平衡, 形成 PN 结, 即空间电荷区, 又称为耗尽层。空间电荷区的宽度基本保持不变, 此时扩散电流与漂移电流大小相等, 方向相反, 流过 PN 结的总电流为零。

(2) PN 结的单向导电性

若在 PN 结两端外加电压, 即给 PN 结加偏置电压, 就将破坏原来的平衡状态, 扩散电流不再等于漂移电流, 因而 PN 结中将有电流流过。而当外加电压极性不同时, PN 表现出截然不同的导电性能, 即呈现出单向导电性。

① 正向导通。

若 PN 结的 P 端接电源正极、N 端接电源负极, 这种接法称为 PN 结外加正向电压, 也称为正向偏置, 如图 1.5 (a) 所示。此时, 外电场将多子推向空间电荷区, 使 PN 结变窄, 削弱了内电场, 破坏了原来的平衡, 使扩散运动加剧, 而漂移运动减弱。由于扩散运动源源不断地进行, 形成较大的正向电流 (主要为多子的扩散电流), 其方向由 P 区指向 N 区, 此时 PN 结对外电路呈现较小的电阻, 这种状态称为 PN 结正向导通。

② 反向截止。

若 PN 结的 P 端接电源负极、N 端接电源正极，这种接法称为 PN 结外加反向电压，也称反向偏置，如图 1.5 (b) 所示。此时，外电场使空间电荷区变宽，加强了内电场，阻止扩散运动的进行，而加剧漂移运动的进行，形成反向电流(主要为少子的漂移电流)，其方向由 N 区指向 P 区。此时，少子的数目极少，即使所有的少子都参与漂移运动，反向电流也非常小，PN 结对外电路呈现较高的电阻，这种状态称为反向截止。

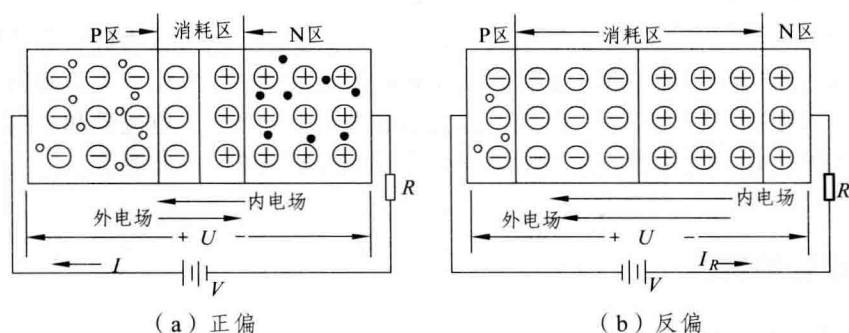


图 1.5 外加电压时的 PN 结

综上所述，PN 结正向导通、反向截止，这就是 PN 结的单向导电性。由于 PN 结是构成二极管的核心组成部件，因此它也决定了二极管的单向导电性。

1.1.2 二极管概述

1. 二极管的结构与符号

将 PN 结用外壳封装起来，并加上电极引线就构成了半导体二极管，简称二极管。由 P 区引出的电极为阳极，由 N 区引出的电极为阴极。各种普通二极管（简称二极管，区别于稳压、变容、发光、光电等特殊二极管）器件的外形图及封装形式如图 1.6 所示。

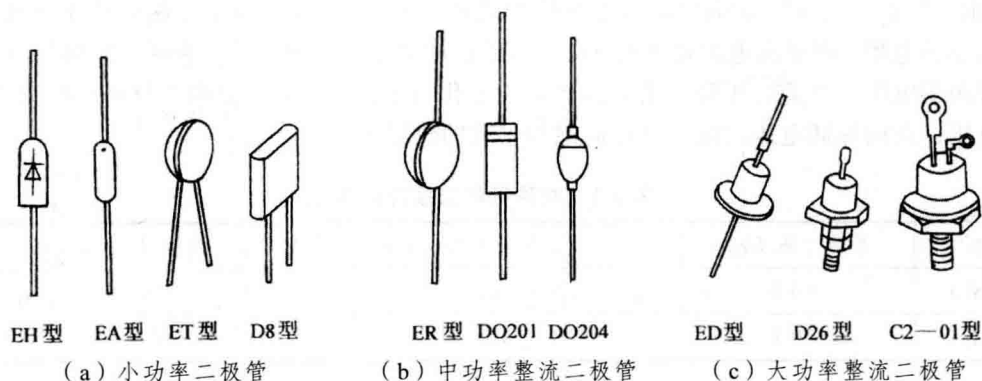


图 1.6 各种普通二极管外形图及封装形式

二极管的基本结构如图 1.7 (a) 所示。二极管的电路符号如图 1.7 (b) 所示，其箭头方向表示正向电流的方向，即由阳极指向阴极的方向。

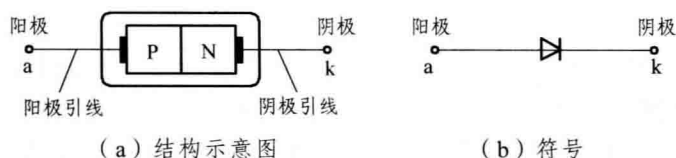


图 1.7 二极管的结构和符号

2. 二极管的分类

二极管种类很多, 分类方法也不相同。按所用的半导体材料可分为硅管和锗管; 按功能可分为开关管、整流管、稳压管、变容管、发光管和光敏管等, 其中开关管和整流管统称为普通二极管, 其他则统称为特殊二极管; 按工作电流大小可分为小电流管和大电流管; 按耐压高低可分为低压管和高压管; 按工作频率高低可分为低频管和高频管等。

1.1.3 二极管的特性

1. 二极管的伏安特性

与 PN 结一样, 二极管最基本的特性就是单向导电性。二极管的伏安特性曲线如图 1.8 所示。实测二极管的伏安特性时发现, 只有在正向电压足够大时, 正向电流才从零随端电压按指数规律增大。

(1) 正向特性

二极管两端不加电压时, 其电流为零, 故特性曲线从原点开始。正向特性曲线开始部分变化很平缓, 表明当正向电压较小时, 正向电流很小, 此时二极管实际上没有导通, 工作于“死区”。死区以后的正向特性曲线上升较快, 表明只有在正向电压超过某一数值后, 电流才显著增大, 这个电压称为导通电压或开启电压、死区电压、门槛电压, 用 U_{on} 表示。当 $U > U_{on}$ 时, 正向电流从零开始随端电压按指数规律增大, 二极管处于导通状态, 呈现很小的电阻。当正向电流较大时, 正向特性曲线几乎与横轴垂直, 表明当二极管导通时, 二极管两端电压 (称为管压降, 用 U_{VD} 表示) 变化很小。表 1.1 列出两种材料小功率二极管开启电压、正向导通电压的范围及反向饱和电流的数量级。

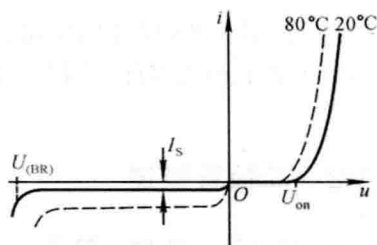


图 1.8 二极管伏安特性图

表 1.1 两种材料二极管比较

材料	开启电压 U_{ON}	导通电压 U/V	反向饱和电流 $I_{sat}/\mu A$
硅 (Si)	≈ 0.5	$0.6 \sim 0.8$	< 0.1
锗 (Ge)	≈ 0.1	$0.1 \sim 0.3$	几十

(2) 反向特性

反向特性曲线靠近横轴, 表明当二极管外加反向电压时, 反向电流很小, 管子处于截止状态, 呈现出很大的电阻, 而且当反向电压稍大后, 反向电流基本不变, 即达到饱和。因此

二极管的反向电流又称为反向饱和电流,用 I_{sat} 表示。小功率硅管的反向电流一般小于 $0.1\text{ }\mu\text{A}$,而锗管通常为几微安。反向电流越小,二极管的单向导电性越好。

(3) 反向击穿特性

当二极管两端所加的反向电压增大到某一数值后,反向电流急剧增加,这种现象称为二极管的反向击穿。图 1.8 中反向电流随电压急剧变化的区域称为反向击穿区,反向电流开始明显增大时所对应的反向电压 U_{BR} 称为反向击穿电压。二极管的反向击穿属于电击穿,它是由于外加电场的作用,导致 PN 结中载流子的数量大大增加,反向电流急剧增大。

二极管反向击穿后,一方面它失去了单向导电作用,另一方面是因 PN 结中流过很大的电流致使 PN 结发热,若电流过大将导致 PN 结过热而烧毁,这种现象就是热击穿。显然,热击穿必须避免,因为它会造成二极管的永久损坏;电击穿一般也应避免,因为它使二极管失去了单向导电性。但如果采取限流措施,使二极管只出现电击穿,则当反向电压下降到 $|U| < U_{\text{BR}}$ 时,二极管又可以恢复到击穿前的情况,即电击穿具有可逆性。同时需要特别指出的是,普通二极管的反向击穿电压较高,一般在几十伏到几百伏以上(高反压管可达几千伏),因此普通二极管在实际应用中不允许工作在反向击穿区。

除反向击穿区外,二极管的伏安特性也可以用特性方程来描述。

$$I = I_{\text{sat}}(e^{U/U_T} - 1)$$

式中, I_{sat} 为反向饱和电流, $U_T = kT/q$ 为温度电压当量,其中 k 为玻耳兹曼常数, T 为热力学温度, q 为电子电量。在室温为 $27\text{ }^\circ\text{C}$ 或 300 K 时, $U_T \approx 26\text{ mV}$ 。

2. 二极管的电容效应

二极管具有电容效应,根据产生的原因不同分为势垒电容和扩散电容。

(1) 势垒电容

势垒电容是由耗尽层形成的。耗尽层中不能移动的正、负离子具有一定的电量,当外加电压变化时,耗尽层的宽度将随之变化,电荷量也将发生改变,即耗尽层的电荷量随外加电压的变化而改变,这种现象与电容器的充放电过程相似,这种电容效应称为势垒电容,用 C_b 表示。

势垒电容 C_b 不是一个常量,它不但与 PN 结的结面积、耗尽层宽度和半导体材料的介电常数有关,而且还取决于外加电压的大小。当 PN 结反偏时,反向电压越大,耗尽层越宽, C_b 越小,因此 C_b 为非线性电容,一般为几皮法以下。

(2) 扩散电容

PN 结的正向电流为多子的扩散电流。在扩散过程中,载流子必须有一定的浓度梯度即浓度差,在结的边缘处浓度大,离结远的地方浓度小。当 PN 结的正向电压增大时,扩散运动加强,载流子的浓度增大且浓度梯度也增大,从外部看正向电流增大;当外加正向电压减小时,与上述变化过程相反。扩散过程中载流子的这种变化是电荷的积累和释放过程,与电容器的充放电过程相似,这种电容效应称为扩散电容,用 C_d 表示。

扩散电容 C_d 也是非线性电容。PN 结正偏时 C_d 较大,且正向电流越大, C_d 越大,而反偏时 C_d 可以忽略。通常 C_d 为几十皮法以下。

(3) 结电容

PN 结的结电容 C_j 为 C_b 与 C_d 之和, 即

$$C_j = C_b + C_d$$

正偏时, $C_b \ll C_d$, 结电容 C_j 以扩散电容为主; 反偏时, $C_b \gg C_d$, C_j 主要由势垒电容决定。由于 C_b 与 C_d 一般都很小, 对于低频信号呈现很大的阻抗, 其作用可忽略不计, 但当信号频率较高时, 高频电流将主要从结电容通过, 这就破坏了二极管的单向导电性, 因此当工作频率很高时, 就要考虑结电容的作用, 或者说工作频率受到一定的限制。

3. 二极管的温度特性

由于半导体材料具有热敏特性, 因此二极管对温度也有一定的敏感性。环境温度升高时, 二极管的正向特性曲线将左移, 反向特性曲线下移, 如图 1.8 所示。在室温附近, 温度每升高 1°C , 正向压降减小 $2 \sim 2.5 \text{ mV}$; 温度每升高 10°C , 反向电流约增大一倍。显然, 二极管的反向特性受温度影响较大, 这一点对二极管的实际应用是不利的, 因为不管是普通二极管还是特殊二极管均有可能工作在反向区。需要指出的是, 温度对二极管的影响是不可避免的, 因为温度总是存在且经常变化的。

4. 二极管的等效电路

二极管的伏安特性具有非线性, 这给二极管应用电路分析带来了一定的困难。为了便于分析, 常在一定条件下, 用线性元件所构成的电路来近似模拟二极管的特性, 并用之取代电路中的二极管。能够模拟二极管特性的电路称为二极管的等效电路, 也称为二极管的等效模型。这里主要介绍普通二极管的等效电路分析法。

(1) 理想模型

理想二极管的 U - I 特性如图 1.9 (a) 所示, 其中的虚线表示实际二极管的 U - I 特性。其等效电路如图 1.9 (b) 所示。由图 1.9 (a) 可知, 在正向偏置时, 其管压降为 0 V , 而当二极管处于反向偏置时, 它的电阻为无穷大, 电流为 0 A 。在实际的电路中, 当电源电压远大于二极管的管压降时, 利用此法来近似分析是可行的。

(2) 恒压降模型

恒压降模型如图 1.10 所示, 其基本思想是二极管导通后, 其管压降 U_{VD} 是恒定的, 不随电流而变化, 典型值为 0.7 V 。不过, 这只有当二极管的电流 i_{VD} 近似等于或大于 1 mA 时才是可行的。该模型提供了合理的近似, 因此应用也较广。

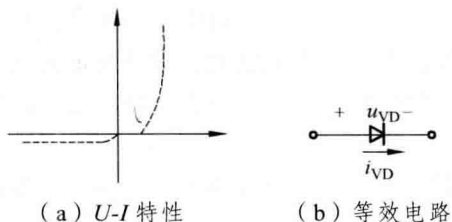


图 1.9 理想模型

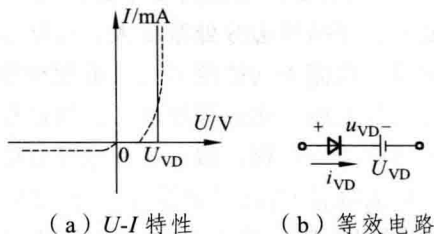


图 1.10 恒压降模型

【简单测试】 分别用万用表的 $R \times 10$ 挡、 $R \times 100$ 挡和 $R \times 1\,000$ 挡测量二极管 1N4148 的正向电阻值，并记录 $R_{VD} = \underline{\hspace{1cm}}$ ， $\underline{\hspace{1cm}}$ ， $\underline{\hspace{1cm}}$ 。

结论：二极管的正向直流电阻将随电流的变化而____（变化/不变化）。

显然，用万用表直接测量出的电阻就是二极管的直流电阻 R_{VD} ，一般二极管的正向直流电阻约在几十欧至几千欧之间，反向直流电阻一般在几百千欧以上，且有 $R_{VD} > r_{VD}$ ，电流 I_{VD} 越大，它们的值均越小。

1.2 二极管的分类和应用

1.2.1 二极管的型号和命名

根据国家标准 GB-249-74 规定，二极管的型号命名由五部分组成，如表 1.2 所示。

表 1.2 二极管的型号和命名

第一部分		第二部分		第三部分				第四部分	第五部分
用数字表示器件电极数目		用汉语拼音表示器件的材料和极性		用汉语拼音表示器件的类型					
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	D	低频大功率管	用数字表示器件序号	用汉语拼音表示规格号
		B	P 型，锗材料	V	微波管	A	高频大功率管		
		C	N 型，硅材料	W	稳压管	T	半导体闸流管		
		D	P 型，硅材料	C	参量管	Y	体效应器件		

例如，2CPIO 为 N 型硅材料普通二极管，2C255A 为 N 型硅材料整流二极管，2DWI 为 P 型硅材料稳压二极管。

1.2.2 二极管的主要参数

电子器件的参数是用来定量描述其性能的指标，它表明了器件的应用范围，因此参数是正确使用和合理选择元器件的依据。很多参数可以直接测量，也可以从半导体器件手册中查出。为描述二极管的性能，常引用以下几个主要参数。

1. 最大整流电流 I_F

I_F 是指二极管长期运行时允许通过的最大正向平均电流，它与 PN 结的材料、结面积和

散热条件有关。因为电流流过 PN 结要引起管子发热, 如果在实际应用中流过二极管的平均电流超过 I_F , 则管子将过热而烧坏, 因此二极管的平均电流不能超过 I_F , 并要满足散热条件。

2. 最高反向工作电压 U_R

U_R 是指二极管在使用时所允许加的最大反向电压。为了确保二极管安全工作, 通常取反向击穿电压 U_{BR} 的一半为 U_R , 例如, 二极管 1N4001 的 U_R 规定为 100 V, 而 U_{BR} 实际上大于 200 V。在实际使用时二极管所承受的最大反向电压不应超过 U_R , 否则二极管就有发生反向击穿的危险。

3. 反向电流 I_R

I_R 是指二极管未被击穿时的反向电流。 I_R 越小, 管子的单向导电性越好。由于 I_R 对温度非常敏感, 温度升高时 I_R 将增大, 所以使用时要注意温度的影响。

4. 最高工作频率 f_M

f_M 是二极管工作的上限频率, 由 PN 结的结电容大小所决定。当工作频率超过 f_M 时, 结电容的容抗减小到可以与反向交流电阻相比拟, 二极管将逐渐失去它的单向导电性。

上述参数中的 I_F 、 U_R 和 f_M 为二极管的极限参数, 在实际使用中不能超过。应当指出, 由于制造工艺的限制, 即使是同一型号的管子, 参数的分散性也很大, 一般手册上给出的往往是参数的范围, 另外手册上的参数是在一定的测试条件下测得的, 使用时要注意这些条件, 若条件改变, 则相应的参数值也会发生变化。

1.2.3 二极管的典型应用

1. 二极管的基本应用电路

应用二极管主要是利用它的单向导电性。理想情况下, 二极管导通时可以等效为短路, 截止时可以等效为断路。

(1) 开关电路

普通二极管常作为电子开关, 如图 1.11 所示。图中 u_i 为交流信号 (有用信息), 是受控对象, 其幅度一般很小, 约为几毫伏以下; E 为控制二极管 VD 通断的直流电压, 可达几伏以上。

显然, 当 $E = 0$ 时, 由于二极管 (假设为硅管) 的导通电压为 0.7 V 左右, 几毫伏的交流电压 u_i 不足以使其导通, 因此二极管 VD 截止, 近似为开路, 输出电压 $u_o = 0$; 当 E 为

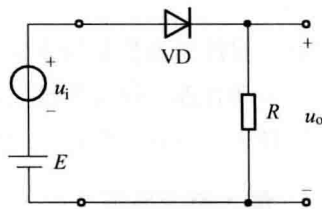


图 1.11 简单电子开关原理

几伏以上时, 二极管 VD 导通, 近似为短路, 输出交流电压 (不计直流) $u_o = u_i$ 。可见, 只要简单改变直流电压 E 的大小, 就可以很方便地实现对交流信号的开关控制。

(2) 整流电路

将交流电压转换成直流电压, 称为整流。普通二极管也可以应用于整流电路。简单整流电路如图 1.12 所示。图中 u_i 为交流电压, 其幅度一般较大, 为几伏以上。

通常在分析整流电路时将二极管近似为理想二极管。当输入电压 $u_i > 0$ 时, 二极管导通, $u_o = u_i$; 当 $u_i < 0$ 时, 二极管截止, $u_o = 0$, 从而可以得到该电路的输入、输出电压波形, 如图 1.13 所示。

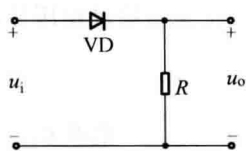


图 1.12 简单整流电路

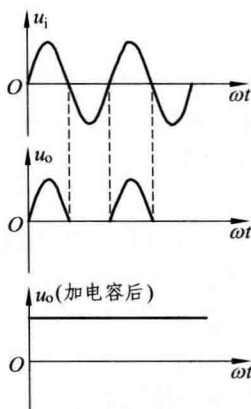


图 1.13 简单整流电路的波形

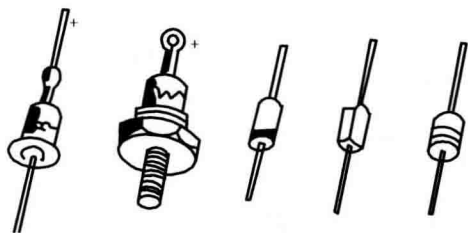
显然整流电路可以将双向交流电变为单向脉动交流电。脉动交流电中虽然含有较大的直流成分, 但由于脉动成分仍较大, 所以还不能直接用作直流电, 通常在输出端并接电容以滤除交流分量, 从而使输出电压中的脉动成分大大减小, 比较接近于直流电。

2. 稳压二极管

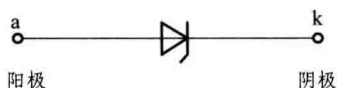
(1) 稳压管的符号

稳压二极管是一种特殊的硅材料二极管, 由于在一定的条件下能起到稳定电压的作用, 故称稳压管, 常用于基准电压、保护、限幅和电平转换电路中。

稳压二极管器件的外形图及电路符号如图 1.14 所示。



(a) 外形图



(b) 符号

图 1.14 稳压二极管的外形图及符号