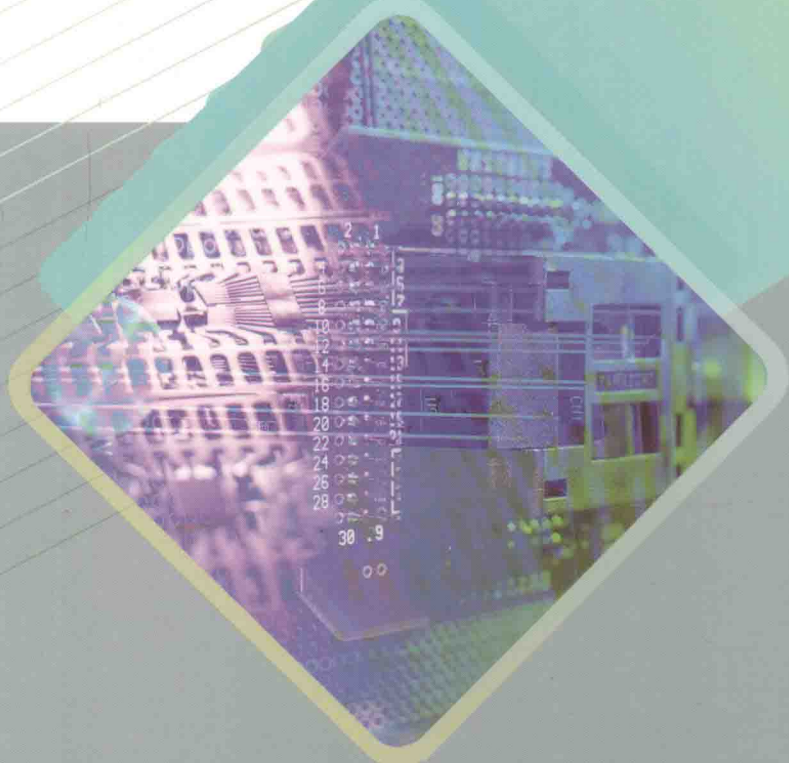


全国高职高专教育规划教材

简明易学系列

模拟电子技术 及应用

■ 胡宴如 主编



全国高职高专教育规划教材
简明易学系列

模拟电子技术及应用

Moni Dianzi Jishu ji Yingyong

胡宴如	主 编
吴正平	副主编
章忠全	主 审



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是一本通俗易懂、易教易学的模拟电子技术简明教材。根据现代电子技术的发展及高职高专教学需要,本书在编者总结多年课程教学改革与实践,以及汲取各方面的意见和建议的基础上编写而成。

全书共分六章,分别为半导体二极管及其应用、半导体三极管及其应用、晶体管常用放大电路、集成运算放大器及其应用、信号产生电路、直流稳压电源。为了便于教学和学习备有配套的电子教案等数字化教学资源。每章都有自我评价题和练习题,每节有复习题,并在书末附有部分自我评价题和练习题答案。

本书以模拟电子技术基本知识、基本理论、基本技能为主线,以能力培养为目标,力求做到内容简明扼要,基本概念清楚,淡化理论推导,突出实践应用,主要内容都有应用实例,使教材做到简明、易学、易懂、实用。

为提高教材的可读性,本书采用双色印刷,版面活泼,重点突出,层次分明,便于教学,有利自学。

本书可作为高职高专院校、五年制高职学校、成人高校和民办高校的电类专业模拟电子技术课程的教材,也可供有关技术人员参考或培训使用。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术及应用 / 胡宴如主编. —北京: 高等教育出版社, 2011. 12

ISBN 978-7-04-033970-3

I. ①模… II. ①胡… III. ①模拟电路-电子技术-高等职业教育-教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 228453 号

策划编辑 孙 杰
插图绘制 尹 莉

责任编辑 王莉莉
责任校对 殷 然

封面设计 赵 阳
责任印制 刘思涵

版式设计 范晓红

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 唐山市润丰印务有限公司
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 12
字 数 280 千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2011 年 12 月第 1 版
印 次 2011 年 12 月第 1 次印刷
定 价 22.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 33970-00

前 言

本书是一本通俗易懂、易教易学的模拟电子技术简明教材,它是为适应现代电子技术的发展和新形势下高职高专教学的需要,在编者总结多年课程教学改革与实践的基础上,吸取多方面的建议和意见编写而成的,适合作为高职高专院校、五年制高职学校、成人高校和民办高校电类专业模拟电子技术课程的教材,也可供有关技术人员参考或培训使用。

本书编写时充分考虑到现代科学技术的发展以及电子技术的应用,结合高职高专的办学定位、岗位需求、生源水平,以培养学生能力为出发点,调整课程内容体系,精选教材内容,突出现代电子技术的基础知识和基本技能,淡化理论推导,力求实用、概念清楚,从而可更好地反映高职高专教学特点。因此,本书有以下主要特点:

1. 课程内容体系以集成电路的应用为主线,淡化半导体器件和集成器件内部结构的讨论,简化基本单元放大电路的理论分析,突出集成器件基本应用电路的讨论,加强实用电路的举例及应用知识的介绍,尽量使基本知识与应用紧密结合,把能力培养贯穿于整个教学过程。因此,在适当精简传统内容、合并有关章节后,本书由半导体二极管及其应用、半导体三极管及其应用、晶体管常用放大电路、集成运算放大器及其应用、信号产生电路、直流稳压电源共6章组成。

2. 内容取舍上以现代电子技术的基本知识、基本理论、基本技能为主,侧重于定性分析,简化数学推导,力求内容简明、概念清楚、重点突出、知识实用,突出技能训练与能力培养,所以书中每章除有基本知识和基本应用电路的讨论外,还编有应用实例、元器件使用知识和检测方法、电路调试和故障分析等实用内容。从而可以更好地理解、掌握理论知识和实际应用,更好地反映高职高专的教学特点。

3. 为了培养学生自我学习能力和复习检查,提高学习兴趣,书中每章前列出本章教学目标,章后有自我评价题和练习题,每节后有复习题。另外,书中还根据内容特点不同,建立了一些小栏目,如“想一想”、“知识拓展”、“资料库”、“电路点评”等。“想一想”可用于课堂讨论,以便及时巩固所学知识;“知识拓展”提供与本节内容有关的新技术、实用电路等,供学生阅读参考,用以加深拓宽知识,培养学生的阅读能力和电路工程应用能力;“电路点评”、“资料库”等可供读者选择器件、电路时参考。

4. 版面设计活泼,图文并茂,易教易学。全书采用双色印刷,将重要名词、概念、公式、基本电路、重要结论、使用注意事项等用专色标志,将图中需要注意或区别的地方也用专色标志,既突出重点,提高可读性,又增加了教材的新鲜感,有利于激发学生的学习兴趣。本书还配套有电子教案等数字化教学资源,为教师教学、学生学习提供便利。

本书由南京工程学院章忠全教授担任主审,他在百忙中认真审阅了全部书稿,提出了很多宝贵的意见和建议,对提高本书质量起到了重要作用,在此表示诚挚的谢意。

本书由胡宴如任主编,负责全书的策划和定稿,吴正平任副主编,章忠全参加了书稿的

II ■ 前言

修改和整理等工作,胡旭峰、马丽明、王明珍等参与本书部分书稿的编写和整理工作。

由于编者水平有限,书中错漏及不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2011年8月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

第1章 半导体二极管及其应用	1
教学目标	1
1.1 二极管的结构、特性及其基本应用	2
1.1.1 二极管的结构与类型	2
1.1.2 二极管的特性及主要参数	3
1.1.3 二极管的基本应用	6
1.2 特殊二极管及其基本应用	10
1.2.1 稳压二极管	10
1.2.2 发光二极管与光电二极管	12
1.2.3 变容二极管	13
1.3 二极管的综合应用	14
1.3.1 二极管的使用常识	14
1.3.2 二极管综合应用实例	18
本章小结	20
自我评价题	20
练习题	21
第2章 半导体三极管及其应用	23
教学目标	23
2.1 晶体管的结构、特性及参数	24
2.1.1 晶体管的结构与电流放大作用	24
2.1.2 晶体管的伏安特性曲线	26
2.1.3 晶体管的主要参数	29
2.1.4 晶体管的使用常识	30
2.2 晶体管的基本应用	34
2.2.1 电流源电路	34
2.2.2 晶体管开关电路	35
2.2.3 晶体管放大电路	37
2.3 场效应管及其基本应用	43
2.3.1 场效应管的结构、符号及其工作原理	44
2.3.2 场效应管的主要参数	49
2.3.3 场效应管的基本应用	49
本章小结	54
自我评价题	55
练习题	56

第3章 晶体管常用放大电路	58
教学目标	58
3.1 放大电路的基本知识	59
3.1.1 放大电路的组成与放大的概念	59
3.1.2 放大电路的主要性能指标	60
3.2 三种基本组态放大电路	63
3.2.1 共发射极放大电路	63
3.2.2 共集电极放大电路	67
3.2.3 共基极放大电路	70
3.3 差分放大电路	73
3.3.1 差分放大电路的工作原理	73
3.3.2 差分放大电路的应用	78
3.4 互补对称功率放大电路	79
3.4.1 功率放大电路的特点与分类	79
3.4.2 乙类双电源互补对称功率放大电路	79
3.4.3 甲乙类双电源互补对称功率放大电路	81
3.4.4 单电源互补对称功率放大电路	84
3.5 多级放大电路	86
3.5.1 多级放大电路的组成及耦合方式	86
3.5.2 多级放大电路的性能指标	88
本章小结	91
自我评价题	92
练习题	93
第4章 集成运算放大器及其应用	95
教学目标	95
4.1 集成运算放大器及其基本应用	96
4.1.1 集成运算放大器的组成及图形符号	96
4.1.2 集成运算放大器的主要参数	98
4.1.3 集成运算放大器特性的理想化及其基本应用	98
4.2 集成运放负反馈放大电路	101
4.2.1 反馈放大电路的基本概念	101
4.2.2 负反馈放大电路的基本类型	103
4.2.3 负反馈对放大电路性能的影响	107
4.3 集成运放信号运算电路	110
4.3.1 比例运算电路	110
4.3.2 加减运算电路	111
4.3.3 微分与积分运算电路	119
4.3.4 集成运放使用知识	121
4.4 集成功率放大器及其应用	126
4.4.1 LM386 集成功率放大器及其应用	126
4.4.2 TDA2040 集成功率放大器及其应用	126

4.4.3 TDA1521 集成功率放大器及其应用	127
4.4.4 集成功率放大器使用注意事项	128
本章小结	129
自我评价题	130
练习题	131
第5章 信号产生电路	133
教学目标	133
5.1 正弦波振荡电路	134
5.1.1 正弦波振荡电路的工作原理	134
5.1.2 RC 桥式振荡电路	136
5.1.3 LC 振荡电路	138
5.1.4 石英晶体振荡电路	142
5.2 非正弦波信号产生电路	145
5.2.1 电压比较器	145
5.2.2 方波、三角波、锯齿波产生电路	147
本章小结	151
自我评价题	151
练习题	152
第6章 直流稳压电源	154
教学目标	154
6.1 单相整流滤波电路	155
6.1.1 单相整流电路	155
6.1.2 滤波电路	157
6.2 线性集成稳压器	160
6.2.1 稳压电源的主要技术指标	160
6.2.2 串联型晶体管稳压电路	161
6.2.3 三端集成稳压器	162
6.2.4 线性集成直流稳压电源的应用	165
6.3 开关稳压电源	167
6.3.1 开关稳压电源的特点及类型	167
6.3.2 开关稳压电源的基本工作原理	167
6.3.3 集成开关稳压器及其应用	169
本章小结	172
自我评价题	172
练习题	173
附录 本书常用符号说明	175
部分自我评价题和练习题答案	177
参考文献	180

第1章 半导体二极管及其应用

教学目标

1. 了解杂质半导体与 PN 结的基本知识。
2. 了解二极管的结构,熟悉其图形符号、单向导电性,理解二极管的伏安特性及主要参数,掌握其应用。
3. 熟悉稳压二极管的图形符号、工作特点及应用。
4. 了解发光二极管、光电二极管和变容二极管的图形符号、工作特点及其应用。
5. 学会二极管识别与检测的基本方法,了解二极管的使用知识。

引言

半导体二极管(简称二极管)是用半导体材料制成的最简单的器件,应用非常广泛。

导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体。常用于制造半导体器件的材料主要有硅(Si)、锗(Ge)和砷化镓(GaAs)等,其中硅应用最多。半导体导电能力受温度、光照影响很大,同时通过掺杂可以控制其导电能力,因此,半导体在现代科学技术中起到极为重要的作用。

半导体器件种类很多,本章讨论半导体二极管的结构、特性及其应用。二极管按其功能不同可分为普通二极管和特殊二极管两大类,但它们的结构、特性基本相同(都由一个 PN 结构成并都具有单向导电性),由于功能的不同,它们在结构、特性上仍各有其特点。本章先介绍普通二极管的结构、特性及其基本应用,然后介绍几种常用的特殊二极管特点及其应用,最后介绍二极管的使用常识及综合应用实例。重点讨论二极管的伏安特性、单向导电性、基本应用及特殊二极管的特点、基本应用。

1.1 二极管的结构、特性及其基本应用

1.1.1 二极管的结构与类型

一、结构与符号

二极管是由一个PN结构成的半导体器件,其主要特性是单向导电性。采用特定的制造工艺,在同一块半导体基片的两边分别形成P型和N型半导体,在P型和N型半导体界面处形成一个很薄的空间电荷区,称为PN结。空间电荷区内建一电场,方向由N区指向P区,如图1.1.1(a)所示,PN结有时也称为耗尽区。在PN结的两端各引出一根电极引线,然后用外壳封装起来就构成了二极管,如图1.1.1(b)所示,图形符号如图1.1.1(c)所示。由P区引出的电极称为正极(或称阳极),用字母A表示;由N区引出的电极称为负极(或称阴极),用字母K表示。图形符号中的箭头方向,表示二极管正向电流的流通方向。

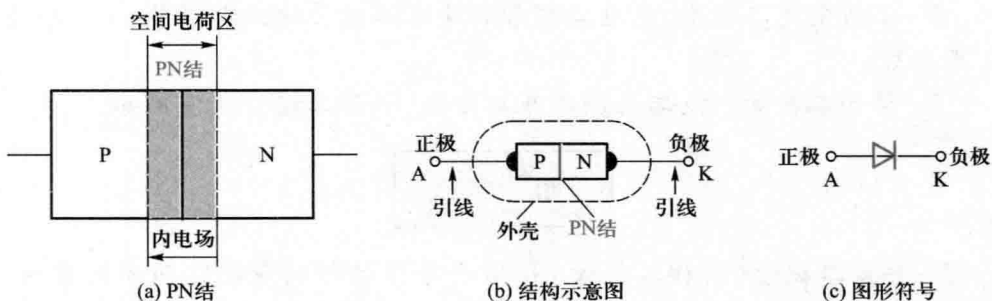
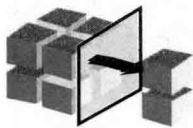


图 1.1.1 二极管的结构与符号



知识拓展 P型、N型半导体与PN结

纯净的半导体称为本征半导体,用于制造半导体器件的纯硅和锗都是单晶体,其原子最外层轨道上有四个价电子,故称为四价元素。在本征半导体中有自由电子和空穴两种运载电荷的粒子(称为载流子)。空穴带正电,自由电子带负电,它们所带电荷量相等,符号相反。本征半导体导电能力很差,故不能直接用于制造半导体器件。

本征半导体中掺入微量特定杂质元素,则可形成P型半导体和N型半导体,它们统称为杂质半导体。当本征半导体中掺入三价元素(如硼、铝、镓等)杂质后,形成以空穴为多数载流子、电子为少数载流子的P(空穴)型半导体;当本征半导体中掺入五价元素(如磷、砷、锑等)杂质后形成以自由电子为多数载流子、空穴为少数载流子的N(电子)型半导体。杂质半导体导电性能得到显著改善,通过控制掺杂浓度,可以有效地改变其导电性能,所以,杂质半导体可以用来制造半导体器件。

在同一块半导体基片上,通过一定的掺杂工艺,使它的一边形成P型半导体,而另一边形成N型半导体,在P型和N型半导体交界面处形成一个很薄的空间电荷区,称为PN结。

空间电荷区内建一电场,方向由N区指向P区,PN结有时也称为耗尽区。PN结是半导体二极管和组成其他半导体器件的基础,它具有单向导电性。即PN结上外加电压,若P区接电位高端、N区接电位的低端,称为正向偏置,这时PN结变窄导通,通过较大的正向电流;反之,称为反向偏置,PN结变宽截止,通过电流近似为零。

二、二极管的类型

二极管的种类很多,按半导体材料不同可分为硅管和锗管。硅管的反向电流很小,但正向压降较大;锗管的正向压降较小,但反向电流较大,温度稳定性较差。

按PN结面积大小不同可分为点接触型和面接触型。点接触型二极管PN结面积很小,不能承受大的电流和高的反向电压,但极间电容很小,适用于高频、小电流的场合,如小电流整流、高频检波、开关电路等。面接触型(或称面结型)二极管PN结面积大,可承受较大的电流,但极间电容大,适用于低频、大电流电路,如低频整流电路。在集成电路中,二极管通常采用硅工艺平面型结构,当用于高频电路或开关电路时,要求PN结面积小;当用于大电流时,要求PN结面积大。

按功能不同可分为普通二极管和特殊二极管。普通二极管有整流、检波、开关二极管等,特殊二极管有稳压二极管、发光二极管、光电二极管、变容二极管等。

1.1.2 二极管的特性及主要参数

一、二极管的单向导电性

二极管的主要特性是单向导电性。外加二极管两端的电压称为偏置电压,若将直流电源的正端加到二极管正极(PN结的P区),负端加到二极管的负极(PN结的N区),如图1.1.2(a)所示,称为二极管(PN结)正向偏置,简称正偏,这时电流表中示出较大的电流值 I ,二极管的这种状态称为正偏导通,二极管呈现很小电阻;若将直流电源的正端接二极管的负极、负端接二极管的正极,如图1.1.2(b)所示,称为二极管(PN结)反向偏置,简称反偏,这时电流表示出的电流几乎为零,二极管的这种状态称为反向截止,即二极管呈现很大的电阻。这种允许一个方向电流流通的特性,称为单向导电性。

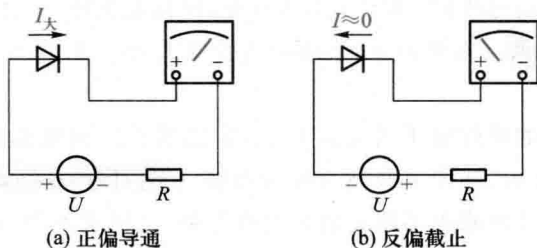


图 1.1.2 二极管的单向导电性



想一想 何谓二极管的正偏和反偏?说明二极管单向导电的特点。

二、二极管的伏安特性曲线

二极管的伏安特性曲线是描述流过二极管的电流 i_D 与管子两端所加电压 u_D 之间的关系曲线,它可以通过仪器测量获得。图 1.1.3(a)、(b)所示分别为硅二极管和锗二极管的伏安特性曲线,现对曲线特点说明如下。

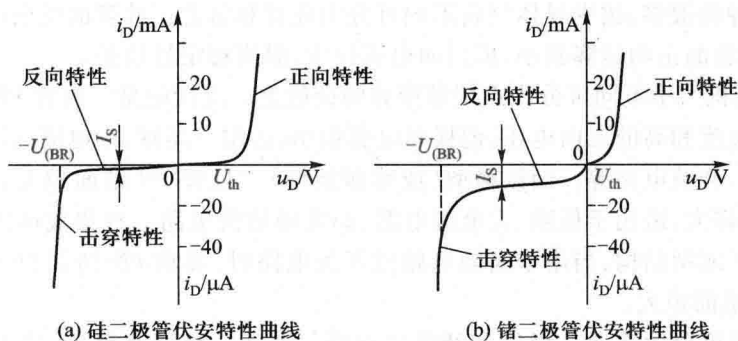


图 1.1.3 二极管的伏安特性曲线

1. 正向特性

由图 1.1.3 可见,当外加正向电压 u_D 小于 U_{th} 时,正向电流 i_D 几乎为零,只有当 $u_D > U_{th}$ 后,二极管才会有较大的正向电流 i_D ,因此,将电压 U_{th} 称为二极管的门槛电压或死区电压。室温下硅管 $U_{th} \approx 0.5V$,锗管 $U_{th} \approx 0.1V$ 。当外加正向电压大于 U_{th} 后,随着 u_D 的增加,二极管的电流 i_D 将显著增大,伏安特性曲线几乎陡直上升,即电流迅速增大时,二极管两端的电压变化却很小,呈现出低电阻特性,有近似恒压源的特性。硅二极管在恒压区的压降约为 $0.6 \sim 0.8V$,锗二极管约为 $0.1 \sim 0.3V$ 。为便于分析,工程上定义这一电压为**二极管的导通电压**,用 $U_{D(on)}$ 表示,即认为 $u_D > U_{D(on)}$ 时,二极管导通, i_D 有较大的数值; $u_D < U_{D(on)}$ 时,二极管截止,电流约为零。实际上,一般取硅管 $U_{D(on)} = 0.7V$,锗管 $U_{D(on)} = 0.2V$ 。

2. 反向特性

二极管两端加上反向电压时,由图 1.1.3 可见,反向电流很小,且与反向电压无关,约等于 I_s ,故称为**反向饱和电流**。在室温下,小功率硅管的 I_s 小于 $0.1\mu A$,锗管约为几十微安。

3. 反向击穿特性

当加于二极管两端的反向电压增大到 $U_{(BR)}$ 时,二极管反向电流将随反向电压的增加而急剧增大,如图 1.1.3 所示,这种现象称为反向击穿, $U_{(BR)}$ 称为**反向击穿电压**。反向击穿后,只要反向电流和反向电压的乘积不超过最大允许管耗,二极管不会损坏,当反向电压下降到击穿电压以下后,其性能可恢复到原有情况,即这种击穿是可逆的,称为电击穿。若反向电流过大,则会导致 PN 结结温过高而烧坏,这种击穿是不可逆的,称为热击穿。

4. 硅管与锗管特性比较

比较图 1.1.3(a)和图(b)可知:锗管的死区电压 U_{th} 和导通电压 $U_{D(on)}$ 比硅管小,但硅管的反向电流比锗管小很多,硅管的单向导电性和温度稳定性较好。另外,硅管比较耐击穿、耐温,因此硅管的综合性能较好,实用中使用比较多。

5. 温度对二极管特性的影响

温度对二极管的特性有显著影响,如图 1.1.4 所示。当温度升高时,正向特性曲线向左移,死区电压和正向压降减小;反向特性曲线下移,即反向电流增大。在室温附近,温度每升高 1°C ,正向压降约减小 $2 \sim 2.5 \text{ mV}$,温度每升高 10°C ,反向饱和电流约增大一倍。当温度过高时,会使 PN 结消失,为了保证 PN 结的正常工作,一般规定硅管的最高允许结温为 $150 \sim 200^{\circ}\text{C}$,锗管为 $75 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 。

【例 1.1.1】 二极管正向特性有何特点?

解:二极管正向特性有以下几个特点:(1) 存在死区电压 U_{th} ,硅管 $U_{th} \approx 0.5 \text{ V}$,锗管 $U_{th} \approx 0.1 \text{ V}$;(2) 正向电压大于 U_{th} 后,正向电流随着外加电压的增大而显著增加,有近似恒压源特性,可认为二极管正向导通压降为恒值,硅管为 0.7 V ,锗管为 0.2 V 。

【例 1.1.2】 温度对二极管的特性有哪些影响?

解:温度对二极管的特性有如下一些影响:(1) 温度升高,正向特性向左移,即正向电流相同,温度升高后其管压降减小,温度每升高 1°C ,正向压降减小约 $2 \sim 2.5 \text{ mV}$;(2) 温度升高,反向电流显著增大,温度每升高 10°C ,反向电流约增大一倍。

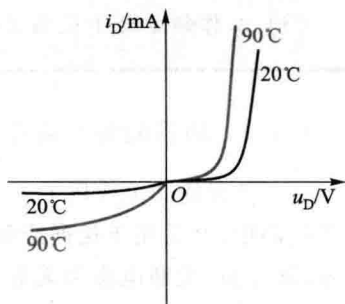


图 1.1.4 温度对二极管特性曲线的影响

三、二极管的主要参数

二极管的特性还可用参数来描述,实用中一般通过查器件手册,依据参数来合理使用二极管。二极管有如下主要参数:

(1) **最大整流电流 I_F** 指二极管长期运行允许通过的最大正向平均电流,它的大小由 PN 结的面积和散热条件所决定。使用中,若超过此值,有可能烧坏二极管。

(2) **最高反向工作电压 U_{RM}** 指允许施加在二极管两端的最大反向电压,通常规定为反向击穿电压的一半。

(3) **反向电流 I_R** 指二极管未击穿时的反向电流。其值越小,单向导电性和温度稳定性越好,反向电流会随温度升高而明显增大,在实际应用中应加注意。

(4) **最高工作频率 f_M** 指二极管能单向导电的最高工作频率。当工作频率超过此值,则单向导电性变差,甚至失去单向导电性。PN 结具有电容效应,其作用可用 PN 结电容来等效,它并联于二极管的两端,由于 PN 结电容很小,对低频工作影响很小,当工作频率升高时,其影响就会增大,所以 f_M 主要决定于 PN 结电容的大小,其值越小, f_M 越大。

【例 1.1.3】 二极管有哪些主要参数? 使用中应特别注意哪些参数?

解:普通二极管的主要参数有:最大整流电流 I_F 、最高反向工作电压 U_{RM} 、反向电流 I_R 和最高工作频率 f_M 。

二极管使用中应特别注意:(1) 正向电流应加以限制,以免正向电流过大而损坏二极管;(2) 反向电压应小于最高反向工作电压 U_{RM} ,以免产生击穿而损坏;(3) 注意当工作环境温度升高时,反向电流会显著增大。



想一想 下列情况下,二极管会损坏吗?为什么?

- (1) 反向电压大于最高反向工作电压 U_{RM} ;
- (2) 正向电流大于最大整流电流 I_F ;
- (3) 工作频率大于最高工作频率 f_M 。

1.1.3 二极管的基本应用

一、二极管的开关作用

在电路中,开关用于接通或断开电路,对于理想开关,接通时接通电阻为零,开关两端电压为零;断开时,关断电阻为无穷大,通过开关的电流为零,而其两端电压等于外加电压。由上面分析可知,当二极管正偏电压大于导通电压 $U_{D(on)}$ 时,微小的电压变化就会导致电流大幅度的变化,二极管呈现低电阻特性;当二极管反向偏置时,反偏电压在很大范围变化时,二极管中的电流很小且几乎不变,二极管呈现高电阻特性。所以二极管具有开关作用,若忽略导通电压和反向电流的影响,二极管具有理想的开关作用。

图 1.1.5(a) 中,二极管正偏,当满足电压 $U \gg U_{D(on)}$ 时,可以忽略二极管导通电压的影响,此时电阻 R 上的电压约等于 U ,二极管呈现出短路特性,可等效为闭合的开关,如图 1.1.5(b) 所示。

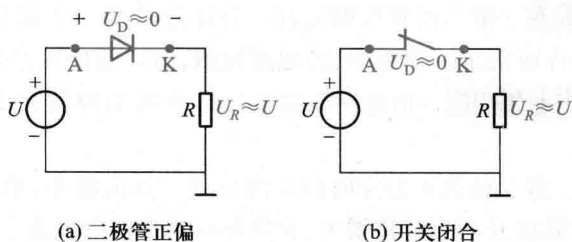


图 1.1.5 二极管正偏相当于开关闭合

图 1.1.6(a) 中,二极管反偏,二极管中的电流近似为零,此时二极管呈现出高电阻特性,可等效为断开的开关,如图 1.1.6(b) 所示。

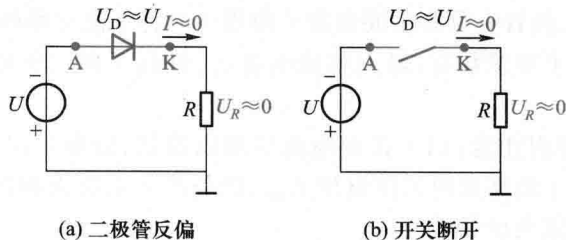


图 1.1.6 二极管反偏相当于开关断开

实用中,当考虑到二极管正向导通电压 $U_{D(on)}$ 的影响时,可将正向偏置的二极管用闭合

开关串接一个等于导通电压 $U_{D(on)}$ 的电压源来近似表示,如图 1.1.7 所示。

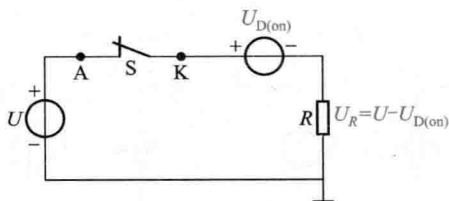


图 1.1.7 考虑 $U_{D(on)}$ 后二极管正偏开关闭合

【例 1.1.4】在图 1.1.5(a) 所示电路中, $U=10\text{V}$, $R=2\text{k}\Omega$, 试求流过二极管的电流 I_D 和电阻 R 两端电压 U_R ; 若二极管为硅管, 当考虑二极管导通电压 $U_{D(on)}$ 的影响时, 求 I_D 和 U_R 。

解: 当 $U=10\text{V}$ 时, 二极管正偏导通, 由图 1.1.5(a) 所示电路可得

$$U_R = U = 10\text{V}, I_D = \frac{U_R}{R} = \frac{10\text{V}}{2\text{k}\Omega} = 5\text{mA}$$

若考虑二极管导通电压的影响, 则由图 1.1.7 可得

$$U_R = U - U_{D(on)} = (10 - 0.7)\text{V} = 9.3\text{V}$$

$$I_D = \frac{U_R}{R} = \frac{9.3\text{V}}{2\text{k}\Omega} = 4.65\text{mA}$$

本例计算结果说明两者虽有误差, 但误差不大。但若外加电压 U 较低时, 计算结果将会有较大的误差。所以, 实用上在对电路作定性分析时, 通常将二极管作为理想开关对待; 而作定量计算时, 对于硅管导通电压常取 $U_{D(on)} = 0.7\text{V}$ 来计算, 从而保证计算结果的准确性。



想一想 硅二极管电路如图 1.1.8 所示, 图中二极管 VD 用作理想开关, 当输入电压 $U_i > 5\text{V}$ 和 $U_i < 5\text{V}$ 时, 输出电压 U_o 各为多少? 若将二极管 VD 反接, 则输出电压 U_o 又各为多少?

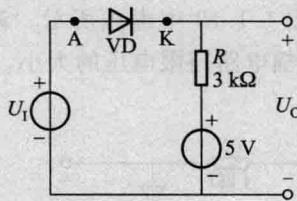


图 1.1.8 二极管用作控制开关

二、二极管应用电路举例

1. 整流电路

将交流电压变为直流电压称为整流。图 1.1.9(a) 所示为最简单的半波整流电路, 图中二极管 VD 为整流二极管, R 为负载电阻, 输入 u_i 为 50Hz 交流正弦电压, 其振幅一般都远大于二极管的导通电压 $U_{D(on)}$, 现设其振幅为 15V 。当 u_i 为正半周时, 二极管正偏导通, 相当于开关接通, 如图 1.1.9(b) 所示, 则输出电压 $u_o = u_i$; 当 u_i 为负半周时, 二极管反偏截止, 相当于开关断开, 如图 1.1.9(c) 所示, 输出电压 $u_o = 0$ 。由此可画出输入、输出电压波形如图 1.1.10 所示。由图可见, 在输入电压 u_i 的一个周期内, 只有半个周期的正弦波输出, 故

称为半波整流。图 1.1.9(a) 所示电路可将正弦交流电压变成单向的脉动直流电压输出。

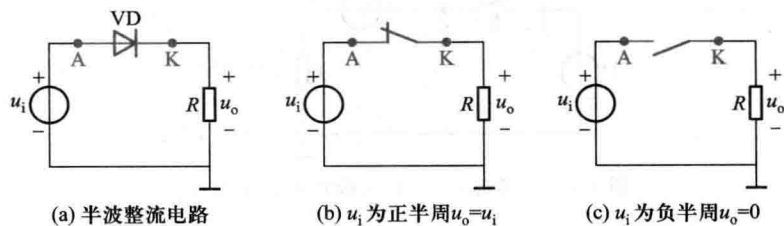


图 1.1.9 二极管半波整流电路及其等效电路

2. 限幅电路

在电子电路中,为了限制输出电压的幅度,常利用二极管构成限幅电路,图 1.1.11(a) 所示为二极管单向限幅电路。图中, R 为限流电阻, U_{REF} 为基准电压, u_i 为输入电压。由图可见,当 $u_i > U_{\text{REF}}$ 时,二极管导通,相当于开关接通,如图 1.1.11(b) 所示,此时输出电压 u_o 恒等于基准电压 U_{REF} ; 当 $u_i < U_{\text{REF}}$ 时,二极管反偏截止,相当于开关断开,如图 1.1.11(c) 所示,此时输出电压 $u_o = u_i$ 。现令输入电压 u_i 为振幅为 10 V 的正弦波, $U_{\text{REF}} = 5\text{V}$, 可画出输入、输出电压波形如图 1.1.12 所示。可见,输出电压 u_o 的正半周顶部被限幅而削平,输出电压的幅度被限制在 5V 以下。若考虑到二极管的正向导通电压 $U_{\text{D(on)}}$ 的影响,且二极管为硅管时,输出电压将被限制在 5.7 V 以下,如图 1.1.12 中虚线所示。调节基准电压 U_{REF} , 可改变限幅电路门限电压的大小。

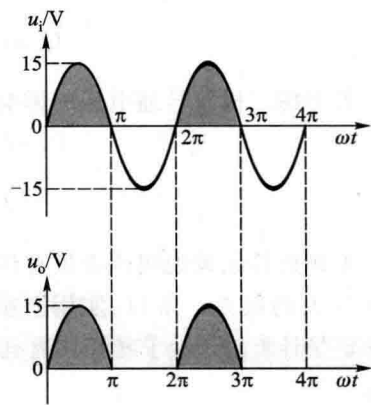


图 1.1.10 半波整流输入输出电压波形

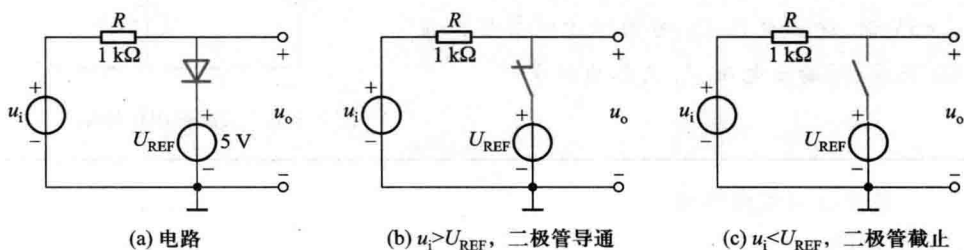


图 1.1.11 二极管单向限幅电路

【例 1.1.5】 图 1.1.13 所示为常用于集成电路输入端的双向限幅电路,图中两只二极管均采用硅管,其导通电压 $U_{\text{D(on)}} = 0.7\text{V}$, 试分析电路的工作原理。

解: 当输入电压 $u_i > 0.7\text{V}$ 时,二极管 VD_1 导通、 VD_2 截止,输出电压 $u_o = 0.7\text{V}$; 当 $u_i < -0.7\text{V}$ 时,二极管 VD_2 导通、 VD_1 截止,输出电压 $u_o = -0.7\text{V}$; 当 $0.7\text{V} > u_i > -0.7\text{V}$ 时, VD_1 、