



21 世纪高等院校经典教材同步辅导
ERSHIYISHIJIG AODENGYU ANXIAOJINGDIANJIAOCAITONGBU FUDAO

模拟电子技术基础 简明教程

第三版

全程导学及习题全解

主编 侯 钢 副主编 王楚仪 魏俊逸 主审 申文达

- ◆ 知识归纳 梳理主线重点难点
- ◆ 习题详解 精确解答教材习题
- ◆ 提高练习 巩固知识迈向更高



中国时代经济出版社
China Modern Economic Publishing House



21 世纪高等院校经典教材同步辅导
ERSHIYISHIJIGAODENGYUANXIAOJINGDIANJIACAITONGBUFUDAO

TN01/15=3C2

2008

模拟电子技术基础 简明教程 第三版

全程导学及习题全解

主编 侯 钢 副主编 王楚仪 魏俊逸 主审 申文达

- ◆知识归纳 梳理主线重点难点
- ◆习题详解 精确解答教材习题
- ◆提高练习 巩固知识迈向更高



中国时代经济出版社
China Modern Economic Publishing House

图书在版编目 (CIP) 数据

模拟电子技术基础简明教程 (第三版) 全程导学及习题全解 / 侯钢主编.

—北京: 中国时代经济出版社, 2008.3

(21 世纪高等院校经典教材同步辅导)

ISBN 978-7-80221-528-3

I. 模… II. 侯… 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 (2007) 第 197415 号

模
拟
电
子
技
术
基
础
简
明
教
程
(
第
三
版
)
全
程
导
学
及
习
题
全
解

侯
钢
主
编

出 版 者 中国时代经济出版社
地 址 北京市西城区车公庄大街乙 5 号
鸿儒大厦 B 座
邮 政 编 码 100044
电 话 (010) 68320825 (发行部)
(010) 88361317 (邮购)
传 真 (010) 68320634
发 行 各地新华书店
印 刷 北京新丰印刷厂
开 本 787×1092 1/16
版 次 2008 年 3 月第 1 版
印 次 2008 年 3 月第 1 次印刷
印 张 10.125
字 数 140 千字
印 数 1~5000 册
定 价 13.00 元
书 号 ISBN 978-7-80221-528-3

版权所有 侵权必究

内容简介

本书是根据高等教育出版社出版,杨素行主编的《模拟电子技术基础简明教程》(第三版)一书的学习辅导和习题解答教材。全书按教材内容,针对每个章节习题给出详细解答,思路清晰,逻辑性强,循序渐进的帮助读者分析并解决问题。本书可作为在校大学生和自考生学习模拟电路课程的参考用书,也可作为教师的教学参考书。

前 言

模拟电路是研究电子技术的理论基础课,高等教育出版社于2006年出版了杨素行主编的《模拟电子技术基础简明教程》(第三版),为了帮助广大学生更好的学习和掌握《模拟电子技术基础简明教程》(第三版)课程的精髓和解题方法,我们编写了本辅导教材。

本辅导教材根据《模拟电子技术基础简明教程》(第三版)教材中的每一章的内容,结合课程教学大纲,编写了以下内容:

本章要点概述:精练了各章中的主要知识要点,理清了各知识要点之间的脉络联系,囊括了主要定理及相关推论和重要公式等,帮助读者迅速了解本章的重点,系统理解各章体系结构,奠定扎实的理论基础。

自测题及解答:精选具有代表性的重点题型进行讲解,分析问题的突破点,指引解决问题的思路。

习题与思考题分析与解答:依据教材各章节的习题,进行详尽的解答。在解答过程中,对重点和难点习题进行了分析和讲解,归纳解题技巧。

本书有侯钢,王楚仪,魏俊逸等同志编写,由申文达主审全书。本书编写过程中得到了本书编写过程中得到杨增逵、陈晓峰、张景刚等同志的大力协助,并得到中国时代经济出版社的领导和有关编辑的大力支持,编者对此深表感谢。并对《模拟电子技术基础简明教程》作者杨素行老师表示感谢。

由于编者水平有限,本书难免有缺点和疏漏,存在不妥之处,敬请各位专家及广大读者批评指正。

目 录

第一章 半导体器件	(1)
本章要点概述	(1)
习题与思考题分析与解答	(4)
自测题及解答	(14)
第二章 放大电路的基本原理和分析方法	(17)
本章要点概述	(17)
习题与思考题分析与解答	(18)
自测题及解答	(38)
第三章 放大电路的频率响应	(40)
本章要点概述	(40)
习题与思考题分析与解答	(40)
自测题及解答	(47)
第四章 功率放大电路	(49)
本章要点概述	(49)
习题与思考题分析与解答	(51)
自测题及解答	(58)
第五章 集成运算放大电路	(60)
本章要点概述	(60)
习题与思考题分析与解答	(61)
自测题及解答	(72)
第六章 放大电路中的反馈	(74)
本章要点概述	(74)
习题与思考题分析与解答	(75)
自测题及解答	(89)
第七章 模拟信号运算电路	(91)
本章要点概述	(91)
习题与思考题分析与解答	(92)
自测题及解答	(105)
第八章 信号处理电路	(107)
本章要点概述	(107)

习题与思考题分析与解答	(109)
自测题及解答	(119)
第九章 波形发生电路	(123)
本章要点概述	(123)
习题与思考题分析与解答	(124)
自测题及解答	(136)
第十章 直流电源	(138)
本章要点概述	(138)
习题与思考分析与解答	(140)
自测题及解答	(155)

第一章 半导体器件

本章要点概述

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. 二极管具有单向导电性
2. 二极管的伏安特性(如图 1-1)

半导体导通电压: 硅 Si 0.6~0.8V
锗 Ge 0.2~0.3V

3. 稳压管

当二极管正向导通或反向击穿时,可起到稳压的作用。此时二极管电流基本不再变化,而只是电流变大。但需要注意电流过大会烧坏二极管。

三、双极型三极管

无论是 PNP 还是 NPN,三极管处于放大状态时,发射结要正偏,集电结要反偏。电压的正负由正偏或者反偏和 PN 结方向共同确定。

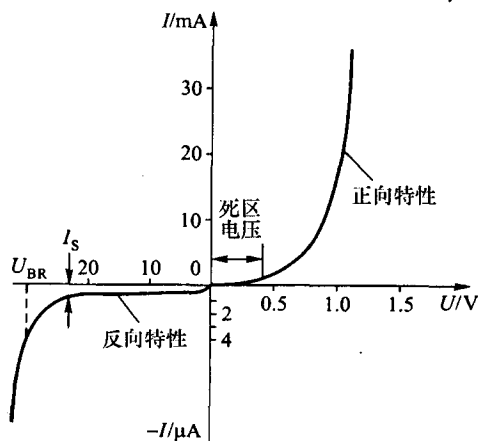


图 1-1

三极管可以将交流小信号放大,通过直流提供的电压来放大信号。

电流的放大作用: $\Delta I_C = \beta \Delta I_B$

1. 三极管的输入、输出特性曲线

输入: U_{CE} 不变时,输入回路的电流 i_B 与电压 u_{BE} 之间的关系曲线,有些类似二极管特性曲线,如图 1-2 所示。

输出: 当 i_B 不变时,三极管输出回路中的电流 i_C 与电压 u_{CE} 之间的关系曲线如图 1-3 所示,分三个区域即截止区、放大区、饱和区。

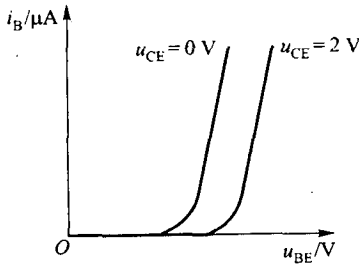


图 1-2 三极管的输入特性

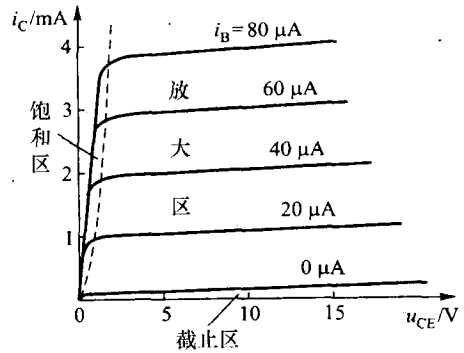


图 1-3 三极管的输出特性

3. 三极管各变量之间的关系

$$\beta = \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} \quad \bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B} \quad \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

$$\alpha = \frac{\Delta i_C}{\Delta i_E} \quad \bar{\alpha} = \frac{I_C}{I_E} \quad \alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

I_{CBO} 集电极和基极之间的反向饱和电流。

I_{CEO} 集电极和发射极之间的穿透电流。

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

四、场效应三极管

1. 与双极型三极管的电极对应关系

基极 b → 栅极 g

发射极 e → 源极 s

集电极 c → 漏极 d

2. 场效应管的分类

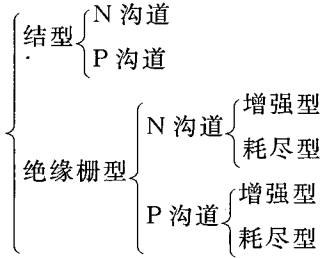


表 1-1 各种场效应管的符号和特性曲线

种类		符号	输出特性	转移特性
结构 N 沟道	耗尽型			
	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			

3. 耗尽型场效应三极管(结型及绝缘栅型)

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

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

绝缘栅型增强型场效应管

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

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

习题与思考题分析与解答

习题 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?

题目解答 由于二极管单向导电性为正向导通、反向截止,所以欲使其有良好的单向导电性,正向电阻小一些,反向电阻大一些好。

习题 1-2 假设一个二极管在 50°C 时的反向电流为 $10\mu\text{A}$,试问它在 20°C 和 80°C 时的反向电流大约分别为多大? 已知温度每升高 10°C ,反向电流大致增加一倍。

题目分析 由 PN 结的温度特性,PN 结的 I_S 随温度按指数变化,反向电流大约随温度每变化 10°C 而变化一倍。 $I_S \approx I_S(T_0) \times 2^{\frac{T-T_0}{10}}$

题目解答 在 20°C 时的反向电流

$$I_S(20+273\text{K}) = 2^{-3} \times I_S(50+273\text{K}) = 2^{-3} \times 10\mu\text{A} = 1.25\mu\text{A}$$

$$\text{在 } 80^\circ\text{C} \text{ 时二极管反向电流 } I_S(80+273\text{K}) = 2^3 \times 10\mu\text{A} = 80\mu\text{A}$$

习题 1-3 某二极管的伏安特性如图 P1-3(a) 所示:

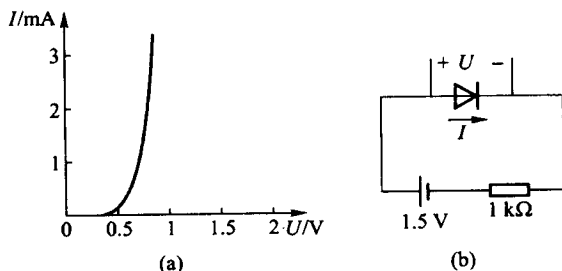
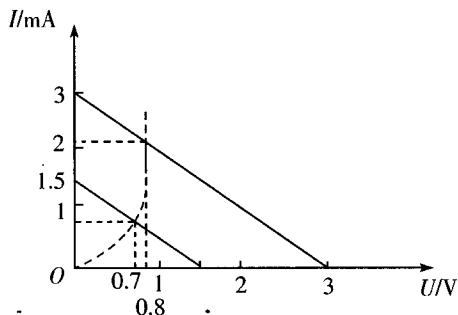


图 P1-3



解 1-3 图

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。

题目分析 将电路的负载线在图中画出,根据二极管的工作状态来判断 U 、 I 的大小。

题目解答 由图解 1-3 可知,根据负载线与特性曲线交点可得

$$U=1.5\text{V 时}, U=0.7\text{V}, I \approx 1.5-0.7=0.8\text{mA}$$

$$U=3\text{V 时}, U=0.8\text{V}, I \approx 3-0.8=2.2\text{mA}$$

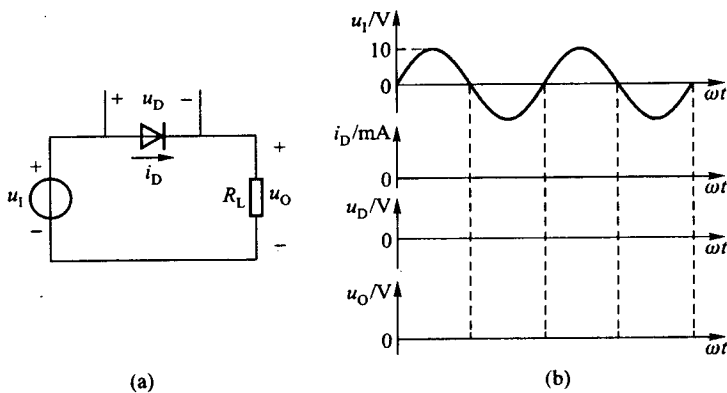
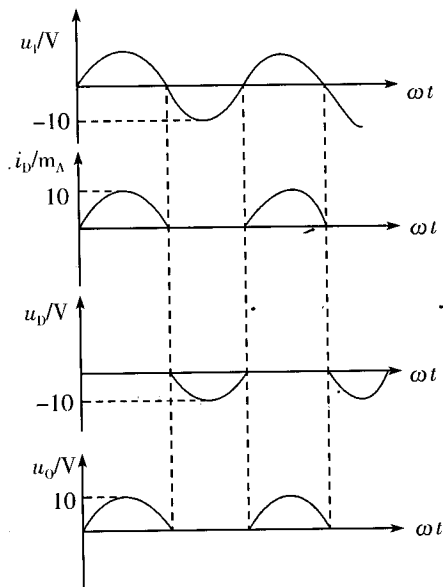


图 P1-4

习题 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 、电压 u_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。

题目分析 引起电路各参量变化的是二极管的单向导电性和导通电压,而题目中又忽略了二极管的正向压降,只考虑反向截止即可。

题目解答 由式 $i_D = \frac{U_1}{R_L} = 10\sin\omega t\text{mA}$ 反向考虑为不击穿可得解 1-4 图。



解 1-4 图

习题 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 α_U 等各项参数,大一些好还是小一些好?

题目分析 稳压管在反向工作区的动态电阻 $r_Z = \frac{\Delta U}{\Delta I}$ 。通常稳压管反向击穿特性越陡,内阻 r_Z 越小,稳压性能越好。当 I_Z 越大时 r_Z 越小, α_U 越小,稳压管的电压变化越小。

题目解答 I_Z 越大, r_Z 小一些, α_U 小一些对稳压管的稳压特性好。但应注意, I_Z 不能过大,以免损坏稳压管。

习题 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 $\alpha_U = 0.09\%/^\circ\text{C}$, 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?

题目分析 由 $r_Z = \frac{\Delta u_Z}{\Delta I_Z}$ 和 $\Delta T \alpha_U = \frac{\Delta U_Z}{U_Z}$ 可得。

题目解答 ① 由 $r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z}$ 可得 $\Delta I_Z = 20\text{mA} - 5\text{mA} = 15\text{mA}$

所以稳定电压为 $U_Z = U_Z + \Delta U_Z = 10 + r_Z \cdot \Delta I_Z = 10 + 8 \times 15 \times 10^{-3} = 10.12\text{V}$

② $\Delta T = (50 - 20)^\circ\text{C} = 30^\circ\text{C}$

$$\frac{\Delta U_Z}{U_Z} = 30 \times 0.09\% = 2.7\% = \frac{U_Z - 10}{10}$$

可求得 $U_Z = 10 + 10 \times 2.7\% = 10.27\text{V}$

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

① 稳压管中的电流 $I_Z=?$

② 当电源电压 U 升高到 12V 时, I_Z 将变为多少?

③ 当 U 仍为 10V , 但 R_L 改为 $2\text{k}\Omega$ 时, I_Z 将变为多少?

题目分析 稳压管两端电压值恒定, 即 U_Z 不变。

题目解答 ① 已知 R_L 两端电压 U_Z 可得

$$I_L = \frac{U_Z}{R_L} = 6\text{mA} \quad I = \frac{U - U_Z}{R} = 20\text{mA}$$

流过稳压管的电流 $I_Z = I - I_L = 14\text{mA}$

$$\textcircled{2} I = \frac{U - U_Z}{R} = \frac{6\text{V}}{200\Omega} = 30\text{mA}$$

此时流过稳压管的电流 $I_Z = I - I_L = 24\text{mA}$

$$\textcircled{3} I_L = \frac{U_Z}{R_L} = 3\text{mA} \quad I = 20\text{mA}$$

所以 $I_Z = 17\text{mA}$

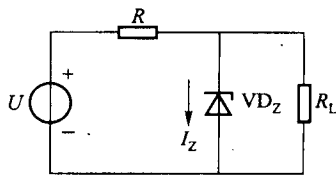
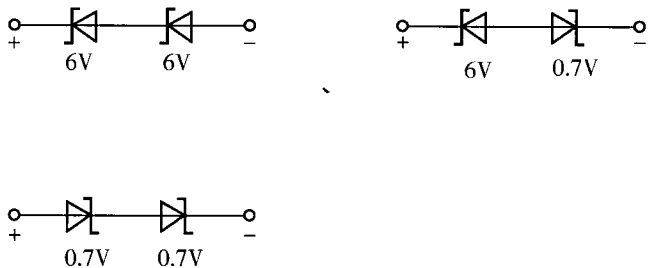


图 P1-7

习题 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式。

题目解答 共有三种接法, 如解 1-8 图所示。



解 1-8 图

习题 1-9 一个三极管的输出特性曲线见图 P1-9:

① 试在图上求出 $u_{CE}=5\text{V}$, $i_C=6\text{mA}$ 处的电流放大系数 $\bar{\beta}$, $\bar{\alpha}$, β 和 α , 并进行比较。

② 设三极管的极限参数为 $I_{CM}=20\text{mA}$, $U_{(BR)CEO}=15\text{V}$, $P_{CM}=100\text{mW}$, 试在图 P1-9 的特性曲线上画出三极管的安全工作区。

题目解答 由图可知 $U_{CE}=5\text{V}$, $I_C=6\text{mA}$ 时 $I_B=40\mu\text{A}$, 由于 $\bar{\beta}$, $\bar{\alpha}$ 为直流增益

$$\bar{\beta} \approx \frac{I_C}{I_B} = \frac{6\text{mA}}{40\mu\text{A}} = 150 \quad \bar{\alpha} \approx \frac{I_C}{I_E} = \frac{I_C}{I_B + I_C} = 0.993$$

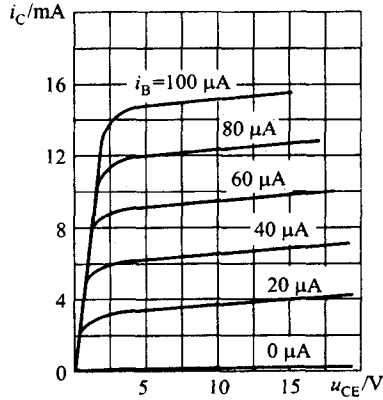


图 P1-9

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{9\text{mA} - 3\text{mA}}{60\mu\text{A} - 20\mu\text{A}} = 150 \quad \alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} = \frac{9\text{mA} - 3\text{mA}}{\Delta I_B + \Delta I_C} = 0.993$$

习题 1-10 假设有两个三极管, 已知第一个管子的 $\bar{\beta}_1 = 99$, 则 $\bar{\alpha}_1 = ?$ 当该管的 $I_{B1} = 10\mu\text{A}$ 时, 其 I_{C1} 和 I_{E1} 各等于多少? 已知第二个管子的 $\bar{\alpha}_2 = 0.95$, 则其 $\bar{\beta}_2 = ?$ 若该管的 $I_{E2} = 1\text{mA}$, 则 I_{C2} 和 I_{B2} 各等于多少?

题目分析 由于 $\bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B}$ $\bar{\alpha} = \frac{I_C}{I_B + I_C} = \frac{I_C}{I_E}$

$$\text{所以 } \bar{\alpha} = \frac{\bar{\beta}}{\bar{\beta} + 1} \quad \bar{\beta} = \frac{\bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}}$$

题目解答 由 $\bar{\beta}_1 = 99$ 可得 $\bar{\alpha}_1 = \frac{\bar{\beta}}{1 + \bar{\beta}} = 0.99$

由 $I_C = \bar{\beta} \cdot I_B$ 可知 $I_{C1} = \bar{\beta} \cdot I_{B1}$ 所以 $I_{C1} = \bar{\beta} \cdot I_{B1} = 99 \times 10\mu\text{A} = 0.99\text{mA}$

所以 $I_{E1} = I_{C1} + I_{B1} = 1\text{mA}$

乙管的 $\bar{\alpha}_2 = 0.95 \Rightarrow \bar{\beta}_2 = \frac{\bar{\alpha}_2}{1 - \bar{\alpha}_2} = \frac{0.95}{0.05} = 19$

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

所以 $I_{B2} = I_{E2} - I_{C2} = 1 - 0.95\text{mA} = 50\mu\text{A}$

习题 1-11 设某三极管在 20°C 时的反向饱和电流 $I_{CBO} = 1\mu\text{A}$, $\beta = 30$; 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} 大约增大一倍, 而每当温度升高 1°C 时, β 大约增大 1% 。

题目分析 I_{CBO} 是 BJT 管的集电结反向饱和电流, 当基极开路 $I_B = 0$ 时, $I_{CEO} = (1 + \bar{\beta}) I_{CBO}$

题目解答 由 PN 结的反向电流的温度特性可得

$$I_{CBO}(50^\circ\text{C}) = 2^3 \times I_{CBO}(20^\circ\text{C}) = 8\mu\text{A}$$

$$I_{CEO}(50^\circ\text{C}) = [1 + \bar{\beta} + 1\% \times 30\bar{\beta}] I_{CBO} = 320\mu\text{A}$$

习题 1-12 一个实际的 PNP 型锗三极管的输入、输出特性曲线分别如图 P1-12(a) 和 (b) 所示。

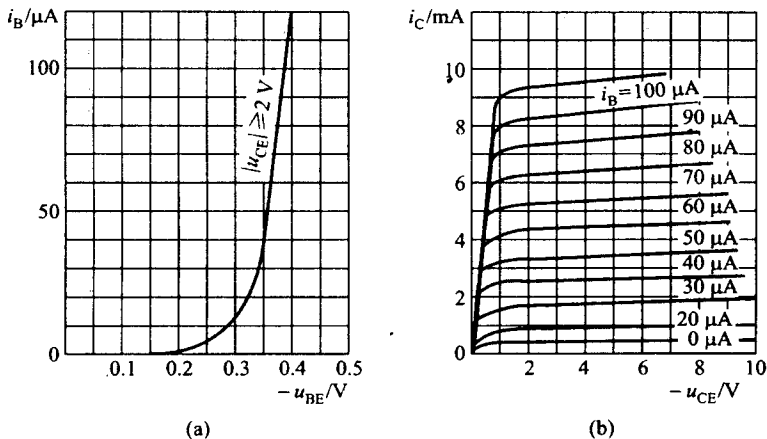


图 P1-12

① 查看该三极管的穿透电流 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。

题目解答 ① $I_{CEO} = 0.5\text{mA}$ (由图(b)中 $i_B = 0\mu\text{A}$ 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 $U_{BE} < 0, U_{BC} > 0$ 。同理 NPN 管中, 发射结正偏时, $U_{BE} > 0$; 集电结反偏时, $U_{BC} < 0$ 。

习题 1-13 测得某些电路中几个三极管各极的电位如图 P1-13 所示, 试判断各三极管分别工作在截止区、放大区还是饱和区。

题目分析 根据三极管不同工作区的特点, 通过 U_{BE} 和 U_{BC} 来判断。

题目解答 NPN 管

(a) 由于 $U_{BE} = 0.7\text{V}, U_{BC} = -4.3\text{V}$, 可知其工作在放大区。

(b) 由于 $U_{BE} = -10\text{V}$, 可知其工作在截止区。

(c) 由于 $U_{BE} = 0.7\text{V}, U_{BC} = -5.3\text{V}$, 可知工作在放大区。

(d) 由于 $U_{BE} = 0.75\text{V}, U_{BC} = 0.45\text{V}$, 可知其工作在饱和区。

PNP 管

(e) 由于 $U_{BE} = 0.3\text{V}$, 工作在截止区。

(f) 由于 $U_{BE} = -0.3\text{V}, U_{BC} = 0\text{V}$, 三极管处于临界饱和状态。

(g) 由于 $U_{BE} = -0.3\text{V}, U_{BC} = 8.7\text{V}$, 工作在放大区。

(h) 由于 $U_{BE} = -0.3\text{V}, U_{BC} = 3.7\text{V}$, 工作在放大区。

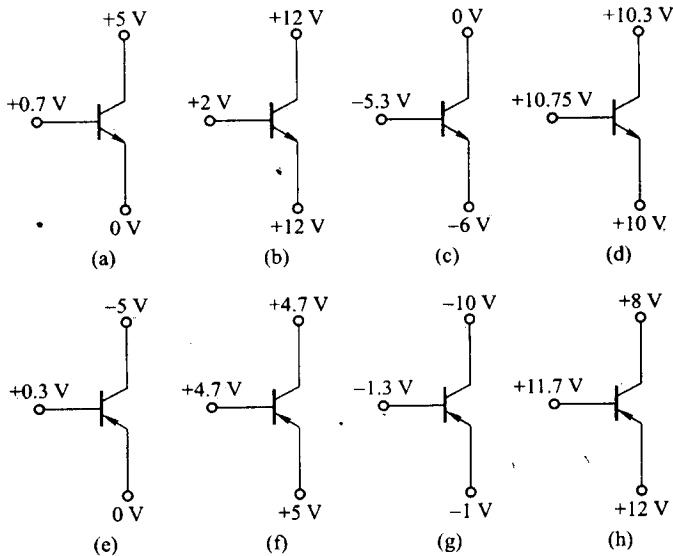


图 P1-13

习题 1-14 已知图 P1-14(a)~(f)中各三极管的 β 均为 50, $U_{BE} \approx 0.7\text{V}$, 试分别估算各电路中三极管的 i_C 和 u_{CE} , 判断它们各自工作在哪个区(截止区、放大区或饱和区), 并将各管子的 i_C 和 u_{CE} 对应应在输出特性曲线上的位置分别画在图 P1-14(g)上。

题目分析 在电路中 I_B 很容易求得。假设电路工作在放大区, 可由 $I_C = \beta I_B$ 求得 I_C , 由 KVL 定理也可求得 U_{CE} , 再比较各项, 看假设是否成立(在图中比较)。

题目解答 (a) 由 KVL 可得 $I_B \cdot 20\text{k}\Omega = 2\text{V} - U_{BE}$

$$\text{所以 } I_B = \frac{2\text{V} - 0.7\text{V}}{20\text{k}\Omega} = 65\mu\text{A}$$

$$\text{所以 } I_C = \beta \cdot I_B = 50 \times 65\mu\text{A} = 3.25\text{mA}$$

$$\text{由 KVL 可得 } 2\text{k}\Omega \cdot I_C + U_{CE} + U_{BE} = 10\text{V}$$

$$\text{所以 } u_{CE} = 10 - 2\text{k}\Omega \times 3.25\text{mA} - 0.7 = 2.8\text{V}$$

三极管工作在放大区。

$$(b) I_B = \frac{10\text{V} - 0.7\text{V}}{200\text{k}\Omega} = 46.5\mu\text{A}$$

$$\text{所以 } I_C = \beta \cdot I_B = 2.325\text{mA}$$

$$\text{所以 } u_{CE} = 10 - 0.7 - 2\text{k} \times 2.325\text{mA} = 4.65\text{V}$$

三极管可以正常工作, 因此, 三极管工作在放大区。

$$(c) I_B = \frac{10\text{V} - 0.7\text{V}}{20\text{k}\Omega} = 465\mu\text{A}$$

$$\text{所以 } I_C = \beta I_B = 23.25\text{mA}$$

$$\text{所以 } U_{CE} = 10 - 0.7 - 23.25 \times 2 = -37.2\text{V}$$