

21 SHIJI DIANGONGXUE XILIE JIAOCAI

21世纪电工学系列教材

DIANGONG

模拟电子技术基础

Moni Dianzi Jishu Jichu

(第2版)

主编 王英



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

21 世纪电工学系列教材

模拟电子技术基础

(第2版)

主编 王 英

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

全书共分七章,其内容包括双极型半导体器件、基本放大电路、场效应管放大电路、差动放大电路及运算放大器、自激振荡、直流稳压电源、电力电子学基础等。主要阐述模拟电路的基本概念、基本原理、基本分析方法及电力电子学基础。本书每章后都有本章小结,并且配有相关的习题和部分思考题,以帮助读者巩固所学知识,书后附有习题答案。

本书可作为高等工科院校本科机械类、材料类、工程力学类、测量类、机电一体化类、经贸管理类、运输类、建筑类、土木类等非电类专业的“模拟电子技术基础”课程教材,也可作为职业大学、成人教育大学、电视大学和网络教育等类似专业的教材或辅助教材,还可供具有一定电路基础知识的工程技术人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础 / 王英主编. —2 版. —成都:西南交通大学出版社, 2008.9
(21 世纪电工学系列教材)
ISBN 978-7-5643-0052-4

I. 模… II. 王… III. 模拟电路—电子技术—高等学校—教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 133590 号

21 世纪电工学系列教材

模拟电子技术基础

(第 2 版)

主 编 王 英

*

责任编辑 高 平

特邀编辑 张 阅

封面设计 翼虎书装

西南交通大学出版社出版发行

(成都市二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蓉军广告印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 15

字数: 375 千字 印数: 26 001—31 000 册

2000 年 8 月第 1 版 2008 年 9 月第 2 版 2008 年 9 月第 8 次印刷

ISBN 978-7-5643-0052-4

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

本教材是以教育部 2005 年颁发的“高等学校电工学基础课程教学基本要求”为依据,根据国家提出的在 2020 年使我国进入创新型国家行列的发展目标,重新修订的《模拟电子技术基础》、《电路基础》、《电机控制与供电基础》、《数字电子技术基础》配套教材,并同时出版相关的教学与习题指导书。

本版教材是在前版的基础上修订编写而成的。在编写过程中,作者吸收了国内外在电子技术领域及相关学科的科研成果,结合多年教学经验及教学改革成果和“电工学”精品课程建设内容,使得本书更加精练、涵盖面广、可读性强。本教材可供 34~51 学时教学使用。

“模拟电子技术”是非电类专业的技术基础课程。包括有双极型半导体器件、基本放大电路、场效应管放大电路、差动放大电路及运算放大器、自激振荡、直流稳压电源、电力电子学基础等 7 章内容。重点教授基本概念、基本电路、基础工作原理和基本分析方法,以提高学生分析问题、解决问题的能力并拓宽学生知识面为目的,为其今后的学习、创新研究和科学研究工作打下扎实的理论和实践基础。

本书编写的原则是:根据“模拟电子技术”课程的特点,精选内容,强化外特性和实际应用电路的介绍;编写多种类型的例题,拓展教学内容、由浅入深;各章的小结中给出本章重点,有助于自学;针对学习中部分重点、难点,设置与之相配合的习题,力求做到点面结合,培养学生独立思考的能力。在教材的编写中,其内容以注重模拟电子技术基础知识为主线,例题以注重掌握与提高理论知识为目的,习题以注重综合能力培养为目标,使本书更利于学生阅读和自学。

本书可作为高等工科院校本科非电类专业“模拟电子技术”课程的教材,也可作为职业大学、成人教育大学、电视大学和网络教育等类似专业的教材,还可以作为相关工程技术人员的学习和参考资料。由于各学科专业的要求不同,各院校可根据具体的授课学时和专业要求对教材中的内容作适当的调整 and 选择。

本书由西南交通大学王英主编,负责确定编写体系,并对全书进行统稿和定稿;陈曾川、曹保江、何圣仲、徐英雷参与编写。其中,王英编写了第 2 章、附录;陈曾川编写了第 1 章;曹保江编写了第 3 章;何圣仲编写了第 4 章、第 5 章;徐英雷编写了第 6 章、第 7 章。在教材编写过程中,参考了众多优秀教材,受益匪浅;同时,很多前辈和同行也给予了大量的支持。在此,谨表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中错误和不妥之处难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2008 年 4 月

目 录

第 1 章 双极型半导体器件	1
1.1 半导体的基本知识	1
1.2 半导体二极管	5
1.3 稳压二极管	12
1.4 整流、滤波及稳压电路	15
1.5 双极型晶体管	23
小 结	32
习 题	32
第 2 章 基本放大电路	41
2.1 基本放大电路的工作原理	41
2.2 基本放大电路的分析方法	43
2.3 放大性能静态工作点的稳定	55
2.4 射极输出器	60
2.5 阻容耦合放大电路	63
2.6 功率放大电路	72
小 结	86
习 题	87
第 3 章 场效应管放大电路	97
3.1 结型场效应管	97
3.2 绝缘栅场效应管	101
3.3 场效应管的主要参数和使用注意事项	104
3.4 场效应管基本放大电路	106
3.5 共漏极放大电路——源极输出器	110
3.6 VMOS 场效应管及其功率放大电路	112
小 结	113
习 题	114
第 4 章 差动放大电路及运算放大器	118
4.1 直接耦合放大电路的特殊问题	118
4.2 差动式放大电路	121
4.3 集成运算放大器	130
小 结	157
习 题	157

第5章 自激振荡	168
5.1 概 述	168
5.2 RC 正弦波振荡电路	170
5.3 LC 正弦波振荡电路	174
小 结	176
习 题	176
第6章 直流稳压电源	180
6.1 三相桥式整流电路	180
6.2 串联反馈型稳压电路	183
6.3 集成稳压电源	185
6.4 开关直流稳压电源	188
小 结	193
习 题	194
第7章 电力电子学基础	197
7.1 电力电子器件	197
7.2 晶闸管	200
7.3 可控整流电路	206
7.4 晶闸管的触发电路	210
7.5 晶闸管逆变电路	214
7.6 晶闸管的应用实例	217
小 结	219
习 题	219
附录A 国产半导体器件和半导体集成电路型号命名方法	222
附录B 国产晶闸管型号命名法及其电参数	224
附录C 新旧图形符号对照表	226
附录D 模拟电子技术部分基础符号说明	227
部分习题参考答案	230
参考文献	234

第1章

双极型半导体器件

在 20 世纪 50 年代半导体器件逐步替代电子管，特别是 1948 年晶体管 (Transistor) 的发明，对电子技术的发展起到了决定性的作用，而集成电路的产生，又使电子技术进入了一个崭新的时代。从小规模集成电路 (SSI) 到大规模集成电路 (MSI)、大规模集成电路 (LSI) 再到超大规模集成电路 (VLSI)，集成电路工艺水平日新月异，成就了现代电子科学技术的发展。

本章主要介绍半导体材料的基本性质，PN 结及其导电性，半导体二极管 (以下简称“二极管”) 和双极型半导体晶体管 (以下称“晶体管”) 的工作原理、特性曲线和主要参数，而对半导体器件内部的详细的物理过程则只作一般的讨论。

1.1 半导体的基本知识

在自然界中，所有物质按导电能力的强弱可分为导体、绝缘体、半导体三大类。

容易传导电流的材料称为导体，如金属。

几乎不传导电流的材料称为绝缘体，如橡胶、陶瓷、石英、塑料等。

导电能力介于导体和绝缘体之间的称为半导体，由于绝大多数半导体的原子排列呈晶体结构，所以由半导体构成的管件也称晶体管，最常用的半导体材料有锗 (Ge) 和硅 (Si)。

用半导体材料制成的电子器件统称为半导体器件。半导体器件又根据参与导电的载流子种数分为双极型和单极型半导体器件两种。双极型半导体器件有自由电子、空穴两种载流子参与导电，而单极型半导体器件是只有一种载流子 (自由电子或空穴) 参与导电的器件。

半导体的导电性能具有如下两个显著的特点。

(1) 具有光敏性和热敏性。即半导体受到光照或热辐射时，其电阻率会发生很大的变化，导电能力将有明显的改善，利用这一特性可制造光敏元件和热敏元件。

(2) 具有掺杂特性。即在纯净的半导体中掺入微量的其他元素，半导体的导电能力将明显增强。

1.1.1 本征半导体

按照半导体理论，将纯净的具有完整晶体结构的半导体称为本征半导体。

本征半导体在绝对零度，且无外界能源施加能量 (如光照等) 时是不导电的。但当温度升高或接受光照时，一些共价键中的价电子由于获得一定的能量，挣脱原子核的束缚成为自

由电子，这种现象称为本征激发（也称热激发）。原子核因失去电子，在共价键中出现了一个空位，这个呈现出正电性的空位称为空穴。空穴的出现是半导体的一个重要特点。

本征半导体中的自由电子和空穴是成对出现的，称为自由电子空穴对，图 1.1.1 所示。果在半导体两端加上电源 E ，如图 1.1.2 所示，则自由电子将向电源正端定向运动形成电子电流。空穴虽不移动，但因为带正电，故能吸收相邻原子中的价电子来填补，这样共价键中受束缚的价电子在晶体内不断递补空位而间接产生空穴的定向移动，从而形成空穴电流。电子移动时是负电荷的移动，空穴移动时是正电荷的移动，电子和空穴都能运载电荷，所以它们都称为载流子。

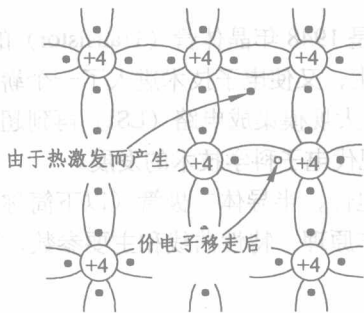


图 1.1.1 本征半导体的电子空穴对

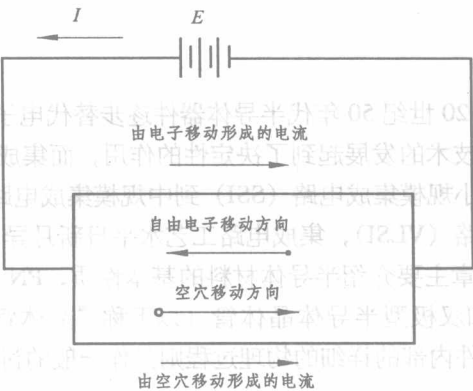


图 1.1.2 载流子在外电场作用下形成电流

1.1.2 杂质半导体

本征半导体中掺进微量的其他元素（称为“杂质”），其导电性能将大大增强。掺有杂质的半导体称为杂质半导体，如 N 型半导体、P 型半导体。

1. N 型半导体

在本征半导体中掺入微量的五价元素（如磷、砷等），这些微量原子的外层有 5 个价电子，其中 4 个与本征半导体的外层电子组成共价键，多余的 1 个价电子则成为自由电子，如图 1.1.3 所示。由于自由电子为多数载流子，故称这类半导体为 N 型半导体。其特点是电子为多数载流子，空穴为少数载流子。

如果五价杂质原子失去 1 个价电子，则成为带正电的杂质离子（图中用 $\oplus$ 表示），因此，常用图 1.1.4 表示 N 型半导体。

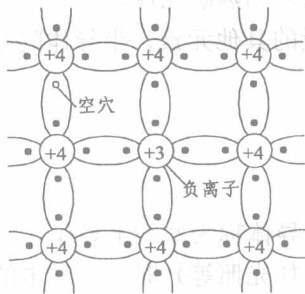


图 1.1.3 N 型半导体的结构示意图

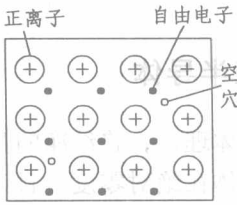


图 1.1.4 N 型半导体示意图

2. P 型半导体

在本征半导体中掺入三价元素（如硼、铝等），这些微量原子的外层有 3 个电子，在组成共价键过程中多出 1 个空位，如图 1.1.5 所示。由于空穴为多数载流子，故称这类半导体为 P 型半导体。其特点是空穴为多数载流子，电子为少数载流子。

如果三价杂质原子获得 1 个价电子，则成为带负电的杂质离子（图中用 $\ominus$ 表示），因此，常用图 1.1.6 表示 P 型半导体。

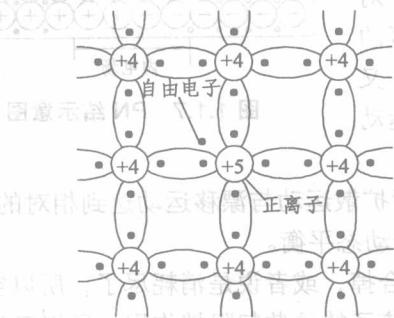


图 1.1.5 P 型半导体的结构示意图

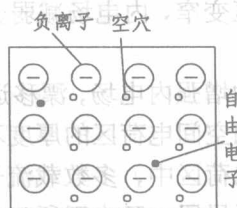


图 1.1.6 P 型半导体示意图

在杂质半导体中，多数载流子的数目是与掺入杂质有关，掺入杂质越多，多数载流子的数目就越多；而少数载流子的数目则与温度有关，温度越高，少数载流子的数目就越多。应当注意，不论是哪一种掺杂半导体，虽然它们都有一种载流子占多数，但半导体中的正负电荷数是相等的，整个晶体仍然保持电中性。

1.1.3 PN 结的形成

PN 结是构成各种半导体器件的核心，许多半导体器件都是用不同数量的 PN 结构成的。所以，PN 结的理论是半导体器件的基础。

1. 载流子的运动

1) 扩散运动

在电中性的半导体中，当同一种载流子出现浓度差别时，载流子将从浓度较高的区域向浓度较低的区域运动，这种由多数载流子（简称多子）形成的运动称为载流子的“扩散运动”。扩散运动产生“扩散电流”。

2) 漂移运动

在电场的作用下，少数载流子（简称少子）作定向运动，称为载流子的“漂移运动”。漂移运动产生“漂移电流”。

2. PN 结的形成

在一块半导体晶体上，采取一定的掺杂工艺，使两边分别形成 P 型半导体和 N 型半导体。由于 N 型半导体中多子是自由电子，而 P 型半导体中多子是空穴，浓度的差别使交界处产生扩散运动，即 N 型区的自由电子向 P 型区扩散，P 型区的空穴向 N 型区扩散。扩散使 N 区

侧因失去自由电子，留下带正电的杂质离子（图中用 $\oplus$ 表示）；P区侧因失去空穴，留下带负电的杂质离子（图中用 $\ominus$ 表示）。由于物质结构的关系，半导体中的杂质离子虽然带电，但不能任意移动，不参与导电。它们集中在N区和P区的交界面两侧，形成了一个很薄的空间电荷区，这个空间电荷区就称为PN结，如图1.1.7所示。

在空间电荷区中，两侧不能移动的正负离子形成了一个内电场，如图1.1.7所示。扩散运动的继续使空间电荷区加宽、内电场增强。而内电场在建立和增强的同时，对多数载流子的扩散运动起阻碍削弱作用，对少子（P区的自由电子和N区的空穴）的漂移运动却起推动作用，又使空间电荷区变窄、内电场减弱，其作用正好与扩散运动相反。

扩散运动增强内电场，漂移运动减弱内电场，最后扩散运动与漂移运动达到相对的稳定，此时内电场和空间电荷区的厚度不再改变，PN结处于动态平衡。

在空间电荷区中，多数载流子扩散到对方并被复合掉，或者说是消耗尽了，所以空间电荷区又称为耗尽层；又由于所建立的内电场对多数载流子的扩散起阻挡作用，所以又称为阻挡层。

PN结的形成过程可简述如下：

多子浓度的差别→扩散运动→杂质离子形成空间电荷区→内电场→促使少子漂移、阻止多子扩散→达到动态平衡

3. PN结的接触电位

内电场的建立，使PN结中产生电位差，从而形成接触电位 V_f ，接触电位 V_f 大小取决于材料及掺杂浓度。

锗： $V_f = 0.2 \sim 0.3 \text{ V}$

硅： $V_f = 0.6 \sim 0.7 \text{ V}$

1.1.4 PN结的单向导电性

PN结通常处于动态平衡状态，当外加一定的电压时会破坏这种动态平衡状态，并显示出PN结的单向导电性。

1. PN结的正向偏置

如图1.1.8所示，在PN结上加正向电压（也称正向偏置，简称正偏），则外加电场与内电场方向相反，“动态平衡”被破坏。这使得空间电荷区变窄、内电场减弱，多子的扩散运动增强、扩散电流加大。在一定范围内，外电场越强，扩散电流（又称为正向电流）越大，这时PN结呈低阻状态。

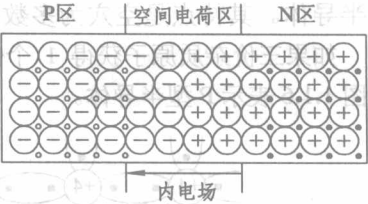


图 1.1.7 PN 结示意图

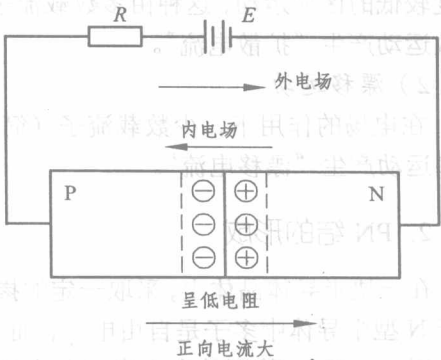


图 1.1.8 PN 结加正向电压

2. PN 结的反向偏置

如图 1.1.9 所示, 在 PN 结加上反向电压 (也称反向偏置, 简称反偏), 外电场和内电场方向一致, 使空间电荷区加宽、内电场增强、多子的扩散运动几乎不能进行, 只有少数子在电场作用下产生漂移运动, 形成微弱的反向电流, 这时 PN 结呈高阻状态。

在一定的温度条件下, 由本征激发所产生的少数子浓度是一定的, 故少数子形成的漂移电流几乎是恒定的, 基本上与所加反向电压的大小无关, 这个电流称为反向饱和电流 I_s 。

综上所述, PN 结加正偏时, 呈现低电阻状态, 正向电流很大, 称 PN 结处于导通状态; PN 结加反偏时, 呈现高电阻状态, 反向电流很小, 称 PN 结处于截止状态。这种在外加电压时显示出的 PN 结特性称为 PN 结的单向导电性。

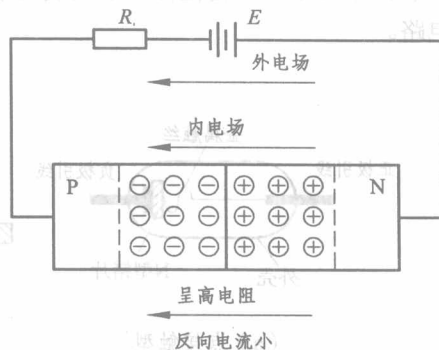


图 1.1.9 PN 结加反向电压

3. PN 结的伏安 ($V-I$) 特性

PN 结外加正向电压时导通、加反向电压时截止的单向导电性, 可用 $V-I$ 特性表示为

$$i = I_s \left(e^{\frac{U}{U_T}} - 1 \right) \quad (1.1.1)$$

式中, I_s 为反向饱和电流; U 为 PN 结两端的电压降; $U_T = KT/q$ 称温度的电压当量, K 为玻耳兹曼常数, q 为电子电荷量, T 为热力学温度, 对于室温 (相当于 $T = 30^\circ\text{C}$) 则有 $U_T = 26\text{ mV}$ 。

(1) 设 PN 结外加正向电压, 即 $U > 0$, 当 U 比 U_T 大几倍时, $i \approx I_s e^{\frac{U}{U_T}}$, 即 PN 结中的电流 i 与电压 u 成指数关系。

(2) 设 PN 结外加反向电压, 即 $U < 0$, 当 $|U|$ 比 U_T 大几倍时, $I_s e^{\frac{U}{U_T}} \approx 0$, $i \approx -I_s$, 即 PN 结中的电流 i 基本不随外加反向电压的大小而变化。

1.2 半导体二极管

1.2.1 二极管的结构和符号

半导体二极管就是由一个 PN 结加上相应的电极引线和管壳封装制成的。P 型半导体一端的电极称为阳极 (也称正极), N 型半导体一电极称为阴极 (也称负极), 其电路图形符号如图 1.2.1 所示。

半导体二极管可分为点接触型、面接触型和平面型三大类, 其结构示意图如图 1.2.2 所示。



图 1.2.1 二极管图形符号

- (1) 点接触型二极管 PN 结面积小，结电容小，用于检波和变频等高频电路。
- (2) 面接触型二极管 PN 结面积大，用于工频大电流整流电路。
- (3) 平面型二极管往往用于集成电路制造工艺中。PN 结面积可大可小，用于高频整流和开关电路。

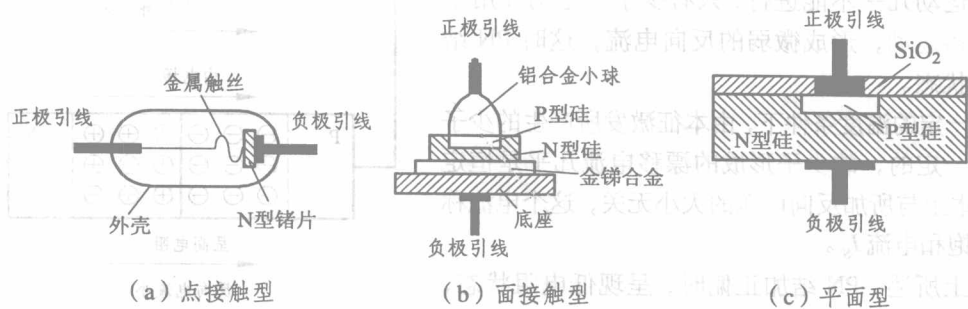


图 1.2.2 半导体二极管的结构

1.2.2 二极管的伏安特性

由于半导体二极管结构中仅存在一个 PN 结，即二极管的伏安特性具有与式 (1.1.1) 相同的性质。因此，二极管的伏安特性和 PN 结的伏安特性基本相同，可用图 1.2.3 表示其伏安特性。

不同材质的二极管其伏安特性是有差异的，但伏安特性曲线的基本形状是相似的。下面，对硅二极管的伏安特性曲线进行讨论。

1. 正向特性

电路如图 1.2.4 所示，其伏安特性如图 1.2.3 中的第一象限内的曲线所示(称为正向特性)。

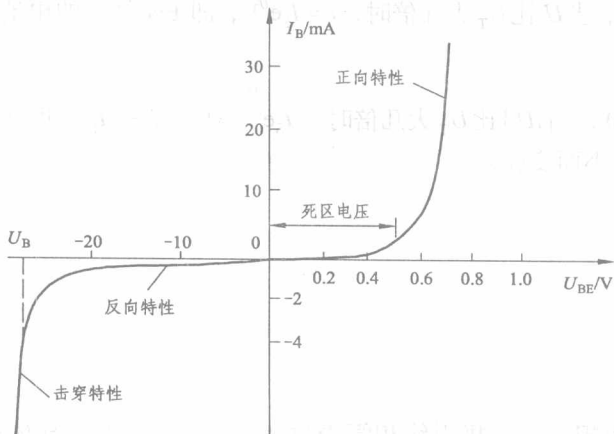


图 1.2.3 硅二极管的伏安特性曲线

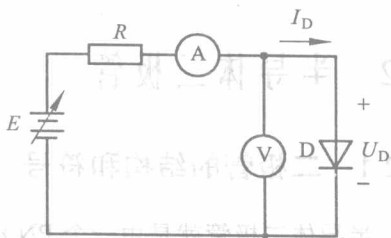


图 1.2.4 二极管正向伏安特性测试电路

(1) 当二极管所加的正向电压 U_D 较小时，由于外加电场还不足以克服 PN 结的内电场对多子扩散运动所造成的阻力，这时的正向电流几乎为零，二极管呈现很高的电阻。这段区域称为“死区”，其电压值称为死区电压（又称开启电压，或称门槛电压）。

通常,硅管的死区电压为 $0.6\sim 0.7\text{ V}$,锗管为 $0.2\sim 0.3\text{ V}$ 。

(2) 当 U_D 大于死区电压时,PN 结的内电场大大削弱,于是电流增长很快,二极管呈现低阻状态,这时二极管为“正向导通”状态。

2. 反向特性

反向特性如图 1.2.3 中第三象限内的曲线所示(称为反向特性)。

在二极管两端外加反向电压不超过一定范围时,由少数载流子的漂移运动而形成很小的反向饱和电流 I_s ,即 $I_D \approx -I_s$ 。二极管呈现高阻状态,这时二极管为“反向截止”状态。

反向饱和电流有两个特点,一是易受温度的影响;二是反向电压在一定范围时,电流基本上是恒定。

3. 反向击穿特性

当外加反向电压过高而超过一定范围时,反向电流突然增大,称为二极管的反向击穿。发生反向击穿所需的反向电压(图 1.2.3 中 U_B)称为反向击穿电压。击穿后的二极管失去了单向导电性能。

产生 PN 结反向击穿的原因是,在外加强电场作用下,价电子脱离共价键的束缚,自由电子-空穴对的数目大大地增加,致使反向电流急剧增加。当反向电流和反向电压的乘积超过 PN 结允许的耗散功率时,PN 结因过热而烧坏,称之为热击穿。

1.2.3 二极管的主要参数

二极管的特性可用两种方式来原因,一种是用伏安特性曲线,另一种是用一些数据,这些数据就称为二极管的参数。参数一般可从半导体器件手册中查到,主要参数有下列几个。

1) 最大整流电流 I_{OM}

最大整流电流是指二极管长期工作时,允许通过的最大正向平均电流。使用时应注意流过二极管的平均电流值不大于 I_{OM} ,否则会使二极管中 PN 结因结温超过允许值而损坏。

2) 最大反向工作电压 U_{DRM}

是指二极管不被击穿所允许的最高反向电压。一般规定最高反向工作电压 U_{DRM} 为反向击穿电压的 $1/2\sim 2/3$ 。

3) 最大反向电流 I_{RM}

在规定的环境温度下,二极管加上最大反向工作电压时的反向电流。反向电流越小,二极管的单向导电性能越好。

半导体二极管还有一些其他参数,如正向压降、最高工作频率等。

1.2.4 二极管的基本电路及其分析方法

1. 二极管正向伏安特性建模

在应用电路中分析时,二极管可以用一个电路模型来代替。二极管的模型有多种,根据不同的场合和使用条件可以选择不同的模型。在这主要介绍理想模型、恒压降模型。

1) 理想模型

在二极管正向偏置时, 忽略其正向压降, 即二极管正向压降为 0 V ; 当二极管反向偏置时, 认为其呈现无穷大电阻, 即反向电流为 0 A 。理想模型又称为开关模型, 即二极管相当于一个理想开关, 正向导通, 反向截止, 如图 1.2.5 所示。

此模型主要用于低频大信号电路之中, 如整流电路。

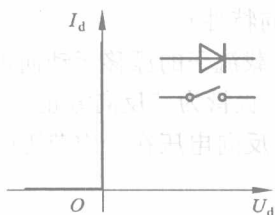


图 1.2.5 二极管的理想模型

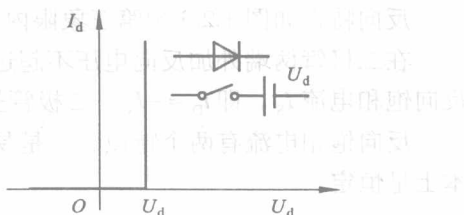


图 1.2.6 二极管的恒压降模型

2) 恒压降模型

当二极管导通后, 其管压降视为固定数值, 忽略正向动态电阻, 如图 1.2.6 所示。此模型主要用于低频小信号电路。

2. 二极管电路分析举例

分析二极管电路的关键是正确判断出二极管的工作状态, 即判明二极管是导通状态还是截止状态。

【例 1.1】在图 1.2.7 (a) 所示的电路中, 已知二极管正向偏置电压为 0.7 V , $U_{S1} = 5\text{ V}$, $U_{S2} = 10\text{ V}$, $R_1 = R_2 = 10\text{ k}\Omega$, $R_3 = R_4 = 5\text{ k}\Omega$, 试判断二极管是导通还是截止, 并求流过二极管的电流。

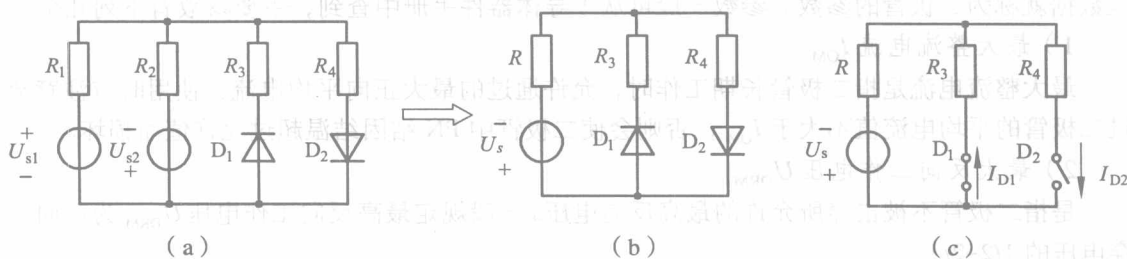


图 1.2.7 例 1.1 图

解 (1) 因二极管是非线性元件, 所以不能用叠加原理进行分析计算, 可以用戴维南定理或电源模型等效变换法得到图 1.2.7 (b)。

根据题意, 二极管 D_1 和 D_2 均为理想元件, 可用开关元件等效替代。即导通时相当于开关闭合; 截止时相当于开关断开, 如图 1.2.7 (c) 所示。

(2) 由图 1.2.7 (a) 计算图 1.2.7 (b) 参数 (戴维南定理)。

$$R = R_1 // R_2 = 5\text{ k}\Omega$$

$$U_S = \left(\frac{U_{S2}}{R_2} - \frac{U_{S1}}{R_1} \right) R = \left(\frac{10}{10} - \frac{5}{10} \right) 5\text{ V} = 2.5\text{ V}$$

(3) 判断二极管的工作状态, 求电流 I_{D1} 、 I_{D2} 。

在图 1.2.7 (b) 中的电压源 U_s 作用下, 判断出二极管 D_1 承受的是正向电压, 即 D_1 导通; D_2 承受是反向电压, 即 D_2 截止。

则流过二极管的电流分别为

$$I_{D2} = 0 \text{ A}$$

$$I_{D1} = \frac{U_s - 0.7}{R + R_3} = \frac{2.5 - 0.7}{5 + 5} = 0.18 \text{ mA}$$

【例 1.2】 图 1.2.8 (a) 电路中, 已知二极管为理想元件, 试判断二极管的工作状态, 并求电压 U_{AO} 。

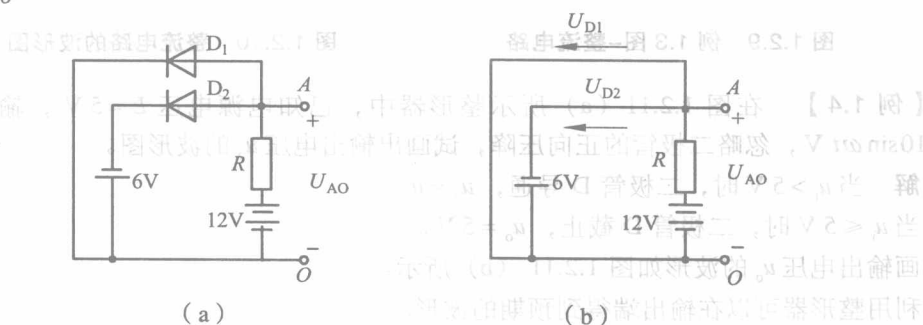


图 1.2.8 例 1.2 图

解 (1) 首先判断电路中各个二极管的端电压是否处于正向偏置电压, 当若干个二极管同时处于正向偏置电压时, 正向偏置电压较大的二极管优先导通; 其他的二极管是否导通, 需在优先导通二极管的条件下再继续判断哪个二极管优先导通; 以此类推。

(2) 判断 D_1 、 D_2 管的工作状态。

设二极管正向偏置电压如图 1.2.8 (b) 所示, 计算得

$$U_{D1} = 12 \text{ V}$$

$$U_{D2} = 18 \text{ V}$$

所以, D_2 管优先导通。因 D_2 管导通, 使 D_1 管处于反向偏置电压, 即 $U_{D1} = -6 \text{ V}$, D_1 管截止。则

$$U_{AO} = -6 \text{ V}$$

3. 二极管的应用举例

二极管的应用范围很广, 工作中主要是利用它的单向导电性能, 其典型的应用如图 1.2.9 所示。

【例 1.3】 在图 1.2.9 所示的整流电路中, 已知输入电压 $u_i = U_m \sin \omega t \text{ V}$, 二极管为理想元件, 试画输出电压 u_o 的波形图。

解 设二极管为理想元件, 则当输入电压 u_i 为正半周时, 二极管 D 导通, 即当 $u_i > 0$ 时, $u_o = u_i$; 当输入电压 u_i 为负半周时, 二极管 D 截止, 即当 $u_i < 0$ 时, $u_o = 0 \text{ V}$ 。

由此可画出输出电压 u_o 的波形如图 1.2.10 所示。

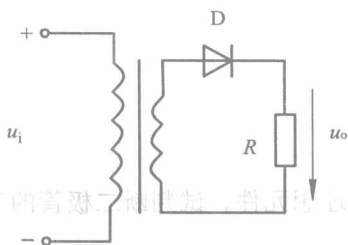


图 1.2.9 例 1.3 图—整流电路

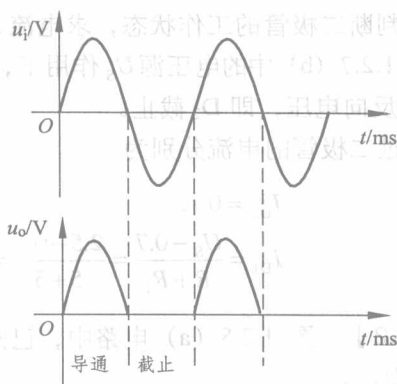


图 1.2.10 整流电路的波形图

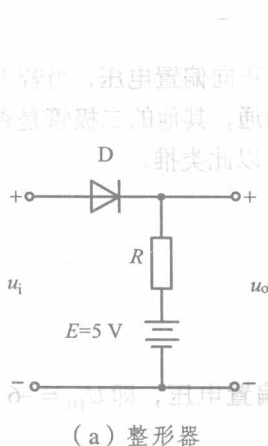
【例 1.4】 在图 1.2.11 (a) 所示整形器中, 已知电源电压 $E=5\text{ V}$, 输入信号电压 $u_i=10\sin\omega t\text{ V}$, 忽略二极管的正向压降, 试画出输出电压 u_o 的波形图。

解 当 $u_i > 5\text{ V}$ 时, 二极管 D 导通, $u_o \approx u_i$ 。

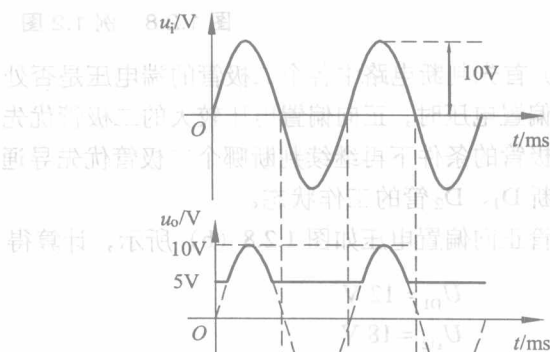
当 $u_i \leq 5\text{ V}$ 时, 二极管 D 截止, $u_o = 5\text{ V}$ 。

画输出电压 u_o 的波形如图 1.2.11 (b) 所示。

利用整形器可以在输出端得到预期的波形。



(a) 整形器



(b) 整形器的波形图

图 1.2.11 例 1.4 图

【例 1.5】 在图 1.2.12 (a) 限幅器中, 已知 $E_1=3\text{ V}$, $E_2=6\text{ V}$, $u_i=12\sin\omega t\text{ V}$, 若忽略二极管的正向压降, 试画出电压 u_o 的波形图。

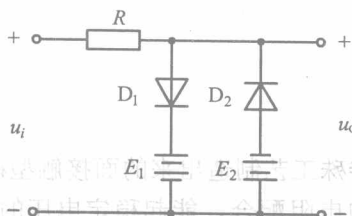
解 当 $u_i > +3\text{ V}$ 时, D_1 导通、 D_2 截止, 输出电压 $u_o = +3\text{ V}$;

当 $u_i < -6\text{ V}$ 时, D_1 截止、 D_2 导通, 输出电压 $u_o = -6\text{ V}$ 。

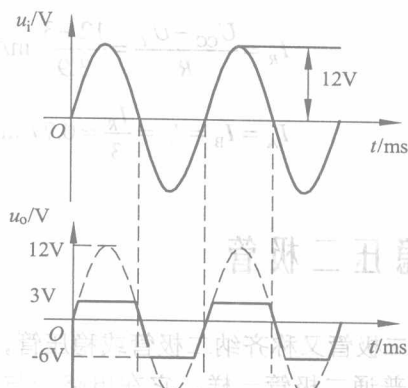
当 $-6\text{ V} \leq u_i \leq +3\text{ V}$ 时, D_1 、 D_2 处于反向偏置截止状态, 输出电压 $u_o \approx u_i$ 。

画输出电压 u_o 的波形如图 1.2.12 (b) 所示。

限幅器对输入电压 u_i 正负半周的幅值进行限制, 即限制输出信号电压的范围, 这种电路常用作保护电路。



(a) 限幅器



(b) 限幅器的波形图

图 1.2.12 例 1.5 图

【例 1.6】 在如图 1.2.13 所示开关电路中，已知 $U_{CC}=12\text{ V}$ ， $R=3.9\text{ k}\Omega$ ，二极管的正向压降忽略不计，试求下列几种情况下输出端 Y 的电位 U_Y 及各元件中通过的电流。

(1) $U_A=U_B=U_C=0\text{ V}$ 。

(2) $U_A=0\text{ V}$ ， $U_B=U_C=3\text{ V}$ 。

(3) $U_A=U_B=U_C=3\text{ V}$ 。

解 输入端的电位只有两种情况，0 V 和 3 V。

(1) 当输入端 $U_A=U_B=U_C=0\text{ V}$ 时，二极管 D_A 、 D_B 、 D_C 均导通，二极管的正向压降为 0 V，所以输出端电压

$$U_Y=0\text{ V}$$

则

$$I_R = \frac{U_{CC} - U_Y}{R} = \frac{12}{3.9} \text{ mA} \approx 3 \text{ mA}$$

$$I_A = I_B = I_C = \frac{I_R}{3} \approx 1 \text{ mA}$$

(2) 当输入端 $U_A=0\text{ V}$ ， $U_B=U_C=3\text{ V}$ 时，二极管 D_A 导通， D_B 、 D_C 均截止，则

$$U_Y=0\text{ V}$$

得

$$I_R = I_A \approx 3 \text{ mA}$$

$$I_B = I_C = 0 \text{ A}$$

(3) 当输入端 $U_A=U_B=U_C=3\text{ V}$ 时，二极管 D_A 、 D_B 、 D_C 均导通，输出端电压为

$$U_Y=3\text{ V}$$

则

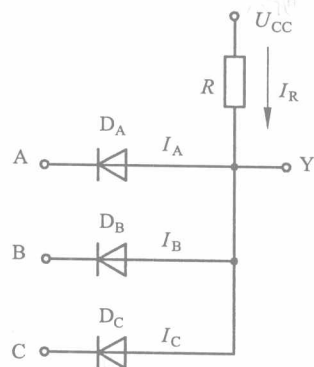


图 1.2.13 例 1.6 图-开关电路