

(模拟部分)

● 丁明芳 编著

电子技术基础

自学与解题指南

DIANZI JISHU JICHU
ZIXUE YU JIETI ZHINAN

基本思路

重点难点

容易混淆问题解答

例题解析

模拟试题

合肥工业大学出版社



图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础(模拟部分)自学与解题指南/丁明芳编著. —合肥:合肥工业大学出版社, 2004. 7

ISBN 7-81093-112-1

I. 电… II. 丁… III. 模拟电路—电子技术—高等学校—自学参考资料 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 072005 号

内 容 提 要

本书是根据教育部颁布的高等工业学校《电子技术基础课程教学基本要求》和《电子线路课程教学基本要求》的精神,针对模拟电子线路中的器件种类多,工作状态复杂,电路花样多,分析方法灵活,实践应用性强的特点而编写的一本教学辅导教材。全书共十章:半导体二极管及其基本电路;半导体三极管及其放大电路;场效应管放大电路;多级放大电路和频率特性;功率放大电路;集成电路运算放大电路;反馈放大电路;信号的运算及处理电路;信号产生电路;直流稳压电源。每章包括基本思路、重点和难点、容易混淆问题的解答、例题解析、模拟试题(附参考答案),附录中收集了近几年西安交通大学硕士研究生入学考试《电子技术基础》试题。

本书可作为高等院校电子类本科生学习电子线路和模拟电子技术课程的辅导教材,也可作为报考有关专业研究生的学生和在职人员系统复习的参考书。

电子技术基础(模拟部分)自学与解题指南

丁明芳 编著

责任编辑 朱移山

出 版	合肥工业大学出版社	开 本	787×1092 1/16
地 址	合肥市屯溪路 193 号	印 张	21.75
邮 编	230009	字 数	543 千字
电 话	总编室:0551-2903038 发行部:0551-2903198	发 行	全国新华书店
版 次	2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷	印 刷	合肥现代印务有限公司
		网 址	www.hfutpress.com.cn
		E-mail	press@hfutpress.com.cn

ISBN 7-81093-112-1/TN·2 定价:28.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换

前 言

为配合高等学校“模拟电子技术基础”课程有关教材的学习,根据教育部颁布的高等工业学校《电子技术基础课程教学基本要求》和《电子线路课程教学基本要求》,编者总结多年来在教学实践过程中积累的经验和学生提出的具体疑难问题,并考虑课程特点和读者的需求而编写了这本教学参考书。

全书共分十章:半导体二极管及其基本电路;半导体三极管及其放大电路;场效应管放大电路;多级放大电路和频率特性;功率放大电路;集成电路运算放大电路;反馈放大电路;信号的运算及处理电路;信号产生电路;直流稳压电源等。每章内容又按基本思路、重点与难点、容易混淆的问题的解答、习题解析、模拟试题(附参考答案)五部分内容编写。

本书特色,一是基本思路简明扼要,针对电子技术的器件种类多,电路花样多,概念方法多,实践应用性强的特点,将每一章内容进一步科学化、系统化总结归纳,使每章内容在读者脑子里形成一条清晰的线索。二是重点和难点抓得准确。对容易混淆的问题,分析解答透彻,言简意赅。三是习题解析交待了解题方法和思路,并重视分析习题的意图,以便读者达到融会贯通、举一反三的效果。

模拟试题是经过精心挑选的,它一方面为读者在深化知识方面作具体的应用指导,另一方面则是读者用来检验自身综合应用各章知识的能力。同时,通过做习题,读者可深化对各章内容的理解。

另外,在本书附录中还提供了近几年西安交通大学的研究生入学考试试题,供有关学生复习时参考。

综上所述,本指导书有如下特点:

1. 选题新。编写者站在新的视角,系统全面,富有针对性。书中根据电子技术课的特点和读者的需求而选题,非常重视归纳总结。

2. 体系新。指导书紧紧围绕教育部制定的教学大纲,对各章内容进行重构、重建,分章理出基本思路、重点和难点、容易混淆的问题的解答、例题解析、模拟试题(附参考答案)五部分。

3. 重视创新。在编写过程中,采用以课程内容教学的基本要求为基点,而某些方面又略高于基本要求的原则,以适应电子技术飞速发展的需求。

4. 重点突出。该指导书围绕课程中的重点、难点来选取内容进行解析,并非面面俱到。

5. 重视能力,帮助学生提高技巧。不论是学习还是考试,其最终目的是为了提高学生分析问题、解决问题的能力。编者重在通过阐明基本要求及典型例题解析来引导学生识题、解题,使学生在有限的时间内掌握大纲所规定的基本内容,提高自己的解题能力,从而在课程考试及研究生入学考试中立于不败之地。

该书既可作为高等院校电子类本科生学习电子线路或模拟电子技术课程的辅导

教材,也可作为报考有关专业研究生的学生和在职人员系统复习参考书。

该书的编写得到多方面人士的支持和关心。华中科技大学电子信息工程系陈大钦教授和安徽大学电子工程与信息科学学院汪炳权教授,详细、认真、全面地审阅了该书的全部内容,并提出许多宝贵意见和建议;合肥工业大学应用物理系高启安教授,阜阳师范学院物理系电子信息与科学教研室的陈曙光、朱勇、陈卫兵、韦永梅等老师,也为该书的出版出谋划策,提出了许多建设性的意见,在此一并表示衷心的感谢。

电子技术飞速发展,教学改革任重道远,加之编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2004年8月

目 录

第一章 半导体二极管及其基本电路	(1)
1.1 基本思路	(1)
1.2 重点与难点	(1)
1.2.1 基础知识	(1)
1.2.2 PN 结	(2)
1.2.3 半导体二极管	(4)
1.2.4 二极管基本电路及其分析方法	(5)
1.2.5 特殊二极管	(7)
1.3 容易混淆的问题解答	(9)
1.3.1 载流子的产生与复合,非平衡载流子,载流子平均寿命	(9)
1.3.2 欧姆接触(或接触电位差)的概念	(9)
1.3.3 短路与开路 PN 结具有相同的电气特性	(9)
1.3.4 PN 结两端存在电位势垒(即电位差)若将二极管短路后是否有电流流通? 如果用光照二极管情况又怎样?	(9)
1.3.5 PN 结的反向击穿有哪几种类型? 各有什么特点?	(10)
1.3.6 将一个二极管看作一个电阻,它和一般由导体构成的电阻有何区别?	(10)
1.3.7 比较硅二极管和锗二极管的伏安特性有何异同?	(10)
1.3.8 怎样用万用表判断二极管正负极性与好坏?	(11)
1.3.9 怎样理解二极管伏安特性曲线的非线性?	(12)
1.4 例题解析	(13)
1.5 模拟试题(附参考答案).....	(26)
第二章 半导体三极管及放大电路	(29)
2.1 基本思路.....	(29)
2.2 重点与难点.....	(29)
2.2.1 掌握 BJT 工作原理	(29)
2.2.2 放大电路的组成原则.....	(32)
2.2.3 放大电路的直流偏置电路及其分析.....	(32)
2.2.4 放大电路的三种分析方法.....	(35)
2.3 容易混淆的问题解答.....	(40)
2.3.1 电子电路中直流与交流的联系与区别.....	(40)
2.3.2 静态工作点的高或低应按什么原则来确定?	(40)
2.3.3 放大电路在什么条件下将产生饱和失真和截止失真,输出电压波形怎样?	(40)

2.3.4	怎样确定放大电路的最大不失真输出电压的幅值?	(41)
2.3.5	利用二极管和热敏电阻进行温度补偿问题	(41)
2.3.6	比较有无集电极电阻 R_c 的射极跟随器的放大倍数、输入电阻和输出电阻	(42)
2.3.7	自举电路与射极跟随器的区别	(43)
2.3.8	复合三极管的讨论	(44)
2.4	例题解析	(45)
2.5	模拟试题(附参考答案)	(62)
第三章	场效应管放大电路	(65)
3.1	基本思路	(65)
3.2	重点与难点	(66)
3.2.1	直流偏置电路及其分析	(66)
3.2.2	FET 组成的三种基本组态放大电路	(68)
3.2.3	深入研究的几个问题	(69)
3.3	容易混淆的问题解答	(73)
3.3.1	FET 有许多类型,它们的输出特性和转移特性各不相同,不能混淆	(73)
3.3.2	什么叫预夹断?它与整个导电沟道的夹断(全夹断)不同,两者不能混淆。 为什么预夹断后还有 i_D 流通?	(74)
3.3.3	结型 FET 可作压控电阻使用是有条件的,不能混淆	(74)
3.3.4	耗尽型 NMOS 管与 N 沟道 JFET 虽同属耗尽型,但它们的特性也有不同 之处,不能混淆	(75)
3.3.5	场效应管的工作原理与普通三极管不同,那么场效应管放大电路的偏置 电路有何特点?它有几种偏置方式?	(75)
3.4	例题解析	(76)
3.5	模拟试题(附参考答案)	(87)
第四章	多级放大电路和频率特性	(91)
4.1	基本思路	(91)
4.1.1	多级放大电路的组成	(91)
4.1.2	放大电路的频率响应	(91)
4.2	重点与难点	(92)
4.2.1	多级放大电路的基本耦合方式	(92)
4.2.2	级间相互影响及计算放大性能的方法	(93)
4.2.3	频率响应的基本概念	(94)
4.2.4	频率响应的分析方法	(95)
4.2.5	三种基本放大器的频率响应的分析	(96)
4.2.6	单级放大器的瞬态响应	(100)
4.2.7	多级放大器的频率响应	(102)

4.2.8	扩展放大器通频带的方法	(103)
4.3	容易混淆的问题解答	
4.3.1	为什么说频率响应是放大器的一项重要性能指标?	(105)
4.3.2	共射单级放大电路幅频特性的物理意义	(106)
4.3.3	三种不同的耦合电路中,静态工作点的求法有所不同,不能混淆	(107)
4.3.4	说明各级 β 对总放大倍数的作用	(107)
4.3.5	频率失真产生的原因及其与非线性失真的区别	(108)
4.4	例题解析	(108)
4.5	模拟试题(附参考答案)	(122)
第五章	功率放大电路	(127)
5.1	基本思路	(127)
5.2	重点与难点	(128)
5.2.1	功放的特殊问题	(128)
5.2.2	乙类互补推挽功率放大电路	(128)
5.2.3	其他形式的推挽功率放大电路	(131)
5.2.4	功率 BJT 的散热和保护问题	(133)
5.3	容易混淆的问题解答	(137)
5.3.1	用阻容耦合方式进行功率放大有什么问题?	(137)
5.3.2	单管甲类功率放大器如图 5.3.1 所示,在其管子的输入特性上画直流 负载线和交流负载线,与阻容耦合放大器的负载线有何不同?	(137)
5.3.3	有人说收音机的音量开得最大的时候最费管子(发热最大),你认为 这种说法对吗?	(137)
5.3.4	甲乙二同学对功率放大电路的供电问题的讨论	(138)
5.3.5	如何分析甲类和乙类功率放大电路中管子所承受的最大反向电压值? ..	(138)
5.3.6	某一互补推挽功率输出级,工作于乙类,负载为最佳负载,如果在负载不变 的情况下,要将输出功率提高一倍,供电电压提高多少? 设饱和压降忽略不 计	(138)
5.3.7	变压器耦合单管放大电路的效率为什么很低? 甲类、乙类、甲乙类和丙类 放大电路工作状态是根据什么原则加以区分的? 它们各有什么特点和用途?	(138)
5.4	例题解析	(140)
5.5	模拟试题(附参考答案)	(148)
第六章	集成电路运算放大器	(152)
6.1	基本思路	(152)
6.2	重点与难点	(152)
6.2.1	集成运算放大器的主要组成单元之一——恒流源电路	(152)
6.2.2	集成运算放大器的主要组成单元之二——差动式放大电路	(153)

6.2.3	集成运放内部电路的分析	(156)
6.2.4	集成运放的主要技术指标	(157)
6.2.5	典型集成运算放大器	(157)
6.3	容易混淆的问题解答	(157)
6.3.1	改进集成运放性能的主要措施有哪些?	(157)
6.3.2	在基本差动式放大电路的射极和地之间接一大电阻 R_e 与单管共射电路中的 R_e 作用有哪些不同之处?	(158)
6.3.3	复合管的输入电阻和差动式放大电路的输入电阻有何不同?	(159)
6.3.4	明确超 β 复合型差动放大电路的工作原理及 R_{id}, R_{od} 和 A_{od} 的求法	(160)
6.3.5	注意区别高 β 管和超 β 管	(161)
6.4	例题解析	(162)
6.5	模拟试题(附参考答案)	(174)
第七章	反馈放大电路	(179)
7.1	基本思路	(179)
7.2	重点与难点	(179)
7.2.1	反馈放大器的基本概念	(180)
7.2.2	负反馈对放大器性能的影响	(182)
7.2.3	负反馈放大器的性能分析	(184)
7.2.4	负反馈放大器的稳定性与相位补偿技术	(186)
7.3	容易混淆的问题解答	(188)
7.3.1	引入串联负反馈,放大电路输入电阻是否一定提高 $(1+AF)$ 倍?	(188)
7.3.2	用低频管代替高频管,只要加上足够的负反馈就可以吗?	(189)
7.3.3	信号源内阻对串联负反馈和并联负反馈效果有何影响?	(189)
7.3.4	在深度负反馈条件下,随便选一个管子,只要反馈网络的 $F = \frac{1}{A_v}$,就能获得所需要的稳定的闭环放大倍数 A_f 吗?	(190)
7.3.5	一个多级放大电路,它的上限频率为 100kHz,只要引入负反馈使它的中频放大倍数下降 100 倍,那么它的上限频率就会提高到 10MHz?	(190)
7.3.6	幅频裕量和相位裕量是如何定义的?	(190)
7.3.7	极点与主极点的概念不能混淆	(191)
7.4	例题解析	(191)
7.5	模拟试题(附参考答案)	(210)
第八章	信号的运算与处理电路	(216)
8.1	基本思路	(216)
8.2	重点与难点	(217)
8.2.1	理想化集成运放特性与条件	(217)

8.2.2	理想运放的线性运用	(218)
8.2.3	理想运放的非线性运用	(222)
8.2.4	开环应用	(224)
8.2.5	集成运放的非理想特性	(225)
8.3	容易混淆的问题解答	(227)
8.3.1	“虚地”概念与直接接地不同,不能相混淆	(227)
8.3.2	为什么理想运算放大器工作在线性区有 $v_p = v_N$ 和 $i_i = 0$ 两个重要特点? 你能说明虚短和虚地的概念吗?	(227)
8.3.3	要正确区分由理想运放组成的电压跟随器的几种类型	(228)
8.3.4	与简单的 RC 积分器相比,集成运放积分器有什么优点?	(229)
8.3.5	正确区分由集成运放组成的控制电压源电路和控制电流源电路, 并写出控制关系	(229)
8.3.6	用万用表的电阻档可以像测试三极管一样,检查一个线性组件的好坏吗?	(230)
8.3.7	影响开关电容器频率响应的时间常数决定于什么?	(231)
8.3.8	开关电容滤波器与一般 RC 有源滤波电路相比有何主要优点?	(231)
8.4	例题解析	(232)
8.5	模拟试题(附参考答案)	(267)
第九章	信号产生电路	(271)
9.1	基本思路	(271)
9.2	重点与难点	(272)
9.2.1	正弦波振荡器	(272)
9.2.2	非正弦信号产生电路	(276)
9.2.3	波形变换电路	(278)
9.3	容易混淆的问题解答	(278)
9.3.1	正弦振荡与负反馈放大器自激振荡有何差异?	(278)
9.3.2	将文氏电桥的选频网络去掉,换上一根导线,是否也能振荡? 这样做有什么问题?	(279)
9.3.3	振荡器中引入负反馈会不会使振荡器不振荡?	(279)
9.3.4	(1)指出图 9.3.1 是哪种正弦波振荡电路? (2) R_1 短路,则电路将产生什么现象? (3) R_1 断开,则电路将产生什么现象? (4) R_f 短路,则电路将产生什么现象? (5) R_f 断开,则电路将产生什么现象?	(279)
9.3.5	(1)试说明图 9.3.2(a)为何满足振荡条件? (2)若将图 9.3.2(a)中的 R、C 位置互换,电路能否振荡,试说明其振荡频率是多少?	(280)
9.3.6	靠管子的非线性区限幅,振荡波形是否一定不好? 波形失真度主要由哪部分	

元件决定?	(281)
9.4 例题解析	(281)
9.5 模拟试题(附参考答案)	(300)
第十章 直流稳压电源	(304)
10.1 基本思路	(304)
10.2 重点与难点	(304)
10.2.1 整流电路	(304)
10.2.2 滤波电路	(304)
10.2.3 稳压电路	(305)
10.3 容易混淆的问题解答	(309)
10.3.1 在整流滤波电路中,各处电压的量值的选取问题	(309)
10.3.2 衡量整流滤波电路的输出电压平滑程度的两种性能指标的区别与联系	(309)
10.3.3 在半波整流电路中,按一般规律, i_D 大, V_o 小,但在实验中发现,如果 R_L 很大时, V_o 也要下降,如何解释?	(310)
10.3.4 根据单向桥式整流电路的工作原理,分析图 10.3.4 所示电路在出现下述故障时会产生什么现象: (1) D_1 的正负极性接反 (2) D_1 短路 (3) D_1 开路	(310)
10.3.5 试比较图 10.3.5(a)、(b)、(c)三个电路,哪个滤波效果较好,哪个较差,哪个不起滤波作用?	(310)
10.3.6 能不能用二极管的正向特性用作稳压? 能不能用三极管的PN结当稳压管?	(311)
10.3.7 基本的串联稳压电路如图 10.3.7 所示,其输出电压是取较高值时,还是取较低值时稳定性更好些?	(311)
10.4 例题解析	(311)
10.5 模拟试题(附参考答案)	(323)
附录:近几年西安交通大学硕士研究生入学考试《电子技术基础》试题	(328)
参考文献	(338)

第一章 半导体二极管及其基本电路

电子电路要用电子器件来构成,所以无论学习模拟电路还是数字电路,都必须对半导体器件(包括半导体二极管、三极管、场效应管、集成电路等)有一定的了解。

本章先介绍半导体器件的基础知识,再讨论半导体器件的核心——PN结。在此基础上对特殊二极管给予简要介绍。

1.1 基本思路

学习半导体基础知识的思路是要紧紧抓住以下几个“两”。

两种载流子:电子和空穴。

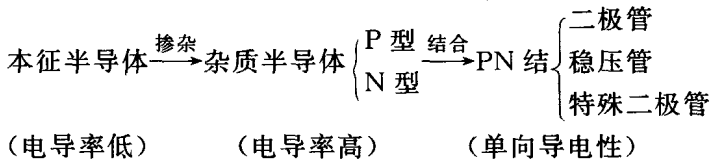
两种基本运动形式:载流子的扩散运动和漂移运动。

两种半导体:本征半导体和杂质半导体。

两个主要特性:半导体导电的掺杂特性与温度特性。掺杂浓度越大,温度越高,半导体的导电能力就越强。

学习半导体二极管要抓住其结构特点、伏安特性、性能特点及作用和主要参数等要点。

本章安排的思路是:



1.2 重点与难点

1.2.1 基础知识

(1)半导体的导电方式——两种载流子

电子:导带中的自由电子,极性为负。空穴:导带中价电子留下的空位,极性为正。

(2)本征半导体的特点——电导率低且与温度有关

热激发→共价键断开 { 自由电子(导带)
空穴(价带)

(价电子跃入导带)

热激发条件下仅少数电子获得足够能量形成电子—空穴对。

(3)杂质半导体的特点——导电率高

两种杂质半导体 $\left\{ \begin{array}{l} \text{N型——电子为多子,空穴为少子} \\ \text{P型——空穴为多子,电子为少子} \end{array} \right.$

两种不等的载流子 $\left\{ \begin{array}{l} \text{多子——掺杂形成} \\ \text{少子——热激发形成} \end{array} \right.$

P型半导体和N型半导体是在纯半导体(如硅)中分别掺入微量的三价元素(B、In或Al)和五价元素(P、Sb或As)产生的。

1.2.2 PN结

PN结几乎是所有半导体器件的结构单元,掌握PN结的基本特性是研究各种半导体器件的重要基础。

(1)PN结的形成

浓度不同→多子扩散→产生内电场→阻止多子扩散运动促进少子漂移运动。当扩散作用 动态平衡 漂移作用时,在界面形成一层耗尽区,或称空间电荷区即为PN结。

(2)PN结的基本特性

①开路PN结的特性。了解空间电荷区(或耗尽层、阻挡层、位壁垒)的概念;空间电荷区的宽度及内建电场产生的接触电位差与两侧半导体区掺杂浓度和工作环境温度之间的定性关系。当温度一定时,两侧半导体区掺杂浓度越大,空间电荷区宽度越窄,接触电位差越大;当掺杂一定时,空间电荷区宽度随温度升高而变窄,接触电位差变小。

②PN结的单向导电性。PN结单向导电性的概念:当PN结正偏时,削弱内电场,空间电荷区变窄,多数载流子(简称多子)的扩散运动大于少数载流子(简称少子)的漂移运动,形成以多子为主体的正向扩散电流;当PN结反偏时,增强内电场,空间电荷区变宽,少子的漂移运动大于多子的扩散运动,形成以少子为主体的反向漂移电流。

PN结的伏安特性:

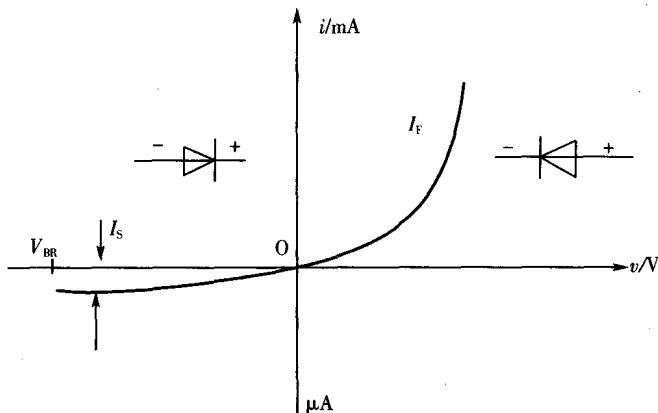


图 1.2.1

如图 1.2.1 所示,当PN结加正向电压时,PN结内的电流由起支配地位的扩散电流决定,在外电路上形成一个流入P区的电流,称为正向电流 I_F 。在正常工作范围内,PN结上外加电压只要稍有变化(如 0.1V),便能引起电流的显著变化,因此电流 I_F 是随外加电压急速上升的。这样,正向的PN结表现为一个很小的电阻。

当 PN 结加反向电压时,PN 结内的电流由起支配地位的漂移电流所决定。漂移电流的方向与扩散电流相反,表现在外电路上有一个流入 N 区的反向电流 I_R ,它是由少数载流子的漂移运动形成的。当管子制成后,其数值决定于温度,几乎与外加电压 V_R 无关。在一定的温度下,反向电流 I_R 就是反向饱和电流,用 I_S 表示。由于 I_S 很小,所以 PN 结在反向偏置时,可认为基本上是不导电的,表现为一个很大的电阻。

由此可见,PN 结的正向电阻很小,反向电阻很大,这就是它的单向导电性。

伏安特性的数学表达式:

$$i = I_S(e^{v/V_T} - 1) \quad (1.2.1)$$

式中: v —PN 结两端的电压。

i 为经过 PN 结的电流。

I_S 反向饱和电流,基本与外加电压 v 无关

V_T —温度的电压当量(或称热电压), $V_T = \frac{kT}{q}$,当室温为 25°C 时, $V_T = 26\text{mV}$ 。

其中: k —玻耳兹曼常数($1.38 \times 10^{-23}\text{J/K}$)。

T —热力学温度,即绝对温度(300K)。

q —电子电荷($1.6 \times 10^{-19}\text{C}$)。

由式(1.2.1)可见,PN 结作为一个二端器件与普通电阻等线性元件不同,它呈现非线性特性。当 $v > 0$ 时, i 随 v 按指数规律增加,不服从欧姆定律;当 $v < 0$ 时,且 $|v|$ 比 V_T 大几倍时,其反向电流 $I_R \approx -I_S$,数值很小,基本上与外电压 v 无关。这就是 PN 结的单向导电性。

(3)PN 结的反向击穿特性。当反向电压增大到一定数值时,其反向电流 I_R 急剧增加,这就是 PN 结的反向击穿现象;发生击穿时所需的反向电压 V_{BR} 称反向击穿电压。通常有雪崩击穿和齐纳击穿两种形式。其特点如下:

雪崩击穿发生在低掺杂的 PN 结中,反向击穿电压较高,随掺杂浓度降低,其反向击穿电压增大。

齐纳击穿发生在高掺杂的 PN 结中,反向击穿电压较低,随掺杂浓度增加,其反向击穿电压降低。

(4)PN 结的电容特性。PN 结除呈非线性电阻特性外,还具有非线性电容特性。有势垒电容 C_B 和扩散电容 C_D 之分。当 PN 结正偏时,主要是扩散电容 C_D ,其大小与扩散电流呈正比。当 PN 结反偏时,主要是势垒电容 C_B ,它随外加反偏电压的变化而变化,其关系特性的定性描述如图 1.2.2 所示。

PN 结的电容特性是限制 PN 结制造半导体器件上限工作频率的基本因素。

(5)PN 结的温度特性。主要表现在两个方面:

一是随温度升高时,PN 结的端电压降以 $(2.0 \sim 2.5)\text{mV}/^\circ\text{C}$ 的规律减小;二是反向饱和电流要以温度每升高 10°C 加倍的规律增加。所以为保证 PN 结制造的半导体器件正常工作,都须有一个最高工作温度的限制,硅材料为 $150^\circ\text{C} \sim 200^\circ\text{C}$,锗材料为 $75^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ 。

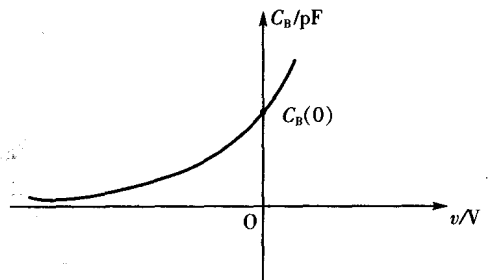


图 1.2.2

1.2.3 半导体二极管

(1) 二极管的特性基本上就是 PN 结特性

半导体二极管是由一个 PN 结加电极引线与外壳封装构成的基本器件。它的特性基本就是 PN 结特性,但与理想 PN 结不同。它存在一个正向导通电压或阈值电压 V_D ,且实际二极管的正向电流在相同的外加正向偏置时略小于理想 PN 结的电流,反向电流略大于理想 PN 结的反向电流。

二极管伏安特性的特点是:

① 伏安特性表达式。

半导体二极管伏安特性如图 1.2.3(a)、(b)所示,它直观形象地表示了二极管单向导电性,伏安特性表达式如式(1.2.1)。

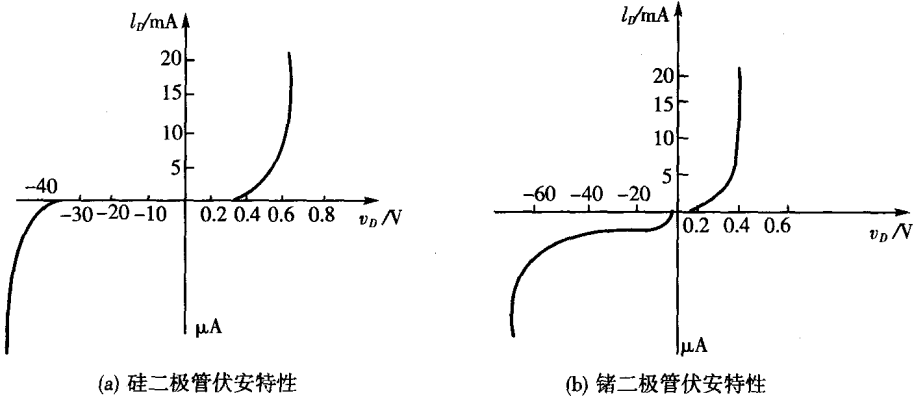


图 1.2.3

② 正向伏安特性的特点,基本同 PN 结的正向伏安特性。

③ 反向伏安特性的特点,基本同 PN 结的反向伏安特性。

④ 伏安特性的非线性。

二极管的伏安特性也是非线性的,它不仅正反向的导电性能有很大差别,而且在不同电压下,管子的静态和动态电阻也不同,所以二极管是非线性元件。

(2) 二极管等效电路

① 二极管折线等效电路。它是依据二极管大信号运用时的特性建立的。如图 1.2.4(b)所示。

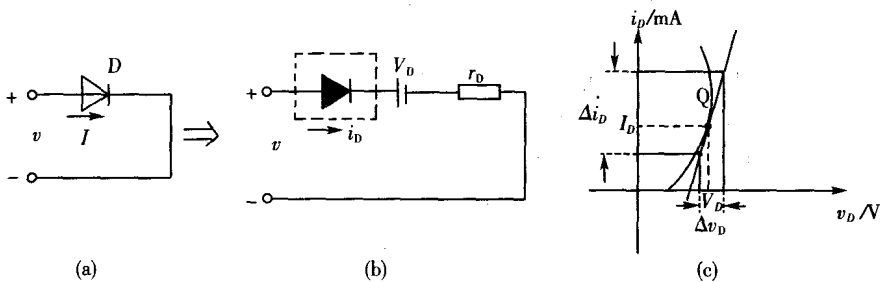


图 1.2.4

图 1.2.4(b)中 D 为理想二极管; V_D 为死区电压; R_D 为折线等效电阻, 由图(c)可求出

$$r_D = \frac{\Delta v_D}{\Delta i_D}$$

由图 1.2.4(b)还可见, 当正向电压 $v < V_D$ 时, 理想二极管始终是反向偏置, 所以二极管没有电流。当正向电压 $v > V_D$ 时, 将由 r_D 和 $v - V_D$ 来决定二极管电流 i_D 的大小。

②二极管微变等效电路。它是依据二极管小信号运用时的特性建立的。如图 1.2.5 所示。二极管在微变信号作用下, 可等效为一个动态电阻 r_d 。 r_d 与工作点密切相关, 工作点改变, r_d 的数值也发生改变。

r_d 的求法:

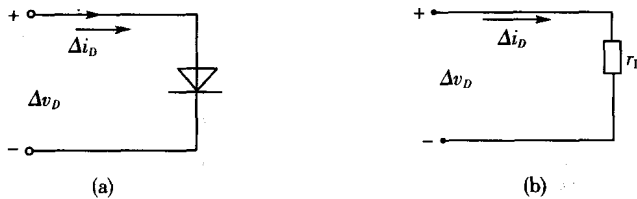


图 1.2.5

因为 $r_d = \frac{\Delta v_D}{\Delta i_D}$

在式 1.2.1 中, 对 v 微分可得: $g_d = \frac{di_D}{dv_D} = \frac{d}{dv_D} [I_S e^{v_D/V_T} - 1] = \frac{I_S}{V_T} e^{v_D/V_T} \approx \frac{i_D}{V_T} = I_D/V_T$ (在 Q 点上) (1.2.2)

故 $r_d = \frac{1}{g_d} = \frac{V_T}{I_D} = \frac{26\text{mV}}{I_D/\text{mA}}$ ($T=300\text{K}$) (1.2.3)

在伏安特性上, 过 Q 作切线, 在 Q 点附近任取两点, 则有 $r_d = \frac{\Delta v_D}{\Delta i_D}$ 。

注意: r_d 只能在给定的工作点 Q 处定出。

微变等效电路是针对微小增量提出来的, 只能计算变化量 Δi_D 和 Δv_D , 不能计算工作点处的 I_D 和 V_D , 也不能计算总电流 i_D 和总电压 v_D 。

(3) 二极管的主要参数

主要指最大平均整流电流 I_F , 最高反向工作电压 V_R , 反向饱和电流 I_S 、最高工作频率 f_M , 极间电容, 包括势垒电容 C_B 和扩散电容 C_D , 直流电阻 R_{DC} , $R_{DC} = \frac{V_D}{I_D} \Big|_Q$, 其值为某点割线的斜率的倒数, 不同的工作点 R_{DC} 值不同, 通常用欧姆表测出的二极管正、反向电阻就是它的直流电阻。

交流电阻 $R_{AC} = \frac{dv_D}{di_D}$, 其值为某点切线的斜率的倒数, 不同的工作点, R_{AC} 的值也不同; 而对同一点, R_{DC} 和 R_{AC} 的值也不同, 进一步说明二极管是一个非线性元件。

1.2.4 二极管基本电路及其分析方法

在电子技术中, 二极管电路得到广泛应用。本节只介绍几种基本电路, 如限幅电路、开关电路、低电压稳压电路等。

二极管是一种非线性器件,因而二极管电路一般要采用非线性电路的分析方法。即:①图解分析法②解析式法③模型分析法。这里主要介绍模型分析法。

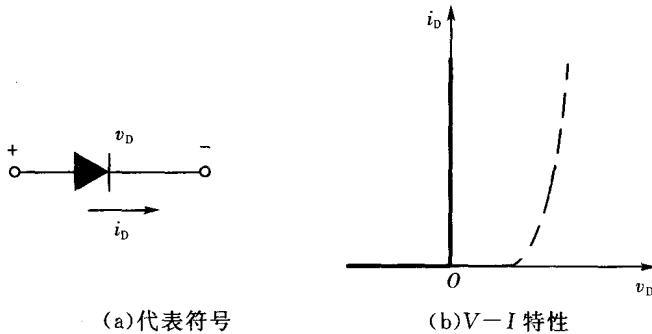
(1)二极管正向 $V-I$ 特性的建模

根据二极管在电路中实际工作状态,在精度分析允许的条件下,用一个线性电路模型来代替实际的二极管。

①理想建模

特点:二极管是理想的,即在正向偏置时,其管压降为 $0V$,而反向偏置时,电阻为无穷大,电流为 0 。如图 1.2.6(a)所示。

理想二极管的 $V-I$ 特性如 1.2.6(b)图所示。一般只用来作近似分析。



1.2.6 理想建模

②恒压降模型

特点:当二极管导通后,其管压降是恒定的,典型值为 $0.7V$ (当 $i_D \geq 1mA$ 时才成立)。如图 1.2.7(a)所示。

$V-I$ 特性见图(b)所示,应用范围很广。

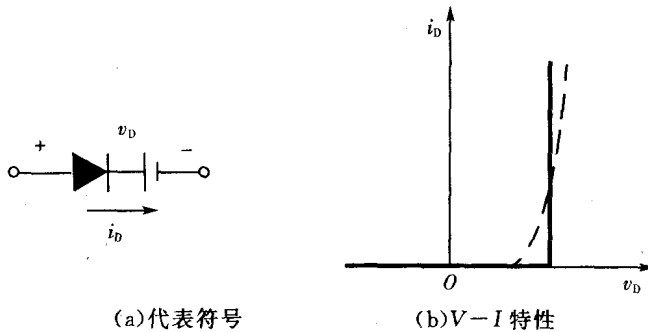


图 1.2.7 恒压降模型

③折线模型

特点:认为二极管的管压降不是恒定的,而是随通过二极管电流的增加而增加,所以在模型中用一个电池和一个电阻 r_D 来作进一步近似。见图 1.2.8 所示。图中 V_{th} 为二极管的门坎电压等于 $0.5V$ 。 $V-I$ 特性由图(b)所示。

图中 i_D 的确定方法:设二极管的导通电流为 $1mA$ 时,管压降为 $0.7V$,则

$$r_D = \frac{(0.7 - 0.5)V}{1mA} = 200\Omega$$

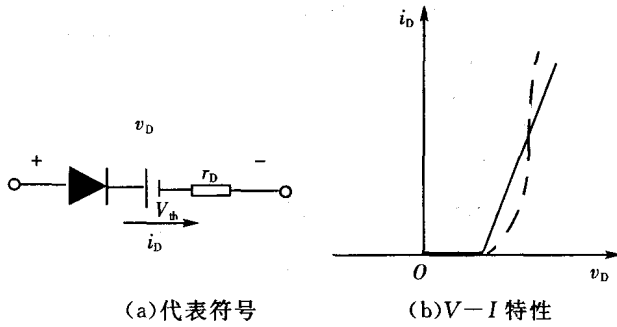


图 1.2.8

注意:由于二极管的分散性, V_{th} 和 r_D 的值不是固定不变的。

④小信号模型

特点:二极管工作在 $V-I$ 特性的静态工作点 Q 附近。因此将二极管用一微变电阻 r_D 代表,如图1.2.9(a)所示。 $V-I$ 特性见图(b)所示。经计算求得微变电阻 $r_D = \frac{26\text{mV}}{I_D\text{mA}}$ 。

该模型可较准确地分析二极管电路,如借助PSPICE程序,则更便于使用。

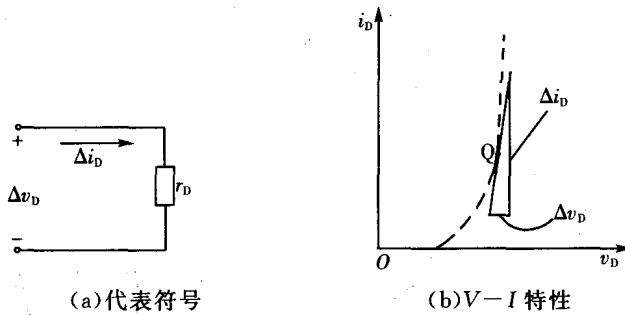


图 1.2.9 小信号模型

(2)模型分析法应用举例

应用二极管模型可以分析常见的二极管电路,如电路 Q 点的计算,限幅电路的输出波形、开关电路的逻辑关系,低电压稳压电路的电压调整率等。请读者参考有关教材。

1.2.5 特殊二极管

前面讨论了普通二极管,本节讨论特殊二极管,如齐纳二极管又称稳压管、变容二极管、光电子器件(包括光电二极管、发光二极管和激光二极管)等。详见表2.1所示。