

高校经典教材同步辅导丛书
配套高教版·杨素行主编

九章丛书

模拟电子技术基础 简明教程

第三版

同步辅导及习题全解

主 编 苏志平

- ◆ 知识点窍
- ◆ 逻辑推理
- ◆ 习题全解
- ◆ 全真考题
- ◆ 名师执笔
- ◆ 题型归类



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

新版

高校经典教材同步辅导丛书

模拟电子技术基础简 明教程（第三版） 同步辅导及习题全解

主 编 苏志平

内容提要

本书是与清华大学电子教研组杨素行主编的《模拟电子技术基础简明教程(第三版)》(高等教育出版社出版)一书配套的同步辅导和习题解答辅导书。

本书按教材内容安排全书结构,各章均包括本章知识要点概述、内容概要、典型提高题及思考与习题四部分内容。全书按教材内容,针对各章节全部习题给出详细解答,思路清晰,逻辑性强,循序渐进地帮助读者分析并解决问题,内容详尽,简明易懂。

本书可作为电气信息类本科生的辅导材料和复习参考用书,也可作为各类工程技术人员和自学者学习的辅导书,以及教师的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础简明教程(第三版)同步辅导及习题全解 / 苏志平主编. — 北京:中国水利水电出版社, 2010.2

(高校经典教材同步辅导丛书)

ISBN 978-7-5084-7182-2

I. ①模… II. ①苏… III. ①模拟电路—电子技术—高等学校—教学参考资料 IV. ①TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第016334号

策划编辑:杨庆川 责任编辑:杨元泓 加工编辑:陈洁 封面设计:李佳

书 名	高校经典教材同步辅导丛书 模拟电子技术基础简明教程(第三版)同步辅导及习题全解
作 者	主 编 苏志平
出版发行	中国水利水电出版社(北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net(万水) sales@waterpub.com.cn 电话:(010) 68367658(营销中心)、82562819(万水)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京市梦宇印务有限公司
规 格	148mm×210mm 32开本 7.75印张 364千字
版 次	2010年2月第1版 2010年2月第1次印刷
印 数	0001—6000册
定 价	13.80元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

编 委 会

编 委 (排名不分先后)

程丽园	李国哲	陈有志	苏昭平
郑利伟	罗彦辉	邢艳伟	范家畅
孙立群	李云龙	刘 岩	崔永君
高泽全	于克夫	尹泉生	林国栋
黄 河	李思琦	刘 闯	侯朝阳

前 言

《模拟电子技术基础简明教程(第三版)》一直是大中专院校电子专业学生必修课程,其内容随着电子技术的发展而日趋丰富。为了适应当前教育事业改革与发展的趋势,满足广大学习电子技术课程读者的需要,我们特地编写了本书。

本书是以清华大学电子教研组杨素行主编的《模拟电子技术基础简明教程(第三版)》(高等教育出版社出版)中的思考题和课后习题为参考而编写的。本书主要内容包括本章知识要点概述、内容概要、典型提高题及思考与习题四部分内容。本书除了有传统辅导书的解题过程外,主要有以下特点;

1. 知识点窍:运用公式、定理及定义点明知识点。
2. 逻辑推理:阐述习题解答过程的精髓。
3. 解题过程:概念清晰、步骤完整、数据准确、附图齐全。

“知识点窍”和“逻辑推理”是本书的精华所在,把“知识点窍”、“逻辑推理”、“解题过程”串起来,做到融会贯通,巩固所学,达到举一反三的效果。这种方法是由多位著名教授针对学生答题弱点的分析而研究出来的一种新型拓展思路的解题方法。“知识点窍”提纲挈领地抓住题目的核心知识,让学生清楚地了解出题者的意图;“逻辑推理”则注重引导学生思维,旨在培养学生科学的思维方法,掌握答题的思维技巧。

由于编者水平有限及编写时间仓促,不妥之处在所难免,希望广大读者不吝批评、指正。

编者

2009年12月

目 录

第一章 半导体器件	1
本章知识要点概述.....	1
内容概念.....	1
习题与思考题.....	5
典型提高题.....	16
第二章 放大电路的基本原理和分析方法	20
本章知识要点概述.....	20
内容概要.....	20
习题与思考题.....	26
典型提高题.....	51
第三章 放大电路的频率响应	57
本章知识要点概述.....	57
内容概要.....	57
习题与思考题.....	61
典型提高题.....	70
第四章 功率放大电路	73
本章知识要点概述.....	73
内容概要.....	73
习题与思考题.....	75
典型提高题.....	81
第五章 集成运算放大电路	88
本章知识要点概述.....	88
内容概要.....	88
习题与思考题.....	90
典型提高题.....	102
第六章 放大电路中的反馈	109
本章知识要点概述.....	109

内容概要	109
习题与思考题	114
典型提高题	133
第七章 模拟信号运算电路	139
本章知识要点概述	139
内容概要	139
习题与思考题	143
典型提高题	160
第八章 信号处理电路	166
本章知识要点概述	166
内容概要	166
习题与思考题	168
典型提高题	181
第九章 波形发生电路	186
本章知识要点概述	186
内容概要	186
习题与思考题	190
典型提高题	208
第十章 直流电源	213
本章知识要点概述	213
内容概要	213
习题与思考题	218
典型提高题	237

第一章

半导体器件

本章知识要点概述

1. 掌握半导体二极管的伏安特性及主要参数。
2. 掌握稳压二极管的伏安特性及主要参数。
3. 掌握半导体三极管的输入、输出特性及主要参数。
4. 理解 PN 结的单向导电性。
5. 理解半导体三极管的放大作用。
6. 理解半导体三极管的放大原理、特性曲线及主要参数。
7. 了解半导体中的两种载流子。
8. 了解 N 型半导体和 P 型半导体。

内容概要

各种半导体器件,包括半导体二极管、稳压管、双极型三极管和场效应三极管等是构成各种模拟电子电路(包括分立元件电路和集成电路)的基本元件。因此,本章属于模拟电子电路的基本性内容。

一、半导体的特性

本征半导体	杂质半导体	P 型半导体	多子为空穴
		N 型半导体	多子为电子

二、半导体二极管

1. 半导体二极管的单向导电作用

半导体二极管的核心组成部分是一个 PN 结,在 PN 结中存在着两种载流子的运动:扩散运动和漂移运动。载流子的这两种运动产生相应的两种电流:扩散电流和漂移电流。扩散运

动的结果使空间电荷区加宽,而漂移运动的结果是使空间电荷区变窄。当达到动态平衡时,扩散电流和漂移电流相等,PN 结中总的电流为零,空间电荷区的宽度达到稳定。

PN 结正向偏置时,即使加上一个很小的正向电压,回路中也将流过一个较大的正向电流,说明 PN 结正向偏置时能够导电。如图 1-1(a) 所示。

PN 结反向偏置时,反向电流极小,几乎等于零,此时 PN 结处于截止状态,说明 PN 结反向偏置时不能导电。如图 1-1(b) 所示。

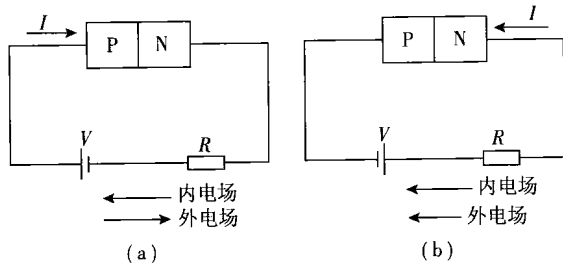


图 1-1

2. 二极管的伏安特性

图 1-2 示出半导体二极管的伏安特性,由此可以清楚地看出它具有单向导电作用。

小功率锗二极管的死区电压约为 0.1V,正向导通压降为 0.2 ~ 0.3V;

小功率硅二极管的死区电压约为 0.5V,正向导通压降为 0.6 ~ 0.8V。

3. 二极管的主要参数

最大整流电流 I_F ——长期运行时,通过二极管的最大正向平均电流不得超过此值,否则管子可能被烧毁。

最高反向工作电压 U_R ——加在管子两端的最高反向电压不得超过此值,否则管子可能被击穿。

反向电流 I_R ——在室温下,给二极管加上规定的反向电压时流过管子的反向电流。要求此值愈小愈好。

最高工作频率 f_M ——二极管允许的最高工作频率。

4. 稳压二极管

(1) 稳压管的伏安特性

稳压管的伏安特性如图 1-3 所示。使用稳压管时,为了使其工作在反向击穿区,应将外加电压的正端接稳压二极管的阴极,外加电压的负端接稳压二极管的阳极,如图 1-3 所示。

(2) 稳压管与一般的半导体二极管的区别:首先,为了利用二极管的单向导电性,

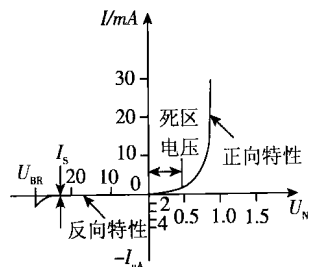


图 1-2

一般的二极管常常既工作在正向特性区,也工作在反向特性区;而为了达到稳压的目的,稳压管通常工作在反向击穿区。

其次,一般来说,要求二极管的反向击穿电压比较高;而稳压管的反向击穿电压相对较低,且要求根据需要做成不同的值。

再次,二极管如果被击穿,常常造成损坏;而稳压管虽然工作在反向击穿区,但只要注意限制流过稳压管的电流,并不会损坏管子。

最后,二极管的主要用途有整流、检波等;而稳压管的主要用途是组成稳压电路。

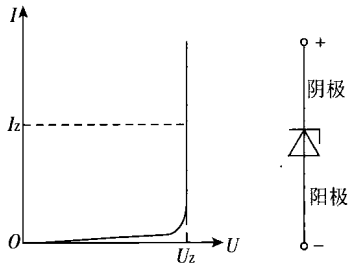


图 1-3

三、双极结型三极管

1. 三极管的放大作用

三极管具有电流放大作用: $\Delta I_C = \beta \Delta I_B$

三极管中的电流分配符合以下关系: $I_B < I_C < I_E$, 且 $I_C \approx I_E$

2. 三极管的特性曲线

三极管的输入、输出特性曲线描述了三极管各极电流和电压之间的关系。NPN 三极管的共射输入、输出特性曲线如图 1-4 所示。

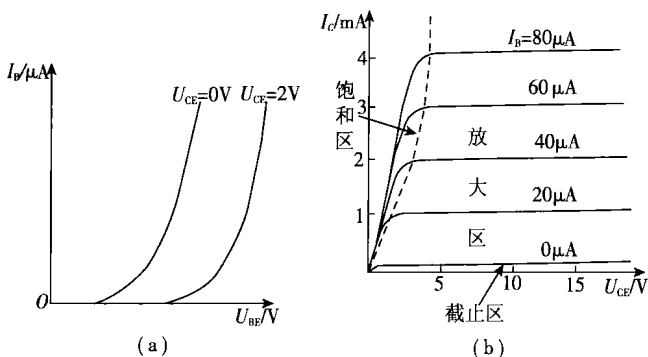


图 1-4

在图 1-4(b) 的输出特性上,可以划分为三个区:截止区、放大区和饱和区。在这三个区中,只有工作在放大区,三极管才具有电流放大作用,即集电极电流 I_C 和基极电流 I_B 之间存在以下关系:

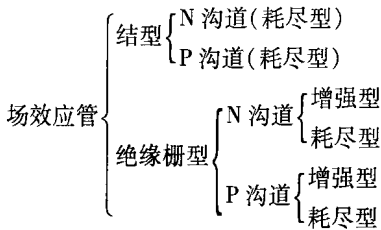
$$\Delta I_C = \beta \Delta I_B$$

四、场效应三极管

1. 双极型三极管与场效应三极管的电极对应关系

基极 $b \rightarrow$ 栅极 g , 发射极 $e \rightarrow$ 源极 s , 集电极 $c \rightarrow$ 漏极 d

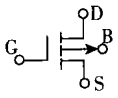
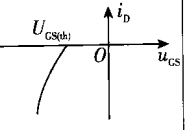
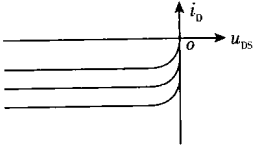
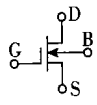
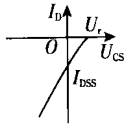
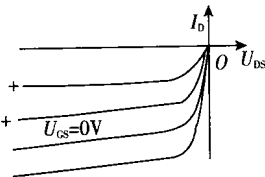
2. 场效应三极管的分类



各种不同类型的场效应管的符号和特性曲线也都不同, 如表 1-1 所示。

表 1-1 各种场效应管的符号和特性曲线

种类	符号	转移特性	漏极特性	
结型 N 沟道 耗尽型				
结型 P 沟道 耗尽型				
绝缘栅型 N 沟道	增强型			
	耗尽型			

绝缘栅型 P 沟道	增强型			
	耗尽型			

1. 结型及绝缘栅耗尽型场效应管

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{u_{GS}}{U_{GS(off)}}\right)^2$$

$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{U_{GS(off)}} \left(1 - \frac{u_{GS}}{U_{GS(off)}}\right) = \frac{2}{U_{GS(off)}} \sqrt{I_{DSS} I_D}$$

2. 绝缘栅增强型场效应管

$$I_D = K(u_{GS} - U_{GS(th)})^2$$

$$g_m = 2K(u_{GS} - U_{GS(th)})^2 = 2\sqrt{KI_D}$$

习题与思考题

题 1-1 欲使二极管具有良好的单向导电性,管子的正向电阻和反向电阻分别为大一些好,还是小一些好?

【逻辑推理】 半导体二极管的核心部分是一个 PN 结,根据 PN 结的形成原理推导。

解: 为了使半导体二极管具有良好的单向导电性,要求二极管的正向电阻愈小愈好,同时要求其反向电阻越大越好。通常理想二极管的正向电阻等于 0,反向电阻等于无穷大。

题 1-2 假设一个二极管在 50℃ 时的反向电流为 10 μA,试问它在 20℃ 和 80℃ 时的反向电流大约分别为多大?已知温度每升高 10℃,反向电流大致增加一倍。

【知识点窍】 根据温度每升高 10℃,反向电流增加一倍。

【逻辑推理】 通过实例计算,理解二极管的反向电流随温度升高而急剧增大的特性。

解: 在 20℃ 时反向电流约为: $2^{-3} \times 10 \mu\text{A} = 1.25 \mu\text{A}$

在 80℃ 时反向电流约为: $2^3 \times 10 \mu\text{A} = 80 \mu\text{A}$

题 1-3 某二极管的伏安特性如图 P1-3(a) 所示:

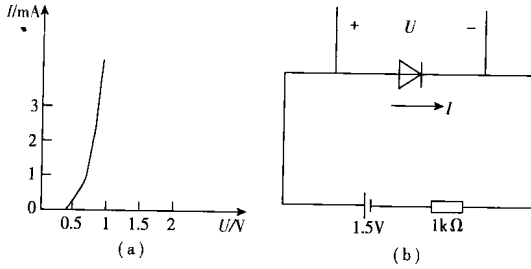
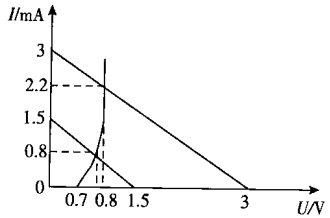


图 P1 - 3

① 如在二极管两端通过 $1\text{k}\Omega$ 的电阻加上 1.5V 的电压, 见图 P1 - 3(b), 此时二极管的电流 I 和电压 U 各为多少?

② 如将图 P1 - 3(b) 中的 1.5V 电压改为 3V , 则二极管的电流和电压各为多少?

提示: 可用图解法。



图解 P1 - 3

【逻辑推理】 清楚曲线上各参数的定义, 并进一步分析, 当二极管工作在正向特性区时, 若电源电压增大, 二极管的电流也随之增大, 但管子两端的电压变化不大。

解: 采用图解法, 其图解过程如图解 P1 - 3 所示。

由图解 P1 - 3 估算可得:

电源电压为 1.5V 时, $I \approx 0.8\text{mA}$, $U \approx 0.7\text{V}$; 当电源电压改为 3V 时, $I \approx 2.2\text{mA}$, $U \approx 0.8\text{V}$ 。

题 1 - 4 已知在图 P1 - 4 中, $u_1 = 10\sin\omega t(\text{V})$, $R_L = 1\text{k}\Omega$, 试对应地画出二极管的电流 i_D 以及输出电压 u_o 的波形, 并在波形图上标出幅值, 设二极管的正向压降和反向电流可以忽略。

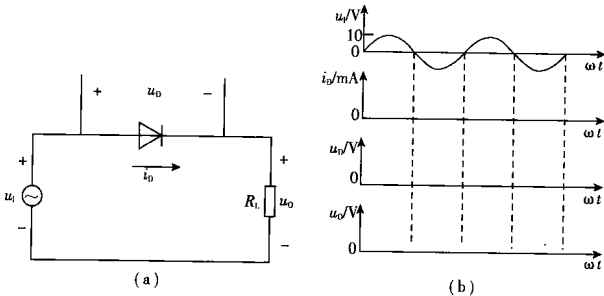


图 P1 - 4

【知识点窍】 二极管的单向导电性及其转移特性:二极管导通时, $u_D = 0.7V$; 二极管截止时, $i_D = 0$ 。

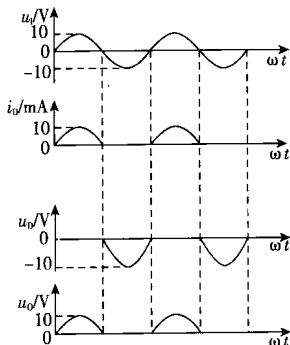
【逻辑推理】 由题设二极管的正向压降和反向电流可以忽略, 则在二极管两侧加正向电压时, 二极管是导通的且其导通电阻为0。当两侧加反向电压时, 二极管是截止的, 相当于一个无穷大电阻。

解: 由以上推理可得波形图如图解 P1-4 所示。

题 1-5 欲使稳压管具有良好的稳压特性, 它的工作电流 I_Z 、动态内阻 r_Z 以及温度系数 a_u 等各项参数, 大一些好还是小一些好?

【逻辑推理】 由 $r_Z = \frac{\Delta U}{\Delta I}$, 当稳压管的电流变化时稳压管的电压变化量愈小, 表明稳压效果愈好, 因此 r_Z 愈小愈好; 对于同一个稳压管而言, 工作电流 I_Z 愈大其动态内阻 r_Z 愈小, 因此 I_Z 愈大越好; 温度系数 a_u 的绝对值愈小, 表示当温度变化时, 稳压管的电压变化百分比愈小。

解: 为了使稳压管具有良好的稳压特性, 要求它的工作电流 I_Z 愈大愈好, 但应注意不要超过其额定功耗, 以免损坏稳压管, 同时要求动态内阻 r_Z 与温度系数 a_u 的绝对值愈小愈好。



图解 P1-4

题 1-6 某稳压管在温度为 20°C , 工作电流为 5mA 时, 稳定电压 $U_Z = 10\text{V}$, 已知其动态内阻 $r_Z = 8\Omega$, 电压的温度系数 $a_u = 0.09\%/^\circ\text{C}$, 试问:

- ① 当温度不变, 工作电流改为 20mA 时, U_Z 约等于多少?
- ② 当工作电流仍为 5mA , 但温度上升至 50°C 时, U_Z 约等于多少?

【知识点窍】 稳压管主要参数 U_Z 、 r_Z 和 a_u 的意义。

【逻辑推理】 利用稳压管主要参数的意义, 由 $r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z}$ 以及 $\frac{\Delta U_Z}{U_Z} = \Delta T a_u$ 进行推导。

解: ① 由 $r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z}$ 知

$$\begin{aligned} \Delta U_Z &= \Delta I_Z r_Z \\ &= (20 - 5) \times 10^{-3} \text{A} \times 8\Omega = 0.12\text{V} \end{aligned}$$

$$\text{则 } U_Z = (10 + 0.12)\text{V} = 10.12\text{V}$$

② 由 $\frac{\Delta U_Z}{U_Z} = \Delta T a_u = (50 - 20)^\circ\text{C} \times 0.09\%/^\circ\text{C} = 2.7\%$

$$\begin{aligned} \text{则 } U_Z &= 10\text{V} + 10\text{V} \times 2.7\% \\ &= 10.27\text{V} \end{aligned}$$

题 1-7 在图 P1-7 中,已知电流电压 $V = 10\text{V}$, $R = 200\Omega$, $R_L = 1\text{k}\Omega$, 稳压管的 $U_Z = 6\text{V}$, 试求:

- ① 稳压管中的电流 $I_Z = ?$
- ② 当电压 V 升高到 12V 时, I_Z 将变为多少?
- ③ 当 V 仍为 10V , 但 R_L 改为 $2\text{k}\Omega$, I_Z 将变为多少?

【逻辑推理】 根据 $I = \frac{U}{R}$ 即欧姆定律计算各部分的电流值 I 及 I_L , 再根据

$$I = I_Z + I_L \text{ 计算 } I_Z。$$

解:① 由 $U_Z = 6\text{V}$, $R_L = 1\text{k}\Omega$ 则

$$I_L = \frac{U_Z}{R_L} = \frac{6}{1} \text{mA} = 6\text{mA}$$

$$I = \frac{V - U_Z}{R} = \frac{(10 - 6)\text{V}}{200\Omega} = 20\text{mA}$$

$$I_Z = I - I_L = 20\text{mA} - 6\text{mA} = 14\text{mA}$$

② 当电源电压 V 升高到 12V 时, I_L 不变, 此时 $I_L = 6\text{mA}$

$$I = \frac{V - U_Z}{R} = \frac{(12 - 6)\text{V}}{200\Omega} = 30\text{mA}$$

$$I_Z = I - I_L = 30\text{mA} - 6\text{mA} = 24\text{mA}$$

③ 当 R_L 改为 $2\text{k}\Omega$ 时

$$I_L = \frac{6\text{V}}{2\text{k}\Omega} = 3\text{mA}$$

$$I = \frac{V - U_Z}{R} = \frac{(10 - 6)\text{V}}{200\Omega} = 20\text{mA}$$

所以此时稳压管中的电流:

$$I_Z = I - I_L = 20\text{mA} - 3\text{mA} = 17\text{mA}$$

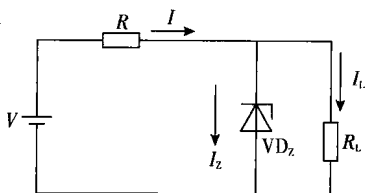


图 P1-7

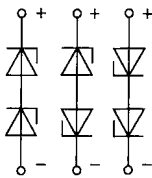
题 1-8 设有两个相同型号的稳压管, 稳压值均为 6V , 当工作在正向时管压降均为 0.7V , 如果将它们用不同的方法串联后接入电路, 可能得到几种不同的稳压值? 试画出各种不同的串联方法。

【知识点窍】 稳压管的分析: 正向导通时, $u_D \approx 0.7\text{V}$; 反向击穿时, $u_D = u_Z$ 。

【逻辑推理】 串联时, 正接反接共有 3 种组态, 分别求此时的电压。

解: 串联时, 正接反接 3 种不同的串联方法如图解 P1-8 所示。

其稳压值分别为: (a) $6 + 6 = 12\text{V}$



图解 P1-8

$$(b) 6 + 0.7 = 6.7V$$

$$(c) 0.7 + 0.7 = 1.4V$$

题 1-9 一个三极管的输出特性曲线见图 P1-9, 试在图上求出 $U_{CE} = 5V, I_C = 6mA$ 处的电流放大系数 $\bar{\beta}, \bar{\alpha}, \beta$ 和 α , 并进行比较。

【逻辑推理】 清楚曲线上各参数的定义, 并通过比较理解 $\bar{\beta}$ 与 $\beta, \bar{\alpha}$ 与 α 的数值逼近性。

解: 根据各参数定义在曲线上分别求出:

$$\bar{\beta} \approx \frac{I_C}{I_B} = \frac{6}{0.04} = 150$$

$$\bar{\alpha} \approx \frac{I_C}{I_E} = \frac{6}{6.04} = 0.993$$

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{9 - 3.2}{0.06 - 0.02} = 145$$

$$\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} = \frac{9 - 3.2}{9.06 - 3.22} = 0.993$$

题 1-10 假设有两个三极管, 已知甲管的 $\bar{\beta}_1 = 99$, 则 $\bar{\alpha}_1 = ?$ 当甲管的 $I_{B1} = 10\mu A$ 时, 其 I_{C1} 和 I_{E1} 各为多少? 乙管的 $\bar{\alpha}_2 = 0.95$, 其 $\bar{\beta}_2 = ?$, 若乙管的 $I_{E2} = 1mA$, 则 I_{C2} 和 I_{B2} 各为多少?

【知识点窍】 $\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}, \bar{\alpha} \approx \frac{I_C}{I_E}, \bar{\beta} \approx \frac{I_C}{I_B}$ 。

【逻辑推理】 根据电流之间的比例关系: $\bar{\beta} \approx \frac{I_C}{I_B}, \bar{\alpha} \approx \frac{I_C}{I_E}$ 以及 α 与 β 的关系, $\alpha =$

$\frac{\beta}{1 + \beta}$ 求解。

解: 由 $\bar{\beta}_1 = 99$ 及 $\bar{\alpha}_1 = \frac{\bar{\beta}_1}{1 + \bar{\beta}_1}$ 得 $\bar{\alpha}_1 = \frac{99}{1 + 99} = 0.99$

当 $I_{B1} = 10\mu A$ 时,

$$I_{C1} \approx \bar{\beta}_1 \cdot I_{B1} = 99 \times 10\mu A = 990\mu A$$

$$I_{E1} \approx \frac{I_{C1}}{\bar{\alpha}_1} = \frac{990\mu A}{0.99} = 1mA$$

同理: 由 $\bar{\alpha}_2 = 0.95$ 可求得 $\bar{\beta}_2 = 19$

若 $I_{E2} = 1mA$, 则

$$I_{C2} \approx \bar{\alpha}_2 \cdot I_{E2} = 0.95 \times 1mA = 0.95mA$$

$$I_{B2} \approx \frac{I_{C2}}{\bar{\beta}_2} = \frac{0.95mA}{19} \approx 50\mu A$$

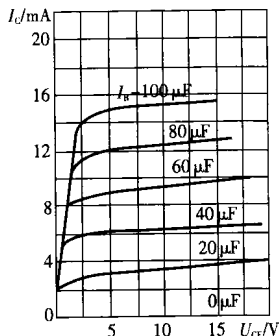


图 P1-9

题 1-11 设某三极管在 20% 时的反向饱和电流 $I_{\text{CBO}} = 1\mu\text{A}$, $\beta = 30$ 试估算该管在 50°C 时的 I_{CBO} 和穿透电流 I_{CEO} 大致等于多少。已知每当温度升高 10°C 时, I_{CBO} 大约增加一倍, 而当温度每升高 1°C 时, β 大约增大 1%。

【知识点窍】 温度对 I_{CBO} 、 β 的影响: 温度每升高 10°C 时, I_{CBO} 大约增加一倍, 温度每升高 1°C 时, β 大约增大 1%。

【逻辑推理】 根据集电极反向电流的温度特性及电流放大倍数 β 的温度特性进行求解。

解: 由 $I_{\text{CEO}} = (1 + \beta)I_{\text{CBO}}$

则 20°C 时, $I_{\text{CEO}} = (1 + 30) \times 1\mu\text{A} = 31\mu\text{A}$

50°C 时, $I_{\text{CBO}} \approx 8\mu\text{A}$

$\beta \approx 30 + 30 \times 30 \times 1\% = 39$

所以 $I_{\text{CEO}} = I_{\text{CBO}}(1 + \beta) = (39 + 1) \times 8\mu\text{A} = 320\mu\text{A}$

题 1-12 一个实际的 PNP 型锗三级管的输入、输出特性曲线分别如图 P1-12(a) 和(b) 所示。

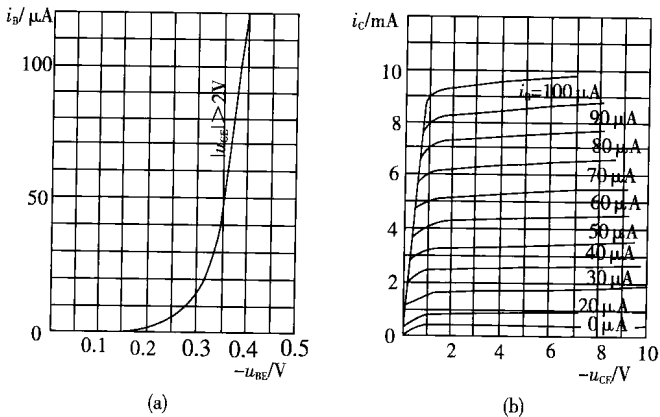


图 P1-12

① 查看该三级管的穿透电流 I_{CEO} 约为多大, 输入特性的死区电压约为多大。

② 为了使 PNP 型三极管工作在放大区, 其 u_{BE} 和 u_{BC} 的值分别应该大于零还是小于零? 并与 NPN 型三极管作比较。

解: ① $I_{\text{CEO}} = 0.5\text{mA}$ (由图(b) 中 $i_{\text{B}} = 0\mu\text{A}$ 时可得)

死区电压为 -0.2V (由图(a) 中 i_{B} 的变化可得)

② PNP 管中若工作在放大区应使发射结正偏, 集电结反偏, 所以 $U_{\text{BE}} < 0$,

$U_{\text{BC}} > 0$ 。同理 NPN 管中, 发射结正偏时, $U_{\text{BE}} > 0$; 集电结反偏时, $U_{\text{BC}} < 0$ 。