

21 世纪高等职业技术教育规划教材
国家示范性高等职业院校规划教材

MONI DIANZI JISHU JICHU

模拟电子技术基础

主 编 晏明军 张进利
副主编 于 玲 刘建军
主 审 陆中石



YZLI 0890093181



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

21 世纪高等职业技术教育规划教材
国家示范性高等职业院校规划教材

模拟电子技术基础

主 编 晏明军 张进利

副主编 于 玲 刘建军

主 审 陆中石



YZLI 0890093181

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内容简介

本书是由具有多年职业教育工作经验的专任教师根据当代高等职业教育的培养目标和基本要求而编写的一本实用教材。内容包括常用半导体器件、基本放大电路、负反馈放大电路、差分放大电路及集成运算放大器、功率放大电路、正弦波振荡器、直流稳压电源、电力电子技术。

本书可作为高等职业教育电子技术、通信技术、计算机应用、自动控制、机电一体化、工业企业电气化等专业的专业课或技术基础课教材,也可供从事电子技术的工程技术人员自学与参考。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础 / 晏明军, 张进利主编. — 成都:
西南交通大学出版社, 2010.8
21 世纪高等职业技术教育规划教材 国家示范性高等
职业院校规划教材
ISBN 978-7-5643-0822-3

I. ①模… II. ①晏…②张… III. ①模拟电路—电
子技术—高等学校: 技术学校—教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 164678 号

21 世纪高等职业技术教育规划教材

国家示范性高等职业院校规划教材

模拟电子技术基础

主编 晏明军 张进利

*

责任编辑 孟苏成

特邀编辑 张 阅

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

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

成都蜀通印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 16.125

字数: 401 千字

2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-0822-3

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

本书是根据高职教育的培养目标和学生特点,结合电子技术类及相关专业课程标准的要求,认真分析了现行电子技术的教学内容,总结多年教学实践的经验和体会,学习参考了多位专家学者的著作后编写而成。本书以模拟电子技术的基本概念、基本原理和基本分析方法为主线,以“必需”和“够用”为度,以培养学生的专业技能和实践能力为核心,以应用为目的,注重实用,理论联系实际,充分体现了高等职业教育的特色。

(1) 教材内容与高职学生的知识、能力结构相适应,直接针对电类专业高等技术应用型人才岗位(群)所需的知识、能力,突出职业特色,加强工程针对性、实用性,不仅为专业课学习打好基础、为培养再学习能力服务,也为培养职业能力服务。

(2) 在内容阐述方面,力求简明扼要,通俗易懂。强化理论知识与实践的结合,以应用为目的,用适当的应用实例说明问题,突出高职教学特色。

(3) 淡化公式推导和过重的理论分析,重在教学生会元器件、电子电路在实际中的应用和掌握基本分析工具、基本分析方法,注重结论性知识点的掌握和运用。

(4) 为使教学内容适应电子技术飞速发展的新形势,突出教学内容的先进性,加强了集成电路及其应用的内容,如集成运放、集成稳压器、集成功放、中规模数字集成电路等。

(5) 知识传授尽量建立在物理概念的基础上,力求做到由浅入深、由易到难、循序渐进,在通俗易懂、降低难度上下功夫,选用有代表性的例题突出重点,分散难点,促进读者的求知欲和提高学习的主动性。

(6) 每章均配以目标任务和学习要点做引导,编有知识训练和技能训练,便于知识的消化理解、巩固提高和专业技能的培养。

本书可作为高等职业教育电子技术、通信技术、计算机应用、自动控制、机电一体化、工业企业电气化等专业的专业课或技术基础课教材,也可供从事电子技术的工程技术人员自学与参考,各专业或学习者可根据各自的实际情况对本书章节进行选取和删减。

本书由晏明军、于玲、张进利、刘建军共同编写完成,其中晏明军编写了第2、4章及内容简介、前言和目录;张进利编写了第3、6章;于玲编写了第1、8章;刘建军编写了第5、7章及附录。全书由晏明军统稿。

本书由辽宁铁道职业技术学院陆中石副教授主审。

由于时间仓促,加之编者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请使用本书的读者给予批评指正。

编者

2010年8月

目 录

第 1 章 常用半导体器件	1
1.1 半导体的基本知识	1
1.2 半导体二极管	4
1.3 半导体三极管	19
1.4 场效应管	29
知识归纳	40
知识训练	41
第 2 章 基本放大电路	45
2.1 放大电路的基本概念	45
2.2 共发射极基本放大电路	48
2.3 放大电路基本分析方法	51
2.4 放大电路静态工作点的稳定	56
2.5 共集电极和共基极放大电路	60
2.6 场效应管放大电路	66
2.7 多级放大电路	70
2.8 放大电路的频率特性	74
知识归纳	77
知识训练	78
第 3 章 负反馈放大电路	83
3.1 反馈的基本概念	83
3.2 负反馈放大电路的一般表达式及基本组态	88
3.3 负反馈对放大电路性能的影响	91
3.4 负反馈的引入及深度负反馈放大电路的估算	95
知识归纳	98
知识训练	99
第 4 章 差分放大电路与集成运算放大器	105
4.1 差分放大电路概述	105
4.2 改进后的实际差分放大电路	108
4.3 集成运算放大器	113
4.4 集成运放三种基本比例放大电路	119
4.5 集成运放在信号运算中的应用	123

4.6 集成运放的选择及使用注意事项	128
知识归纳	130
知识训练	130
第 5 章 功率放大电路	136
5.1 功率放大电路的特点与类型	136
5.2 变压器耦合推挽功率放大电路	138
5.3 互补对称功率放大电路	141
5.4 集成功率放大器	150
知识归纳	153
知识训练	154
第 6 章 振荡器	157
6.1 振荡器的基本概念	157
6.2 RC 正弦波振荡器	161
6.3 LC 正弦波振荡器	169
6.4 石英晶体振荡器	176
6.5 非正弦信号产生电路	180
知识归纳	190
知识训练	192
第 7 章 直流稳压电源	197
7.1 直流稳压电源概述	197
7.2 整流电路	199
7.3 滤波电路	204
7.4 硅稳压管稳压电路	208
7.5 串联型晶体管稳压电路和集成稳压器	211
7.6 开关稳压电源	216
知识归纳	223
知识训练	224
第 8 章 电子电力技术	227
8.1 晶闸管的结构和工作原理	228
8.2 晶闸管可控整流电路	231
8.3 晶闸管触发电路	237
知识归纳	241
知识训练	242
附 录	243
参考文献	251

第1章 常用半导体器件

【目标任务】

- ◆ 了解半导体及PN结的基本知识。
- ◆ 明确半导体二极管的基本知识,熟悉其基本功能、外特性和主要参数,掌握二极管电路的分析判断方法,能对二极管应用电路进行分析计算。
- ◆ 熟悉晶体三极管的基本知识,理解其工作原理和电流放大作用,明确三极管的三种工作状态,根据给定的条件,能对三极管的工作状态进行分析判断。
- ◆ 了解场效应管的基本知识,认识各种类型场效应管符号,结合管子偏置情况,能知道场效应管的工作状态。
- ◆ 通过学习能识别和检测常用电子元器件,初步具有查阅电子器件手册、较合理地选用或代换器件的能力。

【学习要点】

- ◆ 确立低压、小电流、非线性等最基本的电子器件的概念,侧重于器件的符号、特点和使用,重点掌握各种半导体器件结论性的知识点。
- ◆ 二极管的应用及应用电路的分析;三极管工作状态的判断。
- ◆ 二极管、三极管的识别和检测。

1.1 半导体的基本知识

1.1.1 半导体及其主要特性

半导体以其输入功率小和转换效率高等优点而得到广泛的应用,常用的半导体器件主要有半导体二极管、半导体三极管和场效应管等,这些器件广泛地应用于各种电子设备,使得电子技术在各行各业不断续写着神奇。而半导体器件是由半导体材料构成的,要学习半导体器件,必须首先了解能构成这些具有神奇功能的半导体器件的半导体材料。

自然界中的物质按其导电能力强弱的不同,可分为三大类:导体、绝缘体和半导体。

通常将电阻率小于 $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 的物质称为导体,如金、银、铜、铁等,金属都是良好的导体。将电阻率大于 $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 的物质称为绝缘体,如橡胶、塑料、玻璃等都很难导电。还有一类物质,其导电能力介于导体和绝缘体之间,称为半导体(电阻率在 $10^{-4} \sim 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$)。常用的半导体材料有硅(Si)、锗(Ge)和砷化镓(GaAs)等,大多数半导体器件所用的主要材料就是硅和锗。

导体导电能力最好,常用于构成传导电流的电路,绝缘体几乎不导电,宜用于限制电流

流通,防止电流泄漏。半导体传导电流不如导体,限制电流又不如绝缘体,却得到了广泛的应用,而且半导体技术的发展成为电子技术发展的标志,主要是因为半导体具有一些特殊性能,科学家利用这些特殊性能,制造出了性能优异的半导体器件,从而引发了电子技术的飞跃。

(1) 热敏特性: 半导体对温度很敏感,其电阻率随温度的升高会减小,导电能力将显著增加(例如半导体锗在温度每升高 10°C 时,其电阻率减小为原来的一半)。虽然这种特性对半导体器件的工作性能、对半导体器件组成的电子电路的性能有许多不利的影响,但利用这种特性可制成各种热敏器件,用于自动控制系统以及温度测量等。由此制成的热敏电阻,可以感知万分之一摄氏度的温度变化,把热敏电阻装在机器的各个重要部位,就能集中控制和测量它们的温度;用热敏电阻制作的恒温调节器,可以把环境温度定在上下不超过 5°C 的范围;在农业上,热敏电阻制成的感测装置能准确地测出植物叶面的温度和土壤的温度;它还能测量辐射,几百米远人体发出的热辐射或 1 km 外的热源都能方便地测出。

(2) 光敏特性: 半导体材料对光照很敏感。半导体材料受到光照射时,其电阻率减小,导电能力显著增强。例如一种硫化铬的半导体材料,在一般灯光照射下,其电阻率是移去光照后的几十分之一或几百分之一。利用半导体的光敏特性,可以制成光电二极管、光电三极管和光敏电阻等多种光电器件,用于自动控制和光电控制电路中。如应用光电器件可以实现路灯、航标灯的自动控制;可以制成火灾报警装置;可以进行产品自动计数等。

(3) 掺杂特性: 在纯净的半导体中人为地掺入微量的杂质元素,就会使它的导电能力急剧增强。例如在半导体硅中掺入亿分之一的硼(B),其导电能力可以提高几万倍。人们就是用控制掺杂浓度的方法,精确地控制半导体的导电能力,制造出各种不同性能、不同用途的半导体器件,如二极管、三极管、场效应管等。而且在半导体不同的部位掺入不同的杂质,就会呈现不同的性能,再采用一些特殊工艺,将各种半导体器件进行适当的连接就可制成具有某一特定功能的电路(集成电路)甚至是系统,这就是半导体最具魅力之处。

常用的半导体材料在自然中都是以晶体结构存在的,因此由其构成的半导体二极管、三极管又称作晶体二极管和晶体三极管。

1.1.2 本征半导体与杂质半导体

1. 本征半导体

半导体之所以具有上述特殊特性,是因为它的结构特殊。常用的半导体材料硅和锗都是四价元素,其原子最外层轨道都具有四个电子,称为价电子。原子与原子之间通过共价键联结在一起,形成空间有序排列,半导体呈晶体结构,把这种非常纯净且原子排列整齐的半导体称为本征半导体,如图 1-1 所示。

半导体中有两种导电粒子,一种是带负电荷的自由电子,一种是相当于带正电荷的空穴,它们在外电场作用下都能定向移动形成电流,所以统称为载流子。本征半导体中两种载流子的数量相等。常温下自由电子和空穴两种载流子的数量很少,所以导电性很差。然而当环境温度升高时,两种载流子的数量会显著增多,导电性明显提高,这就是半导体的导电性随温度变化而明显变化的原因。

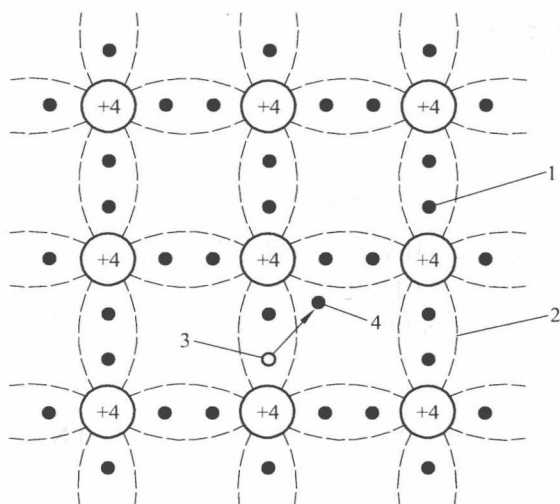


图 1-1 本征半导体结构

1—价电子；2—共价键；3—空穴；4—自由电子

2. 杂质半导体

在本征半导体中掺入微量的其他元素（称杂质），就会使它的导电性发生显著变化，这种掺入杂质的半导体称为杂质半导体。根据掺入杂质的不同，杂质半导体可分为 N 型半导体和 P 型半导体两大类。

1) N 型半导体

在本征半导体中掺入微量的五价元素，如磷（或砷、锑）等，则可构成 N 型半导体。每掺入一个杂质原子就能产生一个自由电子，使得半导体中的载流子数量大大提高，导电性显著增强。

在 N 型半导体中因掺杂而产生了大量的自由电子，使得自由电子和空穴两种载流子的数量不再相等，空穴的数量极少，称为少数载流子，简称少子；自由电子的数量居多，称为多数载流子，简称多子。N 型半导体以自由电子为导电主体，故又称电子型半导体。

2) P 型半导体

在本征半导体中掺入微量的三价元素，如硼（或铟、镓）等，则可构成 P 型半导体。每掺入一个杂质原子就能产生一个空穴，使得半导体中的载流子数量大大提高，导电性显著增强。

在 P 型半导体中因掺杂而产生了大量的空穴，使得自由电子和空穴两种载流子的数量不再相等，自由电子的数量极少，称为少数载流子，简称少子；空穴的数量居多，称为多数载流子，简称多子。P 型半导体以空穴为导电主体，故又称空穴型半导体。

注意：在杂质半导体中，多数载流子的数量主要取决于掺杂的多少，因此，可以控制掺杂的多少来控制其导电能力。而少数载流子的数量主要取决于温度，因此，半导体器件工作的稳定性是受温度影响的。无论哪种杂质半导体，对外均不显电性。

1.1.3 PN 结及其导电特性

1. PN 结的形成

虽然杂质半导体的导电能力大大提高,但单一的 P 型半导体或 N 型半导体只能起电阻作用。通过特殊的掺杂工艺,将纯净半导体的一侧做成 P 型半导体,另一侧做成 N 型半导体,在其交界处就形成了一个特殊的导电薄层,称之为 PN 结,如图 1-2 所示。PN 结是构成各种半导体器件的基础。

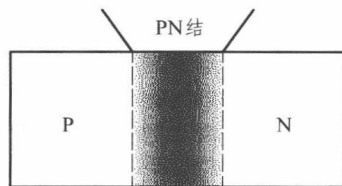


图 1-2 PN 结的构成

2. PN 结的导电特性

PN 结的 P 区接外电源的正极, N 区接外电源的负极,叫 PN 结外加正向电压,也叫 PN 结正向偏置(简称正偏),如图 1-3 (a) 所示,形成的电流叫正向电流;PN 结的 P 区接外电源的负极, N 区接外电源的正极,叫 PN 结外加反向电压,也叫 PN 结反向偏置(简称反偏),如图 1-3 (b) 所示,形成的电流叫反向电流。

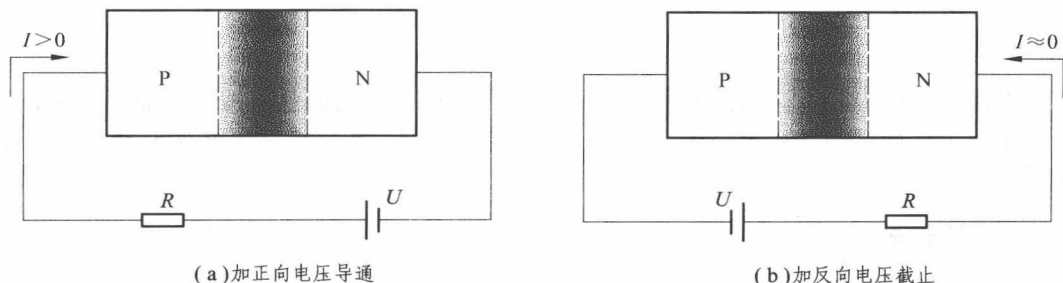


图 1-3 PN 结的连接

PN 结外加正向电压时,呈现很小的电阻,流过的正向电流较大,并随外加正向电压的增大而增大,称 PN 结正向导通;PN 结外加反向电压时,呈现很大的电阻,流过的反向电流很小,几乎为零,且基本不随外加电压变化而变化,这种情况称 PN 结反向截止。

PN 结正偏时导通,反偏时截止的特性,称为 PN 结的单向导电特性。

1.2 半导体二极管

1.2.1 二极管的构成、符号及分类

1. 二极管的构成

二极管是最简单的半导体器件,由一个 PN 结构成。在 PN 结的两个区分别引出电极引线,并用一定的外壳封装,就制成了半导体二极管,其结构示意图如图 1-4 所示。

从 PN 结 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),其电路符号如图 1-5 所示,三角箭头的方向表示二极管正向电流的流通方向,正向电流只能由 P 区流向 N 区,二极管的文字符号在国际标准中用 VD 表示。由于用途和封装的不同,二极

管的外形各异, 几种常见的二极管外形如图 1-6 所示。

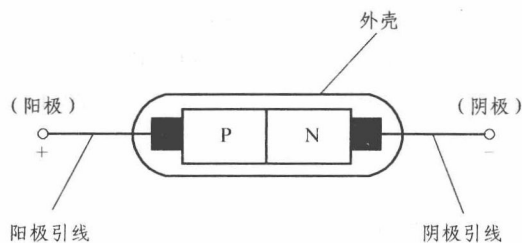


图 1-4 二极管结构示意图

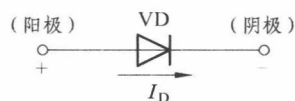


图 1-5 二极管电路号

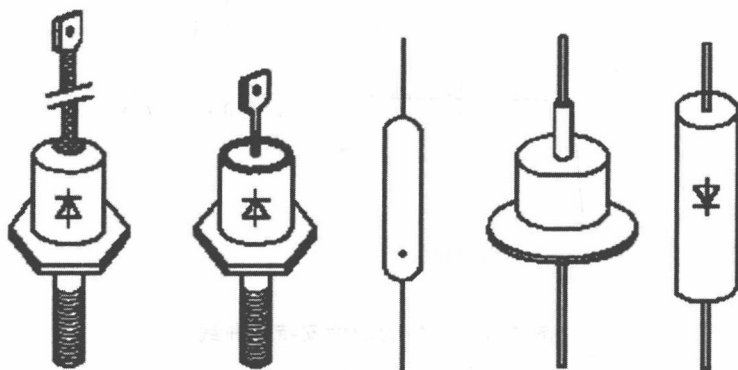


图 1-6 二极管常见外形

2. 二极管的分类

二极管的种类很多, 按所用的半导体材料分, 有硅二极管、锗二极管、砷化镓二极管等, 其中硅二极管的热稳定性比锗二极管好的多。

按功率分有小功率管和大功率管。

按用途分有普通二极管、整流二极管、检波二极管、稳压二极管、开关二极管、变容二极管、发光二极管等。

按结构分有点接触型、面接触型和平面型三类。点接触型二极管由于 PN 结面积小, 结电容小, 适用于较高频率下工作, 但允许通过的正向电流小, 主要用于高频检波和小电流整流; 面接触型二极管 PN 结面积大, 结电容大, 只能在较低频率下工作, 但它允许通过的正向电流大, 可用于大功率整流电路, 如电源整流; 平面型二极管根据工艺方法不同, 结面积可大可小, 低频大电流整流以及数字电路开关管都可应用, 这种工艺的 PN 结是集成电路常用的一种形式。

1.2.2 二极管的伏安特性

从构成可知二极管的实质就是一个 PN 结, 因此二极管的主要特性就是单向导电性。所谓伏安特性, 就是加在二极管两端的电压与流过二极管的电流之间的关系, 它能全面反映二极管的主要特点和性能, 是选择和使用二极管的重要依据。二极管的伏安特性可用特性曲线或伏安特性方程来描述。

1. 二极管的伏安特性曲线

将二极管两端电压与流过的电流在坐标平面内建立起对应关系, 所得的曲线就是二极管的伏安特性曲线。可以通过实验电路测量, 得到若干组二极管两端电压和对应的电流数据, 然后逐点描绘出二极管的伏安特性曲线, 或是用晶体管特性图示仪直接观察, 得如图 1-7 所示曲线。

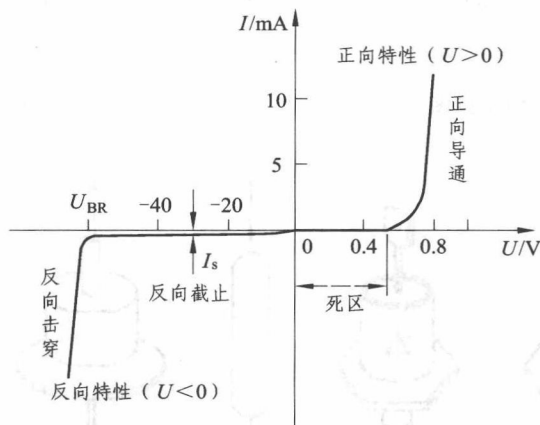


图 1-7 二极管的伏安特性曲线

二极管的伏安特性曲线可分成三部分来讨论。

1) 正向特性

正向特性是指二极管外加正向电压时的特性, 即二极管阳极接电源正极, 阴极接电源负极时的特性, 正向特性曲线如图 1-7 ($U > 0$ 部分) 所示。当二极管两端的正向电压小于某一数值时, 流过二极管的正向电流几乎为零, 二极管不导通, 这一段称为死区。只有当正向电压达到某一值时, 二极管才开始有明显的正向电流产生, 使二极管刚刚产生正向电流时所对应的正向电压称为死区电压或开启电压, 用 U_{TH} 表示, 硅管的死区电压约为 0.5 V , 锗管的死区电压约为 0.1 V 。

当正向电压超过死区电压以后, 随着电压的升高, 正向电流迅速增大。二极管正向导通后, 正向电流的大小主要由外电路决定, 二极管两端的正向压降基本上是一个常数, 硅管的正向压降一般为 $0.6 \sim 0.7\text{ V}$, 锗管的正向压降一般为 $0.2 \sim 0.3\text{ V}$, 工程上一般取硅管 0.7 V , 锗管 0.3 V 。

2) 反向特性

反向特性是指二极管外加反向电压时的特性, 即二极管阳极接电源负极, 阴极接电源正极时的特性, 反向特性曲线如图 1-7 ($U < 0$ 部分) 所示。二极管两端的反向电压小于一定数值时, 产生的反向电流极小, 二极管呈现很大的电阻, 近似处于截止状态。些时的反向电流有两个特点, 其一, 反向电流的大小基本不随反向电压的变化而变化, 呈饱和性, 故称之为反向饱和电流, 用 I_S 表示, 小功率硅管的 I_S 一般小于 $0.1\text{ }\mu\text{A}$, 锗管达几十微安, 这也是硅管应用比较多的原因之一; 其二, 反向电流受温度的影响很大, 温度每升高 $10\text{ }^\circ\text{C}$, I_S 增大一倍, 会影响二极管的单向导电性。

3) 反向击穿特性

当二极管两端的反向电压增加到某一数值时,反向电流会急剧增大,这种现象称为反向击穿,二极管处于反向击穿状态。使二极管反向击穿时所对应的反向电压称为反向击穿电压,用 U_{BR} 表示。反向击穿时二极管将失去单向导电性,一般二极管不允许工作在击穿状态。

2. 二极管的伏安特性方程

不同类型二极管的正、反向伏安特性曲线的形状及变化趋势很相近,理论分析和实验均证明,流过二极管的电流与其两端所加的电压之间的关系可用二极管的伏安特性方程表示

$$i = I_S(e^{u/U_T} - 1)$$

式中, I_S ——二极管的反向饱和电流; U_T 为温度电压当量,与温度有关,常温下 $U_T \approx 26 \text{ mV}$ 。当 $u=0$ 时, $i=0$; 当 u 大于 U_T 几倍时, $i \approx I_S e^{u/U_T}$; 当 $u < 0$, 且 $|u|$ 大于 U_T 几倍时, $i \approx -I_S$ 。

综上所述,二极管的基本特性为单向导电性,无论是特性曲线还是特性方程,所反映的电流与电压之间的关系都不是线性的,其内阻不是常数,二极管是一种非线性半导体器件。

1.2.3 二极管的主要参数

器件的参数是对器件性能的定量描述,是实际工作中正确地选择和合理地使用器件的依据。二极管的主要参数有:

(1) 最大整流电流 I_F 。是指二极管长期工作时允许通过的最大正向平均电流值。 I_F 受二极管允许的温升所限定,使用时必须满足一定的散热条件并使流过管子的正向平均电流不能超过此值,否则二极管会过热而损坏。

(2) 最高反向工作电压 U_{RM} 。是指二极管工作时允许加的最大反向电压,是保证二极管不被反向击穿而规定的最大反向工作电压。一般手册上给出的最高反向工作电压约为反向击穿电压的一半,以确保二极管安全工作。

(3) 反向饱和电流 I_S 。是二极管未击穿时的反向工作电流。对二极管来说 I_S 越小越好, I_S 越小,二极管的单向导电性越好。实际使用时还应注意温度对 I_S 的影响。

(4) 最高工作频率 f_M 。是指允许加在二极管两端交流电压的最高频率值。

使用中交流电压的频率若超过此值,二极管的单向导电性会变差甚至失去单向导电性。

1.2.4 二极管的识别、检测及使用注意事项

1. 二极管的识别、检测

在实际使用二极管前必须对二极管的极性和好坏质量有正确的认识与判断,否则非但会造成电路不能正常工作,甚至会损毁二极管和其他元件。

1) 二极管正、负极的识别判断

二极管的正、负极首先可通过管壳上的符号、标志或外型来识别,其中用二极管电路符号做标志的,箭头所指电极为二极管的负极;用标注色环、色带做标志的,色环、色带所在的一端电极为二极管的负极;带定位标记的,判别时,观察者面对管底,由定位标记起,按顺时针方向,引心线依次为正极和负极;大功率二极管正负极引线形式不同,从外型看,带有

螺纹的一端为二极管的负极。

如果没有标志或标志不清,外观上不能加以识别,可根据二极管的单向特性(正向电阻小,反向电阻大),用万用表来进行检测,其方法如下:首先把万用表拨到 $R \times 100 \Omega$ 或 $R \times 1 k\Omega$ 挡(一般不用 $R \times 10 \Omega$ 挡,电流太大;也不用 $R \times 10 k\Omega$ 挡,电压太高),然后,将两表笔分别接二极管的两个电极,测得一个电阻值,交换一次电极再测一次,从而得到两个电阻值。二极管的正向电阻值一般在几十欧至几千欧之间,反向电阻值一般在几十千欧到几百千欧之间。若以所测得的两个电阻值中数值最小的一次为准,则黑表笔接的是二极管的正极,红表笔接的是二极管的负极;如果以电阻值最大的一次为准,则红表笔接的是二极管的正极,黑表笔接的是二极管的负极。

2) 二极管好坏的检测判断

方法同上,若二次测得的正、反向电阻值均很小或近于零,说明管子内部已击穿而短路;如果正、反向电阻值均很大或接近于无穷大,说明管子内部已经断开(常称为开路);如果电阻值相差不大,说明二极管性能变坏或已失效,出现以上三种情况的二极管都不能使用。若测得反向电阻值比正向电阻值大很多(一般百倍以上),说明是好管,正反向阻值相差越大,表针指示越稳定,二极管的性能越好;若表针不能稳定在某一阻值上,说明二极管稳定性差。

3) 硅二极管和锗二极管的判别

首先,可以从管壳上标有的型号来加以判别,当看不到型号时,我们可以利用硅管和锗管正、反向电阻值不一样的特点(硅管的正反向电阻比锗管大)用万用表来判别。其判别方法如下:

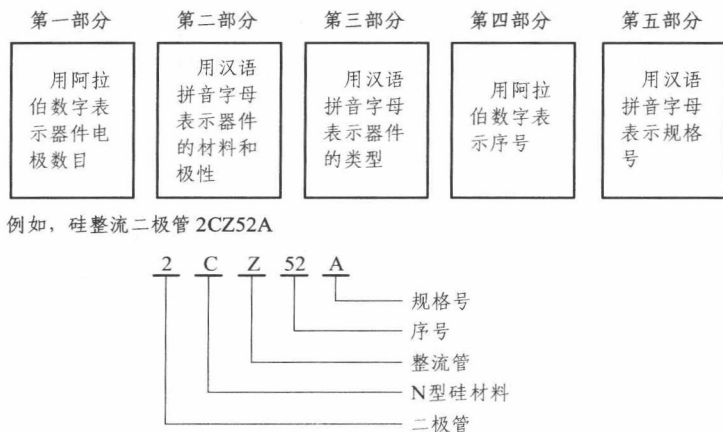
将万用表拨到 $R \times 100 \Omega$ 或 $R \times 1 k\Omega$ 挡,测量二极管的正向电阻值,如果表针的指示在表盘中间或中间偏右一点,则该管为硅管;若表针指示靠近 0 的位置,则表明所测管为锗二极管。然后,再测二极管的反向电阻,如果表针基本不动,在“ ∞ ”处附近,则为硅管;如果表针有很小的偏转(一般不超过满度的四分之一),则为锗管。

还可以用万用表测二极管的正向电阻估算其导通压降的方法来区分,方法是:测正向电阻时,表针指示的十分度刻度线的反转刻度乘以 $1.5 V$,便是二极管的正向压降,然后根据硅为 $0.7 V$ 左右,锗管 $0.3 V$ 左右加以判断。例如:某一被测管的表针指在 0.55 刻度,则其反转刻度为 0.45 ,由此可算出二极管两端正向压降为 $U = 1.5 V \times 0.45 = 0.675 V$,可知该管是硅二极管。

2. 二极管的选用及注意事项

选用管子首先要保证其能安全可靠地工作,也就是被选用的管子在使用时不能超过它的极限参数,并留有一定的余量。而且选用的管子应具有良好的性能,一般原则是:要求导通后正向压降较小时选择锗管,要求反向电流较小时选用硅管;要求工作电流大时选择面接触型,工作频率高时选取点接触型;要求反向击穿电压较高时选用硅管;要求耐高温时选用硅管。也可根据实际电路的技术要求,估算二极管应具有的参数,并考虑适当的余量,查阅手册以确定管子的型号和参数。

国产半导体器件的型号按国家标准(GB/T 249—1989)规定由五部分组成:



3. 二极管使用时的注意事项

(1) 二极管应按照用途、参数及使用环境选择。各主要参数可以从半导体器件手册中查到。但应指出, 由于工艺制造的原因, 参数的分散性较大, 手册上给出的往往是参数值的范围。另外, 各种参数是在规定的条件下测得的, 在使用时要注意这些条件。

(2) 使用二极管时, 正、负极不可接反。通过二极管的电流、承受的反压及环境温度等都不应超过手册中所规定的极限值。

(3) 更换二极管时, 应用同类型或高一级的代替。

(4) 二极管的引线弯曲处距离外壳端面面积应不小于 2 mm, 以免造成引线折断或外壳破裂。

(5) 焊接时应用 35 W 以下的电烙铁, 焊接要迅速, 并用镊子夹住引线根部以帮助散热, 防止烧坏管子。

(6) 安装时, 应避免靠近发热元件, 对功率较大的二极管, 应注意良好散热。

(7) 二极管在容性负载电路中工作时, 二极管整流电流应大于负载电流的 20%。

1.2.5 二极管的电路模型

由二极管的伏安特性可知, 二极管是一种非线性半导体器件, 这给二极管应用电路的分析带来一定的困难。为了便于分析, 常在一定的条件下, 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。在工程分析中, 力求模型简单、实用, 以突出电路的功能及主要特性。

1. 二极管大信号的电路模型

在大信号工作时, 二极管相当开关, 所以在分析二极管电路时, 必须首先判断二极管是导通还是截止, 然后再根据二极管在实际工作中的不同要求确定二极管相应的等效电路, 从而把二极管电路变为特定条件下的线性电路。下面介绍两种二极管开关等效电路。

1) 理想二极管模型

理想二极管模型是一种最简单而又最常用的模型。它将二极管的单向导电性作了理想化

处理。当正向偏置时,二极管导通且导通压降为 0,即二极管正向导通时为短路特性,相当于开关闭合;反向偏置时,二极管截止,反向电流为零,即二极管截止时为开路特性,相当于开关断开,如图 1-8 所示。

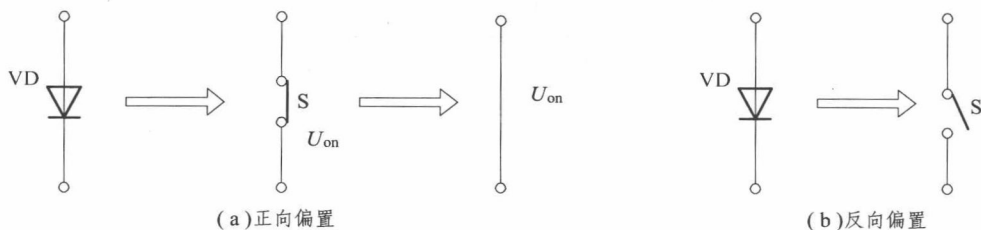


图 1-8 理想二极管等效电路

理想二极管模型与实际的二极管特性虽然有一定的差别,但由于其简单实用,从而得到了广泛的应用。当电源电压远比二极管的管压降大时,常用此法来近似分析。

2) 考虑二极管导通压降的等效电路

在相当多的情况下,二极管本身的导通压降不能忽略。二极管的伏安特性表明二极管导通时的正向压降基本为一个常量(硅管 0.7 V,锗管 0.3 V),截止时反向电流近似为零,因而二极管正向导通时等效为一个闭合的开关和一个电压源 U_{on} 的串联,截止时相当于开关断开,此时的等效电路如图 1-9 所示。

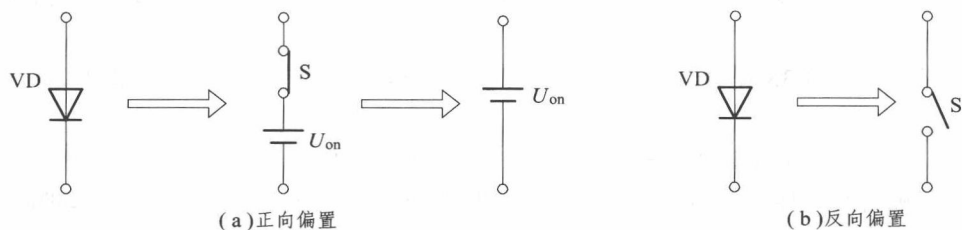


图 1-9 考虑 U_{on} 时二极管等效电路

显然,这种模型比理想二极管模型要更加接近实际的二极管特性。采用这种等效方法时,流过二极管的正向电流应近似等于或大于 1 mA。

在分析计算二极管电路时,应首先判断二极管是导通的还是截止的,然后再计算。方法是:判断哪个管子就将该二极管假设移开,按原二极管的正向求出两个断开点之间的电位差。该电位差若大于等于二极管的正向导通电压(理想二极管为 0,非理想二极管为用 U_{on} ;硅管为 0.7 V,锗管为 0.3 V)时,将二极管接上肯定是导通的,否则就不导通。

【例题 1-1】 二极管工作状态的判定。判定如图 1-10 所示电路中硅二极管的工作状并计算 U_{AB} 的值。

解 在图 1-10 中,假定 VD 断开,则 VD 上端 A 点电位和下端 B 点电位分别为 6 V 和 0,接上 VD,明显可见 VD 正偏导通,可得如图 1-11 所示等效电路。硅二极管的正向导通压降为 0.7 V,VD 导通后,其正极端比负极端的电位高山约 0.7 V,因此

$$U_{AB} = 0.7 \text{ V}$$

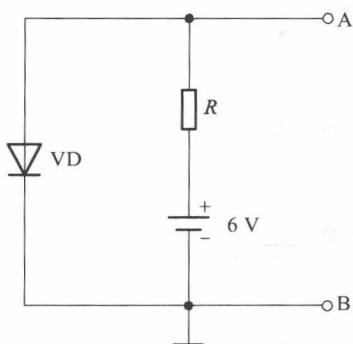


图 1.10 【例 1-1】题图

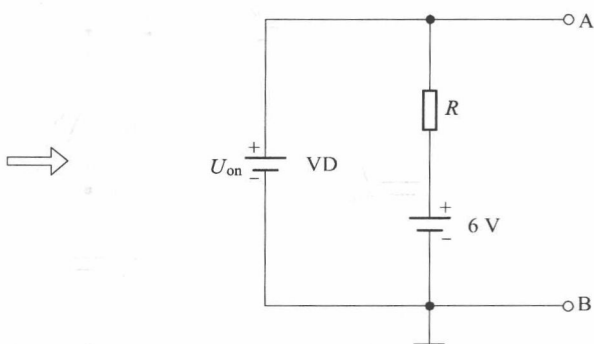


图 1-11 【例 1-1】等效电路

【例 1-2】由硅二极管 VD_1 、 VD_2 和 VD_3 组成的电路如图 1-12 所示，试求电压 U_{AB} 和电流 I 。

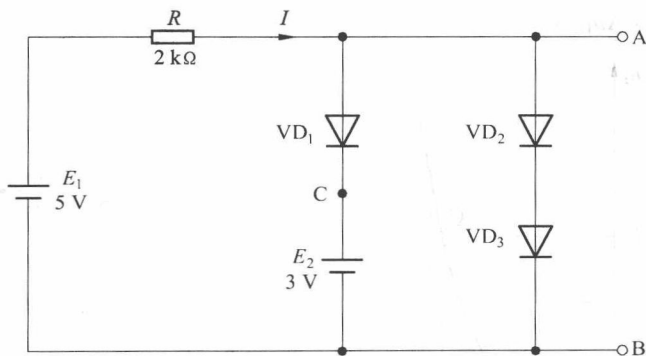


图 1-12 【例 1-2】题图

解 (1) 首先判断 VD_2 和 VD_3 是否导通。将 VD_2 、 VD_3 断开，求 A、B 端的电位差 U_{AB} 。设 VD_1 导通时，有

$$U_{AB} = U_{on} + E_2 = 0.7 + 3 = 3.7 \text{ V}$$

如将 VD_2 和 VD_3 接入，则 VD_2 和 VD_3 一定导通。再设 VD_1 截止时， $U_{AB} = E_1 = 5 \text{ V}$ ，若接入 VD_2 和 VD_3 ，也一定会导通。于是，可得出一个结论：不论 VD_1 是导通或是截止， VD_2 和 VD_3 肯定是导通的。

(2) 在 VD_2 和 VD_3 肯定导通的前提下，再来判断 VD_1 究竟是导通还是截止。将 VD_1 断开，求 A 和 C 两点的电位差 U_{AC} ，有

$$U_{AC} = U_{AB} + U_{BC} = U_{on} + U_{on} + (-E_2) = 0.7 + 0.7 - 3 = -1.6 \text{ V}$$

因此，接入 VD_1 也不会导通。得出的又一个结论是 VD_1 截止。

(3) 三个二极管的工作状态均确定了之后，得相应的等效电路如图 1-13 所示，则

$$U_{AB} = U_{on} + U_{on} = 0.7 + 0.7 = 1.4 \text{ V}$$

$$I = (E_1 - U_{AB}) / R = (5 - 1.4) / 2 = 1.8 \text{ mA}$$

2. 二极管低频小信号模型

二极管外加直流正向偏置电压导通后，以该直流电压为中心再加上一个微小的交流电压，讨论二极管对这个微小交流电压的特性而对二极管这个非线性器件所做的线性化处理，即为