



高等院校网络教育精品教材

电气电子类

MONI DIANZI JISHU

模拟电子技术

李春茂 主编



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

高等院校网络教育精品教材——电气电子类

模拟电子技术

主 编 李春茂
副主编 何圣仲 李冀昆 徐英雷

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

本书是根据教育部颁布的《高等学校“模拟电子技术基础”课程教学基本要求》，并结合网络教育的特点编写的。全书共分为七章，主要内容有：半导体器件基础知识、基本放大电路、负反馈放大电路、直接耦合放大电路、集成运算放大器及其应用、正弦波振荡电路、直流稳压电源等。各章均配有比较详细的学习指导以及反映本章重点和难点内容的小结，并编写了较为丰富的典型例题和习题。

本书主要作为高等院校网络教育电类（强、弱电）专业的教材，也可作为职业教育、成人教育等各相关专业的教材或辅助教材，还可供相关专业的工程技术人员学习和参考。

图书在版编目（C I P）数据

模拟电子技术 / 李春茂主编. —成都：西南交通大学出版社，2012.5
高等院校网络教育精品教材. 电气电子类
ISBN 978-7-5643-1742-3

I. ①模… II. ①李… 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（2012）第 094332 号

高等院校网络教育精品教材——电气电子类

模拟电子技术

主编 李春茂

责任编辑	黄淑文
特邀编辑	宋彦博
封面设计	墨创文化
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 87600533
邮政编码	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	成都蓉军广告印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	14.625
字 数	365 千字
版 次	2012 年 5 月第 1 版
印 次	2012 年 5 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-1742-3
定 价	27.00 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

现代化教学手段的应用和远程网络教育的广泛开展,对教材建设提出了新的要求。本书作者在充分考虑了远程网络教学的特殊性和网络学院学生知识层次的差异性的基础上,参照教育部 2005 年颁布的《高等学校“模拟电子技术基础”课程教学基本要求》,同时结合网络教育的特点,编写了本教材。

本教材的编写原则是:保证基础,精选内容,面向实际应用。在编写过程中,作者结合多年从事网络教学的经验和“模拟电子技术”网络精品课程建设内容,根据“模拟电子技术”课程的特点,在保证打好基础的前提下,精选了内容。此外,在精简了元器件内部物理过程和内部特性的同时,强化了外特性和实际应用电路的介绍,力求做到深入浅出、通俗易懂,以便于学生阅读和自学。

在内容的编排上,遵循人们的认识规律,引导读者循序渐进、由浅入深、由易到难,同时在确保对基础知识牢固掌握的基础上,注意将理论与实际应用紧密结合,并吸收了国内外在电子技术领域及相关学科的最新科研成果,使得本书更加精练,且涵盖面广、可读性强。

本教材在每一章的开头都给出了明确的学习指导,包括学习目标、学习方法和学习时间的建议、学习重点与难点等;在每一章节的教学内容中,精心编写了形式多样的例题,在注重基本知识的同时,通过例题的形式拓展教学内容,由浅入深,以加强学生对知识点的掌握;在每一章的结尾对本章的知识点、重点、难点做了较为详细的小结,并编写了较为丰富的典型例题,有助于自学;针对学习中部分重点、难点,设置了与之相配合的基本习题和综合型习题,力求做到点面结合,培养学生独立思考的能力。简言之,本教材的特点是:其内容以讲解基础知识为主线,其例题以掌握理论知识为目的,其习题以培养综合能力为目标,其文笔以通俗易懂为根本,整部教材利于学生阅读和自学。

全书共分为七章,主要内容有:半导体器件基础知识、基本放大电路、负反馈放大电路、直接耦合放大电路、集成运算放大器及其应用、正弦波振荡电路、直流稳压电源等。在模拟电子技术课程的讲授过程中,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。

本教材由西南交通大学李春茂主编,负责全书的组织、统稿和定稿;何圣仲、李冀昆和徐英雷担任副主编。其中,李春茂编写了第 1 章、第 2 章和第 3 章;何圣仲编写了第 4 章和第 5 章;李冀昆编写了第 6 章;徐英雷编写了第 7 章。另外,陈玲、戚德娟、褚召伟等在书稿录入、排版及图稿绘制等方面做了很多工作。

在教材编写过程中,参考了众多国内外的优秀教材,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,书中难免有不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2012 年 5 月

目 录

第 1 章 半导体器件基础知识	1
1.1 半导体的基础知识	2
1.2 二极管	7
1.3 双极型晶体管	15
1.4 场效应晶体管	25
本章小结	36
典型例题分析	37
习 题	40
第 2 章 基本放大电路	44
2.1 放大的概念和放大电路的主要技术指标	46
2.2 共射极放大电路	48
2.3 基本放大电路的分析方法	51
2.4 放大电路静态工作点的稳定	60
2.5 共集电极和共基极放大电路	68
2.6 场效应管放大电路	73
2.7 多级放大电路	82
2.8 功率放大电路	85
本章小结	100
典型例题分析	101
习 题	110
第 3 章 负反馈放大电路	117
3.1 反馈的基本概念和分类	118
3.2 负反馈放大电路的四种基本组态	122
3.3 负反馈对放大电路性能的影响	126
3.4 深度负反馈放大电路的分析	129
本章小结	131
典型例题分析	133

习 题	139
第 4 章 直接耦合放大电路	143
4.1 直接耦合电路	144
4.2 基本差动放大电路	147
本章小结	154
典型例题分析	154
习 题	158
第 5 章 集成运算放大器及其应用	161
5.1 理想运算放大器	162
5.2 运算电路	163
5.3 电压比较器	172
5.4 非正弦波发生器	176
本章小结	178
典型例题分析	178
习 题	183
第 6 章 正弦波振荡电路	187
6.1 概 述	188
6.2 RC 正弦波振荡电路	190
6.3 LC 正弦波振荡电路	194
6.4 石英晶体正弦波振荡电路	196
本章小结	197
习 题	198
第 7 章 直流稳压电源	206
7.1 桥式整流电路	207
7.2 滤波电路	212
7.3 稳压管稳压电路	215
7.4 集成稳压电源和开关直流稳压电源	219
本章小结	223
习 题	223
参考文献	228

第1章 半导体器件基础知识

【学习指导】

1. 学习目标

- (1) 熟练掌握二极管、稳压管的伏安特性曲线；
- (2) 熟练掌握双极型三极管共发射极接法的输入、输出特性曲线；
- (3) 熟练掌握 N 沟道增强型 MOS 管及 N、P 沟道结型场效应管共源接法的转移特性曲线、漏极特性曲线；
- (4) 正确理解普通二极管、稳压管、双极型三极管、单极型三极管的主要参数及使用注意事项；
- (5) 了解普通二极管、稳压管、双极型三极管、单极型三极管的选管原则。

2. 学习建议

- (1) 学习时间：11~13 小时

1.1 节建议学习时间：3 小时；

1.2 节建议学习时间：3 小时；

1.3 节建议学习时间：4 小时；

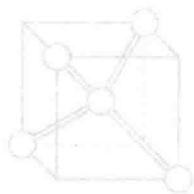
1.4 节建议学习时间：2 小时。

- (2) 学习方法

- ① 学习前预习第 1 章的内容；
- ② 参加第 1 次在线导学直播；
- ③ 点播学习网络课程第 1 章的内容；
- ④ 阅读参考资料中列出的至少两项资料；
- ⑤ 学习完每次课程后完成并提交本次作业；
- ⑥ 参考《实验指导书》，完成实验 1。

3. 学习重点与难点

- (1) PN 结的单向导电性；
- (2) 普通二极管的结构及其伏安特性；
- (3) 双极型三极管的结构；
- (4) 电流分配与放大原理；
- (5) 输入、输出特性曲线；
- (6) 结型以及绝缘栅型场效应管的结构与工作原理。



1.1 半导体的基础知识

按导电能力的不同,物质有导体、半导体和绝缘体之分。导电能力往往用电阻率来表示,单位是 $\Omega \cdot \text{m}$ 。一般规定半导体的电阻率为 $10^{-5} \sim 10^7 \Omega \cdot \text{m}$ 。

导体: 容易传导电流的材料。

绝缘体: 几乎不传导电流的材料。

半导体: 导电能力介于导体和绝缘体之间的材料。

本征半导体: 化学成分纯净的半导体。

典型的半导体有硅(Si)、锗(Ge)以及砷化镓(GaAs)等。硅和锗在元素周期表上是四价元素,砷化镓则属于半导体化合物。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。

1.1.1 本征半导体及其导电性

本征半导体是化学成分纯净的半导体。它在物理结构上有多晶体和单晶体两种形态,制造半导体器件必须使用单晶体。制造半导体器件对材料的纯度要求很高,要达到 99.9999999% (常称为“九个9”)。在制造单晶体的过程中会进一步提高材料的纯度。单晶体不但纯度高,在晶格结构上也应该是没有缺陷的。用这样的单晶体制造器件才能保证质量。

1.1.1.1 电子-空穴对

硅和锗是四价元素,其原子最外层轨道上的4个电子称为价电子,它们分别与周围4个原子的价电子形成共价键。共价键中的价电子为这些原子所共有,并为这些原子所束缚,在空间形成排列有序的晶格。硅原子空间排列和共价键结构如图1.1所示。

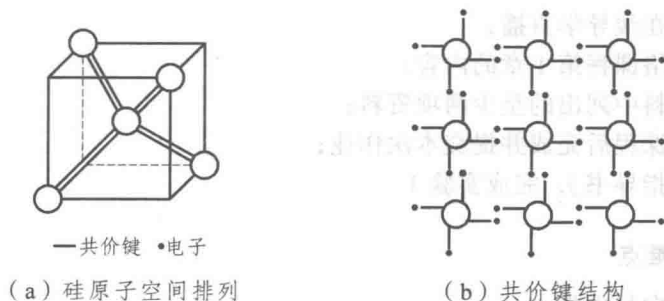


图 1.1 硅原子空间排列及共价键结构平面示意图

在处于热力学温度 $T=0\text{K}$ 时,导体中没有自由电子。当温度升高或受到光的照射时,价电子能量增高,有的价电子可以挣脱原子核的束缚,成为自由电子,这种现象称为本征激发(也称热激发)。

产生自由电子的同时,原来的共价键中出现了一个空位,这使原子的电中性被破坏,呈现出正电性,其正电量与电子的电量相等。通常称呈现正电性的这个空位为**空穴**。

因热激发而产生的自由电子和空穴是成对出现的,称为**电子-空穴对**。一部分游离的自由电子在经过空穴附近时,也可能被空穴所俘获,称为**复合**,如图 1.2 所示。本征激发和复合在一定温度下会达到动态平衡。此时,半导体中载流子的浓度不变。

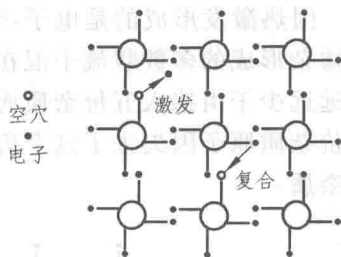


图 1.2 本征激发和复合的过程

常温下 (27°C), 本征半导体具有一定的导电性。例如, 本征锗的电阻率为 $40\ \Omega \cdot \text{cm}$, 本征硅的电阻率为 $3 \times 10^5\ \Omega \cdot \text{cm}$ 。显然硅的电阻率要比锗大许多, 这一点也决定了硅半导体器件的某些性能, 特别是温度性能要比锗半导体器件好。

1.1.1.2 空穴的移动

自由电子的定向运动就形成了电子电流, 空穴的定向运动也可形成空穴电流。空穴的运动是靠相邻共价键中的价电子依次填充空穴来实现的, 如图 1.3 所示。例如, A 处的空穴被 B 处的电子所充填, B 处产生一个新的空穴, 同时 A 处产生复合; 接下来, B 处的空穴被 C 处的电子所充填, 同时 C 处产生一个空穴, B 处产生复合; 如此不断进行, 空穴靠着被相邻共价键中的价电子依次充填而产生运动。

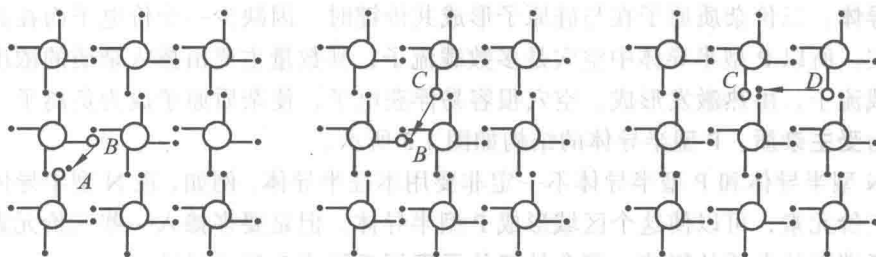


图 1.3 空穴在晶格中的移动

1.1.2 杂质半导体

在本征半导体中掺入某种元素作为杂质, 可使半导体的导电性能发生显著变化。掺入杂质的本征半导体称为**杂质半导体**, 掺入的杂质主要是三价或五价元素。要注意, 这里的杂质半导体是在提纯的本征半导体中掺入微量的三价或五价元素而得到的, 不是普通意义上的含有多种任意杂质的半导体。可以认为掺入杂质后, 半导体的晶格结构不变。

1.1.2.1 N 型半导体

在本征半导体中掺入五价杂质元素 (如磷), 可形成 **N 型半导体**, 也称**电子型半导体**。五价杂质原子中只有 4 个价电子能与周围 4 个半导体原子中的价电子形成共价键, 而多余的 1 个价电子因无共价键束缚很容易成为自由电子。N 型半导体的结构如图 1.4 所示。

在 N 型半导体中, 自由电子是多数载流子, 它主要由杂质原子提供; 空穴是少数载流子, 由热激发形成。

因热激发形成的是电子-空穴对, 其中, 空穴是少数载流子, 电子是多数载流子, 它与掺杂形成的多数载流子混在一起。由热激发形成的自由电子虽然是多数载流子, 但其数量远远少于由掺入五价杂质而产生的多数载流子, 差别在一百万倍以上。提供自由电子的五价杂质原子因失去了这个价电子而带正电荷, 成为正离子, 因此五价杂质原子也称为施主杂质。

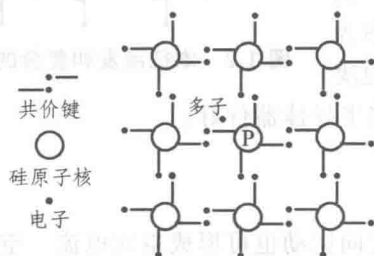


图 1.4 N 型半导体的结构示意图

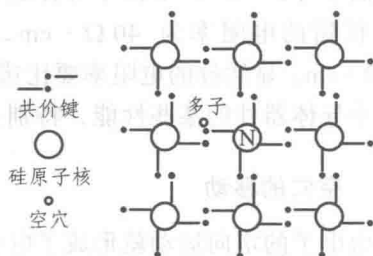


图 1.5 P 型半导体的结构示意图

1.1.2.2 P 型半导体

在本征半导体中掺入三价杂质元素 (如硼、镓、铟等), 就形成了 P 型半导体, 也称为空穴型半导体。三价杂质原子在与硅原子形成共价键时, 因缺少一个价电子而在共价键中留下一个空穴。所以 P 型半导体中空穴是多数载流子, 其数量主要由掺入杂质的浓度确定; 电子是少数载流子, 由热激发形成。空穴很容易俘获电子, 使杂质原子成为负离子。三价杂质因而也称为受主杂质。P 型半导体的结构如图 1.5 所示。

制作 N 型半导体和 P 型半导体不一定非要用本征半导体。例如, 在 N 型半导体中的某个区域掺入三价元素, 可以使这个区域形成 P 型半导体。但是要多掺入一些三价元素, 其中一部分用于抵消五价杂质的影响, 剩余的三价元素用于形成 P 型半导体。

1.1.2.3 杂质和温度对半导体导电性能的影响

掺入杂质对本征半导体的导电性能有很大影响, 因为多数载流子是由掺入杂质的浓度决定的。若用 n 和 p 分别表示自由电子和空穴的浓度, 则一些典型的数据如下:

室温 ($T = 300\text{ K}$) 下, 本征硅的原子浓度为 $4.96 \times 10^{22} / \text{cm}^3$, $n = p = 1.4 \times 10^{10} / \text{cm}^3$; 掺杂后, N 型半导体中的自由电子浓度为 $n = 5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 。

由这些数据可以看出: 本征硅的自由电子和空穴浓度相当于少数载流子的浓度; 掺杂后, N 型半导体中的自由电子浓度相当于多数载流子的浓度。由此可知, 掺杂对半导体的导电性影响十分大。

温度对半导体的导电性能也有很大的影响。以上给出的本征硅原子浓度等 3 个数据都是在一定温度条件 ($T = 300\text{ K}$) 下给出的。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。

若 P 区的电位低于 N 区, 则 PN 结呈高阻性, 通过的电流小。

(1) PN 结加正向电压时的导电情况

如图 1.7 所示, 外加的正向电压有一部分降落在 PN 结区, 方向与 PN 结内电场方向相反, 削弱了内电场。于是, 内电场对多子扩散运动的阻碍作用减弱, 扩散电流增大。扩散电流由多数载流子的运动产生, 电流较大, PN 结呈低阻性。

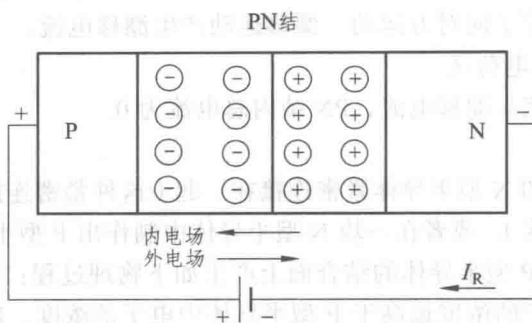


图 1.7 PN 结正偏时的导电情况

(2) PN 结加反向电压时的导电情况

如图 1.8 所示, 外加的反向电压有一部分降落在 PN 结区, 方向与 PN 结内电场方向相同, 加强了内电场。于是, 内电场对多子扩散运动的阻碍作用增强, 扩散电流大大减小。此时 PN 结区的少子在内电场作用下形成的漂移电流大于扩散电流, 但漂移电流是少子的运动形成的, 电流很小, PN 结呈高阻性。

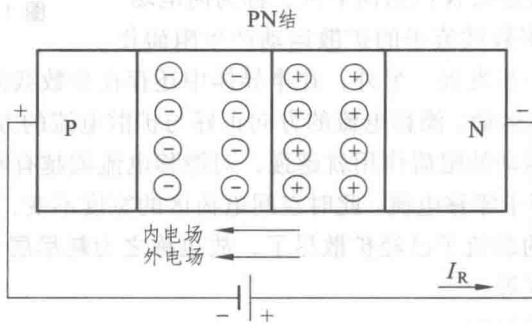


图 1.8 PN 结反偏时的导电情况

在一定的温度条件下, 由本征激发决定的少子浓度是一定的, 故少子形成的漂移电流是恒定的, 基本上与所加反向电压的大小无关, 这个电流也称为反向饱和电流。

PN 结加正向电压时, 呈现低电阻, 具有较大的正向扩散电流; PN 结外加反向电压时, 呈现高电阻, 具有很小的反向漂移电流。由此可以得出结论: PN 结具有单向导电性。



常见问题

PN 结在什么情况下正偏, 在什么情况下反偏?

答: 当外加的电压方向与 PN 结内电场方向相反时, 内电场被削弱, 此时内电场对多子

扩散运动的阻碍作用减弱, 扩散电流增大, PN 结正偏, 呈低阻状态。当外加的电压方向与 PN 结内电场方向相同时, 内电场被加强, 此时内电场对多子扩散运动的阻碍作用增强, 扩散电流大大减小, PN 结反偏, 呈高阻状态。

1.2 二极管

1.2.1 二极管的结构和伏安特性曲线

1.2.1.1 二极管的结构

在 PN 结上加上引线和封装, 就成为一个二极管。二极管按结构分为点接触型、面接触型和平面型三大类, 如图 1.9 所示。

- 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。

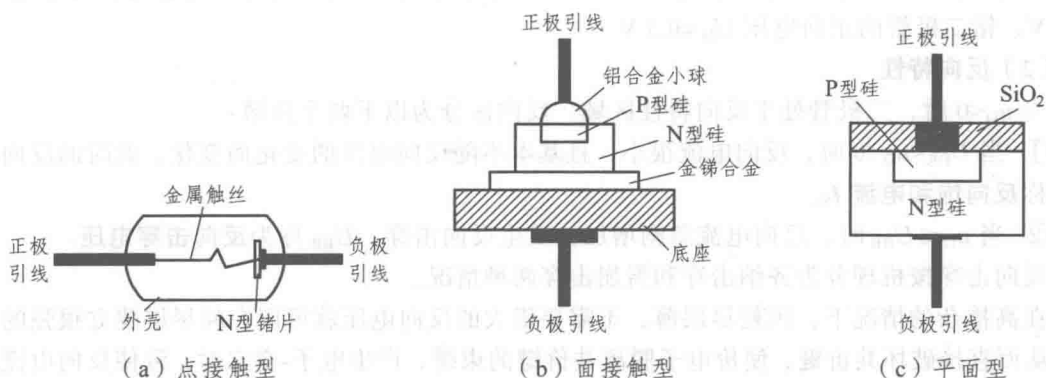


图 1.9 二极管的结构示意图

1.2.1.2 二极管的伏安特性曲线

二极管的伏安特性曲线如图 1.10 所示。处于第一象限的是正向伏安特性曲线, 处于第三象限的是反向伏安特性曲线。根据理论推导, 二极管的伏安特性曲线可用下式表示:

$$i_D = I_S (e^{\frac{u_D}{U_T}} - 1) \quad (1.1)$$

式中: I_S 为反向饱和电流; u_D 为二极管两端的电压降; $U_T = kT/q$, 称为温度的电压当量, 其中 k 为玻耳兹曼常数, q 为电子电荷量, T 为热力学温度。室温 ($T = 300 \text{ K}$) 下, $U_T = 26 \text{ mV}$ 。

(1) 正向特性

当 $u_D > 0$ 时, 二极管处于正向特性区域。由图 1.10 可知, 正向特性曲线又分为 3 段。

第一段, 当 $0 < u_D < U_{TH}$ 时, 正向电流为零, 如图 1.10 中的曲线段①所示, U_{TH} 称为开启

电压。硅二极管的开启电压 $U_{TH} \approx 0.5 \text{ V}$ ，锗二极管的开启电压 $U_{TH} \approx 0.1 \text{ V}$ 。

第二段，当 $u_D > U_{TH}$ ，且 u_D 较小时，开始出现正向电流，并按指数规律增长，如图 1.10 中的曲线段②所示。

第三段，当 $u_D > U_{TH}$ ，且 u_D 较大时，正向电流增长很快，但正向电压随正向电流的增大而增长缓慢，如图 1.10 中的曲线段③所示。

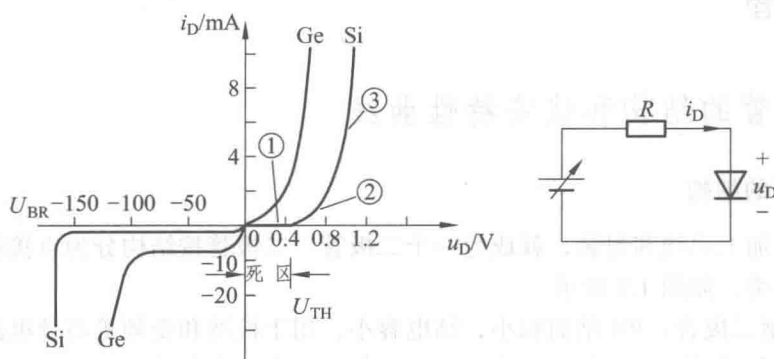


图 1.10 二极管的伏安特性曲线

正向特性曲线段③对应的正向电压可以认为基本不变，一般认为硅二极管的正向电压 $U_D \approx 0.7 \text{ V}$ ，锗二极管的正向电压 $U_D \approx 0.3 \text{ V}$ 。

(2) 反向特性

当 $u_D < 0$ 时，二极管处于反向特性区域。反向区分为以下两个区域：

① 当 $U_{BR} < u_D < 0$ 时，反向电流很小，且基本不随反向电压的变化而变化，此时的反向电流也称反向饱和电流 I_S 。

② 当 $u_D \leq U_{BR}$ 时，反向电流急剧增加，发生反向击穿。 U_{BR} 称为反向击穿电压。

反向击穿按机理分为齐纳击穿和雪崩击穿两种情况。

在高掺杂的情况下，因耗尽层薄，不需要很大的反向电压就可以在耗尽层建立很强的电场，从而直接破坏共价键，使价电子脱离共价键的束缚，产生电子-空穴对，致使反向电流急剧增大，这种击穿称为齐纳击穿。

如果掺杂浓度较低，耗尽层较宽，当反向电压增加到较大数值时，耗尽层的电场使电子的漂移速度加快，与共价键中的价电子相碰撞时，把价电子撞出共价键，产生电子-空穴对。新产生的电子被电场加速后，又撞出其他价电子，载流子雪崩式增加，致使反向电流急剧增大，这种击穿称为雪崩击穿。

在反向区，硅二极管和锗二极管的特性有所不同。硅二极管的反向击穿特性比较硬、比较陡，反向饱和电流也很小；锗二极管的反击穿特性比较软，过渡比较圆滑，反向饱和电流较大。从击穿的机理上看，对于硅二极管，当 $|U_{BR}| \geq 7 \text{ V}$ 时，主要是雪崩击穿；当 $|U_{BR}| \leq 4 \text{ V}$ 时，则主要是齐纳击穿；当 $4 \text{ V} < |U_{BR}| < 7 \text{ V}$ 时，两种击穿都有。由于硅二极管雪崩击穿电压 U_{BR} 具有正温度系数，齐纳击穿电压 U_{BR} 具有负温度系数，当击穿电压介于雪崩击穿电压和齐纳击穿电压之间时，击穿电压有可能获得零温度系数点，所以标准稳压二极管的击穿电压一般都在 6 V 左右。

1.2.2 二极管的参数和模型

1.2.2.1 二极管的参数

半导体二极管的参数包括最大整流电流 I_F 、反向击穿电压 U_{BR} 、最大反向工作电压 U_{RM} 、反向电流 I_R 、最高工作频率 f_{max} 和结电容 C_j 等。几个主要的参数介绍如下：

最大整流电流 I_F ：二极管长期连续工作时，允许通过的最大整流电流的平均值。

反向击穿电压 U_{BR} 和最大反向工作电压 U_{RM} ：二极管反向电流急剧增加时对应的反向电压值称为反向击穿电压 U_{BR} 。为了安全，在实际工作时，最大反向工作电压 U_{RM} 一般只按反向击穿电压 U_{BR} 的一半计算（不同的厂家对该参数的规定有所不同）。

反向电流 I_R ：在室温下， I_R 一般是最大反向工作电压下的反向电流值。硅二极管的反向电流一般为纳安（nA）级，锗二极管的为微安（ μA ）级。

正向压降 U_D ：在规定的正向电流下，二极管的正向电压降。小电流硅二极管的正向压降 U_D 为 0.6~0.8 V，计算时可取 0.7 V；锗二极管的正向压降 U_D 为 0.2~0.3 V，计算时可取 0.3 V。大功率硅二极管的正向压降随着工作电流的增加而增加。

动态电阻 r_d ：二极管正向特性曲线斜率的倒数。显然， r_d 与正向电流的大小有关，也就是正向曲线上某一点 Q 的动态电阻。所以动态电阻是一个交流参数，前几个是直流参数，或称为静态参数。动态电阻的定义如下：

$$r_d = \left. \frac{\Delta u_D}{\Delta i_D} \right|_Q \quad (1.2)$$

正向压降温度系数 α_{U_D} ：反映了二极管正向压降随温度变化的规律，具有负温度系数。不论是锗管还是硅管， α_{U_D} 基本上是一个常数，即

$$\alpha_{U_D} \approx -(1.9 \sim 2.5) \text{ mV/}^\circ\text{C}$$

所以，当温度升高时，二极管的正向特性曲线会向 Y 轴移动。若正向特性曲线画在第一象限，则曲线向左移动。

反向饱和电流的温度系数：反映了二极管反向饱和电流随温度变化的规律。不论是锗管还是硅管都具有正温度系数，在数量上基本遵循温度每升高 10°C ，反向饱和电流增加一倍的规律。所以，当温度升高时，二极管的反向特性曲线会向偏离 X 轴的方向移动。若反向特性曲线画在第三象限，则曲线向下方移动。温度对二极管伏安特性曲线的影响如图 1.11 所示。

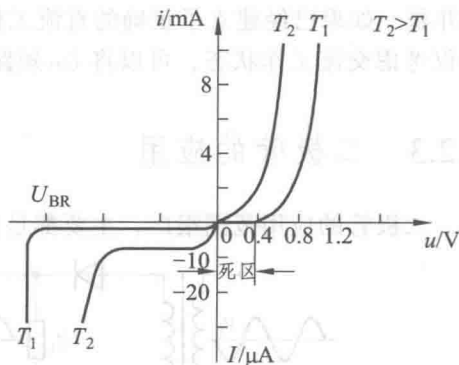


图 1.11 温度对硅二极管的伏安特性曲线的影响

1.2.2.2 二极管的模型

二极管可以用一个模型代替，用于电路的分析之中。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。根据二极管的特性曲线可以确定 3 种二极管模型：开关模型、固定正向压降模型和折线化模型，如图 1.12 所示。

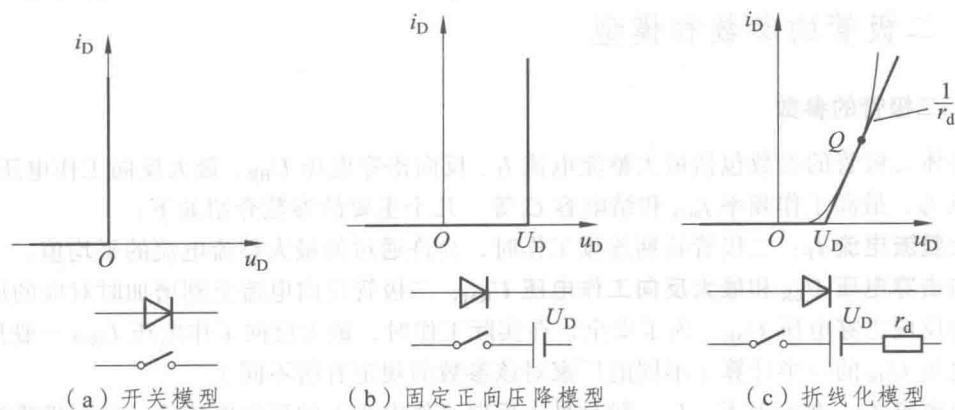


图 1.12 二极管的低频模型

(1) 开关模型

此模型主要用于低频大信号电路之中，如整流电路。此时二极管相当于一个理想开关，正向导通时，二极管的正向压降为 0，正向电阻为 0；反向截止时，反向电阻为无穷大。

(2) 固定正向电压降模型

此模型主要用于低频小信号电路，只考虑正向电压降，且将其视为固定数值，忽略正向动态电阻，认为 $r_d = 0$ 。例如在基本放大电路中，求解晶体管输入偏置电流时，将 PN 结上的电压视为固定值。

(3) 折线化模型

此模型既考虑正向压降，又考虑动态电阻 r_d 。

以上是二极管的低频模型。在高频条件下，需要考虑结电容的影响，此时应将结电容与 r_d 并联。如果已经建立了正确的直流工作状态，即外电路的参数使二极管处于某个 Q 点时，仅仅考虑交流工作状态，可以将 U_D 短路。

1.2.3 二极管的应用

二极管的应用范围很广，主要都是应用它的单向导电性能。其典型应用如图 1.13 所示。

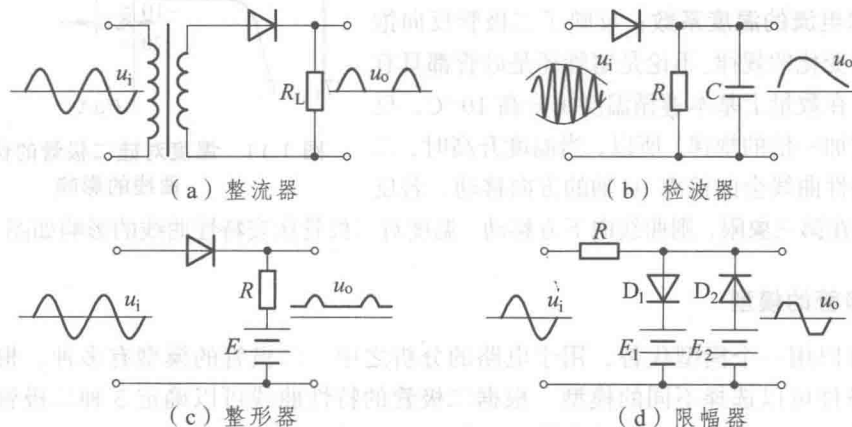


图 1.13 二极管的典型应用

例 1.1 在图 1.14 所示电路中, 试求下列几种情况下输出端 Y 的电位 V_Y 及各元件 (R 、 D_A 、 D_B) 中通过的电流。二极管的正向压降忽略不计。

① $V_A = 3\text{ V}$, $V_B = 0\text{ V}$;

② $V_A = V_B = 0\text{ V}$;

③ $V_A = V_B = 3\text{ V}$ 。

解: 输入端的电位只有两种情况, 0 V 和 3 V 。

① 当输入端 $V_A = 3\text{ V}$, $V_B = 0\text{ V}$ 时, 二极管 D_B 导通, 其正向压降为 0 V , 所以输出端 $V_Y = 0\text{ V}$ 。此时流过 R 和 D_B 的电流为

$$I_R = I_{D_B} = \frac{V_{CC} - V_Y}{R} = \frac{12}{3.9 \times 10^3} \approx 3\text{ (mA)}$$

② 当 $V_A = V_B = 0\text{ V}$ 时, 两个二极管都导通, 结果仍然是

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

电阻中的电流与上一种情况相同, 即

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

二极管中的电流只是电阻中电流的一半, 即

$$I_{D_A} = I_{D_B} \approx 1.5\text{ mA}$$

③ 当 $V_A = V_B = 3\text{ V}$ 时, $V_Y = 3\text{ V}$, 电阻中的电流为

$$I_R = \frac{V_{CC} - V_Y}{R} = \frac{12 - 3}{3.9 \times 10^3} \approx 2.3\text{ (mA)}$$

二极管中的电流为

$$I_{D_A} = I_{D_B} = \frac{1}{2} I_R \approx 1.15\text{ mA}$$

例 1.2 试分析图 1.15 所示的硅二极管电路: ① 画出电压传输特性曲线; ② 已知 $u_i = 10\sin\omega t\text{ (V)}$, 画出 u_i 和 u_o 的波形。

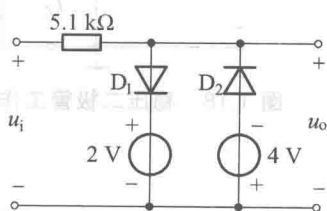


图 1.15 例 1.2 电路图

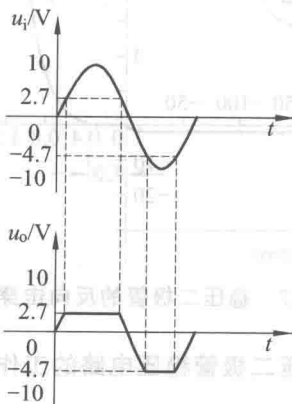


图 1.16 例 1.2 波形图