



普通高等教育“十五”国家级规划教材配套参考书

模拟电子技术基础 学习指导与考研指南

主 编 王淑娟 蔡惟铮

副主编 于 泳



高等教育出版社

模拟电子技术基础

学习指导与考研指南

副主编 于 泳

高等教育出版社

内 容 简 介

本书与蔡惟铮教授主编的普通高等教育“十五”国家级规划教材——《基础电子技术》、《集成电子技术》和即将出版的王淑娟主编的普通高等教育“十一五”国家级规划教材——《模拟电子技术基础》配套,可以帮助学生更好地掌握模拟电子技术基础课程的基本概念、基本电路、基本分析方法,帮助学生把握学习要点、课程难点,并配以例题精解,深化学生对课程内容的理解,提高学生综合运用基本概念、基本原理分析和解决实际问题的能力。

第1~8章按教材内容划分,每章包括教学要求、课程要点、重点难点解析、例题精解和自我检测。第9章给出2005~2007年哈尔滨工业大学模拟电子技术基础期末考试试卷及其参考答案和评分标准。

本书是本科生学习模拟电子技术基础课程的辅导教材,也可作为研究生入学考试的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础学习指导与考研指南/王淑娟,蔡惟铮主编. —北京:高等教育出版社,2008.6

ISBN 978-7-04-023958-4

I. 模… II. ①王…②蔡… III. 模拟电路-电子技术-高等学校-教学参考资料 IV. TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第070866号

策划编辑 韩颖 责任编辑 韩颖 封面设计 李卫青 责任绘图 尹莉
版式设计 马敬茹 责任校对 俞声佳 责任印制 陈伟光

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100120	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	涿州市京南印刷厂		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	2008年6月第1版
印 张	16.5	印 次	2008年6月第1次印刷
字 数	300 000	定 价	20.90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 23958-00

前 言

本书与蔡惟铮教授主编的普通高等教育“十五”国家级规划教材——《基础电子技术》、《集成电子技术》和即将出版的王淑娟主编的普通高等教育“十一五”国家级规划教材——《模拟电子技术基础》配套,可以帮助学生更好地掌握模拟电子技术基础课程的基本概念、基本电路、基本分析方法,帮助学生把握课程要点、课程难点,并配以例题精解和自我检测,深化学生对课程内容的理解,提高学生综合运用基本概念、基本原理分析和解决实际问题的能力。本书是本科生学习模拟电子技术基础课程的辅导教材,也可作为研究生入学考试的参考资料。

第1~8章按教材内容划分,每章包括教学要求、课程要点、重点难点解析、例题精解和自我检测。在“教学要求”部分,将每章内容列表,指出教学要求程度,其中包括熟练掌握、正确理解和一般了解;在“课程要点”部分主要介绍每章主要内容,每章所涉及的基本概念、基本电路和基本分析方法;在“重点难点解析”部分,介绍每章重点内容,讨论学生们经常遇到的疑难问题,并给予正确解答;在“例题精解”部分,对每章的例题进行了分类,并且给出了详细的解答;在“自我检测”部分,就每章所涉及的基本概念、基本电路、基本分析方法,编制选择、填空题,供学生自我测试,达到深入理解基本概念的目的。

第9章给出2005~2007年哈尔滨工业大学模拟电子技术基础期末考试试卷及其参考答案和评分标准,便于读者了解模拟电子技术基础期末考试试卷的题型和难度。

本书由哈尔滨工业大学电子学教研室的教师编写,参加编写工作的有王淑娟、蔡惟铮、杨春玲、王立欣、刘英、于泳、齐明、刘贵栋、杨荣峰、徐乐、吕超、陶隽源、朱敏,由王淑娟、蔡惟铮任主编,于泳任副主编。由于作者的能力和水平所限,书中定有错误之处,恳请读者多加指正。

作者于哈尔滨工业大学

2008.3

目 录

第1章 半导体二极管和晶体管	1
1.1 教学要求	1
1.2 课程要点	2
1.2.1 半导体的基础知识	2
1.2.2 PN结	3
1.2.3 半导体二极管	3
1.2.4 双极型晶体管	6
1.2.5 场效应管	10
1.3 重点难点解析	12
1.3.1 在双极型晶体管中,如何使发射区发射的载流子尽可能多地到达集电区	12
1.3.2 双极型晶体管的温度特性	13
1.3.3 双极型晶体管的工作状态	13
1.3.4 双极型晶体管与场效应管的比较	14
1.4 例题精解	14
1.4.1 二极管电路的静态和动态计算	14
1.4.2 二极管应用电路	16
1.4.3 双极型晶体管的类型及工作状态判断	19
1.4.4 双极型晶体管和场效应管的特性曲线及参数	21
1.5 自我测试	22
第2章 基本放大电路	29
2.1 教学要求	29
2.2 课程要点	30
2.2.1 放大的概念	30
2.2.2 放大电路的主要技术指标	30
2.2.3 基本放大电路的组成及工作原理	32
2.2.4 放大电路的分析方法	33
2.2.5 双极型晶体管基本放大电路	38
2.2.6 场效应管基本放大电路	39
2.3 重点难点解析	40
2.3.1 直流负载线和交流负载线	40
2.3.2 放大电路静态工作点的稳定	41

2.3.3 双极型晶体管放大电路的失真类型判别	41
2.4 例题精解	44
2.4.1 双极型晶体管基本放大电路分析	44
2.4.2 场效应管基本放大电路分析	51
2.5 自我测试	55
第3章 集成运算放大器的单元电路	59
3.1 教学要求	59
3.2 课程要点	60
3.2.1 多级放大电路	60
3.2.2 差分放大电路	62
3.2.3 互补功率放大电路	65
3.3 重点难点解析	70
3.3.1 多级放大电路的电压放大倍数	70
3.3.2 差分放大电路的输入方式	73
3.3.3 恒流源差分放大电路	74
3.4 例题精解	75
3.4.1 多级放大电路分析	75
3.4.2 复合管	78
3.4.3 差分放大电路分析	78
3.4.4 功率放大电路分析	83
3.5 自我检测	85
第4章 集成运算放大器的线性应用电路	90
4.1 教学要求	90
4.2 课程要点	91
4.2.1 理想运放	91
4.2.2 理想运放的线性应用电路	92
4.3 重点难点解析	97
4.3.1 运放线性应用电路的分析方法	97
4.3.2 数据放大器	97
4.4 例题精解	99
4.4.1 运算放大器线性应用电路分析	99
4.4.2 运算放大器线性应用电路的选择和设计	111
4.5 自我测试	112
第5章 负反馈放大电路	117
5.1 教学要求	117
5.2 课程要点	117
5.2.1 反馈的基本概念	117

5.2.2 反馈的组态及判断	119
5.2.3 负反馈对放大电路性能的影响	121
5.2.4 放大电路的频率响应	122
5.2.5 负反馈放大电路的自激振荡	126
5.3 重点难点解析	127
5.3.1 深度负反馈条件下电压放大倍数的计算	127
5.3.2 运放开环增益对负反馈放大电路闭环增益的影响	130
5.4 例题精解	131
5.4.1 反馈组态判断	131
5.4.2 深度负反馈条件下放大倍数的计算	137
5.4.3 频率响应	142
5.5 自我检测	144
第6章 集成振荡电路	151
6.1 教学要求	151
6.2 课程要点	152
6.2.1 正弦波振荡电路	152
6.2.2 电压比较器	159
6.2.3 非正弦波发生电路	160
6.3 重点难点解析	163
6.3.1 带稳幅电路的 RC 文氏桥正弦波振荡电路分析	163
6.3.2 三点式 LC 正弦波振荡电路的相位平衡条件判断规则	164
6.3.3 从三角波发生电路到锯齿波发生电路的转换方法	165
6.4 例题精解	166
6.4.1 RC 正弦波振荡电路分析	166
6.4.2 LC 正弦波振荡电路分析	170
6.4.3 电压比较器	173
6.4.4 运算放大器非线性应用电路	176
6.5 自我测试	186
第7章 信号的处理与变换	192
7.1 教学要求	192
7.2 课程要点	192
7.2.1 有源滤波器	192
7.2.2 模拟乘法器	197
7.3 重点难点解析	199
7.3.1 滤波器的传递函数	199
7.3.2 无源滤波电路与有源滤波电路的比较	200
7.4 例题精解	201

7.4.1 有源滤波器的分析	201
7.4.2 模拟乘法器应用电路分析	205
7.5 自我检测	208
第8章 直流稳压电源	212
8.1 教学要求	212
8.2 课程要点	212
8.2.1 直流稳压电源的组成	212
8.2.2 整流电路	213
8.2.3 滤波电路	214
8.2.4 稳压电路的技术指标	215
8.2.5 稳压二极管稳压电路	216
8.2.6 串联型线性稳压电路	217
8.3 重点难点解析	220
8.3.1 设计一个输出电压 $\pm 15\text{V}$ 、输出电流 500mA 的直流稳压电源	220
8.3.2 线性稳压电源与开关稳压电源的比较	221
8.4 例题精解	221
8.4.1 整流滤波电路的分析与计算	221
8.4.2 稳压管稳压电路的分析与计算	225
8.4.3 串联型稳压电源的分析与计算	227
8.4.4 三端集成稳压器电路分析	228
8.5 自我检测	230
第9章 试卷及其参考答案和评分标准	234
9.1 试卷1及其参考答案和评分标准	234
9.1.1 试卷1	234
9.1.2 参考答案和评分标准	238
9.2 试卷2及其参考答案和评分标准	240
9.2.1 试卷2	240
9.2.2 参考答案和评分标准	244
9.3 试卷3及其参考答案和评分标准	246
9.3.1 试卷3	246
9.3.2 参考答案和评分标准	250
参考文献	253

第1章 半导体二极管和晶体管

1.1 教学要求

半导体二极管和晶体管是最基本的电子元器件,是集成电路的最小组成单元。本章介绍半导体材料的基础知识,PN结及其单向导电性,半导体二极管和晶体管的工作原理、特性曲线和主要参数,各知识点的教学要求如表1.1.1所示。

表 1.1.1 第1章教学要求

知 识 点		教学要求		
		熟练掌握	正确理解	一般了解
半导体基础知识	本征半导体			✓
	杂质半导体			✓
PN 结	PN 结的形成		✓	
	PN 结的单向导电性	✓		
	PN 结的电容效应			✓
半导体二极管	二极管的结构及类型	✓		
	二极管的伏安特性	✓		
	二极管主要参数	✓		
	二极管的模型		✓	
	稳压二极管	✓		
双极型晶体管	双极型晶体管的结构及类型		✓	
	双极型晶体管的电流放大作用		✓	
	双极型晶体管的三种组态	✓		
	双极型晶体管的共射特性曲线	✓		
	双极型晶体管的参数	✓		
	双极型晶体管的型号			✓
	双极型晶体管的封装			✓

续表

知 识 点		教学要求		
		熟练掌握	正确理解	一般了解
场效应管	绝缘栅型场效应管		✓	
	结型场效应管		✓	
	场效应管的参数和型号	✓		
	双极型晶体管与场效应管的比较	✓		

1.2 课程要点

1.2.1 半导体的基础知识

按导电能力的不同,把物体分为导体、半导体和绝缘体。导电能力用电阻率来表示,单位是 $\Omega \cdot \text{cm}$ 。半导体的电阻率一般在 $10^{-3} \sim 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 之间。常用的半导体有硅(Si)、锗(Ge)和砷化镓(GaAs)等。硅和锗是四价元素,砷化镓则属于半导体化合物。

1. 本征半导体

本征半导体是化学成分纯净的、结构上没有缺陷的半导体。本征半导体具有如下特点:

(1) 当温度为绝对零度时,本征半导体中没有载流子,也不导电。

(2) 当温度升高时,本征半导体原子最外层的价电子发生本征激发,产生两种载流子(自由电子和空穴),且它们成对出现,称为电子空穴对。自由电子和空穴的浓度相等。

(3) 本征激发产生的载流子浓度与温度有关。温度越高,本征激发越强,产生的载流子的浓度越高。

(4) 靠本征激发产生的载流子数量较少,因此本征半导体的导电能力较弱。

2. 杂质半导体

在本征半导体中掺入某种特定元素作为杂质,可使半导体的导电性能明显增强。掺入杂质的本征半导体称为杂质半导体。杂质半导体中多数载流子(多子)的浓度由掺杂浓度决定;而少数载流子(少子)由本征激发产生,其浓度与温度有关。

在本征半导体中掺入适量五价元素,例如磷(P),形成N型半导体,也称电子型半导体。在N型半导体中电子为多数载流子,空穴为少数载流子。

在本征半导体中掺入适量三价元素,例如硼(B)、镓(Ga)、铟(In)等,形成P型半导体,也称为空穴型半导体。在P型半导体中空穴为多数载流子,电子为少数载流子。

1.2.2 PN结

1. PN结的形成

将一块P型半导体和N型半导体紧密连接在一起,这种紧密连接不能有缝隙,是一种原子半径尺度上的紧密连接,或者在一块N型半导体中制作出P型半导体。两种杂质半导体中的载流子存在浓度差,产生多子的扩散运动;多子扩散运动形成内电场,内电场的方向阻碍多子的扩散运动,帮助少子漂移运动;当扩散运动与漂移运动达到动态平衡时,形成稳定的空间电荷区(也称耗尽层),即形成了PN结。

2. PN结的单向导电性

PN结具有单向导电性。PN结正偏(P区电位高于N区电位),内电场被削弱,耗尽层变窄,扩散运动大于漂移运动,多子扩散运动形成的正向电流很大,PN结呈现低阻性;PN结反偏,内电场增强,耗尽层变宽,漂移运动大于扩散运动。由于本征激发所产生的少数载流子数量少,因此少子漂移运动所形成的反向电流很小,PN结呈现高阻性,称反向截止。在一定温度条件下、一定的反偏电压范围内,反向电流基本不变,称为反向饱和电流;但反向电流随温度的升高而增加。

3. PN结的电容效应

当PN结的偏置电压发生变化时,PN结及其两侧的电荷及载流子的分布将发生变化,这一现象可等效为电容效应。它可分为势垒电容 C_b 和扩散电容 C_d 。

扩散电容 C_d ——PN结正向导通时,多子扩散到对方区域后,在PN结边界上积累,形成一定的浓度分布。积累的电荷量随外加电压变化而变化,由此引起电容效应。

势垒电容 C_b ——PN结的空间电荷区随外加反向电压而变化,因此存储在空间电荷区的电荷量随之变化,由此所等效的电容效应。

4. PN结的温度特性

当温度升高时,PN结的反向电流,即少数载流子的漂移电流迅速增加;PN结的正向压降随温度增加而减小。一般温度每升高 1°C ,PN结的正向压降减少 $2\sim 2.5\text{ mV}$;温度每升高 10°C ,PN结的反向电流约增大一倍。

1.2.3 半导体二极管

1.2.3.1 半导体二极管的结构类型

在PN结上加上引线 and 封装,就成为一个半导体二极管。半导体二极管的

符号如图 1.2.1 所示。

半导体二极管按材料可以分为硅管和锗管；按结构分为点接触型、面接触型和平面型三类。

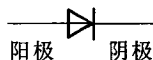


图 1.2.1 二极管的符号

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, 用于低频大电流整流电路。

3. 平面型二极管——往往用于集成电路制造工艺中。

1.2.3.2 半导体二极管的伏安特性曲线

半导体二极管的伏安特性曲线如图 1.2.2(b) 所示, 处于第一象限的是正向特性曲线, 处于第三象限的是反向特性曲线。二极管的伏安特性表达式为

$$i_D = I_S (e^{\frac{u_D}{U_T}} - 1) \quad (1.2.1)$$

式中 I_S 为反向饱和电流, u_D 为半导体二极管的电压, $U_T = kT/q$ 称为温度电压当量, k 为玻耳兹曼常数, q 为电子电荷量, T 为热力学温度。

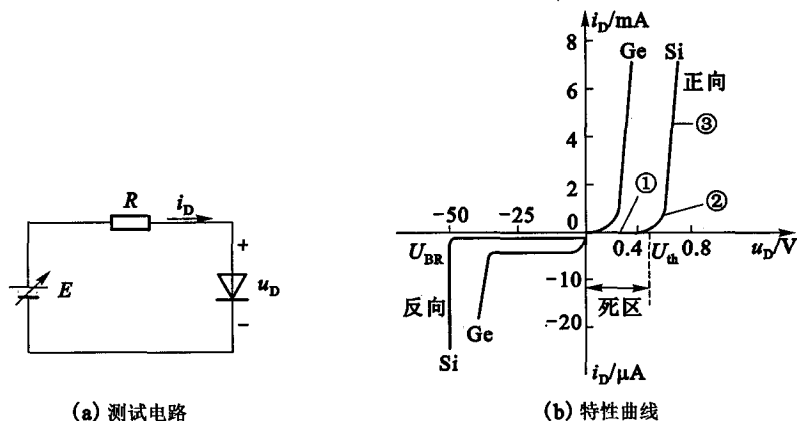


图 1.2.2 二极管的伏安特性曲线

1. 正向特性

当 $u_D > 0$ 时, 二极管处于正向特性区。正向特性区又分为 3 段: 当 $0 < u_D < U_{th}$ (硅管开启电压 $U_{th} \approx 0.5 \text{ V}$, 锗管开启电压 $U_{th} \approx 0.1 \text{ V}$) 时 $i_D \approx 0$; 当 $u_D > U_{th}$, 且 u_D 较小时, 开始出现正向电流, 但电流随 u_D 的增长变化缓慢; 当 $u_D > U_{th}$, 且 u_D 较大时, 正向电流迅速增加, 即二极管两端的电压随电流变化很小, 称为导通电压 (硅二极管的导通电压约为 0.7 V , 锗二极管的导通电压约为 0.3 V)。

2. 反向特性

当 $|u_D| < U_{BR}$ 时, $i_D \approx -I_S$, 反向饱和电流非常小; 当 $|u_D| > U_{BR}$ 时, 反向饱和电流急剧增加, 二极管发生反向击穿 (雪崩击穿和齐纳击穿)。击穿后, 二极管

反向电流在很大范围内变化时,反向电压几乎不变,即击穿后的反向特性具有较好的稳压特性。

1.2.3.3 半导体二极管的等效电路模型

二极管本身是非线性元件,在分析含二极管的电路时,常用等效电路模型代替,如图 1.2.3 所示。

1. 开关模型

正向导通时,二极管的正向压降为 0;反向截止时,认为反向电阻为无穷大,反向电流为 0。该模型主要用于低频大信号电路之中,即正向压降与信号相比可以忽略的情况,例如整流电路。此时二极管称为理想二极管,相当于理想开关,如图 1.2.3(a)所示。

2. 固定正向电压降模型

如果二极管电路中信号的幅度比较小,需要考虑二极管的正向电压降。工程计算和设计中,常认为正向压降是一个固定值,硅管的正向压降 U_D 为 0.7 V,而锗管的正向压降 U_D 为 0.3 V。反向截止时,认为二极管反向电流为 0。二极管的固定正向电压降模型如图 1.2.3(b)所示。

3. 折线化模型

折线化模型既考虑二极管的正向压降,又考虑正向电阻 r_D ,它更接近实际伏安特性。利用这一模型可以计算外加信号变化时二极管管压降或电流的变化。在该模型中,将二极管等效为电压源 U_{th} 和电阻 r_D 串联,如图 1.2.3(c)所示。注意 r_D 与动态电阻 r_d 不同。在二极管的正向特性曲线某点 $Q(U_D, I_D)$ 所对应的直流正向电阻为

$$r_D = \frac{U_D - U_{th}}{I_D}$$

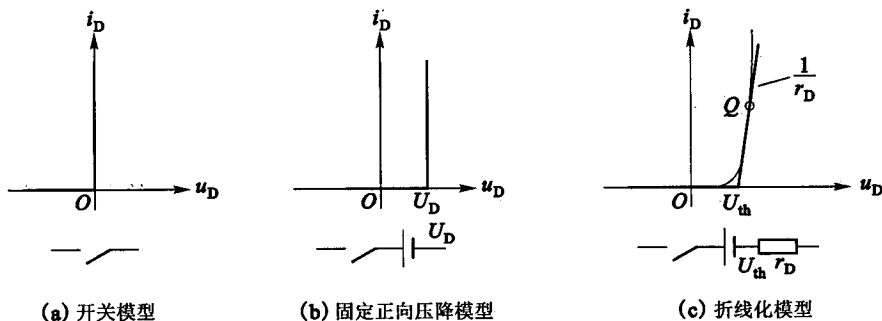


图 1.2.3 二极管的低频模型

4. 小信号模型

如果电路中除了直流电源,还有交流小信号,则二极管可用交流等效电阻 r_d

表示,其值为

$$r_d = \frac{26 \text{ mV}}{I_{DQ}}$$

二极管小信号模型如图 1.2.4 所示。

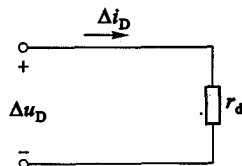


图 1.2.4 二极管的小信号模型

1.2.3.4 稳压二极管

稳压二极管是一种硅材料制成的面接触型晶体二极管,简称稳压管。利用二极管反向击穿特性陡直的特点,可以制作稳压二极管。稳压二极管稳压电路如图 1.2.5 所示。该电路在输入电压及负载电流发生变化时能保持输出电压的稳定。图中 R 称为限流电阻,用以保证稳压管 VD_Z 的工作电流介于 I_{Zmin} 和 I_{Zmax} 之间。上述调节过程为有差调节,即最终稳压值与理想值之间存在偏差。 R 越大,稳压效果越好,但功耗越大。只有限流电阻 R 选择合适,才能保证稳压管安全地工作在稳压状态。

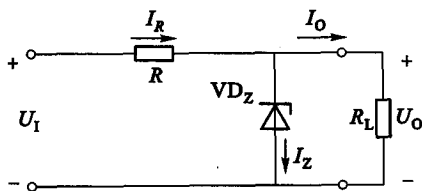


图 1.2.5 稳压二极管稳压电路

只有 $U_I \times \frac{R_L}{R_L + R} \geq U_Z$, 才能保证二极管反向击穿;若要保证稳压管 VD_Z 的工作电流介于 I_{Zmin} 和 I_{Zmax} 之间,则限流电阻 R 为

$$\frac{U_{Imax} - U_Z}{I_{Zmax} + I_{Lmin}} \leq R \leq \frac{U_{Imin} - U_Z}{I_{Zmin} + I_{Lmax}}$$

1.2.4 双极型晶体管

半导体晶体管有两大类型,一是双极型晶体管(Bipolar Junction Transistor,缩写为 BJT),二是场效应管(Field Effect Transistor,缩写为 FET)。双极型晶体管有两种载流子参与导电,故称之为双极型晶体管。双极型晶体管是电流控制电流源(Current Control Current Source,缩写为 CCCS)器件;场效应管是利用输入回路的电场效应来控制输出回路电流的一种半导体器件,本质上是电压控制电流源(Voltage Control Current Source,缩写为 VCCS)。场效应管由于仅靠半导体中的多数载流子导电,又称单极型晶体管。

1.2.4.1 双极型晶体管的结构及类型

双极型晶体管的结构示意图和符号如图 1.2.6 所示。双极型晶体管有两种类型,即 NPN 型和 PNP 型。它们都有两个 PN 结和三个电极,三个电极分别称

为发射极(e)、基极(b)和集电极(c)。be 间是发射结, bc 间是集电结。三个电极连接的区域分别称为发射区、基区和集电区。双极型晶体管工艺要求:发射区的掺杂浓度大,集电区掺杂浓度低,集电结面积大于发射结面积,基区很薄且掺杂浓度低。

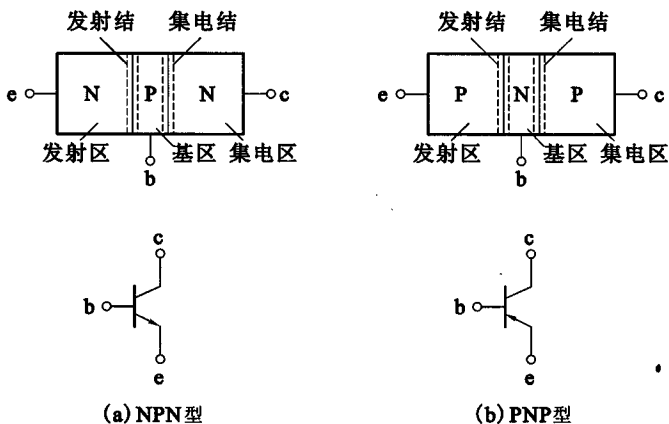


图 1.2.6 双极型晶体管的结构和符号

1.2.4.2 双极型晶体管的电流分配与放大作用

双极型晶体管具有电流放大作用除应满足工艺条件外,还要满足外加电压条件,即发射结正向偏置,集电结反向偏置。现以 NPN 型晶体管为例,说明双极型晶体管的电流分配与放大作用,如图 1.2.7 所示。

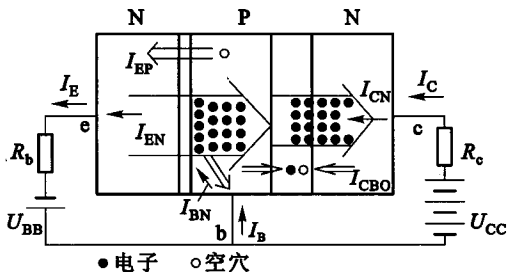


图 1.2.7 双极型晶体管内部载流子的运动与电流分配

发射结正偏,发射区将有大量的电子向基区扩散,形成发射极电子电流 I_{EN} 。从基区向发射区也有空穴的扩散运动,形成发射极空穴电流 I_{EP} 。因为发射区的掺杂浓度远大于基区的掺杂浓度,所以 $I_{EN} \gg I_{EP}$ 。

发射区的多数载流子扩散到基区后,因基区的空穴浓度低,只有极少数在基区被复合掉,形成电流 I_{BN} ;绝大多数载流子被集电区收集,形成集电极电子电流 I_{CN} 。

另外,因集电结反偏,基区和集电区的少子形成漂移电流 I_{CBO} ,也称为集电结反向饱和电流。

显然三个电极的电流满足:

$$I_E = I_C + I_B \quad (1.2.2)$$

晶体管的共基极电流放大系数为

$$\bar{\alpha} = \frac{I_{CN}}{I_E} \approx \frac{I_C}{I_E} \quad (1.2.3)$$

根据式(1.2.2)和式(1.2.3)有

$$I_C = I_{CN} + I_{CBO} = \bar{\alpha} I_E + I_{CBO} = \bar{\alpha}(I_C + I_B) + I_{CBO}$$

于是

$$I_C = \frac{\bar{\alpha} I_B}{1 - \bar{\alpha}} + \frac{I_{CBO}}{1 - \bar{\alpha}}$$

令

$$\bar{\beta} = \frac{\bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}} \quad (1.2.4)$$

则

$$I_C = \bar{\beta} I_B + (1 + \bar{\beta}) I_{CBO} = \bar{\beta} I_B + I_{CEO} \quad (1.2.5)$$

式中 I_{CEO} 称为晶体管的穿透电流,其表达式为

$$I_{CEO} = (1 + \bar{\beta}) I_{CBO} \quad (1.2.6)$$

I_{CEO} 通常很小,可以忽略,则共射极直流电流放大系数为

$$\bar{\beta} \approx \frac{I_C}{I_B} \quad (1.2.7)$$

由于 $\bar{\alpha}$ 的值小于1且接近1,所以 $\bar{\beta} \gg 1$ 。

在放大电路中,通过改变 u_{BE} 去改变 i_B (共射) 或 i_E (共基),由 Δi_B 或 Δi_E 产生 Δi_C ,再通过负载电阻 R'_L ,把电流放大转化为电压放大,即 $\Delta u_o = \Delta i_C R'_L$ 。

1.2.4.3 双极型晶体管的三种组态

双极型晶体管有三个电极,在放大电路中其中两个作为输入,两个作为输出,这样必然有一个电极是公共电极。公共电极指该电极既处于输入回路中,又处于输出回路中。双极型晶体管的三种组态如图1.2.8所示。

1. 共基极接法,基极作为公共电极,用CB表示,发射极和基极为输入端,集电极和基极为输出端。集电极电流与发射极电流之比决定了共基组态的直流电流放大系数 $\bar{\alpha}$ 。

2. 共发射极接法,发射极作为公共电极,用CE表示,此时,基极和发射极为输入端,集电极和发射极为输出端。共发射极接法直流电流放大系数 $\bar{\beta}$ 是集电极电流与基极电流之比。

3. 共集电极接法,集电极作为公共电极,用CC表示,基极和集电极为输入端,发射极和集电极为输出端。

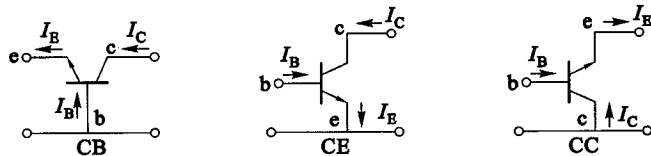


图 1.2.8 双极型晶体管的三种组态

1.2.4.4 双极型晶体管的共射特性曲线

共发射极接法晶体管的特性曲线包括输入特性曲线和输出特性曲线。

输入特性曲线—— $i_B = f(u_{BE}) \mid U_{CE} = \text{const}$;

输出特性曲线—— $i_C = f(u_{CE}) \mid I_B = \text{const}$ 。

1. 输入特性曲线

晶体管的共射输入特性曲线如图 1.2.9 所示。当 $U_{CE} = 0 \text{ V}$ 时,输入特性曲线相当于 2 个并联二极管的正向特性。当 $0 < U_{CE} < 1 \text{ V}$ 时,随着 U_{CE} 的增加,特性曲线向右移动;当 $U_{CE} \geq 1 \text{ V}$ 时,输入特性曲线基本重合。

当温度升高时晶体管的发射结压降减小,变化规律为温度升高 1°C , U_{BE} 减小 $2 \sim 2.5 \text{ mV}$,这将使输入特性曲线向左移。

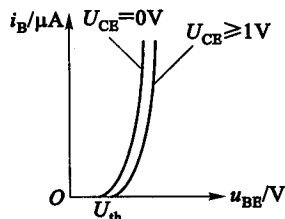


图 1.2.9 晶体管的共射输入特性曲线

2. 输出特性曲线

晶体管的共射输出特性曲线如图 1.2.10 所示。

当 $U_{CE} = 0 \text{ V}$ 时,因集电极无收集作用, $I_C = 0$;随着 u_{CE} 的增大,集电结内电场随之增强,集电区收集电子的能力逐渐增强, i_C 随 u_{CE} 的增加而增加;当 u_{CE} 增加到使集电结反偏电压较大时,运动到集电结的电子基本上都被集电结收集,此后 u_{CE} 再增加,集电极电流也没有明显的增加,特性曲线进入与 u_{CE} 轴基本平行的区域。输出特性曲线可以分为三个区域。

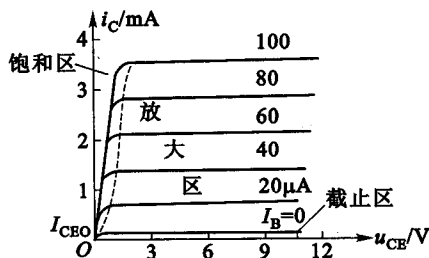


图 1.2.10 晶体管共射输出特性曲线

(1) 截止区:位于 $I_B = 0$ 的曲线下方, i_C 近似为零。此时,发射结反偏,集电