

根据国家教育委员会制订的《复习考试大纲》编写

专升本(非师范类)入学考试参考丛书

电子技术基础考试 参考书

《电子技术基础考试参考书》编写组

中央广播电视大学出版社

根据国家教育委员会制订的《复习考试大纲》编写

专升本（非师范类）入学考试参考丛书

电子技术基础考试 参 考 书

《电子技术基础考试参考书》编写组

中央广播电视大学出版社

(京)新登字 163 号

图书在版编目 (CIP) 数据

电子技术基础考试参考书/《电子技术基础考试参考书》编写组编. —北京:中央广播电视大学出版社, 1994. 10

(根据国家教育委员会制订的《复习考试大纲》编写专升本(非师范类)入学考试参考丛书)

ISBN 7-304-01121-1

I. 电… II. 电… III. 电子技术-高等教育-自学参考资料
IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 13795 号

电子技术基础考试

参考书

《电子技术基础考试参考书》编写组

中央广播电视大学出版社出版

社址 北京西城区大木仓 39 号北门, 邮编 100032

北京密云胶印厂印刷 新华书店北京发行所发行

开本 787×1092 1/16 印张 10.5 千字 259

1994 年 10 月第 1 版 1994 年 12 月第 2 次印刷

印数 5001 — 7000

定价: 10.00 元

ISBN 7-304-01121-1/G · 131

前 言

1993 年国家教育委员会制订了《全国各类成人高等学校专科起点本科班招生（非师范类）复习考试大纲（试用本）》。广大考生在使用该大纲进行复习备考时，由于缺少统一的教材而遇到了很大的困难。为了解决这个问题，我们组织了部分编写和审查大纲的教授和专家，遵照大纲的要求编写了这套《专升本（非师范类）入学考试参考丛书》。它的特点是实用性和针对性均较强，可以帮助考生提高他们在入学前的知识和能力水平。

本套丛书共分 26 册，包括政治（公共课）、英语、大学语文、图书馆学概论、档案管理学、文学概论、新闻学概论、政治学概论、行政管理学、高等数学（一）、高等数学（二）、财政金融学、会计学原理、环境保护概论、管理学概论、电子技术基础、电路原理、机械设计基础、结构力学、化工原理、地质学概论、医学基础、植物生理学、中医基础理论、民法、刑法等。

由于编写时间较短，不当之处还望各学科专家及广大读者提出宝贵的修改意见，待有机会再版时进一步完善。

该丛书经国家教育委员会考试中心审定，并作为推荐用书。

编 者

1994. 6. 25

目 录

1 半导体器件基础	(1)
考试大纲要求	(1)
1.1 半导体的基础知识	(1)
1.2 PN 结及半导体二极管	(3)
1.3 半导体三极管	(7)
1.4 场效应管	(13)
自测题	(20)
思考题和习题	(21)
2 放大电路基础	(25)
考试大纲要求	(25)
2.1 放大概念和放大电路的主要性能指标	(25)
2.2 共射极基本放大电路	(27)
2.3 放大电路的图解分析法	(28)
2.4 微变等效电路法	(33)
2.5 放大电路工作点的稳定	(37)
2.6 共集电极电路和共基极电路	(40)
2.7 场效应管放大电路	(44)
2.8 多极放大电路	(48)
2.9 放大电路的频率响应	(52)
自测题	(60)
思考题和习题	(62)
3 功率放大电路	(70)
考试大纲要求	(70)
3.1 功率放大电路的一般问题	(70)
3.2 乙类互补对称电路	(71)
3.3 甲乙类互补对称电路	(74)
自测题	(76)
思考题和习题	(76)
4 反馈放大电路	(78)
考试大纲要求	(78)
4.1 反馈的基本概念与分类	(78)
4.2 负反馈放大电路的组态	(81)
4.3 负反馈放大电路的一般框图和基本关系式	(84)
4.4 负反馈对放大电路性能影响	(85)

4.5	深度负反馈条件下的近似估算	(87)
4.6	负反馈放大电路的自激振荡	(90)
	自测题	(91)
	思考题和习题	(92)
5	集成运算放大器及其应用	(95)
	考试大纲要求	(95)
5.1	集成运算放大器概述	(95)
5.2	电流源电路	(96)
5.3	差动放大电路	(100)
5.4	通用型集成运算放大器	(108)
5.5	基本运算电路	(110)
5.6	信号处理和产生电路	(122)
5.7	MOS 通用型运算放大器	(131)
	自测题	(133)
	思考题和习题	(134)
6	正弦波振荡电路	(137)
	考试大纲要求	(137)
6.1	正弦波振荡电路的振荡条件和电路组成	(137)
6.2	RC 正弦波振荡电路	(138)
6.3	LC 正弦波振荡电路	(141)
6.4	石英晶体正弦波振荡电路	(142)
	自测题	(144)
	思考题和习题	(145)
7	直流稳压电源	(146)
	考试大纲要求	(146)
7.1	直流电源的组成	(146)
7.2	单相桥式整流电容滤波电路	(147)
7.3	稳压管稳压电路	(149)
7.4	串联反馈型稳压电路	(150)
7.5	集成稳压器	(152)
	自测题	(155)
	思考题和习题	(156)
附录		
	一、参考文献及进一步阅读材料	(157)
	二、自测题及部分习题答案	(157)

1 半导体器件基础

考试大纲要求

1. 理解半导体中两种载流子——电子和空穴的物理意义。
2. 理解N型半导体和P型半导体的物理意义。
3. 熟练掌握PN结的单向导电性,理解PN结的伏安特性方程 $I = I_s (e^{v/v_T} - 1)$ 的物理意义,了解PN结的电容效应。
4. 理解半导体二极管、稳压管的外特性及主要参数,了解选管原则。
5. 理想晶体三极管处于放大状态下电流分配关系及其放大条件,理解三极管共射特性曲线(包括输出特性曲线的三个区域:截止区、放大区、饱和区)和主要参数,了解选择三极管的原则。
6. 理解场效应管的工作特点、外特性及主要参数,了解其一般使用注意事项及选管原则。

1.1 半导体的基础知识

内容提要

1. 本征半导体

导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体。纯净的半导体称为本征半导体。在半导体器件中最常用的是硅和锗两种材料,它们都是四价元素,在原子结构中最外层轨道上有四个价电子。以硅为例,在纯净的硅晶体中,每个硅原子都被邻近的四个硅原子所包围,组成共价键结构。如图 1.1.1 所示。此时若在热力学零度 (-273°C) 时,价电子没有能力脱离共价键的束缚,晶体中没有自由电子,半导体是不能导电的。当温度升高或受到外界激发(如光照等所谓本征激发)时,共价键中的一部分电子就会脱离共价键束缚而成为自由电

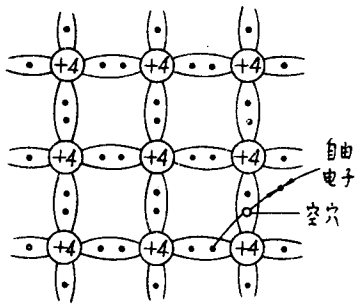


图 1.1.1 硅管的共价键结构示意图

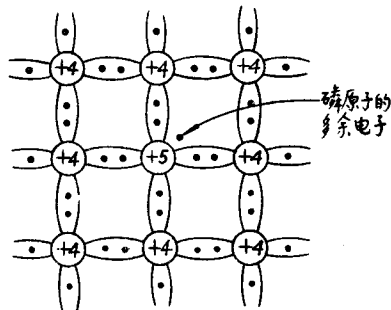


图 1.1.2 本征激发的电子和空穴

子，同时留下相同数量的空位，如图 1.1.2 所示，这些空位叫作空穴。空穴很容易被从邻近共价键中跳出来的价电子填补上，于是，在邻近共价键中又出现新的空穴，以后其它价电子又可转移到这个新的空穴，这样就使共价键中出现一定的电荷迁移。为了区别于自由电子的运动，就把价电子的运动视为空穴运动（方向相反），认为空穴是一种带正电荷的载流子。由此可见，半导体中有两种载流子，即带负电荷的自由电子（简称电子）和带正电荷的空穴。

在本征激发下，空穴和自由电子成对出现，半导体中的自由电子浓度等于空穴浓度。值得注意的是，在常温 ($T=300\text{K}$) 下，纯净半导体硅中载流子数目很少，但它与温度有着十分密切的关系，大约温度每升高 8°C ，硅中电子浓度约增加一倍。温度每升高 12°C ，锗中电子浓度约增加一倍。可见，温度是影响半导体性能的一个重要因素。

2. 杂质半导体

本征半导体的导电能力是很弱的，但是在本征半导体中掺入微量的其它元素就会使半导体的导电性能发生显著变化。这些微量元素的原子称为杂质，掺入杂质的半导体称为杂质半导体，有 N 型和 P 型两类。

(1) N 型半导体

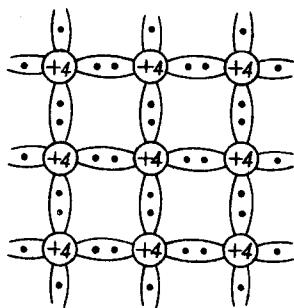


图 1.1.3 N 型半导体的共价键结构

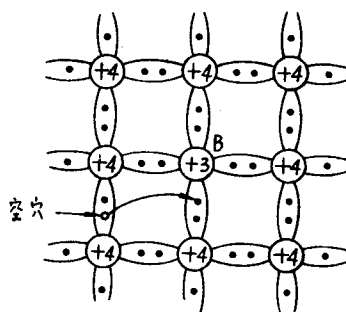


图 1.1.4 P 型半导体的共价键结构

在硅（或锗）的晶体内掺入少量五价元素杂质磷（或锑等），由于磷原子有五个价电子，它与硅组成共价键时，有一个多余的不受共价键束缚的电子，只要有很小的能量就能挣脱磷原子的吸引成为自由电子，而磷原子因失去一个价电子而成为正离子，如图 1.1.3 所示。因此，每个磷原子可能提供一个自由电子和一个正离子。磷，称为施主杂质。

在 N 型半导体中，自由电子是多数载流子（简称多子），空穴是少数载流子（简称少子）。自由电子的浓度主要由掺入杂质的磷原子多少来决定，空穴的浓度由本征激发产生的电子-空穴对决定。

(2) P 型半导体

在硅（或锗）的晶体内掺入少量三价元素杂质硼（或铟等），由于硼原子只有三个价电子，它与硅组成共价键时，便产生一个空位，这个空位极易被邻近硅原子共价键中的价电子填补（见图 1.1.4）使硼原子成为负离子，而在失去价电子的共价键中出现一个空穴。因此，每个硼原子可能提供一个空穴和一个负离子。硼，称为受主杂质。

在 P 型半导体中，空穴是多数载流子，自由电子是少数载流子。空穴的浓度主要由掺入

杂质的硼原子多少来决定，自由电子的浓度由本征激发产生的电子-空穴对决定。

值得提出，杂质半导体中的正负电荷数量相等，仍然保持电中性。

1.2 PN 结及半导体二极管

内容提要

1. PN 结的形成

当 P 型半导体 N 型半导体结合在一起时，由于交界面两侧多子和少子的浓度有很大差别，空穴和电子都要从浓度高的地方向浓度低的地方运动（这种运动称为扩散）。如图 1.2.1 所示。结果，在交界面附近 P 区一侧因失去空穴而留下不能移动的负离子，N 区一侧因失去电子而留下不能移动的正离子，在交界面两侧就会出现数量相等的正、负离子组成的空间电荷区，这就是 PN 结。又称为耗尽层和阻挡层。

空间电荷区靠 N 区一侧带正电，靠 P 区一侧带负电，因此产生一个由 N 区指向 P 区电场（内电场）。这个内电场阻止多子继续扩散，有利于少子漂移。最后使扩散电流和漂移电流基本达到平衡，流过 PN 结的总电流为零。



图 1.2.1 PN 结的形成

(a) 载流子的扩散 (b) 空间电荷区

2. PN 结的单向导电性

(1) 外加正向电压（又称正向偏置，简称正偏）

正向偏置即外加电压的正极接 P 区一侧，负极接 N 区一侧，如图 1.2.2 所示。此时，外

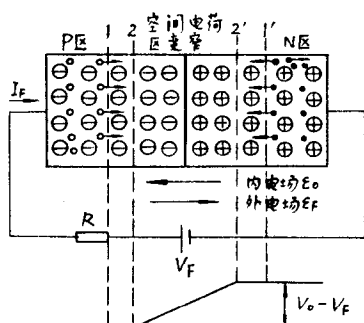


图 1.2.2 外加正向电压的 PN 结

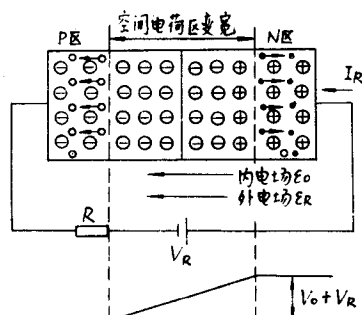


图 1.2.3 外加反向电压的 PN 结

加电场与PN结内电场方向相反,使多子扩散运动占优势,而不利子少子漂移,结果空间电荷区变窄(由11'线变为22'线),PN结呈现一个很小的电阻。

(2) 外加反向电压(又称反向偏置,简称反偏)

外加电压的正极接N区,负极接P区,称为反向偏置,如图1.2.3所示。此时外加电场与内电场方向一致,使耗尽层变宽,它阻止多子的扩散,有利于少子漂移,在回路中形成反向电流。由于少子的浓度很低,所以反向电流很小,温度一定时,由本征激发的少子浓度不变,因此反向电流几乎不随外加电压变化,常称为反向饱和电流,用 I_s 表示。

外加反向电压时,PN结呈现很大的反向电阻。

3. 二极管伏安特性

二极管的伏安特性直观地表现了单向导电性能,如图1.2.4所示。

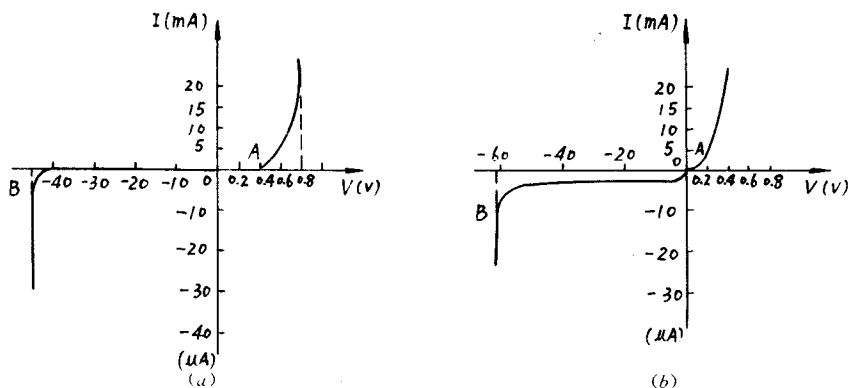


图 1.2.4 二极管的伏安特性曲线

(a) 硅二极管 2CP10

(b) 锗二极管 2AP15

(1) 二极管的伏安特性是非线性的:正,反向导电性能有很大差别,而且在不同的电压下,管的等效电阻是不同的,二极管是非线性元件。

(2) 正向特性起始部分的正向电流几乎为零,当正向电压大于门限电压(见图中的OA段,硅管约为0.5V,锗管约为0.1V)后,正向电流增长很快。

(3) 在反向电压作用下形成很小的反向饱和电流,如图1.2.4中的OB段。在常温下,硅管的反向饱和电流比锗管小得多。温度升高时,由于少数载流子浓度增加,反向饱和电流也随之增加。

(4) 反向电压过大会产生反向击穿。

4. 二极管伏安特性表达式

流过二极管的电流 I 与管子端电压 V 之间的关系,在理想情况下,可用下式表示:

$$I = I_s (e^{qV/kT} - 1) = I_s (e^{V/V_T} - 1) \quad (1.2.1)$$

式中 I_s 为二极管的反向饱和电流, q 为电子的电量(1.602×10^{-19} 库仑), k 为玻耳兹曼常数(1.380×10^{-23} J/K), T 为热力学温度, e 为自然对数的底, V_T 为温度的电压当量,当 $T = 300$ K时, $V_T = kT/q = 26$ mV

对式 (1.2.1), 可分三种情况加以讨论:

(1) 当二极管端电压 $v=0$ 时, 则

$$I = I_S (e^0 - 1) = 0$$

(2) 当外加正向电压 V , 且 $V \gg V_T$, 则有

$$e^{V/V_T} \gg 1, \text{ 所以}$$

$$I \approx I_S e^{V/V_T}$$

这时流过二极管的正向电流随外加正向电压按指数规律上升。

(3) 当外加反向电压 V , 且 $|V| \gg V_T$, 则有

$$e^{V/V_T} \ll 1, \text{ 所以}$$

$$I \approx -I_S$$

这时反向电流不随外加电压而变。

5. 二极管的主要参数

(1) 最大整流电流 I_{FM}

指管子长期工作时, 允许通过的最大正向平均电流, 由 PN 结的面积和散热条件决定。实际应用时, 流过二极管的平均电流不能超过 I_F

(2) 最高反向工作电压 V_{RM}

指管子工作时所允许加的最高反向电压, 超过此值二极管就有被反向击穿的危险。通常器件手册上给出的最高反向工作电压约为击穿电压 V_{BR} 的一半。

(3) 反向电流 I_R

指未被击穿时的反向电流值。 I_R 越小, 说明二极管的单向导电性能越好。

(4) 二极管的结电容

二极管除具有单向导电性外, 还具有一定的电容效应。二极管的结电容包括势垒电容 C_B 和扩散电容 C_D 两部分。

(5) 最高工作频率 f_M

主要由 PN 结电容的大小决定, 信号频率超过此值时, 结电容的容抗变得很小, 使二极管反偏时的等效阻抗变得很小, 于是, 二极管的单向导电性能将变坏。

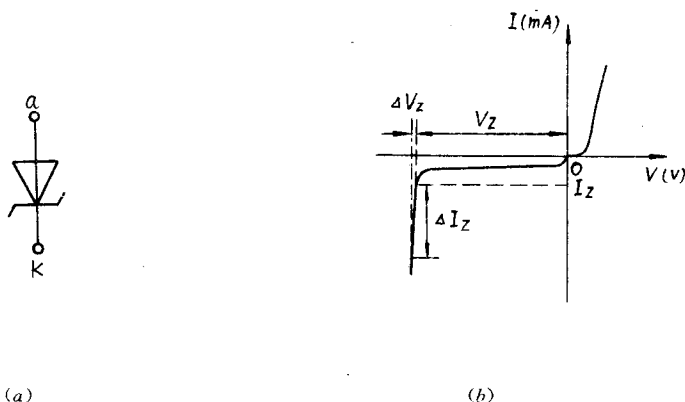


图 1.2.5 稳压管

(a) 符号

(b) 伏安特性曲线

6. 稳压二极管

稳压管也是一种半导体二极管，因为它具有稳定电压的功能，故称为稳压管。稳压管的代表符号及伏安特性如图 1.2.5 所示。由图 1.2.5 (b) 可见，稳压管的正向特性曲线与普通二极管相似，而反向击穿特性曲线比较陡。稳压管正是工作于特性曲线的反向击穿区域。当反向电压加大到某一数值时，反向电流急剧增大，稳压管被反向击穿，但这种击穿不是破坏性的，只要在电路中串接一个适当的限流电阻，就能保证稳压管工作在可逆的电击穿（雪崩击穿或齐纳击穿）下，而不会达到热击穿使管子遭到永久性破坏。在电击穿状态下，通过管子的电流在很大范围内变化，管子两端的电压几乎不变，利用这一点可以达到稳压的目的。

稳压管的主要参数：

(1) 稳压电压 V_z

指稳压管中的电流为规定的测试电流（例如为 10mA）时，稳压管两端的电压值。

(2) 稳压电流 I_z

稳压管正常工作时的参考电流值。实际工作电流高于此值，稳压效果好。

(3) 动态电阻 r_z

稳压管上电压变化量与电流变化量之比，即

$$r_z = \Delta V_z / \Delta I_z$$

r_z 越小，稳压效果越好。一般在几欧~几十欧之间。

(4) 额定功耗 P_z

其值为 V_z 和允许的最大工作电流 I_{zm} 的乘积，即 $P_z = V_z I_{zm}$ 。它是由稳压管允许温升决定的参数。

(5) 稳定电压的温度系数

是说明稳定电压值受温度影响的参数。一般 V_z 低于 4V 的稳压管具有负温度系数， V_z 高于 7V 的稳压管具有正温度系数，而 V_z 在 4~7V 之间时，温度系数最小。

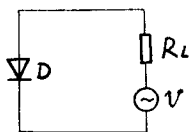


图 1.2.6 例 1.2.1 的电路

例题分析

〔例 1.2.1〕 在图 1.2.6 中，如流进二极管的平均电流 $I_D = 2.5A$ ，加到二极管两端的最大反向电压 $V_{DRM} = 150V$ ，试选择二极管。

解 查半导体器件手册，选用 2CZ12 型的二极管，其最大整流电流为 3A，最高反向工作电压为 200V，可满足电路要求。

〔1.2.2〕 在图 1.2.7 中，如二极管是理想的，试画出在 V_1 作用下 V_0 的波形。

解 (1) 在 V_1 的正半周，当 $V_1 > V_z$ 时， D_1 的阳极电位高于阴极， D_1 导通。这时 V_0 被限定在 V_1 的数值上。

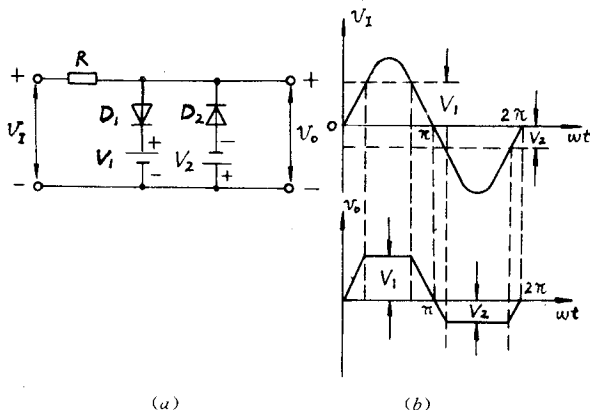


图 1.2.7 例 1.2.2 的电路和波形

(2) 在 V_1 的负半周, 当 $|V_1| > V_2$ 时, D_2 的阳极电位高于阴极, D_2 导通。这时 V_o 被限定在 V_2 的数值上。

(3) 在 V_1 的其余时间间隔内, D_1 和 D_2 均受反向电压而截止, 所以 V_o 始终与 V_1 的波形相同。因此, V_o 的波形如图 1.2.7 (b) 所示。

〔例 1.2.3〕 设稳压管 D_{Z1} 和 D_{Z2} 的稳定电压分别为 5V 和 10V, 试求图 1.2.8 中各电路的输出电压 V_o 。已知稳压管的正向压降为 0.7V。

解 图 1.2.8 (a) 和 (b) 的输出电压分别为

$$V_o = V_{Z1} + V_{Z2} = 15V$$

和

$$V_o = 1.4V$$

考虑到 $V_{Z1} < V_{Z2}$, 所以在图 1.2.8 (c) 中, D_{Z1} 反向击穿后 $V_{Z1} = 5V$, D_{Z2} 截止, 因此它的输出电压为

$$V_o = 5V$$

而图 1.2.8 (d) D_{Z2} 正向导通后, D_{Z1} 截止, 因此其输出电压为

$$V_o = 0.7V$$

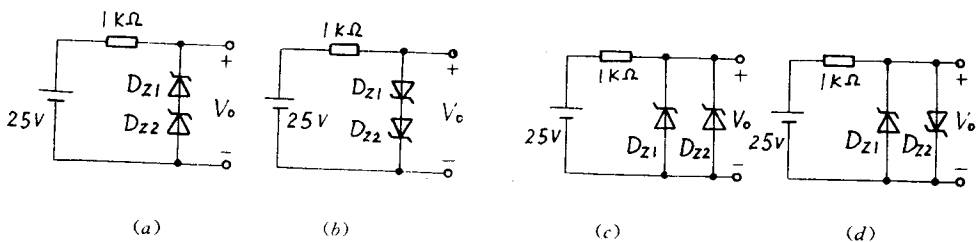
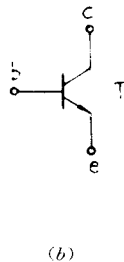
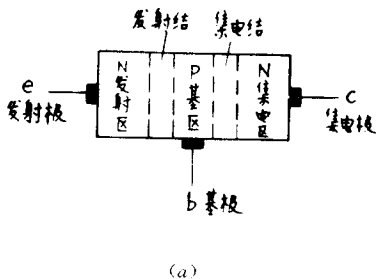


图 1.2.8 例 1.2.3 的电路

1.3 半导体三极管

内容提要

1. 三极管的结构



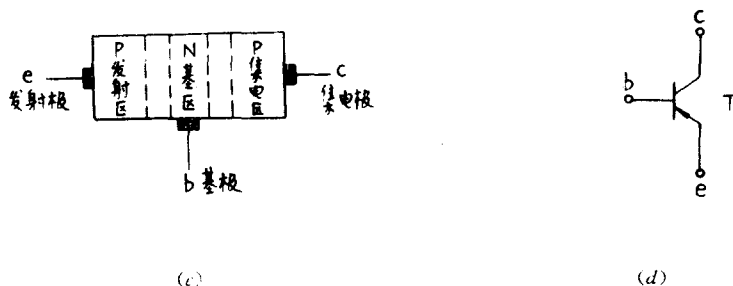


图 1.3.1 半导体三极管的结构和符号

- (a) NPN 管结构示意图 (b) NPN 管符号
(c) PNP 管结构示意图 (d) PNP 管符号

图 1.3.1 (a) 是 NPN 半导体三极管的结构示意图，它有两个 N 区和一个 P 区，其中一个 N 区掺杂浓度高，称为发射区，另一个称为集电区。夹在它们中间的 P 区称为基区。基区通常做得很薄而且掺杂浓度低。由这三个区域各引出一个电极，分别称为发射极 e，集电极 c 和基极 b。发射区与基区间的 PN 结称为发射结 J_e ，集电区与基区间的 PN 结称为集电结 J_c 。这种 NPN 三极管的代表符号如图 1.3.1 (b) 所示，其发射极箭头方向表示发射结加正向电压时，发射极的电流方向。

PNP 管的结构示意图及代表符号如图 1.3.1 (c)、(d) 所示。

2. 三极管的电流分配与放大作用

三极管的结构特点是，含有两个背靠背的 PN 结，发射区掺杂浓度高，基区很薄且掺杂浓度低，集电区面积大。这是三极管具有电流放大作用的内部条件。从外部条件来说，只要使发射结处于正向偏置，集电结处于反向偏置，就能实现电流放大作用。下面以 NPN 管为例进行讨论。

由于三极管有三个电极，因此在放大电路中有三种连接方式（或称三种组态），即共基极，共发射极和共集电极，如图 1.3.2 所示。所谓共基极，就是其输入回路和输出回路的公共端为基极。其余类推。

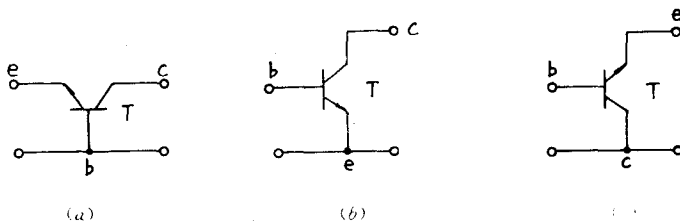


图 1.3.2 三极管电路的三种组态

- (a) 共基极 (b) 共发射极 (c) 共集电极

(1) 三极管内部载流子的传输过程。

① 发射区向基区注入电子

在图 1.3.3 所示的共基极电路中, 由于发射结外加正向电压 V_{EF} , 发射区的多子电子不断通过发射结扩散到基区, 形成发射极注入电流 I_{En} , 其方向与电子流动方向相反。同时, 基区的空穴也要向发射区注入, 形成空穴电流 I_{EP} , 其方向与 I_{En} 同。由于基区掺杂浓度低, I_{EP} 很小, 可忽略, 故发射极电流为

$$I_E = I_{En} + I_{EP} \approx I_{En} \quad (1.3.1)$$

② 电子在基区的扩散与复合

注入到基区的电子, 继续向集电结方向扩散的同时, 有一部分电子与基区的空穴复合, 形成基极电流 I_{Bn} , 由于基区薄而且掺杂少, 所以复合的机会少, I_{Bn} 很小。

③ 集电区收集扩散过来的载流子

集电结反偏, 对集电区的电子和基区空穴是一阻力, 但对基区扩散到集电结边缘的电子却有很强的吸引力, 可使电子很快漂移过集电结为集电区收集, 形成电流 I_{cn} 。另外, 在反向电场作用下, 集电区的少数空穴要向基区漂移, 基区的少数电子也要向集电区漂移, 形成反向饱和电流 I_{CBO} , 因此, 总的集电极电流为

$$I_C = I_{cn} + I_{CBO} \quad (1.3.2)$$

I_{CBO} 由少数产生, 虽然很小, 对放大作用也没有贡献, 但它受温度影响大, 易造成管子工作不稳定。

由图 1.3.3 可见, 三极管的基极电流

$$I_B = I_{Bn} + I_{Bp} - I_{CBO} \approx I_{Bn} - I_{CBO} \quad (1.3.3)$$

由以上分析可知, 三极管中有空穴和电子两种载流子参与导电, 故常称半导体三极管为双极型器件。

(2) 电流分配关系

① 电流 I_E 、 I_C 、 I_B 间的总关系

由图 1.3.3 及式 (1.3.1)、(1.3.2) 和 (1.3.3) 可得

$$I_E = I_C + I_B \quad (1.3.4)$$

② 集电极电流 I_C 与发射极电流 I_E 的关系。

通常将 $\bar{\alpha}$ 称为共基极直流电流放大系数, 它定义为

$$\bar{\alpha} = \frac{\text{集电极电子电流}}{\text{发射极注入电流}} = \frac{I_{cn}}{I_{En}} \approx \frac{I_{cn}}{I_E} \quad (1.3.5)$$

由式 (1.3.2) 有 $I_{cn} = I_C - I_{CBO}$, 将此式代入上式得

$$\bar{\alpha} = \frac{I_C - I_{CBO}}{I_E}$$

和

$$I_C = \bar{\alpha} I_E + I_{CBO} \quad (1.3.6)$$

当 $I_C \gg I_{CBO}$, 则有

$$\bar{\alpha} = \frac{I_C}{I_E} \quad (1.3.7)$$

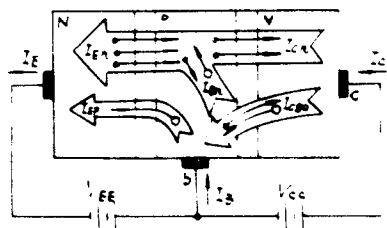


图 1.3.3 三极管内部载流子的传输过程

通常 $\bar{\alpha}$ 可达 0.9~0.99。

③基极电流 I_B 与发射极电流 I_E 的关系

由式 (1.3.4) 和 (1.3.6) 可得

$$I_B = I_E - I_C = (1 - \bar{\alpha}) I_E - I_{CBO} \quad (1.3.8)$$

④基极电流 I_B 和集电极电流 I_C 的关系

由式 (1.3.4) 代入式 (1.3.6) 可得

$$\begin{aligned} I_C &= \frac{\bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}} I_B + \frac{1}{1 - \bar{\alpha}} I_{CBO} \\ &= \bar{\beta} I_B + (1 + \bar{\beta}) I_{CBO} \\ &= \bar{\beta} I_B + I_{CEO} \end{aligned} \quad (1.3.9)$$

式中 $\bar{\beta} = \bar{\alpha} / (1 - \bar{\alpha})$ ，称为共发射极直流电流放大系数。通常 $\bar{\beta}$ 远大于 1。 $I_{CEO} = (1 + \bar{\beta}) I_{CBO}$ ，称为集电极-发射极间的反向饱和电流，也叫穿透电流。当 $I_C \gg I_{CEO}$ 时，则有

$$I_C \approx \bar{\beta} I_B$$

由以上分析可知，在共基极（或共发射极）电路中， I_C 正比于 I_E （或 I_B ），如能控制 I_E （或 I_B ）就能控制 I_C ，所以三极管是电流控制器件。

3. 三极管的特性曲线

工程上常用的是三极管的输入特性和输出特性曲线。它们可用晶体管特性图示仪测得。由于三极管在不同组态时具有不同的端电压和电流，它们的特性曲线各不相同。但共发射特性曲线用得最多，下面以 NPN 管的共发射极特性曲线为例进行讨论。

(1) 共发射极输入特性

它是以输出电压 v_{CE} 为参变量，输入电流 i_B 与输入电压 V_{BE} 之间关系曲线，即

$$i_B = f(v_{BE}) \mid v_{CE} = \text{常数}$$

由图 1.3.4 所示输入特性，可知其特点为

- ① $v_{CE} = 0$ 时的特性类似于 PN 结的正向特性。
- ② $v_{CE} > 0$ 时输入特性右移，且 $v_{CE} > 1V$ 以后特性基本重合

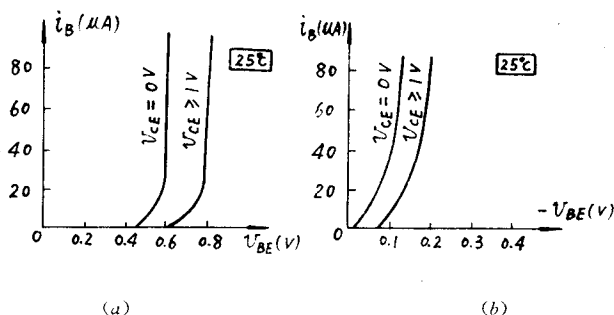


图 1.3.4 共发射极输入特性

(a) 3DG6

(b) 3AX22

(2) 共发射极输出特性

它是以输入电流 i_B 为参变量，输出电流 i_C 与输出电压 v_{CE} 之间的关系曲线，即

$$i_C = f(v_{CE}) \mid i_B = \text{常数}$$

由图 1.3.5 所示共发射极输出特性可见,可分为三个工作区域,即截止区,放大区和饱和区。它们的特点是:

①截止区

一般习惯上把 $i_B = 0$ 那条曲线以下的区域称为截止区。这时,发射结和集电结都处于反偏,三极管呈截止状态。

②放大区

发射结正偏,集电结反偏时三极管工作在放大区。此时最大的特点是, i_C 的大小主要受 i_B 的控制,满足 $\Delta I_C = \beta \Delta I_B$ 的关系式,即有电流放大作用。

③饱和区

当 v_{CE} 减小到 $v_{CE} < v_{BE}$ 时,三极管发射结、集电结均处于正偏,此时 i_C 已不再受 i_B 的控制了。饱和时,集电极-发射极间的电压用 V_{CES} 表示,其数值常小于 1V。

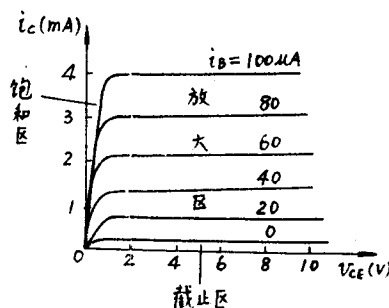


图 1.3.5 共发射极输出特性曲线

4. 三极管的主要参数

(1) 电流放大系数

注意直流 $\bar{\beta}$ 与交流 β 在概念上的区别,直流 $\bar{\beta}$ 为

$$\bar{\beta} = \frac{I_C - I_{CEO}}{I_B} \approx \frac{I_C}{I_B} \quad (\text{当 } I_C \gg I_{CEO} \text{ 时})$$

而交流 β 为

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

在一般放大电路中,通常选用 $\beta = 30 \sim 80$ 为宜。

(2) 极间反向电流

集电极-基极反向饱和电流 I_{CBO} ,集电极-发射极反向饱和电流 I_{CEO} 都影响放大器直流工作状态的稳定性,要求越小越好,通常硅管的 I_{CBO} 、 I_{CEO} 比锗管小几个数量级。

(3) 特征频率 f_T

这是反映三极管两个 PN 结电容影响的参数。当信号的频率上升到一定值后,结电容将起明显的作用,使 β 下降。 f_T 是指当 β 下降到 1 时的频率。

(4) 极限参数

①集电极最大允许电流 I_{CM}

当电流超过 I_{CM} 时,管子性能(如 β)将明显下降,甚至有烧坏管子的可能。

②集电极最大允许耗散功率 P_{CM}

为了集电结温度不超过规定值,集电极消耗的功率 P_C 将受到限制,不允许超过最大允许耗散功

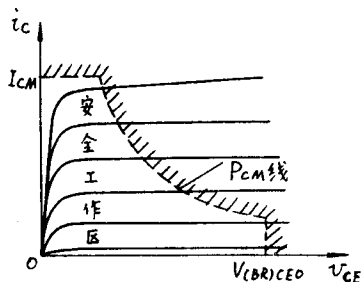


图 1.3.6 三极管的安全工作区

率 P_{CM} 。